第六届
地球系统科学大会
会议手册
及摘要集

THE 6TH CONFERENCE ON
EARTH SYSTEM SCIENCE

7/7-10 2021 上海

中国大洋发现计划
专家咨询委员会

国家自然科学
基金委员会
地球科学部

同济大学
海洋地质
国家重点实验室

会议组织机构

学术委员会

主　任：丁仲礼
副主任：陈　骏、侯增谦、翦知湣、朱伟林
委　员：丁　抗、戴民汉、郭正堂、焦念志、金之钧、李家彪、林　间
　　王成善、汪品先、徐义刚、张人禾、周忠和

主办单位

中国大洋发现计划（IODP-China）专家咨询委员会
国家自然科学基金委员会地球科学部
同济大学海洋地质国家重点实验室

会议秘书处

秘书长 刘志飞
同济大学海洋地质国家重点实验室
021-65984877，13816101893
lzhifei@tongji.edu.cn
有关会议各类信息及需求，请随时联系会议秘书

联系方式

拓守廷（会务协调）
021-65982198，13601872997
shouting@tongji.edu.cn
李阳阳（学术日程）
021-65983441，18810404284
cess@tongji.edu.cn
温廷宇（会议展览）
021-65985022，13817664860
cess@tongji.edu.cn
潘柏夷（会场支持）
021-65981389，18817759791
cess@tongji.edu.cn

李江涛（会议宣传）
021-65989269，13816029975
jtli@tongji.edu.cn
高小丰（会议注册）
021-65981613，15021055616
cess@tongji.edu.cn
张　钊（疫情防控）
021-65981558，18817759802
cess@tongji.edu.cn

联系地址：同济大学海洋地质国家重点实验室 上海市四平路 1239 号（邮编 200092）
网　　站：www.cess.org.cn

目 录

01 会场酒店及交通枢纽

会场位置图

05 欢迎辞

06 “地球系统科学大会”

十周年纪念活动

08 “深部地球的富氧活动”

圆桌论坛

09 “河口海岸地质资源”

圆桌论坛

10 会议基本信息

会议注册

会议地点

会议就餐

交通指南

口头报告

沪上游览

温馨提示

16 展板报告及须知

17 疫情防控须知

21 专题设置及召集人

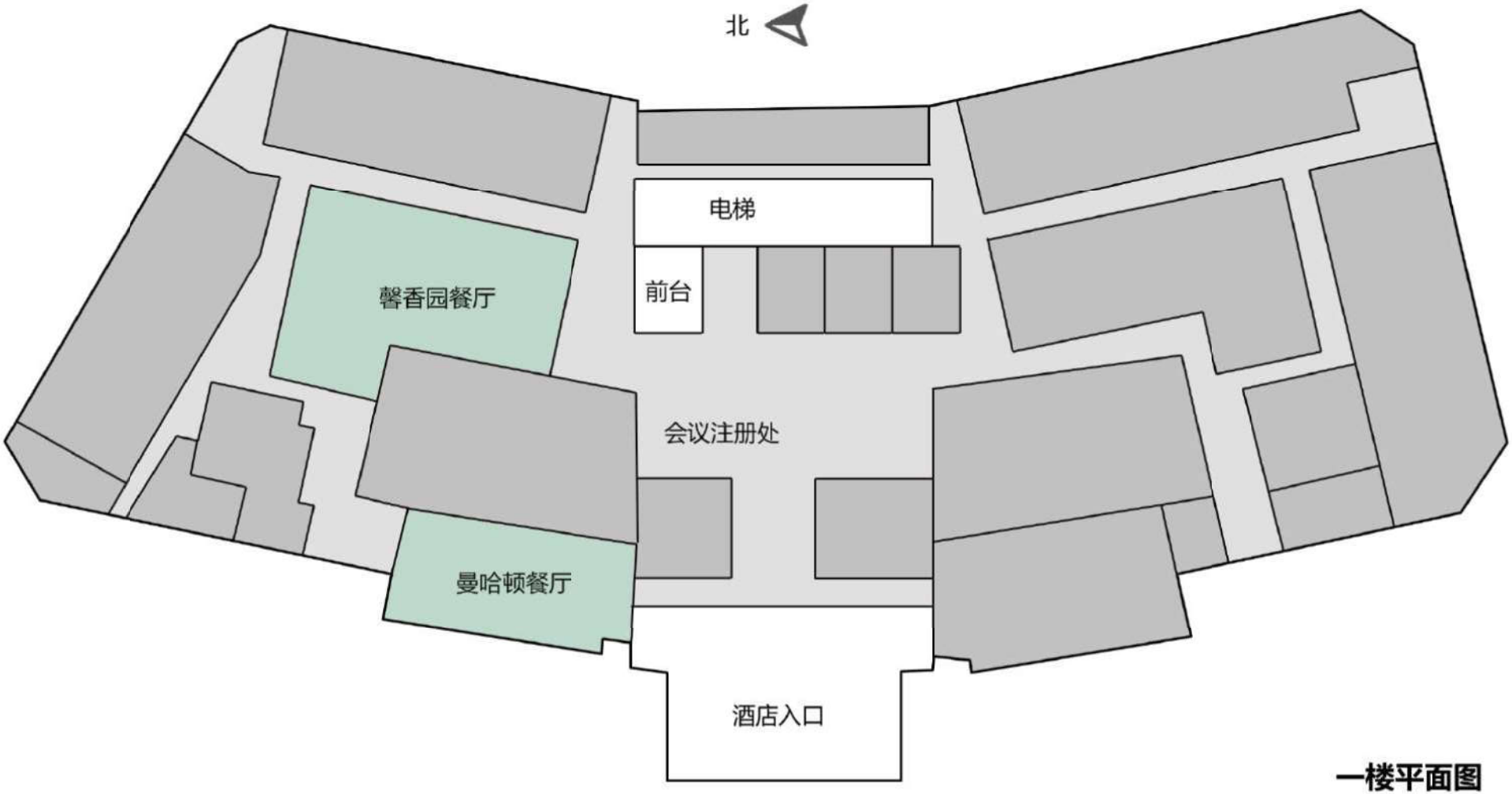
30 会议日程索引表

34 会议日程

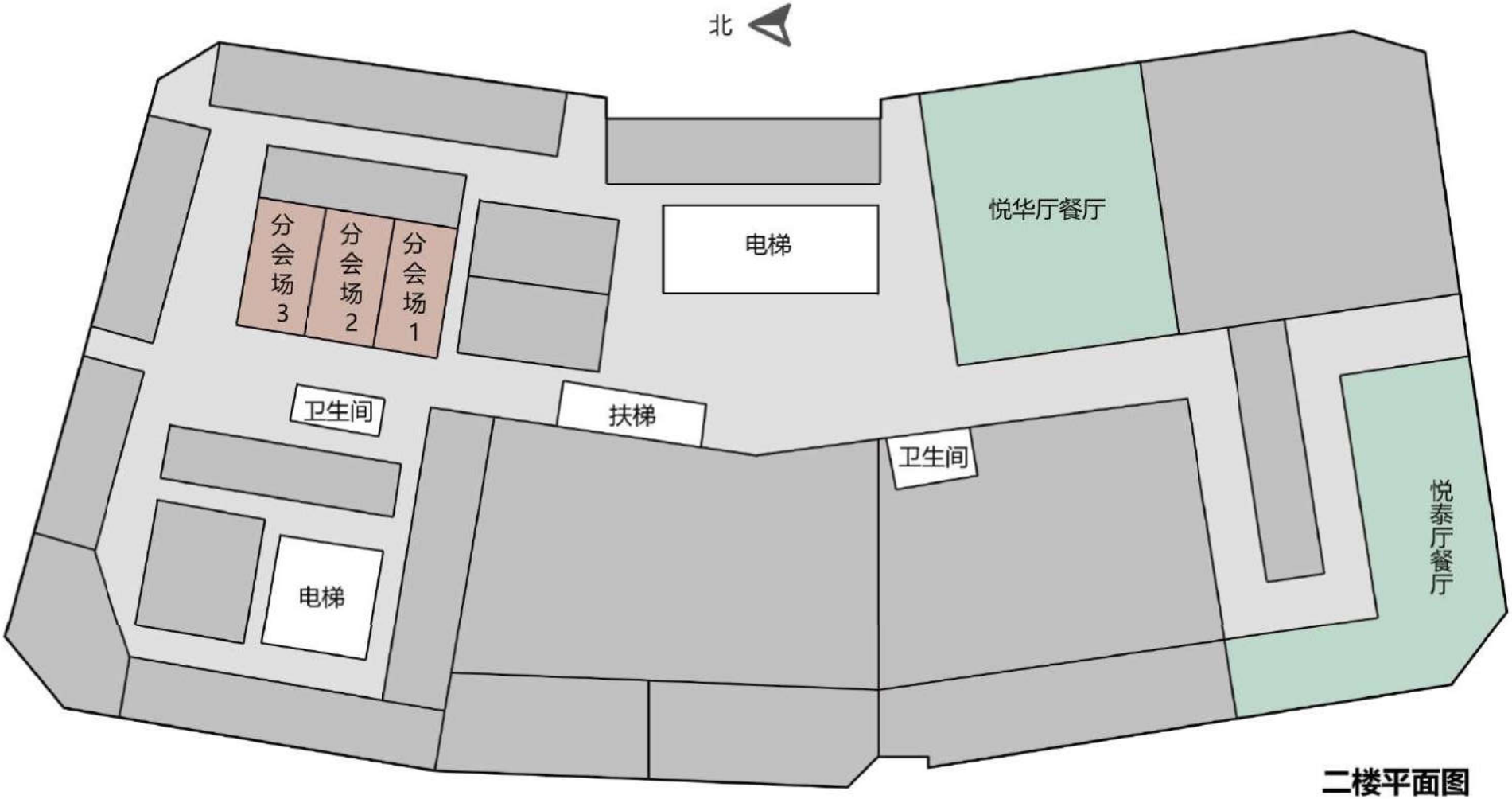
145 会议摘要

983 展商信息

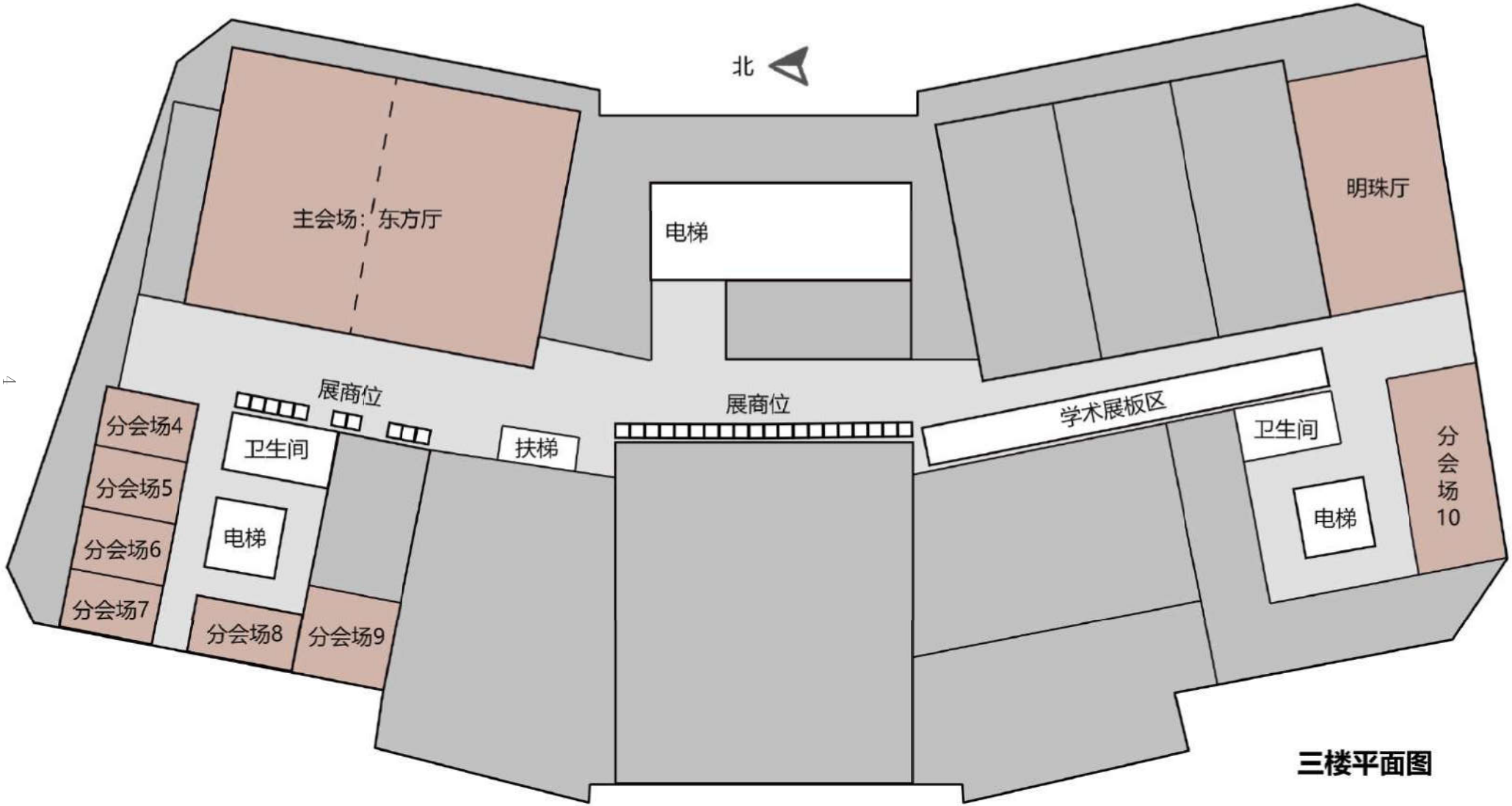
沪嘉高速 Hujia Highway
中环路 Middle Ring
公交地铁
~8元 1.5h
出租车
~125元 1h
上海火车站
同济大学
沪宁高速 Huning Highway
外滩
外环路 Outer Ring
中环路 Middle Ring
内环路 Inner Ring
南北高架 South-North Viaduct
延安西路 Yan'an Road Viaduct
黄浦江
虹桥火车站
公交地铁
~8元 1.5h
出租车
~70元 40min
虹桥机场
沪渝高速 Huyu Highway
公交地铁
~7元 1.5h
出租车
~70元 50min
上海南站
公交地铁
~12元 2.5h
出租车
~200元 1h
浦东国际机场
会场所在地
上海富悦大酒店



一楼平面图



二楼平面图


北
主会场：东方厅
电梯
明珠厅
展商位
展商位
学术展板区
分会场4
分会场5
分会场6
分会场7
卫生间
电梯
扶梯
卫生间
电梯
分会场8
分会场9
分会场10

三楼平面图

欢迎辞

“地球系统科学大会”（Conference on Earth System Science, CESS）是以地球科学学科交叉为特色的学术盛会。其目标在于促进横跨圈层、穿越时空的学术研讨，推动地球科学研究的海陆结合、古今结合、生命科学与地球科学结合、以及科学与技术的结合。在当前我国地球科学、尤其是海洋科学高速发展的背景下，大会的宗旨在于提供“陆地走向海洋，海洋结合陆地”的交流平台。

大会自 2010 年至今已成功举办五届，会议的规模逐届增大，从第一届的 500 余人，至第五届已逾 1500 人，本届会议将有望达到 2000 人。学科交叉的深度和广度不断加强，积极推动了中国地球科学的转型。经过多年来地学界同仁的共同努力，地球系统科学大会已经成为中国地球科学的一张靓丽名片。秉承前五届会议的优秀传统，会议将继续使用汉语作为主要交流语言。本次会议最大的特点在于高度的跨学科性、强调并着重学术讨论，形式包括大会报告、分组报告、展板报告，以及圆桌论坛、信息发布会和“会议快讯”等特色活动。会议将发扬科学与文化结合的精神，继续组织科普专题。第六届大会原计划定于 2020 年 7 月召开，由于新冠疫情影响，大会延期至 2021 年并增加一天，于 7 月 7-10 日举办，同时相应增加内容，组织“地球系统科学战略研讨”等。

希望大家在这次会议中有所收获！

大会学术委员会

2021 年 6 月 17 日

“地球系统科学大会”十周年纪念活动

从 2010 年的第一届会议至今，“地球系统科学大会”已走过她的十年历程，会议规模逐年扩大，学术影响力不断加强，已经成为中国地球科学的一张靓丽名片。这十年正值我国经济发展和国际学术影响力显著提升的时期，“地球系统科学大会”积极推动了中国地球科学的转型，发展了地球系统科学思想。

“地球系统科学大会”秉承会风清新、学风浓郁的传统，不设主席台、不办开幕式，使用汉语为主要交流语言，青年学者与院士平起平坐。会议坚持“科学普及，回归文化”精神，不断创新办会形式，设立“科普与教育”主题，举办“信息发布会”，设置“青年学者论坛”，主办每日“会议快讯”，出现不少会场爆满、讨论热烈的场面，给历届参会者留下深刻印象。

第六届“地球系统科学大会”在迎来十周年庆之际，为回顾过去十年来参加会议的精彩瞬间，展望对地球系统科学发展的美好憧憬，特举办十周年纪念活动。

活动一：十周年纪念招待会

时　间：2021 年 7 月 7 日晚 18:00-19:00

地　点：三楼明珠厅

内容安排：以展板和大屏幕播放形式，回顾“地球系统科学大会”十年精彩瞬间。提供啤酒、饮料和点心（注：不提供晚餐）。不设主席台和主讲，与会者自由交流。

活动二：“我与地球系统科学大会”征文活动

面向过去五届和本届参会者征集“我与地球系统科学大会”纪念短文，具体安排如下：

1、征文内容和要求

以您个人的参会经历（第一届至第六届），使用任何文体表达您对“地球系统科学大会”的印象或期望，可以是某次参会的记忆瞬间，也可以是多次参会的总结或回顾等。撰写和投稿人为唯一作者（不接受联名或多位共同署名的投稿）。字数：800 字以内。每篇投稿可含 2-3 张照片，也可不含照片。

2、投稿和截止日期

来稿以 word 格式（照片插入正文中）发邮件至 cess@tongji.edu.cn，邮件主题词注明“征文活动”。会议秘书处收稿后即回执收文编号，表示投稿成功。即日起开始征稿，截止 2021 年 7 月 1 日止（以邮件收到日期为准）。

3、评选和奖励

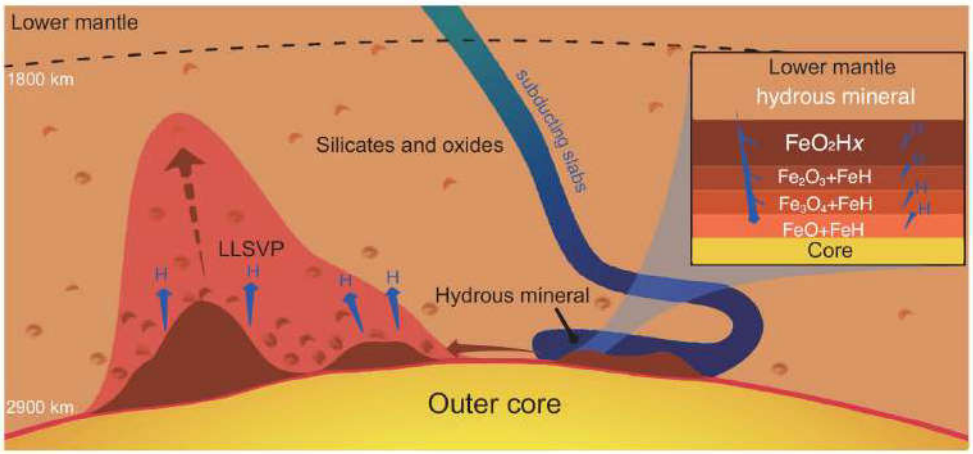
会议秘书处负责组织评选，选出获奖者若干名。奖品为汪品先院士亲笔签名的《地球系统与演变》（汪品先等著，2018，科学出版社）专著一本，将在十周年纪念招待会上颁发。征文获奖作品将择优在本届会议的“会议快讯”及微信公众号上刊出，并编入“地球系统科学大会”十周年纪念活动的宣传材料。

“深部地球的富氧活动”圆桌论坛

2021 年 7 月 7 日 19:30-21:30

上海富悦大酒店三楼 8 号会议室

地球物理探测到的地球核-幔边界有个地震波异常的 D 层，其原因尚未有定论。长期以来，人们一般认为地球内部的深下地幔与地核都处于缺氧的还原状态。毛河光院士及其团队近年来基于高温高压的实验工作提出了一个与缺氧认识不同的新假说。他们认为，地球核-幔边界 D 层的地球物理异常，很可能是缘于板块俯冲带入的水与地球深部丰富的铁反应形成极度富氧的 FeO_2 等物质的不断堆积，而富氧物质在核幔边界巨大的温度剧变层累积过量后产生的氧的间歇性爆发，可以更加合理地解释地球历史上发生生物大灭绝、大氧化事件、雪球地球、大火成岩省、超级大陆的聚合分裂，以及板块运动的启动稳定等重大事件的原因。



为了促进广泛的学术交流，围绕该假说开展大跨度的学科交叉研究，为我国地球系统科学的深入研究提供新的切入点，特举办“深部地球的富氧活动”圆桌论坛。论坛已邀请李曙光院士、金之钧院士、徐义刚院士、中国地质大学（武汉）罗根明教授和中科院地质与地球物理研究所李娟研究员等专家做重点发言。同时，热诚期待参加地球系统科学大会的各位同仁，积极参加本论坛，踊跃发表真知灼见。

专家	单位	题目
李曙光	中国地质大学（北京） 中国科学技术大学	行星大撞击，陆壳演化和板块俯冲与大气脱碳增氧的关联
徐义刚	中国科学院 广州地球化学研究所	研究大火成岩省验证泛氧假说
金之钧	北京大学	地球深部氢气资源探索
李娟	中国科学院 地质与地球物理研究所	深部地幔的不均一性及新物理新化学启示
罗根明	中国地质大学（武汉）	地球保护伞的形成

河口海岸地质资源暨长三角青年论坛

2021 年 7 月 9 日 14:00-15:30

上海富悦大酒店三楼 3 号会议室

从长江大保护、河口海岸生态系统健康以及上海未来可持续发展的自然资源储备等战略角度，重点研讨长江口—杭州湾的地质资源研究与生态环境保护的重大问题和技术瓶颈；针对全球变化背景下河口自然演变的关键过程与人类活动的相互作用，从科学观测到工程技术再到决策应用层面，提出河口海岸系统调查、交叉研究与生态保护的决策建议，供相关部门、学术机构参考。论坛主要研讨内容：

（1）河口海岸地质资源与环境研究的重大问题

（2）河口海岸综合调查与交叉研究的技术瓶颈

（3）河口海岸地质研究与环境保护的决策建议

邀请上海市水利工程设计研究院俞相成教授，上海市地质调查研究院严学新教授，华东师范大学张卫国教授，青岛海洋地质研究所印萍研究员等专家做重点发言。欢迎感兴趣的同行参加！

会议基本信息

会议注册

7 月 6 日 12:00~21:00：会议现场注册地点在“上海富悦大酒店”（上海松江区茸悦路 208 弄）一楼大厅。已成功缴纳注册费的参会人员请前往签到并领取会议资料和注册费发票。未缴纳注册费的参会人员请现场付费，接受各类信用卡、借记卡刷卡支付，对现场缴费的参会代表，我们将会在 7 个工作日内向您的注册邮箱发送电子发票，不再提供纸质发票。所有会议注册费发票均由同济大学出具。

7 月 7~10 日 8:00~17:00：会议现场注册地点在“上海富悦大酒店”一楼大厅，接受办理已缴费和现场付费的各类注册。

会议现场注册流程

已注册已缴费

已在会议网站注册并缴费的人员，我们将在 7 月 5 日上午向您注册的手机和邮箱发送二维码电子票。届时请您至“已注册已缴费”窗口出示二维码或提供姓名进行签到并领取胸卡等会议资料。

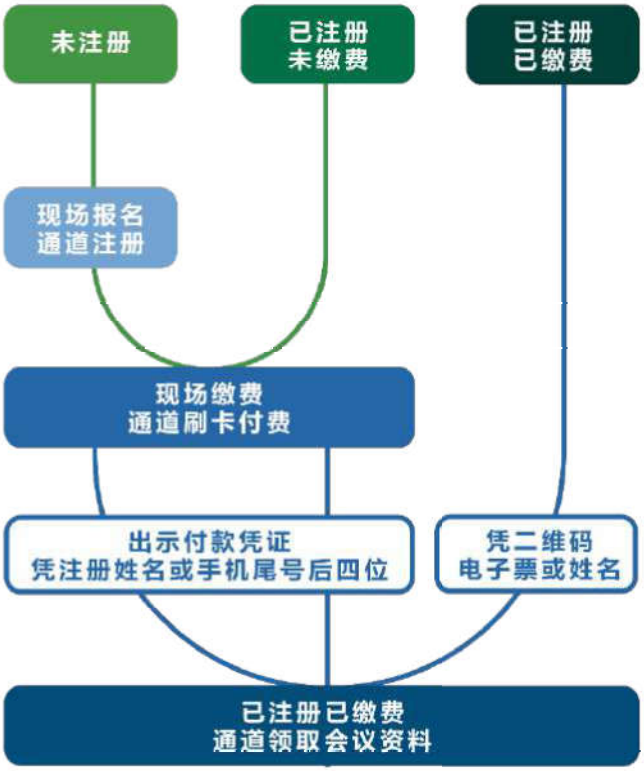
已注册未缴费

凡在会议网站注册但未缴费的人员，请您先到“现场缴费处”刷卡付费。之后请到“已注册已缴费”通道出示付款凭证，报您的姓名或者手机号后四位签到并领取胸卡等会议资料。

现场报名注册

未在会议网站注册过的人员，请您先到“现场报名注册”窗口，扫码关注微信公众号“地球系统科学大会”，点击左下角键盘回复“报名”，点击弹出的链接进行会议注册并提交。之后请至“现场缴费处”刷卡付费，付费后请至“已注册已缴费”通道出示付款凭证，报您的姓名或者手机号后四位签到并领取胸卡等会议资料。

报名后如想进入个人中心，请在微信公众号中点击左下角键盘回复“个人中心”，点击弹出链接进行操作即可。



地球系统科学大会
官方微信公众号

第六届
地球系统科学大会
客房预定小程序

现场注册费

会议代表 2500 元，学生代表 1800 元。费用包括：会议资料，会场使用，会议工作餐（7 月 6 日晚餐和 7 月 7~10 日午餐），茶歇（7 月 7~10 日）；不包括：住宿费和交通费等。

会议住宿

由于参会人员较多，会议秘书处不提供酒店代订服务。会场所在的上海富悦大酒店是一家大型商务会议酒店，特别为本次会议提供了优惠价格，可满足多数参会代表的需求，请使用微信扫描宾馆提供的二维码预订房间。

参会代表通过宾馆指定渠道预订房间方可享受会议优惠价格，非宾馆指定渠道

预订不能获得会议优惠价。会议住宿费用由参会代表与宾馆直接结算，领取发票。预定时请务必留存真实有效手机号码，否则预定无效。酒店联系人：宋文辉，13671752982（联系时间 9:00-19:00）。

此外，会场周边还有其他酒店，如：上海三迪华美达酒店、上海松江世茂睿选酒店等，请参会代表自行预订。

未预订宾馆房间的参会人员请自行前往相关宾馆或携程等网站预订住宿，会议不承担现场预订宾馆工作。

会议地点

会议地点在“上海富悦大酒店”（上海松江区茸悦路 208 弄），具体位置见附图。主会场设在三楼东方厅，分会场 1-3 分布在二楼悦贵厅，分会场 4-10 分布在三楼各会议室，学术展板、主题展览和仪器厂商展览安排在三楼展厅。

会议就餐

会议工作餐（7 月 6 日晚餐和 7 月 7~10 日午餐），安排在“上海富悦大酒店”一楼馨香园、曼哈顿，二楼悦华厅、悦泰厅。会议用餐均凭有效餐券就餐（现场注册时领取），请按照餐券上标识的地点用餐，以免造成人流过于集中。由于就餐时间集中，预计将出现排队情况，请大家谅解和配合。

注：7 月 7-10 日不提供会议晚餐，请自行安排。

会场周边美食推荐：

1. 松江万达广场（距离会场约 500 米）：自地下一层至五层，每层均有众多不同价位的中式、日式、韩式、快餐、甜品等 130 多家门店的各种美食，可以满足参会代表用餐。推荐小杨生煎、味千拉面、汉堡王、魔都三兄弟、左庭右院鲜牛肉火锅、松料理、丰收日等。

2. 松江大学城（距离会场约 1.5 公里）：

樱花广场：位于上海视觉艺术学院对面，有众多餐饮小店，推荐翔仔好味馆、

香茵波克（汉堡）、香港肥锅米线、樱酱。

起源生活广场：位于樱花广场旁边，广场有一个窄窄的楼底能够通向 2 楼，楼上有众多美食。推荐李先生的首尔小馆、Facepork 脸猪猪排。

开元地中海商业广场：位于松江新城中心，离松江大学城不远，商场内美食众多。推荐喜来稀肉、青花椒砂锅鱼。

交通指南

会场及宾馆周边交通较为方便，从虹桥国际机场、浦东国际机场、上海火车站、上海南站等交通枢纽均有多种交通方式到达，具体请参考附图。

上海虹桥国际机场/火车站

A：虹桥东交通中心公交站搭乘虹桥枢纽 4 号线（紫竹科学园区方向）至七宝公交站下车，在七宝地铁站（5 号口）换乘 9 号线（松江南站方向），至松江大学城站（1 号口）下车；步行 224 米（约 4 分钟）至松江客运中心公交站，搭乘松江 66 路/69 路/1803 路（光星路广富林路方向）至光星路银泽路公交站下车，步行约 550 米（约 8 分钟）到达上海富悦大酒店。

B：搭乘出租车，费用约 70 元，用时约 40 分钟。

上海浦东国际机场

A：搭乘地铁 2 号线（徐泾东方向）至世纪大道地铁站换乘 9 号线（松江南站方向），至松江大学城站（1 号口）下车；步行 224 米（约 4 分钟）至松江客运中心公交站，搭乘松江 66 路/69 路/1803 路（光星路广富林路方向）至光星路银泽路公交站下车，步行约 550 米（约 8 分钟）到达上海富悦大酒店。

B：搭乘出租车，费用约 200 元，用时约 1 小时 30 分钟。

上海火车站

A：搭乘地铁 1 号线（莘庄方向）至徐家汇地铁站换乘 9 号线（松江南站方向），至松江大学城站 (1 号口) 下车；步行 224 米（约 4 分钟）至松江客运中心公交站，搭乘松江 66 路/69 路/1803 路（光星路广富林路方向）至光星路银泽路公交站下车，步行约 550 米（约 8 分钟）到达上海富悦大酒店。

B：搭乘出租车，费用约 125 元，用时约 1 小时。

上海南站

A：搭乘地铁 1 号线（富锦路方向）至徐家汇地铁站换乘 9 号线(松江南站方向)，至松江大学城站 (1 号口) 下车；步行 224 米（约 4 分钟）至松江客运中心公交站，搭乘松江 66 路/69 路/1803 路（光星路广富林路方向）至光星路银泽路公交站下车，步行约 550 米（约 8 分钟）到达上海富悦大酒店。

B：搭乘出租车，费用约 70 元，用时约 40 分钟。

注：会议不提供接站服务。若确实需要接站，请事先联系会议秘书。

口头报告

大会邀请报告

每个报告 30 分钟，包括 25 分钟演讲和 5 分钟答疑。请务必提前一天将 PPT 文件拷贝至会议注册处专用计算机内。

大会青年学者论坛报告

每个报告 10 分钟，包括 8 分钟演讲和 2 分钟答疑。请务必提前一天将 PPT 文件拷贝至会议注册处专用计算机内。

专题口头报告

每个报告 15 分钟（包括演讲和答疑）。请务必提前一天将 PPT 文件拷贝至会议注册处专用计算机内。

大会开始后，也可以提前一天至所属分会场将 PPT 拷至分会场专用计算机内。

主会场东方厅 PPT 尺寸比例为 16:9，其他各分会场 PPT 尺寸比例均为 4:3，请各位报告人提前做好准备。

沪上游览

“乐游上海”是上海市文化和旅游局、上海市广播电视局、上海市文物局联合推出的官方微信号，并配有“乐游上海”小程序。介绍上海旅游、文化休闲、各种福利活动，是本市各旅游景点、酒店、航空、商业单位等共同为上海游客提供服务的旅游平台。让您在四季上海，发现更多，体验更多。

温馨提示

7 月初上海正值梅雨季节，请务必备好雨具，方便出行。夏天雷雨天气多发，建议优先选择高铁出行，以免遭遇航班大面积延误耽误行程。

展板报告及须知

展板报告时间

7 月 7~10 日，会议每日中午 12:30-14:00 为各专题安排专门的展板报告时间，请报告人在此时间段务必在本人展板前与参会代表交流。

展板报告地点

上海富悦大酒店三楼展厅

展板报告须知

作为本会议重要的学术交流形式，展板报告将提供报告人与参会人员直接互动平台。在本专题指定展板报告时间（当天中午 12:30-14:00），报告人须站在各自展板前参加讨论和交流。展板时间专题召集人将逐一浏览展板。

会议期间展板区将一直开放，但展板报告每日更换，请各位报告人注意更换时间：

每天上午 8:00-10:00 期间，请报告人按照会议手册展板专题时间要求自行张贴当天海报至展板区指定位置（按照展板编号贴在相应位置）。

每天下午 16:00-18:00 期间，请报告人将展板报告自行撤回，逾期将会被工作人员摘除以便安排第二天的展板报告。

展板规格：A0 幅面，竖版（宽×高 = 841 mm × 1189 mm），报告人请自行打印海报（带背胶）。会议将提供美纹纸，避免海报背胶残留展板（请尽量采用较为轻便的纸张打印，以免海报滑落；展板上请勿刀刻、涂写及钻孔，不能使用破坏性强的胶带或胶水张贴）。全部展板于 7 月 10 日 18:00 撤离。

“优秀学生展板”评选：

按照大会惯例，会议将评选优秀学生展板并给予奖励，请所有学生展板报告人关注并参与。学生展板辨识：展板编号以“S” 结尾者为学生展板。

“优秀学生展板评审委员会”将在会议期间参观学生展板展位，评选出“优秀学生展板”，并在 7 月 10 日下午的“大会总结”中颁奖。评选基本要求：在指定的展板时间内等候在展板前参与讨论，出席全程会议（包括颁奖仪式）。

疫情防控须知

为了确保所有与会人员的健康，做好疫情防控工作，根据当前上海市松江区新冠肺炎疫情防控工作相关要求，请您务必配合以下事项：

1. 会议期间，工作人员将在酒店入口处查看与会人员的健康码和疫苗接种记录（请在当日提前截图以便高效通过），健康码为绿色且体温正常者方可进入会场；

1.1 所有参会人员请于会前 14 天（6 月 22 日起）开始进行体温监测，填写附件 1（参会前 14 天健康检测记录表和健康承诺书）并亲笔签名，于 7 月 6 日提交至会议注册台；

1.2 7 月 6 日健康码非绿色的参会代表（来自国内疫情中、高风险地区），很遗憾不能参加本次会议，此种情况会议秘书处将退回已缴纳的注册费，请填写附件 2（退费申请书）内容发送至邮箱：17666073@tongji.edu.cn；

2. 会议期间，请做好场内个人防护措施，室内须全程佩戴口罩；

3. 会议期间，若出现发热（体温≥37.3℃）、咳嗽气促等异常症状时请立即报告会务组工作人员；

4. 随疫情防控形势的变化，上述防疫政策将根据实际情况进行合理调整。

大会疫情防控及退费问题请咨询：张钊，021-65981558，18817759802，邮箱：17666073@tongji.edu.cn。

附件 1: 14 天健康监测记录表（个人填写）

姓名:　　性别:　　年龄:　　单位:

日期	体温	症状
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	
月　日	早 晚	

"体温"填水银体温计测腋下温度，其他症状填写相应情况;
每日自主开展健康监测，并按要求于集会前提供给集会主办单位。有上述症状应及时向集会主办单位报告，未排除传染病者或 存在其他身体不适者不得参会。

健康承诺书

姓名：　　单位：

本人是“第六届地球系统科学大会”的参会人员，本人已知晓并理解、遵守（第六届地球系统科学大会）关于参会人员（工作人员）健康要求和新冠肺炎疫情防控相关管理规定，郑重承诺以下事项：

（一） 本人在健康监测记录表中填写的体温和症状均属实。

（二） 本人不属于 14 天集中隔离观察期或居家隔离观察期内的人群。

（三） 本人从未被确诊为新冠肺炎确诊病例或无症状感染者；或本人既往被确诊为新冠肺炎确诊病例或无症状感染者但已治愈出院 且不属于随访医学观察期内人群。

（四） 本人在参加集会前 14 天健康监测中体温不曾≥37.3℃,未出现过咳嗽、咳痰、咽痛、打喷嚏、流涕、鼻塞、头痛、肌肉酸痛、 关节酸痛、气促、呼吸困难、胸闷、结膜充血、腹痛、皮疹、黄疸等 症状，个人健康情况正常。

（五）本人在“第六届地球系统科学大会”前____天内接受过新冠病毒核酸检测，检测结果为阴性，没有可不填。

（六）本人如实回答以下流行病学信息，保证所填报内容真实准确。

1. 参加集会前 14 天内，是否接触过新冠肺炎确诊病例/无症状感染者/疑似病例？ □是□否

2. 参加集会前 14 天内，是否接触过有发热或呼吸道症状患者？ □是□否

3. 参加集会前 14 天内，所住社区是否曾有报告新冠肺炎病例？ □是□否

4. 参加集会前 14 天内，是否去过外省市，或从外省市来沪。 □是□否

（七）本人在参加集会期间如出现咳嗽、发热等身体不适情况， 自觉配合工作人员开展相关疫情防控措施。

（八）本人在参加集会期间自觉遵守中华人民共和国和上海市有关法律及传染病防控各项规定。如本人未遵守以上承诺，愿承担相应 法律责任。

本人保证以上声明信息真实、准确、完整，如有承诺不实、隐瞒病史和接触史、故意压制症状、瞒报漏报健康情况、逃避防疫措施的，愿承担相应法律责任。

声明人（签字）：　　承诺日期：

附件 2:注册费退费申请单

第六届地球系统科学大会将于 2021 年 7 月 6 日-10 日在上海富悦大酒店（上海市松江区茸悦路 208 弄）举办，根据当前上海市新冠肺炎疫情防控工作相关要求，为确保所有与会人员的健康，做好疫情防控工作，截至 7 月 6 日健康码仍为非绿色（来自疫情中、高风险地区）的参会代表将无法参加会议，如需退注册费，请填写以下信息：

1. 姓名：

2. 注册编号：CESS-

3. 支付注册费方式：线上支付/银行转账

4. 银行转账的参会者需提供：

①付款账号的户名：

②账号：

③开户行：

④退费备注内容

5. 本人的非绿色健康码截图：

注：因注册费现已入账，会后将尽快安排退费事宜，由于会后正值学校暑假，财务退费可能稍有延迟，敬请谅解。

退费问题请联系：张钊，电话：021-65981558；邮箱：17666073@tongji.edu.cn

专题设置及召集人

会议共设置六个主题，四十六个专题，具体专题及召集人如下：

主题一： 地球表层环境演变		
专题	**召集人**	**单位**
1、地质历史上的季风系统	郭正堂	中国科学院地质与地球物理研究所
	吴福元	中国科学院地质与地球物理研究所
	王成善	中国地质大学（北京）
	程海	西安交通大学
	汪品先	同济大学
2、大陆风化动力学与物质循环	陈骏	南京大学
	金章东	中国科学院地球环境研究所
	李高军	南京大学
3、深时冰室气候下的地球系统演化	沈冰	北京大学
	陈吉涛	中国科学院南京地质古生物研究所
	郎咸国	成都理工大学
4、温室气候地球轨道力驱动的水文循环与数值模拟	胡永云	北京大学
	吴怀春	中国地质大学（北京）
	黄永建	中国地质大学（北京）
	王成善	中国地质大学（北京）
	方小敏	中国科学院青藏高原研究所

5、青藏高原隆升与地貌发育、风化剥蚀和环境变化	潘保田	兰州大学
	刘静	天津大学
6、晚第四纪高分辨率陆海气候对比：从指标到记录	谭亮成	中国科学院地球环境研究所
	李廷勇	云南师范大学
	易亮	同济大学
7、前寒武以来 405ka 偏心率长周期的地质演变	吴怀春	中国地质大学（北京）
	黄春菊	中国地质大学（武汉）
8、三角洲环境演变：人类活动和气候变化	陈中原	华东师范大学
	宗永强	香港大学

主题二：海洋与气候		
专题	**召集人**	**单位**
9、南海盆地发育中的沉积环境演变	翦知湣	同济大学
	解习农	中国地质大学（武汉）
	吴时国	中国科学院深海科学与工程研究所
	邵磊	同济大学
10、深海沉积与全球变化	陈建芳	自然资源部第二海洋研究所
	刘志飞	同济大学
	石学法	自然资源部第一海洋研究所
11、低纬气候过程的重建：记录整合与数值模拟	黄恩清	同济大学
	王跃	同济大学
	张冉	中国科学院大气物理研究所

12、亚洲——太平洋地区中晚全新世高分辨率气候变化	晏宏	中国科学院地球环境研究所
	周鑫	中国科学技术大学
	方克艳	福建师范大学
	刘飞	中山大学
14、南北半球互动及低纬过程	周力平	北京大学
	田军	同济大学
	柳中晖	香港大学
15、极地多时空尺度冰—海—气相互作用	王汝建	同济大学
	李院生	中国极地研究中心
	陈卓奇	中山大学
	程晓	中山大学
	陈显尧	中国海洋大学
	刘勇勤	中国科学院青藏高原研究所
16、深渊的地质、环境与生命过程：板块俯冲驱动与相互作用机制	彭晓彤	中国科学院深海科学与工程研究所
	丘学林	中国科学院南海海洋研究所
	何舜平	中国科学院水生生物研究所
17、深水沉积的源-汇过程及其能源-环境效应	龚承林	中国石油大学（北京）
	林畅松	中国地质大学（北京）
	解习农	中国地质大学（武汉）
	吴时国	中国科学院深海科学与工程研究所
18、海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法	李超	同济大学
	乔淑卿	自然资源部第一海洋研究所

	毕乃双	中国海洋大学
19、南海珊瑚礁：过去、现在与将来	余克服	广西大学
	高树基	厦门大学
	邓文峰	中国科学院广州地球化学研究所
20、南海成礁以来生物礁与西沙群岛珊瑚礁白云岩	许红	自然资源部第一海洋研究所/青岛海洋地质研究所
	何治亮	中石化勘探开发研究院
	刘建波	北京大学
21、南海海洋科学国际合作前景	刘志飞	同济大学
	戴民汉	厦门大学
	于卫东	中山大学

主题三：生物地球化学循环		
专题	**召集人**	**单位**
22、 深海盆洋陆相互作用：环流、沉积和生物地球化学过程	戴民汉	厦门大学
	王桂华	复旦大学
	刘志飞	同济大学
	曹知勉	厦门大学
23、有机碳与矿物的相互作用	董海良	中国地质大学（北京）
	王风平	上海交通大学
24、碳-14 生物地球化学循环	包锐	中国海洋大学
	周卫健	中国科学院地球环境研究所

	徐胜	天津大学
25、生物泵与微生物碳泵相互作用下的海洋碳循环	焦念志	厦门大学
	谢树成	中国地质大学（武汉）
	董海良	中国地质大学（北京）
	王晓雪	中国科学院南海海洋研究所
	陈建芳	自然资源部第二海洋研究所
26、深海极端环境下的生命：从冷泉、热液到深部生物圈	王风平	上海交通大学
	张锐	厦门大学
	李江涛	同济大学
27、水生关键带有机碳循环过程：从分子水平到全球尺度	姚鹏	中国海洋大学
	冯晓娟	中国科学院植物研究所
	何伟	中国地质大学（北京）
28、有机分子的生物地球化学：现代过程与沉积记录	贾国东	同济大学
	许云平	上海海洋大学
	侯居峙	中国科学院青藏高原研究所
29、海底流体活动的现代过程与地质记录	冯东	上海海洋大学
	罗敏	上海海洋大学
	王宏斌	广州海洋地质调查局

主题四：深部过程与行星循环		
专题	**召集人**	**单位**
30、南海边缘海动力学演化研究新突破	林间	中国科学院南海海洋研究所/美国伍兹霍尔海洋研究所
	徐义刚	中国科学院广州地球化学研究所
	李家彪	自然资源部第二海洋研究所
31、东南亚环形俯冲体系的地球动力学过程	李家彪	自然资源部第二海洋研究所
	林间	中国科学院南海海洋研究所/美国伍兹霍尔海洋研究所
	丁巍伟	自然资源部第二海洋研究所
	孔凡圣	自然资源部第二海洋研究所
32、大洋岩石圈成因与深部物质循环	张国良	中国科学院海洋研究所
	刘传周	中国科学院地质与地球物理研究所
	李洪颜	中国科学院广州地球化学研究所
	田丽艳	中国科学院深海科学与工程研究所
	杨阳	中国科学院广州地球化学研究所
	钟立峰	南方海洋实验室
33、俯冲带变形、地震与岩浆活动过程的地球动力学机制	张帆	中国科学院南海海洋研究所
	高翔	中国科学院海洋研究所
	周志远	中国科学院南海海洋研究所
34、比较行星学	杨军	北京大学
	孔大力	中国科学院上海天文台

	陈果	中国科学院紫金山天文台
	胡永云	北京大学
35、南海未来大洋钻探的建议/科学问题与目标	孙珍	中国科学院南海海洋研究所
	李春峰	浙江大学
	丁巍伟	自然资源部第二海洋研究所
	刘志飞	同济大学
36、太平洋俯冲带的演变	金之钧	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
	黄奇瑜	同济大学
	孟庆任	中国科学院地质与地球物理研究所
37、西太—东亚岩浆作用的海陆对比	徐义刚	中国科学院广州地球化学研究所
	许文良	吉林大学
	孙卫东	中国科学院海洋研究所
	陈立辉	南京大学
	李洪颜	中国科学院广州地球化学研究所
	李忠海	中国科学院大学

主题五：海洋资源、灾害与技术		
专题	**召集人**	**单位**
38、西太—东亚中新生代盆地流体活动及资源环境效应	金之钧	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
	孙卫东	中国科学院海洋研究所

	刘全有	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
39、多圈层相互作用与深海关键战略矿产资源	石学法	自然资源部第一海洋研究所
	吴能友	青岛海洋地质研究所
	孙晓明	中山大学
40、现代深海热液系统：物质循环与资源效应	陶春辉	自然资源部第二海洋研究所
	周怀阳	同济大学
	曾志刚	中国科学院海洋研究所
	韩喜球	自然资源部第二海洋研究所
41、油气与金属矿产形成和改造过程中有机—无机反应机理	蔡春芳	中国科学院地质与地球物理研究所
	刘全有	中石化勘探开发研究院
	秦明宽	核工业地质研究院
	谢桂青	中国地质科学院
	姜磊	中国科学院地质与地球物理研究所
42、深层和非常规资源：地球科学和工程问题	赵峦啸	同济大学
	方鑫定	南方科技大学
	黄建平	中国石油大学（华东）
	张丰收	同济大学
43、地震孕震、地震活动与地震灾害	罗纲	武汉大学
	柳畅	同济大学
	许才军	武汉大学
44、海洋地质灾害	吴时国	中国科学院深海科学与工程研究所

	贾永刚	中国海洋大学
	王大伟	中国科学院深海科学与工程研究所
46、海底观测网的关键科学问题和国家需求	杨守业	同济大学
	周怀阳	同济大学
	汪亚平	华东师范大学
	蔡平河	厦门大学
	李风华	中国科学院声学研究所
	王海黎	厦门大学
	李朝晖	中山大学
	吴自银	自然资源部第二海洋研究所
	谢晓辉	自然资源部第二海洋研究所

主题六：科普和教育		
专题	**召集人**	**单位**
47、华夏山水的由来（三）	郑洪波	云南大学
	汪品先	同济大学
48、丝绸之路文明演化与环境变化	董广辉	兰州大学
	陈建徽	兰州大学
	马敏敏	兰州大学

大会学术日程索引表

7 月6 日			7 月 7 日	7 月 8 日	7 月9日	7 月10日
会议报到（12:00-21:00） 自助晚餐（17:30-19:00）	8:30-10:00	分会场 1：二楼悦贵厅1号	专题01：地质历史上的季风系统（1）	专题01：地质历史上的季风系统（4）	专题06：晚第四纪高分辨率陆海气候对比：从指标到记录（1）	专题06：晚第四纪高分辨率陆海气候对比：从指标到记录（3）
		分会场 2：二楼悦贵厅2号	专题18：海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法（1）	专题18：海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法（4）	专题46：海底观测网的关键科学问题和国家需求（1）	专题46：海底观测网的关键科学问题和国家需求（3）
		分会场 3：二楼悦贵厅3号	专题28：有机分子的生物地球化学：现代过程与沉积记录（1）	专题03：深时冰室气候下的地球系统演化（1）	专题19：南海珊瑚礁：过去、现在与将来（1）	专题15：极地多时空尺度冰—海—气相互作用（1）
		分会场 4：三楼1号会议室	专题09：南海盆地发育中的沉积环境演变（1）	专题10：深海沉积与全球变化（1）	专题21：南海海洋科学国际合作前景（1）	专题33：俯冲带变形、地震与岩浆活动过程的地球动力学机制（1）
		分会场 5：三楼2号会议室	专题31：东南亚环形俯冲体系的地球动力学过程（1）	专题30：南海边缘海动力学演化研究新突破（1）	专题23：有机碳与矿物的相互作用（1）	专题35：南海未来大洋钻探的建议/科学问题与目标（1）
		分会场 6：三楼3号会议室	专题25：生物泵与微生物碳泵相互作用下的海洋碳循环（1）	专题32：大洋岩石圈成因与深部物质循环（1）	专题37：西太—东亚岩浆作用的海陆对比（1）	专题37：西太—东亚岩浆作用的海陆对比（2）
		分会场 7：三楼5号会议室	专题41：油气与金属矿产形成和改造过程中有机—无机反应机理（1）	专题44：海洋地质灾害（1）	专题14：南北半球互动以及低纬过程（1）	专题14：南北半球互动以及低纬过程（3）
		分会场 8：三楼6号会议室	专题20：南海成礁以来生物礁与西沙群岛珊瑚礁白云岩（1）	专题05：青藏高原隆升与地貌发育、风化剥蚀和环境变化（2）	专题04：温室气候地球轨道力驱动的水文循环与数值模拟（1）	专题17：深水沉积的源—汇过程及其能源—环境效应（1）
		分会场 9：三楼7号会议室	专题40：现代深海热液系统：物质循环与资源效应（1）	专题02：大陆风化动力学与物质循环（2）	专题27：水生关键带有机碳循环过程：从分子水平到全球尺度（1）	专题27：水生关键带有机碳循环过程：从分子水平到全球尺度（2）
		分会场 10：三楼8号会议室	专题22：深海盆洋陆相互作用：环流 、沉积和生物地球化学过程（1）	专题22：深海盆洋陆相互作用：环流 、沉积和生物地球化学过程（3）	专题22：深海盆洋陆相互作用：环流、沉积和生物地球化学过程（5）	专题29：海底流体活动的现代过程与地质记录（1）

会议报到（12:00-21:00） 自助晚餐（17:30-19:00）	10:00-10:20	茶歇				
	10:20-11:50	分会场 1：二楼悦贵厅1号	专题01：地质历史上的季风系统（2）	专题01：地质历史上的季风系统（5）	专题06：晚第四纪高分辨率陆海气候对比：从指标到记录（2）	专题06：晚第四纪高分辨率陆海气候对比：从指标到记录（4）
		分会场 2：二楼悦贵厅2号	专题18：海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法（2）	专题18：海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法（5）	专题46：海底观测网的关键科学问题和国家需求（2）	专题46：海底观测网的关键科学问题和国家需求（4）
		分会场 3：二楼悦贵厅3号	专题28：有机分子的生物地球化学：现代过程与沉积记录（2）	专题03：深时冰室气候下的地球系统演化（2）	专题19：南海珊瑚礁：过去、现在与将来（2）	专题15：极地多时空尺度冰—海—气相互作用（2）
		分会场 4：三楼1号会议室	专题24：碳-14生物地球化学循环	专题10：深海沉积与全球变化（2）	专题21：南海海洋科学国际合作前景（2）	专题33：俯冲带变形、地震与岩浆活动过程的地球动力学机制（2）
		分会场 5：三楼2号会议室	专题31：东南亚环形俯冲体系的地球动力学过程（2）	专题30：南海边缘海动力学演化研究新突破（2）	专题23：有机碳与矿物的相互作用（2）	专题35：南海未来大洋钻探的建议/科学问题与目标（2）
		分会场 6：三楼3号会议室	专题25：生物泵与微生物碳泵相互作用下的海洋碳循环（2）	专题32：大洋岩石圈成因与深部物质循环（2）	专题32：大洋岩石圈成因与深部物质循环（4）	专题42：深层和非常规资源：地球科学和工程问题（1）
		分会场 7：三楼5号会议室	专题41：油气与金属矿产形成和改造过程中有机—无机反应机理（2）	专题44：海洋地质灾害（2）	专题14：南北半球互动以及低纬过程（2）	专题14：南北半球互动以及低纬过程（4）
		分会场 8：三楼6号会议室	专题20：南海成礁以来生物礁与西沙群岛珊瑚礁白云岩（2）	专题05：青藏高原隆升与地貌发育、风化剥蚀和环境变化（3）	专题04：温室气候地球轨道力驱动的水文循环与数值模拟（2）	专题17：深水沉积的源—汇过程及其能源—环境效应（2）
		分会场 9：三楼7号会议室	专题40：现代深海热液系统：物质循环与资源效应（2）	专题02：大陆风化动力学与物质循环（3）	专题43：地震孕震、地震活动与地震灾害（1）	专题27：水生关键带有机碳循环过程：从分子水平到全球尺度（3）
		分会场 10：三楼8号会议室	专题22：深海盆洋陆相互作用：环流 、沉积和生物地球化学过程（2）	专题22：深海盆洋陆相互作用：环流 、沉积和生物地球化学过程（4）	专题47：华夏山水的由来（三）	专题29：海底流体活动的现代过程与地质记录（2）
	12:00-14:00	午餐：12:00~13:30 展板：12:30~14:00	展板：专题01、02、05、09、16、18 、20、22、24、25、38	展板：专题03、08、10、12、17、28 、30、31、32、36、39、40、41、44 、48	展板：专题04、06、14、19、21、23、26、27、34、37、47	展板：专题07、11、15、17、29、33 、35、42、43、46

会议报到（12:00-21:00） 自助晚餐（17:30-19:00）	14:00-15:30	分会场 1：二楼悦贵厅1号	专题01：地质历史上的季风系统（3）	专题48：丝绸之路文明演化与环境变化（1）	专题48：丝绸之路文明演化与环境变化（2）	
		分会场 2：二楼悦贵厅2号	专题18：海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法（3）	专题08：三角洲环境演变：人类活动和气候变化（1）	专题08：三角洲环境演变：人类活动和气候变化（2）	专题46：海底观测网的关键科学问题和国家需求（5）
		分会场 3：二楼悦贵厅3号	专题28：有机分子的生物地球化学：现代过程与沉积记录（3）	专题28：有机分子的生物地球化学：现代过程与沉积记录（4）	专题19：南海珊瑚礁：过去、现在与将来（3）	专题15：极地多时空尺度冰—海—气相互作用（3）
		分会场 4：三楼1号会议室	专题09：南海盆地发育中的沉积环境演变（2）	专题10：深海沉积与全球变化（3）	专题10：深海沉积与全球变化（4）	专题11：低纬气候过程的重建：记录整合与数值模拟
		分会场 5：三楼2号会议室	专题38：西太—东亚中新生代盆流体活动及资源环境效应	专题30：南海边缘海动力学演化研究新突破（3）	专题34：比较行星学（1）	专题34：比较行星学（2）
		分会场 6：三楼3号会议室	专题16：深渊的地质、环境与生命过程：板块俯冲驱动与相互作用机制	专题32：大洋岩石圈成因与深部物质循环（3）	河口海岸地质资源暨长三角青年论坛	专题42：深层和非常规资源：地球科学和工程问题（2）
		分会场 7：三楼5号会议室	专题39：多圈层相互作用与深海关键战略矿产资源（1）	专题39：多圈层相互作用与深海关键战略矿产资源（2）	专题26：深海极端环境下的生命：从冷泉、热液到深部生物圈（1）	专题26：深海极端环境下的生命：从冷泉、热液到深部生物圈（2）
		分会场 8：三楼6号会议室	专题05：青藏高原隆升与地貌发育、风化剥蚀和环境变化（1）	专题36：太平洋俯冲带的演变（1）	专题36：太平洋俯冲带的演变（2）	专题07：前寒武以来405 ka偏心率长周期的地质演变
		分会场 9：三楼7号会议室	专题02：大陆风化动力学与物质循环（1）	专题12：亚洲—太平洋地区中晚全新世高分辨率气候变化	专题43：地震孕震、地震活动与地震灾害（2）	专题43：地震孕震、地震活动与地震灾害（3）
	15:30-15:50	茶歇				
学术委员和召集人预备会（分会场10：三楼8号会议室）	15:50-17:50	主会场：东方厅	**大会特邀报告**	**大会特邀报告**	**青年学者论坛**	**大会闭幕式：地球系统科学战略研究中期汇报（15:50~17:30）**
	19:30-21:30	分会场	**圆桌论坛：“深部地球的富氧活动”（分会场 10：三楼8号会议室）**	**信息发布会（东方厅1号）（19:30-21:00）**		

<table>
<tr><td rowspan="4">注释：</td><td>主题一：地球表层环境演变（专题01~08）</td><td>主题四：深部过程与行星循环
（专题30~37）</td><td>圆桌论坛</td><td></td></tr>
<tr><td>主题二：海洋与气候（专题09~21）</td><td>主题五：深海资源与地质灾害
（专题38~46）</td><td rowspan="2">（1）、（2）、（3）：时间单元序号，分别指该专题第一个、第二个、第三个时间单元；每个时间单元90分钟。只有一个时间单元的专题未标时间单元序号 。</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>主题三：生物地球化学循环（专题22~29）</td><td>主题六：科普和教育
（专题47~48）</td></tr>
<tr><td colspan="3">每个展板只展示一天，当天有展板报告的作者请务必于12:30-14:00期间在本人展板前交流。</td></tr>
</table>

第六届地球系统科学大会日程

口头报告				
7月7日 上午 08:30~11:50				
分会场 1：二楼悦贵厅1号				7月7日上午
专题01：地质历史上的季风系统（1） 主持人：郭正堂、鹿化煜				
08:30-08:45	S01-O-01	氧循环与地球系统的耦合相互作用	黄建平	兰州大学
08:45-09:00	S01-O-02	中始新世以来亚洲季风气候变迁的渭河盆地沉积记录	鹿化煜	南京大学
09:00-09:15	S01-O-03	青藏高原东南缘剑川盆地始新世风成沉积记录及其对季风的指示意义	许欢	云南大学
09:15-09:30	S01-O-04	晚中新世南海孢粉记录与亚洲季风演化	苗运法	中国科学院西北生态环境资源研究院
09:30-09:45	S01-O-05	History and evolution of South Asian monsoonal rainfall during the middle Miocene	Steinke Stephan	厦门大学
09:45-10:00	S01-O-06	运用黄土高原成壤碳酸盐重建古大气CO_2浓度	达佳伟	南京大学
10:00-10:20	茶歇			
专题01：地质历史上的季风系统（2）主持人：程海、郝青振				
10:20-10:35	S01-O-07	高–低纬过程对青藏高原气候的影响	赵艳	中国科学院地理科学与资源研究所
10:35-10:50	S01-O-08	阿拉伯海U1467孔碎屑组分Sr-Nd同位素记录的12 Ma以来印度夏季风演化	姚政权	自然资源部第一海洋研究所
10:50-11:05	S01-O-09	东亚季风区内部和季风边缘区全新世适宜期发生时间的不同步	周鑫	中国科学技术大学
11:05-11:20	S01-O-10	我国东北地区黄土硼同位素记录的过去80万年以来东亚夏季风强度变化	雷昉	南京大学
11:20-11:35	S01-O-11	末次间冰期以来长江流域降水的全球冰量效应：来自异地石笋氧同位素组成差异的证据	胡超涌	中国地质大学（武汉）

11:35-11:50	S01-O-12	下蜀黄土的古环境意义：新的磁性矿物学、成壤地层学和磁性地层学证据	高新勃	中国科学院地质与地球物理研究所

口头报告				
7月7日 上午 08:30~11:50				
分会场 2：二楼悦贵厅2号				7月7日上午
专题18：海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法（1） 主持人：李超				
08:30-08:45	S18-O-01	地层正演模拟：一种定量研究源–汇系统的有效方法（邀请报告）	刘可禹	中国石油大学（华东）
08:45-09:00	S18-O-02	中国东部海域现代沉积物源–汇过程	乔淑卿	自然资源部第一海洋研究所
09:00-09:15	S18-O-03	亚热带山溪性河流入海沉积物组成及输运过程的季节时间尺度多样性	简星	厦门大学
09:15-09:30	S18-O-04	晚第四纪亚洲低纬度深海沉积过程：Nd同位素示踪	于兆杰	中国科学院海洋研究所
09:30-09:45	S18-O-05	末次冰期以来孟加拉湾不同尺度的“源–汇”过程及其气候控制机制	李景瑞	青岛海洋科学与技术试点国家实验室
09:45-10:00	S18-O-06	150年前长江三角洲环境快速变化的沉积证据	牛文蕾	华东师范大学
10:00-10:20	茶歇			
专题18：海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法（2） 主持人：乔淑卿				
10:20-10:35	S18-O-07	台风对东海内陆架沉积动力过程的影响机制：以台风灿鸿为例（邀请报告）	王厚杰	中国海洋大学
10:35-10:50	S18-O-08	杭州湾沿岸良渚文化末期极端风暴事件的地层记录和数值模拟	王张华	华东师范大学
10:50-11:05	S18-O-09	黄河现行三角洲叶瓣蚀积演化：过程与机制	毕乃双	中国海洋大学
11:05-11:20	S18-O-10	流域尺度风化壳侵蚀深度及其对气候变化的响应	李超	同济大学
11:20-11:35	S18-O-11	苏北辐射沙洲海岸潮滩地貌动态及其沉积环境研究	赵一飞	南京师范大学

11:35-11:50	S18-O-12	Quantitative geochemistry as a provenance indicator for surface sediments in the north Jiangsu radial sand ridges (NJRSR) in the South Yellow Sea, east China	曹季成	南京师范大学

口头报告				
7月7日 上午 08:30~11:50				
分会场 3：二楼悦贵厅3号				7月7日上午
专题28：有机分子的生物地球化学：现代过程与沉积记录（1） 主持人：许云平				
08:30-08:45	S28-O-01	Source, composition, and distributional pattern of branched tetraethers in sediments of northern Chinese marginal seas（邀请报告）	肖文杰	南方科技大学
08:45-09:00	S28-O-02	Improved paleotemperature proxy derived from branched GDGTs in South China Sea	李丽	同济大学
09:00-09:15	S28-O-03	细菌3-羟基脂肪酸的海水表层温度代用指标（RAN13）的建立及其古气候应用	杨义	中国地质大学（武汉）
09:15-09:30	S28-O-04	Responses of archaeal tetraether lipids to oxygen levels in seawater: implications for archaeal lipid-based redox proxies	郭金强	中国科学院海洋研究所
09:30-09:45	S28-O-05	火山灰输入促进深海底部化能生物合成有机碳：来自马里亚纳海槽凝灰岩的证据	李太思	中国科学院深海科学与工程研究所
09:45-10:00	S28-O-06	马里亚纳海沟沉积物自生支链甘油二烷基甘油四醚的分布特征及生物来源研究	曾芝郁	南方科技大学
10:00-10:20	茶歇			
专题28：有机分子的生物地球化学：现代过程与沉积记录（2） 主持人：侯居峙				
10:20-10:35	S28-O-07	水位深度对湖泊brGDGT古温标的潜在影响	曹建涛	同济大学
10:35-10:50	S28-O-08	新的长链烯酮同分异构体RIK$_{37}$指标在湖泊盐度重建中的应用	姚远	西安交通大学
10:50-11:05	S28-O-09	末次冰期以来西南季风区气候演变	赵成	南京大学
11:05-11:20	S28-O-10	湖光岩玛珥湖异形胞蓝细菌生物标志物对季风气候的指示意义	康曼玉	同济大学

11:20-11:35	S28-O-11	碱湖与硫酸盐型盐湖沉积物中GDGTs的分布差异	齐雯	中国石油勘探开发研究院西北分院
11:35-11:50	S28-O-12	甘油二烷基甘油四醚（GDGTs）在示踪小型亚热带河流–河口系统有机物来源中的应用	余凤玲	厦门大学

口头报告				
7月7日 上午 08:30~11:50				
分会场 4：三楼1号会议室				7月7日上午
专题09：南海盆地发育中的沉积环境演变（1） 主持人：解习农				
08:30-08:45	S09-O-01	南海北部中晚中新世底栖有孔虫群落及其对深部水团特征的指示意义	李保华	中国科学院南京地质古生物研究所
08:45-09:00	S09-O-02	南海北部深水区“海源海相烃源岩”	刘传联	同济大学
09:00-09:15	S09-O-03	揭示南海IODP 368航次1502站点晚中新世沉积物“红绿”韵律层的成因之谜	金晓波	同济大学
09:15-09:30	S09-O-04	南海北部中中新世以来钙质超微化石群落演变及其生态环境意义	王亚苏	暨南大学
09:30-09:45	S09-O-05	南海深层水环流在晚中新世的突然增强：来自鱼牙化石钕同位素的证据	李科	同济大学
09:45-10:00	S09-O-06	渐新–早中新世南海北部洋陆过渡带深水环境演化的沉积记录研究	马鹏飞	同济大学
10:00-10:20	茶歇			
专题24：碳-14生物地球化学循环 主持人：包锐、徐胜				
10:20-10:35	S24-O-01	我国城市大气化石源CO_2的^{14}C示踪研究（邀请报告）	周卫健	中国科学院地球环境研究所
10:35-10:50	S24-O-02	我国本底地区大气和树轮^{14}C观测与化石源CO_2示踪研究	牛振川	中国科学院地球环境研究所
10:50-11:05	S24-O-03	喀斯特小流域水面CO_2气体排放特征及其来源辨识	丁虎	天津大学
11:05-11:20	S24-O-04	Stronger mineral than temperature controls on the turnover of slow-cycling soil carbon	贾娟	中国科学院植物研究所

11:20-11:35	S24-O-05	基于^{14}C评估火山流域深部碳对地表碳的影响	钟君	天津大学
11:35-11:50	S24-O-06	南海北部周边河流颗粒有机质来源研究	林宝治	同济大学

口头报告				
7月7日 上午 08:30~11:50				
分会场 5：三楼2号会议室				7月7日上午
专题31：东南亚环形俯冲体系的地球动力学过程（1） 主持人：林间、丁巍伟				
08:30-08:45	S31-O-01	东南亚环形俯冲系统深部结构研究的回顾与进展	李家彪 孔凡圣	自然资源部第二海洋研究所
08:45-09:00	S31-O-02	南海海盆海底地震仪天然地震层析成像（邀请报告）	牛雄伟	自然资源部第二海洋研究所
09:00-09:15	S31-O-03	南海MORB源区辉石岩的新证据及其地球动力学意义	杨帆	中国科学院广州地球化学研究所
09:15-09:30	S31-O-04	东南亚环形俯冲的南海及东南亚响应	关成尧	防灾科技学院
09:30-09:45	S31-O-05	南海及邻近地区面波方位各向异性成像研究	范兴利	南方科技大学
09:45-10:00	S31-O-06	被动陆缘向主动陆缘转换的例子：北苏拉威西海	董淼	中国科学院地质与地球物理研究所
10:00-10:20	茶歇			
专题31：东南亚环形俯冲体系的地球动力学过程（2） 主持人：李家彪、孔凡圣				
10:20-10:35	S31-O-07	东南亚环形俯冲：三维地幔上涌与熔融过程	林间	中国科学院南海海洋研究所/南方科技大学/美国伍兹霍尔海洋研究所
10:35-10:50	S31-O-08	环南海俯冲带深部地幔结构（邀请报告）	范建柯	中国科学院海洋研究所
10:50-11:05	S31-O-09	环苏拉威西海多俯冲带地区上地幔形变特征研究	曹令敏	中国科学院南海海洋研究所

11:05-11:20	S31-O-10	南海西南次海盆残留扩张中心后扩张期海山的速度结构及其对海山演化的指示	张洁	自然资源部第二海洋研究所
11:20-11:35	S31-O-11	巴拉望陆块碎屑物源与南海东部古地理演化	曹立成	中国地质大学（武汉）
11:35-11:50	S31-O-12	基于接收函数叠加的爪哇俯冲带地幔转换带厚度起伏研究及其地球动力学意义	刘张聚	自然资源部第二海洋研究所

口头报告				
7月7日 上午 08:30~11:50				
分会场 6：三楼3号会议室				7月7日上午
专题25：生物泵与微生物碳泵相互作用下的海洋碳循环（1） 主持人：谢树成、董海良				
08:30-08:45	S25-O-01	微型生物碳泵与生物泵和碳酸盐泵的协同作用效应（邀请报告）	焦念志	厦门大学
08:45-09:00	S25-O-02	Ocean deoxygenation and acidification have opposing effects on phytoplankton growth and productivity （邀请报告）	高坤山	厦门大学
09:00-09:15	S25-O-03	14亿年前海洋中的铁循环与有机质富集	王华建	中国石油勘探开发研究院
09:15-09:30	S25-O-04	“矿物增效的生物泵”可望用于提高海洋固碳效率	袁鹏	中国科学院广州地球化学研究所
09:30-09:45	S25-O-05	西太平洋溶解有机物在南的海物理交换和微生物转化过程的分子水平分析	江鹏	厦门大学
09:45-10:00	S25-O-06	南海溶解有机碳收支的数值模拟	马文涛	自然资源部第二海洋研究所
10:00-10:20	茶歇			
专题25：生物泵与微生物碳泵相互作用下的海洋碳循环（2） 主持人：谢树成、董海良				
10:20-10:35	S25-O-07	DNA-barcoding and RNA-seq reveals the dominant contribution of metazoan and dinoflagellates to carbon export and dynamic	林森杰	厦门大学
10:35-10:50	S25-O-08	新元古代雪球地球中的碳循环过程	沈冰	北京大学

10:50-11:05	S25-O-09	全球海洋有机碳通量的估算以及碳通量对气候变暖的响应	王为磊	厦门大学
11:05-11:20	S25-O-10	硅藻膜脂化感物在近海的分布及其碳循环应用初探	吴正超	中国科学院南海海洋研究所
11:20-11:35	S25-O-11	埃迪卡拉纪海洋生物泵–微生物碳泵对地表环境调控的定量模拟：结果与启示	石炜	中国地质大学（武汉）
11:35-11:50	S25-O-12	氧循环对碳中和的启示：估算海洋碳汇的新视角	李昶豫	兰州大学

口头报告				
7月7日 上午 08:30~11:50				
分会场 7：三楼5号会议室				7月7日上午
专题41：油气与金属矿产形成和改造过程中有机–无机反应机理（1） 主持人：蔡春芳、刘全有、姜磊				
08:30-08:45	S41-O-01	锰驱动的甲烷厌氧氧化产生极轻碳和氧同位素的方解石	蔡春芳	中国科学院地质与地球物理研究所
08:45-09:00	S41-O-02	深层高温“烃–水–长石”体系中有机–无机相互作用机理	远光辉	中国石油大学（华东）
09:00-09:15	S41-O-03	南盘江–右江盆地油气成藏与金矿成矿耦合关系：沥青及黄铁矿Re-Os同位素年代约束	葛翔	中国地质大学（武汉）
09:15-09:30	S41-O-04	成岩作用早期黄铁矿对有机质中分子化合物的影响	许汇源	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
09:30-09:45	S41-O-05	沉积盆地氧化还原条件对生烃演化的影响及意义	吴嘉	中国石油大学（北京）
09:45-10:00	S41-O-06	TCA焦沥青参与硫酸盐热化学还原反应的模拟实验研究：以晕苯为模型化合物	丁康乐	长江大学
10:00-10:20	茶歇			
专题41：油气与金属矿产形成和改造过程中有机–无机反应机理（2） 主持人：秦明宽、谢桂青				
10:20-10:35	S41-O-07	中国北方产铀盆地地质构造特点与砂岩铀矿成矿作用 （邀请报告）	秦明宽	核工业北京地质研究院

10:35-10:50	S41-O-08	基性岩侵入对砂岩储层成岩作用和物性特征的影响：以钱家店铀矿床为例	荣辉	中国地质大学（武汉）
10:50-11:05	S41-O-09	松辽盆地西南部姚下段有机质特征及其铀成矿意义	黄少华	核工业北京地质研究院
11:05-11:20	S41-O-10	固体沥青催化加H_2生烃作用研究——以四川盆地矿山梁地区寒武系低熟沥青为例	黄晓伟	中国地质大学（北京）
11:20-11:35	S41-O-11	烃源岩加氢生烃过程对氢元素的选择性吸收：来自模拟实验的证据	孟庆强	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
11:35-11:50	S41-O-12	塔里木盆地巴楚隆起下寒武统TSR作用及方解石U-Pb定年约束	陶小晚	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

口头报告				
7月7日 上午 08:30~11:50				
分会场 8：三楼6号会议室				7月7日上午
专题20：南海成礁以来生物礁与西沙群岛珊瑚礁白云岩（1） 主持人：许红、刘建波				
08:30-08:45	S20-O-01	30年磨一剑：从一孔之见到多孔之见的中国植物藻类造礁作用理论研究（邀请报告）	许红	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
08:45-09:00	S20-O-02	塔里木盆地寒武系岩溶型白云岩储层类型及水–岩作用特征	黄理力	中国石油杭州地质研究院
09:00-09:15	S20-O-03	南海北部珊瑚群落资源现状与珊瑚礁修复技术研究进展——以深圳为例	廖宝林	广东海洋大学
09:15-09:30	S20-O-04	塔里木盆地南华–震旦系岩相古地理与白云岩储层特征	潘文庆	中国石油塔里木油田公司
09:30-09:45	S20-O-05	南海南部中新世碳酸盐台地和生物礁繁盛发育特征及与多圈层演化之间的成因关系	鄢伟	中国地质调查局广州海洋地质调查局
09:45-10:00	S20-O-06	铁白云石的形成与硫化氢的消减——以鄂尔多斯盆地马家沟组为例	张军涛	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
10:00-10:20	茶歇			

专题20：南海成礁以来生物礁与西沙群岛珊瑚礁白云岩（2） 主持人：何治亮、刘建波				
10:20-10:35	S20-O-07	中国的白云岩与白云岩储层：分布、成因与控制因素（邀请报告）	何治亮	中国石油化工股份有限公司
10:35-10:50	S20-O-08	南海西科1井致密白云岩特征及成岩环境探讨	董刚	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
10:50-11:05	S20-O-09	西沙群岛白云岩–铁白云岩空间变异的特征：来自地球化学的证据	沈江远	自然资源部第一海洋研究所
11:05-11:20	S20-O-10	南海生物礁同位素地层学研究	田立军	中国科学院地质与地球物理研究所
11:20-11:35	S20-O-11	现代生物礁生物钙化机制的实验研究	丁茜	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
11:35-11:50	S20-O-12	西科1井深层致密白云岩–铁白云岩岩相特征与成因	许红	中国地质调查局青岛海洋地质研究所

口头报告				
7月7日 上午 08:30~11:50				
分会场 9：三楼7号会议室				7月7日上午
专题40：现代深海热液系统：物质循环与资源效应（1） 主持人：陶春辉、周怀阳				
08:30-08:45	S40-O-01	西南印度洋中脊钙质生物碎屑分布与影响因素初探（邀请报告）	苏新	中国地质大学（北京）
08:45-09:00	S40-O-02	西南印度洋沉积物有孔虫矿物学和地球化学特征及对热液活动的示踪（邀请报告）	孙晓明	中山大学
09:00-09:15	S40-O-03	洋中脊非转换不连续带热液成矿特征、条件和模式：以卡尔斯伯格脊大糟热液区为例	韩喜球	自然资源部第二海洋研究所
09:15-09:30	S40-O-04	马里亚纳弧后盆地热液羽流中铁形态特征研究	王虎	同济大学
09:30-09:45	S40-O-05	深海热液硫化物矿物能量转化效应研究	李艳	北京大学
09:45-10:00	S40-O-06	深海热液系统中PGE的分布和循环——基于金属络合物水解行为的新视角	丁兴	中国科学院广州地球化学研究所

10:00-10:20	茶歇			
专题40：现代深海热液系统：物质循环与资源效应（2） 主持人：曾志刚、韩喜球				
10:20-10:35	S40-O-07	超慢速扩张洋脊高温热液循环机制新认识：地幔传导热驱动型循环模型	陶春辉	自然资源部第二海洋研究所
10:35-10:50	S40-O-08	中印度洋洋盆深海沉积物的热液信号解析	张霄宇	浙江大学
10:50-11:05	S40-O-09	High-cavent fluids discharged from the Lutao arc volcanic hydrothermal system are associated with albitization and recycling of marine carbonate	陈雪刚	浙江大学
11:05-11:20	S40-O-10	超慢速扩张洋脊发育深循环的氧化型热液系统	廖时理	自然资源部第二海洋研究所
11:20-11:35	S40-O-11	西南印度洋天作热液区金属硫化物矿床的物质来源及控矿因素	曹红	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
11:35-11:50	S40-O-12	西南印度洋中脊玉皇–1热液区底质分布特征与资源量估算	於俊宇	浙江大学

口头报告				
7月7日 上午 08:30~11:50				
分会场 10：三楼8号会议室				7月7日上午
专题22：深海盆洋陆相互作用：环流、沉积和生物地球化学过程（1） 主持人：王桂华				
08:30-08:45	S22-O-01	深海海山（海山链）环流结构与驱动机制（邀请报告）	田纪伟	中国海洋大学
08:45-09:00	S22-O-02	马里亚纳深海/深渊区内潮动力机制及混合效应	徐振华	中国科学院海洋研究所
09:00-09:15	S22-O-03	菲律宾海深层环流空间特征及水团变异	周春	中国海洋大学
09:15-09:30	S22-O-04	西太深层西边界流时间变化及其对区域深海环流的调控	徐洪周	中国科学院深海科学与工程研究所
09:30-09:45	S22-O-05	南海Stokes层状交替旋转环流的热点动力学（邀请报告）	甘剑平	香港科技大学

09:45-10:00	S22-O-06	Variations of temperature and salinity in the deep South China Sea associated with ENSO flavors	林羽馨	南方科技大学
10:00-10:20	茶歇			
专题22：深海盆洋陆相互作用：环流、沉积和生物地球化学过程（2） 主持人：曹知勉				
10:20-10:35	S22-O-07	海洋沉积物中微生物介导的碳转化过程和机制的认识（邀请报告）	王风平	上海交通大学
10:35-10:50	S22-O-08	Seasonal change in particle flux maxima in the mesopelagic zone at the shelf-edge and the role of sediment advections by submesoscale vortexes	李芊	中国科学院南海海洋研究所
10:50-11:05	S22-O-09	Microbially-driven fate of terrigenous particulate organic matter in oceans	张瑶	厦门大学
11:05-11:20	S22-O-10	基于海洋溶解氧观测值的全球海洋最小含氧带的面积变化	周韫韬	上海交通大学
11:20-11:35	S22-O-11	北太平洋硝酸盐动力学过程：海盆尺度硝酸盐同位素信号的演变	杨进宇	厦门大学
11:35-11:50	S22-O-12	P-limitation promotes carbon export in the cosmopolitan phytoplankton *Emiliania huxleyi*	王聪	厦门大学

第六届地球系统科学大会日程

7月7日 午餐：12:00~13:30			
展板报告：12:30~14:00			
专题01：地质历史上的季风系统			
S01-P-01	碳酸盐岩铬同位素作为古环境指标的机制探究	方子遥	中国科学技术大学
S01-P-02	特提斯喜马拉雅白垩纪中期红层古地磁结果及其地质意义	边伟伟	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-03	珠穆朗玛峰对南亚季风的“阻挡效应”	安文玲	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-04	超级季风相似型–欧亚非大陆季风	李瀚瑛	西安交通大学

S01-P-05S	早始新世气候极热事件（EECO）的驱动机制综述	张少华	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-06S	新生代以来青藏高原东北缘古气候定量重建	贾云霞	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-07	中中新世（~14 Ma）和晚中新世（~6 Ma）全球古地理重建	贺志霖	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-08S	大同盆地晚新生代沉积环境演化对构造、气候的响应	张浣荻	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-09S	泥河湾盆地晚上新世–早更新世植被与气候变化对地球轨道周期的响应	张振	河北师范大学
S01-P-10	我国东北第四纪哺乳动物演化与构造、季风环境变化：来自大连骆驼山动物群的证据	葛俊逸	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
S01-P-11S	长江三角洲太湖地区第四纪钻孔磁性地层研究及其意义	李国敏	中国地质大学（武汉）
S01-P-12	我国南方下蜀黄土运移路径的粒度证据及其与流域环境演变的联系	江奇达	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-13S	河西走廊民乐黄土记录的20 ka以来东亚季风演化	侯梦阳	中国地质大学（武汉）
S01-P-14	鲁中山地黄土的高密度光释光测年与季风气候变化	赵秋月	泰山学院
S01-P-15S	塞尔维亚黄土的环境磁学及其古气候意义	娜米尔	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-16	塞尔维亚末次间冰期以来黄土–古土壤序列粘土矿物记录的物源和间冰期气候信息	郝青振	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-17S	伊朗西部两河流域地区黄土的初步研究	连悦辰	福建师范大学
S01-P-18S	南北半球海冰和海表温对斜率和岁差的差异性响应	吴志鹏	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-19	ENSO和IOBM对现代亚洲降水氧同位素变化的影响	谢小训	中国科学院地球环境研究所
S01-P-20	晚第四纪渤海夏季风记录与岁差–偏心率联合驱动	易亮	同济大学
S01-P-21S	东亚和印度季风区石笋氧同位素冰期间冰期变化差异的洋流影响	王健	西安交通大学

S01-P-22S	利用树轮资料重建过去700年东亚地区冬季温度变化	杨保	中国科学院西北生态环境资源研究院
S01-P-23S	中更新世转型期前后不同气候背景下千年事件的高分辨率对比研究	牛晓雯	西安交通大学
S01-P-24S	CO_2倍增对东亚夏季风与降水的影响	董曹沂	中国地质大学（武汉）
S01-P-25S	末次冰盛期以来中国泥炭发育与气候变化	刘慧	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-26S	过去千年热带火山爆发引起弱厄尔尼诺响应	薛惠鸿	中科院地质与地球物理研究所
S01-P-27S	15世纪中叶火山喷发对青藏高原和北极温度的年代际影响	刘威	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-28S	1928至1929年的严重干旱	黎永杰	中国地质大学（武汉）
S01-P-29	不同气候要素对末次冰盛期–全新世早期全球人口变化的影响	于严严	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-30	中原地区全新世气候变化、人口波动与社会韧性	任小林	中国科学院自然科学史研究所

专题02：大陆风化动力学与物质循环			
S02-P-01S	地表过程稳定钨同位素循环	杨瑞钰	南京大学
S02-P-02S	地表风化过程中的稳定钨同位素行为	刘澍	南京大学
S02-P-03S	风化剖面中颗粒铀同位素组成初步研究	欧阳盛辉	南京大学
S02-P-04	溶液饱和度对^{234}U优先溶解的影响机制研究	李乐	南京大学
S02-P-05S	塔里木盆地沙漠物质的产生机制及搬运过程探讨	朱晓雨	南京大学
S02-P-06S	河水铀同位素的构造和气候控制	李来峰	南京大学
S02-P-07S	蒸发效应对风化过程中Li同位素地球化学行为的影响	徐哲文	南京大学

S02-P-08S	黄土沉积中稀土元素在各组分间分配情况及潜在意义	刘毅杰	南京大学
S02-P-09S	中始新世晚期以来东亚气候变化的渭河盆地粘土矿物记录	吕恒志	南京大学
S02-P-10S	锂同位素定量提取河流碎屑沉积物中大陆风化信号	曹昉	同济大学
S02-P-11	冰期–间冰期尺度的硅酸盐化学风化速率变化研究的认识	黄湘通	同济大学
S02-P-12S	长江口悬浮物不同相态锂同位素行为	杨承帆	同济大学
S02-P-13	一种新的沉积物化学风化指示图解	郭玉龙	同济大学
S02-P-14S	亚洲大陆边缘硅酸盐风化强度的气候控制	李芳亮	同济大学
S02-P-15S	Spatial-temporal Cu isotopic composition variations in the Changjiang River	Vasquez Ana Cristina	同济大学
S02-P-16S	碳酸盐风化主导大河镁同位素组成	徐阳	中国科学院地球环境研究所
S02-P-17	海–气耦合过程对沙尘气溶胶直接辐射效应的影响——以西非夏季风为例	王安琪	中国科学院地球环境研究所
S02-P-18S	长江上游河流钙同位素特征及其指示意义	陈贝贝	天津大学
S02-P-19S	过去250百万年的硅酸盐风化通量	左浩悦	北京大学

专题05：青藏高原隆升与地貌发育、风化剥蚀和环境变化			
S05-P-01	塔里木和塔吉克盆地始新世物源变化及其对中帕米尔隆升过程的约束	王平	中国地质科学院地质研究所
S05-P-02S	副特提斯海海退序列的沉积环境分析——以塔西南阿尔塔什剖面为例	张毕辉	云南大学
S05-P-03	青藏高原东北缘构造隆升传递过程：来自柴达木盆地岩相序列和沉积速率的制约	李德勇	中国海洋大学
S05-P-04	Paleoenvironmental reconstruction of the latest Eocene-early Oligocene in the Hoh Xil basin based on paly-nological and ostracod records	宋博文	中国地质大学（武汉）

S05-P-05	云南始新世火山岩/火山凝灰岩和沉积岩岩石磁学对比研究及其地质意义	申苗苗	中国科学院青藏高原研究所
S05-P-06S	青藏高原东南缘剑川盆地始新世沉积演化及构造意义	刘高政	云南大学
S05-P-07	思茅盆地含钾盐勐野井组地层年代新进展及意义	颜茂都	中国科学院青藏高原研究所
S05-P-08	太原盆地晚新生代沉积充填演化及其构造指示意义	谭程鹏	中国科学院地质与地球物理研究所
S05-P-09S	地球动力学数值模拟研究青藏高原共轭走滑断层的形成机制	李顺至	中国科学院地质与地球物理研究所
S05-P-10	晚白垩世冈底斯山脉隆升气候效应模拟及对其古高程的约束	张健	中国科学院青藏高原研究所
S05-P-11S	榍石(U-Th)/He技术展望	杨莉	中国地质大学（北京）
S05-P-12	柴达木盆地早新生代化学风化强度持续降低：来自粘土矿物地球化学指标的证据	叶程程	中国科学院青藏高原研究所
S05-P-13	龙门山地区晚新生代侵蚀空间样式及对高原隆升的指示意义	王伟	中国地震局地质研究所
S05-P-14S	青藏高原气候变化对金沙江河流溶质运移的影响	徐森	天津大学
S05-P-15S	雅鲁藏布江–布拉马普特拉河–恒河现代河流沙的源汇过程示踪研究	于名扬	同济大学
S05-P-16S	帕米尔西部地区表土岩石磁学性质揭示的气候梯度变化	康健	中国科学院青藏高原研究所
S05-P-17	帕米尔西坡西风区表土支链GDGTs古高度计评估	陈炽皓	中国科学院青藏高原研究所
S05-P-18S	PETM时期中国中部干旱带存在南亚热带森林植被	谢宇龙	中国科学院青藏高原研究所

专题09：南海盆地发育中的沉积环境演变			
S09-P-01	翼花介属（介形类）的一个谱系在南海北部新生界的种化过程	周保春	上海自然博物馆（上海科技馆分馆）
S09-P-02	南海北部珠江口陆缘区陆坡沟谷发育特征及其古气候响应	王智娜	中国科学院南海海洋研究所

S09-P-03	南海北部神狐海域陆坡地貌横向差异演化及其主控因素	王星星	中国地质大学（武汉）
S09-P-04	从微米级细颗粒到毫米级以上的粗颗粒–高速动态图像法粒度粒形分析在地科样品中的应用及优势	杨侃	弗尔德（上海）仪器设备有限公司
S09-P-05S	南海海盆沉积演化过程：基于沉积通量的计算分析	王菲	上海交通大学
S09-P-06	南海东北部海域第四纪古珠江三角洲发育特征	聂鑫	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S09-P-07S	琼东南盆地大崖城区古近系裂陷期地层结构及源–渠–汇特征	汤智逸	中国地质大学（武汉）
S09-P-08S	构造–岩浆改造型盆地古地貌恢复与控砂机制——以珠江口盆地陆丰凹陷22洼古近系为例	张文淼	中国石油大学（北京）
S09-P-09	南海南部曾母盆地沉积特征分析	孙中宇	中国科学院深海科学与工程研究所
S09-P-10S	北大西洋岩石圈伸展破裂过程与被动陆缘盆地地层样式	余笑航	中国地质大学（武汉）
S09-P-11S	渤海海域深层潜山成山过程分析及裂缝发育特征	时梦临	中国地质大学（武汉）
S09-P-12S	琼东南盆地大崖城区古近系优质储层预测研究	杜荣青	中国地质大学（武汉）
S09-P-13	南海北部海平面升降旋回中沉积物的的元素响应关系	刘正华	上海自然博物馆（上海科技馆分馆）

专题16：深渊的地质、环境与生命过程：板块俯冲驱动与相互作用机制			
S16-P-01	海斗深渊区十字放炮与POBS精确位置校正	李子正	中国科学院南海海洋研究所
S16-P-02	马里亚纳俯冲带南段输入板块地壳结构的差异性	贺恩远	中国科学院南海海洋研究所
S16-P-03S	Ocean circulation in the challenger deep derived from super-deep underwater glider observation	江会常	中国科学院深海科学与工程研究所
S16-P-04	马里亚纳海沟沉积物的极轻钼同位素特征	陈顺	中国科学院深海科学与工程研究所

S16-P-05	马里亚纳海沟沉积物中GDGTs的分布和来源研究	他开文	中国科学院深海科学与工程研究所
S16-P-06	海沟沉积物中黑碳的来源、分布和埋藏通量	许云平	上海海洋大学
S16-P-07	深海–深渊过渡带沉积物中核心微生物组的结构及潜在生态功能	荆红梅	中国科学院深海科学与工程研究所
S16-P-08	鲸落小型底栖动物的初步研究	吴秀芹	中山大学
S16-P-09S	深渊区沉积物溶解有机质（DOM）的性质	胡廷苍	上海海洋大学
S16-P-10S	海沟沉积物中黑碳的来源、分布和埋藏通量	张曦	上海海洋大学

专题18：海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法			
S18-P-01S	Impact of typhoon Chan-hom on sediment dynamics and morphological changes on the East China Sea inner shelf	丛帅	中国海洋大学
S18-P-02S	长江口沉积物化学相态分析及主泓变迁的指示	倪和平	同济大学
S18-P-03	先遣植被、动态泥炭沼泽主导约代尔旋回形成	石彦强	北京大地高科地质勘查有限公司
S18-P-04S	基于碎屑矿物学证据重建黄海中部泥质区东缘45 kyr来的物源和沉积演化	张尧	中国海洋大学
S18-P-05S	Multi-year winter variations in suspended sediment flux through the Bohai Strait	刘兴民	中国海洋大学
S18-P-06S	东海外陆架–冲绳海槽水体REE空间变化特征与示踪意义	范佳慧	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S18-P-07S	基于岩芯扫描溴计数估算海洋沉积物有机碳含量方法	吴兰军	中国科学院南海海洋研究所
S18-P-08S	北极东西伯利亚陆架沉积物物源：来自粘土矿物和化学元素的证据	李秋玲	河海大学
S18-P-09S	基于放射性核素指纹的北部湾海洋沉积物源汇过程示踪	莫敏婷	广西大学
S18-P-10S	沉积物粉碎年龄对长江流域侵蚀过程的约束及其对气候变化的响应	陈俊飞	同济大学

S18-P-11S	（$^{234}U/^{238}U$）评估沉积物/岩中硅酸盐碎屑组份提取效果	马松阳	同济大学
S18-P-12S	红河河口沉积物Sr-Nd同位素组成对海区物源研究的指示	段知非	同济大学
S18-P-13S	南海北部陆架240 ka以来陆源碎屑供给及其对古环境变化的响应	张驰	同济大学
S18-P-14S	末次间冰期以来鄂霍次克海海冰的轨道和千年尺度变化及其意义	王安琪	自然资源部第一海洋研究所
S18-P-15S	马尼拉海沟浊流沉积的层序识别与环境效应	王俊喆	中国海洋大学
S18-P-16S	山东半岛泥质区东部W02岩芯沉积记录及物源环境指示	王培杰	中国海洋大学
S18-P-17S	黄河口湿地植被时空变化及其地貌效应	巴旗	中国海洋大学
S18-P-18	长江和黄河沉积物碎屑矿物组成及其物源示踪应用	王中波	汕头大学
S18-P-19	南海北部~17 ka以来的表层水温度、盐度变化重建	殷鉴	中山大学
S18-P-20S	渤海及周边晚第四纪海侵研究进展	龙芝如	汕头大学
S18-P-21S	渤海CHS01B孔沉积物碎屑矿物地层初步研究	祝文君	山东科技大学
S18-P-22S	黄河口泥沙异重流发育过程的影响因素研究	许鲍昕	浙江大学
S18-P-23S	黄河口水动力和泥沙动力特征	徐佳洋	浙江大学
S18-P-24S	浙江海域风暴潮特征分析	李子璇	浙江大学

专题20：南海成礁以来生物礁与西沙群岛珊瑚礁白云岩			
S20-P-01	西沙石岛西科1井深层致密白云岩再研究：岩相学特征	苏大鹏	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S20-P-02S	西沙群岛梅山组一段白云岩矿物特征分析	付和平	中国石油大学（华东）

S20-P-03	南海南部曾母盆地碳酸盐台地对陆坡迁移的影响作用	雷振宇	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S20-P-04S	西沙群岛石岛沉积相带识别与沉积序列划分	王宇喆	中国石油大学（华东）
S20-P-05	七连屿海滩沙与砂岛成因模式	邱隆伟	中国石油大学（华东）
S20-P-06	西沙西科1井元素地球化学特征与海平面升降的关系	刘新宇	中海石油（中国）有限公司海南分公司

专题22：深海盆洋陆相互作用：环流、沉积和生物地球化学过程			
S22-P-01	Auditing the capricorn eddies by using a new eddy retrieval method	李志冰	南方科技大学
S22-P-02	Numerical simulations on water renewal of the upper Gulf of Thailand	章沁雅	南方科技大学
S22-P-03	Interannual variability of shelf circulation in the northern South China Sea	邓永飞	南方科技大学
S22-P-04S	利用反射地震方法研究南海东北部内孤立波的浅化特征	龚屹	同济大学
S22-P-05S	中美洲海域第二模态内孤立波的地震海洋学研究	范文豪	同济大学
S22-P-06S	南海北部深海平原地震地层解释和重力流沉积	王毕文	同济大学
S22-P-07	Distribution of plutonium in the Pacific Ocean and implications for tracing of ocean circulation	吴俊文	汕头大学
S22-P-08S	Deciphering the paradox of oceanic CO_2 uptake and storage in the northwestern North Pacific	李成龙	山东大学
S22-P-09S	生物固氮对北太平洋流涡区初级生产力的贡献	姜若桐	厦门大学
S22-P-10S	西北太平洋钡生物地球化学及其对弱光层有机碳再矿化的指示	林玮	厦门大学
S22-P-11S	Transit time distributions and apparent oxygen utilization rates in northern South China Sea using chlorofluorocarbons and sulfur hexafluoride data	王炜珉	厦门大学

S22-P-12S	东海生源硅的时空分布、输出通量与控制机制	章馨元	厦门大学
S22-P-13S	莱州湾沉积物–海水界面溶解态总氮交换通量研究	许泽昊	中国海洋大学
S22-P-14S	蓝细菌与真核浮游植物降解过程中的氨基酸碳同位素行为初探	马凌宇	厦门大学
S22-P-15S	Physiological and molecular responses of the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* to ocean acidification under iron and light limitation	叶幼亭	厦门大学
S22-P-16S	铁限制条件下单细胞固氮蓝藻鳄球藻对海洋酸化的响应	陈泽	厦门大学

专题24：碳-14生物地球化学循环			
S24-P-01	兴庆湖水–气界面CO_2及其PMC的季节性变化特征	熊晓虎	中国科学院地球环境研究所
S24-P-02	Cadmium isotope compositions in marine sediments as novel paleo-productivity proxy	Simon Hohl	同济大学
S24-P-03	ENSO-like patterns in Western Pacific Warm Pool since the late Pleistocene	张洋	中国海洋大学
S24-P-04	Black carbon burial history in the East China Sea over the anthropocene	刘景昱	中国海洋大学
S24-P-05	Abundance, stable carbon isotope and radiocarbon of sedimentary organic carbon lost during the acid-rinsing pretreatment	包锐	中国海洋大学
S24-P-06S	Investigating hydrodynamic effects on carbon isotope composition and microbial community redistribution of resuspended sediments in the shallow marginal sea	车阳丽	中国海洋大学
S24-P-07S	中国西南部剑湖沉积物中的土壤侵蚀和微量金属污染记录所揭示的云南西北部全新世–人类世的转变	杨瑞	兰州大学
S24-P-08S	过去2.5亿年以来古气候中植被的演化	郭佳琦	北京大学
S24-P-09	Compound-specific radiocarbon reveals sources and land-sea transport of polycyclic aromatic hydrocarbons in an urban estuary	押淼磊	南京理工大学

S24-P-10	水动力过程和来源变化调控东海沉积有机碳年龄演化	李大伟	中国海洋大学

专题25：生物泵与微生物碳泵相互作用下的海洋碳循环			
S25-P-01	一种基于FT-ICR-MS的DOM新分析方法及其在碳氮循环中的应用	甘淑钗	广东省科学院测试分析研究所
S25-P-02	南海深海奇古菌分布及其对氨添加的响应研究	谢伟	中山大学
S25-P-03	中元古代生物泵的沉积记录——以14亿年前下马岭组为例	张水昌	中国石油勘探开发研究院
S25-P-04	Biodegradation of terrigenous organic matter (TOM) in a stratified large-volume water column: implications of the removal of TOM in the coastal ocean	肖喜林	厦门大学
S25-P-05S	Optical characterization of dissolved organic matter in Kuroshio-Oyashio con-fluence region implication for water mass mixing	王亚松	上海海洋大学
S25-P-06S	南海神狐海域沉积物孔隙水和微生物特征分析	魏雪芹	中国科学院广州能源研究所
S25-P-07	“海雪”团聚体上微生物代谢动力学研究	侯蕾	厦门大学
S25-P-08S	北冰洋太平洋扇区西部陆坡和高纬海盆次表层溶解无机碳的增加机制	楚港志	天津大学
S25-P-09S	Dilution-limited or intrinsically refractory? Revisiting the persistence mechanisms of marine dissolved organic carbon	郑晓暄	厦门大学
S25-P-10S	藻华中精简的机会主义者是有机氮竞争优胜者	韩昱	厦门大学
S25-P-11S	基于数字全息技术和机器学习的海洋浮游植物细胞活性鉴别研究	王妍妍	山东大学
S25-P-12S	全球生物地球化学浮标（BIO-ARGO）数据：颗粒有机碳（POC）及其相关特性的初步分析	周晴晴	厦门大学
S25-P-13S	RO/ED提取典型海域中海水DOM及其溶解性黑碳的分子水平表征	王孝聪	中国石油大学（北京）
S25-P-14S	南黄海悬浮颗粒物中有机碳、氮、硫浓度及化学计量比	郭聪聪	山东大学

S25-P-15	硫烷硫介导CCMR调控蓝细菌碳代谢的分子机制研究	刘代喜	山东大学
S25-P-16S	Diel variation of Marine Group I archaea decoupled with algae in the Pearl River estuary	姚文勇	南方科技大学
S25-P-17	Microbial transformation of distinct exogenous substrates into analogous composition of recalcitrant dissolved organic matter	蔡阮鸿	厦门大学
S25-P-18S	Co-culturing of Marine Group II Archaea and *Phaeocystis globosa*	闫荣曼	南方科技大学
S25-P-19S	海洋沉积物中微生物介导的碳转化过程和机制的认识	侯佳林	上海交通大学
S25-P-20S	颗粒态与浮游态海洋古菌II分布与代谢特征的差异	陶建昌	南方科技大学
S25-P-21S	甾类代谢产物对海洋惰性溶解有机碳的贡献初探	刘子菁	厦门大学
S25-P-22S	病毒模块优化了海洋生物地球化学模型	谢乐	厦门大学
S25-P-23S	Model-based analysis of the mechanisms regulating the coexistence of photosynthesis and N_2 fixation in the marine dominant diazotroph *Trichodesmium*	罗伟成	厦门大学
S25-P-24	银额盆地楚鲁隆起下白垩统巴音戈壁组古气候及湖泊C-N-S循环机制研究	柳蓉	吉林大学

专题38：西太–东亚中新生代盆流体活动及资源环境效应			
S38-P-01S	晚中生代太行山古地貌演化——基于团簇同位素分析	文一雄	中国地质大学（北京）
S38-P-02S	华北克拉通破坏导致的差异性地貌：来自稳定同位素的证据	金天杰	中国地质大学（北京）
S38-P-03	裂谷湖盆热水沉积白云岩致密储层特征及其控制因素——以二连盆地白音查干凹陷下白垩统为例	杨喆	核工业北京地质研究院
S38-P-04S	蛇纹石化作用下H_2和无机烃类生成的主要影响因素初探——以汉诺坝橄榄岩包体为例	黄晓伟	中国地质大学（北京）
S38-P-05	中国东部新生代沉积盆地热状态及其油气资源潜力	徐曦	中国自然资源航空物探遥感中心/浙江大学

S38-P-06	南黄海崂山隆起石炭系–二叠系碳酸盐岩储层特征及其成因分析	袁勇	中国地质调查局青岛海洋地质研究所

第六届地球系统科学大会日程

口头报告				
7月7日 下午14:00~15:30				
分会场 1：二楼悦贵厅1号				7月7日下午
专题01：地质历史上的季风系统（3）主持人：汪品先、赵艳				
14:00-14:15	S01-O-13	潘吉亚超大陆以来全球和区域季风系统演变	胡永云	北京大学
14:15-14:30	S01-O-14	2.5亿年以来海洋季风的演变及机制探究	韩晶	北京大学
14:30-14:45	S01-O-15	新生代关键地质时期亚洲内陆干旱气候的模拟研究	张冉	中国科学院大气物理研究所
14:45-15:00	S01-O-16	上新世热带海道关闭对北太平洋及东亚气候的影响	谭宁	中国科学院地质与地球物理研究所
15:00-15:15	S01-O-17	过去425 ka以来中国东部“三极”降水的模拟研究	张仲石	中国地质大学（武汉）
15:15-15:30	S01-O-18	季风降水物理过程分解： 解读中全新世重建和模拟的比较	孙咏	中国科学院大气物理研究所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告
7月7日 下午14:00~15:30
分会场 2：二楼悦贵厅2号 7月7日下午
专题18：海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法（3） 主持人：毕乃双

14:00-14:15	S18-O-13	新生代太平洋溶解铁汇的铁同位素示踪（邀请报告）	陈天宇	南京大学
14:15-14:30	S18-O-14	渤海西缘晚第四纪高分辨率层序地层及其三维形态演化：海面、高补给与构造制约	刘世昊	华东师范大学
14:30-14:45	S18-O-15	海底泥沙异重流的混合和侵蚀特性研究	贺治国	浙江大学
14:45-15:00	S18-O-16	Early to mid-Holocene sedimentary evolution on the southeastern coast of Hangzhou Bay, East China, in response to sea-level change	吕晔	华东师范大学
15:00-15:15	S18-O-17	基于机器学习方法的河口羽状流识别与特征提取	李昭颖	青岛海洋科学与技术试点国家实验室
15:15-15:30	S18-O-18	河口滩槽间输沙机制研究：侧向流及憩流状态水沙动力特征	周在扬	华东师范大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日 下午14:00~15:30				
分会场 3：二楼悦贵厅3号				7月7日下午
专题28：有机分子的生物地球化学：现代过程与沉积记录（3） 主持人：贾国东				
14:00-14:15	S28-O-13	近代升温背景下的北极冻土有机碳输出变化	张晓雯	上海交通大学
14:15-14:30	S28-O-14	全球变暖对北极地区埋藏有机质组成以及埋藏的影响	黄德坤	自然资源部第三海洋研究所
14:30-14:45	S28-O-15	Proxies for quantitative sea-ice reconstruction under complex sedimentary processes: a case study in Prydz Bay, Antarctica	吴嘉琪	自然资源部第二海洋研究所
14:45-15:00	S28-O-16	珠江口沉积物的生物标志物垂向变化特征及其动力沉积环境意义	李芯芯	南方科技大学
15:00-15:15	S28-O-17	细菌霍多醇对东海内陆架生态环境长期变化的指示与潜在应用	尹美玲	中国科学院大学海洋研究所
15:15-15:30	S28-O-18	东海沉积物孔隙水溶解有机质对细菌群落结构的影响	李敏纯	中山大学

15:30-15:50	茶歇

口头报告				
7月7日 下午14:00~15:30				
分会场 4：三楼1号会议室				7月7日下午
专题09：南海盆地发育中的沉积环境演变（2） 主持人：吴时国、邵磊				
14:00-14:15	S09-O-07	南海扩张事件对陆缘盆地发育演化的控制	解习农	中国地质大学（武汉）
14:15-14:30	S09-O-08	南海北部潮汕坳陷中生代构造–沉积演化模式研究	冯凯龙	同济大学
14:30-14:45	S09-O-09	南海南部北康盆地断层运动对底流沉积过程的控制作用	刘姗	中山大学
14:45-15:00	S09-O-10	台湾恒春半岛增生楔浊积体物质来源及形成机制	崔宇驰	同济大学
15:00-15:15	S09-O-11	珠江口盆地裂后阶段性差异沉降及其成因机制	郑金云	中海石油（中国）有限公司深圳分公司
15:15-15:30	S09-O-12	缅甸中央盆地新生代物源演化	鲁毅	同济大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日 下午14:00~15:30				
分会场 5：三楼2号会议室				7月7日下午
专题38：西太–东亚中新生代盆流体活动及资源环境效应 主持人：刘全有				
14:00-14:15	S38-O-01	东海丽水凹陷古近纪构造特征及动力学控制	邓玉玲	同济大学

14:15-14:30	S38-O-02	南黄海叠合盆地演化与油气资源	陈建文	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
14:30-14:45	S38-O-03	东南亚构造分区	栾锡武	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
14:45-15:00	S38-O-04	南海东部中生代沉积盆地左行雁列式构造成盆机制	邱燕	中国地质调查局广州海洋地质调查局
15:00-15:15	S38-O-05	陆相湖盆缺氧铁化与富有机质页岩形成——以济阳坳陷沙河街组为例	梁新平	北京大学
15:15-15:30	S38-O-06	几种新型的固体储氢的研究进展	王璐	北京大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日 下午14:00~15:30				
分会场 6：三楼3号会议室				7月7日下午
专题16：深渊的地质、环境与生命过程：板块俯冲驱动与相互作用机制 主持人：彭晓彤、丘学林				
14:00-14:15	S16-O-01	马里亚纳南段俯冲弯曲板片的壳幔结构与IODP钻探（邀请报告）	丘学林	中国科学院南海海洋研究所
14:15-14:30	S16-O-02	“奋斗者”号载人潜水器挑战者深渊最大下潜深度分析与确认	陈传绪	中国科学院深海科学与工程研究所
14:30-14:45	S16-O-03	马里亚纳海沟铁锰金属结核地化特征及其成因探讨	李季伟	中国科学院深海科学与工程研究所
14:45-15:00	S16-O-04	深渊区沉积物溶解有机质（DOM）的性质马里亚纳海沟	胡廷苍	上海海洋大学
15:00-15:15	S16-O-05	南海鲸落骨骼附着微生物的群落结构特征	谢伟	中山大学
15:15-15:30	S16-O-06	超深渊底栖动物群落结构与空间分布特征——以雅浦海沟为例	张东声	自然资源部第二海洋研究所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日 下午14:00~15:30				
分会场 7：三楼5号会议室				7月7日下午
专题39：多圈层相互作用与深海关键战略矿产资源（1） 主持人：石学法、吴能友				
14:00-14:15	S39-O-01	一种新型微生物自生磁铁矿：来自南海冷泉沉积物甲烷带中的新发现（邀请报告）	孙晓明	中山大学
14:15-14:30	S39-O-02	更新世以来南海东北部陆坡区甲烷水合物分布及成藏地质演化	关进安	中国科学院广州能源研究所
14:30-14:45	S39-O-03	大洋富钴结壳研究进展及展望	杨燕子	中国科学院广州地球化学研究所
14:45-15:00	S39-O-04	互层状扩散型海洋天然气水合物储层中水合物产生与演化模型讨论	朱林奇	中国科学院深海科学与工程研究所
15:00-15:15	S39-O-05	多金属结核和富钴结壳中稀散元素地球化学特征	符亚洲	中国科学院地球化学研究所
15:15-15:30	S39-O-06	海山沉积模型及富钴结壳资源评价方法	杜德文	自然资源部第一海洋研究所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日 下午14:00~15:30				
分会场 8：三楼6号会议室				7月7日下午
专题05：青藏高原隆升与地貌发育、风化剥蚀和环境变化（1） 主持人：刘静				
14:00-14:15	S05-O-01	祁连山北部地表剥蚀速率及其与构造气候的关系（邀请报告）	潘保田	兰州大学
14:15-14:30	S05-O-02	青藏高原东北部新生代构造变形样式及时间约束	俞晶星	中国地震局地质研究所
14:30-14:45	S05-O-03	青藏高原北缘祁连山–柴达木盆地过渡带新生代以来的持续加速造山过程	刘润超	中国科学院青藏高原研究所

14:45-15:00	S05-O-04	晚第四纪断层活动速率沿走向均匀分布：以天山北麓霍尔果斯逆断裂为例	吕红华	华东师范大学
15:00-15:15	S05-O-05	渭河盆地–三门峡盆地碎屑锆石和重矿物组合揭示的黄河上新世–更新世演化过程	张瀚之	南京大学
15:15-15:30	S05-O-06	中国中部地貌形成演化与生命效应（邀请报告）	鹿化煜	南京大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日 下午14:00~15:30				
分会场 9：三楼7号会议室				7月7日下午
专题02：大陆风化动力学与物质循环（1） 主持人：陈骏、金章东、李高军				
14:00-14:15	S02-O-01	河流Mo同位素组成时间变化机理研究（邀请报告）	王志兵	中国科学院广州地球化学研究所
14:15-14:30	S02-O-02	沉淀过程中的镓同位素分馏	袁玮	天津大学
14:30-14:45	S02-O-03	花岗闪长岩风化过程中稳定锶同位素体系的变化特征及控制机理	苏妮	同济大学
14:45-15:00	S02-O-04	黄河小流域水化学特征的季节性和空间变化	马龙	西北大学
15:00-15:15	S02-O-05	花岗岩风化初期阶段的Li同位素地球化学行为	张俊文	长安大学
15:15-15:30	S02-O-06	基于锂同位素探讨青藏高原东部风化过程季节控制机制	马婷婷	天津大学
15:30-15:50	茶歇			

第六届地球系统科学大会日程

大会特邀报告

7月7日 下午15:50~17:50			
主会场（东方厅）			7月7日下午
大会特邀报告 主持人：郭正堂			
15:50-16:20	生物兴灭和环境剧变的超深部因素	毛河光	北京高压科学研究中心
16:20-16:50	宏观地球科学现象的月基观测	郭华东	中国科学院空天信息创新研究院
16:50-17:20	地磁场影响生物的新证据	潘永信	中国科学院地质与地球物理研究所
17:20-17:50	矿物–微生物协同演化的机制与效应	董海良	中国地质大学（北京）

“深部地球的富氧活动”圆桌论坛
7月7日 晚上 19:30~21:30
分会场 10：三楼8号会议室

第六届地球系统科学大会日程

口头报告				
7月8日 上午 08:30~11:50				
分会场 1：二楼悦贵厅1号				7月8日上午
专题01：地质历史上的季风系统（4） 主持人：王成善、胡永云				
08:30-08:45	S01-O-19	Snowball Slowdown	Ross Mitchell	中国科学院地质与地球物理研究所
08:45-09:00	S01-O-20	藏南多岛洋格局及其对东亚构造–环境变化的制约	张继恩	中国科学院地质与地球物理研究所
09:00-09:15	S01-O-21	印度–亚洲大陆汇聚过程中的海陆分布变化	邓成龙	中国科学院地质与地球物理研究所

09:15-09:30	S01-O-22	秦岭–太行的造山活动与东亚新生代气候格局重组之间的关系	俞晶星	中国地震局地质研究所
09:30-09:45	S01-O-23	祁连山中–晚中新世地形生长及其环境效应	李朝鹏	中国地震局地质研究所
09:45-10:00	S01-O-24	夕卡岩脱碳及其对J/K界线生物气候环境的影响	刘威	地质与地球物理研究所
10:00-10:20	茶歇			
专题01：地质历史上的季风系统（5） 主持人：吴福元、赵亮				
10:20-10:35	S01-O-25	现代暖期增温未超过全新世大暖期	史锋	中国科学院地质与地球物理研究所
10:35-10:50	S01-O-26	北半球全新世季节性温度重建与模拟对比	张文超	中国科学院地质与地球物理研究所
10:50-11:05	S01-O-27	重建–模拟对比研究揭示的全新世东亚夏季风时空变化模态	张海伟	西安交通大学
11:05-11:20	S01-O-28	重庆玉龙洞石笋$\delta^{18}O$记录的MIS 13季风气候变化	黄守毅	中国科学院地球环境研究所
11:20-11:35	S01-O-29	数值模拟俯冲带深部碳循环	杨建锋	中国科学院地质与地球物理研究所
11:35-11:50	S01-O-30	俯冲板块脱碳过程的数值模拟研究	王欣欣	中国科学院地质与地球物理研究所

口头报告				
7月8日 上午 08:30~11:50				
分会场 2：二楼悦贵厅2号				7月8日上午
专题18：海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法（4） 主持人：乔淑卿				
08:30-08:45	S18-O-19	南海冰期陆架风化与碳循环（邀请报告）	万世明	中国科学院海洋研究所
08:45-09:00	S18-O-20	东海内陆架泥质区沉积黄铁矿成因及其环境意义	刘喜停	中国海洋大学
09:00-09:15	S18-O-21	Evolution of ocean productivity in the sub-tropical west Pacific Ocean across the Last Deglaciation	胡邦琦	中国地质调查局青岛海洋地质研究所

09:15-09:30	S18-O-22	现代浅海沉积中混合事件层的沉积过程	单新	自然资源部第一海洋研究所
09:30-09:45	S18-O-23	南海大气粉尘沉积与海洋生态响应	杜恕环	中国科学院南海海洋研究所
09:45-10:00	S18-O-24	黄河三角洲清水沟流路的平面二维水沙数值研究	贺治国	浙江大学
10:00-10:20	茶歇			
专题18：海陆相互作用过程剖析及记录重建的新思路、新方法（5） 主持人：毕乃双				
10:20-10:35	S18-O-25	流域风化机制与碎屑沉积物组成（邀请报告）	杨江海	中国地质大学（武汉）
10:35-10:50	S18-O-26	浙闽海湾晚更新世海侵过程及其指示的区域沉降	陈静	华东师范大学
10:50-11:05	S18-O-27	水库调控对黄河入海沉积物通量、级配与组分的影响	吴晓	中国海洋大学
11:05-11:20	S18-O-28	2 ka前后浙闽沿岸泥质沉积中心迁移的主控因素研究	仇建东	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
11:20-11:35	S18-O-29	气候变化和人类活动影响下长江口外近三百年低氧沉积环境的演化	盛辉	华东师范大学
11:35-11:50	S18-O-30	山东半岛北岸跨锋面物质输运对辽东半岛东岸沉积有机质的影响	舒卓	南京大学

口头报告				
7月8日 上午 08:30~11:50				
分会场 3：二楼悦贵厅3号				7月8日上午
专题03：深时冰室气候下的地球系统演化（1） 主持人：沈冰、郎咸国				
08:30-08:45	S03-O-01	古元古代“雪球地球”冰期气候的成因及环境效应：进展与问题	罗根明	中国地质大学（武汉）
08:45-09:00	S03-O-02	冰雪地球事件的数值模拟进展（邀请报告）	刘永岗	北京大学
09:00-09:15	S03-O-03	Sturtian幕次冰期中海洋的生物地球化学循环	祝圣贤	成都理工大学

09:15-09:30	S03-O-04	新元古代Marinoan冰期海洋铁循环研究	蒙泽坤	西北大学
09:30-09:45	S03-O-05	A Great Ediacaran Glaciation in the Eve of Animal Evolution	王瑞敏	北京大学
09:45-10:00	S03-O-06	晚奥陶世赫南特冰期海洋氧化还原环境演化及其与生物危机的联系	李娜	南京大学
10:00-10:20	茶歇			
专题03：深时冰室气候下的地球系统演化（2） 主持人：陈吉涛、郎咸国				
10:20-10:35	S03-O-07	奥陶–志留纪过渡时期碳循环特征及成因机制	孙宗元	成都理工大学
10:35-10:50	S03-O-08	重大地质事件与非常规油气资源富集探讨——以奥陶纪–志留纪转折期五峰组–龙马溪组页岩气为例	邱振	中国石油勘探开发研究院
10:50-11:05	S03-O-09	地球轨道力驱动的晚古生代大冰期气候与生命演化（邀请报告）	吴怀春	中国地质大学（北京）
11:05-11:20	S03-O-10	晚古生代冰室–温室过渡期海洋生物多样性的地球轨道驱动	房强	中国地质大学（北京）
11:20-11:35	S03-O-11	华南晚古生代大冰期沉积过程与碳同位素变化	杨文莉	中国科学院南京地质古生物研究所
11:35-11:50	S03-O-12	晚上新世东亚夏季风的演化以及对北极冰盖扩张的响应	张泽	中国地质大学（武汉）

口头报告				
7月8日 上午 08:30~11:50				
分会场 4：三楼1号会议室				7月8日上午
专题10：深海沉积与全球变化（1） 主持人：陈建芳				
08:30-08:45	S10-O-01	深渊海沟沉积有机碳的分布、来源和埋藏（邀请报告）	许云平	上海海洋大学
08:45-09:00	S10-O-02	西沙北海底峡谷底栖塑料垃圾的分布及成因	钟广法	同济大学

09:00-09:15	S10-O-03	南海现代沉积物来源探讨：以主量元素为例	李涛	中国地质调查局广州海洋地质调查局
09:15-09:30	S10-O-04	晚第四纪亚洲低纬度深海沉积过程：矿物学示踪	于兆杰	中国科学院海洋研究所
09:30-09:45	S10-O-05	深海沉积物释光年代学及其古海洋研究意义	姜涛	中国地质大学（武汉）
09:45-10:00	S10-O-06	利用鱼骸化石和有孔虫的古海水Nd同位素重建全新世腐泥层时期的地中海环流	吴家望	同济大学
10:00-10:20	茶歇			
专题10：深海沉积与全球变化（2） 主持人：石学法				
10:20-10:35	S10-O-07	南海生物泵输出通量的年际差异与调控机制（邀请报告）	李宏亮	自然资源部第二海洋研究所
10:35-10:50	S10-O-08	基于天然碳同位素的南海沉降颗粒有机碳来源分析	张静静	自然资源部第二海洋研究所
10:50-11:05	S10-O-09	1991年皮纳图博火山灰沉降物对南海硅藻生长的影响	夏志颖	宁波大学/自然资源部第二海洋研究所
11:05-11:20	S10-O-10	南海西部沉积物捕获器中的浮游有孔虫群落与同位素研究及其古环境指示意义	李保华	中国科学院南京地质古生物研究所
11:20-11:35	S10-O-11	南海东北部悬浮颗粒物中粘土矿物的长期变化：指示季风驱动的深海沉积搬运过程	凌晨	同济大学
11:35-11:50	S10-O-12	西菲律宾海硅藻席沉积中的多囊虫类放射虫记录及其环境意义	张兰兰	中国科学院南海海洋研究所

口头报告				
7月8日 上午 08:30~11:50				
分会场 5：三楼2号会议室				7月8日上午
专题30：南海边缘海动力学演化研究新突破（1） 主持人：李家彪、李春峰				
08:30-08:45	S30-O-01	南海构造与岩浆研究新突破	林间	中国科学院南海海洋研究所
08:45-09:00	S30-O-02	南海扩张脊变迁的机制	孙珍	中国科学院南海海洋研究所

09:00-09:15	S30-O-03	南海成因及其演化	李学杰	中国地质调查局广州海洋地质调查局
09:15-09:30	S30-O-04	先存汇聚板缘作用下南海北部断陷结构的多样化特征	庞雄	中海石油（中国）有限公司深圳分公司
09:30-09:45	S30-O-05	利用DONET海底观测网研究日本南海海域俯冲带地震波各向异性	薛梅	同济大学
09:45-10:00	S30-O-06	动力学模型揭示含水地幔对南海岩石圈薄化破裂的控制作用（邀请报告）	周志远	中国科学院南海海洋研究所
10:00-10:20	茶歇			
专题30：南海边缘海动力学演化研究新突破（2） 主持人：林间、夏少红				
10:20-10:35	S30-O-07	Mantle serpentinization in the magnetic quiet zone and continent-ocean boundary in the northeastern South China Sea	李春峰	浙江大学
10:35-10:50	S30-O-08	海底地震仪地震探测技术与研究进展	赵明辉	中国科学院南海海洋研究所
10:50-11:05	S30-O-09	多地质过程耦合下的南海板缘–板内破裂	李付成	中国科学院南海海洋研究所
11:05-11:20	S30-O-10	东台湾蛇绿岩：南海初始俯冲的构造岩浆响应?	余梦明	同济大学
11:20-11:35	S30-O-11	基于被动源海底地震实验的南海西南次海盆岩石圈速度结构研究	田晋雨	同济大学
11:35-11:50	S30-O-12	南海北部陆缘洋陆转换带深部速度结构研究初步结果	袁野	中国科学院南海海洋研究所

口头报告				
7月8日 上午 08:30~11:50				
分会场 6：三楼3号会议室				7月8日上午
专题32：大洋岩石圈成因与深部物质循环（1） 主持人：张国良、钟立峰				
08:30-08:45	S32-O-01	地球深部矿物与水之间的化学作用	胡清扬	北京高压科学研究中心

08:45-09:00	S32-O-02	西南马里亚纳裂谷的地幔源区特征研究	田丽艳	中国科学院深海科学与工程研究所
09:00-09:15	S32-O-03	板块驱动的熔融异常：以西南印度洋中脊为例	余星	自然资源部第二海洋研究所
09:15-09:30	S32-O-04	南海残留洋脊扩张后板内火山成因研究	钟源	中国科学院海洋研究所
09:30-09:45	S32-O-05	超大陆裂解中的岩浆作用	关慧心	中国科学院南海海洋研究所
09:45-10:00	S32-O-06	马里亚纳弧前蛇纹岩泥火山成因研究进展	赵瑞鹏	中国科学院广州地球化学研究所
10:00-10:20	茶歇			
专题32：大洋岩石圈成因与深部物质循环（2） 主持人：李洪颜、田丽艳				
10:20-10:35	S32-O-07	橄榄石地球化学揭示夏威夷和卡洛琳海山链地幔源区具有富集CO_2的特征	张国良	中国科学院海洋研究所
10:35-10:50	S32-O-08	俯冲改造地幔在软流圈中的分布及其意义	杨阳	中国科学院广州地球化学研究所
10:50-11:05	S32-O-09	东太平洋加拉帕戈斯三联点区域的地壳结构研究	郑婷婷	中国科学院南海海洋研究所
11:05-11:20	S32-O-10	Mo同位素在洋中脊岩浆过程中行为研究：以东太平洋洋隆5°N~12°N玄武岩为例	陈硕	中国科学院海洋研究所
11:20-11:35	S32-O-11	Mo同位素对西太平洋板块起始俯冲过程的制约	李翔	中国科学院广州地球化学研究所
11:35-11:50	S32-O-12	地幔温压条件下phase H的弹性：寻找下地幔输运水的证据	宋子隽	中国科学技术大学

口头报告				
7月8日 上午 08:30~11:50				
分会场 7：三楼5号会议室				7月8日上午
专题44：海洋地质灾害（1） 主持人：王大伟				
08:30-08:45	S44-O-01	南海北部珠江口盆地第四纪海底滑坡特征及其触发海啸评估（邀请报告）	孙启良	中国地质大学（武汉）

08:45-09:00	S44-O-02	西沙群岛宣德环礁东南部海底滑坡分布和沉积特征	刘刚	海南省海洋地质调查研究院
09:00-09:15	S44-O-03	南海宣德环礁东南斜坡区地质灾害类型及分布特征	陈梅	中国地质调查局广州海洋地质调查局
09:15-09:30	S44-O-04	巨型海底麻坑对流体活动及海底失稳研究的指示意义	鲁银涛	中国石油杭州地质研究院
09:30-09:45	S44-O-05	Internal solitary waves induced deep-water nepheloid layers and seafloor geomorphic changes on the continental slope of the northern South China Sea	田壮才	中国矿业大学
09:45-10:00	S44-O-06	南海西部陆架海底滑坡及其海啸灾害评估	潘晓仪	中山大学
10:00-10:20	茶歇			
专题44：海洋地质灾害（2） 主持人：孙启良				
10:20-10:35	S44-O-07	低温环境下海底滑坡冲击管线模拟及评估（邀请报告）	年廷凯	大连理工大学
10:35-10:50	S44-O-08	深海工程地质环境原位长期监测设备研发与应用	孙志文	中国海洋大学
10:50-11:05	S44-O-09	天然气水合物降压开采时海床沉降量及其影响因素	孙金	中国科学院深海科学与工程研究所
11:05-11:20	S44-O-10	海底沉积物孔隙压力原位监测系统	陈天	中国海洋大学
11:20-11:35	S44-O-11	1918南澳地震海啸模拟及其警示	李发淳	中山大学
11:35-11:50	S44-O-12	深水陆坡区海底峡谷地质灾害特征——以荔湾3–1气田管道路由区为例	孙悦	中国科学院深海科学与工程研究所

口头报告	
7月8日 上午 08:30~11:50	
分会场 8：三楼6号会议室	7月8日上午
专题05：青藏高原隆升与地貌发育、风化剥蚀和环境变化（2） 主持人：潘保田	

08:30-08:45	S05-O-07	青藏高原中部晚始新世真的隆升到现代高度了吗？——来自伦坡拉盆地新生代地层精细年代序列测定的否定	方小敏	中国科学院青藏高原研究所
08:45-09:00	S05-O-08	青藏高原内部不同盆地的隆升历史是否存在差异：来自动力学模拟的启示	张朋朋	中国科学院地质与地球物理研究所
09:00-09:15	S05-O-09	Late Quaternary aggradation and incision in the headwaters of the Yangtze River, eastern Tibetan Plateau, China	王先彦	南京大学
09:15-09:30	S05-O-10	囊谦盆地磁性地层学及其构造意义	张伟林	中国科学院青藏高原研究所
09:30-09:45	S05-O-11	印度–欧亚大陆低纬度碰撞（~7°N）及其古气候意义	王天月	中山大学
09:45-10:00	S05-O-12	青藏高原生物有机地化指标古高度重建：进展和存在问题	白艳	中国科学院青藏高原研究所
10:00-10:20	茶歇			
专题05：青藏高原隆升与地貌发育、风化剥蚀和环境变化（3） 主持人：方小敏				
10:20-10:35	S05-O-13	基于阶地与河流纵剖面重建藏东南澜沧江裂点带之下河段的下切历史（邀请报告）	刘静	天津大学
10:35-10:50	S05-O-14	光释光示踪雅鲁藏布江–布拉马普特拉河沉积物搬运过程	张爱敏	中国地震局地质研究所
10:50-11:05	S05-O-15	喜马拉雅东段水系演化和剥露历史在尼科巴扇中的记录	陈文煌	中国科学院广州地球化学研究所
11:05-11:20	S05-O-16	青藏高原北部隆升与亚洲风尘演化	杨一博	中国科学院青藏高原研究所
11:20-11:35	S05-O-17	Spatially variable provenance of the Chinese Loess Plateau	聂军胜	兰州大学
11:35-11:50	S05-O-18	Inter-decadal change of the spring North Atlantic Oscillation impact on the summer Pamir-Tienshan snow cover	吴俊杰	宁波市气象台

口头报告
7月8日 上午 08:30~11:50
分会场 9：三楼7号会议室　　7月8日上午

专题02：大陆风化动力学与物质循环（2） 主持人：陈骏、金章东、李高军				
08:30-08:45	S02-O-07	黄河中游河水镁同位素的季节变化：源和分馏（邀请报告）	苟龙飞	成都理工大学
08:45-09:00	S02-O-08	深时硅质碎屑组份镁同位素组成的控制因素：对于镁同位素风化指标的验证	黄天正	北京大学
09:00-09:15	S02-O-09	晚二叠纪大陆风化之谜——锂同位素证据	曹程	南京大学
09:15-09:30	S02-O-10	古元古代大氧化事件期间大陆化学风化变化特征	马星宇	中国地质大学（武汉）
09:30-09:45	S02-O-11	末次冰消期以来的黄土高原输沙变化和人类活动效应	安宇	四川大学
09:45-10:00	S02-O-12	沉积物Hf-Nd同位素变化记录的长江流域的气候变化、风化过程和古代文明演化	高秦	浙江大学
10:00-10:20	茶歇			
专题02：大陆风化动力学与物质循环（3） 主持人：陈骏、金章东、李高军				
10:20-10:35	S02-O-13	青藏高原隆升影响全球变化的季风视角（邀请报告）	杨一博	中国科学院青藏高原研究所
10:35-10:50	S02-O-14	大地震对地表过程的影响及机制	张飞	中国科学院地球环境研究所
10:50-11:05	S02-O-15	汶川地震滑坡物质震后运移研究及探讨	王伟	中国地震局地质研究所
11:05-11:20	S02-O-16	地表基质层的科学内涵及重点研究方向	殷志强	中国地质环境监测院
11:20-11:35	S02-O-17	土壤与其母岩物质组分的关联与变化特征——低山丘陵区大陆风化过程的地质记录	陈树旺	中国地质调查局沈阳地质调查中心
11:35-11:50	S02-O-18	大陆风化二元调控机制	李高军	南京大学

口头报告	
7月8日 上午 08:30~11:50	
分会场 10：三楼8号会议室	7月8日上午

专题22：深海盆洋陆相互作用：环流、沉积和生物地球化学过程（3） 主持人：王桂华				
08:30-08:45	S22-O-13	多时间尺度北太平洋环流变化对海洋固碳作用的影响	宫勋	中国地质大学（武汉）
08:45-09:00	S22-O-14	Typhoon-induced near-inertial gyroscopic waves and turbulence on the continental slope of the South China Sea	谢晓辉	自然资源部第二海洋研究所
09:00-09:15	S22-O-15	南海西沙海槽深层季节内变率观测研究	舒业强	中国科学院南海海洋研究所
09:15-09:30	S22-O-16	南海深层西边界流与涡旋相互作用的数值模拟研究	周木平	自然资源部第二海洋研究所
09:30-09:45	S22-O-17	Topographic rossby waves in the abyssal South China Sea	全祺	南方科技大学
09:45-10:00	S22-O-18	深海底边界层的流场结构与动力过程	吕丹妮	同济大学
10:00-10:20	茶歇			
专题22：深海盆洋陆相互作用：环流、沉积和生物地球化学过程（4） 主持人：刘志飞				
10:20-10:35	S22-O-19	东沙东南等积体沉积动力的现场观测（邀请报告）	赵玉龙	同济大学
10:35-10:50	S22-O-20	南海冷水珊瑚生态系统观测与研究展望	党皓文	同济大学
10:50-11:05	S22-O-21	末次盛冰期以来北太平洋中深层水溯源	郑旭峰	海南大学
11:05-11:20	S22-O-22	蛟龙海山底层流速观测特征及其沉积效应	刘文虎	复旦大学
11:20-11:35	S22-O-23	利用反射地震方法研究南海东北部内孤立波相速度特征	邝芸艳	同济大学
11:35-11:50	S22-O-24	南海东北部高屏海底峡谷晚全新世浊流沉积的粒度特征及其搬运方式	黄华珍	同济大学

第六届地球系统科学大会日程

7月8日 午餐： 12:00~13:30

展板报告：12:30~14:00			
7月8日 AGU期刊编辑讲座 12:20~13:50 分会场2：二楼悦贵厅2号			
专题03：深时冰室气候下的地球系统演化			
S03-P-01	Reverse weathering may amplify post-snowball atmospheric carbon dioxide levels	李芳兵	中国地质科学院地质研究所
S03-P-02S	冰雪地球应该怎么开始冰消	伍家成	北京大学
S03-P-03S	埃迪卡拉纪–寒武纪过渡时期海洋潜在N_2O排放通量变化	王振飞	西北大学
S03-P-04	晚古生代大冰期大陆风化与气候	高彪	中国科学院南京地质古生物研究所
S03-P-05S	晚古生代冰期气候旋回的陆相记录：以准噶尔盆地风城组和芦草沟组为例	黄何	中国地质大学（北京）
S03-P-06	四川盆地侏罗纪古气候变化：来自深时古土壤的证据	李军	兰州城市学院

专题08：三角洲环境演变：人类活动和气候变化			
S08-P-01S	三角洲滩–槽动力地貌变化互馈研究——以长江三角洲扁担沙–新桥水道为例	楼亚颖	华东师范大学
S08-P-02S	长江三角洲海岸侵蚀脆弱性评估与社会经济影响分析	王晓婷	华东师范大学
S08-P-03S	珠江口伶仃洋ZK1钻孔的磁性地层学研究	任晋珂	中国地质大学（北京）
S08-P-04S	近海沉积环境对全新世海平面变化的响应——以东山湾为例	田港华	厦门大学
S08-P-05S	闽南海陆过渡带现代沉积硅藻特征及环境意义	刘圣涛	厦门大学
S08-P-06S	定量识别中国北部大凌河流域植被覆盖度对输沙量变化的贡献	孙爽	中国地质大学（北京）
S08-P-07	珠江三角洲沉积物中有机碳来源和组成对环境演变的响应	丁杨	中国海洋大学

S08-P-08S	高强度人类活动驱动下珠江磨刀门河口拦门沙演变	汪思敏	中山大学
S08-P-09S	长江口及邻近海域表层沉积物中底栖有孔虫组合及其环境意义	袁洁琼	中国地质大学（北京）
S08-P-10	大型人工岛对海岸地貌的影响	刘根	自然资源部第三海洋研究所
S08-P-11	Human drivers accelerated the advance of Pearl River deltaic shoreline in the past 7500 years	熊海仙	中山大学
S08-P-12S	山东半岛泥质楔黄铁矿成因及其环境意义	谷玉	中国海洋大学
S08-P-13	东海内陆架末次冰消期海平面突然上升的沉积记录	常凤鸣	中国科学院海洋研究所
S08-P-14	Historical changes and sedimentary evolution of abandoned Yellow River Delta (Sheyang River Mouth) in Jiangsu province: historical maps	周良勇	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S08-P-15S	巨砾滩巨砾运移的现场追踪及其运移控制因素解析	李灵波	自然资源部第三海洋研究所
S08-P-16	Pollen record of early to mid-Holocene vegetation and climate dynamics on the eastern coast of the Yellow Sea, South Korea	宋兵	中国科学院南京地理与湖泊研究所
S08-P-17	Holocene environmental changes of the Songji lagoon, South Korea, and its linkage to sea level and ENSO changes	宋兵	中国科学院南京地理与湖泊研究所
S08-P-18S	近两千年来长江水下三角洲叶瓣迁移及控制因素：浅部地球物理证据	冯威	华东师范大学
S08-P-19S	长江冲淡水影响海域湍流混合与垂向盐通量观测特征与影响因素分析	朱百粟	天津大学

专题10：深海沉积与全球变化			
S10-P-01S	南海东北部深海沉积演变对大洋洋流模态转变及海峡水体贯通的响应	王雪松	中国科学院南海海洋研究所
S10-P-02S	Planktonic foraminifera fluxes in the northern South China Sea: variability on seasonal to interannual timescales	曹寒冰	北京大学

S10-P-03S	Sea-surface perturbation history of the northern northwest Atlantic Ocean during the last glacial cycle: a study based on the sedimentological and paleontological proxies	Rashid Harunur	上海海洋大学
S10-P-04S	菲律宾海及其邻近海域表层沉积物中放射虫分布及其对区域环境响应	邱卓雅	中国科学院南海海洋研究所
S10-P-05S	末次冰消期冲绳海槽中部表层和温跃层海水温度演化的脱耦现象	钱芳	中国科学院海洋研究所
S10-P-06S	The origin of early-mid Miocene pelagic brown and green claystone from IODP site U1503A in the South China Sea: implications to paleoclimate and paleoceanography	张哲	中国科学院南海海洋研究所
S10-P-07S	南海北部IODP U1500B站位渐新世至中新世生物地层学研究	卢亚敏	北京大学
S10-P-08S	珠江的诞生：来自南海北部沉积物记录的证据	靳华龙	中国科学院海洋研究所
S10-P-09S	南海北部IODP U1500站位渐新世–中新世底栖有孔虫属种组合变化及其古海洋学意义	苏克凡	北京大学
S10-P-10S	南海南部巽他陆坡末次冰盛期以来陆源碎屑输入特征及其控制因素	赵宏超	同济大学
S10-P-11S	泰国湾表层沉积物陆源碎屑的粒度特征及其沉积动力环境意义	冯铄	同济大学
S10-P-12S	南海中央海盆北部中新世大洋红层陆源碎屑的物源区研究	舒威	同济大学
S10-P-13S	南海北部典型深海环境表层沉积物中微塑料丰度及其沉积控制因素	张晓栋	同济大学
S10-P-14S	中国南海IODP U1505站位晚中新世以来的磁性地层与旋回地层学研究	聂云峰	中国地质大学（北京）
S10-P-15	Weathering of the Mekong River basin with implication for East Asian Monsoon evolution during the late Quaternary: marine sediment records from the southern South China Sea	Pham Nhu Sang	同济大学
S10-P-16	AMOC驱动的北半球西风带经向位移	盖聪聪	南方科技大学
S10-P-17S	吕宋海峡上层海洋多尺度动力过程变异的多参数漂流浮标观测研究	刘猛	南方科技大学
S10-P-18	南海中深层沉降颗粒物中人为源痕量金属的甄别	李伟英	自然资源部第二海洋研究所

S10-P-19S	南海海盆火山活动记录	冯伟家	广东海洋大学
S10-P-20	早侏罗温室气候期藏北羌塘地区油页岩形成的控制机制研究	伊帆	成都理工大学
S10-P-21	Variations in magnetic properties of sediment from Shikoku Basin: implication for sediment transport	时美楠	中国地质大学（北京）
S10-P-22	中更新世以来西菲律宾海营养盐演化特征	贾奇	自然资源部第一海洋研究所
S10-P-23S	季风对孟加拉湾上层营养盐供应的调控机制初探	王新洋	自然资源部第二海洋研究所
S10-P-24S	压载效应对南海颗粒有机碳输出的贡献	迟光希	自然资源部第二海洋研究所
S10-P-25	冷水珊瑚丘的形成：可容空间和沉积物供给的重要性	王豪壮	同济大学
S10-P-26S	南海–印度洋表层水中活体胶体虫的多样性变化	程夏雯	中国科学院南海海洋研究所
S10-P-27	巽他陆架38 ka以来的环境变化：高分辨率岩芯扫描记录	罗传秀	中国科学院南海海洋研究所
S10-P-28S	南海、孟加拉湾、阿拉伯海沉降颗粒有机碳通量的对比研究	余锦萍	自然资源部第二海洋研究所

专题12：亚洲–太平洋地区中晚全新世高分辨率气候变化			
S12-P-01S	从古籍中重构的首尔近400年降雨量揭示蒙德极小期极端降雨现象	王誉棋	中国科学院地质与地球物理研究所
S12-P-02S	传统的树轮$\delta^{13}C$模型高估内在水分利用效率	邴晓瑾	福建师范大学
S12-P-03	树轮记录的过去200年来江南春雨与夏季风降水的协同变化特征	周非飞	福建师范大学
S12-P-04S	山西运城盐湖沉积柱脂类记录的末次冰盛期以来气候环境变化	方悦	中国地质大学（武汉）
S12-P-05S	全新世2.8 ka BP事件的精确解剖	金晓慧	中国地质大学（武汉）
S12-P-06S	全新世8.2 ka BP事件发生的气温背景：石笋色度的证据	胡尊语	中国地质大学（武汉）

S12-P-07	东海内陆架近两百年来有孔虫组合阶段变化及影响因素	郑世雯	中国海洋大学
S12-P-08S	Complex network of synchronous climate events in East Asian tree-ring data	王锡津	中国地质大学（武汉）
S12-P-09	不同海温背景态下火山爆发后全球季风降水响应的异同及机制	左萌	中国科学院大气物理研究所
S12-P-10S	中国东南部泥炭正构烷烃记录揭示小冰期古水文变化	庞洋	南京大学

专题28：有机分子的生物地球化学：现代过程与沉积记录			
S28-P-01	Photosynthetic production determines bottom water oxygen variations in the upwelling coastal South China Sea over recent decades	朱小畏	中国科学院南海海洋研究所
S28-P-02	微生物生物膜对潮滩泥沙稳定性的影响	陈欣迪	清华大学
S28-P-03S	温度对四醚膜脂组成和分布的影响	张金玉	同济大学
S28-P-04S	脂类标志物指示的楚科奇海过去70年中的水体结构和生产力变化	高超	中国地质大学（武汉）
S28-P-05S	过去170 ka以来西太平洋暖池水文变化的有机地球化学记录	郁金勇	同济大学
S28-P-06S	Effects of anthropogenic activities and climate changes on phytoplankton biomass and community structure revealed by lipid biomarkers	高嘉玮	中国海洋大学
S28-P-07S	Spatial variations of phytoplankton biomass and community structure in the Northwest Pacific revealed by lipid biomarkers during summer	王瑶瑶	中国海洋大学
S28-P-08S	台湾新养女湖泥火山沉积脂类化合物特征及碳同位素	翟梦月	中国地质大学（北京）
S28-P-09S	有孔虫壳体中海洋有色溶解有机质的记录	张慧敏	中国地质大学（武汉）
S28-P-10	古菌四醚类脂物及其双植烷碳同位素在珠江口生物地球化学梯度带上的变化	贾国东	同济大学
S28-P-11S	亚北极太平洋15万年来古生产力及古海洋演化——基于有机分子的沉积记录	张钰莹	自然资源部第一海洋研究所

S28-P-12S	Contrasting Holocene terrestrial temperature variations in mid-latitude Eurasia	姜佳玮	香港大学
S28-P-13S	The role of membrane lipids in low pH resistance of archaea in acid mine drainage	何炜	南方科技大学
S28-P-14	泰国湾百年来沉积有机碳汇变化及环境响应	白亚之	自然资源部第一海洋研究所
S28-P-15S	碰撞能量优化在古菌脂类化合物鉴定中的重要作用	张琬	南方科技大学
S28-P-16S	长江口外生物标志物氢同位素与海水盐度关系探讨	贾佳源	同济大学
S28-P-17	南海北部海底峡谷陆源有机碳搬运过程和机制	吴斌	自然资源部第一海洋研究所
S28-P-18S	中中新世南海北部古环境的有机地球化学研究	梁栋	同济大学
S28-P-19S	陆地输入对湖北梁子湖GDGTs环境代用指标的影响	樊嘉琛	中国地质大学（武汉）
S28-P-20	冰期–间冰期尺度南海水体氮库稳定的脂类证据	董良	上海交通大学

专题30：南海边缘海动力学演化研究新突破			
S30-P-01	南海古地磁学、磁性地层学和环境磁学的综合研究	赵西西	同济大学
S30-P-02	下洋壳倾斜反射层成因机制的数值模拟研究	张旭博	中国科学院南海海洋研究所
S30-P-03	蚀变洋中脊玄武岩氩氩定年前处理方法研究	张万峰	中国科学院广州地球化学研究所
S30-P-04S	南海北部IODP 1502B钻孔玄武岩基底中绿帘石岩脉的成因与指示意义	陈凌轩	中国科学院深海科学与工程研究所
S30-P-05	南海东南部中生界识别及其构造属性	王利杰	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S30-P-06	南海珍贝–黄岩海山地区密度结构特征研究	徐亚	中国科学院地质与地球物理研究所
S30-P-07	远震体波层析成像研究阿拉伯地台东北部上地幔结构	胡昊	南方科技大学
S30-P-08	南海西南海域地壳结构特征及其对裂谷过程的指示	朱荣伟	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S30-P-09	南海东北部下地壳高速体的空间分布特征与形成机制	程锦辉	中国科学院南海海洋研究所

S30-P-10	南海及周缘地区下的上地幔不连续面：热结构的直观反映	尚正涛	南方科技大学
S30-P-11	南海台西南盆地裂谷中心地壳结构特征研究	陈昌亮	中国科学院南海海洋研究所
S30-P-12	Lithospheric stretching-style variations and anomalous post-rift subsidence in the deep water sags of the Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea	谢辉	广东海洋大学
S30-P-13	南海西缘中建南盆地的形成对走滑型陆缘裂解的启示	吴婵	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S30-P-14S	越南及南海北部地壳上地幔横波速度结构研究	杨旋	中国科学技术大学
S30-P-15S	泰国之下岩石圈地幔性质以及地幔源区岩性的限定	袁龙	自然资源部第一海洋研究所

专题31：东南亚环形俯冲体系的地球动力学过程			
S31-P-01S	南海中央海盆Mw 5.4震源区地震活动性监测及初步结果	宫文斐	上海交通大学/自然资源部第二海洋研究所
S31-P-02S	异常俯冲的成因探究	王星月	中国科学院南海海洋研究所
S31-P-03	苏门答腊俯冲板块的撕裂来自天然地震和地表数据的约束	谭平川	自然资源部第二海洋研究所
S31-P-04	东海中生代的缝合带：来自广角地震剖面的证据	卫小冬	自然资源部第二海洋研究所
S31-P-05	The caroline ridge fault system and implications for the bending-related faulting of incoming oceanic plateaus	张正一	中国科学院海洋研究所
S31-P-06S	洋盆俯冲起始的模式和条件	钟辛易	中国科学院大学
S31-P-07	辽东湾坳陷新生代应力场数值模拟与动力学研究	户盼盼	同济大学
S31-P-08S	华南南部陆缘沉积盆地晚新生代剥蚀特征及其构造意义	赵鹏	中国科学院南海海洋研究所
S31-P-09	穿过板块窗的地幔流上涌引起的爪哇俯冲带高钾火山活动：来自横波分裂的证据	孔凡圣	自然资源部第二海洋研究所

专题32：大洋岩石圈成因与深部物质循环			
S32-P-01	全球海洋转换断层形态特征的扩张速率依赖性	罗怡鸣	南方科技大学
S32-P-02	超难熔弧前地幔的部分熔融与熔岩反应历史——以新喀里多尼亚蛇绿岩为例	许阳	青岛海洋科学与技术试点国家实验室
S32-P-03S	卡尔斯伯格脊北段的岩浆作用及地幔源区特征	胡航	自然资源部第二海洋研究所
S32-P-04	华夏地块下地壳加厚与减薄：来自道县中生代麻粒岩捕虏体的证据	魏颖	东华理工大学
S32-P-05	印度洋三大洋中脊作用域及关键演化事件	余星	自然资源部第二海洋研究所
S32-P-06	西天山早二叠世闪长玢岩的高镁埃达克质特征：来自矿物学的限定	贺鹏丽	中国科学院广州地球化学研究所
S32-P-07S	马里亚纳俯冲带最南端的构造演化历史研究	张吉	中国科学院海洋研究所
S32-P-08	西藏南部与平俯冲作用有关的地壳增厚事件？来自冈底斯地区晚白垩世辉长闪长岩和流纹岩的证据	李秋环	中山大学
S32-P-09S	北极欧亚海盆岩石圈的有效弹性厚度变化及其地质构造意义	凌子龙	山东科技大学
S32-P-10S	地球板块构造与下地幔热–化学结构联系的数值模拟研究	史志东	中国科学院地质与地球物理研究所
S32-P-11S	俯冲板片熔融及地幔楔相互作用：来自索伦–长春缝合带南侧早–中三叠世富铌镁铁质岩石–埃达克岩组合的证据	景妍	吉林大学
S32-P-12S	拆离断层诱发下洋壳大规模熔体流动：以Atlantis Bank大洋核杂岩为例	张维骐	中国科学院地质与地球物理研究所
S32-P-13	新特提斯软流圈中再循环的古老大洋地幔：来自土耳其Kop Mountain蛇绿岩的制约	刘通	中国科学院地质与地球物理研究所
S32-P-14S	西南印度洋Marion隆起深部地幔过程：来自超镁铁质碎屑矿物的启示和制约	林音铮	中国科学院地质与地球物理研究所

专题36：太平洋俯冲带的演变			
S36-P-01S	中美洲俯冲带南段上覆板块沉积物化学组分及其地质意义	赵仁杰	自然资源部第一海洋研究所
S36-P-02S	幔源岩浆的多期侵位及其浅表响应：二维热–力学模拟	崔晓娜	中国科学院地质与地球物理研究所
S36-P-03S	大陆变质核杂岩的形成与大洋板块俯冲：二维热–力学数值模拟	唐嘉萱	中国科学院地质与地球物理研究所
S36-P-04S	双差层析成像反演阿拉斯加地区地壳上地幔速度结构	周少贤	同济大学
S36-P-05S	塔里木地幔柱差异强化及其周缘变形控制：二维热–力学模拟	向宵	中国科学院地质与地球物理研究所
S36-P-06S	洋脊俯冲的构造–岩浆效应：二维热–力学模拟	卢少康	中国科学院地质与地球物理研究所
S36-P-07S	南极洲难言岛古生代岩浆岩的地球化学特征及构造意义	高鹏	自然资源部第二海洋研究所

专题39：多圈层相互作用与深海关键战略矿产资源			
S39-P-01	南海北部台西南盆地不同AOM作用的识别	邬黛黛	中国科学院广州能源研究所
S39-P-02	南大西洋中脊赤弧热液区成矿机制探讨	叶俊	自然资源部第一海洋研究所
S39-P-03	南大西洋中脊洵美、彤管热液区含金属沉积物Cu、Zn同位素组成及成矿指示	杨宝菊	自然资源部第一海洋研究所
S39-P-04S	水平井开发海域水合物藏数值模拟研究	尚世龙	北京大学
S39-P-05S	拉曼光谱定量研究水合物相组成	李辉	中国地质大学（武汉）
S39-P-06S	硫酸盐甲烷转换带内多硫同位素特征及应用研究	张覃谊	中国科学院广州能源研究所
S39-P-07	水成铁锰氧化物对海水稀土元素的清扫作用	邓贤泽	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S39-P-08S	中印度洋洋盆深海沉积物碲地球化学特征及其物源指示意义	卢艳芳	浙江大学

S39-P-9S	西北太平洋GC03岩心深海富稀土沉积物地球化学特征及稀土元素主要赋存矿物	张兆祺	桂林理工大学
S39-P-10S	中印度洋深海盆地富稀土沉积物的地球化学特征及地质意义	孙懿	桂林理工大学
S39-P-11S	针铁矿对稀土元素的吸附及其在深海铁锰结核上的体现	梁泳嘉	中山大学
S39-P-12	浅海沉积磷块岩型潜在稀土资源的研究进展	王静雅	浙江大学

专题40：现代深海热液系统：物质循环与资源效应			
S40-P-01	现代海底热液金在海洋中的归宿及影响	黄威	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S40-P-02S	西南印度洋脊龙旂热液区黄铁矿的原位微量元素和S同位素的研究：对海底浅部成矿过程的启示	孟兴伟	上海交通大学
S40-P-03	深海热液羽流携带矿物颗粒的输运和沉积模式	贺治国	浙江大学
S40-P-04S	慢速–超慢速扩张洋中脊热液活动及其机理	宋珏琛	北京大学
S40-P-05S	西南印度洋洋中脊热液活动对沉积环境的影响	李东泽	同济大学
S40-P-06S	机器学习在西南印度洋海底多金属硫化物成矿定量预测中的应用	刘露诗	自然资源部第二海洋研究所
S40-P-07S	基于知识图谱技术的海洋成矿预测	黄南	自然资源部第二海洋研究所
S40-P-08S	海底热液区岩石磁学研究进展	刘隆	自然资源部第二海洋研究所
S40-P-9	超基性岩热液系统硫化物矿床磁性物质来源和磁异常特征	胡智龙	山东科技大学
S40-P-10S	深海矿床：金属资源和地球历程之窗	王莹	上海交通大学
S40-P-11	西北印度洋卧蚕热液区沉积记录对热液活动史的指示	邱中炎	自然资源部第二海洋研究所

专题41：油气与金属矿产形成和改造过程中有机–无机反应机理			
S41-P-01S	石油活动对海洋重金属的影响综述	谢思荣	广西大学
S41-P-02S	自生碳酸盐岩对天然气水合物成藏的指示作用	王子晨	中国科学院地质与地球物理研究所
S41-P-03S	碳酸盐岩岩溶碳汇量和溶蚀速率与气候的关系研究——以广西岩溶区为例	耿夏童	成都理工大学
S41-P-04	雄安地区中元古深部岩溶热储裂隙成因探讨	欧泳良	中国科学院地质与地球物理研究所
S41-P-05	深层不同类型流体改造碳酸盐岩围岩的模拟实验研究	丁茜	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
S41-P-06S	中元古代低硫酸盐浓度的古海洋环境和不同形式硫同位素特征	蒋子文	中国科学院地质与地球物理研究所
S41-P-07	火山地质事件对鄂尔多斯盆地长7页岩层系成源–成储影响探讨	李鹏	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
S41-P-08	锂同位素示踪作用研究进展及其在凝灰岩鉴别中的应用	刘佳宜	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
S41-P-09S	塔里木盆地下古生界烃源岩地球化学指标对古环境意义的指示	魏天媛	中国科学院地质与地球物理研究所
S41-P-10	自生矿物原位元素及氧同位素对油气运移路径的指示	黄林军	中国石油勘探开发研究院西北分院
S41-P-11S	钱家店及外围地区红杂色含铀有利层位重新划分及铀矿勘探意义	肖菁	核工业北京地质研究院

专题44：海洋地质灾害			
S44-P-01S	琼东南盆地海底峡谷内部冲沟刻画及成因机制探讨	曾凡长	中国科学院深海科学与工程研究所
S44-P-02	福建外海域滨海断裂带地质构造特征	杜文波	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S44-P-03	南海北部天然气水合物形成分解与海底滑坡时序关系研究	吴学敏	中国地质调查局广州海洋地质调查局

S44-P-04S	不同环境因素控制下的海岸沙丘高程研究	何岩雨	自然资源部第三海洋研究所
S44-P-05	南海中建南盆地岩浆侵入相关的海底圆丘研究	耿明会	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S44-P-06S	海底沉积物孔隙压力原位长期观测技术回顾和展望	陈天	中国海洋大学
S44-P-07S	深海水合物开采诱发的区域工程地质稳定性研究	宋晓帅	中国海洋大学

专题48：丝绸之路文明演化与环境变化			
S48-P-01	新疆博斯腾湖全新世水动力强度变化及其对早期人类定居的影响	谢海超	中国科学院青藏高原研究所
S48-P-02	丝绸之路西段泥炭记录的全新世降水演化历史	陈圣乾	中国科学院青藏高原研究所
S48-P-03S	欧亚草原–丝绸之路10500–2200 BP动物资源利用策略的时空变化	杜琳垚	兰州大学
S48-P-04	黄土高原西部新石器至历史时期人类对主要农作物的利用策略研究	黎海明	南京农业大学
S48-P-05	小麦在中国北方的传播和利用	马敏敏	兰州大学

口头报告				
7月8日 下午14:00~15:30				
分会场 1：二楼悦贵厅1号				7月8日下午
专题48：丝绸之路文明演化与环境变化（1） 主持人：马敏敏				
14:00-14:15	S48-O-01	从星象到物候：欧亚大陆农民历的出现（邀请报告）	陈巍	中国科学院自然科学史研究所
14:15-14:30	S48-O-02	一带一路专题数据库建设与数据挖掘分析平台	杨慧慧	西安地图出版社有限公司
14:30-14:45	S48-O-03	河西走廊地区史前人类生业模式及人与环境相互作用研究成果动画科普展示	李若	兰州大学

14:45-15:00	S48-O-04	黄土塬——千沟万壑之中的平坦之地	金钊	中国科学院地球环境研究所
15:00-15:15	S48-O-05	吐鲁番晋唐时期的植物利用与文化交流	蒋洪恩	中国科学院大学
15:15-15:30	S48-O-06	影响丝路文明演化的重大干旱事件	董广辉	兰州大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月8日 下午14:00~15:30				
分会场 2：二楼悦贵厅2号				7月8日下午
专题08：三角洲环境演变：人类活动和气候变化（1）主持人：陈中原				
14:00-14:15	S08-O-01	胶黄铁矿作为盐度和沉积速率变化的指示物：来自长江三角洲的地质记录	张卫国	华东师范大学
14:15-14:30	S08-O-02	人类活动对半封闭型海湾有机碳的来源及输运的影响	余凤玲	厦门大学
14:30-14:45	S08-O-03	基于云模型评价的中国大陆海岸侵蚀脆弱性研究	曹超	自然资源部第三海洋研究所
14:45-15:00	S08-O-04	长江口下切古河谷全新世沉积–生态环境演化探讨	姜锋	同济大学
15:00-15:15	S08-O-05	福建沿岸砂泥复合型海滩沉积物源汇过程及其对地貌演化的指示意义	赵绍华	自然资源部第三海洋研究所
15:15-15:30	S08-O-06	长江口浮游植物群落的长期演变分析——以长江通量变化和气候变暖为双重驱动作用	王艳娜	华东师范大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告
7月8日 下午14:00~15:30

分会场 3：二楼悦贵厅3号				7月8日下午
专题28：有机分子的生物地球化学：现代过程与沉积记录（4） 主持人：侯居峙				
14:00-14:15	S28-O-19	陆地植物叶蜡生物指标“植物类型效应”研究	刘金召	中国科学院地球环境研究所
14:15-14:30	S28-O-20	东灵山地区植物叶片$\delta^{13}C_{bulk}$和叶蜡$\delta^{13}C_{alk}$对气候响应的长期研究	石敏锐	中国农业大学
14:30-14:45	S28-O-21	长链正构烷烃分子特征和碳同位素值在原位土壤中的变化	王佳	同济大学
14:45-15:00	S28-O-22	中国泥炭地表层微生物GDGTs环境指示意义	张莉佳	中国地质大学（武汉）
15:00-15:15	S28-O-23	中国南方土壤和泥炭剖面细菌支链GDGTs随深度的变化：对古环境重建的启示	满怡	中国地质大学（武汉）
15:15-15:30	S28-O-24	二叠纪–三叠纪之交赤道泥炭地脂类分子变化特征及古生态意义	吴佳琪	中国地质大学（武汉）
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月8日 下午14:00~15:30				
分会场 4：三楼1号会议室				7月8日下午
专题10：深海沉积与全球变化（3） 主持人：刘志飞				
14:00-14:15	S10-O-13	西北太平洋40万年来有机碳埋藏及古生产力演化记录（邀请报告）	胡利民	中国海洋大学
14:15-14:30	S10-O-14	冰期–间冰期太平洋深水环境演变：有孔虫指标的发展与应用	胡镕	南京大学
14:30-14:45	S10-O-15	末次盛冰期以来日本海深部通风的经向异性及其控制机制	董智	自然资源部第一海洋研究所
14:45-15:00	S10-O-16	海平面与东亚夏季风对于冲绳海槽过去300 ka以来沉积物物源演化的双重控制	窦衍光	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
15:00-15:15	S10-O-17	9.2万年以来黑潮动力演化	邹建军	自然资源部第一海洋研究所

15:15-15:30	S10-O-18	挪威海北部沉积物颗粒组分指示的洋流和冰盖演化	汪卫国	自然资源部第三海洋研究所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月8日 下午14:00~15:30				
分会场 5：三楼2号会议室				7月8日下午
专题30：南海边缘海动力学演化研究新突破（3） 主持人：徐义刚、孙珍				
14:00-14:15	S30-O-13	海南地幔柱的活动性：来自地震震群与发震构造的探讨	夏少红	中国科学院南海海洋研究所
14:15-14:30	S30-O-14	南海北部陆缘洋陆过渡带晚中生代海山的发现及其构造意义	许岳	青岛海洋科学与技术国家实验室
14:30-14:45	S30-O-15	南海东北部古俯冲残留盆地及弧前张裂模式	范朝焰	中国科学院南海海洋研究所
14:45-15:00	S30-O-16	南海与菲律宾海协同演化——来自ODP 1177孔的约束	刘伟	南方科技大学
15:00-15:15	S30-O-17	南海东部次海盆洋壳结构和扩张期岩浆供应的时间变化特征	于俊辉	中国科学院南海海洋研究所
15:15-15:30	S30-O-18	古南海俯冲在婆罗洲的壳幔动力学响应	宋文恺	同济大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月8日 下午14:00~15:30				
分会场 6：三楼3号会议室				7月8日下午
专题32：大洋岩石圈成因与深部物质循环（3） 主持人：田丽艳、杨阳				

14:00-14:15	S32-O-13	中生代东南亚大陆边缘的北向俯冲：南海岩浆岩记录	钟立峰	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
14:15-14:30	S32-O-14	碳酸盐溶解是实现俯冲带碳循环的重要机制	张运迎	香港大学
14:30-14:45	S32-O-15	The nature and origin of upper mantle heterogeneity beneath the mid-Atlantic Ridge 33-35°N: a Sr-Nd-Hf isotopic perspective	郭鹏远	中国科学院海洋研究所
14:45-15:00	S32-O-16	橄榄石地质温度计揭示西南印度洋龙旂脊段地幔热异常	李洁	自然资源部第二海洋研究所
15:00-15:15	S32-O-17	Boron isotopic investigation of the Catalão II carbonatite complex, Brazil: insights into the mantle source and hy-drothermal alteration	赵浩	中国海洋大学
15:15-15:30	S32-O-18	弧岩浆高氧逸度成因：来自全球弧火山岩Cu/Zr比值的制约	赵思宇	中国科学院大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月8日 下午14:00~15:30				
分会场 7：三楼5号会议室				7月8日下午
专题39：多圈层相互作用与深海关键战略矿产资源（2） 主持人：孙晓明、张霄宇				
14:00-14:15	S39-O-07	深海多金属结核对中国关键战略金属Co的安全保障及勘查远景区圈划	任向文	自然资源部第一海洋研究所
14:15-14:30	S39-O-08	富稀土深海沉积中稀土元素的物质来源探究（邀请报告）	张霄宇	浙江大学
14:30-14:45	S39-O-09	深海稀土的分布规律与超常富集机制	石学法	自然资源部第一海洋研究所
14:45-15:00	S39-O-10	富稀土沉积物中稀土元素富集机制——以中印度洋海盆为例	于淼	自然资源部第一海洋研究所
15:00-15:15	S39-O-11	渤海物源研究	秦亚超	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
15:15-15:30	S39-O-12	印度洋沃顿海盆沸石粘土沉积特征及REY富集机制	李佳	自然资源部第一海洋研究所

15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月8日 下午14:00~15:30				
分会场 8：三楼6号会议室				7月8日下午
专题36：太平洋俯冲带的演变（1） 主持人：刘俊来				
14:00-14:15	S36-O-01	东北亚早白垩世裂谷盆地演化与古西太平洋板块俯冲	孟庆任 金之钧	中国科学院地质与地球物理研究所/北京大学
14:15-14:30	S36-O-02	跨北太平洋早白垩世大地构造：欧亚大陆东部岩石圈伸展机制与动力学	刘俊来	中国地质大学（北京）
14:30-14:45	S36-O-03	夏威夷–帝王岛链的脊–柱相互作用	孙卫东	中国科学院海洋研究所
14:45-15:00	S36-O-04	早白垩–渐新世西北太平洋俯冲：左行走滑与洋脊俯冲事件	刘恺	中国地质大学（北京）
15:00-15:15	S36-O-05	西北太平洋俯冲带地幔结构的成像新认识	吕彦	中国科学院地质与地球物理研究所
15:15-15:30	S36-O-06	古太平洋板块早侏罗世–早白垩世早期俯冲演化历史：来自东北中生代火成岩及陆缘增生杂岩的制约	李宇	中国科学院地质与地球物理研究所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月8日 下午14:00~15:30				
分会场 9：三楼7号会议室				7月8日下午
专题12：亚洲–太平洋地区中晚全新世高分辨率气候变化 主持人：周鑫、晏宏				
14:00-14:15	S12-O-01	火山如何激发厄尔尼诺	刘飞	中山大学

14:15-14:30	S12-O-02	湿润亚热带地区过去300年来春季低温变化	方克艳	福建师范大学
14:30-14:45	S12-O-03	全新世东亚冬季风与厄尔尼诺活动影响下热带太平洋降水千年尺度上相互作用的探讨	董江	自然资源部第一海洋研究所
14:45-15:00	S12-O-04	湖光岩玛珥湖过去2000年来的气候变化记录	曹建涛	同济大学
15:00-15:15	S12-O-05	江淮地区高分辨率湖泊沉积物年代学和季风降水变化研究	蒋诗威	中国科学技术大学
15:15-15:30	S12-O-06	过去600年以来中国东部地区的极端温度事件	周尚蓉	中山大学
15:30-15:50	茶歇			

第六届地球系统科学大会日程

大会特邀报告			
7月8日 下午15:50~17:20			
主会场（东方厅）			7月8日下午
大会特邀报告 主持人：陈骏			
15:50-16:20	从陆相微生物记录看气候演变的低纬驱动	谢树成	中国地质大学（武汉）
16:20-16:50	热带太平洋上层海洋热含量的岁差辐射驱动	翦知湣	同济大学
16:50-17:20	载人深潜视野下的深海深渊之谜	彭晓彤 丁抗	中国科学院深海科学与工程研究所

信息发布会			
7月8日 晚上 19:30~21:00 会场：东方厅1号			
会场：东方厅1号			7月8日 晚上
信息发布会 主持人：朱伟林			

19:30~20:00	天问一号火星探测任务进展与科学目标	朱岩	中国科学院国家空间科学中心
20:00~20:30	深时数字地球（DDE）国际大科学计划	王成善	中国地质大学（北京）
20:30~21:00	中国载人深潜技术进展	叶聪	中国船舶集团有限公司第七O二研究所

第六届地球系统科学大会日程

口头报告				
7月9日 上午 08:30~11:50				
分会场 1：二楼悦贵厅1号				7月9日上午
专题06：晚第四纪高分辨率陆海气候对比：从指标到记录（1） 主持人：谭亮成				
08:30-08:45	S06-O-01	海因里希冰阶4的记录对比和动力学机制（邀请报告）	程海	西安交通大学
08:45-09:00	S06-O-02	我国西部黄土记录的西风–季风气候变化及驱动机制研究	李国强	兰州大学
09:00-09:15	S06-O-03	西藏色林错全新世湖泊演化及冰融水的影响	隆浩	中国科学院南京地理与湖泊研究所
09:15-09:30	S06-O-04	全新世东亚冬季风变化及其与夏季风的关系	康树刚	中国科学院地球环境研究所
09:30-09:45	S06-O-05	The influences of external forcings on decadal climate changes	宁亮	南京师范大学
09:45-10:00	S06-O-06	Vegetation feedback causes delayed ecosystem response to East Asian Summer Monsoon rainfall during the Holocene	程军	南京信息工程大学
10:00-10:20	茶歇			
专题06：晚第四纪高分辨率陆海气候对比：从指标到记录（2） 主持人：李廷勇				
10:20-10:35	S06-O-07	过去2000年气候变化的全球集成研究进展与展望（邀请报告）	郑景云	中国科学院地理科学与资源研究所

10:35-10:50	S06-O-08	全新世西风急流季节变化对中亚干旱区降水的影响	周朋	北京师范大学
10:50-11:05	S06-O-09	An annual-resolution stalagmite record of the 4.2 ka event from central China: comparison with the 8.2 ka event	刘浴辉	中国地质大学（武汉）
11:05-11:20	S06-O-10	Dust storm outbreak in central Asia after ~3.5 kyr BP	韩文霞	临沂大学
11:20-11:35	S06-O-11	Role of the summer monsoon variability in the collapse of the Ming Dynasty: evidences from speleothem records	赵景耀	西安交通大学
11:35-11:50	S06-O-12	EASM-EAWM relation across different time scales	严蜜	南京师范大学

口头报告				
7月9日 上午 08:30~11:50				
分会场 2：二楼悦贵厅2号				7月9日上午
专题46：海底观测网的关键科学问题和国家需求（1） 主持人：杨守业				
08:30-08:45	S46-O-01	内陆架泥区动态及其资源环境生态效应：东海海底观测网数据采集需求（邀请报告）	高抒	南京大学
08:45-09:00	S46-O-02	亚洲大陆边缘海底峡谷的形态展布及控制因素	韩喜彬	自然资源部第二海洋研究所
09:00-09:15	S46-O-03	大陆岛入海沉积物通量的估算研究	李高聪	广东海洋大学
09:15-09:30	S46-O-04	Hypoxic effects on the radiocarbon in DIC of the ECS subsurface water（邀请报告）	范代读	同济大学
09:30-09:45	S46-O-05	现代黄河三角洲前缘重力沉积叠覆体演化及其对海底观测的启示	刘世昊	华东师范大学
09:45-10:00	S46-O-06	台风条件下浮泥形成过程	唐杰平	广东海洋大学
10:00-10:20	茶歇			
专题46：海底观测网的关键科学问题和国家需求（2） 主持人：蔡平河				

10:20-10:35	S46-O-07	斯里兰卡风和波浪观测数据集（邀请报告）	王东晓	中山大学
10:35-10:50	S46-O-08	长江口拦门沙对纵向环流模式和内波激发的影响	汪亚平	南京大学
10:50-11:05	S46-O-09	海底压强与海底加速度的理论关系与可能应用	安超	上海交通大学
11:05-11:20	S46-O-10	Carbon and nutrient export from intertidal sand systems elucidated by $^{224}Ra/^{228}Th$ disequilibria（邀请报告）	蔡平河	厦门大学
11:20-11:35	S46-O-11	近海河口区碳源碳汇转换的生物地球化学——以长江口为例	翟惟东	山东大学
11:35-11:50	S46-O-12	长江口–东海陆架浮游生物原位观测初探——挑战与未来	王锐	同济大学

口头报告				
7月9日 上午 08:30~11:50				
分会场 3：二楼悦贵厅3号				7月9日上午
专题19：南海珊瑚礁：过去、现在与将来（1） 主持人：高树基				
08:30-08:45	S19-O-01	南海三种代表性造礁石珊瑚的群体遗传学研究（邀请报告）	黄雯	广西大学
08:45-09:00	S19-O-02	基于数值模拟的珊瑚共生关系多尺度碳循环研究	许一	华东师范大学
09:00-09:15	S19-O-03	珊瑚共生体对自养氮和异养氮的利用及向系统的输出：共性与特性初探	盛华夏	厦门大学
09:15-09:30	S19-O-04	气候变化和富营养化下的近岸珊瑚研究：以海南岛西北部海域为例	朱文涛	海南大学
09:30-09:45	S19-O-05	热驯化增加霜鹿角珊瑚热耐受性	俞小鹏	广西大学
09:45-10:00	S19-O-06	多环芳烃（PAHS）在南海珊瑚礁区大气–海水–珊瑚中的分布、来源和环境行为	韩民伟	广西大学
10:00-10:20	茶歇			

专题19：南海珊瑚礁：过去、现在与将来（2） 主持人：余克服				
10:20-10:35	S19-O-07	全新世和人类世的南海北部珊瑚岸礁	陈天然	中国科学院南海海洋研究所
10:35-10:50	S19-O-08	西沙群岛琛航岛全新世珊瑚礁的发育过程及其记录的海平面变化	马一方	广西大学
10:50-11:05	S19-O-09	南海化石珊瑚与现代珊瑚的硼同位素体系对比研究	陈雪霏	中国科学院广州地球化学研究所
11:05-11:20	S19-O-10	中晚全新世滨珊瑚周期性白化与恢复的新证据	王浩	广西大学
11:20-11:35	S19-O-11	4.2 ka气候事件期间的ENSO变化	党少华	同济大学
11:35-11:50	S19-O-12	南海北部珊瑚记录的中世纪气候异常期ENSO变率	江蕾蕾	广西大学

口头报告				
7月9日 上午 08:30~11:50				
分会场 4：三楼1号会议室				7月9日上午
专题21：南海海洋科学国际合作前景（1） 主持人：戴民汉、刘志飞				
08:30-08:45	S21-O-01	当前南海形势和未来展望（邀请报告）	吴士存	中国南海研究院
08:45-09:00	S21-O-02	印太北部大陆边缘生物泵观测与集成——国际合作需求	陈建芳	自然资源部第二海洋研究所
09:00-09:15	S21-O-03	基于国际合作的南海周缘地区的地震观测：实践、成果及思考	杨挺	南方科技大学
09:15-09:30	S21-O-04	南海和周边海域环流相互作用的研究现状和国际合作需求	袁东亮	中国科学院海洋研究所
09:30-09:45	S21-O-05	中国–东盟海洋地震数据平台与研究中心建设	栾锡武	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
09:45-10:00	S21-O-06	南海沉积学国际合作研究的回顾与展望	石学法	自然资源部第一海洋研究所
10:00-10:20	茶歇			

专题21：南海海洋科学国际合作前景（2） 主持人：于卫东、刘志飞				
10:20-10:35	S21-O-07	南海国际法律与国际政治态势的可能发展（邀请报告）	傅崐成	海南大学
10:35-10:50	S21-O-08	西太平洋地区有害赤潮的合作与联合研究	王鹏斌	自然资源部第四海洋研究所
10:50-11:05	S21-O-09	海洋生态系统智慧感知示范	张学雷	自然资源部第一海洋研究所
11:05-11:20	S21-O-10	印度尼西亚北苏拉威西热带海洋生态系统研究进展与展望	杜建国	自然资源部第三海洋研究所
11:20-11:35	S21-O-11	中生代末华南大陆边缘构造背景的地质记录——来自巴拉望地块的证据	邵磊	同济大学
11:35-11:50	S21-O-12	菲律宾吕宋岛与菲律宾海板块在新生代的构造亲缘关系：古地磁学和锆石U-Pb年代学证据	赵西西	同济大学

口头报告				
7月9日 上午 08:30~11:50				
分会场 5：三楼2号会议室				7月9日上午
专题23：有机碳与矿物的相互作用（1） 主持人：王风平				
08:30-08:45	S23-O-01	粘土矿物–有机质相互作用对有机质生烃的控制	蔡进功	同济大学
08:45-09:00	S23-O-02	芽孢杆菌诱导细胞内外碳酸盐矿物特征及其矿化机制	韩作振	山东科技大学
09:00-09:15	S23-O-03	有机质在天然粘土矿物–有机质复合体中的赋存	刘冬	中国科学院广州地球化学研究所
09:15-09:30	S23-O-04	微生物EPS与锰氧化物耦合作用对Ce分配异常形成机制的研究	余茜倩	中国地质大学（武汉）
09:30-09:45	S23-O-05	火山灰蚀变对海底沉积物碳循环的影响	罗敏	上海海洋大学
09:45-10:00	S23-O-06	深海搬运过程中粘土矿物与有机碳的相互作用（邀请报告）	刘志飞	同济大学
10:00-10:20	茶歇			

专题23：有机碳与矿物的相互作用（2） 主持人：董海良				
10:20-10:35	S23-O-07	铁矿物介导的土壤碳循环：固持与激发效应（邀请报告）	余光辉	天津大学
10:35-10:50	S23-O-08	氧化还原环境中粘土矿物对有机质转化的影响	曾强	中国地质大学（北京）
10:50-11:05	S23-O-09	胞外聚合物来源氨基酸在兼性厌氧细菌 *Enterobacter ludwigii* SYB1诱导单水方解石中的选择性吸附	赵延洋	山东科技大学
11:05-11:20	S23-O-10	天然有机质介导的赤铁矿异化还原：暴露晶面{001}和{100}上的界面反应	胡世文	南方科技大学
11:20-11:35	S23-O-11	有机–无机相互作用下的粘土矿物界面属性研究	李旭	同济大学
11:35-11:50	S23-O-12	水钠锰矿与有机酸界面日光电子传递机制	叶欢	北京大学

口头报告				
7月9日 上午 08:30~11:50				
分会场 6：三楼3号会议室				7月9日上午
专题37：西太–东亚岩浆作用的海陆对比（1） 主持人：徐义刚				
08:30-08:45	S37-O-01	东北亚陆缘沟–弧–盆体系形成的时间与机制：新生代玄武岩成分时空变异制约（邀请报告）	许文良	吉林大学
08:45-09:00	S37-O-02	中国东部霞石岩成因：俯冲物质的深部熔融	曾罡	南京大学
09:00-09:15	S37-O-03	地球深部地球化学储库及其成因研究进展	李洪颜	中国科学院广州地球化学研究所
09:15-09:30	S37-O-04	东北亚陆缘中生代岩浆作用的空间变异：对古太平洋板块俯冲历史与后撤（Rollback）过程的制约	唐杰	吉林大学
09:30-09:45	S37-O-05	古太平洋板块俯冲与东亚大地幔楔的形成时代	马强	中国地质大学（武汉）
09:45-10:00	S37-O-06	板块平俯冲与大地幔楔模式的对比：流体–熔体活动及上覆岩石圈响应	李忠海	中国科学院大学

10:00-10:20	茶歇			
专题32：大洋岩石圈成因与深部物质循环（4） 主持人： 钟立峰、杨阳				
10:20-10:35	S32-O-19	海洋多道反射地震成像在洋中脊热液系统成像的应用	狄会哲	中国科学院南海海洋研究所
10:35-10:50	S32-O-20	Internal stress in mid-ocean ridge basalts and its implications on remanent magnetization of oceanic crust	韩非	中国地质大学（武汉）
10:50-11:05	S32-O-21	M值沿Mohns洋中脊的变化	张一诺	中国科学院南海海洋研究所
11:05-11:20	S32-O-22	原位矿物化学揭示新特提斯洋地幔部分熔融过程与冷却速率	杨凯	中国地质大学（北京）
11:20-11:35	S32-O-23	全球热点分布与LLSVP空间叠置性再分析	党牛	成都理工大学
11:35-11:50	S32-O-24	近地表复杂性对基于SS前驱波的地幔间断面测定影响	王培锋	中国科学院南海海洋研究所

口头报告				
7月9日 上午 08:30~11:50				
分会场 7：三楼5号会议室				7月9日上午
专题14：南北半球互动以及低纬过程（1） 主持人：周力平				
08:30-08:45	S14-O-01	南海鱼牙化石钕同位素记录指示上新世暖期北太平洋亚北极垂向通风增强	田军	同济大学
08:45-09:00	S14-O-02	始新世大洋环流特征及其环境效应	张彧瑞	厦门大学
09:00-09:15	S14-O-03	大西洋海盆裂开以来AMOC的演化	袁帅	北京大学
09:15-09:30	S14-O-04	中中新世气候转型期低中纬海洋通风状况的反向变化	柳中晖	香港大学
09:30-09:45	S14-O-05	冰期–间冰期旋回不同阶段南北半球深层水形成情况的差异及其环境意义	李科	同济大学
09:45-10:00	S14-O-06	晚上新世–早更新世南大洋深水环流	黄宝琦	北京大学

10:00-10:20	茶歇			
专题14：南北半球互动以及低纬过程（2） 主持人：田军				
10:20-10:35	S14-O-07	有孔虫钠钙比值指示海水钙离子浓度在过去一千六百万年持续下降	周晓理	同济大学
10:35-10:50	S14-O-08	Enhanced North Pacific subtropical gyre circulation during late Holocene cool intervals	张彦成	中山大学
10:50-11:05	S14-O-09	晚更新世以来印尼穿越流在东印度洋的热传输过程	丁旋	中国地质大学（北京）
11:05-11:20	S14-O-10	沉积物颜色比值作为生物硅新指标：重建智利岸外生产力在冰期旋回上的变化	李琛	同济大学
11:20-11:35	S14-O-11	东特提斯洋在古新世–始新世极热事件（PETM）恢复过程中的碳汇作用	姜仕军	河海大学
11:35-11:50	S14-O-12	北极冰盖增强期间太平洋深水环流的变化	冯华	同济大学

口头报告				
7月9日 上午 08:30~11:50				
分会场 8：三楼6号会议室				7月9日上午
专题04：温室气候地球轨道力驱动的水文循环与数值模拟（1） 主持人：吴怀春、黄永建				
08:30-08:45	S04-O-01	2.5亿年以来全球水循环和干旱区演变	胡永云	北京大学
08:45-09:00	S04-O-02	早侏罗世大洋缺氧事件碳循环扰动在塔里木盆地中的记录	邱若原	中国科学院地质与地球物理研究所
09:00-09:15	S04-O-03	千年尺度气候事件低纬度来源及其解释机制	张治锋	中国地质大学（北京）
09:15-09:30	S04-O-04	过去2.5亿年以来ENSO强度的演化	李想	北京大学
09:30-09:45	S04-O-05	早白垩世辽北秀水盆地湖相年纹层记录与太阳活动周期	田兴	中国地质大学（北京）
09:45-10:00	S04-O-06	白垩纪早Aptian期张掖黑色页岩揭示的气候岁差驱动	谢琴	福建师范大学

10:00-10:20	茶歇			
专题04：温室气候地球轨道力驱动的水文循环与数值模拟（2） 主持人：胡永云				
10:20-10:35	S04-O-07	晚白垩世至古新世东亚中纬度陆地气候变化——来自松辽盆地大陆科学钻探的记录	高远	中国地质大学（北京）
10:35-10:50	S04-O-08	全球煤分布的定量气候模型——基于气候模拟的研究	包秀娟	北京大学
10:50-11:05	S04-O-09	轨道驱动的中三叠世温室气候变化——来自鄂尔多斯盆地延长组的地质证据	褚润健	中国地质大学（北京）
11:05-11:20	S04-O-10	PETM期间北海盆地在天文信号驱动下的大规模陆源碎屑输入	金思敏	中国地质大学（武汉）
11:20-11:35	S04-O-11	Remote sensing for dryness monitoring and impact evaluation	Abdul Ghaffar	中国海洋大学
11:35-11:50	S04-O-12	末次间冰期以来轨道尺度东亚春季沙尘循环的瞬变模拟研究	李新周	中国科学院地球环境研究所

口头报告				
7月9日 上午 08:30~11:50				
分会场 9：三楼7号会议室				7月9日上午
专题27：水生关键带有机碳循环过程：从分子水平到全球尺度（1） 主持人：姚鹏				
08:30-08:45	S27-O-01	东亚大陆边缘百年来有机碳埋藏的纬度差异及响应	胡利民	中国海洋大学
08:45-09:00	S27-O-02	峡湾沉积有机碳特征的纬度梯度规律	崔行骞	上海交通大学
09:00-09:15	S27-O-03	有机碳在河流–河口–边缘海连续体输运过程中的演化和埋藏效应	赵彬	中国海洋大学
09:15-09:30	S27-O-04	我国东部陆架边缘海黑碳“源–汇”的研究进展	方引	上海海洋大学
09:30-09:45	S27-O-05	我国边缘海陆源有机质的年龄特征及其埋藏效率	于蒙	中国海洋大学

09:45-10:00	S27-O-06	Export and burial of terrestrial organic carbon in the coastal northern South China Sea during the last century	韦兵兵	同济大学
10:00-10:20	茶歇			
专题43：地震孕震、地震活动与地震灾害（1） 主持人：罗纲、柳畅				
10:20-10:35	S43-O-01	美西1700年Mw 9 Cascadia地震及岩石圈应力演化（邀请报告）	胡岩	中国科学技术大学
10:35-10:50	S43-O-02	强震孕育、发生及其复发循环过程的数值模拟：对地震灾害预测的启示	朱守彪	应急管理部国家自然灾害防治研究院
10:50-11:05	S43-O-03	地震震后形变及对地表地质灾害影响的模拟分析	孙玉军	中国地质科学院
11:05-11:20	S43-O-04	一个疑似地表工程建设诱发的极浅源地震——2016年8月11日Mw 4.1垫江地震	钱韵衣	南方科技大学
11:20-11:35	S43-O-05	活动造山带前缘断层行为模式的砂箱模拟研究	孙闯	中山大学
11:35-11:50	S43-O-06	Source model for buried thrust-dominated earthquakes using partial insar displacements: the 2018 Lombok, Indonesia, earthquake sequence	王晓航	武汉大学

口头报告				
7月9日 上午 08:30~11:50				
分会场 10：三楼8号会议室				7月9日上午
专题22：深海盆洋陆相互作用：环流、沉积和生物地球化学过程（5） 主持人：曹知勉				
08:30-08:45	S22-O-25	基于BGC-Argo的南海海盆净群落生产力和群落呼吸研究（邀请报告）	黄邦钦	厦门大学
08:45-09:00	S22-O-26	Nutrient limitation of biological nitrogen fixation across the oligotrophic western North Pacific Ocean	史大林	厦门大学
09:00-09:15	S22-O-27	南海不同水层溶解有机物光化学活性及其对微生物可利用性的影响研究	宋贵生	天津大学
09:15-09:30	S22-O-28	Tidal-driven submarine groundwater discharge and its influences on the carbonate system of a coastal coral reef in the northern South China Sea	江宗培	浙江大学

09:30-09:45	S22-O-29	南海北部浮游有孔虫*Globigerinoides sacculifer*氧碳同位素的季节和年际变化特征及其全球环境变化意义	张靖雯	同济大学
09:45-10:00	S22-O-30	从海洋有机碳到干酪根——打通“最后1公里”？	焦念志	厦门大学
10:00-10:20	茶歇			
专题47：华夏山水的由来（三） 主持人：周忠和				
10:20-10:35	S47-O-01	青藏高原的来历	赵俊猛	中国科学院青藏高原研究所
10:35-10:50	S47-O-02	黄河中游的演化	潘保田	兰州大学
10:50-11:05	S47-O-03	长江三角洲的演变	范代读	同济大学
11:05-11:20	S47-O-04	西沙群岛的由来	吴时国	中国科学院深海科学与工程研究所
11:20-11:35	S47-O-05	桂林山水甲天下	袁道先	中国地质科学研究院岩溶地质研究所
11:35-11:50	S47-O-06	南海演义	汪品先	同济大学

第六届地球系统科学大会日程

7月9日 午餐： 12:00~13:30			
展板报告：12:30~14:00			
专题04：温室气候地球轨道力驱动的水文循环与数值模拟			
S04-P-01	解码天文轨道力驱动的盆地波动过程：以鄂尔多斯盆地中生界为例	张瑞	北京大学
S04-P-02S	德干火山作用及晚白垩世生物大灭绝：来自Hg元素及Hg同位素的证据	顾雪	中国地质大学（北京）
S04-P-03	中国东北晚白垩世受轨道驱动的化学风化作用及其古气候学意义	黄永建	中国地质大学（北京）
S04-P-04S	赫布里底盆地早托阿尔期大洋缺氧事件记录与同期环境响应	陈文汉	中国地质大学（武汉）

S04-P-05S	青藏高原热源对亚洲西风急流的影响：末次盛冰期和现代对比	雷婧	中国科学院地球环境研究所
S04-P-06S	晚白垩世松辽盆地嫩江组二段XRF岩芯扫描记录中的化学风化史和米兰科维奇旋回及古气候意义	李祥	中国地质大学（北京）
S04-P-07S	过去2.5亿年太平洋–北美型遥相关的演变	李智博	北京大学
S04-P-08S	中生代沙尘对气候的影响	林琪凡	北京大学
S04-P-09S	中新世气候敏感性沉积物的定量气候指示意义研究	余晨旻	中国地质大学（北京）
S04-P-10	江汉盆地SKD1深钻揭示的古新世–始新世极热事件的降水效应	滕晓华	枣庄学院
S04-P-11S	米兰科维奇旋回周期控制下的页岩有机质富集规律——以东营凹陷FY1井为例	周靖皓	中国石油大学（北京）

专题06：晚第四纪高分辨率陆海气候对比：从指标到记录			
S06-P-01	河南石笋记录的全新世东亚夏季风变率及其影响	蔡演军	西安交通大学
S06-P-02	石笋记录的亚澳地区过去300年Pb排放历史：自然和人类活动影响	王甜莉 谭亮成	中国科学院地球环境研究所
S06-P-03	Late Holocene solar forcings on the Kuroshio current of subtropical North Pacific at different timescales	胡邦琦	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S06-P-04	Sub-millennial-to-millennial scale changes of East Asian summer monsoon during Greenland interstadial 25 event	董进国	南通大学
S06-P-05	洞穴石笋对“西南大旱”的记录	殷建军	中国地质科学院岩溶地质研究所
S06-P-06	Gradual south-north climate transition in the Atlantic realm within the Younger Dryas	张海伟	西安交通大学
S06-P-07	青藏高原东北部青海湖湖水铀钍同位素地球化学分布特征及环境指示意义	张普	西安交通大学
S06-P-08	桂西北岩溶斜坡地带MIS 3中晚期洞穴石笋记录的亚洲季风变化	朱晓燕	中国地质科学院岩溶地质研究所
S06-P-09	Early Holocene permafrost retreat in Siberia amplified by reorganization of westerly circulation	李廷勇	云南师范大学

S06-P-10S	全新世印度季风和非洲季风的转换——阿曼石笋多指标气候记录研究	田野	西安交通大学
S06-P-11	新疆天山石笋多指标记录的全新世水文气候变化	刘小康	中国科学院青藏高原研究所
S06-P-12	台湾浊水溪三角洲Heinrich事件沉积旋回及古气候意义	潘遵友	同济大学
S06-P-13	季风边缘区北部植被变化受降水驱动的植硅体和数值模拟证据	李楠楠	厦门大学
S06-P-14S	太阳活动与太平洋年代际震荡对中国东部旱涝格局的协同影响研究	张亮	中国科学院地理科学与资源研究所
S06-P-15S	中国石笋$\delta^{18}O$揭示的冰期–间冰期变化	杨会会	南方科技大学
S06-P-16S	倒数第二次冰消期东亚季风演化历史及其千年尺度气候旋回	崔佳辉	西安交通大学
S06-P-17S	柴达木盆地东北部盐湖水中铀同位素分布特征及影响因素	曹晨阳	西北大学
S06-P-18	亚洲季风区降水重建数据集的比较及其在不同年代际振荡位相下的空间格局	刘洋	中国科学院地理科学与资源研究所
S06-P-19	CIS13和14事件的东亚季风水文变化特征——来自中国北方高分辨率、多指标石笋记录证据	黄伟	宜春学院
S06-P-20	晚上新世以来菲律宾海盆XT4孔黏土矿物特征及其古环境意义	丁雪	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S06-P-21S	中国石笋记录的末次冰消期东亚夏季风演化及石笋氧同位素意义	梁怡佳	南京师范大学
S06-P-22S	基于GDGTs定量重建近两千年太白山高山湖泊水位变化与降水模式	陈林	兰州大学
S06-P-23S	低纬湿地面积变化可能主导全球大气甲烷浓度长期变化趋势	宋云平	天津大学
S06-P-24S	中国北方近500年沙尘暴活动及机制	张金	天津大学
S06-P-25S	末次间冰期亚洲季风60年准周期的年纹层石笋证据	王真军	南京师范大学
S06-P-26S	秦皇岛石笋记录的华北地区末次间冰期气候变化	吴雅玲	中国地质大学（武汉）
S06-P-27S	海岸沙丘运动与全球变暖的关系研究	李依婵	南方科技大学

S06-P-28	长江中游石笋微量元素记录的末次盛冰期古水文演化历史及其驱动机制	薛书雨	中国地质大学（武汉）
S06-P-29S	石笋多指标精确地重建东亚夏季风区域的4.2 ka事件	陈朝军	西南大学
S06-P-30	北京石花洞石笋微量元素记录的最近150年气候和水文条件变化	班凤梅	山西财经大学

专题14：南北半球互动以及低纬过程			
S14-P-01S	全球太阳辐射的计算方法及图形界面程序	徐晶尧	浙江海洋大学
S14-P-02S	南海北部神狐海域Site 2A站位沉积物地球化学特征及其对沉积环境的指示	区相文	中国科学院广州能源研究所
S14-P-03S	Mid-Miocene perturbation of climate-carbon cycle interactions at long eccentricity cyclicity forced by volcanic CO_2 emission	刘丰豪	同济大学
S14-P-04S	晚新生代西太构造与南海贯穿流的协同演化及其气候效应	丁奕凡	同济大学
S14-P-05S	晚中新世以来赤道西太平洋的硅质沉积	冯华	同济大学
S14-P-06S	利用冷水珊瑚氧、碳同位素重建中–深层海水古温度	孔乐	同济大学
S14-P-07S	东赤道印度洋更新世以来地层年代框架建立以及环境初步重建	王默林	中国地质大学（北京）
S14-P-08S	气候、风尘及生物地球化学之间的全球铁联系	王敦繁	南方科技大学
S14-P-09S	200 ka以来帝汶海西南部钻孔沉积物源区风化的Mg同位素记录及其对澳洲古季风的响应	可菲	西北大学
S14-P-10S	上新世–更新世印尼穿越流中层水的古海洋学记录及其意义	陈漪馨	西北大学
S14-P-11S	马来西亚热带雨林现代花粉形态研究	张庆云	宁波大学
S14-P-12S	栎属花粉属内分类在中国东部沿海第四纪古环境重建中的意义	唐银宁	宁波大学
S14-P-13S	重建腐泥层浮游植物生产力和群落结构变化	赵蔓	同济大学

S14-P-14	近90 ka来南海深水的氧化还原历史及其对太平洋深水环流的响应	张亚南	南方科技大学
S14-P-15S	南海北部陆架表层沉积物中长链烯酮不饱和度分布特征及其对区域性海温的指示	陈国生	广东海洋大学

专题19：南海珊瑚礁：过去、现在与将来			
S19-P-01S	西沙群岛珊瑚礁鱼类多样性研究	邱书婷	自然资源部第三海洋研究所
S19-P-02S	珊瑚的主要疾病类型以及环境因素的影响	孙一楠	广西大学
S19-P-03	防城港白龙尾造礁石珊瑚空间分布及群落特征	林明晴	广西红树林研究中心
S19-P-04S	造礁石珊瑚相关B-葡萄糖苷酶产生菌及其基因的高度多样性	张琦	广西大学
S19-P-05S	南海环境敏感型造礁珊瑚共生微生物生态特征及关键驱动因素	许勇前	广西大学
S19-P-06S	*Marinibactrum weizhouensis* sp. nov., a bacterium isolated from coral *Porites lutea*	刘建峰	广西大学
S19-P-07S	基于转录组学的造礁珊瑚对异常高温差异响应机制	余骄洋	广西大学
S19-P-08S	基于质谱代谢组学研究珊瑚响应高温胁迫的生化机制	张晶晶	广西大学
S19-P-09S	海洋酸化下强壮鹿角珊瑚共生虫黄藻和细菌的群落结构响应与生理应答	葛瑞琪	广西大学
S19-P-10S	热胁迫压力下三种颜色表型澄黄滨珊瑚（*Porites lutea*）共生体的分子适应性特征	王永刚	广西大学
S19-P-11S	南海不同纬度澄黄滨珊瑚群体对极端高/低温胁迫的响应差异	阳恩广	广西大学
S19-P-12	苯并[A]芘胁迫下珊瑚共生虫黄藻群落结构的响应	杨婷寒	厦门大学
S19-P-13	有机磷酸酯阻燃剂和增塑剂在南海珊瑚礁区大气–海水–珊瑚系统中的环境分布及生物富集	张瑞杰	广西大学
S19-P-14S	中国南海滨珊瑚钙化对长期海洋升温与酸化的响应	康慧凌	中国科学院广州地球化学研究所

S19-P-15S	1985–2019年南海珊瑚礁区热应力时空变化研究	陆永强	广西大学
S19-P-16	南海灰沙岛对过去30年气候变暖响应的遥感影像记录	黄荣永	广西大学
S19-P-17S	基于地貌的西沙群岛珊瑚礁浅水地形遥感反演及珊瑚分布研究	段正贤	广西大学
S19-P-18S	基于$^{210}Pb/^{226}Ra$年代法和^{40}K代用指标的珊瑚历史覆盖度反演技术	莫敏婷	广西大学
S19-P-19S	涠洲岛珊瑚礁区沉积物界面营养盐的交换通量及其影响因素研究	方草	广西大学
S19-P-20S	南海珊瑚礁表层沉积物磁性矿物的类型及其可能来源	韦露	广西大学
S19-P-21S	长棘海星爆发周期珊瑚礁区沉积物营养盐的动力学研究	夏荣林	广西大学
S19-P-22S	南海珊瑚礁区长棘海星体内重金属含量与特征分析	赵思佳	广西大学
S19-P-23S	浅水珊瑚骨骼Cu和Zn同位素组成特征及其气候环境和生物活动意义	肖杭芳	中国科学院广州地球化学研究所
S19-P-24	*Porites* coral on a remote reef reveal marine phosphorus biogeochemical cycling following artificial disturbance	姜伟	广西大学
S19-P-25S	涠洲岛海域表层海水镍元素的高分辨率珊瑚记录及其环境意义	吴星媛	广西大学
S19-P-26	21世纪以来珊瑚骨骼碳同位素组成对苏斯效应响应的变化	刘熙	中国科学院广州地球化学研究所
S19-P-27S	近千年南海珊瑚钙化：造礁石珊瑚与气候变化共同演化的意义	邓广超	中国科学院广州地球化学研究所
S19-P-28S	Corals perspective on temperature seasonality and interannual variability in the northern South China Sea during the Roman Warm Period	江蕾蕾	广西大学
S19-P-29S	利用珊瑚共附生细菌进行珊瑚礁修复研究进展	陈金妮	广西大学
S19-P-30S	典型持久性有机污染物（有机氯农药和多氯联苯）在近岸和远海珊瑚礁区多介质环境中的分布特征和环境行为分析	康亚茹	广西大学
S19-P-31S	*Prasibacter corallicola* gen. nov., sp. nov.从石珊瑚中分离出来的一种产玉米黄质的细菌	黎远金	广西大学

专题21：南海海洋科学国际合作前景			
S21-P-01	亚洲季风爆发监测研究的区域合作：进展与未来展望	于卫东	中山大学
S21-P-02	南海陆源碎屑沉积物源汇过程国际合作的进展与展望	刘志飞	同济大学
S21-P-03	中国–马尔代夫海洋领域合作简介	刘琳	自然资源部第一海洋研究所
S21-P-04	Subseasonal-to-seasonal predictability of onset dates of South China Sea summer monsoon: a perspective of meridional temperature gradient	刘伯奇	中国气象科学研究院
S21-P-05	Diversity and distribution of harmful microalgae in the Gulf of Thailand assessed by DNA metabarcoding	顾海峰	自然资源部第三海洋研究所
S21-P-06	南海内波研究发展现状和态势	徐振华	中国科学院海洋研究所
S21-P-07	南海涡致热输送的时空变化及机理研究	丁睿彬	自然资源部第二海洋研究所

专题23：有机碳与矿物的相互作用			
S23-P-01S	The control of different types of occurrence of organic matter on hydrocarbon generation in mudstones	都鹏燕	同济大学
S23-P-02S	有机碳在方解石104晶面的吸附行为研究	高旟	山东科技大学
S23-P-03	Magnetic mineral diagenesis in the last glacial Black Sea 'lake' sediments	柳加波	南方科技大学
S23-P-04S	二叠纪–三叠纪之交碳同位素负偏的新解译：来自荧光有机质的证据	邱志莆	中国地质大学（武汉）
S23-P-05S	微生物诱导镁碳酸盐沉淀及其沙漠化防控应用潜力	张猛龙	南京大学
S23-P-06S	离线热裂解法揭示土壤和水体环境中微生物脂类结合态比例不同	裴宏业	中国地质大学（武汉）
S23-P-07S	海洋深部沉积物中铁氧化物结合有机碳的动态赋存	陈云如	上海交通大学

S23-P-08S	厌氧–有氧转变过程中不同赋存形态的Fe (II)引发的自由基反应对土壤有机碳周转的影响	胡楠楠	中国地质大学（武汉）
S23-P-09S	嗜碱藻类诱导碳酸盐沉淀的可行性探究	徐丹	南京大学

专题26：深海极端环境下的生命：从冷泉、热液到深部生物圈			
S26-P-01S	Diet change of amphipods in the hadal trench revealed by fatty acid biomarker and stable isotope ratio	时琳琳	上海海洋大学
S26-P-02S	马里亚纳海沟沉积物中放线菌的代谢潜力及其生态功能	魏星	上海海洋大学
S26-P-03	单细胞测序揭示超深渊环境中两种常见海洋异养细菌的基因组特征及其对深渊环境的适应机制	陈明明	厦门大学
S26-P-04	深部生物圈古菌的研究进展与展望	林喜铮	中山大学
S26-P-05	西南印度洋龙旂热液区铁氧化菌矿化机制研究	他开文	中国科学院深海科学与工程研究所
S26-P-06S	基于基因组学、转录组学和蛋白质组学的深海螺共生体中噬菌体–细菌间的相互作用研究	周昆	香港科技大学
S26-P-07S	*Thermococcs eurythermalis* A501不同生长阶段膜质组成及其合成通路研究	陈淼	上海交通大学
S26-P-08	Active anaerobic archaeal methanotrophs in recently emerged cold seeps of northern South China Sea	张亭亭	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S26-P-09S	南海冷泉区沉积柱中古菌细胞膜脂单体稳定碳同位素变化及其指示意义	赵小小	上海交通大学
S26-P-10S	Deep-sea carbonates are a reservoir of fossil microbes previously inhabiting the oxic-anoxic interface of cold seeps	周颖力	中国科学院深海科学与工程研究所
S26-P-11S	基于高通量测序研究中国南海QDN海域天然气水合物赋存区微生物群落结构	刘思炜	北京大学
S26-P-12	斯科舍海盆冷泉不同深度沉积物中微生物对热成因烃的降解	董西洋	中山大学
S26-P-13	南海深水珊瑚林动物食物链的氨基酸同位素分析	贾国东	同济大学
S26-P-14	埃迪卡拉纪早期海洋的氧化还原状态：来自黄铁矿原位微区硫同位素组成的证据	王伟	中国科学院南京地质古生物研究所

S26-P-15S	铁矿加入转变海洋产甲烷区沉积物有机质矿化途径	梁乐文	上海交通大学

专题27：水生关键带有机碳循环过程：从分子水平到全球尺度			
S27-P-01	Carbon outwelling under different spatiotemporal granularities: a case study from an estuary invaded by *Spartina alterniflora*	高宇	中国水产科学研究院东海水产研究所
S27-P-02	潜流带中溶解性有机质组成特征及其对硝酸盐迁移转化过程的指示意义	张晶	水利部牧区水利科学研究所
S27-P-03S	浙闽沿岸泥质区沉积有机碳对末次冰消期以来沉积环境演化的指示	张明宇	中国海洋大学
S27-P-04S	喀斯特地区典型端元样品溶解有机质特征及其来源辨析研究	吴婧	中国科学院地球化学研究所
S27-P-05	山地水体溶解性有机碳对温度和营养的响应	胡盎	中国科学院南京地理与湖泊研究所
S27-P-06S	红树林沉积物有机碳积累速率的时空变化：从区域到全球尺度	张尧	中国海洋大学
S27-P-07	长链二醇指标示踪长江口以南东海陆架局部河流输入、温度和上升流	陈立雷	青岛海洋科学与技术国家实验室
S27-P-08	利用氨基酸来量化表层海洋水中溶解有机碳成分的周日变化：意义和初步应用	朱卓毅	上海交通大学
S27-P-09	基于木质素示踪北极东西伯利亚陆架沉积有机碳的来源、输运与埋藏	叶君	自然资源部第一海洋研究所
S27-P-10	流域建坝和三角洲侵蚀对长江口及东海内陆架有机碳埋藏的影响	姚鹏	中国海洋大学
S27-P-11S	化能自养过程控制世界最深蓝洞缺氧水体的碳循环	陈霖	中国海洋大学
S27-P-12S	长江口和黄河口沉积有机碳再矿化作用的比较研究	李康	中国海洋大学
S27-P-13S	Quantitative estimates of organic carbon contributions to the river-estuary-marine system in the Jiaozhou Bay, China	刘珂	中国海洋大学
S27-P-14	氮磷营养盐水平对藻源溶解有机碳释放及菌群结构的影响	陈晶	中国科学院南京地理与湖泊研究所

S27-P-15S	微生物转化对珠江口表层水体DOM光化学降解活性的影响	李梦婷	天津大学
S27-P-16S	南海北部表层与叶绿素最大层古菌的季节变化	李濛	中山大学
S27-P-17	典型地下水人工回补区有机质的动态变化	何伟	中国地质大学（北京）
S27-P-18	河海关键带水体有机质的光化学转化：差异性和连续性	陈洪梅	厦门大学
S27-P-19S	异养固氮菌的全球海洋分布及控制因子	邵智博	厦门大学

专题34：比较行星学			
S34-P-01S	Effects of rheology and internal heating on lunar cumulate mantle convection	章文博	北京大学
S34-P-02S	月球车轮与月壤相互作用的离散元建模与仿真	李佳	同济大学
S34-P-03	天体引力对地球影响的静力学特征及动力学变化规律	关凤晨	上海建腾建筑监理公司
S34-P-04	开源APT-MCMC程序Nii：轨道拟合应用	晋升	中国科学院紫金山天文台
S34-P-05	土星深部环流结构的重力场与感应磁场联合反演	孔大力	中国科学院上海天文台
S34-P-06	土星磁层中具有扫频结构的静电回旋谐波的观测	滕尚纯	中国科学技术大学
S34-P-07S	系外行星HAT-P-12b云霾大气的GTC凌星透射谱观测	蒋承孜	中国科学院紫金山天文台
S34-P-08S	将地球视作系外行星：分解与重建分光图像	顾理想	北京大学
S34-P-09S	陆地位置对锁相宜居行星气候态的影响	赵洲峤	北京大学
S34-P-10S	Small sensitivity of the simulated climate of tidally locked aquaplanets to model resolution	魏梦宇	北京大学
S34-P-11	潮汐锁相行星上的海洋超级旋转现象	杨军	北京大学

S34-P-12S	系外行星大气透射光谱反演工具TauREx和PLATON的对比研究	王婉好	南京大学
S34-P-13S	The influence of topological boundary layer on precessing fluid	陈修宇	中国科学院上海天文台

专题37：西太–东亚岩浆作用的海陆对比			
S37-P-01	东亚大小地幔楔的对比研究	徐义刚	中国科学院广州地球化学研究所
S37-P-02	郯庐断裂带深部结构的多尺度多方法成像研究	雷建设	应急管理部国家自然灾害防治研究院
S37-P-03S	白云凹陷浅成岩浆侵入体发育特征、对沉积物的变形影响及油气意义	望畅	中国地质大学（武汉）
S37-P-04	岩石圈地幔对华北西部新生代玄武岩成分的多重控制作用	侯永胜	中国科学院广州地球化学研究所
S37-P-05	苏北盆地晚白垩世–新生代板内伸展与构造体制转换的动力机制：来自玄武岩年代学与地球化学的证据	邹耀遥	中国地质大学（武汉）
S37-P-06S	东北东部新生代玄武岩成分的时间变异：对地幔深部过程的制约	熊帅	吉林大学
S37-P-07S	造山带中微陆块的幕式地壳生长与超大陆循环：以松嫩地块为例	龙欣雨	吉林大学
S37-P-08S	索罗尔海槽基底岩石化学特征及其地质意义	闫施帅	自然资源部第一海洋研究所
S37-P-09	古太平洋和太平洋板块地球化学属性：来自日本北海道新生代堆晶辉长岩与斜长角闪岩的制约	董玉	吉林大学
S37-P-10S	高温高压下含铁秋本石的弹性性质：对地幔过渡带底部多重不连续面和停滞板块的启示	赵亚婕	中国科学技术大学

专题47：华夏山水的由来（三）			
S47-P-01S	Artgeology, nature appreciation and scientific illustration	段鹤维	华中科技大学
S47-P-02	中国西部盆山原壳幔结构、深部动力学过程及其对地貌资源环境的制约	赵俊猛	中国科学院青藏高原研究所

S47-P-03	现今长江形成于晚中新世——来自中国东部海域盆地碎屑锆石的证据	付晓伟	同济大学

第六届地球系统科学大会日程

口头报告				
7月9日 下午14:00~15:30				
分会场 1：二楼悦贵厅1号				7月9日下午
专题48：丝绸之路文明演化与环境变化（2） 主持人：董广辉				
14:00-14:15	S48-O-07	欧亚草原东段古代人地关系初步研究（邀请报告）	贾鑫	南京师范大学
14:15-14:30	S48-O-08	伊朗东北部BORJ遗址出土铜石并用–青铜时代植物遗存分析	孙炳桂	中国科学技术大学
14:30-14:45	S48-O-09	气候变化对古丝绸之路中段交通路线变迁的可能影响	王海鹏	中国科学院西北生态环境资源研究院
14:45-15:00	S48-O-10	青藏高原早期交流路线的重建及演变研究	侯光良	青海师范大学
15:00-15:15	S48-O-11	“丝路遗珠”——光与水如何影响柴达木盆地文明演化	李腾	广州大学
15:15-15:30	S48-O-12	汶川堰塞湖促进了中华文明由黄河上游向长江上游的迁移	范念念	四川大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告
7月9日 下午14:00~15:30
分会场 2：二楼悦贵厅2号 7月9日下午
专题08：三角洲环境演变：人类活动和气候变化（2） 主持人：余凤玲

14:00-14:15	S08-O-07	潮汕平原InSAR地表形变特征及其自然和人类活动驱动解析	黄昭权	厦门大学
14:15-14:30	S08-O-08	从微体化石记录识别长江口外全新世水团相互作用	赵宝成	上海市地质调查研究院
14:30-14:45	S08-O-09	珠江河口全新世以来的有孔虫氧同位素记录及其对海平面变化和降水作用的指示	吴月琴	中山大学
14:45-15:00	S08-O-10	Hydroclimate-ecological-human reconstruction of the Holocene Nile Delta: insights from organic geochemical records in MZ-1 sediment core	张帆	南方科技大学
15:00-15:15	S08-O-11	尼罗河三角洲早期人类活动特征及其对气候变化的响应	赵小双	华东师范大学
15:15-15:30	S08-O-12	早全新世以来良渚地区地貌环境演化	杨青	云南大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月9日 下午14:00~15:30				
分会场 3：二楼悦贵厅3号				7月9日下午
专题19：南海珊瑚礁：过去、现在与将来（3） 主持人：邓文锋				
14:00-14:15	S19-O-13	南海深水珊瑚特征及发育演化模式	张斌	中国科学院南海海洋研究所
14:15-14:30	S19-O-14	东沙海区的泥火山与深水珊瑚	阎贫	中国科学院南海海洋研究所
14:30-14:45	S19-O-15	南海陵水冷水珊瑚礁的发现	陈端新	中国科学院海洋研究所
14:45-15:00	S19-O-16	南沙群岛珊瑚礁科学深钻“南科1”井的新生代记录	黎刚	中国科学院南海海洋研究所
15:00-15:15	S19-O-17	珊瑚礁碳酸盐地层$^{87}Sr/^{86}Sr$重建近2000万年的海平面下降事件	杨洋	广西大学
15:15-15:30	S19-O-18	西沙群岛琛科2井块状白云岩的演化序列及环境意义	王瑞	广西大学

15:30-15:50	茶歇

口头报告				
7月9日 下午14:00~15:30				
分会场 4：三楼1号会议室				7月9日下午
专题10：深海沉积与全球变化（4）主持人：石学法				
14:00-14:15	S10-O-19	北大西洋沉积物中化石磁小体的古环境意义及其定量化方法的优化	何况	中国科学院地质与地球物理研究所
14:15-14:30	S10-O-20	Sea-surface and near-surface temperature changes of the northern NW Atlantic Ocean during the last 40 ka based on the lipid biomarker TEX_{86} and RI-OH proxies	Rashid Harunur	上海海洋大学
14:30-14:45	S10-O-21	Paleoenvironmental dynamicity and paleo-vegetation reconstruction using deep oceanic micro-charcoalsize-class and morphotypes	罗传秀	中国科学院南海海洋研究所
14:45-15:00	S10-O-22	Determining the depth habitat of the planktic foraminifera *Dentoglobigerina altispira* in the eastern Arabian Sea for the middle Miocene	邹世娴	厦门大学
15:00-15:15	S10-O-23	南海北部IODP 367航次U1499B站位晚渐新世至中新世有孔虫组合变化及其古环境意义	胡哲	北京大学
15:15-15:30	S10-O-24	南海东北部晚中新世–第四纪沉积层序对构造和气候变化的响应	王星星	中国地质大学（武汉）
15:30-15:50	茶歇			

口头报告
7月9日 下午14:00~15:30
分会场 5：三楼2号会议室 7月9日下午
专题34：比较行星学（1） 主持人：胡永云、孔大力

14:00-14:15	S34-O-01	行星物质来源的同位素制约 （邀请报告）	秦礼萍	中国科学技术大学
14:15-14:30	S34-O-02	潮汐耦合一阶对流：对月壳不对称结构的解释	张懿卓	北京大学
14:30-14:45	S34-O-03	太阳系天体运动的长期演化研究	唐凯	中国科学院上海天文台
14:45-15:00	S34-O-04	超快速自转小行星在YORP效应作用下的动力学演化研究	胡寿村	中国科学院紫金山天文台
15:00-15:15	S34-O-05	类地行星的热力学演化与动力学机制思考	唐春安	大连理工大学
15:15-15:30	S34-O-06	蒸发盐中微生物脂类分布特征及天体生物意义	程子烨	广东财经大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告
7月9日 下午14:00~15:30
分会场 6：三楼3号会议室　　7月9日下午
河口海岸地质资源暨长三角青年论坛

口头报告				
7月9日 下午14:00~15:30				
分会场 7：三楼5号会议室　　7月9日下午				
专题26：深海极端环境下的生命：从冷泉、热液到深部生物圈（1） 主持人：张锐				
14:00-14:15	S26-O-01	高静水压下的生命过程、元素循环与生命边界（邀请报告）	肖湘	上海交通大学
14:15-14:30	S26-O-02	同位素解析深海极端生态系统甲基汞的来源	孙若愚	天津大学

14:30-14:45	S26-O-03	深海极端环境下的脱卤球菌纲微生物	杨毅	中国科学院沈阳应用生态研究所
14:45-15:00	S26-O-04	世界最深海底的新型绿弯菌基因组揭示其适应深海环境的代谢策略	刘如龙	上海海洋大学
15:00-15:15	S26-O-05	深海热液区优势化能自养菌氢/硫氧化驱动的固碳机制研究	姜丽晶	自然资源部第三海洋研究所
15:15-15:30	S26-O-06	基于高通量测序研究柴达木盆地马海盐湖微生物多样性	谢凌璐	北京大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月9日 下午14:00~15:30				
分会场 8：三楼6号会议室				7月9日下午
专题36：太平洋俯冲带的演变（2） 主持人：孟庆任				
14:00-14:15	S36-O-07	华南晚中生代周期性伸展与太平洋俯冲带演化	褚扬	中国科学院地质与地球物理研究所
14:15-14:30	S36-O-08	古太平洋板块俯冲与长江中下游中生代岩浆作用	陈龙	中国海洋大学
14:30-14:45	S36-O-09	平板俯冲后的板片拆沉与板片后撤：华南中生代构造岩浆作用对古太平洋板块俯冲的响应	戴黎明	中国海洋大学
14:45-15:00	S36-O-10	南海北部盆地基底特征及对华南大陆东南缘中生代构造性质的启示	崔宇驰	同济大学
15:00-15:15	S36-O-11	西太平洋卡罗琳洋底高原俯冲系统的构造演化	董冬冬	中国科学院海洋研究所
15:15-15:30	S36-O-12	大洋高原在俯冲带重组中的作用：二维热–力学模拟	颜智勇	华中科技大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告

7月9日 下午14:00~15:30				
分会场 9：三楼7号会议室				7月9日下午
专题43：地震孕震、地震活动与地震灾害（2） 主持人：罗纲、柳畅				
14:00-14:15	S43-O-07	2008年汶川大地震孕震、同震及震后变形全过程的数值模拟及其动力学启示	胡才博	中国科学院大学
14:15-14:30	S43-O-08	基于库仑速率状态模型模拟龙门山断裂带地震活动性时空特征	贾科	西北工业大学
14:30-14:45	S43-O-09	汶川地震与芦山地震之间地震空区是否存在高地应力?	李兵	中国地震局地壳应力研究所
14:45-15:00	S43-O-10	青藏高原东部是否存在地壳流？来自有限元数值模拟及大地测量数据的启示	尹力	中国科学院大学
15:00-15:15	S43-O-11	华北地震活动有限元数值模拟初步结果	张琦	武汉大学
15:15-15:30	S43-O-12	一种确定震后形变机制的联合模型：以2017年伊朗达尔班迪汗Mw 7.3地震为例	赵雄	武汉大学
15:30-15:50	茶歇			

第六届地球系统科学大会日程

青年学者论坛			
7月9日 下午15:50~17:50			
主会场（东方厅）			7月9日下午
大会青年学者论坛报告 主持人：戴民汉			
15:50-16:00	白垩纪大洋缺氧事件的起因与结束：以西藏特提斯喜马拉雅带为例	陈曦	中国地质大学（北京）
16:00-16:10	新元古代全球极端冰室气候演变的生物地球化学驱动	郎咸国	成都理工大学
16:10-16:20	泛北冰洋海域热量和淡水量输送特征及影响因子的观测研究	李非栗	厦门大学

16:20-16:30	下洋壳深部生物圈：来自IODP Exp.360的新发现	李江涛	同济大学
16:30-16:40	从原子分子尺度理解金属稳定同位素的分馏机制	李伟	南京大学
16:40-16:50	人类世东亚夏季风影响与地表系统变化	刘建宝	中国科学院青藏高原研究所
16:50-17:00	深部氧化还原过程与地球宜居环境	刘锦	北京高压科学研究中心
17:00-17:10	上新世–更新世过渡期格林兰岛冰盖演变模拟	谭宁	中国科学院地质与地球物理研究所
17:10-17:20	二叠纪低纬陆地风化对冰室–温室气候转变的响应和反馈	杨江海	中国地质大学（武汉）
17:20-17:50	讨论交流		

第六届地球系统科学大会日程

口头报告				
7月10日 上午 08:30~11:50				
分会场 1：二楼悦贵厅1号				7月10日上午
专题06：晚第四纪高分辨率陆海气候对比：从指标到记录（3） 主持人：蔡演军				
08:30-08:45	S06-O-13	岸边地质证据揭示的副热带东亚末次冰消期以来水文气候及可能成因（邀请报告）	徐海	天津大学
08:45-09:00	S06-O-14	年层石笋记录的华北倒三冰消期气候突变事件	段武辉	中国科学院地质与地球物理研究所
09:00-09:15	S06-O-15	华北过去13万年石笋碳/氧同位素记录	李云霞	湖南师范大学
09:15-09:30	S06-O-16	长江中下游地区末次冰期千年尺度干湿变化的石笋多指标记录	陈仕涛	南京师范大学
09:30-09:45	S06-O-17	西风区石笋氧同位素记录揭示的全新世东亚夏季风与西风相互作用过程	张肖剑	南京大学
09:45-10:00	S06-O-18	南海西北部晚第四纪环境变化：来自硅藻的记录	张金鹏	中国地质调查局广州海洋地质调查局

10:00-10:20	茶歇			
专题06：晚第四纪高分辨率陆海气候对比：从指标到记录（4）主持人：陈仕涛				
10:20-10:35	S06-O-19	鄂西地区大气降水氧同位素的时空演化：对古气候和古高程重建的启示（邀请报告）	胡超涌	中国地质大学（武汉）
10:35-10:50	S06-O-20	过去300年中国西南与东部地区雨季始期变化特征的比较研究	郝志新	中国科学院地理科学与资源研究所
10:50-11:05	S06-O-21	中世纪–小冰期过渡期东亚夏季风快速衰退研究	蓝江湖	中国科学院地球环境研究所
11:05-11:20	S06-O-22	中国西南地区高分辨率石笋记录的全新世季风气候演化及突变事件	李彦祯	中国地质大学（武汉）
11:20-11:35	S06-O-23	渤海海岸全新世沉积物光释光年代学研究	李琰	中国地质大学（北京）
11:35-11:50	S06-O-24	茅尾海–钦州湾表层沉积物孢粉分布特征及其动力传播路径	郝秀东	南宁师范大学

口头报告				
7月10日 上午 08:30~11:50				
分会场 2：二楼悦贵厅2号				7月10日上午
专题46：海底观测网的关键科学问题和国家需求（3） 主持人：吴自银				
08:30-08:45	S46-O-22	海岸带陆海多要素地质环境监测系统构建及应用（邀请报告）	印萍	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
08:45-09:00	S46-O-23	《中国海海洋地质系列图》研编	吴自银	自然资源部第二海洋研究所
09:00-09:15	S46-O-24	海底地下水排放在红树林–海湾系统中的地球化学影响	王桂芝	厦门大学
09:15-09:30	S46-O-25	珠江流域及南海北部沉积环境中^{239,240}Pu、^{237}Np、^{241}Am的分布迁移特征	刘志勇	苏州大学
09:30-09:45	S46-O-26	闽江口–台湾海峡北部物质输运的季节性变化	王爱军	自然资源部第三海洋研究所
09:45-10:00	S46-O-27	悬沙层化影响下的河口湍流混合	涂俊彪	同济大学

10:00-10:20	茶歇			
专题46：海底观测网的关键科学问题和国家需求（4） 主持人：周怀阳、汪亚平、李朝晖				
10:20-10:30	S46-O-13	基于高光谱激光雷达的深海矿石目标分类方法研究	田汶鑫	中国科学院空天信息创新研究院
10:30-10:40	S46-O-14	中国周边海域海底地理实体命名研究	赵荻能	自然资源部第二海洋研究所
10:40-10:50	S46-O-15	河流淡水对东海环流及陆架水交换的影响	吴瑞明	华东师范大学
10:50-11:00	S46-O-16	冬季风暴驱动下北黄海的物质跨锋面输运	石勇	南京大学
11:00-11:10	S46-O-17	风场对夏季长江口低氧发育的影响研究	吴伊婧	同济大学
11:10-11:20	S46-O-18	长江及其河口三角洲对流域水沙变化和风暴事件响应过程的探讨	杨海飞	华东师范大学
11:20-11:30	S46-O-19	中国东部海岸台风活动的“2-ka转变”	杨阳	南京师范大学
11:30-11:40	S46-O-20	洪水驱动下长江陆源颗粒有机碳由陆向海输送的生物地球化学过程及其制约机制	孙学诗	复旦大学
11:40-11:50	S46-O-21	长江口水体混合过程中锂同位素行为	杨承帆	同济大学

口头报告				
7月10日 上午 08:30~11:50				
分会场 3：二楼悦贵厅3号				7月10日上午
专题15：极地多时空尺度冰–海–气相互作用（1） 主持人： 程晓、刘勇勤				
08:30-08:45	S15-O-01	北极冬季海冰变化与大气强迫（邀请报告）	刘忠方	同济大学
08:45-09:00	S15-O-02	海冰消退驱动北冰洋过去三十年贫营养化的趋势	庄燕培	自然资源部第二海洋研究所
09:00-09:15	S15-O-03	生长季内楚科奇海持续的高初级生产力机制研究	郑宇佳	天津大学

09:15-09:30	S15-O-04	地震海洋学及其在极地海域的应用展望	宋海斌	同济大学
09:30-09:45	S15-O-05	北大西洋副极地热量和淡水量输送特征与机制（邀请报告）	李非栗	厦门大学
09:45-10:00	S15-O-06	利用Landsat序列影像检测北极苔原区湖泊热喀斯特地貌的景观动态	陈雅婷	北京师范大学
10:00-10:20		茶歇		
专题15：极地多时空尺度冰–海–气相互作用（2） 主持人：陈显尧、王汝建				
10:20-10:35	S15-O-07	50万年以来欧亚冰盖发育历史	肖文申	同济大学
10:35-10:50	S15-O-08	末次间冰期以来东西伯利亚冰盖扩张	叶黎明	自然资源部第二海洋研究所
10:50-11:05	S15-O-09	西北冰洋冰筏碎屑指示的MIS 5以来冰盖和洋流的演化历史	章陶亮	上海交通大学
11:05-11:20	S15-O-10	西北冰洋门捷列夫脊晚更新世的淡水事件	赵嵩	自然资源部第一海洋研究所
11:20-11:35	S15-O-11	南极雪冰记录的大气氧化环境变化特征：硝酸盐稳定同位素证据（邀请报告）	史贵涛	华东师范大学
11:35-11:50	S15-O-12	南极中山站至Dome A断面雪冰中难熔黑碳（RBC）空间变化特征研究	吴广美	华东师范大学

口头报告				
7月10日 上午 08:30~11:50				
分会场 4：三楼1号会议室				7月10日上午
专题33：俯冲带变形、地震与岩浆活动过程的地球动力学机制（1） 主持人：高翔				
08:30-08:45	S33-O-01	俯冲带大洋软流圈结构与大地震	范建柯	中国科学院海洋研究所
08:45-09:00	S33-O-02	西北太平洋俯冲带及其深震活动（邀请报告）	陈棋福	中国科学院地质与地球物理研究所
09:00-09:15	S33-O-03	东印尼班达海弧前大型走滑断裂的形成机制与大地震风险	杨晓东	中国科学院南海海洋研究所

09:15-09:30	S33-O-04	双地震带上层地震活动的热–岩石学机制	桂州	中国科学院海洋研究所
09:30-09:45	S33-O-05	西北太平洋海沟洋侧高热流异常及其对俯冲洋壳内水热循环的指示	宋子龙	中国科学院海洋研究所
09:45-10:00	S33-O-06	基于三维格林函数的近海沟地震震源参数全波形反演	钱韵衣	南方科技大学
10:00-10:20	茶歇			
专题33：俯冲带变形、地震与岩浆活动过程的地球动力学机制（2） 主持人：张帆				
10:20-10:35	S33-O-07	俯冲断层浅部结构及其对俯冲带大地震潜力的指示	高翔	中国科学院海洋研究所
10:35-10:50	S33-O-08	从地表震后形变到地球深部岩石物性的量化（邀请报告）	邱强	中国科学院南海海洋研究所
10:50-11:05	S33-O-09	加勒比海波多黎各俯冲带海啸风险评估	李奕志	南方科技大学
11:05-11:20	S33-O-10	北印度洋莫克兰俯冲带地震和海啸特性研究	陈占营	中国科学院南海海洋研究所
11:20-11:35	S33-O-11	马尼拉俯冲带北部增生楔前缘构造变形对南海减薄陆壳和洋壳俯冲的响应	高金尉	中国科学院深海科学与工程研究所
11:35-11:50	S33-O-12	马里亚纳俯冲起始条件下的弧后扩张的动力学模拟	程子华	中国科学院南海海洋研究所

口头报告				
7月10日 上午 08:30~11:50				
分会场 5：三楼2号会议室				7月10日上午
专题35：南海未来大洋钻探的建议/科学问题与目标（1） 主持人：李春峰、姚永坚				
08:30-08:45	S35-O-01	IODP近5年来构造与地球动力学领域重要进展	丁巍伟 赵阳慧	自然资源部第二海洋研究所
08:45-09:00	S35-O-02	巽他陆架大洋钻探站位调查的研究设想（邀请报告）	马鹏飞	同济大学
09:00-09:15	S35-O-03	南海中北部陆缘洋陆过渡带建造与破裂机制研究	张翠梅	中国科学院南海海洋研究所

09:15-09:30	S35-O-04	再钻南海洋陆转换带	雷超	中国地质大学（武汉）
09:30-09:45	S35-O-05	深地震反射剖面探测南海西南次海盆地壳精细结构	王利杰	中国地质调查局广州海洋地质调查局
09:45-10:00	S35-O-06	南海陆缘张–破裂之共轭陆缘钻探建议	孙珍	中国科学院南海海洋研究所
10:00-10:20	茶歇			
专题35：南海未来大洋钻探的建议/科学问题与目标（2） 主持人：丁巍伟、孙珍				
10:20-10:35	S35-O-07	西太平洋地球动力学问题与未来大洋钻探目标	李春峰	浙江大学
10:35-10:50	S35-O-08	花东海盆大洋钻探的科学意义（邀请报告）	钟广法	同济大学
10:50-11:05	S35-O-09	年轻大洋板块如何俯冲于年老大洋板块之下?	章露露	浙江大学
11:05-11:20	S35-O-10	卡洛琳海山链科学钻探与“地幔柱”假说的检验	张国良 张吉	中国科学院海洋研究所
11:20-11:35	S35-O-11	南海东部次海盆下地壳倾斜反射构造特征及成因探讨	徐子英	中国地质调查局广州海洋地质调查局
11:35-11:50	S35-O-12	南海西南缘走滑断裂带深部动力过程	姚永坚	中国地质调查局广州海洋地质调查局

口头报告				
7月10日 上午 08:30~11:50				
分会场 6：三楼3号会议室				7月10日上午
专题37：西太–东亚岩浆作用的海陆对比（2） 主持人：许文良				
08:30-08:45	S37-O-07	青藏高原碰撞诱发新生代西太平洋板块俯冲（邀请报告）	孙卫东	中国科学院海洋研究所
08:45-09:00	S37-O-08	伊泽奈崎–太平洋洋脊俯冲作用的恢复：东北亚陆缘新生代埃达克质岩浆作用的时空特征证据	王枫	吉林大学
09:00-09:15	S37-O-09	伊豆小笠原马里亚纳岛弧早期奄美盆地玄武岩独特地球化学特征及其地质意义	李贺	中国科学院海洋研究所

09:15-09:30	S37-O-10	东南亚环形俯冲系统的地幔柱活动及其岩浆响应	黄小龙	中国科学院广州地球化学研究所
09:30-09:45	S37-O-11	南海洋壳玄武岩地球化学组成记录了陆弧基底背景下的洋–陆转换过程	俞恂	同济大学
09:45-10:00	S37-O-12	高温高压下利蛇纹石的弹性性质：对俯冲带及岛弧岩浆中水含量的启示	邓忻	中国科学技术大学
10:00-10:20	茶歇			
专题42：深层和非常规资源：地球科学和工程问题（1） 主持人：赵峦啸、张丰收				
10:20-10:35	S42-O-01	东海秋月构造OBN数据多参数反演与成像（邀请报告）	刘玉柱	同济大学
10:35-10:50	S42-O-02	珠江口盆地古潜山形成的区域地质背景及惠州26-6构造演化	吴哲	中海石油（中国）有限公司深圳分公司
10:50-11:05	S42-O-03	基于拟柱体孔隙的港湾–潟湖效应通用饱和度模型	朱林奇	中国科学院深海科学与工程研究所
11:05-11:20	S42-O-04	面向断溶体储层的波形反演速度建模方法研究	王自颖	中国石油大学（华东）
11:20-11:35	S42-O-05	六分量背景噪声横向高分辨率成像的数值研究	汤乐	南方科技大学
11:35-11:50	S42-O-06	成熟度定量约束的有机质页岩油气储层地震岩石物理模型	朱津琬	同济大学

口头报告				
7月10日 上午 08:30~11:50				
分会场 7：三楼5号会议室				7月10日上午
专题14：南北半球互动以及低纬过程（3） 主持人：丁璇				
08:30-08:45	S14-O-13	晚中新世C_4植被扩张与大气pCO_2的关系	汪镇	同济大学
08:45-09:00	S14-O-14	孢粉证据反映了中国东南沿海MIS 5晚期以来的古气候演化	戴璐	宁波大学

09:00-09:15	S14-O-15	Intensified climate deterioration in the south-eastern Asian Monsoon domain inferred from a high-resolution pollen record highlights the Last Glacial Maximum culmination	马婷	北京师范大学
09:15-09:30	S14-O-16	美国Bryce峡谷始新世Claron组古土壤特征及其古环境意义	周声芳	福建师范大学
09:30-09:45	S14-O-17	南大洋控制冰期南北半球的协同储碳机制	杜金龙	同济大学
09:45-10:00	S14-O-18	末次冰期以来黑潮演化诱发的高低纬热量传输的变化	董良	上海交通大学
10:00-10:20	茶歇			
专题14：南北半球互动以及低纬过程（4） 主持人：黄宝琦				
10:20-10:35	S14-O-19	晚第四纪以来高低纬气候体系在北太平洋地区的响应机制研究	仲义	南方科技大学
10:35-10:50	S14-O-20	Insolation forcing of northern hemisphere precipitation during the late Pliocene	高鹏	兰州大学
10:50-11:05	S14-O-21	晚中新世低大气pCO_2下暖室气候成因机制的数值模拟	魏思华	同济大学
11:05-11:20	S14-O-22	Late Miocene-pliocene Asian Summer Monsoon variability linked to both tropical Pacific temperature and Walker Circulation	王梦媛	中山大学
11:20-11:35	S14-O-23	Indo-Pacific hydroclimate in response to changes of the intertropical convergence zone: discrepancy on precession and obliquity bands over the last 410 kyr	张鹏	西北大学
11:35-11:50	S14-O-24	深海锰结核记录晚中新世以来亚洲内陆干旱化	蒋晓东	南方科技大学

口头报告	
7月10日 上午 08:30~11:50	
分会场 8：三楼6号会议室	7月10日上午
专题17：深水沉积的源–汇过程及其能源–环境效应（1） 主持人：解习农、龚承林	

08:30-08:45	S17-O-01	全球典型深水重力流沉积体系源汇过程对比（邀请报告）	吴时国	中国科学院深海科学与工程研究所
08:45-09:00	S17-O-02	珠江口盆地晚渐新世陆架边缘三角洲及共生斜坡扇体系的沉积结构和源–汇过程	张曼莉	中国地质大学（北京）
09:00-09:15	S17-O-03	与硅质软泥成岩作用有关的大型海底滑坡——以澳大利亚西北缘为例	吴南	同济大学
09:15-09:30	S17-O-04	孟加拉湾东缘深水沉积体系特征与成因探讨	范国章	中国石油杭州地质研究院
09:30-09:45	S17-O-05	珠江海底峡谷系统的地貌–沉积充填特征及控制因素	黄蝌	同济大学
09:45-10:00	S17-O-06	Flow processes of the interaction between turbidity flows and bottom currents in sinuous unidirectionally migrating channels: an example from the Oligocene channels in the Rovuma Basin, offshore Mozambique	陈宇航	西安石油大学
10:00-10:20	茶歇			
专题17：深水沉积的源–汇过程及其能源–环境效应（2） 主持人：林畅松、吴时国				
10:20-10:35	S17-O-07	碎屑锆石对南海周缘河流演化的记录：从大陆边缘至深海盆地（邀请报告）	曹立成	中国地质大学（武汉）
10:35-10:50	S17-O-08	陆架边缘三角洲–海底扇的源–汇耦合及其控砂作用与成因机制	龚承林	中国石油大学（北京）
10:50-11:05	S17-O-09	深水盆地拆离断层发育与区域源汇系统转变	雷超	中国地质大学（武汉）
11:05-11:20	S17-O-10	高频湖平面变化下浅水漫湖沉积特征与砂体叠置模式	纪友亮	中国石油大学（北京）
11:20-11:35	S17-O-11	渤中凹陷南部东营组重力流沉积对池状微地貌的充填响应	李东伟	中国石油大学（北京）
11:35-11:50	S17-O-12	鄂尔多斯盆地三叠纪巨型湖相洪水型浊积岩体系	陈鹏	中国石油大学（北京）

口头报告	
7月10日 上午 08:30~11:50	
分会场 9：三楼7号会议室	7月10日上午

专题27：水生关键带有机碳循环过程：从分子水平到全球尺度（2） 主持人：冯晓娟				
08:30-08:45	S27-O-7	有机分子指标：海洋生态系统的“告密者”	沈渊	厦门大学
08:45-09:00	S27-O-8	澜沧江溶解性陆源有机质组成的空间演变规律	刘婷	中国科学院植物研究所
09:00-09:15	S27-O-9	基于高分辨质谱的天然有机质研究	戚羽霖	天津大学
09:15-09:30	S27-O-10	分子水平解析河口陆源溶解有机质来源与迁移转化	鲍红艳	厦门大学
09:30-09:45	S27-O-11	Seasonal variations in dissolved organic matter composition and processing in a eutrophic, semi-enclosed bay in southeastern China: implications for the carbon cycling	赵辰	浙江大学
09:45-10:00	S27-O-12	典型海洋环境活性有机碳同位素地球化学行为比较研究	唐甜甜	厦门大学
10:00-10:20	茶歇			
专题27：水生关键带有机碳循环过程：从分子水平到全球尺度（3） 主持人：何伟				
10:20-10:35	S27-O-13	HCO_3-Ca型地表水生物泵的碳施肥及其碳增汇和富营养化缓解效应	刘再华	中国科学院地球化学研究所
10:35-10:50	S27-O-14	河流水系“MORE-DOC”模型构建与应用	晏维金	中国科学院地理科学与资源研究所
10:50-11:05	S27-O-15	湿地有机碳来源、周转及其与硅铁循环的关系研究	宋照亮	天津大学
11:05-11:20	S27-O-16	矿物与有机质的吸附作用对有机–矿物复合体形成效率的影响	陈淑玲	南方科技大学
11:20-11:35	S27-O-17	沉积物中溶解性有机质的形态结构对微生物群落的响应研究	李帅东	南京师范大学
11:35-11:50	S27-O-18	超深渊微生物的高压适应策略及其驱动地球元素循环的机制	刘吉文	中国海洋大学

口头报告
7月10日 上午 08:30~11:50

分会场 10：三楼8号会议室				7月10日上午
专题29：海底流体活动的现代过程与地质记录（1） 主持人：冯东				
08:30-08:45	S29-O-01	海底冷泉系统烟囱状碳酸盐岩形成过程中镁同位素行为研究（邀请报告）	金梦	中国科学院南海海洋研究所
08:45-09:00	S29-O-02	硫同位素对冷泉碳酸盐与黄铁矿共生机制的约束	陈婷婷	中山大学
09:00-09:15	S29-O-03	海马冷泉碳酸盐岩中新发现的两种古菌型羟基植烷甘油单醚和甘油醚与醇之间的成岩转化研究	许兰芳	中国科学院广州能源研究所
09:15-09:30	S29-O-04	冲绳海槽中段冷泉流体在浅层沉积物中的迁移与转化研究	徐翠玲	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
09:30-09:45	S29-O-05	安达曼海6 Ma以来古甲烷渗漏事件的底栖有孔虫记录	岑越	中国地质大学（武汉）
09:45-10:00	S29-O-06	海底冷泉孔隙水硫酸根氧硫同位素组成及其环境指示意义	宫尚桂	上海海洋大学
10:00-10:20	茶歇			
专题29：海底流体活动的现代过程与地质记录（2） 主持人：王宏斌				
10:20-10:35	S29-O-07	南海北部垂向和横向超压流体交互运移系统（邀请报告）	孙启良	中国地质大学（武汉）
10:35-10:50	S29-O-08	南海珠江口盆地番禺隆起区气烟囱形成过程的数值模拟	王庆	中国地质大学（武汉）
10:50-11:05	S29-O-09	海底泥火山形成机制研究	万志峰	中山大学
11:05-11:20	S29-O-10	冷泉系统的地球物理定量研究进展及展望	张锟	同济大学
11:20-11:35	S29-O-11	南海北部琼东南盆地冷泉发育区渗漏型天然气水合物运聚成藏控制机理	张伟	中国地质调查局广州海洋地质调查局
11:35-11:50	S29-O-12	南海北部神狐海域近期活动水合物系统地质因素研究	靳佳澎	青岛海洋科学与技术试点国家实验室

第六届地球系统科学大会日程

7月10日 午餐： 12:00~13:30

展板报告：12:30~14:00			
专题07：前寒武以来405 ka偏心率长周期的地质演变			
S07-P-01	第四纪东亚季风演变与偏心率400 ka长周期关系探讨	郝青振	中国科学院地质与地球物理研究所
S07-P-02S	中三叠世鄂尔多斯盆地古湖演化对天文驱动力的响应和“湿热事件”的记录	刘冬洋	中国地质大学（武汉）
S07-P-03S	重建古生代和元古代的古天文周期及地月系统的演化历史	周茂阳	中国地质大学（北京）

专题11：低纬气候过程的重建：记录整合与数值模拟			
S11-P-01S	厦门大气降水氢、氧同位素组成：季节性与（台风）过程性变化	林云鹏	南方科技大学
S11-P-02	冰期降雨季节性增强导致巽它大陆热带雨林的经向收缩	黄恩清	同济大学
S11-P-03S	Temperature and circulation history of the East Australian Current (EAC) during the past two millennia	翟瑞翔	厦门大学
S11-P-04S	利用冷水珊瑚重建南海中深层海水演变	何志	同济大学
S11-P-05S	利用浮游有孔虫壳体的$\delta^{11}B$值重建晚中新世时期的大气pCO_2	汪镇	同济大学
S11-P-06S	晚第四纪表层海水氧同位素的数据分析与意义解读	刘冰瑾	同济大学
S11-P-07S	LGM时期马里亚纳海沟硅藻席沉积与碳硅循环	蔡雯沁	同济大学
S11-P-08S	晚中新世低大气pCO_2下暖室气候成因机制的研究进展	魏思华	同济大学
S11-P-09S	北半球中纬度降水变化对黑碳气溶胶和二氧化碳增加的不同响应	薛景彦	中国科学院地球环境研究所
S11-P-10S	陆源过程驱动的晚中新世碳位移事件：基于箱式模型的研究	杜金龙	同济大学
S11-P-11S	联合热带氧同位素数据和气候系统模拟来重建显生宙全球地表温度	魏梦宇	北京大学

S11-P-12S	南海西北部冷水珊瑚元素比值的环境意义	曾治惟	同济大学
S11-P-13S	250百万年以来地球大气的超级旋转现象	蓝佳雯静	北京大学
S11-P-14S	东地中海50万年以来表层海水温度和氧同位素变化	赵蔓	同济大学
S11-P-15S	上新世西太平洋暖池营养跃层与生产力协变及其古海洋学意义	施江南	中国科学院海洋研究所

专题15：极地多时空尺度冰–海–气相互作用			
S15-P-01S	基于ICESAT-2激光测高数据的北方森林冠层高度反演	刘奥博	北京师范大学
S15-P-02	极地冰层取芯钻头结构形态研究进展	王如生	吉林大学
S15-P-03	极区中间层夜光云中冰晶粒径对太阳活动的响应	张亮	同济大学
S15-P-04	Climate control on travertine deposition in southern Tibet during the late Quaternary	汪智军	中国地质科学院岩溶地质研究所
S15-P-05S	东南极伊丽莎白公主地冰芯记录的近期积累率变化特征	王丹赫	华东师范大学
S15-P-06S	南极冰盖粒雪密实化过程的模拟与评估	王晓峰	同济大学
S15-P-07S	1960~1980s东南极冰流速产品的质量检核	李国君	同济大学
S15-P-08S	波弗特海夏季海冰冰情异常与先冬海冰输出的关联	张永莉	天津大学
S15-P-09S	亚北极鄂霍次克海晚第四纪冰海沉积作用与水团变化历史	叶圣彬	同济大学
S15-P-10S	西北冰洋加拿大海盆MIS 8期以来的物源变化及其指示的北极冰盖和洋流的演化	涂艳	同济大学
S15-P-11S	南极罗斯海扇区晚更新世以来冰筏碎屑记录反映的冰川动力学史	李永斌	同济大学
S15-P-12S	东南极宇航员海基于硅藻组合重建的末次冰盛期到晚全新世的环境变化	李青苗	同济大学

S15-P-13	Comparison of ground surface freezing-thawing conditions in discontinuous permafrost regions between Alaska and the Qinghai-Tibet Plateau	吴通华	中国科学院西部生态环境资源研究院
S15-P-14S	全球气候变化驱动喜马拉雅地区冰川流域河型演变	林志鹏	中国地质大学（北京）
S15-P-15S	深海氧同位素13期以来北冰洋西部中心海区冰筏输入历史	石端平	同济大学
S15-P-16S	南极罗斯海JOIDES海槽末次冰期以来底栖有孔虫组合及其对冰架扩张与消融的响应	樊加恩	同济大学
S15-P-17S	四千万年以来南极冰盖变化对气候的影响	满凯	北京大学
S15-P-18S	南大洋表层沉积物中浮游有孔虫 *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral) 壳体重量的影响因素及意义	宋茜薇	自然资源部第一海洋研究所
S15-P-19S	中–晚更新世南极阿蒙森海生产力变化对西南极冰盖演化历史的指示	张静渊	同济大学
S15-P-20	西北冰洋阿尔法脊晚第四纪古水团及海冰变迁：来自介形虫化石群的证据	王雨楠	上海自然博物馆（上海科技馆分馆）
S15-P-21S	罗斯海表层沉积物中生源组分的分布规律及其环境指示意义	周郑鹏	同济大学
S15-P-22S	太平洋水向欧亚盆地扩展的驱动机制	魏硕	天津大学
S15-P-23S	加拿大盆地边界处密跃层下方涡旋的地震图像	杨顺	同济大学
S15-P-24	第四纪南大洋南极带生产力演变及其控制机理：基于IODP 374航次U1525A孔的研究	郭景腾	自然资源部第一海洋研究所
S15-P-25S	罗斯冰架春季冰间湖年际变化及其与大气环流异常的关联	王天骄	天津大学

专题17：深水沉积的源–汇过程及其能源–环境效应			
S17-P-01S	南海北部神狐海域沉积物粒度特征及其与水合物饱和度关系	罗坤文	中山大学
S17-P-02S	莺歌海盆地上中新世半封闭浅海大型深水沉积体系发育机制	王震	中国地质大学（北京）

S17-P-03	东非坦桑尼亚深水扇沉积特征——来自东非裂谷活动的制约	陈宇航	西安石油大学
S17-P-04S	深水渠堤系统沉积结构数值模拟	李阅	浙江大学
S17-P-05	湖相裂谷盆地碎屑流主控的深水滑塌系统沉积过程、结构及模式：以渤海湾盆地东营凹陷始新统为例	刘建平	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S17-P-06S	末次冰消期以来东海大陆边缘沉积物钼同位素富集机制及其对氧化还原环境演化的指示	孙呈慧	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S17-P-07S	中沙海槽重力流沉积发育演化及控制因素研究	陈俊锦	中国科学院深海科学与工程研究所
S17-P-08	钙质软泥海底滑坡的触发机理及失稳过程——以澳大利亚西北缘深海地区为例	吴南	同济大学
S17-P-09S	南海西沙海槽表层沉积物的物质来源：来自碎屑锆石U-Pb年代学的制约	崔贺旗	中山大学
S17-P-10S	澎湖峡谷群表层沉积物碎屑锆石U-Pb定年及其物源意义	曾乐田	中山大学
S17-P-11S	西非下刚果盆地上中新统水道–朵叶复合体发育演化及其对微盆地充填过程的响应	许鸿翔	中国石油大学（北京）
S17-P-12S	南黄海西部陆架区MIS 2时期埋藏古河道特征及古环境研究	孙一方	山东科技大学
S17-P-13S	湖相过渡–沉积型重力流水道沉积特征与砂体构型式——以鄂尔多斯盆地瑶曲铁路桥剖面延长组为例	田荣恒	中国石油大学（北京）
S17-P-14	冲绳海槽中南段陆坡海底峡谷侵蚀–沉积结构及形成演化机制	李德勇	中国海洋大学
S17-P-15	海南岛东南海域现代表层沉积物物源示踪：来自碎屑锆石年代学约束	刘松峰	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S17-P-16	孤立碳酸盐台地源汇过程研究：以南海北部西沙海域孤立台地为例	秦永鹏	中国科学院深海科学与工程研究所

专题29：海底流体活动的现代过程与地质记录			
S29-P-01	琼东南海域渗漏型水合物系统流体运移特征	任金锋	中国地质调查局广州海洋地质调查局

S29-P-02	冷泉双壳类壳体的微观结构和高分辨率元素地球化学研究	王旭东	上海海洋大学
S29-P-03	冷泉碳酸盐岩中有机碳的地球化学特征及其环境意义	冯东	上海海洋大学
S29-P-04S	冷泉环境中铁锰穿梭过程的控制因素初探	贾子策	上海海洋大学
S29-P-05	河口近底高浓度泥沙的观测和模拟	葛建忠	华东师范大学
S29-P-06	南海张裂边缘玄武岩的热液蚀变作用	吴家望	同济大学
S29-P-07S	Study on authigenic minerals in sediments recovered from the sea of marmara	唐钰开	北京大学
S29-P-08S	甲烷活动对冷泉区沉积物DOM性质的影响	胡廷苍	上海海洋大学
S29-P-09S	南海南部冷泉活动影响下的地球化学特征	陈崇敏	中山大学
S29-P-10	海底冷泉气泡羽状流建模及气泡体积分数定量估算的地震海洋学研究	陈江欣	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S29-P-11	冲绳海槽中北段构造作用对于海底甲烷渗漏发育的控制	李昂	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S29-P-12S	南海北部海马冷泉区表层沉积物的AOM生物标志化合物特征	吴一帆	中国科学院广州能源研究所
S29-P-13S	Hikurangi俯冲带沉积物成岩作用示踪研究：来自孔隙流体Sr同位素证据	孔丽茹	上海海洋大学
S29-P-14S	Trace elements in authigenic pyrite as methane seepage indicator	苗晓明	中国海洋大学
S29-P-15	冷泉活动对底层海水氧气浓度和底栖有孔虫的影响——来自南海的证据	李牛	中国科学院南海海洋研究所
S29-P-16S	Regab麻坑沉积物地球化学特征对冷泉活动的示踪	常静怡	北京大学
S29-P-17	南海南部浅表层沉积物中甲烷通量变化过程的多指标方法示踪	冯俊熙	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S29-P-18	南海北部冷泉碳酸盐岩含铁锰碳酸盐矿物特征及环境意义	陈弘	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S29-P-19	南海琼东南海域古冷泉流体活动与生态系统演化的关系：来自碳酸盐岩和贝壳化石的证据	肖曦	中国地质调查局广州海洋地质调查局

S29-P-20	甲烷厌氧氧化古菌参与氮吸收过程的地球化学证据	胡钰	上海海洋大学
S29-P-21	Microbial diversity of two cold seep systems in gas hydrate-bearing sediments in the South China Sea	崔鸿鹏	中国地质大学(北京)
S29-P-22	游离气层性质限定水合物区深部甲烷通量——以布莱克海台区域为例	陈多福	上海海洋大学
S29-P-23	琼东南盆地和郁陵盆地天然气水合物成藏对比研究	黄伟	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S29-P-24S	硫酸盐–甲烷转化界面带中氮的地球化学循环过程：以南海东沙海域GC10沉积柱为例	杨鑫	中山大学
S29-P-25	沉积物深部硫酸盐还原驱动有机质矿化过程：来自墨西哥湾盐底辟区碳酸盐岩的证据	黄慧文	中国科学院南海海洋研究所
S29-P-26	台湾龟山岛浅海热液痕量金属与环境因子互作研究	梅康	厦门大学

专题33：俯冲带变形、地震与岩浆活动过程的地球动力学机制			
S33-P-01	苏门答腊俯冲温度场、岩石相变和地震分布	朱伟龄	中国科学院青藏高原研究所
S33-P-02	南海海盆裂后岩浆底辟作用及其地质意义	高红芳	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S33-P-03S	龙门山逆冲推覆带隆升变形影响因素分析——基于物理及离散元模拟	王迎	北京大学
S33-P-04S	板块俯冲起始物理模拟研究进展	童政毅	浙江大学
S33-P-05S	贝加尔裂谷形成演化的主控因素探讨——基于地球动力学数值模拟	王盟楠	北京大学
S33-P-06S	Petrogenesis and tectonic evolution of the granitic plutons of the Peshawar plain alkaline igneous province, north-west Pakistan: implications from petrography and geochemistry	Muhammad Sarim	西北大学
S33-P-07	断层伸展宽度定量分析及在脆性地壳伸展因子计算中的应用	贺超	海南省海洋地质调查研究院
S33-P-08	马里亚纳海沟挑战者深渊附近机器学习地震定位研究	仲秋	中国科学院南海海洋研究所

S33-P-09S	新几内亚–所罗门弧俯冲体系的流体分布结构特征研究	王文义	中国海洋大学
S33-P-10S	南极特拉裂谷北部沉积构造解释	岳梅	自然资源部第二海洋研究所
S33-P-11	针对火山管道中双向流动的数值研究	秦智鹏	广西大学
S33-P-12	塔里木过渡型大火成岩省的成因与碳循环	张招崇	中国地质大学（北京）
S33-P-13S	滇西高黎贡造山带内早白垩世花岗质岩石对班公湖–怒江缝合带南向延伸的制约	王晨	吉林大学
S33-P-14	九州帕劳海脊的岩浆演化模式——来自精确海山岩浆分布的证据	丁航航	自然资源部第二海洋研究所
S33-P-15S	中亚造山带西段古生代俯冲机制分析	马昌明	北京大学

专题35：南海未来大洋钻探的建议/科学问题与目标			
S35-P-01S	Greenschist facies mylonite documenting the tectonic evolution of the South China Sea continental margin since the Mesozoic	孙李恒	中国科学院南海海洋研究所
S35-P-02S	珠江口盆地中西部陆缘张–裂过程与特征	曾程辉	中国科学院南海海洋研究所
S35-P-03S	南海白云–荔湾深水区扩张期岩浆活动特征及构造意义	朱筱曦	中国科学院南海海洋研究所
S35-P-04S	南沙地块的地壳结构与伸展减薄特征	张家岭	自然资源部第二海洋研究所

专题42：深层和非常规资源：地球科学和工程问题			
S42-P-01	数字岩心应力松弛数值模拟	朱伟	长江大学
S42-P-02S	基于类别均衡的地震流体预测方法	许明辉	同济大学
S42-P-03S	塔里木盆地库车凹陷盐体附近应力和孔隙流体压力的扰动及对钻井稳定性的影响	常成	中国科学院大学

S42-P-04	渤海湾盆地济阳坳陷中、古生界潜山成因类型	张勐	中国石油大学（华东）
S42-P-05S	南大西洋中段被动陆缘盆地下白垩统盐构造成因模式	王迎	北京大学
S42-P-06	裂缝表面形态对岩石弹性模量压力依赖性以及三阶弹性常数的影响	付博烨	中国科学院地质与地球物理研究所
S42-P-07	下扬子官地1井下寒武统海相页岩孔隙结构特征及影响因素	鲍衍君	河海大学
S42-P-08S	珠一坳陷古近系油气成藏主控因素及有利区分布预测	蔡哲	中国石油大学（北京）

专题43：地震孕震、地震活动与地震灾害			
S43-P-01	一种基于滚石轨迹判定月震峰值加速度方法	朱伯靖	中国科学院云南天文台
S43-P-02	基于统计流体力学框架的粤港澳大湾区地震与洪涝灾害数值模拟研究	朱伯靖	中国科学院云南天文台
S43-P-03	由千米尺度的跨断层基线测量断层近场运动与变形——川滇块体东边界2个场地的初步实验	曹建玲	中国地震局地震预测研究所
S43-P-04	斜向俯冲带与其上盘走滑断层相互作用：以苏门答腊俯冲带及印缅山脉区为例	郭来银	南方科技大学
S43-P-05S	海洋地震远震P波尾波与三维海底地形变化的联系	臧翀	中国科学技术大学
S43-P-06S	月球热应力累积与浅源月震产生机理的关系的初步分析	陶莎	中国科学院大学
S43-P-07S	俯冲带正断型地震的破裂过程研究——以2009年北安达曼海Mw 7.5级地震为例	白起鹏	中国科学技术大学
S43-P-08	川滇地区中下地壳流对区域地壳变形及地震活动影响的数值模拟	孙云强	福建农林大学
S43-P-09S	岷江断裂带与龙门山断裂带的相互作用及对区域地震活动性的影响	张航	同济大学
S43-P-10S	2017年精河Ms 6.6地震前后地震活动性及发震断层研究	邱镛康	武汉大学
S43-P-11S	基于波形和极性的震源矩张量反演方法	徐妍妍	中国科学技术大学

S43-P-12S	地震定位和检测	张栓	武汉大学
S43-P-13S	联合GNSS观测与地震目录数据的海原断裂带凹凸体分布确定	刘虎	武汉大学
S43-P-14S	Cerro Azul火山的InSAR时间序列长期地表监测	郭倩	武汉大学
S43-P-15S	高频GPS用于分析2015年智利Illapel Mw 8.3地震震后早期形变	刘凯	武汉大学
S43-P-16S	红河断裂带现今活动特性分析	王君毅	武汉大学

专题46：海底观测网的关键科学问题和国家需求			
S46-P-01S	GNSS-IR测量潮位的精度评估：以香港鲗鱼涌站点为例	叶脉	中山大学
S46-P-02S	南海西边界流冬夏模态转换	解一	中国科学院南海海洋研究所
S46-P-03S	长江河口南槽纵向余环流：径流、潮汐和地形耦合机制	张丽芬	华东师范大学
S46-P-04S	长江下游–东海溶解和沉积有机质的季节性变化	韩露露	上海海洋大学
S46-P-05	东海沉积物镁同位素地球化学特征及示踪大陆风化的潜力：基于东海航次观测	胡忠亚	同济大学
S46-P-06S	中全新世以来东亚冬季风的衰减——来自东海泥质沉积物的记录	张硕	南京大学
S46-P-07S	广西山口红树林国家级自然保护区互花米草与红树林近24年变化的遥感分析	沈鸿坤	广西大学
S46-P-08S	基于改进U-Net和迁移学习海岸线提取方法	王蕊	中国海洋大学
S46-P-09S	侧扫声纳与无人机摄影测量对比	贾如真	自然资源部第三海洋研究所
S46-P-10S	陆架泥质区海底拖曳系数的观测研究	齐富康	南方科技大学
S46-P-11S	Precise measurement of $^{226}Ra/^{230}Th$ disequilibria in ocean sediments and porewater by high-sensitivity ICP-MS	袁柳婷	厦门大学

S46-P-12	潮流、波浪和筏式养殖影响下底边界层湍流变化	凡仁福	海南省海洋与渔业科学院
S46-P-13	基于集成学习的浅海沙波区单一底质精细分类研究	王明伟	自然资源部第二海洋研究所
S46-P-14S	Carbon transformation and export in an intertidal mudflat deciphered by $^{224}Ra/^{228}Th$ disequilibria	程艺琳	厦门大学
S46-P-15	台湾浅滩沙波特征及迁移规律分析	杨宇平	南方科技大学
S46-P-16	福建三沙湾网箱养殖对水动力条件的影响	姜鑫涛	同济大学
S46-P-17S	复杂环流背景下水团分析及混合比例定量计算：事件性水团入侵的识别	王朔	同济大学
S46-P-18	基于FVCOM的近期长江口北支水动力和泥沙动力变化分析	张奇	同济大学
S46-P-19	沉积物物源指标的不同示踪意义：我国东南沿海小河流研究案例	杨守业	同济大学
S46-P-20	波流作用下临港潮滩的沉积动力特征研究	孟令鹏	同济大学
S46-P-21S	长江下游溶解态钡同位素地球化学分布特征	金晨阳	同济大学
S46-P-22	长江口近30年来沉积物重金属含量变化与影响因素	范佳玉	同济大学
S46-P-23S	2011年3月11日日本9级强震引发的海啸对地震背景噪音的影响	陈斐	同济大学
S46-P-24S	日本西南部深海单频微地动背景噪音特征研究	黄斌	同济大学
S46-P-25	长江口沉积物早期成岩过程的Fe同位素地球化学循环	贺治伟	同济大学
S46-P-26S	长江河口沉积物中重金属的生物可利用性分布规律与影响因素研究	梁宇豪	同济大学
S46-P-27S	长江口–东海内陆架沉积物中汞的形态分布及甲基化控制因素	曹丰	同济大学

口头报告				
7月10日 下午14:00~15:30				
分会场 2：二楼悦贵厅2号				7月10日下午
专题46：海底观测网的关键科学问题和国家需求（5） 主持人：李风华、王海黎、谢晓辉				
14:00-14:10	S46-O-28	缺氧对长江口沉积物–水界面铁和磷交换的影响	林忠亮	厦门大学
14:10-14:20	S46-O-29	长江口咸淡水界面放射成因锶同位素行为	连尔刚	同济大学
14:20-14:30	S46-O-30	Winter mixing sparks incineration of sedimentary organic carbon in the major mud wedge system of the East China Sea	魏琳	厦门大学
14:30-14:40	S46-O-31	高精度原位拉曼技术厘定中新世西北太平洋俯冲作用下软流圈来源的二氧化碳流体活动规律	王文璟	中国地质大学（武汉）
14:40-14:50	S46-O-32	长江口底边界层湍流拟序结构及其控制的猝发事件特征	李任之	华东师范大学
14:50-15:00	S46-O-33	台湾浅滩多尺度沙波地貌演变的模拟研究	周洁琼	自然资源部第二海洋研究所
15:00-15:10	S46-O-34	大型河口工程对长江口及邻近海域生态动力过程的调控机制	何艳茹	华东师范大学
15:10-15:20	S46-O-35	高悬沙浓度河口湍流剖面观测	田静	南京大学
15:20-15:30	S46-O-36	椒江口近底层泥沙动力特性及航道回淤机制研究	陈雪茜	浙江大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月10日 下午14:00~15:30				
分会场 3：二楼悦贵厅3号				7月10日下午
专题15：极地多时空尺度冰–海–气相互作用（3） 主持人：李院生、陈卓奇				

14:00-14:15	S15-O-13	极地冰层快速取芯/样钻探技术研究现状与未来展望	王如生	吉林大学
14:15-14:30	S15-O-14	南大洋在过去全球变化中的作用和影响	王汝建	同济大学
14:30-14:45	S15-O-15	末次冰盛期以来南极罗斯海的环流变化	韩喜彬	自然资源部第二海洋研究所
14:45-15:00	S15-O-16	海水钕同位素重建末次冰期以来大西洋扇区南大洋南极底层水演化历史	黄璜	中山大学
15:00-15:15	S15-O-17	晚第四纪东南极兰伯特冰川动力学	武力	同济大学
15:15-15:30	S15-O-18	The ocean-driven instability of the South Pacific sector of the West Antarctic ice sheet since 773 ka	王家凯	自然资源部第一海洋研究所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月10日 下午14:00~15:30				
分会场 4：三楼1号会议室				7月10日下午
专题11：低纬气候过程的重建：记录整合与数值模拟 主持人：张冉、黄恩清				
14:00-14:15	S11-O-01	中更新世气候转型期热带西太平洋深部碳储存及其机制	秦秉斌	自然资源部第一海洋研究所
14:15-14:30	S11-O-02	Upper ocean heat content (OHC) changes in the tropical Pacific induced by orbital insolation and greenhouse gases (GHG)	王跃	同济大学
14:30-14:45	S11-O-03	晚第四纪东亚冬季风演化的空间差异性及其与热带太平洋类ENSO过程的联系	赵德博	中国科学院海洋研究所
14:45-15:00	S11-O-04	末次冰盛期东亚季风动力学：重建和模拟的比较	孙咏	中国科学院大气物理研究所
15:00-15:15	S11-O-05	末次冰盛期热带太平洋沃克环流减弱东移	田芝平	中国科学院大气物理研究所
15:15-15:30	S11-O-06	Meridional migration of Indian Ocean Monsoon precipitation during the early Holocene: evidence from the Andaman Sea	杨艺萍	中国科学院南海海洋研究所

15:30-15:50	茶歇

口头报告				
7月10日 下午14:00~15:30				
分会场 5：三楼2号会议室				7月10日下午
专题34：比较行星学（2） 主持人：陈果、杨军				
14:00-14:15	S34-O-07	Putting solar system in the context of exoplanets（邀请报告）	王雪凇	清华大学
14:15-14:30	S34-O-08	类地行星的相对生成率	晋升	中国科学院紫金山天文台
14:30-14:45	S34-O-09	在热木星晨昏线上发现氧化钛分子	陈果	中国科学院紫金山天文台
14:45-15:00	S34-O-10	Stability of closely packed multiple planetary systems subject to atmospheric mass losses	王素	中国科学院紫金山天文台
15:00-15:15	S34-O-11	The escape of hydrogen-rich atmosphere of exoplanets: mass loss rates and the absorption of stellar Lyα	闫冬冬	中国科学院云南天文台
15:15-15:30	S34-O-12	背景大气质量对降水与地表温度关系的影响	熊俊琰	北京大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月10日 下午14:00~15:30				
分会场 6：三楼3号会议室				7月10日下午
专题42：深层和非常规资源：地球科学和工程问题（2） 主持人：赵峦啸、张丰收				
14:00-14:15	S42-O-07	深层与非常规油气测井智能解释方法（邀请报告）	谭茂金	中国地质大学（北京）
14:15-14:30	S42-O-08	温度对页岩渗透率的影响研究	张谦	北京大学

14:30-14:45	S42-O-09	天然气水合物探测试采中的地震岩石物理技术	袁合民	中国地质大学（北京）
14:45-15:00	S42-O-10	井孔应力集中现象对页岩弹性的影响	胡洋铭	南方科技大学
15:00-15:15	S42-O-11	基于数据驱动的非常规页岩储层弹性性质预测模型	蔡振家	同济大学
15:15-15:30	S42-O-12	长庆油田页岩油储层极限射孔完井效率优化	王小华	同济大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月10日 下午14:00~15:30				
分会场 7：三楼5号会议室				7月10日下午
专题26：深海极端环境下的生命：从冷泉、热液到深部生物圈（2） 主持人：李江涛				
14:00-14:15	S26-O-07	Carbon flow and microbial activity in the hydrothermally altered sediment of Guaymas Basin（邀请报告）	庄光超	中国海洋大学
14:15-14:30	S26-O-08	深海微生物组图谱（MASH）——热液系统的微生物相互作用	李留洋	上海交通大学
14:30-14:45	S26-O-09	深海热液区发酵型铁还原菌生物矿化过程及机制	曾湘	自然资源部第三海洋研究所
14:45-15:00	S26-O-10	病毒对厌氧环境的适应——以甲烷厌氧代谢古菌噬菌体为例	王龙	厦门大学
15:00-15:15	S26-O-11	深海平端偏顶蛤宿主–共生菌互作机制研究	王昊	中国科学院海洋研究所
15:15-15:30	S26-O-12	海底冷泉系统–深海砷元素的富集器：现象与机理，以“海马”冷泉为例	唐永杰	中国科学院深海科学与工程研究所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告

7月10日 下午14:00~15:30				
分会场 8：三楼6号会议室				7月10日下午
专题07：前寒武以来405 ka偏心率长周期的地质演变 主持人：吴怀春、黄春菊				
14:00-14:15	S07-O-01	华北中元古代沉积物的天文旋回与黑色页岩发育（邀请报告）	王晓梅	中国石油勘探开发研究院
14:15-14:30	S07-O-02	中生代40万年周期的演变与重大地质/气候变化事件发生的关系探讨	黄春菊	中国地质大学（武汉）
14:30-14:45	S07-O-03	The Plio-Pleistocene 405-kyr climate cycles	聂军胜	兰州大学
14:45-15:00	S07-O-04	偏心率40万年周期的隐匿与天文年代研究标准化的困境	李明松	北京大学
15:00-15:15	S07-O-05	天文校准的华南中–晚奥陶世碳同位素漂移事件	任传真	中国地质大学（北京）
15:15-15:30	S07-O-06	德国盆地下三叠统印度阶基于405 kyr周期的天文年代标尺	张皓天	北京大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月10日 下午14:00~15:30				
分会场 9：三楼7号会议室				7月10日下午
专题43：地震孕震、地震活动与地震灾害（3） 主持人：许才军、柳畅				
14:00-14:15	S43-O-13	南海潜在海啸危险性的并行数值模拟	杨少华	中国地质科学院地质研究所
14:15-14:30	S43-O-14	利用海洋T波约束南非地壳衰减结构	周勇	中国科学院南海海洋研究所
14:30-14:45	S43-O-15	2020年7月发生在西藏中部的Mw 6.3级尼玛地震：一次破裂在拉张阶分区的浅正断事件	杨九元	武汉大学
14:45-15:00	S43-O-16	基于地震目录数据的区域地震活动分析	靳锡波	武汉大学

15:00-15:15	S43-O-17	数值模拟人工合成地震目录的有效性检验	赵文涛	武汉大学
15:15-15:30	S43-O-18	利用深度学习方法在贝叶斯框架下快速确定地震震源参数	林学楷	武汉大学
15:30-15:50	茶歇			

第六届地球系统科学大会日程

大会闭幕式：地球系统科学战略研究中期汇报			
7月10日 下午15:50~17:30			
主会场（东方厅）			7月10日下午
地球系统科学战略研究中期汇报			
15:50-16:02	优秀学生展板颁奖		
16:02-16:14	气候系统演变的两半球和高低纬相互作用	郭正堂	中国科学院地质与地球物理研究所
16:14-16:26	气候变化的40万年偏心率周期及其破坏	田军	同济大学
16:26-16:38	从生物泵演化看微生物对地球系统的作用	谢树成	中国地质大学（武汉）
16:38-16:50	有机物和矿物的相互作用及其效应	董海良	中国地质大学（北京）
16:50-17:02	中新生代西太东亚衔接	金之钧 孟庆任	北京大学/中国科学院地质与地球物理研究所
17:02-17:14	中生代温室地球——深时中的未来世界	王成善	中国地质大学（北京）
17:14-17:30	地球系统科学战略研究的进展	汪品先	同济大学

P-01

生物兴灭和环境剧变的超深部因缘

毛河光*

1 北京高压科学研究院，北京市海淀区西北旺东路 10 号 邮编 100094

* maohk@hpstar.ac.cn

地球 45 亿年前聚积成型以来，历经多次重大演变和突变。国内外地学界对地球表面系统化的观测，收集了大量的数据，归纳出生物大灭绝、大氧化事件、雪球地球、大火成岩省、超级大陆的聚合分裂、板块运动的启动稳定等改变地表宜居性乃至物种繁衰存亡的许多大事件，和它们之间的时空关联。但对它们的机制和成因，却各有五到十种互不关联的假说。从微生物作用、光合作用、环境变迁、海洋化学、沉积去碳、造山运动、火山活动等浅部影响，到陨石撞击、日照地球转轴偏移、超新星伽马线爆发等外来因素，众云纷纷莫衷一是。但地球深邃的内部因素，则因为知识的空白，少有论及。

国内地球科学和高压物理高压化学交叉研究，揭示了地球从内到外可能引发历来大事件的主要引擎，其关键是超深部岩石矿物中挥发分特别是氧的活动。海洋地壳中的含水矿物跟随板块运动俯冲到深下地幔（深度>1800 公里），在超高压力（>74 万大气压）环境条件下，产生了新的物理和化学现象：水变成强氧化剂，释放了氢，同时留下氧氧化了深部的矿物。富氧物质在核幔边界长期累积过量，将发生间歇性的爆发。产生的富氧超级地幔柱，将扰乱常态板块运动，造成超级大陆的分合。最近实验又显示富氧物质抵达上地幔和地壳，能降低岩石熔点，产生大量岩浆，可以引起大火成岩省、洪流玄武岩浆、大氧化事件、和后续的氧波动等环境剧变。生物圈对环境变迁异常敏感，生物的兴灭反过来可以作为氧爆发的佐证。如此初步形成一个解释地球主要大事件，横跨圈层穿越时空的单一机制。其未来的充实和发展，则有赖学科交叉深度和广度的不断加强。

P-02

宏观地球科学现象的月基观测

郭华东*

1 可持续发展大数据国际研究中心

2 中国科学院空天信息创新研究院 北京 100094

* hdguo@radi.ac.cn

月球是地球唯一的自然卫星，也是人类目前唯一能到达而且已经到达的星球。本报告介绍笔者提出的月基对地观测概念，旨在月球上建立月基对地观测系统，开展地球宏观科学现象的观测研究。月基对地观测可以实现对几乎整个地月空间和地球近月面的全球尺度上时间一致和空间连续的连续观测，可获取星载对地观测技术难以获得的地球信息，包括大气圈、岩石圈、水圈、生物圈等多圈层立体信息，籍以提高人类对行星地球的新认识和新发现。报告重点阐述了月基观测的长期一致性、观测整体性、观测稳定性和观测唯一性等四大优势，介绍了月基平台系统对固体地球变化、全球辐射平衡、三极协同观测等的模拟分析。月基观测将开辟全新的地球观测方向，将是空间对地观测的一场革命。

P-03

地磁场影响生物的新证据

田兰香，林巍，李金华，潘永信*

1 中国科学院地质与地球物理研究所，地球与行星物理院重点实验室，北京 100029

* yxpan@mail.iggcas.ac.cn

地磁场由液态外核富铁导电流体对流运动产生，它保护地球大气圈和生物圈免受

太阳风侵袭，是地球的一道“保护伞”。 地球上几乎所有生物活动都是在地磁场中进行的，许多微生物和动物逐渐演化出利用地磁场定向和导航的能力。地磁场环境对生物的影响是地球科学和生命科学共同关注的重要问题。

微生物是地球上最早出现的生命形式，对于感磁微生物——趋磁细菌的研究可以为认识生物感磁行为的起源和演化提供新认识。通过大规模的趋磁细菌野外调查和实验室分析，发现趋磁细菌至少分布在 14 个细菌门类中，而不是传统认为的 3 个门类。提出了感磁微生物“古老单起源和扩展适应演化”的模型：即现生趋磁细菌的共同祖先在地质历史早期已经出现，垂直基因传递是其演化的主要驱动力。趋磁运动帮助这些微生物更好地适应早期地球的高辐射、富铁海洋等极端环境。利用系统发育基因组和谱系年代学等手段，揭示出趋磁细菌的起源至少可以追溯到 34-32 亿年前的太古代。基于现生趋磁细菌的共性特征，推测太古代海洋的部分区域已经存在稳定的氧化-还原过渡带；地球在当时已经具有地核发电机且地磁场已经出现，其强度应不低于趋磁细菌进行感磁运动所需的最低磁场强度（~6 微特）。地磁场出现则为早期生命提供了更加宜居的生存条件。

趋磁细菌重要特征是它们能沿地磁场定向运动。针对一类独特的趋磁大杆菌 MYR-1（合成近千个子弹头形磁小体，至今不能纯培养），将岩石磁学与透射电镜三维重构、电子全息技术相结合，从细胞尺度到原子水平上系统地研究了子弹头形磁小体的链束结构和磁学性质；将电子显微学与同步辐射技术相结合，发现细胞还能合成链状结构的单质硫（S^0）颗粒和用于暂时贮存硝酸盐的液泡结构，且二者存在代谢上的偶联关系；发现部分趋磁细菌（包括 MYR-1）具有独特且高效的 Fe^{2+}/Fe^{3+}吸收和磁铁矿合成途径，可能具有硝酸盐还原、硫氧化、硫酸盐还原、多聚偏磷酸合成和降解、化能自养（CO_2 固定）和异养（有机质氧化）等多样化的代谢潜能。基于这些分析，提出了趋磁细菌主动利用地磁场在水体有氧-缺氧过渡带上下穿梭并驱动元素和能量循环的新模型。

动物成体海马神经发生受生理条件和环境因素的共同影响，地磁场作为地球生物生存的重要环境因子，其强度减弱对神经发生的潜在影响将为评估包括人类在内的高等生物受亚磁场暴露的影响及应对策略提供重要科学依据，亦可为认识地磁场环境对动物中枢神经系统功能的作用提供参考。采用多学科交叉研究方法，对长时间亚磁场暴露对 C57BL/6J 模式小鼠成体海马神经发生的影响开展系统性研究。相比地磁场（GMF）组小鼠，亚磁场（HMF）中连续暴露 6 周的小鼠，其海马齿状回区域神经干细胞的增殖和新生神经元的分化能力显著降低，新生神经元的树突总长度减少、分枝结构复杂度及突触棘密度显著降低。在返回地磁场后 2 周，海马齿状回区域神经干细胞的数量就显著增加，4 周后新生神经元的数量恢复到地磁场组水平，但星形胶质细胞的数量不受影响。从 HMF 暴露的成年 Nestin-GFP 转基因小鼠脑内分选出海马神经干细胞并进行转录组测序分析结果显示，抑制干细胞增殖、分化相关基因的表达水平显著升高，同时降低了低氧应激、活性氧（ROS）代谢和产生相关基因的表达水平。为了验证 ROS 是否是磁场调控海马成体神经发生的重要因子，通过药物注射提高亚磁场组小鼠脑内海马干细胞的 ROS 水平，结果可以抑制亚磁场暴露对小鼠海马成体神经发生的损害；反之，如果通过药物降低返地磁场组小鼠海马干细胞内的 ROS 水平，则抑制返地磁场对小鼠海马成体神经发生的挽救作用。上述实验研究揭示出亚磁场通过降低细胞内 ROS 水平损害小鼠成体海马神经发生及认知功能。亚磁场暴露引起的神经发生和认知功能缺陷，或可通过药物提高 ROS 水平或返地磁环境来挽救。在动物水平上证实地磁场在成体海马神经发生中的重要性，为认识亚磁场的神经生物学效应机制提供了途径。

P-04

矿物-微生物协同演化的机制与效应

董海良*

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* dongh @cugb.edu.cn

矿物是组成地球和行星的基本单元，矿物的结构、成分、同位素、包裹体、性质、年龄和产状等都真实地记录了形成时的地球环境信息。自从地球出现微生物伊始，矿物与微生物就发生着交互作用并深刻影响地球物质循环、生命进化与环境演变。矿物与微生物的演化历史有着惊人的相似之处，都经历了种类由少到多、结构由简单到复杂、功能由单一到多样的过程。

在地球早期，矿物对生命起源与进化起到了决定性作用，包括催化有机分子的合成、聚合、保护等等。一旦地球上出现生命以来，生物也一直深刻影响着矿物的形成与演化。从元古代至人类世，矿物-微生物共演化具有显著的阶段性与标识性。在早元古代时期，光合微生物快速产生氧气而发生著名的大氧化事件。大氧化事件促使矿物种类从几百种，大幅增加至四千余种。地球表层氧气浓度的升高，大大促进了矿物岩石的风化作用，矿物风化所释放的金属离子，可作为辅助因子参与生物酶的合成，催生了许多崭新的生物化学途径，极大地丰富与造就了微生物代谢途径的多样性和功能的复杂性。新的功能微生物反过来又促进矿物岩石的形成与分解作用，驱动元素地球化学循环，从而形成一个协同的矿物-微生物共演化系统。到了寒武纪时期，真核生物的出现进一步加剧了矿物岩石的风化作用，从而影响碳循环和气候演变。强烈的风化作用还促进土壤的形成与有机质的埋藏。

在我国资源紧缺、环境恶化的今天，借鉴地质历史时期矿物-微生物共演化的资源环境效应，实现人为调控与诱导矿物-微生物交互作用，对资源开发、化石能源高效利用、新材料研发、生态环境保护等方面都具有重要的现实意义。

P-05

从陆相微生物记录看气候演变的低纬驱动

谢树成[1,2]*，卢佳仪[1]，唐长燕[3]，王灿发[1]，张宏斌[1]

1 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室，武汉 430074

2 中国地质大学（武汉）流域关键带演化湖北省重点实验室，地球科学学院，武汉 430074

3 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

* xiecug@163.com

生物对气候环境变化具有相当灵敏的响应能力，可以在生物的分子、细胞、种群、群落、生态系统和生物圈等不同水平做出响应，由此人们能够根据这些不同层次的生物变化重建地质时期气候环境演变。基于生物属性建立的代用指标在古气候领域得到了非常广泛的应用。

在我国，当行星风系主控的气候向季风主控的气候转变时，了解古气候的干湿状况越来越显得重要，特别是在中东部地区。然而，相比古温度，古气候干湿状况的代用指标很少，导致人们对地质时期干湿古气候演变规律了解得很少。最近几年，我们通过对土壤、泥炭、湖泊、洞穴的系统研究，发现了陆相地质微生物可以灵敏地反映古气候的干湿状况，由此提出了示踪干湿古气候变化的一系列微生物新指标，包括土壤古菌与细菌的醚类参数、泥炭湿地好氧细菌藿类参数和脂类单体氢同位素、湖泊细菌醚类参数、洞穴石笋细菌 3-羟基酸参数等。这些地质微生物指标为探索干湿古气候的时空演化提供了一系列新方法。

基于这些陆相地质微生物的原创性指标，我们重建了中国中东部地区干湿古气候的变化，由此发现了赤道太平洋海区的温度梯度变化对我国新近纪以来的干湿古气候

变化具有最重要的驱动作用。例如，在黄土高原地区，利用古菌与细菌的醚类参数识别出一些极端干旱事件。这些干旱事件主要出现在最近四个冰期的终止期，与冬季风引起的冰期干旱气候明显不同，而且不同冰期终止期的干旱强度有所差异。同时，黄土高原这些干湿古气候记录与西太平洋暖池的碳同位素记录有较好的对应性，显示了赤道太平洋表层海水温度梯度的变化可能引发黄土高原出现了极端干旱事件。

在中国东部地区，利用产甲烷古菌和氨氧化古菌的醚类指标重建了华北地区近8Ma以来的干湿古气候变化。由此识别出晚中新世至早上新世气候干旱，降雨量少；自上新世早期以来季风降水突然增加，气候变湿润。这种以早上新世为界的干湿古气候变化规律与黄土高原及中国南海南部的记录一致，而与长江中下游和华南的记录相反，即晚中新世到早上新世华北及南海南部气候干旱（-），而长江中下游和南海北部气候湿润（+）；早上新世4.2 Ma之后这种模式发生反转，即从“-，+，-”变成“+，-，+”模式。这种“三极模态”发生的原因主要由赤道太平洋海温梯度自早上新世开始显著增加，导致西太平洋菲律宾上空对流活动增强所导致。增强的Hadley环流以及Walker环流从赤道热带通过极地向的运输使得向北传播的水汽增多对早上新世以来东亚夏季风的增强也有所贡献。微生物脂类指标所揭示的中国东部构造时间尺度干湿古气候的这种三极模态空间变化及其驱动机制进一步得到了古气候模型模拟结果，但与西风影响的千年尺度的三极模态变化不同。这项以方法突破带动认识创新的系统研究，充分显示了低纬过程对我国季风区干湿古气候的驱动作用，为理解我国东部现代降水三极模态的成因机制、评估东部旱涝格局的发展趋势提供了地质案例。

P-06

热带太平洋上层海洋热含量的岁差辐射驱动

翦知湣[1]*，王跃[1]，党皓文[1]，David W. Lea[2]，Mahyar Mohtadi[3]，Yair Rosenthal[4]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Department of Earth Science, University of California, Santa Barbara, CA 93106, USA

3 MARUM-Center for Marine Environmental Sciences, University of Bremen, 28359 Bremen, Germany

4 Department of Marine and Coastal Science and Department of Earth and Planetary Sciences, Rutgers University, New Brunswick, NJ 08901, USA

* jian@tongji.edu.cn

海洋吸收了全球变暖90%以上的热量，特别是1998-2012年全球变暖停滞（global warming hiatus）期间次表层海洋加速变暖现象的发现，凸显出上层海洋热含量在全球气候变化中的重要作用。由于仪器观测数据仅仅覆盖了最近的几十年，资料不足增加了模拟的不确定性，亟需从地质记录获得过去的上层海洋热含量变化。

采用西太平洋暖池海区10个岩芯中浮游有孔虫表层种 *Globigerinoides ruber* 和温跃层种 *Pulleniatina obliquiloculata* 的壳体Mg/Ca比值，建立表层海水温度和温跃层海水温度的综合曲线，进而重建了过去36万年以来上层（0-200 m）海洋热含量（OHC）。结果发现，西太平洋暖池OHC在$1.83\sim2.28\times10^{10}$ J/m^{2}之间波动，其时间演变特征明显有别于表层海水温度和氧同位素的10万年冰期旋回，却与温跃层海水温度的变化更为吻合，呈现出低纬区太阳辐射量的2万年岁差周期变化，这与地球气候系统模式CESM模拟的OHC变化形态和幅度非常一致。研究表明，西太平洋暖池海区的温跃层海水温度同时受控于南、北半球低纬太阳辐射量的经向梯度，是岁差和半岁差周期上热带太平洋类ENSO型气候变化的核心枢纽（Jian et al., 2020; Dang et al., 2020）。

因此，西太平洋暖池 OHC 的变化主要由岁差辐射驱动的温跃层海水温度决定。

进一步分析发现，指标重建和数值模拟的西太平洋暖池海区表层海水剩余氧同位素（$\delta^{18}O_{sw}$）与上层海洋热含量的变化一致，说明上层海洋热含量决定大气对流活动的水汽蒸发和降雨。特别是，暖池海区 OHC 和 $\delta^{18}O_{sw}$ 均与中国石笋氧同位素在岁差周期上反相变化，即上层海洋热含量增大对应暖池海区 $\delta^{18}O_{sw}$ 变重、石笋氧同位素变轻，指示暖池海区表层海水盐度增大、相邻陆地的季风降雨增加。这说明热带太平洋上层海洋热含量变化控制气态水和液态水的转换所主导的低纬过程，进而通过全球季风调控太平洋和亚洲大陆之间大尺度的水汽输送和氧同位素分馏。因此，在年际到岁差等多个时间尺度上，暖池区 OHC 决定了低纬海洋-陆地-大气之间的水汽动力学，调节着全球水循环强弱，体现了气候演变的低纬驱动。

P-07

载人深潜视野下的深海深渊之谜

彭晓彤[1]*，丁抗[1]，叶聪[2]，杜梦然[1]，张海滨[1]，李季伟[1]，李保生[1]，徐洪周[1]，贺丽生[1]，荆红梅[1]，王治强[1]，叶延英[1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚，572000

2 中国船舶科学研究中心，无锡，214082

* xtpeng@idsse.ac.cn

近十年以来，中国载人深潜技术取得了重大突破，4500 米级和万米级载人潜水器陆续完成海试并投入试验性应用，推动了我国深海/深渊载人深潜科学研究飞速发展。本报告总结了中国载人潜水器“深海勇士”号和“奋斗者”号的基本性能参数和基础运维数据，并与国外先进的同类型深海载人潜水器进行比较，提出“开放、高效、可靠、低成本”的运行模式是中国载人潜水器服务于深海科学研究、促进中国深海科学挺进国际前沿的重要保障。在此基础上，以“深海勇士”号和“奋斗者”号在深海/深渊海底发现为主线，介绍了应用中国深海载人潜水器在深海/深渊地质、生命和环境科学等前沿领域取得的最新成果，强调了深海载人潜水器在深海科学研究中强大的技术优势和应用潜力，提出适时启动以中国载人深潜平台为支撑的国际深渊科学研究计划。

Y-01

白垩纪大洋缺氧事件的起因与结束：以西藏特提斯喜马拉雅带为例

陈曦[1]*，姚翰威[2]，王成善[2]

1 中国地质大学（北京）科学研究院，北京 100083

2 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* xichen@cugb.edu.cn

在整体呈温室气候状态的白垩纪期间，发生多次全球快速增温和大洋缺氧事件。这些事件的持续时间短（<1 百万年），但环境演化剧烈，是研究温室气候条件下地球系统运行机制的窗口，也是预测未来全球气候变化的参照。前人提出缺氧事件期间全球环境演变的概念模型，即大火成岩省（LIP）岩浆作用导致大气中 CO2 含量激增是诱发白垩纪大洋缺氧事件的原因，而硅酸盐风化加强、海洋生产力提升和大规模有机质埋藏等地球系统负反馈过程，导致了 CO2 消耗和缺氧事件结束。验证该模型对于理解极端温室条件下地球层圈相互作用过程有重要意义。以西藏南部特提斯喜马拉雅带浅海沉积记录为研究对象，通过生物地层学、地层对比、沉积学和地球化学研究，我们在大洋缺氧事件 OAE1d（~100Ma）的成因和 OAE2（~94Ma）的结束过程研究中获得了一些新认识。通过 Hg 的元素地球化学研究，发现了大洋缺氧事件 OAE1d 的发生与 LIP 之间成因联系的关键证据，认为它由 Kergulen 大火成岩省岩

浆作用触发。通过 Zn 的（生物）地球化学循环研究，对 OAE2 期间地球系统反馈过程作了详细解剖，认为在 OAE2 不同阶段，硅酸盐风化与海洋表层生产力分别对环境演化起主导作用。

Y-02

新元古代全球极端冰室气候演变的生物地球化学驱动

郎咸国*

1 成都理工大学沉积地质研究院，成都，四川 610059

* langxianguo19@cdut.edu.cn

新元古代全球冰期（雪球地球事件）是地球历史上最为严酷的冰室气候阶段。在此期间，冰川已经延伸到了赤道地区的海平面附近，使得地球进入了或接近进入一种全球冰封的状态。雪球地球理论认为，极端冰室气候是由于罗迪尼亚超大陆的裂解时强烈的大陆化学风化作用消耗了大量二氧化碳导致。然而，雪球地球理论却无法解释新元古代极端冰期事件的旋回性，以及冰期结束时的海洋与大气响应。近年来，本人对我国华南扬子板块雪球地球事件的沉积记录进行了深入研究，探讨了全球冰期事件的起因、经过以及结束的过程和机制。首先，通过对华南大塘坡组黄铁矿的硫同位素进行研究，提出全球范围内挥发性有机硫和甲烷的产生和释放在调控长尺度气候变化中发挥了重要作用，认为有机硫和甲烷释放的终止是导致全球极端冰期的原因。其次，通过重建了雪球地球冰期过程中的冰盖动力学演化，发现雪球地球冰期过程中的海洋并非完全处于冰冻状态，而是存在多个冰进-冰退旋回，表明极端冰室气候过程中存在气候的冷暖波动，提出冰期的结束显著早于盖帽碳酸盐岩沉积。最后，华南雪球地球沉积记录中的黄铁矿硫同位素和镍同位素研究发现，雪球地球冰期结束时全球海洋初级生产力快速恢复，存在短暂的广泛缺氧硫化，并且硫化环境中存在活跃的甲烷生产，进一步加剧了冰期的结束，为埃迪卡拉纪生命演化奠定了基础。

Y-03

泛北冰洋海域热量和淡水量输送特征及影响因子的观测研究

李非栗[1]*，M. Susan Lozier[2]，N. Penny Holliday[3]，William E. Johns[4]，Isabela A. Le Bras[5]，Ben I. Moat[3]，Stuart A. Cunningham[6]，M. Femke de Jong[7]

1 厦门大学，厦门 361102
2 佐治亚理工学院，Atlanta，美国
3 英国国家海洋中心，Southampton，英国
4 迈阿密大学，Miami，美国
5 伍兹霍尔海洋研究所，Falmouth，美国
6 苏格兰海洋科学协会，Oban，英国
7 荷兰皇家海洋研究所，Texel，荷兰
* feili.li@xmu.edu.cn

海洋以其巨大的存储、释放、输运热量的能力，给气候系统以长期记忆并能影响到从季节到世纪尺度的气候变化。与热量输送类似，海洋的淡水输送也显著影响气候系统。近期研究显示，海洋热量与淡水输送是近年来全球海洋暖化、全球水循环变化及区域性差异的重要因素。正因为如此，定位海洋在全球热量、淡水再分布中的作用机制对于增进对海洋在整个地球气候系统的理解具有重大意义。然而受到海洋观测资料的限制，对相应的海洋过程直接贡献的分析研究仍极为匮乏。在此次报告中，我们应用最新的海洋观测系统数据，结合历史观测资料，研究泛北极海域-北大西洋热盐交换特征及海洋环流的作用机制。通过构建泛北极-副极地海域热盐收支分析框架，估算得到在 2014-2018 年间，海洋通过副极地海域向极地方向热量输送为 0.50 PW，盐度输送为 12.5 Sv psu（1 Sv = 10^6 m^3 s^{-1}）。在不考虑海

洋热、盐储量变化的情况下，这些海洋输送直接影响泛北极海域的海气交互，造成 0.50 PW 的热量散失及 0.36 Sv 的淡水（盐度为零）增量。通过将相应的热量、淡水量进一步分解，我们发现海洋垂向翻转环流对于极地方向的海洋热量输送变率起主要调制作用，但是水平（风生）环流的贡献不可忽略。而对于淡水增量变化而言，翻转环流和水平环流都具有显著贡献。该研究结果指出了高纬度地区海洋环流系统的复杂性，特别是翻转环流与水平环流在海洋物质输送中的可能耦合作用。

Y-04

下洋壳深部生物圈：来自 IODP Exp360 航次的新发现

李江涛*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* jtli@tongji.edu.cn

地球深部生命研究与探测取得的重要进展之一是发现了海底洋壳生物圈。然而，目前的研究几乎全部集中于上洋壳表层玄武岩，对占洋壳体积近 2/3 的下洋壳中的深部生命活动的探索还处于空白状态。IODP 360 航次在西南印度洋的 Atlantis Bank 对因构造运动而直接暴露于海底的下洋壳进行了钻探，获取了长度近 800 m 的辉长岩岩芯，从而为研究下洋壳的深部生命活动提供了绝佳的机会。我们从这些岩石中检测到了完整的、具有生物活性、且能够进一步生长发育的微生物细胞。同时，基于宏转录组的代谢途径构建，发现这些微生物主要依赖于有机大分子再循环利用的异养方式生存，从而揭示了栖息于下洋壳岩石中这些深部微生物的生存策略。该研究证实了下洋壳深部生物圈的存在，拓展了生物圈在地球圈层内部分布的下限。

Y-05

从原子分子尺度理解金属稳定同位素的分馏机制

李伟*

1 南京大学，南京 210093

* liwei_isg@njiu.edu.cn

近年来，伴随着非传统金属稳定同位素 (δ^{6}Li, δ^{24}Mg, δ^{64}Cu, δ^{66}Zn, δ^{56}Fe 等)在示踪深部地球过程、古环境演化、污染源解析等领域的成功应用，学界对金属稳定同位素的分馏机制研究的需求也越来越迫切。研究表明，金属稳定同位素（如 δ^{66}Zn）在地表过程会产生显著的同位素分馏，然而对分馏机理在分子尺度上的理解仍知之甚少。为此，我们利用结构化学领域先进的同步辐射扩展 X 射线吸收精细结构技术（EXAFS），系统研究锌同位素在若干矿物界面吸附过程中的分馏与配位结构之间的关系。研究发现锌在铝氧化物上吸附过程中的同位素分馏（Δ^{66}Zn 吸附水溶液）取决于表面覆盖率（Γ），并最终取决于其键合结构。在低 pH（6.0–6.5）和/或低浓度（<0.4 mM），其中 Γ<0.8μmol m-2 时，Δ^{66}Zn 吸附水溶液为 0.47±0.03‰，而在 pH 7.0–8.0 和大 Zn 浓度（≥0.4 mM）时，Δ^{66}Zn 吸附水溶液为 0.02±0.07‰，其中 Γ>1.5μmol m-2。利用 EXAFS 光谱，我们测定了在高表面覆盖率下形成 Zn-O 键长为 2.06Å 的 Zn-Al 层状双氢氧化物（LDH）。相反，在低表面覆盖率下，吸附的 Zn 以四面体配位的内圈表面络合物形式存在，Zn-O 原子间平均距离为 1.98Å，这表明较短的 Zn-O 键距离可导致较大的同位素分馏。我们进一步从实验上测定了锰氧化物（透辉锰矿和水钠锰矿）吸附过程中的锌同位素分馏和 Zn-O 化学键长。将这些数据与其它矿物表面（如石英、针铁矿、铁氢化物）的已发表文献进行了总结，发现当 Zn-O 距离从 1.92Å 增加到 2.12Å 时，Zn 稳定同位素分馏从 0.92‰减少到-0.46‰，两者呈显著线性相关关系。这一实验发现被理论量子化学计算的进一步证实。至此我们成功揭示同位素分馏、

局部成键结构和溶液化学之间具有定量耦合关系，这不仅有助于对金属稳定同位素地球化学的本质认识，还将拓展金属稳定同位素在表生地球化学的应用。

Y-06

人类世东亚夏季风影响与地表系统变化

刘建宝[1,2]*，陈发虎[1,2]，陈圣乾[1,2]，张志平[2]，张继峰[1]

1 中国科学院青藏高原研究所，青藏高原地球系统科学国家重点实验室，北京 100101

2 兰州大学西部环境教育部重点实验室，兰州 730000

* jbliu@itpcas.ac.cn

地理科学是研究地球表层人类生存环境的空间差异、时间演化以及人地关系的科学。随着人类活动的不断加剧，地球各系统状态已经明显偏离自然演化的背景，正进入一个全新的阶段，即人类世。2019 年国际地层委员会第四纪地层分会人类世工作组已正式投票确认设立人类世，目前已成为地球科学、环境科学、考古学及相关学科领域的一个研究热点。本报告以人类世东亚夏季风影响为主题，阐述人类世东亚夏季风变化对地表系统的影响过程：（1）史前自然时期，东亚夏季风降水变化及其稳定性主导地表系统变化，进而影响我国社会、文化演化的进程，即“东亚夏季风控制地表系统进而影响人类”的模式；（2）历史时期，强人类活动影响已经超过东亚夏季风的影响主导了季风边缘区的地表系统变化，进而导致两千年前亚洲沙尘暴的变化转向人为驱动，即“人类活动超过东亚夏季风影响地表系统”的模式；（3）工业革命以来，人类活动进一步加强，通过释放大量人为气溶胶、温室气体对东亚夏季风变化产生决定性影响，进而全面地改变了地表系统，即“人类活动全面影响东亚夏季风和地表系统”的模式。未来应加强人类-地表系统的耦合研究，在理解多元互动过程的前提下，通过对人类活动的引导性调控，迈向人类世“人类-东亚夏季风-地表系统可持续发展”模式。

Y-07

深部氧化还原过程与地球宜居环境

刘锦*

1 北京高压科学研究中心，北京 100094

* jin.liu@ghpstar.ac.cn

深部过程是驱动整个地球系统运行的引擎，与地球宜居环境演变历程密切相关。因此，只有阐明了地球深部过程，才能抓住板块构造运动和资源环境等重大问题的关键。我们通过实验模拟地球深部极端环境，揭示了核幔边界超低波速带是天然的产氢源区(*Nature*, 2017, 551: 494)；发现在地下 1000-1800 公里地幔主要矿物铁方镁石(Mg,Fe)O 遇水发生奇妙的化学反应释放氢，同时生成新型铁镁氧化物$(Mg,Fe)_2O_{3+x}$(*National Science Review*, 2021, 8: nwaa096)；高温高压促使下地幔元素性质发生突变，是上述化学新现象的核心机理(*Nature Communications*, 2019, 10: 153)。我们的进一步研究发现深部氢处于超离子态，为下地幔底部电性结构中的高导异常成因提供了新机制，颠覆了对地球内部的物质和能量循环的传统认识(*Nature Geoscience*, 2021, 14: 174)。

Y-08

上新世-更新世过渡期格林兰岛冰盖演变模拟

谭宁[1]*，Jean-Baptiste Ladant[2], Gilles Ramstein[2], Christophe Dumas[2], Paul Bachem[3], Eystein Jansen[4]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境重点实验室，北京 100029

2 Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette, France
3 Uni Research Climate, Bjerknes Centre for Climate Research, Jahnebakken 5, 5007, Bergen, Norway
4 Dep. of Earth Science, University of Bergen / Bjerknes Center for Climate Research, Jahnebakken 5, 5007 Bergen, Norway
* ning.tan@mail.iggcas.ac.cn

上新世-更新世过渡期（3.0-2.5 百万年前）是地球气候历史中一次重要的分界点，在此期间北极冰盖大范围建立并加强，格陵兰岛永久性冰盖形成。大量研究表明格林兰岛冰盖的建立与大气二氧化碳浓度的降低密切相关，但关于格林兰岛冰盖在上新世-更新世过渡期的演化研究甚少。本文利用气候耦合模式和冰盖模式，并结合现存的各类二氧化碳数据模拟了格林兰岛冰盖的演变过程（3.0-2.5 百万年前）。结果表明，在上新世-更新世过渡期格陵兰岛冰盖动态演变特征明显，当大气二氧化碳浓度低于 280ppm，格林兰岛冰盖开始建立并扩张，当二氧化碳浓度高于 320ppm, 格林兰岛冰盖在强太阳辐射时期迅速消融。此外与冰筏数据对比发现仅最新的二氧化碳数据能模拟出和冰筏较为契合的冰盖演变过程。

Y-09

二叠纪低纬陆地风化对冰室-温室气候转变的响应和反馈

杨江海*

1 中国地质大学（武汉）地球科学学院，武汉 430074
* yangjh@cug.edu.cn

大陆硅酸盐岩风化是消耗大气 CO_2 的地质过程，与气候变化和构造活动之间具有复杂的响应和反馈关系，是认识地球浅表圈层相互作用的重要内容，地球在古-中生代时期发生了强烈的构造活动和大幅度的气候变化，特别是特提斯洋的多阶段俯冲-碰撞造山和晚古生代冰室到中生代温室的重大气候转变。为深入理解陆地风化与冰室-温室气候转变之间的耦合关系，基于陆源碎屑沉积记录开展了两个方面的研究。首先对东特提斯地区的古-中生代造山带演化进行了研究，建立了判别沉积物源区岩石属性的锆石微量元素图解，确定了华北西南缘志留纪初期的碰撞造山作用、华南西南缘中三叠世的碰撞造山作用和大别造山带在侏罗纪的折返隆升等造山演化阶段；在这一大地构造演化格架的基础上，选择华北早二叠世和华南晚二叠世非造山带盆地的碎屑沉积记录，从陆地风化角度对二叠纪时期的冰室-温室气候转变开展了深时古气候研究。

通过凝灰岩高精度锆石 U-Pb 同位素定年，建立了华北早二叠世和华南晚二叠世泥岩沉积序列的高精年代地层框架。基于系统的源区化学风化示踪分析，发现泥岩的源区化学风化趋势与高纬地区的冰川活动具有很好的对应关系，即源区化学风化强度的升高和降低分别对应于高纬地区冰川的消融和扩张。对现代花岗岩表层土壤的化学风化数据进行了综合分析，发现表层土壤的化学风化强度与陆地温度具有一定的耦合关系，建立了化学风化指数与陆地表层温度之间的 τNa-MAT 经验转换方程，据此利用泥岩的源区化学风化强度对华北早二叠世的陆地表层古温度进行定量估算，确定了 Asselian 早期从 19℃到 22℃和 Sakmarian 晚期从 18℃到 23℃的两次气候变暖事件。对比分析早二叠世 Sakmarian 期的泥岩和现代大型河口的泥质沉积物，发现两者的源区化学风化强度具有一致的随纬度升高而降低的变化模式，定量约束了早二叠世 Sakmarian 期从低纬区到高纬区的陆地温度梯度约为 20 ℃。发现早二叠世初期和晚二叠世早期气候变化与 Skagerrak 和峨眉山大火成岩省分别在时间上具有很好的对应关系，指出 Skagerrak 大火成岩省的 CO_2 释气是导致早二叠世初期气候快速变暖的可能原因，

而峨眉山大火成岩省的晚期酸性火山 SO_2 释气是导致晚二叠世早期气候变冷的可能原因。通过评估玄武岩快速化学风化的潜在作用，提出 Skagerrak 大火成岩省玄武岩喷发后的快速风化是导致早二叠世初期气候由暖转冷的可能原因，而峨眉山玄武岩的快速化学风化是导致晚二叠世早期气候变冷的另一个可能原因。

S01-O-01

氧循环与地球系统的耦合相互作用

黄建平[1]*，李昶豫[1,2]，刘晓岳[1,2]，丁磊[1,2]，魏韵[1,2]，韩东亮[1]，姚丽洁[1]

1 兰州大学西部生态安全协同创新中心，兰州 730000

2 兰州大学大气科学学院，兰州 730000

* hjp@lzu.edu.cn

氧是地壳中含量最多的元素，也是绝大多数生命体赖以生存的基本条件之一。氧循环是唯一将地球系统中的各个圈层（生物圈、大气圈、水圈、岩石圈和人类圈）紧密地联系起来的物质循环。地球系统通过氧循环形成不同时空尺度的跨圈层的耦合相互作用。报告首先介绍氧循环在各圈层中的演变特征，探讨氧的起源及其与生物多样性和星球宜居性的联系，揭示进入人类世以来，人类活动对现代大气的氧收支平衡的破坏，最后讨论地球系统中潜在的非线性相互作用可能在未来放大人类活动所产生的扰动，从而加剧人类将要面临生存挑战。

S01-O-02

中始新世以来亚洲季风气候变迁的渭河盆地沉积记录

鹿化煜*，王逸超，赖文，吕恒志，张瀚之，胡镕，王可欣，王翰林，雷昉，张红艳

1 南京大学地理与海洋科学学院 南京 210023

* huayulu@nju.edu.cn, 025-89680798

亚洲季风气候起源、演化过程及其驱动机制，是受到关注但未获得一致认识的重要科学问题。长期以来，诸多关于亚洲季风变迁的研究，在很大程度上深化了我们对季风变化规律的认识。然而，常见沉积记录的不完整性(或片段性)、年代控制的不确定性、气候代用指标的多解性和研究地点的代表性差等问题，对亚洲季风气候起源和演化过程的认识依然不全面，存在诸多未解之谜。中国中部渭河盆地为揭示亚洲季风气候变迁规律提供了独一无二的沉积记录。渭河盆地是始新世开始接受沉积的地堑盆地。由于秦岭造山带和鄂尔多斯地块的挤压，从~46 Ma 开始渭河盆地阶段性连续沉降，并接受了> 7000 m 的连续的河湖相沉积物, 发育了中-晚始新世、早-中渐新世、中新世、上新世、更新世和全新世的堆积序列，成为揭示过去环境演变的良好记录。渭河盆地位于亚洲季风影响区，中等尺度的流域汇水面积，使渭河盆地成为记录季风降水长期演变的“雨量筒”。从 2009 年开始，南京大学研究团队对渭河盆地的地貌、沉积、地层和古季风气候变化开展了全面和持续研究。基于多指标分析，论证了古近纪渭河盆地的偏温暖半湿润气候、新近纪的偏凉半湿润半干旱气候、及期间的多尺度季风气候变化过程，认识了亚洲季风气候长期演变对高纬温度和低纬水文过程驱动的响应，为揭示亚洲季风气候的演变规律和驱动机制、以及未来大气 CO_2 增多和增温背景下季风气候发展趋势，提供了重要的借鉴。本报告基于野外沉积观察证据、以及年代学、沉积学和生物学、地球化学的研究、并结合最新的气候模拟结果，汇报我们获得的新认识，探讨亚洲季风气候变迁研究有争议的科学问题，为认识亚洲季风演变规律和驱动机制，提供新证据。

S01-O-03

青藏高原东南缘剑川盆地始新世风成沉积记录及其对季风的指示意义

许欢[1,2]*，郑洪波[1,2]，刘高政[1,2]，张毕辉[1,2]

1 云南大学地球系统科学研究中心，昆明 650500
2 云南省地球系统科学重点实验室，昆明 650500
* xh0816@ynu.edu.cn

剑川盆地是青藏高原东南缘新生代盆地的典型代表，保存有较为完整的古近纪沉积，主要发育古新统云龙组、始新统宝相寺组、金丝厂组、九子岩组和剑川组，它们记录了青藏高原隆升过程中构造、气候、地貌等方面演化的重要信息。

始新统宝相寺组在剑川盆地中分布范围最广，主要由冲积扇、河流、三角洲、湖泊和风成沉积组成。其中，风成沉积集中分布在宝相寺组中下部，广泛出露于盆地北部和东南部，以发育巨厚层大型交错层系为特征。目前已在风成沉积中识别出典型风成地层，包括颗粒流层（grainflow strata）、颗粒飘落层（grainfall laminae）和风成沙波层（wind-ripple strata），其中颗粒流层和颗粒飘落层多出现在交错层理中上部，而风成沙波层则出现在下部，二者之间常表现为指状交互关系，指示了沙丘迎风坡主风流和背风坡反向涡流的交替作用。此外，还在风成沉积中鉴别出三级风成界面，由低到高依次为再作用面（reactivation surface）、叠盖面（superimposition surface）和沙丘间界面（interdune surface），它们记录了风力、风向、床沙形体等的动态演化过程。根据风成地层、风成界面以及水成沉积单元的组合和时空分布，恢复得出风成沉积中沙丘类型为横向沙丘和新月形沙丘，缺乏沙丘间和沙席沉积，局部夹突发性洪泛沉积，指示了干旱型风成沉积体系特征。古风向研究显示，盆地北部主体指向 NE，东南部指向 SW，结合前人古纬度研究，可能表明剑川盆地古近纪时期位于副热带高压带上，受西风和东北信风双重作用。

风成沉积结束之后，剑川盆地发生大范围湖泛，指示了降水量的极具增加。此外，宝相寺组之上双河组沼泽相和九子岩组淡水湖泊相（始新世末）的出现也说明了湿润气候以及降水的持续发展，可能表征了季风气候的出现。探寻可靠的季风沉积记录并厘定季风出现的高精度年代将是未来工作的重点。

S01-O-04

晚中新世南海孢粉记录与亚洲季风演化

苗运法[1]*，Sophie Warny[2]，Chang Liu[3]，杨永恒[1]，雷艳[1]，向明星[1]

1 中国科学院西北生态环境与资源研究院 兰州 730000
2 美国路易斯安那州立大学，路易斯安那州 70803
3 美国德克萨斯州 A&M 大学，德克萨斯州 77845
* miaoyunfa@lzb.ac.cn

孢粉化石作为植物遗存，是重建古气候的理想代用指标，近二十年来，孢粉学在新生代古气候环境重建方面取得了较大进展，凸显了孢粉学的优势。但是作为亚洲主要水汽来源的南海地区，目前孢粉记录较少，季风演化认识还存在一定分歧。为此我们对南海北部 IODP Site U1499 孔、南部 Site U1433 孔和南部 ODP Site 1143 孔等多站点孢粉数据进行分析，并结合 ε_{Nd} 和我国华南地区、中南半岛主要河流沉积速率/通量，探讨了该地区的季风演化。结果表明：（1）南海北部 Site U1499 点的孢粉浓度与阔叶树、草本植物、针叶树和蕨类植物等陆生高等植物的多样性程度在 8.5Ma 前较高，但 8.5 Ma 时多样性急剧下降；而在南海南部 Site U1433 孔则显示相反的趋势，表明高等植物含量在 8.5 Ma 急剧增加，同时，南部 ODP Site 1143 也出现了剧烈变化；（2）针叶树（通常生长

于相对寒冷环境和较高地形）与蕨类植物（通常相对湿润温暖环境和较低地形）的比值在南海北部 8.5 Ma 快速降低，与此相反在南海南部 Site U1433 突然增大。与此相对应的，北部淡水藻类与海生藻类的比率急剧下降与南海南部 Site U1433 孔的增加相反；（3）在南海北部入海的珠江和红河与泰国湾地区的沉积速率在 10-8 Ma 快速降低，而湄公河沉积速率在此时期却快速增加。同时海洋沉积物中的 ε_{Nd} 在南海北部和南部约 8.5 Ma 处显示出相反的变化。由此，我们提出这些同步但相反的变化不是直接的季风变化，而可能与河流重组有关，导致径流在南海北部迅速减少，但在南海南部快速增加。这种大规模河流重组可能是构造和季风演变的综合结果。为此，这种大空间上多站点的综合研究，在避免单点研究的不确定性，重新认识季风演化方面具有非常重要的帮助。

S01-O-05

History and evolution of South Asian monsoonal rainfall during the middle Miocene

Stephan Steinke[1]*, Xueping Yang[1], Yueli Huang[1], Jeroen Groeneveld[2], Zhimin Jian[3], Liviu Giosan[4]

1 Department of Geological Oceanography and State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, China

2 Department of Geosciences, Hamburg University, Hamburg, Germany

3 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, China

4 Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, USA

* ssteinke@xmu.edu.cn

During the middle Miocene, Earth's climate changed from a global warm period (Miocene Climatic Optimum; MCO, ~16.9-14.7 Ma) which interrupted the long-term Cenozoic cooling trend for more than 2 million years, into a colder one with the expansion of the Antarctic ice sheet. This prominent climate transition (Middle Miocene climate transition, MMCT) was also a period of drastic changes in global atmospheric circulation. The middle Miocene history and evolution of the South Asian Monsoon (SAM) however, is not well understood and mainly derived from records of wind strength. Data for Miocene changes in rainfall are virtually non-existent for peninsular India and the Arabian Sea prior to 11 Ma, although this is the other important variable that defines the monsoon. For that reason, planktic foraminiferal trace element (Mg/Ca and Ba/Ca) and stable oxygen isotope analyses were performed in order to reconstruct the regional surface hydrography and thus the hydroclimate in the Eastern Arabian Sea region related to the South Asian monsoon (SAM) during the middle Miocene. The Ba/Ca and local seawater oxygen isotope estimates reveal a notable gradual increase in SAM rainfall intensity during the middle Miocene. The middle Miocene increase in SAM rainfall is consistent with climate model simulations of an overall strengthening Asian monsoon from the Eocene to the middle/late Miocene with a further acceleration after the Middle Miocene climate transition. A dominant ~29 kyr cyclicity (>95% Confidence Interval) in the planktic foraminiferal stable oxygen isotope data which is not that pronounced (>80% Confidence Interval) in the seawater $\delta^{18}O$ data suggests that changes in SAM rainfall in peninsular India are driven by the nonlinear interaction between eccentricity and obliquity between ~16 Ma and 14 Ma.

S01-O-06

运用黄土高原成壤碳酸盐重建古大气 CO_2 浓度

达佳伟[1]*，季峻峰[1]

1 南京大学地球与工程科学学院，南京 210093

* dajiawei@nju.edu.cn

成壤碳酸盐是次生成壤过程中形成的无机成因碳酸盐，其 $\delta^{13}C$ 值继承了土壤 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 信号，而土壤 CO_2 由两个 $\delta^{13}C$ 截然不同的端元构成：通过扩散作用进入土壤的大气 CO_2（现今约-8‰），以及土壤内部来自植物根系和微生物呼吸作用产生的 CO_2，后者继承了区域植被的 $\delta^{13}C$ 信号（C3 植物：-22‰−-30‰；C4 植物：-10‰−-14‰）。早期观点认为，成壤碳酸盐形成于植物生长季节，而该时期土壤呼吸成因的 CO_2 浓度（S(z) = ~5000−10000 ppm）远高于晚新生代大气 CO_2 浓度，因此成壤碳酸盐的 $\delta^{13}C$ 值主要响应区域植被类型变化。然而越来越多的现代土壤观测结果却表明，成壤碳酸盐并不一定形成于 S(z)水平高的生长季节。在干旱气候条件下，非生长季节的 S(z)可以和大气 CO_2 水平相似。

我国黄土高原风尘沉积是古气候研究的重要材料，其中成壤碳酸盐的 $\delta^{13}C$ 记录被广泛应用于重建晚新生代 C4 植被的登陆和扩张历史。然而，古土壤成壤碳酸盐与有机质的 $\delta^{13}C$ 记录却往往呈现不一致的时空分布，暗示了大气 CO_2 对成壤碳酸盐 $\delta^{13}C$ 值的潜在贡献。为了查明大气 CO_2 对黄土高原成壤碳酸盐 $\delta^{13}C$ 值的影响，本研究选取了 1）钙结核这类传统材料以及 2）古土壤中分散的细颗粒碳酸盐两类样品作为研究对象。后者主要由微米-纳米级的针簇状方解石和菱面体方解石晶体所构成，属于典型的次生成壤碳酸盐。本研究对上新世以来三个时间段（全新世、过去 80 万年间冰期、中上新世暖期）多个剖面古土壤样品进行了系统的 $\delta^{13}C$ 测试。结果显示，两类成壤碳酸盐与土壤全岩有机质的 $\delta^{13}C$ 值在时空分布上呈现截然不同的变化趋势，研究区成壤碳酸盐 $\delta^{13}C$ 值并不仅仅响应区域植被的 $\delta^{13}C$ 信号。基于土壤 CO_2 组分模型的计算结果显示，在成壤碳酸盐形成时期，其对应层位土壤 CO_2 有相当一部分来自大气 CO_2（~10–60%）。

研究指出，黄土高原成壤碳酸盐 $\delta^{13}C$ 的空间梯度反映了夏季风降水控制下的区域干旱化程度。在黄土高原北部，夏季风降水较弱，土壤生产力低下，^{13}C 富集的大气 CO_2 在土壤中的相对占比增加，导致成壤碳酸盐 $\delta^{13}C$ 值偏正；反之亦然。因此，基于成壤碳酸盐 $\delta^{13}C$ 值获取的古植被类型记录，需要有机质 $\delta^{13}C$ 数据的进一步验证；而即使在晚新生代低大气 CO_2 的背景下，干旱气候条件下形成的成壤碳酸盐仍具备重建古大气 CO_2 浓度的潜力。

S01-O-07

高-低纬过程对青藏高原气候的影响

赵艳[1]*，李泉[1]，秦锋[1]，崔巧玉[1]，梁琛[1]，刘耀亮[1]，郭正堂[2]

1 中国科学院地理科学与资源研究所，北京 100101

2 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

* zhaoyan@igsnrr.ac.cn

青藏高原不仅影响亚洲气候，而且可能对全球环境变化有“起搏”或“放大”作用。但是，由于高原地区高分辨率长尺度气候环境证据的空缺，第四纪早中更新世期间高原气候和下垫面的变化特征还是未知数，这直接限制了对高原环境与大区域及全球环境变化的动力学关联研究。我们在高原东部海拔 3400 m 的若尔盖地区钻取了 573 m 的高质量连续湖泊岩芯记录，获得了 1.74 Ma 来平均分辨率达 600 年、足以分辨全谱系轨道尺度和千年尺度变率的气候-植被变化序列。结果显示，青藏高原的气候-植被在第四纪

早期受岁差控制的低纬过程的强烈驱动；在此基础上，随着全球冰量扩张，高纬驱动过程逐步加强。1.74 Ma 来的轨道-亚轨道尺度高原气候-植被变化过程可划分为低纬日照量主控（1.74-1.54 Ma）、高-低纬并行驱动（1.54-0.62 Ma）和高纬冰量加强驱动（0.62 Ma -至今）三种模态，且前两种模态不同于全球冰期-间冰期旋回。高原气候-植被显著的千年尺度变化出现于 1.54 Ma 前，与北大西洋地区的气候变化在时间节点、幅度、频率和类型等方面高度相关。这些新发现揭示了高-低纬过程驱动轨道-亚轨道尺度高原气候-植被变化的完整图像。

S01-O-08

阿拉伯海 U1467 孔碎屑组分 Sr-Nd 同位素记录的 12 Ma 以来印度夏季风演化

姚政权[1,2]*，石学法[1,2]，郭正堂[3,4]，李新周[5]，B. Nagender Nath[6]，Christian Betzler[7]，张辉[1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061
2 青岛海洋国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061
3 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境重点实验室，北京 100029
4 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044
5 中国科学院地球环境研究所，西安 710061
6 CSIR-National Institute of Oceanography, Dona Paula, Goa 403004, India
7 University of Hamburg, Hamburg 20146, Germany
* yaozq@fio.org.cn

阿拉伯海沉积记录了不同时间尺度上印度季风演化的信息。我们对取自阿拉伯海东部马尔代夫 IODP359 航次 U1467 钻孔（708 m）碎屑物质的 Sr-Nd 同位素进行研究，探讨了~12 Ma 以来陆源物质来源和季风演化历史。$^{87}Sr/^{86}Sr$ 和 εNd 结果显示，U1467 沉积物源在过去~12 Ma 为混合物源，主要物质来自非洲东北部和阿拉伯半岛，同时也有小部分物质来自印度半岛河流输入。与其他开放海洋环境不同，马尔代夫地貌环境较为特殊，由两排环礁组成形成一个孤立的盆地，因此，马尔代夫的沉积物源主要以粉尘为主。我们认为在 U1467 沉积中，来自非洲东北部和阿拉伯半岛的物质是风成物质为主，这些物质主要由印度夏季风输运到研究区沉积，因此，我们可以利用 Sr 和 Nd 同位素组成来指示印度夏季风的相对强度。研究结果显示印度夏季风自~12 Ma 以来呈总体下降趋势，并在~6-8 Ma 处夏季风最弱。我们认为，印度夏季风的演化与中新世以来半球间冰盖的发展引起的马斯克林高压和印度低压的变化以及 Hadley 槽的经向移动有着密切的联系。

S01-O-09

东亚季风区内部和季风边缘区全新世适宜期发生时间的不同步

周鑫[1]*，刘孝艳[1]，蒋诗威[1]，詹涛[2]

1 中国科学技术大学，合肥 230026
2 黑龙江省生态地质调查研究总院，哈尔滨 150030
* xinzhou@ustc.edu.cn

东亚季风区全新世适宜期时空变化特征及其驱动机制是当前东亚季风研究的热点问题。然而，目前对于适宜期开始时间的时空演变特征存在不同观点，一定程度上是由于指标序列年代学框架的不确定性所致。我们利用五大连池火山口湖沉积物，分别获得了该区域适宜期的发生时间以及沉积物中风尘源区的干湿变化序列，发现两区域全新世适宜期的开始时间存在~1700 年的差异。我们进一步整理了东亚季风边缘区具有较为准确年代的孢粉序列，发现与东亚季风区内部的穿时性变化特征不同，季风边缘区的全新世适宜期开始时间均在 8000-7000 a BP

前后，与北半球冰盖消退时间一致，可能是冰盖对夏季风边缘的限制减弱所致。

S01-O-10

我国东北地区黄土硼同位素记录的过去80万年以来东亚夏季风强度变化

雷昉[1]，魏海珍[2]，弋双文[1]，曾琳[1]，鹿化煜[1]*

1 南京大学地理与海洋科学学院 南京，210023

2 南京大学地球科学与工程学院, 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京 210023

* Huayulu@nju.edu.cn

东亚季风气候变化的规律和驱动机制一直是地学领域专家关注的重要科学问题。长期以来，国内外学者利用中国黄土沉积、湖泊沉积和石笋等在不同区域获得了重要的轨道尺度的古气候记录，并发现不同沉积记录的亚洲季风变率存在时空差异，东亚季风演化规律及驱动机制的认识仍然存在分歧。我国东北地区作为东亚季风区的重要组成部分，堆积了过去约100万年以来相对连续的黄土沉积，是揭示区域环境变化不可多得的材料。我们对东北地区具有代表性的科尔沁沙地南缘牛样子沟剖面（NYZG）中更新世以来黄土-古土壤序列进行了硼同位素地球化学分析。结果表明，硼含量变化范围是0.32-0.89 ppm，平均为0.57 ppm，低于黄土高原黄土-古土壤的硼含量平均值 1.34 ppm；$\delta^{11}B$ 值变化范围为-12.09‰-+9.36‰，绝大多数样品在0～+10‰范围内，与之前黄土高原的研究结果对比，较为偏正。硼同位素组成在古土壤和黄土的分布规律也与黄土高原有所不同，古土壤的$\delta^{11}B$ 值（平均+0.11‰）并不高于黄土的$\delta^{11}B$ 值（平均+2.15‰），而是低于相邻的黄土层，这一点却与之前对于镇北台剖面（ZBT）的研究较为一致，可能与二者同属于沙漠沙地近源黄土有关。

黄土酸溶相的硼主要包括来自降水的硼、矿物风化产生的硼，以及黄土碳酸盐中的硼。降水端元对于黄土样品的硼贡献高于古土壤的贡献，而硅酸盐端元对于古土壤的硼贡献高于黄土。这可能与间冰期古土壤风化程度加强，硅酸盐矿物风化释放更多硼，而冰期黄土风化程度较低，粘土矿物含量更低，吸附分馏效应并不明显，雨水来源的硼的积累占主要部分。基于同位素质量平衡可以反演计算得出的过去降水的硼同位素组成（$\delta^{11}Bpr$），从+6.8±0.95‰到+17.3±3.32‰分布并且呈现间冰期降水$\delta^{11}Bpr$ 偏正于冰期的$\delta^{11}Bpr$。在温暖的间冰期，降水硼同位素偏正，指示当地夏季风增强，降水量增大；反之，在寒冷的冰期，降水硼同位素偏负，夏季风减弱，当地降水量减小，这一规律与之前黄土硼同位素研究结果一致。

源自于海洋的水汽含有硼元素，硼的同位素在海水蒸发、水汽传输、降水中，会发生分馏。通过全球内陆与沿海区域现代降雨硼同位素组成的大数据比对发现，降水中硼同位素变化可能主要受控于水汽传输过程中蒸汽-液相分离导致的硼同位素分馏，由于“雨除效应”，雨水的硼同位素值相比海水而有所降低。而表生环境温度变化对其影响不显著，因而古降水$\delta^{11}Bpr$ 可以作为不受温度影响的季风强度新指标。除此之外，黄土高原及东北地区的古降水$\delta^{11}Bpr$ 与其他传统黄土指标（e.g. 磁化率、粒度、红度等）在冰期-间冰期尺度对应良好，因此古降水$\delta^{11}Bpr$ 可以作为一个可靠的东亚季风降水新指标。同时，新指标首次灵敏地记录了东北地区在距今约 43 万年前后夏季风强度的显著差异，东北地区 43 万年之后夏季风强度减弱可能受控于北半球高纬冰期-间冰期平均冰量的增加。

S01-O-11

末次间冰期以来长江流域降水的全球冰量效应：来自异

地石笋氧同位素组成差异的证据

胡超涌*

1 中国地质大学（武汉）地理信工学院， 武汉，430074

* chyhu@cug.edu.cn

东亚季风是地球表层气候系统的重要组成之一，深刻影响区域经济和人类的可持续发展。了解东亚季风区过去降水变化并认识其成因机制，将有利于未来气候变化的准确预测。大量的古气候记录证明了东亚季风在轨道尺度上的周期变化，但变化的步调却并不相同。例如，黄土磁化率和 ^{10}Be 通量指示的东亚夏季风以 100ka 周期最为显著，暗示全球冰量的主控，而中国石笋氧同位素组成（δ^{18}O）却以 19-23ka 周期为主，表明东亚夏季风变化主要受太阳辐射岁差驱动。出现矛盾的原因可能是古气候指标的替代意义不同，前者指“雨”，后者意“风”。本研究中我们首先利用异地(重庆羊子洞和湖北神农架三宝洞/永兴洞)石笋氧同位素组成重建了长江流域末次间冰期以来的年均降水，把石笋氧同位素的“风”信号转换为“雨”的信息，然后通过不同“雨”记录的比对，认识东亚季风降水的变化规律及其驱动机制。长江流域 3.7~118.0 ka BP 之间的年均降水总体上与格林兰冰芯δ^{18}O 和海洋有孔虫δ^{18}O 相一致，末次间冰期（118kaBP）降水最多，其后逐渐减少，并在末次盛冰期（20-30ka BP）达到最小值；末次冰消期开始，降水逐渐增加并在全新世达到第二个峰值，基本与黄土磁化率和 ^{10}Be 通量指示的东亚季风区降水变化相一致。与单个石笋氧同位素展示显著的岁差周期不同，重建的降水缺少 2 万年的周期，意味着太阳辐射对研究区年均降水的影响相对较弱，而全球冰量的作用更为显著。下一步应挖掘更长的记录，重建多个偏心率周期的降水记录，验证以上认知。

S01-O-12

下蜀黄土的古环境意义：新的磁性矿物学、成壤地层学和磁性地层学证据

高新勃[1]，郝青振[1,2,3,4]*，乔彦松[5]，彭淑贞[6]，李楠[7]，张伟[6]，韩龙[8]，邓成龙[2,3,4,9]，Slobodan B. Marković[10]，郭正堂[1,2,3,4]

1 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境院重点研究室，北京 100029

2 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044

3 中国科学院大学, 北京，100049

4 中国科学院地球科学研究院，北京 100029

5 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081

6 泰山学院旅游与资源环境学院，泰安 271000

7 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

8 南方科技大学环境科学与工程学院，深圳 518055

9 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029

10 诺维萨德大学理学院，诺维萨德 21102

* haoqz@mail.iggcas.ac.cn

下蜀黄土指广泛分布于长江中下游地区的一套黄土堆积，是我国亚热带季风区重要的古环境记录，其独特的地理位置和沉积、成壤过程为我们解决众多成壤学和古气候学问题提供了关键的研究材料。目前，下蜀黄土研究已在成因、物源和古气候解释等方面取得重要进展，但沉积地层和年代方面的研究仍有待进一步深入。近期，我们在下蜀黄土分布区新发现了 3 个较厚的、具有明显黄土-古土壤旋回的黄土剖面，通过详细的环境磁学、成壤地层学和磁性地层学研究，主要获得了以下三方面的认识：

1、下蜀黄土中成壤来源的磁性矿物发生了不同程度的溶解。选择 3 个下蜀黄土剖面上第一个黄土-古土壤旋回中典型样品开展磁性矿物含量的测量，并与黄土高原南北断面上 8 个剖面同时期黄土-古土壤样品中成壤来源磁性矿物含量随现代降水量的变

化梯度相对比，我们发现，下蜀黄土古土壤层中成壤磁性矿物受到了不同程度的溶解。进一步，我们确定出导致东亚季风区黄土沉积中成壤来源磁性矿物溶解的最小降水量分别为：磁赤铁矿-750–800mm，赤铁矿-700mm，针铁矿-980mm。溶解的铁氧化物和氢氧化物往往转化成了其他非磁性矿物，例如，下蜀黄土中常见的铁锰结核。

2、下蜀黄土土壤地层和磁化率记录空间可对比性较差。与黄土高原黄土沉积不同，下蜀黄土在空间上其土壤地层和磁化率地层均缺乏可对比性，这些特征反映出下蜀黄土的沉积可能是不连续的，同时，磁性矿物的溶解也可能是磁化率记录较差对比性的另一个原因。上述结果提示我们，在开展下蜀黄土与黄土高原黄土地层对比上需十分小心，同时在应用磁学指标或者与磁性矿物有关的指标开展下蜀黄土古气候研究上也需十分谨慎。

3、下蜀黄土约 1.1 Ma 开始堆积。长江中下游地区大范围黄土堆积的出现标志着中国亚热带区域气候环境的恶化，主要表现在干旱化程度的加强和增强的东亚冬季风。这一气候环境的巨大转折可能主要受控于中更新世气候转型期的全球变冷过程，因此，下蜀黄土的出现提供了中更新世气候转型时期全球干旱化加强过程直接的中低纬陆相证据。

S01-O-13

潘吉亚超大陆以来全球和区域季风系统演变

胡永云*，李想，郭佳琦，蓝佳雯静，林琪凡，韩晶，刘永岗、杨军，聂绩，张健

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* yyhu@pku.edu.cn

季风系统是由太阳辐射的年循环造成的海陆热力对比季节性反转所驱动的。因此，板块运动导致的海陆分布和地形演变势必将导致季风系统的变化。地质证据和数值模拟表明，在潘吉亚超大陆时期存在超级季风，青藏高原隆升和特提斯洋退缩对亚洲季风有重要的影响。那么，一个重要问题是，在潘吉亚超大陆裂解和汇聚过程中，季风系统是如何从超级季风演变为现代的6个区域季风系统的。

使用地球系统模式（CESM1.2）和重建的古地形以及海陆分布，我们针对 250 Ma 以来的季风系统演变开展了一系列模拟试验，结果表明：全球陆地季风区面积在潘吉亚超大陆时期（250-180 Ma）较大。之后，随着大陆裂解，陆地季风区面积逐步减小。在白垩纪大部分时期（140-80 Ma），季风区面积减少将近一半，并在 80 Ma 达到最小值。70 Ma 以来，随着大陆汇聚，季风区面积逐渐增大，在 40 Ma 达到次大值。与陆地季风区面积的演变相反，陆地季风区降水强度在潘吉亚超大陆时期（250 – 180 Ma）以及 40 Ma 至现在较弱，在白垩纪（140-80 Ma）较强。进一步分析表明，陆地季风区面积与大陆裂解度与大陆平均纬度呈反相关，与大陆面积成正相关。与此相反，陆地季风区降水强度与大陆裂解度和平均纬度呈正相关，与大陆面积成反相关。在构造时间尺度上，陆地季风区面积和降水与温度变化无关。

我们的模拟结果还表明，在潘吉亚超大陆时期仅存在 3 个区域季风，北半球两个，南半球一个。在北半球，亚洲季风一直存在，北美和北非季风区在 170 Ma 分离形成 2 个独立的季风区。在南半球，南美和南非季风区在 110 Ma 分裂成 2 个独立季风区，澳洲季风区在 30 Ma 才出现。

S01-O-14

2.5 亿年以来海洋季风的演变及机制探究

韩晶*，胡永云，刘永岗，李想，郭佳琦，蓝佳雯静，林琪凡

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* hanj@pku.edu.cn

使用NCAR-CESM1.2，进行了从250Ma到PI的每10Ma年的一组深层气候模拟，以了解过去2.5亿年由构造动力学驱动的海洋季风区的演变，并探索其变化机制。近年来，科学家提出了全球季风系统的概念，该系统不仅包括典型的季风区（例如非洲季风区和南亚季风区），还包括非典型的西北太平洋季风区。海洋季风的研究非常有限，特别是在古气候领域。本文的结果表明，海洋混合层厚度的水平梯度对于海洋季风的形成可能比海陆热力差异更为重要，这将通过不同海洋混合层梯度条件下的水球模拟试验进行验证。在北半球的太平洋夏季风区附近，海洋混合层的厚度具有明显的经向和纬向梯度，对应着经向和纬向热力对比。并且，海洋混合层厚度梯度方向存在着明显的季节性逆转，从而使得海表相应的经向和纬向热力差异存在季节性逆转。过去的2.5亿年以来，北半球太平洋东侧海洋混合层的厚度加深，太平洋东侧相应的海洋季风面积减小。海洋混合层厚度的变化与地表风场的变化密切相关。考察大气环流的变化，我们发现太平洋副热带高压从海盆的东岸到西岸加强并延伸，大气低层反气旋环流使海表层汇聚并下沉，从而引起海洋混合层加深。太平洋副热带高压的变化与大陆季风区的变化有关。自170Ma以来，Pangea超大陆裂解，导致超大陆的内陆水汽增加，陆地季风区面积增加，海洋季风区面积减少，这一协同变化可以从Rodwell-Hoskins“季风-沙漠机制”得到理解。..

S01-O-15

新生代关键地质时期亚洲内陆干旱气候的模拟研究

张冉[1]*，姜大膀[1]，张仲石[2]

1 中国科学院大气物理研究所，北京 100029

2 中国地质大学（武汉），武汉 430074

* zhangran@mail.iap.ac.cn

亚洲内陆干旱区是地球上独一无二的温带干旱区。由于其远离海洋，降水少，蒸发强，植被覆盖稀疏，区域水资源和生态环境十分脆弱，对全球气候变化的响应尤其敏感。新生代亚洲内陆干旱气候的演变是多种气候强迫因子（地形、海陆分布、大气CO_2含量等）共同作用的结果，但其演变过程和机制仍不明确。基于此，我们利用地球系统模式（NorESM-L）和大气模式（CAM4）聚焦新生代多个关键地质时期开展了一系列数值模拟试验来研究新生代亚洲内陆干旱气候的演变过程。模拟结果表明地形、海陆分布、大气CO_2含量变化均对亚洲内陆干旱气候产生影响，并且青藏高原隆升起到非常重要的作用。此外，模拟结果的不确定性来自于使用的地质时期边界条件和模式分辨率。

S01-O-16

上新世热带海道关闭对北太平洋及东亚气候的影响

谭宁[1]*，张仲石[2,3,4]，郭正堂[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境院重点实验室

2 中国地质大学（武汉），大气科学系

3 挪威研究中心和皮耶克尼斯气候研究中心

4 中国科学院大气物理研究所，竺可桢—南森国际研究中心

* ning.tan@mail.iggcas.ac.cn

上新世早期至中期是巴拿马海道及印度尼西亚海道关闭和收缩的关键时期。目前针对这两大海道的关闭对气候的影响已有大量的研究，但多集中于对洋流本身或对北半球高纬气候影响的探讨。大量的地质记录表明中上新世也是东亚内陆由暖湿气候向冷干气候转型的重要时期，且部分记录提出了热带海道关闭对东亚气候转型的可能影响。而针对这以问题，一直缺乏基于气候模式的机理研究。在本文的研究中，我们基于

挪威地球系统模型（NorESM-L）系统地探讨了印尼海道及巴拿马海道的浅关闭对北太平洋温度梯度及东亚气候季节性的影响。我们的结果表明，热带海道的关闭使热带海表温度升高，西太暖池扩张；北太平洋中高纬温度降低，北太平洋经向温度梯度加强。这一海表温型进一步导致东亚夏季近地表气温北冷南暖的特征；东亚夏季降水在长江流域至中国东海一线显著增加，但东亚南部至西南部区域变干显著，这主要由向赤道移动的热带辐合带及南压西伸的西太平洋副热带高压导致；东亚冬季近地表气温呈西暖东冷的特征，且整体变干。我们的研究进一步发现，东亚气候的如上变化主要由印尼海道的收缩导致；除冬季温度变化外，浅关闭的巴拿马海道对东亚气候的影响较弱。根据定性的数据-模式比较研究，我们发现热带海道的浅关闭不是中国黄土高原在中上新世候气候转型的主要驱动力。关于本文的结论仍需要更多的模式研究工作，同时对热带海道的关闭时间、关闭前地理格局也需要更准确的重建信息。

S01-O-17

过去 425ka 以来中国东部“三极”降水的模拟研究

戴高文[1]，张仲石[1,2]*，Odd Helge Otterå[3,4]，Petra M. Langebroek[3]，燕青[2]，张冉[5]

1 中国地质大学（武汉）环境学院大气科学系，武汉 430074

2 中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心，北京 100029

3 NORCE Norwegian Research Centre, Bjerknes Centre for Climate Research, Bergen, Norway, 5007

4 Center for Early Sapiens Behaviour, Bergen, Norway, 5007

5 中国科学院大气物理研究所气候变化研究中心，北京 100029

* zhongshi.zhang@cug.edu.cn

现代气候学揭示出中国东部季风区降水常呈现“三极”模态；当东亚夏季风相对较强（弱）时，华北和华南降水相对偏多（少），华中降水相对偏少（多）。然而经典的古气候学观点则认为，当东亚夏季风增强（弱）时，中国东部季风区整体偏湿（干）；这与气候学的认识存在明显差别。我们利用挪威地球系统模式（NorESM-L）开展了过去 425ka 以来的多个场景试验。模拟结果表明，轨道尺度中国东部季风区降水在空间也呈现出三极模态。当北半球夏季太阳辐射较高（低）时，此时东亚夏季风强度较强（弱），华北和华南降水相对偏多（少），华中降水相对偏少（多）。模拟的三极降水模态在一定程度上可以和已有的地质记录对比。模拟结果揭示，北半球夏季太阳辐射是东亚夏季风强弱的主要控制因素；但它同时调制了副热带高压的强度和位置，从而影响了华中（尤其是长江流域）的降水。我们的模拟结果与传统认识并不矛盾，与现代相比，冰期中国东部季风区的降水总体是偏少的；但我们的模拟结果进一步揭示出冰期-间冰期旋回中中国东部季风区水热配置的复杂性。未来，获更长时间的长江流域古降水重建，将是进一步理解和检验轨道尺度中国东部季风区降水三极模态的关键。

S01-O-18

季风降水物理过程分解：解读中全新世重建和模拟的比较

孙咏[1]*，吴海斌[2]，Ramstein Gilles[3]

1 中国科学院大气物理研究所，北京 100029

2 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

3 Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement，Gif-sur-Yvette F-91191

* sunyong@mail.iap.ac.cn

气候重建和数值模拟是当前开展过去气候变化研究的两种主要方式。气候重建可近似为过去气候变化的“准站点观测”，数值模拟则用于解释过去气候变化发生的机理。两种方式互为补充，密不可分。然而大多数情况下，重建和模拟的结果并不完全吻合，为此如何协调重建和模拟结果是亟需解答的科学问题。将现代气候动力学中刻画季风降水的物理过程进行分解，并与重建结果加以比较，是当前协调重建和模拟结果的可行途径之一。

基于上述研究思路，首先开展了中全新世重建（146 重建站点）和模拟（PMIP3 和 PMIP4）的东亚夏季风降水的定量比较。重建和模拟的季风降水均呈现出整体增加、局地略有减少的空间分布特征。水汽收支方程的分解结果表明：水平平流的动力增强作用可解释 106 重建站点降水的增加；水平平流的热力作用（相对动力作用较弱）仅解释了 20 个重建站点降水的增加；剩余 20 站点降水的减少则源于水平平流的非线性减弱作用。进一步的物理过程分析表明，动力增强季风降水所需要的水汽源于中纬度太平洋和中纬度大西洋；云的冷却效应抑制了热力作用对该时期降水增强的贡献。

S01-O-19

Snowball Slowdown

Ross Mitchell*

1 State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China.

* ross.mitchell@mail.iggcas.ac.cn

I propose that snowball Earth temporarily slowed down Earth’s rotation. Theoretically this is possible as the transfer of mass from seawater into continental ice sheets, relatively elevated farther from the spin axis, would have increased Earth’s moment of inertia, thus requiring a reduction in the velocity of the spin vector in order to conserve angular momentum. Evidence for this can be found in comparing the relative bundling of precession cycles (affected by Earth’s rotation) and stable eccentricity cycles. Cyclostratigraphic study of steadily deposited banded iron formations during snowball Earth provide a unique opportunity to record such bundling of astronomical cycles and indicates ~5 precession cycles per short eccentricity cycle. Despite a shorter Earth–Moon distance at ca. 700 million years ago, snowball Earth thus caused Earth to rotate as slowly as it does today. The snowball slowdown can be used to constrain the thickness of continental ice sheets.

S01-O-20

藏南多岛洋格局及其对东亚构造-环境变化的制约

张继恩[1]*，肖文交[1,2]，John Wakabayashi[3]，韩春明[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

2 中国科学院新疆生态与地理研究所，乌鲁木齐 830011

3 California State University, Fresno，CA, USA 93740

* zhangjien@mail.iggcas.ac.cn

造山带结构（orogenic architecture）直接关系到对于造山过程和造山方式的认识、制约着造山带尺度的构造地貌的变化及气候-环境的变迁。因此，造山带结构解剖在大地构造研究中占据核心地位。

藏南（喜马拉雅）造山带处于欧亚大陆和印度大陆之间，其古构造不仅与新特提斯洋演化密切相关，而且参与了东亚新生代构造-环境的塑造。已有模型对于喜马拉雅的构造属性存在着争议，即：（1）为印度大陆被动陆缘、（2）早白垩世中期裂解出来的块体。这些争议关键性地影响着上述两方面的

认识。本研究针对喜马拉雅东北段发育的构造变形和晚侏罗世岩浆开展研究，厘定藏南的造山带结构，为解答以上的争议提供地质证据。

喜马拉雅东北段从泽当到错那-措美的隆子地区出露三叠纪、侏罗纪和早白垩世地层。这些地层中发育倒转褶皱和等斜褶皱；褶皱枢纽以东西走向为主，轴面倾向北。野外调研表明三叠纪到白垩纪地层中褶皱的两翼或枢纽被~130 Ma 岩脉侵入和穿切，表明这些褶皱形成于岩脉侵入之前。考虑到该期岩脉穿切的最年轻褶皱地层为早白垩世，表明隆子地区发育早白垩世挤压构造，受到了挤压作用的影响。

喜马拉雅东北段有三个露头区出露基性-超基性岩。卡拉山口露头区野外关系显示基性岩与三叠纪地层呈侵入接触关系，表明这些岩浆岩为侵入岩。基性侵入岩具有碱性岩地球化学特征，斜锆石年龄为 152.8 Ma，为晚侏罗世碱性侵入岩。

喜马拉雅东北段在三叠纪到中侏罗世时期具有东冈瓦纳属性，但早白垩世挤压构造不相容于印度-澳洲大陆裂解环境的伸展构造，表明藏南已是独立陆块。藏南晚侏罗世剧烈变化的地层厚度、碱性岩的发育等表明该区域可能形成于伸展环境。同时，印度洋东侧约 152-155 Ma 洋壳显示该时期有大陆的裂解和洋壳的形成。综上，喜马拉雅东北段在晚侏罗世裂解自东冈瓦纳，定名为“隆子陆条”；喜马拉雅东北段从晚侏罗世开始发育多岛洋格局。

该多岛洋格局造成欧亚与印度板块之间发生多阶段碰撞，最后一期的碰撞所引起的向北推挤是东亚构造-环境变动的驱动力。

S01-O-21

印度-亚洲大陆汇聚过程中的海陆分布变化

袁杰[1]，杨振宇[2]，邓成龙[1]*

1 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室, 北京 100029

2 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048

* cldeng@mail.iggcas.ac.cn

晚白垩世以来，印度-亚洲大陆汇聚、碰撞及新特提斯洋逐渐关闭重塑了亚洲海陆分布格局，并导致显著的地形变化，引发大洋环流和大气环流重组，从而导致区域及全球环境的重大变革。但学术界对印度-亚洲大陆汇聚、碰撞的精细过程尚未取得一致认识，极大地限制了对晚白垩世~古近纪早期这一关键时段亚洲海陆分布变化的精细重建。我们对藏南特提斯喜马拉雅地块的上白垩统床得组大洋红层和古新统桑单林组深水红色硅质页岩开展了构造古地磁学、岩石磁学、磁性地层学和岩相学等综合研究，获得了可靠的古地磁结果，从而准确限定了特提斯喜马拉雅地块在关键时段的位置：即该地块在约 75Ma 位于 19.4° ± 1.8°S，而在约 61Ma 已经向北快速漂移到 13.7° ± 2.5°N。上述结果进一步揭示出，约 75Ma 之后，狭长的特提斯喜马拉雅-高喜马拉雅地块裂解并向北漂移、离开印度大陆，在两者之间形成“北印度海”，并在约 61Ma 与亚洲大陆南缘的拉萨地块发生初始碰撞，碰撞位置位于约 14°N，此时仍然存在横跨赤道的“北印度海”洋盆；约 61Ma 之后，“北印度海”洋盆逐渐关闭，直至 53~48Ma 印度与特提斯喜马拉雅-高喜马拉雅地块发生第二阶段碰撞，该碰撞自西向东穿时性发生，导致“北印度海”自西向东逐渐关闭。“北印度海”的关闭很可能极大地改变了热带地区的洋流循环格局，从而显著影响全球气候和环境。本研究提出的“北印度海”假说及两阶段的印度-亚洲大陆碰撞动力学新模型精细刻画了印度-亚洲大陆汇聚过程中的海陆分布变化，为揭示亚洲季风-干旱系统的起源、演化提供了海陆分布变化方面的关键制约，还为喜马拉雅造山作用与全球气候变化关联的构造-气候关系研究及古气候数值模拟提供了关键的边界条件。

S01-O-22

秦岭-太行的造山活动与东亚新生代气候格局重组之间的关系

俞晶星[1]*，郑德文[2]，庞建章[1]，李朝鹏[1]，王英[1]，王一舟[1]，郝宇琦[1]

1 地震动力学国家重点实验室，中国地震局地质研究所，北京 100029

2 同位素国家重点实验室，中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640

* jingxingyuu@gmail.com; jingxingyu@ies.ac.cn

前人研究认为东亚地区现今的季风型气候格局至少在中新世早期就已经建立，并且该气候格局的形成与青藏高原的隆升之间具有非常密切的关系，仅管目前关于高原的隆升对气候格局的影响方式和动力学机制还存在很多不同的观点。然而，前人较少关注到中国东部地区的构造活动对新生代气候变化的影响，这主要是因为中国东部新生代构造变形相对于青藏高原来说要弱的多，剥蚀量相对较小，目前对东部的山体隆升信息还非常缺乏。针对上述问题，本研究选取秦岭和太行山作为研究对象，以低温热年代学（包括磷灰石裂变径迹和磷灰石 U-Th/He）为研究方法，获得了秦岭山脉和太行山脉的新生代隆升起始时间。其中年龄-高程剖面上的拐点清晰地揭示秦岭山脉在渐新世晚期存在一期快速剥蚀，结合渭河盆地的沉积记录，我们认为其代表秦岭山脉的快速隆升时间。另外，太行山的磷灰石裂变径迹和磷灰石 U-Th/He 年龄对以及低温热年代学热模拟结果揭示太行山地区在渐新世晚期至中新世早期存在一期快速剥蚀事件。前人通过植物化石和沉积记录，认为在晚渐新世至早中新世东亚地区气候格局发生了重大改变，由原来的带状分布的、行星风系控制的干旱环境转变为季节性变化的季风型气候。并且季风控制的干旱区、半干旱区与湿润区之间的界线与秦岭-太行山脉的走向具有非常高的耦合性。本研究揭示该气候格局转变的时间和秦岭-太行山脉的快速隆升时间也具有非常好的一致性。因此，我们推测秦岭-太行的隆升对东亚地区的气候类型转变起到重要作用。纠其原因，我们初步认为一方面是由于山脉的隆升形成“地形雨”，造成中国东部更加湿润；另一方面，秦岭-太行的隆升会形成一系列源自山区的河流，这些河流注入中国东部盆地，从而对沉积记录产生重大影响。

S01-O-23

祁连山中-晚中新世地形生长及其环境效应

李朝鹏[1]*，郑德文[2]，俞晶星[1]

1 中国地震局地质研究所，北京 100020

2 中国科学院广州地球化学研究所，广州 501640

* Chaopeng_Li@163.com

祁连山是青藏高原东北缘内面积最大的山脉，达到~250000 km^2。作为青藏高原向外扩展的前缘，祁连山新生代构造变形强烈，是亚洲大陆内部显著的地形过渡带。同时，祁连山横跨东亚季风区、中亚内陆干旱区和高原冻原气候区，也是亚洲大陆内部重要的气候过渡带。因此，祁连山地形演化历史是约束青藏高原东北缘生长过程及其与区域气候演化之间关系的重要参数，但是却备受争议。为了重建祁连山地形演化历史，本文在柴达木盆地东北部的怀头他拉剖面开展了综合的物源分析研究。物源分析结果显示，在 13-8 Ma 期间，怀头他拉剖面碳酸质岩屑含量显著增加 (由< 7 %增加到> 20 %)，Al_2/O_3 比值逐步上升(由 20 %上升到 29 %)，显著的 ε_{Nd} 值下降 (由-9.9 下降到-12.4)，前寒武纪(>550 Ma)的碎屑锆石颗粒的比例显著增加 (由 24 %增加到 60 %)。通过对比周缘潜在物源区 (祁连山、都兰高地和东昆仑山) 的岩石组合类型和时代、基岩主量元素和 Nd 同位素组成特征，新的数据指示柴达木盆地东北部的物源区在 13-8 Ma 期间由东昆仑山转变为祁连山。于是，我们推断祁连山南部在中-晚中新世经历了显著的地形生

长。综合遍布祁连山的中-晚中新世构造变形记录和同时期周缘盆地的沉积环境、物源区和气候指标的转变，本研究认为祁连山经历了中-晚中新世广泛的构造变形后达到了较高的海拔，造成同时期山体东、西两侧完全相反的气候变化趋势，塑造了青藏高原东北缘现今东侧湿润、西侧干旱的气候格局。

S01-O-24

夕卡岩脱碳及其对 J/K 界线生物气候环境的影响

刘威[1,2]*，万博[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029

2 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049

* liuwei17@mails.ucas.edu.cn

大气中二氧化碳浓度在构造时间尺度上的变化受内生系统进入外生系统的碳通量的控制，关于不同碳源的碳通量研究已有相当多的研究数据，但关于发生在陆弧系统内部的向大气释放的二氧化碳的额外过程研究仍旧不足，不能很好地量化这些额外过程释放的碳通量。根据矽卡岩矿床中石榴石形成的化学方程式与接触变质的化学方程式之间的差异，我们发现生成矽卡岩矿床形成过程是一种更有效的碳排放过程。我们基于五种典型并且数据丰富的矽卡岩矿床(铜官山铜金矿床，Sangan 铁矿，长坡锡矿，Kamioka 铅锌矿床，Sangdong 钨钼矿床)，计算自中生代以来欧亚大陆东缘矽卡岩矿床释放的 CO_2 通量，并检查其对环境的影响。我们使用两种方法来计算矽卡岩矿床的通量：（1）通过氧同位素质量守恒（氧质量守恒方法）来计算矿化过程中岩浆热液与碳酸盐岩的质量比；（2）根据当今主要大陆弧火山的气体组成特征，计算不同端元（地幔，有机物，灰岩）对 CO_2 通量的贡献，然后将此比例应用于矽卡岩矿床，以计算矿化过程中碳酸盐的碳贡献（碳质量守恒法）。之后将此方法外推到所有矽卡岩矿床，碳通量计算结果表明在大约 145 Ma 处达到了最大值，最大可达 150 Mt/y，与洋中脊，裂谷碳通量在一个数量级。虽然在成矿的过程中不仅有释放 CO_2 的反应，也存在吸收 CO_2 的反应，但是在一个矿床形成过程中有多期的岩体不断侵入喷出，反复的释放 CO_2，因此认为夕卡岩矿床矿化过程中生成的 CO_2 能够完全的释放到大气中。根据该结果，我们计算其能够引起大气中 CO_2 浓度的升高 6.04 ppm。由于在 145 Ma 大气中的 CO_2 浓度为 713 ppm，根据温度对 CO_2 的敏感度，我们可以计算出二氧化碳贡献的温度为 0.05˚C。另外通过计算单位体积的效率，我们认为矽卡化作用脱碳是一种更有效的释放二氧化碳方式，并且是大气中 CO_2 浓度曲线在 145 Ma 突然上升，110-180 Ma 期间全球变暖以及侏罗纪/白垩纪界限生物大灭绝的可能原因。

S01-O-25

现代暖期增温未超过全新世大暖期

史锋[1,2]*，鹿化煜[3]，郭正堂[1,2,4]，尹秋珍[5]，吴海斌[1,2,4]，许晨曦[1,2]，张恩楼[6,7]，史江峰[3]，程军[8]，肖霞云[6]，赵成[3,7]

1 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境院重点实验室，北京 100029

2 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044

3 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210093

4 中国科学院大学，北京 100049

5 比利时法语鲁汶大学地球与生命研究所，比利时 新鲁汶 1348

6 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室，南京 210008

7 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心，西安 710061

8 南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心，南京 210044

* shifeng@mail.iggcas.ac.cn

现代暖期是一个正常的周期事件还是不正常的突变？这个问题一直以来是古气候定量化研究的重点和难点。传统方法是利用气候代用记录定量化重建古温度变化序列，厘定现代暖期的位置。然而，目前解读全新世气候代用记录所反映的季节存在偏差，其重建结果受到了国际同行的质疑。我们利用多指标交叉定量重建模型（即最优信号提取法），实现了气象器测资料-树轮等古气候重建-气候模式模拟对接，获得了最近22,000 年中国 8 个区域夏季温度和降水序列。结果表明，以百年平均温度计，公元前8100-7600 年的全新世期间中国夏季平均温度高于现代暖期大约 0.9-6.1℃，也是最近22,000 年以来气温最高值；同时，当时各地的夏季降水量也高于现代暖期的平均值大约 9.4-46.2 毫米/月。进一步对比分析气候模式最近 2 万年单因子强迫试验发现，中国北部（包括西北，华北和东北）全新世温度和降水峰值的时间主要由受到轨道强迫控制。我们利用来自树轮和历史文献等过去千年古气候重建结果校准气候模式，实现了古今气候变化记录直接对接，为评估末次冰盛期以来我国区域气候变化提供了相对独立的基础数据。

S01-O-26

北半球全新世季节性温度重建与模拟对比

张文超[1]，吴海斌[1,2,3]*，程军[4]，耿珺琰[1,3]，李琴[1,5]，孙咏[6]，于严严[1]，郭正堂[1,2,3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 新生代地质与环境重点实验室，北京 100029
2 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心, 北京 100044
3 中国科学院大学, 北京 100049
4 南京信息工程大学，南京
5 辽宁师范大学，大连 116029
6 中国科学院大气物理研究所，北京 100029

* haibin-wu@mail.iggcas.ac.cn

重建过去的温度变化，对认识现代全球变暖在地球系统自然变率中的位置至关重要。全新世（~11.7 ka BP 以来）地质记录重建与气候模式模拟的全球年均温度变化存在明显差异：记录重建表明，温度在~10−6 ka BP 处于峰值，其后下降；而气候模式模拟则显示，全新世年均温呈现整体上升趋势。重建和模拟的巨大差异被称为“全新世温度谜题”，其原因可能源于古气候代用指标存在季节性偏差。针对这一问题，本研究利用1,073 条花粉记录，基于现代类比法定量重建了北半球全新世的季节性温度变化，并与TraCE-21ka 瞬变模拟结果进行对比。重建结果揭示，北半球冬夏季温度均在全新世早中期（~11−7 ka BP）快速升高（冬季~0.55 ℃/ka；夏季~0.25 ℃/ka），其后逐渐下降（均为~0.07 ℃/ka）。全新世早中期的快速变暖主要发生在欧洲、北美东部（105 °W 以东）和亚洲北部（50 °N 以北），而亚洲南部（50 °N 以南）和北美西部（105 °W 西）呈现早中全新世高温期；~7 ka BP 以来，冬夏季降温则更为广泛，亚洲、欧洲和北美整体都呈现降温趋势。

模拟结果表明，早中全新世，北半球冬夏季温度也均呈现上升的趋势，与重建结果一致，这一趋势主要受控于高纬冰盖的退缩；~7 ka BP 以来，模拟的冬夏季温度主要受控于季节性太阳辐射变化，呈现夏季逐渐降温，冬季持续升温，前者与重建基本一致，而后者则与重建的降温趋势相反。上述结果揭示，重建和模拟的差异并非主要来源于古气候指标的季节性偏差，而可能与气候模式在敏感性和反馈机理上存在不足有关；未来古气候模拟，需进一步完善上述过程。

S01-O-27

重建-模拟对比研究揭示的全新世东亚夏季风时空变化模态

张海伟[1,2]*†，张旭[3,4,5]†，蔡演军[1,2]，Ashish Sinha[6]，Christoph Spötl[7]，Jonathan Baker[1]，Gayatri Kathayat[1]，Zhengyu Liu[8]，田野[1]，芦佳玉[1]，王振乾[3]，赵景耀[1]，贾雪雪[1]，杜文静[1]，宁有丰[1]，安芷生[1]，R. Lawrence Edwards[9]，程海[1,2,10]*

1 西安交通大学全球环境变化研究院, 西安 710054, 中国

2 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 中国科学院地球环境研究所, 西安 710061, 中国

3 兰州大学资源环境学院，西部环境教育部重点实验室, 兰州 70000, 中国

4 Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bussestr. 24, D-27570, Bremerhaven, Germany

5 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101, 中国.

6 Department of Earth Science, California State University Dominguez Hills, Carson, California 90747, USA

7 Institute of Geology, University of Innsbruck, Innsbruck 6020, Austria

8 Department of Geography, The Ohio State University, Columbus, OH, USA

9 Department of Earth Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota 55455, USA

10 中国地质科学院岩溶地质研究所, 国土资源部岩溶动力学重点实验室, 桂林 541004, 中国

* zhanghaiwei@xjtu.edu.cn , cheng021@xjtu.edu.cn

† 共同第一作者

Conflicting reconstructions of Holocene variability of the East Asian summer monsoon (EASM) from speleothem versus other types of proxy records have yielded widely divergent estimates of its phase relationship with the Indian summer monsoon (ISM) and Northern Hemisphere summer insolation (NHSI). This apparent discrepancy has been partly attributed to the uncertainties in the climatic representation of Chinese speleothem oxygen isotope ($\delta^{18}O$) records. Here we present a composite speleothem $\delta^{18}O$ record of the last ~14 kyr from Shennong Cave in southeastern China and model-simulated data of rainfall and meteoric $\delta^{18}O$ over eastern China. Our synthesis of the proxy-model data suggests that the spatial patterns in both speleothem $\delta^{18}O$ and paleo-rainfall over eastern China during the Holocene are diverse at orbital and multi-millennial scales. Our findings imply that: 1) speleothem $\delta^{18}O$ in the EASM regime is largely controlled by the large-scale circulation and concomitant latitudinal shifts of the monsoon rain belt; notwithstanding the heterogeneous spatiotemporal pattern of Holocene rainfall as inferred from various proxy records, a coherent orbital-scale speleothem $\delta^{18}O$ variability across most Asian monsoon regions (except southeastern China) indeed stems from the NHSI-forced changes in overall monsoon intensity; overall monsoon intensity is not equivalent to monsoon rainfall amount but a manifestation of the large-scale atmospheric circulation; 2) divergent phase relationships with NHSI between speleothem $\delta^{18}O$ and other proxy records are consistent with—rather than contradictory to—the NHSI forcing mechanism. Speleothem $\delta^{18}O$ and rainfall records reflect two different aspects of the monsoon dynamics. These results may thus, largely help to reconcile the divergent views of the Holocene Asian monsoon variability.

S01-O-28

重庆玉龙洞石笋 $\delta^{18}O$ 记录的 MIS 13 季风气候变化

黄守毅[1,2]，蔡演军[1,3,4]*

1 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061

2 中国科学院大学，北京 100049

3 西安交通大学 全球环境变化研究院，西安 710054

4 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心，西安 710061

* yanjun_cai@xjtu.edu.cn (Y. Cai)

海洋氧同位素阶段 13 是全球冰量相对较多的间冰期，而黄土磁化率结果表明该时段东亚夏季风异常强盛。在亚洲季风区，适用于探讨该时段季风气候变化的石笋记录较少，且其分辨率不足以开展精细研究。为此，我们以重庆市丰都县玉龙洞的石笋 YL5 为研究对象，根据其 8 个 SEM 年龄和 784 个 $\delta^{18}O$ 数据建立了重庆地区~560ka BP 至~500ka BP 时段平均分辨率约 78 年的石笋 $\delta^{18}O$ 时间序列，为研究亚洲季风区过去 50~60 万年的气候环境变化提供了新的高分辨率石笋 $\delta^{18}O$ 记录。通过与三宝洞石笋 $\delta^{18}O$ 记录和黄土高原中东部三条黄土剖面的磁化率记录进行对比，主要得到两点新的认识：（1）玉龙洞石笋 $\delta^{18}O$ 在 MIS 13 中期存在三次显著偏负的千年尺度事件，可能指示了这一时段发生过三次异常强盛的夏季风事件。（2）玉龙洞石笋 $\delta^{18}O$ 记录与黄土高原中东部黄土剖面磁化率记录均指示 MIS 13 时亚洲夏季风较强，但黄土磁化率在 MISs 14~13 时发生持续性增强，两者的不一致可能说明 MISs 14~13 异常强盛的东亚夏季风需要重新审视。

S01-O-29

数值模拟俯冲带深部碳循环

杨建锋 [1,2]*，王欣欣 [1]，赵亮 [1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

2 帕多瓦大学，意大利 35131

* yangjf@mail.iggcas.ac.cn

地球深部与表壳圈层间的碳循环对全球气候不同时间尺度的变化都产生着重要影响。俯冲带通过俯冲板块将碳输送到地球内部，又通过火山作用等将部分碳返回地表，从而调节全球气候变化。俯冲带脱碳过程强烈依赖于板块性质和地幔温度结构。利用动力学数值模拟，并耦合热力学的岩石数据库，我们模拟计算了俯冲板块在弧前至弧下深度不同岩石（包括大洋沉积物、蚀变玄武岩和岩石圈地幔）的脱碳效率。系统性的数值模拟研究表明，俯冲板块脱碳效率强烈依赖于俯冲带的热参数（即俯冲速率、板块热年龄和俯冲角度）和地幔潜温。一般地，俯冲板块的脱碳效率与热参数成反比，且热参数足够大时，脱碳效率不再变化。尽管沉积物在弧前深度几乎完成了脱碳，但仍有大量的碳会被俯冲板块携带进入超过弧下 100-120 km 深度。进一步地，我们测试了地幔温度对俯冲脱碳效率的影响。实验结果表明太古代的地幔温度无法将碳输送到弧下深度，从而无法形成岛弧岩浆的碳释放，这可能是地球从太古代以来整体上变冷的原因。

S01-O-30

俯冲板块脱碳过程的数值模拟研究

王欣欣 [1]*，杨建锋 [1,2]，赵亮 [1,3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

2 帕多瓦大学，帕多瓦 35131

3 中国科学院大学，北京 100049

* xinxinwang@mail.iggcas.ac.cn

俯冲带作为地球上最大的物质循环系统，其碳运移和脱碳机制的动力学过程是理解地球深部碳循环的重点和关键，也是人类认识地球宜居性中不可或缺的科学命题。目前，俯冲板块脱碳过程的高温高压实验研究已取得丰硕成果，表明在地幔浅部，俯冲板片主要在弧前和弧下位置释放碳，且存在熔融作用、变质作用、底辟作用和溶解作用等多种脱碳方式，但缺少对其动力学机制的定量化研究。而地球动力学数值模拟是定量化研究该过程的重要手段，前人的研究一般未考虑俯冲带热参数以及沉积层厚度、蚀变洋壳含碳量等参数对脱碳过程的影响。

鉴于此，我们选取冷俯冲带汤加（Tonga）和热俯冲带卡斯卡迪亚（Cascadia）作为研究区域，设计二维岩石学-热-力学数值空间模型，期望还原俯冲板块脱碳机制的动力学演化过程。热动力学研究初步结果证实了沉积层和蚀变洋壳在热俯冲带 Cascadia，存在变质作用和熔融作用两种脱碳方式，而冷俯冲带 Tonga，仅存在变质作用脱碳。

S01-P-01

碳酸盐岩铬同位素作为古环境指标的机制探究

方子遥[1,2]*，秦礼萍[1,2]

1 中国科学技术大学中科院壳幔物质与环境重点实验室，合肥 230026

2 中科院比较行星学卓越创新中心，合肥 230026

* fzy@ustc.edu.cn

古环境重建工作依赖各种指标的联合示踪，开发新的指标可以从不同的角度对于地质事件进行更加全面的限定。金属稳定同位素在近十几年来发展迅速，已被广泛应用于示踪地质历史上表生环境演化过程。其中，铬(Cr)同位素体系是近年来开发的反演古环境氧化还原状态的指标。Cr 在表生环境中主要以+3 和+6 两种价态存在，Cr 价态的转变会引起显著的 Cr 同位素分馏。因此沉积岩中记录的 Cr 同位素组成可以反演地质历史时期的表生 Cr 循环模式，进而制约大气和海洋的氧化还原状态。碳酸盐岩是分布最为广泛的沉积岩类型之一，是利用 Cr 同位素体系重建古环境的重要研究对象。然而目前对 Cr 在碳酸盐岩中的赋存形态仍然不清楚，这会影响到对 Cr 同位素所反映的古环境信息的解读。

为了研究碳酸盐岩中 Cr 的赋存形态，本工作首先测定了不同年代的碳酸盐岩样品中 Cr 的价态和 Cr 同位素组成。X 射线吸收近边结构谱(XANES)结果显示所有样品中的 Cr 均为+3 价[Cr(III)]，这与前人认为海水中的六价铬[Cr(VI)]会直接取代碳酸根离子的位置进入碳酸钙晶格并被碳酸盐岩保存的假设不符。对这一结果有两种可能的解释：第一种可能性是海水中的 Cr(VI)在碳酸盐沉淀过程或者沉淀之后被还原，其途径可能是生物还原，或是在厌氧的孔隙水环境中被还原，这种情况下，Cr(VI)不太可能发生完全还原，会导致碳酸盐岩 Cr 同位素组成轻于海水；第二种可能性是碳酸盐矿物倾向于直接吸收海水中的 Cr(III)，由于 Cr(III)可以来源于 Cr 的非氧化还原循环，而 Cr(III)的溶解和吸附过程都可能造成 Cr 同位素分馏，因此沉积碳酸盐岩中偏正的 Cr 同位素不一定代表存在氧化事件。

虽然上述工作明确了天然碳酸盐岩中自生 Cr 为三价，但是对其具体的赋存状态仍然不清楚。由于天然碳酸盐岩中 Cr 含量很低，且存在较多碎屑组分，直接研究 Cr(III)在天然碳酸盐岩中的配位环境很困难。因此，本工作设计了 Cr(III)与碳酸钙的共沉淀实验来研究 Cr(III)的赋存形态。扩展 X 射线吸收精细结构谱(EXAFS)结果显示 Cr(III)很难进入碳酸钙晶格中。共沉淀样品中大部分 Cr(III)是吸附于碳酸钙晶体表面，或者形成氢氧化铬沉淀。少量的 Cr(III)可能进入碳酸钙晶体中，但 Cr^{3+}不能直接取代 Ca^{2+}的位置，可能以多聚体的形式存在于晶格间隙，也可能以 $CrOH^{2+}$的形式取代 Ca^{2+}的位置，造成晶格扭曲。由于 Cr(III)不易进入碳酸钙晶格中，天然碳酸盐岩中的 Cr 可能主要是吸附于晶体表面，且有很大一部分可能来自于碳酸盐沉淀之后的吸附作用。因此，碳酸盐岩 Cr 同位素可能会容易受到沉淀后各种成岩过程的改造。沉积碳酸盐岩 Cr 同位素的波动可能反映的是底层水和孔隙水的信息，不能直接认为其反映了大气或海水氧化还原状态的波动。

S01-P-02

特提斯喜马拉雅白垩纪中期红层古地磁结果及其地质意义

边伟伟[1,2]，杨天水[2]，王锁[2]，彭文骁[2]，张世红[2]，吴怀春[2]，李海燕[2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029

2 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* bianweiwei2013@163.com

东冈瓦纳大陆的裂解及印度板块的北向漂移，造成了前方新特提斯洋的不断缩减消亡，以及后方印度洋的不断扩张发育。印度-亚洲大陆的碰撞及后续持续的挤压，造就了雄伟的青藏高原和巍峨的喜马拉雅山脉。这些地质过程导致了海陆格局和地貌格局的变化，并且引发了洋流和大气系统的改组，从而对全球古气候、古环境以及生命演化产生了重要的影响。特提斯喜马拉雅位于印度板块最北缘部分，其白垩纪古地理位置对理解新特提斯洋的演化至关重要。然而由于特提斯喜马拉雅白垩纪古地磁数据相对较少，仍不能很好的约束新特提斯洋的演化。为更好限定新特提斯洋的演化历史，我们对特提斯喜马拉雅仲巴地区开展了系统的古地磁学、岩石磁学及碎屑锆石 U-Pb 年代学研究，该文总结已取得的研究成果。

碎屑锆石 U-Pb 年代学及磁性测年结果表明研究区桑丹林组红层形成时代为~113-96 Ma。岩石磁学结果表明桑丹林组红层的主要携磁矿物为赤铁矿和磁铁矿。系统热退磁结果表明大部分样品能分离出三组磁化分量。低温分量与现代地磁场方向较为一致，应为现代地磁场的粘滞剩磁。20 个采点的中温分量倾斜校正之前为：D_g = 213.0 °, I_g = -6.5 °, k_g = 27.2, α_{95} = 6.6 °，倾斜校正之后为：D_s = 212.5 °, I_s = 1.0 °, k_s = 12.3, α_{95} = 10.0 °。中温分量经产状校正后方向更加分散，且褶皱检验为负检验，表明中温分量为褶皱变形之后获得的。21 个采点的高温分量倾斜校正之前为：D_g = 338.9 °, I_g = -29.6 °, k_g = 21.4, α_{95} = 7.0 °，倾斜校正之后为：D_s = 343.2 °, I_s = -47.7 °, k_s = 53.9, α_{95} = 4.4 °，对应极的 Fisher 平均为：28.8 °N , 281.0 °E , A_{95} = 5.2 °，古纬度为 29.3 °±5.2 °S（参考点：29.7 °N, 84.0 °E）。高温分量通过了褶皱及倒转检验，表明为褶皱之前获得的原生剩磁。等温剩磁各项异性校正结果表明，研究区桑丹林组红层未受到明显的沉积或沉积后压实而导致的倾角浅化。

通过对比特提斯喜马拉雅和印度克拉通白垩纪古纬度变化规律，表明~110-75 Ma 并未有大印度盆地的扩张，且大印度北向延伸尺度不超过 1000 km。结合拉萨地块白垩纪已有的可靠的古地磁结果，表明印度板块在~135-105 Ma 之间的平均运动速率为~4.5 cm/yr，在~105-75 Ma 之间的平均运动速率为~3.7 cm/yr。我们最新获得的结论，为新特提斯洋的演化及古气候演变提供了新的依据。

S01-P-03

珠穆朗玛峰对南亚季风的“阻挡效应”

Wenling An[1,2]*, Chenxi Xu[1,2], Xiaohong Liu[3], Ning Tan[1], Masaki Sano[4,5], Mingqi Li[6], Xuemei Shao[6,7], Takeshi Nakatsuka[4], Zhengtang Guo[1,2,7]

1 Key Laboratory of Cenozoic Geology and Environment, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2 CAS Center for Excellence in Life and Paleoenvironment, Beijing, 100044, China

3 School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi’an 710119, China

4 Research Institute for Humanity and Nature, Motoyama, Kamigamo, Kitaku, Kyoto, Japan

5 Faculty of Human Sciences, Waseda University, 2-579-15 Mikajima, Tokorozawa 359-1192, Japan

6 Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

7 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China
* wlan@mail.iggcas.ac.cn

喜马拉雅山冰川广布，是许多大江大河的发源地，对全球变化响应敏感，也是气候研究的热点区域。作为喜马拉雅山的主峰，珠穆朗玛峰不仅是世界海拔最高的山峰。同时对喜马拉雅山地区的大气环流和水汽来源分布也有重要影响。本研究分析了珠峰东西部早晚材氧同位素比率（$\delta^{18}O$）的变化（东部：1790-2013 年；西部：1850-2013 年），东西部晚材 $\delta^{18}O$ 的变化比较一致，而早材 $\delta^{18}O$ 的差异则比较大。气候响应分析显示，珠峰西部早材 $\delta^{18}O$ 主要受季风中期 6-7 月降水的影响，而东部早材 $\delta^{18}O$ 则主要受季风早期 5-6 月降水的影响，这可能是东西部晚材 $\delta^{18}O$ 变化不同原因。珠峰东西部晚材 $\delta^{18}O$ 主要受季风盛期 8-9 月降水的影响。这可能是东西部晚材 $\delta^{18}O$ 变化比较一致的原因。

同时，水汽来源的后向轨迹分析显示，印度季风中盛期 6-9 月，珠峰东部和西部水汽来自孟加拉湾和阿拉伯海；而在印度季风早期，珠峰东部已经受到孟加拉湾水汽影响，而西部则没有。水汽通量分析进一步显示，季风强盛期（ 7-9 月）时水汽输送强，珠峰东西部水汽通量变化不大；而季风早期 5 月份，珠峰东部水汽通量值较大，西部则很小。这表明，珠峰对季风早期孟加拉湾的水汽有阻挡作用，使得孟加拉湾水汽很难影响到珠峰西部，而季风强盛期，珠峰对水汽的阻挡效应则较小。

S01-P-04

超级季风相似型 – 欧亚非大陆季风

李瀚瑛 [1]，程海 [1, 2, 3]*，张旭 [4]，张海伟 [1]，易亮 [5]，蔡演军 [1]，胡永云 [6]，石正国 [2]，彭友兵 [1]，赵景耀 [1]，Gayatri Kathayat[1], Ashish Sinha[1,7]

1 西安交通大学全球变化研究院
2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室
3 中国地质科学院岩溶地质研究所岩溶动力学重点实验室
4 兰州大学资源环境学院
5 同济大学海洋地质国家重点实验室
6 北京大学物理学院大气与海洋科学系
7 Department of Earth Sciences, California State University Dominguez Hills, USA.
* cheng021@xjtu.edu.cn

欧洲－亚洲－非洲大陆聚集在一起，占地球陆地面积的一半以上（约 56%），其上广泛分布的亚洲－非洲季风－干旱气候系统在某种程度上可认为是超级季风－干旱系统的“相似型”。对这一巨大气候体系的研究不仅本身有十分重要的理论和实际意义，同时也能够为研究潘基亚超级大陆－超级季风系统及其演化提供现代或第四纪的“相似型”。晚更新世－全新世地质记录和气候模拟结果表明亚洲－非洲夏季风气候变化主要响应北半球夏季太阳辐射变化；南北半球季风变化在岁差尺度上的相位关系近于相反；西风环流影响下的中亚干旱－半干旱区气候变化在岁差尺度上与亚洲季风也接近同相位变化；亚洲－非洲季风－干旱气候系统的这些变化在岁差尺度上领先于全球冰量的变化。总体上，似乎可以提出这样一种假说：受到地球轨道偏心率幅度调谐的太阳辐射在岁差尺度的周期波动可能是季风－干旱气候在轨道尺度上的主导“韵律”。第四纪欧洲－亚洲－非洲“超级大陆”及其季风－干旱系统本质上与潘基亚超级大陆的季风－干旱系统有着一定程度的相似性，因此研究前者是理解后者（所谓将今论古）的重要途径之一，对解译深时“碎片”化的地质记录有实际意义。

S01-P-05S

早始新世气候极热事件（EECO）的驱动机制综述

张少华[1,2]，纪伟强[1]*，吴福元[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029
2 中科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049
* jiweiqiang@mail.iggcas.ac.cn

地球表面的温度主要受控于大气中的CO_2浓度（即CO_2分压：pCO_2），在地质历史时期，大气中CO_2浓度的变化控制着地球在温室期和冰室期之间的波动。这种波动在机制上受控于地球内生和外生系统各圈层碳循环的制约，而对于地球系统而言，其内生系统的碳含量是外生系统碳含量的10^3-10^4倍，因此在较长的地质时间尺度（~Myr）上，地球内生系统碳循环调控着全球温度的变化。通常认为与洋中脊、大陆裂谷、大火成岩省、大陆弧火山作用及相关变质脱碳等有关的碳循环是主要的调控机制，但是目前还存在诸多争议。

在早始新世时期（~53-51 Ma），地球上出现了一次显著的升温事件（温度比现在高9-12℃），被称为早始新世气候极热期（Early Eocene Climate Optimum，简称 EECO）。关于 EECO 的驱动机制，目前争议很大，主要有以下几种观点：1）位于伊豆-小笠原-马里亚纳海沟（IBM）一带的弧前玄武岩在早始新世时期大规模爆发（10^6-10^7 km^3），释放了巨量的CO_2，进而驱动了 EECO 事件；2）早始新世时期（~56 Ma）位于格林兰岛和欧亚板块之间的雷克雅内斯洋中脊的扩张会释放大量的 CO_2；3）青藏高原南部冈底斯弧早始新世岩浆大爆发，导致大量CO_2的释放；4）模拟结果显示始新世时期北美西部和东南亚地区新的大陆裂谷开始发育，且与CO_2和温度的峰值期具有很好的耦合性；5）作为CO_2负反馈机制的风化作用的减弱，降低了该时期 CO_2 的消耗量进而有利于大气中 CO_2浓度的升高和升温效应；6）近年来基于海洋钻孔沉积物化石研究指出，在一个稳定有机碳储库的基础上，地球轨道尺度偏心率的变化与古新世-始新世期间多个极热事件具有很好的耦合性。

S01-P-06S

新生代以来青藏高原东北缘古气候定量重建

贾云霞[1,3]，吴海斌[1,2,3]*，张文超[1]，李琴[1]，于严严[1]，张春霞[1,2]，孙爱芝[3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029
2 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044
3 中国科学院大学，北京 100049
* haibin-wu@mail.iggcas.ac.cn

古气候定量化重建是是国际古环境-古气候变化研究的重要发展趋势。柴达木地区位于青藏高原东北缘，其新生代气候变化对于理解亚洲内陆干旱化、青藏高原隆升等事件具有重要的科学意义。

本研究收集了青藏高原东北缘柴达木地区 4 个具有古地磁定年的孢粉序列，采用现代类比法、随机森林法和加权平均偏最小二乘回归法的古气候定量重建方法，重建了~49 Ma 以来年均降水(ANNP)、年均温度(ANNT)、最热月温度(MTWA) 和最冷月温度(MTCO)。结果显示，~49-43 Ma 阶段气候暖湿，为整个序列最高值，ANNP 由~1200±200 mm 降至~800±200 mm，ANNT 由 13±2℃降至 8±2℃，MTCO 由 0±2℃降至-6±2℃，MTWA 变化不大，约 20±2℃；~43-14 Ma 阶段气候较为稳定，ANNT、ANNP、MTCO、MTWA 分别为 7±2℃、700±200 mm、-7±2℃、19±2℃。~14-3.6 Ma 阶段 ANNP 和 ANNT 显著下降，其中 ANNP 由~800±200 mm 降至~400±200 mm，ANNT 由 7±3℃降至 4±2℃，温度的季节性明显增加，其中 MTCO 由-6±2℃降至-10±2℃，MTWA 变化不大，约 18±2℃；~3.6 Ma 以来各气候要素波动较大，ANNP~400±100 mm 降至~150±100 mm，ANNT 由 4±2℃

降至 4±2℃，MTCO 在-14±4℃之间波动，MTWA 在 16±4℃之间波动。~43 Ma 气候降温和降水减少可能与青藏高原东北缘隆升有关，~14 Ma 以来气候持续变冷和干旱化可能主要受控于全球变冷。

S01-P-07

中中新世(~14 Ma)和晚中新世(~6 Ma)全球古地理重建

贺志霖[1,2]*，张仲石[3,4]，郭正堂[1,5,6]，C. R. Scotese[7]，邓成龙[2,6,8]

1 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境院重点实验室，北京 100029
2 中国科学院地球科学研究院，北京 100029
3 中国地质大学环境学院，武汉 430074
4 中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心，北京 100029
5 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044
6 中国科学院大学，北京 100049
7 Department of Earth and Planetary Sciences, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA
8 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029
* hezhilin@mail.iggcas.ac.cn

中新世时期，全球构造、古地理、洋流与气候环境变化等系列事件逐步塑造了现今世界。古地理变化对全球/区域气候有重大影响，重建中新世全球古地理对于理解中新世全球重大气候变化以及全球季风系统演变具有重要意义，是开展古气候模拟研究的重要边界条件。古气候模拟依赖古地理边界条件，而古地理重建存在许多不确定性。目前已发表的一些中新世全球古地理图（海陆分布、古地形与古海深）存在诸多不一致和不确定性。因此，我们重建了中中新世（~14 Ma）和晚中新世（~6 Ma）两套全球古地理图。我们的重建基于已发表的全球板块运动模型、海洋岩石圈年龄、海底沉积物厚度估算数据、海底大火成岩省数据和集成的全球古地理环境数据集（全球海陆化石、地层、岩相、古高度重建、古环境记录及全球/区域古地理图等）。基于这些数据，在前人重建的中、晚中新世古地理基础上，我们进一步约束了副特提斯海、古地中海、南海、渤海-黄海、巴伦支海-喀拉海及哈德逊湾等区域的海陆演化，全球海道演化以及全球主要高原和山地的古高度，尤其是青藏高原和安第斯山。我们优化重建的中、晚中新世全球古地理可为中新世全球气候变化以及亚洲季风-内陆荒漠气候系统演变等的模拟研究提供可靠的古地理边界条件。

S01-P-08S

大同盆地晚新生代沉积环境演化对构造、气候的响应

张浣荻[1,2]，郝青振[1]*，邓成龙[3]，刘素贞[3]，秦小光[1]，谭程鹏[1]，高新勃[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境重点实验室，北京 100029
2 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049
3 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029
* haoqz@mail.iggcas.ac.cn

晚上新世以来气候环境发生了显著变化。在东亚季风区，涵盖上述时期的连续记录主要来自北方黄土高原陆相地层和南海海相地层，仍需更多不同环境信息载体的对比验证。陆相盆地能保存连续较长的沉积记录，是研究区域环境的理想材料。

本文选取了已有准确古地磁年龄框架的山西地堑系北段大同盆地 DTY 钻孔，对约 3.9 Ma 以来河湖相沉积物进行了沉积相、色度和粒度分布特征分析来提取沉积物中的水文条件信息，探讨盆地沉积环境演化与气候和构造的关联。色度测试在 Konica Minolta CM-700d 上进行。粒度样品去除砾石、碳酸盐、有机质后在 Beckman Coulter LS13320 激光粒度仪上进行测试。取得了如

下认识：①大同钻孔沉积物具有单峰、双峰、多峰多种粒度分布，并以不同的组合形式存在于湖相-过渡相-远端冲积扇相中。C-M 图分析表明远端冲积扇相和过渡相中暴露层位的粗粒沉积物为分选较差的非限定水流沉积。利用端元分解法分离出不同供给-搬运方式对沉积物的作用，得到悬浮沉降组分、水动力减弱卸载后剩余组分、（非洪水）冲积成因的细粒组分、洪水来源组分。②根据沉积相和粒度端元、色度指标，3.9 Ma 以来盆地沉积环境演化可分为 5 个阶段：3.9-3.6 Ma 为水位波动的滨浅湖环境；3.6-2.7 Ma 为稳定湖相；2.7-1.8 Ma 相对上新世湖泊整体退缩，沉积了湖相-远端冲积扇交替的过渡相；1.8 Ma 后（钻孔位置）湖相沉积结束，为冲积扇相远端沉积。其中，显著的湖侵发生于约 3.7-3.1 Ma，结合盆地其他位置湖相地层底部砾石沉积和盆地东西部沉积厚度的反向变化，湖侵主要受盆地构造沉降控制。显著的湖退发生于 2.7 Ma、1.8 Ma 前后，沉积速率在 2.7 Ma 前后缓慢增加而在 1.8 Ma 前后保持稳定，2 个湖退阶段反映了气候逐步向干旱化发展，湖泊水体退缩并经过旋回性波动逐渐过渡为山前冲积扇的末端漫流沉积。1.8 Ma 以来岩相与粒度端元指标呈现旋回性波动，反映了气候通过控制植被作用于冲积扇末端漫流沉积的过程。

大同盆地沉积记录支持 2.7 Ma、1.8 Ma 中国北方季风区阶段性变干旱。

S01-P-09S

泥河湾盆地晚上新世-早更新世植被与气候变化对地球轨道周期的响应

张振[1,2]，李月丛[1,2]*，丁国强[1,2]，达硕强[1,2]，范保硕[1,2]，王永[3]*，迟振卿[3]，董进[3]

1 河北师范大学资源与环境科学学院，河北 石家庄 050024

2 河北省环境演变与生态建设重点实验室，河北 石家庄 050024

3 中国地质科学院地质研究所，北京 100037

* lyczhli@outlook.com, wangyong@cags.ac.cn

晚上新世-早更新世是全球气候与环境发生转折的重要过渡期；课题组此前工作已经对泥河湾盆地过渡时期古植被与古气候变化特征有了初步认识，发现植被和气候变化存在明显的变化周期，但是对于具体的变化周期及驱动机制未做深入研究。本文通过对泥河湾盆地 NHA 钻孔 2.89-1.78Ma 期间 340 个样品中的云杉属、松属、旱生植被、阔叶树花粉含量，>125μm 炭屑浓度、粘土（<4μm）和砂（>63μm）含量以及低频磁化率（χ_{lf}）进行了频谱和小波分析，结果显示：各指标主要表现出显著的~20 Kyr 和~40 Kyr 周期，分别对应于地球轨道岁差和斜率周期。但是，不同代用指标所表现出的主控周期存在一定差异：与温暖湿润气候相关的松属和阔叶树花粉含量，低频磁化率（χ_{lf}）和粘土（<4μm）含量，受~20 Kyr 岁差周期影响更加显著，而与气候寒冷干旱相关的云杉属和旱生植物花粉含量、>125μm 炭屑浓度以及砂（>63μm）含量主要受~40 Kyr 斜率周期影响；而~20 Kyr 和~40 Kyr 周期分别与受岁差和斜率驱动的东亚夏季风和冬季风变化周期相对应，表明泥河湾盆地在晚上新世-早更新世过渡时期植被与气候变化受低纬和高纬过程的共同驱动。此外，晚上新世-早更新世过渡时期泥河湾盆地多数代用指标还能表现出明显的~100 Kyr 周期，可能是对北极冰盖变化的响应，显示了高纬驱动对泥河湾盆地植被与气候变化的重要作用。

S01-P-10

我国东北第四纪哺乳动物演化与构造、季风环境变化：来自大连骆驼山动物群的证据

葛俊逸[1,2]*，邓成龙[3]，邵庆丰[4]，王元[1,2]，唐锐柽[1]，赵波[5]，程晓东[5]，金昌柱[1,2]，Jonh W. Olsen (欧阳志山)[6]

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 脊椎动物演化与人类起源重点实验室，北京 100044
2 中国科学院生命与环境卓越中心，北京 100044
3 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化重点实验室，北京 100029
4 南京师范大学自然地理科学学院，南京 210023
5 大连自然博物馆，大连 116023
6 亚利桑那大学人类学系，美国亚利桑那州
* gejunyi@ivpp.ac.cn

中更新世全球气候系统发生明显调整，冰期-间冰期气候变化的主导周期由 4 万年调整为 10 万年，气候变幅显著加大，于东亚伴随出现了极端暖湿的间冰期环境。这一重大环境变化对全球动植物区系演变产生了深远影响，并促进了欧亚大陆早期人类的演化和扩散。在我国，中更新世气候系统调整造成了东亚季风和内陆干旱的加强，以及生态系统的格局变化。但是，对于这一重大环境变化，我国区域动物群和早期人类具有什么样的响应模式仍不明确。

由于东亚冬夏季风纬度配置的差异，以秦岭为界，我国更新世哺乳动物区系表现出明显的南北差异，其中南方以大熊猫-剑齿象-巨猿动物群为代表，主要出土于喀斯特灰岩洞穴沉积中；而北方更新世动物群主要见于沉积盆地，如泥河湾动物群。而以周口店为代表的大型洞穴沉积也保存着丰富的哺乳动物化石，成为我国北方更新世哺乳动物群演化研究的重要沉积地层。我国东北地区被认为是第四纪人类和哺乳动物群迁徙扩散的关键路口，是连接我国华北、蒙古，俄罗斯远东地区以及日本和朝鲜半岛的枢纽区域。但是，该区哺乳动物群记录相对较少，且主要来自零星的小型洞穴沉积，难以为揭示该区动物群演化迁徙历史以及区域对比提供较准确的地层记录和化石证据。

最近，大连骆驼山金远洞的发现为研究上述科学问题提供了重要材料。该洞穴最大宽度达 60 米，沉积厚度逾 40 米，包含 7 个化石层位，时代为晚上新世至中更新世晚期，是目前东北地区保存最为连续、完整的富含化石沉积序列。我们对该沉积序列利用磁性地层学和碳酸盐 U-Th 法开展了年代学测定，结果表明，该洞穴于上新世晚期开始接受沉积，更新世早期短暂的沉积间断后，~2.2 Ma 至~0.3 Ma 期间沉积稳定，为动物化石的埋藏提供了稳定的沉积条件。渤海盆地的构造变形可能对该区洞穴演化和动物群的迁徙具有显著影响。晚上新世渤海盆地发育大型内陆湖泊，稳定的构造-水文环境可能为动物群的生存提供了稳定的栖息环境，也提供了稳定的洞穴沉积条件； ~0.3 Ma 前后，洞穴坍塌，洞穴沉积结束，可能与渤海盆地的构造隆升密切相关，导致渤海盆地与外海连通，由湖泊环境转为海洋环境。对大连金远洞动物群与其它第四纪南北方代表性动物群的综合对比分析，发现东北地区早更新世早期动物群多以喜暖属种为代表，MPT 期间，无论是南北方，大型哺乳动物均明显减少，之后北方动物群逐渐转为草原类型。结合古环境重建，我们探讨了中更新世气候转型事件对东亚第四纪哺乳动物群的可能影响，提出该重大气候事件可能导致第四纪哺乳动物的多样性降低，而之后东亚季风的极端强盛可能为第四纪哺乳动物及东亚古人类提供了良好的生态位，促使了其在中更新世晚期的繁盛。

S01-P-11S

长江三角洲太湖地区第四纪钻孔磁性地层研究及其意义

李国敏[1]，徐慧茹[1]*，季文婷[2]

1 中国地质大学（武汉）地球物理与空间信息学院，湖北武汉 430074
2 江苏省地质调查研究院，江苏南京，210018
* xuhuiru@cug.edu.cn

晚新生代的构造运动使得亚洲西部青藏高原迅速抬升，同时伴随东部地区不断下沉，最终导致如今中国大陆“西高东低”的地貌格局。然而，对于其演变过程，我们缺少更全面的构造运动和环境变化信息。沉积序列能够有效记录构造演化和环境变化，长

期以来受到国内外地球科学研究的广泛关注。目前，对位于我国海-陆过渡部分的东部沿海地区陆上研究依旧不足，因此，我们对来自地处典型东亚季风气候，兼跨海陆的江苏南部南黄海长度123.58 m的岩芯（ZKW2）沉积序列进行磁性地层学研究，以建立精细的地层年代框架，为后续研究该地区古地理演化等及其对气候变化的相应等问题奠定基础。

岩相分析显示，ZKW2 可分为四个单元，单元一（0～9.5 m）主要由灰黄色、棕黄色到黄色粉砂质粘土及粉砂岩组成，黑色铁锰结核较为常见。单元二（9.5～50 m）主要由层厚 1.5～4.12 m 灰色至灰绿色粉砂岩组成，中间夹杂灰色粘土以及砂泥岩互层薄层，还存在约 18.45 m 的连续灰色粉砂岩层。单元三（50～99 m）主要由层厚为 0.3～3.45 m 的灰黄色粘土、粉砂质粘土以及粉砂岩组成，锈黄色铁锰结核较为常见。单元四（99～123.58 m）以棕黄色、黄色粘土及粉细砂为主，上部含砾粘土层中含有角砾，砾石主要为泥质粉砂岩，下部地层中可见原岩结构。岩石磁学分析显示，磁滞回线、IRM 获得曲线和 FORC 图具有较好的一致性，指示样品主要磁性矿物为低矫顽力矿物，少量样品同时含有高矫顽力和低矫顽力两种磁性矿物。结合矫顽力分布及 FORC 图形态，推测样品中磁性矿物可能以磁铁矿和赤铁矿为主，少量地层含有磁黄铁矿。采用交变退磁方法对钻孔进行退磁，将获得的极性统计结果与地磁极性年表（GPTS）对比，我们认为 ZKW2 中的 B/M（Brunhes/Matuyama，年代为 0.78Ma）可能位于 69.88m 处。钻孔底部年龄约为 1.31 Ma。同时，结合沉积速度和极性特征，我们推测样品中还记录了布容期的 BigLose 反极性亚时（深度为 51.17～52.27 m，年代为 0.57～0.58 Ma）以及松山期的 Jaramillo 正极性亚时（深度 104.16～109.17 m，年代 0.99～1.07 Ma）。

结合上述研究结果，ZKW 2 钻孔显示了苏南滨海平原约 1.31 Ma 以来的沉积体系主要包括开阔平原湖泊—滩地湖沼两个大演化过程，其中包括了多种沉积相类型。前期多以河湖交替出现为主，后期多为湖沼，浅水湖泊以及沼滩环境的长期发育，揭示研究区地势较为平缓，沉积环境相对稳定。此外，沉积物磁性与地质构造运动，气候变化均有一定联系。从中更新世到早全新世，沉积物磁性呈现整体较低趋势，中间出现三次磁性显著增强阶段。第一次出现的深度区间约 72.88～77.7 m，此地层中含有大量贝壳化石，底部有明显沉积间断，沉积相上表现为潮间坪相，结合相应的时间（约 0.8～0.82 Ma），推测该阶段研究区经历了一次小规模的沉降运动。第二次出现的深度区间约 38.9～43.1 m，该阶段沉积岩性以粉砂质粘土与粉砂互层为特点，底部含大量贝壳碎片，少部分石英粗砾，推测为短暂的海侵事件。第三次出现的深度区间约 9.5～33.28 m，此阶段是全孔中磁性最强阶段，沉积岩性为砂岩，发育水平层理，下部（29.85～33.28 m）可见沉积间断，推测为降水的急剧增加，导致磁性矿物的大量输入。

S01-P-12

我国南方下蜀黄土运移路径的粒度证据及其与流域环境演变的联系

江奇达[1]，郝青振[1,2,3,4]*，彭淑贞[5]，乔彦松[6]

1 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境实验室，北京 100029
2 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044
3 中国科学院大学，北京 100049
4 中国科学院地球科学研究院，北京 100029
5 泰山学院旅游学院，泰安 271021
6 中国地质科学院地质力学研究所，北京 100081
* haoqz@mail.iggcas.ac.cn

粉尘是黄土形成的物质基础，识别黄土的粉尘物质运移路径对于理解黄土的风成系统以及明确黄土的环境意义至关重要。下蜀黄土主要分布在长江中下游地区和淮河

流域，是能为江淮地区提供长时间跨度环境演变以及气候变化信息的重要陆相记录之一。前人的工作主要聚焦在下蜀黄土的粉尘来自哪里(北方沙漠还是近源冲积平原)，目前，下蜀黄土的运移路径仍待进一步探究。我们以 20 个下蜀黄土剖面与 6 个黄土高原黄土剖面的末次冰期样品为研究材料，通过马尔文激光粒度仪测定了共计198个样品的粒度数据，基于传统粒度参数(中值粒径、平均粒径、分选系数、偏度、峰度)和 EMMA 粒度端元模型分析的结果，对下蜀黄土末次冰期粒度特征空间变化规律开展了调查。研究结果表明：（1）下蜀黄土和黄土高原黄土的分选与细化趋势不具有连续性，两者不同源，支持下蜀黄土主要为“就地起尘”；（2）下蜀黄土具有由北向南分选变好、颗粒变细的明显趋势，下蜀黄土粉尘物质主要由北往南进行运移，其主要搬运介质为东亚冬季风，下蜀黄土能很好记录东亚冬季风信号；（3）结合前人研究中下蜀黄土剖面的空间分布情况及其物源信息，以及下蜀黄土的空间分布特征，明确了除少量分布在长江以南的下蜀黄土与长江流域相关联外，分布在长江以北的下蜀黄土主体是与淮河流域相关联的，记录的是淮河流域的环境演变信息。

S01-P-13S

河西走廊民乐黄土记录的20ka以来东亚季风演化

侯梦阳*，王治祥，张泽

1 中国地质大学（武汉）地球科学学院， 武汉 430074

* mengyang5236@163.com

青藏高原东北缘地处季风区与非季风区的过渡地带，该区域的黄土沉积对于我们重建晚更新世以来东亚季风的强度变化提供了重要的载体。但是，影响季风系统的因素复杂多样，前人在该区的研究结果显示了季风强度、范围、影响时间的显著差异，使得对古环境的重建结果产生了较大争论。我们通过对河西走廊民乐剖面的黄土沉积物进行了元素地球化学、色度、粒度、磁化率等气候代用指标分析，结合 AMS-14C 测年，重建了该研究区域~20ka 以来气候演变过程。我们的地球化学元素和粒度结果显示， 在~20500-18300 cal BP 期间，民乐处于末次冰期极盛期，但变暖趋势明显；~18300-11600 cal BP 期间，气候相对稳定，虽然比全新世寒冷，但已经明显暖于第一阶段，冬季风强度显著低于 LGM 期；~11600-3000cal BP 的早中全新世气候先变暖，再转冷，在~5300cal BP 的中全新世达到最暖，夏季风最强，全新世大暖期位于中全新世，8200a 事件在该阶段有所响应；~3000cal BP 以后的晚全新世，气候变冷，冬季风增强，风成沉积速率明显增大，可能与河西走廊地区湖泊萎缩和人类活动增强引起的堆积速率增大有关。总体上，民乐地区 20ka 以来的气候变化表现为末次冰期最盛期的快速结束，随后的气候保持相对稳定，直到全新世。全新世期间先变暖后变冷，全新世大暖期位于中全新世。

S01-P-14

鲁中山地黄土的高密度光释光测年与季风气候变化

赵秋月[1]，彭淑贞[1]*，丁敏[1]，张伟[1]，旺罗[2]，郝青振[2,3,4,5]

1 泰山学院旅游与资源环境重点实验室，泰安 271000

2 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院新生代地质与环境重点实验室，北京 100029

3 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044

4 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049

5 中国科学院地球科学研究院，北京 100029

* cnuqyzhao@sina.com

东亚季风控制下的鲁中山地地区，地处海陆交接的过渡地带，对气候变化响应敏感。本区广泛分布的黄土记录了季风气候变化

信息。以鲁中山地黑山、佛村和邵庄黄土剖面为研究对象，通过高密度光释光测年，结合粒度、磁化率和元素地球化学指标探讨其环境演变特征。结果表明：（1）本区黄土中粗颗粒（64-90 μm）石英矿物光释光信号灵敏且以快组分为主，在~150 Gy 时饱和；粗颗粒钾长石（64-90 μm）红外后红外释光信号稳定，经阳光晒退后残余剂量~6.2±0.4 Gy，剂量恢复比在两个标准差范围内为 1（≤850 Gy）。（2）石英 SAR 法获得的年龄和钾长石 pIRIR290 法测得的年龄在 10-50 ka 内基本一致，此后石英年龄出现饱和，钾长石 pIRIR290 年龄随地层深度的增加而增加（≤230 ka）；粗颗粒钾长石 MET-pIRIR 等效剂量值在 250-300^{O}C 出现坪区，和钾长石 pIRIR290 年龄在 230 ka 范围内基本一致，此后钾长石 pIRIR290 年龄出现饱和，MET-pIRIR 年龄随地层深度的增加而增加。（3）本区黄土自 L_3 以来的年代框架和黄土高原黄土基本一致。（4）在倒数第二次冰期向末次间冰期过渡时期，气候不稳定，粒度较粗，磁化率较低，基于释光测年结果的沉积速率也较高。

S01-P-15S

塞尔维亚黄土的环境磁学及其古气候意义

娜米尔[1,2]，郝青振[1,2,3,4]*，高新勃[1]，Marković Slobodan B[5]，付玉[1,2]，宋扬[6]，张浣荻[1,2]，武雪超[1,2]，邓成龙[7]，Milivoj B. Gavrilov[5]，郭正堂[1,2,3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境实验室，北京 100029

2 中国科学院大学，北京 100049

3 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044

4 中国科学院地球科学研究院，北京 100029

5 Department of Physical Geography，University of Novi Sad，Trg Dositeja Obradovića 3，21000 Novi Sad，Serbia

6 北京城市系统工程研究中心，北京 100035

7 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室, 北京 100029

* haoqz@mail.iggcas.ac.cn

欧洲地区缺乏长序列、高分辨率的陆相纪录，限制了对其古气候演化的深入理解。位于喀尔巴阡盆地内的塞尔维亚黄土是欧洲近一个百万年（1Ma）来保存最连续、完整的黄土-古土壤序列，是欧洲西风区气候和环境演化的关键陆相记录。磁学是古气候研究的重要手段，然而由于缺乏对整个序列的磁性矿物的研究，塞尔维亚黄土-古土壤序列的磁学性质与古气候之间的联系仍然不清楚。我们对 1.0 Ma 以来的 9 个黄土-古土壤序列进行了系统的岩石磁学研究，包括磁化率，频率磁化率，非磁滞剩磁，高温、低温磁学，磁滞参数等。研究结果表明：（1）黄土层主要由部分低温氧化的 MD 和 PSD 磁铁矿组成。然而，随着成壤作用的增加，成壤形成的 SP 和 SD 亚铁磁性矿物（主要是磁赤铁矿）在古土壤中占主导；（2）亚铁磁性矿物晶粒分布总体一致，表明尽管过去 1.0 Ma 的气候类型发生了变化（地中海型气候逐渐转为大陆型气候），但细粒亚铁磁性组分没有明显的溶解，否定了过去认为的磁性矿物在老地层中存在普遍的溶蚀。（3）Normalized $dJ/dT_{@120K}$ 和 Normalized $\chi_{heating\ @530℃}$ 的变化反映了 1.0 Ma 以来低温氧化程度/成壤作用降低（尤其是冰期），并且在 0.5-0.6 Ma 以后显著变化，与中国和中亚黄土纪录一致，指示北半球冰量增加导致的欧亚大陆整体阶段性干旱化增强。我们的结果为将来利用塞尔维亚黄土磁学性质进行详细的古气候重建提供了必要的基础。

S01-P-16

塞尔维亚末次间冰期以来黄土-古土壤序列粘土矿物记录的物源和间冰期气候信息

付玉[1]，郝青振[1]*，彭淑贞[2]*，S. Marković[3]，高新勃[1]，韩龙[4]，武雪超[1]，娜米尔[1]，

张伟[2]，M. Gavrilov[3]，R Marković[3]，郭正堂[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境实验室，北京 100029
2 泰山学院旅游学院，泰安 271021
3 Department of Physical Geography, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad 21000, Serbia
4 南方科技大学环境科学与工程学院，深圳 518055
* haoqz@mail.iggcas.ac.cn；pengshuzhen@tsu.edu.cn

粘土矿物在黄土沉积物源和古气候研究中具有重要的作用。但是迄今为止，欧洲黄土区轨道尺度的粘土矿物的演化记录尚且没有，限制了物源和成壤等多种重要古气候信息的提取。本研究选择欧亚黄土带西端最重要的黄土沉积区——多瑙河流域塞尔维亚北部黄土开展研究。Stari Slankamen 剖面是欧洲经典黄土剖面之一，我们对该剖面末次间冰期以来的地层开展了粘土矿物组成、扫描电镜，常量元素组成等分析，建立了欧洲黄土第一条具有轨道尺度气候分辨能力的粘土矿物演变序列。其中，粘土矿物分析在 PANalytical X'Pert PRO X 射线衍射仪上完成。1）塞尔维亚北部黄土-古土壤粘土矿物以伊利石(27−63%，平均值为 42%)、蒙脱石 (含伊蒙混和矿物，9−49%, 平均值 32%)为主，还含有绿泥石(12−22%, 平均值为 17%)和高岭石(6−13%, 平均值为 9%)等矿物。2）上述粘土矿物主要为碎屑来源，其成分特征继承自原始风尘物质。对碎屑成因粘土矿物的研究揭示出，喀尔巴阡盆地内冲洪积物是该地区黄土的主要物源，而北非撒哈拉粉尘无显著贡献；喀尔巴阡盆地对格陵兰冰芯粉尘无显著贡献，修正了欧洲学者的认识。3）对成壤作用引起的粘土矿物变化研究，揭示出风化成壤作用仅在 S1 底部形成了蒙脱石或其过渡矿物，提出了绿泥石比值和伊利石结晶度是反映欧洲黄土的粘土矿物风化的新指标。4）进一步揭示出 MIS5e 时期，绿泥石、伊利石风化的增强和蒙脱石相关矿物的形成，与降水增加有关，预示着在未来全球增温背景下塞尔维亚会有更多的降水。该研究从粘土矿物的角度为理解北半球粉尘输送和沉积、欧洲东南部轨道尺度气候演变提供了新证据。

S01-P-17S

伊朗西部两河流域地区黄土的初步研究

连悦辰[1,2]，刘秀铭[2,3,4]*

1 福建师范大学湿润亚热带山地国家重点实验室培育基地，福州 350007
2 福建师范大学地理科学学院，福州 350007
3 福建师范大学地理研究所，福州 350007
4 Department of Earth and Environmental Sciences，Macquarie University，Australia, Sydney NSW 2019
* xliu@fjnu.edu.cn

黄土是风积物的堆积，黄土堆积的地层不仅记录了古气候冷暖变化，地表分布的黄土区常常是旱作农业高度发展地区，并可能发展为古文明起源地，如中国黄河流域。两河流域古文明是世界上最古老的文明，伊朗西部位于两河流域下游的波斯湾入海口附近，是古巴比伦文明的重要组成部分，那分布着大面积尚未被认识的风积黄土。本文通过对苏萨（Susa）神庙附近以及 Shooshtar 地区疑似风积沉积物的地层采样，并进行系统的磁学、粒度、稀土元素、地球化学元素以及漫反射光谱测量，探究样品的磁学性质及其磁化率变化机制，并分析其地球化学特征及可能物源地。结果表明：样品具有风积黄土粒度分布特征和风积物稀土元素分布特征；磁性矿物以亚铁磁性矿物磁铁矿和磁赤铁矿为主，并含少量反铁磁性矿物针铁矿和赤铁矿，磁性颗粒以粗 SSD 颗粒为特征。该地区黄土磁化率的高低变化受微弱的成壤作用和外源输入的磁性矿物共同影响，而外源输入的磁性矿物贡献更显著，且样品的粗

细颗粒物源有所差异，细颗粒与伊朗东北部黄土具有相似的粉尘来源，而粗颗粒可能来源于近地面风的搬运。相对于东北部长期干旱的伊朗黄土高原黄土，地处环境较湿润两河边缘的风积黄土可能记录了不同的环境信息。

S01-P-18S

南北半球海冰和海表温对斜率和岁差的差异性响应

吴志鹏[1,2,3]*，尹秋珍[1]，郭正堂[2,3,4]，André Berger[1]

1 Georges Lemaître Center for Earth and Climate Research, Earth and Life Institute, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium
2 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境院重点实验室，北京 100029
3 中国科学院大学，北京 100049
4 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044
* zpwu@mail.iggcas.ac.cn

天文驱动是地球气候系统最重要的外部驱动力之一，但对其区域性响应及其内部过程和反馈机制的认识有待进一步加强。我们利用三维地球系统模型 LOVECLIM，进行了长达 90000 多年且不加速的瞬变实验，来探讨南北半球海冰和海表温对斜率和岁差的差异性响应。结果表明，北半球海冰主要受岁差影响，而南半球海冰主要受斜率影响。就海表温而言，南北半球低纬度海表温主要受岁差的影响，南半球中高纬度海表温主要受斜率的影响，而北半球中高纬度海表温对岁差和斜率的响应都很明显。赤道地区海表温，不仅有很强烈的岁差信号，半岁差信号也很明显，其半岁差信号主要是响应赤道最大太阳辐射。南北半球海冰和海表温对斜率和岁差的差异性响应主要是由于海陆分布的不同和所响应不同的太阳辐射。

S01-P-19

ENSO 和 IOBM 对现代亚洲降水氧同位素变化的影响

谢小训*，刘晓东

1 中国科学院地球环境研究所，西安 710061
* xiexx@ieecas.cn

降水氧同位素（$\delta^{18}O$）是水循环过程中水稳定同位素（$H_2{}^{16}O$、$H_2{}^{18}O$）分馏的产物，降水 $\delta^{18}O$ 蕴含了水汽在水文循环中的水文过程和气候信息，被广泛应用于地质记录的古气候重建，如石笋、树轮等。降水氧同位素作为地质记录的气候代用指标，为认识地质时期的多时间尺度气候演化提供了大量素材并取得丰富的研究成果，但目前对降水氧同位素的古气候意义仍存在较多争议。由于地质时期没有器测记录提供准确的气候信息，使得研究地质时期氧同位素的气候指示意义充满不确定因素，所以深入理解现代降水氧同位素的气候学意义对降水氧同位素的古气候重建至关重要。

基于水稳定同位素环流模式（isoGSM2）模拟的 1979~2017 年的降水 $\delta^{18}O$ 数据，研究现代亚洲降水 $\delta^{18}O$ 的变化特征及其气候控制因子。通过经验正交分解（EOF）分析得出，现代亚洲降水 $\delta^{18}O$ 变化具有两种主模态：包括亚洲整体一致性变化的整体型模态，和东亚与南亚反相位变化的偶极型模态。第一模态是整体型模态，主要受到太平洋海温模态（ENSO）的影响，“拉尼娜”海温模态可以通过加强大尺度亚洲季风环流，使得亚洲降水得到更多来自低纬度海洋地区的远源水汽输送，导致亚洲降水 $\delta^{18}O$ 存在大范围整体性的偏轻。第二模态是偶极型模态，主要受到印度洋海盆一致模（IOBM）的影响，增暖的北印度洋海温加强南亚季风，使得北印度洋和南亚地区降水增强，从而导致南亚降水 $\delta^{18}O$ 偏轻；同时增暖的北印度洋海温通过遥相关引起西北太平洋产生反气旋环流异常，使得西北太平洋副热带海洋上更多 $\delta^{18}O$ 偏重的水汽输送到东亚地区，导致东亚降水 $\delta^{18}O$ 偏重，如此 IOBM 就导致

了东亚和南亚的降水 $\delta^{18}O$ 存在反相位的偶极型变化。

本研究的模拟结果表明现代亚洲降水氧同位素受到热带海温异常的显著影响，存在整体性和区域性的变化特征。ENSO 导致亚洲降水 $\delta^{18}O$ 在年际尺度上存在亚洲大范围一致性变化，而 IOBM 主要在年代际尺度上使得东亚和南亚降水 $\delta^{18}O$ 存在反位相变化关系。模拟结果指出印度洋海温异常和太平洋海温异常对亚洲降水氧同位素具有不同的影响，在降水氧同位素的古气候重建中应该考虑不同海区海温异常对亚洲降水氧同位的不同影响。

S01-P-20

晚第四纪渤海夏季风记录与岁差-偏心率联合驱动

易亮*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* yiliang@tongji.edu.cn

东亚夏季风轨道尺度变率有两个明显的特征或差异：一个是与全球冰盖演化有关的冰期-间冰期周期（~100kyr），主要记录于黄土-古土壤和深海沉积序列，另一个是太阳辐射量强迫的岁差周期（~23kyr），主要记录于石笋氧同位素序列。这两个主导周期之间的差异涉及到不同的轨道尺度强迫过程，这种差异背后的机制一直是过去二十年研究的热点和争论的焦点。调和这一争论的途径之一，是在地质记录中能够找出介于两种季风轨道尺度变率的中间状态。

本研究通过漫反射光谱和 X 射线衍射分析，对渤海南部晚第四纪的海陆交互沉积开展了矿物学和古气候研究。结果表明，漫反射光谱的变化主要反映了沉积物中伊利石和针铁矿矿物组合信息，这一结果与 X 射线衍射一致。通过将该矿物记录与各种季风代用指标进行对比分析，发现渤海地区获得的不同季风记录，不但指示了岁差（偏心率）的主导周期，同时还反映了相较于石笋（黄土）记录更为显著的偏心率（岁差）。由此推断，晚第四纪渤海沉积中的东亚夏季风信号，可能体现了太阳辐射量和冰盖演变的综合强迫。在此基础上，通过对比不同代用指标的物理过程，初步推测东亚夏季风的轨道尺度变率，如果受岁差控制，则主要与季风降水有关，体现了季风在“水”方面的特征；而如果受偏心率控制，则可能与温度变化有关，记录了季风在“热”方面的特征。

总的来说，渤海的季风记录有可能为协调各种季风代用指标的主要周期差异提供参考，后续的深入研究将为理解东亚夏季风轨道变化的空间格局提供思路。

S01-P-21S

东亚和印度季风区石笋氧同位素冰期间冰期变化差异的洋流影响

王健[1]，程海[1,2,3]*，蔡演军[1,2,4]，黎有为[1]，赵景耀[1]，李瀚瑛[1]，张普[1]，张海伟[1,2]，宁有丰[1]，宗宝云[1]，李向磊[5]

1 西安交通大学全球环境变化研究院, 西安 710054

2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061

3 中国地质科学院岩溶地质研究所岩溶动力学重点实验室, 桂林 541004

4 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海陆气候环境变化开放工作室，青岛 266061

5 Department of Earth Sciences, University of Minnesota, Minneapolis MN 55455 USA

* cheng021@xjtu.edu.cn

亚洲夏季风包括印度夏季风和东亚夏季风两个子系统，对比和认识二者的变化过程及其差异，对于理解气候变化的规律机制，进一步预测未来气候具有重要意义。印尼贯穿流是全球热盐环流唯一的低纬通道，将温暖的海水从热带太平洋传送到印度洋，影响到印太的质量和热量平衡。本研究利用中国

西南地区气候敏感区的石笋样品重建了18~9ka 阶段的高分辨率亚洲季风演化记录，对比分析印度季风和东亚季风石笋记录发现二者在冰期-间冰期变幅上的显著差异主要在 YD 结束前后突显。变幅差异化的时间与卡里马塔海峡联通相一致，本文从径流淡水输入、印尼贯穿流及沃克环流变化的角度分析了卡里马塔海峡贯通对于 ISM 和 EASM 石笋氧同位素变幅的影响。卡里马塔海峡贯通使得径流输入不再单纯进入南海，东亚季风水汽源区的表层海水氧同位素相对偏正；南海输入的淡水抑制了印尼贯穿流的表层流，从而减少了太平洋向印度洋的热量传输，造成了印度洋的相对偏冷，印度季风相对东亚季风增强；热量的相对变化还影响沃克环流的上升支的位置，早全新世沃克环流上升支相对东移，导致东亚季风区的远源水汽减少。上述变化最终导致东亚季风区石笋氧同位素在间冰期相对印度季风区偏正，显示出海洋环流变化对于气候系统演变的重要意义，并有可能为解释东亚石笋“100ka”信号的缺失提供一定的借鉴。

S01-P-22S

利用树轮资料重建过去 700 年东亚地区冬季温度变化

宋苗[1]，杨保[1]*，史锋[2]，秦春[1]，王江林[1]

1. 中国科学院西北生态环境资源研究院，中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室，兰州 730000
2. 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院新生代地质与环境重点实验室，北京，100029

* yangbao@lzb.ac.cn

目前东亚地区几乎所有基于代用资料的大尺度温度重建都是关注夏季或年平均温度的变化，而对冬季温度的研究比较少. 鉴于此，本研究利用 260 条温度敏感的树轮记录，重建了时间分辨率为年、空间分辨率为 5°×5°、时间跨度为公元 1300~2000 年的东亚冬季平均(12~2 月)温度. 结果表明，自 14 世纪以来冬温呈现出显著的长期升温趋势，但在公元 1625(±24)年出现了年温度循环(冬温-夏温)的长期衰减趋势. 年际尺度上东亚冬温的振幅大约是夏温的 4.7 倍，上升速率大约是夏温的 6 倍. 研究表明，冬温的这种上升趋势主要受到北半球中纬度地区(30~50°N)的冬季太阳辐射和人类活动的影响. 另外，在年际尺度上，本研究检测到东亚冬温主要受到火山喷发、太阳辐射和人类活动的影响.

S01-P-23S

中更新世转型期前后不同气候背景下千年事件的高分辨率对比研究

牛晓雯[1]，程海[1,2,3]*，王健[1]，张海伟[1,2]，张普[1]，宁有丰[1]，宗保云[1]，张帆[1]

1.西安交通大学全球环境变化研究院，西安 710054;
2.中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061;
3.中国地质科学院岩溶地质研究所岩溶动力学重点实验室，桂林 541004

* cheng021@xjtu.edu.cn

千年气候事件(如 Heinrich 事件、Dansgarrd- Oeschger 事件等)对研究古气候、古环境突变，合理评估现今气候状况并做出气候预测具有重要意义。第四纪以来冰盖波动的主导周期发生了明显的变化，中更新世转型期(~1.2-0.6Ma BP)前后的不同气候背景下的千年气候事件可能存在重大差异。研究人员利用石笋、冰芯、湖海沉积等古气候载体对末次冰期以来的众多千年事件进行了深入研究，其中石笋凭借绝对定年和高分辨率等优势在千年事件的起止时间、精细结构、变幅和周期等方面取得了许多重要成果。但是，受到 U-Th 定年极限及洞穴保存能力的限制，目前对于 640 ka BP 以前的石笋记录的千年事件研究仍然很少。本研究利用中国湖北神农架三宝洞石笋，结合 U-Pb 定年结果及北半球高纬度夏季太阳辐射的调谐，

重建了约 600-700 ka 和约 1.4-1.6 Ma 的高分辨率(可达 50 a)古气候序列，对不同气候背景下千年事件的幅度、变率、精细结构等进行对比研究。通过进一步和海洋等不同代表性记录的对比，分析千年事件的特征，以及各区域气候要素之间的区别与联系。本研究有助于增进对千年气候事件的认识，进而理解中低纬水文循环在不同主导周期下可能存在的不同变化特征，便于深入理解全球气候系统的运行机制。

S01-P-24S

CO_2 倍增对东亚夏季风与降水的影响

董曹沂 [1]，张仲石 [1,2,*]

1 中国地质大学（武汉）大气科学系，武汉 430074

2 中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心，北京 100029

* zhongshi.zhang@cug.edu.cn

东亚夏季风是亚洲季风的重要组成部分，其对中国夏季降水的强度，分布型都有重要的影响。本文基于挪威地球系统模式（NorESM1-F）开展 CO_2 倍增的瞬变与平衡态模拟，为我们预测未来东亚夏季风与降水的变化提供了参考。

我们的模拟结果表明，随着 CO_2 浓度的增加，30° N 以北的东亚夏季风增强，30° N 以南的东亚夏季风减弱，风场呈现南北反相型变化。这种反向型风场将导致 30° N 以北黄淮流域和华北地区受到反气旋式环流的控制，水汽辐散增强降水减少；30° N 以南的华南地区受到气旋式环流的控制，水汽辐合增强降水增多。但无论是在前期的瞬变过程中，还是后期的平衡状态下，东亚夏季风总体的强度不变。

通过 EOF 分析发现，CO_2 浓度倍增后中国东部夏季降水的前两模态仍为“三极”和“偶极”模态，但这两个模态的贡献率均下降了 2-6%左右，这可能预示着未来降水空间变异性有所增加。同时，上述模拟揭示的未来东亚夏季风与降水南北反相型变化特征是否足够稳健，仍然值得进一步检验。

S01-P-25S

末次冰盛期以来中国泥炭发育与气候变化

刘慧 [1,2]，吴海斌 [1,2,3*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境重点实验室，北京 100029

2 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049

3 中国科学院生命与古环境卓越研究中心，北京 100044

* haibin-wu@mail.iggcas.ac.cn

泥炭是陆地生态系统碳库的重要组成部分，其发育演化对全球碳循环具有重要的影响。然而，目前轨道时间尺度上中低纬泥炭发育与季风演化关系及其对全球甲烷浓度变化的影响，还存在很大的争议。本研究基于末次冰盛期以来我国泥炭发育的起始年龄数据，通过年龄概率密度方法，系统重建了东亚季风区泥炭发育的时空 演变历史。结果表明：末次冰盛期我国南方泥炭开始发育，冰消期以来泥炭发育逐步扩展至华北、东北、西北和 青藏高原地区，并发育增强；全新世时段，不同区域泥炭发育存在明显的空间差异，东北和西北泥炭发育呈现持 续增加，而南方、华北和青藏高原地区在早－中全新世增加，之后呈现下降趋势。结合全国孢粉记录的古气候定 量化重建结果，发现我国末次冰盛期以来不同区域泥炭发育主要受降水变化的影响，揭示出泥炭发育主要受控于 东亚季风降水的演化。上述表明在轨道时间尺度上，东亚季风演化及其导致的泥炭发育变化对全球甲烷浓度变化具有重要的贡献。

S01-P-26S

过去千年热带火山爆发引起弱厄尔尼诺响应

薛惠鸿[1,2]，史锋[1,3]*，刘威[1,4]，郭正堂[1,2,3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院新生代地质与环境重点实验室，北京 100029
2 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049
3 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044
4 中国地质大学（武汉）地理与信息工程学院，湖北 430074
* shifeng@mail.iggcas.ac.cn

厄尔尼诺–南方涛动（El Niño–Southern Oscillation, ENSO）是全球气候系统内部的最强年际变率，其对过去千年火山强迫响应的敏感性仍存在争议。大多数模式模拟表明火山活动对 ENSO 有显著影响，但不同类型代用记录对火山活动的响应却不尽相同。我们收集整理了全球 192 条代用记录，经过严格质量控制筛选出 46 条多种类型代用记录，给出不同区域代用记录与 ENSO 间气候遥相关关系的空间示意图。并在此基础上，排除年代际以及更长时间尺度气候信号对 ENSO 年际变率提取的干扰，利用最优信号提取法重建了过去千年（1000-1979 年）ENSO 年际变率指数。通过时序叠加方法分析重建的 ENSO 指数，发现不同规模和不同时段的热带火山爆发后一年出现一致类厄尔尼诺响应，尽管其响应程度比较弱。火山爆发后一年的类厄尔尼诺响应得到了模式模拟结果的支持，其物理过程可能与海洋动力恒温器机制有关。本研究在一定程度上调和了 ENSO 对火山爆发响应的模式模拟与记录重建不匹配的矛盾。

S01-P-27S

15 世纪中叶火山喷发对青藏高原和北极温度的年代际影响

刘威[1,2]，史锋[2,3]*，肖国桥[1]，薛惠鸿[2,4]，段安民[5]，效存德[6]，郭正堂[2,3,4]

1 中国地质大学（武汉）地理与信息工程学院，湖北 武汉 430074
2 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境重点实验室，北京 100029
3 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044
4 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049
5 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室，北京 100029
6 北京师范大学，地表过程与资源生态国家重点实验室，北京 100875
* shifeng@mail.iggcas.ac.cn

火山喷发作为过去千年气候变化最强的自然驱动力，对全球气候系统年代际变率的影响越来越受到关注，但由于代用记录重建和模式模拟各自的不确定性而导致两者在火山喷发影响气候年代际变化方面的不匹配，限制了我们理解真实气候变化的物理过程和机制。最近，过去 2000 年全球变化研究网络（Past Global Changes 2k Network，PAGES2k）全球温度重建和国际耦合模式比较计划第五阶段（Coupled Model Intercomparison Project Phase 5，CMIP5）多模式集合平均在 15 世纪中叶的高度吻合为研究这一问题提供了完美的时间窗口，我们基于通用地球系统模式（Community Earth System Model，CESM）过去千年模拟集合，分析了这一时期火山喷发对青藏高原和北极温度的年代际影响。结果发现青藏高原和北极在 15 世纪中叶两次火山喷发事件发生后经历了年代际的降温，而北极冬季年代际降温较青藏高原和北极夏季的幅度更大。进一步的机理分析表明，15 世纪中叶连续火山喷发引起的海洋热含量缓慢恢复是青藏高原和北极年代际降温的主要原因，同时海冰扩张的正反馈也加剧了北极年代际的降温，加之极涡增强阻碍了北半球中低纬向高纬的热量输送，从而导致了北极冬季更强的年

代际降温。这一研究为从数据和模拟融合角度理解和预测青藏高原和北极的年代际气候变化提供了参考。

S01-P-28S

1928 至 1929 年的严重干旱

黎永杰 [1], 张仲石 [1,2]*

1 中国地质大学（武汉）大气科学系，武汉 430074

2 中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心，北京 100029

* zhongshi.zhang@cug.edu.cn

重建和历史文献表明，在 1928 和 1929 年夏季，中国北方和华南地区遭受了严重的干旱。为了研究造成本次干旱事件的原因，我们利用挪威地球系统模式（NorESM）对过去千年进行了模拟并对这两年进行研究分析。模拟结果表明，1928 与 1929 年中国东部季风区旱涝和降水异常具有一致的空间分布。在 1928 年夏季降水集中在长江与黄河之间，而 1929 年夏季降水几种在长江中下游。根据前人研究，中国东部季风区夏季异常降水分布与北大西洋高纬地区的海表面温度异常（SSTA）有关。而在本次模拟的 SSTA 结果中，这两年北大西洋高纬地区以及北美西海岸的 SSTA 偏高，并与重建以及观测资料有较好的对应。进一步的研究表明在 1928 年北美西海岸的 SSTA 激发太平洋-北美型遥相关（PNA）以及北大西洋高纬的 SSTA 激发欧亚型遥相关（EU），导致东亚大槽的加深和西太平洋副热带高压（WPSH）南撤、削弱了东亚夏季风，并最终导致 1928 年的降水异常。而在 1929 年北大西洋高纬地区暖海温异常激发丝绸之路遥相关（SRP），使 200hPa 青藏高原南部出现正位势高度异常，南亚高压加强东伸，导致 WPSH 西伸，最终使得雨带维持在长江流域，中国北方和华南地区降雨减少。

S01-P-29

不同气候要素对末次冰盛期-全新世早期全球人口变化的影响

于严严 [1]*，Feng He[2]，Stephen Vavrus[2]，Amber Johnson[3]，吴海斌 [1,4,5]，张文超 [1]，尹秋珍 [6]，郭正堂 [1,4,5]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

2 University of Wisconsin-Madison, Madison, 53706

3 Truman State University, Kirksville, 63501

4 生物演化与环境卓越创新中心，北京，100044

5 中国科学院大学，北京，100049

6 Catholic University of Louvain, Louvain-la-Neuve, 1348

* yyy@mail.iggcas.ac.cn

在冰期-间冰期旋回上，显著的气候变化对过去人口规模及其空间分布具有决定性的影响。末次冰盛期至全新世，全球人口增长加速，但由于古人口定量重建的缺乏，限制了气候变化对人口演化影响机制的探讨。以往气候变化与人口演化关系的研究主要基于地质记录与考古数据的对比分析，无法反映在大的空间尺度上两者的可能联系。

结合古气候模拟结果(TraCE-21K)和陆地资源模型(MTRM)，本研究尝试模拟了末次冰盛期和全新世早期全球潜在人口数量和密度空间分布，末次冰盛期至全新世早期人口区分布模拟结果与欧洲和中国地区考古遗址点位的分布具有较好的一致性，说明模型能在一定程度上反映人口的空间变化。模拟结果揭示全新世早期全球人口比末次冰盛期增加了约 74 万，其中狩猎和采集人口分别贡献了 40%和 60%。空间上，人口分布范围向北方有显著扩张，增加约 15%的面积，但横贯非洲-亚洲的森林草原带、北美中东部和南美中东部人口增加最显著，南美北部、非洲南部、东南亚群岛和西澳大利亚地区人口有所减少。低纬度地区人口增加主要来源于采集人口，而中高纬度来自狩猎人口。

敏感性分析研究进一步揭示全球人口的增加主要受温度变化的影响，其总体贡献率达 60%以上。中高纬度地区人口变化主要受温度控制，70%以上的狩猎和采集人口变化源于温度变化。低纬度地区人口变化受温度和降水变化的共同控制，其中狩猎人口主要主要受控于降水，而采集人口同时受温度和降水影响。结合区域限制性气候因素和上述结论，古气候要素变化的空间分异可以很好的解释末次冰盛期到全新世早期全球人口时空格局变化。

S01-P-30

中原地区全新世气候变化、人口波动与社会韧性

任小林[1]*，许俊杰[2]，王辉[3]，Michael Storozum[4]，鲁鹏[5]，莫多闻[6]，李拓宇[7]，熊建国[8]，Tristram R Kidder[9]

1 中国科学院自然科学史研究所，北京 100190
2 郑州大学历史学院，郑州 450001
3 中国社会科学院考古研究所，北京 100710
4 Department of Asian Studies, The Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem 91905, Israel
5 河南省科学院地理研究所，郑州 450052
6 北京大学城市与环境学院，北京 100871
7 首都师范大学学报编辑部，北京 100048
8 中国地震局地质研究所，北京 100029
9 Department of Anthropology, Washington University in St. Louis, MO 63130, USA
* xlren@ihns.ac.cn

Archaeologists and palaeoclimatologists have focused on the impact of climate on the prehistoric civilizations around the world; however, social resilience in the face of the climate change remains unclear, especially during the Neolithic and Bronze Age in the Central Plains of China (CPC). In this paper, we present palynological results from the Dahecun Core, Henan Province, China. Our pollen data indicate a warm and wet climate condition from 9200 to 4000 cal BP, which then switches to a cool and dry climatic condition during the Neolithic-Bronze Age transition (~4000–3600 cal BP). We analyze ^{14}C dates from archaeological sites to demonstrate four episodes of population increase and present vegetation dynamics, determined from available pollen data, to provide evidence for the synchronous shifts in vegetation and human population during the Neolithic. Our results indicate that the aridification in the early Bronze Age did not cause population collapse, highlighting the importance of social resilience to climate change. The pollen, radiocarbon dates and archaeobotanical records from the CPC provides new evidence that supports the claim that the development of agriculture and complex societies, under the stress of a dry climate, set the stage for the dramatic increase of human population around 3800–3400 cal BP.

S02-O-01

河流 Mo 同位素组成时间变化机理研究

王志兵*，李杰，马金龙，韦刚健

1 中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640
* wangzhibing@gig.ac.cn

Mo 同位素是反演地质时期全球海洋缺氧程度和规模重要的代替指标，如海洋 Mo 同位素组成降低或者升高暗示了地质时期海洋缺氧规模在扩大或者收缩，然而这种应用模型严重忽略了气候环境变化对海洋 Mo 同位素组成影响，其主要通过调节陆地向海洋输入 Mo 同位素组成。因此，量化气候环境对陆地向海洋输入和海洋 Mo 同位素的影响程度有助于我们利用海洋 Mo 同位素精确限定地质时期海洋缺氧程度和规模。调查现

代河流系统 Mo 同位素组成时间变化特征是量化气候环境效应的重要途径。

基于此，我们对中国珠江三大支流（西江、北江、东江）进行定点（高要、清远、博罗）进行连续两年的河流 δ^{98}Mo 时间序列观测，探讨河流 Mo 同位素组成在时间尺度上（季节变化）变化特征及其如何响应气候环境变化。结果显示珠江三大支流在时间尺度上（季节变化）具有显著变化，从 1.05‰到 1.60‰，具体而言，东江博罗站位水体 δ^{98}Mo 变化范围幅度为 0.55‰，北江清远站位为 0.38‰，西江高要站为 0.56‰。同时，发现珠江三大支流 δ^{98}Mo 变化规律与温度呈现相反的特征，即温度高河流 δ^{98}Mo 具有偏低的特征，而温度时其具有偏高的特征，这种现象也在世界其它重要河流观察到。通过对比水体化学和物理参数，我们初步得出受控于温度驱动的岩石化学风化调控河流水体 Mo 同位素组成时间变化特征，而颗粒物吸附和解吸附以及流域基岩溶解释放作用很小。这种温度效应可能会通过改变河流向海洋输入 Mo 同位素组成，进而影响海洋 Mo 同位素组成。为此，通过汇编世界几大河流 Mo 同位素时间变化数据，我们初步估算全球河流 Mo 同位素组成随温度变化幅度。依据河流随温度变化幅度，我们评估了温度变化对三个重大地质历史事件时期（如 P-T 界面、早侏罗时期、以及 PETM）海洋 Mo 同位素组成影响程度，前人往往将这个三个时期海洋 Mo 同位素组成变化归因于海洋氧化还原条件变化。模拟结果显示，由温度变化产生的海洋 Mo 同位素变化幅度能够部分解释这三个时期海洋 Mo 同位素变化幅度，暗示了在利用海洋 Mo 同位素反演海洋缺氧规模时需要扣除温度变化的影响。该项研究有助于我们精确量化气候环境变化对海洋 Mo 同位素组成影响程度和精确反演地质时期海洋缺氧历史和规模具有重要的意义。

S02-O-02

沉淀过程中的镓同位素分馏

袁玮[1]，陈玖斌[1]*，Jacques Schott[2]

1 天津大学地球系统科学学院，天津 300072

2 Géoscience Environnement Toulouse, CNRS (UMP 5563)-OMP-Université Paul-Sabatier, 14, Avenue Édouard Belin, 31400 Toulouse, France

* jbchen@tju.edu.cn

近年来，锶、锂、钙、镁、硅和钾等众多同位素体系被证明是研究地表风化过程的有效示踪剂。由于每个同位素体系都有其自身性质的局限性，因而需要多同位素方法来更好地约束地表风化过程。近年发展起来的镓稳定同位素在地表风化研究中具有巨大潜力。镓在自然界中只以正三价态存在，因此不受氧化还原过程的影响。同时，镓并不是大多数生物体必需的营养元素，与许多其它元素（如锌、铜、铁等）不一样，受生物作用的影响较小。更为重要的是，因地表广泛分布的硅酸盐矿物重要组成元素铝仅有一个天然稳定同位素，镓作为与铝化学性质最为相似的元素，其同位素研究有助于判定铝的地球化学性质，为探索地表风化过程提供新信息。

我们对风化剖面土壤镓同位素的研究表明，在风化过程中镓同位素发生显著分馏，且轻的镓同位素被优先保留在风化残留物中，但其产生机制还需要进一步的理论和实验验证（如，矿物溶解、沉淀等）。在风化过程中，矿物溶解、沉淀、吸附和生物吸收等过程往往会导致显著的同位素分馏。我们前期已开展了典型矿物吸附过程中的镓同位素分馏研究，发现镓在溶液和固体表面之间的形态改变会产生显著的同位素分馏。然而，沉淀等其他特定地质过程中的镓同位素分馏研究尚未开展。鉴于此，我们在前期建立镓同位素组成分析方法基础上，开展了镓在沉淀过程中的同位素分馏研究。结果表明，沉淀过程产生显著的镓同位素分馏，并且轻的镓同位素会优先进入沉淀矿物中。

S02-O-03

花岗闪长岩风化过程中稳定 Sr 同位素体系的变化特征及控制机理

苏妮*，吴舟扬，杨守业，徐娟

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* nsu@tongji.edu.cn

尽管全球河流放射成因和稳定锶同位素（$^{87}Sr/^{86}Sr$ 和 $\delta^{88/86}Sr$）组成研究已有较多报道，稳定 Sr 同位素在硅酸盐岩风化过程中是否分馏及其控制机理一直没有得到有效的约束。本研究分析了中国东南部福建省莆田市华亭镇长约 1 m 的花岗闪长岩球状风化壳的矿物、元素及 Sr 同位素组成，以此了解化学风化过程中放射成因和稳定 Sr 同位素体系的变化特征及控制机理。伴随着原生矿物（如角闪石、黑云母、斜长石）的显著溶解，剖面下部（40~80cm）$\delta^{88/86}Sr$ 值变化可达 0.41‰。剖面上部（10~40cm）随着高岭石丰度的增加，$\delta^{88/86}Sr$ 值仅发生微弱变化（0.06‰）。利用顺序提取技术分离出 Sr 的不同化学相态表明，Sr 主要赋存在硅酸盐组分中（占全岩样 Sr 总量的 95%以上），$\delta^{88/86}Sr$ 值为-0.19‰～0.25‰，与全岩样品的值非常接近（-0.18‰～0.29‰）。非硅酸盐组分（酸溶态、可还原态和可氧化态）仅含有少量的 Sr（占全岩样 Sr 总量低于 5%），$\delta^{88/86}Sr$ 值为 0.11‰～0.48‰，明显高于全岩样品的值，说明其继承了风化反应过程中流体相的 Sr 同位素组成。对母岩进行弱酸淋滤实验表明，淋滤液中 Sr 主要来源于黑云母和斜长石的溶解。渗滤液的 $\delta^{88/86}Sr$ 值明显高于残余固体（$\Delta^{88/86}Sr_{leachate\text{-}residue}$ 高达 0.42‰），表明硅酸盐风化过程中具有较高 $\delta^{88/86}Sr$ 值的原生矿物优先发生溶解。通过与经典的化学风化指标（如 CIA、WIP）的比较，我们认为 $\delta^{88/86}Sr$ 可作为研究硅酸盐风化机理的一种新的替代指标。

S02-O-04

Seasonal and spatial variations of stream water chemistry in the Yellow River on Chinese Loess Plateau: linked to the East Asian summer monsoon

Long Ma [1, 2, *], Kang-Jun Huang [1, *], Zhao Jin [2], Zhangdong Jin [2], Zhiqi Zhao [3], Honglin Yuan [1], Zhian Bao [1], Youbin Sun [2]

1 State Key Laboratory of Continental Dynamics, Shaanxi Key Laboratory of Early Life and Environment, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

2 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

3 School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China

* malong@nwu.edu.cn, hkj@nwu.edu.cn

The dissolution, transportation and deposition of river solute extensively influence the geochemical cycle, global climate change and ecosystem evolution. However, the sources and controls of the river water solute have not reached an agreement, such as in the fifth longest river in the world, i.e., the Yellow River. Unlike previous studies on tributaries and main channels of the Yellow River, we first daily investigated nature catchments in wet and dry seasons on central (site Xifeng) and northern Chinese Loess Plateau (site Yan'an), in addition with rain water samples and a tiny soil section. Mg and Sr isotopes were used in this study for their clearly dissimilar in potential sources of riverine solute; meanwhile elemental concentrations (Na, Mg, Ca, K, Sr) were analyzed. Our results show that at site Xifeng, the stream water has a narrow range of $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios with a mean value of 0.71109; and it has an average $\delta^{26}Mg$ value of -1.37‰ in dry season and -1.22‰ in wet season.

Moreover, at site Yan'an in dry season, $\delta^{26}Mg$ is -1.24‰ in stream water, -1.16‰ in evaporite (Halite, Thenardite, Bloedite) and -2.15‰ in calcite of the soil. The feature of both Sr and Mg isotopic compositions in stream water are different to that of Chinese loess silicate but close to that of evaporite and carbonate, consistent with the comparisons of their mineral compositions and elemental ratios (Na/Ca, Mg/Ca, and Sr/Ca). As mass-balance calculated, evaporite contributes more solute (~72%) to the stream water than that of carbonate (~22%) and silicate (~4%). Their relative contributions show seasonal and spatial variations. First, on time-series at site Xifeng, wet season has lower contribution from silicate and carbonate but higher contribution from evaporite than that of dry season. This is resulted from differential weathering of dissimilar minerals and the seasonal variations of East Asian summer monsoon (EASM) on runoff and temperature. Second, stream water from the northwest part (e.g., site Yan'an) has higher contribution from evaporite but lower contributions from carbonate compared to that in southeast part (e.g., site Xifeng). Such spatial variation is caused by the change of EASM intensity on the loess pedogenesis. Besides, after compared the hydrochemistry in stream water to that of tributaries and main-channels of the Yellow River, it indicates that modern evaporite weathering largely occurs on loess catchments, while modern carbonate and silicate weathering mainly happened after the Chinese loess was eroded as riverine suspended solid in the tributaries.

S02-O-05

花岗岩风化初期阶段的 Li 同位素地球化学行为

张俊文[1,2]，赵志琦[1]*，刘丛强[2]

1 长安大学地球科学与资源学院，西安 710054

2 天津大学地球系统科学学院，天津 300072

* zhaozhiqi@chd.edu.cn

岩石风化过程中锂（Li）及其同位素行为的研究可以为 Li 同位素示踪大陆风化和地球关键带研究提供基础理论和重要依据。基于花岗岩风化初期矿物差异风化过程会显著的影响元素分异及同位素组成，选择青藏高原东缘风化强度低的花岗岩风化壳为主要研究对象，分析了风化壳样品的矿物组成、主微量元素和 Li 同位素组成（δ^7Li 值），以及原岩中单矿物的 Li 含量和 δ^7Li 值。结果显示，该剖面处于以黑云母风化为主的初期阶段，Li 发生明显亏损并伴随显著的同位素分馏（亏损 ^{7}Li）。单矿物数据结果表明，Li 主要赋存于黑云母中，因此，黑云母风化过程 Li 明显淋失。分析认为，由于黑云母层间结构相较于晶体结构富集 ^{7}Li 且层间结构的 Li 较晶体结构淋失速率快，导致黑云母风化过程 Li 同位素显著分馏。本研究发现花岗岩风化初期黑云母非化学计量溶解倾向于淋失 ^{7}Li 可能是其同位素分馏的主控因素，研究结果为构造活动与海洋 Li 同位素组成演化的耦合关系提供了重要支持证据。

S02-O-06

基于锂同位素探讨青藏高原东部风化过程季节控制机制

马婷婷，李思亮*，钟君，刘丛强

1 天津大学地球系统科学学院，天津 300072

* siliang.li@tju.edu.cn

为了评价季风气候和水文条件对硅酸盐风化作用的影响，本研究对长江最大支流之一—雅砻江进行为期一年的采样，特别是在季风季节对该河流进行了高频采样，并对采集的水样进行主、微量元素和 Li 同位素组成分析。结果表明，雅砻江出口溶解态锂同位素组成(δ^7Li)呈季节性变化（从+12.2‰到+19.5‰）。在非季风季节期间，溶解态 δ^7Li

值较低(聚集在+13.0‰左右)，是由于有限降水阻碍了土壤和粘土矿物的形成以及浅层地下水补给河流（地下水停留时间较短，其δ^7Li 较低，风化作用较弱)所导致的。与非季风季节期间相比，季风季节溶解态 δ^7Li 值(+13.5‰~+19.1‰)相对偏高且呈现出较大范围的变化。雅砻江溶解态 δ^7Li 值的季节变化反映了次生矿物对 Li 吸收比例的变化（中等流量下(~4000m^3/s)次生矿物对 Li 的吸收要高于低、高流量(<4000m^3/s 或>4000m^3/s)）。溶解态 δ^7Li 值与 SWR/D 比值(SWR 为硅酸盐风化速率，D 为总剥蚀速率)呈负相关关系，表明从非季风季节到季风季节风化强度呈递减趋势，这指示了在高硅酸盐风化强度下供应受限风化机制向中等硅酸盐风化强度下动力学受限风化机制的转变。物理侵蚀速率(PER)、溶解 Li 通量、SWR 与流量的正相关关系以及溶解 δ^7Li 值、流量和 PER 之间的相关关系，表明了水文变化对 PER、溶解 Li 通量、SWR 和溶解态 δ^7Li 值变化发挥着重要作用。当流量小于 4000 m^3/s 时，溶解 δ^7Li 值与流量和 PER 之间呈现正相关关系（高的溶解态 δ^7Li 值对应着高的流量和 PER）。在供给量有限的风化条件下，硅酸盐风化受控于侵蚀物质的提供。随着流量的增加，供给的侵蚀物质增加，次生矿物的形成及其对 ^{6}Li 的优先富集增多，导致溶解态 δ^7Li 值随着流量和侵蚀速率的增加而升高。而当流量大于 4000 m^3/s 时，溶解 δ^7Li 值与流量和 PER 之间呈现负相关关系。随着流量的增加，流经时间较长的地下慢速流动路径转变为流经时间较短的近地表快速流动路径。由于固体在地表的停留时间变短（短的水-岩反应时间），高侵蚀速率限制了土壤的形成和粘土矿物的沉淀，该环境处于动力学受限的风化状态。随着流量的增加，次生矿物生成较少及其对 ^{6}Li 吸收减少，导致溶解 δ^7Li 值随之降低。这些结果表明，水文变化是控制雅砻江流域溶解态 δ^7Li 值随时间变化的主要因素。总体而言，这些发现突显了青藏高原硅酸盐风化过程对水文变化和季风气候的季节性敏感响应。

S02-O-07

黄河中游河水镁同位素季节变化：源和分馏

苟龙飞[1]，金章东[2]*

1 成都理工大学地球科学学院 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室，成都 610059

2 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪国家重点实验室，西安 710069

* zhdjin@ieecas.cn

化学风化被认为是地表最重要的地球化学过程之一，在百万年的时间尺度上通过移除大气中的二氧化碳来调节地表的温度。为了评估化学风化中和大气 CO_2 的能力，需要对化学风化速率和强度进行精确定量。硅酸盐岩中的 Mg 和 Ca 是化学风化中最重要的两个阳离子，直接结合大气二氧化碳，并在地质时间尺度上将其固定入碳酸盐岩。鉴于 Mg 是硅酸盐和碳酸盐的主要元素，但二者之间具有迥异的 Mg 同位素值，理论上是评估碳酸盐岩和硅酸盐岩风化过程的敏感示踪剂。主要火成岩具有相对均一的 Mg 同位素组成，且高温岩浆作用及过程基本不引起 Mg 同位素分馏。相反，地表过程（特别是化学风化）作用引起了巨大的 Mg 同位素分馏。因此，使用 Mg 同位素直接量化化学风化过程中碳的移除可以降低不确定性。

为了量化气候要素在使用 Mg 同位素示踪化学风化中所扮演的角色，2013 年，我们在黄河中游系统采集了每周一次的全年时间序列样品，通过测量高精度的 Mg 同位素，结合淋滤实验数据。研究表明，在黄河流域的干旱到半干旱地区，Mg 主要来源于硅酸盐和碳酸盐。黄河中游蒸发岩对河水 Mg 的贡献很有限（<7%）。Mg 同位素组成的季节变化主要受固相移除和水文及其相应的滞后过程控制。固相移除可以稳定的使河流 Mg 同位素保持在~1.05‰，而极端水文事件（风暴事件）可以在陆壳尺度引起河水 Mg 同位素的降低（~0.2‰）。季风降水暂存于疏松多孔的黄土中，其响应时间约为 3 个月。

未观察到冰冻、融化、浊度、温度等影响河水 Mg 同位素的组成。在大陆尺度上，河水 Mg 同位素组成对极端水文条件（即暴雨事件）敏感，相应的滞后表明阳离子交换过程在较短时间尺度上不分馏 Mg 同位素。本研究表明，大陆尺度上的 Mg 同位素对水文作用引起的化学风化动力学变化具有特殊的示踪能力。

S02-O-08

深时硅质碎屑组份镁同位素组成的控制因素：对于镁同位素风化指标的验证

黄天正[1]*，沈冰[1]，黄康俊[2]，甯檬[1]，李超[3]，孙元林[1]，黄宝琦[1]，薛进庄[1]，朱光有[4]

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871
2 西北大学地质学系，西安 710069
3 中国地质科学院铼锇同位素地球化学重点实验室，北京 100037
4 中国石油勘探开发研究院，北京 100083
* tzhuang@pku.edu.cn

由于硅酸盐镁同位素在风化过程中呈现出随风化强度增加而变重的趋势，硅酸盐镁同位素曾作为化学风化指标。但是，随着对于风化过程中镁同位素分馏机理的深入研究，在次生黏土矿物形成过程中富集重镁同位素的分馏机理受到挑战。一方面，实验研究表明形成次生黏土矿物产生的镁同位素分馏的方向和大小随黏土矿物种类和环境因素而变化。另一方面，对于现代风化剖面的观测表明风化过程中镁同位素分馏受到岩性、形成次生黏土矿物种类和孔隙水镁同位素组成等复杂因素影响。由于矿物、岩性、环境等因素对于镁同位素分馏有着不可忽视的影响，实验和风化剖面观测难以确定什么因素控制了大陆风化过程中的镁同位素分馏。我们采取深时硅质碎屑组分作为大陆风化的整体记录，测试了泥盆-石炭纪剖面（度里剖面和下达剖面）的矿物，主量元素和镁同位素组成。度里剖面样品硅质碎屑组份镁同位素组成在+0.47‰至+0.76‰之间，平均值为+0.61‰，而下达剖面样品硅质碎屑组份镁同位素组成在+0.37‰至+0.52‰之间，平均值为+0.43‰。两个剖面的含镁矿物都为伊利石，但镁同位素组成有约 0.2‰的系统性差异。由于两个剖面的地理位置十分接近且地层可对比，镁同位素的系统性差异并非由于矿物组成、物源或环境因素造成。矿物、化学蚀变指数（CIA）和镁损失量与镁同位素的相关分析表明与度里剖面相比，下达剖面样品化学风化强度更弱，镁损失量更少，但是镁同位素组成更重。深时样品镁同位素与镁损失量的关系呈现出与现今辉绿岩脉风化剖面顶部残余土相近的趋势：残余土中镁从上向下淋滤，造成土壤层底部镁富集和镁同位素突然变重，土壤层中随风化强度增大镁含量减少，镁同位素变轻。深时样品碎屑组分镁同位素组成由化学风化过程和剥蚀过程共同控制，通过矿物组成和镁损失量可以识别出剥蚀强度对于镁同位素指标的影响，还原化学风化信息。

S02-O-09

晚二叠纪大陆风化之谜-锂同位素证据

曹程[1,2]*，Clement Bataille[3]，Xiao-Ming Liu[2]，宋海军[4]，Mathew Salzman[5]，Kate Tierney Cramer[6]，吴怀春[7]，张兆丰[8]，Christoph Korte[9]

1 南京大学地球与工程科学学院，南京 210093
2 北卡罗莱纳大学教堂山分校，美国北卡州，27514
3 渥太华大学，加拿大渥太华
4 中国地质大学（武汉）地质科学学院，武汉，430074
5 俄亥俄州立大学，美国俄亥俄州
6 爱荷华大学，美国爱荷华州
7 中国地质大学（北京）海洋学院，100083
8 成都理工行星科学国际研究中心，610059
9 哥本哈根大学，丹麦哥本哈根

* chengcao@nju.edu.cn

晚二叠纪生物大灭绝导致了约 80%的海洋和陆地生物消失，有假说提出西伯利亚大火成岩省的形成导致大陆风化速率迅速增强，从陆地向海洋输入大量的营养物质导致海水富营养化和海洋酸化，进而引起海洋缺氧，导致生物大灭绝。传统的 Sr 同位素指标在指示大陆风化速率时通常受到碳酸盐岩风化的干扰。对比 Sr 同位素，Li 主要来自硅酸岩，在化学风化过程中同位素分馏显著，可以更有效地指示硅酸岩风化。本研究选取了晚二叠纪-早三叠纪四个剖面（上寺，朝天，峡口，上岗）的灰岩样品。通过分步淋滤提取，用醋酸提取的碳酸岩组分重建了生物大灭绝前后的海水 Sr，Li 同位素。结果显示，上寺剖面灰岩记录的 Li 同位素在二叠纪末生物大灭绝事件前五个百万年快速下降了 12‰，在 253Ma 附近达到 0‰。Li 同位素下降时间点远早于西伯利亚大火成岩省形成。而同期 Sr 同位素已达到二叠纪最低值且几乎保持稳定。朝天剖面的结果显示，Li 同位素在生物灭绝带前后呈持续下降趋势，变化范围为 0-7‰。在生物灭绝前后 Sr 同位素没有发生显著变化，范围为 0.7072-0.7074。峡口剖面同样记录了二叠-三叠边界的极低 Li 同位素值，0-4‰附近。Sr 同位素由 0.7074 降低至 0.7072，在生物灭绝带达到最低值，而后上升到 0.7076。上岗剖面 Li 同位素先下降，到二叠纪-三叠纪边界达到最低值 0‰，而后快速上升，在整个早三叠稳定在 5‰附近。Sr 同位素在该时期快速上升。综合四个剖面的高精度 Li，Sr 同位素记录，以及质量模型得出，晚二叠纪海水 Li 同位素的剧烈下降并不是由大陆风化速率加强引起的，该时期的大陆风化速率依旧较低。Li 同位素的快速下降和早三叠纪极低的同位素值与世界范围内多剖面的海水硅质岩层缺失相吻合，指示了该时期可能发生了剧烈的反风化作用，引起海水酸化，可能导致生物大灭绝的新机制。

S02-O-10

古元古代大氧化事件期间大陆化学风化变化特征

马星宇，罗根明*

1 中国地质大学（武汉），武汉，430074

* gmluo@cug.edu.cn

大陆化学风化可以消耗大气中的 CO_2，又向海洋中输送营养盐作用于海洋表层初级生产力，进一步影响大气 pO_2 和 pCO_2，是地球表层环境演化的主要动力。因此，重建地质历史关键时期大陆化学风化的变化过程对深入认识地表生物与环境相互作用的机理具有重要意义。古元古代早期地球表层环境发生了重大变化，如，大氧化事件及全球性的冰期事件等。目前对于这些事件的促发机制及两者之间联系的认识还不太清楚。重建古元古代早期高分辨率的全球性大陆化学风化强度演化特征是解决这些问题的重要切入点。

细粒碎屑岩的化学蚀变指数（Chemical Index of Alteration，CIA）是重建地质历史时期大陆化学风化强度的主要手段。本报告收集了前人发表的太古宙晚期-元古宙早期陆源碎屑岩主量元素数据，通过对数据集的筛选和大数据分析，利用化学蚀变指数重建了大氧化事件前后高分辨率的大陆化学风化强度变化过程。初步结果显示，太古宙中晚期到古元古代晚期，CIA 平均值整体上呈逐渐下降的趋势，这一转变的发生与大陆上地壳成分从镁铁质向长英质的演化过程比较一致，表明大陆化学风化作用可能主要受控于大陆上地壳成分的演化。在这一总体下降的过程中，CIA 平均值还存在次一级的变化特征，即古元古代早期 CIA 平均值的突然升高，可能对应于该时期发生的大氧化事件。上述结果表明，古元古代早期大氧化事件期间可能发生了脉冲式化学风化增强事件，这一事件发生在雪球地球事件之后，可能代表了雪球地球解冻之后强烈的化学风化。

S02-O-11

末次冰消期以来黄土高原的输沙变化和人类活动效应

安宇[1]，范念念[1]*，王均平[2]，王成善[3]，刘兴年[1]

1 四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室，成都 610065

2 首都师范大学资源环境与旅游学院，北京 100048

3 中国地质大学（北京）地球科学学院，北京 100191

* fannian7172@126.com

黄土高原是世界上水土流失最严重的地区，自然与人为因素对黄土高原的侵蚀作用仍不明确。永定河为仅次于黄河，流经黄土高原的第二高输沙河流，华北克拉通结晶基底及第四纪黄土占据了流域内多数地区。因此，厘定永定河泥沙中黄土基岩的各自比例变化，对于理解黄土高原的侵蚀规律有指导意义。

文章以永定河中游官厅峡谷古洪水剖面为研究，该剖面记录了 17.8ka～公元 1939 的多次古洪水事件，利用碎屑锆石年龄及 Sr-Nd 同位素测定古洪水沉积、基岩及黄土的特征信息。测定结果表明，自 17.8ka 来永定河泥沙中黄土的比例在持续下降，在 1.0ka 却突然上升，随后黄土比例回落到自然趋势。结合永定河的输沙变化，我们认为，末次冰消期以来，自然背景下的黄土高原侵蚀在逐渐减弱。而自 1.0ka 以来，强烈的人类活动加剧了黄土的侵蚀，然而人为影响造成的侵蚀增加在数百年时间尺度内又回落到自然趋势。

S02-O-12

沉积物 Hf-Nd 同位素变化记录的长江流域的气候变化、风化过程和古代文明演化

高秦，厉子龙*

1 浙江大学海洋学院，舟山 3016021

* gaoqin-dream@zju.edu.cn

大河流域一直是硅酸盐风化作用、气候变异性与古代文明起源研究的核心区域，但是在不同时空尺度上，这三类的的关系仍然十分模糊。三角洲、河口湾的沉积记录是整个流域的在多圈层作用下的均衡结果。对杭州湾和长江口岩芯沉积物进行了 Hf-Nd 同位素和元素组成研究，同时结合全球河口沉积的 Hf-Nd 同位素数据，探索河口、三角洲沉积物的 Hf-Nd 同位素作为气候变化，地表风化，人类活动的多圈层耦合的指标可行性。

杭州湾和长江三角洲沉积物的 Hf-Nd 同位素解耦揭示了长江流域在气候作用下风化强度，Hf 同位素和沉积碎屑主量元素组成特征暗示了长江或者其他大河流域的风化不能用传统的硅酸盐风化与气候的关系来解释，但发现钱塘江或者其他浙闽一带的风化过程可以用硅酸盐与气候的关系（风化指数 CIA）来耦合。利用全球不同气候下的河口沉积物 Hf 同位素数据，建立晚更新世以来华南气温变化与 Hf 同位素变化控制的关系，重建晚更新世以来长江流域温度变化，反演的结果与不同参数反演的长江上、中、下游，南海北部、的温度变化吻合度很高，反映了亚洲季风的变化，识别出长江流域在 10900 Cal-yr-BP 到 9000 Cal-yr-BP，8100 Cal-yr-BP 到 7900 Cal-yr-BP，4600 Cal-yr-BP 是三个历史暖期。同时，沉积物中的 Hf-Nd 同位素表明，长江流域气候温暖湿润时，上游物质产生大量碎屑，并被径流直接带到中下游，碎屑中金属元素利于作物的生长，长江流域的风化使得整个流域逐渐宜居。同时，Hf-Nd 同位素的变化也响应着长江流域两千年以来强烈的人类活动。

S02-O-13

青藏高原隆升影响全球变化的季风视角

杨一博*，方小敏

1 中国科学院青藏高原研究所，北京 100871
* yanygibo@itpcas.ac.cn

青藏高原隆升、亚洲季风演化和新生代全球变冷的关系是构造-气候领域最引人注目的科学问题之一。自上世纪八十年代末Raymo等提出“构造-风化”假说后，普遍认为青藏高原隆升主要通过加强印度-亚洲板块碰撞带的硅酸盐风化和有机碳在南亚孟加拉扇的有效埋藏影响全球碳循环。然而，喜马拉雅-青藏高原隆升也可以通过强化东亚季风来增加季风降水从而促进东亚地区硅酸盐风化和/或有机碳埋藏，进而影响全球变化。

基于此青藏高原隆升对全球变化影响的季风视角，发生在渐新世-中新世之交的亚洲气候重组伴随着东亚季风北向推进到中国亚热带地区将是一个重要的大气 CO_2 消耗过程。本研究计算了这次气候重组通过加强中国亚热带地区硅酸盐化学风化导致的长期大气 CO_2 消耗为 $0.06\sim0.87\times10^{12}$ mol yr^{-1}，并且其中约 50%的贡献来自于 Mg 硅酸盐风化。有机碳埋藏导致的大气 CO_2 消耗约为同时期硅酸盐风化的 25%。结果强调了中国东部富 Mg 上部大陆地壳风化对于渐新世全球大气 CO_2 含量下降和新近纪海水 Mg 含量增加的显著影响。本研究进一步针对晚中新世约 7 百万年前全球海表温度开始快速下降，但代用指标重建的大气 CO_2 含量却未同时降低的争议难题，在位于东亚季风区的临夏盆地和黄土高原东部获取了两条陆源沉积的粘土矿物记录，重建了约一千两百万年以来的季风区硅酸盐风化历史。结果揭示了约 7-9 百万年东亚季风区存在季风降水驱动的硅酸盐风化加强，导致长期大气 CO_2 净消耗介于 $0.18\text{-}1.8\times10^{11}$ mol yr^{-1} 之间，并可能驱动了约 7 百万年开始的全球快速降温和北半球冰川作用。

如果上述发生在东亚季风区的气候转型主要与青藏高原隆升有关，那么有别于前人对构造活跃的印度-亚洲板块碰撞带的关注，本研究揭示了喜马拉雅-青藏高原的生长也通过改变构造欠活跃的东亚地区水循环格局对全球变化施加重要影响。该机制凸显了东亚季风区硅酸盐风化作为驱动全球变化的主要碳消耗过程，为深入认识青藏高原隆升、亚洲季风环流和全球变化的内在耦合过程提供了新视角。

S02-O-14

大地震对地表过程的影响及机制

张飞*，金章东，汪进

1 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061
* zhangfei@ieecas.cn

自从 Molnar 和 England（1990）提出，在地质时间尺度上，气候变化和构造活动是“鸡，还是蛋”的问题以来，到底是“气候变化”，还是“构造活动”，主导着地表侵蚀和沉积物的搬运？一直是地球科学领域研究的前沿和难点。为了有效区分“构造”和“气候”在地表侵蚀过程中的作用，我们以 2008 年汶川特大地震作为构造事件的典型代表，2016 年在震中下游水深 103 米的紫坪铺水库获取了累积深度达 50 多米的沉积岩心，首次在国际上通过一年两次磁化率旋回将岩心精确定年到年分辨率，从而可以将超高分辨率（74 cm/年）的震后沉积记录与实际监测的水文气象数据一一精准对应，进一步成功量化了大地震背景下，气候与侵蚀速率的关系。研究结果发现尽管特大地震可以产生巨量的松散碎屑物质，但是并不直接产生侵蚀速率的立即增加，反而表现出了地震信号两年的滞后，季风气候强度变化真正决定了碎屑物的输出效率。该研究逆转了以往的认识-即构造事件会立即产生侵蚀速率的急剧增加，并解译了气候变化强度在侵蚀过程中的关键作用，这对于评估长期以来激烈争论的“气候”或者“构造”控制理论提供了现代过程的直接证据。

S02-O-15

汶川地震滑坡物质震后运移研究及探讨

王伟[1]*，刘静[1,2]，Vincent Godard[3]，王文鑫[2]

1 中国地震局地质研究所，地震动力学国家重点实验室，北京 100029

2 天津大学，地球系统科学学院，天津 300072

3 Aix-Marseille University, CEREGE, France

* wangwei411@126.com

滑坡作为活动造山带一种非常重要的地表侵蚀过程，极大影响着浅部基岩的风化和运移 ，同时也会导致大量植被的破坏和颗粒有机碳的剥蚀。强震产生的同震滑坡具有密度高、强度大等特点，在区域上所造成的剥蚀和风化通量可以达到正常情况下的几倍至几十倍，研究这些滑坡物质在震后的运移和沉积对于认识强震在地表侵蚀、地貌演化和物质运移和循环等方面具有重要意义。2008 年 M_W 7.9 汶川地震在龙门山地区引发了巨量的同震滑坡，为研究强震同震滑坡的震后物质运移提供了非常难得的自然试验场。震后，我们对滑坡发育区的河流现代河沙进行了多期次的定点 ^{10}Be 浓度测量，据此获得了震后河沙（0.25-1 mm）通量随时间的变化。与水文站获得的悬浮物结果一致，我们的结果显示震后河沙通量较震前显著升高，其程度与流域内同震滑坡发育面积密切相关；早期河沙运移量主要受河流运移能力控制，随着时间的推移和碎屑物质的减少，河沙运移量转变为受物源控制并逐渐降低恢复至震前水平；河沙通量预计会在几年-几十年内恢复到震前水平；大量的滑坡物质仍停留在边坡并逐渐稳定下来，这部分物质在未来的很长一段时间内会影响着龙门山地区的地表侵蚀过程和物质循环。

S02-O-16

地表基质层的科学内涵及重点研究方向

殷志强[1]*，卫晓锋[2]，李霞[1]

1 中国地质环境监测院，北京 100081

2 北京矿产地质研究院，北京 100012

* yinzhiqiang@mail.cgs.gov.cn

2020 年 1 月，自然资源部印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》，方案创新性提出了地表基质层的概念，强调地表基质是地球表层孕育和支撑森林、草原、水、湿地等各类自然资源的基础物质，是多门类自然资源之间相互作用和密切联系的纽带和是“山水林田湖草沙”生命共同体的形成基础。因此查清地表基质层的时空展布特征及与生态要素（森林、草原、湿地等）的相互耦合制约关系，圈定宜林宜草等国土空间开发的适宜区域，回答全国未来植树造林在哪里造，选什么种（即退耕还林还草应选什么树、草种类）？怎么造（即选择何种符合当地气候土质条件、能自我繁殖、有可持续能力的植被群落结构）？这将对国家粮食生产、国土空间科学规划、生态保护修复、“碳达峰碳中和”等目标的实现具有重大科学意义。

1.地表基质层的科学内涵

地表基质层位于地球表层，其由自然过程形成的天然岩石、半固结岩石、第四纪沉积物和风化残积物及其在表土母质基础上发育形成的土壤层等，是地表覆盖层和陆表生物圈的承载体，其空间范围自地面开始，穿过土壤，一直延伸至基岩顶部或包气带的底部，是地球五大圈层相互作用的主要发生区域。也是包气带水气液转换、地球化学循环、碳氮循环、土壤温室气体吸收与生成、盐类物质淋滤淀积、冻土层形成变化、侵蚀与沉积作用的发生地，更是人类土地利用与管理的主要对象。因此，这一区域的地质母质决定了地球关键带各种过程中生物地球化学及水文循环、能量交换的特点，也决定了地表覆盖层生态系统的本底特征。

地表基质层影响着地表覆盖层（生态系统）的形成演化过程和稳定性，其特征可以用其物质组分、母质物源、成因过程、发育

时代、空间分布和垂向结构等多种属性来描述刻画。

2.地表基质层未来研究重点方向

依据地表基质支撑服务农业生产、生态保护和碳储碳汇的目标定位，未来的地表基质层调查研究主要集中在以下3个方面：1）开展地表基质层与地表覆盖层的本底特征、利用状况、约束关系调查和生态效应研究，评价全国、大流域和重点地区地表基质类型宜林、宜草、宜耕生态功能和适宜性，从空间格局演变和地质剖面结构两个层次理清地表基质与自然资源和生态环境的相关作用关系。2）基岩山区风化壳精细化调查，其是山区水土流失和地质灾害防治，高标准农田整治、梯田修建的物质基础，也是未来农田占优补优可考虑的方向。3）地表基质层的类型、理化性质和表生地质作用过程与生态要素空间展布的控制机理研究等。

S02-O-17

土壤与其母岩物质组分的关联与变化特征——低山丘陵区大陆风化过程的地质记录

陈树旺[1]*，张大权[1]，卞雄飞[1]，安东尼娜 A 朱可夫斯卡娅[2]

1 中国地质调查局沈阳地质调查中心，沈阳 110034

2 俄罗斯自然资源部 阿穆尔联邦地质企业，阿穆尔

* sycswgeology@163.com

从地质大循环的角度看，土壤是地球表层风化过程中的未固结成岩的岩石，是气候、生物、母质、地形和成土时间等诸多因素综合作用的产物。本文的研究对象是东北低山丘陵区的棕壤及其花岗岩、闪长岩、安山岩、辉长岩、玄武岩、碳酸盐岩、碎屑沉积岩类母岩；研究区属温带季风型大陆性气候，棕壤是主要的土壤类型。本文依据原生矿物与特定元素分析，研究棕壤与其母岩的关联与变化特征，探讨大陆风化过程物质循环的有关地质记录。一方面，低山丘陵区的棕壤在很大程度上继承了其成土母岩物质组分特征，区域性野外地质调查和取样分析表明，除碳酸盐岩类母岩外，棕壤的原生矿物组分以及主量元素、微量元素和稀土元素含量与其母岩具有很大的相似性；如，即中酸性岩浆岩类演化的棕壤常具较多的石英、长石类矿物和高含量的 Si、K、Na 元素以及低含量的 Fe、Mg 元素；而基性、超基性岩浆岩类演化的棕壤具较少的石英、长石类矿物和低含量 Si、K、Na 元素以及高含量的 Fe、Mg 元素。另一方面，典型剖面垂向对比表明，风化作用与成土过程使得棕壤与母岩发生了显著物质组分变化：一是石英和粘土矿物增加，长石和深色矿物明显减少；二是 K、Na、Ca 元素减少，Al、Ti 元素含量相对稳定；三是除基性岩、中基性岩浆岩类母岩与棕壤外，大多数棕壤的微量元素含量高于其母岩。棕壤与碳酸盐岩类母岩的地球化学特征变化最为明显。此外，本文还探讨了东北典型黑土区的成土母质与下伏岩石的关联性特征。有关棕壤及其母岩的地球化学特征研究，对于了解土壤的成因和多样性以及区域土壤分类和耕作规划有一定的科学意义。

S02-O-18

大陆风化二元调控机制

李高军*，陈骏

1 南京大学地球与工程科学学院，南京 210093

* ligaojun@nju.edu.cn

大陆风化是指地表岩石和矿物在水、大气和生物的作用之下发生分解的重要地质过程，是地球圈层相互作用的关键纽带，因而成为实践地球系统科学研究的重要切入点。特别是，大陆风化通过吸收大气 CO_2，深刻影响地球的宜居环境。一般认为，硅酸盐风化吸收大气 CO_2 的速度受气候控制，从而与大气 CO_2 浓度(pCO_2)之间构成负反馈机制，维持了地表碳循环平衡和相对宜居性。但是，大量研究表明，大陆风化普遍受物质

供应限制，剥蚀速度越快，新鲜物质供应越多，风化通量越高。因此，有研究提出构造隆升增强物理剥蚀，从而驱动大陆风化增强，引起气候变冷，成为解释地球冰期气候最受关注的假说。但是，大陆风化如果只受物理剥蚀控制，风化与大气 pCO_2 之间的负反馈机制将不复存在，地表碳循环平衡和宜居气候将如何维持？为何高剥蚀区在新鲜岩石供应充足的情况下，构造隆升可以持续驱动大陆风化增强？因此，大陆风化研究面临重要的问题之一是硅酸盐风化如何同时响应构造和气候，从而在驱动气候变化的同时又能维持气候的相对宜居性和碳循环平衡。

针对以上问题，本研究提出大陆风化二元调控假说，认为长英质地壳 Ca、Mg 矿物含量低，风化更可能受新鲜矿物供应限制，从而响应构造隆升，驱动气候变化；而铁镁质地壳 Ca、Mg 矿物供应充足，风化更可能受气候控制，是维持宜居气候和碳循环平衡的关键，主要证据包括四个方面：一、通过构建基于海洋碳、锶、锇同位素记录的碳循环模型，恢复了过去一亿年以来主要岩性单元的风化历史，发现长英质地壳和铁镁质地壳风化分别受构造隆升和气候变化控制；二、基于亚洲风尘沉积记录，开发了多项元素、矿物风化指标，建立了铀同位素破碎年代学等多维度物源示踪体系，发现随着晚新生代构造隆升和全球变冷，偏长英质青藏高原相对于偏铁镁质中亚造山带风化逐渐增加；三、基于全球碎屑锆石氧同位素大数据统计，发现 30 多亿年以来，大陆风化总通量与地幔排气一致；四、通过全球玄武岩小流域地球化学研究，证实铁镁质地壳风化受温度控制，基于流域铀同位素模型，发现高剥蚀区以深部滑坡风化为主，滑坡可能是构造隆升持续加剧长英质地壳风化的主要机制。

S02-P-01S

地表过程稳定钨同位素循环

杨瑞钰[1]，李高军[1,2]*，陈天宇[1]，李涛[1]，陈骏[1]，刘澍[1]

1 南京大学地球科学与工程学院，南京 210093

2 中国科学院地球环境研究所, 西安 710061

* ligaojun@nju.edu.cn

稳定钨(W)同位素在示踪各地质储库之间的物质循环以及气候环境变化均具有巨大潜力。本文通过对黄土、河水、风化剖面、海洋铁锰结核、海洋沉积物以及河口海水进行系统研究，探究稳定 W 同位素在地表过程中的地球化学行为及其海洋地球化学循环。

研究表明，以中国黄土高原大面积黄土沉积为代表的上部大陆地壳（UCC）的 W 同位素组成（$\delta^{186/184}W$）非常均一，为 0.01±0.01 ‰。亚洲主要大河和小流域河水的 $\delta^{186/184}W$ 值 (0.17-0.71 ‰) 均高于 UCC。花岗岩小流域风化剖面的粘土和铁锰氧化物（FMO）的 $\delta^{186/184}W$ 研究表明，河水 $\delta^{186/184}W$ 高于基岩值，最有可能是由于轻 W 同位素优先吸附于 FMO。然而，黄土和大河沉积物的 FMO 组分的 $\delta^{186/184}W$ 接近 UCC，反映了沉积再循环的 FMO 在海洋循环中占主导地位。

现代铁锰结壳的 $\delta^{186/184}W$ 值比海水低 0.56 ‰，与先前通过实验研究确定的 FMO 和溶液之间的平衡同位素分馏(1)相符。如果海洋中与海水相平衡的 FMO 是 W 最主要的汇，则铁锰结壳结果表明海洋总 W 的来源应接近 UCC 的 $\delta^{186/184}W$。河水是目前已知进入海洋最主要的源，则必然有额外的轻 W 源或重 W 汇以达到海洋的 W 同位素质量平衡。进一步研究发现，热液源汇与碳酸盐、硅藻沉积汇由于通量有限而很难平衡海洋 W 同位素收支。深海金属沉积物 $\delta^{186/184}W$ 相对于 UCC 偏高(~0.10 ‰)，因此，氧化孔隙水中 FMO 吸收的 W 很可能作为重同位素汇。同时，早期成岩过程中硫化孔隙水的回流作用，很可能释放陆源沉积物 Fe-Mn 氢氧化物组分吸附的轻 W 同位素，作为轻的海洋 W 同位素源。我们在长江口海水中发现了该轻同位素源信号，可能与硫化孔隙水中高可溶性硫钨酸盐的产生有关。

S02-P-02S

地表风化过程中的稳定钨同位素行为

刘澍[1]，杨瑞钰[1]，李高军[1,2]*

1 南京大学地球与工程科学学院，南京 210023

2 中国科学院地球环境研究所, 西安 710061

* ligaojun@nju.edu.cn

现代海洋中均一的钨同位素值（$\delta^{186/184}W_{NIST\ SRM\ 3163}$= 0.543 ± 0.046‰）与洋中脊玄武岩（MORB, $\delta^{186/184}W_{NIST\ SRM\ 3163}$= 0.017 ± 0.088‰）表现出明显差异，全球主要河流中钨同位素与上部陆壳平均组成（$\delta^{186/184}W_{NIST\ SRM\ 3163}$ = 0.01 ± 0.02‰）相比亦明显偏重，指示地表过程是钨同位素产生分馏的重要环节。通过对江西龙南花岗岩地区风化剖面土壤、基岩、河流沉积物及河水进行系统研究，揭示了风化过程中钨的迁移及其同位素分馏的基本原理。

次生矿物吸附是影响风化过程中钨同位素行为的主要因素。通过分步提取实验，得到风化剖面中铁锰氧化物组分中的钨含量占全岩总量（[W] = 3.77ppm）约 17%~19%。其中，次生铁氧化物组分中钨同位素值（$\delta^{186/184}W_{NIST\ SRM\ 3163}$ = -0.16 ± 0.18‰）与粘土组分（$\delta^{186/184}W_{NIST\ SRM\ 3163}$ = -0.06 ± 0.07‰）及全岩（$\delta^{186/184}W_{NIST\ SRM\ 3163}$ = -0.05 ± 0.04‰）相比系统性偏低，河水中钨同位素（$\delta^{186/184}W_{NIST\ SRM\ 3163}$ = 0.30 ± 0.09‰）明显更重。次生铁氧化物优先吸附轻质量钨同位素，导致河水中的钨同位素值升高，该结果与前人吸附实验得到的理论相符；粘土吸附量与铁氧化物相比较少，且不产生显著分馏。河流沉积物次生铁氧化物组分钨同位素出现较高值（$\delta^{186/184}W_{NIST\ SRM\ 3163}$ = 0.12 ± 0.04‰），表明其可能与河水存在交换，在自然环境中铁氧化物对钨同位素的吸附过程动力模型有待进一步完善。次生矿物吸附对表生迁移及同位素行为的影响对包括钨在内的金属同位素体系研究具有启示意义。

S02-P-03S

风化剖面中颗粒铀同位素组成初步研究

欧阳盛辉，李乐，李高军*

1 南京大学地球与工程科学学院，南京 210093

* ligaojun@nju.edu.cn

风化剖面的产生速率研究是理解构造、风化以及气候之间相互关系的重要一环。目前普遍被同行认可的宇宙成因核素 ^{10}Be 和 ^{26}Al 可以得到风化剖面的产生速率，但是基于众多假设，并且宇宙成因核素的分析非常昂贵和耗时，极大地限制了其广泛应用。颗粒铀同位素具有定量风化剖面产生速率的潜力。颗粒的铀同位素($^{234}U/^{238}U$)的活度比记录了颗粒自破碎以来经历的时间。由于风化剖面顶部不断被剥蚀，颗粒自产生以后会逐渐被‘搬运’至剖面顶部直到被剥蚀，因此理论上颗粒的($^{234}U/^{238}U$)比值从风化剖面底部往顶部逐渐降低。

本研究选取了云南昭通玄武岩和江西龙南花岗岩区域内的两个风化剖面进行研究，结果发现两个剖面都具有从底部往上先增加后减少，中间的高($^{234}U/^{238}U$)比值大于 1 的现象，我们推测这可能与风化剖面的淋滤过程有关。剖面底部颗粒表面的铁锰氧化物会吸附大量被淋滤的 U，从而发生逆反冲作用，导致颗粒逐渐积累 ^{234}U，而在剖面顶部，由于颗粒表面铁锰氧化物被淋滤，颗粒表面发生 α 反冲作用，($^{234}U/^{238}U$)比值随着停留时间的增加而减少。因此颗粒的($^{234}U/^{238}U$)比值具有定量风化剖面产生速率的潜力，但是可能受到淋滤作用，氧化还原过程，细颗粒产生机制和部位等因素的影响，需要开展更多的研究进行验证。

S02-P-04

溶液饱和度对 ^{234}U 优先溶解的影响机制研究

李乐*，李高军

1 南京大学地球与工程科学学院，南京 210023

* lilenju@126.com

基于颗粒铀同位素组成的破碎年代学记录了颗粒自破碎以来经历的时间，具有示踪地表物 质循环过程的巨大潜力。矿物颗粒表面 α 反冲弹射作用导致颗粒破碎后 ^{234}U 逐渐亏损是铀同位 素破碎年代学的理论基础。然而，放射性破坏晶格中 ^{234}U 优先溶解会导致新鲜破碎岩石细颗粒 组分的铀同位素值低于久期平衡值，从而引起颗粒“破碎年龄”的高估。室内溶解实验以及野外新破碎基岩铀同位素证据表明 ^{234}U 优先溶解会影响矿物颗粒的铀同位素。但是，铀同位素破 碎年代学的成功运用表明优先溶解的影响可能十分有限。^{234}U 优先溶解与具有高能量的放射性 破碎晶格有关。这些高能量的晶体表面的点位错容易发育溶蚀坑，可能导致优先溶解的发生。 理论计算表明，高能破坏晶格溶蚀坑的发育受溶液饱和度控制。本研究通过室内风化溶解实 验，并结合野外风化剖面矿物表面微形貌证据，探究溶液饱和度对 ^{234}U 优先溶解的影响，进而为铀同位素破碎年代学方法的应用提供理论支撑。

S02-P-05S

塔里木盆地沙漠物质的产生机制及搬运过程探讨

朱晓雨*，李乐，刘连文，季峻峰

1 南京大学地球与工程科学学院，南京 210093

* liulw@nju.edu.cn

物质从产生、搬运以及沉积等一系列过程是地表过程研究的核心与难点，也是传统地貌学的重要研究内容，年代学是研究地表物质循环的关键，时间尺度涉及物理侵蚀，成壤作用、河流搬运等诸多地表过程，对解析“构造-剥蚀-风化-碳循环-气候耦合机制、土壤关键带功能、地貌演化、沉积过程”等方面具有重要意义。

风尘物质循环既敏感地响应于全球和区域气候变化，又对区域和全球环境产生重要影响。风尘与气候的相互作用主要体现在两个方面，一方面风尘循环在起沙、传输和沉降过程中受到大气环流影响，如亚洲沙尘暴活动与冬季风等大气环流系统以及与地形和下垫面状况密切相关；另一方面亚洲粉尘通过改变地表辐射收支和大气云物理过程，可能加剧局地的干旱化，影响下游的空气质量，导致从春季到夏季源区地面温度显著降低， 甚至减弱东亚夏季风。

亚洲内陆分布着广袤的干旱-半干旱区，其中塔里木盆地地处欧亚大陆中心，拥有亚洲最大、世界第二大流动沙漠—塔克拉玛干沙漠，是我国沙尘暴发生频率最高的区域，被认为是北太平洋粉尘沉积物最遥远的，也是最重要的物源区。前人对风尘物源展开了大量研究。由于传统地球化学方法只能反映物质最终来源区的成分或年龄，无法示踪物质具体的搬运过程，使得现阶段物源研究存在多解性。而风尘物源的研究对揭示粉砂物质的产生机制具有重要的指示意义，然而不管是冰川磨蚀还是高山过程，亦或是沙漠磨蚀，其产生的细粉砂颗粒的地球化学成分一致，现有的地球化学手段无法区分，因而无法示踪细粉砂颗粒的地貌部位和产生机制。

本研究通过调查塔里木盆地沙漠沉积物、周围山脉河流沉积物及黄土沉积物的 U-Sr-Nd 同位素组成特征，在圈定沙漠砂的物源基础上示踪沙漠粉砂的搬运路径并详细探讨沙漠粉砂物质的产生机制，系统开展不同时空尺度上亚洲风尘排放、传输和沉降全过程的研究。这一研究不仅有助于深入理解作为全球变化关键过程之一的亚洲风尘循环过程、动力学机制和环境效应，而且对改善人类生存环境具有重要的现实意义。

铀同位素破碎年代学具有示踪物质搬运中间过程和风尘物质产生地貌部位的潜力，是一种地貌学物源示踪，可能为粉尘物源研究提供新的思路。相比于传统地球化学物源示踪指标，由 α 衰变反冲作用导致的细

颗粒（$^{234}U/^{238}U$）活度比值变化与原始岩石的成分或年龄无关，只受控于岩石发生破碎以后最后一次表面形成的年龄，能示踪颗粒破碎、侵蚀、搬运、沉积的整个过程，具有定量地表过程中沉积物从源到汇这一过程的时间尺度。

结合显示，塔克拉玛干沙漠砂细颗粒（$^{234}U/^{238}U$）比值较高均接近 1，且变化较小。基于潜在源区的 U 同位素特征，周围几乎所有的山脉河流沉积物（$^{234}U/^{238}U$）比值都低于 1，考虑干旱区强烈的风力搬运作用，沙漠磨蚀产生细颗粒一旦产生就会搬运至下风向，因此沙漠中现有的细颗粒应该都是新鲜产生的，还未来得及搬运至下风向，因此这些新鲜产生的细颗粒（$^{234}U/^{238}U$）比值均接近 1，并且结合其 Sr-Nd 同位素组成特征，Sr 同位素组成变化较小，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值在 0.716 至 0.723 之间，且 Nd 同位素组成变化范围较大，在-8.56 到-10.51 之间，表明塔里木盆地物质主要是周围山脉物质混合的结果，且物质混合相对均一，并且指示塔克拉玛干沙漠的细颗粒主要产生自沙漠磨蚀过程。

我们选取了塔里木盆地东南部径流量最大的河流—车尔臣河进行了详细的 U 同位素组成研究。结果显示，车尔臣河河流沉积物（$^{234}U/^{238}U$）比值随着海拔的降低先减小后增大，且均小于 1。由于来自河流上游刚剥蚀的物质 U 同位素接近 1，使得上游河流沉积物往下游 U 同位素接近 1，随着海拔的降低，一方面随搬运时间增加，使得 U 同位素比值逐渐减小，另一方面，下游有大量的第四纪沉积地层，其 U 同位素比值较小，造成河流沉积物的 U 同位素变小，物质刚出山口后，由于沙漠本身产生粉砂物质 U 同位素接近 1，由于沙漠细颗粒物质的混合加入，造成河流沉积物 U 同位素比值逐渐增大。并且，我们通过系统调查了潜在源区和高山黄土的铀同位素组成特征，发现昆仑山黄土的（$^{234}U/^{238}U$）比值约为 0.983，介于车尔臣河河流沉积物与沙漠细粉砂之间，推测河口物质在冲出山口之后部分上扬至高山形成黄土层。

S02-P-06S

河水铀同位素的构造和气候控制

李来峰[1]*，Laura F. Robinson[2], Helena V. Pryer[2,3], Jemma L. Wadham[3], Katharine R. Hendry[2], James ward[2]，李高军[1]

1 南京大学表生地球化学教育部重点实验室 南京 210023

2 布里斯托大学地球科学学院 布里斯托 英国 BS8 1RL

3 布里斯托大学地理科学学院 布里斯托 英国 BS8 1RL

* lilaifengnju@126.com

河流铀同位素是示踪风化过程的重要地球化学手段。构造隆升、物理剥蚀、降雨量、岩性和冰川覆盖等多种因素都被认为是控制铀同位素不平衡的重要原因。然而，不同因素对铀同位素不平衡的控制机制及其相对重要性还未得到很好的认识。

本研究分析了南美洲巴塔哥尼亚和智利地区河水(33° S 到 49° S)的铀同位素数据，以进一步探索构造活动和气候因素对河水铀同位素不平衡的控制机制。巴塔哥尼亚和智利地区具有截然不同的构造环境和鲜明的气候梯度，为探索构造活动和气候因素对河水铀同位素的控制机制提供了一个独特的天然实验室。结果显示，高降水量及冰川覆盖显著的流域具有接近久期平衡的铀同位素值，表明在高降水量及冰期覆盖地区基岩的一致性化学风化。同时，降水量较少的流域河水铀同位素与坡度的关系较为复杂，低坡度及高坡度地区均可观测到高铀同位素值。在低坡度流域，由于风化基岩及土壤水在风化剖面中的停留时间更长，α 反冲弹射作用导致河水中积累了较多的 ^{234}U。相比之下，构造活跃及高坡度地区有更多的新鲜岩石暴露在地表，新鲜岩石中衰变破坏晶格的优先溶解会向河水中释放更多的 ^{234}U，从而导致河水的高铀同位素值。

清楚地认识构造和气候对河流铀同位素的控制机理，有助于更好的认识风化过程和全球铀循环。

S02-P-07S

蒸发效应对风化过程中 Li 同位素地球化学行为的影响

徐哲文[1]，李涛[1]，李高军[1,2]*，王云强[2]，苟龙飞[2]

1 南京大学地球科学与工程学院，南京 210023

2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061

* ligaojun@nju.edu.cn

由于锂的两种同位素 ^{6}Li 和 ^{7}Li 具有很大的相对质量差，其在表生环境中表现出较大程度的分馏，具有示踪风化作用的重大应用前景。作为海洋中最大的 Li 源和示踪流域尺度风化作用的重要手段，河水的 Li 同位素（$\delta^{7}Li$）这一风化指标近年来已得到广泛的研究。然而，河水 $\delta^{7}Li$ 的控制因子仍未得到充分的解析。传统的批次平衡分馏模型很难解释河水与基岩 Li 同位素差值（$\Delta^{7}Li_{river\text{-}bedrock}$）超过平衡分馏系数的流域。对于这些流域，一般认为可能发生了瑞利分馏作用，但是瑞利分馏模型认为基岩溶解与次生矿物沉淀是两阶段不同时发生的过程，即基岩先快速溶解，随后逐渐沉淀，而自然环境下这两个过程常同时发生，因此也与实际情况不符。同时，批次平衡分馏和瑞利分馏模型对应的分馏系数 α 在不同流域间也难以达到统一。对此，本研究提出了一种同时考虑原生矿物溶解和次生矿物沉淀的土壤水蒸发模型。在一定的分配系数下，土壤水蒸发浓缩导致更多的 Li 从溶解态进入次生沉淀，由于次生沉淀 Li 同位素偏轻，导致残余溶解态土壤溶液 $\delta^{7}Li$ 随蒸发进行不断变重。本研究以黄土高原 48 个流域为实例，在 α 值一定的前提下（α=0.983），以该蒸发模型较好地解释了河水 $\delta^{7}Li$ 的变化（17‰-28‰），并发现河水 Cl^{-} 离子含量变化符合模型预测，可能由蒸发作用引起。河水 $\delta^{7}Li$ 响应蒸发效应，因此可能与亚洲内陆干旱化加剧和新生代全球气候变冷存在联系，这一模型也为新生代全球海水 $\delta^{7}Li$ 上升提供了一种可能的解释。

S02-P-08S

黄土沉积中稀土元素在各组分间分配情况及潜在意义

刘毅杰，李高军*，李涛

1 南京大学地球与工程科学学院，南京 210093

* ligaojun@nju.edu.cn

黄土高原的沉积具有层序完整、时代连续的特点，是研究古气候，尤其是第四纪以来的古气候的最佳的地质记录之一；而在黄土沉积中，稀土元素总含量、铈异常（以 2*Ce/（La+Pr）表示）、铕异常（以 2*Eu/（Sm+Gd）表示）、轻重稀土比（以 La/Yb 表示）等均具有一定的指示意义。故此，本研究采用分步提取的方法，按照碳酸盐态——易还原氧化物态——可还原氧化物态——残余酸溶物及粘土态——残余硅酸盐组分的顺序，逐态分离黄土高原渭南剖面沉积的样品，测试其镧系稀土元素及部分主微量元素的含量。结果表明，硅酸盐等稳定组分中含有大量的稀土；而在相对不稳定的矿物组分中，稀土元素含量与锰元素含量分布情况较为一致，亦即黄土沉积中次生锰氧化物极有可能是稀土元素的主要载体之一。在相对不稳定的碳酸盐态、氧化物态中，可见明显的冰期——间冰期变化，这说明了气候是控制黄土沉积中稀土元素和部分主微量元素行为的重要因素。此外，风化过程中的淋滤作用也可能是稀土元素迁移行为的影响因素之一。

S02-P-09S

中始新世晚期以来东亚气候变化的渭河盆地粘土矿物记录

吕恒志[1]，鹿化煜[1]*，王逸超[1]，张瀚之[1]，王珧[1]，王可欣[1]，赖文[1]，刘志飞[2]，李艳丽[2]，季峻峰[3]

1 南京大学关键地球物质循环前沿科学中心，地理与海洋科学学院，南京 210023;
2 同济大学海洋地质国家重点实验室，海洋与地球科学学院，上海 200092;
3 南京大学表生地球化学教育部重点实验室，地球科学与工程学院，南京 210023;
* huayulu@nju.edu.cn

本研究基于渭河盆地连续的新生代河湖相沉积序列，开展粘土矿物含量及晶体参数测试分析，重建了中始新世晚期以来气候变化过程。结果表明，蒙皂石、伊利石是渭河盆地沉积物中的主要粘土矿物；伊利石结晶度、伊利石化学指数、蒙皂石与伊利石和绿泥石比例等的阶段性降低，指示了在半干旱半湿润的气候背景下，中始新世晚期以来渭河流域化学风化阶段性减弱的特征。坡缕石的形成可能受到成岩作用影响，相应时期流域风化导致的蒙皂石含量和伊利石结晶度实际可能更高，表明中始新世晚期到上新世渭河盆地可能处于一个相对暖湿的气候条件。随着新生代全球温度降低和渭河盆地沉积物的不断加积，渭河盆地的化学风化强度阶段性减弱，渭河盆地古气候和东亚季风气候阶段性演化并在第四纪变干。粘土矿物的证据还表明，渭河盆地晚始新世到渐新世气候变干，可能是对全球变冷事件(EOT 转型)的响应。本报告对于上列认识和事实进行详细汇报。

S02-P-10S

锂同位素定量提取河流碎屑沉积物中大陆风化信号

曹昉[1]，杨守业[1]*，杨承帆[1]，郭玉龙[1]，毕磊[1,2]，李雨泽[3]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 中国极地研究中心，上海 200136
3 复旦大学数学科学学院，上海 200433
* syyang@tongji.edu.cn

化学风化调控全球表生物质循环及气候长期演化，但受沉积物粒径和再旋回等因素干扰，基于沉积物全岩地球化学组成的风化指标存在多解性，影响化学风化信号提取以及对风化过程和机制的深入理解。本研究分析长江入海悬浮物和表层沉积物的元素及锂同位素（δ^7Li）组成，应用质量平衡模型定量提取当前大陆风化信号。研究揭示，长江口沉积物主要来自于流域基岩的侵蚀（比例>60%），当前风化产物不超过 40%；粗粒表层沉积物中未风化火成岩碎屑含量占 63%~84%，当前风化产物仅占 4%~18%；而细粒悬浮物主要源自流域剥蚀的页岩（占 52%~66%），当前风化产物约占 21%~40%。对比沉积物不同组分比例与化学蚀变指数（CIA）和 δ^7Li 值发现，大河流域的表生风化信号传递过程复杂，未风化火成岩岩屑含量越高，沉积物风化程度越低；受继承性风化产物（如页岩）的影响，CIA 值越高或 δ^7Li 值越低并不代表沉积物中当前风化产物越多，但细粒沉积物更适合用来示踪流域风化过程。本研究深化了对沉积物化学风化指标包括 Li 同位素组成的解读，对大河流域的风化过程和物质循环研究有借鉴意义。

S02-P-11

冰期-间冰期尺度的硅酸盐化学风化速率变化研究的认识

黄湘通*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* xiangtong@tongji.edu.cn

经典的地球气候变化理论认为，在百万年地质时间尺度上，硅酸盐风化是保持大气二氧化碳平衡和地球气候环境稳定的重要负反馈机制。然而，在短时间尺度上，硅酸盐风化速率又与温度、降雨等气候因素相关，全球存在风化限制型和搬运限制型的风化类型。冰芯大气二氧化碳的记录表明，中-晚第四纪大气二氧化碳含量存在与地球气候基本一致的冰期-间冰期周期变化。硅酸盐风化是否可以看作是驱动冰期-间冰期大气二氧化碳变化的原因？目前来看答案并不明确，存在多个相互矛盾的观点。早期的一些研究认为，冰川作用加剧驱动大陆硅酸盐风化增强可以使大气二氧化碳含量减少几十个 ppm，是冰期大气二氧化碳含量减少的重要原因。然而，更普遍认可的看法是冰期干冷的气候会使大陆化学风化速率减小。因此，在冰期-间冰期尺度上大气二氧化碳平衡受硅酸盐风化的影响并不大，解释是硅酸盐风化与火山排气作用处于平衡状态亦或是区域性碳的源汇变化使全球硅酸盐风化通量维持稳定。例如，北大西洋铁锰结壳的 Pb 同位素证据表明，冰期北大西洋地区化学风化速率要比间冰期低 2-4 倍，伴随物理侵蚀增强、大陆架风化区域扩大，全球平均入海化学风化通量却不变。另外，冰期-间冰期海洋沉积物中宇宙成因核素 ^{10}Be 与 ^{9}Be 的比值研究表明，全球硅酸盐入海通量主要受热带河流控制，其流量在冰期-间冰期尺度变化较小。然而，一些模拟研究表明，冰期硅酸盐风化对大气二氧化碳的贡献量达到10%左右，不容忽视。因此，冰期-间冰期硅酸盐风化速率的认识还存在较大分歧，从不同视角来看可能得出相互矛盾的结论。如，从一些区域的研究来看存在冰期-间冰期尺度的速率变化，但是增加还是减少还有异议；另外，从全球尺度来看平均的风化通量变化可能又变化不大。因此，未来的研究一方面需要更多风化记录来刻画冰期-间冰期尺度风化通量的变化，另一方面又需要将记录与碳循环模型结合起来开展大陆风化与海洋碳过程循环的系统性研究。这对于我们认识地球碳循环与气候变化之间的关系与实现长期碳中和的目标具有研究价值。

S02-P-12S

长江口悬浮物不同相态锂同位素行为

杨承帆*，杨守业

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* cfyang@tongji.edu.cn

化学风化是地球各圈层相互作用的纽带，在地表物质循环以及全球气候变化过程中发挥着重要的作用，流域表生过程中锂主要来自于硅酸岩的化学风化，生物过程不会导致显著的锂同位素分馏，且不受氧化还原状态的影响，因此锂同位素被认为是指示化学风化的一种可靠指标。然而颗粒态锂同位素行为受到源岩、粒径以及水动力分选等效应的影响，全岩样品难以有效地指示轨道尺度或更短时间尺度上的化学风化过程，对于该问题有两种可能的解决思路，一是通过粘土粒级样品消除粒径、水动力分选和火成岩源岩的影响，例如，在新仙女木时期，长江口 CM97 钻孔粘土粒级锂同位素值明显偏高，反映了干冷气候条件下大陆风化的整体减弱；二是提取沉积物特定相态组分来指示风化或环境变化，少量研究表明沉积物可交换态锂含量微弱，但次生铁锰氧化物是锂赋存的重要载体，且相对于粘土矿物，次生铁锰氧化物与水体间具有更大的分馏潜力，但目前对于沉积物不同相态锂同位素研究仍比较薄弱。

本研究在长江河口夏季沿盐度断面采集表层和底层水体和悬浮物样品，研究显示长江口水体混合过程中溶解态（操作定义，0.45 μm 孔径滤膜过滤后水体）锂含量及其同位素行为保守，表现出长江河水与海水间两端元混合的特点，表明悬浮物与水体相互作用过程对溶解态锂同位素组成影响微弱，

顺序提取法提取的悬浮物不同相态组分锂含量也间接验证了这一结论，结果表明，~90%的锂是赋存在残渣态（硅酸岩组分）中，其余相态中铁锰氧化物组分锂含量可以占到3-7%，碳酸盐态锂含量约为1%，可交换态组分锂含量不足1%，后续工作将对不同相态组分开展锂同位素分析测试，研究不同相态锂同位素行为及对环境的指示。

S02-P-13

一种新的沉积物化学风化指示图解

郭玉龙*，杨守业

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* ylguo@tongji.edu.cn

硅酸盐的化学风化是重要的碳汇，在长时间尺度上调节全球碳循环和气候演化，是维持地球环境的生物“宜居性”的重要机制，定量重建沉积物经历的化学风化历史一直是全球变化研究的热点。近几十年里，一系列基于沉积物元素地球化学组成的化学风化指示图解被提出，其中与CIA（化学蚀变指数）对应的A-CN-K (Al_2O_3-(CaO^*+Na_2O)-K_2O)三角图是应用最广的图解。化学风化图解的提出一般基于风化剖面观测，指示岩石与风化产物的地球化学组成差异。这一思路往往被直接借鉴，应用于沉积物风化程度的比较。然而，相对于风化剖面，河流沉积系统有其复杂性。沉积物的火成岩源岩组成（如酸-基性）难以简单约束，水动力分选则引起沉积物粒度、矿物组成分异，进而影响沉积物的地球化学组成。从长时间尺度看，沉积岩与变质岩普遍经历过一次或几次的“风化-搬运-沉积-成岩-再风化”的旋回过程（沉积再旋回），其遭受风化剥蚀产生的沉积物也相应继承了先前沉积旋回的古风化历史。因此，正确评价火成岩源岩、水动力分选以及沉积再旋回等因素的影响，是可靠评价沉积物化学风化强度的基础。

A-CN-K图解指示了（酸性）火成岩化学风化的不同阶段，风化剖面中经历不同程度化学风化的样品组成了“化学风化趋势线”。在风化早中期的脱Ca、Na阶段，K不发生淋失，风化趋势平行于A-CN边；在风化比较强的脱K阶段，风化趋势开始移向Al_2O_3顶点。然而，在河流沉积系统中，该图解只反映长石与黏土矿物相对含量，无法区分水动力分选、沉积旋回性等因素的影响，难以提取沉积物化学风化强度信号。本研究将Si元素引入A-CN-K图解，提出A-CNK-Si (Al_2O_3-(CaO^*+Na_2O+ K_2O)-SiO_2)图解。该图解中，Si顶点与A-CNK边的连线组成CIA等值线，CNK顶点与A-Si边的连线组成Al/Si等值线。由于Al与Si元素在化学风化过程中性质稳定，流域沉积物平均Al/Si比值与源岩平均值一致。水动力分选下，细颗粒沉积物具有较高的Al/Si值和CIA值，粗颗粒沉积物则具有较低的Al/Si值和CIA值。沉积再旋回过程中，石英作为稳定矿物产生富集，其结果是CIA值保持不变，Al/Si值变小。在A-CNK-Si图解中，可以直接在同一Al/Si比值下对比沉积物的CIA值，从而降低了水动力分选和沉积再旋回过程的影响。

S02-P-14S

亚洲大陆边缘硅酸盐风化强度的气候控制

李芳亮[1]*，杨守业[1]，Dan Breecker[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Department of Geological Sciences, University of Texas at Austin, Austin, TX, United States of America

* lifl17@tongji.edu.cn

硅酸盐风化对地表气候的负反馈机制对于维持长尺度气候稳态、调节全球地质碳循环平衡意义重大，借助野外观测和室内实验探索现代“气候-风化”相互关系成为近年

来研究热点. 然而，由于构造、物源等诸多非气候因素的影响，在地质历史时期风化强度如何响应气候变化尚缺乏系统评估. 建立并对比不同纬度(气候)带的“风化记录-气候”的地质演变、结合已有现代尺度研究，有望更清晰、全面的认识风化强度与气候变化的关系. 本研究收集了 4 Ma 以来亚洲东部、东南部 12 个站位的钻孔记录，以化学蚀变指数(CIA)为主要风化指标，发现晚上新世以来所有 CIA 记录均表现出下降趋势，这与全球变冷特征相一致，而该时期东亚季风降水变化对风化的影响可能较复杂. 本文在集成、对比大陆尺度的风化强度和温度记录后发现，东南亚风化强度与低纬地区海表温度存在耦合关系，并可与现代土壤以及河流沉积物风化记录-温度定量关系对比；相比低纬地区时间序列和现代空间尺度风化强度对温度的依赖性，东亚大陆风化强度表现出更加复杂敏感的温度敏感性，推测与中高纬度第四纪变冷放大效应以及区域物源和风化类型转变有关.

S02-P-15S

Spatial-temporal Cu isotopic composition variations in the Changjiang River

Vasquez AC*, He Zhiwei, Yang Shouye

1 State Key Laboratory for Marine Geology

* anacvv211@outlook.com

Cu isotopic composition studies mostly focus on oceanic studies, weathering profiles or specific ore deposits for environmental impact assessment. Riverine Cu isotopes bear unique information about sulfide/carbonate weathering, in addition to providing insights into proxy potential for sedimentary Cu isotopic composition in the study of biochemical cycles, due to its biological uptake, and ocean redox balance.

Changjiang River has the highest Cu isotopic concentrations in the world, characterized by high δ^{65}Cu values & lower concentration in Upper Reaches to low δ^{65}Cu values & high concentration in Lower Reaches, including a depletion of ~75% of Cu. Previous Cu isotopic studies in Changjiang River is limited to very recent spatial variations in part of the river, or temporal variations in the estuary. This poster aims to present an initial perspective for spatial and temporal variations of Cu isotopic composition in Changjiang River from water samples obtained through a comprehensive research of Changjiang River from its source in Tibetan Plateau to the estuary, including monthly samples obtained during one-year period in Datong Hydrological Station in Anhui.

Research hydrochemical data demonstrate great seasonal variations, influenced by water discharge, anthropic activities and weathering conditions along the river, perceived in samples within 12 hours difference. The pH evidences to be stable, unaffected by seasonality or water oscillation flow. Salinity gradient reduces DCu concentration and ^{65}Cu ratio, previous estimates indicate a removal of 25% of Cu in rivers to estuaries and ocean, inversely increasing Cu concentration by sea sediments. Additionally, Three Gorges Dam influence on sediments have demonstrated to deeply affect Cu isotopic variations. Forthcoming fieldwork and samples processing will indicate relevant findings for the Cu isotopic composition variations in the Changjiang River.

S02-P-16S

碳酸盐风化主导大河镁同位素组成

徐阳[1,2]，金章东[1,3]*，苟龙飞[1]，李良波[1]，Albert Galy[4]，金晨阳[5]，陈晨[1]，邓丽[1,3]

1 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，陕西西安 710061
2 中国科学院大学，北京 100049
3 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越研究中心，陕西西安 710061
4 Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, UMR7358, CNRS, Université de Lorraine, 54500 Vandoeuvre les Nancy, France
5 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
* zhdjin@ieecas.cn

碳酸盐风化作用因其对水文过程的快速反应从而可以调节短期碳循环和全球气候。因此，为了更好地了解千年尺度上的气候变化，需要对碳酸盐风化通量进行很好的限制。河流镁同位素对原生矿物溶解反应敏感，具有示踪碳酸盐风化作用的潜在能力。全球大陆尺度的主要河流主导了流向海洋的风化通量，但河流中的镁同位素如何响应碳酸盐风化作用尚不清楚。

前人对河水镁同位素的研究多集中在小型流域，即使是大河采样点也比较单一。虽然河水镁同位素被认为可以同时示踪碳酸盐和硅酸盐风化过程，但哪一个过程占主导地位是有争议的，其次还会受到二次分馏过程影响。这些都限制了我们对大陆尺度上流域河水镁同位素认识，其示踪大陆风化有效性还有待验证。考虑到长江流域不同海拔和气候条件下具有复杂的岩性，我们选择长江流域作为研究区，来检验大河河流镁同位素对陆相碳酸盐岩风化作用的示踪能力。

通过对长江系统性的空间采样和河水样品的阴阳离子、镁同位素、锶同位素分析，我们发现，长江河流 δ^{26}Mg 值从源头到干流呈下降趋势，范围为-1.36‰～-0.59‰。源头段及支流楚玛尔河的河水镁同位素可能受到二次碳酸盐矿物沉淀调控，但是通量上无论对于干流还是整个流域，贡献都比较有限。在干流和主要支流中，溶解镁离子的来源以碳酸盐风化作用为主。基于二元混合模型显示，大多数河水中的镁同位素组成与碳酸盐流域端元相同或接近，与基于锶同位素的混合结果相一致。干流的河水镁同位素组成继承自其主要支流系统的均匀混合。流域内河水 δ^{26}Mg 值与碳酸盐风化速率（CWR）和碳酸盐风化强度（CWI）有着较好的负相关关系（r^2=0.72 和 r^2=0.60），反映了河流镁同位素对碳酸盐风化强度的优先响应。

延伸到全球大型河流，大部分河流中溶解的镁同位素以碳酸盐风化为主，这与碳酸盐矿物的一致快速溶解动力学和河流搬运过程中的储库效应(reservoir effect)有关。这些大型河流的镁同位素同样对碳酸盐风化强度（CWI）的增强有较好的响应（r^2=0.60）。我们认为，由于分馏作用的影响有限，全球大型河流的镁同位素可以作为一种稳健的、有前景的示踪剂来量化大陆尺度上的碳酸盐风化强度。除对碳循环的影响外，全球变暖条件下，碳酸盐风化加剧可能会使河流中的镁同位素变轻，从而在短时间内调节全球镁循环。

S02-P-17S

海-气耦合过程对沙尘气溶胶直接辐射效应的影响——以西非夏季风为例

王安琪[1,2]，解小宁[2]

1 中国科学院大学研究生院，北京 100049
2 中国科学院地球环境研究所，陕西 西安 710061
* wanganqi@ieecas.cn

沙尘气溶胶引起的直接辐射效应对区域气候变化具有重要作用，但沙尘的辐射效应还受到气候系统内各种反馈过程的影响。利用包含沙尘气溶胶参数化模块的第四代通用大气模式（CAM4-BAM）完成的纯大气模式试验及海-气耦合模式试验，对比分析了在考虑与不考虑海-气耦合过程的条件下沙尘气溶胶直接辐射效应对西非夏季风的

影响。结果表明，与纯大气模式相比，海-气耦合模式模拟的沙尘气溶胶光学厚度、大气环流和降水的分布与强度更接近观测值，且沙尘气溶胶对西非夏季风的影响更为显著。其主要原因是当加入海洋的反馈后源于北非的沙尘气溶胶的直接辐射效应会导致几内亚湾附近海温降低，北非大陆中部地表温度升高，从而使海陆热力对比加大，进而引起西风主导的西非夏季风增强，季风降水增多。这一研究说明，引入海-气耦合过程有助于提高沙尘气溶胶辐射效应及其对区域环流影响的模拟能力。

S02-P-18S

长江上游河流钙同位素特征及其指示意义

陈贝贝[1]*，李思亮[1,2]，Philip A.E. Pogge von Strandmann[3,4]，David J. Wilson[3]，钟君[1]，孙剑[5]，刘丛强[1]

1 天津大学地球系统科学学院，天津 300072

2 天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室，天津 300072

3 London Geochemistry and Isotope Centre (LOGIC), Institute of Earth and Planetary Sciences, University College London and Birkbeck, University of London, Gower Street, London WC1E 6BT, UK

4 Institute of Geosciences, Johannes Gutenberg University, 55122 Mainz, Germany

5 自然资源部深地动力学实验室，中国地质科学院地质研究所同位素地质学重点实验室，北京 100037

* chenbeibei@tju.edu.cn

大型河流是研究大陆化学风化的窗口，河流的水化学组成不仅受控于初始矿物的溶解，还受控于次生矿物形成，粘土矿物吸附，植物摄取等二次过程。这些二次过程会对河流向海洋输送的元素及其同位素通量的估算产生影响。Ca 是河水，岩石，土壤中的主量元素，易于在不同储库之间迁移，其同位素具有示踪上述二次过程的潜力。然而，目前对大型河流 Ca 同位素的特征认识不足，已有的研究多集中大型河流河口处采样，人为因素可能会造成对化学风化过程中 Ca 同位素行为的理解的偏差。此外，青藏高原河流的 Ca 同位素组成的受控因素也仍需进一步探究。

在这样的背景下，本研究以发源于青藏高原东部的长江上游河流为研究对象，以稳定 Ca 同位素为研究手段，评估了流域内温泉、岩性和上述二次过程对 Ca 向海洋输送的影响。结果表明长江上游 $\delta^{44/40}$Ca 的演化与地形和气候密切有关，河流附近温泉水的输入对其影响不大。在高原和山区，河水 $\delta^{44/40}$Ca 与碳酸盐饱和度指数和 pH 值呈正相关，$\delta^{44/40}$Ca 与 Ca 移除量之间的关系可用瑞利分馏模拟，最佳分馏因子为 0.9998，这些结果表明次生碳酸盐沉淀制约着河流溶解质的 Ca 同位素组成。在平缓的低地，较厚的土壤将河水与底部基岩隔离，土壤溶液对河水化学成分产生更多影响。因此，低地流域的支流并不遵循次生碳酸盐沉淀的分馏模式，其 Ca 同位素比值与 Li/Na 和 δ^{7}Li 值呈正相关，表明低地支流的 $\delta^{44/40}$Ca 值可能受控于黏土矿物的形成。此外，虽然本研究的 $\delta^{44/40}$Ca 值与硅酸盐、蒸发岩风化速率（某些环境下还有碳酸盐风化速率）和硅酸盐风化强度之间存在相关性，但这种相关性较为宽泛和分散，而且在全球河流数据集中也无法重现。因此，虽然 Ca 同位素有可能示踪区域尺度的风化过程，但其真正潜力是示踪 Ca 循环。鉴于 Ca 是碳循环中的关键元素，Ca 同位素在示踪现代或地质历史时期的碳循环过程方面具有很大潜力。

S02-P-19S

过去 250 百万年的硅酸盐风化通量

左浩悦*，刘永岗

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* zuohaoyue@pku.edu.cn

二氧化碳作为主要的温室气体，是调节地球气候的重要因素。在百万年时间尺度上，碳循环最重要的源和汇分别是火山喷发放气和硅酸盐风化以及碳酸盐沉积。源和汇之间微小的不平衡会导致大气 CO_2 浓度在百万年时间尺度上发生大幅变化。气候与风化之间的负反馈过程维持了大气 CO_2 浓度以及气候的总体稳定。

作为长期碳循环过程中重要的碳汇，研究不同地质历史时期的硅酸盐风化通量非常关键。海水中与风化过程密切相关的物质变化可以用来反映过去的硅酸盐风化速率，例如 Sr，Os，Li，Be 等同位素是风化速率变化历史的重要代用指标。但是由于海水同位素比值的多解性，其对风化作用的解析尚存质疑。因此过去长时间的硅酸盐风化速率的演化需要依赖于风化模式的模拟。

硅酸盐风化速率受到温度、降水、植被、大陆分布和大陆地形、侵蚀等的影响。我们使用现今的河流观测资料，得到不同岩石的风化通量与温度、径流、侵蚀强度等的关系，构建了包含多种岩性的风化模型。利用 CESM1.2.2 气候模式切片模拟得到的过去 250 百万年高分辨率(0.9 x1.25)气候场资料，结合过去的岩石分布和地形分布，通过风化模型计算出了过去250百万年以来的硅酸盐风化通量。为了验证风化模型的合理性，我们将现代的全球风化通量结果与现今的河流进行对比，误差大约为 60%。过去 200 百万年的风化通量与前人对放气速率的估计量级基本一致，趋势略有不同。我们的时间序列结果显示过去的风化通量是现代的3倍左右，且在距今 250Ma~50Ma 年间维持相对的稳定，在 50Ma 之后呈现降低的趋势。我们模型的开发以及目前的结果对于研究地形、岩性和生物演化在百万年时间尺度上对大气 CO_2 演化的影响存在重要意义。

S03-O-01

古元古代“雪球地球”冰期气候的成因及环境效应：进展与问题

罗根明*

1 中国地质大学地球科学学院，生物地质与环境地质国家重点实验室，武汉 430074

* gmluo@cug.edu.cn

古元古代早期地球表层系统发生了一系列重大转变，是宜居地球早期演化的关键阶段。在这一系列的重大转变中，尤其引人关注的是剧烈的气候波动及大气氧化事件。目前已在不同大陆的古元古代地层中发现了冰碛岩，说明出现了多期次的变冷事件，且古地磁学资料表明至少有一期是全球性的，即“雪球地球”冰期事件。这是最早的有确切记录的“雪球地球”冰期事件，最新的年代学研究将该事件限定在 24 亿年前之前（>2.4 Ga）。主流的观点认为古元古代“雪球地球”冰期事件是由大气氧含量升高导致甲烷浓度的显著降低所引起的。然而，目前对于古元古代大氧化事件与“雪球地球”冰期事件之间的时间顺序和内在联系还存在很大的争议，尤其是对“雪球地球”冰期期间地表的氧化程度认识不清。本报告将简要介绍古元古代“雪球地球”冰期相关的记录特征及其与其他重大地质事件之间的时间联系。在此基础上，报告将探讨“雪球地球”冰期的成因及其对地表系统的影响，如生物地球化学循环、大气-海洋环境等问题，进而总结古元古代早期地球宜居性特征。

S03-O-02

冰雪地球事件的数值模拟进展

刘永岗*

1 北京大学物理学院，北京 100871

* ygliu@pku.edu.cn

冰雪地球事件是地球上发生过的最严

重的冰期事件，期间冰川延伸到了赤道附近。几次冰雪地球事件发生的时期正好对应着地球大气氧气含量的大幅增加以及生命演化的一些关键节点，因此，对冰雪地球事件的研究对于研究地球系统的稳定性、大气演化和生命演化都有重要意义。但是，即使是最近的一次冰雪地球事件也是发生在6亿多年前，不仅可获得的观测样品稀少，各种代用资料的不确定性也很大，极大地限制了我们对该事件很多过程的理解。比如，现有的观测手段不可能对冰雪地球形成需要的条件作出有意义的约束。数值模拟是对地质和地球化学观测的有效补充，过去的 20 多年里，通过气候模拟对冰雪地球的形成和消融需要的条件，以及冰期中的气候、大气和海洋环流都取得了深刻的认识，我将对这些认识作简要介绍。另外，关于冰雪地球事件还有很多争论和不清楚的地方，我也将从气候模拟的角度对这些问题进行讨论。

S03-O-03

Sturtian 幕次冰期中海洋的生物地球化学循环

祝圣贤[1,2]*，郎咸国[1,2]，侯明才[1,2]

1 成都理工大学沉积地质研究院，成都 610059

2 油气藏地质及开发工程国家重点实验室（成都理工大学），成都 610059

* zhusx@stu.cdut.edu.cn

Sturtian 冰期（717-660 Ma）是最极端的深时冰室气候。沉积学与古地磁学证据表明当期冰盖到达了低纬度地区乃至赤道附近。成冰纪条带状含铁建造作为 Sturtian 冰期相关的一个主要特征在现今绝大多数稳定地块均被发现和报道。其被认为是一次升温事件，将 Sturtian 冰期从内部分为了两幕。然而，沉积记录表明在第二幕冰期内部存在数个相对温暖的间冰段，这与第一幕冰期的表现形式大相径庭。为进一步探讨 Sturtian 幕次冰期中海洋生物地球化学循环，本文对华南扬子地块东南缘富禄组的同位素地球化学进行了研究。

富禄组是 Sturtian 冰期第二幕在华南深水环境下的完整沉积记录，可分为五段，其中 1 段为条带状含铁建造，局部见碳酸盐岩夹层；2 段为含砾砂岩；3 段为砂岩，夹碳酸盐岩薄层；4 段为杂砾岩；5 段为粉砂岩，夹碳酸盐岩薄层。其中 1 段、3 段为 Sturtian 冰期内部的间冰段沉积，而 2 段和 4 段为冰川沉积记录，5 段为 Sturtian 冰期结束后的间冰期沉积。我们对富禄组四个剖面的细粒碎屑岩、碳酸盐岩进行了黄铁矿硫同位素（$\delta^{34}S_{py}$）和无机碳同位素（$\delta^{13}C_{carb}$）分析，结果显示 $\delta^{34}S_{py}$ 变化范围较大（-15.04~23.93‰，平均值：1.42‰，n=46）、$\delta^{13}C_{carb}$ 相对稳定（-8.81~0.04‰，平均值：-3.17‰，n=13）。富禄组碳硫同位素结果表明在 Sturtian 冰期演化过程中，依然存在活跃的微生物硫酸盐还原反应。较低的黄铁矿含量代表了较小的海水硫酸盐库，指示冰室气候过程中输送硫酸盐的地表径流受到抑制，黄铁矿硫同位素（$\delta^{34}S_{py}$）的变化主要受控于海洋初级生产力的波动。富禄组碳酸盐岩的 $\delta^{13}C_{carb}$ 特征则表明冰期海洋中的有机碳埋藏比例较低。该研究为正确认识极端冰期过程中的海洋化学环境背景提供了证据。

S03-O-04

新元古代 Marinoan 冰期海洋铁循环研究

蒙泽坤，王振飞，鞠鹏程，黄康俊*

1 陕西省早期生命及环境重点实验室，西北大学地质学系，西安 710069

* hkj@nwu.edu.cn

地球在新元古代成冰纪发育了两次全球性的冰川事件—Sturtian 冰期（717-660 Ma）与 Marinoan（651-635 Ma）冰期，被称之为“雪球地球”事件。在 Marinoan 冰期之后，地球大气氧气含量快速上升同时多细胞真核生物迅速辐射。铁（Fe）是地壳中丰度最高的过渡族金属元素，也是限制海洋初级生

产力的重要营养元素。因此，探寻 Marinoan 冰期过程中海洋 Fe 循环演化对于我们理解极端气候下海洋的氧化还原状态以及后生动物起源具有重要意义。

本研究以华南扬子地区南华系南沱组地层为研究对象，在沉积学的基础上开展了铁组分与 Fe 同位素分析。依据沉积学特征与岩相学证据，南沱组由下至上可以划分为 4 个演化阶段：在冰进期（第一、第三阶段）南沱组的沉积主要以陆源混杂堆积岩为主；在冰退期（第二、第四阶段）分别沉积细粒的海相红层和无砾石发育的细砂岩，这表明 Marinoan 冰期的演化是幕式交替进行的。在冰川演化的不同阶段，铁组分与活性铁 Fe 同位素（$\delta^{56}Fe_{HR}$）均显示出明显的差异。研究结果显示，第一阶段铁氧化物含量（Fe_{ox}，%）不断升高并在冰退期海相红层中达到峰值，这表明冰盖的打开促进了 Marinoan 冰期海洋的逐渐氧化。在红层沉积结束后，由于冰川的再次发育，第三阶段 Fe_{ox} 含量显著降低，并且 Fe_{HR}/Fe_T 也指示了相对缺氧的水体环境。此外，在冰进期 $\delta^{56}Fe_{HR}$ 均存在明显的正偏移现象，这表明冰川的覆盖阻隔了水体和大气的物质交换，导致 Marinoan 冰期海洋氧化程度逐渐减弱，部分氧化作用致使 $\delta^{56}Fe_{HR}$ 不断变重。而在冰退期海相红层沉积阶段，$\delta^{56}Fe_{HR}$ 相较于物源（上地壳或热液）没有发生显著的分馏，可能指示了氧化程度更高的海洋环境。基于 Fe 同位素分析结果的数值模拟也进一步证实 Marinoan 冰期海相红层中铁氧化物的沉淀比例以及相应水体的 Eh 值较其他层位更高。综上而言，我们推测 Marinoan 冰期并非一个全球性的极端冰川事件，在一些区域可能存在着开放的水体环境，这种局部氧化的开放水体可能为 Marinoan 冰期生物的生存以及后生动物的演化提供了“避难所”。

S03-O-05

A Great Ediacaran Glaciation in the Eve of Animal Evolution

Ruimin Wang[1]*, Bing Shen[1], Xianguo Lang[2], Bin Wen[3], Yongbo Peng[4], Haoran Ma[1], Chuanming Zhou[5]

1 Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, MOE & School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

2 State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation & Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

3 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, School of Earth Sciences, China Uni-versity of Geosciences, Wuhan 430074, China

4 Department of Geology and Geophysics, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803-4101, USA

5 CAS Key Laboratory of Economic Stratigraphy and Palaeogeography, Nanjing Institute of Geology and Palae-ontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, PR China

* 2001110607@pku.edu.cn

It is hypothesized that biological evolution in late Ediacaran might be triggered by climate changes, such as the onset of Ediacaran glaciation, which led to the atmosphere oxygenation and ocean oxidation. As the most prominent Ediacaran oxidation event, the Shuram Excursion (SE), rec-ords the ocean oxidation and might be triggered by a short-lived Ediacaran glaciation age at ~580 Ma. However, there is no direct geological evidence showing the linkage between SE and glaciation, be-cause of no continent containing both SE and Ediacaran glacial records. Here, we report SE in the Ediacaran Shuiquan Formation that underlies the Hankalchough glacial deposits in Tarim Block, suggesting SE could predate the Ediacaran glaciation. Meanwhile, the direct age constraint on SE and the geochronological data in four sections precisely bracketed SE between 570.2 ±1.1 Ma

and 562.5 ±1.1 Ma, supporting the SE is a primary and synchronous event. Thus, our study indicates the Han-kalchough glacial deposit might postdate SE, i.e. after 560 Ma, suggesting the Ediacaran glaciation might have lasted for at least 20 million years. However, the geographic distribution of glacial de-posits cannot be resolved by any paleogeographic reconstruction. In order to resolve this contradic-tion, we speculate the asynchronous glacial records are well explained with an inertial interchange true polar wander (IITPW) i.e., the entire solid Earth rotated ~90◦ about the liquid outer core to reinstate inertial alignment with the spin axis from ca.590-575 to 560 Ma. The rapid conti-nental movements driven by IITPW can resolve the geographic distributions of Ediacaran glacial deposits in the context of a non-Snowball Earth climatic condition. In addition, our paleomagnetic modelling also shows that the glaciation mainly occurred in the mid-latitude continents, probably due to the high latitude regression during IITPW. Our study suggests that the Ediacaran ice-age might have persisted from ~580 Ma to at least 560 Ma, or presumably as late as 540 Ma. Finally, the persistent global cooling since mid-Ediacaran might have allowed sufficient ventilation of deep ocean, triggering the evolution of Ediacara Biota and metazoans.

S03-O-06

晚奥陶世赫南特冰期海洋氧化还原环境演化及其与生物危机的联系

李娜[1]，李超[1]*，程猛[1]，金承胜[2]

1 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室，武汉 430074

2 云南大学云南省古生物研究重点实验室，昆明 650091

* chaoli@cug.edu.cn

奥陶纪-志留纪之交(O/S)发生的两幕式生物绝灭是显生宙以来的第一次绝灭事件，其规模仅次于 P/T 之交的绝灭事件。而同时期发育的赫南特冰川活动伴随着的一系列环境因素（如温度、海平面）的改变常常被提出用于解释晚奥陶世生物灭绝的关键驱动机制。近年来越来越多的研究表明海洋的氧化还原状态（尤其是缺氧硫化）与海洋生物的生命活动息息相关，前人对 O/S 之交海洋氧化还原状态的研究表明该时期海洋氧化还原环境具有高度空间差异性，但对此空间差异性驱动机制的研究尚不充分，同时也对晚奥陶世冰期发育阶段全球海洋是否存在广泛氧化还有争议；另外在此次灭绝事件中，不同生物群体受到的影响具有明显差异性，如笔石动物在首幕绝灭中遭受严重打击，但现有研究主要关注于生物群整体面貌的变化，并未考虑古海洋环境的空间不均一性及生物群生态位差异，且生物演化与海洋化学时空波动之间的内在联系研究仍不够深入。

华南板块上扬子地区具有 O/S 之交连续的地层沉积及丰富的化石记录，同时以笔石带为基础建立的生物地层框架为研究该时期地质事件及进行全球对比提供了较为可靠的时间标尺。本研究中，我们选择了与广海连通性良好的外扬子海剖面（外陆架宜黄-1 剖面和外陆架至斜坡相神茨-1 剖面）作为研究对象，通过一系列地球化学指标（如铁组分、主微量元素及黄铁矿硫同位素数据）恢复了同时期海洋氧化还原环境、陆地化学风化及初级生产力大小的变化情况，并与同时代其他板块地层剖面进行对比，重建了 O/S 转折期内全球海洋的氧化还原状态演化过程。研究结果显示外扬子海地区记录了赫南特期内的两次冰进和一次冰退事件，并且外扬子海盆的硫化程度在第一次冰进前夕持续增强并向深水扩张。综合多指标分析发现，尽管有机质可得性在硫化水体的发育与消失中起到了一定的作用，硫酸盐的供给仍然是限制硫化水体向深水扩张的主要限制

因素，而后者又与气候、大陆化学风化、海平面变化密切相关。

在此基础上，我们利用 Geobiodiversity 数据库（GBDB）收集了外扬子区剖面五峰组地层中的笔石记录，结果显示生活在贫氧带附近的中层笔石群落受到了极为强烈的冲击，而透光带中的表层笔石群落则受影响不大，表明中层浮游笔石的优先灭绝与该时期水体硫化的扩张可能存在直接的联系，并非以前认为的由赫南特冰期降温所致，突显了海洋硫循环对地质关键期生命演化的重要影响，也为该时期生物大绝灭机制研究提供了新的思路。

S03-O-07

奥陶-志留纪过渡时期碳循环特征及成因机制

孙宗元[1]*，杨生超[2]，樊隽轩[2]

1 成都理工大学沉积地质研究院，成都 610059

2 南京大学地球与工程科学学院，南京 210023

* sunzongyuan19@cdut.edu.cn

奥陶纪晚期至志留纪早期发生了两幕式生物大灭绝及其后的生物复苏、辐射事件，期间地球经历了明显的温室-冰室-温室的古温度变化，发生了赫南特期冈瓦纳冰盖的形成与消融、海平面快速升降变化、海洋缺氧环境扩张及大规模火山喷发等重大地质事件。这种全球性的地质事件直接或间接改变大气中 CO_2 等温室气体浓度，进而调控当时地球表层系统的古气候温度。CO_2 浓度的快速变化影响着地球表层系统的碳循环，并在全球赫南特阶及其上下地层中记录了碳同位素的快速变化。华南五峰组和龙马溪组黑色页岩沉积稳定、地层连续、富含有机质，是中国南方页岩气勘探与开发的重点层位。通过对华南五峰组和龙马溪组的多个钻井剖面开展有机碳同位素地层学精细研究，结果显示自奥陶系凯迪阶至志留系埃隆阶共出现了四个明显的碳同位素曲线正漂事件。这四个事件中曲线正漂移的启动、峰值和结束的层位均可以被笔石生物地层框架严格限制，因此具有较好的全球和区域地层对比意义。

四个碳同位素曲线正漂事件，分别发生在赫南特期、鲁丹中期，埃隆早期和埃隆晚期。在最大冰盛期时，全球海平面累计下降了 150 米，随后持续上升，在埃隆中期海平面高度接近现今水平。处于冰室气候条件下的赫南特阶碳同位素正漂事件（HICE）在华南和全球具有很高的辨识度，其正漂幅度可达 3~6 ‰。HICE 事件的起始位置与冰室气候的形成和第一幕灭绝事件几乎相当，其结束位置与冰室气候的结束和第二幕灭绝事件几乎相当。对于 HICE 正漂的诱发机制普遍认为是风化作用加强消耗大气中的 CO2，造成全球变冷，诱发冈瓦纳冰盖的形成和扩张，海平面下降，暴露出的碳酸盐台地成为主要的陆地风化物源，新的物源中碳同位素值较高，因此带动海洋碳同位素正漂。处于间冰期气候条件下的埃隆阶上部碳同位素正漂事件（The upper-Aeronian Isotopic Carbon Excursion, UAICE）中，华南碳同位素曲线正漂最大幅度可达 3.35 ‰，其中该正漂事件在全球其他版块也有清晰的记录，其中在加拿大新斯科舍省的同位素正漂幅度可达 3.5 ‰，捷克波西米亚地区的正漂幅度高达 13 ‰。加拿大和捷克 UAICE 的正漂驱动因素可能是全球处于间冰期，海平面相对下降，导致上述地点的沉积环境变浅，物源中的碳酸盐成分增多导致的。这次碳同位素正漂事件伴随发生了埃隆晚期的一次较小规模的 Sedgwickii 生物灭绝事件（Sedgwickii Extinction Event）。鲁丹中期和埃隆早期发生的碳同位素的正漂事件则处于温室气候、且海平面持续升高，期间生物分别处于快速复苏和辐射之中。

S03-O-08

重大地质事件与非常规油气资源富集探讨—以奥陶纪-志留纪转折期五峰组-龙马

溪组页岩气为例

邱振[1,2]*，邹才能[1,2]，王红岩[1,2]，王玉满[1,2]，张磊夫[1,2]，张琴[1,2]，刘翰林[1]

1 中国石油勘探开发研究院，北京 100083
2 国家能源页岩气研发（实验）中心，北京 100083
* qiuzhen316@163.com

我国南方五峰组—龙马溪组页岩气资源丰富，技术可采资源量约 4.5×10^{12} m^3。中石油在川南地区已累计探明约 1.16×10^{12} m^3，形成了一个万亿方页岩气大气区。截止 2020 年底，南方五峰组—龙马溪组页岩气探明地质储量超 2.0×10^{12} m^3，年产量达 200×10^{8} m^3，在我国天然气产量增长中发挥着重要作用。

页岩气作为富有机质页岩层段中自生自储的天然气，它在页岩中形成与富集受到早期有机质沉积及后期构造活动等因素的共同控制。我国五峰组—龙马溪组页岩气近十年的勘探开发实践表明，五峰组—龙马溪组富有机质沉积是页岩气富集的基础，后期有效保存条件是高产的关键。五峰组—龙马溪组沉积时期，即奥陶纪—志留纪转折时期，发生了一系列全球性重要地质事件，如海平面升/降、气候变冷（冈瓦纳冰期）、火山喷发、海水缺氧、生物大灭绝等。同时，在华南扬子地区周缘发生一些区域性构造抬升、火山喷发等事件。这些地质事件对五峰组—龙马溪组页岩沉积产生了重要影响。基于野外剖面与钻井岩心观察与统计、现场生产数据等资料分析，通过开展五峰组—龙马溪组页岩沉积学、沉积地球化学等方面综合研究，认为四川盆地及周缘五峰组—龙马溪组页岩气甜点区（段）形成与分布，受到其沉积时期全球或区域性地质事件—构造与海平面升/降、气候变冷、火山喷发、硫化缺氧及生物大灭绝不同程度的影响，是这些事件沉积耦合作用的结果。尽管这些重要事件相互作用的机理仍存在着一些争议，需进一步探讨，但它们之间的耦合沉积可在不同的区域形成不同的岩石类型及岩石组合。在特定区域，这些岩石或岩石组合富含有机质、发育纹层、富含脆性矿物等，为页岩气甜点段形成提供所需的基本地质条件，从而控制着甜点段形成与分布。需要说明的是，不同于页岩气甜点段，甜点区作为甜点段在区域上的延伸，它的形成需要在区域上具备甜点段发育的所有条件，而其最终规模与分布则受控于后期构造活动的改造强度。

研究进一步提出非常规油气资源沉积富集与重大地质环境突变密切相关，是全球性或区域性构造与海（湖）平面升降、火山活动、气候突变、水体缺氧、生物灭绝与辐射、重力流等多种地质事件沉积耦合的结果。未来需要从地球系统科学出发，采用“非常规思想”，以地质事件分析思维深入开展非常规油气沉积学研究，为寻找非常规油气资源发挥重要作用。

S03-O-09

地球轨道力驱动的晚古生代大冰期气候与生命演化

吴怀春[1,2]*，房强[1,2]，沈树忠[3,4]，Ganqing Jiang[5]，樊隽轩[3,4]，张世红[2]

1 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083
2 生物地质与环境地质国家重点实验室，北京 100083
3 南京大学地球科学与工程学院，南京 210023
4 中国科学院南京地质古生物研究所生物演化与环境卓越创新中心，南京 210008
5 Department of Geoscience, University of Nevada, Las Vegas, NV 89154, United States
* whcgeo@cugb.edu.cn

晚古生代大冰期是显生宙以来规模最大的多幕式冰期事件，记录了陆地自有植被以来，地球气候系统唯一的一次从“冰室”向“温室”转变。在此期间，发生了石炭-二叠纪海洋生物大辐射事件，海洋无脊椎动物多样性快速增加。但是，由于缺乏高分辨率的地质记录，一些关键科学问题仍然有待深入研究，如，晚古生代冰期的气候变化对海洋生物演化有何作用？对当今地球系统从

“冰室”向“温室”转变过程中生物多样性变化有何指示意义？为此，我们利用长达4000 万年的高分辨率天文年代标尺约束的磁化率和海洋碳酸盐岩无机碳同位素序列与前人发表的海洋生物多样性时间序列进行对比研究，主要得出以下初步结论：1）在晚古生代冰期，泛欧美大陆逐渐干旱过程触发陆地植物面貌更替，陆源营养物质输入量增多，刺激海洋生物多样性增加；2）1.2 Myr斜率旋回控制着陆源输入、有机碳埋藏和生物多样性变化之间的耦合关系，该关系在～301 Ma 随着低纬度陆地湿地植物群落的消亡发生了变化。

S03-O-10

晚古生代冰室-温室过渡期海洋生物多样性的地球轨道驱动

房强[1,2]*，吴怀春[1,2]，沈树忠[3,4]，樊隽轩[3,4]，Linda A. Hinnov[5]，张世红[2]

1 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083
2 生物地质与环境地质国家重点实验室，北京 100083
3 南京大学地球科学与工程学院，南京 210023
4 中国科学院南京地质古生物研究所生物演化与环境卓越创新中心，南京 210008
5 Department of Atmospheric, Oceanic, and Earth Sciences, George Mason University, Fairfax, Virginia 22030, USA
* fangqiang-geo@hotmail.com

晚古生代冰川消亡的过程记录了第一次地表在植被覆盖的情况下地球气候系统由冰室向温室转变的过程，是现今气候变化的重要深时模板。但是，由于缺乏高分辨率、高准确度的气候-环境-生物记录，此次气候转型对海洋无脊椎生物演化的控制作用尚不明确。通过对华南海相碳酸盐岩沉积进行旋回地层学分析，建立下二叠统亚丁斯克阶和空谷阶长达 1800 万年的高分辨率天文年代标尺。利用万年级分辨率的时间格架约束古气候和古环境替代指标，并对比前人发表的同期海洋生物多样性时间序列，主要得到以下结论：1）海洋生物多样性主要受陆源输入量控制；2）短偏心率弱振幅时期稳定的降水量和持续的陆源营养物质输入刺激海洋生物多样性增加；3）在冰室气候条件下（290−285.1 Ma），斜率弱振幅期周期性地触发高纬度地区冰川累积、低纬度地区陆源输入量增多，生物多样性增加；4）在温室气候条件下（285.1−272 Ma），斜率旋回控制生物多样性的模式逐渐转变，斜率弱振幅期周期性地触发陆地干旱和海洋缺氧，反而抑制海洋生物的成种过程。我们的研究阐明了在不同气候背景下，地球轨道参数、古气候以及海洋生物多样性周期性耦合的动力学模式。

S03-O-11

华南晚古生代大冰期沉积过程与碳同位素变化

杨文莉[1,2]，陈吉涛[1,3]*

1 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学重点实验室，南京 210008
2 中国科学院大学，北京 100049
3 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，南京 210008
* jtchen@nigpas.ac.cn

晚古生代大冰期（LPIA）于石炭-二叠纪之交（C/P）达到了冰盛期，之后开始逐渐变暖，早二叠世晚期，地球由冰室气候逐渐转变为温室气候。晚古生代冰川作用持续发育在南半球冈瓦纳大陆中高纬度地区，冰川的消融和扩张也引发了低纬度地区海平面升降。华南板块在晚石炭-早二叠世处于古特提斯洋东缘低纬度地区，发育了一套保存完好的碳酸盐岩序列。为了更好地理解该时期的气候转变机制，本文选取了黔南罗甸盆地的两个碳酸盐岩斜坡相剖面（纳庆、上隆）进行了详细的沉积学以及碳酸盐岩碳同位素研究。在研究剖面共识别出四种岩相，分

别是薄板状泥晶灰岩、纹层状粒泥灰岩、正粒序泥粒灰岩和滑塌灰岩。在早乌拉尔世的阿瑟尔期和萨克马尔早期，两个剖面均发育有多套滑塌沉积，指示了海平面明显下降。从萨克马尔中晚期开始，两个剖面变为以薄板状泥晶灰岩沉积为特征，可能指示了一次明显的全球变暖事件，导致冈瓦纳大陆冰川消融，全球海平面明显上升。研究剖面的碳酸盐岩碳同位素（$\delta^{13}C_{carb}$）在 C/P 界线附近都稳定在~5-6‰，在 C/P 界线之上，研究剖面都发生了明显的 $\delta^{13}C_{carb}$ 负漂移（幅度约为 1.5-3‰），表明在该时期全球碳循环发生波动，这可能是导致全球变暖的主要原因。后则受斜率主导。我们的气候指标表明 2.75 Ma 时湖泊碎屑输入显著增大，季风降雨明显增强，同时我们发现此时经向海温梯度显著升高，且显示出由~140 kyr 和~95 kyr 向~41 kyr 的周期转变，与渭河盆地记录相一致。因此我们认为~2.75 Ma 时东亚气候系统的重组与北极冰盖的扩张相一致，是对全球气候急剧变冷和经向海温梯度变化的响应，东亚季风降雨的增加可能与经向海温梯度升高导致的西风带南移有关，并且我们的研究还表明北极冰盖的形成受构造-天文因素的协同控制，冰室气候下地球气候系统稳定性显著下降，更趋向于不可预测状态。

S03-O-12

晚上新世东亚夏季风的演化以及对北极冰盖扩张的响应

张泽*，王治祥，黄春菊*，David B. Kemp

1 中国地质大学地球科学学院，武汉 430074

* zhangze9052@163.com, huangcj@cug.edu.cn

晚上新世-早更新世(3.6-1.8 Ma)是一个重要的全球降温时期，地球从一个以低幅度气候变化为主要特征的温暖地球，转变为一个主要以北半球冰川作用和大幅度气候周期为特征的较冷时期，气候变冷和冰期强度增加的长期趋势暗示了气候系统动力学的显著变化，但这些变化的原因以及与之相关的冰川动力学的具体变化却鲜为人知。

晚上新世轨道尺度的气候演化研究主要集中在海相沉积和中国黄土-古土壤序列上，然而这两种记录又表现出不一致，因此陆相湖泊沉积可作为另一独立的沉积记录为晚上新世气候演化提供新的视角。本次研究通过对上新世-更新世过渡时期渭河盆地古三门湖 41 m 厚的黄底沟剖面进行磁性-旋回地层学研究并与深海氧同位素进行对比校正，建立了 3.85-2.30 Ma 的高精度年代标尺，揭示出天文因素对东亚气候转变的主控作用。研究表明，在 2.75 Ma 之前三门古湖的演化由~100 kyr 短偏心率主控，2.75 Ma 之

S03-P-01

Reverse weathering may amplify post-snowball atmospheric carbon dioxide levels

Fangbing Li[1,2,3]*, Donald Penman[3,4], Noah Planavsky[3], Andrew Knudsen[5], Mingyu Zhao[3], Xiangli Wang[6], Terry Isson[7], Kangjun Huang[8], Guangyi Wei[9], Shuang Zhang[10], Jun Shen[11], Xiangkun Zhu[1], Bing Shen[2]*

1 MNR Key Laboratory of Deep-Earth Dynamics, MNR Key Laboratory of Isotope Geology, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China

2 Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, MOE, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing, 100871, China

3 Department of Geology and Geophysics, Yale University, New Haven, CT 06520, USA

4 Department of Geosciences, Utah State University, Logan, UT 84322, USA

5 Department of Geosciences, Lawrence University, Appleton, Wisconsin, 54911, USA

6 University of South Alabama, Mobile, AL, 36688, USA

7 University of Waikato (Tauranga), Tauranga, 3110, New Zealand
8 State Key Laboratory of Continental Dynamics and Shannxi Key Laboratory of Early Life and Environment, Department of Geology, Northwest University, Xi'an, 710127, China
9 State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, Jiangsu, China
10 Department of Oceanography, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA
11 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan, 430074, China
* annalee1214@gmail.com

Snowball Earth glaciations are the most extreme climate perturbations recorded in Earth's history. It has been argued that the termination of these events was characterized by a single rapid transition from near-global ice coverage to an ice-free greenhouse climate state. Notably, this deviates with more extended transition periods of ice sheet waxing and waning typical of Phanerozoic glaciations. Using a coupled mineralogical and Mg and Li isotopic approach, we explore the role that authigenic clay formation within the seafloor may have played on Earth's climate during deglaciation of the Marinoan Snowball Earth event. Marine authigenic clay formation—a process referred to as reverse weathering—recycles carbon within the ocean-atmosphere system and acts to elevate atmospheric CO_2 levels. The results indicate a shift towards more extensive reverse weathering within the uppermost portion of the glaciogenic Nantuo Formation in South China. Carbon cycle modeling indicates that widespread reverse weathering could have driven a protracted (millions of years) carbon dioxide drawdown following high carbon dioxide levels expected during deglaciation.

S03-P-02S

冰雪地球应该怎么开始冰消

伍家成，刘永岗*，赵洲峤

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871
* ygliu@pku.edu.cn

海冰和冰架上形成的融池会加速它们的瓦解。这种过程在冰雪地球的融化中有着重要意义，但此前研究缺乏对该问题的关注。在这里我们开发了一个模型去定量描述冰上融池的形成，生长，以及重新冻结过程。将此模型结合到气候模式中，可以看到融池效应为气候提供了一个强的正反馈机制。冰雪地球融化开始的条件为年平均赤道地表温度-7.7°C，而非 0°C。在这种情况下，中纬度地区会出现季节性的融池。而季节性融池带来的正反馈效应会引起赤道地区出现终年的融池，并进一步使得该地区年平均温度在不到十年的时间内增至 6.1°C。我们的结果显示，先前未加入融池模型并以年平均地表温度达到 0°C 作为冰雪地球融化的标准时的模式结果大幅高估了冰雪地球融化所需的二氧化碳浓度达 4 倍。此外，我们的结果清晰地表明冰雪地球的融化始于赤道地区。我们进一步推测了热带冰面从开始融化到开放洋面的演变。

S03-P-03S

埃迪卡拉纪—寒武纪过渡时期海洋潜在 N_2O 排放通量变化

王振飞，常超，黄康俊*

1 大陆动力学国家重点实验室，陕西省早期生命与环境重点实验室，西北大学地质学系，西安 710069
* author@163.com

埃迪卡拉纪—寒武纪过渡时期是地质历史关键时期，见证了复杂多细胞生物灭绝以及后生动物辐射发展。破解这些重大生命演化事件背后的原因对理解现代生物圈起源十分关键。但是目前对埃迪卡拉生物群灭绝以及寒武纪生命大爆发延迟 20 Ma 出现背后的原因仍然存在较大的争议。因此，我们对扬子地块台地相和斜坡相发育的两口钻井剖面，进行了氮同位素($\delta^{15}N$)、黄铁矿硫同位素($\delta^{34}S_{py}$)、有机碳同位素($\delta^{13}C_{org}$)和微量元素含量测试分析。结果显示，在埃迪卡拉纪晚期至寒武纪幸运阶时期，沉积物 $\delta^{15}N$ 和 Cu/Al 比值持续升高，表明该时期水体反硝化作用增强，同时海洋硫化水体扩张导致溶解 Cu 浓度降低，可能会引起 N_2O 排放通量增加。一氧化二氮（N_2O）是一种强力的温室气体，该气体在海洋中排放通量增加会引起全球变暖、海平面上升，使水中溶解氧含量降低缺氧面积扩大，这可能是造成埃迪卡拉生物群灭绝的原因之一。在寒武纪第二阶，扬子区域氮同位素都表现出明显的负偏移特征，$\delta^{15}N$ 指示海洋反硝化作用不断降低，最终固氮作用主导透光带氮循环，表明该时期扬子海域为 NO_3^-极度缺乏的贫营养环境，同时 N_2O 排放通量减少。在寒武纪第三阶，氮同位素和铁组分都表明深水环境不断氧化，海洋硫化水体收缩，海水溶解 Cu 浓度升高，指示 N_2O 排放维持在较低的水平。同时该时期海洋形成类似于现代海洋 OMZ 的氧化还原结构，为后生动物辐射提供了充足的硝酸盐供给。我们的研究强调，E-C 过渡时期海洋氮循环剧烈扰动导致 N_2O 排放通量的变化，可能在驱动海洋氧化还原状态波动和后生动物多样化方面发挥重要作用。

S03-P-04

晚古生代大冰期大陆风化与气候

高彪[1]，陈吉涛[1,2]*

1 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学重点实验室，南京 210008

2 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，南京 210008

* jtchen@nigpas.ac.cn

晚古生代大冰期作为地球演化过程中唯一一次在发育有复杂陆地生态系统背景下气候由冰室转变为温室的地质时期，具有重要的研究意义。晚石炭-早二叠世时期冈瓦纳大陆冰川从冰盛期转变为大规模消融。同时期出现有塔里木大火成岩省、欧洲 Skagerrak 大火成岩省、和印度北部 Panjal 大火成岩省，以及新特提斯洋打开、古赤道植物群落更替等重大事件，这些事件都能影响大陆风化。大陆硅酸盐化学风化一方面消耗大气 CO_2，另一方面也影响径流输入的大陆营养盐进而影响海洋初级生产力和有机碳埋藏，这些过程都不同程度的影响气候状态和大陆冰川。而大陆冰川的消融也对大陆风化产生影响。本文主要通过文献调研和数值模拟，讨论晚石炭-早二叠世大陆风化对地球由冰室转变为温室气候的影响和响应。

S03-P-05S

晚古生代冰期气候旋回的陆相记录：以准噶尔盆地风城组和芦草沟组为例

黄何[1,2]*，高远[1,2]，王成善[1,2]

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

2 中国地质大学（北京）生物地质与环境地质国家重点实验室，北京 100083

* huanghe_cugb@163.com

地球在晚古生代末期经历了最近一次从冰室向温室的气候过渡阶段。这一时期在南方冈瓦纳大陆的地质记录揭示了冰川活动、大气 CO_2 与气候系统之间的复杂耦合关系与反馈机制。然而，同时期在北半球的地质记录却相对匮乏，限制我们对全球尺度气候驱动到沉积过程的理解。准噶尔盆地在早

二叠系时期，位于北半球的中高纬度地区，沉积了完整的二叠系湖相地层。其中，早二叠系的风城组与中二叠系的芦草沟组是准噶尔盆地重要的烃源岩地层，其形成的时代、气候环境背景对油气资源的深入勘探有重要的作用。本研究以风城组和芦草沟组为研究对象，使用高分辨率的测井数据进行旋回分析，揭示湖相沉积的天文驱动机制。具体来说，风城组的旋回分析揭示了显著的米兰科维奇周期，天文调谐结果显示风城组的时代约为晚石炭-早二叠（301.98-297 Ma），其中，风二段的韵律性碱性沉积揭示了天文旋回驱动的干-湿旋回变化的水文特征，这可能与超大陆季风的发育或者高纬度冰盖的消长有关。中二叠系的芦草沟组（267-270 Ma）进一步揭示了超长天文旋回（~1.2 Ma）与沉积过程之间的联系。此外，利用芦草沟组的天文周期地质记录，反向计算了芦草沟组沉积时期的天文理论参数(gi 和 si)与地-月系统之间的演化历史（地月距离，进动常数 k）。这些结果记录到了晚古生代北半球中高纬度湖泊系统的天文驱动过程，约束了古生代地月演化历史，提供了利用地质记录估算理论天文参数的一个研究范例。

S03-P-06

四川盆地侏罗纪古气候变化：来自深时古土壤的证据

李军 [1,2]，黄成敏 [2]*，文星跃 [3]，张茂超 [4]

1 兰州城市学院地理与环境工程学院，兰州 730070

2 四川大学环境科学与工程系，成都 610065

3 西华师范大学国土资源学院，南充 637002

4 重庆工程职业技术学院，重庆 402260

* huangcm@scu.edu.cn

侏罗纪是地球历史和生命演化漫长进程中非常重要的阶段，期间泛古陆（Pangaean）的裂解、西班牙通道（Hispanic Corridor）的开启等重要板块构造运动的变化影响着全球气候变化。当前，侏罗纪气候变化研究多以海相地层或海相材料为载体且成果颇丰，但以陆相材料为载体的研究相对较少。作为“化石土壤”的古土壤形成于地质历史时期的地球表面，是地球表层陆相环境信息的长期记录者，也是过去全球变化研究的重要载体。

四川盆地是我国陆相中生代代表性沉积盆地之一，其侏罗系地层发育完备，层序完整，出露有十分理想的侏罗系时代连续，发育有层次分明、特征多样的古土壤，为侏罗纪陆相气候变化研究提供了天然理想的实验室与材料。本研究以古土壤野外成土特征为基础，在四川盆地侏罗系岩石地层中辨识出 169 个古土壤剖面，并以其为研究对象，结合古土壤的形态与微形态、矿物组成以及地球化学等发生学特征对其进行土壤分类，结果发现四川盆地侏罗系古土壤类似于现代的新成土、始成土、干旱土和淋溶土。同时，利用现代土壤与降水、温度之间的定量函数关系式，以地层年代为单位重建四川盆地侏罗纪时期的古降水与古温度。定量重建结果显示四川盆地侏罗纪期间年均降水为 150–1140 mm，年均温度为 7–15 °C，属温带干旱-湿润交替的气候环境。其中侏罗纪早期年均降水量为 200–900 mm，年均温度变化不大，为 10–14 °C，表明该时期四川盆地盛行温带半干旱-半湿润气候；中侏罗世时期古土壤重建结果显示年均降雨量为 150–1020 mm，年均温度为 7–15 °C，大部分时期的年均降雨量和温度分别在 200–600 mm 与 9–13 °C，说明该时期以干旱温凉气候为主并伴有温带潮湿气候；晚侏罗世期间，四川盆地年均降水量相对较少，为 160–600 mm，年均温度为 9–13 °C，属温带干旱-半湿润气候。

四川盆地侏罗纪气候演化受全球和区域多种因素控制，可能不仅与侏罗纪期间板块水平运动引起的地球真极移和东亚季风环流有关，还可能与侏罗纪中晚期区域构造运动导致的盆地内部山系隆起及古地理格局引起的焚风效应及区域构造运动引起海岸山脉裂解有关。

S04-O-01

2.5 亿年以来全球水循环和干旱区演变

胡永云*，李想，郭佳琦，蓝佳雯静，林琪凡，韩晶，张健，刘永岗，杨军，聂绩

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* yyhu@pku.edu.cn

全球水循环的演变对理解地球深时气候演化和生态系统演变具有重要意义。我们使用地球系统模式对 2.5 亿年以来的水循环和干旱区演变开展了系列模拟试验，结果表明，全球降水强度与全球平均温度密切相关，尤其是海洋降水与全球平均温度具有很高的相关性（0.92）；陆地降水虽然与全球平均温度也有统计显著的相关性，但陆地降水与大陆裂解度、大陆面积和平均纬度有关，并非完全取决于温度条件。总体来讲，陆地强干旱区面随潘吉亚超大陆裂解而减少，而陆地强湿润区面积随超大陆裂解而增加。

S04-O-02

早侏罗世大洋缺氧事件碳循环扰动在塔里木盆地中的记录

邱若原[1,2]，方琳浩[3,4]*

1 中国科学院地质与地球物理研究所 新生代地质与环境重点实验室，北京 100029

2 中国科学院大学，北京 100049

3 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249

4 中国石油大学（北京）油气资源与探测国家重点实验室，北京 102249

* linhao.fang@cup.edu.cn

中生代是地球历史上典型的温室时期，而早侏罗世晚期更是一个特殊的全球极热时期。Karoo-Ferrar 大火成岩省的快速喷发和岩浆侵位同布海底甲烷气水合物的释放导致了 Toarcian 期大洋缺氧事件（Toarcian Oceanic Anoxic Event，TOAE）的发生。在 TOAE 期间，全球平均气温在不到一百万年内迅速上升了 4-7℃，大幅度的碳同位素负偏（Negative CarbonIsotope Excursion，NCIE）表明海洋-大气碳库的受到了强烈扰动，同时伴随着海洋缺氧、海洋酸化、海洋生物灭绝、大陆风化加快等等一系列的环境效应。迄今为止，TOAE 的研究主要针对于海相地层，但关于 TOAE 仍有很多关键问题尚未解答，例如，大量温室气体的来源和释放的机制是什么、大量的碳源进入到大气-海洋系统中如何被沉降固定下来、陆地的气候在增温过程中变干热还是湿热、陆地生态系统对迅速升温如何响应等。因此，开展陆相 TOAE 研究，对于解决这些关键科学问题具有重要意义。TOAE 不仅是研究当前全球变暖的理想参照，同时也是研究陆地生态系统在大火成岩省和气候突变双重影响下响应特征的最佳目标。

本研究对塔里木盆地库车河地区两个野外露头剖面进行了系统的采样、碳同位素、总有机碳分析，结合该地区岩石地层学和生物地层学资料，进一步讨论塔里木盆地在 Toarcian 期大洋缺氧事件中陆相盆地的响应特征。岩性地层学显示，阳霞组顶部发育黑色碳质泥岩，克孜勒努尔组下部 146-152 层发育砂岩、粉砂岩和泥页岩夹煤层，153 层顶部碳同位素开始负偏移，同时出现碎屑白云岩和紫红色泥岩，154 层-157 层出现由现代煤层自燃而烘烤形成的桔红色细砂岩。孢粉种类从 145 层顶到 157 层顶呈现出衰减的趋势，其中湿生孢粉种类衰减更加明显，由 145 层-152 层的 16 种衰减到 154 层只剩下 3 种，且孢粉种类减少的趋势在 NCIE 事件层之前就已开始。从 145 层顶到 157 层顶，沉积相的变化与孢粉种类的衰减表明该区沉积环境发生了巨大变化，碎屑白云岩、紫红色泥岩的出现和事件层中湿生孢粉的衰减以及中生孢粉的出现，均表明在 TOAE 期间塔里木盆地北缘气候转为干热。陆地有机质的碳同位素记录是大气中二氧化碳的碳

同位素的信息载体，研究区两个剖面分别记录了约 4.5‰和约 7‰的 NCIE，其 δ13C 值的迅速波动表明了大气碳库在短时间内的扰动，迅速负偏暗示了轻同位素特征的碳源注入，三次脉冲状负偏移，指示了短时间内具有轻同位素特征的碳源的阶段性注入。第一次脉冲状负偏移后的迅速正偏移，表明重同位素特征的碳源注入或者生产力短时期内快速地增加。综上所述，Karoo-Ferrar 大火成岩省的喷发可能是 TOAE 的导火索，其不仅造成了 Pliensbachian-Toarcian 界线处出现小幅度的碳扰动（短暂负偏之后又恢复正偏），同时也使得地表圈层进入到相对变热和内陆变干的时期，塔里木盆地的干热气候导致了研究区孢粉种类出现衰减，盆地的湖平面下降，盆地边缘的沉积相发生改变。在增温引起的正反馈机制作用下，浅海大陆架的甲烷气水合物幕次地分解释放，从而出现了三次脉冲状负偏移。

TOAE 期间气候变化的触发模式与如今的变暖有相似性，因此，在应对未来地球气候变化挑战中，由增温引发的一系列过程值得予以关注。本研究报道了首个来自陆相沉积盆地边缘的 TOAE 记录，同时塔里木盆地也是首个在 TOAE 期间具有干热响应特征的陆相盆地，为认识在当今地球历史时期二氧化碳显著升高的背景下，陆相盆地的响应特征以及陆地系统的演化具有借鉴意义。

S04-O-03

千年尺度气候事件低纬度来源及其解释机制

张治锋，黄永建*，王成善

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* huangyj@cugb.edu.cn

最近的观测和模拟结果都表明，地球上极端气候事件变得史无前例的频发，并给经济、生态、以及人类社会带来巨大灾害。研究地质历史时期气候变化可以对未来气候预测给予启示。在更新世时期于北大西洋海底发现的冰漂砾层，即 Heinrich 事件，是典型极端气候事件之一，目前对于该事件的解释主要分为内因和外因两大解释阵营，但是最终成因机制仍旧不清。早期对于冰漂砾沉积的物源分析表明，这些冰漂砾层来源于北大西洋周边的冰盖，从而掀起了与冰川相关的内因解释机制。然而，该机制无法解释以下几点内容：（1）Heinrich 事件为什么在最冷是时候发生，并且叠加嵌套在更短的‘D-O’事件之上，这与冰川在冷时期增生，在暖时期消融的冰川学观点相悖；（2）在北大西洋以外地区发现了 Heinrich 和类 Heinrich 事件，并且南北 Heinrich 事件呈现镜像关系；（3）大洋观察结果表明，在 Heinrich 发生之前，发生大量前兆事件，如次表层海水在 Heinrich 发生之前升温，而喜冷的浮游有孔虫相对丰度也在 Heinrich 发生之前达到峰值。以上内因和外因之争的核心观点，实际是围绕‘冰川’这一关键因素展开的，那么在地球两极无冰状态时，对 Heinrich 事件的存在与否，以及表现形式进行研究则显得尤为必要。因此，本文以松辽盆地白垩纪嫩江组岩芯为研究材料，并获取到高精度的 XRF 扫描数据。数据的功率谱分析结果表明，目标地层中除了记录到良好的轨道尺度信号以外，还存在明显的千年尺度信号（7-8kyr），其与北大西洋 Heinrich 周期相似。进一步的双相干谱分析结果表明，千年尺度信号是对轨道尺度信号的非线性响应的结果。鉴于白垩纪时期，地球两极几乎是处于无冰状态，因此在温室时期识别到与 Heinrich 事件相似的信号，则表明 Heinrich 事件本身可能与冰川作用无关，而更可能是后者对外在大洋-大气变化的响应结果，而非原因。并且 Heinrich 事件背后的驱动因素可能是由 Milankovitch 信号中不同基频率信号发生非线性共振产生的，即 Heinrich 起源于低纬度地区，并且借助于大洋和大气过程，将该信号传递到中高纬度地区。据此，本文提出了一个新的 Heinrich 事件的解释模型，该模型可以将已有的内外解释机制调和。

S04-O-04

过去 2.5 亿年以来 ENSO 强度的演化

李想*，胡永云

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* xiang@pku.edu.cn

ENSO (El Niño-Southern Oscillation)发生于赤道太平洋，是全球年际尺度海气相互作用最强模态，对全球天气、环境、气候变化有深远影响。因而理解地质历史时期 ENSO 强度的演化对气候预测有重要意义。目前利用气候模式对深时古 ENSO 进行系统性模拟的工作相对较少。虽有地质证据表明 ENSO 可追溯至晚白垩时期，但是地质记录在全球范围内分布稀少且具有一定的不确定性。为了对深时古 ENSO 的演化有一个系统、全面的认识，本研究利用 CESM1.2 (Community Earth System Model version 1.2) 开展一系列全球耦合模拟试验，系统研究自 2.5 亿年以来ENSO强度演化并讨论其机制。结果表明：过去 2.5 亿年以来 ENSO 一直存在，是热带大洋年际尺度最强变率。过去 2.5 亿年以来 ENSO 强度变化较大，在 ENSO 较强的时期，最强月份海温异常平均可超过 2℃，ENSO 事件平均可持续超过 1 年。ENSO 强度的演化和与之相关的海气动力学、热力学过程可由 Bjerknes (BJ) index 定量描述和解释。1）在 250 Ma – 210 Ma，ENSO 强度主要由 Ekman 正反馈控制；2）在 200 Ma – 50 Ma，ENSO 强度由纬向平流正反馈、温跃层正反馈和 Ekman 正反馈共同控制；3）40 Ma 至今，ENSO 强度主要由温跃层正反馈控制。

S04-O-05

早白垩世辽北秀水盆地湖相年纹层记录与太阳活动周期

田兴[1]，高远[1]*，Tyler Kukla[2], Olaf Lenz[3]，黄何[1]，Daniel E. Inarra[4]，孙守亮[5]，王成善[1]*

1 中国地质大学（北京），北京 100083

2 斯坦福大学，美国 94305

3 森肯伯格研究所，德国 60325

4 布朗大学，美国 02912

5 沈阳地质调查中心，辽宁 110034

* yuangao@cugb.edu.cn, chshwang@cugb.edu.cn

太阳活动与地球气候变化有着十分密切的关系，其微小的变化足以令地球气候系统产生较大的波动，因此太阳活动对地球气候变化的影响一直以来都是科学研究的重点与热点。虽然现代可以从各个角度记录太阳活动的变化，但是对于古代太阳活动，现代的观测手段却束手无策，因此无法直接预测太阳活动周期的长时期变化。部分高分辨地质记录，比如年纹层，可以将古代太阳活动信号记录下来，可以借此一探地质历史时期中的太阳活动记录以及探讨太阳活动周期在地质历史时期中的稳定性。本文以中国辽宁北部的秀水盆地为研究区，以秀水盆地早白垩世义县组（约 121 Ma）的纹层状沉积物为研究对象，探讨了地质历史时期中太阳活动周期的变化。在秀水盆地钻取的义县组三段岩心中，我们发现了条带状泥岩。这种泥岩由两种岩相构成，一种为浅色粉砂岩（Mf 1）；另外一种为深色纹层状泥岩（Mf 2），Mf2 可以根据纹层的规则程度细分为不规则的有机质纹层（Mf2-1）以及规则的有机质纹层（Mf2-2）。通过对条带状泥岩的沉积学分析认为该条带状泥岩沉积微相 Mf 1 主要为事件沉积，比如浊流沉积，Mf2 主要记录了微生物席的生长和凋零，并且提出了条带状泥岩的沉积模式。同时，根据现代微生物席的生长特征，年纹层的层偶结构，义县组三段泥页岩的沉积速率，元素地球化学特征以及相似的研究实例，本文认为Mf2为年纹层，该年纹层由微米级碎屑亚纹层和微生物席亚纹层构成，很可能记录了早白垩纪世夏季和冬季微生物席的季节性生长和凋

零。通过对 Mf 2-2 中规则年纹层层偶进行二进制序列，年纹层灰度，年纹层微区 XRF 数据的频谱分析，发现稳定的太阳 Bruckner 周期（30-45 年）和太阳施瓦贝黑子周期（约 11 年），在灰度数据中还发现了太阳黑尔周期（约 22 年），此外，气候指标还记录了 2-7 年的似 ENSO 周期。多个太阳周期的存在，很可能表明在早白垩世时期，太阳活动影响了华北地区微生物的生长，衰亡和沉积过程。通过汇总深时太阳活动周期的年纹层记录，结合我们的新记录，发现起码自古元古代以来约 11 年的施瓦贝黑子周期和约 22 年的黑尔周期基本保持不变。本文的年纹层研究弥补了白垩世中国太阳活动研究的空白。

S04-O-06

白垩纪早 Aptian 期张掖黑色页岩揭示的气候岁差驱动

谢琴[1]，陈家胜[2,3]*，刘晓静[1]

1 福建师范大学地理科学学院，福州 350007

2 福建师范大学湿润亚热带生态-地理过程教育部重点实验室，福州 350007

3 福建师范大学地理研究所，福州 350007

* chenjsh04@fjnu.edu.cn

白垩纪中期是温室气候的典型代表，在该时期地球经历了深刻的环境变化。有研究表明白垩纪中期副热带高压的南移会扰动低纬轨道驱动，同时特提斯洋西部欧洲低纬（~20°N-30°N）海相地层的黑色页岩呈现高纬斜率信号，这与暖室期气候以低纬驱动为主的认识相矛盾。特提斯洋东部中国地区以陆相沉积为主，本文选择西北张掖南台子黑色页岩作为研究对象，以亮度作为高分辨率古气候替代性指标，利用平均频谱拟合差和年代标尺优化法分析了早 Aptian 时期南台子下沟组黑色页岩（~23°N）的轨道周期变化，并利用频谱分析方法对调谐后的时间域序列进行分析。结果显示南台子黑色页岩以岁差周期为主导，证明了低纬驱动过程对该区域的重要影响，与欧洲海相地层主导周期不一致的原因是热带辐合带在陆地上延伸的纬度更高，海洋中延伸的纬度更低，表明在白垩纪中期热带辐合带能到达~23°N。对这一深时气候变化的深入探索有利于对青藏高原隆升前的季风系统演化以及未来全球增温的环境效应有重要借鉴意义。

S04-O-07

晚白垩世至古新世东亚中纬度陆地气候变化——来自松辽盆地大陆科学钻探的记录

高远*，陈积权，黄何，田兴，王成善

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* yuangao@cugb.edu.cn

晚白垩世（距今约 75-66 Ma 的坎潘尼晚期至马斯特里赫特期）至古新世早期，地球波动的温室气候为主要特征，伴随着火山作用、希克苏鲁伯小行星撞击和发生在白垩纪-古近纪的生物大灭绝。本研究基于松科 1 井大陆科学钻探具有可靠年代学约束的四方台组和明水组（SMF）岩心，利用多重指标的方法，重建了晚白垩世至古新世早期东亚中纬度地区的陆相气候记录。沉积环境的演变以五个河流相-三角洲相-湖泊相的沉积旋回为特征。四种古土壤类型包括始成土、干旱土、变性土和淋溶土，解释为主要反映了气候变化。沉积相、古土壤特征、伊利石化学指数、化学蚀变指数以及土壤次生碳酸盐和黏土矿物的稳定性同位素揭示陆地气候和沉积环境的明显波动。在由火山作用引起的全球变暖的时期（如约 69.5-68.5 Ma），松辽盆地经历了更温暖湿润气候，陆地环境的化学风化作用更强，且自太平洋的季风带来的水汽较多。相反，在全球降温的时期（如约 70.5-69.5 Ma 和约 68.5-66.5 Ma），松辽盆地的记录表现为更凉爽干燥的气候，化学风化作用强度较低，来自西风带的水汽较多。跨过白垩纪-古近纪界线，陆地温度和水文气候的剧烈变化对应着马斯特里赫特晚期

的暖事件（约 66.4-66.1 Ma）、白垩纪-古近纪界线之前的短暂变冷事件（约 66.1-66.0 Ma）和早古新世变暖事件（约 66.0-65.7 Ma）。风化指标的变化与德干高原火山作用的时间相关性表明，火山作用与之后加剧的风化作用在白垩纪-古近纪界线期间的气候变化中起着重要作用。松辽盆地的沉积学和地球化学数据的综合记录有力地表明，东亚中纬度地区的陆地气候对温室气候的变化及晚白垩世到早古新世的重大地质事件具有强烈的响应。

S04-O-08

全球煤分布的定量气候模型——基于气候模拟的研究

包秀娟，胡永云*

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* xbao@pku.edu.cn

煤作为重要的能源矿产，其分布位置的预测对国民经济和对古气候的认识有重要作用。Lottes 和 Ziegler (1994) 用温度和降水量建立了“陆地生产力”的指标：月平均降水量大于 40 mm 煤且月平均温度大于 10℃的月份的百分数。这一指标很好的预测了现代泥炭的全球分布位置。然而，这是否适用于煤的气候预测，煤的形成指示了怎样的气候条件尚无系统的研究。为了定量了解煤指示的气候条件，本文对中新生代做了一系列数值模拟试验，并将气候模拟结果与煤数据库的结果进行对比，建立全球煤炭分布的定量气候模型。

本文使用低分辨率 (3.75°×3.75°) 地球系统模式 (CESM1.2) 进行数值模拟试验，再使用低分辨率模式给出的海面温度驱动高分辨率大气环流模式 (1°×1°)重新进行试验，给出更精细的气候分布。使用这种方法，对 250 Ma 至现代，每 10 Ma 运行一个数值模拟试验。根据 Scotese (2018) 的古大陆再造模型和古地理数据，以各时期的海陆分布和地形作为地球系统模式的下边界条件，给定大气 CO_2 浓度和太阳辐射强度，运行以上模拟试验得到大气和海洋的温度、降水等气候要素的全球分布。根据这些结果，分析不同地质时期的气候特征。Boucot et al (2013) 总结了各地史时期的全球煤分布，本文根据 Scotese (2018) 的古大陆再造模型，用 Gplates 软件将煤的分布位置所在板块进行移动和旋转，再用 Arcgis 软件提取各时期煤分布的位置，将其与数值模拟结果进行对比和分析。初步分析结果表明，“陆地生产力”指标不能很好的预测地史时期煤的分布，温度和降水在不同时期全球煤的分布有主导作用有变化。

S04-O-09

轨道驱动的中三叠世温室气候变化——来自鄂尔多斯盆地延长组的地质证据

褚润健[1]*，吴怀春[1]，房强[1]，毛治国[2]，朱如凯[2]

1 中国地质大学（北京），北京 100083

2 中国石油勘探开发研究院，北京 100083

* 1129688563@qq.com

“冯 75 井”,“丹 81 井”和“瑶页 1 井”三口钻井获取了鄂尔多斯盆地陆相中三叠统延长组各 300-500 m 连续岩心，为我们认识三叠纪温室气候变化提供了重要的地质依据。我们利用磁化率，伽马能谱（包含岩石中钾、铀、钍含量以及伽马值），以及多种主微量元素含量等作为古气候替代性指标分别对三口钻井进行了旋回地层学分析和古气候研究。古气候替代性指标揭示了地层中显著的米兰科维奇旋回周期并由此建立了天文年代标尺，来自岩心火山灰高精度 U-Pb 年龄（化学磨蚀-同位素稀释热电离质谱法，CA-ID-TIMS）进一步对天文年代框架进行了约束和验证，并基于贝叶斯年代模型（Bchron）建立了该段地层的高精度年代框架。高精度年代学的建立为全球地质记录的

对比和揭示古气候变化提供了条件，进一步对比分析我们发现：

延长组两段油气甜点层位，即“张家滩页岩”和“李家畔页岩”，分别发育于 241.1-240.9 Ma 和 244.4-243.6 Ma，这两期烃源岩的发育对应了中三叠周期性的“热事件”，进一步与该时期生物演化、大洋生物硅埋藏、天文轨道驱动力的对比发现，我们认为这些事件与该时期~3.3 Ma 的超长偏心率周期调制的“超级季风”气候相关。

延长组记录（华北）与同时期华南海相高精度地质记录对比发现，中三叠世鄂尔多斯湖平面变化和特提斯海平面变化在~1.2 Ma 的超长斜率周期上呈反相的“跷跷板”关系，因此推测中三叠世的无（少）冰温室气候下地下水是控制海平面变化的重要机制，轨道斜率是控制该时期这种模式海平面变化的重要轨道参数。

S04-O-10

PETM 期间北海盆地在天文信号驱动下的大规模陆源碎屑输入

金思敏[1]，David B. Kemp[1]*, David W. Jolley[2], Manuel Vieira[3], James C. Zachos[4]，黄春菊[1]， 李明松[5]，陈文汉[1]

1 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室和地球科学学院，武汉 430074

2 Department of Geology & Geophysics, School of Geosciences, University of Aberdeen, King’s College, Aberdeen, AB24 3UE, UK

3 Shell UK Ltd., 1 Altens Farm Road, Nigg, Aberdeen, AB12 3FY, UK

4 Department of Earth and Planetary Sciences, University of California Santa Cruz, 1156 High Street, Santa Cruz, CA 95064, USA

5 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* davidkemp@cug.edu.cn

随着气候的持续变暖，沿海和内陆地区可能会遭受越来越极端的天气，干旱和洪涝事件将会频发。这些变化也会对沉积系统产生相应的影响。古新世-始新世极热事件(PETM，~56 Ma)是新生代最显著的极热事件之一，被认为是理解区域和全球对未来气候变化响应的一个重要的参照对象。越来越多的证据表明, PETM 对全球水循环产生了重要的影响，但 PETM 对浅海沉积系统的具体影响仍是未知的。本文对英国北海盆地一浅海钻井岩芯进行了研究，展示了目前已发表的沉积厚度最大的 PETM 记录。整个碳同位素负偏（CIE）持续了~ 140.2 m，期间伴随着两百多层浊积岩，沉积速率增加了一个数量级。对浊积岩进行的时间序列分析表明，这一大规模陆源碎屑输入可能受~ 21ky.的天文岁差周期控制。且碳同位素负偏与显著增加的浊积岩沉积之间存在着明显的时间间隔。本研究揭示了极端气候变暖、强化的水循环和大规模陆源碎屑输入变化之间的联系。此外，本研究强调了天文轨道参数变化对水循环和大规模陆源碎屑输入的驱动。

S04-O-11

Remote sensing for dryness monitoring and impact evaluation

Abdul Ghaffar[1,2], Xiaozhong Hu[1,2]

1 College of Fisheries, Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Eucation, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

2 Institute of Evolution and Marine Biodiversity, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

* fresh_gafar@yahoo.com

Dryness is a basic hydro meteorological phenomenon and a pervasive global risk. As our climate changes, dryness issues will possibly grow more severe and persistent. Powerful dryness monitoring is important, both to the study area in promoting harmony of dryness and to those responsible for dehydration direction and reduction. Across the

past 50 years, remote sensing becomes moved the field apart from dependence on conventional site-based measurements and enabled remarks and views of essential drought-related variables over more extensive spatial and temporal systems than was previously achievable. That has shown particularly critical in data-poor areas with short in-situ monitoring services. Available remotely sensed data results immediately represent nearly every phase of dryness spread and have added to our understanding of the phenomena. In this study, we outline the beginning of remote sensing for dryness monitoring, reviewing key milestones and technologies for assessing meteorological, agricultural and hydrological drought events. We return on challenges the research area has faced to time, such as conditions associated with information record length and spatial, temporal, and spectral resolution. This study then seems forward to the future in the duration of new technologies, such as the ESA Sentinel satellites, analytical platforms and approaches, such as Google Earth Engine, and the utility of existing data in new drought monitoring applications.

S04-O-12

末次间冰期以来轨道尺度东亚春季沙尘循环的瞬变模拟研究

李新周*，戴奥娜，马红艳

1 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061

* lixz@ieecas.cn

沙尘气溶胶作为地球表层和大气不同圈层相互作用的重要纽带，是影响地球系统能量平衡的重要因素之一。在欧亚大陆腹地，存在着世界上最大的干旱半干旱区。中纬度西风急流是北半球的一个重要环流因子、其强弱变化和急流轴位置南北摆动对沙尘循环产生重要影响。不同研究领域的科学家们已经针对轨道尺度西风演化和欧亚沙尘循环分别进行了系统研究，且已取得较大进展。但是有关轨道尺度上日射强迫、西风异常及其与欧亚沙尘活动强弱的对应关系和影响机制一直未解。末次间冰期是距离现代最近的一个间冰期，不同于冰期时段在高纬地球有冰盖覆盖，末次间冰期大气环流场和沙尘循环主要受控于太阳辐射，因此系统分析轨道改变引起的日射强迫对西风环流异常和东亚沙尘循环的影响，可为预估现代间冰期气候演化和沙尘循环的未来预估提供一定参考。本文试图通过包含末次间冰期在内的一个长期瞬变试验结果，分析春季日射强迫、中纬度西风带和中国北方沙尘循环的演变特征及其之间的相互作用，探讨轨道尺度上中国北方沙尘循环的可能机制。

结果表明，在末次间冰期期间，春季中国北方沙尘排放通量、柱浓度和沉降通量均具有显著的准 20 ka 岁差周期，并与北半球 4 月日射同相位变化。岁差尺度上沙尘强弱变化与源区地表风速、青藏高原地表感热通量及其北侧高空西风同相位变化，而与东亚副热带西风急流、西伯利亚高压、大气降水呈反相位关系。合成分析显示，轨道参数改变引起的春季北半球日射强弱变化是沙尘循环强弱的主要原因。春季北半球日射偏强时，青藏高原地表感热加热偏强，从而引起高原上空西风减弱和急流轴位置北跳，致使高原北侧上空西风偏强，同时底层西伯利亚高压明显减弱以及地表增暖异常共同促使底层大气不稳定度增强，有利于沙尘活动加强，中国北方沙尘循环加强，反之亦然。1954-2007 年的现代仪器观测沙尘暴数据和 NCEP 再分析资料结果进一步证实了，，进一步证实了中国北方沙尘活动与高空西风南北摆动和强弱变化的必然联系。因此,末次间冰期岁差尺度上春季沙尘活动频率可能主要与高空西风强弱和急流轴位置南北摆动有关。本研究为来自地质记录的轨道尺度沙尘循环与气候变化对应关系的机理解释提

供一定理论依据，可为气候长期演化未来预估提供参考。

S04-P-01

解码天文轨道力驱动的盆地波动过程：以鄂尔多斯盆地中生界为例

张瑞[1,2,3]*，金之钧[1,2,3]，刘全有[3]，梁新平[1,2,3]

1 北京大学能源研究院，北京 100871

2 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

3 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室，北京 100083

* ruizhangxu@pku.edu.cn

大量证据表明，天文轨道系统与地球系统演变之间具有显著相关性。当前，地球轨道周期的沉积响应研究取得了丰富认识，而太阳系轨道力如何驱动盆地构造演化与沉积旋回缺乏系统认识。本研究利用最新时间序列分析技术解码鄂尔多斯盆地中生代沉积记录中的波动周期，分析天文轨道系统驱动的盆地波动过程，探讨波动叠加效应对烃源岩发育的控制。

盆地中生界多个连续沉积段自然伽玛（GR）的时间序列分析首先揭示了 405 kyr 偏心率等地球轨道信号在陆相盆地的稳健记录。经过天文调谐的时-深转换，对中生界沉积速率（SR）的时间序列分析进一步揭示了 93 Myr、29 Myr、9.4 Myr 等超长周期信号。这些超长波动周期与地球深部物质循环或全球表层沉积节律非常相似，可能具有统一的来源。根据鄂尔多斯盆地中生界波动周期之间的“三倍”谐波层次结构以及落入太阳系运行周期频段的可能性，认为鄂尔多斯盆地波动节律具有天文来源。中生界 93 Myr 波动是对太阳系向银心径向运动半周期的沉积响应，该周期驱动威尔逊旋回，通过地球动力学变化控制鄂尔多斯盆地构造体制转换。中生界 29 Myr 波动是对太阳系绕银道面垂向振荡半周期的沉积响应，该周期驱动地幔对流循环，通过控制软流圈地幔上涌制约盆地沉积-剥蚀过程。中生界 9.4 Myr 波动及高频 2-5 Myr 波动是对地球轨道超长偏心率周期的沉积响应，该周期通过驱动气候演变影响鄂尔多斯盆地湖平面振荡和烃源岩发育。

天文轨道系统驱动的波动叠加效应是烃源岩发育的重要控制因素。中-晚三叠世是鄂尔多斯盆地构造-沉积环境转折的关键时期，多尺度波动叠加控制了盆地沉积旋回，盆地演化动力学背景转变驱动了延长组长 7 油层组深水沉积发育。盆地波动过程研究对探索天文轨道系统驱动地球系统演变有重要意义，而且可为优质烃源岩发育环境分析提供新思路。

S04-P-02S

德干火山作用及晚白垩世生物大灭绝：来自 Hg 元素及 Hg 同位素的证据

顾雪[1,2]，张来明[1,2]*，尹润生[3]，Stephen E. Grasby[4]，姚翰威[1,2]，谭结[1,2]，王成善[1,2]*

1 生物地质与环境地质国家重点实验室，中国地质大学（北京），北京 100083

2 地球科学与资源学院，中国地质大学（北京），北京 100083

3 矿床地球化学国家重点实验室，中国科学院地球化学研究所，贵阳 550002

4 Geological Survey of Canada，Calgary Natural Resources Canada，Calgary，AB T2L 2A7，Canada

* lzhang@cugb.edu.cn, chshwang@cugb.edu.cn

白垩纪末期的生物大灭绝事件是距离人类最近的一次全球性的大范围的生命绝灭，研究普遍认为约 66 Ma 发生在德干高原的大规模火山喷发是造成这一生命浩劫的推手之一。通过高分辨率年代学、生物地层学、化学地层学以及气候替代性指标的综合对比，可以更加精准的限定这两者之间的联系。中国东北部松辽盆地“松科一井”具有

连续的晚白垩世-早古新世（K-Pg）陆相气候记录及高精度年代学格架，为研究德干火山作用和生物绝灭事件提供了良好的条件。本研究借助“松科一井”沉积岩中 Hg 元素作为大规模火山喷发的标志，系统的对比了该剖面中晚白垩世-早古新世 Hg 元素含量、Hg 同位素、古温度、二氧化碳浓度以及生物记录，结果表明由德干火山喷发最剧烈时期导致的 Hg 含量异常（～50kyr）与显著的物种灭绝相对应，指出 K-Pg 界线附近的极端喷发事件触发了白垩纪末生物大灭绝。

S04-P-03

中国东北晚白垩世受轨道驱动的化学风化作用及其古气候学意义

黄永建*，张治锋，李祥，王成善

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* huangyj@cugb.edu.cn

松辽盆地大陆科学钻探计划项目获取了中国东北完整的白垩纪陆相沉积记录，为了解白垩纪时期的陆相气候变化提供了重要的机遇。本项工作获取了松科 1 井南孔的泉头组三四段高分辨率地球化学记录，发现泉头组三四段样品来源于成分均一的源区，且绝大部分样品为经历首轮风化的沉积物，其化学风化指数（CIA 和 τNa）能够记录古气候变化。泉头组三四段的 CIA 指数平均值为 71.5，表现为中等程度的化学风化，并可以划分为四段：平稳的下部（底部到 1878 米）、缓慢上升的中下部（1878~1815 米）、呈现最高值的中上部（1815~1800 米）和平缓波动的上部地层（1800 米往上）。泉三四段的化学风化指数记录了大约 7 个短偏心率旋回，持续时间为~700ka，并准确地记录了从岁差、斜率到偏心率尺度的旋回变化。通过对比标准曲线与 GR 和 CIA 的相位关系，可以发现在偏心率高值期间，对应 GR 和化学风化的高值，这与偏心率高值期间，对应更为湿热的气候，化学风化增强、粘土矿物的形成和输入增加相一致的，表明在轨道时间尺度上，太阳辐照、化学风化和温度之间的反馈关系可能是该时间尺度上地球气候的稳定机制之一。松辽盆地白垩纪时期呈现的类季风与西风相互作用的的古气候格局，可能是控制泉头组三四段化学风化指数旋回性变化的根本原因。加强松辽盆地多尺度古气候变化研究，特别是进行与该地区第四纪以来的古气候学对比研究，将对我国应对全球变暖挑战，具有重要的科学价值和社会效益。

S04-P-04S

赫布里底盆地早托阿尔期大洋缺氧事件记录与同期环境响应

陈文汉 [1]，David B. Kemp[1]*，何天辰 [2]，黄春菊 [1]，金思敏 [1]，熊怡俊 [2]，Robert J. Newton[2]

1 中国地质大学地球科学学院、生物地质与环境地质国家重点实验室，武汉 430074

2 利兹大学地球环境学院，利兹 LS2 9JT

* davidkemp@cug.edu.cn

由于强烈的火山作用（Karro-Ferrar 大火成岩省），大量轻同位素碳（^{12}C）释放进入表生海气系统，引发早托阿尔期（~183 百万年）沉积物中碳同位素显著负偏和全球变暖，并可能诱发了显著的大洋缺氧，因而该时期被地质学家们称作“早托阿尔期大洋缺氧事件”（T-OAE）。尽管全球多处都记录了该缺氧事件，但该事件所引发的环境效应却存在明显的区域差异。本文以苏格兰 Raasay 岛（赫布里底盆地，西北欧大陆架）下托阿尔阶浅海沉积序列为研究对象，进行了有机碳同位素、主微量元素浓度等研究。结果显示，剖面下托阿尔阶层位碳同位素显著负偏，该结果与同期全球其他剖面记录的碳同位素变化相似，反映赫布里底盆地记录了 T-OAE，但同期氧化还原敏感元素浓度普遍较低，且地层中存在明显的生物扰动痕迹，指示盆地

底水在 T-OAE 期间呈现整体氧化-低氧状态，可能穿插短期快速的缺氧阶段。该记录与同期附近盆地底水持续缺氧、硫化的现象存在显著差异，表明海水氧化还原状态受到诸如盆地水深、流域水文特征等影响而存在明显的区域差异。此外，沉积记录与地球化学指标显示 T-OAE 期间，盆地陆源碎屑输入颗粒逐渐变粗，化学风化增强。该结论为“T-OAE 期间全球变暖引发热带、亚热带地区水循环增强”的观点提供了证据。

S04-P-05S

青藏高原热源对亚洲西风急流的影响：末次盛冰期和现代对比

雷婧[1]，石正国[1,2,3,4]*，解小宁[1]，沙莹莹[1]，李新周[1]，刘晓东[1]，安芷生[1]

1 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061
2 中国科学院第四纪科 学与全球变化卓越创新中心，西安 710061
3 西安交通大学全球环境变化研究院，西安 710049
4 海洋-大陆气候与环境变化开放工作室，海洋科学与技术试验国家重点实验室，青岛

* shizg@ieecas.cn

亚洲西风急流（WJ）是大气环流的重要组成部分，其强度和位置具有显著的季节性变化。但是，WJ 在末次盛冰期（LGM）时期的响应和相应的机制仍然不明确。本文我们利用大气环流模型（CAM4）试验分析了 LGM 时期 WJ 在中亚和日本的季节性表现。结果表明，与现代（PD）相比，LGM 时期夏季和冬季中亚的 WJ 较弱且偏南。而 LGM 时期夏季日本的 WJ 得到加强，并伴随着向南的位移。相反，LGM 时期日本的 WJ 在冬季剧烈减弱，并且位置保持不变或略微向北移动。通过热成风关系可知，响应于青藏高原（TP）热力变化的中层经向温度梯度的变化与 WJ 的响应密切相关。从热收支方程得出，LGM 时期夏季较强的 TP 热源主要是较弱的绝热冷却造成的，LGM 时期冬季较强的 TP 冷源主要受较弱的绝热加热影响。

S04-P-06S

晚白垩世松辽盆地嫩江组二段 XRF 岩芯扫描记录中的化学风化史和米兰科维奇旋回及古气候意义

李祥，黄永建*，王成善

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* huangyj@cugb.edu.cn

白垩纪因其高二氧化碳浓度、高温和高海平面的“三高”特点，日益成为地质历史时期气候变化研究的重点，也成为当今窥探未来地球发展走向的一把钥匙。陆相纪录作为地质纪录的重要组成部分，在自然界的保存往往是不连续的，在空间和时间上都相对孤立，很难与其他地质纪录建立联系，通过旋回地层学建立天文年代标尺是有效方法之一。陆地气候系统的复杂性以及陆相记录保存程度较低，使得探究陆地气候系统的工作机制成为研究的重点。风化作用是最重要的地质过程之一，它能反映诸多环境条件的变化。例如：化学风化能直接反映温度和降水，较强的化学风化还能缓冲二氧化碳。本文以松辽盆地大陆科学钻探松科一井北孔（SK-1n）嫩江组二段（K_2n^2）的湖相岩芯为研究对象，通过岩芯扫描获取高分辨率的 XRF 元素记录，选取风化指标 K/Ti、Rb/Sr，陆源碎屑指标 Ca 元素和 Th 测井数据为研究对象。在 K2n2 段风化指标 K/Ti、Rb/Sr 和 Th 测井数据的基础上，利用相关系数（COCO）等方法模拟了 K2n2 段最优沉积速率为 5.1～6.7 cm/kyr，并建立新的天文浮动标尺。基于地化指标间的相互变化趋势，将 K_2n^2 段化学风化史划分为湿润-半湿润-半干旱 3 个阶段，湿润期（低 Rb/Sr 和高

K/Ti）对应强的陆源输入（高 Ca），而周期性的干湿变化反映了当时地表较强的季节变化和水汽流动，可能与古季风有关。轨道参数斜率和岁差的共同调节增加了湿润期的季节对比，从而放大了古季风效应，为松辽盆地带来更多的水分，增加了盆地内的降雨和地表径流。化学风化指标 K/Ti 和 Rb/Sr 较为明显的反相关系，进一步证明了它们在古气候重建中的可靠性。

S04-P-07S

过去 2.5 亿年太平洋-北美型遥相关的演变

李智博*，胡永云

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* zbli@stu.pku.edu.cn

太平洋-北美型遥相关（PNA）是北半球冬季最重要的内部变率之一，对北美的气候有着重要的影响，现代 PNA 的激发与热源强迫、基本气流的不稳定、ENSO 变率等有关，然而，从未有研究从海陆演变的构造尺度去研究现代 PNA 强度与结构的由来，在过去 2.5 亿年间，气候受到海陆分布、二氧化碳浓度、太阳辐射等变量的调控。因此，在本工作中，我们使用全耦合气候模式 CESM1.2.2 研究 PNA 每 1000 万年的变化，深时古气候模拟为更深入的理解 PNA 的本质及其物理机制提供了新角度。我们发现除了 80-120 ma，其余时间片均存在类似于 PNA 的结构，但随着海陆分布与现代的差异逐渐变大，PNA 的强度与结构也愈发变形。目前分析发现 PNA 的强度受大气经向热力结构的调控，当全球平均表面温度较低时，北半球冬季高低纬温差较大，由于热成风关系导致中纬度纬向西风较强，即西风带中定常波波数较小，进而导致大气 Rossby 波较易西传，PNA 信号较强。

S04-P-08S

中生代沙尘对气候的影响

林琪凡*，刘永岗

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* 415837122@qq.com

沙尘作为一种重要的自然源气溶胶，主要来自于地球上的干旱和半干旱地区。排放到大气中的沙尘，可以通过直接散射和吸收太阳短波辐射显著影响气候。研究表明，现代沙尘大部分来自干旱的北非和阿拉伯半岛，改变全球平均地表温度、西非季风、大西洋热带气旋数量和大西洋经向翻转环流的强度。中生代是一个大陆构造变化明显的时期，在此期间，潘基亚超大陆逐渐裂解、大西洋出现。因为中生代与现代截然不同的大陆构造，干旱区面积和位置可能存在明显差别，因此中生代的沙尘排放和大气沙尘含量也有所不同。在本研究中，我们使用全耦合地球系统模型 CESM1.2.2 来探究中生代沙尘对气候的影响。选取距今 2.5 亿年、1.3 亿年和 8 千万年这三个时期进行模拟，得到这三个时期的沙尘分布。结果表明，这三个时期的大气沙尘含量远高于现代水平，并导致了显著的全球平均地表温度降低。

S04-P-09S

中新世气候敏感性沉积物的定量气候指示意义研究

余晨旻[1]，张来明[1,2]*，王成善[1,2]

1 地球科学与资源学院，中国地质大学（北京），北京 100083

2 生物地质与环境地质国家重点实验室，中国地质大学（北京），北京 100083

* lzhang@cugb.edu.cn

地质历史时期，地球气候表现为“温室状态”和“冰室状态”相互交替。现代气候处于“冰室状态”间冰期，随着全球气候变暖加剧，现代气候学难以预测未来的地球气

候状态，而在地质历史时期很多典型的“温室状态”时期，可以为探究深时古气候演变及预测气候变化提供借鉴。近年来，古气候定量重建研究成为古气候学研究的重要方法，主要采用古生物学证据做为替代性指标，但其数据量和分布范围存在局限性。气候敏感性沉积物（包括煤、蒸发岩、铝土矿等）具有在全球分布广泛、时代跨度大、有较明确的气候指示意义等优点，具备深入研究其定量古气候指示意义的潜力。

本研究通过收集中新世年平均气温、年平均降水量、夏季温度的定量古气候数据和气候敏感性沉积物数据，为深时古气候和气候带研究提供了大量的数据支持。采用定量古气候数据分别绘制了中新世全球等温线、年平均降水量线和夏季等温线，与气候敏感性沉积物的分布对比，提取和分析了 11 种气候敏感性沉积物的年平均温度、年平均降水量、夏季温度和柯本干旱指数的指示范围。通过对比采用深时气候带划分标准重建的中新世气候带和基于气候敏感性沉积物划分的气候带，进一步验证了气候敏感性沉积物的古气候学指示意义；通过中新世气候带和采用深时气候带划分方案的现代气候带的对比，揭示了中新世以来地球气候的变化趋势。

S04-P-10

江汉盆地 SKD1 深钻揭示的古新世-始新世极热事件的降水效应

滕晓华[1]，王春连[2]*

1 枣庄学院，旅游与资源环境学院，枣庄 277160

2 中国地质科学院矿产资源研究所自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室，北京 100037

* wangchunlian312 @163.com

古新世-始新世极热事件（PETM，~56 Ma）是发生古新世与始新世（P/E）界线附近的一次快速增温事件，研究 PETM 事件对了解全球变暖的气候效应至关重要。然而目前 PETM 记录较少且其降水效应仍存在很大争议。本文基于江汉盆地 SKD1 深钻材料，利用湖泊自生碳酸盐矿物及其同位素组成，并结合岩芯岩性特征，分析了钻孔碳酸盐氧同位素（$\delta^{18}O_{碳酸盐}$）的指示意义，进而探讨了 PETM 事件的降水效应。结果清晰地指示了 PETM 事件期间江汉盆地降水显著增加的特征。PETM 事件之前（pre-PETM），18O 碳酸盐值较高，碳酸盐矿物以白云石为主，硬石膏广泛分布，指示了较为干旱的气候条件；PETM 期间 $\delta^{18}O_{碳酸盐}$值显著负偏（~6.7‰），白云石和硬石膏基本消失，主要沉积方解石，指示了降水量显著增加，气候相对湿润；PETM 事件之后（post-PETM），$\delta^{18}O_{碳酸盐}$值再次升高，方解石含量显著降低，伴随着白云石和硬石膏的再次沉积，甚至出现厚层钙芒硝和石盐，说明此时气候再次变得极为干旱。PETM 期间降水量的显著增加不仅使江汉盆地的气候变得较为湿润，湖泊水位升高，湖水淡化，有助于各门类生物类群繁盛，同时也为湖水提供了大量的易溶盐离子，促进了 post-PETM 阶段钙芒硝和石盐的沉积。

S04-P-11S

米兰科维奇旋回周期控制下的页岩有机质富集规律——以东营凹陷 FY1 井为例

周靖皓[1,2]*，鲜本忠[1,2]，田荣恒[1,2]，吴千然[1,2]，张文淼[1,2]，陈鹏[1,2]

1 油气资源与探测国家重点实验室，北京 102249

2 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249

* zhoujh01@126.com

通过识别米兰科维奇旋回信号，对页岩地层进行高频旋回划分，从而探讨沉积响应与有机质富集演化规律，是当前的热点，但对于米兰科维奇旋回单个周期内的 TOC 富集规律研究还较为缺乏。为明确渤海湾盆地古近系页岩地层在米兰科维奇旋回周期控

制下的 TOC 富集规律，本次研究通过相关系数分析、频谱分析、进化谱分析、高通滤波等方法对东营凹陷 FY1 井沙三下亚段地层 GR 测井数据进行了旋回信号识别与提取，并进行了高频旋回地层划分；结合 TOC 参数，明确了有机质在高频旋回控制下的富集规律。结果表明：①FY1 沙三下亚段最佳沉积速率为 0.1m/ka。②405ka 长偏心率、125ka 短偏心率、51ka 斜率、23ka 岁差分别控制了 FY1 井地层旋回为 40.2m、12.8m、4.9m、2.3m。③FY1 井沙三下亚段存在 5 个完整 405ka 长偏心率旋回，16 个 125ka 短偏心率旋回，41 个 51ka 斜率旋回，88 个 23ka 岁差旋回。④短偏心率旋回与 TOC 变化有着较好的相关性；短偏心率频率信号在进化谱图上显示连续性好时，短偏心率滤波正向波动，TOC 增大，负向波动时，TOC 减小；短偏心率频率信号在进化谱图上显示连续性差时，情况则发生了变化，说明短偏心率旋回控制着页岩有机质的富集。

S05-O-01

祁连山北部地表剥蚀速率及其与构造气候的关系

潘保田*，胡小飞，耿豪鹏，张建

1 兰州大学西部环境教育部重点实验室，兰州 730000

* panbt@lzu.edu.cn

在长尺度地貌演化过程中，构造、气候、地表侵蚀和地形之间的相互作用与反馈机制是理解地貌如何演化的基础。解析不同时空尺度侵蚀速率对构造和气候的响应，是探索这种相互作用与反馈机制的关键。过去 30 年，国际地球科学界在活动造山带基于不同时空尺度的地表侵蚀速率的估算，广泛开展了其与构造、气候和地形之间关系的研究与探讨。然而关于构造和气候哪一个是控制地表侵蚀速率时空变化的主要因素尚存在较大的分歧，也是争论的焦点。因此，侵蚀、构造和气候相互作用的基本规律仍需深入研究。

位于青藏高原东北边缘的祁连山构造活动强烈，地形起伏超过 3000 m，自山麓到山顶气候变化显著，是研究上述规律的良好场所。近年来我们对祁连山北部地区不同时空尺度的侵蚀速率开展了一些研究，获得了关于侵蚀与构造和气候关系的一些初步认识。我们首先通过泥沙记录、核素示踪、河流阶地、宇生核素以及低温热年代学等多种手段，初步获得了祁连山不同空间尺度（坡面-流域-区域）上的侵蚀速率分布规律和不同时间尺度（现代－万年－百万年）上的侵蚀侵蚀速率特征，发现祁连山不同时间尺度的侵蚀速率均表现出了中段较高，而东段和西段较低的特点。祁连山侵蚀速率框架的建立为认识青藏高原东北缘的隆升过程与地貌演化奠定了基础。

祁连山不同时空尺度的地表侵蚀速率主要受控于地形，特别是地形起伏和坡度，气候仅对侵蚀过程起调节作用，暗示着构造上升是地表侵蚀的主要控制因素。祁连山前缘主要断裂的垂直活动速率对比表明，中段前缘断裂晚更新世垂直错动速率高于东段和西段，特别是榆木山北缘断裂垂直错动速率最高，这与祁连山侵蚀速率的东西向分布特征一致，进一步印证了构造对侵蚀的控制作用。祁连山东段的阶地变形研究表明，山地的抬升主要受断裂控制，自南向北断裂活动的时代不断变新，山体不断变宽。

现代尺度的流域平均侵蚀速率与坡面侵蚀速率，和地质尺度上的地表剥露速率大致相当，但是二者均低于万年尺度上的河流下切速率。河流下切深度受构造抬升幅度控制，因此河流下切速率大致代表构造上升速率。我们据此推断，祁连山北部地区的地貌演化特征是在构造抬升驱动下河谷逐渐加深、地形起伏逐渐增大的过程，构造抬升控制着祁连山的地貌演化过程与现代地形的格局，同时也是控制地表侵蚀速率的主要因素。

S05-O-02

青藏高原东北部新生代构造变形样式及时间约束

俞晶星[1]*，郑德文[2]，庞建章[1]，王伟涛[3]，王一舟[1]，李朝鹏[1]，郝宇琦[1]

1 地震动力学国家重点实验室，中国地震局地质研究所，北京 100029

2 同位素国家重点实验室，中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640

3 中山大学地球科学与工程学院，珠海 519082

* jingxingyuu@gmail.com, jingxingyu@ies.ac.cn

青藏高原东北部作为整个高原最北部的重要组成部分，关于其构造变形的研究对理解东亚地区地形演变、气候变化、生物多样性以及其背后的地球动力学机制等具有非常重要的科学意义。然而，目前关于该地区构造变形的起始时间和变形样式还存在较大争议。关于高原北部的构造变形起始时间的研究结果时间跨度较大，从新生代早期至第四纪都有；而关于其新生代变形样式也存在向北渐进式扩展和准同期变形等多种模式。因此，为探讨青藏高原东北部的构造变形时间和变形样式，本研究选择祁连山南北两侧开展了多个低温热年代学研究，其中包括祁连县、冷龙岭、酒泉南、党河南山以及宗务隆山等多个热年代综合剖面，以磷灰石裂变径迹(AFT)和磷灰石(U-Th)/He (AHe)为主要研究方法，针对各研究点的构造活动特征，采取垂直高程剖面和水平剖面等不同野外采样策略，最终获得了祁连山南北两侧准确的构造变形时间。新的热年代学结果显示位于祁连山南的托莱山和祁连山北缘分别于 17-15 Ma 和~10 Ma 经历快速剥蚀。综合前人在祁连山北缘以及河西走廊地区的构造变形研究，我们认为祁连北缘地区自中中新世开始经历由南向北的渐进式扩展变形样式。另一方面，我们在党河南缘西缘地区通过高质量的 AFT 和 AHe 数据获得了其准确的构造变形时间为~15 Ma，该结果与前人在肃北盆地的沉积学记录研究完全吻合。另外，我们还在祁连山南缘开展了详细的 AFT 研究，发现祁连山南缘的宗务隆山于 18-11 Ma 开始快速隆升，随后变形逐步向南扩展，并于~7 Ma 传递到柴北缘怀头他拉地区。因此南祁连整体上也符合向南渐进式扩展的构造变形样式。随后我们在综合分析整体祁连山地区的构造变形时间证据的基础上，提出祁连山在中中新世经历一期广泛分布的地壳缩短变形，之后变形逐渐向南北两侧双向扩展。

S05-O-03

青藏高原北缘祁连山–柴达木盆地过渡带新生代以来的持续加速造山过程

刘润超[1]*，李智敏[2]，徐岳仁[3]，李文巧[3]，朱文君[4]，王万合[5]

1 中国科学院青藏高原研究所，北京 100101

2 青海省地震局，西宁 210093

3 中国地震局地震预测研究所，北京 100036

4 中国石油青海油田公司，敦煌 736202

5 中煤科工集团西安研究院有限公司，西安 710054

* liurc@itpcas.ac.cn

作为大陆碰撞的主要表现形式之一，陆内造山对记录青藏高原生长和揭示其隆升机制至关重要。然而，不同研究方法的研究对象在空间尺度上各具局限性，阻碍了对贯穿长时间和短时间尺度的造山过程的清晰刻画。本研究聚焦于位于青藏高原北缘的祁连山–柴达木盆地过渡带，综合运用了高分辨率深层地震剖面（千米级）、浅层地震剖面（百米级）和地质探槽（米级），展示了从盆地基底至地表的地层格架和断裂体系，结合区域地层年代对比和释光测年数据，开展构造活动分析。研究结果表明，祁连山–柴达木盆地过渡带的造山作用起始于新生代早期（>40 Ma)），随后经历了一段相对低速率的隆升阶段直至中中新世（~15.3 Ma），地壳挠曲（沉积底板掀斜）控制了该阶段的构造变形。中中新世之后，祁连山的隆升速率加快，

这种趋势持续至全新世。造山过程的加速在长时间尺度内表现为新逆冲断裂的不断产生，在短时间尺度内表现为与古地震有关的断裂活动速率的增加。

S05-O-04

晚第四纪断层活动速率沿走向均匀分布：以天山北麓霍尔果斯逆断裂为例

吕红华[1]*，逄立臣[1]，郑祥民[1]，李有利[2]

1 华东师范大学地理科学学院，上海 200241

2 北京大学城市与环境学院，北京 100871

* hhlv@geo.ecnu.edu.cn

断层活动速率沿其走向的分布模式对于理解断层生长扩展具有重要意义。作为印度-欧亚板块碰撞的远程响应，天山在新生代再次复活造山，山体向两侧盆地逐步增生扩展，由此在天山山麓发育一系列走向大致与山体平行的逆断裂-背斜带。这些逆断裂-背斜规模一般沿走向延伸 20-50 km、南北宽 5-10 km，地表构造现象特征突出、地貌条件良好，是分析探讨断层活动速率沿走向分布模式的理想研究对象。本研究以天山北麓的霍尔果斯逆断裂为例对该问题进行了分析探讨。霍尔果斯逆断裂位于天山北麓第二排构造带，其控制霍尔果斯背斜的生长扩展。霍尔果斯断裂大致呈东西走向，南北流向的宁家河、三个泉河、金沟河、安集海河自东向西分别切过背斜/断裂的东端、中部、西端，所发育的阶地序列因此受到断裂/背斜活动的影响而发生断错或拱曲变形，这为揭示霍尔果斯逆断裂晚第四纪活动速率及其沿走向的分布特征提供了良好的地貌条件。本研究选择金沟河、三个泉河开展地貌面变形分析，通过阶地划分、阶地年龄测定、断层陡坎形态测量等方面的工作，确定霍尔果斯断裂在金沟河的晚第四纪平均滑动速率为 1.0+0.22/-0.15 mm/yr，在三个泉河的滑动速率范围为 0.69+0.18/-0.11—1.02+0.15/-0.13 mm/yr。这些结果表明，霍尔果斯断裂晚第四纪的滑动速率沿走向可能呈均匀分布的特征。后续在背斜东端宁家河的工作将进一步验证这一认识。本工作的结果也表明，利用阶地砾石层上覆黄土堆积的底界年龄约束阶地废弃年龄，会导致阶地年龄被低估，从而高估变形速率。当阶地年龄相对年轻时，这种对于变形速率的影响更为明显。

S05-O-05

渭河盆地-三门峡盆地碎屑锆石和重矿物组合揭示的黄河上新世-更新世演化过程

张瀚之[1]*，鹿化煜[1]，周亚利[2]，崔颖颖[2]，何静[1]，吕恒志[1]，王可欣[1]，王先彦[1]

1 南京大学地理与海洋科学学院

2 陕西师范大学地理科学与旅游学院

* hanzhizhang@nju.edu.cn

新生代黄河水系的演化过程一直以来受到广泛关注，这对于了解黄河的成因以及黄河流域构造变形与气候变化之间的相互作用至关重要。然而，黄河上游与中游的连通时间目前尚有争议，已有的观点认为连通时间约在晚中新世、上新世或者晚更新世。本研究对黄河中游和上游的三门峡盆地、渭河盆地和相关区域的河流沉积物组成特征进行了系统研究。采集了现代渭河、灞河河流沉积物样品、陕西渭南张家坡和河南三门峡黄底沟地质时期河流沉积物序列样品进行分析，进行碎屑锆石 U-Pb 年龄谱和重矿物组合的分析。利用扫描电镜对大量碎屑进行快速的矿物识别。总结了黄河上游中游不同地区、不同潜在物源的沉积物特点。结果表明，渭河盆地 1.8 Ma 以来的沉积物与现代渭河沉积具有相似的碎屑锆石 U-Pb 年龄谱和重矿物组合。三门峡盆地约 5 Ma 以来的沉积物与现代黄河中游具有相似的 U-Pb 年龄谱。我们认为，在至少五百万年以前，黄河中上游祁连山地区、晋陕峡谷等物质已经流入三门峡盆地，表明那时黄河上游和中游可能已经联通，类似于现代黄河的水系基

本形成，这可能是区域构造变形的结果。

S05-O-06

中国中部地貌形成演化与生命效应

鹿化煜*，王先彦，张瀚之，韩志勇

1 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210023

* huayulu@nju.edu.cn

中国中部的地貌以秦岭、黄河水系、黄土高原为主体，受新构造活动、新生代全球变冷和东亚季风气候演化影响，形成了山盆共存、河流发育和风尘堆积深厚等互相交织的地表景观；早更新世就有远古人类来此定居，也是灿烂的中华文明的发祥地。在半湿润-半干旱气候背景下形成的植被、土壤、水文和资源、环境，是重要的现代人类生活区域；在未来气候变化和人类活动加剧的背景下，这里的地貌过程以何种方式演变、其生态环境如何影响哺乳动物演化和人类行为，可以从过去丰富的地貌与环境演变过程中找到答案。

秦岭造山带受印度-欧亚板块和太平洋-亚洲板块碰撞、挤压的远程效应，在新生代变形、抬升，其周边和内部的各类盆地相对沉陷，堆积了巨厚的新生代河湖沉积序列；随着全球变冷和喜马拉雅-青藏高原的生长，亚洲季风不断演化，并增强了东亚季风气候特征。在此背景下，黄河水系格局形成并贯通、红粘土-黄土风尘沉积大面积扩张、半干旱-半湿润环境形成，更新世古人类在此定居。围绕这些问题，前人做了很多研究，很大程度上促进了我们对这片土地形成演化的认识；但是，依然对重要的科学问题没有明确的答案，比如，新生代尤其是晚新生代秦岭生长的时限和幅度是什么？东亚季风环流如何引发地表侵蚀和土壤-植被发育？黄河水系格局的形成和贯通如何响应构造活动和气候变化？远古人类如何适应不断变化的流域地貌和环境？新发展的测年技术、古气候和数值模拟研究，为解决上述问题提供了难得的机遇；同时，通过解决这些科学问题，可实现学科综合与交叉，是发展地球系统科学一次实践。

本报告以厚层的渭河盆地新生代沉积为主体，结合三门峡盆地、卢氏盆地、兰州盆地沉积序列以及黄土高原及其邻区的风成堆积，在广泛的地貌、沉积考察和研究分析基础上，通过盆地高分辨率的多指标沉积记录，揭示新生代尤其是第四纪秦岭-黄河-黄土高原的形成过程、地形变化幅度、时间节点；揭示黄河水系发育、重组及其贯通过程；揭示地貌演化过程及其驱动机制。

中国中部地貌过程连接着喜马拉雅-青藏高原演化、亚洲季风气候变化以及太平洋板块运动对中国地形影响等多个方面；在多因素作用下，地貌过程内部调整和自组织变化，决定了气候-水文-土壤-植被的变化，因此，地貌的形成和演化对哺乳动物分布、演化以及人类行为有着重要影响。本报告对上述问题的认识和获得新证据进行汇报。

S05-O-07

青藏高原中部晚始新世真的隆升到现代高度了吗？---来自伦坡拉盆地新生代地层精细年代序列测定的否定

方小敏[1]*，Guillaume Dupont-Nivet[2]，王成善[3]，宋春晖[4]，孟庆泉[4]，张伟林[1]，聂军胜[4]，张涛[1]，毛子强[1]

1 中国科学院青藏高原研究所，北京 100871

2 波茨坦大学，波茨坦 14475

3 中国地质大学（北京），北京 100083

4 兰州大学，兰州 730000

* fangxm@itpcas.ac.cn

了解青藏高原的地貌演化历史对于确定高原隆升机制及其对区域气候、环境和生物多样性方面的驱动机理至关重要。青藏高原中部伦坡拉盆地沉积了最完整的新生代地层序列，并具有多层凝灰岩，丰富的植物

和哺乳动物化石以及古土壤，是研究青藏高原隆升的关键场所。伦坡拉盆地也是稳定同位素古高度计在高原腹地首次应用的地方（Rowley & Currie, 2006, Nature），当时的结果揭示了高原中部至少在约 40 Ma 之前的晚始新世就达到了目前海拔高度，这意味着青藏高原隆升至现今高度要早得多，并迅速成为青藏高原隆升的国际主流观点，广泛地影响了此后一系列青藏高原和亚洲地质、地理、气候和生物与生态环境变化的研究。但是，最近我们利用磁性地层学和放射性年代学测年方法，首次建立了伦坡拉盆地新生代地层高精度年代序列，结果大幅改写了基于伦坡拉盆地稳定同位素和化石的区域古高度历史，早期基于稳定同位素重建的古海拔的地层年龄不是原来认定的约 40Ma 的晚始新世，而是约 26-21Ma 的晚渐新世至早中新世，而原来热带植物化石恢复的古高度地层的年代也不是原先认定的约 26 Ma，而是约 40 Ma。因此，西藏中部从至少约 40 Ma 前是处于低海拔（<2.3 km），比原来设想的冈底斯山和唐古拉山之间的始新世低谷还要低，而从约 25-20Ma 后才变为高海拔（3.5-4.5 km）。据此推断，伦坡拉盆地具有明显的两期形成演化和变形历史：早期约 42-25Ma 缓慢变形沉陷（100m/百万年），晚期约 25-20Ma 快速变形隆升，并提出了新的青藏高原中南部隆升认识，约 25-20Ma，伦坡拉盆地两侧山体下地壳被挤入盆地下方，可能像千斤顶一样把盆地托举起来隆升到现在的高度。因此，青藏高原中部这一新的隆升历史对于深入理解高原形成过程、机制及其与气候环境和生物演化的关系提供了新的年代学约束，将推动重新深入审视青藏高原隆升机制模型、大地貌形成以及深部-表层地球圈层相互作用研究。

S05-O-08

青藏高原内部不同盆地的隆升历史是否存在差异：来自动力学模拟的启示

张朋朋[1]，陈林[1]*，肖文交[1,2]，张继恩[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029

2 中国科学院新疆生态与地理研究所矿产资源研究中心，乌鲁木齐 830011

* chenlin@mail.iggcas.ac.cn

青藏高原隆升对东亚现今的构造格局和亚洲季风产生了重大影响，其隆升历史也是探究深部过程的重要约束。因此，探究青藏高原的隆升过程对于理解东亚地球动力学过程和地表过程对气候变化的影响具有重要意义。近几十年国内外学者对高原的隆升历史做了大量的研究，但关于青藏高原地表隆升过程仍然存在很大的争议，目前主要有三种认识：从南向北逐渐隆升(Houseman et al., 1986; Tapponnier et al., 2001; Mulch et al., 2006)；中间先隆升向南北两侧扩展(Wang et al., 2008; Wang et al., 2014)；南北先隆升中间后隆升(Deng et al., 2015; Su et al., 2019)。

青藏高原在碰撞之前内部由多岛洋结构的物质，包括增生楔和不同尺寸的微陆块和块体（如岛弧）等拼贴而成，地球物理观测(Yang et al., 2012; Zhao et al., 2013)和 Hf 同位素填图(Zhu et al., 2011; Hou et al., 2015)表明这些性质不同的块体的能干性存在着较大的差异，它们在碰撞过程中有怎样的构造响应、以及对高原隆升过程的认识有怎样的启示，目前开展的相关研究尚较少。本研究采用 3D 热-力学数值模拟（I3VIS），系统测试了块体的大小（如宽度）、强度以及空间位置等因素对高原隆升过程的影响。模拟结果表明：（1）内部的不均一性使得高原隆升表现出显著的时空不连续性，相对较强的块体隆升晚于南北两侧形成低海拔的盆地，相对较弱的块体隆升早于南北两侧形成高海拔的隆起；（2）随着挤压得进行，盆地的面积会逐渐减小最终形成一个统一的高原，不均一块体的宽度小、强度低以及距汇聚边界近有利于盆地更快地消失。以上模拟结果显示青藏高原内部的不均一性对高原的隆升

过程产生了重要影响：在碰撞的早期内部不均一性产生的作用不明显，高原表现出从南向北逐步隆升的特征；而在碰撞了 10-15Ma 之后，内部的不均一性会导致高原的差异隆升，表现出从中间向南北两侧扩展或从南北两侧向中间扩展的特征。

S05-O-09

Late Quaternary aggradation and incision in the headwaters of the Yangtze River, eastern Tibetan Plateau, China

Yang Yu[1], Xianyan Wang[1]*, Shuangwen Yi[1], Xiaodong Miao[2], Jef Vandenberghe[1,3], Yiquan Li[1], Huayu Lu[1]

1 School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China

2 School of Resource and Environmental Sciences, Linyi University, Linyi 276000, China

3 Department of Earth Sciences, VU University Vrije Universiteit Amsterdam, De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands

* xianyanwang@nju.edu.cn

River aggradation or incision at different spatial-temporal scales are governed by tectonics, climate change, and surface processes which all adjust the ratio of sediment load to transport capacity of a channel. But how the river responds to differential tectonic and extreme climate events in a catchment is still poorly understood. Here, we address this issue by reconstructing the distribution, ages, and sedimentary process of fluvial terraces in a tectonically active area and monsoonal environment in the headwaters of the Yangtze River in the eastern Tibetan Plateau, China. Field observations, topographic analyses, and optically stimulated luminescence (OSL) dating reveal a remarkable fluvial aggradation, followed by terrace formations at elevations of 55–62 m (T7), 42–46 m (T6), 38 m (T5), 22–36 m (T4), 18 m (T3), 12–16 m (T2), and 2–6 m (T1) above the present floodplain. Gravelly fluvial accumulation more than 62 m thick has been dated prior to 24–19 ka. It is regarded as a response to cold climate during the last glacial maximum. Subsequently, the strong monsoon precipitation contributed to cycles of rapid incision and lateral erosion, expressed as cut-in-fill terraces. The correlation of terraces suggests that specific tectonic activity controls the spatial scale and geomorphic characteristics of the terraces, while climate fluctuations determine the valley filling, river incision and terrace formation. Debris and colluvial sediments are frequently interbedded in fluvial sediment sequences, illustrating the episodic, short-timescale blocking of the channel around ca. 20 ka. This indicates the potential impact of extreme events on geomorphic evolution in rugged terrain.

S05-O-10

囊谦盆地磁性地层学及其构造意义

张伟林*，方小敏，张涛，颜茂都

1 中科院青藏所大陆碰撞与高原隆升重点实验室& 中科院青藏高原地球科学卓越中心，北京 100101

* zhangwl@itpcas.ac.cn

青藏高原羌塘地块中东部玉树地区在地貌构造上主要特征表现为盆山相间的挤压拉分型“盆-山”构造，其新生代盆地完全受控于周边地区北西-南东走滑断裂，是青藏高原块体变形研究程度相当低的地区，其动力机制也不十分清楚。囊谦盆地位于高原腹地的东-西至南-北向构造区的弯曲（转换）区；针对印度板块-欧亚大陆碰撞过程中青藏高原中东部是如何通过南北挤压或东南

侧向走滑以调整其地壳内部增厚和构造变形的重要科学问题，利用囊谦盆地的古地磁结果，结合其他地质证据，探讨高原中东部始新世时期的构造演化历史。磁性地层学表明囊谦盆地在 52.5 Ma 开始沉积，在 35.0 Ma 开始逐渐结束沉积。古地磁偏角数据揭示了囊谦盆地在 52-46 Ma 期间发生了 25.9 ± 7.2° 的逆时针旋转，46-41 Ma 期间无明显的构造旋转，41-35 Ma 期间发生了 24.4 ± 9.7° 的顺时针旋转。结合大区域上的盆地沉积、盆地旋转和火山活动，我们认为南北向挤压和东南侧向走滑模式可共同解释羌塘地块东部始新世的构造旋转对印度-欧亚板块早期碰撞的响应，为高原变形和隆升模式的建立提供了新的构造证据。

S05-O-11

印度-欧亚大陆低纬度碰撞（~7°N）及其古气候意义

王天月[1]*，易治宇[1]，Joseph G. Meert[2]，赵千[3]，刘玉书[1]

1 中山大学大气科学学院行星环境与宜居性研究实验室，珠海 519000

2 Department of Geological Sciences, 112 Williamson Hall, University of Florida, Gainesville, FL 32611, USA

3 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* wangty55@mail2.sysu.edu.cn

印度-欧亚大陆初始碰撞位置的研究是青藏高原隆升以及新生代气候变化研究中的关键科学问题。拉萨地块林周盆地的林子宗群火山岩对制约印度-欧亚大陆初始碰撞位置及时限具有重要意义。然而，在过去的研究中，从林子宗群得到的古纬度由 7°N 到 ~20°N 不等，其中 Chen et al. (2014) 从林周盆地典中组的特征剩磁得到的古纬度结果为 7°N，而 Huang et al. (2015) 根据典中组广泛存在的赤铁矿以及 40Ar/39Ar 年代学结果 (~50Ma) 认为典中组存在广泛的重磁化，而重磁化的古纬度应为 20°N，与其他白垩纪和古近纪拉萨地块的古纬度结果接近。自此印度-亚洲初始碰撞发生在~20°N 被学术界广泛接受。

然而，Huang et al. (2015) 关于重磁化的论证存在很多疑点，比如，~50 Ma 的 40Ar/39Ar 年龄与区域上普遍的 40Ar/39Ar 和 U-Pb 年龄 (~69-60 Ma) 并不一致，而赤铁矿在大部分典中组火山岩中也并不普遍等。为了进一步确定拉萨地块碰撞前的古地理位置，我们对林周盆地林子宗群古新世典中组火山岩进行了砾石检验。在本研究中，我们从熔岩流夹层中的火山角砾中采集 25 个岩芯样本，通过热退磁分析分离得到的特征剩磁方向呈现出离散的分布，并在 95%置信水平下通过了砾石检验，而从上覆和下伏熔岩流中获得的特征剩磁方向则为集中分布。结合典中组详细的同位素年代学数据和载磁矿物特征，我们认为林周盆地典中组火山岩所记录的特征剩磁为原生。我们将 Chen et al. (2014), Huang et al. (2015) 以及本研究从典中组熔岩流获得的特征剩磁采点平均方向进行统一分析，获得矫正后的特征剩磁平均方向为 D = 187.0°, I = -12.8°, a 95 = 5.4°，由林周盆地新的古地磁极所限定的拉萨地体在~64-60Ma 时的古纬度为 6.7 ± 4.4°N，即位于赤道湿润带。这一结果证实印度-亚洲初始碰撞过程中的陆-陆、弧-陆碰撞发生在赤道湿润带以内，这一低纬度的初始碰撞过程可能大大加剧了硅酸盐风化作用，导致额外的二氧化碳消耗，从而在某种程度上驱动了新生代全球变冷。这些认识对于理解印度-亚洲碰撞的构造和气候意义是至关重要的。

S05-O-12

青藏高原生物有机地化指标古高度重建：进展和存在问题

白艳[1]*，陈炽皓[1,2]，方小敏[1,2]，田茜[1]，刘晓明[1]，张伟林[1]，张涛[1]，陈清虎[1,2]，李仰状[1,2]

1 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统科学国家重点实验室，北京 100101
2 中国科学院大学，北京 100049
* baiyan06@itpcas.ac.cn

对青藏高原隆升历史和模式的研究，有助于深入理解印欧板块碰撞的地球动力学机制及构造隆升与气候环境变化的耦合关系。然而，如何解释氧同位素高度计与生态证据重建古高度间的巨大差异仍是悬而未决的问题。本研究选取植物来源的叶蜡正构烷烃氢同位素值（δ^2H_{alk} 值）和来自微生物的细胞膜脂的四醚膜类酯化合物(GDGTs)古降水和古温度等指标，通过青藏高原不同气候区现代表土 δ^2H_{alk} 值和 GDGTs 温度指标的区域高度关系研究，依次评估其因素的影响(Bai et al., 2020)。结合其他相关研究，我们认为：在高原东南部，除了受对流降水和水汽循环影响的地区，降水主要控制了 δ^2H_{alk} 值的高度关系，可以用以恢复古降水；而在高原中部和北部地区，混合的水汽来源和云下蒸发、水汽循环和内陆蒸发等因素影响较大。可见，沉积 δ^2H_{alk} 值不都适合直接用来估算古高度。

虽然我们已经发现除去 6-甲基 brGDGTs 的甲基化指标(MBT′$_{5ME}$)推导的温度在高原南部呈现较强的高度效应且与观测值接近 (Bai et al., 2018)，并尝试将该指标应用到高原南部的古高度恢复，1）在拉萨地块南部的南木林盆地，发现在 15Ma 时 GDGTs 重建高度要低于目前古土壤氢氧同位素古高度结果约 1km (Bai et al., 2018)；2）推断晚中新世至上新世中期吉隆盆地基底海拔约 2.5 km，而周围山体海拔超过 3.6 km（Chen et al., 2020）。然而，利用河湖相沉积物中保存的 GDGTs 重建古高度时，还需解决 GDGTs 的来源，包括土壤输入和水体自生的混合，及其他非温度因素对 GDGTs 指标的复杂影响等问题。

如何精确恢复古温度和古高度？仍需要进一步深入探讨。更合适的古环境和古高度指标以及新的特征生物标志物等有待于进一步开发。

S05-O-13

基于阶地与河流纵剖面重建藏东南澜沧江裂点带之下河段的下切历史

张金玉[1]，刘静[1,2]*，杨会丽[1]，葛玉奎[1]，王伟[1]，姚文倩[2]，徐胜[2]

1 中国地震局地质研究所，地震动力学国家重点实验室，北京 100029
2 天津大学，地球系统科学学院，天津 300072
* liu_zeng@tju.edu.cn

河流阶地和河流纵剖面常用来重建河流的下切幅度、时间与速率。河流两岸的支流与主干相连，因此与主干一起响应基准面的变化。河流剖面记录的下切量的时间尺度可以在千年到百万年，而且空间范围广泛，因此记录更长时间尺度上河流下切量以及空间变化样式。作为亚洲第三大河，湄公河大体平行于青藏高原东南缘缓降的地形。三江流域内，澜沧江与西侧怒江和东侧金沙江近距离平行向南奔流，集水盆地均具有异常低的宽度-长度比值。澜沧江深切河谷深度超过 3000 米，河流下切被多级河流记录下来。基于谷歌遥感影像，识别目标河流阶地，开展野外调查获得阶地面以及基岩与沉积物界线的空间展布，以及阶地沉积物的沉积序列以及侧向对比，选择合适的阶地沉积物测定阶地的形成时间，另一方面对研究区开展无人机摄影测量工作获得具有一定重叠度的高质量照片，基于 structure from motion 技术选用 photoscan 软件重建高精度地形，基于高分辨率影像匹配基座与沉积物的界线，获得更准确的基座拔河高度。并对支流开展河流纵剖面，如陡峭度指数，chi 值和裂点分析，根据裂点之上残余部分 chi 与高度关系重建了裂点之下的河流剖面，计算出口位置支流的下切量。研究发现，中更新世以来，澜沧江河流下切速率为<1.1-0.22 mm/yr，并且裂点带位置最大，与百万年和千万年时间尺度的区域侵蚀速率在量级和空间样式一致；澜沧江裂点带之下支流大部

分处于瞬时状态，裂点分隔上游平缓残余河段和下游变陡河段，裂点海拔高度和陡峭度指数、河流下切量呈现向北增加趋势，该空间样式很有可能是差异岩石抬升造成的；耦合的区域侵蚀速率以及河流下切的空间样式表明局部和区域构造作用控制着澜沧江河流下切以及藏东南地貌的演化。

S05-O-14

光释光示踪雅鲁藏布江-布拉马普特拉河沉积物搬运过程

张爱敏[1,2]，胡钢[1]*，王萍[1]

1 中国地震局地质研究所，北京 100029

2 中国地质大学（北京），北京 100083

* hugang@ies.ac.cn

沉积物的迁移是地球表面的一个重要过程，其过程示踪一直是地学研究的热点。目前已有不少物源示踪指标，如重矿物成分、碎屑锆石 U/Th 年龄、同位素地球化学等。由于地球系统的复杂性和各种方法的局限性，物源示踪仍面临诸多挑战。因此，寻找便宜便捷的新方法，以求相互验证，使结果更加准确可靠，已成为广大学者的共识。青藏高原是全球最高、最年轻的高原，下游的孟加拉扇则是世界上最大的三角洲。沉积物如何从青藏高原迁移到孟加拉湾，尚是一个悬而未决的科学问题。沉积物的光释光特性具备指征源区及搬运过程的潜力，目前已有少量的成功案例。

本研究沿雅鲁藏布江-布拉马普特拉河河道，连续采集现代河流沉积物样品共46个。系统分析沉积物中石英和长石光释光特性，结果发现：（1）雅鲁藏布江石英释光信号从上游到下游不是单向增强，而是呈现波动起伏的特征，不符合沉积物沿河道连续搬运的特征，而沉积物灵敏度的陡降或者陡增，必然是有不同灵敏度物质的混入。这种混入可能是来自近源峡谷段山体剥蚀的近源物质，或者由河流支流汇入带来。（2）雅鲁藏布江主河道石英残余剂量从上游到下游，未体现出前人在其他河流沉积物中报道的随搬运距离变小的特征，而是在宽谷段残余剂量小，峡谷段残余剂量大，尤其以大峡谷处的样品为最高。布拉马普特拉河主河道沉积物中石英残余剂量明显高于其支流老布拉马普特拉河沉积物。上述残余剂量特征表明雅鲁藏布江-布拉马普特拉河现代沉积物并非来自远源的上游，而是近源的两侧山谷或改造近邻老沉积物。（3）布拉马普特拉河长石残余剂量所有样品在 140℃和 170℃温度区间都出现了“坪区”，说明 140℃和 170℃对应的信号基本上没有晒退，这两个温度的信号对应的残余剂量及代表其初始沉积物的埋藏年龄，进而可指示沉积物初始搬运位置。

综上，本研究表明雅鲁藏布江-布拉马普特拉河现代河流沉积物中大部分石英和长石颗粒源自临近区域（<100 km）搬运而来。本研究表明远源的矿物颗粒可能被近源的颗粒“稀释”，因此对传统物源示踪方法结果解释的时候，需要谨慎考虑有限的矿物颗粒能否表征远源的信号。

S05-O-15

喜马拉雅东段水系演化和剥露历史在尼科巴扇中的记录

陈文煌[1]*，闫义[1]*，Peter D. Clift[2]，Andrew Carter[3]，黄奇瑜[4]，Kevin T. Pickering[5]，Farid Chemale Jr.[6]，单业华[1]，张新昌[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510640

2 Department of Geology and Geophysics, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA

3 Department of Earth and Planetary Sciences, Birkbeck, University of London, Malet Street, London WC1E 7HX, United Kingdom

4 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

5 Department of Earth Sciences, University College London (UCL), London WC1E 6BT, United Kingdom

6 Programa de Pós-Graduação em Geologia,
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 93.022-750
São Leopoldo, RS, Brazil
* chenwenhuang@gig.ac.cn，yanyi@gig.ac.cn

喜马拉雅东构造结是地球上构造活动最强烈、岩石隆升和剥露速率最快(高达 10 mm/yr)的地区之一，而且雅鲁藏布江在这里发生了急剧的转弯。关于东构造结的快速剥露，一般认为是由印度大陆东北拐角向北挤入欧亚板块的构造作用直接造成的。近年来流行的“构造动脉瘤”(tectonic aneurysm)模型(e.g. Zeilter et al., 2001)则强调构造与侵蚀之间的耦合作用，将东构造结的快速剥露归因于雅鲁藏布大峡谷的下切侵蚀。该模型还认为，东构造结的快速剥露是由布拉马普特拉河对雅鲁藏布江的袭夺贯通触发的。然而，目前无论是雅鲁藏布江-布拉马普特拉河的贯通时间，还是东构造结快速剥露的开始时间都存在争议。位于东北印度洋的孟加拉-尼科巴深海扇体系作为雅鲁藏布江-布拉马普特拉河的最终沉积区，是了解喜马拉雅东段水系演化和剥露历史的重要窗口。

国际大洋发现计划362航次在尼科巴扇U1480 和 U1481 站位成功钻取了早中新世(~19 Ma)以来的沉积物。本研究在航次生物地层学和沉积学等工作基础上，运用微量元素和Sr-Nd同位素对尼科巴扇沉积物进行物源分析，获得以下认识：（1）尼科巴扇沉积物Sr-Nd同位素组成类似于布拉马普特拉河现代沉积物，指示以大喜马拉雅结晶岩系为主的源区，同时具有显著的冈底斯弧来源，说明尼科巴扇沉积物主要经由布拉马普特拉河搬运自喜马拉雅东段。（2）冈底斯弧物质自尼科巴扇底部连续出现，说明雅鲁藏布江-布拉马普特拉河最晚在早中新世(~19 Ma)就已贯通。（3）基于尼科巴扇的沉积速率和源区变化，本研究支持喜马拉雅东构造结的两阶段快速剥露模式。伴随着沉积速率在~9.2 Ma 的快速增加，尼科巴扇沉积物地球化学和同位素组成也发生了急剧变化，暗示了大喜马拉雅结晶岩系物质的增加，对应于东构造结及其周边区域快速剥露的开始。在3.5–1.7 Ma，尼科巴扇沉积物具有低 εNd 值和高 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值，同时沉积速率达到顶峰，指示了大喜马拉雅结晶岩系物质的再次增加，对应于东构造结核部自~3.5 Ma 起的快速剥露。（4）东构造结的快速剥露晚于雅鲁藏布江-布拉马普特拉河的贯通至少 10 Ma，因此其快速剥露并非由布拉马普特拉河对雅鲁藏布江的袭夺触发的，而是由构造抬升直接导致。

S05-O-16

青藏高原北部隆升与亚洲风尘演化

杨一博*，方小敏

1 中国科学院青藏高原研究所，北京 100871
* yanygibo@itpcas.ac.cn

青藏高原隆升对于亚洲内陆干旱化及亚洲风尘系统演化具有重要影响，但是指示意义明确的指标记录缺乏限制了对亚洲内陆干旱化和亚洲风尘系统形成和演化的清晰认识。本研究在青藏高原北部及邻区利用沉积物粘土矿物学和粘粒化学指标建立了可用于有效规避沉积相影响并开展大范围时空对比的亚洲内陆干旱化和物源变化记录，综合反映了新生代青藏高原北部风化减弱、干旱化加强及风尘扩张过程。首先，开展柴达木、西宁和临夏等盆地沉积物粘土矿物学分析获取新生代高原北部硅酸盐风化记录，反映了古近纪全球变冷主控以及新近纪构造隆升及全球变冷共同控制的风化减弱和干旱化加强过程。其次，获取了临夏和西宁盆地新生代全岩和粘粒组分 Nd 同位素记录，发现高原北部约 42 Ma 以来存在近乎一致的全岩 Nd 同位素演化，反映了高原北部在晚始新世和晚渐新世的阶段性生长过程；进一步通过粘粒组分 Nd 同位素建立了52 Ma 以来高原北部风尘物源记录并开展与北太平洋对比，定量计算了高原北部和中亚造山带对亚洲风尘的贡献，揭示了高原北部和中亚造山带同时在晚渐新世强烈隆升剥

露，导致亚洲风尘系统的扩张。最后，利用粘土矿物和粘粒化学及碳酸盐地球化学揭示了晚新生代约 8 Ma 亚洲风尘大幅增强并显著改变下风向流域盆地沉积物组成的过程。

S05-O-17

Spatially variable provenance of the Chinese Loess Plateau

Haobo Zhang[1], Junsheng Nie[1,2]*, Xiangjun Liu[3], Alex Pullen[4], Guoqiang Li[1], Wenbin Peng[5], Hanzhi Zhang[6]

1 Key Laboratory of Western China's Environment Systems (Ministry of Education), College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China.

2 CAS Center for Excellence in Tibetan Plateau Earth Sciences, Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing 100101, China.

3 College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China.

4 Department of Environmental Engineering and Earth Sciences, Clemson University, Clemson, South Carolina 29634, USA.

5 School of Tourism and Resource Environment, Zaozhuang University, Zaozhuang 277160, China.

6 School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China.

* jnie@lzu.edu.cn

Loess sequences of the Chinese Loess Plateau (CLP) compose one of the most complete Neogene-Quaternary terrestrial paleoclimatic archives. Understanding the CLP's sediment sources is critical to tracing Asian aridification, atmospheric circulation patterns, and Asian monsoon evolution. Commonly, the sediments that compose the Quaternary strata of the CLP are considered largely homogeneous, and thus numerous studies apply a uniform source model when attempting to use CLP-derived proxies as paleoclimate indicators. Here we present large-n detrital zircon U-Pb geochronology data from the Quaternary CLP. These data support spatial variability in sediment provenance across the CLP, as is starting to be revealed by detrital zircon U-Pb geochronology data. At least three distinct provenance zones are recognized for Quaternary loess strata: central-western, eastern, and northeastern. These zones received sediment primarily from their neighboring river systems. This finding conflicts with the classic views that attribute the Quaternary loess principally to the deserts north and west of the CLP. We conclude that fluvial processes, and thus precipitation, played an important, and previously underemphasized, role in Quaternary dust production in northern China. Furthermore, nonuniformity in CLP Quaternary sediment provenance raises questions about the validity of using paleoclimate information archived in the CLP to make sweeping regional interpretations.

S05-O-18

Inter-decadal change of the spring North Atlantic Oscillation impact on the summer Pamir–Tienshan snow cover

Junjie Wu[1]*, Zhiwei Wu[2]

1 Ningbo Meteorological Bureau, Ningbo, China 315012

2 Department of Atmospheric and Oceanic Sciences & Institute of Atmospheric Sciences, Fudan University, Shanghai, China 200433

* 15151807615@126.com

Known as the "water tower of central Asia"

and a crucial component of the Tibetan Plateau (TP), the Pamir–Tienshan snow cover (PTSC) exerts profound impacts on regional and global climate extremes during summer. However, researches on origins of the summer PTSC variability have not attracted adequate attention.

In recent works, the spring North Atlantic Oscillation (NAO) has been shown to "prolong" its influence through the North Atlantic tri-pole sea surface temperature anomalies (Tri-SSTAs) and affect remote Asian climate in the subsequent summer.

The present study discovers that the spring NAO has a significant positive correlation with the summer PTSC in the period 1967–1981, but such connection weakens after 1981. The North Atlantic Tri-SSTAs induced by the spring NAO during these two epochs can both persist into ensuing summer but excite significantly different downstream atmospheric teleconnections. The Rossby wave train triggered by positive (or negative) Tri-SSTAs during the 1967–1981 period exhibits an anomalous cyclonic (or anticyclonic) centre over the Pamir–Tienshan region, favouring an excessive (or reduced) PTSC. By contrast, such atmospheric anomaly centre is not evident during the 1982–2014 period. Numerical experiments suggest that westwards shift of the spring NAO northern centre can modulate the Tri-SSTA pattern via the wind–evaporation–SST feedback, which could further result in the displacement of the atmospheric anomaly centres in the Rossby wave train in summer.

Therefore, such change in the spring NAO itself is responsible for the inter-decadal change of the spring NAO impact on the summer PTSC.

S05-P-01

塔里木和塔吉克盆地始新世物源变化及其对中帕米尔隆升过程的约束

王平[1]，刘栋梁[1,2]*，李海兵[1,2]，王亚东[3]，潘家伟[1,2]，郑勇[1,2]，葛成隆[1]，白明坤[1]，王世广[4]

1 中国地质科学院地质研究所自然资源部深地动力学重点实验室，北京 100037
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
3 中国科学院西北生态资源环境研究院&油气资源重点实验室，兰州 73000
4 应急管理部国家自然灾害防治研究院，北京 100085
* liudl@cags.ac.cn

帕米尔高原位于青藏高原西北缘西构造结的主要组成部分，其东、西两侧分别为塔里木盆地和塔吉克盆地。帕米尔高原的形成对特提斯海在中亚的退出和中亚内陆干旱化有重要意义，但目前关于帕米尔高原形成的时代尚不清楚。基于盆山耦合理论，位于帕米尔高原山前的塔里木盆地西南缘和塔吉克盆地是解读帕米尔高原形成时间及构造演化的最佳位置。本研究选择对塔里木盆地南缘克里阳剖面进行了碎屑磷灰石裂变径迹和锆石 U-Pb 年龄研究。碎屑磷灰石裂变径迹显示晚白垩世时沉积物磷灰石裂变径迹年龄具有三组份特征，而至少在渐新世以来变为两组份特点。晚白垩世时期，碎屑锆石主要集中分布在 400-500 Ma，与松潘-甘孜及西昆仑具有亲源性。始新世，碎屑锆石主要分布在 40-70 Ma (峰值为~45 Ma)和 200-300 Ma，与中帕米尔地体和西昆仑具有亲源性。始新世时首次出现~45 Ma 锆石峰值年龄暗示了有来自中帕米尔地体物源，同时非矩阵多标度统计（MDS）也说明始新世的物源相比较白垩纪而言更与中帕米尔地体具有亲缘性。结合磷灰石裂变径迹和锆石 U-Pb 年龄，我们认为克里阳剖面至少在始新世时期物源发生了明显的物源改变。此外，前人对塔吉克盆地和塔里木盆地的其他剖面的研究都发现过始新世时来源于中帕米尔地体的物源变化，这就说明整个中帕米尔

地体在始新世经历了几乎同时的变形隆升而形成较高的古地貌。

S05-P-02S

副特提斯海海退序列的沉积环境分析—以塔西南阿尔塔什剖面为例

张毕辉[1,2]，许欢[1,2]，刘高政[1,2]，郑洪波[1,2]*

1 云南大学地球系统科学研究中心，昆明 650500
2 云南省地球系统科学重点实验室，昆明 650500
* zhenghb@ynu.edu.cn

副特提斯海作为特提斯海的北支，在新生代时期发生多次海侵-海退事件，其演化与消亡与青藏高原隆升、全球海平面变化密切相关，是亚洲内陆环境演化的重要影响因素。然而，目前对于副特提斯海海退的时间、过程以及相关的环境和生态效应的研究仍然存在较大争议。塔里木盆地作为副特提斯海演化的重要区域，保存有较为完整的海侵-海退沉积记录，是开展副特提斯海演化历史研究的绝佳场所。本研究在前人研究基础上，以高精度磁性地层学为年代依据，对塔西南阿尔塔什剖面开展了详细的沉积相与沉积环境分析，获得了副特提斯海最终海退过程的沉积环境与古生态方面的重要信息。

阿尔塔什剖面由下向上依次发育始新世乌拉根组和巴什布拉克组。乌拉根组下部由波状、楔状及潮汐交错层理砂岩组成，为潮坪环境中的潮间带中下部-潮下带沉积；中部发育厚层生物碎屑灰岩、交错层状砂岩和粉砂质泥岩，代表了台地向潟湖环境的变化；上部为大套棕红色泥岩，生物扰动构造极为普遍，其中见丰富的生物钻孔构造，为三角洲平原或洪泛平原环境；顶部发育含双壳灰岩，为副特提斯海演化的最高海相灰岩层。巴什布拉克组以红色厚层泥岩、波状交错粉砂岩和透镜状叠置砂岩为特征，属洪泛平原、曲流河沉积产物，下部红色泥岩中未见生物活动遗迹，与乌拉根组上部发育丰富的生物钻孔构造形成鲜明对比。上述特征表明，副特提斯海整体经历了多次海侵-海退，在乌拉根组与巴什布拉克组相交处完全由海相转为陆相，标志着副特提斯海的消亡。目前对于最高海相层还没有精确的绝对年龄限制，本研究正在开展相关的碳酸盐 U-Pb 定年。此外，副特提斯海海退前后的生物遗迹化石表明，海退前生物活动异常频繁，无脊椎动物繁盛，而海退后则经历了一段生命沉寂期，可能暗示了副特提斯海的消亡对生物活动以及生态系统造成了重大影响。

S05-P-03

青藏高原东北缘构造隆升传递过程：来自柴达木盆地岩相序列和沉积速率的制约

李德勇[1,2]*，姜效典[1,2]，宫伟[1,2]，李朝阳[3]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，海底科学与探测技术教育部重点实验室，山东青岛 266100
2 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，山东青岛 266237
3 大连理工大学海洋科学与技术学院，辽宁盘锦 124221
* ldyc411@ouc.edu.cn

青藏高原的增生扩展和造山隆升是理解陆-陆碰撞动力学与东亚季风演化的关键，然而目前对高原增生变形向其东北缘传递过程的认识仍然是模糊和不确定的。柴达木盆地位于青藏高原东北缘，是高原内部最大的坳陷盆地，盆地内的沉积地层记录了丰富的高原隆升演化的地质信息，为研究青藏高原的时空变形历史提供了绝佳素材。

本文重点应用柴达木盆地钻井岩性、取芯样品、地球物理测井以及反射地震等资料，通过对岩石地层序列、沉积相环境、沉积速率时空变化与成盆构造背景的详细描述与耦合分析，并借鉴对比周缘西宁、兰州、临夏、贵德-循化以及酒泉等盆地的沉积充填演化历史，以盆-山耦合的视角讨论了青藏

高原构造变形向其东北缘传递的时空过程，认为柴达木盆地周缘造山带隆升过程主要存在侏罗纪-白垩纪、~40 Ma、~20 Ma 以及~5 Ma 以来四个关键构造演化期次：侏罗纪-白垩纪，形成于早古生代的古祁连造山带发生构造活化和隆升，为柴达木盆地和酒泉盆地提供大量碎屑物源；~40 Ma，“原西藏高原”增生造山的变形效应已经传递至 Qiman Tagh Shan-东昆仑山-Ela Shan-西秦岭山一线，受东昆仑山构造推覆控制柴达木盆地进入全面发展时期，沉积了一套细粒河流-洪泛平原-湖泊相地层；~20 Ma，青藏高原增生变形前锋穿越柴达木盆地和阿尔金断裂传递至祁连山，柴达木盆地沉降沉积中心逐步向 NE 迁移。祁连山与喜马拉雅-冈底斯-羌塘-可可西里-昆仑山集中快速隆升，东昆仑、秦岭以及海原三大左滑断裂系统启动，构造变形开始向 NEE 向传递，西秦岭北缘古近纪统一压陷盆地由此分割为西宁、兰州、临夏、贵德-循化以及共和等盆地独立演化；~5 Ma 以来，青藏高原再次进入整体快速隆升阶段，高原内部及周缘大型湖泊盆地萎缩消亡。至~3.6 Ma 高原周缘西昆仑山前西域组、酒泉-张掖盆地玉门组、贵德-循化盆地甘家组以及临夏盆地积石组等山麓冲洪积扇砾岩广泛堆积，现代山盆与河湖地貌成型。

S05-P-04

Paleoenvironmental reconstruction of the latest Eocene-early Oligocene in the Hoh Xil Basin based on palynological and ostracod records

Bowen Song [1,2]*, Kexin Zhang [1,2], Fang Han[3], Zhiyuan Liu[4], Keke Ai[5], Sha Li[6], Yadong Xu[2], Tinglu Yang[3]

1 Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2 State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3 School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, China

4 Hebei Province Zhonglian Energy Environmental Protection Technology Co. Ltd, Shijiazhuang, 050000, China

5 School of Resource and Environmental Engineering, Mianyang Teachers' College, Mianyang 621000, China

6 State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chi nese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

* bwsong1985@cug.edu.cn

As the largest intracontinental basin in the central-northern Tibetan Plateau, the Hoh Xil Basin is an ideal area for exploring the coupled history of climate-tectonic relationships in the plateau's interior. However, the detailed paleoenvironmental research on the Hoh Xil Basin is quite insufficient. In this study, we collected palynological and ostracod samples from well-exposed Cenozoic lacustrine strata in the Hoh Xil Basin to reconstruct the paleoenvironment and paleoelevation of the Hoh Xil Basin. Based on the discovery of two key index fossils (Austrocypris cf. posticaudata and Lychnothamnus vectensis), we propose the latest Eocene-early Oligocene (latest Priabonian-earliest Rupelian) age for the strata of the Yaxicuo Formation in the Tongtianhe section. The palynological assemblage suggests that the Hoh Xil Basin was dominated by temperate broadleaved forest vegetation and that a warm climate prevailed in this region during the latest Eocene-early Oligocene. Roughly consistent with the overall warm climate confirmed by palynological evidence, the ostracod record indicates that a large freshwater lake existed within the warm environment of the Hoh Xil Basin during the

latest Eocene-early Oligocene. By using the coexistence approach (CoA) to evaluate the fossil palynological assemblage, combined with the calibration of the effects of temperature differences and lapse rates, a paleoelevation of 2700 ± 200 m a.s.l. was estimated for the Hoh Xil Basin during the latest Eocene-early Oligocene, representing the height between the basin lake and the crests of the surrounding mountains.

S05-P-05

云南始新世火山岩/火山凝灰岩和沉积岩岩石磁学对比研究及其地质意义

申苗苗[1,2]，咎金波[1,3]，颜茂都[1,3]*，张伟林[1,3]，方小敏[1,3]，张大文[4]，张涛[1,3]

1 中国科学院青藏高原研究所大陆碰撞与高原隆升重点实验室，北京 100101
2 中国科学院大学，北京 100049
3 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心，北京 100101
4 枣庄学院旅游与资源环境学院，枣庄 277160
* maoduyan@itpcas.ac.cn

青藏高原内部及其周边盆地的新生代地层因缺乏绝对年代的限定而导致对相关构造和古环境演化等问题的认识存在很大争议。快速准确的识别可供限定沉积地层精细年代的火山物质对解决这些争议具有重要意义。本研究对来自青藏高原东南部云南剑川和曲靖盆地始新世地层中的火山岩/火山凝灰岩和未受火山作用影响的沉积岩，开展了系统的岩石磁学比较分析，并结合岩相学、地球化学等方法，以期获取可以快速识别地层中火山物质的最灵敏的岩石磁学参数。对比结果显示：本研究中火山岩/火山凝灰岩的主要磁性矿物为低钛钛磁铁矿和/或磁铁矿，磁畴范围从 SP 到 PSD 不等，尤其显著富集小于 VSP 颗粒的超细 SP 颗粒；而未受火山活动影响的沉积岩的主要磁性矿物则是赤铁矿，且常含大量顺磁性矿物，亦可见 PSD、SD 磁铁矿和磁赤铁矿。相比于沉积岩，火山岩/火山凝灰岩中富集了大量明显小于 VSP 颗粒的超细 SP 颗粒，导致低温频率磁化率在<300 K 范围内呈现出具有可见峰值的正态分布特征，而通常成土作用形成的 VSP 颗粒没有这一峰值特征。因此，低温频率磁化率可作为快速识别云南地区含火山物质地层的有效且灵敏的岩石磁学参数。

S05-P-06S

青藏高原东南缘剑川盆地始新世沉积演化及构造意义

刘高政[1,2]，许欢[1,2]，张毕辉[1,2]，郑洪波[1,2]*

1 云南省地球系统科学重点实验室，昆明 650500
2 云南大学地球科学学院，昆明 650500
* zhenghb@ynu.edu.cn

青藏高原隆升及其环境效应长期以来都是地球系统科学研究的热点。本研究选取青藏高原东南缘极具代表性的古近纪沉积盆地—剑川盆地作为研究对象，通过岩石地层、充填序列、沉积体系和物源等方面的研究，恢复盆地沉积古地理和古环境，探讨青藏高原隆升的沉积响应和盆-山耦合过程。

剑川盆地古近系主要发育古新统云龙组，始新统宝相寺组、金丝厂组、九子岩组、双河组和剑川组，其中以宝相寺组分布最为广泛。该组在平面相带分布上由外向内依次发育冲积扇、沙漠、河流、浅水三角洲、湖泊、扇三角洲等沉积体系，显示出明显的汇聚型相带展布特征（汇水盆地）；厚层风成砂的广泛发育指示了干热环境；盆地西南缘发育深水浊积岩，指示深湖沉积环境；盆地北部、中部和西南部存在多个沉积和沉降中心，且二者在空间上错位发育。物源分析显示，不同区域的宝相寺组物质组分表现出较大的差异性，但与相应周缘基底组分较为一致，属近源沉积。上述特征表明，剑川盆地在宝

相寺组发育时期为走滑拉张属性，可能与青藏高原东南缘走滑断裂体系的活动有关。

宝相寺组沉积之后，盆地逐渐萎缩，仅在盆地北-中部发育金丝厂组、九子岩组、双河组河流、冲积平原、浅水湖泊和沼泽沉积。随着始新世末期剑川组强烈的火山-岩浆活动之后，剑川盆地走向消亡。剑川盆地始新世沉积演化历史见证了青藏高原东南缘由走滑拉张向强烈挤压构造应力场的转变，这可能与青藏高原阶段性构造隆升存在密切关系。

S05-P-07

思茅盆地含钾盐勐野井组地层年代新进展及意义

颜茂都[1]*，张大文[2]，方小敏[1]，宋春晖[3]，刘成林[4]

1 中国科学院青藏高原研究所，中国科学院大陆碰撞与高原隆升重点实验室，北京 100101
2 枣庄学院旅游与资源环境学院，枣庄 277160
3 兰州大学地质科学与矿产资源学院，甘肃省西部矿产资源重点实验室，兰州 730000
4 中国地质科学院矿产资源研究所成矿作用与资源评价重点实验室，北京 100037
* maoduyan@itpcas.ac.cn

含钾盐地层年代学认识不清楚，是造成特提斯构造域东南端大型钾盐矿成矿模式和机制存在争议的主要原因之一。本研究针对云南思茅盆地含钾盐地层年代不清楚这一现状，选择盆地南部江城剖面含钾盐地层勐野井组开展了详细的磁性地层和碎屑锆石U-Pb年代学研究. 所研究剖面总厚度932 m，共采集了 948 个古地磁定向岩心和 4 件碎屑锆石 U-Pb 年代学样品。利用系统热退磁法分离出了 857 个有效特征剩磁方向，倒转检验、褶皱检验和岩相学分析表明其可能为原生剩磁方向。这些特征剩磁方向揭示出剖面含有七个正极性带(N1-N7)和七个负极性带(R1-R7)，可与国际标准极性柱(GPTS2012)的极性期 C27r~C34n 对比，揭示勐野井组地层的沉积年代序列为>112 至~63Ma，不同于传统认为勐野井组年代为古新世的认识。同时，对比分析显示，思茅盆地与邻区呵叻盆地含钾盐地层年代仅部分重叠，前者至少要比后者早开始沉积 20Ma，与传统认为的勐野井组等同于呵叻含钾盐地层中下部的认识相反。结合古地理和古气候环境分析, 思茅与呵叻盆地在白垩纪可能属于统一泛盆地。因此，~85Ma 呵叻盆地大型钾盐矿沉积的时段也可能是思茅盆地另一个重要的潜在成钾时段。

S05-P-08

太原盆地晚新生代沉积充填演化及其构造指示意义

谭程鹏*，郝青振*，高新勃，张浣荻，江奇达，陆浩，娜米尔

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029
* tancp@mail.iggcas.ac.cn, haoqz@mail.iggcas.ac.cn

新生代以来，印度-欧亚板块碰撞造成青藏高原隆升，西太平洋板块俯冲形成东亚沟-弧-盆体系，共同造就了东亚地区现今构造格局。汾渭裂谷系位于东西两大动力体系交互过渡区，其形成与演化机制存在多种动力学解释模式，如印度-欧亚板块碰撞的远程效应导致秦岭北缘左行走滑断裂尾端拉张模式、与青藏高原隆升有关的岩石圈拆沉模式、华北地区内部次级块体发生多米诺式的旋转模式、太平洋板块俯冲逐渐东向后撤模式等。这些存在明显分歧的动力学模式更多地建立在区域构造分析的基础上，仍相对缺少汾渭裂谷系内沉积盆地形成与充填演化所提供的关键约束。

太原盆地是汾渭裂谷系中部的重要组成单元，其沉积充填过程能够为厘定裂谷系中部裂陷起始时间和演化过程提供重要证据。近期，我们在太原盆地内钻取了贯穿至盆地基底的、连续的、1769 m 长的岩芯，为认识盆地沉积充填演化提供了难得的材料。

本次研究以该长序列为基础，通过岩石磁学、古地磁学等方法，建立太原盆地晚新生代沉积充填序列的精确磁性地层年代框架；依据岩芯的基本沉积特征，开展岩相分析，划分岩相组合，识别沉积相类型，并细分出沉积微相，查明垂向演化规律，划分沉积演化的主要阶段；依据沉积相演化规律和叠置关系、地层界面特征等，开展高分辨率层序地层学研究，划分出多级次沉积旋回，揭示太原盆地晚新生代沉积充填演化规律；在磁性地层年代框架和沉积充填演化的基础上，揭示盆地沉积充填序列所保存的构造变动特征，初步将太原盆地构造演化划分为两幕裂陷过程；结合印度-欧亚板块碰撞以及西太平洋俯冲等构造运动过程，开展理论研究，探讨汾渭裂谷系中部裂解过程和动力学机制。值得指出的是，本次研究中磁性地层学工作目前仍在进行，因而我们将在本次会议中重点对太原盆地沉积充填演化的初期成果进行交流。后续工作的完成有望为汾渭裂谷系中部裂解过程提供准确的年代约束和系统的沉积学证据，对理解汾渭裂谷系演化和动力学机制具有指示意义。

S05-P-09S

地球动力学数值模拟研究青藏高原共轭走滑断层的形成机制

李顺至，陈林，田小波

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

* lishunzhi@mail.iggcas.ac.cn

青藏高原是现今地球上规模最大且海拔最高的高原，是研究陆陆碰撞造山带的理想场所。青藏高原是新生代以来印度与欧亚板块碰撞的产物。印度板块持续向北运动，一方面导致了青藏高原地壳增厚与地表隆升，在高原内部形成了大量沿东西展布的褶皱和逆冲推覆构造。另一方面，伴随着地壳的增厚，高原中南部发育了一系列近南北向的裂谷系，其中以沿班公—怒江缝合带两侧发育的一系列呈 V 字型展布的共轭走滑断裂尤为显著，它们及其连接的南北向裂谷反映了高原应力状态由挤压到拉张的转变。共轭走滑断层系统在调节青藏高原地壳的南北向缩短和东西向伸展过程中起着重要作用。然而，这些共轭走滑断裂系统如何形成仍然存在很大争议。

前人研究提出了以下代表性模型：（1）对偶剪切变形模型（Yin and Taylor, 2011），该模型认为青藏高原在南北向的挤压背景下，强调由软流圈施加的基底拖曳共同作用，最终形成一组 V 字形展布的共轭走滑断层；（2）垂向旋转模型(Freund, 1970)，该模型提出走滑断层破裂遵循一般的摩尔-库伦破裂准则，随后生成的走滑断层所在块体绕垂向轴发生旋转，后期形成的走滑断层与前期的则构成夹角 120° 的 V 型共轭走滑断层；（3）倾斜的共轭走滑断层模型(Kapp and Guynn, 2004)，该模型提出当引起断层破裂的三个主应力方向不是完全的水平或者垂直时，产生的共轭走滑断层的断层面非垂直方向，则在地表可能会呈现 V 型共轭走滑断层的样式。但是，模型 2、3 在青藏高原中是缺乏对应地质证据支持的；而对于模型 1，存在基底剪切作用深度方面的争论。最近有地球物理观测证据支持青藏高原中部的中下地壳存在大范围的地震波低速层。如果共轭走滑断层区下方存在这样一块低速层并且是可以流动的，基底的拖曳剪切力则可能是来自中下地壳的塑性层流动而非软流圈。

为了探讨青藏高原内部共轭走滑断裂系的形成机制，我们利用三维热-力学数值模拟方法（I3ELVIS, Gerya, 2010），结合青藏高原最近观测数据的约束，开展了系统性的数值模拟实验，重点测试了软弱区强度、背景应力状态、剪切作用的深度、剪切的速度、软弱区的大小等因素在形成共轭走滑断裂过程中的作用。模拟结果显示：（1）在中下地壳内存在一块强度较弱的软弱区对于在地表形成剪切变形（走滑）是一个必要条件，无软弱区存在的模型未能在地壳内产生剪切变形；软弱区的强度太弱时，应变主要

集中在软弱层，此时在上地壳也无法产生剪切变形；（2）当仅存在南北向的挤压力时，全地壳均未产生明显的剪切变形，此种情况下，在软弱区南北边缘对应的上方地表地形起伏大于其内部区域，且边缘区域的地壳增厚程度也大于内部区域；（3）位于软流圈深度范围的流动能够对地壳产生剪切作用，使地壳发生剪切变形，但是此剪切作用仅能到达中下地壳的深度范围，无法进一步传递到上地壳的深度（地表）；岩石圈地幔的流动也可以对中下地壳产生剪切作用使之发生剪切变形，但在上地壳的剪切变形不明显；中下地壳的物质流动能够在上地壳产生明显的剪切作用；（4）基底剪切的速度增大时，在上地壳会产生更强的剪切变形；（5）对于要进一步形成 V 字形，且符合实际地质情况的共轭走滑系统，即北区的走滑为左旋性质南区的走滑为右旋性质，则需要中间被分隔的软弱区，即形成双管道流。根据以上模拟结果，我们推断位于中下地壳深度的物质流动为青藏高原中部的共轭走滑形成提供了剪切力，而高原中部低速的中下地壳则使得这种地壳流成为可能。

S05-P-10

晚白垩世冈底斯山脉隆升气候效应模拟及对其古高程的约束

张健[1]*，刘永岗[2]，方小敏[1]，张涛[1,3]，朱晨光[4,5]，王成善[4]

1 中国科学院青藏高原研究所，北京 100101
2 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871
3 兰州大学地质科学与矿产资源学院，兰州 730000
4 中国地质大学地球科学与资源学院，北京 100083
5 中国地质大学环境学院，武汉 430074
* zhangjian@itpcas.ac.cn

关于冈底斯山脉的古高程出现两种不同的观点：一种观点认为印度-亚洲碰撞时（55±5 Ma）其古高度与现代相当，另一种观点认为冈底斯山脉的隆升主要发生在始新世之后（<34 Ma）之后。那么印度大陆-亚洲大陆碰撞之前冈底斯山脉能达到多高？这对我们理解印度-亚洲碰撞后地球动力学以及亚洲古环境演化具有重要作用。针对这个问题，我们利用美国大气研究中心（NCAR）的地球气候系统模式（CESM1.2.2）对晚白垩世亚洲古气候进行模拟。依据地质记录，通过设置不同高度的冈底斯山脉开展气候模拟试验。结果表明晚白垩世亚洲大陆南缘的冈底斯山脉阻挡来自低纬海洋的水汽，因此亚洲中低纬降水减少，导致亚洲沙漠向东南方向扩展。模拟结果与地质记录对比发现，当没有冈底斯山脉或其高程只有 1 km 时，模拟结果比地质记录湿润；当冈底斯山脉高达 3 km 或 4 km 时，模拟结果比地质记录更干旱；当冈底斯山脉高程为 2 km 时，模拟结果与地质记录的差异较小。据此可推断晚白垩世冈底斯山脉的高程为 2±1 km。

S05-P-11S

榍石（U-Th）/He 技术展望

杨莉*

1 中国地质大学（北京），科学研究院 100083
* Yangli0211luck@126.com

榍石（CaTiSiO4）其 U-Pb 体系封闭温度达 700℃而广泛用于 U-Pb 定年，既可以主矿物存在于火成岩，亦可以变质矿物出现，可提供高温热事件的重要年代学约束。榍石在高温环境十分活跃，其 U-Pb 体系更可能受到矿物多期生长阶段的影响，其数据的合理解释需考虑榍石晶体化学特征、U-Pb 体系和稳定性等因素，近年来榍石（U-Th）/He 技术势必成为榍石年代学研究中一个重要补充，榍石 He 封闭温度 210-175 ℃，并受榍石粒径的影响。^{4}He 在榍石晶体内的扩散各向同性（Reiners and Farley, 1999），当 α 剂

量＞50×1016a/g（即榍石损伤阀值）时，榍石内 ^{4}He 保留率持续下降，对于一般等效 U 浓度（eU）为 10-200ppm 的榍石而言，要达到这个损伤阈值，其损伤积累时间需要>600-1200Myr（长时间冷却过程），故榍石的辐射损伤效应一般不明显。损伤积累不超过 100 Myr 的情况下，榍石和锆石 He 年龄都反应＜150–210 ℃ 封闭温度的冷却事件，对于更漫长的热历史和更长积累时间条件下，榍石 He 年龄有可能记录更高温度下的冷却事件（Stockli et al., 2004）。目前对于榍石的应用研究较少，主要受制于很难获取完整晶型，校正系数的获取难度较大，所以，激光剥蚀微区测年是未来榍石（U-Th）/He 定年的重要发展方向。

S05-P-12

柴达木盆地早新生代化学风化强度持续降低：来自粘土矿物地球化学指标的证据

叶程程*，杨一博，方小敏，张伟林，郭增光，刘玉东

1 中国科学院青藏高原研究所大陆碰撞与高原隆升重点实验室，北京 100101

* yechch1991@itpcas.ac.cn

硅酸盐化学风化是涉及岩石圈、大气圈、水圈和生物圈的重要过程，是构造尺度上调节大气 CO_2 含量维持碳循环平衡的主要过程。对硅酸盐化学风化的深入了解不仅有助于全球气候演变的研究，同时也可以极大地推动地球大陆动力学和表生地球化学的发展。由于硅酸盐化学风化包含了易溶盐离子（如 Ca^{2+}、Na^{+}）的淋失和次级风化产物（如粘土矿物）的形成，因而粘土矿物和元素地球化学特征被认为是研究化学风化的最有效指标。此外，粘土矿物和元素地球化学指标的综合集成结果可有效地将气候驱动的风化作用从众多干扰因素中识别出来，是深入了解区域风化过程的重要方法。然而，在青藏高原东北部的一些新生代沉积盆地，长尺度的沉积序列往往具有粒径粗和相变频繁的特点，从而限制了基于全岩的地球化学指标的应用。考虑到粘土矿物是母岩风化的直接产物，且受粒径和沉积相的变化影响较小，因而其化学组成是从地球化学角度重建区域化学风化历史的理想选择。

在本研究中，我们对柴达木盆地红柳沟剖面早新生代地层（路乐河组、下干柴沟组和上干柴沟组）中的粘土矿物进行了详细的元素地球化学研究，在评估了物源、成岩作用及沉积再循环等因素的影响后，利用元素风化指标重建了区域的 54-26 Ma 期间的化学风化历史。结果表明柴达木盆地早始新世气候最适宜期的化学风化最强；在随后的~50-34 Ma 区域化学风化经历了持续的减弱过程，并在~34-26 Ma 降至最低。上述基于元素风化指标重建的区域化学风化历史与粘土矿物组合及伊利石化学指数相一致，从而证明了结果的可靠性。全球变冷被认为是柴达木盆地 54-26 Ma 期间化学风化的主控因素：全球变冷一方面通过降低温度减缓化学风化速率；另一方面全球变冷也通过调控水汽源区蒸发量和西风强度使得区域降水量减少，由此进一步导致风化强度降低。相较而言，特提斯海退则在一定程度上调控了短尺度区域化学风化的波动。

S05-P-13

龙门山地区晚新生代侵蚀空间样式及对高原隆升的指示意义

王伟[1]*，刘静[1,2]，张金玉[1]，姚文倩[2]，袁兆德[1]

1 中国地震局地质研究所，地震动力学国家重点实验室，北京 100029

2 天津大学，地球系统科学学院，天津 300072

* wangwei411@126.com

青藏高原的隆升和演化是新生代重要的地质事件之一，对亚洲季风的形成、演化具有重要的作用。作为构造活动前缘地区，

高原边界地貌研究对于我们认识青藏高原地貌演化过程、隆升模式以及动力学机制等方面具有重要的指示意义。位于青藏高原东缘的龙门山地区是一个显著的陡降高原边界，具有高起伏的地形特征，然而现今 GPS 得到的结果显示横跨龙门山的水平缩短速率仅为<3mm/a，因此其陡峭地形的形成和演化过程成为研究青藏高原东缘地形地貌、构造地质以及深部动力学等方面的一个热点。本研究通过现代河沙中的 ^{10}Be 浓度获得龙门山南段千年尺度的流域平均侵蚀速率，结合已发表的低温热年代学数据以及龙门山中段河沙 ^{10}Be 结果，系统建立了龙门山地区百万年以来的地表侵蚀速率时空分布特征。结果发现低温热年代学数据得到的百万年尺度上的剥蚀速率在空间上与 ^{10}Be 侵蚀速率基本一致，表明百万年以来龙门山地形地貌可能已经达到了均衡态，侵蚀速率与抬升速率基本达到稳态。除此之外，不同时间尺度上的侵蚀速率与浅表活动断层分布存在明显的空间关联，龙门山地区抬升差异受上地壳断裂带的几何展布和活动性直接控制，上地壳的缩短变形可以解释目前发现的地表侵蚀空间展布和地形地貌特征，不需要额外的下地壳流物质参与。

S05-P-14S

青藏高原气候变化对金沙江河流溶质运移的影响

徐森，李思亮*，钟君

1 天津大学地球系统科学学院，天津 300072

* siliang.li@tju.edu.cn

近几十年来，气候变化所引起的青藏高原水循环的变化受到了广泛的关注。研究表明气候变化导致了青藏高原冰川消融、冻土退化、湖泊和河流水位及径流改变等，但水循环的改变对源自青藏高原的河流的水化学和主要溶解质输送的影响目前还尚不清楚。金沙江发源于青藏高原东部，中上游河段是少有的尚未被人类活动影响的河流。本研究通过对金沙江中游干流石鼓镇处站点的河流水化学时间序列数据分析发现，过去近六十年以来，河流 Cl^-的年均浓度由 32.6±8.0 mg L^{-1}（1962−2004）上升到 61.8±13.3 mg L^{-1}（2005−2018），SO_4^{2-}的年均浓度由 22.7±3.6 mg L^{-1}（1962−2004）上升到 48.7±9.8 mg L^{-1}（2005−2018），浓度升高约两倍，除 HCO_3^-离子外，其它离子浓度也均有明显升高。此外，通过分析 2019 年 9 月采集的金沙江（长江）源头河流样品，并与文献中河流历史数据进行对比，发现许多样点离子浓度也均有显著升高。与此同时，通过分析金沙江源头湖泊面积和水量 1976−2019 年间的历史变化发现，自 2005 年以来，金沙江源头湖泊总面积和总水量均有显著升高。由此推断过去几十年以来由于气候变化导致大量的咸水湖和盐湖水位上升，使得湖泊和河流的连通性增加，并引起一些湖水矿化度较高的内流湖的湖水外流，因此导致下游河流离子浓度和通量增加。本研究表明青藏高原气候变化对下游河流水质和河流溶质运移具有显著影响，因此应予以重视。

S05-P-15S

雅鲁藏布江—布拉马普特拉河—恒河现代河流沙的源汇过程示踪研究

于名扬[1]，刘志飞[1]*，赵玉龙[1]，林宝治[1]，H.M. Zakir Hossain[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Department of Petroleum and Mining Engineering, Jashore University of Science and Technology, Jashore 7408, Bangladesh

* lzhifei@tongji.edu.cn

青藏高原及其周边流域至边缘海是全球最大的沉积物源汇系统，在其南缘的孟加拉湾形成当今全球最大的海底扇系统。前人的大量研究认为，布拉马普特拉河—恒河至

孟加拉湾源汇系统的沉积物贡献来源以恒河为主、布拉马普特拉河为辅，而作为布拉马普特拉河上游、贯穿青藏高原南部的雅鲁藏布江，却鲜有系统和定量研究。本项研究对雅鲁藏布江—布拉马普特拉河—恒河进行系统调查，通过采集和分析河流沙的主量元素含量，试图回答较粗粒的沉积沙在这个流域系统的源汇过程。结果显示，雅鲁藏布江沙的主量元素组成表现出高度的河段差异性，碱性元素（Na_2O 和 K_2O）含量自上游至下游呈相对高、低、高值的三段式变化；布拉马普特拉河则呈现相对较低的碱性元素含量和较高的 SiO_2/Al_2O_3 比值；而恒河沙的碱性元素含量显著降低。雅鲁藏布江下游—布拉马普特拉河上游沙的主量元素含量呈渐变式变化，并在布拉马普特拉河下游趋于稳定，而在布拉马普特拉河汇入恒河后发生骤变。这种联系表明，布拉马普特拉河在继承雅鲁藏布江沙的基础上应存在与新物源的混合，并在汇入恒河后显示更多的恒河物质来源特征。因此，雅鲁藏布江—布拉马普特拉河—恒河的河流沙主量元素组成主要受物源控制，在从青藏高原向恒河平原的源汇搬运过程中，雅鲁藏布江的信号被不断地削弱，至恒河入海口时已呈现出强烈的恒河信号。

S05-P-16S

帕米尔西部地区表土岩石磁学性质揭示的气候梯度变化

康健[1,3]*，咎金波[1,2,3]*，方小敏[1,2,3]*，白艳[1,2,3]，陈炽皓[1,3]，关冲[1,3]，Amriddin Khodzhiev[4]

1 中国科学院大陆碰撞与高原隆升重点实验室，北京 100101
2 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心，北京 100101
3 中国科学院大学资源与环境学院，北京 100190
4 塔吉克斯坦国家科学院地质，地震工程与地震研究所，杜尚别

* kangjian@itpcas.ac.cn, zanjb@itpcas.ac.cn, fangxm@itpcas.ac.cn

西风环流控制下的塔吉克斯坦西帕米尔高原地区，位于中亚内陆干旱区核心地带，对气候变化极为敏感。厘清该地区气候要素（温度和降水）的空间分布变化及其与地貌条件和大气环流形式的关系对，不仅为准确重建青藏高原北部过去气候变化历史及其驱动机制具有重要意义，同时还可以为中亚地区古气候数值模拟提供关键的气候边界条件约束。然而，由于复杂地形条件和稀少气候站点的制约，目前对帕米尔高原西部地区降雨量空间分布的认识还相对匮乏。在黄土高原、北非以及西伯利亚等地区，地表风成沉积样品岩石磁学性质的研究被认为是揭示降雨量空间分布变化的一个有效研究方法。为此，本工作对采集于西帕米尔高原地区 34 个地表黄土样品进行了详细的岩石磁学分析，结果显示在迎风坡一侧，随着海拔升高表土强磁性矿物的含量首先降低，到达 2000-2200 米海拔后转而开始升高。在 2000-2200 米以下，表土富含碎屑来源的多畴（MD）磁铁矿颗粒，而在 2000-2200 米以上，表土中富集成土来源的超顺磁（SP）磁铁矿/磁赤铁矿颗粒。结合有限的气象数据以及表土样品有机质含量和黏土含量的分析，我们认为影响帕米尔高原西部地区表土磁学性质的主控因素在海拔 2000-2200 米左右存在一个关键的转换点。海拔 2000-2200 以下，由于地形降水的影响相对较小，土壤发育微弱，导致来自源区的粗颗粒碎屑磁铁矿控制了表土样品的磁学性质变化。当海拔升高到 2000-2200 米时，迎风坡效应导致降水随海拔显著增加，土壤发育显著增强，成壤作用新生成的细颗粒 SP 和 SD 磁铁矿/磁赤铁矿颗粒成为控制表土样品磁学性质变化的主控因素。而在帕米尔高原内部，由于雨影效应的影响，西风水汽供应显著减少，微弱的成壤过程致使表土样品的磁性浓度参数、有机质含量以及黏土含量统一呈现出比较稳定的低值。上述岩石磁学结果对刻画中亚干旱区气候空间梯度的变化具有重要意义。

S05-P-17

帕米尔西坡西风区表土支链 GDGTs 古高度计评估

陈炽皓[1,2,3]，白艳[1,2]*，方小敏[1,2,3]，庄广胜[4]，Amriddin Khodzhiev[5]，白晓静[6]，Azamdzhon Murodov[1,2,3,5]

1 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心，北京 100101

2 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统科学国家重点实验室，北京 100101

3 中国科学院大学，北京 100049

4 Department of Geology and Geophysics, Louisiana State University, Louisiana 70803, USA

5 Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Dushanbe 734063, Tajikistan

6 南京信息工程大学水文与水资源工程学院，南京 210044

* baiyan06@itpcas.ac.cn

支链型甘油二烷基甘油四醚（brGDGTs）近年来开始被用于古高度重建。然而，相关现代过程和古高度研究在中亚干旱区仍然相对较少。本研究在塔吉克斯坦境内沿帕米尔高原西坡海拔梯度采集了表土样品，分析了其中的 brGDGTs 组分分布情况并系统评估了 brGDGTs 指标尤其是温度指标在西风区干旱环境下的适用性。主要结果如下：

（1）常用的 brGDGTs 温度指标 MBT’5ME 在塔吉克斯坦低海拔区域（<3.3 km）可以有效重建温度和高度，不受 pH 值影响。然而，该指标在高海拔区域（>3.4 km）或较低温度下出现温度高估。值得注意的是，高海拔地区一些局域的高含水率土壤中，MBT’5ME 重建温度与海拔仍表现较好的相关性，尽管其重建的气温直减率偏高。总体而言，MBT’5ME 有潜力被用于重建塔吉克斯坦乃至中亚干旱区的古温度和古高度，但需谨慎判断古环境条件是否适宜。

（2）另一常用的 brGDGTs 温度指标 MAT_{mr} 先前被认为在计算中排除了 6-甲基异构体组分，不受 pH 值的影响。然而，本研究发现塔吉克斯坦碱性土壤中 MATmr 重建的气温直减率明显偏低，与碱性土壤中 MBT 的表现类似。通过对青藏高原南部表土和全球土壤数据再分析，发现 MAT_{mr} 在酸碱性土壤中普遍存在差异表现。进一步分析发现，MAT_{mr} 计算使用的各组分丰度是相对 brGDGTs 总含量而言，而后者包含了受 pH 控制的 6-甲基异构体组分，并未真正将其排除。因此可以推断，在碱性环境下应用 MAT_{mr} 指标可能低估古温度波动幅度；而当古 pH 值波动较大时，可能导致 MAT_{mr} 指标重建温度异常大幅波动。

S05-P-18S

PETM 时期中国中部干旱带存在南亚热带森林植被

谢宇龙[1,2,3]*，吴福莉[1,2]，方小敏[1,2,3]

1 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心，北京 100101

2 中国科学院青藏高原研究所，大陆碰撞与高原隆升实验室，北京 100101

3 中国科学院大学，北京 100049

* 550368627@qq.com

古新世-始新世极热事件（PETM 事件，56 Ma）是发生在早新生代的一次极端碳循环扰动和全球快速变暖事件，主要表现为大气 CO_2 浓度的快速增加和全球快速增温（5~8℃）。PETM 事件期间的全球快速变暖对海洋和陆地环境产生了深刻的影响，但对该时期中国中部干旱带的植被景观和气候状况的认识还非常有限。江汉盆地西部松滋洋溪组下部黑色泥页岩是世界上罕见的早始新世猴鸟鱼化石库，动物化石、古地磁以及碳同位素等证据的综合分析显示，松滋化石点为研究陆相 PETM 事件的一个重要地点，黑色泥页岩中产丰富的、保存完好的孢粉化石。研究发现该孢粉组合是以类型多样的阔叶树花粉为主，丰富多样的热带、亚热带森林成分揭示了中国中部干旱带在

PETM 时期存在一个繁茂的南亚热带森林植被景观；定量重建的气候为温暖湿润的南亚热带气候，年均温为 21~24℃，年平均降水量为 1369~1997 mm。PETM 时期全球快速升温事件促使控制该地区的气候系统发生了重大改变，导致了中国中部干旱区降水量的显著增加，最终塑造了江汉盆地西部的南亚热带森林植被景观。中国中部干旱区降水量和生态系统的变化对 PETM 事件的响应要比世界上同纬度地区强烈的多。因此，今后在研究降水和陆地生态系统对 PETM 事件的响应时，应充分考虑区域古地理、古气候背景的差异。

S06-O-01

海因里希冰阶 4 的记录对比和动力学机制

程海[1,2,3]*，许瑶[1]，董西瑀[1]，赵景耀[1]，李瀚瑛 1，Jonathan BAKER1，Ashish Sinha[1,4]，Christoph Spötl[5]，杜文静[1]，黎有为[1]，宗保云[1]，贾雪[1]，Gayatri Kathayat[1]，张海伟[1]，蔡演军[1]，Xianfeng Wang[6]，Nicolás M. Strikis[7]，Francisco W. Cruz[7]，Augusto S. Auler[8]，Som Dutt[9]，Anil K. Gupta[10]，Zhengyu Liu[11]

1 西安交通大学全球环境变化研究院

2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室

3 中国地质科学院岩溶地质研究所岩溶动力学重点实验室

4 Department of Earth Sciences, California State University Dominguez Hills, Carson 90747, USA

5 Institute of Geology, University of Innsbruck, 6020 Innsbruck, Austria;

6 Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University, Singapore 639798

7 Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 05508-090 São Paulo, Brazil;

8 Instituto do Carste, Rua Barcelona 240/302, Belo Horizonte, MG, 30360-260, Brazil

9 Wadia Institute of Himalayan Geology, Dehradun, 248001, India

10 Department of Geology and Geophysics, Indian Institute of Technology Kharagpur, Kharagpur, India

11 Department of Geography, The Ohio State University, Columbus, OH, USA

* cheng021@xjtu.edu.cn

海因里希冰阶 4（Heinrich Stadial 4，简称 HS4）是一系列的末次冰期千年尺度气候突变事件之一。HS4 的特征是全球范围广泛的水文气候变化，包括北半球高纬度地区的剧烈降温和北大西洋冰漂碎屑事件。本研究获得了一系列新的高分辨率和精确定年的石笋氧同位素记录，将这些记录与其它气候记录进行对比，使我们能够在亚百年精度上更好地阐释北大西洋地区、南极、亚洲季风-西风区、以及南美季风区 HS4 的开始和结束过程。北大西洋地区、南美季风以及亚洲季风-西风区 HS4 开始的时间基本同步（~40.20 ±0.05 ky BP），早于南极地区 HS4 的开始时间约 300 年，这与目前的从北向南信号传递过程的认知一致。本研究所提供的数据还揭示，在格陵兰 HS4 的结束开始（~38.34 ±0.05 ky BP）之前， 南美季风和南半球西风带分别经历了百年尺度的减弱和极向移动。这两个前兆事件可能通过各种反馈过程导致了亚马逊河流注入区（Amazon Plume Region）的缩小和厄加勒斯盐/热泄漏（Agulhas salt/heat leakage）的增强，从而导致大西洋径向翻转环流的加强，最终触发了格陵兰 HS4 的结束。

S06-O-02

我国西部黄土记录的西风-季风气候变化及驱动机制研究

李国强[1]*，杨和[1]，魏海涛[1]，张肖剑[4]，张海霞[1]，郑伟鹏[5]，李立娟[5]，饶志国[6]，Thomas Stevens[3]，David Madsen[1]，夏敦胜[1]，叶玮[7]，陈发虎[1,2]

1 兰州大学西部环境教育部重点实验室，资源环境学院，兰州 730000；
2 中科院青藏高原研究所，高寒生态学与生物多样性重点实验室，北京 100101
3 Department of Earth Sciences, Uppsala University, Uppsala, Sweden，75375
4 南京大学，地理与海洋科学学院，210023
5 中国科学院大气物理研究所,大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室，100029
6 湖南师范大学，湖南师范大学资源与环境科学学院，410081
7 浙江师范大学，地理与环境科学学院，321004
* gqli@lzu.edu.cn

北半球中纬度西风环流和低纬度东亚夏季风在不同时间尺度上的相互作用，深刻影响着欧亚大陆过去及将来气候环境变化。中亚西风区与东亚季风区降水变化模式、相位关系、以及具有不同变化周期的高纬冰量及夏季太阳辐射对不同区域气候变化的驱动机制认识上还存在很大争议，主要原因是具有可靠年龄标尺的第四纪气候记录还比较缺乏。

对我国西北干旱区及青藏高原北部沉积记录开展了系统的释光测年方法学研究，建立了该区分辨率最高、定年最为准确、时间跨度最长(25 万年以来)的黄土释光年龄标尺，结合古气候代用指标以及古气候模拟（FGOALS-g2, TraCE-21ka）重建了 25 万年以来西风区及季风区降水及有效湿度变化并探讨了驱动机制。发现：（1）中亚及青藏高原黄土存在 50-6 ka 不等的沉积间断；中亚西风区及东亚季风区黄土沉积速率整体表现出冰期高-间冰期低的特点，但冰期及间冰期内部黄土沉积速率变化空间差异性很大，不同区域黄土沉积速率的变化受到局地地形地貌、物源及风力等多因素影响，并不单一响应于气候变化；（2）中亚高山及盆地地区降水变化存在极大空间差异性，低海拔盆地过去 25 万年整体为持续干旱环境，而高山及山间盆地地区冰期-间冰期干湿波动明显；（3）中亚-东亚地区冰期-间冰期旋回尺度一致表现为冰期干旱-间冰期湿润的气候模式，间冰期内部中亚降水变化主要受控于西风强度，随北半球夏季太阳辐射反相位变化，东亚夏季风降水随北半球夏季太阳辐射同相位变化，但受北半球高纬冰量调谐滞后北半球夏季太阳辐射 2-5 ka。中亚西风区及东亚季风区降水表现为近反相位的变化模式，但均存在 21 ka 变化周期；（4）冰期-间冰期旋回尺度冰量-温度变化控制的大气湿度变化影响着全球不同区域降水同步变化，进入间冰期，冰量减少-温度升高，不同环流系统才成为控制中亚-东亚地区降水的主控因素。轨道驱动导致的中-高纬太阳辐射梯度与低纬太阳辐射反相位变化，引起的西风与东亚夏季风强度反相位变化，是导致间冰期内部中亚与东亚有效湿度不同步变化的根本原因。高纬驱动（冰量等）在间冰期内部通过影响大气湿度以及中纬度西风强度进而影响中亚及东亚地区降水变化。

S06-O-03

西藏色林错全新世湖泊演化及冰融水的影响

隆浩*，侯彦冬
1 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊与环境国家重点实验室，南京，210008
* longhao@niglas.ac.cn

青藏高原是世界上海拔最高的高原，对亚洲季风的变化起着重要的作用。该区存在大量的湖泊并且保存了完整的古湖岸堤或高水位湖相地层。前人对该地区进行了大量的研究，通常认为湖面变化主要受季风降雨的控制，但青藏高原幅员辽阔，高原内部分布大量的冰川，且自然环境差异巨大，因此不同区域湖面变化的驱动机制可能存在较大差异。

本研究选取青藏高原中部的色林错河-湖相剖面及湖岸堤为材料，通过沉积相的划分，结合释光年代学的研究工作，结果表明：色林错经历了早全新世 3 ka（10 ka-7 ka）的高湖面；之后，7-6 ka 湖面剧烈波动并开始

下降，~6 ka 以后湖面下降了约 20 m，处于低湖面。通过与季风降雨指标对比发现色林错在 6-7 ka 存在剧烈下降的现象，无法用逐渐减弱的季风降雨驱动来解释，因此色林错湖面变化除了季风降雨外，还受到其他因素的影响。色林错南部冰碛物年代学研究表明，从末次冰期到冰消期都有大量的冰川的存在，为全新世暖期的冰融水提供了源条件。区域环境记录表明，早全新世夏季温度高，可能导致冰川融水大量输入，导致湖泊水位处于高湖面；而 6-7 ka 夏季温度显著降低，表现在高原多处发生冰川前进和开始积累，导致冰融水减少，这可能是湖面急剧下降的主要原因。因此，冰融水对色林错湖面变化尤其在温暖时期有很大影响。

S06-O-04

新世东亚冬季风变化及其与夏季风的关系

康树刚[1,2]*，杜金花[4]，王宁[5]，董吉宝[1,2]，王躲[1]，王旭龙[1,2,3]，强小科[1,2]，宋友桂[1,2]

1 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安，710061

2 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心，西安，710061

3 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)，珠海，519082

4 长安大学地球科学与资源学院，西安，710054

5 陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院，西安，710075

* kshg@ieecas.cn

主要基于中国黄土，已对全新世之前构造、轨道和千年尺度上东亚冬季风变化有了清晰认识。但全新世其多时间尺度变化及其与东亚夏季风之间的关系还存在很大争议，不同载体的重建结果差异较大，动力学解释也多样化。尽管中国黄土被普遍认为是同步记载东亚冬夏季风变化的良好载体，但缺乏具有可靠年代标尺的全新世高分辨率资料。

我们在黄土高原东南部和中部选取了三个高分辨率全新世黄土剖面，进行了高密度石英光释光测年和常规古气候替代性指标粒度（指示冬季风强度）和磁化率（指示夏季风强度）测试，揭示了全新世亚轨道（这里指多千年尺度）东亚冬季风强度变化及其与东亚夏季风之间的关系，并探讨了其可能的动力学机制。

来自于三个黄土剖面的独立和集成结果均显示，早全新世（约 11.7-6.5 ka BP）东亚冬季风呈现持续衰退趋势，在约 6.5 ka BP 达到最弱，之后的中-晚全新世则表现为逐渐增强趋势，在小冰期达到最强。我们认为，早全新世和中-晚全新世冬季风强度变化分别主要受控于北半球高纬冰量和中-高纬度温度变化，二者通过控制西伯利亚高压强度及其与低压系统之间的梯度差来对冬季风强度产生影响。上述冬季风变化与三个剖面独立和集成结果所反映的东亚夏季风变化呈明显的反相关关系，即东亚夏季风在 6.5 ka BP 之前持续增强，而之后逐渐减弱。本研究重建的全新世冬季风和夏季风变化及二者的反相关关系也得到了湖泊、石笋、海洋、沙漠等记录的广泛证实。由于黄土对冬季风变化的灵敏性及本研究具备的高准确度年代标尺，认为本研究获得的冬季风变化记录具有一定优势。

本研究基于中国黄土提供了全新世亚轨道尺度东亚冬季风强度变化及其与东亚夏季风之间关系的重要证据，同时对于黄土记录的全新世之前东亚季风变化研究有启示意义，另外，现有结果支持在全球变暖的长期趋势下，冬季风将在长时间尺度上呈现减弱趋势。

S06-O-05

The influences of external forcings on decadal climate changes

Liang Ning[1,2,3], Kefan Chen[1,2,] Jian Liu[1,2]*, Zhengyu Liu[4], Mi Yan[1,2], Yanmin Qin[1,2], Jiao

Xue[1,2], Weiyi Sun1,2, Liulin Wang[1,2], Chuxin Li[1,2]

1 Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education; State Key Laboratory of Geographical Environment Evolution, Jiangsu Provincial Cultivation Base; School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing, 210023, China

2 Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing, 210023, China

3 Climate System Research Center, Department of Geosciences, University of Massachusetts, Amherst, 01003, United States

4 Department of Geography, The Ohio State University, Columbus, OH 43210, USA

5 Open Studio for the Simulation of Ocean-Climate-Isotope, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237

* jliu@njnu.edu.cn

The influences and mechanisms of external forcings, e.g., volcanic eruptions, anthropogenic aerosols, and solar radiations, on two aspects of decadal climate changes, decadal climate variability (i.e., PDO and AMO) and decadal megadroughts over the eastern China were investigated using model simulations from the observations, proxy reconstructions, Community Earth System Model (CESM) Last Millennium Ensemble (LME) archive, Coupled Modeling Intercomparison Project phases 5&6 (CMIP5&6) archives, and Paleoclimate Modeling Intercomparison Project phase 3 (PMIP3) archive. The influences from external forcings and internal variability on PDO, AMO, and AMOC are first differentiated through several groups of sensitivity experiments. Then, systematic assessments of model simulations showed that models can reproduce similar frequency, durations, and magnitudes with the reconstructed megadroughts, but not temporal synchronous, indicating that the internal variability trigger the megadroughts. Moreover, the combined influences from external forcings and internal variability on decadal megadroughts are also investigated. For example, nonlinear responses of the precipitation variability to the large-scale atmospheric circulation patterns induce more larger megadrought frequencies during LIA and MCA. While, the volcanic forcing sensitivity experiments produce fewer megadroughts than the reconstruction and control simulation. A case study of Ming Dynasty megadrought showed that this drought is a typical drought triggered by internal variability and strengthened by the volcanic eruption, and this intensification is stronger during the late stage of droughts.

S06-O-06

Vegetation feedback causes delayed ecosystem response to East Asian Summer Monsoon Rainfall during the Holocene

Jun Cheng[1]*, Haibin Wu[2,3,4]*, Zhengyu Liu[5]*, Peng Gu1, Jingjing Wang[6], Cheng Zhao[6,7], Qin Li[2], Haishan Chen[1], Huayu Lu[6], Haibo Hu[8], Yu Gao[9], Miao Yu[1], Yaoming Song[1]

1 Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China.

2 Key Laboratory of Cenozoic Geology and Environment, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029, China.

3 CAS Center for Excellence in Life and Paleoenvironment, Beijing, 100044, China
4 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China.
5 Department of Geography, Ohio State University, OH 43210, USA.
6 School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China.
7 CAS Center for Excellence in Quaternary Science and Global Change, Xian 710061, China.
8 School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China.
9 Laboratory for Climate and Ocean-Atmosphere Studies (LaCOAS) and Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China.
* liu.7022@osu.edu ; chengjun@nuist.edu.cn ; haibin-wu@mail.iggcas.ac.cn.

One long-standing issue in the paleoclimate records is whether East Asian Summer Monsoon peaked in the early Holocene or mid-Holocene. Here, combining a set of transient earth system model simulations with proxy records, we propose that, over northern China, monsoon rainfall peaked in the early Holocene, while soil moisture and tree cover peaked in the mid-Holocene. The delayed ecosystem (soil moisture and tree cover) response to rainfall is caused by the vegetation response to winter warming and the subsequent feedback with soil moisture. Our study provides a mechanism for reconciling different evolution behaviors of monsoon proxy records; it sheds light on the driving mechanism of the monsoon evolution and monsoon-ecosystem feedback over northern China, with implications to climate changes in other high climate sensitivity regions over the globe.

S06-O-07

过去2000年气候变化的全球集成研究进展与展望

郑景云*, 刘洋, 郝志新, 葛全胜
1 中国科学院地理科学与资源研究所，中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室，北京 100101
* zhengjy@igsnrr.ac.cn

过去 2000 年是国际过去全球变化计划聚焦的一个主要时段，并专门设立了“过去2000年全球变化网络”（PAGES2k）进行全球集成研究。本文依据 PAGES2k 及相关团队发表的主要成果，梳理了过去 2000 年温度与干湿变化的全球集成研究进展，并简要分析了发展态势与研究难点。最新研究显示：（1）尽管采用不同方法重建的过去 2000 年全球平均温度变幅各异，但均表明第一个千年较其后千年（除 20 世纪外）更暖；1850 年以前存在显著降温趋势，之后则转为快速增暖；过去 2000 年的最暖 10 年、30 年、50 年均出现在 20 世纪后半叶。（2）过去 2000 年干湿变化的全球集成研究尚处于起步阶段；尽管已整编了全球范围的代用资料，研制了首套全球陆地区域的干湿变化格点数据集，但结果仍存在显著不确定性。（3）现有研究仍大多主要依托年分辨率的树轮资料，未实现对不同分辨率资料的有效集成。未来 PAGES2k 将依托资料管理，融陆地、海洋和人类社会的代用记录及相关研究于一体，针对代用资料与模式理解、方法与不确定性、气候变率模态与机制等三大主题，重点开展代用指标气候指示意义的时空差异、代用证据的定年精度与多源证据校核、代用资料挖掘技术与多源数据融合、校准方法等难点问题研究。

S06-O-08

全新世西风急流季节变化对中亚干旱区降水的影响

周朋[1,2]，石正国[2,3,4]*，李新周[2,5]，周卫健[2]

1 北京师范大学地球科学前沿交叉研究中心，北京

2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，陕西 西安

3 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心，陕西 西安

4 西安交通大学全球环境变化研究院，陕西 西安

5 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心，北京

* shizg@ieecas.cn

处于对流层上层的副热带西风急流是全球行星风系的重要组成部分，通过其位置的南北摆动和强度的变化，成为了联系高低纬气候变化的重要纽带，进而影响整个北半球的气候变化。亚洲中部地区位于北半球中纬度，气候变化主要受西风急流控制；全新世以来中亚干旱区的降水变化被认为是由太阳辐射驱动的西风环流变化所控制。然而，地质记录和模式模拟所揭示的中亚地区降水格局仍存在一定争议。本文通过气候模式模拟试验，模拟了全新世（最近一万年）以来西风急流和中亚降水的变化。结果显示：（1）中亚和日本全新世以来夏季急流强度逐渐增强，位置逐渐南移；但冬季急流强度变弱，而急流位置变化却不大。我们认为全新世以来西风急流的变化存在冬夏季节不对称性。这种季节变化的不对称性可能与地表潜热和感热作用引起温度梯度变化有关。（2）西风引起的降水变化存在明显的空间差异。中全新世以来，巴尔喀什-阿尔泰地区的年降水量有所增加，但图兰平原、蒙古-贝加尔湖和塔里木盆地则有所下降；并且上述降水变化主要由夏季降水所贡献。受夏季太阳辐射的影响，西风急流南移，同时中纬度欧亚大陆对流层上层经向风出现波状异常（丝绸之路型），导致夏季降水变化最显著。而塔里木盆地上空降水减少的主要原因则是低层东风异常减弱，来自东亚的水汽较少。在以冬季降雨为主的地区，由于冬季日射变化较小，其冬季降水的变化也非常有限。本文通过模式模拟获得的中亚地区全新世降水变化与已有的地质记录存在广泛的一致性，在轨道时间尺度上中亚地区降水主要受丝绸之路模式所调控。

S06-O-09

An Annual-resolution stalagmite record of the 4.2 ka event from central China: comparison with the 8.2 ka event

Yuhui Liu[1]，Chaoyong Hu[2]*，Zunyu Hu[2]

1 Faculty of Materials Science and Chemistry, China University of Geosciences, Wuhan 430078

2 School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan, China, 430078

* chyhu@cug.edu.com

The so-called ‘4.2 ka BP event’ is a critical global climatic anomaly happened around 4.2 ka BP (thousand of years before 1950 AD), as it is a geochronological marker of the Middle-Late Holocene Boundary and may contribute to the collapse of various early civilizations in many region around the world. However, most proxy records have low temporal precision and insufficient resolution to precisely characterize the event. An annual stalagmite record from Northeast India with precise chronology identified the timing and structure of the event in Indian Monsoon region, showing that stalagmite has the potential to present the details of the event precisely. But in East Asian monsoon region, there is still no annual record during 4.2 ka BP event to identify the duration, abrupt amplitude and structure. Moreover, recent studies suggest that instead of a synchronous drought, wet conditions could also be discovered in the East Asian monsoon regions, increasing the

interpretation uncertainties of the event in this region. And it will be helpful to explore the driving mechanism of this event by comparing with the 8.2 ka event, another widely spread abrupt climate anomaly occurred in the early Holocene.

A laminated stalagmite named HS4 collected from Heshang Cave, Qiangjiang valley, middle reaches of Yangtze River, covered a time span of over 9000 years, and early study on the 8.2 event at inter-annual scale from the same stalagmite provide the advantage to make an exact comparison between the 4.2 ka BP event and the 8.2 ka BP event. Total of 780 new oxygen isotope (d18O) data between 4.6 ka BP and 3.8 ka BP with annual resolution haven been obtained. A similar approach to define the 8.2 ka BP event in HS4 has been used to identify the 4.2 ka BP event duration. The d18O average and standard deviation value between 5000 a BP to 3000 a BP calculated from the low resolution of HS4 has been used to identify the whole and the central event. The results demonstrate that the onset of the 4.2 ka BP evet is ~4.24 ka BP and the whole duration covers ~220 years, which is similar to other high-resolution records in the world. Compared with the inter-annual record of the 8.2 ka BP event of HS4, the whole duration of the 4.2 ka BP is 70 years longer, but both the central durations of the two events are similar, though the central extreme portion of the 4.2 ka BP event are not so prominent as shown in the 8.2 ka BP event record. A two-pulsed structure could be observed from both events, though the variation amplitude during the 8.2 ka BP event is much larger than that of the 4.2 ka BP event. Compared with the synchronous variations between the Greenland ice core and stalagmite HS4 records during the 8.2 ka BP event, no similar trend could be observed between them during the 4.2 ka BP event. Further periodicity analysis reveals that ENSO cycles (2-7 yr) could be observed during the 4.2 ka BP event, but no ENSO cycles during the 8.2 ka BP event, suggesting that the North Atlantic influence is not the main forcing for the 4.2 ka BP event, while ENSO may play an important role on it.

S06-O-010

Dust storm outbreak in central Asia after ~3.5 kyr BP

Wenxia Han [1,2]*, Shuang Lü [3,4], Erwin Appel2, André Berger [5], David Madsen [6], Jef Vandenberghe [7], Lupeng Yu [1], Yongxiang Han [8], Yibo Yang [9], Tao Zhang [9], Xiaohua Teng [9], Xiaomin Fang [9]*

1 College of Resources and Environment Sciences, Linyi University, China

2 Department of Geosciences, University of Tübingen, Germany;

3 Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, China

4 University of Chinese Academy of Sciences, China;

5 Georges Lemaître Center for Earth and Climate Research, Université Catholique de Louvain, Belgium;

6 Texas Archeological Research Laboratory, University of Texas, USA

7 Department of Earth Sciences, VU University Amsterdam, The Netherlands

8 Institute of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science and Technology, China

9 Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, China;

* hanwenxia@lyu.edu.cn;

The evolution and driving factors underlying dust activity in central Asia remain controversial, particularly in its effects on downwind regions. Here we present a Holocene dust storm activity record retrieved

from the Tarim Basin (TB), and perform linear and nonlinear analyses on dust records from the TB and the Greenland areas. The results indicate a similar response of dust activities to total solar irradiance in both areas, and identify a possible tipping point of dust activity in central Asia at ~3.5 kyr BP. We suggest that decreasing temperature in high northern latitudes, aided by solar activity change, drove the system to reach a critical threshold at ~3.5 kyr BP. The resulting steepening of the meridional temperature gradient would have facilitated strengthening and southward shift of the Northern Hemisphere westerly jet, leading to the outbreak of dust storms, through intensification of low level wind intensity and prolonged spring conditions in the Asian interior.

S06-O-011

Role of the Summer Monsoon Variability in the Collapse of the Ming Dynasty: evidences from speleothem records

Jingyao Zhao[1]*, Hai Cheng[1,2,3]*, Yan Yang[4], Liu Wen [5, 6, 7], Haiwei Zhang [1], Xianglei Li [1], Hanying Li[1], Yassine Ait-Brahim[1], Carlos Pérez-Mejías[1], Xiaoli Qu[8]

1 Institute of Global Environmental Change, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, China

2 International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, China

3 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

4 Chongqing Key Laboratory of Karst Environment, School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

5 801 Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources, Jinan 250014, China;

6 Shandong Provincial Geo-mineral Engineering Exploration Institute, Jinan 250014, China;

7 Shandong Engineering Research Center for Environmental Protection and Remediation on Groundwater, Jinan 250014, China;

8 State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi, 710049, China

* cheng021@xjtu.edu.cn ; zjy1230@xjtu.edu.cn

Climatic changes have played an important role in societal reorganizations. Particularly, the late 16th and early 17th century coincided with severely cold condition, extremely weak summer monsoon and widespread population decline in China. Here we present new speleothem oxygen isotope records across North and South China, which in concert with historical documents, allow us to characterize the 'Late Ming Weak Monsoon Periods' (LMWMP) at an unprecedented annual temporal resolution. Our analysis suggests that as a weak summer monsoon event not seen for nearly five hundred years in China, the LMWMP spatiotemporally coincided with the late Ming Dynasty peasant uprising (1627~1658 CE), and thus the transition from Ming to Qing Dynasty. This suggests a plausible role of climate change in shaping the important chapters of the Chinese history. In addition, both speleothem and historical documents reveal that the LMWMP appears to be a north to south time-transgressive event on decadal-timescale.

S06-O-012

EASM-EAWM relation across different time scales

YAN Mi[1,2,3]*，LIU Zhengyu[4]，NING Liang[1,2,3,5]，LIU Jian[1,2,6]，ZHU Xinguo[1]

1 Key Laboratory for Virtual Geographic Environment, Ministry of Education; State Key Laboratory Cultivation Base of Geographical Environment Evolution of Jiangsu Province; Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application; School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing, China.

2 Open Studio for the Simulation of Ocean-Climate-Isotope, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, China.

3 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi’an, China.

4 Atmospheric Science Program, Department of Geography, The Ohio State University, Columbus, OH, USA.

5 Climate System Research Center, Department of Geosciences, University of Massachusetts, Amherst, USA.

6 Jiangsu Provincial Key Laboratory for Numerical Simulation of Large Scale Complex Systems, School of Mathematical Science, Nanjing Normal University, Nanjing, China.

* myan@njnu.edu.cn

The East Asian summer monsoon and winter monsoon (EASM and EAWM) are two important components of the East Asian monsoon system. However, the relationship between the two components during the Holocene remains debated in the observation. Here we examine a transient simulation to investigate the EASM-EAWM relation at different timescales during the Holocene. It is shown that the intensities of EASM and EAWM are positively correlated at orbital timescale but negatively correlated at multidecadal to millennial timescales. In contrast the positive correlation at orbital time scales that is forced by the seasonal insolation forcing, the negative EASM-EAWM relation at millennial and shorter timescales is caused mainly by the internal variability of the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) and the subsequent teleconnection to East Asia via land-sea thermal contrast.

It should be noted that the relationship between EASM and EAWM may also depend on the definitions of the indices, which themselves remain ambiguous. The relationship between the wind-based EASM and the temperature-based EAWM is similar to that between the wind-based EASM and wind-based EAWM. This might be due to the fact that the AMOC can influence temperature along with the wind field over Eurasia through the westerly jet and the associated circumglobal teleconnection; it also confirms that EAWM can be represented either by DJF mean low level meridional wind or by DJF mean surface temperature over the eastern China. The NC precipitation based-EASM is also significantly negatively correlated with the wind based-EAWM at centennial timescale. This is consistent with the previous works suggesting that the NC precipitation can represent the intensity of EASM, i.e. the weakened/strengthened monsoon circulation is followed by the reduced/increased precipitation in North China. The SC precipitation-based EASM is correlated with the wind based-EAWM positively at decadal to centennial timescales, but negatively at multi-centennial to millennial timescales, and then positively again at the orbital timescale. This suggests that SC summer precipitation is not a good representation of the EASM intensity, because SC precipitation in JJA is affected by not only the EASM circulation but also other factors such as tropical cyclone.

S06-O-013

岸边地质证据揭示的副热带东亚末次冰消期以来水文气候及可能成因

徐海 [1,2], Yonaton Goldsmith [3],蓝江湖 [2],谭亮成 [2], 王旭龙 [2], 周新郢 [4]

1 天津大学地球系统科学学院，天津

2 中国科学院地球环境研究所，西安

3 耶路撒冷希伯来大学地球科学学院，以色列，耶路撒冷 91904

4 中国科学院古脊椎与古人类研究所，北京

* xuhai@tju.edu.cn

副热带东亚是世界上人口密度最大的地区之一，了解该区降水历史、规律及机制对区域经济及生态环境可持续发展规划至关重要。传统的观点认为中国季风区降水长期趋势主要受北半球轨道尺度太阳辐射驱动，因此认为亚洲夏季风区不同区域存在相似的长期降水趋势。我们基于湖岸/阶地岸边地质证据重建了中国西南云南程海末次冰消期（近 16,000 年）以来水位演化，重建结果与副热带东亚地区其它多个研究结果相似。云南程海水位演化一个典型的特征是中全新世（~ 8,000-4,000 a BP）湖泊水位总体偏低而晚全新世（~ 4,000-0 a BP）水位显著升高；该长期趋势与轨道尺度北半球太阳辐射反相位/错相位，暗示副热带东亚地区降水长期趋势除受到太阳辐射影响外，可能还受到其它因素调控。进一步研究表明云南地区乃至副热带东亚地区水文气候长期变化趋势与南北半球温度梯度（△TN-S），赤道太平洋东西温度梯度（△TW-E），以及模拟的副热带东亚地区降水长期变化趋势相似；我们推测由△TN-S 和△TW-E 联合调控的西太平洋副高的位置移动与亚洲夏季风的共同作用控制了副热带东亚地区水文气候长期演化趋势。

S06-O-014

年层石笋记录的华北倒三冰消期气候突变事件

段武辉 [1, 2]*，谭明 [1]，王学锋 [1]，王立胜 [1]，马志邦 [1]， 程海 [3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

2 中国科学院生物演化与环境卓越中心，北京 100044

3 西安交通大学全球环境变化研究院，西安 710049

* duanwuhui@mail.iggcas.ac.cn

研究冰期终止期在不同气候系统下的开始时间，演化过程有助于理解冰期向间冰期快速转换的驱动机制。中国南方石笋记录显示倒三冰消期与末次冰消期气候演化模式最为相似，但由于定年精度和分辨率的限制，目前仍无法对 T-III 和 T-I 内部千年尺度气候突变事件详细的对比，因此关于这些气候突变事件的驱动机制仍然存在争议。本研究利用北京苦栗树洞一根发育清晰年纹层的方解石类石笋氧碳同位素记录（KLS0902）刻画了华北倒三冰消期气候突变事件的精细结构。

由于 KLS0902 δ18O 高频波动较大，本研究主要利用 δ13C 来讨论百年-千年尺度的气候演化过程。之前的研究表明苦栗树洞石笋 δ13C 值主要指示当地干湿变化，δ13C 越负说明当地越湿润，东亚季风越强。KLS0902 δ13C 从 245.0±1.8 ka BP 开始迅速负偏，年层计数显示在 68 年内负偏了 1.71‰，意味着华北倒二间冰期的开始。湖北三宝洞石笋 δ18O 记录显示中国南方倒二间冰期开始的时间为 242.6±0.3 ka BP，两者在误差范围内基本一致，进一步说明北半球高纬度夏季太阳辐射是冰期-间冰期气候转换的关键驱动因子。

KLS0902 δ13C 记录显示在倒三冰消期中部发生了一个显著的千年尺度强季风事件，在此之前和之后各有一个显著的千年尺度的弱季风事件，与末次冰消期类似，即发生了 YD，BA 和 MY，我们将其标记为 YD-III, BA-III 和 WMI-III。通过年层计数确认，华北石笋记录的这三个事件的精细结构比南方石笋记录与 YD，BA 和 MY 的结构更

加一致，由此说明这些气候事件可能是由北半球高纬驱动的。

KLS0902 δ13C 记录还显示在 YD-III 内部发生了两个百年尺度的季风增强事件，但中国南方石笋记录并没有清晰记录这两个事件。同样的，苦栗树洞石笋记录显示 YD 内部发生了三个百年尺度的季风增强事件，与格陵兰冰芯记录一致，但中国南方石笋记录没有明显表现出这些事件。我们的记录为冰消期百年尺度气候突变事件由高纬驱动提供了关键证据。

S06-O-015

华北过去 13 万年石笋碳/氧同位素记录

李云霞[1,2]，饶志国[1,2]*，许清海[3]，刘小康[2,4]，程海[5,6]，R. Lawrence Edwards[6]，陈发虎[2,4]

1 湖南师范大学地理科学学院，长沙 410081;

2 兰州大学资源环境学院，西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000;

3 河北师范大学资源与环境学院，石家庄 050024;

4 中国科学院青藏高原研究所，北京 100101;

5 西安交通大学全球环境变化研究院, 西安 710054;

6 Department of Earth Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, MN55455, USA

* raozhg@hunnu.edu.cn

我国石笋氧同位素（$\delta^{18}O$）研究取得了举世瞩目的成就，也面临诸多争议。不同时间尺度上我国东部季风区降水量的空间分异（如南涝北旱\北涝南旱），通常被用来作为挑战该区域具有大空间尺度一致性的石笋 $\delta^{18}O$ 记录作为东亚夏季风强度变化指示器的证据。然而，东亚季风系统的调整必然会同时影响到降水量和降水同位素变化；加之之前直接来自于石笋的反映局地降水量变化的记录主要来自长江中游地区；且我国华北地区覆盖冰期/间冰期旋回的石笋记录还不多见；因此有必要在华北地区开展相关研究。

来自河北平山天桂山珍珠洞的 PS1 和 PS2 石笋，尽管二者长度差异明显（分别约为 122.3 和 30cm），但是都覆盖了过去 13 万年，且在深海氧同位素阶段（MIS）5d、MIS5b、MIS4 和 MIS2 均存在明显沉积间断。分析结果表明：过去 13 万年，PS1 石笋 $\delta^{13}C/\delta^{18}O$ 记录在数千年至万年尺度上表现出良好的同步变化性（相位一致性），但是在相对变化幅度和长期变化趋势上存在明显差异。具体而言，PS1 石笋 $\delta^{18}O$ 记录在 MIS5e，5c，5a，MIS3 和 MIS1 期间未表现出明显的长期变化趋势（与长江中下游三宝洞/葫芦洞石笋 $\delta^{18}O$ 记录一致），但是其 $\delta^{13}C$ 记录从 MIS5e、至 5c、5a、MIS3 表现为明显的偏正变化趋势，随后向 MIS1 发生偏负变化（与之前报道的黄土高原西部地区靖远/古浪剖面成壤碳酸盐 $\delta^{13}C$ 变化特征一致）。同时，基于对珍珠洞两年的现代观测结果和黄土高原成壤碳酸盐 $\delta^{13}C$ 记录的一致性，我们认为碳同位素记录是一个更为敏感且可靠的降水量指标。而且，初步的周期分析结果表明，PS1 石笋 $\delta^{13}C$ 记录主要表现为 10 万年周期，而 PS1 石笋 $\delta^{18}O$ 记录则表现为 2.3 万年周期。因此，我们认为 PS1 石笋 $\delta^{18}O$ 记录在数千年至万年尺度上响应于东亚夏季风相位变化，但是不能作为季风强度（降水量）变化的绝对衡量指标。需注意的是，PS1 石笋 $\delta^{13}C$ 记录之所以能反映季风降水量变化，主要是由其特定位置所决定的（上覆植被主要为 C3 植物，C4 植物影响较小）。后续工作当中，还需要开发更多具有明确降水量指示意义的指标，来对已有研究结果加以验证。

S06-O-016

长江中下游地区末次冰期千年尺度干湿变化的石笋多指标记录

陈仕涛*，王萌，汪永进

1 南京师范大学地理科学学院，南京 210023

* chenshitao@njnu.edu.cn

对石笋多指标的研究有利于全面理解季风气候事件的变化特征和机制。本文以湖北永兴洞 YX55 石笋为研究对象，在石笋岩相学分析的基础上，通过高精度铀系定年和多指标分析重建了 65~40 ka B.P.石笋稳定同位素、灰度、微量元素的变化序列，为系统研究该时段东亚季风演变特征提供了多角度的数据支持。研究发现，在 65~40ka B.P.时段，石笋灰度、$\delta^{13}C$ 与 $\delta^{18}O$ 都呈现出数个千年尺度的气候旋回，说明灰度和 $\delta^{13}C$ 这类代表局域气候的指标，对 $\delta^{18}O$ 指示的 Heinrich 事件和 Dansgaard-Oeschger 旋回均具有良好的响应。在 Heinrich 事件期间，微量元素对气候的变化也有所响应，表现为与氧碳同位素相似的变化趋势。期间石笋 $\delta^{18}O$ 值正偏，指示亚洲夏季风减弱，降水补给的减少引起滴水在洞穴沉积前发生二氧化碳脱气与先钙沉积，导致石笋 Mg/Ca，Sr/Ca，Ba/Ca 比值增高。同时，脱气过程中 $12CO_2$ 的去除导致石笋中 $\delta^{13}C$ 偏正，由于滴量少、滴率慢且稳定，最终沉积形成了 H5~H6 中灰度值较小、尖锥状的暗色致密纹层段。

S06-O-017

西风区石笋氧同位素记录揭示的全新世东亚夏季风与西风相互作用过程

张肖剑*

1 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210023

* zhangxj@nju.edu.cn

中纬度西风环流和东亚夏季风环流是控制我国气候和环境变化的决定性因素，它们的相互作用过程显著影响我国的气候分布格局。目前，代用记录揭示的全新世东亚夏季风与西风的相互作用过程还存在巨大争议，争议的焦点是早中全新世强盛的东亚夏季风能否深入以及在多大程度深入到中国西北干旱区。本研究通过分析现代西风区降水氧同位素与水汽输送的关系，认识全新世石笋氧同位素的指示意义，进而理解全新世东亚夏季风与西风的相互作用。现代再分析资料显示，中国西北地区夏季存在两种形式的水汽输送，一种是西风水汽输送，水汽全部来自西风环流的输送；另一种是季风水汽输送，除了来自西风的水汽输送外，还有来自印度洋和太平洋的水汽沿着青藏高原的东部和北部输送到中国西北地区。西风水汽的氧同位素偏轻，给中国西北地区带来的降水以小雨为主；而季风水汽的氧同位素偏重，给中国西北地区带来的降水以大雨和暴雨为主。中国西北的降水氧同位素反映了季风水汽和西风水汽的相对贡献。全新世期间，新疆科桑洞石笋氧同位素逐渐偏重，反映了季风水汽的贡献逐渐增加以及降水逐渐增强的变化过程。这一研究成果强调东亚夏季风水汽主要在季风强度较弱的时期深入到中国西北干旱区，东亚夏季风的减弱增加了蒙古反气旋活动的频率，使得青藏高原北部东风（季风）水汽输送的频率增加。本研究揭示的东亚夏季风与西风的相互作用模态能够合理解释目前代用记录之间存在的分歧，也为当前我国西北的暖湿化提供一个新的认识。

S06-O-018

南海西北部晚第四纪环境变化：来自硅藻的记录

张金鹏*，邱燕，陈泓君，夏真，郭丽华

1 广州海洋地质调查局，广州 510760

* jinpenggmgs@sina.com

南海西北部有半封闭的大海湾型陆架及相邻的海槽型陆坡，又有远流程大河和区域性短流程河流注入，是探究地球圈层作用、源汇作用的代表性区域之一。其位于南海与东亚大陆、青藏高原之间的海陆结合部位，是亚洲季风区中的重要节点之一。既是东亚热带夏季风爆发之后首先受影响的中国近岸地区之一，也是冬季风在中国大陆的最南

端影响区，还受来自印度洋水汽的西南季风影响。巨大的海陆性质差异引起复杂而强烈的海陆作用，从而深刻影响着陆地的风化及陆源物质向海输入、海洋水体和生物地球化学过程、海陆生态系统和沉积环境的稳定性。在晚第四纪冰期-间冰期气候旋回中海平面大幅度变化，南海西北部北部湾陆架海进、海退频繁，并在大陆坡堆积着有一定韵律变化的沉积物层。陆架及相邻坡的沉积物承载着近岸及南海海区环境变化、过去全球变化引起的沉积过程与圈层交互作用方面的信息。

为了揭示南海西北部晚第四纪古气候-古海洋-古地理变化，借助硅藻对环境的指示器作用，海洋地调及科研项目系统开展了北部湾及西沙海槽陆坡的沉积硅藻研究。形成认识：1）南海西北部晚第四纪硅藻组合及生物地层序列响应于冰期-间冰期气候旋回，并具有区域可对比性及地学应用前景。2）但，南海西北部深水陆坡晚第四纪硅藻组合与南海北部大陆坡东部和中部有差异，表现为更高含量的近岸种类参与。3）海平面升降变化深刻塑造了南海西北部的古地理，引起硅藻组合迁移。反之硅藻丰度及属种组合也反映了区域古环境的大幅度改造。4）硅藻因其是海洋中重要初级生产力，对冰期终止（Termination）有快速响应的表现，佐证其对环境变化更为敏感。5）末次冰消期以来的高分辨率硅藻剖面（沿岸到陆架中南部）揭示 8 个阶段古海洋和沉积环境变化（其中全新世 7 个阶段），对海进与海退过程具有较好的指示作用，可用于古海平面重建。6）“新仙女木事件”发生时期，硅藻剖面记录本区有古温度异常的表现，为持续性升温，具体归因有待进一步研究。7）硅藻剖面记录了中晚全新世沉积异常，沿岸区硅藻化石“缺失”，而中南部陆架则硅藻含量“大增”，完美揭示了大海湾内的古环境联动性。8）晚全新世“新冰期”、“中世纪暖期”、“小冰期”在硅藻剖面上也有所记录，响应于全球变化。

S06-O-019

鄂西地区大气降水氧同位素的时空演化：对古气候和古高程重建的启示

胡超涌* 王颖钊

1 中国地质大学（武汉）地理信工学院， 武汉，430074

* chyhu@cug.edu.cn

氧同位素（δ18O）作为一个重要的替代指标，广泛应用于古气候和古高程的重建。但是δ18O 与气候/环境参数之间的不确定性，限制了氧同位素气候意义的准确解译。2011 年开始，我们借助于鄂西地区地貌格局，依据海拔高度系统地进行布点，开展现代降水过程的高频监测（月分辨），了解大气降水氧同位素组成在时间和垂向空间上的变化特征，并分别在季节和年际尺度上探讨 δ18Op 与气候和高程之间的联系，调查 δ18Op 的主要影响因素。研究发现，1）当地温度和降水对降水同位素变化存在影响，但不是主要影响因素，而大尺度环流（季风）的影响更为显著。季节尺度上，δ18Op 东亚季风、印度季风和西北太平洋季风在内的 9 个季风指数之间具有良好的相关性；而在年际尺度上，δ18Op 与以纬向风定义的印度季风指数和西北太平洋季风指数最为相关，受到厄尔尼诺-南方涛动（ENSO 的）调控。因而，δ18O 反映季风“风”的强弱，胜过研究区“雨”的多少。2）13 个观测点的 δ18Op 数据回归分析表明，研究区 δ18Op 高程递减率为−0.17 ± 0.05‰/100m（平均值），与全球大部分地区观测的降水稳定同位素高程递减率相近; 然而，δ18O 与海拔之间的关系并不稳定，明显受到环流格局和气候条件的限制。相对而言，夏季风盛行期间，降水氧同位素组成与海拔高度之间的关系更为显著，高程递减率相对较小。下一步应延长观测记录，敦实现有的研究发现，为古气候重建提供科学依据。

S06-O-020

过去300年中国西南与东部地区雨季始期变化特征的比较研究

郝志新*，张亮，刘洋，葛全胜

1 中国科学院地理科学与资源研究所，中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室，北京 100101

* haozx@igsnrr.ac.cn

亚洲夏季风强弱、雨季来临早迟与我国夏季旱涝的关系密切，因此深入探究亚洲季风的长期变化规律及其各子区域季风系统的相互联系与稳定性具有重要科学意义。本文在参考中国气象局据气象观测资料制定的西南地区雨季开始期行业标准的基础上，结合历史文献清代雨雪分寸的记载特点，重建了 1736~1911 年成都地区的雨季开始日期序列，分析了其年际－年代际变化的基本特征，并与昆明、华南、长江中下游和华北等地的雨季开始日期序列进行了对比。发现：历史时期成都雨季的初始日与 1951~2015 年一致，均为 5 月 6 候；1740s~1790s、1840s~1850s、1880s~1890s、1960s~1970s 和 2000s 雨季来临较早,而 1800s~1830s、1860s~1870s、1900s、1950s 和 1980s~1990s 雨季则推迟；尽管中国东部季风雨带在历史时期的推进过程与现代基本一致，差异为 1~3 天，但随着季风强度的变化，表现出明显的年代际波动；成都雨季受到南亚季风和东亚季风的共同影响，其雨季来临早晚的变化与昆明相关性更高，与长江中下游梅雨季开始的早晚关系不明显。此外，研究结果还显示亚洲季风在 1980~2000 年减弱的现象，也曾经发生在 1810~1830 年。

S06-O-021

中世纪-小冰期过渡期东亚夏季风快速衰退研究

蓝江湖[1,2,3]*，徐海[2]*，郎赟超[2]，郁科科[4]，周朋[5]，康树刚[1,3]，谭亮成[1,3]*

1 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061

2 天津大学表层地球系统科学研究院，天津 300072

3 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心，西安 710061

4 宝鸡文理学院，宝鸡 721013

5 北京师范大学地球科学前沿交叉研究中心，北京 100875

* lanjh@ieecas.cn, xuhai@tju.edu.cn, tanlch@ieecas.cn

东亚地区是全球人口数量和密度最大的地区之一，因而东亚夏季风（EASM）的衰退/增强对区域生态、社会和经济等可能会造成重大影响，特别是对季风边缘区的影响可能更为显著。虽然基于湖泊、泥碳、石笋、历史文献和模型模拟的研究都揭示出东亚地区在过去千年经历了显著的气候变化，但由于季风边缘区高分辨记录的匮乏，近2000年东亚夏季风北界（SML）的空间变化仍不确定，特别是中世纪-小冰期转换期夏季风北界位置的转变，及其生态和社会影响都缺乏深入研究。

本研究基于季风边缘区民勤盆地北缘中泉子（ZQZ）湖泊沉积记录，并结合季风边缘区其他地质记录，首次重建了中世纪暖期夏季风的位置。结果发现，（1）中世纪暖期东亚夏季风增强，季风北界北推至阴山-雅布赖山-祁连山-青海湖北侧一线；（2）中世纪-小冰期过渡期，东亚夏季风经历了快速的衰退，季风北界也随之向东南方向快速撤退，且在小冰期未再重返上述地区（百年尺度上）。上述过程对季风边缘区的水文、生态和社会产生了深远的影响。例如，森林-草原景观被干草原景观所代替、农牧交错带南移（文化类型由农耕文化转变为游牧文化）、粮食产量降低、饥荒增加、农民起义和战争频发、人口数量锐减，等等。

夏季风北界在中世纪-小冰期过渡期快速衰退原因是太阳活动减弱及其影响的大气环流（如ENSO、西伯利亚高压等）的非线性反馈。（1）太阳活动减弱引起东亚大陆

和北太平洋的海陆热力差异减弱，促使亚洲-太平洋涛动指数降低，进而可能引起西太副高和西风带的南移，最终导致东亚夏季风前缘快速南移。（2）太阳活动变化还可能通过改变大气环流（ENSO）来调控东亚夏季风变化：中世纪-小冰期过渡期大气环流由类 El Niño 态向类 La Nina 态转变，通过影响西太副高位置导致东亚夏季风衰退。（3）与太阳辐射量紧密联系的西伯利亚高压也在中世纪-小冰期过渡期快速增强，暗示此时增强的东亚冬季风（EAWM）也进一步促使东亚夏季风在季风边缘区快速衰退。

S06-O-022

中国西南地区高分辨率石笋记录的全新世季风气候演化及突变事件

李彦祯[1,2]，王治祥[1]，成星[2]，黄春菊[3]，谭亮成[2,4]*

1 中国地质大学（武汉）地质过程与矿产资源国家重点实验室，武汉 430074

2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061

3 中国地质大学（武汉）地球科学学院，武汉 430074

4 中国科学院地球环境研究所第四纪科学与全球变化卓越创新中心，西安 710061

* tanlch@ieecas.cn

亚洲夏季风系统（西南季风和东亚夏季风）是全球气候系统的重要组成部分，影响着世界三分之一人口的生活和生产活动。不同地区全新世季风气候变化的详细研究，对我们更好的理解未来气候变化具有重要意义。为此，我们对采自印度季风控制区的中国西南神奇洞（28°56′ N, 103°06′ E，1407m）四支石笋记录 SQ1、SQ2、SQ4、SQ5 进行高精度铀系定年、稳定同位素以及微量元素分析，重建了中国西南地区近 9000 年以来的高分辨率季风变化。结果表明：

全新世神奇洞石笋氧同位素与阿曼、印度以及东亚季风区其他石笋记录一致，伴随北半球夏季太阳辐射变化，指示了全新世印度季风和东亚季风在轨道尺度上的一致性。但神奇洞石笋 δ18O 近 2000 a 呈上升趋势，指示印度夏季风减弱，这与该时段泰国南部、印度以及青藏高原东缘的石笋和泥炭 δ18O 记录一致，而中国东部石笋 δ18O 在该时期呈下降趋势。这种反相变化表明印度夏季风与东亚夏季风在过去 2000 a 表现出不同的特征。我们的记录表明早全新世中国西南地区印度夏季风最强盛。7000 a BP 之后出现印度夏季风的快速减弱，可能是北极海冰的增加以及 ENSO 频率的增加导致。同时我们神奇洞石笋 δ18O 记录了 7 次明显的气候突变事件，分别是 8.2、7.6、5.6、5.6、5.3、5.0、4.0、2.3 ka BP 弱季风事件，其中 8.2 ka 最为明显。

S06-O-023

渤海海岸全新世沉积物光释光年代学研究

李琰[1]*，夏磊[1]，易亮[2]，胡克[1]，陈永胜[3]，王宏[3]

1 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

3 中国地质调查局天津地质调查中心，天津 300170

* yan.li@cugb.edu.cn

海岸地区全新世沉积物记录了海平面上升背景下的海陆交互过程，对研究全新世以来海岸地区沉积环境演化及其对气候变化的响应有重要意义。本研究利用采自渤海海岸地区若干全新世沉积物岩心，开展了较高分辨率的石英光释光（OSL）年代学研究。同时，对部分埋藏贝壳和富有机质沉积物进行了 AMS^{14}C 测年。

结果表明，光释光与 AMS^{14}C 年龄基本一致，表明石英的释光信号曝光完全。年代学框架显示，渤海海岸全新世沉积速率存在

突变。研究钻孔早中全新世沉积速率普遍较低，而两千年以来沉积速率迅速增大，在平面空间上显示为快速进积的成陆过程。这种快速沉积可能对应了两千年来渤海沿岸频的发洪水事件。

S06-O-024

茅尾海-钦州湾表层沉积物孢粉分布特征及其动力传播路径

郝秀东[1,2]*，欧阳绪红[1,2]，杜金洲[3]

1 南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室，南宁 530001

2 南宁师范大学广西地表过程与智能模拟重点实验室，南宁 530001

3 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241

* xiudonghao@126.com

北部湾是中国广东雷州半岛、海南岛和广西壮族自治区及越南之间的海湾，全部处于大陆架上，其沉积物主要来自于周边地区，是进行现代花粉传播机制研究的绝佳天然实验室。陆地植物花粉自离开母体植物后，经由风传或水传进入海洋，最后沉积在海底。由于海洋花粉来源广泛，使得在解释海洋沉积物（如钻孔等）的孢粉记录时，会出现一些不同的争议。因此，通过表层沉积物的花粉组合来探讨花粉源区及其传播沉积机制，对正确的解析海洋沉积物花粉所蕴含的古环境信息非常重要。茅尾海位于钦州市南部，为半封闭内海，是茅岭江、大榄江、钦江等入湾径流的共同河口海滨区，向南通过钦州湾与北部湾相连。本研究通过对 2018 年采集的 21 份茅尾海-钦州湾海域表层沉积物的孢粉分析，得出其孢粉组合特征，探讨该区域孢粉由内海向北部湾扩散的过程中孢粉传播与搬运的动力传播路径。结果表明：1）除了一份样品（S7）缺失孢粉外，其余 20 份样品孢粉含量丰富，共鉴定孢粉 75 科属。孢粉组合中以草本含量最高 55.8%（平均），主要为禾本科和莎草科；阔叶乔木次之，为 23.7%，主要为常绿栎属；针叶类含量为 20.5%，主要为松属。2）松属花粉含量整体较高 19.2%，但高值均出现在钦州湾样品中，暗示松属花粉经茅尾海沉积后，仍然有向钦州湾汇集的趋势。3）常绿栎属花粉含量 9.4%，茅尾海和钦州湾样品的含量变化不大。4）草本植物花粉（主要为禾本科和莎草科）的高值出现在河口近岸样品中，说明河流为其主要的传播动力。

S06-P-01

河南石笋记录的全新世东亚夏季风变率及其影响

蔡演军[1,2]*，成星[2,3]，马乐[2]，毛瑞雪[2]，Breitenbach, S.F.M.[4]，张海伟[1]，薛刚[2]，程海[1]，Edwards, R.L.[5]，安芷生[2]

1 西安交通大学 全球环境变化研究院，西安 710054

2 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061

3 中国科学院大学，北京 100049

4 Department of Geography and Environmental Sciences, Northumbria University, NE1 8ST, UK

5 Department of Earth Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, USA

* yanjun_cai@xjtu.edu.cn

全新世气候变化和人类发展有着密切的联系，并且中全新世的气候和未来全球增温情景具有相似性，因此，包括黄土、湖泊、泥炭、石笋和沙丘沉积物等古气候档案被广泛用来研究东亚全新世气候和环境的变化。已有的研究表明，中国东部全新世的降水变化具有显著的空间差异性，而且大多集中在全新世长趋势的变化上，而对百年-十年尺度的变率研究较少。另一方面，气候变化对文化发展具有重要的影响，新石器文化的兴衰和全新世气候密切相关。我国中部地区是南方亚热带湿润气候和北方暖温带半干旱气候的过渡带，既是理解东亚季风时空变异

的关键区域，也是现代农业生产和中国古代文明演化发展的核心地带。为此，在我国中部平原地区建立精确定年、高分辨率的气候环境变化记录，深刻理解东亚季风的时空变率及其影响，就显得尤为重要。

本研究以河南马沟洞的5支石笋为研究对象，在获取 66 个高精度铀系年代、3846 组氧碳同位素数据的基础上，建立了约 4 年分辨率的石笋稳定同位素记录。集合经验模态分解（EEMD）和小波滤波两种方法对马沟洞石笋 δ18O 集成序列的多尺度分解一致表明：轨道尺度东亚季风变化受控于北半球夏季太阳辐射变化，而在全新世大暖期内部（8.5-4.9ka BP），千年和百年尺度的（500-3000年和100-500年）的变化幅度有所减小，揭示在温暖期千年和百年尺度气候波动对区域降水影响的减弱。此外，在全新世大暖期识别出来包括 8.2ka 事件的 14 次持续 20-70 年的弱季风事件。由于全新世大暖期中 8.2ka 事件以外的弱季风事件并没有在格陵兰冰芯中发现，而热带海温变化对副热带高压具有显著影响，进而提出热带海表温（SST）的变化对这些弱季风事件的形成起到重要作用。尽管全新世内部存在不同尺度的季风气候事件，但由于位于亚热带湿润气候和暖温带半湿润气候过渡带，中原地区的季风降雨变化基本处于相对适宜的范围内。这种温和的降水变化允许和维持了区域文化的连续发育，但是仍然调制了不同文化的生计和适应措施。

S06-P-02

Natural and anthropogenic forces on regional Pb variations in Asia-Australia region over the past three centuries

Tianli Wang1,2，Pei-Hsuan Yao3，Tsai-Luen Yu4， Sakonvan Chawchai5，Wen-Hui Sung6，Adi Torfstein7，Jianghu Lan1,8，Chuan-Chou Shen6,9，Xuhai Xu10，Liangcheng Tan1,8,11,12,*

1 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, 710061

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049

3 Agro-environment Laboratory (AELab), Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University, Taipei, 10617

4 Marine Industry and Engineering Research Center, National Academy of Marine Research, Gaohsiung, 80661

5 Depart of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 10330

6 Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, 10617

7 Institute of Earth Sciences, Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, Israel, 91904

8 CAS Center for Excellence in Quaternary Science and Global Change, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, 710061

9 Research Center for Future Earth, National Taiwan University, Taipei, 10617

10 Institute of Surface-Earth System Science, Tianjin University, Tianjin, 300072

11 Open Studio for Oceanic-Continental Climate and Environment Changes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao, 266061

12 Institute of Global Environment Change, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049

* tanlch@ieecas.cn

To have a deeper insight into the human and natural forces on regional Pb cycles in the Anthropocene, Pb concentration and Pb isotope compositions (208Pb/207Pb and 206Pb/207Pb) in a absolutely-dated stalagmite (TK131), collected from central Malay Peninsula, were measured to reveal regional Pb variations over the past 270 years. This is the first stalagmite-

based Pb isotopes record in Asia. The results show that Pb emission activities in the upper wind regions (especially South China) significantly influenced the study area, which have been faithfully recorded in TK131 through Pb variations. Pb pollutants' long-range transport could arise from the influence of the large-scale Asia-Australian monsoon circulation system. Before 1950, strong East Asian Winter Monsoon (EAWM) contributed to the high TK131 Pb content, and anthropogenic factors dominated Pb isotope ratios. And vice versa, with lower Pb isotope ratios indicating increasing natural Pb input. However, this relationship was subdued in the late 20th century due to the massive Pb emission in China. EAWM was weak during this period, whereas TK131 Pb content was highest, and isotope ratios pointed out that Pb mainly originated from Chinese aerosols. We suggest human force possibly caught up with and surpassed the controls of atmospheric circulation on regional Pb cycle with 1950s as the tip point time. Thereafter, the constantly intensified human activities are pushing the earth into the Anthropocene epoch for ever.

S06-P-03

Late Holocene solar forcings on the Kuroshio Current of subtropical North Pacific at different timescales

Bangqi Hu[1, 2, *], Jingtao Zhao[1, 2], Jianghu Lan[3, 4], Hong Yan[3, 4], Xue Ding[1, 2], Qing Li[1, 2], Xufeng Zheng[5], Liang Yi[6], Dawei Li[7], Liang Dong[8], Yue Yao[9], Xingyan Shen[3, 4]

1 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China

2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China

3 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

4 Center for Excellence in Quaternary Science and Global Change, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

5 State Key Laboratory of Marine Resource Utilization in South China Sea, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China

6 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

7 Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

8 School of Oceanography, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China

9 Institute of Marine Science and Technology, Shandong University, Qingdao 266237, China

* bangqihu@gmail.com

North Pacific Subtropical Gyre (NPSTG) redistributes heat and moisture between low and high latitudes and plays a key role in modulating the global climate change and ecosystem. Recent evidence suggests intensification and poleward shift of the subtropical gyres over the last decades due to the global warming, but insufficient observations have hampered insight into the integrated effects of ocean-atmosphere interactions at longer timescales. Here we present the first high-resolution (~12 years) grain-size record from Core CF1 in the Okinawa Trough, western subtropical North Pacific, to reconstruct the evolution of western boundary current (Kuroshio Current, KC) of NPSTG during the Late Holocene. Our results indicate the KC slow-down during 4.6–2.0 ka, followed by quickly enhanced after 2.0 ka, with centennial - scale variabilities (500-700 years) superimposed on the long-term trend. Over millennial timescales, gradually increased pole-to-equator thermal gradient due to orbital

forcing mechanisms resulted in long-term enhanced KC, whereas solar activity triggered phase changes in the tropical Pacific mean state and controlled KC anomalies on centennial timescales. We suggest that both forcing mechanisms resulted in ocean-atmosphere feedback provoking concurrent changes in mid-latitude westerly and subtropical easterly winds over the North Pacific, alternating their dominance as source regions cause the dynamic changes of KC at different timescales. Our findings offer insights into the role of external forcing mechanisms in the NPSTG changes before the Anthropocene, which have profound implications for the deeper understanding of changes in ocean gyres under global warming scenarios.

S06-P-04

Sub-millennial-to-millennial scale changes of East Asian Summer Monsoon during Greenland interstadial 25 event

Jinguo Dong[1*], Chuan-Chou Shen[2,3], Wang Yi[4], Hsun-Ming Hu[2,3], Wei Huang[5]

1 College of Geosciences, Nantong University, Nantong 226007, PRC

2 High-Precision Mass Spectrometry and Environment Change Laboratory (HISPEC), Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan, ROC

3 Research Center for Future Earth, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan, ROC

4 Department of Geography, School of Global Studies, University of Sussex, Brighton, UK BN1 9QJ

5 Department of Geographical Science, Yichun University, Yichun 336000, PRC

* dongjinguo1111@163.com

Centennial-millennial scale climate variability of the last glacial period provides insights into the rates at which the climate can change state, and the mechanisms that drive such changes. These short-term climate variability has been registered in various records across different climate zones globally during the classical Marine Isotope Stages (MIS) 3. However, whether the decoupling between low and high latitude climate occurred during the last glacial inception remains in debate due to the lack of high-resolution and absolute-dated records from the tropical monsoonal region. Here, we report speleothem δ18O records from two nearby caves in Shanxi province, north China and characterize Asian summer monsoon (ASM) intensity changes over the past 114.6-108.3 ka BP. Our record shows an obvious enhancing excursion of ASM at 114.6-109.5 ka BP, subsequently followed by a rapid weakening during the MIS 5d, which parallels to the Sanbao record in China but is opposite to the Botuver record in South Brazil. Moreover, these strong/weak monsoonal events appear to be also well correlate to both warm Greenland interstadials (GI) 25 and cold Greenland Stadials (GS) 25 events within respective dating errors. These observations are consistent with the bi-polar seesaw hypothesis. A ~ 700 year weakening monsoon event is firstly detected at 110.7-110.0 ka BP in our record and divided the GI 25 into two parts. Comparison with regional stalagmite records and the paleo-temperature proxy record from the NGRIP ice core suggest that these centennial-scale ASM events corresponds well to GI 25 a, b and c, an intra-interstadial climate oscillation within GI 25. Thus, our record provides a new evidence for the persistent coupling between ASM circulation and high-north latitude climate over the last glacial period. Interestingly, there is subtle difference in regional hydroclimatic evolution at warming

interstadials due to different sensitivities of the EASM and Indian summer monsoon (ISM) in response to the complex land-ocean configurations.

S06-P-05

洞穴石笋对“西南大旱”的记录

殷建军*，汪智军，袁道先，蒲俊兵，张陶，李建鸿，唐伟

1 自然资源部/广西岩溶动力学重点实验室，中国地质科学院岩溶地质研究所，桂林 541004

* david1985_2005@163.com

2009-2010 年发生的“西南大旱”，范围波及西南地区云南、贵州、广西、四川和重庆等 5 省市，造成超过 2 千万人受灾，耕地受旱面积超过 1 亿亩（约 6.7×105 km2）。这次百年一遇的“西南大旱”的发生极大地影响了当地百姓的生产生活。这次极端干旱事件是否在石笋中有所反映？石笋的代用指标如何响应这次极端干旱事件？对于认识石笋代用指标，并利用代用指标重建过去气候变化有着重要意义。

为更好认识石笋代用指标对“西南大旱”的响应机制，选择云南东南部排龙洞 PL1 石笋为研究对象，通过纹层计数定年、季节分辨率 $\delta^{18}O$、$\delta^{13}C$ 和 Mg/Ca 比值分析，探讨了 2004-2019 年间石笋季节尺度 $\delta^{18}O$、$\delta^{13}C$ 和 Mg/Ca 比值变化，并发现石笋记录了 2009-2010 年发生的“西南大旱”。“西南大旱”发生最严重的 2009 年，石笋 $\delta^{18}O$、$\delta^{13}C$ 显著变重，Mg/Ca 比值显著升高，反映了气候变化（降水减少）引起水文响应，进而记录到石笋的过程。特别地，石笋 $\delta^{18}O$ 最重值出现在 2010 年，表现出一定的滞后性，为气候和岩溶水文过程综合影响的结果。通过对比石笋 $\delta^{18}O$ 与当地气象数据、大尺度环流指标，发现年际尺度上，石笋 δ18O 主要受到南亚夏季风强弱的影响，南亚夏季风偏强（偏弱），石笋 $\delta^{18}O$ 相对偏轻（偏重）。而中国东部降水/石笋 $\delta^{18}O$ 在年际尺度上，表现为与 SOI 和 PDO 的显著相关。说明中国东部降水/石笋 $\delta^{18}O$ 除受到源区对流活动的影响，还受到 ENSO 和 PDO 对水汽输送和降水的影响。

S06-P-06

Gradual South-North climate transition in the Atlantic realm within the Younger Dryas

Haiwei Zhang[1]*, Hai Cheng[1, 2]*, Christoph Spötl[3], Xu Zhang[4], Francisco W. Cruz[5], Ashish Sinha[6], Augusto S. Auler[7], Nicolás M. Stríkis[8,5], Xianfeng Wang[9], Gayatri Kathayat[1], Xianglei Li[2], Hanying Li[1], Carlos Pérez-Mejías[1], Yanjun Cai[1], Youfeng Ning[1], R. Lawrence Edwards[2]

1 Institute of Global Environmental Change, Xi’an Jiaotong University, Xi’an 710054, China

2 Department of Earth Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota 55455, USA

3 Institute of Geology, University of Innsbruck, Innsbruck 6020, Austria

4 Key Laboratory of Western China’s Environmental Systems (Ministry of Education), College of Earth and Environmental Science, Center for Pan Third Pole Environment (Pan-TPE), Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

5 Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 05508-080 Sao Paolo, Brazil

6 Department of Earth Science, California State University Dominguez Hills, Carson, California 90747, USA

7 Instituto do Carste, 30360-260 Belo Horizonte, MG, Brazil

8 Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, 24020-141 Niterói, Brazil

9 Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University, 639798, Singapore

* cheng021@xjtu.edu.cn , zhanghaiwei@xjtu.edu.cn

The abrupt climate event Younger Dryas (YD) has been extensively studied, however, its structure is still poorly understood. Climate in northeastern Brazil is very sensitive to the latitudinal position of the intertropical convergence zone (ITCZ) associated with abrupt climate change in the Atlantic. Here, we report changes in the ITCZ position within the YD by using precise speleothem multi-proxy records from northeastern Brazil. We provide evidence for a gradual northward migration of the ITCZ preceding poleward shifts of the westerlies and the polar front in northern high latitudes within the YD. This can be attributed to gradual increase in atmospheric CO2 concentration as a consequence of the weakening Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC). We suggest that a persistent increase in atmospheric CO2 might have triggered a resumption of the AMOC and reorganization of the atmosphere circulation in the Atlantic during the mid-YD.

S06-P-07

青藏高原东北部青海湖湖水铀钍同位素地球化学分布特征及环境指示意义

张普[12]*，赵晨[2]，曹晨阳[2]，李祥忠[3]，宁有丰[1]，谭亮成[4]，程海[1]，刘卫国[4]，R.L Edwards[5]

1 西安交通大学人居环境与建筑工程学院，西安，710049

2 西北大学城市与环境学院，西安， 710127

3 云南大学地球系统科学研究中心，昆明，650500

4 中科院地球环境研究所，西安，710061

5 明尼苏达大学地球与环境科学系，明尼阿波利斯，55455

* zhangpu357@xjtu.edu.cn

湖泊是水圈的重要组成部分，开展湖泊水体 U 系核素研究能够获取更多有关湖泊地球化学行为、湖泊混合特征及湖泊中所发生理化过程的关键信息，这对于理解水体中重要微量元素来源及迁移转化过程，进而揭示其潜在环境影响具有重要意义。本研究通过对青藏高原东北部青海湖湖水溶解态铀（U）和钍(Th)地球化学研究初步获得湖水水体 U 的来源和颗粒物滞留时间信息。

湖水的 ^{238}U 含量和[$^{234}U/^{238}U$]AR 活度比表现出有限的空间和深度尺度变化。该湖水溶解态[$^{234}U/^{238}U$]AR 活度比与世界范围内的河流测量值 ([$^{234}U/^{238}U$]=1.171）相比，相对较高，低于青海湖流域内的四条补给河流。我们初步认为研究区域湖泊水体[$^{234}U/^{238}U$]AR 分布可能受到外源补给水和/或湖泊演化过程中水-岩（大气降尘、补给河流带入的碎屑颗粒、湖泊沉积物等）相互作用的影响。

^{238}U 浓度在三个深度采样剖面内的变化非常有限。湖泊水体溶解态 ^{238}U 含量分布在一定范围内表现出与总溶解固体（TDS）值和盐度浓度呈现正相关关系。这些结果表明，密闭咸水湖 U、TDS 和盐度的变化部分地受蒸发或不同的二次浓缩途径控制。即咸水湖 ^{238}U 含量和[$^{234}U/^{238}U$]AR 很可能由水-岩石相互作用的时间控制，这可能是一个重要的考虑因素。

^{230}ThXS 的含量主要来自溶解的 ^{234}U 的衰变。在水体中观察到的各种 ^{230}ThXS 浓度被解释为反映了青海湖中不同的颗粒物滞留时间，从 0.7 年到 4 年不等。较低的水体年龄，如 123 号站点，表明颗粒物净化速度更快。溶解的 ^{232}Th 是通过进入水体中碎屑物质的不完全溶解产生（如粉尘气溶胶、湖床沉积物或悬浮的河流沉积物）。水体溶解态 ^{232}Th 浓度数据表明，湖水的 Th 浓度由三个过程控制 (1) 气溶胶粉尘的溶解，(2) 河流和湖床沉积物的溶解，以及(3)水体中钍的清除。

湖泊水体 U 和 Th 分布特征的研究结果能够为通过湖泊自生生物成因碳酸盐建立沉积序列 U-Th 年代框架的可行性提供基础

资料。同时，为通过精准建立沉积物和/或生物成因碳酸盐 U-Th 年代的基础上深入解读其记录的环境变化信息奠定了一定基础。

S06-P-08

桂西北岩溶斜坡地带 MIS3 中晚期洞穴石笋记录的亚洲季风变化

朱晓燕*，张美良

1 中国地质科学院岩溶地质研究所/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室，广西桂林 541004

* zhuxiaoyan2001@sina.com

千年～百年尺度气候振荡在深海氧同位素第 3 阶段（MIS3）极其频繁，期间 D/O 事件与 Heinrich 事件在全球范围具有一致性，在亚洲季风与全球关联中具有重要意义。基于桂西北岩溶斜坡地带的洞穴石笋（MF1）的 U-Th 年龄与氧同位素数据，重建了 MIS3 中晚期亚洲夏季风变化序列，揭示了 MIS3 中晚期千年～百年尺度气候变化为基调的亚洲夏季风演变历程，以及区域性季风环流特征，研究表明该石笋 $\delta^{18}O$ 记录在 MIS3a 期与其他石笋记录具有很好的一致性，但 MF1 石笋 $\delta^{18}O$ 记录振幅相对较小，且 $\delta^{18}O$ 略呈负偏趋势，这可能与季风降雨水汽来源、其在岩溶斜坡地带分馏规律以及区域气候因素有关。

S06-P-09

Early Holocene permafrost retreat in Siberia amplified by reorganization of westerly circulation

Ting-Yong Li[1,2*§], Jonathan L. Baker[3§], Tao Wang[2], Jian Zhang[2], Yao Wu[2], Hong-Chun Li[4*], Tatiana Blyakharchuk[5*], Tsai-Luen Yu[4], Chuan-Chou Shen[4], Hai Cheng[3,6,7], Xing-Gong Kong[8], Wen-Li Xie[9], L. R. Edwards[8,10]

1 Yunnan Key Laboratory of Plateau Geographical Processes & Environmental Changes, Faculty of Geography, Yunnan Normal University, Kunming 650050, China`

2 Chongqing Key Laboratory of Karst Environment, School of Geographical Sciences; Southwest University, Chongqing 400715, China

3 Institute of Global Environmental Change, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049, China

4 Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan

5 Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 10/3 Akademichesky ave. 634055, Tomsk, Russia.

6 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

7 Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR, Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, China

8 College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China.

9 State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing, 210046, China

10 Department of Earth Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, MN, 55455, USA

* cdlity@163.com ; hcli1960@ntu.edu.tw ; blyakharchuk@mail.ru.

Warming of Eurasian permafrost regions is of critical concern for water resources, ecological balance, and future carbon fluxes. Rapid permafrost degradation and peatland expansion during the Early Holocene may provide an analog to anthropogenic warming, but the disparity in regional dynamics precludes a direct comparison of the two intervals. Here we present a novel 230Th-dated, multiproxy speleothem record with subdecadal sampling resolution from Kyok-Tash Cave, located along the modern permafrost margin in the northern Altai Mountains, southwestern

Siberia. Stalagmite K4 (11.4–8.9 ka B2K) indicates the absence of stable permafrost within three centuries of the Younger Dryas termination. From 11.4–10.4 ka, speleothem δ18O is uniquely antiphased between the Altai and Ural ranges, suggesting a reorganization of westerly circulation during peak permafrost changes. We emphasize the sensitivity of modern permafrost in Eurasia to feedbacks in the ocean-cryosphere system, which are projected to alter circulation regimes over the continent.

S06-P-10S

全新世印度季风和非洲季风的转换——阿曼石笋多指标气候记录研究

田野[1]，程海[1,2]*，沙丽娟[1]，张海伟[1]，Qiong Zhang[3]，李瀚瑛[1]，Josefine Axelsson[3]，Jun Hu[4]，赵亮[5]，李向磊[1]，Jasper. A. Wassenburg[6]，Dominik Fleitmann[7]，宁有丰[1]

1 西安交通大学区全球环境变化研究院，西安 710049

2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061;

3. Department of Physical Geography, Stockholm University and Bolin Centre for Climate Research, Stockholm, Sweden

4. Department of Earth Sciences, University of Southern California, Los Angeles, CA, USA

5. 南京师范大学地理科学学院，南京 210023

6. Department of Climate Geochemistry, Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, Germany 55128

7. Department of Environmental Sciences, University of Basel, Basel, Switzerland 4054

* cheng021@xjtu.edu.cn

同一地质载体的多指标记录相互对比、验证，对于更为准确地重建古气候具有重要意义。本研究应用阿曼 Qunf 洞（17°1’E, 54°18’N）Q5 石笋，探讨了全新世以来多指标气候记录的一致性与差异性。前人研究表明全新世以来阿拉伯海北部地区降水量随太阳辐射量的逐渐减弱而减少。然而 Q5 石笋未发表的碳同位素（$\delta^{13}C$）记录呈现出与 $\delta^{18}O$ 不一致的变化趋势，为探究引起这种差异的本质原因，本研究进一步测试分析了石笋三氧同位素（$\triangle^{17}O$）和微量元素比值（Sr/Ca, Ba/Ca, Mg/Ca）记录，并探究其气候意义。反映水汽源区相对湿度变化的 $\triangle^{17}O$ 记录与模拟结果显示，现代气候变化受控于印度季风的研究区域在早中全新世时期受到非洲季风影响，因此 $\delta^{18}O$ 值的变化可能反映了近源水汽与远源水汽的转换，与大尺度环流变化有密切关系；$\delta^{13}C$ 与微量元素比值的变化显示当地降水在早全新世增多，降水渗入含水层使得石笋微量元素比值变负，但由于此时蒸发量大，有效降水少，导致洞穴上覆土壤较薄，植被较少，被溶解到地表下渗水中的土壤 CO_2 较少，故 $\delta^{13}C$ 值偏正。随着~8ka 后有效降水的增加，洞穴上部土壤和植被逐渐发育，更多的土壤 CO_2 被溶解到洞穴滴水中，$\delta^{13}C$ 值逐渐变负。本研究将石笋多指标应用于全新的石笋-水文气候变化研究的探索，对印度季风和非洲季风的时空变化提供全新的思考和研究依据。

S06-P-11

新疆天山石笋多指标记录的全新世水文气候变化

刘小康 1*，沈川洲 2，刘建宝 1，饶志国 3,4，王先锋 5，陈发虎 3

1 中国科学院青藏高原研究所，北京 100091

2 台湾大学地质科学系，台北 10617

3 兰州大学西部环境教育部重点实验室，兰州 730000

4 湖南师范大学地理科学学院，长沙 410081

5 新加坡南洋理工大学，新加坡 639798

* liuxk19@itpcas.ac.cn

通过对新疆天山中部巴鲁克洞的两支

石笋样品开展高精度铀系定年、氧碳同位素和微量元素测试，建立了覆盖过去 9370 年的石笋多代用指标时间序列。结果显示，巴鲁克洞石笋微量元素比值变化主要受控于碳酸盐前期沉积作用（PCP）和水-岩反应时间，可以作为区域降水的代用指标。巴鲁克洞两支生长时段基本重复的石笋的微量元素比值在早全新世偏高、中晚全新世偏低的趋势反映了亚洲中部干旱区早全新世偏干、而中晚全新世变湿的特征。这一变化模式得到亚洲中部干旱区已发表的科桑洞和 Ton 洞微量元素比值记录的支持。进一步的对比显示，亚洲中部干旱区 3 个洞穴的全新世石笋微量元素比值记录与其氧同位素序列的变化趋势不一致，这可能说明石笋氧同位素并不直接反映降水量变化，而是受到水汽来源和输送路径变化的主导。

此外，巴鲁克洞一支生长速率较高、年代较为精准的石笋样品的氧同位素序列反映了全新世期间亚洲中部干旱区水文气候存在短尺度快速变化的特征，并展示了大致发生在 8.2, 6.8, 5.9, 5.1, 2.8 ka 等的一系列水文气候突变事件。更重要的是，该石笋氧同位素记录与太阳活动强度的代用指标（大气 ^{14}C 残余、总太阳辐照度、宇宙射线产率）之间存在显著负相关关系；同时，石笋记录中检测出了典型的太阳活动周期，即 Eddy（~1080 年）、de Vries（~205 年）、Gleissberg（~88-102 年）。这些证据表明了太阳活动对亚洲中部干旱区百年-多十年际尺度水文气候变化的影响。

对该洞最近两千年石笋指标的高分辨率测试结果显示，石笋氧、碳同位素序列的变化非常相似，但二者与 Sr/Ca、Ba/Ca 和 U/Ca 等比值记录的长尺度变湿趋势大致相反。进一步的对比发现，巴鲁克洞石笋氧同位素记录与北大西洋海温具有显著负相关关系，海温高时，中纬度西风带的远源水汽份额增多，天山地区石笋氧同位素偏负；反之，海温低时，西风水汽减少，相对近源的季风水汽增多，石笋氧同位素偏正。此外，石笋 Mg/Ca 比值的短尺度波动与邻近的塔里木盆地粉尘活动记录存在显著正相关关系，这可能说明外源粉尘输入和洞穴上覆植被生长状况对石笋 Mg/Ca 的影响。

S06-P-12

台湾浊水溪三角洲 Heinrich 事件沉积旋回及古气候意义

潘遵友 [1]，范代读 [1]*，张詠斌 [2]，刘祖乾 [2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 台湾中山大学海洋科学系，台湾

* ddfan@tongji.edu.cn

MIS 3-2 的全球冷暖气候旋回事件（Heinrich 事件），尚少有来自河流三角洲沉积地层的证据，主要由于 MIS 2 低海平面时河流下切作用常导致 MIS 3-2 沉积地层被侵蚀而缺失或不完整。台湾西部平原的浊水溪三角洲因河流输沙量大、盆地构造沉降速率快，在现今浊水溪三角洲于 MIS 3-2 时期沉积了厚 50 余米的陆相沉积物，发育 7 个向上变细的河床-河漫滩相沉积旋回，可望较完整地保留 Heinrich 事件沉积。本研究以 JRD-S 岩芯为研究对象，通过正烷烃类及有机碳分析数据作为气候指标，配合部分可信的 AMS ^{14}C 测年数据开展旋回地层调和分析建立晚更新世地层年代框架。研究结果显示，浊水溪三角洲 MIS 3-2 的陆相沉积物中，河漫滩相沉积物的平均碳链长较长、草本-木本植物比值较高、水生植物比值较低且 $\delta^{13}C$ 值偏正，表示其沉积时期的气候较为冷干，对应着期间主要几次 Heinrich 冷事件且洪水少发；而河床相沉积物的平均碳链长较短、草本-木本植物比值较低、水生植物比值较高且 $\delta^{13}C$ 值偏负，表示其沉积时期气候较暖湿，形成于 Heinrich 冷事件之间的暖湿气候期且洪水多发。本研究弥补海陆过渡带 Heinrich 事件研究的不足，为世界上少见能分辨出 Heinrich 事件的三角洲沉积地层实例。

S06-P-13

季风边缘区北部植被变化受降水驱动的植硅体和数值模拟证据

李楠楠[1,2]*，宋丽娜[2]，介冬梅[2]*，陆正遥[3]，高桂在[2]，李德晖[4]，余凤玲[1]

1 近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门大学海洋与地球学院，厦门 361102

2 长白山地理过程与生态安全教育部重点实验室，东北师范大学地理科学学院，长春 130024

3 Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University, Lund 22362, Sweden

4 河北师范大学资源与环境学院，石家庄 050024

* linannan@xmu.edu.cn; jiedongmei@nenu.edu.cn

正确认识地质历史时期陆地生态系统对过去全球变化的响应有助于准确评估未来持续变暖情景下生态系统的演变趋势。在我国季风边缘区，干旱、半干旱地区长期干燥、氧化的环境使许多生物指标不能得以很好保存，在一定程度上限制了人们对这一自然区域古植被面貌的进一步认识与了解。植硅体是形成于植物细胞内和细胞间的二氧化硅矿物（$SiO_2 \cdot nH_2O$），其特殊的结构、化学组成以及对草本植物（尤其是禾本科）特殊的分类学优势，使其在干旱、半干旱地区可得到很好保存，提供该区较为连续的古植被记录。

本研究通过对我国东北地区西部松嫩沙地和大兴安岭东麓的泥炭沼泽剖面开展植硅体分析和剖面理化参数测试，结合AMS14C 测年，基于东北地区 108 个表土植硅体数据库，重建了东北地区西部中晚全新世以来的植被组成及其时空演化特征。结果表明：松嫩沙地中晚全新世以来的植被面貌与当前禾本科草原相似。受中全新世以来降水持续减少的影响，草原植被组成有所变化，表现为随着持续性气候转干，相对耐旱的 C4 植物在松嫩草原中的相对丰度有所增加；大兴安岭中段泥炭剖面的植硅体组合显示，大兴安岭东麓植被面貌自中全新世以来就以森林为主，不同时期，森林的建群种（优势种）略有变化，以落叶松、红松针阔叶混交林为主，但却始终不曾演替为森林（稀树）草原景观。由于森林郁闭度不是很高，林下有多种草本植物分布。受中晚全新世以来气候转干之影响，森林景观开阔度逐步增加，草本植物丰度有所增加。

本研究认为中晚全新世以来季风边缘区北部的植被演变主要受区域降水变化的调控。这一推论也进一步为动态全球植被模型（LPJ-GUESS）的数值模拟结果所支持。

S06-P-14S

太阳活动与太平洋年代际震荡对中国东部旱涝格局的协同影响研究

张亮[1,2]，郝志新[1,2]*

1 中国科学院地理科学与资源研究所，中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室，北京 100101；

2 中国科学院大学，北京 100049

* haozx@igsnrr.ac.cn

在气候变化的背景下，太阳活动和太平洋年代际震荡 (PDO) 作为气候系统代表性的外强迫与内变率因子，对中国东部的旱涝格局有显著影响，然而由于气候系统的复杂性，其影响途径和机制仍需进一步探究。本研究结合过去千年的气候重建资料，采用通用地球系统模式（CESM）揭示了不同类型太阳活动和 PDO 对中国东部旱涝格局的协同影响，并诊断了其可能的联系与机制。研究表明：（1）在太阳活动极大期与不同 PDO 初始相位的组合下，CESM 对中国东部旱涝格局的模拟效果较好，而其在太阳活动极小期与不同 PDO 相位组合下的模拟结果与太阳极大期相比，呈现出一定的“非对称性”；（2）500hPa 位势高度及 850hPa 风场的结果表明，不同 PDO 初始位相在太阳活动异常时期可能会发展出类似北太平洋震荡（NPO）的环流特征，通过影响西太平洋副热带高压（WPSH）及其它气候系统的配置，改变水汽输送的来源与过程，进而影响中国及中国

东部区域的旱涝时空变化特征；（3）无论在太阳活动极大期还是极小期，相同 PDO 初始相位约束下的区域气流垂直运动分布较为类似，而这种受 PDO 主导的垂直运动变化异常在对应时期中国东部旱涝格局的形成过程中可能扮演着关键作用；（4）受太阳活动异常的影响，不同的 PDO 初始相位会也进一步发展演变，而其在西北太平洋关键区域的海表温度（SST）分布与中国东部旱涝格局存在一定的对应关系，这体现了太阳活动与北太平洋海区的相互联系及其对区域旱涝的协同影响。

S06-P-15S

中国石笋 $\delta^{18}O$ 揭示的冰期-间冰期变化

杨会会[1]，周祐民[1]*，刘青松[1,2]*

1 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055

2 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州 511458

* chouym@sustech.edu.cn , qsliu@sustech.edu.cn

石笋因分布广、可精确测年、$\delta^{18}O$ 信号可进行区域对比等优势成为重要的陆相地质载体。不同时间和空间尺度上石笋 $\delta^{18}O$ 信号的研究，极大推动了人们对古气候和古季风的理解。前人发现在轨道-千年尺度上，东亚石笋 $\delta^{18}O$ 记录的堆栈曲线显著地响应北半球夏季日照的 23 ka 岁差旋回，但对冰期-间冰期变化的响应很不明显。我们认为前人的研究过于关注跨区域 $\delta^{18}O$ 的相似性，而忽略其差异性。我们的研究对比了中国东部、中部和西南部石笋 $\delta^{18}O$ 在末次冰期的变化曲线，发现了明显的差异性变化特征。

首先，基于高精度的 U-Th 定年，我们获得了贵州省石竹洞石笋在末次冰期（70～15 ka）的 $\delta^{18}O$ 变化。通过将石竹洞 $\delta^{18}O$ 记录与中国东部和印度同期的 $\delta^{18}O$ 记录进行比较，发现其与其他记录存在一致的变化趋势，且响应了格陵兰岛冰芯记录的 6 次 Heinrich 事件。这表明石竹洞石笋 $\delta^{18}O$ 记录揭示的降水同位素组成的变化，反映了北半球的大尺度大气环流。

其次，通过将石竹洞的 $\delta^{18}O$ 记录与中国同期其他记录逐一对比，我们发现随着冰期逐渐向盛冰期演进，中国东部葫芦洞和中部永兴洞的 $\delta^{18}O$ 记录存在明显的正偏趋势，而其他记录则没有响应。我们认为这两条 $\delta^{18}O$ 记录可能响应了冰期-间冰期变化。我们提出可能的机制包括海水氧同位素组成的逐渐正偏、水汽源地的逐渐转移和西风带急流南移的影响。此外，葫芦洞的 $\delta^{18}O$ 记录比永兴洞的 $\delta^{18}O$ 记录变化更为剧烈，正偏幅度更大。这可能是因为冰期向盛冰期发展过程中，陆地上的分馏作用逐渐增强，导致内陆的永兴洞 $\delta^{18}O$ 记录正偏幅度较小。综上，我们认为中国石笋 $\delta^{18}O$ 揭示了冰期-间冰期变化。

S06-P-16S

倒数第二次冰消期东亚季风演化历史及其千年尺度气候旋回

崔佳辉[1]，赵景耀[1]*，程海[1, 2, 3]

1 西安交通大学全球环境变化研究院, 西安 710054；

2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061；

3 中国地质科学院岩溶地质研究所岩溶动力学重点实验室, 桂林 541004；

* zjy1230@xjtu.edu.cn

冰消期研究对于理解晚更新世冰期旋回及全球气候变化驱动机制具有重要作用，而目前对于倒数第二次冰消期内部结构及动力机制的理解仍存不足。本研究基于一支东亚夏季风区西部边缘的广元市张家洞的年纹层石笋，利用 49 个铀系年代和 548 个氧碳稳定同位素测试数据，重建了倒数第二次冰消期关键时段（128.7 -138.8ka BP）的高分辨率（约 18 年）东亚夏季风演化历史。该石笋 $\delta^{18}O$ 记录变幅约 6.1‰（-10.3‰~-4.2‰），该记录显示冰消期季风开始突变的

时间为 130.1±0.5 ka BP，结束为 129.8±0.5 ka BP，突变阶段 $\delta^{18}O$ 变幅约 3.3‰（-10.2‰~-6.9‰）。通过初步的荧光年纹层计数统计，确定了该突变的持续时间约500年。在该突变之前，记录显示了长达4千年的“弱季风间隔”，对应北大西洋冰漂碎屑记录中的 Heinrich 11 阶段。在 Heinrich 11 之前，该记录标定了两个显著的千年尺度的气候震荡，其强季风期分别发生于 134.8±0.5 ka BP 和 137.0±0.5 ka BP。研究认为倒数第二次冰消期开始于北半球夏季太阳辐射量增加及北极冰盖阈值的来临，此间北半球冰盖率先瓦解，造成至少两次千年尺度气候震荡，这些震荡最终引发 Heinrich 11 极端冷事件，并触发了两极跷跷板模式，引起了复杂的海气相互作用，最终导致冰期的结束。

S06-P-17S

柴达木盆地东北部盐湖水中铀同位素分布特征及影响因素

曹晨阳[1]，张普[1,2]*，赵晨[1]，裴学政[1]，李祥忠[3,4]，宁有丰[2]，谭亮成[4]，R. Lawrence Edwards[5,6]，姚秀南[1]，程海[2,5]

1 西北大学城市与环境学院，西安 710127

2 西安交通大学人居环境与建筑工程学院，西安 710061

3 云南大学地球科学系统研究中心，昆明 650500

4 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061

5 明尼苏达大学地球与环境科学系，明尼苏达 MN55455

6 南京师范大学地理学院，南京 210023

* zhangpu357@xjtu.edu.cn

本研究以柴达木盆地东北部地区4个盐湖为研究对象，探讨了高蒸发背景下湖水铀同位素的分布特征及影响因素。^{238}U 含量和 $^{234}U/^{238}U$（$[^{234}U/^{238}U]AR$）活度比值表明，同一湖泊水体 ^{238}U 含量分布稳定，但不同湖泊间则存在明显差异。与 pH 值相同，湖泊水体中 ^{238}U 含量分布在一定范围内会随着水体 TDS（总溶解固体）和盐度的增加而上升。在天然水体中，pH 值影响 ^{238}U 的形态，而 TDS 和盐度影响 ^{238}U 的吸附过程。此外，补给水对湖泊铀同位素含量也有影响，但不是主要影响因素。因此，我们认为 pH 值是影响研究区域湖泊水体中 ^{238}U 含量变化的主要因素。这些盐湖中的 $[^{234}U/^{238}U]AR$ 与外源补给水和湖泊演化阶段、变质程度和水化学过程中水-岩（沉积物、大气降尘、有机物等）相互作用密切相关。利用最大和最小补给水期采集的湖水样品，对 ^{238}U 的季节分布特征进行了评价，发现 ^{238}U 含量并没有随季节发生明显变化。如果 ^{238}U 含量和 $[^{234}U/^{238}U]AR$ 在一段时间内保持一致，那么沉积年龄和/或沉积速率可以由未来的湖泊沉积物和/或生物碳酸盐确定，从而可以准确地重建古气候和古环境。

S06-P-18

亚洲季风区降水重建数据集的比较及其在不同年代际振荡位相下的空间格局

刘洋[1]，郝志新[1,2]，张学珍[1,2]，郑景云[1,2]*

1 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟院重点实验室，北京 100101

2 中国科学院大学，北京 100049

* zhengjy@igsnrr.ac.cn

研究亚洲季风降水在多年代~百年尺度上的变化特征主要依靠基于代用资料的重建结果。目前共有4套降水或干旱指数格网重建数据集可覆盖过去500年时段，包括亚洲6~8月降水重建（RAP）、中国5~9月降水重建（IGGPRE）、亚洲5~9月降水重建（WSP）和亚洲季风区帕尔默干旱指数图集（MADA）。本文利用独立于各重建数据集的观测和代用资料对4套数据进行了对比分析并研究了它们在不同大西洋多年代际振荡（AMO）和太平洋年代际振荡（PDO）位相组合下的空间格局。结果发现：（1）各数

据集在不同地区重建结果的有效性存在差异，没有任何一套数据集整体优于另外三者，在代用资料空间分布相对均匀的条件下，增加采样数量比提高信噪比对重建质量的改进幅度更大；（2）当 AMO 与 PDO 之一的位相发生变化时，所有 4 套数据集的空间格局均发生反转，其中 RAP 和 IGGPRE 对 AMO 变化的敏感性要高于 PDO，WSP 是唯一一套空间格局在 AMO 和 PDO 位相同时改变后呈正相关关系的重建数据；（3）当 AMO 和 PDO 同处正位相时，历史时期亚洲降水的空间格局与 20 世纪相近，说明此种组合下的年代际振荡影响降水变化的机制更为稳定。

S06-P-19

CIS13 和 14 事件的东亚季风水文变化特征—来自中国北方高分辨率、多指标石笋记录证据

黄伟[1]，董进国[2]*，沈川洲[3]

1 宜春学院地理科学系，宜春 336000

2 南通大学地理科学学院，南通 226007

3 台湾大学地质科学系，台北 106

* dongjinguo1111@163.com

本文基于山西黎城白云洞高分辨率石笋（BY2）$\delta^{18}O$、$\delta^{13}O$、微量元素多指标记录，重建了 53.82~47.41 ka B.P.东亚夏季风演化历史。相较于东亚季风区其他石笋，BY2 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}O$ 值在响应千年尺度事件和百年–年代际气候波动方面表现出“高频、大幅”的振荡特征（5‰和 2‰），表明其敏感响应于不同时间尺度气候和水文生态环境波动。在 52.2 ka B.P.和 49.5 ka B.P.前后显著偏负，Ba/Ca、Sr/Ca 和 Mg/Ca 比值也呈现同步降低特征，指示两次夏季风水文循环显著增强阶段，分别对应于格陵兰冰芯记录的 DO14 和 DO13 事件。山西石笋清晰记录了 CIS13 事件“双峰”结构，与 NGRIP 冰芯记录相对应，反映了东亚季风边缘区对北大西洋海–气耦合振荡，以及 ITCZ 南北移动引起的雨带范围变化的敏感响应。但 BY2 记录的 CIS13 事件转换过程较 NGRIP 缓慢，其中开始过程呈现“三相位”变化特征：即亚洲夏季风提前出现缓慢增强趋势、在达到水热阈值条件后表现出与格陵兰温度的同步快速爆发、最后仍持续增强直至峰值；这与热带大西洋和印度洋海盆岩芯反照率记录相似，可能与南大洋越赤道气流以及 ITCZ 持续北移有关。

另一方面，白云洞石笋 Ba/Ca、Sr/Ca、Mg/Ca、$\delta^{13}O$ 与 $\delta^{18}O$ 在千年—百年尺度呈现“同向”变化趋势和特征，推测该区域夏季风强度与大气降水量（或土壤湿度）具有一致性；但其与南京葫芦洞记录的相位关系相反。因此，是否存在江南“梅雨带”与华北地区降水的“跷跷板”现象，有待后期洞穴观测研究，以及其他地质和模拟证据的验证。

S06-P-20

晚上新世以来菲律宾海盆 XT4 孔黏土矿物特征及其古环境意义

丁雪[1]*，胡邦琦[1,2,3]，徐方建[4]，郭建卫[1]，崔汝勇[1]，易亮[5]

1. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071
2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266237
3. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪国家重点实验室，西安 710061
4. 中国石油大学（华东）地球科学与技术学院，青岛 266580
5. 同济大学海洋与地球科学学院海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* dx1986426@126.com

菲律宾海是典型风尘汇聚区，菲律宾海远离吕宋岛的深海沉积物是重建构造尺度亚洲风尘演化历史的良好载体。选取菲律宾海盆 XT4 孔沉积物开展了黏土矿物研究，

并结合前人研究成果，在明确该孔黏土矿物来源的基础上，探讨了晚上新世以来亚洲风尘的演化历史及其可能的影响机制。菲律宾海盆 XT4 孔黏土矿物以伊利石为主，平均含量为 39%，蒙脱石含量次之，平均为 28%，绿泥石平均含量为 18%，高岭石平均含量为 15%。XT4 孔黏土矿物组成符合亚洲大陆风尘与周边火山岛弧的二端元混合模型特征，其中蒙脱石主要为周边火山岛弧物质贡献，而伊利石、绿泥石和高岭石主要是亚洲风尘贡献。晚上新世以来 XT4 孔的伊利石/蒙脱石比值表现为阶段性变化，主要反映了北半球高纬冰川的扩张导致亚洲中纬度地区干旱化加剧。此外，东亚夏季风降雨强弱和空间分布的变化也是源区风尘释放的重要环境因子之一。本文结果初步揭示了晚上新世以来中国干旱-半干旱地区的环境演化历程，有助于深入理解多圈层相互作用下的风尘循环及其生物地球化学效应。

S06-P-21S

中国石笋记录的末次冰消期东亚夏季风演化及石笋氧同位素意义

梁怡佳[1]，赵侃[1]，Lawrence R. Edwards[1,2]，汪永进[1]，邵庆丰[1]，张振球[1]，赵彬[1]，王权[3]，程海[2,4]，孔兴功[1]

1 南京师范大学地理学院，南京 210023

2 美国明尼苏达大学地球与环境科学系，明尼苏达州 554553

3 三峡库区重庆市地表过程与环境遥感重点实验室，重庆 401331

4 西安交通大学全球环境变化研究所，西安 710054

* 09371@njnu.edu.cn

石笋氧同位素（$\delta^{18}O$）记录有助于加深我们对东亚季风演化过程的理解。然而，洞穴石笋 δ18O 的解释比较模糊，冰消期过程中某些季风突变事件的特征与机制仍不明确。本文提供一条新的、来自湖南省石马洞的高分辨率石笋记录。结合 24 个 ^{230}Th 年代结果，重建了末次冰消期以来 19.7 ka 至 17.8 ka 以及 16.3 ka 至 13.3 ka 期间的气候演化记录，覆盖了末次冰消期早期阶段，平均时间分辨率达 7 年。利用该记录和其他已发表的亚洲石笋 $\delta^{18}O$ 记录（共 15 条），我们检验了亚洲降水 $\delta^{18}O$ 偏移的模型结果，并进一步研究末次冰消期早期年代际至百年尺度的东亚季风气候变化。通过对前人研究的梳理以及与模型模拟结果的对比，我们得出影响中国洞穴 $\delta^{18}O$ 的两个机制是：（1）夏季风降水在年降水总量中的比例变化（Wang-Cheng 机制），（2）水汽源地到洞穴地点之间的综合降水量变化（Yuan 机制）。前者是由西风急流的季节性移动引起的，对洞穴 $\delta^{18}O$ 的影响可能小于后者；后者涉及太平洋和印度洋来源的降水变化。尽管目前并不清楚降水在水汽源和洞穴地点之间的空间上如何分配；但是可以知道某些降水变化发生在中国境内，也就是说造成 $\delta^{18}O$ 变化并不局限于海洋水汽源地。基于石马洞 $\delta^{18}O$ 记录的粗略计算表明，在 Heinrich Stadial 1 $\delta^{18}O$ 达到最高值期间（即 16.1 ka 左右），年平均降水量可能仅达到现代值的三分之二；而 Bølling 期间（14.3 ka）降水比现代值高五分之一。在 Heinrich Stadial 1 阶段内，中国洞穴记录表现出“两阶段”结构特征，与全球范围内其他地方的记录结果一致。有意思的是，我们观察到北大西洋冰筏碎屑记录与葫芦洞-石马洞穴记录之间存在十分显著的对应关系，指示这些十年际至百年尺度的振荡贯穿整个欧亚大陆。我们认为，季风“两阶段”结构以及短尺度振荡可能受到不同来源的北大西洋冰筏碎屑事件，海冰范围以及北大西洋翻转环流强弱有关。

S06-P-22S

基于 GDGTs 定量重建近两千年太白山高山湖泊水位变化与降水模式

陈林[1]，黄振东[1]，牛丽丽[1]，董惟妙[2]*，肖舜[3]，陈圣乾[1]，赵家驹[4]，吴铎[1]，周爱锋[1]*

1 兰州大学资源环境学院，西部环境教育部重点实验室，兰州 730000

2 复旦大学文物与博物馆学系，科技考古研究院，上海 200433

3 陕西师范大学地理科学与旅游学院，西安 710119

4 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点研究室，西安 710061

* zhouaf@lzu.edu.cn; dongwm@fudan.edu.cn

高山湖泊是天然的“雨量计”，其水位重建是了解区域水文环境、气候变化及植被演化的一把钥匙。大量研究表明，近 2000 年来，中国东部季风区南北方降水存在百年尺度的反相位关系，但具体的相位变化范围尚存在不确定性。为了更为深入的了解这种南北降水的变化模态和驱动机制，我们选取位于中国东部南北气候过渡区，秦岭太白山大爷海高山湖泊沉积岩芯开展生物标志化合物 GDGTs 的分析，利用%Cren 重建了太白山大爷海近 2000 年以来的湖泊水位变化。结果表明，小冰期前的 240-1300 C.E.湖泊水位与北方降水记录一致，并在 555 C.E.达到近 2000 年来最高水位 22.7 m，在 1030 C.E.降至最低水位 13.2 m；进入小冰期后，水位则保持上升趋势，尤其是最近三百年一直保持着 20 m 以上的较高水位，和南方的降水记录一致。由以上结果可以看出，秦岭地区作为南北方的气候过渡区，其气候变化历史具有更高的复杂性。早期（240-1300 C.E.）大爷海水位和东亚夏季风降水历史一致，主要受控于东亚夏季风的强度，而小冰期以来（1300 C.E.至今）受到 ENSO 事件的影响，西太平洋副热带高压在西伸、南退过程中使雨带南移，翻越秦岭的水汽减少，聚集在秦岭山下的水汽爬升遇冷产生降雨，同时小冰期蒸发减弱，减少了水汽的蒸发，也有助于大爷海水位的持续上升。小冰期秦岭地区的丰沛降水为下游地区的人类活动提供水源保障，但同时也是下游渭河平原洪涝灾害的重要原因之一。

S06-P-23S

低纬湿地面积变化可能主导全球大气甲烷浓度长期变化趋势

宋云平[1]，徐海[1]*

1 天津大学表层地球系统科学研究院，天津 300072

* xuhai@tju.edu.cn

甲烷是一种重要的温室气体，具有较强的红外辐射吸收能力，约为 CO2 的 25 倍。自工业革命以来，全球大气甲烷浓度从~715 ppb 增加到~1853 ppb，可能导致全球总太阳辐射吸收增加了~18%。因此，了解大气甲烷浓度变化的驱动机制是全球气候变化研究的一个重点课题。研究发现，在轨道和亚轨道尺度上，冰芯记录的大气甲烷浓度长期变化趋势大致遵循北半球夏季太阳辐射的变化，但是在中全新世以来，二者出现“解耦”。目前，对于这种“解耦”的解释仍存在很大争议。以往的研究多认为全新世温度升高导致北半球高纬度地区湿地面积的扩张，排放大量甲烷，对全球甲烷浓度的增加具有主导作用。但是随着研究的深入，低纬度地区水文循环的影响逐渐得到重视，干旱的中全新世可能导致了低纬度地区湿地甲烷排放的减少。除了这些自然因素的影响外，众多研究还关注了早期农业生产（水稻种植）中甲烷的排放，晚全新世稻田面积的增加排放了大量甲烷。

为了讨论自然因素和人为因素对大气甲烷浓度变化趋势的影响，我们搜集了全球湿地、稻田的空间分布和甲烷排放通量的资料数据（共 377 个数据点）进行分析比较，我们认为，在中全新世，早期的农业生产技术落后，人口规模较小，稻田的甲烷排放不足以逆转全球甲烷浓度变化趋势，后者可能更多受到自然因素的影响。基于中国副热带

地区-云南程海的湖泊古水位变化曲线和全球其他副热带地区的地质记录，我们进一步讨论了全新世热带-副热带地区水文气候变化，发现全新世大气甲烷浓度变化与全球热带-副热带湿地面积的变化趋势密切相关。我们认为，低纬度地区湿地面积的变化对全球大气甲烷循环具有重要影响。中全新世，由于海平面上升导致部分热带湿地被淹没，同时，副热带地区湖泊水位下降以及水域面积萎缩，两者共同作用可能导致全球大气甲烷排放总量减少；而在晚全新世，全球副热带地区水资源可利用性的增加可能是大气甲烷浓度重拾升势的重要原因。

S06-P-24S

中国北方近 500 年沙尘暴活动及机制

张金 1，徐海 1*

1 天津大学表层地球系统科学研究院, 天津大学地球系统科学学院, 天津 300072

* xuhai@tju.edu.cn

沙尘暴作为一种极端自然灾害天气近期频繁影响我国北方大部分地区。针对沙尘暴的成因已经进行了广泛的讨论，但仍存在较大争议。其中一个十分重要的话题就是沙尘暴发生的动力问题，对于自然因素和人类活动哪个是控制沙尘暴发生频次和强度的主要因素目前仍无定论。因此急需可靠的、长时间尺度、高分辨率的沙尘暴记录来进一步揭示中国北方沙尘暴历史及发生机制。连续沉积的湖泊地质档案可有效捕获历史尘暴降尘信息，并因其可以弥补器测记录在时间尺度和空间分布上的不足，目前已广泛用来重建中国北方长尺度历史尘暴记录。我们基于塔里木盆地西部喀拉库勒湖和内蒙古岱海精确定年的湖泊沉积记录重建了中国北方过去~160–500 年高分辨率沙尘暴活动历史。我们发现湖泊沉积物中粗颗粒组分（>63μm）与近几十年沙尘暴器测记录具有大致同步变化的趋势，因而可用来有效指示沙尘暴活动。据此重建的沙尘暴活动历史与其他典型的历史资料及地质档案所记录的中国北方沙尘暴事件基本同步。与其他大量器测及代用气候记录对比分析表明：在年或十年尺度，尘暴事件频发期主要对应于历史时期寒冷气候阶段。我们认为风力强度可能是沙尘暴活动的主控因素，而温度通过影响风速大小从而调节沙尘暴发生频率和强度。寒冷气候阶段，西伯利亚高压和西风环流显著增强，并最终导致沙尘暴活动增强；温暖气候阶段则相反。尘暴记录中一个明显的特征是沙尘暴活动在~1870 AD 显著增强，这可能与研究区人类活动增强而导致的粉尘供应量增加有关；其后沙尘暴活动在近现代全球变暖背景下呈逐渐减弱趋势，这一阶段则可能主要受温度升高引起的平均风速降低影响。

S06-P-25S

末次间冰期亚洲季风 60 年准周期的年纹层石笋证据

王真军 [1,2,3]，陈仕涛 [1,2,3]*，汪永进 [1,2,3]，程海 [4]，梁怡佳 [1,2,3]，杨少华 [1,2,3]，张振球 [1,2,3]，周学琴 [1,2,3]，王萌 [1,2,3]

1 南京师范大学地理科学学院，南京 210023

2 虚拟地理环境教育部重点实验室，南京 210023

3 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心，南京 210023

4 西安交通大学全球环境变化研究院，西安 710049

* chenshitao@njnu.edu.cn

中晚全新世亚洲季风 60 年准周期变化特征被发现广泛存在于器测记录和各种地质记录中, 然而该周期是否存在于更老间冰期仍有待于进一步研究。 本文基于湖北永兴洞一支长 1840mm 具清晰年纹层的石笋(生长速率约 1mm/a), 重建了亚洲季风 123.20~121.21 ka BP 时段亚洲季风演化序列。该石笋 δ18O 序列整体上与 65 ℃N 夏季太阳辐射的变化一致, 指示北半球高纬夏季太阳

辐射能量变化对该地区气候变化的宏观调控作用。石笋 δ18O 记录去掉 65 ℕ 夏季太阳辐射变化后, 凸显 28 个十年际尺度的气候旋回。这些旋回的平均振荡幅度超过 0.8‰, 持续时间 50 到 80 年不等(平均约 64 年), 与中晚全新世亚洲季风变化特征十分相似。小波分析也显示, 末次间冰期亚洲季风存在显著的 60 年准周期, 为评估在全新世发现的亚洲季风 60 年准周期变化特征是否存在于更老时段提供进一步证据。上述研究表明这些周期特征不仅出现在近现代, 而且存在于末次间冰期, 甚至可能是间冰期亚洲季风系统的固有属性。分析表明, 亚洲季风 60 年准周期的机制可能是太阳活动和大西洋年代际振荡共同作用的结果。

S06-P-26S

秦皇岛石笋记录的华北地区末次间冰期气候变化

吴雅玲 [1]，胡超涌 [1]*，林哲锐 [1]，沈川洲 [2]

1 中国地质大学（武汉）地理与信息工程学院，武汉 430074

2 台湾大学地质科学系，台北 10617

* chyhu@cug.edu.cn

末次间冰期，也被称为深海氧同位素第 5 阶段(Marine Oxygen Isotope Stage 5, MIS 5), 因其具有较高的太阳辐射与二氧化碳浓度，被认为是自然状态下最接近现代暖期的历史“相似型”。因此研究末次间冰期的气候变化规律，可以为预测未来气候变化提供参考。作为重要的地质载体，石笋提供了宝贵的陆地古气候变化记录。然而，我国华北地区 MIS 5 时期连续的高分辨石笋记录十分缺乏，因此该地区 MIS 5 时期的气候变化特征及其规律尚不完全清楚。本研究基于河北省秦皇岛市石洞采集的 3 根石笋(SD1、SD2、SD6)，利用石笋的生长速率、氧和碳同位素等指标，重建了我国华北地区末次间冰期 128 - 75 ka B.P.的气候变迁历史。研究结果表明，石洞石笋生长连续，在冰阶(MIS 5d、MIS 5b)和间冰阶(MIS 5c、MIS 5a)时期的生长速率基本一致，有望弥补了华北石笋在 MIS 5 冰阶时期记录的缺失。同时，石洞的石笋氧同位素记录显示了冰阶偏正，间冰阶偏负的特征，变化幅度约为 3.3‰，与南方石笋记录基本一致，反映了轨道尺度上太阳辐射的主导作用。总之，石洞石笋提供了连续的 MIS 5 冰阶与间冰阶时期的氧同位素记录，结合生长速率等辅助指标，有望了解我国华北地区末次间冰期 128 - 75 ka B.P.的气候变化过程。

S06-P-27S

海岸沙丘运动与全球变暖的关系研究

李依婵 [1]，白旸 [2]*

1 兰州大学资源环境学院，兰州 730000

2 惠州学院地理与旅游学院，惠州 516007

* baiyang@hzu.edu.cn

随着海平面上升和风暴频率的增加，海岸地貌和植被对气候变化的敏感性不断提高。其中，海岸沙丘与植被之间存在着重要的相互作用，这些相互作用与海岸沙丘运动密切相关；沙丘为植物创造栖息地，而植物则有助于稳定沙丘，促进海岸地貌的稳定性。稳定的沙丘系统是全球气候变化的重要指标，如全球变暖和干湿度的变化。

南德克萨斯沙地（STSS）位于美国得克萨斯州南部，是北美洲中部最南端的残余沙丘系统，前人研究显示该沙地最早形成于五千到六千年前，其蒸散发和湿度变异性远高于更北的沙地。近几十年来，STSS 的植被覆盖度与茂盛程度随着全球变暖而提升，该地沙丘也趋于固定，其中同时包含移动沙丘和固定沙丘。基于多年的观测数据，可探究海岸沙丘从移动到固定的过程，是一个非常理想的研究区。

本研究利用粒径实验、无人机和历史卫星图像分析来确定 STSS 全域的沙漠化和生态恢复的历史时期。结果指示了气候、生态

干扰、地质结构和荒漠化之间的长期关系。半固定沙丘系统的区域化移动主要受气候变化的控制，而沙丘的局部移动模式更多地取决于与特定场地形以及人类活动相关的胁迫。尽管植被比以往更加茂盛，低于沙丘的植被仍旧无法阻挡沙丘的移动。

S06-P-28

长江中游石笋微量元素记录的末次盛冰期古水文演化历史及其驱动机制

薛书雨[1]，张宏斌[1]*，黄俊华[2]

1 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室，430074

2 中国地质大学（武汉）地质过程与矿产资源国家重点实验室，430074

* ysxue875231605@163.com

末次盛冰期（26.5ka-19ka BP）是距今最近的一个大冰期。前人研究表明，在盛冰期向现代间冰期转变过程中，长江中游古水文气候发生了重要的变化，其突出反映了北半球高纬度冰盖融水的影响。然而，相关研究的缺乏极大限制了我们对于冰期条件下古水文气候的认识。基于此，我们对湖北恩施豪猪洞的石笋进行 230Th 定年、高分辨率氧同位素以及微量元素重建，建立了中国中部 32.8~14.4ka BP 期间高分辨率的东亚季风以及古水文演化历史。通过对比东亚石笋数据，我们发现，LGM 时期的石笋氧同位素呈现明显偏重但相对 H 事件等极端冷事件有轻微负偏。同时，AMOC 强度仍然很强，ITCZ 相对 H 事件南移的幅度不大，使热带地区的水汽对流仍很强，并最终随季风进入东亚。而微量元素(Mg/Ca)表现出逐渐减小的趋势，暗示着 LGM 相对末次冰消期是更湿润的。我们将 LGM 时期北高纬的北美大冰盖与东亚水文变化建立了联系，认为在南风减弱的同时，由于 LGM 时期北美大冰盖的强迫，西风急流南移，造成东亚地区相对湿润的气候条件。

S06-P-29S

石笋多指标精确地重建东亚夏季风区域的 4.2 ka 事件

陈朝军[1, 2, 3]，袁道先[2, 4]，李俊云[2]*，王先锋[3]，程海[5]，宁有丰[5]，R. Lawrence Edwards[6]，吴尧[2]，肖思雅[2]，徐玉珍[2]，黄洋阳[2]，邱海英[2]，张键[7]，梁明强[8]，李廷勇[1]*

1 云南省高原地理过程与环境变化重点实验室，云南师范大学地理学部，昆明 650500

2 西南大学地理科学学院岩溶环境重点实验室，重庆 400715

3 Asian School of the Environment, Nanyang Technological University, Singapore

4 自然资源部/广西岩溶动力学重点实验室，中国地质科学院岩溶地质研究所，桂林 541004

5 西安交通大学全球环境变化研究院，西安 710049

6 Department of Earth Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA

7 Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux (EPOC), UMR CNRS, 5805, Université de Bordeaux, 33615 Pessac Cedex, France

8 Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, China

* jxljy@swu.edu.cn ; cdlity@163.com

4.2 ka 事件是中晚全新世最显著的气候突变事件之一，并影响了全球古文明的演化。虽然大量的古气候重建表明 4.2 ka 事件是一次冷干的气候事件，但是对于 4.2 ka 事件的结构和驱动机制的认识仍然不足。本研究通过对羊口洞 YK1306 石笋进行高精度的 U-Th 测年 (平均分辨率为 7 yr)，结合石笋多指标 ($\delta^{13}C$，$\delta^{18}O$，Ba/Ca、Sr/Ca、Mg/Ca) 重建了 5000-3000 yr BP 期间亚洲夏季风 (ASM)的变化。结果表明在 4600-4330 yr BP 和 4070-3700 yr BP 期间的 $\delta^{13}C$ 与 $\delta^{18}O$ 偏重，Ba/Ca、Sr/Ca、Mg/Ca 比值增加，表明亚洲夏季风减弱，处于干旱期。在 4330-4070 yr BP 期间，$\delta^{13}C$ 与 $\delta^{18}O$ 偏轻，Ba/Ca、Sr/Ca、

Mg/Ca 比值减小，亚洲夏季风处于强盛期，降水量增加。YK1306 石笋多指标记录表明 4.2 ka 事件期间亚洲夏季风呈现出了“弱-强-弱”的变化结构，这种变化结构在不同载体中都有重现。而西风区和印-澳季风区(AISM)都表现出了与 ASM 相反的变化模式(强-弱-强)。这是因为淡水注入北大西洋，改变 AMOC 的变化，从而在百年尺度上调控北大西洋 NAO 的模态。在正 NAO-态，Azores 高压和西风加强，从而抑制了 ASM 的强度。在两次干旱事件中，在亚洲夏季风区和 Mesopotamia 区域来自北方的大气风尘都有增加。西风主控区域的径向风加强，使得来自印度洋和阿拉伯海的水汽增加，导致西风区域的降水增加。温盐环流的减弱导致 ITCZ 南移，使得南半球的 AISM 加强，从而 AISM 与 ASM 相反。8.2 ka 事件期间 ASM 也展示与 4.2 ka 事件相似的结构模式。因此，这两次事件可能受到了相同的驱动机制。此外，强盛的亚洲夏季风可能导致了夏朝前夕的古洪水发生，从而导致了龙山文化和良渚文化的衰落。而 4070 yr BP 后，亚洲夏季风的减弱可能是“大禹治水”成功的主要原因。因此，官方认为夏朝建立于 4070 yr BP 是可信的。本研究利用石笋多指标相互验证的方法，不仅为 4.2 ka 事件提供了精确的高分辨率古气候记录，而且也验证了历史资料中对于中国古文明以及“大禹治水”的推测。

S06-P-30

北京石花洞石笋微量元素记录的最近 150 年气候和水文条件变化

班凤梅[1]* Andy Baker[2] 段武辉[3] 陈锋[1] 李涛[1] 毋润民[1] 李向磊[4]

1 山西财经大学资源环境学院，太原 030006

2 澳大利亚新南威尔士大学，悉尼 2052

3 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

4 西安交通大学全球环境变化研究院 西安 710049

* banfm@sxufe.edu.cn

石笋微量元素因其灵敏响应地表年际甚至季节性气候变化而备受关注。本论文通过对北京石花洞一根石笋（XMG）微量元素比值（Mg/Ca、Sr/Ca、U/Ca 和 P/Ca）的分析，结合和 δ13C 变化，结果表明：（1）这些指标均值发生过三次突变，即阶段 I、II 和 III，分别对应 1870s-1900sAD 湿润期，1900s-1990sAD 干-湿过渡期和 1990s-2015 干旱期；（2）Sr/Ca 和 δ13C 的均值在阶段 I 期最高，其次是阶段 II，阶段 III 时最低，而 Mg/Ca、U/Ca 和 P/Ca 均值的变化正好相反，阶段 I 期时最低，阶段 III 期时最高；（3）在阶段 II 期，δ13C 和微量元素出现明显的 5 次峰谷，且 Sr/Ca 和 δ13C 的峰值与 Mg/Ca、U/Ca 和 P/Ca 低谷对应，分别响应了这个阶段 5 次较为明显的干旱事件。

通过分析建立滴水补给模型，初步认为微量元素和 δ13C 的均值反映了滴水通道的 3 次变化，阶段 I 滴水以储存水的上溢流（overflow）补给（老水）为主，与地表联通较高的管道水（新水）补给为辅，因老水的 PCP 效应，该阶段石笋 Sr/Ca 和 δ13C 均值偏高，Mg/Ca、U/Ca 和 P/Ca 均值偏低；阶段 II 时期，因降雨量减少，储存水水位下降，上溢流难以形成补给，主要以新水补给为主，PCP 效应减弱，Sr/Ca 和 δ13C 均值下降，而与土壤水关系密切的 Mg/Ca、U/Ca 和 P/Ca 均值上升，对地表降水反映明显；阶段 III 仍以新水补给为主，虽降雨量仍呈下降趋势，但补水通道较前一阶段有所拓宽，可以更直接的响应地表降水变化，Mg/Ca、U/Ca 和 P/Ca 均值达到最高，δ13C 均值最低，可能随着水流减少而减慢，Sr/Ca 均值与阶段 II 相比变化不大。

S07-O-01

华北中元古代沉积物的天文旋回与黑色页岩发育

王晓梅，张水昌*，王华建
1 中国石油油气地球化学重点实验室，中国石油勘探开发研究院，北京 100083
* sczhang@petrochina.com.cn

显生宙有许多天文旋回控制黑色页岩发育的实例，如华南奥陶-志留系五峰龙马溪组、下二叠统大隆组、英格兰西南部下侏罗统 Blue Lias 组都识别出黑色岩系的周期性沉积，在白垩纪松辽盆地的青山口组和嫩江组黑色页岩、大洋钻探计划（ODP959）的黑色页岩中也都识别出白垩纪黑色页岩受控于米兰科维奇旋回。另外每个冰期间冰期旋回都伴随有黑色页岩的广泛沉积，最显著的是中国南方从 Sturtian 冰期开始，五次冰期后发育了大塘坡到五峰-龙马溪五套黑色页岩，这通常被解释为冰期之后温暖湿润的气候使风化作用加强，大量陆源碎屑物质和淡水的注入，造就了温暖、低盐、高二氧化碳、富营养的环境，从来有利于浮游低等藻类的大量繁盛。而在前寒武时期，尤其是中元古代，由于缺少具有精确年龄限定和充足的证据支持，天文轨道力驱动的旋回研究相对薄弱。

在我国华北燕辽地区，得天独厚的保存了自底部常州沟组至下马岭组等一套沉积序列完整的中元古代沉积物，黑色页岩发育普遍。 在下马岭组发现了一层钾质斑脱岩和 4 层凝灰岩层，把沉积地层年龄准确的限定在了 1384.4±1.4 Ma 和 1392.2±1.0 Ma，根据露头照片所展示的长时间尺度范围内的灰度数据、低频磁化率数据、以及相对较短但高分辨的地化数据（Cu/Al、Si、Zr/Al、Ti/Al、K/Al 等），解析出了不同的周期性变化，单层沉积物所代表的沉积年限大约为 2 至 5 万年，与现代米氏旋回的岁差（2 万年）、黄赤交角（4 万年）和偏心率半周期（5 万年）相近，代表了多周期叠加的准周期变化。所以下马岭组沉积物的周期性特征记录了地球接受太阳辐射的天文轨道力的所有主要周期。另外对串岭沟组（1.64Ga）、高于庄组（1.65Ga）、洪水庄组（1.45Ga）和铁岭组（1.44Ga）的沉积物记录进一步研究发现，它们也受控于天文轨道力驱动的气候旋回。

与现代和大部分的显生宙时期一致的是，天文轨道力对热带-亚热带气候的影响在华北中元古代沉积物中同样存在，并控制了黑色页岩的发育。并且从砂岩、泥页岩、碳酸盐岩等多类型沉积物中提取出的地球轨道参数信号，均表现出地轴斜率和岁差周期随地月距离增加和地球自转速度减慢逐渐变大的趋势。

S07-O-02

中生代 40 万年周期的演变与重大地质/气候变化事件发生的关系探讨

黄春菊*
1 中国地质大学（武汉）地球科学学院，生物地质与环境地质国家重点实验室，武汉，430074
* huangcj@cug.edu.cn

中生代经历了地球演化史上五次生物大灭绝中的三次，其原因机制一直还存在争议，精确的地质时间是解决争议和揭示生物灭绝原因及其驱动机制的钥匙。最近十多年来天文旋回理论成功应用于中生代的地质年代校准，建立了连续的高精度的天文年代标尺，在此基础上，得以探讨气候变化、海平面变化和生物演化的过程及其驱动机制。研究发现，中生代地质记录中不仅存在着稳定的 405 kyr 的周期，也存在着 1.2 Myr 和 2.4 Myr 及更长时间尺度的天文周期，同时还发现，405 kyr 周期的信号时强时弱，是什么原因造成 405 kyr 周期的信号的变化，到目前为止还很少有人研究。这些不同时间尺度的周期的变化对气候和海平面变化及生物演化都具有某种驱动作用及内在联系，并且发现生物大灭绝事件多发生在不同时间尺度长周期的最小值重叠时期，而且大多与太阳系穿越银河系盘面的时间有关联。

S07-O-03

The Plio-Pleistocene 405-kyr climate cycles

Junsheng Nie[1, 2]*

1 Key Laboratory of Western China's Environment System (Ministry of Education), College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, China.

2 CAS Center for Excellence in Tibetan Plateau Earth Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

* jnie@lzu.edu.cn

The 405-kyr cycles in proxy records for the East Asian summer monsoon and global ice volume intensified and became phase-locked to eccentricity forcing at ~4.5 Ma. We revised previous forcing mechanism hypothesis for Pliocene intensification of the 405-kyr cycles in paleoclimatic records and proposed that the establishment of salinity difference between the Pacific Ocean and the Caribbean Sea at ~4.5 Ma triggered an ocean-air positive feedback mechanism. This feedback mechanism caused simultaneous climate cooling and East Asian summer monsoon intensification and made the two different climate components have a clipped response to insolation forcing and, thus, intensified sensitivity to eccentricity variations. Weakening of the 405-kyr cycles in monsoon and ice volume records between 2 and 1 Ma (mid-Pleistocene transition) was likely to be attributed to frequency modulation that transfer power of the 405-kyr band to the 100-kyr band, which was triggered by changes in the oceanic carbon storage of the Southern Ocean.

S07-O-04

偏心率 40 万年周期的隐匿与天文年代研究标准化的困境

李明松[1]*，黄春菊[2]，Linda Hinnov[3]，王蒙[4]，Lee Kump[5]，Michael Mann[5]

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

2 中国地质大学（武汉）地球科学学院，武汉 430074

3 Department of Atmospheric, Oceanic, and Earth Sciences, George Mason University, Fairfax, VA 22030, USA

4 中国地质大学（武汉）资源学院，武汉 430074

5 Department of Geosciences, Pennsylvania State University, University Park, PA, 16802

* msli@pku.edu.cn

地球轨道偏心率的 40 万年周期是显生宙乃至前寒武纪最稳定的天文周期，同时也是最容易被识别的天文轨道周期之一。该周期被广泛地报道于各种沉积环境的众多古气候替代指标数据中。因此，40 万年周期被誉为地球系统的“心跳”，被作为地质计时器用来对深时地层进行天文地质年代校准。然而，冰室、温室和热室时期均普遍存在 40 万年周期的间歇性隐匿现象，其影响和意义尚不明确。

沉积速率是深时地层与地质时间之间转换的桥梁。基于天文旋回理论，Hays 等人在 1976 建立了一套天文年代学研究的标准方法。然而，这一方法严重依赖沉积周期的比例关系来推算沉积速率，在意大利 Latemar 地区中三叠统的旋回地层研究中引发了长达 20 余年的论战，称为“Latemar 争议”，并遭遇了重大挫折。近年来发展的统计调谐方法，包括 ASM、TimeOpt 和 COCO 等，有效的解决了“Latemar 争议”，代表了天文年代学研究标准化历程中最新的重要进展。然而，普遍存在的 40 万年周期的间歇性隐匿现象，往往导致统计调谐方法的间歇性失效，造成天文年代研究标准化的困境。

本研究通过综合对比分析，认为 40 万年长周期隐匿的发生，可能与 1.2 myr 和 2.4 myr 的天文长周期有关。在古新-渐新世温室时期，40 万年周期的隐匿伴随着海平面（和滨海湖平面）的百万年尺度的周期性下降；在早三叠世热室时期，40 万年周期的隐

匿伴随着斜率信号的增强，造成海平面的下降与内陆湖平面的上升，暗示了 1.2 myr 天文长周期驱动的大陆地下水变化可能对全球海平面、气候与生物演化产生重要的影响，揭示了长期被忽视的水循环变化模式。

S07-O-05

天文校准的华南中-晚奥陶世碳同位素漂移事件

任传真[1,2]，房强[1,2]*，吴怀春[1,2]*，张世红[1,3]，杨天水[1,3]，李海燕[1]

1 中国地质大学(北京)生物地质与环境地质国家重点实验室，北京，100083

2 中国地质大学(北京)海洋学院，北京，100083

3 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院，北京，100083

* fangqiang−geo@hotmail.com

405 kyr 偏心率长旋回存在隐匿现象，许多重大古气候事件往往发生在偏心率周期的弱振幅时期。发生于中达瑞威尔期同位素碳漂移（Middle Darriwilian isotope Carbon Excursion, MDICE）和凯迪期的古滕贝格碳同位素碳漂移（Guttenberg isotope Carbon Excursion, GICE）反映了或由气候变化驱动的海洋碳同位素异常事件。解释 MDICE 和 GICE 的成因机制可以加深对中-晚奥陶世地球环境系统演变的理解。我们以磁化率（Magnetic susceptibility, MS）作为古气候指标，对湖北宜昌真金剖面和普溪河剖面开展详细的旋回地层学分析，建立天文地质年代标尺，通过高分辨率年代学约束来了解天文驱动的古气候变化。MS 序列的频谱分析表明，牯牛潭组、庙坡组和宝塔组地层不同沉积旋回的比值与中-晚奥陶世时期米兰科维奇旋回的比值一致。基于稳定的 405 kyr 长偏心率周期进行天文校正，建立了~7.94 Myr 的浮动天文年代标尺，估算出 MDICE 的最小持续时间为~460 kyr，GICE 的持续时间为~700 kyr。斜率旋回和 405 kyr 偏心率旋回隐匿期的耦合可能触发了 MDICE 的开始，并在随后 405 kyr 偏心率振幅最大时达到峰值。

S07-O-06

德国盆地下三叠统印度阶基于 405 kyr 周期的天文年代标尺

张皓天*，李明松

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* htzhang0621@163.com

地球轨道长偏心率的 405 kyr 周期在中生代的地层之中被广泛报道，它是约 100 kyr 短偏心率信号的调制周期，可作为地质计时器对中生代地层进行天文地质年代校准。目前，下三叠统印度阶的持续时间还存在着很大的争议：Szurlies et al.（2003）对德国中部盆地下 Buntsandstein 群约 300 m 厚的地层进行了岩性、磁性地层学以及伽马曲线数据的分析，通过主观识别 100 kyr 周期的方式，提出印度阶至少持续了 2 Myr；Guo et al.（2008）基于在安徽巢湖海相剖面印度阶金钉子候选剖面地层识别出的 56 个岁差旋回，估计印度阶持续了约 1.1 Myr；Wu et al.（2012）对华南下三叠统下大冶组建立了 100 kyr 浮动的天文年代标尺，估计印度阶的持续时间为 1.16 Myr；Li et al.（2016）对华南煤山、巢湖和大峡口等海相剖面进行分析，识别出 405 kyr 周期，认为印度阶持续了 2.0 ± 0.1 Myr，并实现了与德国盆地的海-陆地层对比；Falahatkhah et al.（2021）对伊朗波斯湾东部下三叠统 Kangan 组地层进行旋回地层学分析，基于长偏心率 405 kyr 旋回建立了浮动的天文年代标尺，估计印度阶持续时间不少于 1.6 Myr。在最新发表的国际地质年表（GTS）2020 中，印度阶的持续时间被校准为 2.0 ± 0.5 Myr；然而，国际年代地层表（ICS）自 2017 年至今一直将印度阶的持续时间标定为 0.7 Myr。解决这一重大争议的路径之一，是对三叠纪经典地区——德国盆地的印度阶开展系统的旋回地层学研究。

本文利用自然伽马测井曲线作为古气候和古环境的替代指标，基于 Szurlies 于 2007 年以及 2012 年发表的德国盆地钻井的下三叠统印度阶伽马曲线数据，利用近年来发展的统计调谐新技术，对德国盆地的印度阶进行了系统的旋回地层学研究。对数据进行的处理步骤包括：数据差值；通过 LOWESS 方法去除数据的长期变化趋势；利用 MTM 能谱分析，并以红噪声 Robust AR(1) 模型估计了能谱的 95%、99%、99.9%的置信水平；通过相关系数法（COCO 以及 eCOCO）估计沉积速率的变化情况；对数据进行高斯滤波，分离出潜在的天文参数等，并得到以下结果：

对 Bockenem 1 以及 Bockenem A100 钻井的伽马曲线进行了时间序列分析，COCO 分析的零假设检验结果证明德国盆地印度阶陆相沉积序列受天文因素驱动。其中，Calvörde 组与 Bernburg 组可以识别出~73 m、~19 m、~7 m 周期的旋回，平均沉积速率~18 cm/kyr；Volpriehausen 组可以识别出~30 m、~8 m、~2.5m 周期的旋回，平均沉积速率~7.5 cm/kyr。将深度域数据利用识别出的 405 kyr 周期调谐到时间域，能谱分析识别出了~100 kyr 和~33 kyr 周期的旋回，与 La2004 理论模型预测结果可以比较。

（2）通过磁性地层对比，将德国陆相盆地与我国华南巢湖海相剖面的印度阶进行对应，自二叠-三叠系界线至 CG6n 底部（印度阶的顶部附近；Sun et al.，2009）识别出约 5 个 405 kyr 旋回。

（3）将二叠-三叠系界线年龄锚定到 ID-TIMS 锆石 U-Pb 年龄限定的界线年龄（251.902 ± 0.024 Ma；Burgess et al., 2014）上，得到了印度阶的顶界年龄为 249.9 ± 0.2 Ma。

我们通过识别出稳定的 405 kyr 周期，建立了下三叠统印度阶浮动的天文年代标尺，从而确定了印度阶的持续时间为~ 2.0 ± 0.2 Myr。因此，GTS2020 推荐的印度阶持续时间（Li et al., 2016）是合理的，ICS2020 中印度阶的持续时间需要修订。

S07-P-01

第四纪东亚季风演变与偏心率 400ka 长周期关系探讨

郝青振[1]*，旺罗[1]，彭淑贞[2]，郭正堂[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境实验室，北京 100029

2 泰山学院旅游学院，泰安 271021

* haoqz@mail.iggcas.ac.cn

我国古海洋学研究提出，长偏心率(400ka 周期)极小值对大洋碳循环和全球气候具有重要的控制作用。而根据黄土-东亚冬季风-北极冰盖的联系，提出的 40 万年、80 万年北极冰盖滞后发展正好出现在长偏心率极小值期。在第四纪 80 万年之前，长偏心率极小值是如何调控冬季风和黄土沉积的，是值得深入思考的科学问题。为此，我们对第四纪长偏心率演变和已发表的黄土古气候数据进行了分析，得出如下初步认识：1） 过去 2.6Ma-未来 200ka 期间，长偏心率极小值按照持续时间可以分为 2 种类型：长偏心率低值持续时间超长(>100ka)、持续时间较短(<25 ka)。前者暂时可命名为“超长低偏心率期”，分别出现在 0.4、0.8、2.0、2.4 Ma 前后四个时期，而现在和未来，地球正在经历新的一次超长低偏心率期。2）超长低偏心率期，轨道驱动减弱，可能会使地球气候倾向于保持原来状态并产生累计效应，由此导致较长的“冰期”或者“间冰期”。3) 从黄土记录的东亚季风演化来看，长偏心率低值期在 0.4 Ma、0.8 Ma 出现了较长的间冰期，而 2.4 Ma 出现了超长的冰期(L32)。该规律在 2.0 Ma 似乎不适用。上述仅是初步思考，需要进一步开展深入论证。由于未来正经历一个“超长低偏心率期”(60 ka BP-120 ka AP)，加强对地质历史时期这种场景下地球气候演变特征的研究，能为理解未来地球气候演变的长期趋势提供科学证据。

S07-P-02S

中三叠世鄂尔多斯盆地古湖演化对天文驱动力的响应和“湿热事件”的记录

刘冬洋 [1,2], 黄春菊 [1,*], David B. Kemp [1], 李明松 [3], James G. Ogg [1,4,5], William J. Foster [6]

1 中国地质大学地球科学学院、生物地质与环境地质国家重点实验室、流域关键带演化湖北省重点实验室, 武汉 430074

2 湖南文理学院地理与旅游学院, 常德 415000

3 北京大学地球与空间科学学院造山带与地壳演化重点实验室, 北京 100871

4 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059

5 普渡大学大气与行星科学系, 西拉法叶 47907-2051

6 汉堡大学地质研究所, 汉堡 20095

* huangcj@cug.edu.cn

中三叠世处于古-中生代生态系统转型的重要时期，由于沉积记录的稀缺，该时期的古气候研究较少，因此我们对该时期的认识也可能与实际存在较大的偏差。基于此本文对华北鄂尔多斯盆地的中三叠统的衣食、桑壁剖面进行了研究。基于岩性、磁化率和 Fe/Al 等古气候替代指标研究发现桑壁剖面中存在显著的约 65 米、15 米、5 米、3.3-2.4 米的周期信号。结合独立的年龄限制和沉积速率分析，这些周期信号和该时期理论的长、短偏心率、斜率和岁差周期相对应。其中，最显著和稳定的信号为约 15 米的短偏心率周期，这表明短偏心率在该时期古湖，及低纬度古气候的演化起着关键的控制作用。同时，前人的研究表明拉丁期早期可能存在一次约 0.5-1 百万年的“湿热事件”。这一“湿热事件”也在本研究中得到了印证，本研究对它的发生的原因、过程和机制进行了进一步制约。本研究为探索中生代早期的地球系统的演化提供了高精度的天文地质年代标尺和古气候演化的证据。

S07-P-03S

重建古生代和元古代的古天文周期及地月系统的演化历史

周茂阳*，吴怀春，房强

1 中国地质大学（北京），北京 100083

* zhoumaoyang_geo@qq.com

目前，50 Ma 之前的数值天文解决方案很难获得(Laskar et al., 2004)。这有两方面原因，一是由于太阳系的混沌行为(chaotic behavior)，即小的初值扰动会极大影响地球轨道数值模型的结果，二是我们不了解月球远离地球的演化历史，即地月距离-时间序列。最近，一种新的 "TimeOptMCMC "方法成功地利用旋回地层学证据反演了新生代~55Ma 和元古代~1400Ma 的古天文参数和地月距离。然而，仅有的两个案例研究不能展示完整的演化过程，也缺少良好的方法来建模讨论地月系统的演化。

本研究对四个剖面已进行充分旋回地层学研究的古环境替代性指标序列数据进行了 TimeOptMCMC 分析，反演获得了元古代至古生代的偏心率和岁差，以及相对应的古天文参数。同时，创新性地利用已有反演结果，通过连续马尔可夫单调随机过程模拟生成早古生代 2465Ma 至今的连续地月距离-时间序列，并根据地月系统简化模型(Bills & Ray, 1999)计算了时间平均潮汐阻力系数。

以上研究结果约束了古生代和元古代的偏心率、岁差周期，大大缩小了原有岁差周期的误差估计范围；同时重建了 2465Ma 至今的地月距离、潮汐耗散率的演化历史，证实了地球历史时期存在长期的低潮汐耗散，且存在阶段性的演化特征。这一研究结果展示了通过地质证据来为古生代及更早时期的天文数值模型提供约束的良好前景。

S08-O-01

胶黄铁矿作为盐度和沉积速率变化的指示物：来自长江三角洲的地质记录

陈莹璐[1]， 张卫国[1]*， 年小美[1]， 孙千里[1]， 葛灿[2]， Simon M. Hutchinson[3]， 成沁梓[1]， 王峰[4]， 陈锦[1]， 赵旋琪[1]

1 河口海岸学国家重点实验室，华东师范大学，上海

2 浙江省河口水利研究院，杭州

3 School of Science, Engineering and Environment, University of Salford, Greater Manchester

4 广东省海洋生物技术重点实验室，海洋科学学院，汕头大学，汕头

* wgzhang@sklec.ecnu.edu.cn

胶黄铁矿（Fe_3S_4）在沉积物中广泛分布，目前有关沉积物中胶黄铁矿的研究主要集中在湖泊和海洋环境，陆海交互的三角洲环境中胶黄铁矿形成和保存机制，及其蕴含的古环境意义仍缺乏深入研究。本文运用测年、粒度、磁学和地球化学手段对全新世长江三角洲下切古河谷沉积地层中的胶黄铁矿进行了研究。研究钻孔由下至上依次由潮汐河流、河口湾、浅海和三角洲沉积相组成，胶黄铁矿层位主要出现在全新世早期海侵过程中加积的潮滩环境中，其次出现在海退过程中的浅海相中。上述沉积层位总硫（TS）、总硫与总有机碳的比值（TS / TOC）均较高，表明在河口湾相和浅海相的还原环境中，存在包括胶黄铁矿在内的铁硫化物的累积。含胶黄铁矿的沉积层，潮滩环境沉积物酸可溶 Sr/Ba 比值比浅海相沉积物更低，指示盐度较低的沉积环境，上述结果与钻孔有孔虫分析结果相吻合。结合测年数据可知在全新世早期海平面快速上升阶段，下切古河谷沉积速率较高，随着海平面上升加积的潮滩有利于胶黄铁矿的发育和保存，而在沉积速率较低的浅海相中发育了更多的黄铁矿。本文研究还表明，三角洲区域不同的钻孔，含胶黄铁矿层位的数量、埋藏厚度存在较大的空间差异性，反映了三角洲沉积的空间异质性。本文研究表明，通过磁学手段检测胶黄铁矿的存在，为沉积环境盐度和沉积速率变化研究提供了一个有效手段，有助于高分辨率的地层对比研究，对于深入理解全新世三角洲沉积环境的异质性有重要意义。

S08-O-02

人类活动对半封闭型海湾有机碳的来源及输运的影响

高成成[1,2]，余凤玲[1,2]*，陈纪新[1,2]，黄昭权[1]，江毓武[1,2]，庄自贤[1,2]，夏天[1]，Steven A. Kuehl[1,3]，宗永强[4]

1 厦门大学海洋与地球学院，近海海洋科学国家重点实验室，厦门 361102

2 厦门大学东山太古海洋观测与实验站，漳州 363400

3 美国威廉玛丽学院弗吉尼亚海洋研究所

4 香港大学地球科学系，中国香港

* fengling.yu@xmu.edu.cn

沿海地区的悬浮颗粒有机碳（POC）和沉积总有机碳（TOC）在全球碳循环中起着至关重要的作用，然而此类区域的 POC 和 TOC 的来源和循环过程却显著受到人类活动的影响，例如水产养殖，污水排放，大坝建设和土地开垦。为了更好地了解人为因素如何影响沿海有机碳的循环过程，本研究选取福建省东山湾作为研究区域，通过分析海湾中 POC（$\delta^{13}C_{POC}$ 和 $\delta^{15}N_{PN}$），TOC（$\delta^{13}C_{TOC}$ 和 $\delta^{15}N_{TN}$）的稳定同位素组成，总有机碳氮比（C/N），粒度，叶绿素-a 浓度和各项水文参数，我们得出以下主要结论：1）在汛期，海湾内的 $\delta^{13}C_{POC}$，$\delta^{13}C_{TOC}$ 和 $\delta^{15}N$ 的分布与常规的陆海递进过程中，海相增强的分布模式相反，呈现愈靠近海洋端元，陆相愈强的分布特征。2）通过对比不同端元有机质的 $\delta^{13}C$，$\delta^{15}N$ 和 C/N 特征，我们发现海湾中有机质的来源主要与人类活动密切相关，包括市政废水排放，水产养殖，土地开垦和水闸建设。此外，3）通过应用粒度净运移趋势模型和潮余流的观测结果，我们认为人类活动不仅改变了半封闭海湾中有机物的来源，而

且会显著改变它们的运输和沉积模式，并可能最终影响进出东山湾的有机物的埋藏形式。

S08-O-03

基于云模型评价的中国大陆海岸侵蚀脆弱性研究

曹超[1,2]*，蔡锋[1,2]，戚洪帅[1,2]，赵绍华[1]，刘根[1]，朱铠[3]

1 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361005

2 福建省海洋生态保护与修复重点实验室，厦门 361005

3 福州大学土木工程学院，福州 350108

* caochao@tio.org.cn

全球气候变化引起海平面上升和风暴浪潮增强，以及在沿岸地区高强度的人类开发活动，给中国海岸造成严重破坏，导致人工岸线快速增长，形成了一道违背自然规律的钢筋混凝土的“新万里长城”。基于末次冰后期海侵后所形成的中国大陆海岸线的格局，根据海岸的地质构造、地貌类型等特性将其划分成 36 个评价单元，从自然属性（构造、地貌、泥沙、风暴）和社会经济（人口、GDP）两方面选取 10 个指标，采用层次分析法和熵权法主客观结合确定因子权重，通过云模型逆运算生成期望值、熵和超熵云集合的综合评价法，构建适用于中国海岸侵蚀脆弱性评价体系。结果显示：海岸侵蚀脆弱性高等级（V）、中高等级（IV）、中等级（III）、中低等级（II）、低等级（I）分别占中国海岸线的 5.56%、13.89%、41.67%、33.33%、5.56%，沉降带海岸侵蚀脆弱性明显高于隆起带。逆向云的云模型和层次分析法计算表明，末次冰后期海侵以来的海岸带地质构造、地形地貌和岩性特征，以及近年来入海泥沙量的减少和围填海工程增加是控制中国大陆海岸侵蚀脆弱性的主要因素，与中国大陆海岸侵蚀基本特征相符合，说明该指标体系和云模型方法适用于评价中国大陆海岸侵蚀脆弱性。

S08-O-04

长江口下切古河谷全新世沉积-生态环境演化探讨

姜锋[1,2]，王艳娜[1]*，赵小双[1]，范代读[2]，刘演[1]，陈静[1]，孙千里[1]，李茂田[1]，Brian Finlayson[3]，陈中原[1]

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200062

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

3 School of Geography, The University of Melbourne, Victoria 3010, Australia

* jiangfeng226@163.com

位于长江口下切古河谷中的 HM 孔依次形成了晚更新世的河流相、早全新世浅海相以及中晚全新世的三角洲相沉积。AMS-^{14}C 年代-深度模型显示 HM 孔所处的下切古河谷自全新世以来经历了 3 个充填阶段（I-III）。早全新世海平面的快速上升为沉积物提供了可容空间，12-8.5 ka（I）时期快速充填，沉积速率高达 1.0 cm/yr。8.5-4.5 ka（II），由于三角洲沉积中心转移至三角洲顶端，位于下切河谷中下部的 HM 孔沉积速率仅为 0.1 cm/yr。4.5 ka 以来（III），伴随着三角洲体系的沉积中心逐渐向海推进至现今河口湾位置，HM 孔沉积速率回升到 0.7 cm/yr。此外，全新世以来钻孔中有孔虫与硅藻的垂向分布存在三种组合类型。早全新世以高丰度的硅藻与低丰度的有孔虫为特征，9.0-5.0 ka，两类微体古生物丰度皆低，随后有孔虫丰度增加而硅藻丰度极低。早全新世，在较深的下切河谷中，大量沉积物快速充填过程减弱了底部水体光照，初级生产力受限，抑制了底栖有孔虫的发育。而生长于水体中的硅藻受此过程影响较小，在海岸-河口湾环境中发育了半咸水-咸水种。两者丰度皆低的时期对应于潮流沙脊发育阶段，较强的动力条件使得微体生物难以保存。5.0 ka 以来，据有孔虫属种组合指示，此时下切河谷转为低盐化的河口沉积环境，推测硅藻难以适应

低盐化的环境而不发育。

S08-O-05

福建沿岸砂泥复合型海滩沉积物源汇过程及其对地貌演化的指示意义

赵绍华*，蔡锋，戚洪帅，刘建辉，曹超，刘根，雷刚

1 自然资源部第三海洋研究所 海洋与海岸地质实验室，厦门 361005

* zhaoshaohua@tio.org.cn

砂泥复合型海滩是我国沿海地区极为常见的一种介于海滩和潮滩的过渡型海滩，研究其沉积物来源，对理解这类海滩动力地貌与沉积过程及其历史演变规律具有重要意义。我国浙闽沿岸为强潮海岸，岸线曲折、海湾众多、河流密布、泥沙供给丰富、近岸动力条件差异显著，砂泥复合型海滩极为发育，是开展这类海滩研究的天然实验室。本研究通过对福建省沿海近 30 个砂泥复合型海滩及其邻近河流、海湾表层沉积物的粘土矿物分析，结合潜在源区重矿物和粘土矿物组合的历史研究资料，试图揭示砂泥复合型海滩沉积物的来源及其控制因素，探讨物源供给变化对砂泥复合型海滩发育过程的影响。初步研究结果显示，研究区泥复合型海滩砂质沉积物以海滩周边河流输沙、陆地和岛屿基岩以及红土台地、“老红砂”的风化剥蚀产物为主，而泥质沉积物主要来自研究区河流的近源输入和长江细颗粒物质的远距离搬运。近几十年以来，砂泥复合型海滩沉积物来源发生巨大变化，其砂质沉积物因河流泥沙供给大幅度减少而整体减少，主要与高强度的河流建坝、围填海、砂矿开采等人类活动有关；而泥质沉积物来源受长江物质源汇快速转变过程的影响而在短期内基本稳定，长江口水下三角洲及邻近地区的侵蚀为研究区提供了替代性的细颗粒沉积物来源。这种结果导致砂泥复合型海滩上部砂质海滩以侵蚀为主，且具有明显的泥化趋势，而下部泥质潮滩则相对稳定、甚至持续淤涨。

S08-O-06

长江口浮游植物群落的长期演变分析—以长江通量变化和气候变暖为双重驱动作用

王艳娜[1]，李茂田[1]*，徐皓[2]，陈中原[1]

1 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室，上海 2000241

2 宁波大学 地理与空间信息技术系，宁波 315211

* mtli@sklec.ecnu.edu.cn

近年来，由于人类活动的加剧和气候变暖，长江口浮游植物群落结构发生了改变。进入河口区域的大量河流物质平衡发生了明显变化，导致浮游植物由硅质群落向非硅质群落转变。我们的研究建立了浮游植物群落变化与各种控制因子之间的关系，并揭示了群落结构转变的时间节点在2000年前后。在此之前，优势硅藻的物种相对较少。之后，硅藻优势物种逐渐增多。同时，随着河流输入的 N:P:Si 的改变，一些甲藻物种也成为优势物种。其中，N:P:Si 的变化经历了 75:1:946（1960 年代至 1970 年代）到 86:1:272（1980 年代至 1990 年代）再到 102:1:75（2000 年代至 2010 年代）。过量氮盐和逐渐减少的硅酸盐（DSi）是驱动群落转化的关键环境因素。自本世纪初以来，硅藻中优势度最高的骨条藻已经失去了约 50%的优势度。通过分析，我们认为，不断增加的溶解无机氮（DIN）（目前为 150umol L^{-1}，约是 1960 年代-80 年代的 3.5 倍），与长期下降的 DSi（自 1960 年代以来下降了约 60%）在 2004 年前后同时达到阈值，110umol L^{-1}（雷德菲尔德化学计量比 N:Si=1）。自此，平衡被打破，成为群落结构转化的驱动因子。但是，浮游植物群落的生长并非严格遵循雷德菲尔德化学计量比，尤其是在藻类爆发生长的季节。通过各年的硅、甲藻比值和 DIN:DSi 的比较发现，当 DIN:DSi>1 时，硅、甲藻比

值的分布更加离散。综上研究可知，过量的氮盐是长江口区域富营养化的主要原因。此外，河口泥沙通量下降（2003 三峡封坝后达到最低值）和海表温度的升高此外，河口泥沙通量的下降（2003 年以后最低，当时三个近几十年来，三峡大坝的关闭和近几十年来的海表温度更加剧了群落的结构转化。因此导致，河口水域更加酸化，表现为研究区域呈现出持续降低的 pH 值和溶解氧。

S08-O-07

潮汕平原 InSAR 地表形变特征及其自然和人类活动驱动解析

余凤玲，黄昭权*

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361102

* hzq@xmu.edu.cn

发生在海岸平原的地表形变，不但直接引发地面沉降、相对海平面上升等等灾害，还会加剧海岸带应对海平面上升、台风、风暴潮等灾害的脆弱性。海岸演变研究和防灾减灾需要理解人类活动和自然过程这两种因素分别导致的地表形变。使用 InSAR 技术可以提取大范围高分辨率的地表形变，但它是两种因素综合作用的结果。目前绝大多数 InSAR 地表形变研究尚未涉及人类活动和自然过程的区分。因此，本研究尝试从地表形变的时空特征角度出发来分析它们的不同。

本研究以潮汕平原的为例，首先使用相干目标多时相 InSAR 方法提取出 2015 年-2020 年 30 米空间分辨率的地表形变速率和时间序列。然后采用多尺度空间统计的方法，结合地质、气候、水文和社会经济资料来分析人类活动和自然因素导致的地表形变和它们各自的时空特征。得到如下主要认识：

潮汕平原地表形变的时空分布特征：1）潮汕平原地表形变时空分布不均。空间上，南部的练江平原地表形变的标准差达到 9.3mm，远大于韩江平原的 2.9mm 和榕江平原的 2.0mm；在时间上，本区地表形变的年际变化差异可达 10 mm/a，形变量的变化与降水量变化呈弱相关性；2）潮汕平原整体具有负向形变趋势（地面沉降），平均形变速率为-1.2 mm/a，其中，练江平原的整体形变量大于韩江平原，榕江平原整体形变量最小。

导致潮汕平原地表形变的主要自然过程及其作用特征：1）潮汕平原地表形变的空间格局主要受区域内的地形和断裂构造所控制，在地形和构造交界处通常会有比较大的形变梯度；2）地表的第四系沉积地层是发生大的负向形变的重要条件，平原内的负向形变主要集中在沉积厚度比较大的地方；

导致潮汕平原地表形变的主要人类活动及其作用特征：1）抽取地下水会加速地表形变，特别是在地下水抽取量剧烈变化的练江平原一年时间发生 100 mm 的形变幅度变化，地表形变也会在 2-3 年内发生大幅度形变速率正负方向的改变；2）沿海的人工围填区也会发生大的负向形变，围垦时间越近形变速率越大，形变持续时间可能超过 5 年；3）潮汕平原高铁沿线的地表形变很小，高铁建设对地表形变影响很小，但差异性地表形变则可能对高铁产生破坏作用。

最后，本研究初步认为：构造运动、气候变化与河-海系统下的沉积输运体系是驱动地表缓慢形变发生的自然要素，它们造成的平原地表形变比较小，但持续时间很长，超过 InSAR 数据时间范围，范围覆盖整个区域。而抽取地下水、围填海、城市化等人类活动的影响通常是局部的，并会在 1-2 年内大大加剧形变的速率，同时可能使地表形变过程发生大的跳变。

S08-O-08

从微体化石记录识别长江口外全新世水团相互作用

赵宝成*

1 上海市地质调查研究院，上海 200073

* bczhao@sigs.com.cn

长江口外水团相互作用表现为长江冲淡水与东海和南黄海陆架洋流之间的相互作用，对长江口外海域的泥沙输运和沉积及生态环境具有重要影响。长江口外水团相互作用受到了海平面位置、季风降水以及洋流强弱变化等气候和海洋因素的复杂影响，研究历史时期长江口外流系调节机制对于全球变化背景下长江河口转型趋势预测具有理论意义。本次研究基于长江口水下三角洲全新世沉积框架，详细分析了位于长江水下三角洲北部的和中部2个钻孔底栖有孔虫和沟鞭囊记录，并回顾了水下三角洲其他地点钻孔的微体化石记录。依据表层样微体生物的环境指示意义，识别了全新世海平面快速上升和海平面稳定两个阶段的长江口外水团活性演变信息，并从全新世东中国海环流格局演变和亚洲季风等气候因素变化角度初步揭示了长江口外水团相互作用的调节机制。研究表明，全新世早期海平面快速上升阶段至上升减缓阶段（约 11.5 ka~7.0 ka），底栖有孔虫主要类型总体上与黄海沿岸流影响区常见的低温低盐和喜氧类型为主，其中 9.4 ka 以后东海混合水及浙闽沿岸水常见类型明显增加，并与黄海沿岸水类型交替占优。我们认为这个现象反映了全新世早期在海平面主导控制下，由于黑潮系统没有完全流入东中国，黄海水团显著影响长江口外底层水，并且随着水深增加、岸线向陆迁移以及黑潮次表层水影响加强，东海水团逐渐与黄海水团此消彼长。全新世高海面以来（大约 7.0 ka 以来），水团调整不同阶段水下三角洲北部和南部钻孔底栖有孔虫组合出现了明显差异。其中，约 7.0~5.0 ka，水下三角洲北部底栖有孔虫以黄海沿岸水低温低盐种占优势，并且出现少量黄海冷水团标志种，而南部则以东海混合水低氧种为主，反映了黄海冷水团和台湾暖流影响均较强；约 5.0~2.0 ka，浙闽沿岸水逐步明显影响水下三角洲北部和中部底层水，反映了黄海冷水团退缩和台湾暖流的影响加强；约 2.0 ka 以来，长江冲淡水影响区的喜温广盐类型和东海混合水低氧类型显著增加而成为优势组分，同时还存在异养型沟鞭藻囊明显增加的现象，反映了台湾暖流与长江冲淡水强烈的相互作用。我们认为，全新世高海面阶段长江口外水团配置格局调整与太阳辐射、东亚冬季风和夏季风等气候因子作用下长江冲淡水、黄海水团及黑潮强度变化密切相关，同时也受到了河口向海迁移和相应的水下地形变化的影响。

S08-O-09

珠江河口全新世以来的有孔虫氧同位素记录及其对海平面变化和降水作用的指示

吴月琴, 杨小强*, 殷鉴, 王强强

1 中山大学地球科学与工程学院/广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室，广州，510275

* eesyxq@mail.sysu.edu.cn

珠江河口地区位于海陆过渡带，对气候与环境变化十分敏感。近年来，珠江河口地区的海平面变化研究备受关注。其沉积记录受海平面变化、降水作用和构造沉降等多因素控制，加上该地区全新世地层扰动大，年代学上的不确定性等特点，导致该地区缺乏较为连续的全新世以来的相对海平面变化的记录，降水作用对该地区的影响也不甚清晰。

本文获得了 20 个珠江河口地区 NC3 钻孔全新世以来的有孔虫和贝壳测年数据，通过与邻近钻孔 NC2 之间的磁化率对比结果，结合 NC2 孔早全新世潮间带沉积中的 4 个有孔虫和贝壳测年结果，建立了 NC3 孔 13330 cal. a B.P.以来的年代框架。通过分析 NC3 孔全新世以来高分辨率的浮游有孔虫和底栖有孔虫的氧同位素分布，结合岩性特征，对珠江河口地区全新世以来的相对海平面变化和降水的相互作用过程进行了重建。

结果表明，珠江河口地区全新世以来，表层水体与底层水体盐度分层及其明显，底层水体呈海洋环境，表层水体受降水作用影

响显著。随着冰后期气候回暖，海平面快速回升，海水约 12870 cal. a B.P.入侵至研究区后，此后，相对海平面上升，并持续至 7860 cal. a B.P.达到最高值，7860-7060 cal. a B.P.，相对海平面变化较为平稳，保持较高值。7060-3800 cal. a B.P.为持续海退期，期间，降水作用于 5270 cal. a B.P.开始，相比于早全新世时期，呈明显减弱的趋势。3800 cal. a B.P.以来，相对海平面在波动中趋于平稳状态。

S08-O-10

Hydroclimate-ecological-human reconstruction of the Holocene Nile Delta: insights from organic geochemical records in MZ-1 sediment core

Fan Zhang [1, 2, 3, 4], Xinxin Li [1]*, Jianfang Hu [2], Yanna Wang [3], Chengpeng Sun [1], Feng Jiang [3], Xiaoshuang Zhao [3], Yan Liu [3], Zhongyuan Chen [3]

1 Shenzhen Key Laboratory of Marine Archaea Geo-Omics, Department of Ocean Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, Guangdong, China

2 State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences (GIGCAS), Guangzhou, 510640, China

3 State Key Laboratory for Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China

4 School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

* lixx3@sustech.edu.cn

The basin-wide hydroclimate fluctuations, sea-level rise and early human activities and their impacts on the modification of Holocene sedimentary-ecological setting of the Nile delta-coast remains a knowledge gap. In this study, we presented bulk organic carbon proxies, n-alkanes and glycerol dialkyl glycerol tetraethers (GDGTs) in a well-dated sediment core (MZ-1) in the Manzala lagoon, coast of the NE-Nile Delta, to reconstruct the history of Holocene environmental change, in context of five distinctive stages (I-V) using multi-sediment proxies at decadal-centennial scale. Stage Ⅰ (ca. 8.2-7.7 ka) showed higher pH and lower mean annual air temperature (MAAT), indicating the ~8.2 ka cold event identified during the African Humid Period (AHP). At the same time, high short-chain n-alkanes and lower C/N values recorded strong brackish organic carbon (OC) input by the Early Holocene marine transgression when there was lower Nile discharge. The Stage Ⅱ (ca. 7.7-5.8 ka) was characterized by a largely increasing terrestrial OC input, i.e., considerably high proportion of long-chain n-alkanes, high TOC and brGDGTs, hinting torrential Nile freshwater that flooded the delta coast during the AHP. Within this time, the OC proxies showed at least 8 freshwater fluctuations at decadal-centennial scales, which were intensively interacted with Holocene marine invasion, witnessed by the short-chain n-alkanes, representing OC, C/N and δ13C of marine microorganism origin. Stage III (5.8-5.4 ka) showed remarkably high proportion of short-chain and medium-chain n-alkanes, suggesting OC derived from brackish-water vegetation prevailing in the lagoon coast, while terrestrial input became lower. This probably related to the basin-wide cooling-drying climate condition in the later period of the AHP, due to southward-shift of the intertropical convergence zone (ITCZ) in N-Africa. The Stage Ⅳ (5.4-1.2 ka) had a relatively high marine short-chain n-alkanes of

marine origin and less terrestrial input as was seen by the extremely lowering sedimentation rate, suggesting that the ecological settings of the Manzala lagoon was less affected by the Nile discharge due to post-AHP drying period. The rapidly increasing TOC of MZ-1 after ca. 5.0 ka probably resulted from landscape modification by the early human farming activities in the well-known Samara settlement area (ca. 40 km up-stream of the core site). This could be further evidenced by the highly fluctuated charcoal distribution since ca. 6 ka, a firing-aided land exploitation. Our study highlights the key role of regional hydroclimate variability in modulating the river discharge, lagoon formation, and human occupation, and provides essential context for understanding current and future interactions among them.

S08-O-11

尼罗河三角洲早期人类活动特征及其对气候变化的响应

赵小双[1]，Ian Thomas[2], Alaa Salem[3]，刘演[1]，孙千里[1]，陈静[1]，陈中原[1]*

1 华东师范大学河口海岸国家重点实验室，上海，200241

2 The University of Melbourne, School of Geography, Australia, Victoria 3010

3 Kafrelsheikh University, Faculty of Science, Kafrelsheikh, Egypt

* z.chen@sklec.ecnu.edu.cn

位于干旱区的尼罗河三角洲是世界大河三角洲沉积地貌体系中的典型代表，也是孕育古埃及文明的重要摇篮地。其全新世地貌环境演变对人类活动的作用和影响极为明显，是探索人与环境耦合关系的理想地点。本研究以尼罗河三角洲中西部著名的 Sais Hagar 遗址钻孔 SH-1 为研究对象，开展了沉积物粒度、孢粉、非孢粉等多种代用指标分析，在 AMS ^{14}C 年代学基础上，重建了全新世以来尼罗河流域气候变化、三角洲古生态环境变化和早期人类活动历史。孢粉与非孢粉研究发现：1）非洲湿润期始于距今约 9700 年并持续至距今约 5800 年, 此后流域气候逐渐趋干，并在距今约 5800-5500 年和 4200-4000 年期间出现极端干旱事件；2）遗址区以畜牧为标志的早期人类活动开展于距今约 7000 年，在距今约 6700 年，外来农业种植开始出现，这可能与 7000-6700 年期间的气候快速变干有关；3）距今 6700 年起早期人类活动表现为农牧业混合，一直持续至距今约 2250 年左右，在距今约 6700-5400 年期间，人类活动受干旱气候制约明显，主要以适应气候变化为主，距今约 5400 年后人类活动逐渐由适应环境向改造环境转变。上述证据表明尼罗河三角洲全新世早-中期湿润向干旱过渡的气候驱动了人类农业活动的开展。本研究为进一步探讨尼罗河三角洲古文明对环境适应性研究提供了科学依据。

S08-O-12

早全新世以来良渚地区地貌环境演化

凌光久[1]，马春梅[2]，杨青[3]*，胡竹君[1]*，郑洪波[3]，刘斌[4]

1 南京师范大学地理科学学院，中国，南京，201123；

2 南京大学地理与海洋科学学院，中国，南京，210023；

3 云南大学地球系统科学重点实验室，中国，昆明，650500；

4 浙江省文物考古研究所，中国，浙江，310014

* yangqing@ynu.edu.cn; huzhujun86@163.com

良渚文化（5300 ~ 4300 yr BP）被认为是中华五千年文明的实证，因此引起了考古学界的广泛关注。然而，关于良渚文化的兴衰，特别是其消失的原因，至今仍存在争议。良渚古城地区地势低洼、水网密布，其地貌环境的演化对人-地关系的相互作用具有重

大影响。在本研究中，我们将运用沉积学方法重建良渚地区地貌环境演化历史。对考古遗址区域的5个沉积岩芯和岩性剖面进行了详细分析，包括：利用加速器质谱法(AMS)测定了沉积物的14C年代，而用于古环境重建的沉积指标有钙含量、粒度、硅藻和沟鞭藻等。结果显示良渚地区地貌环境可以分为：(1)末次冰消期至全新世早期(约 9400 cal yr BP 之前)的陆相沉积，此时良渚地区广泛出露于海平面之上，岩芯中含有粗砂、砾石和硬粘土等沉积物；(2)早全新世中期(约 9400 ~ 7600 cal yr BP)海侵沉积，约 9400 ~ 7900 cal yr BP 期间为快速向西的海侵过程，在约 7900 ~ 7600 cal yr BP 期间由于沉积物堆积速率超过海平上升速率而出现陆地向东扩张的过程；(3)全新世中晚期(约 7600 cal yr BP 以后)的陆地生长，由于古杭州湾越岸洪水或风暴潮事件等的原因，在约 7600～6600 cal yr BP 期间，良渚地区沉积了大量高于当时海平面的海相沉积物，之后良渚地区为淡水沼泽或盐沼沉积环境，该过程一直持续到约 5100 cal yr BP 左右。

S08-P-01S

三角洲滩-槽动力地貌变化互馈研究——以长江三角洲扁担沙-新桥水道为例

楼亚颖[1]，戴志军[1.2]*，何钰滢[1]，魏稳[1]

1 华东师范大学河口海岸科学研究院，上海，200241

2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋地质实验室，青岛，266100

* zjdai@sklec.ecnu.edu.cn

滩-槽系统是河口区最为典型的地貌单元，其在社会经济发展，生态环境维护方面一直扮演着极为重要的角色。然而目前，伴随着人类活动增强和海平面上升的加剧作用，大型河口区的滩-槽系统正在遭受侵蚀退化的风险。

本文重点研究了长江口南支最大的滩-槽系统——扁担沙(BDS)与新桥水道(XQC)系统之间的博弈。结果表明：1996 - 2016 年，5 m 水深以上的扁担沙面积呈明显增加趋势，年际增长率达 1.43 km2/yr。而对应的新桥水道的体积则展现出明显的缩小态势，其年际减少率为 3.79 x 106 m3/yr。与此同时，自 1998 年以来，扁担沙出现横向扩展并向下游迁移趋势，而新桥水道上游河道束窄，宽度收缩了近一半。另外，自 1998 到 2016 年来的扁担沙-新桥水道地貌动态演变可以分为四个阶段：洪水前的“滩淤槽扩”阶段(1996 - 1998)；极端洪水影响下的转换阶段(1998 - 2000 年)；滩槽系统沉积明显的发育阶段(2000 - 2009)；稳定阶段（扁担沙无明显横向扩展，但存在高滩沉积，而新桥水道仍持续收缩）(2009 - 2016)。扁担沙-新桥水道系统的动态平衡主要由扁担沙和新桥水道之间的互馈决定，而偶尔发生的极端水文事件也会阻断滩槽系统的耦合关系。另外，东风西沙水库建设引起局部河道堵塞，使得新桥水道流量减少，水位下降。考虑到未来气候变化和人类活动对河口地区的影响，本研究提出应统筹考虑河口地区脆弱的滩潮系统，制定相关政策加强海岸带的可持续综合管理。

S08-P-02S

长江三角洲海岸侵蚀脆弱性评估与社会经济影响分析

王晓婷[1]，张卫国[1]*，殷杰[2]，王军[2]，葛建忠[1]，吴建平[2]，罗卫[1]，Nina S. N. Lam[3]

1 河口海岸学国家重点实验室, 华东师范大学，上海

2 地理信息科学教育部重点实验室，华东师范大学，上海

3 Department of Environmental Sciences, College of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge

* wgzhang@sklec.ecnu.edu.cn

侵蚀脆弱性评估是应对海岸地区侵蚀

灾害的重要方法之一，但目前对于三角洲侵蚀脆弱性研究仍然有限。本文以乡镇为单元，综合考虑自然与社会脆弱性，使用百分位排序法评估长江三角洲沿海 49 个乡镇的侵蚀脆弱性，其中自然因子包括平均潮差、平均波高、表层水体含沙量、潮滩宽度和海岸坡度，社会因子包括堤防高度、地均 GDP 和财政收入；结合人口密度和遥感解译的土地利用类型分析，评估侵蚀的潜在社会经济影响。基于长江河口 1980s、2010s 地形冲淤变化及已有脆弱性评价结果的比较，验证了本文构建的指标体系和评价方法的有效性。研究结果表明，在长江三角洲地区，潮滩宽度、潮差是影响自然脆弱性的主要指标，总体上自然脆弱性对侵蚀脆弱性的贡献大于社会脆弱性，极高、高、中、低、极低脆弱性区域占沿岸乡镇的 13%、22%、39%、24%和 2%。根据侵蚀脆弱性和社会经济影响的综合分析，揭示了侵蚀灾害的热点乡镇，包括崇明岛的城桥镇，宝山区的友谊街道，金山区的石化街道，上述区域具有潮滩不发育和社会应对能力低的特点。本文提出的侵蚀脆弱性评价方法简便易行，对其他三角洲地区的相关研究具有参考价值。

S08-P-03S

珠江口伶仃洋 ZK1 钻孔的磁性地层学研究

任晋珂[1]*，李潇濛[1]，吴怀春[1,2]，时美楠[1,2]，曹凯君[3]，陈芳[3]

1 中国地质大学(北京)，海洋学院，北京 100083
2 中国地质大学(北京)，生物地质与环境地质国家重点实验室，北京 100083
3 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州，511458
* renjinke2021@163.com

珠江口伶仃洋位于海陆交互地区，其沉积物保存了丰富的海陆环境变化信息和气候波动记录，是珠江三角洲形成演化、古环境的重建以及人类活动的影响等各方面研究的重要素材，而对其沉积物的研究离不开年龄的约束。珠江口伶仃洋综合地质调查项目在中山海域通过钻探方式取得 ZK1 钻孔岩芯（113° 40′ E，22° 34′ N；长 32 m），本文利用磁性地层学和 AMS^{14}C 测年对该岩芯进行系统的年代学研究。

AMS^{14}C 测试对象以双壳类贝壳为主，共 7 个测年数据，结果表明岩芯底界年龄不超过 9 kaBP。对沉积物进行磁化率随温度变化曲线、等温剩磁获得曲线、磁滞回线等岩石磁学测试，结果显示样品的载磁矿物以单畴、多畴的磁铁矿为主。再对样品开展系统的交变退磁测试，利用磁化率各向异性和退磁结果进行数据筛选，建立了样品的特征剩磁极性序列，共有 7 个负极性段。由于岩石磁学结果显示样品未受成岩作用影响，磁性地层结果具有可靠性。根据碳同位素测年数据和岩芯取样情况，推断样品极性倒转是由打钻过程中人为将岩芯倒置造成。将矫正后的岩芯剩磁特征与东亚地区标准的地磁倾角、强度和极光记录相对比，建立了 ZK1 钻孔岩芯的高分辨率地层年代框架，岩芯底部年龄为 3.5 kaBP。在该年代格架的控制下，岩芯磁学参数呈百年尺度的周期性变化，推断可能与太阳活动有关。

S08-P-04S

近海沉积环境对全新世海平面变化的响应——以东山湾为例

田港华，余凤玲*，李楠楠，李超

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361102
* 546341509@qq.com

气候变暖背景下，加速上升的全球海平面严重威胁着人口集中、经济发达的沿海地区。精准评估海平面上升对海岸带的影响，是积极应对未来海平面变化的前提。受制于有限的数据资源，高精度的监测资料主要支持年代际尺度海岸带环境变迁的评估与预测，而地质记录则是评估千、百年甚至更长

时间尺度海岸环境变化的重要补充，从而为预测未来海平面变化对海岸带的影响提供重要的科学借鉴。

为探讨福建沿海对全新世海平面变化的响应，本研究以福建东山湾为例，结合浅地层剖面数据、DS1 钻孔的生物地球化学指标以及 AMS^{14}C 测年结果，重建了该区全新世以来的沉积环境变化历史；并结合该区的全新世海平面变化记录，探讨了相对海平面变化对以上演变过程的影响。

高分辨浅地层剖面（深度 30 m）和 DS1 孔（长 10.35m）的 X 光扫描结果一致显示，在约 4.1 m 深度处出现不整合面，将该区地层一分为二。对 DS1 钻孔的进一步分析显示， 9.9-4.1m 沉积以粉砂为主（平均含量>70%），有孔虫保存较好，丰度为 4-53 枚/g，以近海种为主，少肉眼可见贝壳及植物碎屑，3 个 AMS14C 测年结果遵循下老上新规律；4.1-0m 沉积以砂质粉砂为主，有孔虫保存较差并有填充物，丰度为 32-74 枚/g，以近岸潮间带种为主，含大量贝壳及植物碎屑，3 个 AMS14C 测年结果出现倒转现象。

基于 6 个 AMS14C 测年结果建立的年代模型显示，DS1 孔沉积覆盖了约 8.5-4.8 cal ka BP 以来的历史，而不整合面年龄约为 6.5 cal ka BP。其中，8.5-7.9 cal ka BP 平均沉积速率为 3.8 mm/a，7.9-6.9 cal ka BP 平均沉积速率为 2.5 mm/a，6.9-4.8 ka BP 平均沉积速率约为 2.2 mm/a。结合福建沿海全新世相对海平面变化历史，我们认为该区沉积环境演变历史主要受控于由海平面上升速率变化引起的沉积物可容空间变化，从而该区的海岸环境演变主要经历了以下三个主要阶段：

（1）8.5-7.9 cal ka BP，早全新世海平面平均上升速率达 7.6 mm/a，海平面上升速率超过沉积速率，沉积物可容空间快速增长，从而该区域处于接受稳定沉积的状态；同时由于海平面快速上升，该区沉积迅速从原来的河流相环境过渡到河口海滨相。

（2）7.9-6.9 cal ka BP，随着海平面上升速率逐渐减缓，此时沉积速率与海平面海平面上升速率相当甚至超过海平面上升速率，从而沉积物可容空间被急剧消耗。随着海平面的进一步上升和海岸线的进一步向陆推进，该区沉积以海滨相为主。

（3）6.9-4.8 cal ka BP，相对海平面基本达到现代海平面高度并在波动中趋于稳定，此时研究区的沉积物可容空间已消耗殆尽，该区沉积处于长期扰动状态。另一方面，随着海平面稳定，陆源沉积不断将岸线向海推进，该区沉积逐渐恢复到河口相环境。

综上，海平面变化速率对近海沉积环境的演变存在非常显著的影响，其具体影响在未来海岸带的研究中应该被充分了解和考虑。

S08-P-05S

闽南海陆过渡带现代沉积硅藻特征及环境意义

刘圣涛，余凤玲*，李超，李楠楠

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361000

* 2753134120@qq.com

硅藻是一种具有光合作用的真核单细胞藻类，不同的硅藻属种具有适应其生长的特定生态环境，从而使硅藻成为古环境判别的重要指标。本研究旨在分析闽南海陆过渡带表层沉积硅藻的组成及其生态环境特征，建立该地区硅藻与沉积环境的转换函数，为进一步应用硅藻作为环境判别指标提供科学依据。

闽南沿海受复杂的动力过程作用，不仅受到陆地径流、潮汐、波浪的影响，还有沿岸流的影响，如低温低盐的浙闽沿岸流和高温高盐的黑潮分支；此外台湾海峡上升流现象十分明显，是开展“硅藻-沉积环境关系”研究工作的绝佳场所。

为了定量分析表层沉积硅藻与环境之间的关系，2018-2019 年间，本研究在漳江口-东山湾-台湾海峡剖面采集了 19 个表层沉积物，并对其进行了粒度和表层沉积硅藻分析。结合分析结果和站位的盐度、温度和深度数据，得到以下主要结果和认识：

（1）采样剖面具有较大的盐度和深度跨度。从漳江口到东山湾至台湾海峡，平均水深从 1.2 m13.5 m 和 57.0 m；盐度从 18.4，增加到 33.5 和 34.7；温度则从 31 OC，降低到 28.6 OC 和 22.2 OC。

（2）研究区共鉴定出 82 种硅藻（包括未定种），隶属 29 个属，沉积硅藻种类丰富，既有淡水种和沿岸种，又有外洋性种的出现；盐度适应性上，海水种和半海水种数量较多（>99%）：温度适应性上，广温性种类数量最多。

（3）研究区沉积硅藻绝对浓度的空间差异性显著，整体上，离岸越近，硅藻的绝对浓度值越高，粒度越细（粉砂、粘土等细粒组分含量越高），硅藻的绝对浓度值越高，其中海湾带硅藻的平均绝对浓度值最高，而台湾海峡最低。

（4）对占比>1%的硅藻属种进行 RDA 分析，结果显示可以将研究区的表层沉积硅藻划分成四种类型，第一类是以卵形褶盘藻（ Trybliоptychus cocconeiformis (Cl.) Hendy ）、琴氏菱形藻（ Nitzschia panduriformis Gregory ）、爱氏辐环藻（Actinocyclus ehrenbergii ralfs）、黄蜂双壁藻（Diploneis crabro Ehrenberg）、波状辐裥藻（Actinoptychus undulates (Bail.) Ralfs）、舌形圆筛藻（ Coscinodiscus biandus A. Schmidt ）、范氏圆箱藻（ Pyxidicula weyprechtii Grunow ）、舌形圆筛藻（Coscinodiscus biandus A. Schmidt）、流水双菱藻（Surirella fluminensis Grunow）、具槽直链藻（Melosira sulcata（Her.）.kutzing）为主，第二类是以舟形藻（Navicula.sp）、颗粒菱形藻（Nitzschia granulate Grunow）、卵形菱形藻（ Nitzschia cocconeiformis Grunow）、小环藻属（Cyclotella）为主，第三类是以粗纹藻（Trachyneis.sp）、圆筛藻未定种（Coscinodiscus.sp），第四类是以星形柄链藻（Podosira stelliger (Bail.) Mann）为主。

（5）结合 RDA 分析可以发现，第一类和第二类硅藻的分布是受到水深和盐度这两个环境因子的共同影响，其中深度可以解释 41.7%的变化，盐度可以解释 32.2%的变化。

（6）通过 C2 软件的偏最小二乘加权平均回归模型（WA-PLS）来建立硅藻-水深、硅藻-盐度的转换函数，模拟深度和实测深度相关系数 R2 达到 0.952287，预测均方根差为 5.35695；模拟盐度和实测盐度的相关系数 R2 为 0.810253，预测均方根差为 3.79689。说明研究区硅藻分布能够较好地重建盐度和水深参数，具有很好的解释研究区古深度和古盐度的潜力。

（7）东山湾硅藻的高丰度值有可能受人为活动导致的富营养化影响，而台湾海峡处沉积硅藻的低丰度值区可能反映了上升流对硅藻壳体埋藏作用的制约。

S08-P-06S

定量识别中国北部大凌河流域植被覆盖度对输沙量变化的贡献

孙爽*，朱丽亚，胡克，李琰，聂云峰

1 中国地质大学（北京）海洋学院，北京，100083

* sunshuang@outlook.com

入海河流沉积物的输运对河口-海岸地区的地貌和生态系统稳定性有重要影响。已有研究对大河流域沉积物输运过程的影响因子，如：流域面积，地貌，输水量，气候变化，植被特征以及人类活动等，进行了定量识别。然而，山溪性小河流沉积物的传输机制与模式尚未得到充分研究。本文以我国东部大凌河流域为对象，收集了河流水文气象数据和归一化植被指数（NDVI），应用偏相关与多条累积曲线方法研究了大凌河流域近 50 年来河流输沙量变化对气候，植被覆盖度以及人类活动的响应。结果表明大凌河流域沉积物通量高度响应偶然气候事件（尤其是 1994 的洪水事件），说明该河流可以有效地记录微气候事件。沉积物通量对植被覆盖度的变化非常敏感，整个流域地形坡度处于 0-15° 占比高达 86.72%，大大提

高了植被固沙的效果。两种定量计算均表明植被覆盖度（49.14-52.30%）是输沙量减少（1980 年前后平均减少 76%）的最主要因素，高于人类活动（22.90-44.09%）与气候变化（5.49-24.58%）。比较各小流域：上游大-中型水库数量最多，气候相对更温暖和湿润，所以人类活动的贡献量要高于其他地区；牤牛河小流域的沉积物对气候与植被变化高度敏感，所以气候和植被覆盖度贡献均处于高值。近河口细河小流域，植被覆盖度较低，农田占比最高，所以植被覆盖度的贡献处于领先地位。本文发现水库不是所有流域近几十年来入海输沙量减少的最主要因素，印证了植被在小流域中的贡献。

S08-P-07

珠江三角洲沉积物中有机碳来源和组成对环境演变的响应

丁杨[1,2]，时硕[3]，张海龙[1,2]，李莉[1,2]，王张华[3]*，赵美训[1,2]*

1 中国海洋大学深海圈层与地球系统前沿科学中心和海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室，青岛 266100
2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室，青岛 266237
3 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241
* maxzhao@ouc.edu.cn ; zhwang@geo.ecnu.edu.cn

河口三角洲是连接陆地和海洋的关键带，受海平面变化、水动力过程和人类活动的影响显著，不但在全球碳循环中发挥着重要作用，也记录了流域和近海环境演变的历史信息。本研究对在珠江三角洲获得的一根 45 m 长（~1.2 万年）的沉积物柱状样（MZ 孔）的代表性沉积层样品进行了有机碳及其碳同位素和生物标志物分析，初步研究了珠江三角洲全新世不同时期和沉积环境（感潮河道、河口湾、前三角洲和三角洲前缘）中有机碳的来源和组成，探讨了其对珠江三角洲环境演变的响应。结果表明，MZ 孔不同时期的总有机碳含量（TOC）变化范围较大，变化最大的感潮河道时期（距今 10000~12000 年前后）为 0.02~1.75%；其次是三角洲前缘时期（~2600 年前后至今）（0.06~1.46%），与粒度变化幅度相对应，可能与同时期水动力变化强弱有关。河口湾时期（距今 4000~10000 年前后）TOC 范围在 0.54~1.49%，前三角洲时期（距今 2600~4000 年前后）TOC 含量为 0.94~1.72%。生标初步结果显示，单位有机碳中短链脂肪酸含量在三角洲前缘时期远高于其他时期，显示出较强的原位生产信号；陆源有机质含量[Σodd(C27-C31 n-alkanes)、Σeven(C20-C30 saturated fatty acids)] 和海源有机质含量[Σ(Brassi. sterol+Dino. Sterol +Alken.]及其与 TOC 比值均在前三角洲时期有最高值。我们将结合生物标志物单体分子碳同位素，进一步刻画出不同时期有机质来源及组成，探讨不同环境演变对有机质保存的影响。

S08-P-08S

高强度人类活动驱动下珠江磨刀门河口拦门沙演变

汪思敏[1]，黄杰[1]，李海威[1]，谭超[2,3]，刘锋[1,3,*]

1 中山大学海洋工程与技术学院河口海岸研究所，广州 510275
2 广东省水利水电科学研究院，广州 510610
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519082
* liuf53@mail.sysu.edu.cn

高强度人类活动驱动下河口三角洲演变转型是目前国内外学者聚焦的前沿科学问题，河口拦门沙是控制水下三角洲沉积体系重要的地貌单元，其演变对河口三角洲演变趋势起到至关重要的影响作用。本研究以珠江磨刀门河口为研究对象，基于磨刀门河口近年不同年代地形数据，建立数字高程模型，结合经验正交分析和地貌信息熵等研究

方法，探究高强度人类活动对磨刀门河口拦门沙演变的影响作用及拦门沙演变趋势。

结果表明：自 1964 年到 2016 年，磨刀门河口拦门沙滩槽结构经历了“无汊—双汊—单西汊”的转变，拦门沙整体逐渐向西偏移，拦门沙汊道特别是东汊发生萎缩；采用经验正交函数可将拦门沙地貌变化划分为三个模态，贡献率分别为 75.44%，9.05 %及 6.69%，不同模态对应的时空分异特征反映了不同因素对拦门沙演变的影响作用；基于地貌信息熵研究河口拦门沙的演变过程，发现拦门沙地貌信息熵交替出现明显的熵增和熵减，但总体而言，自 1964 到 2016 年熵值呈现下降趋势，其中在 1964 年出现最大值 5.04，在 2016 年出现最小值 3.98，表明在人类活动影响下，拦门沙逐步从地貌系统的无序发展朝着有序发展的方向演变。该研究不仅有助于揭示人类活动产生的河口地貌效应，更有助于为磨刀门河口拦门沙治理和航道开发利用提供借鉴意义。

S08-P-09S

长江口及邻近海域表层沉积物中底栖有孔虫组合及其环境意义

袁洁琼[1]，丁旋[1]*，印萍[2]

1 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

* dingx@cugb.edu.cn

长江口及其邻近的杭州湾地处亚欧大陆东部边缘，是典型的中纬度海陆交互作用地带，也是研究海平面变化、环境演变、河口过程和沉积学的理想区域。海水溶解氧是水体重要的理化性质参数之一，它决定着海区内生物生长水平，是海水污染程度的重要参考项目。在世界许多大河口处都发现了较为严重的海水低氧现象，长江口也是最严重的低氧区之一，在近几十年受到广泛的关注和讨论。底栖有孔虫作为一种常见的海洋微体生物，因其分布广泛、对环境变化反应灵敏、具有高的丰度和多样性、死后可以保存在沉积物中，是反演古海洋环境变化的重要替代性指标。前人研究表明底栖有孔虫的部分属种有较好的低氧耐受性，可被用作低氧海水指示依据，其含量的变化在地质历史演化过程中呈现显著的周期性规律，被认为能在一定程度上反映全新世以来长江口海水溶解氧的升降情况。

本文以长江口及其邻近海域的108个表层沉积物样品为研究对象，通过对其中底栖有孔虫属种的鉴定统计，结合沉积物粒度、TOC 等环境参数，讨论影响有孔虫属种分布的主要因素及不同环境状况下有孔虫组合面貌的差异，并针对长江口低氧现象，总结得出适用于长江口低氧指示的本地 LOFA（Low-oxygen foraminiferal assemblages），为探讨我国东部沿海陆架生态系统对人类活动和全球气候事件的响应提供依据。获得的主要认识如下：

（1）研究区有孔虫组成以玻璃质壳的底栖有孔虫为主；有孔虫的丰度和分异度随水深增加而增加，丰度最高值集中在长江口水下三角洲边缘及前三角洲区域，受到水深、海底地形及海流等的综合影响；

（2）底栖有孔虫组合在研究区内不同区域呈现出不同的组合面貌：1.杭州湾区以 Epistominella naraensis-Ammonia convexidorsa-Elphidium magellanicum 组合为特征，代表受强潮流影响的近岸浅水河口环境。2.长江口以北区以 Nonion akitaense-Ammonia compressiuscula-Ammonia pauciloclata 组合为特征。指示受低温沿岸流影响的近岸特征，若同时伴随胶结质壳及似瓷质壳含量的升高，可指示较强水动力影响下的贫营养环境。3. 长江口区以 Epistominella naraensis-Bolivina cochei-Ammonia ketienziensis 组合为特征，反映长江口外高有机质通量低溶解氧环境，组合分布水深一般为 30 m 以上。

（3）长江口区 Epistominella naraensis、Bolivina spp.、Bulimina spp.等属种对低氧环境有较好的耐受性，可作为长江口 LOFA。

S08-P-10

大型人工岛对海岸地貌的影响

刘根 [1,3]，戚洪帅 [1,2,3]，蔡锋 [1,2,3]*，朱君 [1,2,3]，赵绍华 [1]，刘建辉 [1,2,3]，雷刚 [1,2,3]，曹超 [1,2,3]，何岩雨 [1,4]，肖哲宇 [1]

1 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361005
2 福建省海洋生态保护与修复重点实验室，厦门 361005
3 南方海洋科学与技术广东省实验室（珠海），珠海 591000
4 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100
* fcai800@126.com

除了自然过程外，人类活动在塑造海岸地貌中也起着重要作用。通常，在不考虑对自然演化过程产生的影响情况下，人类活动对海岸侵蚀/淤积速率产生的影响可能是自然趋势的几个数量级。近二十年来，我国沿海建设了几十个人工岛，形态与规模不一，对海岸地貌产生了重要影响。

尽管国际上对离岸构筑物的影响进行了广泛的研究，但是关于海岸对大型围填人工岛的响应研究却很少。本研究以海南省海口湾 8 公里长的海滩为研究对象，基于不同年份的海岸地形和岸线数据，分析了南海明珠大型人工岛在海岸地貌变化中的作用。结果表明，大型人工岛建设前后，海岸地貌发生了明显的变化，这主要是因为人工岛的建设彻底改变了海岸沉积物的运移模式。尽管人工岛距离海岸约 1900 米，但因其体量较大，依然对海岸形态产生了重要的影响。同时，根据经验公式的预测，在有足够沉积物供应的情况下，波影区岸线将向海淤进约 690 m，预计会形成一个巨型沙岬，而不会形成连岛沙坝。

此外，对比了大型人工岛与小型离岸构筑物对海岸影响的两个参数：受影响岸线的总长度和地貌响应平衡时间。发现大型人工岛与小型离岸构筑物之间可能存在差异，尤其是地貌响应平衡时间，大型人工岛平衡的时间尺度是在百年量级，而小型离岸构筑物的时间尺度通常不到 10 年。

该研究提供了海岸地貌系统与大型人工岛之间紧密联系的细节，这对于理解或预测这些系统的变化至关重要。更重要的是，还对大型人工岛对海岸海滩的影响进行了新的探索，这对其他类似的大型人工岛具有启示意义。这些分析将有助于地方政府在面对日益增多的人类活动时，从区域的角度采取海岸侵蚀防护设计和海岸泥沙管理策略。

S08-P-11

Human drivers accelerated the advance of Pearl River deltaic shoreline in the past 7500 years

熊海仙 [1,2]*，宗永强 [2]*，黄光庆 [3]，付淑清 [3]

1 中山大学海洋科学学院，珠海 519082
2 香港大学地球科学系，香港
3 广州地理研究所，广州 510070
* xionghx5@mail.sysu.edu.cn ; yqzong@hku.hk

In order to examine the role of human drivers in shoreline advance of the Pearl River delta plain over the past 7500 years, this study reconstructed several palaeo-shorelines based on sedimentary records, archaeological findings, historical archives, family ancestral books and modern survey data. With these shorelines, this study quantified the land growth rate for each of seven time periods spanning from the Neolithic-Bronze Ages, through the agricultural period, to the modern industrial era. The results show that, since c. 7500 cal. a BP as the sea level ceased to function as the primary driver, fluvial discharge and tide became the main natural drivers. Between 5500 BC and 200 BC, as fluvial discharge was progressively reduced, the amount of sediment drained out to the sea by

tidal action was also progressively reduced due to the decrease of the estuarine space. As a result, the land growth rate was kept around 0.36-0.38 km2/for this period. During the agricultural stage between 200 BC and AD 1950, human activity has led to a continuous increase of land growth rate, from 0.78 km2/a caused by land clearance (200 BC to AD 960) to 2.69 km2/a triggered by early land reclamation (AD 960-1370) and further to 4.50 km2/a as more advanced techniques were used (AD 1370-1950). Finally, a better organization of human power in land reclamation and the use of machinery since AD 1950 has accelerated the land growth to an average of 10.56 km2/a. The river damming and soil preservation projects in the past three decades have greatly reduced sediment supply and caused a significant slowdown in the shoreline advance.

S08-P-12S

山东半岛泥质楔黄铁矿成因及其环境意义

谷玉[1]，刘喜停[1,2]*，常鑫[1] ，张明宇[1,]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，海底科学与探测技术教育部重点实验室，青岛 266100

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266237

* liuxiting@ouc.edu.cn

山东半岛近岸泥质区（又称“山东泥楔”）作为中国东部边缘海的泥质区之一，其记录着山东半岛及其周边海域全新世以来海平面变化、古气候演化、生物地球化学循环等信息，具有重要的地质和环境意义。近十几年来，国内外学者对该泥质区的成因、物质来源、沉积动力条件和沉积环境演化等方面开展大量研究并取得了诸多优秀成果。相对而言，山东半岛泥质区在长时间尺度（末次盛冰期以来）上有机质埋藏、有机碳矿化以及相关的 C-S-Fe 生物地球化学过程对沉积环境演化的响应机制尚不明确。对此，我们对该区域钻探获得的岩芯沉积物（约 40 m）进行综合分析，利用 XRF 岩芯扫描方法同时结合有机碳、黄铁矿等指标反演末次盛冰期以来该区域的沉积环境演化及其对 C-S-Fe 生物地球化学循环的控制作用。该研究将揭示古气候和古海洋演化对沉积物早期成岩过程的影响，最终阐明黄铁矿形成的成岩过程，建立新的环境演化指标。

S08-P-13

东海内陆架末次冰消期海平面突然上升的沉积记录

常凤鸣[1,2,3]*，孙晗杰[1,2,3,] 李铁刚[3,4]

1 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室，山东青岛 266071

2 中国科学院海洋大科学研究中心，山东青岛 266071

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，山东青岛 266061

3 自然资源部第一海洋研究所海洋沉积与环境地质重点实验室，山东青岛 266061

* chfm@qdio.ac.cn

理解冰消期海平面突然上升与古气候快速变化之间的联系，可为未来气候和海平面变化对两极冰盖消融的响应提供重要见解。然而，目前对于大多数末次冰消期海平面上升脉冲事件（MWP）的认识仍存在相当大的不确定性。利用东海内陆架泥质沉积区 DC1 钻孔，通过有孔虫、孢粉等微体古生物指标以及粒度、沉积物组成等沉积学特征建立了一个末次冰期以来完整的区域沉积序列。结果表明，末次盛冰期硬粘土基底上的冰后期沉积序列以岩性和有孔虫群落为标志可划分为 3 个阶段：（1）典型砂泥互层的海岸潮坪沉积相（11.62 ka 之前）；(2）分选较差的细砂为主的受潮汐影响的海岸沉积相（11.62-7.54ka）；(2）由均匀粉砂质粘土或粘土质粉砂组成的近海浅水相（7.54 ka

后）。沉积相的突然转变清楚地记录了多个冰消期 MWP 事件。

浮游有孔虫和典型咸水底栖有孔虫属种的突然出现指示，MWP-1A 之后海水首次侵入东海内陆架，使得近岸区域发展为潮坪环境。11.62 ka 左右近岸潮下环境的突然出现记录了 MWP-1B 的发生，这一海平面快速上升事件导致东海内陆架区开始被淹没，表现为咸水底栖有孔虫种的突然减少和内陆架底栖种的明显增加以及泥炭沉积的终止。约 7.54 ka 左右内陆架底栖有孔虫的繁盛和咸水种的彻底消失记录了 mwp-1d 事件，指示了东海最大海侵的发生，导致了之后内陆架泥质楔的形成。8.13 ka 左右底栖有孔虫和海洋藻类浓度的峰值，证实了已有记录的 8.2 ka 左右的海平面突然上升事件。该次海平面突然上升与亚洲季风同步减弱间的显著联系也表明其与 8.2 ka 气候突然变冷事件密切相关。9.14 ka 左右，咸水底栖有孔虫丰度的显著下降和浮游有孔虫群落的突然衰退也指示了一次海平面的突然上升，可能是海平面对 9.2 ka 左右北大西洋冰融水脉冲事件的响应，但不排除北美大陆以外其它冰架的潜在贡献。

S08-P-14

Historical changes and sedimentary evolution of abandoned Yellow River Delta (Sheyang River Mouth) in Jiangsu province: historical maps

Liangyong Zhou[1]*, Caihua Yao[2], Zhaofeng Gu[1], Yoshiki Saito[3]

1 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China

2 Institute of Geochemical Exploration and Marine Geological Survey, Nanjing 210001, China

3 EsReC, Shimane University, Matsue, 6908504, Japan

* zhouebox@yahoo.com

The abandoned Yellow River delta in Jiangsu province is a major sediment supplier to the South Yellow Sea and East China Sea. It formed between 1128 and 1855. In 1855, the Yellow River shifted into the Bohai Sea, the delta suffered erosion and adjustment. However, as main part of the delta, the coast near Sheyang River mouth remained not erosion. In this study, ages of two cores, seismic profiles, and comparison of historical maps were used to examine its deltafront clinoform (nearshore clinoform). The original historical maps and nautical charts since 1750s were collected and compared after calibration, showing the accretion of the shoreline before 1855, when the Yellow River shifted to the Bohai Sea. Near Sheyang River mouth, two 20m-long cores onshore (1 m above present sea level) and offshore (6 m bellow present sea level) were on a line normal to the shoreline. Samples of both cores were dated using AMS 14C and OSL technologies. Ages in bottoms of the cores are 43000 to 44000 cal yr BP. At approximate 17.5m bellow present sea level in both cores, yellow and younger (younger than 5000 yr BP) silt sediment occurs. Several young ages in upper part of two cores were obtained, and these show a clear clinoform pattern. Furthermore, seismic profiles across the offshore core show the deltafront clinoform. The upper part weak reflector or transparent part in seismic profiles become thinner seaward and the lower part is strong reflectors. Sea bottom nearshore shows a convex shape.

S08-P-15S

巨砾滩巨砾运移的现场追踪及其运移控制因素解析

李灵波[1,2]，蔡锋[2]*，戚洪帅[2]，雷刚[2]，赵绍

华[2]，乔璐璐[1]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100
2 自然资源部第三海洋研究所海洋与海岸地质环境实验室，厦门 361005
* caifeng@tio.org.cn

巨砾滩是粒级范围在256-4096mm的一种砾石滩类型，其研究可作为重建古代极端事件的重要标志，对基岩海岸的防灾减灾工作具有重要的指导意义。受制于识别追踪巨砾滩单独巨砾运移所存在的难度，现有巨砾现场追踪多聚焦于基岩海岸潮间带海蚀平台或海蚀崖顶部孤立巨石，将巨砾滩磨圆度较高的巨砾作为研究对象的研究较少，且巨砾的运移规律及控制因素尚不清晰。本研究以福建省平潭市草屿岛岑都巨砾滩和海南省万宁市大花角巨砾滩为研究对象，采用无线射频示踪技术(RFID)，对选取的岑都81块巨砾和大花角 50 块巨砾的运移进行了多期次现场观测，试图揭示巨砾滩的巨砾在不同时间尺度、不同动力条件下的运移规律及其运移的控制因素。通过对岑都和大花角观测的中长期运移数据（2020.09-2021.03，频率为四个月）以及岑都逐日观测的短周期运移数据（2020.12.01-12.07）进行分析，分别探讨巨砾粒级、粒形、所处海滩空间位置、坡度及动力因素跟巨砾运移之间的关系，综合分析得出控制巨砾滩巨砾运移的主要因素。

S08-P-16

Pollen record of early to mid-Holocene vegetation and climate dynamics on the eastern coast of the Yellow Sea, South Korea

Bing Song[1,2]*, Sangheon Yi[2], Wook-Hyun Nahm[2], Jin-Young Lee[2], Limi Mao[3], Longbin Sha[4], Zhongyong Yang[5], Jinpeng Zhang[6]

1 Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008, PR China
2 Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea.
3 Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China.
4 Department of Geography and Spatial Information Techniques, Ningbo University, Ningbo 315211, China.
5 College of Hydraulic and Environmental Engineering, Three Gorges University, Yichang 443002. China.
6 Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey key laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Ressources, Guangzhou 510760, China.
* bsong@niglas.ac.cn ; imbingsong@gmail.com

To understand the early to mid-Holocene vegetation and climate dynamics on the eastern coast of the Yellow Sea, we obtained a sedimentary core with high-resolution AMS 14C data from the Gunsan coast in South Korea. The palynological analysis demonstrated that the riverine wetland meadow from 12.1-9.8 cal kyr BP changed to temperate deciduous broad-leaved forest in 9.8-2.8 cal kyr BP. Additionally, the cold climate from 12.1-9.8 cal kyr BP became warmer from 8.5-7.3 cal kyr BP. This was followed by another relatively cold period from 7.3-2.8 cal kyr BP. The temperature change was mainly in response to solar factors. However, there are two relatively humid periods from 12.1-9.8 cal kyr BP and 8.5-7.3 cal kyr BP, which arose for different reasons. The earlier humid period resulted from strong westerlies and a rapidly rising sea level. The later humid period was produced mainly by the strong East Asian summer monsoon and may also be linked to La Niña-like activity. The cold “Younger Dryas” event from 12.0-11.4 cal

kyr BP recorded in this study may have been produced by a North Atlantic meltwater pulse. This would have reduced temperatures that were already low due to weak insolation, and the strong winter monsoons would have increased the precipitation.

S08-P-17

Holocene environmental changes of the Songji lagoon, South Korea, and its linkage to sea level and ENSO changes

Bing Song[1,2]*, Sangheon Yi[2], Wook-Hyun Nahm[2], Jin-Young Lee[2], Zhongyong Yang[3], Xiangdong Yang[1]

1 Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, PR China

2 Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, South Korea

3 College of Hydraulic and Environmental Engineering, Three Gorges University, Yichang 443002, PR China

* bsong@niglas.ac.cn , imbingsong@gmail.com

As an important geomorphologic element of the coastal areas, lagoons receive relatively less attention than estuaries and deltas in the NW Pacific. In this study, based on multiple proxies of δ13C, pollen and diatoms, we attempt to understand the Holocene sedimentary environment of the Songji lagoon, South Korea, and the possible mechanism for its response to global or regional sea level and climate change. The sedimentary environment was phased differently in different periods: it was an estuary, a lagoon in the estuary area, an intermediate environment between fresh water and brackish water, and a brackish lagoon environment in early Holocene -6669 cal yr BP, 6669-6325 cal yr BP, 6325-4492 cal yr BP and 4492-1340 cal yr BP, respectively. Afterward, abundant freshwater entered the lagoon from the stream. The changes were triggered by sea level and climate changes. Based on the fluctuating sedimentary environment, we can infer that the sea level increased from 4.5 to 2.2 cal kyr BP, and decreased from 2.2 to 0.8 cal kyr BP. The sedimentary environmental change is also closely connected with El Niño/La Niña-like activity, especially in the periods 6.7-6.3 cal kyr BP, 4.5-3.6 cal kyr BP and 3.0–2.0 cal kyr BP.

S08-P-18S

近两千年来长江水下三角洲叶瓣迁移及控制因素：浅部地球物理证据

冯威[1]，刘世昊[1]*，汪亚平[1, 2]*

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241

2 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210093

* shliu@sklec.ecnu.edu.cn, ypwang@nju.edu.cn

长江河口位于构造沉降区域，长江携带的大量颗粒物质在此持续堆积，发育了较好的现代三角洲沉积，不仅记录了长江流域和我国东部海域的气候、环境、动力变化特征，还记录了全球海面变化的信息。

研究表明 7 ka BP 以来长江三角洲依次发育了 6 期河口沙坝体系，且空间位置发生了明显的变化，而这一时期长江下游流路与入海口未见显著的侧向（垂直流路方向）迁移，后者常被认为是控制三角洲叶瓣迁移演化的关键，因此控制 6 期叶瓣演化的机制仍待研究。同时我们从长江水下三角洲浅部地层记录中发现，2 ka BP 以来的水下三角洲地层结构与下伏有显著差异，这一时期可能是长江三角洲演化过程中一个重要的转折

点。在此之后水下三角洲的发育稳定，但我们仍在浅地层剖面数据中识别出4套地震单元，指示了长江水下三角洲稳定沉积时期叶瓣也发生明显的迁移。为探究叶瓣迁移机制，我们在水下三角洲前缘地层露头处获取了多个重力柱样，并从其岩性特征中发现了多个明显的贝壳碎屑层和泥沙互层，可能是叶瓣迁移的控制界面。贝壳层和大量砂质沉积物的出现指示了沉积事件的发生，因此我们认为沉积事件可能是控制 2 ka BP 以来长江水下叶瓣的迁移主要的因素。

S08-P-19S

长江冲淡水影响海域湍流混合与垂向盐通量观测特征与影响因素分析

朱百粟[1]，杨伟[1]*，蒋诚飞[1]，王涛[2]，魏皓[1]

1 天津大学海洋科学与技术学院，天津（中国） 300072

2 中国海洋大学海洋环境与生态重点实验室，（中国） 266100

* wei_yang@tju.edu.cn

利用两个分别位于长江口南部 50 米等深线和长江口东北方向约340公里的连续站的湍流剖面观测数据，研究了长江冲淡水春季和夏季的水文、跃层湍流和垂向盐通量的变化特征与影响因素。两站最大湍动能耗散率(ε～10-6 WKg-1)均发生在底层，主要是由于潮流的底部摩擦。春季观测期间，冲淡水南下经过位于长江口以南约 260 公里处 E2 站位，湍流通常在 E2 站位的跃层保持一个较低的水平(ε ～ 10-9 WKg-1)。E2 站位的日均垂向扩散盐通量为 3.9 (1.2, 32) × 10-7 psu ms-1。相反，冲淡水在夏季沿东北方向扩展流经 MT1 站位，MT1 站位的跃层出现了间歇性的强烈跃层湍流(ε ～ 10-5 WKg-1)并且伴随着等密度线竖向位移的增大。结合观测速度和卫星 MODIS 观测结果，进一步证明这些特征是由东海陆架断裂处或济州岛周围地形特征所诱发的内孤立波传播到观测位置所导致。观测到的内孤立波引起了跃层的剪切不稳定，从而引起强烈的混合事件，使垂向扩散的盐通量增加了一个数量级。MT1 站位的日平均垂向扩散盐通量可以达到 4.3 (2.1, 8.9) ×10-6 psu ms-1。本文的研究结果强调了内波在影响长江冲淡水垂向扩散和其他性质变化的重要性。

S09-O-01

南海北部中晚中新世底栖有孔虫群落及其对深部水团特征的指示意义

李保华[1]*，刘传联[2]，万世明[3]，张楷[1]*，金晓波[2]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 同济大学海洋学院

3 中国科学院海洋研究所

* bh-li@nigpas.ac.cn, 1106649981@qq.com

南海北部 IODP368 航次 U1502A 中晚中新世底栖有孔虫的鉴定、定量统计分析，揭示了 6～7Ma 与 10～12Ma 两个时间段该区底栖有孔虫组合特征。该区底栖有孔虫主要由 *Nuttallides umbonifera*、*Epistominella exigua* 、 *Globocassidulina subglobosa* 、 *Gyroidinoides orbicularis* 和 *E.pacifica* 等组成，代表了典型的深水沉积环境。研究通过沉积物中指示溶碳酸盐溶解作用强度、古生产力和溶解氧等古海洋学指标变化，揭示了南海北部底盆水团的性质变化。再次基础上结合沉积学、地球化学等分析结果，研究对南海北部中晚中新世沉积物“红-绿”韵律层的的形成成因进行了初步探讨。研究受中国科学院(B 类)战略性先导科技专项项目(XDB26000000)、国家自然科学基金项目（ 41776073 、 41806050 、 41876046 和 41930536）等资助。

S09-O-02

南海北部深水区“海源海相烃源岩”

刘传联[1]*，陈莹[2]，龚瑞雪[1]，孙瑞[2]，马瑞罡[1]，张功成[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 中海油研究总院，北京 100028

* liucl@tongji.edu.cn

南海北部深水区发现的海相烃源岩主要是陆源海相烃源岩，真正的海源海相烃源岩虽然有发现，但还很少，研究程度也。通过对南海大洋钻探 U1501 站岩芯样品开展古海洋学与有机地球化学分析，揭示出南海北部深水区始新统-渐新统确实存在海源海相烃源岩发育的可能性。

南海北部深水区始新统-渐新统具有形成海源海相烃源岩的物质基础及古海洋学条件。IODP U1501 站中始新世为滨岸环境，晚始新世为陆架浅海环境，早渐新世为上陆坡半深海环境，晚渐新世则为深海环境。在这一海洋环境，中、晚始新世到渐新世颗石藻及海相沟鞭藻大量出现。与此同时，在 IODP 1501 站 390m 深度上还发现了颗石藻五边石 *Braarudosphpaera bigelowii* 的勃发现象。这一勃发事件指示当时是浅海环境，季节性的高营养盐-高生产力水体触发了它的发生。藻类勃发是优质烃源岩形成的重要机制，南海渐新世颗石藻勃发事件的存在寓意着海源海相烃源岩存在的可能性。IODP U1501 站始新世-渐新世沉积中还发现了大量颗石球，颗石球的大量存在意味着生产力高或缺氧环境的存在。因此，IODP U1501 站始新世-渐新世沉积时期，既存在高生产力，又存在缺氧环境，为形成海源海相烃源岩提供了良好的古海洋学条件。

从生物分子标志化合物到地球化学指标也揭示南海北部深水区始新统-渐新统可能存在“海源海相烃源岩”。 U1501 站始新统-渐新统岩芯样品有机地球化学分析可以看出，样品的 C/N 比值普遍低于 4；干酪根类型以 II_1 和 II_2 型为主，个别出现 I 型和III型；正构烷烃以<C_{21} 为主，>C_{25} 含量极低；甾类化合物以 C_{27} 为主，C_{29} 含量低；萜类化合物比较发育，表现为 C_{30} 含量高，但伽马蜡烷和奥利烷含量低。所有这些特征都反映了有机质来源为海洋水生生物和藻类。这证明了深水区沉积物有机质类型不是陆源搬运来的有机质，而是真正的海源有机质。

S09-O-03

揭示南海 IODP 368 航次 1502 站点晚中新世沉积物“红绿”韵律层的成因之谜

金晓波[1]*，徐娟[1]，李绘[1]，李艳丽[1]，乔培军[1]，武力[1]，凌晨[1]，李保华[2]，刘传联[1]

1 同济大学海洋与地球科学学院，海洋地质国家重点实验室

2 中科院南京地质古生物研究所，古生物与地层国家重点实验室

* evidently@163.com

国际大洋发现计划（IODP）368 航次期间，大洋钻探船“决心号”（JOIDES Resolution）在南海北部取得了一系列钻孔。其中位于水深 3764 米的 1502 站点，于 A 孔中位于海床下 442 至 497 米处，发现了近 50 米长的几乎连续沉积的“红绿”韵律层。由于沉积物中碳酸盐保存较差，且缺乏相应的氧同位素地层与古地磁资料，我们很难对这段沉积物进行精确定年。然而根据部分层位中沉积物中保存的钙质超微化石群落面貌，我们可以初步判定，此段沉积物位于晚中新世距今约 5 百万年至 1 千万年之前。而这样的韵律层，在同航次的 1501 及 1505 站点的同时期的沉积物柱状样中并未发现。作为航次的钙质超微化石专家（刘传联教授），初步发现在“红”色沉积物中，钙质超微化石保存较差，群落分异度较低；而在“绿”色沉积物中，钙质超微化石保存较好，群落分异度较高。因此，出于人类天生对探索自然奥

秘的渴望、以及满足本人自身的科研兴趣，我们针对部分“红绿”层进行了一系列研究，旨在揭示这些韵律层可能的成因之谜。

针对 1502 站 A 孔，海床下 451.8 至 453.2 米的沉积物我们进行了 2 厘米分辨率的取样，层段总共包括 5 个“红”层及 5 个“绿”层。通过更精细的超微化石（颗石）形态学研究，我们发现颗石粒在“绿”层中较厚，而在“红”层中较薄。同时，结合不同抗溶化石的相对含量组合，我们认为“红”层中碳酸钙的保存较差，而“绿”层则较好。其次，通过漫反射光谱的一阶导数，及“红绿”层中铁、锰元素的含量，我们认为红色的致色原因是赤铁矿。同时，粘土矿物组合在“红绿”层之间并无显著差别，表明沉积物物源的变化或不是赤铁矿含量不同的原因，那么致色的则可能是自生无定形的赤铁矿。在中中新世时期，南海已停止扩张，同时由于南海板块向西菲律宾板块的俯冲，东部的吕宋岛弧也开始隆升。直至晚中新世时期，南海已成为类似于第四纪的半开放边缘海。我们认为，1502 站点“红绿”层是由间歇性的太平洋底层水变化所导致的，而驱动因素则可能为南极海冰的变化。当南极海冰扩展较大时，南极底层水的形成会增强且深部水团变厚，进而导致太平洋深、中层水团的交换变差、层化加强。增厚的底层水会更多地越过吕宋海峡，进入南海深部，形成一个类似“泻湖”的状态，底层水“相对的”少氧，不利于赤铁矿自生，形成“绿”层。因此，“红绿”韵律层我们只在深部的站位发现，因为“泻湖”效应对深部的站点影响会更大。而在南极海冰较小时，南极底层水形成减弱。太平洋中、深部水团交换加强（翻转流加强），那么进入南海的水与中上部混合较好，通风较强，利于赤铁矿自生，形成“红”层。同时由于南方而来水量减弱，那么从北太平洋而来水也相应地增多。由于北太平洋而来的水团碳酸钙饱和度较低，不利于碳酸盐的保存，进而这也致使了“红”层较差的碳酸钙保存。

S09-O-04

南海北部中中新世以来钙质超微化石群落演变及其生态环境意义

王亚苏[1]，Hoshina Kazuki[2]，Richard W. Jordan[2]，苏虹[3]，姜仕军[1]*

1 河海大学海洋学院，南京 210098

2 Department of Earth and Environmental Sciences, Yamagata University, Yamagata 990-8560, Japan

3 暨南大学地下水与地球科学研究院，广州 510632

* ssj0047@my.fsu.edu

南海是西太平洋最大的边缘海，位于西太平洋暖池内和全球温盐环流（THC）的关键节点，其海底丰厚的沉积物保存了完整的古气候、古环境变化记录，是进行新生代气候变化研究的重要场所。本研究选取2017年执行的 IODP 368 航次 U1501 站位获得的中中新世至上新世（15-5 Ma）期间沉积物样品作为研究对象，通过钙质超微化石群落组合与 $CaCO_3$(wt)%分析，重建南海中中新世以来的生态环境演变过程。

U1501站位中中新世至上新世217个样品中共发现 32 属 117 种钙质超微化石，常见种包括：*Reticulofenestra*（*R. minuta*、*R. minutula*、*R. haqii*、*R. pseudoumbilicus*）、*Florisphaera profunda*、*Cyclicargolithus floridanus*、*Discoaster*（*D. berggrenii*、*D. brouweri*、*D. pentaradiatus*、*D. quinqueramus*、*D. variabilis*）、*Helicosphaera carteri*、*Calcidiscus leptoporus*、*Coccolithus pelagicus*、*Sphenolithus*（*S. abies*、*S. moriformis*、*S. heteromorphus*）、*Umbilicosphaera*（*U. jafari*、*U. rotula*）等。中中新世期间，钙质超微化石群落以高生产力指示种 *small Reticulofenestra* 为优势种，说明此时海洋生产力较高；到中、晚中新世界线附近时，化石群落中喜低营养环境的 *Umbilicosphaera*、*Discoaster*、*large Reticulofenestra*（*R. pseudoumbilicus*、*R. perplexa*）丰度快速增加，同时沉积物中 $CaCO_3$(wt)%减少，全盾指数

（WSI）降低，反映了海洋生产力降低、碳酸盐溶蚀增强，这与全球性的碳酸盐崩溃事件（carbonate crash）的时间相吻合；随后 *small Reticulofenestra* 的丰度又逐渐增加，$CaCO_3$(wt)%增加，表明海洋生产力逐渐恢复、碳酸盐保存变好。

上述钙质超微化石明显的群落演变反映了南海生态环境的变化过程。中中新世期间印尼海道通畅，海洋温跃面浅，海表混合强，能提供大量营养物质维持海洋高生产力；到中晚中新世之交，由于印尼海道受阻导致西太平洋暖水聚集，使温跃层深度加深、海表混合减弱、来自深海的营养补给减少，从而使生产力降低，生物成因的碳酸盐向海底输出通量减少，促使中新世碳酸盐崩溃事件的发生；随后，季风环流增强引起上升流和营养补给增加，从而使晚中新世至上新世海洋生产力增加，南海出现生物勃发。

S09-O-05

南海深层水环流在晚中新世的突然增强：来自鱼牙化石钕同位素的证据

李科 [1]*，田军 [1]，马小林 [2]

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

2 中国科学院地球环境研究所，西安 710061

* likelikelee@163.com

现代，南海的构造格局、地形结构使其深层洋流具有“半封闭、强混合”特征；该特征在海水溶解氧、钕同位素等学指标上均有表征。为探究南海深层洋流随南海构造格局的变迁历史，我们挑选出国际大洋钻探计划（IODP）1143、1148 站位深海沉积物岩芯中的鱼牙化石，用于重建过去南海底层水钕同位素值变化。结果显示，晚中新世（约 780 万年前），南海北部 1148 站钕同位素在不到 10 万年内上升了超过 1.5 个单位，并在此后的 130 万年内保持这一高值；而南海南部的 1143 站钕同位素在该时期则保持相对负值。综合其他证据，我们认为这一时期南海北部钕同位素的快速升高对应南海深层洋流的突然加快，并可能是由于吕宋海槛地形的初步形成导致。本研究为南海深层洋流随构造格局的变化形成一个初步粗略的框架；未来，钕同位素可继续用于研究南海深层环流因构造活动、海平面升降等因素造成的变化。

S09-O-06

渐新-早中新世南海北部洋陆过渡带深水环境演化的沉积记录研究

马鹏飞 [1]*，刘志飞 [1]，黄宝琦 [2]，舒威 [1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* pma@tongji.edu.cn

南海在早渐新世大陆边缘破裂之前就已存在深水环境，但直至早中新世才最终形成稳定开阔的深海，但这一阶段深水环境演化过程和机制的研究目前仍较为薄弱。本项研究选取南海北部洋陆过渡带区域的 IODP 367 航次 U1499 站位为研究目标，对其渐新-早中新世沉积物开展系统的沉积学、地层学、矿物学和地球化学研究。利用有孔虫组合以及鱼牙化石的锶同位素建立了~30-19 Ma 之间较高分辨率的年代地层格架，通过精细的沉积学研究恢复了深水沉积物质堆积过程，识别出了碎屑流、浊流、悬浮沉积等三种主要搬运营力，使用矿物、元素、同位素指标限定了不同阶段的沉积物来源和海水特征；在此基础上精确重建了渐新-早中新世南海北部洋陆过渡带的深水环境演化过程，并探讨了几个突变界面的海盆构造-深水环境-沉积体系演化机制。本项研究的开展不仅揭示了南海扩张早期的沉积环境演变，也为后续探究渐新-中新世之交东亚区域重大构造和气候演化事件提供了基础资料。

S09-O-07

南海扩张事件对陆缘盆地发育演化的控制

解习农[1]*，陈慧[2]，狄丞[3]

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074
2 中山大学海洋科学学院，广东珠海 519082
3 中国地质大学（武汉）传媒与艺术学院，武汉 430074
* xnxie@cug.edu.cn

南海是西太平洋边缘海的一个重要组成部分，新生代以来南海周缘板块经历了多次运动重组事件，塑造了南海发育的动力边界，有别于总体伸展背景下大西洋型被动大陆边缘的发育和演化，南海经历了总体汇聚背景下的大陆岩石圈伸展破裂过程，发育 2 次岩石圈破裂事件，即第一次岩石圈破裂事件发生于始新世末，主要导致了中央海盆北部-西北次海盆扩张，第二次岩石圈破裂事件发生于渐新世末，该事件导致南海扩张脊向南跃迁，渐新世末岩石圈破裂作用主要发育于中央海盆南部-西南次海盆。

2 次南海扩张事件及不同构造边界，导致南海周缘盆地在前扩张期及后扩张期均表现出巨大差异。①破裂不整合界面发育时间具有东早西晚、北早南晚的特点，这一特征导致不同陆缘盆地裂陷发育时间及其持续时间的差异，进而影响了裂陷期沉积物充填；②陆缘盆地所处动力边界差异导致周缘盆地发育演化差异，离散型陆缘发育于南海北部，走滑-伸展型陆缘发育于南海西部，汇聚型陆缘发育于南海南部和东部，这些盆地在南海前扩张期受控不同边界断裂活动形成不同地层样式的裂陷幕，而在南海后扩张期差异更加显著，如汇聚型陆缘盆地在裂后期进入周缘前陆演化阶段；③南海扩张结束后（中中新世以来）南海周缘盆地表现出强烈构造活动及沉积响应的差异，比如：扩张结束后南海周缘强烈的构造运动，菲律宾海板块转向西北俯冲，南海东部洋壳沿马尼拉俯冲带向东俯冲；不同陆缘自中中新世以来均显示了快速沉降与快速沉积的特点，沉降量远超过地壳伸展所造成的热沉降量，一些作者称之为异常沉降（abnormal subsidence）；早中新世碳酸盐岩台地被广泛淹没以及随后中中新世大型进积楔状体及深水峡谷发育；大规模等深流沉积自中中新世以来在地形相对平缓的中下陆坡或陆坡阶地广泛发育；扩张结束后南海海盆及周缘陆架边缘盆地发育强烈的岩浆活动。这些特征显示南海大陆边缘盆地与传统裂谷盆地发育演化具有较大差异，究其原因，则归咎于南海迥异的动力边界条件及渐进式岩石圈破裂事件。

S09-O-08

南海北部潮汕坳陷中生代构造-沉积演化模式研究

冯凯龙[1,2,3]*，朱伟林[1,2,3]，付晓伟[1,2,3]

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092
2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
3 同济大学海洋资源研究中心，上海 200092
* fengkailong@tongji.edu.cn

潮汕坳陷位于南海北部珠江口盆地东南部，是目前南海北部钻遇中生代地层最厚的坳陷区块，钻遇中生界地层达1500余米。钻井所揭示的中生代地层岩石类型组成丰富，共有十二种岩石类型，分属岩浆岩，沉积岩及变质岩三大类岩石，且岩石类型在时间分布上有一定的规律。由区域剖面可知，从潮汕坳陷到台西南盆都发育较为连续的中生界地层，特别是下白垩统及其下伏地层，分布广泛，并可进行区域对比，应处于同一构造背景。其中，潮汕坳陷地层受后期改造影响最小，保存最为完好。

潮汕坳陷从侏罗纪到早白垩世为古太平洋俯冲的弧前盆地。由前人研究可知，潮汕凹陷中生代盆地经历了复杂的成盆历史，沉积体系类型丰富。Xu et al.(2015)提出南海北部发育增生楔的沟-弧-盆模式来解释潮汕凹陷中生代沉积序列。Noda（2016）对环太平洋弧前盆地进行了梳理后发现，弧前盆地

并不一定发育增生楔，且应力从拉张到挤压都可能发生，这与俯冲板块俯冲角度、海山发育情况、陆源碎屑供给等都有关系。因此，不能将弧前盆地发育情况简单地归为沟-弧-盆体系。本次研究以潮汕坳陷沉积体系演化为基础，结合华南东南沿海及周边区域地层、沉积相对比及岛弧迁移特征，建立潮汕坳陷中生代构造-沉积演化模式。

S09-O-09

南海南部北康盆地断层运动对底流沉积过程的控制作用

刘姗[1,2]*，F. Javier Hernandez-Molina[3]，苏明[1,2]，雷振宇[4]，Debora Duarte[3]

1 中山大学海洋科学学院，珠海 5190821
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519082
3 英国伦敦大学皇家霍洛威学院，伦敦 TW20 0E
4 中国地质调查局广州海洋地质调查局，广州 510760
* liush296@mail.sysu.edu.cn

深海底流是深水沉积过程的重要要素之一，其可直接搬运或间接改造沉积物，并在海底形成沉积型或侵蚀型地貌特征。近年来，底流沉积过程和构造运动的耦合关系是底流研究的热点问题。相关研究主要聚焦在：1）大尺度板块运动对古环流路径的影响；2）深水盆地形成过程对底流漂积体沉积演化的控制这两个方面。而针对小尺度断层活动和底流沉积过程交互作用的研究普遍较少。

本次研究以南海南部北康盆地为例，基于高分辨率多波束及地震反射资料解释，识别并精细刻画了底流沉积和侵蚀型地貌特征。北康盆地内发育有多个断层控制型漂积体及环槽，其展布特征受控于正断层运动及其相关的构造陡坎。研究区内断层控制型漂积体分布于正断层的上盘或下盘，当断层断面坡度角大于 21°时，重力流水道及块体流沉积分别在正断层断面和上盘发育。受断层相关地形控制，断层控制型漂积体与其他类型漂积体不同，其展现出不规则的丘状结构的，且内部地震反射特征相对杂乱。

基于断层控制型漂积体的内部结构及几何形态，正断层运动和底流沉积作用的交互过程可大致分为两类。第一类为断层运动与底流作用同时发生，形成的断层控制型漂积体内部沿断面可见变形的地震反射结构，且其不规则丘状结构较为明显。第二类为断层活动发生于底流作用之前，断层形成的陡坎地貌和底流沉积过程发生交互作用，使得沉积物填充在陡坎地形的底部。然而，目前的研究仅限于正断层活动与底流沉积过程的耦合关系，其他类型的断层运动（如逆断层、走滑断层等）有必要在未来底流沉积研究中给予重点关注。

S09-O-10

台湾恒春半岛增生楔浊积体物质来源及形成机制

崔宇驰[1,2]*，邵磊[1]，乔培军[1]，黄奇瑜[1]，余梦明[1]，孟宪博[1]

1 同济大学，上海，中国 200092
2 科廷大学，珀斯，澳大利亚，GPO Box U1987
* cuiyuchi@tongji.edu.cn

恒春半岛位于马尼拉海沟北端沿线上，是台湾岛地层最晚出露的地区，保存了一套完整的深海相增生楔浊积砂体层序。由于出露时间晚，几乎不受后期变质作用的影响，恒春半岛较好的保留了初期弧陆碰撞的信息，成为世界上研究增生楔地质的最佳地区之一。然而到目前为止，对恒春半岛增生楔浊积砂体的形成过程，特别是物质来源、输送路径及具体沉积充填过程仍存在较大争议。因此，该问题的解决不仅对准确构建南海北部沉积物的“源-渠-汇”系统极为关键，还对重建中新世以来南海东部俯冲带增生楔的形成模式具有重要意义。

在大量野外地质调查工作的基础上，本研究采用“源-汇”对比综合示踪技术，通过元素地球化学及锆石 U-Pb 定年等分析手段，

对恒春半岛晚中新世深海浊积砂体开展系统研究。恒春半岛浊积砂体以发育典型的鲍玛序列为特征，常见磨圆较好、分选差的基性岩砾石，集中分布在浊积层序的 A 段。这些基性岩砾石形成于 23.6-25.4 Ma，与南海扩张磁异常条带 C8~C6b（~17°N）的洋壳年龄相同。碎屑锆石 U-Pb 年龄谱系特征指示，晚中新世时期，南海北部深水区同时接受了来自南海西侧“昆-莺-琼”古河和北侧珠江搬运而来的陆源碎屑物质，形成了数百米厚的深海砂质沉积。由于南海地形总体西高东低，这些沉积物在深水区汇聚后，部分继续以浊流的形式自西向东奔涌而下，并强烈冲刷侵蚀南海洋壳基底，携卷夹带大量洋壳基性物质进入浊流搬运体系，直到进入马尼拉海沟沉积下来，与海沟内其他重力流等沉积体一起构成俯冲带内的混杂堆积。伴随菲律宾海板块向西北方向顺时针旋转漂移，这些浊积体被推挤、迁移并最终以增生楔的形式在中更新世出露于恒春半岛地区。

S09-O-11

珠江口盆地裂后阶段性差异沉降及其成因机制

郑金云*，庞雄，刘军，张忠涛，柳保军

1 中海石油(中国)有限公司深圳分公司，深圳 518054

* zhengjy3@cnooc.com.cn

位于南海北部陆缘的珠江口盆地，裂后沉降特征不同于陆内典型断陷盆地，具有显著的南海特色。基于珠江口盆地大面积三维地震数据、探井数据和 IODP 大洋钻探数据的研究表明，盆地裂后期发生了阶段性有序差异沉降，可分为四个阶段：①渐新世早期（~33-27Ma），以盆地整体缓慢沉降，大规模海侵为主要特征，但白云、荔湾凹陷内的地壳薄弱区岩浆活动依然较强；②渐新世晚期（~27-23Ma），以邻近西北次海盆的珠四坳陷强烈沉降为主要特征，凹陷内的岩浆活动显著减弱；差异沉降控制了陆架坡折带的发育和该时期陆架浅水-陆坡深水沉积环境的分布， U1501 井的沉积记录了沉积环境由陆架浅水向陆坡深水突变；③中新世早-中期（~23-10Ma），陆缘强烈沉降区向北扩展至珠二坳陷，尤其是白云凹陷，导致陆架坡折带向北跃迁，并奠定了现今陆架浅水和陆坡深水的沉积环境格局；④中新世晚期-现今（~10-0Ma），陆缘构造沉降逐渐减弱，形成开放陆坡，大量沉积物得以进入西北次海盆沉积，发育大型深水扇，并已被大洋钻探所证实。

渐新世两期快速沉降的初始时间，分别对应于南海扩张脊的跃迁，陆缘裂后沉降随扩张脊向南跃迁而向北扩展，并伴有岩浆作用的早强晚弱，而沉降量的大小则与裂陷期地壳的薄化程度正相关，反映了陆缘岩石圈经历了早期挠曲回弹的均衡调整和扩张脊跃迁导致地幔物质有序向南撤离而沉降的演化过程。珠江口盆地裂后有序差异沉降控制了陆架坡折带的发育，进而控制了浅水与深水两大沉积体系的展布。盆地不同拗陷带具有不同的构造沉降史，其热演化史必然具有同样的分带差异性，从而具有不同的成烃、成岩规律，为陆缘裂陷盆地的勘探和研究提供借鉴。

S09-O-12

缅甸中央盆地新生代物源演化

鲁毅*，邵磊

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* luyi962180@tongji.edu.cn

缅甸中央盆地新生代物源演变包含了喜马拉雅东南缘的隆升与伊洛瓦底江的发育演化事件，其中，雅鲁藏布江和伊洛瓦底江曾经连接的假说已经争论了超过半个世纪。为了验证这一假说，采用锆石 U-Pb 年代学和重矿物组合分析相结合的方法，对缅甸中部盆地(CMB)新生代地层的“源-汇”路

径进行研究。古新世和始新世中大量铬尖晶石的存在，始新世蓬当组锆石的非均质性，早始新世 M82 样品物源主要来自西侧印缅山脉核部三叠纪浊积岩，表明古新世和始新世的物源为局部来源；由于缺少喜马拉雅信号，渐新世和中新世早期的雅鲁藏布江-伊洛瓦底江连接也不可能存在。总结来说，伊洛瓦底江水系在新生代由小变大，逐渐扩展至现在的规模。在古新世和始新世，物源主要来自盆内西缅岛弧带，由发育于岛弧带的小河流向两侧搬运，印缅山脉核部对西部的弧前盆地有供源作用。早渐新世，伊洛瓦底江大河可能已经形成，流域扩展至抹谷变质带边缘，为中央盆地全盆地提供沉积物。晚渐新世和早中新世，伊洛瓦底江持续向抹谷变质带北部扩展，西缅岛弧带物源逐渐被抹谷变质带物源取代。自晚中新世以来，伊洛瓦底江扩展至现今的源头，达到现代的流域构型。此外，晚渐新世以来印缅山脉广泛抬升，为西部的沙林坳陷提供了部分物源。

S09-P-01

翼花介属（介形类）的一个谱系在南海北部新生界的种化过程

周保春[1]，李保华[2]，Carlos Zarikian[3]，金海燕[4]，钟大星[4]

1 上海自然博物馆（上海科技馆分馆），上海 200041

2 中国科学院南京地质古生物研究所，南京 210008

3 Texas A&M University, TX 77843, USA

4 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

* zhoubch@sstm.org.cn

翼花介属 *Cytheropteron* 是浅海陆架～深海盆中常见的底栖介形类。本研究追踪了 *Cytheropteron* 的一个复合种（species complex）在 IODP-368 航次 U1501 岩芯（南海北部 18°53.1’N，115°46.0’E，水深 2846 m，孔深 264.1 m）中的种化过程。种化从 *Cytheropteron cf. uchioi* 小型个体的出现开始（晚始新世），经历了该种的大型个体出现并与小型个体共存的中间阶段（始新世末～渐新世初）；最后亲种消失（早渐新世），体型较大的子种 *Cytheropteron cf. sinense* 登场（晚渐新世）。南海的其他岩芯记录和表层沉积样记录显示，*C. cf. sinense* 的出现时期不早于晚渐新世，且自出现以来基本上处于形态停滞状态（morphological stasis）并存续至现代。

始新世～中新世期间，本研究海域经历了陆架外缘－陆坡－海盆变迁过程，水深由~200 m 渐次增至~2500 m。导致 *C. cf. uchioi* 壳体逐渐增大并最终演化为 *C. cf. sinense* 的主因，可能是水深增加而带来的生存压力。与亲种相比，*C. cf. sinense* 除了拥有较大壳体、更加发育的表面斑点（puncta）之外，其铰合构造呈显著内凹形态。铰合构造的“幼态化”性状，可能也是进化过程中生存压力增加所致。

S09-P-02

南海北部珠江口陆缘区陆坡沟谷发育特征及其古气候响应

王智娜[1]，卓海腾[2]*，孙珍[1]，孙龙涛[1]

1 中国科学院南海海洋研究所边缘海与大洋地质重点实验室，广东广州 510301

2 中山大学海洋科学学院，广东珠海 519082

* zhuoht3@mail.sysu.edu.cn

沉积物跨越陆架向深水区输运的通道和机制问题正逐渐成为国际上的研究热点。近年来基于高精度地震资料的多个研究实例揭示出陆坡沟谷很可能在深水沉积物输运体系中起着重要的作用。南海北部陆缘在古珠江持续的沉积供给下，发育了典型的三角洲—海底峡谷深水源汇体系，是研究深水沉积物搬运的理想区域。

研究利用南海北部珠江口陆坡区近 6000km^2 三维地震资料，通过沉积地震学、

层序地层学等手段，在浅部第四系地层中识别出连接着古珠江三角洲与海底峡谷的深水陆坡沟谷群。这些沟谷发育于现今海底约416m至336m之间坡度约1.7°至1.9°的古陆坡上，呈树枝状从古三角洲向下汇聚于海底峡谷之中或消亡于陆坡上，最长可达20km，宽度最宽可达538m，最深处深度不超过30m，多期沟谷叠置的深度可超过80m。随着陆坡沟谷向下发育，其宽度和深度逐渐增大，达到最大之后便开始快速变窄变浅并汇入峡谷头部或消失，且在沟谷逐渐变狭窄的过程中快速出现沟谷地层向下切穿侵蚀的特征。

一般认为，裹挟大量沉积物向下运动的浊流或席状流是形成陆坡沟谷的直接作用力。基于对陆坡沟谷形成控制因素的探讨，认为在低角度陆坡、高海平面的条件下，唯有高沉积物供给的环境足以形成如此规模的席状流在陆坡上塑造出研究中所见的陆坡沟谷群。相比于世界上其他区域的深水陆坡沟谷，研究区的深水陆坡沟谷呈现出更宽缓、启动坡度更小的特点。综合各个因素，提出陆坡沟谷的发育可能与第四纪内的中更新世气候转型事件直接相关，该重大气候事件的发生导致沉积供给的明显增强，进而控制了陆坡沟谷的发育演变。陆坡深水陆坡沟谷的存在使得三角洲-海底峡谷的长距离沉积物运输成为可能，因此可以大大降低陆坡下方深水砂体的发育门槛，为深水砂体形成机制的研究提供了新思路。

S09-P-03

南海北部神狐海域陆坡地貌横向差异演化及其主控因素

王星星[1]*，孙启良[1]，Benjamin Kneller[2]，王英民[3]

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074

2 School of Geosciences, University of Aberdeen, Aberdeen, AB24 3UE, UK

3 中国石油大学（北京）油气资源与探测国家重点实验室，北京 102249

* xingx_wang@hotmail.com

深水陆坡地貌通常表现出横向差异性，随着其所处地质与海洋背景的不同，控制因素有所差异。基于神狐海域三维地震资料分析表明，神狐海域陆坡在第四纪早期表现为向海盆方向逐渐变陡的宽缓斜坡，横向差异性较小。随着珠江三角洲的不断进积，陆坡开始表现出明显的地貌横向变化，主要体现在三角洲、海底峡谷以及等深流沉积体系方面。三角洲朵体主要分布在研究区西部，三角洲前缘所发育的陆坡峡谷规模较东部峡谷更大。但是，神狐海域东部的等深流漂积体规模更大，并且伴生发育有等深流阶地。根据陆坡地貌随时间的差异演化，神狐海域北坡地貌演化可以分为三个阶段，包括阶段1（2.6-1.6Ma），阶段2（1.6-0.14Ma）以及阶段3（0.14Ma）以来，分别对应发育宽缓斜坡、三角洲和等深流漂积体。综合研究结果表明，神狐海域陆坡地貌的横向差异主要从阶段2开始显现，受控于三角洲、古地貌以及海洋动力的共同作用。三角洲朵体相对于早期峡谷的位置决定了阶段2中陆坡峡谷规模的差异演化；三角洲地貌（位置与前缘坡度）与海洋动力作用（等深流、内波）共同控制了阶段3等深流沉积过程的横向差异。本研究系统阐释了了宽缓陆坡如何演化为具有横向地貌差异的陆坡，研究结果有助于理解全球宽缓陆坡背景下层序地层构型横向差异演化及其对深水砂质储层分布的影响，对于深水油气勘探具有重要的指导意义。

S09-P-04

从微米级细颗粒到毫米级以上的粗颗粒- 高速动态图像法粒度粒形分析在地科样品中的应用及优势

杨侃*

1 弗尔德（上海）仪器设备有限公司，上海 201315

* k.yang@verder.cn

筛析法，激光粒度分析是地理，地质，河海沉积物及沙石填料颗粒度分析较经典和常用的方法。

但筛分法的分析速度较慢，分级较为粗糙。而激光粒度仪器在复杂样品，大颗粒样品的情况下，得到的数据与真实样品信息还是有一定的偏差。

所以随着地科科研及相关应用的发展，如何得到样本颗粒的真实粒径，真实形貌的数据，如何高速，精确的分析大动态分布的样本颗粒愈来愈重要。

借助动态数字成像技术，ISO 13322-2 动态图像法分析已经在国际相关领域有了广泛的成熟应用。

本 PPT 以德国 MICROTRAC MRB 公司研制的多功能动态图像粒度粒形分析仪器为例，向大家较为详细的介绍 ISO 13322-2 动态图像法分析方法。

以及利用该分析技术在地科，河海沙砾沉积物，及建材填料方面的多种相关应用和其优势。

显示了动态图像法，在不规则沉积物真实粒度粒形的测量，细颗粒与粗颗粒混合样本，与传统筛分方法兼容性方面，高速动态图像分析方法给出了一个优秀的解决方案。

显示了广阔的应用前景。

S09-P-05S

南海海盆沉积演化过程：基于沉积通量的计算分析

王菲[1,2]，丁巍伟[2,1]*

1 上海交通大学海洋学院，上海 200240

2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* wangfeiamy@163.com

南海是新生代形成的一个半封闭边缘海盆，其与开放大洋的物质交换十分有限，沉积物保存基本完整，对于了解西太边缘沉积的“源-汇”过程具有重要意义，并可以建立起沉积过程与区域重大构造事件（青藏高原隆升-剥蚀作用）、东亚季风演化、海平面变化等之间的系统联系。本次研究选取南海海盆作为研究区，基于覆盖整个海盆的高分辨率多道地震测线和国际大洋发现计划（International Ocean Discovery Program，简称 IODP）在南海海盆区获取的钻井数据，井震结合建立层序地层格架，计算不同地质历史时期沉积通量，从而对海盆的扩张-沉积过程进行定量化约束，并对控制因素和可能物源进行探讨，重建南海的沉积物搬运堆积过程。

沉积通量计算结果显示：渐新世以来，整个南海海盆和东部次海盆沉积通量呈现一直增加的趋势，而西北次海盆和西南次海盆沉积通量则呈现增加-减少-再增加趋势。这表明海盆沉积过程整体上受到大型构造事件（青藏高原隆升-剥蚀作用）、东亚季风演化（西太平洋暖池形成）、陆缘水系（珠江、湄公河等）及海底峡谷水道发育和相对海平面变化的控制，但不同次海盆在陆缘地形差异和局部构造事件（东沙隆起、台湾造山带）的影响下呈现出差异化沉积特征。

通过重建南海海盆扩张-沉积过程，对海盆区沉积的沉积物源进行分析。其中，西北次海盆沉积物主要源自珠江水系，不同时期也有来自红河、海南岛、陆架区局部隆起（如越南东部、一统暗沙）的贡献；西南次海盆沉积物在晚中新世之前主要来自南沙地区和巴拉望，而在之后主要来自于现代湄公河；东部次海盆沉积物早期可能有来自古韩江水系的贡献，在中中新世之后主要源自珠江水系，同时也有少量来自东沙隆起、印支半岛、巴拉望北部，尤其自 6.5Ma 台湾造山带形成后，在海盆东北部沿东沙-台湾浅滩-澎湖-高屏峡谷群和马尼拉海沟搬运堆积了巨量沉积物。

S09-P-06

南海东北部海域第四纪古珠江三角洲发育特征

聂鑫[1]*，彭学超[1]，邱燕[1]，卓海腾[2]，杜文波[1]

1 广州海洋地质调查局，广州 510760

2 中山大学，珠海 519000

* nie_xin@126.com

陆架边缘三角洲因其具有面积广、厚度大、储层发育等特点，在世界上已成为重要的油气勘探目标。本研究运用高分辨率单道地震资料，对南海北部珠江口盆地番禺低隆起陆架边缘三角洲——第四系古珠江三角洲地震相和沉积特征进行了详细分析，认为陆架边缘三角洲第四系主要为三角洲平原和三角洲前缘和前三角洲沉积。三角洲平原主要以水道相－天然堤相组合为特征，频繁发生水道下切与改道。三角洲前缘主要以大型的前积地震相为主，随着海平面升降及物源供给变化，前缘带不断进积，由陆架向陆坡方向生长，三角洲前缘砂体前积受控于坡折带。前三角洲特征不明显。综合分析表明第四纪以来，珠江三角洲在海平面旋回的控制下不断迁移，共发育了 6 期主要的三角洲层序，直至现今的高位珠江三角洲进积层序被限制在内陆架区。

S09-P-07S

琼东南盆地大崖城区古近系裂陷期地层结构及源-渠-汇特征

汤智逸，解习农*，何云龙，余笑航，时梦临，王晓

1 海洋地质资源湖北省重点实验室，武汉 430074

* xnxie@cug.edu.cn

利用三维地震、钻井资料，通过古地貌恢复、锆石 U-Pb 定年等方法，建立大崖城区古近系地层格架，并对沉积物进行“源-汇”对比分析，深入剖析了陆缘断陷的“源-汇体系”，重建 3 渠(断槽型、断坡型和断丘型)2 汇(近源和远源)的“源-渠-汇”体系特征。大崖南区断陷盆地的层序发育受断裂坡折控制，可分为早期小断陷型、中期断陷型和晚期断坳型 3 期裂陷幕：裂陷早期始新统以盆内局部物源输入为主；伴随海平面上升的影响，裂陷中期崖三段汇集渠由崖南凹陷近源“单汇”转变为乐东陵水凹陷远源汇和崖南凹陷近源汇“双汇”，崖二段和崖一段沉积时期崖南低凸起物源供应作用开始减弱，盆外物源输入增强，崖城凸起通过断槽型、断坡型和断丘型“渠”供源，近源汇区-崖南凹陷主要由崖城凸起中部断坡型和断丘型“渠”供源，远源汇区-乐东凹陷主要由崖城凸起西侧断槽型与东侧断坡与断丘型“渠”供源；晚期断坳期陵水组时期受高海平面影响，物源以海南岛隆起为主，越南和崖南低凸起供应物源有限，崖城凸起搬运渠道向北部缩减至消失。其中，断槽型、断坡型和断丘型 3 类“渠”控制了陆源碎屑的供给，也控制了大崖南区源-汇的总体特征。

S09-P-08S

构造—岩浆改造型盆地古地貌恢复与控砂机制—以珠江口盆地陆丰凹陷 22 洼古近系为例

张文淼[1]，鲜本忠[1,2]*，王俊辉[1,2]

1 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249

2 油气资源与探测国家重点实验室，北京 102249

* xianbzh@cup.edu.cn

改造型盆地在改造前后盆地面貌发生重大改变，造成对盆地原始古地貌特征和砂体发育规律的认识不清，制约了油气勘探。珠江口盆地陆丰凹陷 22 洼为东沙隆起上的残留洼陷，在古近系发育过程中构造运动强烈，普遍发育岩浆活动，地层大量被翘倾剥蚀，属于典型的构造—岩浆改造型盆地。研究基于钻测井与三维地震资料，划分了古近系地层格架，识别了岩浆活动并分析其地质

影响，建立了改造型洼陷古地貌恢复方法，结合钻测井与地震相分析落实了砂体分布，探讨了控砂机制。研究基于边界断裂与岩浆活动空间组合关系划分出 3 种地层样式，认为陆丰 22 洼以岩浆底辟作用改造为主，同时受惠州运动影响，古近系下文昌组沉积期盆地南部缓坡带遭受大量剥蚀。建立了构造、层序与岩浆活动三因素控制下的多期次古地貌恢复方法，恢复了陆丰 22 洼原始古地貌与古水系，明确了发育断槽、W 型谷、V 型谷等物源通道与展布特征。基于钻测井与地震相解释认为北部陡坡带发育扇三角洲，南部缓坡带发育辫状河三角洲。结合断裂组合与坡度分析，认为陡坡带盆缘构造调节带控制物源入口，盆内构造调节带控制水系与砂体分散路径，缓坡带沟槽控制物源入口，沉积坡折二台阶控制砂体展布。研究为恢复构造—岩浆改造型盆地古地貌与砂体展布分析提供借鉴。

S09-P-09

南海南部曾母盆地沉积特征分析

孙中宇*，吴时国，秦永鹏

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

* sunzy@idsse.a.cn

曾母盆地位于南海南部减薄陆壳远端，为南海减薄陆壳与印支地块的拼合处，是研究南海南部远端裂陷盆地特征的绝佳场所。曾母盆地南部为巽他陆架，东部为加里曼丹岛，这为盆地沉积提供了充足的物源。前人在该地区的研究主要为地层层序的划分，缺少整体的沉积特征探究，现结合多条地震测线对曾母盆地内部的沉积进行研究。

在纵向上沉积主要以几个不整合界面为标志的南海张裂活动划分为不同的特征，主要分为前裂谷沉积特征，同裂谷沉积特征和后裂谷沉积特征。其中前裂谷沉积层受火山和南海扩张前的拉张作用，导致沉积层变形以及部分的火山侵入，使得地层在地震剖面上同向轴较为杂乱，模糊不清；同裂谷时期的沉积受到南海扩张和海平面的变化的影响，地层为振幅较高的粗粒浅海相和振幅较低近透明的深海半深海相沉积层的旋回，其中大型断裂控制的半地堑内部这种沉积旋回非常明显，地层内部发育很多正断层。后裂谷时期的地层南北深水沉积和巽他陆架的沉积不同，北部的深水区，在南海张裂结束后的沉积主要为透明半透明成层性非常好的深海半深海细粒沉积，其中在 2Ma-5Ma 间夹杂着少部分粗粒的沉积，可能是因为海平面的上升或者该时期的物源发生变化；在该地层中还有底流的存在；而在曾母南部的浅水区，陆架和陆坡处均为快速进积的三角洲沉积，以重力流沉积为主，粒度很粗，由于沉积速率较快所以在大陆坡上存在大量的滑坡，这些均是在南海张裂结束之后的沉积，尤其是在最近 5Ma 才有的这么丰富的三角洲沉积。

可以看出曾母盆地的沉积地层总体上可以划分为南海张裂结束之前和张裂结束后这两种地层，张裂结束前的地层受构造影响强烈，地层有着不同程度的变形，而在张裂后在深水区域的为深海半深海沉积，浅水区域三角洲快速进积，为三角洲相。

S09-P-10S

北大西洋岩石圈伸展破裂过程与被动陆缘盆地地层样式

余笑航，解习农*，罗盼，王晓，时梦临，汤智逸

1 海洋地质资源湖北省重点实验室，武汉 430074

* xnxie@cug.edu.cn

被动陆缘盆地由于其丰富的油气资源的赋存而备受石油地质学家们的广泛关注，逐渐成为当今油气勘探的热点领域。基于多阶段、非瞬时的岩石圈破裂模式，利用高分辨率地震资料、钻井资料，揭示了北大西洋扩张与岩石圈伸展破裂过程，进一步总结了

贫岩浆型与富岩浆型两种不同背景下的被动陆缘的构造单元地层样式。北大西洋从南向北呈现多幕 v 字形渐进式扩张的特点；破裂不整合界面作为同裂谷期和漂移期重要分隔界面，其形成时间在北大西洋加拿大东部各被动陆缘盆地内从南向北逐渐变新。北大西洋岩石圈破裂过程大多经历了伸展、薄化、剥露、裂解四个阶段，空间上分别对应于从陆到洋划分出近端带、细颈化带、远端带和边缘高地（含 OCT）四个构造单元分带；并且，不同构造单元的沉积充填及地层样式存在明显差异。伸展阶段发育以高角度断层为特征孤立断陷盆地；薄化阶段发育以低角度拆离为特征的大型拆离断陷盆地；剥露阶段主要在细颈化带外侧与远端带发育凹陷沉积，直至洋壳出现的裂解阶段时，整个陆缘形成大范围的坳陷沉积。总体上，北大西洋贫岩浆型与富岩浆型被动陆缘在一级构造单元上呈现出相似性，但其构造地层样式也存在一定的差异，主要体现在同裂谷期地层样式。上述认识为全球被动陆缘盆地发育演化研究提供了对比和借鉴，并对被动陆缘深水油气勘探具有重要指导意义。

S09-P-11S

渤海海域深层潜山成山过程分析及裂缝发育特征

时梦临，解习农*，任亚平，余笑航，汤智逸，王晓

1 海洋地质资源湖北省重点实验室，武汉 430074

* xnxie@cug.edu.cn

近年来，随着油气勘探领域的不断扩大，在寻找新生代陆相碎屑岩沉积盆地油气资源的同时，对前新生代油气资源的勘探也愈来愈受到重视，在渤海海域，我国陆续发现深层潜山油气藏的存在，如渤中 28-1 油田、渤中 19-6 油田、蓬莱 9-1 油田等，揭示了渤海海域深层潜山具备巨大的油气勘探潜力。但潜山的勘探还处于摸索阶段，对于复杂多样化的潜山结构和成因类型缺乏系统的研究，制约了对潜山油气成藏的规律的认识。为此基于该区域的三维地震资料、钻井资料和薄片资料，在区域地质背景分析的基础上，通过古地貌恢复、3Dmove 模拟等方法，建立了渤海海域前新生代地层格架，阐明了区域造山运动和大型断裂系统对潜山形成演化过程的控制作用，分析不同时期的构造应力场及其叠加变化，确定裂缝的发育期次和形成机制，为潜山油气藏的勘探提供依据。研究结果表明，印支期主要发育大型褶皱和叠瓦状逆冲推覆构造，地层受 NWW 向延伸的褶皱逆冲断裂系统的控制而有规律的变化，而燕山期发育多条规模较大的 NNE 向走滑断裂，其与 NNE 向的逆冲断裂、叠瓦式逆冲岩片和相伴的褶皱一起构建了区域燕山期复杂的断裂系统。对于该区域中深层裂缝发育特征研究，指出印支-燕山期逆冲断层带和褶皱转折端、喜山期走滑断裂带及多期断裂系统交汇部位是裂缝发育有利区，裂缝的走向、倾向和倾角均对区域的含油气性变化有影响。

S09-P-12S

琼东南盆地大崖城区古近系优质储层预测研究

杜荣青，解习农*，李珊珊，何云龙，余笑航，时梦临，王晓

1 海洋地质资源湖北省重点实验室，武汉 430074

* xnxie@cug.edu.cn

琼东南盆地大崖城区古近系储层为断陷期碎屑岩储层，储层物性非均质性除受到沉积环境及岩性等因素影响以外，还受到成岩作用的影响。通过对大崖城区古近系储层物性分析发现，研究区储层在 1700m-3200m，3300-4100m，4100-5600m 三个深度范围内，出现异常高孔隙带。进一步对研究区成岩作用分析发现，1700m-3200m 中浅层异常高孔隙带与有机质热演化早期释出的有机酸溶蚀有关；大崖城区崖南低凸起、崖 13-1 低凸起等地区在古近纪崖城组沉积期末、陵水组

沉积期末均经历抬升剥蚀，大气淡水淋滤溶蚀形成了有利次生溶蚀孔隙发育，故深层砂岩储层既受到有机酸溶蚀和大气淡水淋滤溶蚀，也受到超压抑制压实等因素的影响，超压可以有效抑制压实作用，对储层产生了强大的支撑作用，保存了孔隙度；因此，3300-4100m 中深层异常高孔隙带既与有机酸溶蚀有关，也与超压对原生孔隙的保存有关；而 4100-5600m 深层异常高孔隙带主要由储层传导超压引起。基于以上对大崖城区储层物性以及成岩作用的分析发现，沉积作用与超压作用对研究区优质储层的分布起到了主要贡献作用。随着储层埋深的不断增加，储层岩石所经受的温度、压力及孔隙水的物理化学性质不断变化，导致岩石的孔隙度及储集性能发生变化，为大崖城区古近系优质储层的发育提供有利条件。

S09-P-13

南海北部海平面升降旋回中沉积物的的元素响应关系

刘正华[1]，邵磊[2]*，乔培军[2]，李前裕[2]

1 上海自然博物馆（上海科技馆分馆）自然史研究中心，上海 20012

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* lshao@tongji.edu.cn

海平面的升降旋回变化会在沉积物中留下各种地质记录，元素地球化学响应无疑是其中重要的记录之一。本次研究中采用同位素地球化学、元素地球化学和生物地层学相结合的方法，对南海北部的典型探井的沉积物开展了有孔虫属种分布特征、沉积环境演化特征、稀土元素和 Sr 同位素分布特征分析，并探讨了他们与海平面升降旋回变化的响应关系。研究表明：1）从渐新世到上新世，海平面呈多个周期性升降旋回变化，总体呈现逐渐升高的趋势，渐新世最低，上新世最高。沉积环境从渐新世到早中新世的河湖陆相环境，过渡到早中新世中期的滨浅海环境，中中新世晚期以后进入浅海内陆棚沉积环境，上新世以后全面进入浅海外陆棚沉积环境。2）海平面升降旋回变化中，ΣREE、δCe、$^{87}Sr/^{86}Sr$ 分别表现有很好的响应关系。ΣREE 反映海洋中悬浮沉积物粘土对稀土元素的吸附能力，有明显的粒径效应，与海平面变化呈正相关；δCe 反映海平面升降旋回中氧化还原环境的变迁，与海平面变化呈负相关，而 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 同位素比值受控于壳源物质风化作用，反映陆源输入的控制与海平面升降呈负相关。3）研究中ΣREE、δCe、$^{87}Sr/^{86}Sr$ 元素峰值与钙质超微生物事件以及生物分带有很好的对应性，有助于确定元素突变界面的地质年代，并进行地质事件对比研究。通过沉积物的元素偏移将渐新世至中新世共划分出 13 个三级海平面升降旋回，其中渐新世 2 期，早中新世 3 期，中中新世 5 期，晚中新世 3 期。中新世时期对应的 13.8Ma 的大海退事件在ΣREE、δCe、$^{87}Sr/^{86}Sr$ 元素突变幅度上有明显记录。上述研究为海平面变化研究提供了可靠的地球化学依据。

S10-O-01

深渊海沟沉积有机碳的分布、来源和埋藏

许云平[1]*，李芯芯[2]，罗敏[1]，肖文杰[1,2]，方家松[1]，Ronnie Glud[3]

1 上海海洋大学深渊科学技术研究中心

2 南方科技大学海洋科学与工程系

3 Department of Biology, Hadal, Nordcee & DIAS, University of Southern Denmark

* ypxu@shou.edu.cn

深渊区是指水深超过 6000 米的海域，主要由俯冲带海沟组成。由于巨大的水深、超高的压力、冰冷无光的极端环境，深渊区长期被认为是一个“生态荒漠”。然而近年来的少量研究显示，深渊海沟有着远高于深海平原的底栖生物量和微生物活动，甚至可能是深海的碳埋藏中心。由于极大深度带来的

各种挑战，深渊区目前仍然是地球上最不被人类所了解的生态环境之一。过去几年里，课题组获取了马里亚纳、玛索、新不列颠、布干维尔、克马德克、阿塔卡马等 6 条海沟的沉积物样品，通过粒度、总有机碳（TOC）、氮(TN)含量，TOC/TN 比值、稳定和放射性有机碳同位素（$\delta^{13}C$、$\Delta^{14}C$）以及生物标志物（如烷烃、脂肪酸、脂肪酸）等地球化学参数的分析，比较了不同类型海沟（高 vs. 低生产力；强烈陆源输入 vs. 低陆源输入）的深渊站位和非深渊站位（临近深海平原和陆向斜坡），结合前人文献，在全球尺度上评估了深渊沉积有机碳的含量、来源和埋藏特征。多参数的数据结果显示： 1）深渊有机碳具有明显的海沟间和海沟内异质性，这为估算全球深渊有机碳的通量带来了巨大的挑战； 2）相比临近非深渊站位，深渊站位往往具有更加不稳定的沉积特征，这可能与俯冲带海沟独特的“V”形地貌、频繁的地震和浊流活动有关；3）$\delta^{13}C$、TOC/TN 和生物标志物的数据揭示部分海沟（如阿塔卡马、克马德克和新不列颠海沟）的沉积有机碳具有显著的陆源信号，说明深渊海沟可能是深海一个重要的陆源有机碳汇，尽管另一些海沟如日本海沟和马里亚纳海沟的沉积有机碳仍为海源输入为主。未来的工作需要结合生物学手段，深入评估深渊有机碳的沟间和沟内差异如何影响深渊生态系统和微生物介导的生物地球化学过程。

S10-O-02

西沙北海底峡谷底栖塑料垃圾的分布及成因

钟广法 [1]*，彭晓彤 [2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 中国科学院三亚深海科学与工程研究所，海南三亚 572000

* gfz@tongji.edu.cn

西沙海槽是南海北部规模最大的海底峡谷之一，其走向为近东西向，与北东走向的南海北部大陆边缘斜交。西沙海槽的北部，发育有数十条规模较小的海底峡谷，统称为“西沙北海底峡谷群”，这些峡谷大多发源于陆架边缘~上陆坡水深 300-500m 区域，呈 NNW-SN 走向，由北往南汇入西沙海槽。多波束地形资料表明，西沙北海底峡谷的谷底崎岖不平，间或分布有直径数百米~数千米的冲坑。本文通过载人深潜考察研究西沙北海底峡谷群东部三条无名海底峡谷中底栖塑料垃圾的分布，探讨谷底地貌对底栖塑料垃圾分布的影响及垃圾的扩散机制。结果表明，西沙北海底峡谷中，底栖垃圾以塑料为主，其含量高达 89%；垃圾的产状有分散状和聚集式（垃圾堆）两种。88%的分散状垃圾和全部垃圾堆都分布在谷底为数不多的几个冲坑中。垃圾堆的长度介于 2-61 m 之间，平均宽度和平均高度分别为 0.5-8 m 和 0.1-1.2 m。在大的漂砾或谷底地形凸起部位，垃圾无一例外分布在这些正地形的上游侧，表明底栖垃圾的扩散以顺坡搬运为主。多数垃圾堆并未分布在冲坑最深部位，而是在冲坑下游逆坡倾斜的斜坡带上，从而排除了顺坡重力滚落形成垃圾堆的可能性。垃圾的这种特殊分布样式可以用超临界浊流动力学理论加以合理解释，即从冲坑上游陡坡带倾泻而下的高速超临界浊流，在到达坡底冲坑最深部位附近时发生水跃，之后转变为流速较低的亚临界流，并导致垃圾大量堆积在冲坑下游逆坡倾斜的斜坡带上。粒度分析表明，谷底沉积物主要由泥质粉砂和砂质粉砂交互组成，其粒度分布符合浊流沉积特征，为上述解释提供了沉积学证据。此外，我们还注意到，不同海底峡谷之间底栖垃圾的丰度变化很大。三条海底峡谷中，中间的海底峡谷垃圾丰度最高，其次为东部峡谷，西部峡谷的丰度最低。峡谷间垃圾分布的差异可能与垃圾的供应有关。中部峡谷的头部延伸到陆架内部约 20km，东部峡谷也延伸至陆架内，但距离稍短，而西部峡谷总体为陆坡限定性峡谷，其头部位于陆架边缘，并未延伸至陆架内部。似乎峡谷头部延伸进陆架的距离越远，峡谷头部所能捕获的来自陆架的塑

料垃圾供应就越多，毕竟陆架区更靠近陆地，陆源垃圾的含量明显高于陆坡；同时，陆架区的渔业和航运活动也比陆坡区更频繁，海源垃圾丰度也更高；加上南海北部陆架台风活动频繁，且常年发育有复杂的海流，包括广东沿岸流、南海暖流等，从其他海域搬运而来的垃圾供应也更多。本文的研究表明，西沙北海底峡谷中底栖塑料垃圾的分布具有高度的不均匀性，谷底冲坑是垃圾聚集的主要场所，浊流可能是底栖塑料垃圾在峡谷中扩散的主要机制；峡谷头部延伸至陆架的远近可能决定了塑料垃圾来源的多寡。此外，考虑到深海底流活动不易观测，底栖塑料垃圾作为一种特殊的人造沉积物，具有很多天然沉积物所不具备的特点，如鲜艳的颜色、特殊的形状、较大的粒径（数十厘米甚至更大）和较低的密度，因此塑料垃圾可以作为一种潜在的示踪剂，用来重建或追溯现代深海底流活动。

S10-O-03

南海现代沉积物来源探讨：以主量元素为例

李涛*，李学杰，张江勇

1 广州海洋地质调查局，中国地质调查局，广州 510760

* lukelitao80@163.com

近些年来，南海现代沉积物的来源与输运受到了越来越多的关注，研究们已利用粒度、黏土矿物和孢粉等物源示踪物探讨南海沉积物从陆到海的输运过程。大量的研究表明南海现代沉积物是由陆源物质、生物遗骸、火山物质和粉尘等混合物组成的，而定量化研究这些物源以及它们对南海现代沉积物的贡献对理解南海从“源”到“汇”的物质运移过程至关重要。然而，过去开展的“源”“汇”研究以定性分析为主，如何从定性分析到定量化的研究一直是个盲点和难点。本研究首次将物源分析定量方法用于南海全域，分析数据来自 1987 个表层沉积物中的主量元素含量，使用的分析模型是正定矩阵分解法（PMF），目的是揭示这些元素主要的来源以及各物源区对南海沉积物的相对贡献率。不过，由于 PMF 模型计算出的 MnO 和 P_2O_5 信噪比过低，为优化模型，仅 SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、CaO、MgO、K_2O、Na_2O、TiO_2 和烧失量（LOI）等 9 个元素参与模型的构建。PMF 模型共识别 4 个因子，对应 4 个不同的来源。因子 1 代表 SiO_2，该因子对陆架沉积物贡献最大，可能源于陆架残留沉积。因子 2 代表 TiO_2、Fe_2O_3、Al_2O_3、K_2O 和 MgO，该因子对南海北部、西部近岸海域以及台湾–吕宋海域贡献最大，可能系河流搬运产物。因子 3 代表 CaO 和 LOI，该因子对大陆坡沉积物贡献最大，可能与钙质生物有关。因子 4 代表 Na_2O；该因子在吕宋–巴拉望–婆罗洲岸外沉积物贡献最大，可能与火山活动有关。4 个因子的贡献率空间分布趋势与南海海流模式具有一定的关系，尤其是南海北部的深水流对因子 2 代表的 TiO_2、Fe_2O_3、Al_2O_3、K_2O 和 MgO 等元素的输运具有十分重要的作用。本研究成果将对现代南海元素地球化学循环的研究提供基础资料和参考依据。

S10-O-04

晚第四纪亚洲低纬度深海沉积过程：矿物学示踪

于兆杰 [1]*，Christophe Colin[2]，万世明 [1]

1 中国科学院海洋研究所，青岛 266071

2 Université Paris-Saclay，France 91405

* yuzhaojie@qdio.ac.cn

传统观点认为 65° N 日射量驱动的高纬冰量变化控制了第四纪气候旋回，即“高纬驱动”理论。相对地，低纬海洋记录研究发现，其水、碳循环可直接响应地球轨道变化，即“低纬驱动”理论。然而，“低纬驱动”理论仍需要更多证据支持。第四纪亚洲大陆“源-汇”过程受气候，尤其是低纬水循环的强烈影响，是验证高、低纬驱动理论的天然

试验品。我们利用西菲律宾海（主要是吕宋岛河流输入）和北印度洋（主要是南亚大陆河流输入）的数根深海岩芯，开展了第四纪低纬深海沉积过程对比性研究。利用西菲律宾海 MD06-3050 沉积矿物学记录重建了 2.36 Ma 以来构造-轨道时间尺度热带西太平洋高分辨率的陆源输入的历史，发现控制该“源-汇”过程的主要因素是类 ENSO 系统调控的亚洲夏季风降水演化。利用北印度洋 IODP U1457 和 MD77-186 沉积矿物学和地球化学记录，重建了 600 千年以来轨道-亚千年时间尺度南亚大陆陆源输入历史，发现轨道时间尺度控制该“源-汇”过程的主要因素是亚洲季风和海平面影响的沉积物输运，而千年时间尺度主要是类 ENSO-IOD 系统调控的夏季风降水演化。

综合来看：吕宋岛和南亚大陆沉积物输运受控于热带类 ENSO 系统（Walker 环流）调控的亚洲季风降水演化。当类 ENSO 系统相位趋向于 La Niña 模态时，Walker 环流较强，降雨带被限制在印度-太平洋交汇区，此时东亚夏季风被反气旋加强，而南亚夏季风被印度洋纬向东风异常削弱，此时吕宋岛河流剥蚀增强，沉积物输运增强，而南亚地区高山地区剥蚀减弱，沉积物输运减弱，在冲积平原地区停留时间延长，化学风化作用相对加强；相反地，类 ENSO 系统相位趋向于 El Niño 模态时，上述情况如“跷跷板”一样出现相反的情况。该研究基于吕宋岛 vs 南亚大陆陆源物质深海沉积过程对比研究，提出了亚洲低纬度深海沉积“源-汇”过程新认识，促进了“源-汇”理论发展。发现类 ENSO 系统通过影响降水而引起河流剥蚀风化输运的跷跷板效应，揭示了其具体机制，从“源-汇”过程研究角度提出低纬驱动新证据。

S10-O-05

深海沉积物释光年代学及其古海洋研究意义

姜涛 [1,2]*，胡亦潘 [1,2]，Maqsood Ur Rahman[1,2]，周从艳 [1,2]，陈康林 [1,2]

1 中国地质大学（武汉）海洋地质资源湖北省重点实验室，武汉 430074

2 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074

* taojiang@cug.edu.cn

深海沉积物由于其沉积过程相对连续和稳定，记录了古海洋演化信息。为了从这些深海沉积物中准确解译其蕴含的古海洋演化信息，高精度的测年技术不可或缺。由于光释光测年技术作为一种绝对测年方法，可准确测定晚更新世以来沉积物中的矿物颗粒自末次曝光以来的沉积埋藏年龄，近十余年已在深海沉积研究方面取得了重要进展，但仍然存在如深海柱状沉积物获取成本高昂、光释光样品取样条件相对苛刻、以及深海大洋中陆源碎屑沉积物含量低以至于缺少必要的测年矿物石英和长石等诸多条件的限制。本文将分别以中国南海 IODP349 和澳大利亚西南 IODP369 航次为例，介绍深海沉积物释光年代学的进展及存在的问题，尤其是在深海沉积物中发现了一种新的光释光测年对象——硅质海绵骨针。通过对海绵骨针释光性质和测年准确性的研究表明，硅质海绵骨针光释光测年将可以有效解决深海环境中缺少常见释光测年对象的难题，有望在深海沉积物沉积时间的准确厘定及其所约束下的古海洋研究方面提供一种新的绝对测年手段和方法。

S10-O-06

利用鱼骸化石和有孔虫的古海水 Nd 同位素重建全新世腐泥层时期的地中海环流

吴家望 [1,2]*，Katharina Pahnke[3]，Philipp Böning[3]，武力 [1]，Annie Michard[4]，Gert J. de Lange[1,2]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室，上海 200092 中国

2 Department of Earth Sciences–Geochemistry, Utrecht University, 3584 CC Utrecht, The Netherlands

3 University of Oldenburg, ICBM, 26129 Oldenburg, Germany
4 Aix Marseille University, CEREGE, 13545 Aix-en-Provence, France
* jwwu@tongji.edu.cn

该研究还原了东地中海海水 Nd 同位素值在全新世腐泥层 S1 时期的特征及其变化，以期探讨腐泥层形成过程时期地中海的温盐环流和水体结构。鱼骸和有孔虫被认为是底层水体 Nd 同位素的可靠载体；我们的研究样品来自 9 个珍贵的沉积物钻孔，在空间和深度上覆盖了整个东地中海。此外，我们还对 3 个地中海岩芯的沉积物淋滤液进行 Nd 同位素分析。这些数据使得我们能够分析水团的来源和混合情况，并进一步评估地中海的温盐环流。研究结果表明，在约 800 米的深度以下，东地中海的水体是基本停滞的，并且这种状况存在于整个腐泥层 S1 时期。东地中海的水体停滞状况很可能在早于腐泥层 S1 的形成数千年时就开始发育，而与腐泥层 S1 的结束基本同步。进一步的箱式模拟结果显示，东地中海和西地中海的水体交换（间隔西西里海峡）在腐泥层 S1 时期大幅减少（约降低到现代值的 48–72%），对应于尼罗河输入量的 2–3 倍增长（包括水量和颗粒通量）。在此期间，东地中海的中层水减少，而深层水则很可能停止形成，但西地中海的环流应该仍然运行如常。这种关于东、西地中海深部环流特征的差异表明，深水停滞很可能是腐泥层形成的先决条件。

S10-O-07

南海生物泵输出通量的年际差异与调控机制

李宏亮[1,2]，张静静[1,2]，武则州[1,2]，冉莉华[1,2]，陈建芳[1,2]*

1 自然资源部海洋生态系统动力学重点实验室，杭州 310012
2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
* jfchen@sio.org.cn

海洋生物泵是物理驱动、营养盐供给、浮游生物响应和颗粒有机碳输出之间的中间纽带，对大气 CO_2 浓度和全球气候系统具有重要的调控作用。厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）作为全球气候年际变化的主导模式，显著改变了海洋生物地球化学循环。在 1997-1999 年的超强 ENSO 事件中，南海生物泵呈现低效的现象。而在东赤道太平洋，从 El Niño 转变至 La Niña 相位时，生物泵强度和效率通常会反弹到较高水平。本研究基于时间序列沉积物捕获器获得的沉降颗粒物数据结合水体观测和卫星遥感资料，探讨了 ENSO 转换期间南海上层水体层化程度、温跃层深度波动、黑潮入侵强弱以及矿物压载效应等对生物泵强度和效率的影响。

S10-O-08

基于天然碳同位素的南海沉降颗粒有机碳来源分析

张静静[1,2]，李宏亮[1,2]，Tim I. Eglinton[3]，Martin G. Wiesner[4]，陈建芳[1,2]*

1 自然资源部海洋生态系统动力学重点实验室，杭州 310012
2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
3 Geological Institute, ETH Zurich, Zurich, Switzerland
4 Institute of Geology, University of Hamburg, Hamburg D-20146, Germany
* jfchen@sio.org.cn

海洋颗粒有机碳向深海的输出通量是碳循环研究中最不确定的参数之一。尤其是边缘海海盆，受陆源有机质及陆架-陆坡再悬浮沉积物侧向输入的影响，其深层沉降颗粒有机碳可能并不完全来自真光层的生物活动，因此往往高估了现今海洋生物泵输出的贡献。迄今，关于南海海盆颗粒有机碳输出通量的时空差异研究大都归因于真光层生物生产过程的变化，而忽视了侧向输运的贡献。本研究以南海时间序列沉积物捕获器

样品为研究对象，通过碳通量、碳同位素（^{13}C 和 ^{14}C）分析，发现南海中、深层沉降颗粒有机碳主要来源于新鲜的上层海洋，其中南海盆区有机碳年龄最为年轻，侧向来源的影响显著小于陆坡区域。

S10-O-09

1991 年皮纳图博火山灰沉降物对南海硅藻生长的影响

夏志颖[1,2]，冉莉华[2,3]*，Martin G Wiesner[3,4]，梁宇钊[2]，任健[2]，李冬玲[1]

1 宁波大学 地理与空间信息技术系，宁波 315211
2 自然资源部海洋生态系统动力学重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
3 卫星海洋环境动力学国家重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
4 德国汉堡大学，海洋生物地球化学和海洋化学研究所，汉堡 D-20146
* lihuaran@sio.org.cn

本文通过对菲律宾皮纳图博火山爆发前后南海表层沉积物及沉降颗粒物中的硅藻丰度及群落组成进行分析，借此了解皮纳图博火山爆发对南海硅藻生长的影响。研究发现，1991 年皮纳图博火山喷发物沉降到南海后，提高了沉积物沉积速率，同时稀释了表层沉积物中的其他组分，导致表层沉积物中硅藻相对丰度显著减少。进一步对比研究火山爆发前后的沉降颗粒物，发现火山爆发一年后的沉降颗粒物中仍然有大量火山玻璃的存在，从而导致沉降颗粒物总通量乃至湿化学法所测得的生物硅通量明显增加，而硅藻相对丰度和通量均显著降低，表明火山爆发后南海硅藻生产力有所降低。因此，根据本文研究结果可以得知 1991 年皮纳图博火山爆发释放出的火山灰沉降至南海中，在一定程度上抑制了南海海盆硅藻的生长，而生物硅通量的提高则可能与沉降颗粒物中火山玻璃的溶解有关，而非硅质生物生产力提高所致。

S10-O-10

南海西部沉积物捕获器中的浮游有孔虫群落与同位素研究及其古环境指示意义

李保华[1]*，陈建芳[2]，俞宙菲 1*，Ismail Ladigbolua[2]，李宏亮[2]，张静静[2]，Martin Wiesner[2]，孙麟[2]，冉丽华[2]

1 中国科学院南京地质古生物研究所
2 自然资源部第二海洋研究所
* bh-li@nigpas.ac.cn, zfyu@nigpas.ac.cn

研究针对南海西北部和西南部两个沉积物捕获器中的浮游有孔虫群落组成与定量统计分析，集合不同季节中的浮游有孔虫多属种同位素组成研究，揭示了高营养种 *Neogloboquadrina dutertrei* 、 *Globogerina bulloides* 、 *Globigerinoides ruber* 和 *Globigerinita glutinata* 等在 2014 年南海西南部夏季上升流盛行期增高，响应于表层初级生产力的增高；而中-寡营养种通量和含量均在此期间减少。南海浮游有孔虫重要属种 *Globigerinoides sacculifer*、*Gs. ruber* 和 *N. dutertrei* 在南海西部的钙化深度分别为 0-42m、30-65m 和 75-100m，平均生活温度为 25°C、23.3°C 和 20.3°C。这些混合层与温跃层水体浮游有孔虫组成与同位素图中与季节性温度差异与区域风场强度密切相关，证实了利用上层水体温度、同位素组成以及高产力种 *N. dutertrei* 含量指示南海古上升流(季风)活动的可靠性。研究受中国科学院(B 类)战略性先导科技专项项目(XDB26000000)、自然资源部“全球变化与海气相互作用”专项项目(GASI 03-01-06-02)、国家自然科学基金项目（41776073、41906058 和 41906045）等资助。

S10-O-11

南海东北部悬浮颗粒物中粘土矿物的长期变化：指示季风驱动的深海沉积搬运过程

凌晨，刘志飞*，赵玉龙，张艳伟，张晓栋，张靖雯

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* lzhifei@tongji.edu.cn

海洋悬浮颗粒物是记录现代搬运、沉积过程信息的良好载体。本研究利用吕宋海峡西侧深海锚系站位 500 m、2000 m 和 3800 m 水层时间序列沉积物捕集器连续 6 年采集的悬浮颗粒物样品，通过沉降通量和粘土矿物 X 射线衍射（XRD）分析，揭示出南海东北部陆源碎屑搬运过程的时空变化特征。结果显示，陆源碎屑通量和粘土矿物组合的时间序列变化与季风转换具有显著的相关性，冬季风期间陆源碎屑通量和蒙脱石/（伊利石+绿泥石）比值明显升高，夏季风期间则相对较低。这一现象与第四纪冰期/间冰期尺度和千年时间尺度上的传统认识相悖，表明夏季风期间强盛的季风降雨虽然增加了河流沉积物的输入，但是陆源碎屑只能滞留在近海，而冬季风驱动更强的洋流和波浪引起的再悬浮作用才是将陆源碎屑搬运至深海的潜在机制。本研究首次通过长期原位观测揭示了东亚季风对南海深海沉积搬运过程的驱动机制，对讨论沉积记录中的古环境变化具有重要指示意义。

S10-O-12

西菲律宾海硅藻席沉积中的多囊虫类放射虫记录及其环境意义

张兰兰[1]*，胡邦琦[2]，邱卓雅[1]，郭建卫[2]，丁雪[2]，陆钧[1]，向荣[1]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广东广州 510301

2 青岛海洋地质研究所，山东青岛 266071

* llzhang@scsio.ac.cn

为了多角度理解海洋纹层沉积物的形成过程，本文首次针对大洋异常硅藻席沉积记录，进行了硅质生物放射虫的研究，分析多囊虫类放射虫组合变化及其环境意义。该岩心上段 260 cm 厚硅藻席沉积中含有丰富的放射虫、丰度高于 2×10^4 个/克；中段 260-460 cm 出现五次放射虫丰度高峰与红粘土的交替旋回沉积；下段 460-630 cm 红粘土沉积层中放射虫稀少。依据放射虫地层种的初现生物事件，470 cm 以深的年龄大于 0.34 Ma BP，表明西菲律宾海硅藻质沉积形成于晚更新世以来。研究发现受暖水影响控制的在 *Tetrapyle group* 和 *D. tetrathalamus tetrathalamus* 在 XT47 孔的相对丰度在 LGM 期出现明显的降低，推测西菲律宾海在 LGM 期北赤道暖流的影响减弱。多囊虫类放射虫的丰度与生物硅含量的变化趋势出现明显的不同步现象，推测四次生物硅含量高峰是由大型硅藻的急剧增加导致的，即西菲律宾海 LGM 期大盘筛藻的勃发具有强弱波动变化；而且，大盘筛藻的四次勃发强盛期正好对应着胶体虫相对丰度变化的低谷和中深层水种相对丰度的高峰，因此我们认为西菲律宾海 LGM 期大盘筛藻的勃发期发生四次中深层水体活动增强、上层水体成层化减弱、营养盐得以有效补充的事件。研究结果可为菲律宾海大盘筛藻勃发在 LGM 长时间持续并最终在海底形成厚达尽三米的硅藻席沉积提供了一种可能的解释。感谢国家自然基金面上项目（批准号：41876056,41576044, 41976192），国家海洋地质专项项目（No. DD20191010）；南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）人才团队引进重大专项（No.GML2019ZD0206）的资助帮助。

S10-O-13

西北太平洋40万年来有机碳埋藏及古生产力演化记录

张钰莹[1]，胡利民[2,3]*，吴永华[1,3]，姚政权[1,3]，董智[1,3]，Minoru Ikehara[4]，石学法[1,3]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

2 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

4 日本高知大学，海洋岩芯高级研究中心，日本高知 783-8502

* hulimin@ouc.edu.cn

海洋在全球碳循环和气候环境演化过程中起着重要的作用，海洋初级生产力及其生物泵过程影响着大气-海洋之间碳的吸收和转移保存。海洋沉积物是地球上最大的有机碳库，沉积有机碳埋藏对气候系统的变化具有不同时间尺度的敏感响应；前期研究多聚焦于冰期旋回中大气-海洋碳库之间的CO_2转移，而对于冰期-间冰期有机碳的长期储存及其与气候环境变化关联机制的认识还有待加强。西北太平洋海陆相互作用强烈，受黑潮和亚洲风尘输入的影响显著，是研究有机碳埋藏保存与上层生产力、陆源输入和海洋环境演化关系的理想靶区。本文以西北太平洋九州海脊北部 KPR12 岩芯为对象，研究了 40 万年来有机碳埋藏和海洋生产力的轨道尺度变化规律及其与陆源输入和海洋环境的响应关系，初步建立了该区冰期-间冰期有机碳埋藏保存及其环境响应的概念模式。研究发现海洋生产力和有机碳的埋藏变化具有显著的冰期旋回特征，但二者并不同步，可能反映生产力并不是影响本区冰期旋回中有机碳埋藏变化的主控因素；该区古生产力演化与亚洲风尘记录也存在显著差异，可能指示风尘输入对该区海洋初级生产力的影响有限，并探讨了底部营养物质上涌对生产力的可能影响，进而揭示了水体氧化还原环境、陆源细颗粒吸附沉降等因素对有机碳埋藏保存的影响机制，提出该区有机碳沉积具有冰期碳埋藏效率更高、间冰期降解作用更显著的特征模式。研究有助于进一步认识冰期旋回下有机碳长期储存与全球气候变化之间的相互作用机制。

S10-O-14

冰期-间冰期太平洋深水环境演变：有孔虫指标的发展与应用

胡镕[1]*，Alexander M. Piotrowski[2]，Helen C. Bostock[3]

1 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210023

2 Department of Earth Sciences, University of Cambridge, Cambridge, CB2 3EQ, UK

3 School of Earth and Environmental Sciences, University of Queensland, Brisbane, Queensland, 4072, Australia

* ronghu@nju.edu.cn

海洋通过海气交换、大洋环流和海洋生物地球化学循环调控着第四纪冰期-间冰期大气 CO_2 的含量。过去对冰期-间冰期海洋过程与碳收支的研究主要集中在大西洋，近年来越来越多的研究开始强调太平洋在碳循环过程中的重要性。因此，厘清太平洋的深部变化对理解冰期-间冰期的碳循环具有非常重要的意义。基于有孔虫元素和同位素组成的气候替代性指标被广泛应用于古海洋环境的重建。本报告通过对太平洋 55 个深海沉积物表层样开展系统的有孔虫地球化学研究，验证了（1）有孔虫覆膜记录太平洋海水 Nd 同位素值的可靠性；（2）浮游有孔虫(*G. truncatulinoides, sinistral*) 记录温跃层海水碳同位素的可靠性；（3）有孔虫覆膜 U/Ca 比值有潜力用来指示海洋氧气含量的变化。在此基础上，重建了过去几十万年冰期-间冰期尺度太平洋深海环流、温跃层海水碳同位素以及深水氧气含量的变化，为太平洋深水碳循环的演化提供了新的约束。

S10-O-15

末次盛冰期以来日本海深部通风的经向异性及其控制机制

董智[1,3]，石学法[1,2]*，邹建军[1,2]*，邹欣庆[3,2]，豆汝席[1]，吴永华[1,2]，刘焱光[1,2]，葛晨东[3]，Sergey Gorbarenko[4]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用自然资源部重点实验室，青岛 266061
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061
3 南京大学，海岸与海岛开发教育部重点实验室，南京 210023
4 俄罗斯科学院远东分院太平洋海洋研究所，符拉迪沃斯托克 690041
* xfshi@fio.org.cn, zoujianjun@fio.org.cn

深部通风过程（deep ventilation）作为连接大洋深处与上层海洋和大气的重要方式，对调控 CO_2 海气交换与全球气候变化有重要影响。日本海作为北太平洋现今唯一发育深层水的海区，对全球气候变化的响应非常敏感，是研究气候快速变化背景下深部通风演化过程的理想选择。基于日本海表层沉积物中放射虫属种垂向深度与空间分布特征，并通过冗余分析（RDA）建立了能可靠地记录日本海深部通风过程变化的日本海特征水属种组合（JSPW Assemblage）。据此重建了日本海西南部、中部和西北部过去两万五千年以来深部通风的演化历史，所有通风记录均显示从末次盛冰期到早全新世，日本海特征水的通风状况由较差向良好转变，并发现通风强化与冰融水事件（19 ka MWP 和 MWP-1A）同步。伴随着海平面上升，高盐海水的入侵是增强日本海特征水通风的主要机制，证实了海平面变化是控制日本海深部通风过程演变的首要因素。在空间上，日本海深部通风状况的转变并不同步，日本海中部通风状况转变的时间要早于西南部与西北部，这种深部通风的经向异性与区域表层水文特征（输出生产力与海冰）的演变过程密切相关。尽管现今日本海是大气 CO_2 的汇，但在末次冰消期时随着海洋深部通风的增强，日本海深层海水所积累的大量 CO_2 将被重新释放到大气中，成为大气 CO_2 的源。

S10-O-16

海平面与东亚夏季风对于冲绳海槽过去 300 ka 以来沉积物物源演化的双重控制

窦衍光[1,3]*，石学法[2,3]，杨守业[4]，赵京涛[1,5]，蔡峰[1,5]，李军[6]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071
2 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266071
3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室 青岛 266061
4 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
5 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室 青岛 266061
6 中国地质调查局武汉地质调查中心，武汉 430205
* douyanguang@gmail.com

不同时间尺度陆源物质“源-汇”过程，与之相关的陆源风化-环流演变-气候变化研究，是目前海洋地质学研究前沿方向之一。地球轨道时间尺度上，究竟是海平面变化，还是东亚季风演化主导控制东亚大陆边缘沉积物由陆到海输运过程，还存在较大争议。冲绳海槽是研究中国东部边缘海沉积物源汇过程及其动力学机制的关键海区。本研究选取冲绳海槽中南部 QZ01 钻孔（长 60 m），通过对该孔沉积物粒度、粘土矿物、Sr-Nd-Pb 同位素等指标的分析，旨在探讨轨道尺度上中国东部大陆风化沉积物输运入海的输运过程与动力机制。

QZ01 孔沉积物底栖有孔虫氧同位素显示，该钻孔底部年龄距今约 296.9 ka，记录了氧同位素 8 期（MIS8）以来的沉积与古环境历史。QZ01 钻孔主要由粉砂和粘土

组成，300 ka 以来粘土矿物变化特征与海平面变化具有较好的对应关系。物源判别表明，该孔粘土矿物主要来自长江和台湾。间冰期高海平面时期，粘土矿物中绿泥石和伊利石含量高，与台湾源一致；冰期低海平面时期沉积物颗粒偏粗，粘土矿物中蒙脱石和高岭石含量高，与长江源一致。通过频谱分析，QZ01 钻孔粘土矿物呈现 100 ka， 41 ka 和 23ka 周期，与地球轨道参数的三个参数偏心率(100 ka)、斜率(41 ka)、岁差(23 ka)周期一致。偏心率与南北极冰量控制的冰期-间冰期海平面变化有关，岁差与北半球太阳辐射量有关，体现在夏季风降雨，表明 30 万年以来冲绳海槽中南部粘土矿物组成受到海平面变化和东亚夏季风的双重控制。进一步研究发现，间冰期东亚夏季风强时，季风降雨带来的台湾伊利石、绿泥石多，通过黑潮输运至冲绳海槽；冰期东亚季风减弱时，相对的来自大陆源蒙脱石含量高。此外，MIS5-6 期间，粘土矿物与沉积物 Sr-Nd 同位素未呈现冰期-间冰期规律特征，可能与黑潮减弱有关。

S10-O-17

9.2 万年以来黑潮动力演化

邹建军 [1,2]*，石学法 [1,2]，朱爱美 [1]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

2 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266037

* zoujianjun@fio.org.cn

西边界流（如黑潮）是全球气候系统的一个基本要素，把亚热带高盐高温水输运到亚极地海域，在塑造区域环境和气候中扮演重要作用。目前对晚第四纪冰期旋回中黑潮演化过程及环境气候效应的认识仍然十分有限。对冲绳海槽中部 MD01-2404 岩心全样沉积物 Hg-Sb 和主微量元素进行了高分辨率分析，恢复了冲绳海槽中部过去 9.2 万年以来黑潮强度的演化历史。结果显示，沉积物 Hg 和 Sb 浓度在 MIS1 期和 MIS5.1 期显著富集，在末次冰期值较低。与其他记录进行相比，高 Hg 和 Sb 浓度主要源自冲绳海槽海底热液输入，富集程度与黑潮强度变化相关。大约从 11ka 开始，随着海平面上升，黑潮强度显著增加或者再次入侵冲绳海槽。我们认为在末次冰盛期，黑潮仍然流经冲绳海槽，但是强度明显减弱。冰期黑潮动力减弱表明高盐水滞留在北太平洋亚热带涡的时间更长。在冰期早期，随着太平洋翻转流加强，更多的亚热高盐水将被携带到亚极地，促进北太平洋中层水的形成。冰期间冰期旋回中，黑潮强度变化与低纬东风和中纬度西风变化相关。该研究受到国家自然科学基金委项目（资助号 41876065）和全球变化与海气相互作用专项（资助号 GASI-GEOGE-04）资助。

S10-O-18

挪威海北部沉积物颗粒组分指示的洋流和冰盖演化

汪卫国 [1]*，赵蒙维 [2]，刘杨 [1,3]

1 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361005

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，青岛 266237

3 兰州大学地质科学与矿产资源学院，兰州 730000

* wangweiguo@tio.org.cn

为提取沉积物粒度记录的古海洋演变信息，利用对数—正态分布函数对挪威海北部 BB01 柱样中沉积物粒度分布曲线进行颗粒组分分解。结果显示，挪威海北部沉积物由 3-4 个颗粒组分组成。其中，最细的组分是大西洋暖流和巴伦支冰盖融冰水来源的；中等粒径的 2 个组分为北大西洋暖流来源的；最粗的组分为冰山冰筏碎屑。根据各组分粒径和含量的变化，结合 ^{14}C 测年结果，可将挪威海北部划分为 3 个古海洋演变阶段。60-31ka BP，挪威海北部发生与格陵兰冰芯记录同步的冰阶/间冰阶气候变化。在冷的冰

阶，进入挪威海北部的冰山大幅增加，沉积物中冰筏碎屑含量激增。31ka BP，巴伦支冰盖扩大至陆架边缘后达到动态平衡，冰盖前缘消融加快，大量融冰水进入挪威海北部。此后的冰消期直至 13ka BP，因巴伦支冰盖的消融，挪威海北部长期为融冰水控制环境。融冰水输入大量粘土粒级的沉积物，使得该时期沉积物中粘土含量最高。13ka BP 以后，因巴伦支冰盖消融殆尽，挪威海北部变为与现今相似的大西洋暖流控制的海洋环境，沉积物中不再含冰筏碎屑，大西洋暖流搬运的沉积物组分含量明显加强。

S10-O-19

北大西洋沉积物中化石磁小体的古环境意义及其定量化方法的优化

何况[1]*，潘永信[1]，赵翔宇[2]，赵翔[3]，秦华峰[4]，张同伟[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所地球与行星物理重点实验室，北京 100029
2 日本国立极地研究所，东京 190-8518
3 澳大利亚国立大学地球科学研究院，堪培拉 ACT2601
4 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029
* kuanghe89@gmail.com

化石磁小体是一种特殊的微生物——趋磁细菌死亡后保存在沉积物中的纳米级的磁性矿物，一般为磁铁矿或胶黄铁矿。化石磁小体的形状主要有立方八面体状、棱柱状和子弹头状。化石磁小体作为单畴的磁性颗粒，是沉积物中记录剩磁的理想材料。此外，化石磁小体的丰度随气候变化发生改变，是潜在的古环境代用指标。有关化石磁小体的古环境指示意义，前人的报道多集中于太平洋、南大西洋、印度洋、南大洋等海域，而在北大西洋的研究相对较少。本研究选取伊比利亚边缘海钻孔沉积物，利用岩石磁学方法和前人已发表的地球化学数据，揭示化石磁小体反映的古环境意义。研究发现，在 193.8-171.7 ka 和 49.6-18.5 ka 期间，沉积物中的子弹头状化石磁小体在温度较高、偏还原的环境比例增加，匀称状化石磁小体的比例在温度较低、偏氧化的环境增加。因此，我们的研究丰富了化石磁小体作为潜在古环境代用指标的地质证据。

准确量化沉积物中的化石磁小体有助于我们提高对化石磁小体古环境意义的认识。为验证前人常用的量化化石磁小体的方法是否可靠，我们在实验室内制备了由趋磁细菌 MSR-1 冻干粉末和安山岩粉末按已知不同比例混合的 7 个样品，并分别测量其等温剩磁获得曲线。我们使用基于单样品分解模型和基于端元分解模型两种常用方法分别重建样品内不同的磁性组分含量。研究发现，基于单样品的分解模型会高估样品中的磁性组分含量。尽管基于端元模型的分解方法能够真实地重建安山岩粉末和趋磁细菌的含量，但无法进一步获得安山岩粉末内部不同矿物的比例。因此，我们提出一种新的分解模型，即结合两种方法各自的优点，从而能够更准确地量化不同磁性组分的相对含量。

S10-O-20

Sea-surface and near-surface temperature changes of the northern NW Atlantic Ocean during the last 40 ka based on the lipid biomarker TEX86 and RI-OH proxies

Harunur Rashid[1,2], Yang Wang[1]*, Jianing He[1]

1 College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China
2 Earth and Environmental Sciences, Memorial University of Newfoundland, NL, A2H 6P9, Canada
* m180200479@st.shou.edu.cn

Understanding changes in the fast dynamic regions of Earth provide clues to the mechanisms of past abrupt paleoceanographic and paleoclimate changes. Seasonal changes in the sea-surface temperatures (SSTs) and salinity and meltwater on the SE Grand Banks of the northwest Atlantic Ocean provide an example of those mechanisms. Most proxy records of the past SSTs apply Mg/Ca ratios in biogenic calcite and alkenone unsaturation index (i.e., UK_{37}) in lipids. However, other biomarkers, namely the GDGTs and its derivatives, the brGDGT and isoGDGTs, have been gaining application both in high latitudes and altitudes. This study combines brGDGTs and methane index to assess sources of isoGDGTs and applicability of the TEX_{86} and RI-OH (ring index of OH-GDGTs) to the Newfoundland Basin of the NW North Atlantic. A sediment core Hu9007-08pc collected from the Milne seamount of the Newfoundland Basin reveals dynamic changes in the surface and near-surface (~200 m) temperature during the last 40 ka for the first time. The concentration of isoGDGT0 and Crenarchaeol is anti-correlated, in which the former dominates the concentration. Further, the relative content of Crenarchaeol is found to be lower than those of the isoGDGT0. The TEX_{86}-derived temperature varies between 4.2 and 14.4°C, whereas the RI-OH temperature ranges from 6.4 to 22.3°C, most likely reflects changes in the abundances of Thaumarchaeta and Euryarchaeota archaea. Further, the RI-OH proxy shows sharper changes compared to the TEX_{86}-derived temperature during the Heinrich iceberg rafting events H2 and H4. Our reconstructed temperatures diverge from foraminiferal assemblages' temperatures, most likely reflects different seasonality and water column temperature. Further refinement in the biomarker proxies from the NW North Atlantic is needed for accurate reconstruction of the seasonality and water column temperature.

S10-O-21

Paleoenvironmental dynamicity and paleo-vegetation reconstruction using deep oceanic micro-charcoalsize-class and morphotypes

Vidusanka Thilakanayaka[1,2,3], Luo Chuanxiu[1,2,4]*, Rong Xiang[1,2], Dileap Bandara[1,2], Gayan Bandara[1,2], Kumudu Liyanaarachchi[3], Zijie Yang[1,2]

1 Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Innovation Academy of South China Sea Ecology and Environmental Engineering, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China.

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China.

3 Department of Oceanography and Marine Geology, Faculty of Fisheries and Marine Sciences and Technology, University of Ruhuna, Wellamadama, Matara, Sri Lanka.

4 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory, Guangzhou，511458, China.

* xiu104@scsio.ac.cn

Why Paleoenvironment dynamicity need to be addressed? Correlation between human population and climate harshness should be discussed in order to support the future human race and to understand its vulnerability to future climate conditions. Dynamicity of an environment could be a result of heavy rainfall, strong winds, abundant cyclones and storm surge, etc. Abrasion properties of Microcharcoal (MC) could successfully record paleoenvironmental dynamicity in the size

class data. Dynamic environment causes to produce and transport smaller MC particle in the deep oceanic sediment. When the environment is less dynamic, lager MC particles could be observe in deep oceanic sediment. According to the results dynamicity of Holocene was greater than the glacial period and Holocene dynamicity has been reducing greatly since 4ka.

MC present in pollen or in other oil immerses slides is considering as an important proxy for paleofire worldwide. But it is questionable whether MC is reliable paleofire proxy when it comes to deep oceanic sediment, due to the frequencies of different transportation methods. Apart from paleoenvironment dynamicity, MC could be used as paleovegetation proxy. Samples for this study was taken from the YDY09 sediment core, Bay of Bengal, Indian Ocean. MC were counted according to three different morphotypes (grass MC and tree MC (wood MC + leaf MC) and according to three size classes. Effect of different transportation methods were eliminated by using relative abundance values for different morphotypes and for different size classes. According to the results, grass MC is abundant in glacial periods while tree MC has increased in interglacial periods. Tree/grass abundance reconstruction using MC morphotypes could be useful in paleovegetation studies, when other vegetation proxies are lack or could be used with other vegetation proxies to compare the results. This study is serving as the first study to present the uses of MC as a paleovegetation and Paleoenvironmental dynamicity proxy using 45ka long deep oceanic sediment recorded.

S10-O-22

Determining the depth habitat of the planktic foraminifera Dentoglobigerina altispira in the Eastern Arabian Sea for the middle Miocene

Shixian Zou[1]*, Stephan Steinke[2], Liviu Giosan[2], Jeroen Groeneveld[3]

1 Department of Geological Oceanography and State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, China, 361102

2 Department of Geological Oceanography and State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, China, 361102

2 Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, USA

3 Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Telegrafenberg A45, D-14473 Potsdam, Germany

* 22320201151224@stu.xmu.edu.cn

Tests of planktic foraminifera are important tracers for reconstructing past oceanic environments. It is necessary to have accurate information of the depth habitat of the planktic foraminiferal species whose isotopic and elemental signatures are being used to infer past climatic and oceanographic conditions. The planktic foraminifera species Dentoglobigerina altispira is a very common component of Miocene and Pliocene tropical to warm subtropical planktic foraminiferal assemblages but different findings exist about the depth habitat of this species from shallow to deep water. The extinction of D. altispir highlights the challenge of reconstructing the depth habitat of this species. So it remains uncertainty. Here, comparative stable carbon and oxygen isotope analyses of four coexisting planktic foraminifera species from National Gas Hydrate Program Expedition Site 01 (Site NGHP-01-01A) were performed in order to reconstruct the depth habitat of D. altispira in the Eastern Arabian Sea for the middle

Miocene (~12.5-16 Ma). The D. altispira oxygen isotope values are on average higher than those of the shallow water reference species Trilobatus sacculifer and Globigerinoides obliquus. This suggests that D. altispira inhabited a deeper depth habitat that is most likely deeper than the estimated depth habitat for modern T. sacculifer in the Eastern Indian Ocean (~20 m to 50 m; mixed layer). The data of this study suggest that D. altispira inhabited the lower mixed layer and/or upper thermocline with no strong vital effects in both δ18O and δ13C in the Eastern Arabian Sea during the middle Miocene.

S10-O-23

南海北部 IODP 367 航次 U1499B 站位晚渐新世至中新世有孔虫组合变化及其古环境意义

胡哲，黄宝琦*，卢亚敏，苏克凡

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* bqhuang@pku.edu.cn

南海扩张初期（~33 Ma）至扩张停止（~15.5 Ma）期间，地区性的构造活动和全球性的气候变化是影响海盆沉积过程的两个主要因素。为区分二者的影响，使我们对南海演化与全球变化间的关系能有更全面的理解，我们对位于南海北部的 IODP 367 航次 U1499B 站位 761.86-933.17 m 的浮游和底栖有孔虫属种组合进行了分析，并对浮游有孔虫各属种数量进行了定量计算。

结合浮游有孔虫、Sr 同位素、钙质超微化石、磁性地层年代数据，我们建立了更为详细的覆盖 10-28.5 Ma 的 U1499B 深度年龄模型。在该年龄框架基础上，我们分析了该站位晚渐新世至中新世三个不同时段内沉积环境变化。25.2-28.5 Ma 期间，U1499B 站位的底栖有孔虫组合指示了深海 CCD 之上的保存环境。同时，极低的沉积速率，大量海绿石和高丰度低分异度的浮游有孔虫组合表明，浅水沉积物的重力流搬运和强劲底流冲刷可能在晚渐新世同时存在。18.7-25.2 Ma 时期，浮游有孔虫组合的变化主要受控于溶解强度的改变，根本上是受制于碳酸盐补偿深度（Carbonate Compensation Depth: CCD）和站位深度变化。10-18.7 Ma 后间歇性保存大量几乎未受溶解的有孔虫，这是由于粘土物质包裹使壳体免受海水溶蚀。与此同时，这段沉积物中出现浅水底栖有孔虫和海绿石，指示着 18.7-10 Ma 的有孔虫壳体多为浅水搬运，这也可以说明 18.7 Ma 后 U1499B 站位长期位于 CCD 之下。

对比太平洋晚渐新世至中新世情况发现，至少在 18-28 Ma，U1499B 站位碳酸盐保存的变化主要受到全球 CCD 和海平面变化影响，标志着这段时间里南海与西太平洋间有着通畅的水体交换。另一方面，18-28 Ma 南海扩张所带来的地区性构造活动并没有显著改变 U1499B 站位的深度，但可能通过改变该站位与物源区的距离以及运输方式来影响沉积物的组成。

S10-O-24

南海东北部晚中新世—第四纪沉积层序对构造和气候变化的响应

王星星[1,2]*，孙启良[1]，蔡峰[2]

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074

2 青岛海洋地质研究所，青岛 226071

* xingx_wang@hotmail.com

保存良好的深水沉积层序构型可以较好地反映重要的区域构造和气候事件。基于高分辨率二维多道地震、多波束测深以及大洋钻探数据，本研究系统分析了南海东北部晚中新世—第四纪沉积层序构造演化及其主控因素。结果表明，晚中新世以来，南海东北部沉积层序可划分为三套地层单元（自下而上分别为 SU-1，SU-2 和 SU-3，分别对

应的时代为 10.5-5.5Ma，5.5-0.9Ma 和 0.9Ma 以来）。SU-1 主要表现为席状等深流沉积与半远洋沉积，SU-2 中可见典型的丘状等深流漂积体以及等深流水道，SU-3 仍然表现为丘状等深流漂积体，但是其沉积速率较 SU-2 显著提高。5.5Ma 前后，席状等深流漂积体演化为丘状等深流漂积体，指示 5.5Ma 之后底流强度显著增强，这一过程与南海东北部弧陆碰撞事件相对应；0.9Ma 前后等深流沉积速率的大幅增大与中更新世气候转型相关联。综合区域构造与气候研究成果，本研究指出南海东北部弧陆碰撞作用导致吕宋海峡不断关闭以及海峡处海脊的抬升与岛弧的出现，在一定程度上阻碍了西太深层水环流进入南海，但是不断变浅、变窄的吕宋海峡有助于激发南海中尺度涡旋，从而增强南海北部底流强度，这可能是 5.5Ma 之后底流增强的重要原因之一。0.9Ma 之后，在中更新世气候转型的影响下，东亚季风显著增强，促使台湾造山带剥蚀作用增强，产生更为充足的沉积物向深水地区输运，进而形成了南海东北部高速堆积的等深流漂积体。研究成果对于西太平洋边缘海盆地半封闭海盆古海洋强度演化的认识具有借鉴意义。

S10-P-01S

南海东北部深海沉积演变对大洋洋流模态转变及海峡水体贯通的响应

王雪松[1,2]，陈忠[1,3]*，田雨杭[1,3]，曹立[1,2]，郑旭峰[4]，颜文[1,2,3]

1 中国科学院边缘海与大洋地质实验室，南海海洋研究所，南海生态工程创新研究院，广东 510301

2 中国科学院大学，北京 100049

3 南方海洋科学与工程广东省实验室，广东 511458

4 海南大学，海南 570228

* chzhsouth@scsio.ac.cn

南海形成演化过程中的洋流活动和水体通道改变对南海沉积演化、岛礁发育和资源分布起着重要作用。研究表明，距今 34 Ma 的始新世南海从陆地变为海洋，距今约 24 Ma 前南海海盆整体进入深海环境，北太平洋中层水(NPIW)和太平洋深层水(NPDW)可以自由进入南海。自中中新世以来，南海海盆开始向东俯冲，巴士海峡海槛不断隆升，导致南海成为半封闭海盆，南海的深水来源和沉积环境发生重大变化，由来自南大洋的下层南极绕极流(LCDW)演变为来自上层南极绕极流(UCDW)和来自北太平洋的深层水(NPDW)混合而成，呈现冰期、间冰期模式。然而南海洋流活动的演化要复杂得多，低海平面时期（如末次盛冰期，LGM），南海北部大陆架、巽他陆架出露成陆，高海平面时期被淹没，全球和区域因素导致南海洋流模态转变及海峡水体贯通状态的改变，对南海的沉积环境、岛礁发育和资源形成聚集产生影响，然而对其影响机理还知之甚少。

论文以南海东北深海区 16ZBS11 岩心为研究对象，开展陆源碎屑粒度、磁性参数、地球化学性质和年龄测定，通过粒级-标准偏差法提取环境敏感因子、粒度端元组分分析确定物源变化，并重建底流强度及搬运能力。研究表明，研究区陆源碎屑主要由粉砂和粘土组成，砂组分仅在部分层位出现，南海北部深海沉积环境经历了三个演化阶段，Ⅰ：22.39-16.02ka BP；Ⅱ：16.02-9.58ka BP；Ⅲ：9.58ka BP 至今，各演化阶段粘土和粉砂组分均呈反相演变过程。

研究发现，在末次冰盛期南海深层水和北大西洋深层水演变存在遥相关，在 15.8-14.4ka 期间，大洋洋流模态转变，侵入南海北部的大洋洋流模态由大西洋型转变为太平洋型。南海东北部底流强度和搬运能力在末次冰盛期以来逐渐减低并呈同步变化，随着海平面的上升，16ka BP、11.5ka BP 后南海分别与印度洋贯通、台湾海峡联通，影响南海北部物源搬运和海洋过程。9.58ka BP 以来南海北部海洋混合方式和强度的改变，深刻影响深海陆源碎屑输运及沉积演化。

研究结果厘定了末次冰期进入南海中

深层水体洋流模态切换时间，揭示了南海古洋流的强弱变化和海洋过程受到吕宋海峡的构造隆升和海平面变化影响，南海分别与印度洋贯通、台湾海峡联通深刻影响了南海北部海洋混合方式和搬运强度。研究成果为南海北部底流活动演变、南海深海过程及其资源环境效应研究提供了新的证据。

本研究得到国家自然科学基金项目(41976065)；三亚崖州湾科技管理局 2020 年度科技计划项目(SKJC-2020-01-012)；南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0104)共同资助。

S10-P-02S

Planktonic foraminifera fluxes in the northern South China Sea: variability on seasonal to interannual timescales

曹寒冰*，黄宝琦

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* caohanbing@pku.edu.cn

Planktonic foraminifera are an abundant protist group in the modern ocean, and their calcitic shells are commonly preserved in the sediment. Fossil planktonic foraminiferal assemblages extracted from marine sediments, which serve as an archive of chemical and physical signals that can be used to quantify past environmental conditions, have always been closely linked to the reconstruction of past upper oceanic conditions and provide a multitude of proxies in paleoceanography and paleoclimatology. Knowledge of the ecology of modern planktonic foraminifera is an important prerequisite for achieving paleoceanographic references. Despite the important role of planktonic foraminifera in reconstructing past ocean conditions, the understanding of planktic foraminifer ecology remains fragmentary and many knowledge gaps remain. During the last few decades, many studies on the ecology of planktonic foraminifera and its influence on planktonic foraminifera-based proxies have been carried out in different parts of the ocean.

A 6-year study of planktonic foraminiferal fluxes was conducted in the northern South China Sea (from May 2014 to April 2019), with a sediment trap (TJ-A-1). Based on Detrended Correspondence Analysis (DCA), we classified the species into three groups with different seasonal variation, including Group A (winter-favorable species): *Globigerinita glutinata, Pulleniatina obliquiloculata, Globigerina bulloides, Neogloboquadrina dutertrei*; Group B (unclear seasonality): *Globigerinoides sacculifer, Globigerinoides ruber, Globigerinella aequilateralis, Orbulina universa, Globorotalia scitula, Globigerinoides tenellus*; Group C (summer–favorable species)：*Globorotalia menardii, Globigerinella calida, Globigerinoides conglobatus*. The species of Group A always flourished during the winter monsoon, which we propose that the proportion of Group A (%Group A = %*G.glutinata* + %*P.obliquiloculata* + %*G.bulloides* + %*N.dutertrei*) in the northern South China Sea can be used as an indicator of the winter monsoon. In addition, the total flux of planktonic foraminifera decreased by 70% between September 2015 and January 2017, which is closely correlated with the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) during 2015/2016. What's more, the planktonic foraminifera fluxes did not decrease significantly until the El Niño reached peak intensity, and the recovering of the fluxes lags behind the El Nino index about 12~14 months later.

S10-P-03S

Sea-surface perturbation history of the northern

northwest Atlantic Ocean during the last glacial cycle: a study based on the sedimentological and paleontological proxies

Harunur Rashid[1,2], Min Zeng[1]*, Qian Qian Lu[1]

1 College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306

2 Earth and Environmental Sciences, Memorial University of Newfoundland, Canada NL A2H 6P9

* d200200045@st.shou.edu.cn

Dramatic changes in temperature and salinity and freshwater input occur due to the interaction of cold and fresh equatorward flowing Labrador Current and warm and salty North Atlantic Current (NAC) on the SE Grand Banks of NW Atlantic Ocean. As a result, the seasonal stratification of the upper water masses and the biological productivity are intensified. Such changes must have been more dramatic during the glacial times due to the penetration of the Polar and Arctic fronts and southward migration of the Gulf Stream/NAC. However, the extent to which such changes impacted the sea-surface characteristics in the Newfoundland Basin is poorly known. Here, we report changes in the sea-surface characteristics using a sediment piston core (Hu9007-08) collected from the Milne seamount during the last glacial cycle. Heinrich layers H1, H2, H4, and H5 and H11 within the MIS3 and at the penultimate deglaciation were identified by the ice-rafted detritus (IRD) and *Neogloboquadrina pachyderma* peaks and lighter oxygen isotopes. Rapid turnover of foraminiferal species with distinct depth habitats and ecological niches in the mixed-layer and thermocline suggests an interplay between the polar and subpolar water masses during Heinrich and non-Heinrich periods. Only two North Atlantic-wide cooling events, C24 and C21, in which the latter event linked to the minor IRD event during the marine isotope stage (MIS) 5 in Hu90-08, compared to the eight events in the eastern subpolar gyre. Millennial-scale *N. pachyderma* variability in the western subpolar gyre appears to be absent in the eastern subpolar gyre during the MIS3 suggesting the occasional presence of salty and warm water by the NAC inflow, implying a different climate state between the western and eastern subpolar gyre. Although *T. quinqueloba* data are fragmentary, there are differences between the western and eastern subpolar gyre and the differences within the western subpolar gyre during MIS5 that might imply a variable influence by the subpolar water. This finding suggests that the influence by the NAC outweighs the impact of cold and fresh polar water in the northern northwest Atlantic during the MIS5.

S10-P-04S

菲律宾海及其邻近海域表层沉积物中放射虫分布及其对区域环境响应

邱卓雅[1,2]，张兰兰[1]*，胡邦琦[3]，程夏雯[1,4]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广东广州 510301

2 中国科学院大学，北京, 510301

3 青岛海洋地质研究所，青岛，266071

4 海南大学，海口 570100

* llzhang@scsio.ac.cn

作为西太平洋的一部分，菲律宾海是热带与亚热带海洋之间进行热量交换和信号传递的重要纽带，在全球气候变化中发挥重

要作用，是进行古环境和古气候研究的绝佳海域。本项研究旨在增进对研究区域放射虫属种分布与不同深度水层环境参数关系的理解，探究放射虫组合环境指标的区域适应性。

研究结果显示，不同于南海北部和冲绳海槽，菲律宾海表层沉积物中放射虫的群落结构和丰度变化幅度较大，反映了菲律宾海更为复杂的区域生态环境或沉积环境；南海北部放射虫丰度非常高且罩笼虫目占据较大优势，表明南海北部区域营养盐和生物生产力较高；冲绳海槽放射虫丰度相对较低且泡沫虫目占据绝对优势，推测冲绳海槽的海底沉积环境可能不利于放射虫壳体的埋藏富集。对 8 个真光层暖水种组合和 0 − 200 m 不同层深的 162 个环境变量进行 RDA 分析，结果显示这些暖水种在冲绳海槽的分布与夏季 125 m 温度呈明显的正相关，表明主要受到夏季黑潮次表层水的控制；在南海北部，暖水种的分布主要受冬季 75 m 硅酸盐和夏季 200 m 磷酸盐的影响控制，认为高浓度的硅酸盐可能更加有利于罩笼虫目的发育繁殖；在菲律宾海，发现次表层水的环境因子影响着放射虫暖水种的分布，比如 75 m 冬季盐度、200 m 年均溶解氧含量和 125 m 夏季温度。此外，菲律宾海中深层水（1000 − 3000 m）不同层深 66 个环境变量和生活于该水体中的 5 个冷水种的 RDA 分析结果，显示菲律宾海北部区域主要与 1000 m 硅酸盐浓度呈显著正相关，这可能与富含硅酸盐的北太平中深层水团南下进入菲律宾有关；而在菲律宾海中南部的分布则主要与 1000 m 硅酸盐浓度呈显著负相关、与 2000 m 溶解氧和 2200 m 磷酸盐和硝酸盐呈明显正相关，可能是由于具有高溶解氧低硅酸盐性质的绕极深层水由南端进入菲律宾海后，一部分水体向上进入菲律宾海中层水，影响放射虫冷水种的分布。

感谢中科院海洋研究所常凤鸣教授和上海海洋大学罗敏助理研究员提供相关样品。感谢国家自然基金面上项目（批准号：41876056,41576044, 41976192），国家海洋地质专项项目（No. DD20191010）；南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）人才团队引进重大专项（No.GML2019ZD0206）的资助帮助。

S10-P-05S

末次冰消期冲绳海槽中部表层和温跃层海水温度演化的脱耦现象

钱芳 [1,3]，常凤鸣 [1,2,5]*，孙晗杰 [1,2,5]，李铁刚 [2,3,4]*，李安春 [1,2,5]，王佳 [1,3]

1 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室，山东青岛 266071
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，山东青岛 266061
3 中国科学院大学，北京 100049
4 自然资源部第一海洋研究所海洋沉积与环境地质重点实验室，山东青岛 266061
5 中国科学院海洋大科学研究中心，山东青岛 266071

* chfm@qdio.ac.cn, tgli@fio.org.cn

探究末次冰消期这一时段气候变化的过程是辨识当前全球变暖中自然和人为驱动贡献的科学基础，对预估未来气候变化趋势具有重要意义。以冲绳海槽中部 OKI02 岩心为材料，通过浮游有孔虫 *Globigerinodes ruber* 和 *Pulleniatina obliquiloculata* 壳体 Mg/Ca 比值分别重建了 19 ka BP 以来海槽中部表层（Sea Surface Temperature，SST）和温跃层海水温度（Thermocline Water Temperature，TWT）。结果显示二者的演变特征和过程存在明显差异，其中 SST 在末次冰消期经历了两次快速升温过程，且清楚地记录了 HS1，B/A，YD 等千年尺度的快速气候变化事件。SST 的变化模式明显区别于热带西太平洋持续稳定的升温过程，而更类似于北半球高纬区域的变化。而 TWT 在末次冰消期整体上表现为持续的上升趋势，期间虽然波动频繁而剧烈，但没有表现出明显的千年尺度的快速变化，与热带西太平洋的升温过程相近。末次冰消期 SST 和 TWT 演变

模式差异的分析表明，冲绳海槽中部 SST 的变化可能主要受大西洋经向翻转流（Atlantic Meridional Overturning Circulation，AMOC）强度变动导致的东亚冬季风强弱变化所控制。而热带太平洋 ENSO 过程则可能通过黑潮强度的变化决定了区域 TWT 的演变，显示了末次冰消期以来冲绳海槽上层水体水文条件的演变与北半球高纬和低纬热带大洋的海洋和气候过程有密切联系。

S10-P-06S

The origin of early-mid Miocene pelagic brown and green claystone from IODP Site U1503A in the South China Sea: implications to paleoclimate and paleoceanography

Zhe Zhang[1,2],Zhen Sun[1,2,3]*

1 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Innovation Academy of South China Sea Ecology and Environmental Engineering, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 511458, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 China-Pakistan Joint Research Center on Earth Sciences, CAS-HEC, Islamabad 45320, Pakistan

* zhensun@scsio.ac.cn

The marine pelagic brown claystone was widely recovered in the deep South China Sea (SCS) by International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 349, 367, 368 and 368X. The continuous deposition of brown claystone in Miocene in the SCS may represent a special sedimentary environment. IODP Site U1503A provides the ideal brown and green claystone of the early-mid Miocene to study the origin of the red coloring for sediments and their implications to the paleoclimate and paleoceanography. In this paper, the reflectance a*, grain size, clay minerals, major and trace elements, and Sr-Nd isotope analyses in brown and green claystone from U1503A have been conducted to understand the sedimentary condition and controlling factors of SCS marine brown claystone. The results show that the sediments color transition was caused by the variations of Fe (III) content. The provenance was relatively stable and sediment was mainly supplied from South China and Luzon. The source areas underwent strong chemical and physical weathering since 17 Ma, which is related to Miocene Climatic Optimum events. The data of redox proxies suggest that both brown and green claystone were deposited in the oxic condition, while the sedimentary environment of brown claystone was more oxidizing. We suggest this difference in the redox condition was mainly controlled by the variation of the oxygen-rich bottom current in the northern SCS. We attribute this variation to the larger-scale deep-water circulation change in the Antarctic and western Pacific due to glacial-deglacial cycle.

S10-P-07S

南海北部 IODP U1500B 站位渐新世至中新世生物地层学研究

卢亚敏，黄宝琦*，苏克凡，胡哲

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* bqhuang@pku.edu.cn

2017 年，国际大洋发现计划（IODP）367 航次在南海北部近 4000 m 水深的海底进行四个站位超千米的大洋钻探取芯研究，其中 U1500 站位于洋陆转换带基底脊

（Ridge B）上。在随船工作中，研究人员利用钙质超微化石与浮游有孔虫化石初步确立了地层年代框架，将 50R-56R 段确定为晚渐新世地层，但在 54R 及 56R 出现了较年轻的中中新世浮游有孔虫属种。因此，我们选用了南海北部陆坡 IODP 367 航次 U1500B 站位 45R-57R 段样品，根据浮游有孔虫及 Sr 同位素年代数据，重新建立了其年龄模型。

在 U1500B 45R-57R 段，我们共识别出 16 个浮游有孔虫演化事件，结合 Sr 同位素年代数据，建立起此段地层的年龄模型。渐新世与中新世的界线位于样品 49R-1, 20-22 cm（1301.41 m）处，样品 45R-3,10-12 cm（1265.51 m）至样品 49R-1, 20-22 cm（1301.41 m）段地层时代为中新世，年龄为~15-22.96 Ma，其中 45R 段平均沉积速率约为 2.7 m/Ma，46R-49R-1 段平均沉积速率约为 5.4 m/Ma；样品 49R-1, 20-22 cm（1301.41 m）至样品 49R-1, 133-135 cm（1302.54 m）段地层时代为晚渐新世，时间为 22.96 - ~23.5 Ma，平均沉积速率约为 0.68 m/Ma。而 50R-53R 及 55R 段地层浮游有孔虫组合基本完全一致，时代为早渐新世，且样品呈现压扁的特征，推断此段地层为~26.9 - >28 Ma 的混杂层。鉴于 49R 段岩芯取芯率仅为 15%，我们认为渐新世约 23.5-26.9 Ma 时间段地层样品未被取出，可能为一段滑塌层。54R、56R 砂岩段样品中浮游有孔虫组合属于中中新世，与样品 45R-3,10-12 cm 属种一致，年龄为 14.89-15.10 Ma。57R 段样品中未鉴定出有地层意义的浮游有孔虫，根据岩芯整体状况，我们认为其时代为早渐新世。

结合柱状样所在位置的地质背景、样品中的其他沉积学特征以及前人研究成果，我们认为此处至少发生过两次构造活动：第一次构造活动发生于早渐新世（~27 Ma），恰好与南海洋脊第一次跃迁时间吻合，由于南海早期扩张引起的较快的沉积速率及不稳定的沉积环境，使得 50R-56R 段地层出现混杂现象，并形成了 49R 段下部的滑塌层；第二次构造活动发生于中中新世且不早于 14.89 Ma，南海第二次扩张结束，由于差异压实等原因产生断层，导致地层错动，对应于本次研究中 54R 及 56R 较年轻的砂岩段地层的存在。

S10-P-08S

珠江的诞生：来自南海北部沉积物记录的证据

靳华龙[1,3]，万世明[1,2,4*]，Peter D. Clift[5]，刘畅[6]，姜仕军[7]，秦琳[1]，石学法[8]，李安春[1]

1 中国科学院海洋研究所，中国科学院海洋地质与环境重点实验室，青岛 266071
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266237
3 中国科学院大学，北京 100049
4 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心，西安 710061
5 Department of Geology and Geophysics, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, 77803, USA
6 International Ocean Discovery Program, Texas A&M University, College Station, TX, 77845, USA
7 暨南大学地下水与地球科学研究院，广州 510632
8 自然资源部第一海洋研究所，海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室，青岛 266061
* wanshiming@ms.qdio.ac.cn

珠江向南海北部输送了大量的沉积物，因此重建南海北部沉积历史对我们了解珠江流域演化历史以及理解珠江演化与东亚构造、全球气候之间的联系有着重要的意义。本文利用从 IODP368 航次南海北部 U1501 站位获得的高分辨率连续的黏土矿物组成、堆积速率、粒径以及黏土粒级锶钕同位素组成来重建晚始新世以来南海北部沉积环境和物源演化历史，并探讨珠江形成历史及其对构造和气候的响应。结果显示，研究区域 30Ma 之前为浅海沉积环境，27Ma 之后为稳定的深海沉积环境。30~27Ma 沉积环境不稳定，为浅海（<500m）向深海（>2000m）转

换期，可能是由南海裂解和张裂引起的构造沉降所致。物源分析显示研究区域沉积物物源在 32-30Ma 发生了重要变化。32Ma 之前，研究区沉积物主要来自华夏板块东南沿岸，而 30Ma 之后沉积物主要由古珠江提供。该发现指示了类现代规模的珠江在 30Ma 已经基本建立。通过综合对比，我们认为在早渐新世以来东部青藏高原隆升和南海形成早期沉降的共同作用下，促进了珠江的西向扩张，进而导致了珠江的形成。本研究强调了构造变形与珠江发育的密切联系，为理解珠江的发育机制提供了新的证据和认识。

S10-P-09S

南海北部 IODP U1500 站位渐新世-中新世底栖有孔虫属种组合变化及其古海洋学意义

苏克凡，黄宝琦*，卢亚敏，胡哲

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* bqhuang@pku.edu.cn

南海具有特殊而复杂的构造与沉积历史，以往研究对新生代前期南海深水环境演变的讨论相对有限，IODP 367/368 航次则进一步探索了南海海盆岩石圈演化与深水沉积环境变迁，为重建现代南海初始面貌提供了重要的地层记录。本次研究材料来自于南海北缘 IODP U1500B 孔 47-57R，是位于洋陆过渡带上方的渐新世-中新世沉积序列，本研究旨在利用其中底栖有孔虫组合讨论该时段内南海北部底层海水环境的演变。

围绕重建古水深与恢复底层水含氧量条件变化两个主要目标，我们以底栖有孔虫属种组合为主，结合沉积样品岩性、矿物出现情况等讨论沉积时的海底环境，尝试解释裂解至扩张过程中本站位的水深变化、红-绿色互层沉积的成因等。就底栖有孔虫及其中胶结质壳占比所指示的水深变化而言，出现三处明显的深度突变，分别位于 54R、56R 与 57R。54R 与 56R 样品中底栖有孔虫全部为浅海属种，并多数被海绿石或胶磷矿充填，可能产生于上层沉积物沿裂隙的滑落；来自于底部玄武岩之上的 57R 样品中中胶结质壳类型占比近 100%，除破碎的管状个体外为深水胶结质壳底栖有孔虫，指示裂解-扩张初期站位区域既已进入 CCD 以下深水环境；而 47R-53R 的有孔虫类型占比数据并未表现出明显变化趋势，我们计划以属种组合为工具，进一步恢复南海最初裂解-扩张阶段的水深变化。就底栖有孔虫形态组合而言，在出现红-绿色互层沉积的 47R-49R 段，呈伸长状的深内生底栖有孔虫属种在红色沉积样品中出现更多（灰绿色样品则相比具有略多的扁平状表生种），可能反映了海底附近氧气浓度在这些层位沉积时相对较低，其红色的成因也比预期更为复杂，结合灰绿色样品中闪锌矿的出现，这种红-绿色互层现象的出现可能与沉积后热液作用的改造有关。

S10-P-10S

南海南部巽他陆坡末次冰盛期以来陆源碎屑输入特征及其控制因素

赵宏超，刘志飞*，赵玉龙，吴家望

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* lzhifei@tongji.edu.cn

巽他陆架是全球低纬地区最大的陆架，冰期时完全出露，对南海南部深海物质输入产生重要影响。该项研究选取巽他陆坡 MD05-2892 岩芯（水深 1183 m），通过对其超高分辨率（1 mm）的 X 射线荧光（XRF）元素扫描分析，并辅以岩芯材料 AMS^{14}C 测年和陆源碎屑成份的显微镜鉴定，研究末次冰盛期以来陆源碎屑输入特征及其控制因素。结果显示，研究站位在末次冰盛期后期 18.8-17.3 ka 时的沉积速率高达 1017-3160 cm/ka，在末次冰期 17.3-14.6 ka 时的沉积速

率也达 345-437 cm/ka，显示低海平面时期的出露巽他陆架对其陆源物质输入的绝对贡献。末次冰期 17.3-14.6 ka 时期超高分辨率（平均 0.3 yr）的元素比值 Zr/K 和 Ti/Ca，揭示出该阶段的沉积纹层是由陆源碎屑粒度和硅铝质成份的韵律变化组成，呈现 18.6 yr 的月球交点潮（lunar nodal tide）周期。研究认为，出露巽他陆架前端较陡地形在末次冰期海平面上升时期的潮汐高频作用叠加下，由巽他陆架古河流输入的陆源碎屑物质受潮汐动力作用改造继而向深海输送，形成特定的 17.3-14.6 ka 时期深海沉积纹层。该项研究提出，冰期旋回的海平面变化是控制出露陆架向深海输送陆源碎屑的主要因素，而潮汐作用在海平面上升过程中与特定陆架前端较陡的海岸地形共同作用时对输入深海物质进行改造，共同控制巽他陆坡的深海沉积过程。

S10-P-11S

泰国湾表层沉积物陆源碎屑的粒度特征及其沉积动力环境意义

冯铄[1]，刘志飞[1]*，Penjai Sompongchaiyakul[2]，林宝治[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Department of Marine Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

* lzhifei@tongji.edu.cn

海洋表层沉积物的粒度分布是反映沉积动力环境条件的重要标志。该项研究通过激光粒度测试方法，研究遍布泰国湾共 166 个表层沉积物样品的陆源碎屑粒度分布特征，用于揭示影响现今沉积过程的动力环境及其控制因素。结果显示，泰国湾表层沉积物的陆源碎屑以粉砂为主，分选较差，粒度频率分布以正偏为主，峰度多为尖锐。其中，曼谷湾口、柬埔寨沿岸和苏梅岛附近的沉积物平均粒径较粗，分选较差，更正偏；湄公河口的沉积物平均粒径最粗，分选较好，个别站位为负偏，峰度很尖锐。根据全部样品的粒级-标准偏差统计，发现敏感粒级组分（120–260 μm）具有良好的环境变化指示作用，其百分含量高值区指示水动力变化显著，该结果显示曼谷湾口、柬埔寨沿岸和苏梅岛附近水动力较强，认为主要受控于潮流引发的沉积物筛选作用。泰国湾内其他区域由岸至海，呈现水动力逐渐减弱的趋势，受到表层环流和潮流的共同影响；湄公河口岸外水动力较强，向西逐渐减弱，受控于潮流和河流输入的影响。研究表明，泰国湾陆源碎屑的粒度分布特征揭示出的沉积动力环境主要受到潮流和表层环流的共同影响，河口地区受到潮流和河流径流的影响，将为研究低纬陆架地区表层沉积物的沉积动力环境及其控制因素提供借鉴意义。

S10-P-12S

南海中央海盆北部中新世大洋红层陆源碎屑的物源区研究

舒威[1,2]，刘志飞[1]*，Christophe Colin[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, Orsay 91405, France

* lzhifei@tongji.edu.cn

国际大洋发现计划（IODP）367/368/368X 航次在南海中央海盆北部边缘普遍钻遇中新世大洋红层，这是与以往从陆坡获取的深海沉积截然不同的远源沉积层序。为研究其深海沉积过程及环境意义，本项研究对 367 航次 U1499 站（水深 3758 m）的中新世大洋红层（23.0~10.8 Ma）开展了粘土矿物和锶/钕同位素分析，以期回答红层陆源碎屑的来源及其演化特征。结果显示，大洋红层的粘土矿物组合以蒙脱石（49~95%）为主，伊利石（4~25%）为辅，并含有少量绿泥石（1~11%）和高岭石

（0~16%）。通过粘土矿物的潜在源区对比，认为蒙脱石主要来自巴拉望岛，伊利石和绿泥石来自中南半岛（红河、湄公河），而高岭石来自华南（珠江）。进一步的 $^{87}Sr/^{86}Sr$（0.7122~0.7275）与 εNd（-12.11~-6.37）结果也支持红层的陆源碎屑是这三个源区的混合。在物源区时间序列上的变化，中南半岛和华南的物源供给在 14 Ma 之后相对增加，指示可能是中中新世全球变冷导致该区域陆源碎屑输入增加。因此，深海大洋红层能够极好地保存古沉积环境特征，对重建区域性与全球性古气候、古海洋、甚至古构造格局演变具有重要的意义。

S10-P-13S

南海北部典型深海环境表层沉积物中微塑料丰度及其沉积控制因素

张晓栋[1]，刘志飞[1]*，王菊英[2]，赵玉龙[1]，张艳伟[1]，马鹏飞[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 国家海洋环境监测中心，辽宁大连 116023

* lzhifei@tongji.edu.cn

海洋微塑料是全球性的环境问题和挑战，目前对深海沉积物中微塑料丰度及其分布的控制因素仍不清楚。本研究选取南海北部沉积物波、高沉积速率堆积体、海底峡谷等典型深海环境的表层沉积物，采用显微傅立叶变换红外光谱（μ-FT-IR）实验方法，鉴定其微塑料种类和丰度，揭示其深海沉积动力控制因素。结果显示，所有样品中共检测出 10 种微塑料类型，主要包括聚碳酸酯（PC）、聚氯乙烯（PVC）、聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）和聚酯纤维（PES），还有少量的聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯（ABS）、环氧树脂（epoxy resin）、烃类树脂（hydrocarbon ressin）和丙烯酸纤维（acrylic），它们的丰度范围是 19–347 $p \cdot kg^{-1}$。各深海环境的沉积物中微塑料种类和丰度差异显著，其中沉积物波区沉积物中的微塑料种类多、丰度高，而高沉积速率堆积体沉积物中只有 PC 一种微塑料类型，高屏峡谷下游沉积物中微塑料种类较多、丰度比中游高 1 个数量级，与福尔摩沙峡谷和澎湖峡谷的下游沉积物中微塑料丰度相当。研究认为，深海沉积动力条件可能是造成这些种类和丰度差异的主要控制因素，沉积物波区的地貌屏障有利于微塑料堆积，而高沉积速率堆积体区由于等深流作用不利于微塑料沉积；海底峡谷的纵向沉积动力环境是造成其下游沉积物微塑料丰度比中游高出一个数量级的原因。本研究对于理解微塑料在深海环境的沉积理论机制和环境治理具有重要科学和应用价值。

S10-P-14S

中国南海 IODP U1505 站位晚中新世以来的磁性地层与旋回地层学研究

聂云峰[1,2]，吴怀春[1,2]*，时美楠[1,2]，Eric C. Ferré[3]，Sara Satolli[4]

1 中国地质大学（北京）生物地质与环境地质国家重点实验室，北京 100083

2 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083

3 Department of Geology Southern Illinois University at Carbondale USA

4 Department of Engineering and Geology University of Chieti-Pescara Italy

* whcgeo@cugb.edu.cn

中国南海陆源输入波动包含了有关轨道参数变化和气候系统内部反馈过程的重要信息。但目前对南海地区轨道尺度上陆源输入长期的，特别是跨越了不同气候状态的响应过程的研究还很少。来自南海北部 IODP 368 航次 U1505 站位的高质量沉积记录为补充此类研究提供了契机。本次研究从 U1505 站位的 737 个离散样品中获取了相比航次内更详细的、过去 10 Ma 以来的古地磁年龄，并在此基础上对反映岩芯粘土含量变

化的磁化率和自然伽马序列进行了天文调谐，随后通过频谱和交叉频谱分析等对不同气候状态下轨道尺度的陆源输入变化进行了讨论。结果显示，~10-1.8 Ma 期间磁化率和伽马序列在短偏心率、斜率和岁差波段与 ETP 有较好的相干性，而二者曲线形态及信号组成在~1.8 Ma 后发生较大变化，表现出与全球氧同位素记录较强的一致性。这表明研究区陆源输入过程在~1.8 Ma 之前受到外部轨道作用力长期且稳定的影响。而在地球气候步入 Icehouse 阶段后，全球冰量的影响逐渐扩大，并在~1.8 Ma 到某种临界状态，开始对南海北部的物质输入过程起绝对控制作用。气候系统的内部反馈如冰川动力学过程在该时期占据主导。

S10-P-15

Weathering of the Mekong River basin with implication for East Asian monsoon evolution during the late Quaternary: marine sediment records from the southern South China Sea

Pham Nhu Sang*, Zhifei Liu

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 20092, CHINA.

* nhusang@tongji.edu.cn

Major-element geochemistry and clay mineralogy of Core MD05-2896 in the southern South China Sea are investigated to reconstruct a history of weathering in the Mekong River basin during the late Quaternary. According to clay mineralogy, provenance analysis suggests that the Mekong River mainly transports terrigenous sediments to this studied area. Mineral ratios of smectite/(illite + chlorite) and smectite/kaolinite, together with elemental ratios of TiO_2/K_2O and SiO_2/K_2O display the temporal variation of weathering processes in the Mekong River basin. Higher smectite/(illite + chlorite), smectite/kaolinite, TiO_2/K_2O, and SiO_2/K_2O ratios during MIS 3 and 1 suggest enhanced chemical weathering and weak physical weathering, while lower values of these ratios during MIS 2 display decreased chemical weathering and increased physical weathering. These proxies reveal a close relationship with the available climate proxies of the East Asian monsoon evolution, implying that the East Asian monsoon can control the weathering processes in the Mekong River basin. Our study indicates an intimate correlation between the weathering processes and the East Asian monsoon evolution in the Mekong River basin during the late Quaternary.

S10-P-16

AMOC 驱动的北半球西风带经向位移

盖聪聪 [1,2,3]，刘焱光 [4]，刘青松 [1,2]*，Andrew P. Roberts[3]

1 南方科技大学海洋磁学中心（CM2），深圳 518005

2 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518005

3 澳大利亚国立大学，澳大利亚 ACT2601

4 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

* qsliu@sustech.edu.cn

西风带是全球大气环流系统的重要组成部分，理解西风带的动力学机制对评估气候子系统间的相互作用十分重要。北太平洋沉积物保存着大量连续性较好的粉尘记录，为研究北半球西风带的演化及其驱动机制提供了良好的媒介。NP02 孔位于中纬度北太平洋，处于亚洲内陆粉尘源区的下风向，对西风带的经向位移十分敏感。

磁学研究显示，NP02 孔磁性矿物的 *L*-ratio 和铝替代程度相对稳定，说明硬等温剩

磁（Hard isothermal remanent magnetization，HIRM）可以用来表征该孔沉积物中高矫顽力磁性矿物的绝对含量。NP02 孔沉积物的 HIRM 主要受控于赤铁矿含量，故可用作粉尘含量的替代性指标。本文重建了 NP02 孔在约 21-57 ka 期间的粉尘记录，并识别出粉尘含量在约 25，39，48 和 55 ka 时的突然下降。这些粉尘含量降低的时间分别与 Heinrich 事件 2，4，5 和 5a 的发生时间对应良好。我们认为，降低的粉尘含量受控于北大西洋经向翻转流（Atlantic meridional overturning circulation，AMOC）驱动的西风带主轴位移。AMOC 在 Heinrich 事件期间的变缓会减弱向高纬地区的海洋热传递，从而增大经向温度梯度，导致西风带的加强和南移。此时，西风带主轴距离 NP02 钻孔的位置更远，以至于更少的粉尘被传输到该孔。在 Heinrich 事件 3 期间 AMOC 变缓程度受限，并没有显著改变经向温度梯度，所以西风带位移并不明显，在 NP02 孔中没有粉尘含量下降的记录。

S10-P-17S

吕宋海峡上层海洋多尺度动力过程变异的多参数漂流浮标观测研究

刘猛[1]，刘志强[1]，徐景平[1,2,3]*，汪志文[4]

1 南方科技大学 海洋科学与工程系 广东深圳 518055
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）广东广州 523936
3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室 山东青岛 266000
4 中国海洋大学 山东青岛 266237
* xujp@sustech.edu.cn

南海是西太平洋最大的边缘海，季风和台风等大气强迫、黑潮入侵、涡旋、强潮和复杂地形等多因素的联合作用使其表现出明显的多尺度变化特征。本文基于多参数漂流浮标观测的温盐、溶解氧和流速等水文数据，结合 AVISO 海表高度异常及附近 Argo 漂流浮标等数据，利用拉格朗日浮标追踪方法进行解析，分析吕宋海峡上层海洋环境在潮流、内波、涡旋和惯性流等动力过程共同影响下的特征变化。潜标漂移轨迹显示，在 5 天内潜标向西南方向漂移约 45km，最大漂移速度可达 0.35m/s，且在漂移过程中潜标受潮流往复影响呈现螺旋式漂流运动。观测数据表明研究区域上层水体温度和电导率在台风前存在潮汐频率波动（分别为 4℃和 4mS/m），而台风后波动幅度显著减小且溶解氧降低约 40μm。

S10-P-18

南海中深层沉降颗粒物中人为源痕量金属的甄别

李伟英[1]，张静静[1]，李宏亮[1]，陈建芳[1,2]*

1 海洋生态系统动力学重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
2 卫星海洋环境动力学国家重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
* jfchen@sio.org.cn

随着人类活动的加剧，人为气溶胶沉降对海洋痕量金属的贡献不容忽视。人为源痕量金属在上层海洋经生物利用和吸附作用与生源颗粒相结合，随生源颗粒的沉降可能被输送至深海。然而，目前对人为源痕量金属的研究大多都聚焦在海洋表层。由于受观测手段的限制，迄今对人为源痕量金属向深海的运输及其机制尚缺少认知。本项目以受人为气溶胶影响强烈的南海北部作为研究区域，以多年中深层时间序列沉积物捕获器样品为主要研究对象，采用多学科交叉的研究思路和手段：首先，甄别沉降颗粒物中人为源痕量金属的沉降信号；然后，结合颗粒物通量、物质组成及浮游植物丰度数据，探讨不同季节人为源痕量金属与生源颗粒的耦合运输机制；最终，探寻深层海洋人为源痕量金属与大气沉降及人类活动的关系，为深入理解海洋沉降颗粒物中痕量金属的生

物地球化学循环以及评估人类活动对深层海洋的影响提供重要的科学依据。

S10-P-19S

南海海盆火山活动记录

冯伟家，孔德明*，陈国生

1 广东海洋大学海洋与气象学院，湛江 524088
* kongdm@gdou.edu.cn

中国南海周围有大量火山带分布，研究海洋沉积物中的火山灰层将有助于了解火山活动历史以及对气候的影响，但目前这方面的研究还鲜有报道。本项目在南海东部4000m深海盆地采集2根沉积柱状样（KK2002-K2和K3），进行整根柱子的X荧光光谱（XRF）岩芯扫描，获得其磁化率和元素含量变化。通过对数据的分析，发现在过去15万年南海东部沉积物存在7次磁化率变化异常，并对应着岩芯上颜色上的变化，指示了15万年以来至少存在7次较大火山喷发影响了南海东部。其中K3沉积柱的铁锰含量揭示了在K2柱中未发现的2次火山活动和2层为颜色变化不明显的火山灰层，指示离菲律宾火山更近可能受影响更明显。沉积物中的铁含量与南极温度趋势变化相似，说明该地区的深海沉积过程受到全球气候变化的主导，而且太平洋暖池与南极存在遥相关。

S10-P-20

早侏罗温室气候期藏北羌塘地区油页岩形成的控制机制研究

伊帆[1]*，伊海生[2,3]，夏国清[2,3]，李高杰[4]，蔡占虎[5]，田康志[2]，石宇翔[2]

1 成都理工大学地球科学学院，成都 610059
2 成都理工大学沉积地质研究院，成都 610059
3 油气藏地质及开发工程国家重点实验室，成都 610059
4 绵阳师范学院资源与环境学院，绵阳 621000
5 广东石油化工学院石油工程学院，茂名, 525000
* yifan12@cdut.edu.cn

西藏北部羌塘盆地双湖地区的毕洛错油页岩是全球Toarcian期大洋缺氧事件（T-OAE）出现在亚洲特提斯海域的典型标志，该套油页岩以有机碳同位素、无机碳同位素的双向负异常及微量元素的显著富集为特征，油页岩段下部富有机质沉积的初始富集伴随着大气二氧化碳的显著增高，表明该套油页岩与早侏罗世温室气候密切相关。温室气候伴随着全球海平面迅速增高，大洋环流滞缓及海洋温跃层加强，大陆风化与生产力爆发等效应，研究其中哪种因素为有机质的富集的根本控制因素，能够为我们分析毕洛错油页岩的形成机制提供解释。

本工作针对毕洛错剖面下部油页岩首次出现的层位进行系统采样，通过生物标志化合物及干酪根元素图解(H/C-O/C)、陆源碎屑元素（K/Al, Si/Al, Ti/Al, Zr/Al，Zr/Rb）、氧化还原条件替代指标 (Mo_{EF}, U_{EF}, Re_{EF}, DOP_T，C_{org}/P_{tot})、生产力与水文环境替代指标 (P_{tot}, Cu_{EF}, Zn_{EF}, Cd_{EF},Co_{EF}, Cd_{EF}/Mo_E-Co_{EF}*Mn_{EF})考察了该套富有机质页岩的有机质类型，其沉积期的古海洋水体的氧化还原条件，水文环境的局限程度，初级生产力水平。结果表明，毕洛错油页岩初始沉积期，相对海平面与大陆风化基本保持稳定，水文环境为弱水文限制的局限海盆，生产力总体偏低，有机质的富集机制以高保存力为主。结合毕洛错剖面的古地理位置及剖面上重建的大气二氧化碳浓度曲线，我们提出，海温升高所造成的大洋环流滞缓可能是藏北双湖地区下侏罗统油页岩初始沉积的重要原因。

早侏罗世，南羌塘盆地的北侧为中央古陆，其南侧与班公湖—怒江大洋(特提斯洋)联通，毕洛错油页岩岩系沉积于双湖海岸带与特提斯洋中部的陆棚区。大气二氧化碳浓度偏低时，海表温度较低，海水环流较强使得 O_2 向下充分混合，底水与孔隙水充分富氧，有机质在海水中充分降解使得沉积物中

有机质偏低且不出现元素的富集。当大气二氧化碳浓度急剧增加，强烈的温室效应使得全球海表温度上升，极地水团的密度、盐度的变化引发了全球海洋动力学的巨大改变，导致大洋温盐环流的普遍减缓与水体混合的减弱。毕洛错地区所处的局限海盆中，底水与孔隙水中氧气含量下降，化学跃层上升至沉积物-水界面之上，海底出现缺氧环境。剖面远离陆地的位置可能限制了营养盐的输入，而而缺氧条件下磷的循环基本维持了海表低-中等的生产力。因此，毕洛错地区有机质富集的开始来自于全球变暖造成的大洋环流滞缓，而保存力加强是藏北羌塘地区下侏罗统油页岩形成的根本控制机制。

S10-P-21

Variations in magnetic properties of sediment from Shikoku Basin: implication for sediment transport

Meinan Shi[1,2], Huaichun Wu[1,2]*, Xixi Zhao[3,4], Shihong Zhang[1], Shijun Jiang[5], Xin Su[2], Haiyan Li[1], Tianshui Yang[1]

1 State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2 School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

4 Earth and Planetary Sciences Department and Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, 1156 High Street, Santa Cruz, CA 95064, USA

5 Institute of Groundwater and Earth Sciences, Jinan University, Guangzhou 510632, China

* whcgeo@cugb.edu.cn

Unraveling the evolution of sediment supply in the Shikoku Basin changed with the migration of the Philippine Sea plate is vital because of its potential role in resolving plate boundary earthquakes and the paleoceanographic evolution of the northwest Pacific Ocean. However, hemipelagic sediment transport since late Miocene remains controversial and limited. Here we reveal the difference between source materials and the evolution of sediment transport of the Shikoku Basin by comprehensive analysis. Sediments from the East China Sea are fine-grained and contain single-domain and multidomain magnetite based on rock magnetic study combined with Sr isotope composition and grain size analyses. In contrast, sediments from Japan are coarser and have fine-grain magnetite. Increasing detrital input from the East China Sea after 10-11 Ma and associated the Miocene evolution of the Kuroshio Current was identified by increasing content of multidomain magnetite, elevated 87Sr/86Sr values (0.712-0.714) and grain-size fining trend of sediments. Sediment transport evolution since 7 Ma undergone 4 phases with the main source changed gradually from Izu-Bonin arc, the East China Sea to Japan margin. After 3 Ma, intensification of the Kuroshio Current enhances the detrital input from the East China Sea again. Thus, our study provides a detailed record of hemipelagic sediment transport, giving a new insight to understanding the subduction process and the Cenozoic ocean circulation changes and climate evolution.

S10-P-22

中更新世以来西菲律宾海营养盐演化特征

贾奇[1]，李铁刚[1,2]*，熊志方[1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

2 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266237

* tgli@fio.org.cn

对过去地质历史时期上层海洋营养物质水平的反演，有利于理解海洋生产力演变特征，进而分析海洋生物泵作用在全球碳循环中扮演何种角色。利用热带西太平洋北部西菲律宾海 MD06-3047B 孔沉积记录中浮游有孔虫 Cd/Ca 来重建古海水中的营养物质浓度，利用浮游和底栖有孔虫碳同位素差值信息来重建过去生产力变化。将上述信息与已有研究区风尘等指标进行对比，分析中更新世以来热带西太平洋上层营养物质水平变化特征及其与生产力变化的关系。结果显示，Cd/Ca 记录反映的营养物质浓度的降低对应生产力升高，同时对应风尘输入增加和温跃层加深，反之亦然。说明研究区 Cd/Ca 记录可能反映了研究区营养物质的利用情况，同时上层水体热结构变化可能不是影响研究区生产力变化的主要因素，而风尘输入则是驱动生产力变化，进而影响研究区营养盐演化的重要因素。

S10-P-23S

季风对孟加拉湾上层营养盐供应的调控机制初探

王新洋 [1,2]，张静静 [2]，李宏亮 [2]*，陈建芳 [1,2]*

1 上海交通大学海洋学院，上海 200030

2 自然资源部第二海洋研究所，浙江杭州 310012

* lihongliang@sio.org.cn, jfchen@sio.org.cn

孟加拉湾所处的亚澳季风区是全球最大的季风系统，其湾内水动力过程主要受控于季风作用。厘清季风驱动下上层海洋营养盐供应的变化及其调控机制对于理解孟加拉湾生物地球化学循环具有重要的意义。

综述前人研究结果，我们发现季风主要通过调控湾内流场和层化来影响海域内真光层的营养盐供应。季风驱动下表层流场的转向对沿岸上升流和垂向上营养盐输送有显著的影响。沿岸季风性河流输入量的改变不仅会直接影响营养盐输入量，改变湾内营养盐供应情况，河流输入量连同降水量的改变还会共同影响湾内水体的层化强度，进而影响营养盐垂向输送过程。总体而言，孟加拉湾营养盐匮乏且主要表现为氮限制，而硅酸盐由于河流输入相对充足。除以上机制之外，湾内气旋涡对营养盐的垂向输送（次表层至真光层）也具有的重要贡献，然而季风对湾内气旋涡发生频率和强度的影响仍需要进一步观测和探究。

S10-P-24S

压载效应对南海颗粒有机碳输出的贡献

迟光希 [1,2]，张静静 [2]，李宏亮 [2]*，陈建芳 [1,2]*

1 河海大学海洋学院，江苏南京 210098

2 自然资源部第二海洋研究所，浙江杭州 310012

* lihongliang@sio.org.cn, jfchen@sio.org.cn

压载效应是生源（生物硅和碳酸钙）和岩源矿物保护并促进颗粒有机碳（POC）从真光层输出至深海的过程，然而这一效应对南海海盆 POC 输出的贡献尚不清楚。本研究基于南海北部和中部海盆沉积物捕获器获取的通量数据，通过多元线性回归分析发现南海北部岩源物质的压载效率最高（0.46），生物硅次之（0.39），碳酸钙最弱（0.23）；而南海中部则略有不同，岩源物质与生物硅的压载效率相同，均为 0.43，碳酸钙的压载效率最弱，为 0.22。其中，南海北部仅岩源物质与 POC 显著相关，而南海中部岩源物质、生物硅和碳酸钙均与 POC 显著相关，表明南海北部 POC 的输出过程较南海中部复杂。总的来看，压载效应对南海北部海盆中深层 POC 输出的贡献达到了 92%，略高于南海中部（85%），这可能是由于南海北部较高的生产力产生了较多的生源矿物，同时由于地形结构等影响，岩源物质通量也显著高于南海中部。高生产力和强压载效应可能是南海北部 POC 输出通量高于南海中部通量的主

要原因。

S10-P-25

冷水珊瑚丘的形成：可容空间和沉积物供给的重要性

王豪壮 [1]*, Jürgen Titschack[1,2], Claudia Wienberg[1], Dierk Hebbeln[1]

1 MARUM – Center for Marine Environmental Sciences, University of Bremen, Leobener Strasse 8, 28359

2 Senckenberg am Meer, Marine Research Department, Südstrand 40, 26382 Wilhelmshaven, Germany

* hwang147@tongji.edu.cn

冷水珊瑚丘广泛分布于大西洋及其边缘海的陆坡地区，是大陆边缘重要的地貌类型。珊瑚丘的形成是冷水珊瑚持续生长和沉积物相互作用的共同结果。珊瑚丘沉积物主要由冷水珊瑚骨骼、远洋和半远洋沉积物及与冷水珊瑚相关生物的遗留物组成。因此，珊瑚丘上的沉积物一方面可用于研究冷水珊瑚对气候变化的响应；另一方面也可用于古海洋学研究。在地中海，绝大多数冷水珊瑚丘分布于西地中海 Alboran Sea 南部。末次冰消期以来,该地区表层水和中层水之间形成的内波导致了强水动力条件，为珊瑚提供了充足的食物并最终引起了该地区珊瑚丘的快速生长。然而，我们对珊瑚丘发育时沉积过程的认识仍然极少。因此，本研究目标是通过对比珊瑚丘和其附近海底采集的沉积物岩芯（这些沉积物有关珊瑚丘发育历史研究的数据已发表）重建珊瑚丘发育时的沉积过程。沉积物粒度分析显示，珊瑚丘快速发育时期，珊瑚丘上沉积物（众数粒径：7 Φ；8 μm）较其附近海底沉积物（众数粒径：4Φ；63 μm）更细。同时，珊瑚丘上沉积物陆源碎屑堆积速率是其附近海底沉积物陆源碎屑堆积速率约 30 倍。而在珊瑚丘形成前和形成后的时期，珊瑚丘附近海底沉积物的粒径（众数粒径：8Φ）与珊瑚丘上沉积物粒径接近。上述结果表明珊瑚丘快速生长时期，珊瑚丘所在地区强水动力条件使大量细颗粒沉积物(>4Φ)呈悬浮状态。尽管如此，生长旺盛的冷水珊瑚可以极大的减缓流经珊瑚礁海流的流速，形成以低水动力条件为特征的可容空间，允许海水中悬浮的细颗粒沉积物沉积下来。因此，在强水动力条件下，冷水珊瑚生长和细颗粒沉积物的输送最终导致了冷水珊瑚丘的快速生长（垂直生长速率：>2.6 m kyr^{-1}）。在此基础上，本研究提出了冷水珊瑚丘的概念模型，强调了珊瑚缓冲效应、其提供的可容空间和沉积物供给在珊瑚丘发育中的重要作用。

S10-P-26S

南海-印度洋表层水中活体胶体虫的多样性变化

程夏雯 [1,2]，张兰兰 [1]*

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广东广州 510301

2 海南大学南海海洋资源利用国家重点实验室，海南海口 570228

* llzhang@scsio.ac.cn

胶体虫（Collodaria）是海洋沉积放射虫群体中唯一可营群体生活、具有共生藻的一个目阶类群，在地质历史时期中出现时间较晚，成为最年轻的放射虫生物地层种。本项研究首次针对低纬度胶体虫的生物地理分布展开详细研究，率先采用长时间连续、跨海区的走航采样方法，对南海北部至东印度洋海域春季和冬季表层水体中胶体虫的多样性和季节变化进行了分析。结果显示，冬季有 24 种胶体虫，春季有 18 种。南海、孟加拉湾和东印度洋赤道海域都是典型的贫营养海区，弱混合的层化海水提供给真光层的营养较少，不利于放射虫的繁盛，使得春季胶体虫的绝对丰度低于冬季；但胶体虫的相对丰度春季高于冬季，因为活体胶体虫能

够利用光合藻类共生体提供的营养物质生存，使营养稀少对其的不利影响小于对泡沫虫和罩笼虫的抑制作用。对春冬季的优势种（Y>0.02）进行 R 型聚类分析，发现可分为 A、B 两大类，A 类群有 *Collosphaera tuberosa*、*Buccinosphaera invaginata*、*Odontosphaera cytodon*，主要分布在东印度洋，适宜于高温低盐的水体环境；B 类群主要分布在南海，下分为 B1 和 B2 类群，B1 类群有 *Collosphaera polygona*、*Siphonosphaera abyssi*，在南海的春季和冬季均有分布，且在春季为优势种，适宜于高温高盐的水体环境，B2 类群有 *Thalassosphaera bifurcum*、*Sphaerozoum brandti*，只在冬季有分布，适宜低温高盐的水体环境。上述结果将为我们提高对现代胶体虫物种生态学和全球分布的认识，有助于进一步发掘放射虫在古海洋学和古环境研究中的应用。

感谢国家自然基金面上项目（批准号：41876056,41576044, 41276051）的资助帮助，本研究的数据及样品得到国家自然科学基金委员会共享航次计划项目（项目批准号：41649910）的资助。该航次（航次编号：NORC2017-10）由实验 3 号科考船实施，再次一并致谢。感谢中国科学院南海海洋研究所“实验 3 号”科学考察船全体人员的付出。感谢王东晓博士提供的水文资料。

S10-P-27

巽他陆架 38ka 以来的环境变化：高分辨率岩芯扫描记录

罗传秀[1,2]，杨子杰[1,2,3]*，Dileep Herath[1,2,3]，向荣[1,2]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301

2 中国科学院南海生态环境工程创新研究院，南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 510301

3 中国科学院大学，北京 100049

* 1543915026@qq.com

南海属典型的季风性气候。南海表层洋流运动方向与风向关系密切。东南亚的现代植被主要为热带雨林和热带稀树草原。孢粉作为反映陆源地植被信息的载体，可用于探索巽他陆架热带雨林和稀树草原的分界线。但是在进行古环境重建工作之前，必须首先研究孢粉的传播机制和源区以正确解释地层中的孢粉组合。前人研究表明，南海沉积物中的化学元素组成可以用于重建化学风化和陆源输入历史。

本研究采用的 NS07-46（110.7569° E,10.2558° N）和 NS2007-8（111° 4′ 6.96″ E，12° 4′ 33.24″ N）钻孔均位于南海西部，两钻孔均于 2007 年采用重力柱取样方法获得，其水深分别为 1081m、2615m，两钻孔长度分别为 521cm、211cm。两钻孔均挑选浮游有孔虫样品进行 $AMS_{14}C$ 测年，测年工作在美国 Beta 实验室进行，目前两钻孔的测年结果经过海洋碳库校正后已建立初步的年代框架。两钻孔均在中国科学院南海海洋研究所岩芯扫描室中使用 GeoTEK 岩心扫描仪完成 XRF 扫描，并获得了初步的地球化学数据。

NS07-46 和 NS2007-8 钻孔的沉积速率总体呈现冰期高，冰消期、间冰期低的特征。冰期沉积速率高可能是因为当时巽他陆架大面积暴露，其上发育有古湄公河、古湄南河、北巽他河等多条河流，使钻孔所在地更容易接受陆源物质的输入。而 LGM 以后由于海平面上升，巽他陆架被快速淹没，陆源地与钻孔所在地距离增加、古河口的后退和转向等原因，使得沉积速率大幅下降。值得注意的是 NS07-46 钻孔全新世以来的沉积速率极慢，与钻孔附近湄公河大量陆源物质输入的实际不符，推测可能发生了沉积间断。

XRF 扫描结果显示丰度最高的元素为 Si，其次为 Al、Fe 和 Ca，磁化率随 Fe 含量同步变化，Al 和 K 的百分比曲线呈现相似的变化趋势，而 Si 和 Sr 的百分比曲线呈现相反的变化趋势。NS07-46 钻孔在 18-10 cm、279-274 cm、404-400 cm 三个深度范围内，元素含量和磁化率发生显著波动。而

NS2007-8钻孔则在125-120 cm深度范围内，元素含量和磁化率发生 显著波动。推测当时（35.5ka B.P.）可能发生了显著的气候变化。Ti是陆源碎屑组分的指标（一般认为海洋沉积物中的Ti全部来源于陆源碎屑），本研究利用 Ti 含量估算的陆源碎屑供应量均显示为冰期比较高，与沉积速率所显示的冰期沉积速率高的结论相吻合。

S10-P-28S

南海、孟加拉湾、阿拉伯海沉降颗粒有机碳通量的对比研究

余锦萍，张静静，陈建芳，李宏亮*

1 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* lihongliang@sio.org.cn

南海、孟加拉湾和阿拉伯海是同属东亚季风系统影响的三个边缘海，为了更好地探讨季风对生源颗粒有机碳（POC）输出通量的调控作用，本研究对这三个海区同纬度的三个站点的长时间序列观测结果进行了对比分析。研究结果表明，南海中部海盆和阿拉伯海海盆的 POC 通量在西南季风期与东北季风期出现峰值，呈现双峰结构；而孟加拉湾海盆 POC 通量仅在东北季风期出现峰值，为单峰结构。这可能是由于南海中部海盆和阿拉伯海中部海盆远离河流等影响，与季风具有较好的对应关系，而孟加拉湾海盆夏季具有大量的淡水输入（强降水、河流等），限制了次表层营养盐向真光层的补充，从而导致西南季风期具有较低的生物量和有机碳输出通量。

S11-O-01

中更新世气候转型期热带西太平洋深部碳储存及其机制

秦秉斌[1]，李铁刚[1,2]*，熊志方[1,2]*，贾奇[1]

1 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266237

* tgli@fio.org.cn

“中更新世气候转型”（Mid-Pleistocene Climate Transition，MPT，1.25-0.7 Ma）是第四纪气候变化中最重要的特征之一，期间冰期加强且全球气候变化主导周期从4万年变为10万年。大气二氧化碳浓度（pCO_2）下降被认为是此次气候事件的反馈甚至驱动机制。作为地球上最大的活跃碳库，海洋必然在降低MPT大气pCO_2中起主导作用。本研究基于全球热带大洋表层沉积物样品建立完善了浮游有孔虫粒径标准化壳体重量（Size-Normalized Weight，SNW）-深海碳酸根离子饱和度（$\Delta[CO_3^{2-}]$）经验校准公式，并重建了热带西太平洋U1490站（05°48.95′N, 142°39.27′E，2341 m）1.5 Ma 以来深部$\Delta[CO_32-]$变化。结果显示，$\Delta[CO_3^{2-}]$在0.9-0.6 Ma期间阶段性下降约10 μmol kg^{-1}，同前人基于底栖有孔虫B/Ca比值重建的热带西太平洋深部$\Delta[CO_3^{2-}]$记录一致。如果该变化特征能代表太平洋深部平均状况，那么 MPT 期间太平洋深海无机碳储存可达100 Gt。同时，前人研究表明大西洋深部 $\Delta[CO_3^{2-}]$在MPT期间阶段性下降约30 μmol kg^{-1}。MPT全球大洋深部碳储存增加的主要可能机制有大西洋经圈翻转环流（Atlantic Meridional Overturning Circulation，AMOC）减弱以及高纬生物地球化学过程变化。由于AMOC变化会导致太平洋与大西洋深部$\Delta[CO_3^{2-}]$跷跷板式的变化，我们认为 MPT 太平洋深海碳储存的主导机制为高纬生物地球化学过程变化。MPT期间全球冰盖扩张导致高纬海洋成层化，高纬海气CO_2交换减弱导致全球深海碳储存增强。

S11-O-02

Upper ocean heat content (OHC) changes in the tropical Pacific induced by orbital

insolation and greenhouse gases (GHG)

Yue Wang*, Zhimin Jian, Haowen Dang

1 State Key Lab of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092

* 163wangyue@163.com

The ocean is the largest heat capacitor of the earth climate system and a main source of atmospheric moist static energy. Especially, upper ocean heat content changes in the tropics can be taken as the heat engine of global climate. Here we provide an orbital scale perspective on changes in OHC obtained from a transient simulation of the Community Earth System Model under orbital insolation and GHG forcings. Considering the vertical stratification of the upper ocean, we calculate OHC for the mixed layer and the upper thermocline layer according to the isotherm depths of 26 ℃ and 20 ℃ respectively. Generally, our simulated OHC are dominated by thickness changes rather than temperature changes of each layer. In details, there are three situations according to different forcings:

(1) Higher GHG induces positive mixed layer OHC anomalies inside the western Pacific warm pool but with neglected anomalies outside it. For the upper thermocline layer, there are negative OHC anomalies inside the warm pool and positive anomalies in the subtropical Pacific of two hemispheres. For the total OHC above 20 ℃ isotherm depth, positive anomalies mainly come from the mixed layer between 15° S-15° N and from the thermocline between 15° -30° . Lower obliquity induces similar spatial patterns of OHC anomalies as those of higher GHG, but total OHC anomalies are more contributed by upper thermocline anomalies.

(2) Lower precession results in positive mixed layer OHC anomalies in the core of warm pool (150ºE-150ºW, 20ºS-10ºN) and the subtropical northeastern Pacific, but with negative anomalies in other regions of the tropical Pacific. Upper thermocline layer OHC anomalies have similar patterns but with opposite signs relative to the mixed layer in regions between 15ºN-30ºS. As a combination, positive total OHC anomalies occupy large areas of 130ºE-120ºW from 30ºS to10ºN, while negative anomalies dominate the subtropical north Pacific, the western and eastern ends of the tropical Pacific.

If confirmed by paleoceanographic proxies, our simulated OHC results can be served as the first guide map of anomalous energetic storage & flows in the earth climate system under orbital forcings.

S11-O-03

晚第四纪东亚冬季风演化的空间差异性及其与热带太平洋类 ENSO 过程的联系

赵德博[1]，万世明[1]*，宋朝阳[2]，宫勋[3]，翟俪娜[1]，石学法[4]，李安春[1]

1 中国科学院海洋研究所，青岛 266071

2 GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Kiel, Germany

3 Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany

4 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

* wanshiming@ms.qdio.ac.cn

以往观点普遍认为，多时间尺度第四纪东亚冬季风演化主要由北半球高纬度气候变化，如北半球高纬冰量、北大西洋冰融水事件所驱动。然而值得注意的是，诸多基于中国黄土、东亚东部边缘海以及南海沉积记录所重建的东亚冬季风演化历史却不尽相同，表现出一定的空间差异性，这用传统的

高纬驱动理论是无法解释的。实际上在现代过程中，除了北半球高纬度气候的影响之外，东亚冬季风演化还受到低纬度气候过程，即厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）过程的影响。东亚东部边缘海沉积物输运具有“夏储冬输”的模式，表现为东亚大陆河流入海沉积物主要在冬季风的作用下被搬运到东部陆架区及深海。因此，利用东亚东部边缘海沉积物输入通量可以重建地质历史上的东亚冬季风演化历史。本研究以国际综合大洋钻探计划（IODP）346 航次在冲绳海槽北部钻取的 U1429 站位沉积岩芯为研究材料，利用高分辨率粘土矿物和黄河沉积物输入通量，重建了东亚东部边缘海区域过去 30 万年以来的冬季风演化历史。结果显示，过去 30 万年以来冬季风在东海和南海呈现反向演化的长期趋势，而全新世以来的指标重建与模拟结果也都显示出了同样的现象。考虑到单一的北半球高纬气候变化无法驱动东亚冬季风的这种空间差异演化，并结合现代过程中 ENSO 对东亚冬季风演变的影响，本研究提出了类 ENSO 过程对晚第四纪东亚冬季风空间差异演化的控制作用。在长趋势演化上，当热带太平洋趋于类厄尔尼诺过程时，冬季风在东亚东部边缘海区域增强，在南海减弱；而当趋于类拉尼娜过程时则相反。本研究不仅加深了我们对于气候变化低纬驱动理论的认识，同时对于东亚区域将来的气候预测也有重要的指示意义。

S11-O-04

末次冰盛期东亚季风动力学：重建和模拟的比较

孙咏[1]*，吴海斌[2]，Ramstein Gilles[3]

1 中国科学院大气物理研究所，北京 100029

2 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

3 Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement，Gif-sur-Yvette F-91191

* sunyong@mail.iap.ac.cn

气候重建和数值模拟并辅之以现代气候动力学诊断方法是当前开展过去气候变化研究的主要方式。气候重建和数值模拟的比较用于揭示过去气候变化的事实；气候动力学诊断分析则用于阐释过去气候变化背后的机制。基于以上思路，首先开展了末次冰盛期重建（55 重建站点）和模拟（PMIP3）的东亚夏季风降水的定量比较。重建和模拟的季风降水均呈现出整体减少、局地略有增加的空间变化特征，但重建和模拟降水增加的区域有所相同（这源于不同的物理过程主导了重建和模拟的降水增加）。随后的季风动力学诊断，分离了热力作用和动力作用对末次冰盛期东亚夏季风降水的截然不同的作用：热力作用主导了重建和模拟的降水减少，动力作用则有利于重建和模拟不同区域的降水增加：水平平流的动力增强作用增强了重建的降水；垂直平流的动力强令新增陆地部分模拟的降水增加。

S11-O-05

末次冰盛期热带太平洋沃克环流减弱东移

田芝平*，姜大膀

1 中国科学院大气物理研究所，北京 100029

* tianzhiping@mail.iap.ac.cn

目前为止，基于大量观测和数值模拟结果，学界对现在和未来热带太平洋沃克环流的长期变化趋势仍然存在较大争议。为了理解沃克环流在不同时间尺度上的变化机理，我们使用国际古气候模拟比较计划资料集中的 16 个气候模式试验数据，定量分析了热带太平洋沃克环流的强度和位置在末次冰盛期（大约 2.1 万年前）气候背景下的变化特征。基于纬向质量流函数，大部分模式模拟显示，该时期年平均沃克环流较工业化革命前期减弱，平均减幅为 15%；且其西边界和环流中心位置东移，平均分别移动 9 个和 8 个经度；上述变化与赤道印度洋和太平洋之间的东西向海平面气压差、赤道太平洋

低层信风的减弱紧密相关。季节变化上，热带太平洋沃克环流在全年各季节均减弱东移。进一步分析表明，在末次冰盛期大量冰盖和低温室气体浓度强迫下，北半球大尺度不均匀变冷引起海陆热力对比在北半球冷季增大、暖季减小，使得亚洲和非洲北部季风降水在冷、暖季均减少，进而导致热力驱动的行星尺度东西向环流减弱，使得赤道西太平洋低层信风减弱，从而造成冷、暖季太平洋沃克环流的减弱和东移，最终年平均沃克环流亦减弱东移。

S11-O-06

Meridional migration of Indian Ocean Monsoon precipitation during the early Holocene: evidence from the Andaman Sea

杨艺萍[1]，向荣[1]*，黄云[1]，刘升发[2]，刘建国[1]，S. Khokiattiwong[3]，N. Kornkanitnan[3]

1 边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

2 国家海洋局第一海洋研究所，青岛 266061

3 Marine and Coastal Resources Research and Development Institute, Department of Marine and Coastal Resources, Bangkok 10210, Thailand

* rxiang@scsio.ac.cn

The Holocene evolution of the Indian Ocean Monsoon (IOM), especially the spatiotemporal nature of its maximum precipitation period, remains controversial. Here we present a high-resolution Holocene IOM rainfall record from the southern Andaman Sea. The local $\delta^{18}O_{seawater}$ values suggest that local maximum rainfall occurred at 10.6-8.6 ka in the southern Andaman Sea. But the sedimentation rate and grain size detailing IOM precipitation in the northern subtropical regions exhibited its highest value at 8.6-5.5 ka. After making further comparisons with other published records for this region, we propose that maximum IOM precipitation exhibited a clearly meridional migration from south to north during the Early Holocene, which was possibly caused the combined influence of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) movement and the El Niño Southern Oscillation (ENSO) activities.

S11-P-01S

厦门大气降水氢、氧同位素组成：季节性与（台风）过程性变化

林云鹏[1]，李云海[2]*，尹希杰[2]，邹晓春[2]，王亮[2]，徐景平[1]

1 南方科技大学 海洋科学与工程系，深圳 518055

2 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361000

* liyunhai@tio.org.cn

研究台风期间降雨的氢、氧同位素演化特征可为台风气象过程、台风沉积记录以及台风活动的古气候重建等提供科学参考。本研究基于 2018 年 6 月至 2019 年 8 月在厦门采集的 162 个大气降水样品（其中台风降雨样品 35 个）的分析数据，探讨了厦门大气降水的氢、氧同位素组成的季节性以及（台风）过程性的变化。结果显示，厦门地区降水样品的氢、氧同位素值存在显著的季节和过程变化，其中台风事件的影响显著。在受夏季风（东南季风和西南季风）控制的夏、秋两季，水汽大多来自温暖湿润的海洋气团，具有湿度大、蒸发弱、降水量大、δ 值低的特点，这也导致了降水的 δ 值较低；在受东北季风控制的冬、春季，受西风环流携带的大陆气团的影响，降雨量相对较少，降水的 δ 值明显高于夏、秋两季。同时，厦门在夏、秋两季受台风过程影响明显，台风降雨的氢、氧同位素值要显著低于正常降雨的。另外，

台风降雨过程与正常降雨过程中雨水的氢、氧同位素的时间序列变化特征也存在明显的差别。厦门地区正常降雨过程的同位素存在三种变化类型：Ⅰ型受蒸发作用影响明显，同位素值呈现先降低后升高的趋势；Ⅱ型主要受降雨过程的分馏控制，同位素值呈现逐渐降低的趋势；Ⅲ型在多种因素影响下同位素值呈波动变化。不同台风降雨过程的同位素的时间序列变化趋势大体相同，主要可分为三个阶段，分别受到了再蒸发过程、台风云雨区以及残留水汽的影响，呈现出 "U "形变化的趋势。HYSPLIT 模拟后向轨迹分析的结果显示，正常降雨过程中，Ⅰ型降雨水汽主要为海陆混合来源，Ⅱ型与Ⅲ型降雨水汽主要为海洋来源。综合分析可知台风降雨的氢、氧同位素值主要受水汽来源的控制，其过程变化则受到了物理过程的显著影响。本研究对于量化台风过程的全球变化及其影响具有重要意义。

S11-P-02

冰期降雨季节性增强导致巽它大陆热带雨林的经向收缩

黄恩清*，田军，杨莹

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* ehuang@tongji.edu.cn

末次盛冰期时全球平均海平面下降约120 米，出露的巽它陆架将马来半岛、苏门答腊、爪哇岛、婆罗洲连接成片，构成横跨赤道的巽它大陆。该热带大陆面积大约 400 万平方公里，仅次于现今的亚马逊和刚果河盆地，因此该大陆对冰期时的区域气候和全球碳循环有重大影响。冰期时巽它大陆的植被分布存在两个争锋相对的观点，一种观点认为巽它大陆的大部分面积被热带雨林覆盖，另一种观点认为巽它大陆内部存在一条南北走向、跨越赤道的热带稀树草原走廊。其中由于缺乏足够的重建记录，巽它大陆北部(即南海南部陆架区)的植被状况尤其不清楚。

本文研究利用南海南部 MD05-2894 站位的沉积序列，以陆源正构烷烃碳同位素记录来反演巽它大陆北部的植被演化历史。发现在末次盛冰期和 Heinrich 1 事件期间，烷烃碳同位素值在-32.6‰和-33.8‰之间波动，表明巽它大陆北部 C3 植被在生态系统中占据统治性的地位。结合相邻站位的孢粉记录，推测巽它大陆北部在冰期和冰消期时主要被热带雨林覆盖。虽然记录和模拟都表明冰期时巽它大陆降水量有小幅度的下降，但大气湿度水平依然可以维持雨林的生长。该站位填补了一个重要的数据空白。

进一步的，我们收集了整个巽它大陆及其周边的重建数据，发现虽然暴露的巽它陆架上有大面积热带雨林存在，但冰期时整体雨林的分布范围，相较现在存在经向收缩。尤其在印尼南部陆架，热带稀树草原占据了主导地位，雨林只明显存在于婆罗洲的南部地区。推测冰期时降雨季节性差异加强，总体上有利于热带稀树草原的扩张，导致雨林区向赤道核心区收缩。

S11-P-03S

Temperature and circulation history of the East Australian Current (EAC) during the past two millennia

Ruixiang Zhai[1]*, Mahyar Mohtadi[2], Stephan Steinke[1]

1 Department of Geological Oceanography and State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361102, China

2 MARUM-Center for Marine Environmental Sciences, University of Bremen, Bremen 28359, Germany

* 690364643@qq.com

The East Australian Current (EAC) is the western boundary current of the South Pacific

gyre transporting warm tropical waters to higher southern latitudes and therefore has a significant impact on Australia's and New Zealand's climate: a weaker EAC transport is linked to the anomalous cool condition in New Zealand, and a stronger EAC is shown to promote rainfall along the east Australia coast. Modern observations show that, as the global temperature rises, the EAC has strengthened and extended further southward over the past 60 years. Because of the lack of continuous long-term palaeoclimate and palaeoceanographic reconstructions, we know very little about the pre-industrial variability of the EAC and its climate impact in the region.

In our study, we analyzed marine sediment samples of three multiple cores recovered off eastern Australia between 15°S and 26°S, spanning the past four thousand years. We applied Mg/Ca palaeothermometry to study the past SST variability and its link to changes in the EAC transport. The planktic foraminifera *G. ruber* based Mg/Ca estimates reveal unchanged and stable SSTs between 2000 BCE and ~1300/1400 BC. After ~1300/1400 BC, the SST's increased by ~1.2°C off eastern Australia. At the same time, the decrease of the latitudinal temperature gradient between 15°S and 26°S suggests an increased heat transport and thus a strengthening of the EAC. We suggest that the intensification of the EAC is driven by a spin-up and southward shift of the Southern Hemisphere subtropical ocean circulation due to an increased wind stress curl over a broad region of the South Pacific associated with an increase in the South Pacific annular mode (SAM) / Antarctic oscillation.

S11-P-04S

利用冷水珊瑚重建南海中深层海水演变

何志*，黄恩清，田军

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* hezhi8722@163.com

南海作为东亚最大的边缘海，可以弥补西太平洋沉积速率较低的不足，是研究古海洋与古气候演变的绝佳场所。在南海采集的冷水珊瑚，其生长周期可达上百年甚至更久，是开展中深层水高分辨率古海洋学研究的理想载体。石珊瑚可以通过 U-Th 定年以及 AMS^{14}C 定年，其中 U-Th 为绝对定年，而 AMS^{14}C 定年所得到的年龄通常称为"惯用年龄"，需要经过碳储库校正后才能得到日历年龄，而一般现代海洋碳储库年龄默认为 400 年，实际上不同区域的海洋的碳储库年龄并不一致。因此通过 U-Th 绝对年龄减去 ^{14}C 年龄就可以得到珊瑚生活海水的碳储库年龄。同时 Δ^{14}C 作为一个保守参数，不受海水的物理化学环境影响，也可用来重建过去的中深层环流的演化史。Nd 同位素同样可以不受生物过程影响，可以很好的示踪水团的混合与运动。本文预计通过测量由 2020 年"奋斗者"号在南海北部采集的经过 U-Th 定年的冷水石珊瑚的 ^{14}C、U、Th 恢复南海的碳储库年龄，初步得到的 U-Th 结果显示多数冷水珊瑚化石年龄集中在几千年，少数可达到 2 万年，利用 ^{14}C 以及 Nd 的变化查明末次冰期以来的南海的中深层水的通风年龄以及海水的混合、上升流的变化，并结合当时气候记录查明洋流变化与气候记录之间的关联。

S11-P-05S

利用浮游有孔虫壳体的 δ11B 值重建晚中新世时期的大气 *p*CO2

汪镇*，田军

1 同济大学海洋地质国家重点实验室 上海 200092

* 1931663@tongji.edu.cn

晚中新世（~11-5.3 Ma）是新生代变冷以来值得关注的一个时期，全球碳循环系统发生了一系列重大的变化，包括晚中新世大洋碳位移事件、C4 植被扩张事件等等。为了弄清该时期的碳循环过程以及气候效应，大气 pCO_2 的重建记录是必不可少的参考依据。本次研究内容在于重建晚中新世时期的大气 pCO_2，方法为浮游有孔虫壳体的硼同位素。浮游有孔虫的硼同位素方法是基于海水硼酸体系内 $B(OH)_4^-$与 $B(OH)_3$ 的转化关系与分馏过程，由此获得海水 pH 值与 $\delta^{11}B_{B(OH)4-}$值的计算公式，进而结合碳酸盐体系的第二个参数求解大气 pCO_2。本次重建大气 pCO_2 记录的时间是晚中新世，因此需要对相关的背景值加以说明，主要是计算参数的选择，以处理出准确可靠的大气 pCO_2 记录。

$$pH = pK_B^* - \lg\left(-\frac{\delta^{11}B_T - \delta^{11}B_{B(OH)4-}}{\delta^{11}B_T - \alpha_B \times \delta^{11}B_{B(OH)4-} - (\alpha_B - 1) \times 1000}\right)$$

K_B*是硼酸在原位温度、盐度、压力下的电离常数，使用 Dickson(1990)的公式计算；α_B 是硼酸体系的分馏系数，通常取值为 Klochko(2006)测定的 1.0272；最重要的参数是 11BT 值即海水的硼同位素组成，过去海水的 $^{11}B_T$ 值并不是固定的值，针对晚中新世时期，我们主要依据的是 Greenop(2017)基于表层与底层海水 $\Delta pH/\Delta\delta^{13}C$ 不变的假设模拟出的变化曲线；$\delta^{11}B_{B(OH)4-}$ 是海水中 $B(OH)_4$-的 $\delta^{11}B$ 值，而实验测试所得结果为有孔虫壳体的 $\delta^{11}B$ 值，关键在于两者的转换，考虑到有孔虫粒径、属种和实验方法的影响，本次研究将采用 Sosdian(2018)的矫正公式。

重建海水 pH 值的演化历史后，还需结合碳酸盐体系的第二个参数，本次研究选择表层海水的 DIC 浓度。为了减小误差和增加可信度，根据 $^{11}B_T$ 值的变化曲线计算已发表底栖有孔虫 $\delta^{11}B$ 值代表的深层海水 pH 值，利用 Pälike(2012)重建的 CCD 演化与流体包裹体估计的$[Ca^{2+}]$来计算深层海水$[CO_3^{2-}]$，从而结合深层海水 pH 值与$[CO_3^{2-}]$获取深层海水的 DIC 浓度。最后参考工业革命前表层海水的 DIC 浓度与深层海水的 DIC 浓度变化趋势，计算晚中新世时期表层海水 DIC 浓度，再结合我们重建的表层海水 pH 值，由此我们可以获得晚中新世时期的大气 pCO_2 记录。

S11-P-06S

晚第四纪表层海水氧同位素的数据分析与意义解读

刘冰瑾，黄恩清*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* ehuang@tongji.edu.cn

浮游有孔虫壳体中氧同位素记录的气候信息十分复杂，目前普遍认为主要受到全球冰量变化以及海水温度的影响，在低纬地区的边缘海海域，浮游有孔虫的氧同位素存在显著岁差周期。去除温度影响后的表层海水氧同位素是重建低纬水循环的重要手段，受到局部水文条件等多种因素的影响。为了准确解读浮游有孔虫和表层海水同位素波动的气候意义，文章收集和计算了全新世及 MIS 5 期大西洋、太平洋、印度洋三个海域数个站位的表层海水氧同位素数据，拟合了不同时期、不同海域的表层海水氧同位素数据曲线，新的记录可以明显识别出千年尺度的气候变化，并存在空间分布的差异。将全新世与 MIS 5 期的拟合曲线进行对比，探讨不同岁差参数下表层海水氧同位素记录的气候信息的差异。通过与数值模拟结果的结合，探讨不同海域水循环模式的差异。

S11-P-07S

LGM 时期马里亚纳海沟硅藻席沉积与碳硅循环

蔡雯沁，黄恩清*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* ehuang@tongji.edu.cn

大气二氧化碳分压冰期旋回的驱动机制是研究气候演变的核心问题之一。大气二氧化碳的升高或降低总是围绕有机碳和无机碳在地球各圈层尤其是海洋和大气中的重转化和再分配展开的。因此，探索海洋碳循环过程，海洋中的一些突然快速事件沉积（如海洋硅藻席）的成因机制是一个适合的切入口。海洋硅藻席是大型或“树荫种”硅藻（Ethmodiscus rex 等）勃发形成“硅藻席”迅速埋藏并造成单种组成的纹层沉积，而其勃发机制及营养物来源仍然存在争议。本研究通过测定 LGM 时期马里亚纳海沟硅藻席沉积的生物硅通量、有机碳含量以及硅同位素的变化来探究低纬海域成席硅藻沉积的成因机制及其关联的碳、硅循环过程，这也是解决 pCO2-atm 冰期旋回驱动机制的重要途径。

S11-P-08S

晚中新世低大气 pCO2 下暖室气候成因机制的研究进展

魏思华*，田军，杜金龙

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 1931664@tongji.edu.cn

来自全球不同区域的地质记录显示，晚中新世 Tortonian（12-7Ma）时期比现代更加温暖和潮湿，但晚中新世大气二氧化碳浓度较低，与工业革命前相当。地质历史上，pCO_2 与温度常呈现耦合一致的变化，晚中新世这种低大气 pCO_2 下的暖室气候是如何产生的？主流的研究方法有两种，一种侧重于指标重建，倾向于支持晚中新世气候-pCO_2 解耦假说；一种侧重于数值模拟，倾向于探究晚中新世对不同驱动因素的响应。

指标重建中，人们将不同气候记录与 pCO_2 记录做比较，发现晚中新世气候变化与大气 pCO_2 变化无关，认为气候与 pCO_2 解耦了。前人的研究多着眼于整个新生代降温，认为 pCO_2 变化不是新生代降温主要驱动力。而是由轨道驱动的海洋环流的变化，或是构造过程，改变了经向热量及水汽的输送，从而触发冰盖扩张和全球变冷。Lariviere et al (2012)具体讨论了晚中新世气候-pCO_2 解耦时期，提出温跃层深度的变深导致晚中新世气候对大气 pCO_2 强迫的弱响应，中美洲海道开放是晚中新世深温跃层的最可能原因。

对晚中新世开展的数值模拟较少，与晚中新世气候有关的数值模拟中，一部分致力于重建晚中新世异于现代的植被分布；一部分致力于晚中新世对二氧化碳和古地理等驱动因素的敏感性实验；一部分致力于使用数值模拟约束晚中新世的 pCO_2 水平；还有一部分致力于重建晚中新世的暖室气候。结果表明，晚中新世低大气 pCO_2 下暖室气候的成因机制可能是古地理、古植被、植被/冰盖差异造成的反照率降低、温室气体水蒸汽含量增加、大气潜热输送增强等。

然而，为了模拟出晚中新世的暖室气候特点，不少模拟中仍然使用了较高的 pCO_2 浓度，无法充分模拟出晚中新世的极地高温。且气候-pCO_2 息息相关，晚中新世的特殊现象对现代很有参考价值，不能简单归因于解耦。因此对于晚中新世低大气 pCO_2 下暖室气候，还有待进一步探究。

S11-P-09S

北半球中纬度降水变化对黑碳气溶胶和二氧化碳增加的不同响应

薛景彦[1,2]*，解小宁[1]，刘晓东[1]

1 中国科学院地球环境研究所，西安 710061

2 中国科学院大学，北京 100049

* xuejingyan@ieecas.cn

人类排放的温室气体和气溶胶含量的

增加，会改变大气能量收支，引起辐射强迫、地表温度以及区域和全球平均降水的变化。二氧化碳和黑碳分别作为温室气体和气溶胶的重要组成部分，是引起近几十年来全球变暖最重要的贡献者，也是造成许多区域尺度气候和环境显著变化的重要强迫因子。目前关于大气二氧化碳和黑碳气溶胶气候效应的研究已有很多，但它们对北半球中纬度地区气候的影响，仍存在很大的不确定性。本文采用降水驱动响应模式比较计划（PDRMIP）框架下 9 个全球气候模式的模拟结果，综合研究了大气中黑碳和二氧化碳含量增加引起的北半球中纬度降水变化及其异同。集成分析结果表明：北半球中纬度地区的降水变化对黑碳和二氧化碳增加存在不同响应。在海气耦合模式中，黑碳和二氧化碳引起的降水呈现相反变化。黑碳气溶胶增加使北半球中纬度地区降水减少，二氧化碳增加则使其降水增加。二者的差异在中亚、北美中部以及北太平洋中部地区尤为明显。进一步的分析揭示了这种差异的内在机制：黑碳气溶胶引起的中纬度降水变化以与大气快反应过程相联系的动力作用为主导因素；而二氧化碳引起的降水变化则为海洋慢反应过程引起的热力作用所致。这些模拟研究结果有助于深入理解中纬度地区降水变化的内在机理。

S11-P-10S

陆源过程驱动的晚中新世碳位移事件：基于箱式模型的研究

杜金龙*，田军

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* dujinlong@tongji.edu.cn

晚中新世碳位移事件（LMCS）是发生在晚中新世一次全球性的海水碳稳定同位素（$\delta^{13}C$）负偏事件，在大约一百万年的时间内，全球底层海水 $\delta^{13}C$ 下降了约 0.9‰。过去的研究倾向于使用海洋内部的成因机制来解释 LMCS，提出了包括生物泵假说、洋流改组假说等在内的一系列假设。新近发表的基于浮游有孔虫的表层海水 $\delta^{13}C$ 数据则表明，LMCS 不止发生在底层海洋中，而是在大洋水柱上下都有体现，这说明一定是海洋与其他碳库的碳收支过程驱动了这一事件。而至今为止，基于不同碳库间相互关系解释 LMCS 的研究尚属空白。基于一个包含七个箱体的海气碳循环箱式模型，我们验证了陆源过程在 LMCS 中的作用。基于重建数据的敏感性测试表明，发生在晚中新世时的陆源输入加强过程，通过增加陆源轻碳的输入，可能造成整体海水的碳同位素负偏；此外，通过新加入的植被-土壤同位素模块，晚中新世遍及全球的 C4 植被扩张过程，通过扣押轻碳在陆地的方式，也能造成海水碳同位素的负偏。但是，我们的敏感性实验表明，两者单独实验中 $\delta^{13}C$ 变化幅度均远小于记录中的 LMCS；而同时考虑两种机制的综合实验，则产生了与记录相当吻合的结果。我们的结果表明，由构造变动为起点，协同的陆源输入过程的变化可能是导致晚中新世碳位移的主要原因；在此期间大气二氧化碳可能体现出长期下降的特点，与最新的长时重建记录吻合得很好。

S11-P-11S

联合热带氧同位素数据和气候系统模拟来重建显生宙全球地表温度

魏梦宇，杨军，刘永岗，胡永云*

1 北京大学大气与海洋科学系，北京 100871

* yyhu@pku.edu.cn

目前使用最广泛的显生宙全球地表温度变化曲线是由 C. R. Scotese 根据氧同位素信息和岩石标本信息推算而来的 (Scotese et al., 2021)。这种推算方法的优点是热带温度不确定性较小，但是高纬度温度的不确定性很大。我们采用联合热带氧同位素数据和

气候系统模拟的方法，重新重建了显生宙全球地表温度。在我们的方法中，热带温度依然由氧同位素决定，但是中高纬度温度由气候系统模式来决定，因为气候系统模式可以更为自洽地计算大气和海洋热量输送以及各种气候反馈。结果发现，Scotese 方法严重高估了某些时期的北半球中高纬度地表温度。这一系统性的偏差可能是源自 Scotese 关于地表温度梯度的假定，现代地球的北半球地表温度梯度对于其他时期是不适用的；另一方面，使用岩石指标地表温度进行估算有很大局限性，选择的赤极温度分布曲线和模式结果有较大差异。

S11-P-12S

南海西北部冷水珊瑚元素比值的环境意义

曾治惟[1]，党皓文[1]*，黄恩清[1]，马小林[2]，孔乐[1]，黄湘通[1]，杨策[1]，曲晓丽[3]，周力平[4]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061
3 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室，西安 710049
4 北京大学海洋研究院，北京 100871
* hwdang@tongji.edu.cn

冷水珊瑚在十年和更短的时间尺度上记录深海环境信号，能够提供中深层海水可靠的古环境记录，为理解海洋和气候变化提供关键信息。但是在西赤道太平洋地区，冷水珊瑚研究尚未广泛展开。竹节珊瑚是冷水珊瑚中柳珊瑚的一种，其生长纹层呈同心圆状分布，能够记录年际尺度环境变化。本课题中，我们首次利用南海西北部（水深 693.9 米）的竹节珊瑚标本 SY068-7-2 的无机碳酸钙骨骼，通过研究其骨骼中记录元素含量，讨论南海西北部中层海水参数变化，开创性地探索利用冷水竹节珊瑚进行古环境再造的可能性。

沿横截面生长方向，测试获得 13 个加速质谱 ^{14}C 年龄结果，经碳储库校准后换算成日历年龄，运用贝叶斯回归方程方法，建立年龄模式。元素分布由激光剥蚀等离子质谱分析得到两条生长方向上扫描曲线元素比值。对测试结果中 Mg/Ca 和 Ba/Ca 比值替代性指标重建环境参数，并对其进行频谱分析，结果指示中层水团可能存在着年际温度和营养盐的变化规律。本课题首次尝试运用竹节珊瑚中元素比值来进行古环境重建，尽管元素比值测试中，仍存在着对横截面上分布的规律和替代性指标有所不足，但这启发了竹节珊瑚后续研究工作的方向，在生物学机制尤其是生命效应和吸收各类元素机制上下功夫，从而对竹节珊瑚全面认识。

S11-P-13S

250 百万年以来地球大气的超级旋转现象

蓝佳雯静*，杨军，胡永云

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871
* lanjwj@pku.edu.cn

对现代地球大气而言，热带对流层中上层的长期气候平均纬向风是自东向西的，即东风。这种东风的维持主要靠两方面，一是跨赤道的哈德雷环流能够将近地面东风带到对流层中上层，起到减速西风风场的作用；二是对流层非绝热加热的不均匀分布能够激发热带罗斯贝波和开尔文波，这种定常波的传播使得西风动量能够逆梯度输送，即把动量从高纬度区域向赤道输送，起到加速西风风场的作用。这两个动力因素共同作用下，赤道呈现出东风状态。那么地球历史时期有无可能出现超级旋转状态呢？即长期气候平均态下赤道对流层中上层风场为西风的情况？我们用 CESM1.2.2，每 10 百万年进行一次切片试验，模拟了 250 百万年前至今的地球古气候，发现不少时期都出现了大气

超级旋转现象，即赤道西风，这些时期对应着比较温暖的气候态。西风出现在对流层顶附近，量级不大，只有几米每秒，和现代地球赤道东风的量级相当。在较为温暖的事情，潜热释放增多，激发出更强的热带耦合罗斯贝－开尔文波，从而增大向赤道的动量输送，有利于维持赤道超级旋转。

S11-P-14S

东地中海 50 万年以来表层海水温度和氧同位素变化

赵蔓*，黄恩清，赵玉龙

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 1831700@tongji.edu.cn

现代地中海一方面具动态温盐环流，其深海通风状况良好；另一方面由于寡营养状态，其生产力接近沙漠。然而，自 13.5Ma 起出现了表征深水停滞、富有机质的腐泥层沉积。过去研究将腐泥层的形成主要归因于在受岁差调控的北半球夏季太阳辐射量影响下的非洲季风达到最强时，尼罗河径流量增强，输入的大量淡水和营养元素导致地中海深海缺氧、表层初级生产力提高，进而形成腐泥层。然而，近年来越来越多的研究表明，在不同边界条件下腐泥层的沉积机制并不一致。为此，我们结合东地中海 MD90-964 钻孔的浮游有孔虫氧同位素记录（$\delta^{18}O_{G.ruber}$），并主要采用长链烯酮（$U^{K'}_{37}$），计算表层海水温度（SST）和剩余氧同位素（$\delta^{18}O_{resi}$）组成，以此探讨东地中海 50 万年以来腐泥层的沉积机制。我们的实验结果表明，腐泥层的沉积机制并不统一，表层海水温度、海平面升降和季风径流等因素都会影响腐泥层沉积时期的表层海水浮力变化，并且在不同腐泥层沉积期，其相对贡献不同。

记录表明，腐泥层期间 $\delta^{18}O_{resi}$ 降低(0.3-3.4‰)，SST 增加(0.5-5.9℃)。其中 S3、S4、S5 和 S10 底部 $\delta^{18}O_{resi}$ 出现明显负偏，与非洲季风径流的突然输入和夏季太阳辐射（65°N）极大值一致，指示季风驱动对上述腐泥层沉积起主导作用。$\delta^{18}O_{G.ruber}$ 和 $\delta^{18}O_{resi}$ 的负偏领先于 S1 的沉积，结合 SST 和海平面记录指示 S1 的沉积受海平面以及 SST 变化的显著影响，但 S1 的开启伴随季风径流峰值，说明与季风相关的淡水输入仍是导致腐泥层沉积的重要驱动因素。S8 沉积时 $\delta^{18}O_{G.ruber}$ 和 $\delta^{18}O_{resi}$ 未明显负偏，并且其开启明显滞后于~220kyr 的辐射极大值，SST 记录表明 S8 主要受 SST 变化影响，其开启伴随 SST 极大值。不同于上述腐泥层，S6 沉积于冰期（MIS6），其开启领先于~175kyr 的辐射极大值，导致响应太阳辐射极大值的季风径流峰值晚于 S6 的开启，同时 $\delta^{18}O_{resi}$ 和 δ18OG.ruber 的负偏早于其开启，推测可能是 SST 的暂时升高或者冰融水的注入导致 S6 的提前开启。

S11-P-15S

上新世西太平洋暖池营养跃层与生产力协变及其古海洋学意义

施江南[1,5]，贾奇[2]，Dirk Nürnberg[3]，李铁刚[2,4]*，熊志方[2,4]，秦秉斌[2]

1 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室，青岛 266071

2 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

3 GEOMAR Helmholtz Center for Ocean Research Kiel，Kiel 24148

4 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

5 中国科学院大学，北京 100049

* tgli@fio.org.cn

热带太平洋对于调节上新世全球气候具有重要意义，而热带生产力的变动也是影响全球碳循环运转以及高低纬气候联结的重要机制之一。以往对上新世以来热带太平洋海表温度的研究表明，热带太平洋热平均态的改变显著影响全球气候变化。但同一时期，对于区域气候不受上升流系统主导的西

太平洋暖池区，基础生产力的重建记录较少，并且构造尺度上营养跃层在驱动生产力变化中所扮演的角色也还不明确。因此我们利用国际大洋发现计划363航次在西太平洋暖池区所取得的较新的沉积柱样，获得 5.1-2.6Ma 期间高分辨率有孔虫碳同位素和沉积物 Ba/Ti 比值，以此重建该时期营养跃层深度及古生产力的记录。重建结果揭示了长尺度上营养跃层深度和生产力的同步变化趋势：（1）构造尺度上营养跃层和生产力在热带西太平洋具有相似的变化趋势；（2）中美洲海道关闭和印尼海道的收缩使来自高纬度的海水在热带西太平洋海区上涌增强，从而进一步影响研究区域营养跃层深度和生产力；（3）热带西太平洋海区生产力与全球大气 CO2 浓度变化大体上具有一致性，可能指示了早上新世生物泵在气候系统中对大气 CO2 的调节具有正反馈效应。

S12-O-01

火山如何激发厄尔尼诺

刘飞*

1 中山大学大气科学学院，珠海 519082

* liufei26@mail.sysu.edu.cn

After each of the 1963 Agung, 1982 El Chichón, and 1991 Pinatubo eruptions, an El Niño was observed. The increased likelihood of an El Niño after a tropical eruption has also been found in long-term reconstructed proxy data. Through examining simulations over the last millennium by 11 different models, we show that a tropical volcano eruption can robustly excite a western-to-central equatorial Pacific (WCEP) westerly anomaly at 850 hPa in eight out of the 11 models; such a west-erly anomaly is favorable for El Niño development. Under the volcanic forcing, there are significant extratropical continent surface cooling and tropical drying with negative precipitation anomalies over the South–South East Asia (SSEA), West African monsoon, and Intertropical Convergence Zone (ITCZ) regions. This common precipitation suppression response occurs in most of the models. Sensitivity experiments show that a WCEP westerly anomaly can be excited by the tropical land cooling, especially the SSEA cooling induced precipitation suppression rather than by the extratrop-ical land surface cooling. Theoretical results show that a WCEP westerly anomaly is excited due to a Gill response to reduced precipitation over the SSEA and West African monsoon regions; and the SSEA contributes more than the West African monsoon does. The ITCZ weakening, however, excites an easterly wind anomaly. The models with more sensitive convective feedback tend to simulate an El Niño more easily, while a failed simulation of an El Niño after a robust westerly anomaly in some models calls for further studies on these models' delayed responses to radiative forcing induced by volcano eruptions.

S12-O-02

湿润亚热带地区过去 300 年来春季低温变化

方克艳*

1 福建师范大学地理科学学院，福州 350000

2 福建师范大学湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地，福州 350000

* kfang@fjnu.edu.cn

全球变暖的背景下，环流冷中心出现南移，导致我国南方地区的冬春季低温寒潮事件频率与强度都在增加，对当地的农业、生态系统安全等造成了严重的危害。但受器测资料时间分辨率的限制，对区域长时间尺度上的温度变化特征及驱动机制仍缺乏足够的了解。针对这一现状，本研究利用 10 条风水林的树轮碳同位素（$\delta^{13}C$）年表序列重

建了我国湿润亚热带地区 A.D. 1709~2015 年来的春季低温变化特征。重建结果显示，研究区过去三百多年来低温事件主要出现时段为 1730s~1750s 、 1830s~1860s 、 1900s~1920s、1970s~1980s。其中，持续时间最长、最严重的低温事件发生在 1830s~1860s，这场春季低温事件可能导致区域的粮食产量大幅减产、人地矛盾加剧，域内客家人与土著之间对资源的争夺愈演愈烈，间接助推了太平天国运动（A.D. 1851~1864）。研究还发现，区域的春季低温变率与 ENSO 关系显著，但两者之间的关系不稳定，受 ENSO 变率的调控；而在年代际尺度上，区域春季低温与 PDO 和 AMO 的相位变化密切相关。

S12-O-03

全新世东亚冬季风与厄尔尼诺活动影响下热带太平洋降水千年尺度上相互作用的探讨

董江 [1,2]，李安春 [2]*，陆正遥 [3]*，刘喜停 [4]，万世明 [2]，晏宏 [5]，于兆杰 [2]，冯旭光 [6]，石学法 [1]

1 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061
2 中国科学院海洋研究所，青岛 266071
3 瑞典隆德大学自然地理与生态系统科学系，隆德 22362
4 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100
5 中国科学院地球环境研究所，西安 710075
6 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210093
* acli@qdio.ac.cn, zhengyao.lu@nateko.lu.se

东亚冬季风和厄尔尼诺活动是调节太平洋水文循环的重要气候模式。然而，由于缺少指示东亚冬季风演化的高分辨率代理指标，全新世东亚冬季风、厄尔尼诺活动与热带太平洋降水之间的相互作用机制尚不清楚。本文利用东海内陆架泥质区的高分辨率沉积物粒度记录和瞬态气候模拟，重建了全新世东亚冬季风的演化历史，并将其与古厄尔尼诺降水相关的代用记录进行对比。结果表明 5.8 ka 以来，东亚冬季风与厄尔尼诺活动相关的热带太平洋降水之间存在千年时间尺度上的反相位耦合关系。这一结果与模拟结果一致，表明强东亚冬季风不仅可以通过降低海表温度来减少赤道西太平洋降水，而且可能改变热带太平洋的边界条件（即：东－西太平洋温度梯度和热带西太平洋西风异常），从而有助于随后强厄尔尼诺活动的形成。由热带东太平洋降水正异常推断出的强厄尔尼诺活动，可通过激发西太平洋反气旋及其相关的南风异常来抑制东亚冬季风，从而产生热带西太平洋季风区强降水。我们的研究突出了全新世中晚期地球气候系统内部的相互作用，对理解千年时间尺度上的气候振荡具有重要意义：东亚冬季风很可能是调节高低纬度之间这种周期性气候传递的关键桥梁。

S12-O-04

湖光岩玛珥湖过去 2000 年来的气候变化记录

曹建涛 [1]*，储国强 [2]，贾国东 [1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 110105
* caojt@tongji.edu.cn

现代暖期的背景下，北半球亚热带降水的减少是人类活动（粉尘、温室气体等）还是自然气候引起的，目前还不清楚。研究此区域更长时间的温度、降水变化历史将有助于进一步理解该区域降水减少的原因。基于此，运用湖泊沉积物中支链 GDGT 和叶蜡烷烃氢同位素，我们重建了中国南方亚热带湖光岩玛珥湖过去 2000 年的温度和湿度变化历史。温度结果显示出年代际尺度的冷暖交替变化，包括二个显著的暖期和一个冷期，即中世纪异常期（MCA；AD 800–1300 年），

小冰期（LIA；AD 1450–1850 年）以及现代暖期（CWP；AD 1900 年－至今）。温度记录表明现代暖期的温度并没有超过中世纪异常期的高温值。湿度结果也表现出年代际的干湿交替变化，包括几个相对干旱期（AD 0–200、800–900、1100–1300、1850–至今）和湿润期（AD 200–500、900–1100、1500–1850）。总体上，湖光岩的温度与湿度结果呈现暖干–冷湿的年代际水热配置模式，现代暖期背景下的干旱情况与中世纪异常期的干旱类似。因此当今和未来的北半球亚热带降水的减少趋势除了考虑人类活动因素外，还应该充分考虑该区域的年代际水热配置模式的影响。

S12-O-05

江淮地区高分辨率湖泊沉积物年代学和季风降水变化研究

蒋诗威[1]，周鑫[1]*，Julian P. Sachs[2]，罗武宏[3]，涂路遥[4]，张居中[3]，沈延安[1]

1 中国科学技术大学地球和空间科学学院，合肥 230026

2 华盛顿大学海洋科学学院，西雅图 98195

3 中国科学技术大学科技考古系，合肥 230026

4 伯尔尼大学奥斯切尔气候变化研究中心，伯尔尼 3012

* xinzhou@ustc.edu.cn

中国南方地区过去千年季风降水演变规律及其驱动机制的深入研究，对于人类如何应对未来气候变化对生产活动与经济发展的影响有着重要的意义。前人已经通过湖泊沉积、石笋、泥炭、近海沉积以及历史文献等材料对中国南方地区过去千年季风降水演变历史进行了重建并取得了重要进展。然而随着近些年来该区域更多季风降水演变序列的出现，不同研究对于中国东南地区中世纪暖期和小冰期的干湿变化规律及其驱动机制认识存在差异。为了解决中国南方过去千年降水研究中存在的问题，本文选取江淮地区女山湖高分辨湖泊沉积物为研究材料，使用多种不同类型的测年材料进行年代学测定，以此构建了精准的年代学框架。在精准的年代学框架下使用多项代用指标重建了江淮地区过去 1800 年的季风降水演变记录，重建结果显示，过去千年江淮地区在两个典型气候特征时期内呈现“暖干冷湿”降水模式。通过区域对比发现，江淮-华北的降水模式呈反向变化，中时间暖期呈“南旱北涝”，小冰期呈“南涝北旱”。结合器测记录以及前人对江淮降水水汽来源和大气环流的模拟，进一步探讨了江淮地区季风降水的驱动机制，发现在年代际尺度上赤道东太平洋的 ENSO 模态变化是该地区降水变化的主要驱动因子。

S12-O-06

过去 600 年以来中国东部地区的极端温度事件

周尚蓉[1]，刘飞[1]，张仲石[2,3]*

1 中山大学大气科学学院，珠海 519082

2 中国地质大学（武汉）环境学院，武汉 430074

3 中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心，北京 100092

* zhongshi.zhang@cug.edu.cn

本文使用模拟、历史文献和树轮宽度重建和再分析数据研究过去600年以来中国东部地区极端温度事件的时空分布特征及外强迫因子对温度变化的影响，模式数据主要来自 PMIP3（the Paleoclimate Modelling Intercomparison Project Phase 3）中过去千年试验和 CMIP5（the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5）中历史时期试验。综合考虑模式在空间分布和年际变率方面的模拟能力,研究发现 CSIRO-Mk3L-1-2 和 MPI-ESM-P 模拟的极端高温指数与观测结果最接近，但 5 个模式对极端低温指数的模拟都相对较差。通过对比重建和模拟结果，研究发现两者均显示 15 世纪中期为低温阶段、19 世纪早期为高温阶段，但在单次

极端温度事件的时空分布特征方面，两者结果存在差异，重建结果显示 1743 年华北地区发生极端高温事件，但模拟的极端温度指数变化趋势在 1743 年未发生明显突变，同时其高温中心在长江中下游地区。最后本研究使用“最优指纹方法”分析外强迫因子对温度变化的影响，结果显示土地利用因子主要影响 1850-2000 期间平均温度变化，太阳辐射因子主要影响 1993 年温度变化趋势的显著突变。

S12-P-01S

从古籍中重构的首尔近 400 年降雨量揭示蒙德极小期极端降雨现象

王誉棋 [1,2]*, 魏勇 [1,2,3], 许晨曦 [4,5]

1 中国科学院地质与地球物理研究所地球与行星物理重点实验室，北京 100029
2 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049
3 中国科学院地质与地球物理研究所北京空间环境国家天文台，北京 100029
4 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境重点实验室，北京 100029
5 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044

* Wangyq@mail.iggcas.ac.cn

了解历史气候变化对评价当前气候变化和预测未来气候变化具有重要作用。降雨是区域气候演变的重要标志，特别是在东亚季风区。系统的现代仪器测雨仅持续了近一个世纪，对较长历史时期降水量变化的重建是了解气候系统对内外部驱动因素响应的关键。

我们从朝鲜王朝官方正史《承政院日记》中编译了一套新的首尔区域降雨量数据库，包括 1770 年至 1907 年间共 7904 条天分辨率的仪器测量降雨量数据，以及使用 12780 条雨天记录并结合古籍数据化手段重建的 1625 年至 1777 年间年分辨率降雨量数据。结合自 1907 年以来的现代降雨量记录，重建了首尔区域过去近 400 年的连续降雨量序列。首次对蒙德极小期的东亚历史记录降雨量重建表明，降雨量与太阳辐照强度有很好的相关性，在太阳活动极低时期区域降雨量极少。

本区域降雨数据库最大特点是高分辨率和连续定量，以期为东亚区域/全球气候和环境变化以及日地空间天气的各种研究提供支持。

S12-P-02S

传统的树轮$\delta^{13}C$模型高估内在水分利用效率

邢晓瑾*

1 福建师范大学地理科学学院，福州 350000
2 福建师范大学湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地，福州 350000

* 707363422@qq.com

在较长的背景下，树轮中的 $\delta^{13}C$ 通常用于估算树木的同化-气孔导度速率，即内在水分利用效率（iWUE）。当前，树轮中常用的内在水分利用效率方法（$iWUE_{tra}$）假设叶肉导度是无限的。许多基于观察的研究指出，这种假设将导致我们高估 CO_2 对水分利用效率的影响。但是，尚不清楚叶肉导度是否会影响树轮中的 iWUE。在这项研究中，我们引入了叶肉导度模型（$iWUE_{mes}$），然后建立了计算内在水分利用效率的树轮模型。我们将新建的 $iWUE_{mes}$ 模型应用于中国东南部鼓山地区 1965-2017 年的柳杉年内（每轮 10 个样本）$\delta^{13}C$ 以及牛姆林自然保护区 1865-2014 年的马尾松每年的 $\delta^{13}C$。我们的分析发现，以前的计算方法在年尺度上对 iWUE 的高估达到 1.93 倍，在年内尺度上高估了 1.92 倍，而在夏季这种高估甚至能达到 2 倍。我们的结果表明，基于传统模型的内在水分利用效率可能高估了 CO_2 对 iWUE 的影响，这可能导致对中国东南亚热带森林未来净碳平衡的偏差性推论。

S12-P-03

树轮记录的过去200年来江南春雨与夏季风降水的协同变化特征

周非飞*

1 福建师范大学地理科学学院，福州 350000

2 福建师范大学湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地，福州 350000

* 553139892@qq.com

东南地区是典型季风区，受亚洲季风的影响，域内降水丰富。但在季风爆发之前的春季有一段持续降水过程，即江南春雨。作为东亚地区独特的天气气候现象，江南春雨是影响区域水文气候最重要的降水系统之一，贡献量与夏季风降水基本一致。江南春雨与夏季风降水受青藏高原、ENSO、副热带高压等因素的影响，两者之间有一定的协同变化关系。但是这种协同变化关系在不同时间尺度上是否稳定仍不清楚。针对这一情况，本研究利用马尾松的早晚材稳定碳氧同位素分别重建了过去200年来区域江南春雨期与季风期的水文气候变化特征。研究结果显示：在年际尺度上，区域江南春雨期与季风期的水文气候变化存在协同变化特征，但两者的关系并不稳定，受ENSO变率的调控；在年代际尺度上，区域江南春雨与季风期的水文气候变化存在较大差异，受不同海气因子的调控。

S12-P-04S

山西运城盐湖沉积柱脂类记录的末次冰盛期以来气候环境变化

方悦[1,2]，李越[2]，周新郢[3]，李小强[3]，黄咸雨[1]，杨欢[1,2]*

1 中国地质大学地理与信息工程学院关键带演化湖北省重点实验室，武汉 430074

2 中国地质大学地球科学学院生物地质与环境地质国家重点实验室，武汉 430074

3 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 北京 100049

* yhsailing @163.com

末次冰消期是从末次冰盛期向全新世过渡的一个地质历史时期，在全球气候增温的背景下经历了一系列百年到千年尺度的快速气候突变事件。末次冰消期气候变化对中国季风降水变化也有重要的影响。在总体升温的趋势上季风降水也在不断加强，但是温度和降水二者的变化是否同步还有很大争议。全新世为间冰期，与末次冰期的气候迥然不同。在半湿润半干旱的中国北方一直存在的一个问题是全新世季风降水峰值的发生时间是早全新世还是中全新世。同时在我国华北地区气候研究载体中，基于黄土-古土壤序列的气候记录较为完善，记录时间较长，但基于湖泊载体的气候研究记录的时间较短，通常不超过 15 ka，且研究手段以孢粉、沉积物磁化率、沉积物粒径、微量元素特征等传统研究手段为主，大部分揭示定性的气候变化趋势，缺乏定量或半定量的气候重建结论，为末次冰期以来华北地区气候变化研究带来了不便。

针对上述问题，我们选取位于东亚季风控制区，华北地区中部，山西省南部，来自运城盐湖的沉积时长为 22 ka 的沉积柱，利用甘油二烷基甘油四醚化合物（GDGTs）相关指标及正构烷烃单体氢同位素，结合沉积物 TOC、C/N 及 $\delta^{13}C_{org}$ 重建华北地区末次冰盛期以来的气候环境变化。MBT'_{5me} 重建温度记录了末次冰消期 H1 冷事件、BA 暖期和 YD 事件，11.3~8.3 ka BP 早全新世升温，8.3~4.5 ka BP 中全新世气候适宜期，4.5 ka BP~-10.3 a BP 进入晚全新世降温阶段。植物叶蜡单体氢 δD_{C29} 在 H1 冷事件和 YD 事件正偏，在 BA 暖期负偏。δD_{C29} 全新世变化与 MBT'_{5me} 变化相似，早全新世呈负偏趋势降水增多，中全新世最负偏降水最多，进入晚全新世又开始正偏降水减少。对比 MBT'_{5me} 记录温度变化和叶蜡单体氢记录

季风降雨变化，末次冰消期明显升温发生在 17 ka BP 左右而降水明显增多发生在 15 ka BP 左右，季风降水变化滞后于温度变化。中国华北地区在中全新世季风降水最强，中全新世是一个暖湿的时期。

S12-P-05S

全新世 2.8 ka BP 事件的精确解剖

金晓慧 [1]，胡超涌 [1]*，胡尊语 [1]，刘浴辉 [2]

1 中国地质大学（武汉）地理与信息工程学院，武汉 430074

2 中国地质大学（武汉）材料与化学学院，武汉 430074

* chyhu@cug.edu.cn

极端气候事件影响着民生，制约国民经济的发展。观测和模拟研究表明，全球变暖下极端气候事件的频率更高，幅度更大，造成的损失更严重。全新世以来发生了多次百年-千年时间尺度的极端气候事件。其中发生于晚全新世的 2.8 ka BP 事件处于无大陆冰盖驱动的背景下，与现今的气候背景相似，故 2.8 ka BP 事件的研究能对现在及未来的气候突变提供预警。但是，受到研究载体的分辨率和指标解读的限制，2.8 ka BP 事件的变化模式和气候特征仍存在疑惑。本研究基于湖北清江和尚洞 HS4 石笋肉眼分辨的年层特征，通过仔细的年层识别和逐层采样，建立了年分辨率的 2.8 ka BP 事件 $\delta^{18}O$ 序列，对 2.8 ka BP 事件的气候变化特征进行精确解剖。研究结果表明，2.8 ka BP 事件的起止时间为 2820-2764 BP，持续时间为 57 年，整体结构呈“两谷一峰”的“W”型，干旱期间的 $\delta^{18}O$ 偏正了 1.31‰。2.8 ka BP 事件的变化模式与附近永兴洞石笋记录的基本一致，但与贵州七星洞石笋记录存在一定的差异，说明区域降水改变了石笋氧同位素信号。将和尚洞 HS4 的 $\delta^{18}O$ 序列与来自同一水分输送路径的七星洞石笋 $\delta^{18}O$ 序列进行差减，重建了 2.8 ka BP 事件期间中国西南地区的年降水变化。重建结果显示 2.8 ka BP 事件期间有 2820-2797 BP 和 2784-2764 BP 两个干旱阶段，中间有一个湿润阶段为 2796-2785 BP，整体是一个快速转变的双干旱事件。这种快速波动与全新世早期的 8.2 ka BP 事件存在较大的差异，说明了全新世不同时期的极端气候事件可能受控于不同的机制。

S12-P-06S

全新世 8.2 ka BP 事件发生的气温背景：石笋色度的证据

胡尊语 [1]，胡超涌 [1]*，汪颖钊 [1]，周浩 [1]，刘浴辉 [2]

1 中国地质大学地理与信息工程学院，武汉 430073

2 中国地质大学（武汉）材料与化学学院，武汉 430074

* chyhu@cug.edu.cn

发生在距今约 8.2 ka 的极端气候事件（以下简称“8.2 事件”）虽然只持续了约 150 年，但其对北大西洋地区乃至全球都造成了极为显著的影响。已有研究认为，“8.2 事件”可能是早全新世持续升温下冰川融化，导致注入北大西洋的融水大量增加引发的大西洋经向反转（AMOC）减弱导致的。未来全球持续变暖，极有可能加速向北冰洋供应淡水，因此，查明“8.2 事件”前后的气候背景可以为未来气候突变提供预警。本研究基于湖北清江和尚洞 HS4 年层石笋的色度测定，重建了东亚季风区 7793-8553 BP 的逐年温度序列。研究结果表明，在早全新世的 760 年间，东亚季风区平均温度为 18.1℃，略高于当今温度（17.9℃）。“8.2 事件”发生前，东亚季风区在 8410-8250 BP 期间经历了持续长达 140 a 的升温，温度从 17.4℃增温至 18.5℃，平均速率约为 0.08℃/10 a，与过去 100 年的增温速率相近似。未来全球继续升温，区域温度将突破 18.5℃，类似“8.2

事件”的气候突变事件发生的可能性进一步增大。值的注意的是，在“8.2 事件”的中心阶段（8200-8130 BP），东亚季风区在 20 年内快速升温了约 1.1℃，显示了该时期的极端干、热的气候特征。相比冷、干事件，由于高温会加剧干旱，极端干、热事件可能造成的影响更大，应予以特别的关注。

S12-P-07

东海内陆架近两百年来有孔虫组合阶段变化及影响因素

郑世雯[1,2]*，范德江[2,3]，王明霄[2]，贾永刚[1]

1 中国海洋大学环境科学与工程学院，青岛 266100
2 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室，青岛 266100
3 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061
* zhengshiwen@ouc.edu.cn

中国东部陆架是世界上最平坦宽广的大陆架之一，接受长江等河流巨量的沉积物输入，在东海内陆架形成了长条状分布厚度数十米的泥质沉积体，是研究古海洋、古环境变化的理想地区。基于东海内陆架泥质区 DH7-2 孔岩心，使用激光粒度分析仪、体视显微镜开展了沉积物粒度和有孔虫组成的分析和鉴定，并利用高能 γ 能谱仪进行了沉积物岩心的年代标定，探讨近百年来沉积记录和有孔虫组合变化及其影响因素。研究表明：近 200 年来有孔虫组合变化可以划分为 3 个阶段，1822-1900 年，有孔虫绝对丰度低，冷水富氧环境的有孔虫较为发育，主要影响因素是东亚季风，该时期东亚冬季风由强减弱，水温较冷，水体含氧量较高，营养盐较为贫乏；1900-1955 年，有孔虫绝对丰度和适宜暖水环境的有孔虫增加，主要受到东亚夏季风增强使得海水表层温度增加及台湾暖流带来的营养盐影响；自 1955 年以来，有孔虫绝对丰度急剧增加，种属组合也出现明显的改变，这与该时期大量的营养盐物质输入东海、水体富营养盐化密切相关。该研究表明 1950 年代之前，东海内陆架海域有孔虫主要受到自然因素的影响，而之后则受到人类活动的强烈影响。

S12-P-08S

Complex network of synchronous climate events in East Asian tree-ring data

Xijin Wang[1], Fenghua Xie[1], Zhongshi Zhang[1,2,3]*, Stefan Liess[1,4], Keyan Fang[5], Chenxi Xu[6,7], Feng Shi[6,7]

王锡津[1]，谢风华[1]，张仲石[1,2,3]*，Stefan Liess[1,4]，方克艳[5]，许晨曦[6,7]，史锋[6,7]

1 Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2 Uni Research Climate, Bjerknes Center for Climate Research, N-0007 Bergen, Norway
3 Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China
4 Department of Soil, Water, and Climate, University of Minnesota, Saint Paul, MN 55108, USA
5 Key Laboratory of Humid Subtropical Eco-geographical Process (Ministry of Education), Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China
6 Key Laboratory of Cenozoic Geology and Environment, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China
7 CAS Center for Excellence in Life and Paleoenvironment, Beijing 100044, China
* zhongshi.zhang@cug.edu.cn

With high temporal resolution and accurate age control, tree-ring width is a good proxy for recording past climate variations from interannual to centennial time scales. The

complex network method, widely used in analyses of modern meteorological observations, is an effective method to demonstrate synchronizations within climate events, thus revealing potential climate teleconnec-tions. In this study, we tested to use the complex network in analyzing extremes recorded in time serials of tree-ring width in East Asia during the past 600 years. Our study indicates that this method is a valuable approach to reveal synchronizations in climate-sensitive tree-ring width rec-ords, though the ability of this method is dependent on the quality of the tree-ring data. Further-more, our study shows stronger synchronizations in extremes of tree-ring width records during the CE 1850–1950 period in the Modern Warm Period than the CE 1450–1650 period in the Little Ice Age. A remarkable shift in synchronization types within the south part and the inland East Asia sites appears during the year CE 1850–1950. These changes in synchronizations suggest potential reorganizations in climate teleconnections, which is worthy being addressed in further studies with detrending and statistical significance testing methods involved.

S12-P-09

不同海温背景态下火山爆发后全球季风降水响应的异同及机制

左萌[1]*，满文敏[1]，周天军[1,2]

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室（LASG），北京 100029

2 中国科学院大学，北京 100049

* zuomeng@lasg.iap.ac.cn

火山爆发是最重要的自然外强迫因子之一，会对季风区降水造成显著影响。但基于古气候代用记录和数值模拟的结果揭示出不同的响应，原因尚不明确。基于 CESM 过去千年集合模拟试验（CESM-LME），我们发现火山爆发前海温背景态的差异造成了火山爆发后季风降水的不同响应。结果表明，当火山爆发前为 ENSO 中性和暖位相的成熟阶段（El Niño）时，火山爆发后均更易出现 El Niño 型海温异常；当火山爆发前为 ENSO 冷位相（La Niña）时，火山爆发后均更易出现 La Niña 型海温异常，南半球火山爆发后该响应最为显著。这是由于在冷位相背景态下，东太平洋温跃层变浅，上层海洋层结较强，火山爆发后由于南美大陆降温激发的东风异常扰动更容易引起海洋异常平流以及海洋次表层上升流的变化。而在暖位相背景态下，西风异常仍占主导作用，最终形成 El Niño 型暖海温异常。上述海温响应进一步通过大气桥作用加强或削弱不同季风区的降水响应。我们进一步将火山爆发后降水的响应分解为直接辐射强迫和间接海温响应作用两部分，发现火山爆发后季风区降水响应中，直接辐射强迫和间接海温响应的作用具有区域差异，这将进一步影响季风区降水响应的强度和符号。以上结果表明，相较于直接使用多模式集合平均而言，划分火山爆发前的不同海温背景态有助于更好地理解热带海温和季风降水对火山强迫的响应。

S12-P-10S

Alkane variation in peat reveals palaeohydrological changes since the Little Ice Age in eastern China

Yang Pang[1], Bin Zhou[1]*, ChunMei Ma[2,3]*, JiaWei Jiang[2,6], David Taylor[4], YueHan Lu[5]

1 Key Laboratory of Surficial Geochemistry, Ministry of Education, School of Earth Sci-ence and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 210023, China

2 School of Geography and Marine Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210023, Chi-na
3 Jiangsu Cooperative Innovation Center for Climate Change, Nanjing, 210023, China
4 Department of Geography, National University of Singapore, 117570, Singapore
5 Department of Geological Sciences, University of Alabama, Tuscaloosa, AL, 35487, U.S.A.
6 Department of Earth Sciences, University of Hong Kong, Hong Kong, SAR, 999077, China
* zhoubinok@163.com, chunmeima@nju.edu.cn

The East Asian summer monsoon (EASM) system plays a crucial role in regulating climatic and hydrological variability in East Asia. However, it remains controversial how EASM altered the spatiotemporal patterns of hydrological variability of eastern China during the Little Ice Age (LIA). Here, we established a relatively high-resolution palaeohydrological record over the last 700 years in East China via analyzing normal alkanes from a peat core. Medium and long-chain (C_{21}–C_{25}, C_{27}–C_{31}) n-alkanes account for more than 95% of the total odd-carbon-numbered n-alkanes, with short-chain n-alkanes (C_{17}–C_{19}) accounting for only 2.3% on average, suggesting that organic matter in the peat core originated primarily from higher vascular plants and aquatic plants. Organic geo-chemical indices including P_{aq} (an indicator of contributions from aquatic plants), the average chain length (ACL) of long-chain n-alkanes, and C_{31}/C_{27} and C_{23}/C_{29} n-alkane ratios, suggest a transition from moderate wet conditions in the early LIA, to dry conditions during the middle LIA and then to wet conditions in the late LIA. Comparing P_{aq} records from the study profile with previous records from the EASM regions, we found that the northern and southern parts of eastern China showed contrasting changes in humidity during the LIA. Specifically, the southern part shifted from mid-LIA dry conditions to late-LIA wet conditions, whereas the northern part shifted from mild-LIA wet conditions to late-LIA dry conditions. This spatial heterogeneity in hydroclimate could be attributed to La Niña-like conditions and intense summer monsoons during the middle LIA and El Niño-like conditions and weak summer monsoons during the late LIA.

S14-O-01

南海鱼牙化石钕同位素记录指示上新世暖期北太平洋亚北极垂向通风增强

田军*，李科，马小林

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
* tianjun@tongji.edu.cn

与北大西洋高纬相比，现代北太平洋高纬盐跃层（Halocline）较深，海水层化较强，亚北极海域的海水表层盐度（SSS，Sea Surface Salinity）较低、密度（density）较轻，海水表层温度（SST，Sea Surface Temperature）高出近 2℃，造成表层海水无法下沉形成深层水。究其原因，可能与从北大西洋向太平洋传输的水汽（Warren,1983）和东亚季风带来的水汽（Stocker and Wright, 1991）造成太平洋北部降雨大于蒸发有关。在上新世暖期，太平洋经向和纬向上的温度梯度相比现代大幅降低，北极冰盖尚未形成，气候边界条件迥异。上新世暖室期北太平洋高纬海水结构是否也和今天一样呢？

我们测试了 6 Ma 以来西太平洋热带海区南海北部大洋钻探 ODP1148 站和南部 ODP1143 站鱼牙化石的钕同位素（εNd）记录。南部 1143 站鱼牙化石的 εNd 记录在 0-6 Ma 的变化相对稳定，而北部 1148 站鱼牙化石的 εNd 记录却在 4.85-3.95 Ma 期间，从 -6.5 快速上升到-4.5，随后又逐渐降低到-6.5，直至 1.31 Ma。总体上，从 4.85 至 2.73 Ma，

南海北部 ODP1148 站鱼牙化石的 εNd 记录都处在高值，自 2.73 Ma 后明显下降，这一变化在大趋势上和西赤道太平洋ODP807站沉积物中碳酸盐的 εNd 记录相似，反映了深层水的 εNd 演化特征。结合亚北极 ODP882 站深海沉积物中的蛋白石堆积速率和反映水体氧化程度的元素记录，以及南海北部中层水深度上 ODP1146 站底栖有孔虫 $\delta^{13}C$ 记录，我们推测在 2.73 Ma 北极冰盖形成之前的上新世暖期，北太平洋亚北极海域垂向上的海水通风程度极大增强，导致南海北部 ODP1148 站鱼牙化石的 εNd 记录偏正；而自 2.73 Ma 北极冰盖形成之后，北太平洋亚北极海域的海水层化增强，东亚夏季风增强导致南海北部的陆源输入增加，上述两个因素叠加导致 ODP1148 站鱼牙化石的 εNd 记录在 2.73 Ma 之后逐渐降低。

S14-O-02

始新世大洋环流特征及其环境效应

张彧瑞*

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361102

* yuruizhang@xmu.edu.cn

当今的全球大洋环流输送源源不断的热量，影响地表能量再分配，对现今的气候格局和环境空间分异有重要贡献。然而，大洋环流并不是自古就有和一成不变，实际上，环流系统在地质历史上经历了不同尺度、不同规模的演变过程。始新世（距今 55 Ma）作为新生代最温暖的地质历史时期，其海陆构造初具现今规模，但关键部分海道与现今情况仍然有所不同，所以研究其洋流特征和与地球系统中各过程的相互作用，有助于明确大洋环流系统演化进程，也可以拓宽对极端情况下地球系统演化规律的认识，为现今全球变化提供可能参考依据。

我们用地球系统模型 IPSL-CM5A2，探讨了始新世古大洋环流系统对海陆构造等环境因子的响应，以及这些古洋流特征伴随的气候环境效应。研究结果显示，始新世的洋流特征与现今格局存在巨大差异，南大洋海水通过温盐过程形成密度较大的水团，这些大密度水团随后下沉形成深层水，且不断积累之后被迫向北扩张，最终通过混合等过程返回到表层，形成了逆时针方向的经向翻转流，与现今的洋流特征形成鲜明对比。深海沉积物中 Nd 和 ^{13}C 同位素等数据也指示始新世南大洋海水下沉及其伴随的逆时针方向环流是始新世的主要特征。这种不同于现今环流特征的环境学意义在于，促进高低纬度之间的海水交换，进而有助于南大洋高纬度地区温暖环境的形成和维持。

通过进一步对南大洋深层海水的 Lagrangian 粒子跟踪分析，发现形成于南大洋的深层海水主要在近赤道的热带地区出露到海洋表层，形成了不同于现今模式的深-表层水之间的交换过程。始新世这种活跃的垂直方向交换模式为解释的当时高浓度大气温室气体提供了洋流动力学条件，并对该时期活跃的多圈层间碳循环具有启示意义。

S14-O-03

大西洋海盆裂开以来 AMOC 的演化

袁帅*，胡永云，刘永岗

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* shuai_yuan@pku.edu.cn

AMOC（Atlantic Meridional Overturning Circulation，大西洋经向翻转流）是影响现代气候分布的一个非常重要的海洋温盐环流。AMOC 主要包括大西洋表层的跨越赤道向北的暖流、在北大西洋区域的深水形成以及发生在大西洋深层的向南的洋流。AMOC 向北半球输送了大量的热量，影响北半球甚至全球的温度与降水分布。此外，AMOC 也影响了 ITCZ 的位置。因此理解地质历史时期

AMOC 的建立以及演化对于气候预测具有重要意义。

本研究利用 CESM1.2 全球耦合模式，研究了自大西洋海盆裂开（大约 100 Ma；Ma：百万年）以来，大西洋区域的经向翻转环流的演化历史。基于 Scotese 重建的古地形数据，我们每隔 10 Ma 做一个稳态切片实验，发现地质时期的大西洋环流，以及全球海洋输送带的形态与现在非常不同。为了理解这种差异，我们进一步分析了海洋温度、盐度、密度等物理量的分布情况。本研究有望提升我们对于大西洋环流建立过程以及机制的理解，从而更好地理解地球气候在地质时间尺度的演化与海洋环流之间的相互联系。

S14-O-04

中中新世气候转型期低中纬海洋通风状况的反向变化

柳中晖[1]*，田军[2]，刘晶晶[2]，梁钰[1]，姜一晴[1]

1 香港大学地球科学系，香港

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* zhliu@hku.hk

一千四百万年前的中中新世气候转型期发生了强烈的全球性降温。尽管对此气候事件已有大量的研究，目前还缺乏对相关的海洋通风状况的研究。近年来对有机生标 GDGT 的环境指示意义的认识有很大提高，我们这里尝试用 GDGT 指标，包括 BIT，ACE，MI 和%Cren，反演海洋通风/水体分层状况。我们分析了海洋 IODP 钻孔 U1433（南海），U1337（东太平洋），U1352（南太）和 1208（北太）中中新世气候转型期的 GDGT 分布特征。结合已有的 ODP1171（南太），608 和 982（北大西洋）钻孔的 GDGT 数据，我们发现低纬海洋的 GDGT 指标变化与中高纬的呈现大致相反的变化特征。低纬海洋的 GDGT 指标一致显示次表层水体 GDGT 产量相对表层水体在此时期减小。基于 GDGT 指标的变化特征，我们解释为在中中新世转型期低纬海洋通风加强/水体分层减弱，而在中高纬海洋通风减弱/水体分层加强。此现象可能和在此时期全球海洋环流减弱的大背景下低纬海洋水柱的垂向温差减小有关。

S14-O-05

冰期-间冰期旋回不同阶段南北半球深层水形成情况的差异及其环境意义

李科*，田军

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

* likelikelee@163.com

深层水生成模式的变化能对全球能量、水循环、碳循环等方面产生深远的影响。在冰期-间冰期旋回的各个阶段中，全球冰量、水循环、碳循环呈现相当不同的气候状态；但在不同旋回的相同阶段间，全球冰量、水循环、碳循环的状态似乎是相似的。因而有假说认为，各个气候状态可能具有其特征深层水形成情况。为验证这一假说，我们收集不同冰期-间冰期旋回中，大洋环流指标（$\delta^{13}C$、εNd、Cd/Ca、B/Ca 等）在全球的平面、纵向分布状况，分析水团分布与深层水形成情况，并对比同一旋回不同气候状态、类比不同旋回间相同气候状态深层水形成情况的异同。通过这一工作，我们有望深入了解洋流在冰期旋回的全球环境变化中起到的重要作用，能对冰期旋回的机制具有进一步了解，并能对未来全球环境变化提供一定的参考意义。

S14-O-06

晚上新世-早更新世南大洋深水环流

黄宝琦*，胡哲，王娜，曲华祥

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871
* bqhuang@pku.edu.cn

通过对南大洋深海 MV0502-4JC 站（50°20′ S，148°08′ W，4286 m）底栖有孔虫属种及壳体 Mg/Ca、壳体元素、氧碳同位素的数据分析，恢复了晚上新世-早更新世（3.0-2.0 Ma）期间南大洋的底层海水营养盐含量、碳酸盐溶解作用、海水溶解氧含量、古温度及盐度，并与该时期已有的南北大西洋、太平洋深水化境对比，重建晚上新世-早更新世时期南大洋深层水性质及环流演化。全球气候在转冷的过程中（3.0-2.0 Ma），随着南极冰盖扩张，南极海区上部海水层化加剧，同时底层海水降温强烈，盐度升高，使南极底层水影响加强，影响到亚南极海区。这一加强的南极底层水具有较强的碳酸盐溶解能力，较低的海水溶解氧含量，可能使南极-亚南极底层海水成为当时全球主要的碳汇之一，并进一步影响全球气候变化。

S14-O-07

有孔虫钠钙比值指示海水钙离子浓度在过去一千六百万年持续下降

周晓理 [1]*，司伟民 [2]，Yair Rosenthal[3,4]

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海市 200092
2 Department of Earth, Environmental, and Planetary Sciences, Brown University, Providence, RI 02912, USA
3 Department of Marine and Coastal Science, Rutgers University, New Brunswick, NJ 08854, USA
4 Department of Earth and Planetary Sciences, Rutgers University, New Brunswick, NJ 08854, USA
* xlzhou@tongji.edu.cn

海水钙离子浓度（$[Ca]_{SW}$）在百万年（Myr）时间尺度上与气候变化和碳循环息息相关，也影响着基于碳酸钙的地球化学指标对古海水环境的重建。已有的$[Ca]_{SW}$记录要么时间分辨率太低（Brennan et al., 2013），要么各记录之间的差别太大（Fantle, 2010; Griffith et al., 2008; Heuser et al., 2005），无法提供$[Ca]_{SW}$的准确变化趋势。这里我们提出，因为钠离子在海水中的滞留时间很长（> 50 Myr），因而有孔虫壳体中的钠钙比值（Na/Ca）有可能指示$[Ca]_{SW}$的长期变化（Hauzer et al., 2018; Zhou et al., 2021）。我们结合浮游有孔虫培养实验和沉积岩芯中的有孔虫记录，重建过去一千六百万年（16 Myr）内$[Ca]_{SW}$的变化趋势。实验结果表明，在这段时期内，$[Ca]_{SW}$呈连续下降的趋势，且大部分变化发生在晚中新世到上新世期间。该记录与气候变化指标——底栖有孔虫氧同位素记录的变化趋势相似，可能反应了$[Ca]_{SW}$与气候的协同演化。

S14-O-08

Enhanced North Pacific Subtropical gyre circulation during late Holocene cool intervals

张彦成 [1,2]*，柳中晖 [2]，郑旭峰 [3]，晏宏 [4]，周鑫 [5]，谢周请 [5]，何毓新 [6]

1 中山大学海洋科学学院
2 香港大学地球科学系
3 中国科学院南海海洋研究所
4 中国科学院地球环境研究所
5 中国科学技术大学地球与空间科学学院/环境科学与工程系
6 浙江大学地球科学学院
* zhangych99@mail.sysu.edu.cn

Based on a suite of well-dated sediment cores in the western Pacific margin, this work aims to analyze alkenone ($U_{37}^{K'}$) sea surface temperature (SST) signals and investigate the changes in the Kuroshio Current (KC) strength during the past 7,000 years. In brief, decadally-

resolved SST record on the pathway of the Yellow Sea Warm Current (YSWC), a downstream branch of the KC, along with coastal SSTs outside of the YSWC effect, demonstrate a remarkably enhanced YSWC, and thereby the KC, during the cool interval between 1,400–1,850 AD (the Little Ice Age, LIA). Besides this observation on multi-centennial timescales, collection of independent SST reconstructions along the Okinawa Though also effectively indicates a considerable intensification of the KC since ~3,000–4,000 years ago. Such patterns, together with other paleorecords under the influence of eastern Pacific boundary currents, namely the California Current (CC) and Alaska Current (AC), signify a strengthened North Pacific Subtropical Gyre (NPSG) circulation during the late Holocene. As more (less) El Niño events were believed to occur in the eastern Pacific during the late Holocene (LIA), it appears that the NPSG enhancement should have resulted from long-term southward migration of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ). Considering the role that NPSG circulation plays in transferring heat content from the Western Pacific Warm Pool toward the mid- to high-latitude North Pacific, identified NPSG changes thus have significantly regulated the basin-scale ocean-atmosphere interactions. In this sense, an in-depth investigation of future NPSG regime, dependent upon anthropogenically-forced ITCZ shift and concurrent El Niño activity, deserves more effort to confidently project the basin-scale climate and its far-reaching impacts.

S14-O-09

晚更新世以来印尼穿越流在东印度洋的热传输过程

丁旋[1]*，庞晓雷[2]，寇英鑫[1]，刘志学[1]

1 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083

2 北京大学，北京 100871

* dingx@cugb.edu.cn

印度尼西亚穿越流（Indonesian Throughflow，缩写为ITF）是指经印尼海区从太平洋流向印度洋的洋流，是全球热盐环流的重要组成部分。ITF携低纬西太平洋上层海水经印尼多岛海进入印度洋，对印度洋和太平洋之间的热盐交换起着重要的作用。然而，ITF进入印度洋后的热传输过程迄今为止尚不甚清楚。

本次研究选择ITF外流通道上的三支岩心，分别为位于东帝汶海区的MD98-2172岩心、位于印度洋东经90°海岭上的MD77-150和MD77-151岩心，通过对这三支岩心沉积物样品中的浮游有孔虫表层水种*Globigerinoides ruber*壳体的$\delta^{18}O$和Mg/Ca比值分析、温跃层水种*Pulleniatina obliquiloculata*壳体的Mg/Ca比值分析，重建了研究区晚更新世以来的表层水温度和上部水体温度梯度的变化历史，为理解ITF在印－太平洋区的热传输过程提供了新思路。主要认识如下：（1）这三支岩心的表层水温度记录均呈现出良好的冰期-间冰期旋回特征；（2）东帝汶海区与西太平洋暖池中心区的表层水温对比发现，这两个区的表层水温差在冰期时增大，间冰期时减小，指示冰期时暖池的范围和强度相应的缩小和减弱。而东经90°海岭与西太平洋暖池中心区的表层水温差则表现为冰期时减小、间冰期时增大的相反趋势；（3）在冰期间冰期尺度上，赤道东经90°海岭与东帝汶海区上层海水结构变化一致，证实了ITF进入印度洋后其水体性质具有连贯性。推测冰期时表层ITF的强化，将暖水输入东印度洋；间冰期时冷的温跃层ITF强化，对东印度洋热量输入有限。该结果或指示低纬地区洋流活动对全球气候的影响，更多地通过海-气-陆相互作用以及陆地风化作用对大气温室气体的影响体现的。

S14-O-10

沉积物颜色比值作为生物硅新指标：重建智利岸外生产力在冰期旋回上的变化

李琛[1]*，Vincent J. Clementi[2]，Yair Rosenthal[2,3]，Samantha C. Bova[2]，Laurel B. Childress[4]，James D. Wright[3]，Christopher D. Charles[5]，翦知湣[1]，Exp 379T 船上科学家[3]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Deparment of Marine and Coastal Sciences, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, USA

3 Department of Earth and Planetary Sciences, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, USA

4 International Ocean Discovery Program, Texas A&M University, College Station, Texas, USA

5 Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, La Jolla, California, USA

* 1532983@tongji.edu.cn

低纬海区通过海洋环流与南大洋紧密地联系在一起，在此过程中，南太平洋中纬海区扮演了重要的桥梁作用。决心号 Exp 379T 航次于 2019 年在智利岸外采集了一系列高分辨率岩芯。该航次所获得的沉积物颜色数据与南极冰芯记录展现出很高的一致性，指示了南大洋与中低纬海区气候变化的内在联系。

Exp 379T 航次的初步岩性分析发现，颜色偏绿的沉积物通常相应地有更高的硅藻丰度，而颜色偏灰蓝的沉积物中生源组分通常较少。沉积物的颜色可由船载的颜色反射分光光度法定量地分解为红（R）、绿（G）、蓝（B）三个波段，而光谱绿/蓝比值（G/B）可定量描述沉积物偏绿的程度。以往的硅藻生产力研究受限于繁琐的化学分析步骤，获得的数据常常分辨率偏低。在本研究中，我们尝试用沉积物 G/B 快速重建智利岸外高分辨率的硅质生产力变化。实测的智利南部及中部岸外的 J1002（南纬 46° 4.2964′，西经 75° 41.2300′，水深 1534 米）和 J1007（南纬 36° 32.5400′，西经 73° 39.9900′，水深 808 米）站位的硅藻百分含量与沉积物的 G/B 之间存在显著的指数正相关关系，指示 G/B 可作为硅藻百分含量的新指标。另一方面，由船载 NGR 数据提取的沉积物铀/钍比值（U/Th）与 G/B 的变化十分一致。U/Th 反映了沉积物的氧化还原状况，与沉积物中有机质的氧化紧密联系。U/Th 高值对应着 G/B 的高值，进一步支持了生产力与沉积物颜色之间的关系，印证了 G/B 指标的可靠性。

本研究基于 G/B 数据重建了过去 100 ka 以来 J1002，J1007 站位的硅藻百分含量及硅藻堆积速率记录，二者都在冰期旋回尺度上有显著变化。总体上，暖期时硅藻百分含量较高。两个站位的硅藻堆积速率都在氧同位素三期时达到峰值，与赤道东太平洋海区的硅质生产力记录相符。研究结果指示了高-低纬海区通过富营养的南大洋中层水紧密联系，南大洋通过调节中层水的营养盐含量影响低纬地区的生产力，而东太平洋中纬海区在其中扮演了重要的通路作用。

S14-O-11

东特提斯洋在古新世-始新世极热事件（PETM）恢复过程中的碳汇作用

姜仕军[1]*，崔莹[2]，王亚苏[1]，苏虹[3]，蒋璟鑫[4]*，胡修棉[4]，吴怀春[5]，谷阳光[6]

1 河海大学海洋学院，南京 210024

2 Department of Earth and Environmental Studies, Montclair State University, Montclair, NJ 07043, USA

3 暨南大学地下水与地球科学研究院，广州 510632

4 南京大学地球与工程科学学院，南京 210023

5 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083

6 中国水产科学研究院南海水产研究所，广州 510300

* ssj0047@my.fsu.edu

古新世-始新世极热事件（Paleocene-Eocene Thermal Maximum，PETM）是发生在 5600 万年前的一次突然的极端全球碳循环扰动事件，主要是由于大约 2 万亿吨以上的碳被快速释放进入大气-海洋系统中，导致全球地表升温 5~6℃、极地-赤道温差减小、水循环加快、海洋酸化、生物群落快速演替等一系列剧烈的生态环境变化。PETM 事件与现今不断发展的人为全球变暖的致因相似，因此成为预测当今和未来气候变化及其生态环境效应的参照物和研究热点。尽管过去 30 年来对 PETM 事件研究取得了重大进展，但其触发和恢复机制仍存在激烈的争论。

我们在研究程度较低的东特提斯地区（新疆喀什）新发现一个 PETM 剖面，岩相、旋回地层以及钙质超微化石分析表明，该剖面沉积于碳酸盐台地（水深 30–100 m）环境，具有沉积速率快、地层连续性好、剖面分辨高等优点。该剖面含有较丰富的钙质超微化石，保存状态中等，识别出 NP6-NP10 五个化石带；全岩碳酸盐 $\delta^{13}C_{carb}$ 和有机物 $\delta^{13}C_{org}$ 均显示出一个~6‰的负向偏移（CIE），其范围对应钙质超微化石 NP9 带上部以及特征的 *Rhomboaster–Discoaster araneus* 化石组合和负偏属种，证实了 PETM 在该剖面的存在及其范围。PETM 的持续时间约为 182.4 kyr，其 CIE 包含三个特征的负偏脉冲，每个脉冲对应于 TOC 和 C/N 的峰值、$CaCO_3$% 和钙质超微化石绝对丰度的低值。

在 PETM 之前约 150 kyr，碳同位素还表现出一个突然的事发前负偏（pre-onset excursion，POE），负偏幅度为 2.2‰，持续时间约 20.4 kyr，使得该剖面成为全球发现 POE 的极少数几个剖面之一。

基于磁化率的旋回地层分析表明，PETM 的 CIE 发生时间在 20 kyr 内，而 POE 小于 10 kyr。PETM 期间出现一些不完全和畸形的超微化石个体，$CaCO_3$(wt)%迅速下降，这些浅海酸化信号正好对应着最大的总有机碳含量和 C29 藿烷 ββ/(αβ+βα+αβ)比值的增高，表明新鲜生产的有机物输入大量增加，很可能是由于营养物质循环加强，促进藻类大量繁殖所致。

S14-O-12

北极冰盖增强期间太平洋深水环流的变化

冯华[1]*，田军[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 1610876@tongji.edu.cn

大洋环流通过对地球系统热量和碳的再分配极大影响全球气候以及大气二氧化碳。由于缺乏高精度的记录特别是太平洋区域的记录，长时间尺度的大洋环流变化依然不甚清晰。我们获取了晚中新世以来赤道西太平洋高分辨率的底栖有孔虫碳同位素记录，与太平洋其他区域高分辨率底栖有孔虫碳同位素记录一起，综合阐释太平洋深水环流及碳循环变化情况。结合该区域的钕同位素记录表明，在北极冰盖增强以来南部来源深层水（主要是绕极深层水）影响增加，可能由于南极海冰扩张阻碍海气交换使得南大洋深水不断累积更多呼吸碳，使得沿着太平洋西边界区域从南到北均呈现轻碳累积趋势。与赤道东太平洋深水站位通常作为大洋深水环流终点端元不同，赤道西太平洋深水站位位于南大洋深水入流与太平洋深水回流之间，两者之间的呼吸碳占比也显示出在北极冰盖扩张期间大幅下降，可能与太平洋深水回流路径缩短或者由于缺乏北太平洋深水形成引起太平洋深水回流深度变浅相关。

S14-O-13

晚中新世 C_4 植被扩张与大气 pCO_2 的关系

汪镇*，田军

同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 1931663@tongji.edu.cn

大量陆地与海洋的地质记录证实了晚中新世 C_4 植被发生全球异步扩张，最早在 10 Ma 左右开始于非洲东部与西北部，随后在关键时期 8-6 Ma 左右大范围传播至南亚、南非、北美等地区。对晚中新世 C_4 植被扩张的解释至今仍存在疑惑，主要围绕气候变化与 CO_2 展开争论。早期大气 pCO_2 重建结果和相关水文变化的研究不支持大气 CO_2 的影响，强调了季节性气候在 C_4 植被扩张中的重要作用。可是最近的大气 pCO_2 重建记录却显示，在晚中新世特别是晚中新世大洋碳位移时期，大气 CO_2 浓度处于下降的趋势，同时依据 C_4 植被在晚中新世的地理扩张范围而得到的数值模拟实验结果也显示，满足 C_4 植被在晚中新世扩张所需的大气 CO_2 浓度与地质记录重建的大气 CO_2 浓度在数值上相吻合，因此 CO_2 的作用被重视起来。但是受限于重建记录的低分辨率和可靠性，大气 CO_2 浓度下降引起晚中新世 C_4 植被扩张的观点并没有得到广泛认可。

本次研究我们旨在重建晚中新世高分辨率的大气 pCO_2 记录，以深入了解晚中新世 C_4 植被扩张与大气 pCO_2 的关系。我们选择 ODP807 站位浮游有孔虫 *G.sacculifer* 为研究材料，利用壳体的硼同位素来重建大气 pCO_2，其方法较为成熟，选取时间范围为 8.3-6 Ma，覆盖了 C_4 植被扩张的关键时间，分辨率为 50-100 ka，相较于现有记录更高，更具有可靠性。我们的重建结果显示，大气 pCO_2 在 8.3-8 Ma 处于较高的水平（440 ppm 左右），而经过 8-7.8 Ma 明显的下降直到 7.8-7.4 Ma 的低值（400 ppm 以下），之后快速上升到 7.4-7 Ma 的高水平（440ppm 左右），随后又持续下降至 6 Ma（400 ppm 以下）。由于 8-7.8 Ma 大气 pCO_2 突然下降，并且达到了数值模拟实验结果的 400ppm，我们有理由相信该时期大气 CO_2 浓度的下降可能触发了 C_4 植被扩张的阈值条件，同时伴随着长期的下降趋势，从而引发了晚中新世 C_4 植被的大规模扩张。因此，我们的研究结果充分支持了大气 CO_2 浓度下降引起了晚中新世 C_4 植被扩张这一观点。

S14-O-14

孢粉证据反映了中国东南沿海 MIS5 晚期以来的古气候演化

戴璐[1]*，李帅丽[1]，于俊杰[2]，王继龙[2]，彭博[2]

1 宁波大学地理科学与旅游文化学院，宁波 315201

2 中国地质调查局南京地质调查中心，南京 210016

* dailu2288@163.com

由于不稳定的沉积环境，中国东南沿海晚第四纪长时间序列的古气候记录比较少。本研究中，我们从位于中亚热带的福建省宁德市三沙湾内获取了四个沉积钻孔，对它们进行了孢粉化石分析和粒度分析，目的是明确当地的植被与环境变化规律及其气候驱动机制。我们对 45 个样品进行了碳十四和光释光测年，同时使用扫描电子显微镜对关键属种花粉进行了观察，以确保古环境重建的可靠性。在 NDGK2 和 NDQK5 孔中，我们分别发现了三个和两个海相沟鞭藻孢囊层。基于绝对定年以及与中国东部已有的钻孔地层对比，三个海侵地层分别是 MIS5 晚期、MIS3 早期和全新世早期，这体现了区域海平面变化对全球冰盖规模消长的响应。

现代陆地和海域花粉组合研究和现代植被调查揭示了主要植物种类和花粉类型间的数量关系。在此基础上，我们建立了现代表土与钻孔化石花粉百分比间的相关系数，以此来推测过去与现代的气候差异。以常绿栎（*Quercus*）为主的花粉组合指示了末次冰期时该地区一直受控于相对温暖的亚热带气候，末次盛冰期早期阶段分布于高海拔的铁杉属（*Tsuga*）花粉剧烈的增加指示了降温事件。

在三个高海平面阶段，孢粉组合表现了更为温暖的气候。在 NDGK2 钻孔，MIS5 晚期和 MIS1 早期时更高的相关系数指示了周边植被类似于现代。进一步，MIS5 晚期时

沉积物中更高的砂含量显示了较强的河流搬运。在 NDQK5 钻孔中，通过扫描电子显微镜揭示的 *Cyclobalanopsis* 花粉在 MIS3 早期时达到了高峰，证明了周边地区存在茂密的亚热带森林以及非常适宜的气候。综上所述，MIS3 早期和 MIS1 早期温暖的气候对应于高的北半球夏季太阳辐射，MIS5 晚期暖湿的气候对应于末次冰期期间最高的北半球夏季太阳辐射。高海平面时期，适宜的气候也同步于周边海域和内陆的古气候记录，反映了陆地植被和气候对岁差周期的太阳辐射的敏感响应，展示了中国东南沿海地区的陆地气候驱动机制。

S14-O-15

Intensified climate deterioration in the south-eastern Asian Monsoon domain inferred from a high-resolution pollen record highlights the Last Glacial Maximum culmination

Ting Ma[1,2], Pavel Tarasov[3], Zhuo Zheng[2]*

1 Zhuhai Branch of State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University at Zhuhai

2 School of Earth Science and Engineering, Sun Yat-Sen University,

3 Section Paleontology, Institute of Geological Sciences, Free University of Berlin

* eeszzhuo@mail.sysu.edu.cn

Recent global sea-level data indicate that an undocumented final burst of ice volume growth occurred at the end of the Last Glacial Maximum (LGM). The LGM culmination, labeled as LGM-b, lasted from 20.5 to 17 ka, and was followed by rapid deglaciation. This finding suggests a millennial-scale state with extreme glacial conditions (at least regionally) that immediately preceded the transition out of ice age. In order to check how this deterioration event affected regional climate and vegetation changes in the subtropical East Asia, a new high-resolution pollen record from Lijiafang peat bog (LJF: 26°36.849’N, 116°08.463’E, 270 m) in Southeast China controlled by the East Asian Summer Monsoon (EASM) was generated. The record demonstrates a massive expansion of herbs during LGM-b. The domination of herb pollen suggests sparse forest cover in the lowlands of the subtropical EASM region, and probably indicates a three-thousand-year interval with one of the most severe drying climate over the last glacial cycle. The pollen result is consistent with what has been observed from other vegetation records in the region, i.e., the climate change during LGM-b significantly impacted terrestrial ecosystems. This millennial-scale intensified climate deterioration in the EASM region at the end of LGM was decoupled from the increased boreal summer insolation and can hardly be explained by high-latitude Northern Hemisphere climate controls, but was rather a result of the extensive sea surface temperatures (SSTs) decrease in the western Pacific. Particularly, the decrease SSTs in the western tropical Pacific weakened the Walker cell convection over the western Pacific Ocean and reduced convection and moisture content in the Intertropical Convergence Zone. this further decrease in moisture supply seem to have resulted in extreme and widespread megadroughts in EASM and Australian region. Our data indicates that the cold SSTs also decreased surrounding terrestrial temperatures. Finally, we suggest that the widespread SSTs decrease in the western Pacific may have linked to the cooling of Southern Ocean and deep-sea waters, and the expansion of Antarctica sea ice during LGM-b.

S14-O-16

美国 Bryce 峡谷始新世 Claron 组古土壤特征及其古环境意义

周声芳[1,2]，刘秀铭[1,3,4]*

1 福建师范大学湿润亚热带山地国家重点实验室培育基地，福州 350007

2 福建师范大学地理科学学院，福州 350007

3 福建师范大学地理研究所，福州 350007

4 Department of Environment and Geography, Macquarie University, Sydney NSW 2019, Australia

* xliu@fjnu.edu.cn

美国西部 Bryce 峡谷国家公园广泛出露了始新世的 Claron 组岩层，钙质砂岩和石灰岩占据主导，含水生动植物化石，被认为是湖相地层。野外观察地层总体呈红色，含灰白色层，红颜色的深浅随层理、层次的变化可以判断为地表堆积-风化的原生色,与湖相沉积相矛盾；同时地层中植物根痕迹发育，粘化层、钙积层清晰可辨，呈现出古土壤的典型特征。采样分析表明：碳酸盐含量、粒度和元素比值在相应层位的显著变化，微观形态中的次生碳酸盐和粘土胶膜，均支持粘化层和钙积层的存在；Claron 组的红色是赤铁矿所致，对应着地表干旱氧化的环境，灰白色层对应着年降雨量较多的时期，每年干季和雨季导致氧化和还原交替，铁矿物被慢慢不断溶解随着流水而流失，导致颜色变成灰白，粉红色层形成时期土壤环境相对湿润，情形介于红色和灰白之间。

S14-O-17

南大洋控制冰期南北半球的协同储碳机制

杜金龙[1]*，张旭[2,3]，叶莺[4]，Christoph Völker[4]，田军[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 兰州大学西部环境教育部重点实验室，兰州 730000

3 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心，北京 100101

4 Alfred Wegener Institute, Helmholz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany

* dujinlong@tongji.edu.cn

在过去数十年间，促使大气二氧化碳浓度在冰期下降约 90 ppm 的机制一直引人关注，又争论颇多。一般认为，作为南极底层水（AABW）生成地，南大洋的物理及生物地球化学过程在冰期大气二氧化碳下降起到了关键作用；新发表的一些工作则强调北大西洋通过冰期表层溶解碳泵效率加强等作用使得该区域成为了更强的大气碳汇。然而，在阶段性发展的冰期旋回全过程中，南北半球深层水形成区各自的作用尚无统一的验证；两半球在储碳机制上是否存在协同关系亟缺探索。为解决这些问题，我们使用先进的海洋-生物地球化学模式（MITgcm-REcoM2）并开发了动态大气二氧化碳模块，来检验发生在南北半球海洋的各种机制对于冰期海洋储碳加强的独立贡献和联合作用。我们的实验结果表明，南大洋对南北半球海洋在冰期协同的碳储存机制上起到了控制作用。

在类比气候从间冰期进入冰期时（glacial inceptions）的敏感性实验中，通过大幅度降低表层水体与大气的交换时间，南大洋的冷却造成了相比北大西洋冷却更大幅度的大气二氧化碳下降；在此期间，海冰倾向于减弱大气二氧化碳下降的程度。进一步的实验表明，只有当南大洋冷却，造成南大洋海冰生成增多进而导致 AABW 生成加强、占据更大的底层海洋体积、海水层结明显加强的条件下，北大西洋高效率的储碳才得以发生。在此基础上，在类比冰盛期（glacial maxima）的实验中，南大洋表层生产力受铁施肥作用影响，在全球生产力中的占比提高，进一步降低了大气二氧化碳浓度。

此时，海冰的作用则倾向于减弱二氧化碳从海洋的排出。

综合我们的实验结果，我们认为南大洋控制了冰期旋回中南北半球的协同储碳机制；而各种机制在冰期发展不同阶段起到的作用可能受到气候背景和海洋储碳情况的影响而改变。

S14-O-18

末次冰期以来黑潮演化诱发的高低纬热量传输的变化

董良[1]*，胡邦琦[2]*，李清[2]，李军[3]，赵京涛[2]，易亮[4]，张旭[5]，杜岩[6]，贾国东[4]

1 上海交通大学海洋学院，上海 200240
2 青岛海洋地质研究所，青岛 266071
3 中国地质调查局武汉中心，武汉 430205
4 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
5 兰州大学，兰州 730000
6 中科院南海海洋研究所，广州 510301
* dongliang@sjtu.edu.cn, hubangqi@gmail.com

高低纬相互作用是全球热量与水汽再平衡的重要过程，对全球气候变化具有重要影响，以黑潮为代表的西边界流在高低纬相互作用中发挥了至关重要的作用，然而，其在冰期-间冰期尺度的强度变化仍然处于争议当中。本研究通过分析冲绳海槽北部重力沉积柱的有机地球化学温度代用指标，对冲绳海槽北部的过去 4.5 万年以来表层（$U^{K'}_{37}$）-次表层海水温度（TEX_{86}）进行了重建，发现表层-次表层海水温度在冰期耦合，而冰消期出现显著的解耦现象，即表层海水温度快速回升，而次表层海水温度基本保持不变，直到全新世早起，才开始与表层海水温度同变。通过系统分析前人的模拟及古记录数据，我们提出冰期冬季风主导的水动力过程决定了两者的耦合变化；而在冰消期，随着海平面的上升，黑潮对冲绳海槽表层-次表层的影响出现滞后，导致两者出现解耦；而在全新世，黑潮主轴全面移入冲绳海槽，黑潮表层-次表层海水温度的变化取决于黑潮表层-次表层流强度的变化。对于全新世的变化，我们系统分析了冲绳海槽北部、中部以及南部次表层海水温度、表层海水温度的南北差值，发现表层海水温度的差值相对稳定，而次表层海水温度的差值明显减少，暗示黑潮次表层流在全新世以来全面加强，这一过程与北太平洋东西温差的减弱相耦合，进一步指示黑潮次表层流在全新世的加强加大了热带向中纬度地区热量的传输。同时，这一研究结果需要模型及更高分辨率的记录加以验证。

S14-O-19

晚第四纪以来高低纬气候体系在北太平洋地区的响应机制研究

仲义[1,2]*，刘青松[1,2]，刘焱光[2,3]，宫勋[4]，陆正遥[5]，柳加波[1]，石学法[2,3]

1 海洋磁学中心（CM2），南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061
3 自然资源部第一海洋研究所海洋沉积与环境地质实验室，青岛 266061
4 中国地质大学（武汉）湖北省海洋地质资源实验室，武汉 430074
5 隆德大学自然地理与生态科学系，瑞典
* zhongy@sustech.edu.cn

太平洋高-低纬之间热量和水汽传输对于全球气候变化起着举足轻重的作用，高-低纬相互作用过程对轨道时间尺度上太平洋气候演化响应机制研究相对薄弱，可能直接导致气候变化驱动机制认识的偏颇，使得已有气候模式极有可能低估极端气候现象发生的可能性。本研究聚焦于亚北极太平洋地区，期连接太平洋和北冰洋的中间海域，由于其特殊的地理位置，亚北极太平洋及其边缘海（白令海与鄂霍次克海）由陆源碎屑输入组成，主要来源于周边不同矿物组成和

地球化学特征的大陆边缘及火山岛弧。通过这些指标信息可以有效反映大量环境过程：大气和海流模态、风化类型、河流输入、冰盖历史以及更长时间尺度的构造和板块演化过程。例如，冬季西伯利亚高压和阿留申低压气候系统会控制着冰期旋回、海冰覆盖面、海洋环流和大气模式。如何从复杂的沉积物信息中提取不同环境过程信息，对于研究冰期-间冰期亚北极太平洋海域的气候变化及其对于高低纬度气候的响应显得尤为重要。

本研究基于北太平洋皇帝海山钻孔LV63-4-2，通过多指标限定的方法建立230 ka以来的年代学框架。并基于此，通过岩石磁学、磁化率各向异性、矿物学、粘土矿物学等沉积学指标以及气候模拟相结合的方法，多维度、多方法角度区分高-低纬度的气候模态，并探讨其模态间切换机制及其全球气候变化的联系。结果显示，冰期时由于海平面下降，白令海周边陆架河流物质输送增强，同时该时期在白令海内部产生的北太平洋中层水（NPIW）会携带大量陆源物质，经过勘察加海峡进入亚北极太平洋地区通过对比亚北极太平洋海域（包括白令海、鄂霍次克海）陆源矿物变化特征，冰期-间冰期的物源变化受控于阿留申低压控制下底流与海冰的动态系统之中。而陆源冰筏碎屑（IRD）和水汽强度指标（赤铁矿/针铁矿）显示由于东亚夏季风的增强，低纬度水汽直接传输到高纬度引起冰盖融水，大量淡水输入。总之，我们的结果对太平洋地区大西洋-太平洋耦合与高-低纬大气传输机制方面提供了新的认识。

S14-O-20

Insolation forcing of northern hemisphere precipitation during the late Pliocene

Peng Gao[1]*, Junsheng Nie[1,2]*, Daniel O Breecker[3], Timothy Gallagher[3,4], Lily Serach[3]

1 Key Laboratory of Western China's Environment System (Ministry of Education), College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, China.

2 CAS Center for Excellence in Tibetan Plateau Earth Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

3 Department of Geological Sciences, University of Texas at Austin, Austin, TX, USA.

4 Department of Geology, Kent State University, Kent, OH, USA.

* 764097234@qq.com

Northern Hemisphere (NH) ice sheets and insolation are two key factors determining NH climate in the Quaternary, but little is known regarding their role in NH climate during the Pliocene, an interval considered a potential analogue for future climate. A recent study reveals that NH summer insolation is the dominant factor controlling northern China precipitation during the late Pliocene warm period (middle Piacenzian period). Here we report a 4-kyr resolution late Pliocene (~4.187-3.032 Ma) terrestrial precipitation record from the Teruel Basin of northeastern Spain. The result shows strong similarity with insolation forcing, with stronger 100-kyr and 20-kyr cycles during the 4-3.65 Ma when eccentricity was at maximum, and stronger 41-kyr cycles during 3.3-3.2 Ma when eccentricity decreased. Together, the northern China and Spain records consistently suggest that NH summer insolation was the key factor controlling NH precipitation during late Pliocene warm periods and likely in the future.

S14-O-21

晚中新世低大气 pCO_2 下暖室气候成因机制的数值模拟

魏思华[1]，杜金龙[2]，田军[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 1931664@tongji.edu.cn

来自全球不同区域的地质记录显示，晚中新世 Tortonian（12-7 Ma）时期比现代更加温暖和潮湿，全球表层温度可能达到 17～19˚C，显著高于现代的 14.5˚C。北半球处于近乎无冰盖的环境，植被分布范围也比现代更广。尽管晚中新世的气候可谓暖室气候，但已有的指标记录却显示，晚中新世大气二氧化碳浓度较低，与工业革命前相当，约为 200-300 ppm。

CO_2 是重要的温室气体，吸收地面发出的长波辐射，对地表起着保温作用。地质历史上，pCO_2 与温度常呈现耦合一致的变化。晚中新世何以在低大气 pCO_2 下产生暖室气候？我们认为主要的因素有两个：反照率和水蒸汽。晚中新植被覆盖类型和冰盖与现代的差异，导致全球反照率低于现代，地球能够吸收更多的太阳辐射，使全球升温。同时，晚中新世比现代更加潮湿，空气中水蒸汽含量较高，水蒸汽作为重要的温室气体，共同造成了晚中新世的暖室气候。

我们分别使用能量平衡模型和地球系统模型 cGENIE 进行实验。在能量平衡模型估算中，若要使晚中新世温度比现代升高 3˚C，晚中新世的反照率需比现代（约 0.3）降低 10%，即 0.27。在地球系统模型 cGENIE 实验中，我们依据晚中新世植被重建数据，计算出晚中新世的反照率文件，再将其作为数值模拟的边界条件运行实验。结果表明，在 280 ppm 的大气 pCO_2 下，使用根据植被重建计算的反照率进行的实验，大气温度在 18.5-19.4˚C 波动;如果不改变反照率，在 280 ppm 的大气 pCO_2 下，平衡态大气温度仅为 14.1˚C。同时，将模拟结果的表层水温、底层水温、$\delta^{13}C$ 分别与指标数据对比，显示出了较高的一致性。我们的结果表明，晚中新植被和冰盖与现代的差异，导致全球反照率降低，影响了地球能量收支平衡，是晚中新世低大气 pCO_2 下暖室气候的主要成因机制。

S14-O-22

Late Miocene-pliocene Asian summer monsoon variability linked to both tropical Pacific temperature and Walker Circulation

Mengyuan Wang[1,2], Huanye Wang[3], Zhixin Zhu[4], Xiaoqiang Yang[5], Ke Zhang[5], Yancheng Zhang[1,4], Weiguo Liu[3], Zhuo Zheng[2,5], Yongqiang Zong[4]*, Zhonghui Liu[4]*

1 School of Marine Sciences, Sun Yat-Sen University, Zhuhai 519082, China

2 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhuhai), Zhuhai 519000, China

3 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Center for Excellence in Qua-ternary Science and Global Change, Chines Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

4 Department of Earth Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong SAR, China

5 School of Earth Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Zhuhai 519082, China

* yqzong@hku.hk, zhliu@hku.hk

The Pliocene climate, characterized by sustained global warmth and weakened Walker Circulation, might be a potential analogue of our future climate. How Asian Summer Monsoon (ASM) evolved over this period and its controlling mechanisms remain controversial, which limits our understanding of future monsoon behavior. Here, we present alkenone- and GDGT-based records reconstructed from the northern coast of the South China Sea, interpreted to document the strength of ASM-induced upwelling/mixing effect, to infer Late Miocene-Pliocene ASM variability. Cooler local sea surface

temperatures occurred between ~5.6 million years ago (Ma) and 4.3 Ma, corresponding to Pliocene warmer conditions, effectively capturing the cooling signal induced by summer upwelling. Our multiple biomarker records consistently indicate three phases of Late Miocene-Pliocene ASM evolution: weak ASM strength at ~6.5–5.6 Ma, substantially enhanced strength at 5.6–4.3 Ma, and reduced strength but with a slightly strengthen-ing trend after ~4.3 Ma. The three features have been reported collectively from previous terrestrial and marine records. The close correspondence of the ASM strength to tropical temperature before ~4.3 Ma suggests a dominant tropical temperature control, whereas the increasing ASM strength after that, oppo-site to temperature changes, implies that the developed Walker Circulation started to influence ASM strength over the Late Pliocene. Hence, tropical temperature and Walker Circulation appear to have exerted competing roles in the Late Miocene-Pliocene ASM evolution.

S14-O-23

Indo-Pacific hydroclimate in response to changes of the intertropical convergence zone: discrepancy on precession and obliquity bands over the last 410 kyr

Peng Zhang[1], Jian Xu[1]*, Ann Holbourn[2], Wolfgang Kuhnt[2], Sebastian Beil[2], Tiegang Li[3], Zhifang Xiong[3], Haowen Dang[4], Hong Yan[5], Renjie Pei[2], Yazhou Ran[1], Hanning Wu[1],

1 State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

2 Institute of Geosciences, Christian-Albrechts-University, Ludewig-Meyn-Str. 10, D-24118 Kiel, Germany

3 Key Laboratory of Marine Sedimentology and Environmental Geology, First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China

4 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200029, China

5 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

* jx08@live.cn

The Intertropical Convergence Zone (ITCZ), which is the heaviest rain belt on Earth, significantly influences global hydroclimate change and livelihood of nearly 40% of the global population. However, long-term precipitation records are sparse from the Indo-Pacific region, especially from the southern margin of the Indo-Pacific ITCZ, restricting our understanding of the overall natural variability of the ITCZ in the past. In this study, we present a new summer monsoonal precipitation record that spans the last 410 kyr from the southern margin of the Indo-Pacific ITCZ, based on the logarithmic ratio between terrigenous fraction K and pelagic fraction Ca (ln(K/Ca)). Contents of the both elements were derived from X-ray fluorescence scanning on sediment cores from Site U1483 (13° 05.24′ S, 121° 48.25′ E, water depth 1733 m) that was drilled offshore northwestern Australia during International Ocean Discovery Program Expedition 363. Comparison of the new precipitation record with published precipitation records from the northern margin and meteorological centre of the Indo-Pacific ITCZ shows that precipitation changed nearly in phase between the hemispheres on the precession band, possibly linked to expansion and contraction in the latitudinal extent of the

Indo-Pacific ITCZ. In contrast, interhemispheric precipitation was nearly in anti-phase on the obliquity band, likely due to latitudinal migration of the Indo-Pacific ITCZ. Our findings imply that tropical hydroclimate cycles were regulated by the orbital forcing but with significantly different response to changes of the ITCZ on precession and obliquity bands.

S14-O-24

深海锰结核记录晚中新世以来亚洲内陆干旱化

蒋晓东[1]*，周祐民[1]，James R. Hein[2]，Andrew P. Roberts[3]，刘青松[1]

1 南方科技大学海洋科学与工程系，海洋磁学中心，深圳

2 U.S. Geological Survey, PCMSC, Santa Cruz, CA, USA

3 Australian National University, Research School of Earth Sciences, Canberra, Australia

* jiangxd@sustech.edu.cn

晚中新世以来的亚洲内陆干旱化对北太平洋地区的生产力是否具有显著影响一直存在争议，此外干旱化的驱动因素是全球变冷还是青藏高原隆升还并不明确。西北太平洋海域远离大陆，缺乏河流输入，因而生产力极低；该区处于粉尘传输的西风带南端，被认为对粉尘输入非常敏感。尽管该区缺乏晚新生代以来古环境研究的长岩芯，但发育有丰富的能够记录古环境的锰结核与结壳（Hein et al., 2020）。本研究对西北太平洋锰结核进行了系统的岩石磁学和地球化学研究，发现锰结核记录了晚中新世以来两次显著的亚洲内陆干旱化，分别是~8-7 Ma 和~3.6-0 Ma。研究结果表明这两次干旱化对研究区的生产力和深海微生物活动都具有显著的影响。此外，联合全球古生产力数据深入分析，发现~8-7 Ma 和~3.6-0 Ma 这两次干旱化分别是区域性和全球性事件，因此我们认为这两次事件分别由青藏高原隆升和全球变冷所驱动。

S14-P-01S

全球太阳辐射的计算方法及图形界面程序

徐晶尧*

1 浙江海洋大学海洋科学与技术学院，浙江 316022

* 2297168752@qq.com

米兰科维奇理论（也称“天文气候理论”）是目前被广泛认可的解释轨道尺度气候变化的天文理论，该理论认为，北半球高纬夏季太阳辐射变化是驱动第四纪冰期旋回的主因。全球太阳辐射按其时间尺度可划分为日均、年均太阳辐射。其中日均太阳辐射的分析表达式在 1969 年由米兰科维奇推导得到，其计算便捷。

但是，年均太阳辐射的分布计算方法的发展并不能让人满意，其严格的分析表达式这一基本问题直到最近才得到解决（Wang and He, 2019）。但是，该分析表达式是在忽略天文气候根数的前提下得到的，存在一定的理论误差，不利于该计算方法的推广和应用。

此项研究拟完善其理论误差的推导，并评价其使用范围，并参考 Kostadinov and Gilb (2014) 图形界面程序的开发，利用 Matlab 编写用户界面程序，本程序的开发能促进椭圆积分计算方法的推广及应用，并且可为气候数值模拟、地质资料分析提供便捷手段。

S14-P-02S

南海北部神狐海域 Site 2A 站位沉积物地球化学特征及其对沉积环境的指示

区相文[1,2]，邬黛黛[3]，谢瑞[1]，吴能友[4]，刘丽华[1]

1 中国科学院天然气水合物重点实验室，中国科学院广州能源研究所，广州 510640
2 中国科学院大学，北京 510640
3 中国科学院南海生态环境工程创新研究院，广州 510301；
4 自然资源部天然气水合物重点实验室，中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071
* wudd@ms.giec.ac.cn

南海古环境和古生产力的研究一直是古海洋学研究的一个热点。古生产力研究可以揭示古生态环境的变化趋势，为全球变化研究提供重要的资料。目前南海古生产力的研究多集中在生物成因组分方面，例如碳酸盐、蛋白石、有机碳和 Ba 等，由于有机质很难保存最初的生产力的信息，而无机地球化学指标更加稳定，且可较为直观地反映古生产力和古环境的变化，所以在古生产力和古环境的研究中得到了广泛的应用。

为了进一步了解南海古生产力和古环境的状况以及两者之间的联系，选择南海北部神狐海域 Site 2A 站位一根 835 厘米的沉积柱样品作为研究对象，对其中的主量元素、微量元素、总有机碳（TOC）、可交换态磷、铁氧化物结合态磷、自生磷灰石态磷、碳酸盐铁、还原性铁（氢）氧化物铁和磁铁矿（Fe_3O_4）所含的铁以及相对应的锰进行了提取和测定。

研究表明神狐海域 Site 2A 站位具有中等的初级生产力水平，根据 P/Ti、Al/Ti 和 Ba/Ti 等地球化学指标的变化趋势，可以将 Site 2A 站位的沉积柱划分为古生产力和古环境变化较为稳定的 A 段（50 cmbsf~450 cmbsf）和古生产力明显减小以及古环境变化明显的 B 段（450 cmbsf~700 cmbsf）。在站位 Site 2A 的沉积物中，P/Ti、Al/Ti、Ba/Ti 和自生磷灰石态磷等的地球化学生产力指标和氧化还原环境指标、古盐度指标、古气候指标以及水动力指标之间都具有一定的相关性。氧化还原环境、盐度、古气候以及水动力条件都对古生产力有一定的影响，在氧化程度低，盐度低，气候寒冷湿润的条件下，生产力水平会随之提高。在 600 cmbsf 出现的各个地球化学生产力可指示此处生产力降低，氧化程度增强，盐度增高，气候变得炎热干燥，推测是间冰期气候变暖造成的影响。

S14-P-03S

Mid-Miocene perturbation of climate-carbon cycle interactions at long eccentricity cyclicity forced by volcanic CO_2 emission

Fenghao Liu[1]*, Enqing Huang[1]*, Jinlong Du[1], Wentao Ma[3], Xiaolin Ma[2], Jun Tian[1]

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, 200092 Shanghai, China
2 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, 710075, China
3 State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography, Hangzhou 310012, China.
* liufenghao@tongji.edu.cn.

Changes in the phase relationship between benthic foraminiferal $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ are frequently used to trace global climate-carbon cycle interactions. In this study, we present new astronomically-tuned benthic $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ records over the interval 20.99-6.26 Ma with a

mean time resolution of ~? kyr from the IODP Site U1505C, the subtropical western Pacific. Together with previously published benthic $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ records, we find that $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ are nearly in phase at long eccentricity cycles, with a lead of $\delta^{18}O$ relative to $\delta^{13}C$ by ~ kyr throughout most periods of Oligocene and Miocene. However, this general pattern was interrupted during the warm Miocene Climate Optimum (MCO, ~17-14 Ma), expressing as a lag of $\delta^{18}O$ relative to $\delta^{13}C$ by ~ kyr at long eccentricity cycles. We further used a box model to test weather CO_2 input sourced from the eruption of the Columbia River Basalts Group had caused this $\delta^{18}O$-$\delta^{13}C$ phase shift. Indeed, the addition of deep-sourced carbon to the model can accelerate the response of marine carbon cycle to orbital forcing. We thus consider that the enhanced greenhouse effect during the MCO probably had intensified the low-latitude hydrological cycle, which further led to an increase of chemical weathering intensity in tropics and a land-to-ocean carbon transfer. This eventually resulted in a late response of the high-latitude ice volume ($\delta^{18}O$) with respect to carbon cycle ($\delta^{13}C$) at long eccentricity cyclicity.

S14-P-04S

晚新生代西太构造与南海贯穿流的协同演化及其气候效应

丁奕凡*，田军

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 2031688@tongji.edu.cn

西太如今的构造格局经历了新生代太平洋板块的俯冲、印度板块与欧亚板块的陆陆碰撞、澳大利亚板块的北移俯冲等构造运动，发生了一系列的构造演化，其中晚新生代南海海盆的演化以及印尼海道的关闭对印太暖池及全球气候系统都产生了重大影响。目前的研究缺少南海贯穿流对于印度尼西亚穿越流的影响。南海贯穿流通过对印度尼西亚穿越流的调制影响西太暖池向印度洋暖池的水体和热量的输运，并且将南海从大气获得的热量和水汽输送至印太暖池，对低纬的气候系统产生影响。利用 IODP 西太相关站位的记录可以重建晚新生代西太表层水温与混合层深度变化，通过数值模拟可以重建晚新生代南海贯穿流和印度尼西亚穿越流的变化，计算其输送水体和热量的通量的变化，反映晚新生代西太构造变化带来的洋流变换及其产生的显著的气候效应。

S14-P-05S

晚中新世以来赤道西太平洋的硅质沉积

冯华*，田军

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 1610876@tongji.edu.cn

热带太平洋在调节地球气候方面起着关键作用，而其生产力波动成为连接高低纬气候及全球碳循环的一个关键机制。由于不同气候扰动（如 El Niño 等）的影响，热带太平洋东西两侧水文性质及生产力情况出现很大波动，其中晚中新世以及上新世等与现代显著不同背景条件下的气候变化值得仔细研究。相较于现代东太平洋上升流带来丰富的生产力，西太平洋由于温跃层深厚生产力低下，近来陆续有上新世以来的研究指出整个赤道太平洋区域温跃层及营养盐的变化，而鲜有晚中新世以来的综合整个赤道太平洋生产力的研究。本文报道了位于赤道西太平洋翁通爪哇高原上 807 站位的晚中新世以来硅质生产力记录。我们的记录显示在 9.5-7.5 Ma 期间，赤道西太平洋硅质生产力有两个约 1 Ma 时间间隔的增长脉冲，相比之前以及之后增长了两倍，更是晚上新世生

产力增长的三倍。这与普遍研究得出的该时间段类 El Nino 气候状态一致，推断此期间赤道西太平洋温跃层的变浅促进营养盐被利用因而造成生产力大幅增长。在赤道西太平洋硅质沉积增长脉冲期间，赤道东太平洋的硅质生产力大幅下降，呈现此消彼长趋势，很可能是由于营养盐运输途中，赤道西太平洋生物生长截留营养盐增加，造成到达赤道东太平洋可被利用营养盐不足所致。

S14-P-06S

利用冷水珊瑚氧、碳同位素重建中-深层海水古温度

孔乐，黄恩清*，田军

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

*ehuang@tongji.edu.cn

中-深层海洋是巨大的热储库，自 20 世纪中期以来，中-深层海洋吸收了全球变暖约 1/3 的热量。相比于 1880 年，现今全球表层平均温度已经上升了约 1℃。但是全球变暖并非一个简单的线性过程，如 1997-2015 年间出现的“全球气候变暖停滞”现象就被认为与海洋储热机制的变化有关。由于缺少中-深层海洋观测数据以及气候系统之间复杂的遥相关作用，目前还不清楚具体哪种调控机制在起作用。因为人类时间尺度上的中-深层海洋环境演化信息很难从沉积物中获取，原因是绝大多数地方海洋沉积物的沉积速率低、生物扰动严重。因此，利用冷水珊瑚重建中-深层海水温度的高分辨率变化，有望弥补中-深层海洋年际、年代际尺度上的数据记录空白。

不同于热带浅水珊瑚，冷水珊瑚适应水温 4-12℃，在全球大洋数十米到 4000 多米的水深中都有分布。绝大部分冷水珊瑚没有虫黄藻共生，珊瑚虫主要靠过滤海水中的颗粒有机碳为生。目前，虽然研究程度还远未成熟，但冷水珊瑚在重建海洋中-深层碳储库年龄、温度、pH 值、营养盐以及大洋表层生产力结构演化等方面都显示出重大的应用价值。

由于冷水珊瑚表现出强烈的生命效应，冷水珊瑚钙化过程中的同位素分馏偏离热力学平衡值，无法直接利用珊瑚 $\delta^{18}O$ 重建海水温度变化。研究发现，可以沿着竹节柳珊瑚同一个生长纹层取样，测试一系列样品的氧、碳同位素。经海水同位素背景值校正之后，竹节柳珊瑚的 $\delta^{18}O_{珊瑚}$-$\delta^{18}O_{海水}$和 $\delta^{13}C_{珊瑚}$-$\delta^{13}C_{海水}$值存在良好的线性关系。取 $\delta^{13}C_{珊瑚}$-$\delta^{13}C_{海水}$值为 0 时的截距，$\delta^{18}O_{珊瑚}$-$\delta^{18}O_{海水}$与海水温度就存在明显的拟合关系，结合前人研究数据与南海冷水珊瑚测试结果，可以得到石珊瑚(公式 1)和竹节柳珊瑚(公式 2)的温度(T)-氧同位素截距($\delta^{18}O_{截距}$)线性关系分别如下：

$T(℃)= -4.39(\pm0.17)*\delta^{18}O_{截距}+20.15(\pm0.56)$ $(R^2=0.95)$ (1)

$T(℃)= -4.40(\pm0.25)*\delta^{18}O_{截距}+13.94(\pm0.52)$ $(R^2=0.90)$ (2)

沿冷水珊瑚不同生长纹层取样，理论上可以获得时间序列上的古水温变化。

S14-P-07S

东赤道印度洋更新世以来地层年代框架建立以及环境初步重建

王默林，丁旋*

1 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083

* dingx@cugb.edu.cn

东赤道印度洋位于印度季风影响区域，已有研究表明，该区的气候波动不仅是对全球气候变化的积极响应，同时也是低纬地区气候变化的重要驱动因素。近年来针对该区的古海洋学研究，主要聚焦在晚更新世以来高分辨率的古季风变化，更早的地史时期以及长时间尺度的相关研究则相对薄弱。

IODP353 航次的主要科学目标是：重建中新世以来在构造尺度到百年尺度上印度季风的变化历史。该航次在孟加拉湾共钻取

了六个站位，航次报告已完成了各站位年代地层框架的初步建立。但由于船上的取样分辨率低，一些浮游有孔虫生物事件没有识别出来，另外，船上观察到部分浮游有孔虫种的延续时间和广泛分布于热带区域的该种对应的生物事件年龄不一致，如 *Globorotalia flexuosa* 等，或可能指示了浮游有孔虫生物事件的地区差异性。

本次研究选取位于东赤道印度洋 90°E 海岭上的 IODP353−U443 站位，对该钻孔岩心更新世以来沉积物样品中的浮游有孔虫组合进行了分析，同时挑出底栖有孔虫进行氧碳稳定同位素测试。初步对船上已发现的更新世以来的浮游有孔虫生物事件 *Globigerinodides ruber*（pink）、*Globorotalia toseansis* 以及 *Globigerinoides fistulosus* 的末现面进行了校正，同时新识别出 *Neogloboquadrina acostaenisis* 以及 *Globoturborotalita apertura* 的末现面等生物事件。研究过程中发现，除了航次初始报告指出的 *Globorotalia flexuosa* 的延续时间表现出和该种对应的生物事件年龄的不一致，*Globoturborotalita obliquus* 的生物事件时间也在东赤道印度洋地区表现出与其他地区的差异性。本次研究通过对浮游有孔虫生物地层事件的进一步厘定，结合底栖有孔虫氧稳定同位素数据，建立了高分辨率的年代地层框架；同时分析有孔虫组合在该时期的波动情况，初步对东赤道印度洋区更新世以来的古季风变化以及气候波动特征进行重建。

S14-P-08S

气候、风尘及生物地球化学之间的全球铁联系

王敦繁*，刘青松*

1 南方科技大学海洋科学与工程系海洋磁学中心，深圳 518055

* dunfan-w@foxmail.com, qsliu@sustc.edu.cn

地球上的环境与气候变化，是不同圈层相互之间对物质进行传送并伴随能量转化所决定的，这就是“地球系统”：一个多圈层相互作用的复杂实体。不同圈层之间各组成部分存在线性和非线形的联系与响应，形成一个复杂的耦合体系。在这个复杂系统中，一个重要的部分是由陆向海的铁循环，在不同的气候条件下，大陆风尘通过大气输送到海洋，影响海洋中的生物地球化学循环，因此也对气候和风尘源区产生反馈作用。风尘的产生、释放、传输和沉降等循环过程可以将岩石圈、大气圈、水圈和生物圈等地球系统圈层紧密联系起来，成为影响全球变化及其环境和气候效应的重要纽带。但是，由于陆地沉积记录的不连续性和复杂性，人们对这个过程的关键部分认识仍还很有限。深海远洋沉积，是研究连续长尺度气候演化的良好载体。所以对海洋沉积物中记录的长尺度风尘演化和生物响应关系进行研究，对准确认识和理解地球系统多圈层之间的耦合联系具有重要意义。本研究对东赤道太平洋高营养盐低叶绿素区 45 Ma 以来沉积物中的风尘记录进行提取，通过物源追溯和古环境信息解读，以其了解全球气候变化下的风尘输送和生物地球化学之间的响应关系。研究发现，1）生物磁小体化石可做为研究长时间尺度上生产力的有效指标，相比埋藏有机碳和生物硅有检测方便，保存完整，与铁输入相关性高的诸多优点。2）东赤道太平洋 45 Ma 以来做为 HNLC 区域，其生物地球化学循环和风尘输入具有耦合关系，并受全球气候变化控制。

S14-P-09S

200 ka 以来帝汶海西南部钻孔沉积物源区风化的 Mg 同位素记录及其对澳洲古季风的响应

可菲，徐建*，张鹏

1 西北大学地质学系大陆动力学国家重点实验室，西安 710069

* jx08@live.cn

作为连接地球外部圈层的重要地质过程，硅酸盐风化作用制约着地表物质循环及其从陆地向边缘海或深海的迁移，并通过消耗大气 CO_2 在长时间尺度上调节着全球碳循环和气候变化。近年来，许多同位素体系如锂、锶、钙、钾和镁同位素等被应用于示踪硅酸盐风化过程，取得了许多重要研究成果。其中，Mg 同位素体系具有在岩浆分异过程中分馏有限，而在低温地球化学（硅酸盐水-岩反应）过程则产生显著分馏的特征；同时硅质碎屑岩的 Mg 同位素系统不受与低级变质和成岩作用相关改造的影响；因此，相对于传统风化指标，如：化学蚀变指数（CIA）和 Sr 同位素等，Mg 同位素组成受源岩类型和成岩作用的影响较小。海洋沉积物中的 Mg 主要来源于经河流输入的大陆风化产物，所以沉积物 Mg 同位素记录具有推演地质时期大陆风化演化历史以及古气候变化的潜力。本次研究通过对 IODP363 航次于澳大利亚西北陆架上 U1483 站处钻取的岩芯进行沉积物粒度、Mg 同位素以及主量元素组成地球化学分析，重建 200 ka 以来该站处的沉积物输入演化及其指示的源区大陆硅酸盐风化和侵蚀历史，并探讨海洋沉积物中细粒硅质碎屑组分 Mg 同位素的古气候指示意义。结果显示，U1483 站陆源碎屑组分主要由黏土质粉砂组成，其 δ^{26}Mg 变化范围超过 0.25‰，分析精度为 0.03‰；在时间序列上，U1483 站陆源碎屑组分 δ^{26}Mg 与传统化学风化指标 CIA 以及陆源碎屑堆积速率、Ti/Ca 比值的变化趋势较为同步，表明 δ26Mg 指标可以有效地应用于指示物源区硅酸盐风化强度。200 ka 以来，U1483 站沉积记录的风化和侵蚀指标与区域季风强度、表层海水温度在不同氧同位素期具有较好的耦合关系，而受海平面波动以及水动力分选的影响较弱，反映了轨道时间尺度上帝汶海西南部沉积物记录的风化和侵蚀演变主要受控于澳洲古季风系统，表现为气候驱动型风化模式。此外，我们还观察到 U1483 站沉积物记录的风化、侵蚀以及澳洲夏季风降雨的峰值阶段似乎与轨道参数的低岁差-高斜率值状态存在联系，表明在研究时段内，帝汶海西南部沉积演化历史受到轨道参数调控的澳洲古季风系统等气候因子的强烈控制。

S14-P-10S

上新世-更新世印尼穿越流中层水的古海洋学记录及其意义

陈漪馨[1]，刘珺[1]，徐建[1]*，李铁刚[2]，晏宏[3]，张鹏[1]，熊志方[2]

1 西北大学地质学系大陆动力学国家重点实验室，西安 710069

2 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

3 中国科学院地球环境研究所，西安 710061

* 594824531@qq.com

印尼穿越流（Indonesian Throughflow, ITF）是低纬地区太平洋和印度洋的唯一连接载体。上新世-更新世期间印尼穿越流在印尼海道的重组和全球气候变化气候变化中扮演着至关重要的角色，构造运动变化很可能是触发北极冰盖扩张的一个原因。印尼海道的持续受限导致印尼穿越流中层水（Indonesian Throughflow intermediate water，ITF-IW）受阻先于 ITF 上层水体。就目前的沉积学记录来看并没有对上新世-更新世时期 ITF-IW 的研究，在本文中我们就国际发现计划 363 航次 U1482 站的 1368 个沉积学样品进行了研究，站位位于 ITF 主要出口的帝汶海道，时间跨度为~3.17-1.07 Ma。U1482 站底层水受控于 ITF-IW，可以通过该站位底栖有孔虫壳体研究 ITF-IW 的演化过程。在 ITF 区域建立起来的上新世-更新世高分辨率（~2 kyr）底栖有孔虫 δ^{18}O 记录以~41 kyr 冰期-间冰期周期为主导，在~2.55 Ma (MIS 100)和~1.65 Ma (MIS 58)处发生变化，随后在~1.6-1.5 Ma (MIS 54-50)和~1.38-1.25 Ma (MIS 44-38)处底栖有孔虫 δ^{18}O 出现了显著的负偏移。通过与全球其他站位的底栖有孔虫 δ^{18}O 的对比可知，印尼海道的构造受

限长期限制了 ITF-IW 的流通，因此减少了南太平洋温暖海水的输送，很有可能是对全球冰盖增长的反馈。相比之下，两个间隔的底栖有孔虫 $\delta^{18}O$ 的负偏移表明此时 ITF-IW 更像是携带了区域性信号，可能与暖池和季风运动相关。

S14-P-11S

马来西亚热带雨林现代花粉形态研究

张庆云[1]，戴璐[1]*，Foong Swee Yeok[2]

1 宁波大学地理科学与旅游文化学院，宁波 315201

2 School of Biological Sciences, Universiti Sains Malaysia, Malaysia Penang 11960

* dailu2288@163.com

东南亚热带雨林的植物种类极为丰富，仅在卡里曼丹岛就存在 10000-15000 种植物，这为该地区孢粉化石的精确鉴定带来巨大的挑战。当前可用的孢粉形态参考可见于个别在线数据库，以及一些配有黑白图片的参考书。这些现代花粉形态研究难以满足东南亚热带雨林花粉鉴定的参考需要，例如，在线数据库网站经常被关闭，图片质量良莠不齐，最重要的是缺乏细节的描述。基于上述原因，我们与马来西亚理科大学和马来西亚森林局标本馆合作，从其蜡叶标本中摘取 412 个木本植物种的花粉样品进行花粉形态分析，样品分属于 172 个科和 317 个属。这些科、属都是马来西亚热带雨林中重要的组成成分，例如龙脑香科（Dipterocarpaceae）、豆科（Leguminosae）、茜草科（Rubiaceae）、大戟科（Euphorbiaceae）和芸香科（Rutaceae）等。通过使用高分辨率光学显微镜和扫描电子显微镜对每个样品进行形态参数统计和外壁纹饰分析，尽量揭示它们的属间形态差异。我们拟将这些花粉形态研究编撰成英文书籍发表，以供世界范围内从事热带孢粉研究的人员参考。

本研究以豆科植物花粉形态研究为例，揭示其花粉形态对精确重建该地区古植被的重要意义。我们对广布于马来西亚的 21 个属，26 种豆科植物花粉进行了形态观察。花粉的形态特征是多样的，包括三孔、三孔合沟、三孔沟、九孔沟和 16 合花粉等类型。三孔沟型占比为 65%；花粉形状以近球型占主导，还有长球型、扁球型；花粉最大为合欢属（*Albizzia sp.*）98.7 μm，最小为红豆属（*Ormosia bancana*）18.1 μm，处于 25-50 μm 之间的花粉占比 77%；外壁纹饰以网状为主（53.8%），也包括了瘤状和光滑的特征。根据扫描电镜结果和已发表的豆科花粉形态资料，我们认为三孔沟型花粉可以比较好的鉴定至各个属。通过对花粉类型植物母体生长环境的归纳，探讨了其对于不同植被群落的指示意义，为利用孢粉化石记录重建古植被和古环境提供依据。

S14-P-12S

栎属花粉属内分类在中国东部沿海第四纪古环境重建中的意义

唐银宁[1]，戴璐[1]*，于俊杰[2]，王继龙[2]，彭博[2]

1 宁波大学地理科学与旅游文化学院，宁波 315201

2 中国地质调查局南京地质调查中心，南京 210016

* dailu2288@163.com

栎属（*Quercus*）花粉是中国东部沿海不同纬度带第四纪化石孢粉组合中最主要的阔叶成分。由于栎属花粉在光学显微镜下很难进行精确的属内分类，其气候意义一直较为模糊。本研究利用扫描电子显微镜对采集自中国沿海热带至北亚热带五个地点的现代表土栎属花粉进行属内分类研究。根据外壁纹饰特征，这些栎属花粉可被划分为落叶类型和常绿类型，以及进一步区分出青冈亚

属（*Cyclobalanopsis*），从而更为精确的指示植被群落和气候。

研究结果显示，不同纬度水分、热量参数与落叶栎百分比之间存在着极好的线性关系。随着纬度的逐渐升高，伴随着采样点气温的降低与降水的减少，落叶栎相对于常绿栎的比例呈上升趋势。基于这种线性关系和孢粉谱，我们对福建省宁德市末次冰期时沉积物中的栎属化石花粉作出解释。栎属化石花粉中落叶栎的含量较现代高，相当于现代中亚热带-北亚热带范围内的比例。另外，常绿栎亚属和青冈亚属含量的差异，证明了福建末次冰期时的植被类型与现代不同。本研究揭示了栎属花粉的气候指示作用，为精确重建中国东部低纬度地区第四纪古环境提供了新思路。

S14-P-13S

重建腐泥层浮游植物生产力和群落结构变化

赵蔓*，黄恩清，贾国东

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 1831700@tongji.edu.cn

现在的东地中海属于寡营养海域，生产力低下，但在地质历史上由于周期性深水缺氧导致富含有机质的腐泥层沉积。然而，同样是海底缺氧的现代海区如黑海，却并没有腐泥层形成，因此对于腐泥层沉积机制的另一种解释是高生产力的影响。为此，我们提取了东地中海MD90-964钻孔中与主要海洋浮游植物类群相关的脂类分子，包括菜子甾醇、甲藻甾醇、1,15-C30酮醇（1,15-C30二醇氧化降解产物）及长链烯酮，分别对应硅藻、甲藻、黄绿藻和颗石藻的生产力。基于这四种生物标志物的含量以及与生物标志物总含量（近似作为海洋总初级生产力Total P）的比值，重建腐泥层时期初级生产力及群落结构变化。实验结果表明，东地中海初级生产力在腐泥层沉积时显著提高，其中硅藻对初级生产力的贡献升高，颗石藻的贡献降低。

记录表明，腐泥层中菜子甾醇、甲藻甾醇、1,15-C30酮醇、长链烯酮含量平均值分别为693.2、880.7、854.9、2258.9 ng/g，而非腐泥层样品中分别为20.9、23.5、39.1、90.9 ng/g。结合C_{org}%和陆源输入指标发现腐泥层时期四种生标含量以及Total P都显著升高。分别计算这四种生物标志物占Total P的相对百分含量，用于反映各浮游植物群落对初级生产力贡献的相对变化，即群落结构变化。结果表明，虽然每个腐泥层沉积时群落结构的变化都不尽相同，但总的说来多数腐泥层沉积时硅藻对初级生产力的贡献增加（腐泥层S1沉积时硅藻贡献减小），颗石藻的贡献减小，而甲藻和黄绿藻的相对贡献需要具体结合不同的腐泥层。这反映了颗石藻在初级生产力群落中的弱竞争能力，同时证实硅藻在腐泥层形成中的重要性，但需要注意的是硅藻并不是所有腐泥层中有机质的主要生产者，需要就不同腐泥层的沉积具体分析。

S14-P-14

近90 ka来南海深水的氧化还原历史及其对太平洋深水环流的响应

张亚南，仲义，刘青松*，蒋晓东

1 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055

* zhangyn3@mail.sustech.edu.cn

海洋深水环流在对全球气候和大气CO_2的调节中扮演着重要的作用。但太平洋作为全球经向翻转环流中的重要一环，其深水环流演变的历史及机制尚不清楚。南海通过吕宋海峡与太平洋深水连接，并受到太平洋深层水的补充。因此，我们通过南海南部获取的深海岩心钻孔中底栖有孔虫$\delta^{13}C$、微量元素和稀土元素的测试分析，来重建南海深层水冰期旋回过程中的氧化还原历史和通风条件变化。数据结果表明，MIS 5a (~88

ka)以来南海深层水氧化还原条件在冰期旋回过程中具有显著的变化。南海多个深海岩心钻孔（>1600 m）底栖有孔虫 $\delta^{13}C$ 变化的相似性，也表明南海深层水主要受到深层水通风的影响，有机质输送在冰期循环尺度上影响较小。通过南海与南太平洋堆栈的深水 $\delta^{13}C$ 的对比发现，冰期梯度差较大，而间冰期则较为一致。再结合不同水团碳同位素端元以及氧化历史的变化，我们认为南海深水在冰期旋回尺度上受到水团不同混合结果的控制。冰期，由于中深层的分层加强，NPDW 在深部向南扩张，控制着南海深层水，表现出 $\delta^{13}C$ 负偏和贫氧的特征；间冰期，NPDW 范围的减小，南海深层水受到 UCDW 的影响增多，表现出 $\delta^{13}C$ 正偏和富氧特征。

S14-P-15S

南海北部陆架表层沉积物中长链烯酮不饱和度分布特征及其对区域性海温的指示

陈国生，孔德明*，冯伟家

1 广东海洋大学海洋与气象学院，湛江 524088

* kongdm@gdou.edu.cn

近海沉积物长链烯酮含量低、分析难度大，对区域性海温的指示意义不明确，一直制约着该替代性指标的应用。本研究利用改进后的分析方法，调查了南海北部浅海区表层沉积物中的长链烯酮不饱和度，发现琼东上升流区的$U_{37}^{K'}$低于非上升流区，粤西上升流区低于北部湾，与观测的夏季海表温度分布特征较为一致，说明烯酮对夏季温度变化有一定指示作用；用南海和全球的烯酮温度校正公式计算得出的表层沉积物$U_{37}^{K'}$-SST 均高于观测年平均温度而低于夏季温度。表明用此公式计算近海沉积物的烯酮温度相对于实际年平均温度有偏高的估计。因此我们利用南海北部近海表层沉积物长链烯酮不饱和度和观测海水温度拟合得到一条适用于近海的温度换算公式。

S15-O-01

北极冬季海冰变化与大气强迫

刘忠方 [1]*，Camille Risi[2]，魏忠旺 [3]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Laboratoire de Météorologie Dynamique, IPSL, CNRS, Sorbonne Université, Paris 75252, France

3 中山大学大气科学学院，广州 510275

* liuzf406@gmail.com

在全球变暖背景下，北极海冰正在加速消融，但相关的驱动机制仍存在争议，特别是关于冬季海冰变化。卫星观测表明，北极冬季海冰消融主要发生在巴伦支-喀拉海海域，且存在强烈的年际变率。本研究利用再分析资料与耦合了平板海洋模型的全球气候模式，调查了海洋和大气强迫对北极冬季海冰变化的影响，结果表明，北极海冰变化主要受控于巴伦支-喀拉海反气旋，而非北大西洋暖水输送，该反气旋解释了该地区 50%以上的海冰年际变化；最近持续加强的巴伦支-喀拉海反气旋加剧了该地区的热量和水汽输送，导致温度、湿度和向下的长波辐射显著增加，抑制了海水的冻结，加速了海冰消融。这些结果不仅对历史时期北极气候变化研究具有重要启示，对未来北极海冰变化预测也有一定的指导意义。

S15-O-02

海冰消退驱动北冰洋过去三十年贫营养化的趋势

庄燕培 [1,2]，金海燕 [1,2,3]*，蔡卫君 [4]，李宏亮 [1]，金梅兵 [5]，祁第 [6]，陈建芳 [1,3]*

1 自然资源部第二海洋研究所海洋生态系统动力学重点实验室，杭州 310012

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519000
3 自然资源部第二海洋研究所卫星海洋环境动力学国家重点实验室，杭州 310012
4 特拉华大学海洋科学与政策学院，莱维斯 19958
5 阿拉斯加大学费尔班克斯分校国际北极研究中心，费尔班克斯 99775
6 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361005
* jinhaiyan@sio.org.cn, jfchen@sio.org.cn

北冰洋的快速变暖和海冰消退是近几十年来地球上发生的最深刻的气候变化之一。北冰洋生物生产因此而增加，但对营养盐的影响尚不清晰。通过对历史和实测数据的分析，发现在过去 30 年，西北冰洋海盆表层水体中的硝酸盐和磷酸盐平均浓度分别下降了 79%和 29%。实测数据和数值模拟结果表明，西北冰洋的贫营养化趋势主要是由海冰消退的复合效应驱动的：次表层水体营养盐向上供应的减弱（由于淡水汇聚和上层海洋层化的增强）以及营养盐生物吸收的增强（由于光合作用所需可利用光的增加）导致的。

S15-O-03

生长季内楚科奇海持续的高初级生产力机制研究

郑宇佳，魏皓，罗晓凡*，赵伟

1 天津大学海洋科学与技术学院，天津 300072
* xiaofan.luo@tju.edu.cn

楚科奇海（北冰洋）在生长季内持续的高初级生产力对于维持高效的生物碳泵和多样化的北极生态系统起着关键作用。我们使用一个耦合的海洋-海冰-生物地球化学模式模拟了 1998-2015 年净初级生产力的月均气候态场。结果表明，楚科奇海的生长季时长可达 150 多天，年均净初级生产力为 $30.85 \pm 3.67\ \mathrm{Tg\,C\,y^{-1}}$。楚科奇海南部和北部生物热点区内维持高初级生产力的机制不同。在春季，随着光照强度的增加，富营养盐的太平洋冬季水触发了这两个生物热点区浮游植物的水华。在这之后，白令海夏季水和残余太平洋冬季水分别是南、北两个生物热点区营养盐水平的主要贡献者，并分别驱动着两个热点区生长季内（5-9 月）的初级生产。真光层内的硝酸盐收支计算揭示了在春季水华过后，南生物热点区持续的高初级生产力主要由经白令海峡平流输运的白令海夏季水支持。在北部生物热点，垂向混合对从汉纳浅滩周围上涌的富营养盐的太平洋冬季水起着至关重要的作用。在受地形影响的环流结构作用下，太平洋冬季水在汉娜浅滩附近长期存留。因此，楚科奇海北部地区在夏季和初秋有较高的初级生产。

S15-O-04

地震海洋学及其在极地海域的应用展望

宋海斌*，杨顺，张锟，龚屹，范文豪，邝芸艳

1 海洋地质国家重点实验室，同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092
* hbsong@tongji.edu.cn

地震海洋学是应用反射地震方法研究海洋内部结构及其变化，揭示中小尺度海洋动力过程及其与海底相互作用的一门交叉科学与新兴技术。地震海洋学具有分辨率高、采集数据速度快、可利用大量已有资料等优势在物理海洋学、海洋地质与地球物理学研究方面具有广阔的应用前景。近 20 年的地震海洋学研究取得了以下进展：1）各种海洋动力现象的高分辨率成像，如中尺度/亚中尺度涡旋、内波/内孤立波、海洋锋、温盐阶梯等；2）建立了一系列定量方法，包括温盐结构反演、内波波数谱估计、湍流耗散率估计和流速计算；3）海底界面过程研究方面取得初步成果；4）开展反射地震和物理海洋学、卫星遥感联合调查、综合分析。近期的主要展望包括：1）更高分辨率地震数据采集，逐

步利用三维和叠前数据/时移数据；2）亚中尺度海洋动力过程研究；3）海流-地形相互作用和海底界面过程研究方面的预期新成果。研究海域也会拓展到极地海域。

我们给出极地海域的几个航次的地震海洋学研究初步成果，重点介绍北冰洋楚科奇海及其邻近海域的研究。北冰洋楚科奇海及其邻近海域的 04 测线总长约 300 km，在该地震海洋学剖面上分布有 7 个涡旋，水平尺度分别为 19 km、19 km、25 km、63 km、40 km、50 km、19 km，第 1、2、3、7 号涡旋垂向上分布于约 75 m-225 m 深度处，第 4、5、6 号涡旋垂向分布于约 75 m-375 m 深度处。这 7 个涡旋可分为两类，较小尺度的涡旋，和中等尺度的涡旋。较小尺度的涡旋以第 2 号涡旋形态最突出，地震剖面上呈现出下凹状的反射结构，两侧的反射层倾角较大，边缘部位与核心部位反射强度均较大。与此对比比较明显的是第 1 号涡旋，其一侧的反射层倾角较小，核心部位反射强度较低。中等尺度的 3 个涡旋以第 4 号涡旋形态最为突出，核心部位反射强度较低，水平尺度 25 km，下边界为下凹强反射，两侧边缘各为 15 km 左右，有强弱相间的反射条带组成，每一侧至少有 5-6 个横向上窄窄的强反射带，为涡旋的旋臂/涡丝结构。第 6 号涡旋的核心部位较深处存在 1 个直径 12 km，厚度 75 m 的透镜体。在这条测线上 7 个涡旋横向上占有 78%空间位置，说明研究区涡旋广泛发育。其他的测线上也有相似的情况，涡旋形态各异，相互作用明显。楚科奇海北侧有自西向东的陆架坡折急流和自东向西的陆坡流，但广泛分布、大小不同的涡旋在物质与能量输运方面的作用必定是重要的，值得深入研究。这也将推动亚中尺度海洋动力过程的研究。

S15-O-05

北大西洋副极地热量和淡水量输送特征与机制

李非栗[1]*，M. Susan Lozier[2]，N. Penny Holliday[3]，William E. Johns[4]，Isabela A. Le Bras[5]，Ben I. Moat[3]，Stuart A. Cunningham[6]，M. Femke de Jong[7]

1 厦门大学，厦门，中国
2 佐治亚理工学院，亚特兰大，美国
3 英国国家海洋中心，南安普顿，英国
4 迈阿密大学，迈阿密，美国
5 伍兹霍尔海洋研究所，法尔茅斯，美国
6 苏格兰海洋科学协会，奥本，英国
6 荷兰皇家海洋研究所，特塞尔，荷兰
* feili.li@xmu.edu.cn

北大西洋副极地海域是北大西洋与北冰洋—亚北极区域进行热量、淡水交换的关键区域，相关变化又可以通过影响海洋层结对副极地海域深海对流和翻转环流等重要物理过程产生影响。然而由于观测资料匮乏，副极地海域的热、盐输送的属性特征和变化规律都仍不清楚。在此次报告中，我们将应用跨大西洋全水深观测系统（OSNAP 阵列）的连续现场观测，讨论北大西洋副极地经向流量以及热量、盐度输送征，分解并确定海洋翻转（垂向）环流与水平环流在物质输送的具体贡献与主导的时间尺度。通过结合历史观测数据，构建泛北冰洋海域热、盐收支计算框架，依此估算得到在 2014 至 2018 年间，副极地海域极地方向的热量输送为 0.50 PW，盐度输送为 12.5 Sv（1 Sv = 10^6 m^3 s^{-1}），该盐度输入量相当于泛北冰洋区域 0.36 Sv 的淡水（盐度为零）增量。通过将相应的热量、淡水量输送进一步分解，我们发现海洋翻转环流对于海洋净热量输送变率起主要调制作用，但是水平环流的贡献不可忽略。而对于淡水增量变化而言，翻转环流和水平环流都具有显著贡献。结果显示高纬度海域翻转环流与水平环流在海洋物质输送中的可能的耦合作用。

S15-O-06

利用 Landsat 序列影像检测北极苔原区湖泊热喀斯特地貌的景观动态

陈雅婷 [1]，刘奥博 [1]，程晓 [2]*

1 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院，北京 100875

2 中山大学测绘科学与技术学院，珠海 519082

* chengxiao9@mail.sysu.edu.cn; chenyt2016bnu@gmail.com

北极多年冻土中以冻结或淹没的形式埋藏着大量的有机碳，并因“北极放大”效应而成为对全球气候变化最敏感的区域之一。迅速变暖的北极使得富含大量冰的多年冻土逐渐退化，引起景观变化，形成热喀斯特地貌。热喀斯特地貌的发展导致北极多年冻土区的水文条件、土壤性质、景观特征、生态和地貌等发生了重大变化。其中热喀斯特湖泊的快速变化，包括湖泊扩张和排水，是多年冻土退化的有力指标。热喀斯特地貌仅占多年冻土区的五分之一，却含有超过一半的土壤有机碳，因此热喀斯特地貌的变化检测及其扰动研究具有重要意义。

本研究中，我们基于 Google Earth Engine 平台对 2000-2020 年间北极苔原区的湖泊热喀斯特地貌进行了长时间序列的分析。基于像元的扰动轨迹和面向对象的湖泊变化识别，我们首次将 LandTrendr 算法应用于检测湖泊热喀斯特地貌的扰动，确定了扰动发生的年份，幅度和持续时间。我们使用了 Theil-Sen 回归方法计算了穗帽指数和 NDVI、NDMI、AWEI 等多光谱指数的坡度和截距，并探索了北极苔原区热喀斯特湖泊、植被、湿度和反照率的整体变化趋势。通过 Landsat 序列影像，我们检测到了五类与多年冻土退化过程相关的扰动，包括长期过程（热喀斯特湖泊扩张、海岸线退缩和河流侵蚀）和短期事件（热喀斯特湖泊排水和野火）。检测到的干扰显示出了多年冻土变化的热点，与未受干扰的地区相比，其趋势参数明显不同。我们进一步对排水湖区长出的新生植被进行了监测，发现湖泊发生排水的四到五年后，湖区植被恢复到了与周围植被相同的水平。在湖泊排水后的 10 年中，排水湖区植被比周围植被的生长速度快大约 5 倍，10 年后，湖区植被的绿度比周围植被高 30% 左右。我们进一步探索了十八种环境要素对排水湖区植被演替的影响。

S15-O-07

50 万年以来欧亚冰盖发育历史

肖文申 [1]*，Leonid Polyak[2]，王汝建 [1]，Christelle Not[3]，董林森 [4]，刘焱光 [4]，马通 [1]，章陶亮 [1,5]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 Byrd Polar and Climate Research Center, The Ohio State University, USA

3 香港大学地球科学学院

4 自然资源部第一海洋研究所

5 上海交通大学海洋学院

* wxiao@tongji.edu.cn

第四纪全球气候变化由北极冰盖所主导。不同时期环北极冰盖的发育呈现区域上的差异。本项研究对中国第五次北极考察在北冰洋马卡洛夫海盆采集的 ARC5-ICE6 岩芯进行了粘土矿物和 Sr-Nd-Pb 同位素等物源指标的分析，旨在揭示约 50 万年以来（约深海氧同位素 MIS 13 期）研究区物源变化，及其指示的环流和北极冰盖演变历史。数据显示，MIS 7 之前 ICE6 的物源稳定，指示穿极流向马卡洛夫海盆的物质输运，以及欧亚冰盖不发育的特征。MIS7 之后，ICE6 的物源发生剧烈变化，指示欧亚冰盖发生大规模的发育和消退过程。晚更新世欧亚冰盖发育过程导致北冰洋永久海冰的生长。在 MIS 6，5b 和 4，欧亚冰盖急剧扩张。在 MIS 5b 和 5d 时期，虽然全球海平面相似，但显示冰盖发育的不同：在 MIS 5d 期间北美劳伦冰盖也较发育。在 MIS 3，环北极冰盖发育有限，指示相对温暖的环境。

S15-O-08

末次间冰期以来东西伯利亚冰盖扩张

叶黎明[1,2]*，章伟艳[1,2]，王嵘[1,2]，于晓果[1,2]，金路[1,2]

1 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012
2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
* lmye@sio.org.cn

北极冰盖和冰架最新的演化历史将从根本上改变我们对氧同位素和海平面变化的基本认知，并重新定义气候模型的边界条件。沿着东西伯利亚大陆边缘，科学界最初认为可能存在小型的冰帽，后来发现应该是大型冰盖，最近的一些地貌和沉积证据又倾向于支持若干个小型冰帽的存在并延伸出了巨厚的冰架。通过分析冰阀碎屑（IRD）、主量元素和锶钕同位素的时空分布，我们重点研究了东西伯利亚大陆边缘末次间冰期以来的沉积环境和冰阀事件。结果表明，在氧同位素 2 期（MIS2）东西伯利亚冰盖（ESIS）可能是存在的，但是其扩展冰架的覆盖范围仅限于南门捷列夫洋脊、楚科奇盆地和楚科奇隆起，而楚科奇海台和北风洋脊被劳伦泰扩展的冰架所控制。在 MIS4 期，ESIS 经历了明显的扩张，一个更稳定的冰架完全占据了楚科奇海台和北风洋脊，劳伦泰冰盖（LIS）和欧亚冰盖（EAIS）产生的冰山受到严重限制，只有来自东西伯利亚陆架的细粒沉积物才有可能通过冰下排水系统大量输入。

S15-O-09

西北冰洋冰筏碎屑指示的 MIS 5 以来冰盖和洋流的演化历史

章陶亮[1,2]，王汝建[2]*，肖文申[2]，Leonid Polyak[3]

1 上海交通大学海洋学院，上海 200240
2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
3 Byrd Polar and Climate Research Center，Columbus OH 43210
* rjwang@tongji.edu.cn

通过西北冰洋楚科奇边缘地区 4 个柱状沉积物组成的岩芯断面，分析 MIS 5 以来粗颗粒冰筏碎屑（IRD）的岩矿组成，确定西北冰洋不同时期 IRD 的来源和搬运模式，进而重建 MIS 5 以来欧亚冰盖和北美冰盖的消长以及北冰洋海盆中表层洋流的演化历史。研究结果显示 MIS 5.5 和 MIS 5.1 期间，波弗特环流的影响范围大于 MIS 1，而在 MIS 5.4~5.2 期间，波弗特环流的影响范围小于现代；MIS 4 期间，岩芯中发现了大量来源于欧亚冰盖或东西伯利亚海冰盖的冰川浊积物，冰盖可能扩张到了楚科奇边缘地区南部；在同一时期，在楚科奇边缘地区南部的岩芯中 IRD 几乎全部为铁锰结核，可能受到了欧亚冰盖或东西伯利亚海冰盖的影响，但铁锰结核与欧亚冰盖的关系仍需进一步研究；MIS 3 期间，波弗特环流的影响范围和强度略弱于现代；在末次冰盛期，研究区受到以劳伦冰盖为主要来源的冰川浊积物输入；在末次冰消期，研究区发生了一次来源于北美劳伦冰盖的冰融水排泄事件；在 MIS 1，西北冰洋主要受到波弗特环流的控制，将来源于加拿大北极富含碎屑碳酸岩的 IRD 带入北冰洋海盆。

S15-O-10

西北冰洋门捷列夫脊晚更新世的淡水事件

赵嵩[1,2]*，刘焱光[1,3]，董林森[1,3]，石学法[1,2,3]，邹欣庆[2,3]，Leonid Polyak[4]，汪卫国[5]，吴东[6]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛
2 南京大学南海研究协同创新中心，海岸与海岛开发教育部重点实验室，南京

3 海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质重点实验室，青岛
4 俄亥俄州立大学，伯德极地与气候研究中心，哥伦布
5 自然资源部第三海洋研究所，厦门
6 中国海洋大学，地球科学学院，青岛
* zhaosong@fio.org.cn

中更新世晚期以来，西北冰洋（Western Arctic Ocean）和东西伯利亚大陆边缘（East Siberian Continental Margin）地区反复发生了大规模冰川事件，海平面以下发育的近千米深的犁痕和剥蚀痕迹被认为是东西伯利亚冰盖（East Siberian Ice Sheet，ESIS）的扩张事件。在基于岩性和磁性地层学手段恢复了门捷列夫海脊（Mendeleev Ridge）沉积岩芯 ARC07-E25 约 240 ka 的年代框架外，还根据浮游有孔虫稳定氧同位素（Nps-$\delta^{18}O$）和全岩矿物组成评估了晚更新世门捷列夫脊上淡水事件的潜在来源。

结果表明：门捷列夫脊上的淡水事件主要来自陆地上冰堰湖的爆发以及大型冰川的融化，最典型的爆发事件在 MIS4/3 时期，由极高的碎屑峰和突发的氧同位素漂移脉冲组成的双峰模式指示。但值得注意的是，此时矿物组成显示出的潜在来源暗示了两次脉冲来自截然不同的源区，由斜长石和绿泥石显示的典型东西伯利亚物质源指示器在约 50 ka 前的富集和来自西西伯利亚物质的耗尽暗示此次淡水的排放可能来自于东西伯利亚冰盖溶解的爆发性排放，区别于随后到来的以石英、高岭石为主要指示器的欧亚冰盖的冰堰湖爆发，这种模式区别于过去的解释并在泛欧亚来源和北美来源外提供了新的东西伯利亚来源。另外在相同的时间内，在北冰洋海盆内包括北欧海在内的多个沉积记录内都发现了类似的事件，这可能意味着此次淡水事件的影响范围要远比预想的大或还有额外的潜在来源未被发现。

S15-O-11

南极雪冰记录的大气氧化环境变化特征：硝酸盐稳定同位素证据

史贵涛[1,2]*，李院生[2]，Meredith G. Hastings[3]

1 华东师范大学地理科学学院，上海 200241
2 中国极地研究中心，上海 200136
3 Department of Earth, Environmental and Planetary Sciences and Institute at Brown for Environment and Society, Brown University, Providence, Rhode Island 02912, USA
* gtshi@geo.ecnu.edu.cn

大气中硝酸盐（NO_3^-）主要来自于 NO_x 的氧化，因此 NO_3^-及其同位素组成可以指示大气中 NO_x 来源、氧化环境等信息。雪冰中 NO_3^-主要来自于大气沉降，通过雪冰 NO_3^-记录可以认识过去大气氧化环境变化特征。本研究以南极 Dome A 区域 4 个雪坑为研究对象，对雪冰 NO_3^-同位素进行了分析。利用 Pinatubo 和 Agung 火山信号及 β 活化度（核试验活动）对雪坑进行了定年，结果表明 3 m 雪坑时间大概为 1960s-2010s，4.5 m 雪坑时间为 1950-2010s。4 个雪坑结果表明在 1960s-2000 年 NO_3^-含量均表现出显著的降低，$\delta^{15}N$ 则表现出显著升高趋势，而 $\delta^{18}O$ 则表现出显著降低趋势，结合溯源分析结果表明，这种变化趋势主要受控于平流层臭氧变化趋势，即在该时间范围内，平流层臭氧表现出显著降低趋势，导致近地表紫外辐射增强，引起雪冰中 NO_3^-的紫外光解增强所致，从而说明 NO_3^-及其同位素构成可以指示平流层臭氧的变化趋势，这种指示意义在积累率极低的 Dome A 区域最显著。但在年际变化上，NO_3^-含量及其同位素关系不能用光解解释，可能指示了积累率变化、化学离子含量等对雪冰中 NO_3^-光解的潜在影响，所以在年际变化上，雪冰 NO_3^-可能不能很好指示平流层臭氧及其引起的紫外光解变化特征。

S15-O-12

南极中山站至 Dome A 断面雪冰中难熔黑碳（RBC）空间变化特征研究

吴广美[1]，史贵涛[1,2]* 王茉[3]

1 华东师范大学地理科学学院，地理信息科学教育部重点实验室，上海 200241

2 自然资源部极地科学重点实验室，中国极地研究中心，上海 200136

3 中国科学院青藏高原研究所，北京 100101

* gtshi@geo.ecnu.edu.cn

生物质燃料和化石燃料不充分燃烧产生的难熔黑碳（refractory black carbon，rBC）沉积在雪面上时可引起显著的气候强迫。人类对于南极地区 rBC 含量及其来源的认识还存在不足。本文研究了 2012-2013 年南极中山站至 Dome A 断面表层雪中 rBC 含量的空间变化特征。研究表明，整个断面上 rBC 平均含量为 0.048±0.030 ng/g（0.008-0.190 ng/g），rBC 含量随内陆距离的增加而增加，内陆区域（600-1256 km，0.061±0.033 ng/g）显著高于沿海区域（0-600 km，0.032±0.016 ng/g）。这可能是对流层上部输送 rBC 到内陆高原和高海拔地区低积累率带来稀释效应的综合结果。rBC 与主要海盐离子（Cl^-，Na^+，Ca^{2+}）存在显著相关关系，这可能说明 rBC 和这些海盐离子有相似的传输路径。本研究为进一步认识南极沿海区域到内陆区域 rBC 含量分布和潜在来源提供了重要依据。

S15-O-13

极地冰层快速取芯/样钻探技术研究现状与未来展望

王如生*，吕欣雨

1 吉林大学极地科学与工程研究院，长春 130021

* wangrs@jlu.edu.cn

古老年代空气中的尘埃颗粒、大气气泡和宇宙放射性物质等随着降雪沉积在冰层表面并且按照年代序列保存在极地冰盖中，获取冰盖内部的冰芯并对其进行物理化学等分析可以得到不同年代的冰川学、气候学、生物学等研究信息。开展极地冰芯钻探面临着极地环境恶劣、工作时间短暂、交通运输不便等诸多挑战。为应对极地研究的这些挑战，世界各国极地冰川研究学者研发了多种极地冰层快速钻探技术。本报告首先阐述了开展冰盖深部冰芯研究的科学意义及面临的挑战，并全面分析现阶段典型的常规冰层取芯/样钻进方式取得的成果及工作特点，提出应对极地研究不利条件和克服常规钻进方式不足之处的解决方案，并对提出的全新的变革性的冰层取芯/样钻探方式进行详细阐述。

Research Status and Prospect of Rapid Ice Core/Sample Drilling Technology in Polar Regions

Rusheng Wang*, Xinyu Lv

1 Institute of Polar Science and Engineering, Jilin University, Changchun, 130021

* wangrs@jlu.edu.cn

In ancient time, dust particles, air bubbles and cosmic radioactive materials in the air were deposited on the ice surface with snowfall and stored in the polar ice sheet in accordance with the chronological sequence. The information of glaciology, climatology and biology in different ages contained in deep ice sheet can be obtained by physicochemical analysis of deep ice core in the polar ice sheet. However, the process of obtaining ice core of deep glacier is faced with many challenges, such as poor polar environment, short working time, inconvenient transportation and so on. In order to handle all the above challenges, a variety of

rapid ice drilling methods have been developed by polar researchers around the world. This report presents the significance and challenges of deep ice core research, achievements and working characteristics of typical conventional ice core drilling methods, then puts forward the solutions that can overcome the adverse conditions of polar area and shortcomings of conventional drilling. Finally, a new and innovative ice core drilling method is described in detail.

S15-O-14

南大洋在过去全球变化中的作用和影响

王汝建*，肖文申，武力，聂森艳

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* rjwang@tongji.edu.cn

作为当前地球系统的主要组成部分，南极系统包含大气、冰雪、海洋、陆地和生物圈等多圈层的相互作用，又通过大气和海洋环流的经向传输影响中低纬度海区。近百年来，来自南极大气、冰芯、仪器观测和数值模拟的大量结果表明，南半球高纬度地区在全球气候变化过程中具有领先地位，南极大陆和海洋环境正在发生显著变化，如西南极地区气温明显升高，冰架逐渐崩塌和萎缩，大陆和海洋无冰区面积增大，海洋生物量随之增加，是目前全球气候变暖最快的区域之一。随着全球气候变暖，越来越多的证据表明，南大洋也出现了显著变化，如西风带加强，环南极洋流（ACC）向南迁移，南大洋上层海水变暖和变淡，南极底层水（AABW）变暖、变淡、密度降低和萎缩，并且最强的底层水变淡信号出现在印度洋和太平洋海盆。这些发生在南大洋，南极大陆边缘，包括陆架、陆坡和陆隆的变化不仅决定着南极冰冻圈的消长，同时对全球大洋和 CO_2 循环、气候变化等都有着深远的影响。这些变化使得南极和南大洋迅速成为当今科学界和社会关注的焦点。当前，南极研究科学委员会（SCAR)和一些重大的国际研究计划，如世界气候研究计划（WCRP）、国际地圈-生物圈研究计划（IGBP）过去全球变化研究计划（PAGES) 、国际 IODP 计划等，都将南极地区作为核心或关键地区，制定了相应的南极研究计划，例如，研究南极在新生代全球环境变化中的作用计划（ANDRILL），以及 2018 年和 2019 年执行的 IODP374 航次-罗斯海西南极冰架历史，IODP379 航次-阿蒙森海西南极冰架历史，IODP378 航次-南太平洋断面古近纪极端温暖气候条件下热量传输模式与水体结构变化等，使南极和南大洋成为当今地球科学研究的热点地区。2014 年 Nature 刊文《南极科学的六个优先问题》，其中之一是“定义南极大气和南大洋的全球影响力”：例如，南极的气候变化怎样影响热带海洋和季风？南大洋在地球系统中扮演了重要作用，它连接了世界的海洋，形成一个全球洋流系统，将热量和 CO_2 从大气传输到深海。南大洋的这些变化会加速还是减慢气候变化的速度？

S15-O-15

末次冰盛期以来南极罗斯海的环流变化

韩喜彬 [1,2]*，宋濠男 [1,2]，张泳聪 [1,2]，龙盼盼 [1,2]，胡栟铙 [3]，龙飞江 [3]

1 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

3 成都理工大学沉积地质研究院，成都 610059

* hanxibin@sio.org.cn

南极罗斯海是南太平洋扇区深入南极洲的大海湾，是南极底层水的主要生成区，对全球冷热循环和气候变化有着重要的意义。对位于罗斯海西部乔迪斯海盆（JOIDES Basin）的 ANT31-JB03 和 ANT32-RB16C 柱状沉积物进行的 AMS^{14}C 测年、物性特征和有机分子地球化学等分析结果揭示了末次

冰期冰盛期（LGM）以来的沉积环境变化，ANT31-JB03 在 76 cm 处存在着沉积间断，LGM 中后期到全新世之间的沉积物可能被罗斯冰架下的冰海沉积流所冲刷侵蚀，就在 LGM 早期沉积中存在外来的与底部有不整合面（118 cm）接触，有着年代倒转，说明在 LGM 早期罗斯冰架覆盖下，冰海沉积或冰下流非常活跃和强大。在全新世以来也有着 3 次密度增加孔隙率减小的事件。GDGTs 显示研究区表层水温 SST 在 LGM 早期叠加沉积时有所升高，这也许是导致冰架下冰海沉积物滑塌的原因。表层水温随着全新世的开始逐渐升高，在全新世中期升到最高，而后有所降低。在 LGM 早期烧失量（LoI）、总有机碳（TOC）、有机碳（Org.C）和总氮的含量都很低，在全新世早期含量逐渐增加，在全新世中期达到最高值，而后在全新世晚期降低，说明随着气温的回升，生物活动增强，有机质来源增加。有机质主要海洋细菌藻类低等生物的输入。Pr/Ph 比值整体上都大于 1，在 0.8~2.8 之间，植烷占绝对优势，表现出弱还原-还原环境，在 LGM 早期叠加沉积和全新世的早期，还原性有所减弱，伴随着沉积物有机质的成熟度有所增加。

S15-O-16

海水钕同位素重建末次冰期以来大西洋扇区南大洋南极底层水演化历史

黄璜[1]*，MARCUS GUTJAHR[2]，GERHARD KUHN[3]，PARTRICK BLASER[4]，JORG LIPPOLD[5]，ANTON EISENHAUER[2]

1 中山大学海洋科学学院，珠海 519000

2 GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, 24148 Kiel, Germany

3 Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Am Alten Hafen 26, 27568 Bremerhaven, Germany

4 Institute of Geological Sciences and Oeschger Centre for Climate Change Research, University of Bern, 3012 Bern, Switzerland

5 Institute of Environmental Physics, University of Heidelberg, 69120 Heidelberg, Germany

* huanghuang@mail.sysu.edu.cn

末次冰期以来地球经历了与现代类似的大气 CO_2 浓度快速上升过程。末次冰期以来大气 CO_2 浓度的变化被认为主要受海洋调控，而南大洋经向翻转流在海洋封存和释放 CO_2 中起到了关键作用。南大洋经向翻转流可分为上升流和深层环流两个基本单元，其中南大洋上升流被发现在末次冰期减弱，限制 CO_2 从深海释放到大气中，而在随后的末次冰消期，上升流增强，促进 CO_2 从深海释放。相较于对上升流变化的理解程度，由于缺乏古海洋记录，南大洋在末次冰期以来的深海环流演化过程，特别是南极底层水（AABW）的演化历史，还存在较大争议，阻碍了理解海洋封存和释放碳的机制。

威德尔海是现代的 AABW 最主要发源地之一，贡献 AABW 总通量的约 60%，是研究 AABW 的重要区域。与传统的洋流示踪指标包括底栖有孔虫的稳定碳同位素 $\delta^{13}C$、Cd/Ca 和 $\Delta^{14}C$ 相比，海水钕同位素不受到全球碳库变化、温度效应、清除效应、生物效应等因素的影响，更适合示踪的南大洋水团变化。我们通过提取 8 个位于威德尔海内部和外部不同深度的沉积物岩心中铁锰氧化物相保存的古海水钕同位素，重建了过去两万五千年以来的 AABW 演化历史。结果显示 AABW 在末次冰盛期的输出强度与现代不同，而 AABW 的演化过程与大气 CO_2 变化历史展示出正向耦合关系。

S15-O-17

晚第四纪东南极兰伯特冰川动力学

武力[1]*，David J. Wilson[2]，王汝建[1]*，Sandra Passchier[3]，Wout Krijgsman[4]，俞恂[1]，温廷宇[1]，肖文申[1]，刘志飞[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200093

2 Institute of Earth and Planetary Sciences, University College London and Birkbeck, University of London, London, UK

3 Department of Earth and Environmental Studies, Montclair State University, Upper Montclair, New Jersey, USA

4 Department of Earth Sciences, Utrecht University, Utrecht, the Netherlands

* wuli@tongji.edu.cn

两极冰盖消长是第四纪全球海平面变化的主控因素。其中，东南极冰盖的海平面当量约为 53 m。虽然在第四纪的气候背景下，整个东南极冰盖不可能完全崩塌消融，但坐落在海水里的东南极冰盖部分对于气候驱动十分敏感，成为未来全球海平面上升的潜在隐患。

兰伯特冰川—埃默里冰架体系（Lambert Glacier—Amery Ice Shelf system）是东南极最大的外流冰川体系，大约 15%的东南极冰盖由其排泄进入南大洋，其动力学变化代表了显著部分东南极冰盖的动力学变化。本研究使用中国第 29 次和 30 次南极考察在普里兹湾深海区采集的重力沉积物岩芯 ANT29/P5-03 和 ANT30/P1-02，基于前期已有的地层学和沉积学结果和新报道的黏土矿物和冰筏碎屑组成等替代指标，首次对兰伯特冰川体系在过去 52 万年里轨道尺度上的动力学变化特征及其驱动机制进行了详细的研究。

使用 EM2/(EM1+EM2)作为兰伯特冰川进退的替代指标，研究发现，兰伯特冰川在晚第四纪的动力学行为与全球冰量变化在冰期旋回尺度上一致，说明该冰川体系对海洋因素的驱动响应敏感。而在高海平面时期，该冰川的撤退与当地夏季太阳辐射的高值对应。此外，对比本次研究的记录和威尔克斯地的记录以及南极冰量体积变化模拟结果，研究发现三个记录在亚轨道尺度上的动力学行为存在差异，说明当地地理因素，特别是冰下地形对冰川动力学行为有显著影响。研究认为，东南极冰盖的动力学变化不但受到统一的气候因素的影响，不同部分的东南极冰盖的动力学行为也受到当地因素的显著调控，因此表现出相似而不同的动力学变化行为。

S15-O-18

The ocean-driven instability of the South Pacific sector of the West Antarctic ice sheet since 773 ka

Jiakai Wang[1,3], Zheng Tang[2,4], Fengming Chang[1,3,4], Qingyun Nan[1,3,4], Zhifang Xiong[2,4], Tiegang Li[2,3,4]*

1 Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2 Key Laboratory of Marine Geology and Metallogeny, First Institute of Oceanography, Ministry of Natural and Re-sources, Qingdao 266061, China;

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049;

4 Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China

* tgli@fio.org.cn

Insight into the causes of the West Antarctic Ice Sheet (WAIS) stability over middle Pleistocene glacial/interglacial (G/IG) cycles is fundamental to our understanding of the response of the climate system to the cryosphere. Here, to clarify the mechanism of WAIS stability during the late Quaternary period, we provide iceberg-rafted debris (IRD)

contents, clay mineral, and Sr-Nd iso-topic analyses of the piston core ANT34/A2-10. The core was recovered from the seasonal sea ice region in the Antarctic Zone of the Amundsen Sea with a ~773 ka BP chronology. The endmember analysis of clay minerals shows marked differences in sediment provenance at site ANT34/A2-10 between IRD peak interval and low IRD content interval in G/IG cycles. And the Sr-Nd isotopic endmember analysis in IRD peak intervals restricts the sediment provenance in the Victoria Land. We suggest that shifts in the sediment provenance resulted from the variations in iceberg trajectories, which connected to the significant shifts in the atmospheric system at the IRD peak intervals.

Moreover, a contemporaneous strengthened ocean-driven positive feedback occurred between the increased wind-driven upwelling of warm, well-ventilated Circumpolar Deep Water and the in-tense ice mass loss process (including iceberg calving and basal melting process) with the instability of the WAIS. Furthermore, our results reveal that the variation of WAIS stability is sensitive to the local summer insolation forcing. These pieces of evidence recorded in the pelagic South Pacific Southern Ocean may strongly reflect the significant variations in ocean-driven and orbital forcing on WAIS stability on the orbital scale.

S15-P-01S

基于 ICESat-2 激光测高数据的北方森林冠层高度反演

刘奥博[1]，程晓[2,3]*，陈卓奇[2,3]

1 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院，北京 100875

2 中山大学测绘科学与技术学院，珠海 519082

3 南方海洋科学与工程广东省实验室，珠海 519082

* lab2016bnu@foxmail.com, chengxiao9@mail.sysu.edu.cn

森林作为陆地生态系统的重要组成部分，是全球碳循环中最大的陆地碳库之一，在全球气候变化中发挥了决定性作用。对陆地森林生物量进行准确的估计对于理解森林在全球碳循环中的作用至关重要，但目前对全球森林碳储量的绝对规模和通量的估计仍具有高度的不确定性。通过天基/星载激光测高仪对植被结构及森林生物量进行测绘，其规模和精度是机载激光雷达调查或野外清查活动所不能达到的。北纬 52 ℃以北的北方森林涵盖约 1250 万平方公里的陆地植被，相当于全球森林面积的~27%，这些地区正经历着地球上最高的变暖速度。美国宇航局在 2018 年 9 月发射了 ICESat-2（Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite-2，冰云和陆地高程卫星）任务，为建立全球地形表面的大地高程分布和相对树冠高度提供了前所未有的机会，将在很大程度上满足对全球，尤其是北极地区的森林参数反演的需求，提供改善我们对全球碳储量理解所需的关键观测。

本研究中，我们首先对 ICESat-2 和 GEDI 任务所发布的最新版本的地形和森林冠层参数产品的精度进行了评估。针对现有研究的不足以及生态遥感社区所关注的重点，我们采用与参考数据集同年（2019 年）获取的高分辨率、本地校准的机载激光雷达产品来验证 GEDI L2A 产品和 ICESat-2 ATL08 产品。此外，我们的研究区域包含了位于美国本土、阿拉斯加和夏威夷的 40 个站点，涵盖了各种生态气候区和植被类型；因此，它避免了与小规模样本和有限空间覆盖有关的不确定性。结果显示，ICESat-2 和 GEDI 产生了合理的地形和森林高度估计，特别是在低地势和相对较短的开放树冠地区。尽管 ICESat-2 的主要科学任务不包括植被结构和生物量，但其对地形表面和植被冠层高度的量化能力十分优秀，这为北方森林冠层参数的反演提供了良好的数据基础。本研究基于 ICESat-2 的足迹级样本点，结合

Sentinel-1/2 遥感数据以及高精度地形和气象产品，采用随机森林模型和深度学习模型，对阿拉斯加地区北方森林的冠层高度参数进行了定量反演，采用高精度小足迹的机载激光雷达产品作为参照数据的精度评估结果表明，生成的 10 米分辨率森林冠层高度产品的 RMSE 值优于 4 米，该产品的空间分辨率和精度优于已有的同类研究，可帮助改善我们对北方森林碳储量的理解。

S15-P-02

极地冰层取芯钻头结构形态研究进展

吕欣雨，王如生*

1 吉林大学极地科学与工程研究院，长春 130021

* wangrs@jlu.edu.cn

在多种极地冰层取芯钻进方式中，铠装电缆电动机械钻是国际上目前应用最广泛的钻进方式之一。钻具在取芯钻进过程中主要由冰层的切削、孔底冰屑的清除、冰屑和冰芯的收集这三个相互关联的步骤组成。钻头上的切削具作为冰层取芯钻具的执行机构，其结构布局是冰芯钻探能否成功的关键因素，不仅对冰层钻进的效率、切削力矩和功耗有很大的影响，而且严重影响着冰层取芯钻进过程中的取芯质量、冰屑形状及粒度。本报告全面总结国内外钻头切削具结构布局的研究现状，并针对极地冰层快速钻探取芯的迫切需求，提出在不同工况条件下（冰层、钻进速度、钻压、转速等）钻头结构形态设计方案及未来研究方向。

Research Progress on Structure and Morphology of Polar Ice-Coring Drill Bit

Xinyu Lv, Rusheng Wang*

1 Institute of Polar Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130021

* wangrs@jlu.edu.cn

Armored cable electromechanical drill has been widely used in a variety of polar ice core drill. The working process of ice core drilling is composed with three interrelated steps: cutting the ice, cleaning ice chips, obtaining ice core. As the executive structure of ice core mechanical drilling tool, the cutters on the drill head are the key factor for the success of ice core drilling. The structural and layout of the cutters not only has a great impact on the efficiency, cutting torque and power consumption of ice coring drilling, but also seriously affects the ice core quality, ice chip shape and particle size. This report systematically and comprehensively analyzes the research status of cutters on the ice drill head at home and abroad. In order to meet the urgent demand for rapid ice coring drill, the design scheme and future research plan of drill bit structural and layout under different working conditions (ice layer, rate of penetration, the load on the bit, rotating speed, etc.) are put forward.

S15-P-03

极区中间层夜光云中冰晶粒径对太阳活动的响应

张亮[1]*，刘忠方[1]，Brian Tinsley[2]，周立旻[3]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Physics Department, University of Texas as Dallas，Richardson, TX, USA 75080

3 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室，上海 200092

* zl3023@163.com

AIM 卫星 2007 年发射升空以来，提供了大量高质量的覆盖极区中间层夜光云数据。以往的研究表明，夜光云和太阳活动在

不同时间尺度上存在相关性，但具体机制尚未明确。本文利用 AIM 卫星上的 CIPS 探测器通过光学方法观测到的夜光云数据，分析了 2007 年至 2016 年期间太阳风磁场 By 分量的方向发生反转时夜光云中冰晶粒径的响应。太阳风磁场 By 分量由正转负时，太阳风电场 Ez 由正转负，北极电离层相对于地面的电势增加，南极电离层电势下降；相应地，当太阳风磁场 By 分量由负转正时，北极电离层电势下降，南极电离层电势增强。电离层电势的变化可以通过全球大气电流影响云边界层内冰晶粒子所带电荷，进而通过电场力影响云内的微物理过程。我们发现，在 57 个太阳风磁场 By 分量由正转负的事例中，北半球夜光云冰晶粒径增加，南半球夜光云粒径减小；在 52 个太阳风磁场 By 分量由负转正的事例中，北半球夜光云冰晶粒径减小，南半球夜光云粒径增加，该观测结果说明南北半球夜光云冰晶粒径谱分布的变化与南北极区电离层电势的变化相一致。本文利用卫星数据直接研究了太阳事件中夜光云内的微物理过程，将有助于确定太阳活动影响夜光云的机制。

S15-P-04

Climate control on travertine deposition in southern Tibet during the late Quaternary

Zhijun Wang[1]*, Jian-Jun Yin[1], Hai Cheng[1,2,3], Michael C. Meyer[4], Youfeng Ning[2]

1 Key Laboratory of Karst Dynamics, Ministry of Natural Resources & Guangxi, Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China

2 Institute of Global Environmental Change, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, China

3 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

4 Institute of Geology, University of Innsbruck, Innsbruck 6020, Austria

* zhijun_wang@foxmail.com

Large volume of travertine deposits are preserved at many hydrothermal spring sites on the Tibetan Plateau. Yet, most of these deposits are under-researched in regard to their genesis and geochronology and there is still very limited understanding of the tectonic and climatic influences on the precipitation of them. In this study, a further uranium-series dating cam-paign and detailed geomorphological mapping were carried out for the Qiusang travertine, south-ern Tibet that has been previously dated back to 486 thousand years before present (ka BP), in order to provide a long record of travertine deposition during the late Quaternary. Five travertine zones were subdivided at Qiusang and individual zones have varied ^{230}Th/U ages: 13.7-6.8 ka BP (Zone 1), 128-122 ka BP (Zone 2), ~193 ka BP (Zone 3) and periods within 324-294 ka BP (Zone 4) and ~486-357 ka BP (Zone 5), indicating an episodic growth of travertine deposits. By comparing these ages with local and regional paleoclimate records, we see that the large-scale accumulation of travertine occurred mainly during interglacial periods and coincides well with phases of the wettest climate and peak monsoon. This, together with sensitive response of hydrothermal activity to meteoric recharge, suggests a great impact was exerted by the climate (especially monsoonal precipitation) on precipitation of travertines, being superimposed on the longer-term and persistent tectonic influences. A model of climate control on the episodic growth of travertine in southern Tibet was proposed, based on which the travertine deposition has been recognized as a valuable proxy of climatic (monsoonal) change in such a currently cold, arid to semi-arid land-scape at least on orbital timescales.

S15-P-05S

东南极伊丽莎白公主地冰芯记录的近期积累率变化特征

王丹赫[1,2]，史贵涛[1,2]*，马红梅[2]，吴广美[1]，李喆[1]，李一兰[1]，赵茜[1]，李燕芬[1]，杨梦雯[1]

1 华东师范大学地理科学学院，地理信息科学教育部重点实验室，上海 201100

2 中国极地研究中心，上海 200129

* gtshi@geo.ecnu.edu.cn

2020 年中国第 36 次南极科学考察期间在伊丽莎白公主地内陆 520km 和 225km 处钻取了 TZ01 和 TZ02 两支浅冰芯。对两支冰芯分别进行离子成分分析，获得了 SO_4^{2-}、NO_3^-、Cl^-、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}、NH_4^+和 Na^+的离子记录。利用火山定年标志层法进行 TZ01 冰芯定年。TZ01 自表层到底部的密度变化为 470-622 kg m^{-3}，其底部年龄可能在 1891-1902 年之间。TZ01 记录了 2 个火山信号层，分别是 1991 年 Pinatubo 火山和 1963 年 Agung 火山。TZ01 记录了 1992-2020 年区间平均积累率为 56.5 kg m^{-2} yr^{-1}，1964-1992 年区间平均积累率为 40.6 kg m^{-2} yr^{-1}。利用 Na^+和 $nssSO_4^{2-}$季节性变化特征进行 TZ02 冰芯定年。TZ02 自表层到底部的密度变化为 465-615 kg m^{-3}，其底部年龄在 1992 年。TZ02 连续记录了 1992-2020 年区间平均积累率为 193.6 kg m^{-2} yr^{-1}。TZ01 和 TZ02 积累率和积累过程存在巨大差异反应了伊丽莎白公主地内陆 520 km 和 225 km 处两个地区局部地形和气候条件的差异。

S15-P-06S

南极冰盖粒雪密实化过程的模拟与评估

王晓峰[1,2]，谢欢[1,2]，田一翔[1,2]，陈嘉晋[1,2]，唐鸿[1,2]，郝彤[1,2]，乔刚[1,2]，窦银科[3]，李荣兴[1,2]*

1 同济大学空间信息科学及可持续发展应用中心，上海 200092

2 同济大学测绘与地理信息学学院，上海 200092

3 太原理工大学极地工程与装备研究院，太原 030024

* rli@tongji.edu.cn

南极冰盖粒雪密实化改正对卫星测高法精密估算南极冰盖物质平衡有重要意义。基于 Li-2015（Li Jun et al., 2015）粒雪密实化模型以 30 km×30 km 格网对整个南极冰盖进行了 1980-2008 年的粒雪密实化过程模拟，并对利用 2003-2008 年激光测高卫星 ICESat（Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite）数据获得的冰盖高程变化进行密实化改正，以获得更准确的质量变化。经与实测资料对比表明：该模型能够准确地重现部分观测站点的粒雪层深度-密度剖线变化和深度-温度剖线变化。此外，新一代激光测高卫星 ICESat-2（Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite-2）的测高数据进一步提高了南极表面高程观测精度，也需要更为精确的粒雪密实化模型，用于相应精度校正南极冰盖体积变化转换为质量变化的过程。研究拟利用第 35 次内陆科考观测得到的 16 个站点的深度-温度剖线对粒雪密实化模型深度-温度模拟过程进行验证，并优化粒雪密实化模型改正结果。计划通过筛选更准确的气候模型数据（ERA-5，MERRA2 等）作为模型输入，控制粒雪密实化模型边界条件和优化模型参数的方式（温度），进一步优化该区域粒雪密实化模型深度-温度模拟能力。提高粒雪密实化模型改正的精度，进而降低南极物质平衡估算的不确定性。

S15-P-07S

1960-1980s 东南极冰流速产品的质量检核

葛绍仓[1,2]，李国君[1,2]，蔚泽然[1,2]，常甜[1,2]，李震[1,2]，王翊宇[1,2]，骆舒蕾[1,2]，乔刚[1,2]，李荣兴[1,2]*

1 同济大学空间信息科学及可持续发展应用中心，上海 200092
2 同济大学测绘与地理信息学学院，上海 200092
* rli@tongji.edu.cn

南极冰盖具有地球上最大的冰储量，其冰盖物质平衡与全球海平面变化密切相关，随着全球气候变暖加剧，南极冰盖流速已成为物质平衡研究的热点。冰流速是极地物质平衡研究的重要参数之一，在定量估计与准确预测全球气候变化对海平面影响中起着重要作用。目前国际上已积累了不同时期的南极区域流速产品，但缺少早期较完整、系统的冰流速研究成果，此时期冰流数据产品对理解南极冰盖早期特性具有重要意义。基于对 1960-1980s 历史影像的现代化摄影测量处理，我们获取了南极区域冰盖流速，填补了早期冰流速产品的空白。

该早期冰流速产品是相应科学发现和应用的数据支撑，实现冰流速产品的质量检核对保证后续物质平衡的计算等工作有至关重要的作用。本文在应用现有 1960s-1980s 早期光学图像提取冰流速成果的基础上，对相应冰流速产品进行可靠性验证分析与校正，以保证最终输出结果的准确性。为解决历史数据控制信息的问题，本文收集了多种实测数据，根据冰川物理特性进行冰流速产品的质量检核。质量检核的主要内容包括：东南极 Basin2-17 的裸岩区域流速检核、5 个主要流域的冰流速实测数据检核、30 余条主要冰川沿冰流线速度检核，以及 Basin2-17 沿 FG2 接地线的速度检核。通过上述内容的检核，确保了最终输出冰流速产品的质量，为后续计算早期东南极物质平衡和其它研究工作提供了可靠的数据支持。

S15-P-08S

波弗特海夏季海冰冰情异常与先冬海冰输出的关联

张永莉[1]，魏皓[1]，鹿有余[2]，罗晓凡[1]*，胡宪敏[2]，赵伟[1]

1 天津大学海洋科学与技术学院，天津（中国） 300072
2 加拿大海洋与渔业部贝德福德海洋研究所，新斯科舍省（加拿大） B2Y 4A2
* xiaofan.luo@tju.edu.cn

1979-2017 年卫星观测海冰密集度数据表明，波弗特海夏季分别于 1998、2008、2012、2016 年发生海冰异常偏少事件。以往的研究表明，4 次极端事件均受到先前季节过程的影响，特别是 1998 年先冬季节异常强的东南风使海冰变薄。本研究通过分析海洋-海冰耦合模式的 1995-2015 年后报结果，进一步研究了 1998 年夏季极端事件。与多年平均（1995-2015 年）相比，1998 年融化季节（5-9 月）海冰体积净损失并不显著。先秋季节（1997 年 10-12 月），冰情和海冰变化过程与多年平均相比既不存在显著差异，也不具有特殊性。先冬季节（1998 年 1-4 月），波弗特海东南部海冰比多年平均薄 1.5 米，由冻结造成的冰厚增加几乎被侧向平流造成的冰厚减少所抵消，而侧向平流造成的海冰大量输出是海冰向西大量输出和自高纬向南进入研究区域的海冰较少共同导致的。已有研究表明，2016 年夏季的极端事件也是由先冬季节的动力过程造成的。基于模型结果分析表明，2008 年夏季的极端事件是由 2007 年夏末海冰留存量较少和先秋海冰输出共同造成的，而 2012 年夏季的极端事件则是由当年夏季海冰大量融化导致的。

S15-P-09S

亚北极鄂霍次克海晚第四纪冰海沉积作用与水团变化历史

叶圣彬，王汝建*，肖文申，孙烨忱，武力

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
* rjwang@tongji.edu.cn

亚北极鄂霍次克海是全球重要的碳汇之一，也是北太平洋中层水的主要源区，研究晚第四纪鄂霍次克海古环境变化及其影响因素对于理解亚极地海洋对气候变化的响应有重要意义。本文对鄂霍次克海南部科学院海隆 ARC2-T00 岩芯进行了粗组分、坠石、有孔虫丰度和 $CaCO_3$ 含量的统计与分析、底栖有孔虫 *Uvigerina* spp.氧碳同位素测试等，并基于其底栖有孔虫 *Uvigerina* spp.-$\delta^{18}O$ 和深海氧同位素曲线 LR04-$\delta^{18}O$ 与相邻站位 OS03-1 *Uvigerina* spp.-$\delta^{18}O$ 的对比，建立了该岩芯的地层年代框架。该研究表明，在 MIS 6—MIS 2 的大部分时期，鄂霍次克海南部主要沉积动力为西风、洋流及海冰；风尘堆积速率的变化指示西风带在冰期增强，间冰期减弱；海冰沉积堆积速率的变化表明，在冰期或冰段，海冰沉积受当时季节性海冰沉积中心带所处的位置的影响较大；海冰和水团指标变化显示，鄂霍次克海南部此时为季节性海冰覆盖，鄂霍次克海中层水上部生成增强，鄂霍次克海中层水下部的盐度变化可能与宗谷暖流前伸体的输入、海冰形成析出的卤水下沉和太平洋深层水（Pacific Deep Water，PDW）的侵入有关。

S15-P-10S

西北冰洋加拿大海盆 MIS 8 期以来的物源变化及其指示的北极冰盖和洋流的演化

涂艳*，肖文申*，王汝建，徐仁辉

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* wxiao@tongji.edu.com

基于对中国第七次北极考察在西北冰洋获得的 ARC7-LIC 岩芯（加拿大海盆近阿尔法脊一侧）自 MIS 8 期以来的黏土矿物和全样 Sr-Nd-Pb 同位素的分析，判断北冰洋中心沉积物源的变化以及其所反映的冰盖和表层洋流的演化。结果显示：在 MIS 8、5.4、5.1、3 期中期冰筏事件以及末次冰消期，北美劳伦冰盖生长规模较大，研究区域的沉积被北美物源主导；相对地，MIS 6、4 期的沉积被西伯利亚物源-穿极流模式主导，反映了欧亚大陆冰盖的大规模发育。同时，研究区域在 MIS 7、5 期的间冰期/间冰阶的沉积也与 MIS 3、1 期的沉积有所区别。MIS 7、5 期的间冰期/间冰阶表现为西伯利亚物源以及穿极流控制下的沉积，而 MIS 3 期和全新世则表现为北美物源以及波弗特环流作用下的沉积特征，这一差异说明中-晚第四纪间冰阶段北冰洋表层洋流的位置在晚更新世前后发生了变迁。

S15-P-11S

南极罗斯海扇区晚更新世以来冰筏碎屑记录反映的冰川动力学史

李永斌*，王汝建，武力，肖文申

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 1831718@tongji.edu.cn

中更新世气候转型以来，南极冰盖对全球气候的影响作用逐渐放大。西南极冰盖以海洋冰盖为主，稳定性差，冰架前缘沉积模式复杂，对于冰期-间冰期气候旋回响应敏感。因此，本文通过对中国第 31 次南极考察在罗斯海扇区北维多利亚地岸外钻取长度达 412 cm 的 ANT31-R22 岩芯（173.152 °E，67.215 °S；水深 2906 m）的浮游有孔虫 Nps-$\delta^{18}O$、冰筏碎屑含量及其岩矿组成分析等研究，重建了罗斯海扇区 22.8~534.0 ka B.P. 之间的冰筏碎屑沉积物源和周边冰架的演化历史。R22 岩芯岩矿组合变化显示：MIS 13 期晚期至 MIS 7 期，横贯山脉-维多利亚地 Ferrar 组基性火成岩是罗斯海扇区的主要物源；MIS 7 期之后横贯山脉-维多利亚地物源输入明显下降，花岗岩和变质岩的输入有所增加，推测马利伯德地花岗岩-变质岩物源区输入增加；西南极冰盖对于罗斯海扇区的影响逐渐增强。同时，综合对比多个太平洋

扇区岩芯/站位的冰筏碎屑指标对比显示：自晚更新世以来，罗斯海扇区至阿蒙森海扇区的深海冰筏碎屑沉积集中出现在冰盛期-冰消期阶段，是气温回升过程中西南极高纬地区冰架消融的重要指标，而中高纬地区的冰筏碎屑沉积更可能是冰盛期标志。

S15-P-12S

东南极宇航员海基于硅藻组合重建的末次冰盛期到晚全新世的环境变化

李青苗[1]，肖文申[1]*，王汝建[1]，陈志华[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

* wxiao@tongji.edu.cn

本文对中国第 36 次南极考察在宇航员海地区所采集的两个多管样 C3-09 及 C4-05 进行了硅藻组合的统计与分析。将所得数据与其他南大洋末次冰期（LGM）以来的记录进行对比，揭示了东南极从 LGM 到全新世冰川融化过程中近冰端环境的气候响应。

数据显示，LGM 时期以低生产力和广泛覆盖的海冰所导致的硅质壳体保存不良为特点。此外存在大量再沉积的类群表明冰盖的扩张。18 ka 开始开阔大洋种（如 *F. kerguelensis*）丰度的增加和冷水种的减少表明冰消期宇航员海地区表层海洋环境的暖化同时“两极跷跷板”现象促进了这种升温。在此期间，宇航员海环境主要受到西南极冰盖（WAIS）融化的影响，而东南极冰盖（EAIS）则保持在相对稳定状态。全新世以来开阔大洋种的相对含量达到最大并伴随着海冰种的丰度急剧下降，标志着在全新世早期（AHO）宇航员海逐渐变为开阔大洋环境。海冰覆盖范围的减少及 CDW 的向南侵入，使宇航员海地区的东南极冰盖在早全新世迅速崩塌。随后 *F. curta gr.*和 *Porosira glacialis* 在全新世中晚期的增加则表明 7 ka 之后宇航员海地区存在着明显的降温趋势。对比西南极已知的研究认为宇航员海中晚全新世的变冷是由于威德尔环流影响下，冰架下洞穴中冷水的向北输送。

S15-P-13

Comparison of ground surface freezing-thawing condi-tions in discontinuous permafrost regions between Alaska and the Qinghai-Tibet Plateau

Tonghua Wu[1]*, Bob Bolton[2], Bob Busey[2], Xiaodong Wu[1]

1 State Key Laboratory of Cryospheric Science, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2 International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks AK99775-7340, USA

* thuawu@lzb.ac.cn

The land surface and subsurface processes and their complex interactions are of great importance to improve the performance of Earth System Models in cold regions including the high-altitude and high-latitude regions. The in-situ observations for those processes are especially important for cold regions ecosystems where topography, permafrost, hydrology, vegetation, and biogeochemistry are inextricably linked. The implications of such linkages include permafrost thaw and deepening of the active layer, changing productivity, and watershed-scale changes in ground surface. In order to compare the difference of ground thermal regimes between the third pole regions and the Arctic regions, in September of 2018, an integrated automatic weather station was set up through collaboration of SKLCS and IARC at Teller site of Nome, Alaska. At the same time, the

active layer monitoring site to measure soil temperatures at five levels has been deployed. Until the September of 2019, the air temperature, the ground surface temperature, and soil temperature data have been collected for a whole freezing-thawing period. In this study, the ground surface freezing-thawing condition has been analyzed to identify the different impact factors of meteorological and local parameters between both sites. The result will enhance our understanding the energy and water exchange mechanism between atmosphere and ground surface in the discontinuous permafrost regions.

S15-P-14S

全球气候变化驱动喜马拉雅地区冰川流域河型演变

林志鹏*，韩中鹏，王成善

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* linzhipeng@cugb.edu.cn

河型演变持续改变行星地表地貌，调节生物地球化学循环、固体物质源-汇过程和气候变化状态，促进地球景观演变使其更加宜居，对于破译早期地球和火星等地表地貌以及未来环境演化至关重要。随着对河型演变与气候变化研究的不断深入，尽管认识到全球气候变化是引起河型演变的主要驱动力之一，但对于气候变化如何具体影响河型以及河型演变如何提供气候变化信号等关键科学问题，目前的研究程度仍较低，也缺乏系统性定量研究。

在目前全球气候变暖加剧，且喜马拉雅地区的气候变化速率比全球更快的背景下，特别是对于喜马拉雅地区的冰川供给流域，因其河流沉积地貌形态演变对冰川消融和径流变化的快速响应，对评估气候变化的影响至关重要。发源于喜马拉雅地区一江两河流域（雅鲁藏布江、印度河与恒河）上游地区发育高山冰川供给河流，地处亚洲水塔腹地，免受人类活动的影响，响应全球气候变化十分敏感，是研究河型演变与全球气候变化关系的理想之选。为此，通过综合野外无人机航拍、水文测验、遥感影像解析、数字图像与地形处理、冰川质量平衡和气候因子变化指标数据分析等技术和方法，定量揭示了近 40 年来喜马拉雅地区一江两河上游的冰川供给河型演变与全球气候变化之间的关系。结果显示，以 21 世纪初为转折点，喜马拉雅地区冰川供给河流的曲流迁移率、曲流截流率、河型改道率、河型转换率和河型活化率等河型样式与构型变化指标均与全球温度、降雨和冰川变化具有良好的相关性和一致性变化，后 20 年的河型活化速率明显加快，同时响应于气候变暖形势的加剧。研究揭示了全球气候变化驱动了喜马拉雅地区的冰川供给河流的河型演变，这种变化是高海拔地区河型样式和构型调整与演变应对气候变化的敏感信号与体现，有助于进一步评估全球变暖背景下高海拔地区的河流沉积地貌演变和生态环境变化。

S15-P-15S

深海氧同位素 13 期以来北冰洋西部中心海区冰筏输入历史

石端平 [1]，肖文申 [1]*，王汝建 [1]，章陶亮 [2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 上海交通大学海洋学院，上海 200240

* wxiao@tongji.edu.cn

更新世以来，北极冰盖的发育对北冰洋环流和沉积环境产生了重大影响，进而深刻影响了全球气候演变。本文通过定量分析西北冰洋位于阿尔法脊的 ARC4-BN10 岩芯（240 cm，MIS 9-1）和马卡洛夫海盆的 ARC5-ICE6 岩芯（426 cm，MIS 13-1）中冰筏碎屑的含量及其岩矿组成，揭示 MIS 13 以来北极冰盖及西北冰洋表层洋流的演化

历史。研究区域在现代条件下同时受到波弗特环流和穿极流的影响。冰筏碎屑的岩矿组成表明北美大陆和欧亚大陆的冰盖发育不平衡。在研究时期内，北美劳伦冰盖在冰期一直较发育，通过波弗特环流向加拿大海盆排泄北美沉积物。而在 MIS 6 和 4，欧亚冰盖最为发育，此时穿极流影响范围扩大，将西伯利亚沉积物带入加拿大海盆。MIS 7 期以来 IRD 含量显著增加的现象与北冰洋整体变冷、季节性海冰向永久海冰转化的过程一致。在 MIS 5 两根岩芯均记录到两次劳伦冰盖排泄事件，表明波弗特环流的影响范围扩大到马卡洛夫海盆，且 MIS 5a~5e 的岩矿组成差异显示了冰阶-间冰阶搬运冰盖发育和洋流模式的差别。而在 MIS 3 劳伦冰盖的排泄事件并未显著影响到马卡洛夫海盆。

S15-P-16S

南极罗斯海 JOIDES 海槽末次冰期以来底栖有孔虫组合及其对冰架扩张与消融的响应

樊加恩[1]，王汝建[1]*，丁旋[2]，武力[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083

* rjwang@tongji.edu.cn

罗斯冰架的进退对全球气候和世界大洋变化具有重要影响。本研究分析了在南极罗斯海陆架西北部 JOIDES 海槽钻取的 ANT31-JB06 岩芯沉积物中的底栖有孔虫化石组合，结合该钻孔已有研究，重建末次冰期以来罗斯冰架在该地区的扩张与消融历史。Q 型因子分析表明，研究区底栖有孔虫可划分为四个组合：*Miliammina arenacea* 组合指示生产力高，可能受高盐陆架水影响的环境；*Globocassidulina* spp.组合指示强烈冰川影响、低生产力的冷水环境；*Trifarina earlandi* 组合指示强水动力环境；*Lagena* spp. 组合的变化表明沉积环境快速变化，但其具体环境意义有待进一步研究。末次冰期（36.6~17.2 ka）时罗斯冰架呈波动增长并逐渐向外陆架扩张，21.8~17.2 ka 时增长至最大位置，冰架接地线到达 JOIDES 海槽 ANT31-JB06 岩芯位置附近。罗斯冰架在 17.2 ka 左右逐渐开始融化。17.2~14 ka 罗斯冰架发生大面积融化，随后冰架消融减缓（14~11.7 ka）。全新世早期（11.7~9.7 ka）罗斯冰架在 JOIDES 海槽崩塌并逐渐后退离开，9.7~1 ka 该岩芯位置处附近逐渐转变为开阔海洋环境，1 ka 以来该处沉积环境出现快速变化。

S15-P-17S

四千万年以来南极冰盖变化对气候的影响

满凯*，刘永岗

1 北京大学大气与海洋科学系，北京 100871

* mankai@pku.edu.cn

南极冰盖变化与气候变化紧密相连，对南极冰盖与气候的相互作用关系的研究非常重要。始新世到渐新世交界时期全球气候从相对温暖的气候状态（greenhouse）转变为更冷的气候状态（icehouse），很多研究认为南极冰盖就形成于这段时间——距今 3400 万年。本研究想要探究南极冰盖在 4000 万年以来的形成和演化，由此我们使用模式模拟的方式考察当时气候条件下的冰盖可以达到的体积、覆盖区域和厚度。采用的模式是 Ice Sheet System Model（ISSM）。

在冰盖模拟中，我们使用了 Scotese 的地形重建资料作为地形边界条件，使用了 cesm 模拟无冰盖时的四个时间片上的气候数据作为冰盖模式的气候场输入，分别做了 1000 万年前、2000 万年前、3000 万年前和 4000 万年前四个时间片上的冰盖模拟。实验中采用气候场积雪覆盖和海洋中氧同位素变化的地质资料揭示的海平面变化限制冰盖模拟中的参数设定。

S15-P-18S

南大洋表层沉积物中浮游有孔虫 *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral)壳体重量的影响因素及意义

宋茜薇[1]，秦秉斌[1]，唐正[1]，刘焱光[1]，陈志华[1,2]，李铁钢[1,2]*，熊志方[1,2]*

1 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061；

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266237

* tgli@fio.org.cn, zhfxiong@fio.org.cn

工业革命以来，人类活动导致大气二氧化碳分压（pCO_2）升高了约 40%，造成全球变暖以及海洋酸化。海洋酸化一度被认为会抑制浮游有孔虫、颗石藻以及珊瑚等海洋钙质生物的钙化，然而越来越多的研究表明不同海洋钙质生物对海洋酸化的响应方式并不一致。浮游有孔虫 *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral)作为南大洋绝对优势种，是极地高纬度地区碳酸钙生产的重要组成，然而关于该种钙化过程受控因素以及对未来气候变化的可能响应方式却知之甚少。本研究基于优化的超声清洗方法，测试了南大洋阿蒙森海、罗斯海和普里兹湾海区表层沉积物中 *N. pachyderma* (sin.)粒径标准化壳体重量（SNW），发现沉积物中 *N. pachyderma* (sin.) SNW 并未受到深海溶解作用的影响，于是通过 SNW 来反映现代过程中该浮游有孔虫种的钙化程度。对比 *N. pachyderma* (sin.) SNW 与其所在钙化深度的温度、盐度、碳酸盐系统以及营养盐浓度等参数，发现 200-250 μm、250-300 μm 以及 300-355 μm 粒径范围内 *N. pachyderma* (sin.) SNW 均与海水温度高度正相关，而与碳酸盐系统并无关联。这一结果表明现代南大洋 *N. pachyderma* (sin.)的钙化率主要受温度控制，而不是海洋酸化引起的海水碳酸盐系统变化。在全球变暖的气候背景下，南大洋浮游有孔虫钙化率升高将会引起上层海水碱度降低，减弱上层海洋吸收大气 CO_2 的能力；同时，海洋碳酸钙生产的增加以及低碱度海水的垂向交换还会导致深海碱度降低，进一步减弱海洋的碳汇能力。

S15-P-19S

中-晚更新世南极阿蒙森海生产力变化对西南极冰盖演化历史的指示

张静渊，王含章，杨如意，樊加恩，王汝建，肖文申*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* wxiao@tongji.edu.cn

全球变暖条件下，西南极冰盖是地球升温最快的区域之一，其融化对海平面的升高贡献显著。阿蒙森海是西南极冰盖消融的核心区域。因此，对阿蒙森海区域过去海洋环境和冰盖演化的研究能够为预测未来气候变化提供必要的理论依据。本项研究对中国第 34 次南极考察采集自阿蒙德森海的 ANT34-A5-7 沉积物柱状样进行了生产力指标和冰筏碎屑含量的分析，旨在重建研究区深海氧同位素（MIS）6 期以来表层海洋环境的变化，进而探讨阿蒙森海西南极冰盖演化历史。结果显示，MIS 6 以来岩芯中生物硅、有机碳、氮等生源指标含量较低，整体呈现间冰期（MIS 1，3，5）较冰期（MIS 2，4，6）高的特点。C/N 比值显示有机碳主要来自海源。有孔虫仅在 MIS 3 早期和 MIS 5.5 出现，对应大量冰筏碎屑的输入，和浮游有孔虫轻值，指示这两个时期相对温暖的环境和西南极冰盖融化的现象。尤其是在 MIS 5.5，生物硅含量和有孔虫丰度呈现峰值，明显高于全新世，同时对应最高含量的冰筏碎屑，指示该阶段西南极冰盖的大量的崩塌，周边海洋环境比当前更暖的状态，对当时海平面的上升有重要贡献。

S15-P-20

西北冰洋阿尔法脊晚第四纪古水团及海冰变迁：来自介形虫化石群的证据

王雨楠[1]*，王汝建[2]，周保春[1]

1 上海自然博物馆（上海科技馆分馆），上海 200041

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* wangyn@sstm.org.cn

基于对西北冰洋阿尔法脊 ARC3-B84A 岩心（84°26.54’N、143°34.83’W，水深 2280 m，孔深 195 cm）中介形虫化石群的研究，复原了 MIS 13 期以来该海域的古水团及海冰变迁史。该岩心中介形虫化石群主要由多枝介（*Polycope* spp.）和翼花介（*Cytheropteron* spp.）构成，另有北极臼形介（*Acetabulastoma arcticum*）、中纹微花介（*Microcythere medistriatum*）、有尾假花介（*Pseudocyhere caudata*）、新鹿角足花介（*Pedicythere neofluitans*）等几个种分布于不同层位。

以上各属种中，*Polycope* spp.在该岩心中个体数量最多，但其百分比丰度在不同时期呈现显著差异：MIS 13～MIS 10 期，平均丰度为 23.6%，指示大西洋水（AW）环境；MIS 9 期～MIS 5 期早期，平均丰度 64.6%，指示北冰洋中层水（AIW）环境；MIS 5 期中期～MIS 1 期，平均丰度为 30.5%，指示北冰洋深层水（AODW）环境。MIS 13 期以来，由于没有阿尔法脊显著构造变化的证据，因此合理的解释是 AW 的厚度逐渐变薄，其下方被水温和盐度较低的 AIW 和 AODW 所取代。

北冰洋常年冰的指示者 *Acetabulastoma arcticum* 只在 MIS 7 晚期～MIS 1 期出现，而在 MIS 13～MIS 7 中期缺失，暗示常年冰在该海域出现于 MIS 7 晚期之后。该种的丰度在 MIS 7 晚期～MIS 5 中期较高（平均 10.1%），而在 MIS 5 晚期～MIS 1 期较低（平均 2.4%），显示常年冰发育在 MIS 5 晚期之后变弱了。

以上结论尚需用地球化学、沉积学证据来验证。

S15-P-21S

罗斯海表层沉积物中生源组分的分布规律及其环境指示意义

周郑鹏，肖文申*，王汝建，樊加恩

1 同济大学海洋与地球科学学院，同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* wxiao@tongji.edu.cn

罗斯海陆架地区是整个南极边缘海初始生产力最高的区域，是研究冰-海-气相互作用和碳循环的热点区域。本文分析了中国第 31-35 次南极科考在罗斯海陆架区域采取的 43 个表层沉积物中的生源组分生物硅、碳酸钙、总有机质碳（Total Organic Carbon，TOC）、总氮（Total Nitrogen，TN）含量，和有机碳 $\delta^{13}C$（$\delta^{13}C_{org}$）等指标。本文通过对这些指标进行聚类分析和因子分析，并与环境参数进行对比，研究了 Ross 海生源要素的空间分布规律及其对环境的指示意义。结果显示，在罗斯海陆架区域内，TOC，TN，生物硅含量均在西南陆架冰间湖地区及东南陆架附近显示高值，对应高的叶绿素浓度区域，推断与溶解铁浓度以及混合层深度有关。碳酸钙在浅的罗斯海地台,和维多利亚岛沿岸附近显示高值，代表罗斯海陆架两种碳酸钙沉积模式：1. 200 m 以浅的内陆架地台区域高流速阻碍了粘土矿物所携带的有机质的沉积，减弱了碳酸钙的溶解；2. 600 m 以深靠近坡折带区域，陆源碎屑输入控制碳酸钙沉积。表层沉积物中有机碳来源指标 C/N 和 $\delta^{13}C_{org}$ 受再矿化作用影响较大，C/N，$\delta^{13}C_{org}$ 的二维向量空间聚类分析显示：罗斯陆架划分为 6 个区域：中央陆架区域 $\delta^{13}C_{org}$ 最轻，可能反映了来自罗斯中央冰架的融冰水排泄和外陆架的 MCDW 输入。西南罗斯

陆架 Terra Nova Bay，McMurdo Sound 冰间湖地区 $\delta^{13}C_{org}$ 最重，推断与冰间湖的高生产力有关。西北陆架维多利亚岛沿岸的高 C/N 和较低的 $\delta^{13}C_{org}$ 可能是陆源输入所致。

S15-P-22S

太平洋水向欧亚盆地扩展的驱动机制

魏硕，聂红涛*，罗晓凡，魏皓，赵伟，郑字佳，张永莉

1 天津大学海洋科学与技术学院，天津 30072

* htnie@tju.edu.cn

太平洋水在北冰洋的扩展变化对北冰洋的物理及生态环境具有重要的影响。基于 1/4°（经纬度）水平分辨率的海洋-海冰模式（NAPA1/4）的模拟结果和现场观测数据，本文分析了 1997-2015 年太平洋水在北冰洋内扩展范围的年际变化特征，并揭示了太平洋水扩展范围变化的机制。结果表明：太平洋水扩展范围年际变化差异显著，以 2007 年为界可分为 1997-2007 和 2008-2015 两个阶段，1997-2007 年太平洋水扩展至马卡洛夫海盆靠近罗蒙诺索夫海脊一侧；2008-2015 年，太平洋水向西进入欧亚海盆，最远到达法兰式约瑟夫群岛北部。对比前后两个阶段的环流场、海表面高度、海表面气压、AO 指数，发现 2007 年之后波弗特高压范围增大，造成北冰洋太平洋扇区波弗特流涡大范围扩展，加拿大海盆西南部西北向环流增强，穿极流从东西伯利亚海向拉普捷夫海移动，携带太平洋水向欧亚深海盆扩展。太平洋水扩展与 AO 指数无明显对应关系。

S15-P-23S

加拿大盆地边界处密跃层下方涡旋的地震图像

杨顺，宋海斌*，张锟

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

* hbsong@tongji.edu.cn

越来越多的研究表明，涡旋在海洋中广泛存在。涡旋对全球海洋中的热量、能量和营养物质等的输送和再分配起着重要作用，从而能够影响全球气候和海洋生物的分布。北冰洋以存在大量中尺度涡而著称，中尺度涡能够占据 Beaufort 海 1/4 的海表面积。过去关于 Beaufort 海广泛研究的涡旋位于表层 200 m 深度内，最大深度局限于密度跃层；最近研究表明在 600-1800 m 深度也存在大量深涡。然而对于 200-600 m 深度即密跃层下方涡旋的研究很少。我们利用历史勘探地震数据对加拿大盆地西边界的海水层进行成像，发现了一个密跃层下方的中尺度涡。

这个涡旋位于加拿大盆地西边界、Chukchi 海东北部靠近 Northwind 海脊上。涡旋形状为一个几乎完美对称的碗形或者梯形，与以往研究中的的椭圆状或透镜状涡旋大不相同。涡旋深度范围约 200-620 m，位于密度跃层下方。左右边界的倾角都约为 5°，上下边界近水平且横向尺度分别约为 12 km、4.6 km。涡旋内部反射几乎空白，表明内部水团极其均一稳定。而涡旋上下边界及侧边界的反射强度极大，且边界非常狭窄，这表明涡旋内部水团性质与周围水团差异极大。反射强烈的形态下凹且完整的下边界表明这个涡旋是反气旋涡，能够将次表层的暖水向下输送，所以为暖涡。虽然涡旋尺度较小，但受纬度影响，涡旋水平尺度略大于局地第一斜压 Rossby 变形半径，表明其为中尺度涡而非亚中尺度涡。

涡旋南侧为非常浅的 Chukchi 海陆架，所以涡旋生成地不可能为南侧陆架区，即不太可能为太平洋流入水产生。涡旋南侧附近存在自东向西的 Chukchi 陆坡流，所以涡旋可能产生于陆坡射流的斜压不稳定。涡旋也可能来自西部的 Northwind 盆地，水流越过较浅 Northwind 海脊时被压缩，根据位涡守恒，会产生负的相对涡度，即产生反气旋涡。涡旋内部水团与周围水团差异大，也可能来自大西洋流入水，被 Beaufort 环流平流到这里，但是需要几年时间。该密跃层下方中尺

度涡的生成地与产生机制需要进一步地讨论分析。

S15-P-24

第四纪南大洋南极带生产力演变及其控制机理：基于 IODP374 航次 U1525A 孔的研究

郭景腾，李铁刚*，熊志方

1 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

* tgli@fio.org.cn

作为全球气候变化研究的核心内容，大气 CO_2 浓度（pCO_2）冰期旋回的驱动机制备受关注。Broecker 首先提出海洋生物泵作用增强是导致冰期大气 CO_2 降低的原因。随后越来越多的研究成果证实，生物泵是将大气 CO_2 存储到海洋内部的一个关键机制，因而海洋生产力也成为影响全球气候的一个重要参数。南大洋生物碳的输出量约占全球年输出量的 30%。该区域有机碳输出的效率和规模不仅控制局域海洋生物地球化学，而且对 30 ℃S 以北区域营养物质的供应也有影响，而这部分营养物质可以维持所到区域约四分之三的生产力。因此，查明地质历史时期南大洋生产力演变及其控制机理，对进一步解析南大洋生物泵对全球气候变化的影响非常重要。本研究拟以 IODP374 航次取得的南极罗斯海沉积物柱状岩芯 U1525A 为研究材料，利用沉积物生源钡（Ba_{bio}）、生物硅（Opal）以及总有机碳（TOC）等生源指标重建第四纪南大洋南极带生产力的演化历史。此外，为了能够更准确的解析生产力的演变机制，本研究还将利用沉积物可分选粉砂平均粒径（$\overline{SS}$）来重建深部流通状况。最后，将提取的第四纪南大洋南极带生产力的演变信息与南大洋现存的风尘记录、海冰记录以及重建的深部流通状况对比并综合分析，从而查明第四纪南大洋南极带生产力演变的控制机理，并试图揭示南大洋生产力对全球气候和碳循环变化的影响。

S15-P-25S

罗斯冰架春季冰间湖年际变化及其与大气环流异常的关联

王天骄，魏皓，肖劲根*

1 天津大学海洋科学与技术学院，天津 300110

* xiaoboot@tju.edu.cn

先前的研究已经详细地讨论了罗斯冰架春季冰间湖的形成机制，但是目前关于其年际变化的工作还非常欠缺。基于NSIDC的卫星观测资料和 ERA5 的气象再分析数据，我们探究了罗斯冰架春季冰间湖 RISP 的时空变化特征及其与大气环流异常的关联。首先计算了 RISP 面积序列，并通过对区域海冰密集度 EOF 分析来获取 RISP 内海冰分布的主要空间模态。其中 EOF 第一模态的解释方差为 41.6%，呈东高西低分布。此模态与冰架前西部西北风-东部西南风的风场相匹配，体现了 RISP 在纬向上位置变化；第二模态的解释方差为 22.8%，在冰架前缘具有一个高值区域，此模态与冰架前北风汇聚时的风场匹配，反映了 RISP 在经向上位置变化。EOF 第一模态基本解释了 RISP 面积的变化。我们进一步分析了 RISP 年际变化与气压场的关联，认为 ASL 强度和位置的变化会通过对风场的调控，影响春季 RISP 的分布。11 月 ASL 越强、中心位置越偏东，12 月 RISP 的面积越大、位置越偏东。这种滞后关系可能与 11 月的冰间湖初始场以及 12 月净热通量有关。

S16-O-01

马里亚纳南段俯冲弯曲板片的壳幔结构与 IODP 钻探

丘学林[1]*，陈传绪[3]，王元[3]，贺恩远[1]，于传海[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301
2 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000
3 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029
* xlqiu@scsio.ac.cn

马里亚纳南段具有全球最深的海沟，俯冲角度陡峭，板片弯曲强烈，是全球科技前沿的热点，对板块理论的俯冲带研究具有重要科学意义。2020 年底，以中国科学家为主体的研究团队，提交了 IODP 997-Pre 建议书，主题是“马里亚纳南段的深部钻探：全球最深海沟输入板块弯曲触发的构造、地球化学和生命活动”。本项研究拟采集新的主动源海底地震仪(OBS)、多道地震（MCS）、热流探针等地球物理数据，并结合已有的数据资料，通过数据处理和计算模拟，获取俯冲弯曲板片不同区段地壳和顶部地幔的 P 波结构和 S 波结构模型，仔细分析地壳低速体、莫霍面起伏、顶部地幔低速层、泊松比分布等深部结构特征，通过重磁热震等联合模拟，求取密度和温热结构特征，利用被动源 OBS 数据进行小震定位和远震接收函数计算，并利用多波束数据和载人深潜器（HOV）进行浅表层构造研究，进而推测地壳中的弯曲正断层发育程度和地幔橄榄岩蛇纹石化前缘的深度，探讨邻近俯冲洋脊和海底高原的构造影响，力图阐明板块俯冲前的地球物理状态，为输入板片含水量、壳内流体活动、深部生物圈等科学研究提供深部及区域背景的数据基础和科学依据，为 IODP 的“构造钻”、“生物钻”等不同钻探目标，或组合目标的井位选址，提供关键参考证据。

S16-O-02

“奋斗者”号载人潜水器挑战者深渊最大下潜深度分析与确认

陈传绪[1]*，包更生[1]，丘学林[2]，贺恩远[2]，王元[3]，王健[4]，陈俊[1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000
2 中国科学院南海海洋研究所，广州 510000
3 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100000
4 中国科学院沈阳自动化所，沈阳 110000
* chencx@idsse.ac.cn

全球海域最深点的精确测量，是水深测量皇冠上的一颗明珠，同时也是声呐测深、水下导航定位、载人无人潜器等海洋考察装备体系作业能力，特别是载人潜水器精准定点作业能力的一块试金石。2020 年 TS-19 航次中，中国全海深载人潜水器“奋斗者”号，在全球海域最深处挑战者深渊下潜，精确测定最大深度为 10909 米。

寻找全球海域最深点的方法包括声学测深和压力传感测深。声学测深是利用声信号在水中发射和接收时间差，结合水体的声速剖面，计算得到水深值。常用声学测深设备为船载多波束，能够实现大范围的覆盖，提升海底地形探测的效率。压力传感测深方式，是利用压力传感器测定压力值，然后进行压深转换计算得到水深值，这种方式可以搭乘载人/无人潜器搭载压力传感器进行单点或者测线测深。我们先后在挑战者深渊开展了 TS03、TS09、TS14、TS-19 等多个航次的地球物理探测及载人无人深潜测深，具体包括：1. 无人潜器，包括着陆器和 ARV 的单点的压力传感测深；2. 探索一号船载多波束测深；3. 在 TS-19 航次中，我们利用万米载人潜水器进行了最深处的近底巡航。

船载多波束和无人潜水器测深工作将最深点范围约束至了百米尺度的范围之内。在 TS-19 航次中，万米载人潜水器获取了最深处的高精度水体压力值，同时在压深转换

过程中引入了潜水器获取的全海深的真实声速剖面，计算得到了最深海域的精确水深值和准确位置。口头报告包括以下内容(1)回顾人类对挑战者深渊的水深探测历史；(2)介绍中科院深海所组织的 5 次马沟航次中，多波束探测及载人无人深潜所获水深探测的结果；(3)介绍压力转换深度的计算误差及修正方法；(4)介绍为什么中国载人潜器奋斗者号所公布的最大下潜深度是10909米，而美国 Limiting Factor 载人潜水器公布的最大水深是 10925 米/10933 米。

S16-O-03

马里亚纳海沟铁锰金属结核地化特征及其成因探讨

李季伟，李玲，彭晓彤*

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

* xtpeng@idsse.ac.cn

俯冲带系统是地球上地质活动最为激烈、频繁的地质环境之一，对全球金属元素的循环有重要影响。俯冲带海沟的沉积环境受火山灰沉积的影响，而且还表现出持续的水-岩石化学交换，有大量的铁锰等金属元素释放。本次研究以我国首次海斗深渊综合科考航次期间，采集于马里亚纳海沟结核及其赋存沉积物为对象，利用地球化学和地质微生物学手段，探讨了海沟结核的地球化学特征及其形成机制。全岩地球化学表明，海沟结核的特点是高锰/铁比率，结核纹理表明生长速度很快，锰主要来自两个来源：火山灰蚀变和海沟海底的流体排放。原位地球化学（Micro-XRF、SEM-EDS 和激光拉曼）数据表明，单体结核的生长过程中从内到外存在着三类纹层呈韵律性交替变化：第 I 型，位于结核核部，以高 Mn/Fe (>20)和 Cu、Ni 富集为特征，具高增长率（52.19-3571.73 mm/Myr），由该区域周围热液流体释放沉淀而成；第 II 型，位于结核外部的纹层，以低 Mn/Fe 比 (0.01-2.5)和 Ti、Si 富集为特征，具较低的生长速度（4.54-9.86 mm/Myr），源于水成成因；第 III 型，位于结核外部的纹层，具有中等锰/铁比值（2.5-15.0）和生长速率（12.40-18.93 mm/Myr），金属元素来源于低氧间隙水，为成岩成因。16S ribosomal RNA gene 研究表明，微生物组成最重要的特征是具铁锰氧化还原相关的 *Shewanella* 和 *Colwellia* 等在结核沉积物中含量丰富。同时，沉积物宏基因数据表明，具备锰氧化功能的多铜氧化酶功能基因 *cotA*，在海沟沉积物中从表层至深层的丰度呈规律性降低，其可能在微生物氧化 Mn(II)过程中起到了关键作用。综合以上地球化学和地质微生物学的数据，我们推导了海沟铁锰结核生物成因及 Mn 循环的地球化学概念模型。

S16-O-05

南海鲸落骨骼附着微生物的群落结构特征

谢伟*

1 中山大学海洋科学学院，广东 珠海 519082

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)，广东 珠海 519082

* xiewei9@mail.sysu.edu.cn

深海通常处于食物贫瘠的环境，但局部生境也是深海生命的绿洲，例如深海热液口、冷泉、冷水珊瑚林、鲸落等生态环境。近年来，鲸落生态系统由于可以将表层有机质快速带入深海、维持丰度的深海生命而备受关注，其效率是通过海雪带入深海有机碳的 2000 倍以上。由于深海特殊的高压、低温及与上层海洋隔绝的环境特征，深海鲸落可能孕育着独特的微生物类群及特殊的有机碳代谢途径。据估计，鲸落带入深海的有机碳，可占到上层输入有机碳总量的 30%，微生物参与这些有机碳的转化过程的作用也不容小视。2020 年 3 月，我乘坐深海勇士号下潜至在南海中部海域 1600 米的海山山腰处，在该区域发现一只约 3 米左右的鲸落，命名为 ZS1，DNA 鉴定显示该鲸落为齿鲸亚目

的长吻飞旋海豚。对采集上来的骨骼上的附着微生物及周围水体微生物群落结构分析发现，骨骼上附着的微生物群落多样性显著低于周围水体。鲸落骨骼附着微生物主要拟杆菌目的 Marinifilum 为主，可占到原核生物总量的 74%，其次依次为交替单胞菌目中的 Psychromona（19%）、梭杆菌目中的 Fusobacteriaceae（4%）、黄杆菌目中的 Tenacibaculum（1%）。而这些物种在周围水体的丰度均低于 0.02%。由此可见，鲸落附着的微生物类群与周围水体存在着显著差别，这些微生物参与的有机碳循环过程可能也会显著不同于正常深海环境，相关代谢通路特征分析仍在进行中。该项研究的最终结果，可望为揭示鲸落生境中的微生物代谢特征及其在深海有机碳循环中的作用提供依据。

S16-O-06

超深渊底栖动物群落结构与空间分布特征—以雅浦海沟为例

张东声[1,2,3]，周亚东[1,2]，杨继超[4]，Thomas Linley[5]，张睿妍[1,3]，鹿博[1]，许鹏[1]，沈程程[1]，林施泉[1]，王跃云[1]，孙栋[1]，王小谷[1]，王春生[1,2,3]*

1 自然资源部第二海洋研究所，杭州，中国 310012

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海，中国 519080

3 上海交通大学海洋学院，上海，中国 200030

4 山东科技大学，青岛，中国 266510

5 School of Natural and Environmental Sciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, United Kindom

* wangsio@sio.org.cn

超深渊海沟是世界上研究最少的海洋生态系统之一，具有极端的环境条件和特殊的生物群落。但是从从深海带（Abyssal zone）向超深渊带（Hadal zone）生物群落如何变化，以及哪些环境变量是关键影响因素尚不清楚。本研究在西太平洋菲律宾海板块东南边界的雅浦海沟中，使用“蛟龙号”载人潜水器在 4,435-6,796 m 的水深范围内共完成了 9 次下潜，调查测线长度 48,200 m。本研究对潜水器获得的视频数据进行分析，将所有观察到的底栖动物根据形态特征鉴定到尽可能低的分类水平，将潜器海底测线划分为 200m 长度的采样单元，对雅浦海沟底栖动物的种类多样性和群落结构进行研究。根据视频数据，总共记录了 1,171 个巨型底栖动物，从 8 个门中鉴定出 80 个形态物种（msps），其中大多数是在雅浦海沟中首次报道的。节肢动物是巨型动物群落中丰度最高的门，棘皮动物门是种类最多的门。底栖动物丰度随着深度的增加而增加，而香农多样性指数则随着深度的增加而减小。聚类分析显示所有的采样单元可分为 7 组，其中 5 个是深渊组，一个混合组和一个深海组。底栖动物群落从深海带向超深渊带表现出渐变的特征，PERMANOVA 和 PERMDISP 分析均表明，深海带和超深渊带之间的群落明显不同，这两个深度带之间的边界为 6,000 m。水深、底质类型、坡度和纬度是影响巨型动物群落结构的关键环境因子。这项研究怎对雅浦海沟底栖动物提出了深海带到超深渊带的过渡模式，强调了栖息地异质性在超深渊海沟底栖动物群落分布中的重要性。

S16-P-01

海斗深渊区十字放炮与 POBS 精确位置校正

李子正[1,2,3,4]，丘学林[1,2,3,4]*，张佳政[1,2,3]，张浩宇[1,2,3,4]，陈瀚[5]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室 广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州 511458

3 中国科学院南海生态环境工程创新研究院，广州 510301

4 中国科学院大学，北京 100049

5 香港中文大学，地球系统科学课程，香港 999077

* xlqiu@scsio.ac.cn

TS03 航次创新性地投放了 6 台被动源海底地震仪（POBS）到马里亚纳海沟南部“海斗深渊区”，实施了万米级水深的天然地震观测，通过十字放炮获得 POBS 的精确坐底位置是后续研究工作中至关重要的一环。本文首先对 POBS 的 SEG-Y 数据进行裁截误差修复，然后采用直达水波走时反演的方法得到这 6 个 POBS 的精确坐底位置，并进行精度分析。结果显示，POBS 下沉过程中偏移方向各不相同，偏移距离 190~650 m；SEG-Y 数据裁截误差修复使拾取的直达水波到时更精确，位置校正的走时残差 RMS 值显著降低，结合正常时差校正（NMO）方法验证，位置校正精度可达 10 m，且海斗深渊陡峭地形造成的折射震相对位置校正结果影响不大。此项 POBS 坐底位置校正工作，不仅为后续研究提供了可靠基础和保障；同时进一步证明，十字放炮作业结合海底地震仪进行直达水波走时反演，是获取深水区域仪器精确位置的可靠方式。

S16-P-02

马里亚纳俯冲带南段输入板块地壳结构的差异性

贺恩远 [1*]，陈传绪 [2]，丘学林 [1]，王元 [3]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301

2 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

3 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

* eyhe@scsio.ac.cn

作为板块构造学说中的重要组成部分，俯冲带是地表物质返回地球深部的主要通道，是人类了解板块相互作用以及地球深浅物质、流体循环和能量传递提供了重要窗口。马里亚纳俯冲带因其清晰的演化历史、独特的“沟-弧-盆”构造单元、稀疏的增生楔覆盖，成为研究板块响应和俯冲带内部动力学过程的天然实验室，受到了国内外科学家的广泛关注。马里亚纳俯冲带南段不仅拥有全球最深的海沟“挑战者深渊”，同时具有高角度俯冲、板块弱耦合、强拉张的构造环境，此处的“沟-弧-盆”构造单元也与马里亚纳俯冲带中段完全不同，指示了此处不同构造环境。

马里亚纳俯冲带南段上覆板块和输入板块均具有多样性，由东向西，沿着海沟，输入板块分别为卡洛琳海山链、洋壳和卡洛琳洋脊。俯冲带上覆板块的地质结构同样复杂，弧前地块由完整到破碎再到完整，弧后扩张中心由集中式（MGR）到分散式（DSZ）再到初始裂谷（SWMR），地震活动性以及板块的俯冲深度、角度也存在线性的变化，以上种种特征指示了俯冲板块输入物质的差异性对俯冲系统存在影响。但相关的作用过程仍需要进一步研究。

2017 年，我们搭载“探索一号”科考船在马里亚纳俯冲带南段“挑战者深渊”区域布设了两条条相互平行的主动源 OBS 深地震测线（OBS 2017-1 和 OBS 2017-2 测线），其中 OBS2017-1 测线经过卡洛琳洋脊区，OBS2017-2 测线主要经过俯冲洋壳区。基于以上数据，我们重点关注马里亚纳俯冲带南段输入板块地壳和上地幔速度结构的变化。经过速度结构模拟，初步发现如下：

(1).太平洋俯冲洋壳区的地壳厚度为 6.5-7.2 km，与未经过构造/岩浆改造的正常洋壳厚度一致，但是地震波速度明显低于后者。OBS 综合地震剖面显示，来自 Moho 面的反射震相具有反射率低、偏移距小（约 15 km）和连续性差的特点。多波束地形显示此处存在大量平行于海沟的弯曲正断层。综合速度结构和地形特征，我们认为俯冲板块弯曲形成的正断层极大破坏了俯冲洋壳内部结构，而且已经延伸到了地壳底部。

(2).在卡洛琳洋脊区的多个 OBS 台站中，发现了偏移距大于 35km 的反射震相，远远大于正常洋壳，这些反射震相具有反射率高、偏移距大、连续性好的特征。正演速度模型

显示此处地壳厚度达到 16km，地壳底部存在 7.5-7.6 km/s 的高速下地壳，指示了卡洛琳热点对地壳结构的改造。此外，OBS 地震剖面中还发现了多组近偏移距的强反射震相，这些反射震相蕴含着后期岩浆的来源和对洋壳的改造方式，其对应的速度和深度需要在后续的工作中进一步拟合和确认。

(3).太平洋俯冲洋壳区底部存在 4-6.5km，速度为 7.0-7.5km/s 的上地幔低速层，这与卡洛琳洋脊底部的高速体具有相似性。虽然两者的速度值相近，但结合此处的地形、地球物理特征，我们认为两者成因具有明显的不同，前者为蛇纹岩化的上地幔，后者为堆积的岩浆底侵体。卡洛琳洋脊如何过渡到正断层发育的洋壳，板块弯曲正断层在海底高原和洋壳区的影响深度和范围还需要进一步研究。

S16-P-03S

Ocean circulation in the challenger deep derived from super-deep underwater glider observation

Huichang Jiang[1, 6], Hongzhou Xu[1, 2]*, Philip A. Vetter[1], Qiang Xie[1, 3], Jiancheng Yu[4], Xuekun Shang[5], Liu Yu[1]

1 Institute of Deep-sea Science and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Sanya, China
2 South Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhuhai), Zhuhai, China
3 Center of Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, China
4 Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, China
5 School of Marine Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, China
6 Graduate School, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China
* hzxu@idsse.ac.cn

Ocean circulation in the Challenger Deep is rarely investigated due to sparse observations. Based on hydrographic data collected by two super-deep Chinese ‘Sea-Wing’ gliders during September-October 2018, we analyzed water properties and ocean circulation structures in this trench. Results showed that the horizontal distribution of water properties is approximately a three-layer structure, changing from a northeast-southwest structure to a north-south structure then to an east-west structure as the depth increases from 3000 to 7000 m. This structure is a joint result of the water uplift, advection, and diffusion in the trench. The westward geostrophic flow, with 1.29 Sv (1 Sv = 10^6 m^3 s^{-1}) volume transport, dominates the deep layer of the Challenger Deep, gradually weakening with depth. The unexpectedly large volume transport, twice that of previous studies, might be due to temporal variations of LCDW (Lower Circumpolar Deep Water) intrusion from the Southern Ocean and different reference levels.

S16-P-04

马里亚纳海沟沉积物的极轻钼同位素特征

陈顺[1]*，彭晓彤[1]，李杰[2]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000
2 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640
* chans@idsse.ac.cn

海洋沉积物中的钼同位素特征($\delta^{98/95}$Mo)被认为是制约海洋氧化还原条件和早期成岩过程的一个强有力的替代物。为探索控制钼进入世界海洋最深处的过程和机制，我们分析了马里亚纳海沟四个沉积柱的 Mo 同位素组成。结果显示，这些沉积物钼的含量范围分布较宽，在 2.51 至 48.41μg/g

不等。钼和锰含量呈正相关，表明钼主要赋存于锰和铁(羟基)氧化物中。沉积物的 Mo 同位素变化范围在-2.02‰至-0.36‰之间，随着埋藏的深度增加，Mo 同位素值变轻；除一个站位外，其整个岩心的数值几乎恒定（为−0.80‰）。此外，各站位的 Mo 同位素值与 Mo/Mn 比值呈负相关。这些模式表明，在马里亚纳海沟早期成岩作用过程中，钼的循环清除和再活化作用的增强与锰和铁(羟基)氧化物相关，因为较轻的钼同位素将优先参与这些过程。该研究为深渊环境中 Mo 的循环提供了新的视角，富含锰和铁(羟基)氧化物的沉积物是 Mo 的重要宿主。

S16-P-05

马里亚纳海沟沉积物中 GDGTs 的分布和来源研究

他开文[1,2]，彭晓彤[1]*，李季伟[1]，陈顺[1]，许恒超[1]，杜梦然[1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* xtpeng@sidsse.ac.cn

深渊中的碳储是全球碳库的重要组成部分，其内部碳元素的迁移转化和再循环过程，是全球碳循环的重要环节之一。来源于古菌或细菌的甘油二烷基甘油四醚类化合物（GDGTs）普遍发现在海洋沉积环境中，然而，它们在马里亚纳海沟及其俯冲环境中的分布和来源所展开的研究仍十分有限。我们对采集在马里亚纳海沟俯冲带，在挑战者深渊南北两侧的2个沉积柱，开展了有机碳、氮含量、碳同位素组成及 GDGT 脂类化合物等的研究。沉积柱表现以下特征：（1）在沉积剖面上，大部分沉积物样品的 isoGDGTs 和 brGDGTs 含量呈现共变特征，特别是 GDGTs 总量在次表层约 10cm 处含量最高。有趣的是 isoGDGTs 和 brGDGTs 的浓度在沉积柱深度约 10cm 和 45cm 处有明显的升高趋势；（2）随沉积柱深度的增加，BIT 和 Ri/b 指数也升高，说明在马里亚纳海沟俯冲带环境中，更深层沉积物中产生 brGDGTs 的细菌占主导，而不是产生 crenarchaeol 的古菌；（3）在次表层沉积物中含有丰富的环戊烷基的 brGDGTs，这是 brGDGTs 原位产生的有力证据；（4）有机碳、氮含量、碳同位素组成表明沉积物中有机质的物源主要源于海洋自身的产物。因此，我们认为马里亚纳俯冲带极端环境中微生物活动潜在影响着古菌和细菌特有的膜脂类化合物的产生，其沉积物中的 brGDGTs 主要以原位形成为主，细菌可能在更深部沉积物中扮演着重要的角色。这个研究表明马里亚纳俯冲带极端环境中微生物的生命活动也是全球碳循环的重要组成部分。

S16-P-07

深海—深渊过渡带沉积物中核心微生物组的结构及潜在生态功能

荆红梅[1]*，肖湘[2]*，张玥[1]，李志勇[2]，蹇华哗[2]，骆迎峰[3]，韩壮[1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所

2 上海交通大学

3 中国科学院微生物研究所

* hmjing@idsse.ac.cn, zjxiao2018@sjtu.edu.cn

深渊海沟独特的地质条件影响着微生物群落的组成分布和生态功能。通常以 6000 米深度作为深海-深渊过渡带，是影响宏生物组成分布的关键区域。该过渡带以深的深渊层和以浅的深海层分别以异养和化能自养微生物类群占优。我们开展了马里亚纳海沟深海-深渊过渡带沉积物的组学研究，以期更深入了解该过渡带微生物群落的结构和潜在功能。在核心微生物组中，异养微生物类群及其相关代谢途径占主导地位；不同站位间的群落相似性较高，而特有的土著类群较少。不同沉积物层位间有明显的微生物生态位分化，推测主要与沉积物不同深度的

有机物来源有关。过渡带中各种硝化微生物广泛分布，其具有暗固碳潜力，可能驱动该区域的氮碳元素耦合及地化循环。此外，较高的呼吸和碳固定相关基因丰度也反映出该过渡带中发生着强烈的微生物活动。以上结果表明马里亚纳海沟深海-深渊过渡带沉积物中异养及化能自养类型的微生物共存，共同驱动了该极端生境中的生物地球化学过程；其中异养代谢途径比化能自养途径更占优势，暗示沉积物有机质较无机营养盐更为重要影响着该过渡带微生物组的结构和代谢潜力。

S16-P-08

鲸落小型底栖动物的初步研究

吴秀芹[1,2]，谢伟[1,2]*，殷克东[1,2]*

1 中山大学海洋科学学院，广东 珠海 519082

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），广东珠海 519082

* xiewei9@mail.sysu.edu.cn, yinkd@mail.sysu.edu.cn

深海小型底栖动物，通常是指直径（宽度）小于 31um 的底栖动物。其优势类群，通常是线虫（数量可高达 95%）。线虫无处不在，有生命的地方就有线虫，线虫具有分布广泛，个体较小（长度：几百微米到 2mm；宽度：<31um），生活史短，无浮游阶段；占有多个生态位等特征，在生态系统中起着不可替代的作用。

然而，我们对深海小型的认知却很局限。取样困难和昂贵是一个非常重要的原因之一。本研究利用深海载人潜器（深海勇士号）抓取到一块鲸落豚骨，淘洗到线虫和小型底栖多毛类，以形态和分子生物学相结合的方法，对其进行描述。从而揭开我国鲸落小型底栖动物研究的新篇章。

S16-P-09S

深渊区沉积物溶解有机质（DOM）的性质

胡廷苍[1]，罗敏[1,2]*，何丁[3]，许云平[1]，方家松[1]，陈多福[1]

1 上海海洋大学，上海 201306

2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266221

3 浙江大学地球科学学院，浙江 310007

* mluo@shou.edu.cn

深渊海沟代表了地球上水体环境中最深的区域，研究发现深渊沉积物中存在较高的有机质含量和微生物介导的有机质降解强度，因此深渊区被认为是有机质沉积埋藏和矿化的热点区域，为了深入理解深渊极端环境中沉积物有机质的早期成岩过程，我们首次对深渊沉积物有机质降解的中间产物-DOM 的性质及控制因素进行了深入剖析。在本研究中我们测定了马里亚纳海沟、玛索海沟和新不列颠海沟的孔隙水溶解有机碳（DOC）浓度、沉积物有机碳含量和原位总耗氧量，同时也测试了马里亚纳海沟轴部、向陆斜坡和深海盆地背景站位的沉积物孔隙水 DOM 的紫外-可见波段吸光度与三维荧光光谱。结果显示离陆地较近的新不列颠海沟孔隙水 DOC 浓度明显高于另外两个海沟区域，综合不同海沟的孔隙水和沉积物数据发现深渊沉积物中 DOC 浓度与原位总耗氧量和沉积物有机碳含量都呈较好的正相关性，指示在深渊环境中沉积物微生物活动和有机质输入及其降解速率对 DOC 浓度有重要影响。另外对比马里亚纳海沟轴部、向陆斜坡和深海盆地站位的光谱数据发现，相比于其他站位，轴部沉积物中类腐殖质荧光强度有明显的高值，同时结合光谱参数共同指示，在海沟轴部沉积物中较强的微生物活动会产生并积累更多高度降解的、低分子量的 DOM。

S16-P-10S

海沟沉积物中黑碳的来源、分布和埋藏通量

许云平*，张曦，肖文杰

1 上海海洋大学海洋科学学院，上海深渊科学与技术工程研究中心，上海 201306

* ypxu@shou.edu.cn

尽管人类活动和自然火灾导致了黑碳（BC）在环境中的广泛分布，但在深渊区（水深>6000 m 的海洋最深处）的沉积物中却从未报道过。在这里，我们测量了 6 条分布广泛的海沟沉积物中的 BC 和 TOC 的浓度及其 $\delta^{13}C$ 和 $\Delta^{14}C$。尽管海沟内部和不同海沟间的 BC 具有异质性，但 BC（占 TOC 的 12.4±7.8%）的 $\delta^{13}C$ (−27.7‰ ~ −22.3‰) 和 $\Delta^{14}C$ (−346‰ ~ −893‰)通常比 TOC ($\delta^{13}C$: −24.4‰ ~ −19.9‰ ; $\Delta^{14}C$: −71‰ ~ −891‰)更负，表明陆生 C3 植物的老碳贡献更大。$\Delta^{14}C$ 双端元混合模型表明，与新不列颠海沟（50.1±8.4%）和布干维尔海沟（44.7±5.7%）相比，克马德克海沟（74.3±11.5%）和阿塔卡马海沟（71.0±16.5%）的 BC 中化石碳的比例更高。这种差异与区域社会经济发展、植被覆盖度和与陆地的距离有关。从本文研究的海沟扩展到全球的深渊区，BC 的埋藏通量为 1.19±0.70 Tg yr^{-1}，相当于每年全球海洋 BC 埋藏的 10.4±6.1%。因此，深渊区是一个以前被忽略的，但十分重要的深海 BC 汇。

S17-O-01

全球典型深水重力流沉积体系源汇过程对比

吴时国[1]*，卫平生[2]，秦永鹏[1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

2 中石油勘探开发研究院西北分院

* swu@idsse.ac.cn

深水重力流沉积体系记录了源区古环境、古气候和构造演化的信息，通过对重力流沉积体系的分析，可以从“源汇”的角度揭示源区各种地质事件的信息。例如，源区的气候变化与构造事件以及陆架区域的相对海平面变化会改变重力流的物源供给状况，进而影响深水重力流沉积体系的分布范围与沉积特征。

深水重力流沉积体系对源区环境变化的响应时间主要取决于陆架区域陆源沉积物的输送效率。主动大陆边缘陆架相对狭窄，因此重力流沉积体系对源区环境变化的响应时间较短。狭窄的陆架使得源汇体系即使在相对海平面较高的情况下，也能维持从陆地向深海的沉积物高效输入。同时小规模的山脉河流体系以及陡峭的陆坡也能使得重力流在很短的时间内接收到来自源区的沉积物，从而对源区的气候变化与构造活动进行快速的响应，甚至在源区气候干燥的时期，即使河流搬运能力减弱，深水重力流也可能有较高的沉积物供给。与主动陆缘相比，被动陆缘深水重力流沉积体系对应的陆地河流具有较大的流域面积，会增大源区沉积物在陆地河流输送的时间，同时被动陆缘宽广的陆架会也增大陆源沉积物从河口向深水的输送时间，因此被动陆缘重力流沉积体系对源区环境变化的响应时间相对较长。陆架区域河流河口与海底峡谷的连接性成为决定响应时间长短的主要因素之一。

S17-O-02

珠江口盆地晚渐新世陆架边缘三角洲及共生斜坡扇体系的沉积结构和源—汇过程

张曼莉[1]*，林畅松[1,2]*，李浩[1]

1 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083

2 中国地质大学（北京）能源学院，北京 100083

* lincs@cugb.edu.cn

南海北部珠江口盆地上渐新统至下中新统（珠海组）广泛发育有陆架边缘三角洲

及共生的斜坡扇沉积，并记录了它们的源-汇过程及制约因素。通过对测井、地震和岩心资料的综合分析，系统构建并剖析了研究区层序地层结构及陆架边缘三角洲-斜坡扇体系的源-汇过程。从陆架边缘三角洲至斜坡扇沉积，共识别出 4 个沉积相带：三角洲平原-近端三角洲前缘带、三角洲前缘和复合下切水道带、中斜坡沟谷带以及滑塌-泥石流-浊积带。复合下切水道带主要由一系列单一或联合的 V 型水道复合体组成，构成了斜坡扇沉积的主要物源输送体系。斜坡扇系统主要由底部的泥石流沉积、砂质浊积水道充填和前缘扇朵等沉积构成。这些沉积相带的展布，特别是三角洲前缘下切水道的发育，揭示了它们的源-汇关系。珠海组是一个由区域性不整合面及其对应整合面限定的复合层序（CS3），可划分为 5 个三级层序（CS3-1 - CS3-5），具有各自不同的沉积体系域模式。陆架边缘三角洲及其伴生的斜坡扇体系易发育于相对海平面下降阶段。陆架边缘三角洲前缘的水道化过程和滑塌作用被认为是砂质沉积物向斜坡扇体系搬运、分散的最重要的机制。复合层序 CS3 沉积期大量的沉积物供给也为陆架边缘三角洲及其共生的富砂斜坡扇系统的广泛发育提供了有利条件。

S17-O-03

与硅质软泥成岩作用有关的大型海底滑坡—以澳大利亚西北缘为例

吴南*，钟广法

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* nanwu@tongji.edu.cn

海底滑坡及其在搬运过程中伴生的海啸是深海两大破坏力极强的地质灾害，严重威胁海洋工程设施及沿岸居民生命财产安全。前人对深海滑坡的研究集中在大陆边缘以硅质碎屑沉积物为主的地层中，对深海生物软泥（包括钙质软泥和硅质软泥）中滑坡的触发机理及伴生的地质灾害研究欠缺。

本文以澳大利亚西北大陆边缘为例，以深海生物软泥沉积物为研究对象，利用高精度三维、二维地震反射数据，结合大洋钻探钻井资料，研究深海生物软泥层中海底滑坡的触发机理。研究表明，该区分布有多套不同期次的海底滑坡沉积体（总展布面积约 1.2 x 105 km^2），不同期次的滑坡沉积体共用同一个底部滑动剪切面。ODP 762 站位古生物资料表明，该滑动剪切面对应为一个区域性的不整合面，其年代为晚中新世。该不整合面之上为一套厚约 400 米的钙质软泥，下伏为一套约 900 米厚的硅质软泥。岩石物性数据分析表明，该不整合面之上，钙质软泥沉积物的含水率为 50%，沉积物密度为 1.32 g/cm^3，但在不整合面附近沉积物含水率陡降至 32%，密度陡增至 1.47 g/cm^3。大洋钻探结果证实，该不整合面之下约 300 米处存在一个区域性的蛋白石 A-蛋白石 CT 成岩作用转换界面，穿过该界面，沉积物的含水率自上而下由 30%跌至 15%，密度值由 1.74 g/cm^3 升至 2.15 g/cm^3。在地震剖面上，该成岩转换界面对应一个正极性的强地震反射界面。地震切片表明，蛋白石 A-蛋白石 CT 转换面及上覆地层中广泛发育多边形断层，向上与发育在上述不整合面之下的规模和大小不一的麻坑纵向联通。我们认为，蛋白石 A-蛋白石 CT 的成岩转换释放出的大量酸性孔隙流体向上排出，形成多边形断层，而酸性孔隙流体沿多边形断层向上的运移大部被上覆不整合面封堵，导致不整合面附近大量麻坑的形成。随着成岩转换的不断进行，不整合面下沉积物中孔隙流体压力不断增加，直至形成超压，而沉积物孔隙流体超压导致不整合面上覆沉积物失稳，触发区域性海底滑坡事件。

S17-O-04

孟加拉湾东缘深水沉积体系特征与成因探讨

范国章*，马宏霞，鲁银涛，孙辉，丁梁波，邵大力，许小勇，王红平

1 中国石油杭州地质研究院，中国杭州，310012
* fangz_hz@petrochina.com.cn

孟加拉湾东缘深水沉积体系主体隶属于孟加拉扇，同时存在部分来自东部物源的沉积，沉积厚度由北向南从约 9000 米减薄为约 2000 米，延伸长度超过 2000 公里，其分布特征与模式能够提供孟加拉湾周缘盆山耦合关系的直接证据。近年来缅甸海域天然气勘探取得多个新发现，说明孟加拉湾东缘深水沉积体系具备天然气形成聚集的良好条件和勘探前景。因此，对于孟加拉湾东缘深水沉积体系特征、演化与成因的研究具有重要的科学意义和商业价值。

基于区域地质、地震、钻井等综合分析，孟加拉湾东缘深水沉积体系演化可以分为两个阶段：始新世-中中新世和晚中新世-全新世。第一个阶段，深水沉积体系以限制性水道复合体沉积为典型特征。第二个阶段，深水沉积体系以水道-天然堤复合体沉积为典型特征。总体上，深水沉积体系可以划分为四个沉积结构单元，分别为峡谷复合体、块体搬运复合体、限制性水道复合体和水道-天然堤复合体。

孟加拉湾东缘深水沉积体系分布与演化主要受控于北部喜马拉雅山系与东部印缅山脉活动耦合形成的构造古地貌与物源注入强度。第一个阶段深水沉积对应于印度板块和欧亚板块的碰撞，北部初始隆升，物源输入量逐渐增大，发育大规模侵蚀水道复合体和低幅度天然堤，水道复合体南北向延伸，顺直且平行分布，横向迁移叠置，水道复合体宽度 5-10km。在主体水道沉积单元通常发育大型下切谷，两翼发育楔状外部天然堤，水道轴部沉积表现为不连续强振幅地震反射特征，为垂向和横向多期次迁移的粗粒水道沉积，天然堤沉积表现为连续弱振幅或空白地震反射特征，测井曲线上表现为底部低伽马砂岩和高伽马泥岩薄互层，向上伽马值增大指示变细过渡为泥岩的特征。每个限制性水道复合体可以细分为多个次级限制性水道复合体，其通常包含滑塌/块体搬运沉积、水道、越岸、决口扇和水道末端朵体。

第二个阶段深水沉积对应于喜马拉雅山脉快速隆升以及印-缅板块会聚造山，形成复杂的古地貌和巨量沉积物的注入，沉积体系北厚南薄、东厚西薄，发育大规模水道复合体和大幅度天然堤，水道沉积表现为强振幅连续地震反射特征，水道复合体宽度约 5 公里，单期水道宽度约 500 米，通常可识别水道迁移侵蚀期次数十次，从地震反射特征判断部分水道为泥质充填，部分水道为砂质充填，钻井揭示最厚连续沉积水道砂体厚度超过 50 米，天然堤沉积表现为弱振幅连续或空白地震反射特征，在远离水道方向快速减薄，在伽马测井曲线上总体表现为泥质沉积，仅在底部存在薄层砂质沉积特征。

孟加拉湾东缘两个阶段深水沉积体系特征最大的区别在于限制性水道复合体通常由多个次级限制性水道复合体迁移叠置形成限制性水道复合体系，每个次级限制性水道复合体具有相似的规模和沉积特征，其伴生的天然堤规模小且较富砂，而水道-天然堤复合体通常由加积型天然堤和其围限的水道复合体组成，水道通常表现为高弯曲度，天然堤的规模大，近水道厚度可达 300 米，宽度可达 10 公里，且在近陆坡处伴生发育多期块体搬运沉积复合体。在这两种类型的复合体的多个沉积单元中均可发育厚度和面积可观的砂体，可以作为良好的油气储集层，是潜在的有利勘探目标。

S17-O-05

珠江海底峡谷系统的地貌-沉积充填特征及控制因素

黄蝌[1]*, 钟广法[1], 王嘹亮[2], 朱本铎[2], 郭依群[2], 张伙带[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092
2 广州海洋地质调查局, 广州 510075

* kehuang@tongji.edu.cn

珠江海底峡谷系统是南海北部大陆边缘规模最大的海底峡谷之一，它发源于古陆架边缘珠江三角洲前缘，向南跨越整个陆坡，最终注入南海洋盆北部，全长近 300 km。珠江海底峡谷流经的区域是我国油气和天然气水合物勘探的重要基地。本文在大洋钻探钻井资料标定基础上，利用二维地震和多波束海底测深资料，研究珠江海底峡谷系统的地貌和沉积充填特征及其演化历史。

珠江海底峡谷系统由珠江主干峡谷和位于其头部的神狐水道群及发育于其末端的珠江海底扇组成，整体呈漏斗状，头部大，向下游逐渐变窄。神狐水道群的形成始于晚中新世，其分布范围从晚中新世到第四纪逐渐减小（晚中新世约 12000 km²；上新世 5600 km²；第四纪 3200 km²）。珠江主干峡谷的形成始于中中新世晚期，其位置相对固定，根据峡谷的走向和沉积厚度可以划分为三段：上游近 E-W 向，沉积充填地层最厚；中游近 NWW-SEE 向，沉积充填地层厚度最薄；下游近 NW-SE 向，沉积充填地层厚度居中。珠江海底扇至少在晚中新世既已存在，其分布范围自晚中新世至第四纪依次缩小；晚中新世扇体主要由浊流朵体组成；上新世-第四纪，块体搬运沉积依次增多。

构造作用和浊流规模对珠江海底峡谷系统沉积演化具有重要的控制作用。基底隆凹格局及断裂、海山等局部构造的发育控制了珠江主干峡谷上、中、下游的位置、走向和沉积充填特征。浊流的规模和强度直接影响珠江海底峡谷系统不同部位的沉积充填，小规模浊流大部份消耗在浊流上游，只有规模较大、能量较高的浊流才能从峡谷上游溢出，进入中、下游及海底扇，这可能是峡谷上游沉积充填厚度明显超过中、下游的重要原因。

S17-O-06

Flow processes of the interaction between turbidity flows and bottom currents in sinuous unidirectionally migrating channels: an example from the Oligocene channels in the Rovuma Basin, offshore Mozambique

Yuhang Chen[1]*, Genshun Yao[2], Fuliang Lv[2], Dali Shao[2], Yintao Lu[2]

1 School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Shaanxi, Xi'an 710065, China

2 PetroChina Hangzhou Institute of Geology, Hangzhou 310023, China

* cyh@xsyu.edu.cn

Unidirectionally migrating channels, as an important target of source-sink process of deep water deposition, have been studied intensively, and many of them were typically interpreted as the result of the interaction between turbidity flows and bottom currents. Based on the analysis of the morphology and internal architecture of channels, different conceptual models of unidirectionally migrating channels were built to reveal the flow process of the interaction between turbidity flows and bottom currents. Most previous studies mainly focused on the straight section of channels, however, the relevant models did not elucidate the flow process in sinuous sections, limiting the knowledge on the formation mechanism and evolution of the whole unidirectionally migrating channels.

By using 3D seismic data, the current study not only depicted the geomorphology and internal architecture of a sinuous unidirectionally migrating channels in the Rovuma Basin, offshore Mozambique, but also quantitatively analyzed the flow processes in the straight and bend sections of the channels. The results show that the interaction between

turbidity flows and the northward-flowing Antarctic Bottom Water (AABW) led to the unidirectional migration of the turbidite channels. In the straight section of channels, fine-grained material from the upper parts of turbidity flows was deflected northward via flow stripping induced by the AABW, and this material was finally deposited as sandy lateral accretion packages and muddy drifts. The lateral deposits steepened northern channel banks and forced the southward migration of channel axes. However, in the bend section of channels, the upper parts of turbidity flows were forced towards the inner (southern) bank due to the helical flow induced by centrifugal forces, which probably offset the effect of the AABW, and therefore no lateral drifts developed.

The effect of bottom currents on turbidity flows is related to the relative direction of turbidity flow and bottom currents. The lateral deposition and corresponding erosion induced by bottom currents influence the formation of the unidirectionally migrating channels, and the channels migrate towards the erosional side but away from the lateral deposition. Our results can help reveal the complete flow processes and sedimentation in the unidirectionally migrating channels in deep water basins around the world.

S17-O-07

碎屑锆石对南海周缘河流演化的记录：从大陆边缘至深海盆地

曹立成[1]*，姜涛[1]*，何精科[2]

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074

2 北海市海洋与渔业局，北海 536000

* licheng.cao@gmail.com, taojiang@cug.edu.cn

深海盆地往往是陆源物质运移的终点，但受限于研究素材和沉积混合作用，目前对该源汇系统的认识程度相对较低。南海大陆边缘的沉积记录早已获得工业勘探和科学钻探的广泛关注，直到国际大洋发现计划（IODP）349 航次才在南海扩张轴附近获得了连续深时沉积序列，多个站位揭示了由砂岩、粉砂岩、碳酸盐等组成的浊积岩单元。这些碎屑浊积岩在深海盆地较为少见，其物质来源尚不明确，前人推测主要来自临近岛屿或海山。

本研究对 IODP349 航次 U1431 和 U1432 站位浊积岩样品开展重矿物和锆石 U-Pb 测年分析。锆石颗粒经河流搬运入海后主要沉积在陆架区，这一特征使得南海中央的锆石可以宏观地示踪周缘亚洲河流演化。结果发现浊积岩物源晚中新世至第四纪发生了多次转折。与重矿物组成相比，锆石年代学揭示出更清晰的变化信息：U1431 站位上中新统下部样品缺失侏罗纪-新生代年龄；上中新统上部和上新统样品以早古生代年龄为主，可见二叠纪-侏罗纪峰值；U1431 和 U1432 站位更新统样品年龄信号差异较大，前者可见较多新元古代年龄，后者二叠纪-三叠纪和元古代年龄较为少见。为进一步确定不同物源区的相对贡献，将浊积岩样品、南海陆缘同时代地层以及潜在物源区的锆石年龄信号进行定性-定量对比，并开展基于逆向蒙特卡罗方法的混合模型。模型结果表明：南海东部次海盆晚中新世早期物源主要来自越南东部，可能与该区域大规模的火山活动和快速隆升有关；至更新世，东部次海盆主导物源区在珠江流域和越南东部之间交替，同时有红河、湄公河以及华南沿岸水系不同程度的额外贡献。尽管由陆架至海盆的沉积路径系统有待进一步约束，本研究强调深水沉积进行碎屑物源分析的必要性，这对解耦物源、气候和构造等控制因素和提取环境演化信息至关重要。

S17-O-08

陆架边缘三角洲-海底扇的源—汇耦合及其控砂作用与成因机制

龚承林[1,2]*，彭旸[1,2]，李东伟[1,2]，王英民[1,2]

1 油气资源与探测国家重点实验室，中国石油大学（北京），北京 102249

2 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249

* chenglingong@cup.edu.cn

由陆到洋的源-汇系统研究是当前地球科学的前缘，但因母源区因过于复杂或缺少资料而难以恢复，这导致其工业化应用成源-汇系统研究中的瓶颈所在。针对这一瓶颈，研究指出三角洲（背景“源”）、峡谷水道（输送“渠”）和浊积扇扇（沉积“汇”）组成了次一级的洲-扇源-汇系统。洲-扇源-汇系统将深水沉积环境中最具勘探价值的沉积体（据统计，2010 年以来新发现的常规油气储量中在陆架边缘三角洲-海底扇沉积系统中占比超过 43%）纳入到一个由源到汇的系统中进行研究，为解决源-汇系统的工业化应用提供了新思路。

围绕“洲-扇源-汇”，利用 Dionisos 正演模拟了中中新世珠江陆架边缘三角洲-海底扇的源-汇耦合过程，进而结合地震和钻测井资料；研究揭示了三种洲-扇耦合关系及其成因机制：（1）有州有扇—供源洲前方有顺畅且连通的洲扇耦合关联（输送渠），砂体由州到扇搬运分散形成海底扇，形成有洲有扇的源-汇格局；（2）有州无扇—供源洲前方由缺少输送渠而不能将沉积物搬运到深水盆地，形成有州无扇的源-汇格局；（3）无洲有扇—供源洲所提供的沉积物被沿岸流搬运到侧方的峡谷头部而再次被搬运到深水盆地形成海底扇，形成无洲有扇的源-汇格局。由此可见，顺畅且连通的洲扇耦合关联（输送渠）是沉积物向深水中搬运分散形成海底扇的重要保障。换言之，无论相对海平面下降有多大（可容空间驱动的层序地层学模式）亦或沉积物供给有多强（物源供给驱动的层序地层学模式），如若缺少顺畅且连通的洲扇耦合关联亦不能将沉积物由洲到扇搬运，形成油气储层。

此外，中中新世珠江洲扇 Dionisos 正演模拟结果揭示，海平面下降速率“缓慢下降→快速下降”的突变面可以将下降体系域分割为“下降体系域早期和下降体系域晚期”两个阶段。这一海平面变化速率突变面对应海平面变化曲线上下降体系域阶段与同一三级层序内平均海平面的交汇处，是海底扇开始大规模发育的“起始面”。海平面变化速率突变面：是陆架边缘可见顶超的不整合面，是陆架坡折迁移轨迹的运动方式“平坦→下降”的分界面，是陆缘斜坡进积体的叠置样式“进积加积复合型→进积主导型”的转换面。利用这些特征识别海平面变化速率突变面有助于更加精准地预测海底扇。

S17-O-09

深水盆地拆离断层发育与区域源汇系统转变

雷超[1,2]*，任建业[1,2]，解习农[1]，裴健翔[3]

1 中国地质大学（武汉）海洋学院海洋地质资源湖北省重点实验室，武汉 430074；

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458；

3 中海石油（中国）有限公司湛江分公司，湛江 524057；

* clei@cug.edu.com

大洋钻探、深反射地震剖面、折射地震剖面和保存在造山带中的被动陆缘残余结构揭示深水、超深水盆地的结构构造和沉积充填特征与陆内裂谷、被动陆缘大陆架盆地的具有显著的差异性。本报告以琼东南盆地中央坳陷为研究对象，研究查明中央坳陷下伏是由一系列拆离断层控制的强烈减薄陆壳组成，拆离断层控制了“宽、深”裂陷，裂陷内充填了巨厚的新生代沉积物。对渐新统地层开展了碎屑锆石 U-Pb 定年分析，查

明早渐新世琼东南盆地为近源物源，而晚渐新世红河物源可沿莺歌海盆地进入琼东南盆地中央坳陷东部区域。结合区域对比研究发现琼东南盆地中央坳陷早渐新世近物源转变为晚渐新世远物源位置的沉积特征主要与拆离断层强烈减薄陆壳在中央坳陷形成沉积物大型可容难空间有关。

S17-O-10

高频湖平面变化下浅水漫湖沉积特征与砂体叠置模式—以川西坳陷中段上侏罗统蓬莱镇组为例

纪友亮[1]*，刘君龙[1]，杨克明[2]，王天云[1]

1 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室，北京 102249

2 中国石油化工股份有限公司西南分公司，四川成都 610081

* jiyouliang@cup.edu.cn

川西坳陷在蓬莱镇组沉积期，地形平缓，构造活动稳定，水体较浅，发育了一套以浅水三角洲-漫湖为主的沉积体系，受短期气候旋回的控制，具有“湖岸线控砂”的特点。本文基于高分辨率层序地层学理论，通过对野外露头、岩心、分析化验和钻井资料的综合利用，阐明了发育在湖平面频繁变化背景下浅水漫湖沉积特征，总结了砂体垂向叠置关系和平面分布规律，最后建立了浅水漫湖沉积体系砂体叠置模式。研究结果表明：（1）分流河道和滩坝是研究区内浅水漫湖沉积体系的主要微相类型；（2）分流河道垂直于湖岸线分布，滩坝平行于湖岸线分布，在高频层序发育过程中，由于湖浪淘洗、河流进积等因素的改造，浅水漫湖沉积砂体经历了沉积-破坏-再沉积的过程，在平面上表现为分流河道切割多期平行于湖岸线的滩坝砂；（3）多种成因砂体叠置模式可以分为四种，分别为同期同相自旋回叠置模式、同期异相自旋回叠置模式、不同期同相异旋回叠置模式、不同期不同相异旋回叠置模式；（4）除了分流河道砂体，受岸线控制的河口坝-滩坝叠覆体也可以作为优势储层，是下一步勘探的主要目标。

S17-O-11

渤中凹陷南部东营组重力流沉积对池状微地貌的充填响应

李东伟[1,2]，龚承林[1,2]*，刘濮毓[1,2]，王英民[1,2]，王涛[1,2]

1 油气资源与探测国家重点实验室，中国石油大学（北京），北京 102249

2 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249

* chenglingong@cup.edu.cn

重力流沉积对微地貌的过程响应是当前深水沉积领域的研究热点。本文以渤海湾盆地渤中凹陷南部东营组为例，基于最新处理的大连片三维地震资料，揭示了研究区内重力流的发育演化与沉积序列对微地貌充填的过程响应。研究表明：研究区东二上层序发育湖退体系域和湖扩体系域，其中湖扩体系域识别出砂质碎屑流、浊流沉积和半深湖-深湖泥岩沉积；湖退体系域识别出三角洲、滑块、滑塌、砂质碎屑流和碎屑流-浊流沉积。湖扩体系域砂质碎屑流和浊流沉积主要发育在两个面积分别约为 260km² 和 75km² 的池状微地貌 M1、M2 内，表现为弱振幅-杂乱反射和弱振幅-前积反射特征。湖退体系域砂质碎屑流发育在面积约 110km² 的池状微地貌 M3 中，表现为强振幅-杂乱反射特征。其中以 M1 为代表的微地貌之上湖退体系域发育有滑块、砂质碎屑流、碎屑流-浊流的沉积序列，以 M2 为代表的微地貌之上湖退体系域发育有三角洲、滑塌、碎屑流-浊流的沉积序列。三个池状微地貌均在南东向接收沉积物充填，经北西向的小型溢出豁口向深湖区方向继续搬运沉积物。池状微地貌发育砂质碎屑流的实质是在物源供给

持续的条件下，砂泥混杂的重力流沉积物于池状微地貌内不断堆积，并经过豁口溢出，使得粗粒沉积物在池状微地貌内滞留堆积并形成优质储集体，细粒沉积物经豁口向深湖区搬运。池状微地貌内沉积充填研究可为陡坡地貌背景下优质储层的寻找提供一定的理论支持。

S17-O-12

鄂尔多斯盆地三叠纪巨型湖相洪水型浊积岩体系

陈鹏[1,2]，鲜本忠[1,2]*，李美俊[1,2]

1 油气资源与探测国家重点实验室，北京 102249
2 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249
* xianbzh@cup.edu.cn

浊积岩被认为是海底和湖底的重要沉积充填组分，但一直以来，对于古代湖相浊积岩体系形成和发育机理的研究却鲜有报道。本文开展了三叠纪鄂尔多斯湖浊积岩体系沉积过程和沉积构型的研究，以期为理解古代湖相浊积岩体系提供崭新视角。通过对全盆地 3820 口钻井内浊积岩层的追踪，得出三叠纪鄂尔多斯湖浊积岩体系面积超过 25,653 平方公里，代表了世界上现有记载的现代和古代湖相浊积岩体系的最大规模。一方面，巨型陆内拗陷盆地的属性为该浊积岩体系的发育提供了相对非限制性的沉积环境，解释了其广阔的沉积范围；另一方面，三叠纪卡尼期的“洪积事件”导致大规模洪水频发，进而携带大量陆源碎屑物质向湖盆中心不断涌进。与滑塌型浊流显著不同的是，洪水型浊流（也称异重流）最开始以紊流性质的流体携带陆源碎屑物质直接注入水体，并随着与河口距离的增加，形成底床载荷减少、悬浮载荷增加的沉积特征。共揭示出五类的沉积构型单元，分别为侵蚀型水道、过渡型水道、沉积型水道、溢岸和朵体，反映了水动力由强变弱的过程，并建立了这些构型单元在岩心和测井尺度的定量—半定量识别标准。此研究表明，在极端气候条件下，洪水作用可以在湖泊中形成大型的、有规律展布的浊积砂岩体系。这改变了湖泊环境难以发育大型浊积砂岩体、难以找到与海相深水浊积体相比拟的浊积岩油气田的传统认识，也为大型湖泊浊积体系的油气勘探开发提供了预测性地质模型。

S17-P-01S

南海北部神狐海域沉积物粒度特征及其与水合物饱和度关系

罗坤文[1,2]，苏明[1,2,3]*，方允鑫[4]，匡增桂[4]，杨承志[4]，梁金强[4]，梁超[5]，陈慧[1,3]，林智轩[1,2]，王策[1,2,3]，雷亚平[1,2,3]，刘姗[1,2,3]，Dorrik A.V. Stow[6]

1 中山大学海洋科学学院，珠海 519082
2 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室，广州 510006
3 南方海洋科学与工程广东省重点实验室（珠海），珠海 519000
4 广州海洋地质调查局，广州 510075
5 西北大学地质学系，西安 710069
6 Institute of Geo-Energy Engineering, Heriot-Watt University, Edinburgh EH14 4AS, Scotland, UK.
* suming3@mail.sysu.edu.cn

天然气水合物细粒储集体在世界范围内得到了广泛的研究，其中位于南海北部陆坡的神狐海域是世界瞩目的天然气水合物勘探区。然而，对细粒水合物储层的岩性、物性和沉积成因的研究尚未充分展开。探索沉积物粒度参数对高质量细粒储层的影响机理将会是水合物勘探的一个关键突破点。

综合高分辨率地震特征、沉积物粒度特征如 8-63 μm 组分含量、粒度、分选系数、偏度、峰度等参数以及相关的双变量和聚类分析结果，表明含水合物层与上部不含水合物层存在明显的沉积差异。钻遇水合物的站位其粗粉砂含量在垂向上呈下部多、上部少的特点，其分界线与含水合物层顶界近似重

合。G 井未固结的含水合物沉积层中，其孔隙度(52% ~ 64%)和分选系数(1.7 ~ 2.2)变化有限，而高水合物饱和度(>30%)出现于含水合物层的顶部。饱和度与最粗百分位粒度（C）呈正相关(R=0.55)，表明粗粒度/粒度越大，孔喉直径越大，初始渗透率和储层物性越好。

C-M 模式图和地震反射特征表明，下部含水合物的薄层细粒沉积可能为细粒浊积复合体，包括水道/天然堤/朵叶和块体搬运沉积。在这种情况下，更强水动力的浊流可以输送和沉积粒径更大、粒度更粗的沉积物，从而提供更好的储层物性，有利于水合物的形成和聚集。本研究探索了第四系细粒浊积岩与水合物饱和度的关系，有助于进一步认识包括南海神狐地区在内的全球范围内细粒水合物储层的特征和发育。

S17-P-02S

莺歌海盆地东部上中新世半封闭浅海大型深水沉积体系发育机制

王震 [1], 鲜本忠 [2,3]*, 刘景彦 [1], 黄捍东 [3], 范彩伟 [6], 李辉 [6], 张晰蒙 [5], 谭建财 [6]

1 中国地质大学（北京）能源学院, 北京, 100083
2 油气资源与探测国家重点实验室, 北京, 102249
3 中国石油大学（北京）地球科学学院, 北京, 102249
5 中国石油华北油田分公司, 任丘, 062552
6 中国海洋石油湛江分公司, 湛江, 524057
* xianbzh@cup.edu.cn

除了陆坡及深海平原以外，陆架浅海中重力流沉积日渐引起广泛关注。为了探索陆架浅海中大型重力流发育的环境条件和沉积规律，本文利用 3D 地震、钻测井和地震反演数据，对莺歌海盆地上中新统开展了层序地层格架内古地貌恢复和重力流沉积单元识别、分布及演化研究。上中新统可识别出 2 个三级层序（SQh2 和 SQh1），地层及深水沉积的平面分布受控于不同的坡折。在 SQh2 识别出海底扇（也称陆架扇）和水道。陆架扇可分为低位早期扇、低位晚期扇和高位扇。低位早期扇规模最大（面积＞700km^2），分布于该时期的沉降中心，受控于向盆方向、先存断裂成因的挠曲坡折带。水道分为与斜坡走向基本一致的轴向水道和与斜坡倾向一致的顺向水道。顺向水道的形成受控于 10.5Ma 全球海平面的大幅下降引发的河道下切。而轴向水道规模大（最大砂岩厚度＞200m），其形成除了全球海平面的大幅下降外，还受控于先存断裂的活化作用。

半封闭陆架浅海大型深水沉积体系的发育受特殊的环境条件限制。半封闭海湾地貌使得大量陆源沉积物汇聚于盆内而不是向外海继续输运，构造差异沉降控制了次级沉降中心的形成，保障了其相对独立的源汇系统，对低位大型海底扇的形成具有重要意义。构造活动、充沛的物源供给及大幅度海平面下降是半封闭陆架浅海大型富砂重力流沉积体系发育的主控因素。断裂活动除了直接提供重力流沉积的触发机制外，还通过断裂坡折、挠曲坡折的发育而控制重力流的发育和沉积位置。海平面大幅度下降不仅增强了河道下切作用而促进大型水道的发育，还导致水深有限的半封闭海湾原水下区域的大面积暴露，促成低位时期大型海底扇的发育。陆架浅海大型深水沉积体的研究对深化不同背景下重力流沉积规律，开辟油气勘探新领域具有重要意义。

S17-P-03

东非坦桑尼亚深水扇沉积特征—来自东非裂谷活动的制约

陈宇航 [1,2], 姚根顺 [2], 吕福亮 [2], 唐鹏程 [2], 邵大力 [2], 鲁银涛 [2], 曹全斌 [2]

1 西安石油大学地球科学与工程学院，西安 710065
2 中国石油杭州地质研究院，杭州 310023
* cyh@xsyu.edu.cn

近年来，在东非海域深水盆地连续获得油气勘探重大突破。目前对该地区研究多集中在东非裂谷活动前的沉积地层内，但对裂谷活动后发育的深水扇沉积特征及其相关源-汇过程仍不明确，制约该地区进一步油气勘探工作。本研究以坦桑尼亚南部海域深水扇为目标，利用测井及三维地震资料，精细刻画深水扇沉积分布规律及内部结构，同时结合区域构造特征，揭示东非裂谷活动对深水扇沉积的控制作用。

坦桑尼亚南部海域位于东非裂谷系构造带内，平均水深超过 1500m。中新世以来，东非裂谷活动导致东非大陆抬升，物源供给增强，陆架早期沉积物由于重力失稳，向东部深水区滑移，形成巨大的褶皱推覆带，同时在褶皱推覆带前端形成一系列大型陆坡峡谷。由于海底断层活动发育，在研究区东部陆坡末端形成海底地堑。

通过测井、地震相和三维海底地貌综合分析，发现重力流主要通过陆坡峡谷向东部深水区搬运，峡谷内沉积受物源物供给和陆坡海底形态的控制。连接陆架河流的峡谷物源充足，重力流对峡谷下伏地层侵蚀明显，峡谷规模大，峡谷内以侵蚀作用为主，沉积物局限分布在褶皱的翼部及峡谷开口处平缓区域；没有和河流连接的峡谷物源供给不足，无明显沉积，峡谷规模较小。峡谷间发育大型丘状漂积体，偏泥质沉积，为向北流动的深层底流与峡谷内重力流交互作用的产物。研究区陆坡被海底地堑的边界断层切割，导致陆坡变短（50km），且在陆坡末端形成陡峭的断层崖(坡度 15°)，因此海底滑塌发育，导致峡谷末端突然变陡，与典型的峡谷末端趋于平缓明显不同。同时由于陆坡较短，峡谷前端并不发育水道及朵体沉积，这也与西非陆缘典型的深水扇沉积体系有明显区别。陆源物质经峡谷输送到东部海底地堑内，形成大规模的富砂朵体沉积，为有利的储集砂体。朵体分布受断层控制，呈南北向延伸，与物源方向垂直。而在远离陆地的地堑东缘，由于断层活动，海底滑塌发育，形成的泥质沉积被搬运至地堑内部，与朵体混合，可能会影响砂体的储集性能。

基于研究结果，建立了东非坦桑尼亚海域深水扇沉积模式：受东非裂谷活动构造抬升影响，坦桑尼亚陆缘物源供给充足，大量陆源物质沿陆坡峡谷向深水区搬运。由于断层活动，陆坡陡且短，在陆坡处重力流沉积分布局限，且峡谷内重力流侵蚀下伏地层，因此陆坡并非沉积物卸载区，陆坡处被剥蚀的物质随陆源物质一起搬运至东部的深海地堑中，成为主要的沉积物汇聚区。除西部的陆源供给外，地堑东缘边界断层活动引发的海底滑塌，为深海地堑提供了另一处物源。受东非裂谷活动影响，东非陆缘深水扇双向物源模式与传统被动大陆边缘盆地的单向物源的模式明显不同。本研究揭示了东非裂谷活动对深水扇沉积的控制作用，有助于完善深水沉积的源—汇过程研究，并为深水储集砂体预测提供新的理论依据。

S17-P-04S

深水渠堤系统沉积结构数值模拟

李阅，胡鹏*

1 浙江大学海洋学院，舟山 316021

* pengphu@zju.edu.cn

异重流广泛发生在水库、河口、海底，它能够进行泥沙的长距离输移并塑造深海地貌。异重流的不同泥沙来源以及不同泥沙组分会产生不同的沉积结构。本文应用基于存储层模式的二维层平均异重流数值模型并对深水渠堤系统进行了数值模拟。此模型将存储层进行三维划分存储相关级配信息并与二维层平均异重流数值模型耦合，实现了用二维模型描述河床三维结构，平衡了计算效率及精度。本次模拟研究了两组高浓度异重流（泥沙浓度分别为 14%和 27%）在斜坡-平坡初始地形上的沉积特征：包括异重流沉积物的沉积形态和异重流沉积物内部的粒度特征。首先，不同浓度的异重流都能在宽广的盆地内形成了明显的扇形沉积体，大多数的沉积扇由沟渠，堤坝，叶瓣组成。

其次，对于较低浓度（14%）的异重流沉积物粒径沿程减小，垂向无明显结构。较高浓度（27%）的异重流沉积物在中部含有较粗块状砂粒，表层形成层状，中部粒径由内向上下边缘方向逐渐减小，最细的砂粒则沉积在盆地末端。

S17-P-05

湖相裂谷盆地碎屑流主控的深水滑塌系统沉积过程、结构及模式：以渤海湾盆地东营凹陷始新统为例

刘建平[1,2,3,4,5]，鲜本忠[3,4]，张莉[1,2]*，苏明[5]

1 广州海洋地质调查局海底矿产资源重点实验室，广州 510760
2 广州海洋地质调查局海洋石油天然气地质研究中心，广州 510760
3 油气资源与探测国家重点实验室（中国石油大学（北京）），北京 102249
4 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249
5 中山大学海洋科学学院，珠海 519082
* zhangli20cn@21cn.com

滑塌型重力流是深水环境沉积物搬运和分散的重要机制，其相关的砂岩储层是含油气盆地勘探的重要目标。东营凹陷始新统沙三中亚段沉积时期，东营三角洲前端发育了大规模滑塌成因碎屑流主控的深水系统。本文基于岩心、测井及全三维地震资料，针对沙三中亚段滑塌型重力流的岩相特征、流体成因、沉积结构单元、沉积过程及演化模式开展研究。结果表明，滑塌型深水体系发育九种基本的异地搬运岩相类型，可进一步概括为四大类沉积，代表了块体及流体两大搬运过程。岩相定量统计分析表明，研究区滑塌型重力流系统以碎屑流为主导，浊流沉积很少，碎屑流中又以砂质碎屑流为主。沙河街组滑塌型重力流在搬运过程经历了完整的滑动、滑塌、砂质碎屑流、泥质碎屑流及浊流的演变，对应发育五类主要的深水沉积结构单元，分别是滑动体、滑塌体、碎屑流水道、碎屑流朵体及浊积薄层砂，不同演化阶段的流体性质差异控制了结构单元的发育类型及充填样式。从发育规模及储层物性上，相比泥质碎屑流，由砂质碎屑流主导的水道、朵体构成了本区重要的深水优质储层类型，砂质滑动体由于继承了三角洲前缘砂体的结构特性，也具备重要的储层价值。认为沙三中时期充足的物源供给和三角洲前缘的高沉积速率及裂陷期频繁的断层活动是滑塌型重力流发育及分布的主控因素，最终基于沉积过程、沉积样式及盆地地貌综合建立了本区碎屑流主控的深水滑塌体系沉积模式。本论文的研究以期为进一步丰富湖相深水沉积理论及深水滑塌系统油气勘探提供参考。

S17-P-06S

末次冰消期以来东海大陆边缘沉积物钼同位素富集机制及其对氧化还原环境演化的指示

孙呈慧[1,2]，窦衍光[1,3]*，邢淑晓[1,2]，赵京涛[1,4]，蔡峰[1,4]，陈晓辉[1,4]，李军[5]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071
2 中国地质大学（北京），北京 100083
3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室 青岛 266061
4 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室 青岛 266061
5 中国地质调查局武汉地质调查中心，武汉 430205
* douyanguang@gmail.com

大陆边缘海洋沉积物是自生钼重要的汇。相比研究程度很高的缺氧环境，典型大

陆边缘氧化还原环境的详细研究相对有限。这些环境中的钼同位素特征在典型的氧化和静水还原特征之间变化，其特征与有机碳循环、底层水演化存在密切关系。本研究的目的是利用冲绳海槽 OKT-1 岩芯重力活塞沉积物，分析末次冰消期以来东海大陆边缘海洋环境中钼同位素及氧化还原敏感微量金属（U、Cr 和 Mo）变化特征，探讨同位素富集机制及其古环境指示意义。研究发现，$\delta^{98/95}$Mo 值在-1.31‰~0.11‰间变化，Mo 元素含量在 0.29~2.56 ppm 间，两指标自 17 ka 以来逐渐降低，与元素 Mn 含量变化趋势相反，OKT-1 岩芯呈现次氧化至亚氧化环境条件，且在中全新世时期发生转变。低海平面时期（17~7 ka），陆源输入导致沉积物中有机碳通量高，加之底层水流通缓慢，导致沉积物-水界面厘米范围内的贫氧条件，$\delta^{98/95}$Mo 值偏正，氧化还原敏感的微量金属（U、Cr 和 Mo）积累。尤其是此阶段前期（17~13 ka）富含有机质、Mo 含量最高，呈现微还原环境，可能与自生黄铁矿的硫酸盐还原作用有关，使得 Mo 富集。高海平面时期（7~0 ka），陆源输入减少生产力降低，亚氧化条件下，钼主要孔隙水中，Mn 氧化物吸附的钼含量小于低海平面时期硫酸盐还原作用富集的钼。7 ka 时期氧化还原的变化可能与冲绳海槽底层水流通性增强有关。

S17-P-07S

中沙海槽重力流沉积发育演化及控制因素研究

陈俊锦[1,2]，秦永鹏[1]，吴时国[1,2]*

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

2 中国科学院大学，北京 100049

* swu@idsse.ac.cn

重力流广泛发育于全球大陆边缘深水区，是将沉积物从浅水陆架向深水盆地搬运的重要沉积过程，在“源-汇”研究中占有重要地位，且与油气和天然气水合物成藏具有密切的关系。根据中沙海槽新采集的二维多道地震数据，结合邻区钻井资料，对地震资料进行精细地层解释，建立中沙海槽的层序地层格架，进而分析了中沙海槽重力流沉积的发育特征及演化期次，综合讨论了中沙海槽重力流沉积的成因机制，建立中沙海槽重力流沉积模式。中沙海槽东部紧靠中沙碳酸盐台地，台地周缘发育大量海底滑坡和峡谷，是重力流向中沙海槽搬运的良好通道。研究表明，中沙海槽从老到新划分为 6 个层序地层：古近系、下中新统、中中新统、上中新统、上新统和第四系。中沙海槽重力流沉积的发育时期具有差异性：中沙海槽中部的重力流沉积主要发育于晚中新世至今，在晚中新世晚期和上新世晚期分布范围较广，同时，上新统和第四系识别出了多期块体搬运沉积体系；中沙海槽北部的重力流沉积主要发育于早中新世和中中新世，晚中新世至今主要发育了半深海沉积。中沙海槽重力流沉积的发育演化主要受沉积物来源、海平面变化与气候等因素的共同控制。该研究结果有助于提高对中沙海槽重力流沉积规律的认识，对进一步分析中沙碳酸盐台地的发育演化具有指示意义。

S17-P-08

钙质软泥海底滑坡的触发机理及失稳过程—以澳大利亚西北缘深海地区为例

吴南*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* nanwu@tongji.edu.cn

海底滑坡 (Mass-Transport Complexes) 广泛分布在大陆边缘的外陆架、上陆坡、海底峡谷或深海局部隆起之上。前人对海底滑坡的研究多集中在陆架边缘-陆坡地带，因此经典的滑坡模式建立于硅质碎屑沉积物为主的地层中。深海地区钙质软泥沉积物富集，然而，由于缺乏钻井数据与高精度地震

反射数据，且钙质软泥自身性质（岩石物理性质、岩石力学性质）与硅质碎屑沉积物差异明显。因此，针对深海钙质软泥滑坡的触发机理研究较为薄弱，已有的硅质碎屑滑坡沉积模式无法应用于钙质软泥滑坡的研究中。

本文以澳大利亚西北缘深海地区（水深约 1200 米）钙质软泥沉积物为研究对象，在对该地区高精度三维地震反射数据、大洋钻探数据进行解释分析的基础上，揭示深海钙质软泥海底滑坡的触发机理及其失稳过程。研究区内发育一期大型钙质软泥滑坡沉积体（约 170-300 米厚，展布面积大于 1050 km^2）。该滑坡沉积体内部发育两类差异明显的大型块体（地垒型块体和地堑型块体）。地垒型块体约 210-300 米高、170-210 米宽、800-1200 米长，内部地震反射完整，变形程度低。块体厚度随滑坡搬运方向而减少，而其内部变形程度随滑坡搬运方向而增加。地堑型块体约 160-260 米高、190-230 米宽、800-1200 米长，内部地震反射杂乱、变形程度剧烈。地堑型块体底界面上发育“V”型，气烟囱状构造并向上连通至块体顶界面处。本研究发现内部变形程度较低的地垒型块体只经历了有限的（约 20-70 米）横向搬运距离。内部变形程度较高的地堑型块体，其内部变形主要由基底沉积物中的孔隙高压液体纵向喷涌所伴生的水力压裂造成。在此基础上，本研究总结认为深海钙质软泥沉积物中沉积物超压的形成与释放会影响海底不稳定程度，并最终触发海底滑坡现象。

S17-P-09S

南海西沙海槽表层沉积物的物质来源：来自碎屑锆石 U-Pb 年代学的制约

崔贺旗，王策*

1 中山大学海洋科学学院，珠海 519082

* wangce@mail.sysu.edu.cn

西沙海槽位于南海北部陆坡的西北部，西沙群岛的北部，是一个近东西向的弓形海槽。西沙海槽地理位置特殊、海底环流交互明显、沉积物供给复杂，是认识南海西北部构造演化、沉积特征、气候和海平面变化的关键位置。前人主要通过地球物理、地球化学等分析手段，围绕西沙海槽渐新世以来的沉积序列，开展物质来源、构造特征、底层环流等研究工作，进而揭示沉积区的沉积演化过程及其影响因素。然而，这些研究主要集中于中新统及以下的深部区域，对表层沉积物关注相对较少，缺少地球化学方法对表层沉积物源区的系统研究。本次研究通过对西沙海槽表层沉积物中碎屑锆石 U-Pb 年代学分析，结合越南、海南岛、扬子克拉通西南部已有的碎屑锆石年龄数据，在此基础上探讨西沙海槽表层沉积物的物质来源，刻画陆源碎屑沉积物的输送路径，为南海西北部“源-汇”过程研究提供基础

研究结果显示，西沙海槽表层沉积物年龄结构相对复杂，存在 160 Ma、225 Ma 和 420 Ma 三个主要年龄峰，以及 99 Ma、800-900 Ma 和 1850 Ma 三个次要年龄峰。与海南岛、扬子克拉通西南部，以及越南东部主要入海水系的现代沉积物锆石年代学数据对比发现，99 Ma 与 160 Ma 年龄峰是海南岛物源的重要组合标志，代表了海南岛物源对西沙海槽的重要影响。相比之下，年龄频谱中的晚中生代、早古生代、新元古代与极少量新太古代锆石颗粒主要来自扬子克拉通西南部，通过红河水系进入北部湾海域，再经过海洋的搬运作用进入到西沙海槽。西沙海槽沉积物中越南中部河流年龄信息不明显，表明越南中部源区对研究区的贡献相对较小。整体来看，西沙海槽沉积物的碎屑锆石年龄谱分布与红河水系相似度较高，同时存在海南的锆石年龄组合标志，因此判断西沙海槽表层沉积物以红河流域和海南岛为主要物源区。此外，研究还显示西沙海槽不同位置表层沉积物的锆石年龄结构存在一定的差异，表明源区相对位置和地形变化可能是影响物源空间变化的主要因素。

S17-P-10S

澎湖峡谷群表层沉积物碎屑锆石 U-Pb 定年及其物源意义

曾乐田，王策*

1 中山大学海洋科学学院，珠海 519082

* wangce@mail.sysu.edu.cn

海底峡谷作为陆架与深海海盆的重要连接，是陆源沉积物向深海运输的重要通道，也是大陆边缘源-汇系统的重要组成部分。南海北部陆坡发育多条大型海底峡谷，新生代以来，大量陆源碎屑物质通过这些海底峡谷进入到南海深部区域，显著地影响着南海沉积物质的组成和分布。澎湖峡谷群位于南海东北部陆坡，东与台湾造山带相接，北与台湾浅滩相连，峡谷发育众多水道，大部分水道向南发育汇入马尼拉海沟，是一个由“分支峡谷-主干峡谷-海沟”构成的树枝状峡谷体系。前人通过地球物理的方法对澎湖峡谷群的地貌形态、沉积特征、构造演化等方面已开展众多研究，然而对于沉积物来源的系统研究较少，缺乏通过地球化学手段对沉积物源区进行系统分析。本研究通过对来自澎湖峡谷群的表层沉积物中碎屑锆石进行 U-Pb 年龄测试，并结合菲律宾吕宋岛、我国台湾岛以及东南沿海河流的碎屑锆石 U-Pb 年龄数据进行对比分析，在此基础上探讨澎湖峡谷群沉积物来源，揭示影响物源空间变化的主要因素，为该区域“源-汇”系统的构建提供重要信息。

研究结果显示，海底峡谷沉积物的锆石年龄主峰均在 112 至 160 Ma 之间，部分存在 400、800、1800 和 2500 Ma 的次级峰。随着水深的增加，样品的年龄峰数量增加，锆石年龄频谱更为复杂。通过与我国大陆东南部及台湾部分现代河流沉积物中的碎屑锆石 U-Pb 年代学数据对比，发现出现较为年轻峰值而缺少新元古代、古元古代峰值的沉积物主要是来自于大陆东南沿海，而出现的年龄峰值较老且与台湾浊水溪峰值较为相似，则主要来自于台湾河流。由于澎湖海底峡谷中水深较深的沉积物锆石年龄峰值较为复杂，初步认为大陆东南部沿海以及台湾河流对该区域沉积物均有一定的物质贡献。此外，台湾浅滩南部的不同位置沉积物的年龄峰值有所差异，指示了完全不同的物质来源，表明海底地形和物源区的相对距离对沉积物的搬运过程有重要影响。

S17-P-11S

西非下刚果盆地上中新统水道-朵叶复合体发育演化及其对微盆地充填过程的响应

许鸿翔[1,2]，龚承林[1,2]*，齐昆[1,2]，朱一杰[1,2]，戈道瑶[1,2]，陈燕燕[1,2]

1 油气资源与探测国家重点实验室，中国石油大学（北京），北京 102249

2 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249

* chenglingong@cup.edu.cn

被动大陆边缘的含盐盆地内水道-朵叶复合体的发育演化明显受到盐构造相关复杂海底地貌的影响，是深水沉积对盐构造控制的陆坡演化过程的响应和沉积物分布研究的前缘及热点。本文以西非下刚果盆地盐底辟过渡区为例，充分利用三维地震资料和地震分频-三色混相技术，揭示研究区内深水水道-朵叶复合体的发育演化及其对微盆地充填过程的响应。研究表明：研究区内主要发育东、西两条线形排列的盐构造和以 M2、M3 为代表的 4 个微盆地，在盐构造控制的地形复杂的陆坡之上发育南、北两个水道-朵叶复合体，在其内部共识别出供给水道、主干水道、水道化朵叶和席状朵叶 4 类不同的深水沉积单元。以 M2 为代表的小型微盆地内水道-朵叶复合体充填过程主要分为早期浊流滞留、中期浊流超覆、晚期浊流沉积过路 3 个阶段，其内部强振幅席状砂体呈进积式叠置模式；以 M3 为代表的大型微盆地内水道-朵叶复合体充填过程主要分为

早期浊流滞留、中期浊流剥离、晚期浊流沉积过路 3 个阶段，其内部强振幅席状砂体呈退积式叠置模式。水道-朵叶复合体在微盆地的充填本质上是沉积物堆积速率逐渐增大，盐构造生长速率逐渐减小，浊流不断堆积最终使得微盆地填平补齐、可容空间减小至零的动态过程。微盆地内部主要沉积物的演化特征为早期水道化朵叶-中期席状朵叶-晚期半深海沉积。

S17-P-12S

南黄海西部陆架区 MIS2 时期埋藏古河道特征及古环境研究

孙一方[1]，宋召军[1,2]*，王新如[1]，王文宇[1]，任向文[3]

1 山东科技大学地球科学与工程学院，青岛 266590

2 青岛海洋科学技术国家实验室，海洋地质实验室，青岛 266061

3 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿重点实验室，青岛 266061

* songzhaojun76@163.com

南黄海西部陆架区的海平面在末次冰期经历了两次较大的上升和下降。在末次冰期晚期（MIS2 时期），由于气候寒冷，全球处于低海平面时期，导致南黄海西部陆架大面积出露，在此期间，陆架上发育了许多河流，后因气候逐渐变暖，海平面也随之升高，陆架上的河流被埋藏，形成了埋藏古河道。埋藏古河道是一种海底埋藏沉积地质体，对海上工程施工存在直接或潜在害，因此埋藏古河道物源示踪以及古环境的研究，对了解我国东部陆架海沉积物来源、环境变迁和解决陆架开发中的工程问题有一定的实际意义，也可以为研究同时期全球古河道以及气候和环境变化提供重要的信息。

（1）通过 NT1、NT2 孔的稀土元素进行物源示踪，并结合常量元素，轻、重矿物以及粘土矿物组合，得知 NT1 孔在 MIS2 时期以黄河物源为主；NT2 孔在 MIS2 时期以长江物源为主；（2）通过对南黄海西部陆架区的高分辨率、加密浅地层地震剖面进行了挑选和解译，并通过浅地层剖面图以及 MIS2 时期古河道断面特征参数，对 MIS2 时期研究区的古河道断面形态特征、河型河性进行判别，结果表明，MIS2 时期研究区的古长江和古黄河河道主要以复式河道为主，古长江河道中 U 形和 V 形河道少于古黄河，平底河道比古黄河多，连续多期河道明显多于古黄河；古长江的宽深比、切割深度以及流量皆大于古黄河，这表明，MIS2 时期南黄海西部陆架区上的古长江比古黄河发育规模更大，河床更不稳定；MIS2 时期古黄河河床主要为砾石河床，河型主要为分汊型，但优势不大；古长江河床主要为砂质河床，河型主要为分汊型。（3）通过自生黄铁矿和绿泥石的分布情况，Sr/Ba、SiO_2/Al_2O_3 比值和 CIA 指数以及孢粉组合特征等对南黄海西部陆架区古河道的环境进行了分析，结果表明，MIS2 时期研究区古长江和古黄河整体处于气候寒冷的环境，古黄河流域沉积环境以氧化环境为主，水动力条件较强且变化较大，化学风化强度较弱，植被类型为针叶林-草原景观；古长江流域沉积环境以还原环境为主，局部微环境为氧化环境，水动力条件变化较大且整体弱于古黄河，化学风化强度要强于古黄河，植被类型为针阔叶-草原景观。这表明在 MIS2 时期，研究区古长江和古黄河流域虽然处于气候寒冷的环境，但古长江流域气候要稍暖于古黄河流域。

S17-P-13S

湖相过渡-沉积型重力流水道沉积特征与砂体构型式—以鄂尔多斯盆地瑶曲铁路桥剖面延长组为例

田荣恒[1,2]*，鲜本忠[1,2]，晁储志[2]，刘建平[3,4,5]，张国栋[6]，王俊辉[1,2]，陈鹏[1,2]

1 油气资源与探测国家重点实验室，北京 102249

2 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249
3 自然资源部广州海洋地质调查局，广东 广州 510760
4 自然资源部海底矿产资源重点实验室，广东 广州 510760
5 中山大学海洋科学学院，广东 珠海 519000
6 山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队，山东 济南 250014
* tianrh1996@126.com

陆相深水重力流水道的类型细分及砂体构型样式的认识程度低，严重制约了其油气的勘探开发。本文针对鄂尔多斯盆地南缘瑶曲铁路桥剖面，通过剖面实测、水道形态参数统计及岩相、粒度等分析，开展了湖相重力流水道沉积特征、类型划分、成因分析与砂体构型研究。结果表明，研究区可识别出 4 期（I~IV）由单一水道组成的重力流复合水道，主要为洪水成因。根据内部单一水道及单砂体形态特征、岩相组成，将其细分为沉积型和过渡型复合水道。其中，剖面下部的两期复合水道为沉积型，单一水道宽度大、宽厚比大，呈似板状-透镜状，以悬浮载荷成因岩相为主，常见块状砂岩和鲍玛序列岩相组合；剖面上部的两期水道为过渡型水道，内部单一水道宽度变小、宽厚比降低，呈透镜状，水道之间切割性增强，横向稳定性降低，岩相以底床载荷与悬浮载荷共存为特征。根据水道内单砂体的叠置样式，将重力流水道分为三种砂体构型，其中沉积型水道属于稳定的垂向叠加样式，具有较大的宽厚比及较低的单砂体减薄率，砂体横向连通性好；过渡型水道则细分为不定向叠加和侧向拼接样式，其中侧向拼接式水道宽厚比以及砂地比明显减小，单砂层减薄率增高，砂体横向连通性较差；而不定向叠加式的水道宽厚比、单砂层平均减薄率、砂地比以及砂体连通性都介于稳定的叠加式与侧向拼接式之间。

S17-P-14

冲绳海槽中南段陆坡海底峡谷侵蚀-沉积结构及形成演化机制

李德勇[1,2]*，程宏岗[3]，徐淑娟[3]，李朝阳[4]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，海底科学与探测技术教育部重点实验室，山东青岛 266100
2 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，山东青岛 266237
3 中国石油勘探开发研究院，北京 100083
4 大连理工大学海洋科学与技术学院，辽宁盘锦 124221
* ldyc411@ouc.edu.cn

冲绳海槽中南段陆坡发育数量众多、规模不等、形态各异的海底峡谷，且天然气水合物相平衡模拟显示其蕴藏着丰富的水合物资源。本文基于钻井、反射地震、海底温度、热流以及多波速地形等数据和前人成果资料，对冲绳海槽中南段陆坡开展了海底峡谷地形地貌特征的分析与判识、层序地层时空格架的追踪与对比以及海底峡谷侵蚀-沉积特征的精细解释等研究，并在天然气水合物成矿前景预测基础上探讨了海底峡谷侵蚀-沉积演化与天然气水合物动态成藏的内在联系。结果表明，冲绳海槽中南段陆坡海底峡谷(C5 和 C6)地形地貌特征具有明显分段性：峡谷头部呈明显的 V 型下切，向上游逐渐过渡为谷肩开口变宽、下切深度变大的 V 型或 W 型，下游则呈现谷底开阔的 U 型，峡谷内部充填多期的滑动或滑塌块体流单元（MTD）；冲绳海槽中南段陆坡共识别出 T0（海底）、T1（LGM 末，23kyr B.P.）、T2（上新世末，2.58Ma）、T3（中新世末，5.33Ma）、T4（中中新世末，11.02Ma）以及 T5（早中新世末，16.12Ma？）六个典型不整合和层序界面，其中南段陆坡 T5 反射界面缺失，据地层时序可以推测冲绳海槽中南段陆坡海底峡谷开始形成于更新世早期并持续发育至今，期间发生过水道迁移甚至萎缩消亡；冲绳海槽陆坡海底峡谷的形成时

间与欧洲阿尔卑斯山脉、新西兰南阿尔卑斯山脉以及东非高山记录的第四纪冰期启动时间相当，且海底峡谷谷壁上与 BSRs 相伴生、内部呈叠瓦状反射特征的 MTD 块体和谷壁上的气体逃逸“缺口”等地质特征，均说明冲绳海槽陆坡海底峡谷的侵蚀-沉积演化与天然气水合物的动态发育存在着复杂的成因联系，其耦合演化模式可以划分为四个阶段：①早更新世冰期海平面下降-水合物分解-海底峡谷启动形成阶段；②海底峡谷持续下切、溯源侵蚀-水合物稳定带动态迁移阶段；③峡谷谷壁沉积物失稳、滑塌-甲烷逃逸渗漏的互促阶段；④峡谷侵蚀减弱、水道砂体充填-水合物再赋存阶段。

S17-P-15

海南岛东南海域现代表层沉积物物源示踪：来自碎屑锆石年代学约束

刘松峰[1,2,3]*，蔡观强[1,2,3]，李顺[1,2]，聂鑫[1,2]

1 自然资源部 中国地质调查局 广州海洋地质调查局, 广州 510760

2 自然资源部 海底矿产资源重点实验室, 广州 510075

3 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 广州 511458

* liusongfeng_cug@163.com

为探索海南岛东南海域现代表层沉积物来源，采用箱式取样法获取 16 个表层沉积物样品，进行锆石 U-Pb 年代学研究。结果表明，1546 个有效年龄分布在 66 ~ 3602 Ma 之间，KEDs（Kernel Density Estimators）图显示四个年龄主峰集中在燕山期(100 Ma 和 156 Ma)、印支期(242 Ma)和加里东期(439 Ma)，次要年龄峰区间集中在新元古代(700 ~ 900 Ma、900 ~ 1020 Ma)和古元古代(1700 ~ 1950 Ma、2370 ~ 2640 Ma)，并零星保留太古宙基底年龄信息。CADs（Cumulative Age Distributions）图显示样品主要曲线形态一致，与莺歌海和珠江口盆地物源具有较好的区分度，少量样品印支期及之后的锆石年龄占主导，类似于海南岛西部河流和莺歌海东岸靠近海南岛区域的物源曲线形态。MDS(Multidimensional Scaling)显示海南岛东南海域与莺歌海盆地、珠江口盆地的物源可分为 3 个群，相邻群之间有叠覆的特点。与潜在物源区对比分析表明，可排除红河、越南中部河流及珠江西部河流的输入，华夏地块、印支地块和扬子克拉通也不是其物源区，而注入海南岛东南海域的岛上河流流域覆盖区是其主要物源区，表现为搬运距离近，与相关入海水系流域区不同时代岩体和地层分布密切相关。海南岛东南海域现代表层沉积物主要去往琼东南盆地，很少或没有流向莺歌海盆地，而珠江口盆地可能接收了其部分物源。

S17-P-16

孤立碳酸盐台地源汇过程研究：以南海北部西沙海域孤立台地为例

秦永鹏*，吴时国

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

* qinyp@idsse.ac.cn

源汇过程是近年来海洋沉积学的研究热点，它将沉积物的形成、搬运与沉积过程看作一个整体，揭示了沉积物从内陆剥蚀区经过陆架、陆坡最终到达深海盆地沉积的过程。目前源汇过程的研究主要集中在硅质碎屑岩为主的大陆边缘，碳酸盐岩背景下的研究相对较少。孤立碳酸盐台地远离大陆边缘，不受陆缘碎屑影响，周边为半深水或深水环境，是处于开阔海中的碳酸盐台地。因为碳酸盐岩属于内源沉积物，它的形成、搬运与沉积过程都能围绕着孤立台地完成，因此孤立台地是一个相对独立的源汇体系。

我国南海北部西沙海域发育了大量新生代孤立碳酸盐岩台地，是研究孤立台地源

汇过程的良好场所。这些台地周缘重力流沉积体系的时空分布特征反映了碳酸盐碎屑的供给、搬运与沉积过程，是研究南海新生代以来古构造、古海洋与古气候演化的良好媒介。例如，相对海平面变化会影响台地顶部的碳酸盐生产率，进而控制重力流沉积的物源供给与分布范围；古季风会影响台地顶部沉积相带的分布以及水动力条件，进而控制台地周缘重力流的物源供给与分布范围；西沙隆起的古地形通过海底坡度的变化影响重力流的搬运与沉积过程，进而控制重力流沉积的分布。

孤立台地周缘重力流沉积体系的相关研究是理解孤立台地源汇过程的重要组成部分，将进一步补充完善碳酸盐背景下的源汇体系理论。

S18-O-01

地层正演模拟：一种定量研究源-汇系统的有效方法

刘可禹[1,2]*，刘建良[1]，张青青[1]，刘维晶[1]

1 中国石油大学地球科学与技术学院，山东青岛 266580

2 青岛海洋科学与技术国家实验室，山东青岛 266071

* liukeyu@upc.edu.cn

地层正演模拟（stratigraphic Forward modeling, SFM）始于上世纪 80 年代，是研究盆地充填和演化的确定性方法。近年来随着计算能力的提升 SFM 在现在沉积和油气领域得到较广泛的应用。SFM 是基于沉积过程的约束，遵从能量守恒和质量守恒原则，综合考虑气候、地貌、海（湖）平面、水动力等来预测沉积相在沉积盆地的时空分布及演化。

针对盆地充填过程模拟需求，中国石油大学（华东）开发了基于水动力学和模糊数学集的沉积正演模拟软件系统，Sedfill3D，可以综合考虑沉积期影响地层发育的初始底形、构造活动、海（湖）平面变化、沉积物输入、碳酸盐岩/有机质生长、波浪作用、压实作用、滑塌作用等一系列地质作用，在遵循质量守恒、能量（动量）守恒的基本原理控制下，以简化的水动力学方程为基础，正演模拟沉积物搬运、侵蚀、沉积过程，可以模拟包括浊流在内几乎所有的沉积过程，其模拟的时间和空间尺度可以从秒到数百万年， cm 到数十公里，能定量再现目的层构造—沉积演化过程，探讨地层发育控制因素及形成机制，同时也能定量表征沉积非均质性以及预测砂体/烃源岩分布等。

基于 python 语言的开源软件 pyBadlands 是一板块尺度地层正演模拟软件，其核心算法利用扩散方程进行数值模拟并采用并行运算方法，可在极高分辨率基础上快速的模拟地质时间尺度上的地貌演化相关问题。能够模拟非均质岩石圈上的山坡过程（扩散方程）、河流侵蚀（水流幂次律）、沉积物输移（质量守恒），沉积以及均衡沉降。可以分析陆地、海洋和过渡环境之间的相互联系，并且能在从区域到板块的空间尺度和从数千年至数百万年的时间尺度上模拟地貌演化和定量分析“源-汇”体系。

通过耦合 Sedfill3D 和 pyBadlands 可以定量模拟从流域到边缘海，海陆相互作用过程，定量评价源-汇系统和盆地充填过程。本次研究通过模拟柴达木盆地第四纪演化和珠江口盆地中新世珠江组沉积充填过程展示地层正演（SFM）模拟如何有效解决源-汇系统定量评价及沉积盆地充填过程恢复。

S18-O-02

中国东部海域现代沉积物源-汇过程

乔淑卿[1,2]*，石学法[1,2]，刘焱光[1,2]，胡邦琦[3]，胡利民[2,4]

1 自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室，自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

2 青岛国家海洋科学技术实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

4 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100
* qiaoshuqing@fio.org.cn

大陆边缘计划中源-汇课题主要目标是量化大陆边缘不同沉积单元不同时间尺度沉积物和溶解质通量。中国东部海域包括渤海、黄海和东海在内的广阔海域，接收来自周边世界性大河与山地小河等河流输入的巨量物质，在潮流、沿岸流和黑潮及分支等作用下，形成了三角洲、河口湾、陆架泥质和砂质沉积等。中国东部海域现代沉积物沉积速率和通量的研究不仅可为探讨人类活动、水动力条件影响和生态环境的深入研究提供基础数据，还可为亚洲大陆边缘沉积模式的研究提供支持。利用粒度、Pb-210 和干密度数据，系统计算了中国东部海域泥质沉积的分布及面积，分析了沉积速率的分布规律，从源汇角度讨论了中国东部海域沉积物收支。研究结果显示高沉积速率区主要集中在三角洲区域，在黄河和长江三角洲区域，每年的沉积速率可高达 95mm 以上；泥质区沉积物沉积速率一般高于 1.5mm/yr，而砂质区处于沉积速率很低或者处于侵蚀状态；东海陆坡区域沉积速率基本<1.0 mm/yr。中国东部海域周边河流入海物质大约 45%沉积在陆地形成陆上三角洲，40%~45%沉积在水下三角洲和陆架区域，仅有不超过 5%的被搬运到陆架之外。

S18-O-03

亚热带山溪性河流入海沉积物组成及输运过程的季节时间尺度多样性

简星*
1 厦门大学海洋与地球学院,福建厦门 361102
* xjian@xmu.edu.cn

沉积源-汇过程研究对深入了解表生地质过程、陆-海相互作用以及追踪全球气候、环境演变历史，均具有重要指示意义。入海河流是这一过程中的关键环节，它是地表物质向海洋迁移的主要途径，作为连接陆地和海洋这两大体系的重要纽带，将大陆地表风化作用的产物以泥沙和溶解质的形式带入海洋，成为海洋物质的重要来源。多年的观测数据表明，东亚热带-亚热带河流的物质输出对全球海洋总量做出了突出的贡献，而且这些河流的物质输运过程表现出了明显的多样性，颇具特色。现已认识到东亚地区存在两种截然不同的河流沉积物输运体系（Yang et al., 2014; Bi et al., 2015），即包括（1）稳定构造背景下，以长江为代表的“大河大三角洲-高通量-强烈人类活动影响-缓慢物质输运”的大河流体系和（2）活跃构造背景下，以台湾的河流为代表的“小河流-瞬时大通量-极端气候影响-快速物质输运”的山溪性小河流体系。浙闽入海河流（瓯江、闽江、九龙江等，如图 1）也是东亚物质输出的重要途径，虽然处于稳定的构造背景，人类活动频繁，但流域地形与山溪性河流类似，并受季风气候和台风天气的影响。在自然环境变化和人类活动双重胁迫下，其沉积物输运过程及入海沉积物组分的变化规律，目前并不清楚。浙闽河流是否可以归为上述两种河流体系的一种，有待研究证实。

本文选取闽江为研究对象，主要缘于闽江流域上、下游分布了岩性和形成时代都不同的岩石，降雨具有明显的季节地域差异，是开展短时尺度的沉积源汇示踪研究的理想场所。在闽江下游近河口段定点采集了不同季节（覆盖一整年）的河水悬浮物，作为闽江入海沉积物的代表，同时采集了全流域主要支流和干流的河床沉积物和悬浮物，用于进行入海沉积物的物源对比。开展了悬浮物和河床沉积物细组分的 Sr-Nd 同位素分析以及河床沉积物粗组分的沉积岩石学和重矿物分析。结果显示闽江入海沉积物的 Sr-Nd 同位素组成具有季节性的变化规律，所代表的物源演变与降雨的季节时空变化相一致，说明闽江沉积输运过程及入海沉积物组成能快速响应于水文气候变化，具有季节的敏感性。闽江河沙具有较低的成分成熟度和结构成熟度，可能是输运快、旋回少的结果，这与传统沉积学中所认为的稳定构造环

境中往往产生高成熟沉积物的看法不同。闽江沉积物粗、细组分的研究结果均显示了气候变化对闽江入海沉积物组成的主要控制作用。虽然闽江沉积输运体系与构造活跃区山溪性小河流体系具有一定的相似性，但它可能代表了一种被低估的东亚河流输运体系。该研究显示了浙闽河流入海沉积物组成的时空多样性，强调了气候因子在亚热带构造稳定区山脉侵蚀作用、沉积输运过程中的重要角色，对地史时期构造-气候-沉积耦合关系研究也有启示意义。

S18-O-04

晚第四纪亚洲低纬度深海沉积过程：Nd 同位素示踪

于兆杰[1]*，Christophe Colin[2]，万世明[1]

1 中国科学院海洋研究所，青岛 266071

2 Université Paris-Saclay, France 91405

* yuzhaojie@qdio.ac.cn

大陆风化入海通量演化是“源-汇”过程研究的重要环节。海水溶解态的放射性同位素组成（比如 Be，Pb，Nd 同位素等）既能保持陆源同位素组成而跟海水区分开来，又对通量的变化比较敏感，被认为是追踪风化通量的有效手段。但是，前人利用不同的同位素指标追踪剥蚀通量与气候变化是否相关的研究得出了互相矛盾的结论。例如，海水 Be 同位素记录显示在新生代（Willenbring and Blanckenburg, 2010 Nature; Lenard et al., 2020 Nature Geoscience）和第四纪（Blanckenburg et al., 2015 Nature Geoscience）以来，全球和南亚大陆剥蚀通量基本保持稳定。相对地，海水 Nd 同位素（Burton and Vance, 2000 EPSL）和 Pb 同位素（Vance et al., 2009 Nature）的证据却表明剥蚀通量存在明显气候驱动的冰期-间冰期的变化。但是以上 Nd 和 Pb 同位素研究存在：1）高纬度冰川后撤，遗留细粒磨蚀物溶解；2）低海平面大陆架沉积物暴露后再次剥蚀；3）指标的物源和风化模式干扰等问题，致使该争论悬而未决，亟待系统性的研究工作验证。

首先，本研究分析了北印度洋 89°E 经线上 6 个海水站位在 6 月份 Nd 同位素组成，并与前人发表的 87°E 经线站位 11 月份结果对比，揭示了现代南亚剥蚀输入对夏季风的季节性响应。发现：1）平均停留时间长达 600 年的 Nd 同位素组成季节性响应剥蚀输入；2）对南亚剥蚀通量响应最敏感的是中层水（其 Nd 元素主要来自河流输入悬浮颗粒物的溶解和释放），而不是传统观点认为的表层水（其 Nd 元素主要来自河水溶解态 Nd 的输入）。前者 Nd 元素体量要比后者大一到两个数量级。在现代 Nd 同位素研究的基础上，本研究选取中层水深的孟加拉湾北部 MD77-176 和南部 MD77-191 钻孔，利用浮游有孔虫为载体，重建了末次冰消期以来高分辨率南亚大陆剥蚀通量演化历史。发现：1）古海水 Nd 同位素追踪的南亚剥蚀通量演化历史具有很好的千年和轨道时间尺度强弱变化；2）排除冰川、海平面和指标自身的因素之后，Nd 同位素追踪的南亚大陆剥蚀通量在轨道和千年时间尺度仍表现出季风降水主控特征。本研究基于典型区今（现代海水）-古（有孔虫）结合的 Nd 同位素的系统研究，为解决剥蚀通量与气候是否相关的争论提供了独立证据。

S18-O-05

末次冰期以来孟加拉湾不同尺度的“源-汇”过程及其气候控制机制

李景瑞[1,2]，石学法[1,2]*，刘升发[1,2]，乔淑卿[1,2]，曹鹏[2]，张辉[2]，李小艳[2]，方习生[2]，孙兴全[3]，叶文星[4]，Somkiat Khokiattiwong[5]，Narumol Kornkanitnan[5]

1 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266037

2 国家海洋局第一海洋研究所，自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

3 青岛市即墨区自然资源局，青岛 266200
4 中国海洋大学，海洋地球科学学院，青岛 266100
5 泰国海洋和海岸带资源研究与开发研究所，曼谷 10210
* xfshi@fio.org.cn

基于近些年来中外合作航次在孟加拉湾所取的表层及柱样沉积物样品，我们开展了末次冰期以来不同时空尺度的“源-汇”过程研究。建立了目前最高空间分辨率的现代沉积模式和末次冰期以来孟加拉湾中部高时间分辨率年代框架，厘定了物源混合模式，量化了不同物源端元贡献量及其变化规律，揭示了孟加拉湾中部陆源物质输入量的周期性变化特征及其与印度季风和海平面变化的关系，识别了浊流活动沉积记录，建立了具有显著“四双”特色（双驱动因子、双动力模型、双时间尺度、双区域对比）的沉积模式。孟加拉湾深海区沉积物混合模式为“2-3-2”模式（西部以“喜马拉雅山+印度半岛”为主，东部以“喜马拉雅山+缅甸”为主，中部区域则为“喜马拉雅山+印度半岛+缅甸”三端元混合）。研究表明，海平面和印度季风在不同源区物质供应量变化的过程中起控制作用。海平面主要通过沉积中心的转移控制沉积模式，印度季风则主要通过控制源区侵蚀物质产量、降水量及径流量和表层季风环流等控制沉积物的产生、输运和沉积过程。其中印度源区和缅甸源区物质输运主要通过表层季风环流搬运，全新世以来相较于全新世之前，印度夏季风强度增强，西南季风环流增强，从而增强了印度物质向研究区的输运，而主要通过北东向季风环流输运的印缅脊和伊洛瓦底江物质则相应减少。定量反演模型估算结果支持喜马拉雅源区自末次冰期以来占主导地位的普遍认识，其平均贡献量可达 70%。然而，自 25 ka 以来来自印度半岛和缅甸的沉积物也为孟加拉湾中部贡献了不可忽视的物质量，特别是自 7.5 ka 以来，前者有明显的增加，这在以往研究中往往被忽略。末次盛冰期(LGM)、Heinrich 1 (H1)、全新世早期气候最适宜期(EHCO)和全新世中后期 4 个时期物源端元贡献百分比变化明显，且与千年尺度的印度夏季风演化关系密切。周期分析显示三个物源端元贡献百分比具有明显的 1/4 岁差和千年尺度周期，这为区域“源-汇”过程的气候控制机制提供了间接证据。以上研究为区域沉积学研究提供了基本的“源-汇”联系基础，为全球深海沉积特别是深海扇沉积模式提供了研究范例。

S18-O-06

150 年前长江三角洲环境快速变化的沉积证据

牛文蕾[1,2]，赵荦[3]，Adam D.Switzer[4,5]，翟杨[3]，张文桐[1]，王张华[1,2,6]*
1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241
2 华东师范大学城市发展研究院，上海 200062
3 上海市文物保护研究中心，上海 200031
4 南洋理工大学新加坡地球观察研究院，新加坡 639798
5 南洋理工大学亚洲环境学院，新加坡 639798
6 南方海洋科学与工程广东省实验室，珠海 519080
* zhwang@geo.ecnu.edu.cn

由于潮汐-海洋相互作用的复杂性，在潮汐主导的三角洲中研究河道分汊的地貌过程是一个挑战。本研究在长江口北港近海区域采集了两个钻孔 KZ01-A 和 KZ02，使用中颗粒（45-63 μm）石英光释光（OSL）测年和 AMS 14C 测年构建钻孔年代框架，并对沉积物样品的岩性、粒度和有机碳稳定同位素（$\delta^{13}C$）进行分析。结果表明，两个钻孔都具有典型的三角洲沉积结构，即垂向上从前三角洲泥逐渐变为河口沙坝砂的沉积结构。两个钻孔上部沉积物 $\delta^{13}C$ 值从偏正转向偏负，表明了河流有机碳输入的增加，可能与历史文献及海图中记录的 19 世纪后期北港的形成有关。此外，在钻孔 KZ01-A

单元 V 中发现了长江口沉船的船木，可能反映了北港形成之前或形成时发生的极端事件。沉船事件发生之前，沉积物以细颗粒的均质泥为主，其 $\delta^{13}C$ 值相对偏正，表明当时为涨潮流主导的海洋环境。结合钻孔所在位置为三角洲前缘平台区域，我们因此推测沉船事件更可能是由于大台风而不是洪水导致的。沉船上出土的瓷器表明沉船沉没时间应该在 1862 年以后，结合历史文献中记录的台风活动时间，推测此次极端事件应该发生在 19 世纪后期。在钻孔 KZ02 顶部单元，$\delta^{13}C$ 值从略微偏负到显著偏负的转变阶段中，粒径和 $\delta^{13}C$ 值均出现强烈波动，这可能表明这一段时期内洪水和台风事件的频发。因此，我们推断包括台风和洪水在内的极端事件在北港的演变中起着重要作用。两个钻孔顶部单元水下分流河道相的沉积结构及沉积物粒度向上逐渐变细的特征进一步表明了过去几十年中沉积过程中潮汐作用的增强。

S18-O-07

台风对东海内陆架沉积动力过程的影响机制：以台风灿鸿为例

王厚杰 [1,2]*，丛帅 [1]，吴晓 [1,2]，王爱美 [1,2]，葛建忠 [3]，李云海 [4]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

2 青岛海洋科学技术（试点）国家实验室，青岛 210093

3 华东师范大学河口海岸学重点实验室，上海 200241

4 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361006

* hjwang@mail.ouc.edu.cn

长江入海沉积物通过长距离搬运在东海内陆架发育了典型的沿岸泥质带，成为研究全新世以来环境演化的重要信息载体。台风是影响东海内陆架的重要动力要素，对内陆架泥质沉积体系具有重要的重塑作用。由于台风期间的现场观测受到极大限制，对台风影响下陆架沉积动力过程的响应依然缺乏深入的认识。基于广泛验证的高分辨率 FVCOM 数值模式，结合三脚架坐底连续观测资料，对 2015 年 7 月台风灿鸿过境的区域沉积动力过程进行了研究。研究结果显示，台风过境期间近岸海底沉积物发生强烈再悬浮，台风增强沿岸流并形成顺风搬运，从而产生了沉积物输运的齿轮效应，导致台风影响下区域沉积过程存在显著的空间差异性。台风的短期作用截断了原有的夏季上升流通道，强化了沉积物的跨陆架输运通量，使得陆架海区存在浅水（20 米以浅）侵蚀、深水区（50 米等深线附近）堆积的差异性分布格局，这对合理选取能够保存台风信号的沉积岩心位置具有指示意义。台风对沉积物输运的齿轮效应可为此前报道的墨西哥湾北部和大堡礁陆架风暴引起的差异性沉积分布提供合理解释。

S18-O-08

杭州湾沿岸良渚文化末期极端风暴事件的地层记录和数值模拟

王张华*，王硕，葛建忠

1 华东师范大学河口海岸国家重点实验室，上海 200241

* zhwang@geo.ecnu.edu.cn

古人类遗址的考古发掘可以提供高分辨率的地层记录，为研究地质历史时期的极端天气事件提供良好的材料。杭州湾东南岸的鱼山遗址，清晰地保存了良渚文化末期泥炭层侵蚀和风暴砂脊地层，记录了一次极端风暴事件。我们对该极端事件进行了年代学研究，同时利用长江口-杭州湾的钻孔和遗址地层剖面数据库，重建研究区中全新世不同时间节点的古地形，并在此基础上进行天文潮和风暴潮情景模拟，此外，还利用鱼山遗址的风暴沉积反演古风暴强度。研究显示，该极端风暴事件发生在大约 4510±100 cal yr BP。按照风暴砂脊粒度组成，并根据良渚文

化晚期的古海平面高度和古海岸线位置，反演古风暴发生时的瞬时最高水位（风暴潮水位+最大波高）需达到 27.5 m。但是，古海平面数据约束下的风暴潮情景模拟显示，在良渚文化末期的古宁波湾，不可能达到该瞬时水位。我们的数值计算显示，只有在海平面快速上升情景下，鱼山遗址与古海岸线的距离减小为不足 300 m，同时在超强台风经过杭州湾附近、并在古宁波湾产生大约 2.5 m 的风暴潮最高水位和 4 m 最大波高，才能形成鱼山遗址所保存的风暴砂脊。古地形约束下的天文潮模拟还显示，全新世中期随着古宁波湾的不断充填，潮差呈现减小趋势，因此排除了古地形变化导致相对海平面上升的可能性，良渚文化末期的相对海平面快速上升应属于区域性或全球性的事件。我们推测，海平面上升背景下极端风暴事件的频率增加、强度增大，是触发杭州湾沿岸良渚文化衰变的重要环境因素。

S18-O-09

黄河现行三角洲叶瓣蚀积演化：过程与机制

毕乃双[1,2]*，王厚杰[1,2]，吴晓[1,2]，巴旗[1]，王世雄[1]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

2 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室，青岛 266100

* binaishuang@ouc.edu.cn

黄河三角洲是黄河沉积物重要的汇，其蚀积演化过程不仅是世界大河入海沉积物源汇过程研究的焦点，也是维持三角洲稳定与环境可持续性，并实现黄河流域高质量发展的关键环节之一。近年来，随着流域强烈的人类活动，黄河入海水沙在量与质均发生显著变化。同时，在河口流路的改汊与植被的变化，均引起了现行三角洲叶瓣边界条件的改变，也势必引起三角洲叶瓣蚀积演化的快速响应。本研究基于多年卫星遥感影像和水深地形数据，研究了现行三角洲叶瓣水上三角洲、水下三角洲蚀积演化过程及其差异，揭示了黄河入海泥沙通量与沉积物粒度组成对于三角洲演化的影响，定量估算了黄河入海沉积物在三角洲及近海的收支。提出了地貌-水动力相互作用对于现行三角洲叶瓣阶段性蚀积演化的影响，在废弃清水沟河口发现了大规模水下滑坡，揭示了水动力对于滑坡运动的影响及地貌演化对水动力的反馈效应。同时，研究了黄河现行三角洲叶瓣湿地植被的时空变化，揭示了植被时空变化及其差异性对黄河三角洲地貌的影响，发现在植被的影响下，黄河三角洲尤其是陆上三角洲的演化趋势发生转变。

S18-O-10

流域尺度风化壳侵蚀深度及其对气候变化的响应

李超*，段知非，陈俊飞，郭玉龙，杨守业

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* cli@tongji.edu.cn

风化壳是地表关键带的一个重要组成单元，风化壳的风化对于岩石圈向水圈元素的释放，调节地球气候的长期稳定和碳循环平衡，保证地球的宜居性等具有不可替代的作用。风化壳发育的厚薄和侵蚀速率，决定了基岩破碎后碎屑物质在风化剖面停留的时间，并进而影响风化的通量。传统方法可以估算某一区域具体风化剖面的物理侵蚀和化学风化程度，但难以在流域尺度上评估整个流域的平均侵蚀情况及其对气候变化的响应。当风化壳中基岩发生破碎时，由于碎屑颗粒的粒径减小和比表面积的增加，岩石碎屑颗粒表面 ^{234}U 在 a 粒子弹射反冲作用下逃逸，导致岩石碎屑中 $^{234}U/^{238}U$ 的久期平衡被瞬间打破，此后碎屑物质的 $^{234}U/^{238}U$ 随时间不断降低并达到新的平衡状态。根据这一原理，对于一个理想的风化壳或者土壤剖面，自下而上 $^{234}U/^{238}U$ 逐渐降低，越靠近顶部其 ^{234}U 亏损越严重。当该剖面遭受侵蚀

时，侵蚀发生的越深，剖面产出的“新鲜”破碎颗粒越多，流域输出所形成的沉积物 $^{234}U/^{238}U$ 越高；反之，侵蚀发生的越浅，风化剖面供应的“新鲜”破碎颗粒越少，输出形成的沉积物 $^{234}U/^{238}U$ 越低。为此，本研究以流域沉积物硅酸盐碎屑组分 $^{234}U/^{238}U$ 为指标，从现代长江沉积物入手，探讨流域不同干支流水系沉积物 $^{234}U/^{238}U$ 与流域侵蚀状况的关系。结果表明，不同支流水系沉积物 $^{234}U/^{238}U$ 与流域内沉积物产率有良好的相关性。在此基础上，本研究重建过去 14 kyrs 以来崇明岛钻孔沉积物所记录的流域侵蚀情况，并发现基于 $^{234}U/^{238}U$ 重建的流域侵蚀过程对气候干湿变化有明显的响应。本研究证实了大型流域沉积物 $^{234}U/^{238}U$ 对流域侵蚀有较理想的反馈，而这种流域剥蚀过程对千年尺度上气候变化具有较快速的响应。该成果对揭示气候演化对流域地貌的改造提供了重要的证据，同时对理解风化壳发育、流域侵蚀和气候演化的关系等具有一定启示意义。

S18-O-11

苏北辐射沙洲海岸潮滩地貌动态及其沉积环境研究

赵一飞，徐敏*

1 南京师范大学　海洋科学与工程学院，南京 210023

* xumin0895@njnu.edu.cn

苏北辐射沙洲海岸潮滩作为陆海相互作用过渡地带，由于其位置的特殊性与营力的多样性以及先天结构的易变性和敏感性，地貌动态变化剧烈且复杂。过去百余年里，潮滩地貌动力条件发生了显著的转变，潮滩正发生由淤积向侵蚀的系统状态转化。针对海岸潮滩的围垦引起的潮滩动力格局调整对岸滩地貌动态产生累积效应，引起的不同时间尺度潮滩地貌格局变化、沉积环境特征尚不明确。因此，本研究基于多时相遥感影像，通过获取潮滩低潮时水边线数据，研究潮滩地貌演化动态；结合沉积物沉积速率、粒度参数揭示海岸潮滩沉积特征及其环境指示意义。结果表明：1980-2017 年苏北辐射沙洲岸滩地貌冲淤动态变化复杂，主要表现为北翼区地形侵蚀明显，平均侵蚀幅度为 47.6m/yr；内缘区北部发生侵蚀，但整体向海淤积，平均向海推进约 2-18km；外部沙洲区北部、西北部侵蚀较为严重，整体呈向南移动趋势；南翼区呈淤积和侵蚀交替变化。潮滩沉积物组分主要由粉砂、砂和黏土组成，在垂向变化上受区域水沙动力因素影响组分变化明显；在空间上，岩芯沉积物自北向南粉砂和黏土含量逐渐减少，砂含量逐渐增加，平均粒径变粗，沉积物呈现由北向南粗化的现象。在垂向变化上，百年来辐射沙洲潮滩沉积物沉积速率呈减少趋势；各个区域潮滩平均沉积速率存在差异且没有明显的变化规律，而物质来源、水动力环境和样品采集位置和人类活动等因素是导致潮滩沉积物沉积速率差异变化的主要原因。

S18-O-12

Quantitative geochemistry as a provenance indicator for surface sediments in the north Jiangsu radial sand ridges (NJRSR) in the South Yellow Sea, east China

Jicheng Cao, Yifei Zhao*, Min Xu, Qing Liu, Wenting Shi

1 School of Marine Science and Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

* yfzhao@njnu.edu.cn

The North Jiangsu radial sand ridges (NJRSR) are typical sedimentary bodies distributed along the continental margin of China. Historically, the Yellow and Changjiang Rivers transported terrigenous sediments into the sea, depositing them in the study area. However, the provenance of the

sediments in the NJRSR is not conclusively understood. In this study, the grain sizes and major elemental geochemistry of 33 surface sediment samples were investigated to discern the provenance of the sediments in the NJRSR. The results indicate that the sedimentary components are primarily silt (53.60%), sand (35.60%), and clay (10.80%). The grain size (Mz) of the NJRSR coastal surface sediments was 2.5–8.5 Φ, with an average of 5.1 Φ, and had high SiO_2 and Al_2O_3 contents (on average, SiO_2 and Al_2O_3 accounted for > 68%). The statistical results of the geochemical analyses were reflected in the control on sediment elemental components by riverine transport in the study area, which were then used to divide the study area into three sedimentary provinces. Elemental ratios (Mg/Al, Fe/Al, K/Al) were used to discern the provenance of the NJRSR surface sediments, indicating that the inputs from the Yellow and Yangtze rivers are the dominant sediment sources in the study area. Using the inverse model, a quantitative estimation revealed that average sediment contributions of the Abandoned Yellow and Yangtze rivers were 67.4% and 32.6%, respectively. In addition, modern current systems play an important role in controlling sediment transport from the Abandoned Yellow and Yangtze rivers to the NJRSR. This study demonstrates the importance of geochemistry for quantitatively determining the provenance of the NJRSR, which is especially useful for quantitatively investigating Earth surface processes in global shelf-marginal seas.

S18-O-13

新生代太平洋溶解铁汇的铁同位素示踪

陈天宇*

1 南京大学地球科学与工程学院，南京 210093

* tianyuchen@nju.edu.cn

铁（Fe）是浮游生物在生化反应中参与电子传递的关键元素，但在现代氧化性海水中溶解度极低，成为生物生产的限制因子之一。准确理解大洋溶解 Fe 的源汇特征是约束生物泵对全球气候变化响应的基础。除高风尘通量区以及热液区中微粒 Fe 氧化物(FeOH)占重要比例外，海水中溶解 Fe 几乎完全和不同粒径的有机质所络合(FeL)，而真溶 Fe 的比例极低(Fe')，是有别于海水中其他微量金属的重要特征。已有模拟研究表明，海水中溶解 Fe 的移除机制主要包括 Fe' 的吸附与沉淀，FeL 的自聚集沉淀或是吸附到 POC 上沉积，以及 FeOH 的吸附沉积，但现代海水不同来源的 Fe 在海水中的相对贡献争议很大，鲜有开阔大洋溶解 Fe 汇的地球化学研究。由于溶解 Fe 的源汇过程均涉及到 Fe 同位素分馏，Fe 同位素因而为理解大洋 Fe 汇提供了新的工具。

利用沉积柱开展开阔大洋 Fe 汇研究的一大难点是碎屑 Fe 的影响。为此，本研究建立了远洋粘土沉积物的盐酸淋滤方法，通过动力学拟合可以知道初始淋滤的物相 Fe 同位素主要代表溶解 Fe 汇的同位素特征，受碎屑组分影响较小，且实验中动力学分馏影响可以忽略。通过开展南太平洋 U1366 钻孔以及北太平洋 GPC3 钻孔在整个新生代的 Fe 组分、Mn 组分以及 Fe 同位素分析，联合东赤道太平洋热液结壳的 Fe 同位素分析，本研究讨论了新生代太平洋深水的 Fe 移除特征及其对太平洋 Fe 循环的指示意义。

S18-O-14

Stratigraphic and three-dimensional morphological evolution of the late Quaternary sequences in the western Bohai Sea, China: controls related to eustasy,

high sediment supplies and neotectonics

Shihao Liu[1]*, Aiping Feng[2,3], Linlong Yang[4], Jun Du[2], Yonggui Yu[2], Wei Feng[1], Ya Ping Wang[1]

1 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 20062, China

2 First Institute of Oceanography, MNR, Qingdao 266061, China

3 Island Research Center, MNR, Pingtan 350400, China

4 Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oil field Company, Sinopec, Dongying 257015, China

* shliu@sklec.ecnu.edu.cn

The Bohai Sea is a shallow, semi-closed gulf (basin) at the proximal position of the very wide (one to several thousand kilometers) eastern Chinese margin and was persistently impacted by tectonic frameworks. Its late Quaternary stratigraphy provides an excellent natural laboratory for research on the sedimentary processes and evolutionary patterns on flat proximal continental margins with high sediment inputs and how these processes respond to synsedimentary tectonic activity. However, due to the scarcity of comprehensive sequence stratigraphic studies, our understanding of the above processes is limited. Here, we conducted a high-resolution sequence stratigraphic study using boomer seismic data with pseudo-3D coverage. The seismic data revealed seven seismic units (SUs A-G) within the late Quaternary stratigraphy, including (1) three marine prodeltaic units (SUs A, C, G) characterized by dipping/oblique internal reflections and/or lobate structures, (2) two terrestrial (fluvial/lacustrine) units (SUs B and E) dominated by heterogeneous reflections, (3) an erosional remnant unit (SUs D) with semitransparent reflectors and a lenticular geometry, and (4) a ravinement-attributed aggradational unit (SU F). Based on the extrapolation between the seismic stratigraphy and the onshore sedimentary architecture and well-established sequence stratigraphic models, our preferential interpretation for the four sets of SUs is that they correspond to the highstand, lowstand, falling-stage and transgressive system tracts, respectively. The seismic geomorphology suggests that the bulk of the accommodation is dominated by the former two, which is consistent with the alternative terrestrial-and-marine succession revealed by previous borehole studies. At such a proximal gulf, although the accumulation of thick highstand units is not surprising, the two thick lowstand units that are bounded above and below by two different subaerial unconformities are exceptional. Our interpretation indicates that abnormally thick accumulation occurred under subaerial environments during the lowstand period, which most likely corresponds to alluvial/floodplain progradation/aggradation given the western Bohai Sea is connected to the alluvial North China Plain. The lower subaerial unconformities of the lowstand units are associated with intensive subaerial (most likely fluvial) excavation. Erosion under SU E leads to the formation of incised and eroded areas that can be tens of kilometers wide and tens of meters deep, cutting into SU A or even into SU B, which are several times greater than the last glacial maximum incised valley at the top of SU E. Such intensive erosion appears to be a crucial contributor to the thick lowstand units, as it created more accommodation. The great scale of the subaerial incisions is presumably attributed to the fact that the bulk of them evolved from tectonically triggered depressions because their locations are consistent with the NE-SW- and NW-SE-

striking fault populations. The tectonic forces also controlled the accumulation by resulting in high-relief basement blocks for the pre-Holocene sedimentation. However, despite such strong tectonic controls, the subsequent deposition filled and leveled the areas between the high-relief, steep-sided basement blocks and eventually resulted in a relatively flat substratum for post-LGM deposition, suggesting that the geomorphic threshold for geological control at such a proximal gulf was passed because of the high-supply environment.

小结：渤海西缘是构建晚第四纪 MIS5 期以来海陆演化的先驱与关键区域，不过前人研究更关注海面波动与沉积相演化的关系。相比之下，高分辨率层序地层学与地震地貌学分析可以为揭示海面控制的地层演化提供重要的补充视角，在相演化的思路之外，更关注斜坡体的建造及其与沉积盆地的关系。本报告在此新思路下，具体介绍了在渤海西缘晚第四纪高分辨率层序演化方面取得的新见解。

S18-O-15

海底泥沙异重流的混合和侵蚀特性研究

贺治国*，朱瑞

1 浙江大学海洋学院，舟山 316021

* hezhiguo@zju.edu.cn

海底泥沙异重流通常具有垂向密度分层的特征。分层流体之间的混合和侵蚀过程会对泥沙异重流沉积和海底地形演化产生重要影响，是海陆相互作用的主要形式之一。通过室内水槽实验，探究了平坡开闸式两层异重流的运动和混合特性。实验现象表明两层异重流的混合过程存在两个阶段。运动初期，上下两层异重流界面清晰，混合程度较低。当头部位置大于一倍闸长时，混合逐渐加剧。利用改进的光学分析方法首次建立了量化上下两层完全混合所用时间的理论模型。两层流体的混合时间与其高度比和闸室高长比负相关，并且闸室高长比的影响更为显著。通过求解 Boussinesq 假定下的 Navier-Stokes 方程就异重流对高浓度底层流体的侵蚀作用进行了数值模拟研究。异重流以近似稳定的状态沿着底层流体与环境水体的界面运动。部分底层流体被异重流侵蚀，聚集在异重流头部前方形成波状突起或线性内波。通过计算异重流头部速度与线性浅水波波速的比值得到了线性与非线性内波的产生条件。根据质量和涡度守恒得出了可以预测异重流头部速度、异重流身体高度和内波波速等动力特性的理论模型。分析能量转化过程发现，异重流的重力势能会逐渐转化为底层流体的重力势能和动能并且厚度和密度越大的底层流体获得能量的速度越快。

S18-O-16

Early to mid-Holocene sedimentary evolution on the southeastern coast of Hangzhou Bay, East China, in response to sea-level change

吕晔[1,2]*，童春富[1]，Yoshiki Saito[3,4,5]，Michael E Meadows[6,7,8]，王张华[1,2,5]

1 华东师范大学河口海岸科学研究院，上海 200241

2 华东师范大学城市发展研究院，上海 200241

3 Estuary Research Center, Shimane University, Japan 690-8504

4 Geological Survey of Japan，AIST, Japan 305-8567

5 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)，珠海 519080

6 Department of Environmental & Geographical Science, University of Cape Town, South Africa Rondebosch 7701

7 华东师范大学地理科学学院，上海 200241

8 浙江师范大学地理与环境科学学院，金华 321004

* 2270887379@qq.com

淤泥质海岸沿大江河口向下漂流，捕获了来自大河的细颗粒沉积物，为史前人类提供了重要的定居地点。然而，对这种环境的演化历史研究较少。本研究对杭州湾东南沿海平原的两个沉积物岩心进行了岩性、粒度、沉积结构、生物扰动和 AMS 14C 年代学研究。结合前人整理的沉积岩心，探讨了古宁波湾全新世早期至中世的沉积历史及其对海平面波动的响应。结果表明，全新世早期至中海侵期间，古宁波湾的特征是在约 7.7 cal kyr B.P.之前，在半包围半开放的海湾环境中，泥沙快速堆积，而在此之后，由于海平面的加速上升和海湾几何结构向开放环境的变化，沉积速率降低。沉积构造情况表明，全新世早期半包围半开放的海湾中有丰富多样的大型垂直洞穴（宽 0.5 ~ 1.0 cm、长 5 ~ 24 cm）。然而，在 7.9 cal kyr B.P.时，这种生物遗迹发育突然减弱，这可能是新石器时代定居在半包围海湾的古人类对海产品的开发所致。在大约 7.3 ~ 7.2 cal kyr B.P. 形成的明显的潮汐泥砂互层可能表明，潮汐能量的增加与之前的几何变化有关;然而，从那时起，加积潮滩和海岸沼泽的演替应反映出一个稳定的海平面的响应。古宁波湾全新世早期至中期厚厚的沉积序列的发育及其与海平面变化的联系表明，大河淤泥质河口向下漂流应作为邻近海岸沉积体系的重要组成部分。

S18-O-17

基于机器学习方法的河口羽状流识别与特征提取

李昭颖 [1,2]，Jeff Nittrouer[3]，王厚杰 [1,2]*

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266237

3 Rice University，Houston，TX，77005

* hjwang@ouc.edu.cn

河口羽状流是河流携带的陆源物质向海洋输送的关键通道，决定着淡水、陆源沉积物、营养盐等在河口附近的分布状况和输运范围，对河口和近海物质输运与环境有重要影响。除受河流水沙条件的影响外，海洋动力环境对河口羽状流的扩散有重要控制作用。然而，囿于数据限制和技术手段，现有技术手段和方法难以获得大批量长期连续羽状流现场数据，也难以就羽状流的分布特征进行定量化和模式化的提取和分析。

近年来，机器学习技术作为能够自主学习、利用经验来改善自身性能的算法，为数据提取、因素分析等问题提供了巨大的帮助，基于卫星遥感图像和机器学习技术可以为河口羽状流的识别和特征提取提供重要的技术支持。

为获取羽状流在真实河口分布的大批量长期数据，针对河口羽状流分布特征进行定量提取，本文以深度学习图像识别算法为基础，结合卷积神经网络算法，训练基于 Landsat 卫星图像的分类-分割-提取“PlumeCatcher”羽状流数据提取模型，根据扩散范围、面积和指向方向开展了定量化河口羽状流分布特征提取工作，并以南美洲 Magdalena River 为例，成功就其 1998-2015 年期间的数据提取和分布模式进行探讨与分析。研究结果作为大数据背景交叉学科新方法，可为河口羽状流进一步完善羽状流结构、扩散和动力过程的研究提供数据支持，并为深入研究大型河流入海泥沙源-汇过程机制提供科学依据。

S18-O-18

河口滩槽间输沙机制研究：侧向流及憩流状态水沙动力特征

周在扬 [1,2]*，葛建忠 [1]，D.S. van Maren[1]，Zheng Bing Wang[1,2]，蒯宇 [2]，丁平兴 [1]

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241

2 代尔夫特理工大学，荷兰

* zhouzaiyang@126.com

侧向流对滩槽系统内泥沙输移与再分配有着重要影响，进而会影响滩槽地貌演变。然而，我们对于侧向流及侧向悬沙输移（尤其是在涨落憩时刻的侧向过程）了解还不够充分。人类活动，例如导堤、丁坝等工程结构对滩槽间侧向交换机制也会产生重要影响。在这一背景下，本研究着眼于长江河口内一条高浊度且高度工程化的汉道（北槽），结合三脚架系统近底观测与数值模型，对侧向流以及滩槽间泥沙输移机制做出阐释。

观测结果表明，落憩时刻存在着较为稳定的由北部边滩向主槽输移的高盐水团。这一发现引发了进一步的研究，即（1）该侧向流模式对滩槽间泥沙输移有何影响，以及（2）除了落憩这一时刻，潮周期内是否还有其他典型的侧向泥沙输移特征。为此，使用高分辨率、无结构网格三维悬沙数值模型，对这两个关注点进行模拟与分析。

模型结果揭示了两种典型的涨落憩时刻泥沙侧向输移特征，即落憩时刻由边滩向主槽的输移与涨憩时刻由主槽向边滩的输移。通过动量平衡分析得出，涨憩时刻的泥沙侧向输运主要由斜压梯度力所驱动。并且，该分析进一步量化了其他例如航道曲率、科氏力等因素的影响。落憩时刻的泥沙侧向输移与丁坝结构的影响关系密切。通过一个对比算例（移除单个丁坝），说明并量化了该影响。由于涨落憩时刻航道内整体水动力弱，尤其是边滩（坝田）区域受丁坝遮蔽，水动力条件更弱，利于悬沙沉降并形成近底高浓度。因此，涨落憩时刻的滩槽间泥沙交换对滩槽间地貌格局有着潜在的重要影响。此外，基于模型结果的机制分解表明，河口最大浑浊带主要是由海陆两个方向间的动力平衡所导致，即向海的平流（余流所导致），与向陆的潮泵效应与重力环流。

S18-O-19

南海冰期陆架风化与碳循环

万世明*

1 中国科学院海洋研究所，中国科学院海洋地质与环境重点实验室，青岛 266071

* wanshiming@ms.qdio.ac.cn

第四纪冰期–间冰期旋回中大气 CO_2 浓度周期性演变的过程和机制是国际学术界长期争论的前沿科学问题。迄今研究大多强调大洋深部过程的调控，忽略了冰期–间冰期时间尺度上海平面巨大变化所引起的陆架风化的反馈作用。本研究基于末次冰盛期以来海南岛万泉河口、珠江口、台湾浊水溪口和南海北部台西南盆地4根岩芯沉积物粘土粒级组分的钕同位素和粘土矿物组成的分析，结合南海北部和南部陆坡-海盆长岩芯冰期-间冰期旋回的沉积记录，开展了南海及全球其他地区的风化和气候变化对比。南海西侧的东亚大陆化学风化强度在全新世明显高于末次冰盛期–冰消期，突显了末次冰期以来大陆风化演变的季风驱动；台湾则呈现较为稳定的化学风化模式，反映了高侵蚀速率条件下受限制的化学风化。台西南盆地的沉积物源持续来自台湾岛，显示出冰期的化学风化强度比全新世增强近一倍。类似记录在南海北部和南部陆坡–海盆，甚至西菲律宾海都有发现，推测为冰期低海平面时期陆架暴露风化增强所致。我们的工作表明，冰期热带陆架硅酸盐风化是影响冰期–间冰期碳循环的一个不可忽略的重要机制。

S18-O-20

东海内陆架泥质区沉积黄铁矿成因及其环境意义

刘喜停[1]*，李安春[2]，董江[3]，王厚杰[1]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

2 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室，青岛 266071

3 自然资源部第一海洋研究所海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

* liuxiting@ouc.edu.cn

全新世高水位期以来，东海内陆架发育泥质沉积体，是研究东亚大陆边缘源汇系统的良好载体。之前的研究主要集中在

沉积物的沉积动力过程，源汇效应及其记录的古气候信息等方面，已取得丰硕的研究成果，丰富了全球源汇系统的知识体系。除了大量堆积长江来源的陆源沉积物以为，泥质区也是有机碳的有效埋藏场所，影响区域的 C-S-Fe 循环。自生黄铁矿是细粒沉积物中的常见自生矿物，其形成过程与有机碳矿化过程密切相关，并受到其形成时沉积环境的影响，因此，黄铁矿的物理化学特征能够反映其形成时的沉积环境。我们对东海内陆架表层沉积物和岩心沉积物（ECMZ 和 EC2005）的研究表明黄铁矿硫含量和有机碳含量的比值（S/C）能够有效地记录末次冰消期以来东海内陆架海陆环境的转化。此外，黄铁矿硫同位素的波动与沉积动力过程密切相关，说明局部沉积过程能够快速地影响生物地球化学过程，例如微生物硫酸盐还原过程等。黄体矿本身的形貌特征也对沉积环境具有很好的指示作用，例如矿物表面的溶蚀孔指示黄铁矿的再氧化过程。因此，深入研究东海泥质区内黄铁矿及相关的生物地球化学过程，不仅能够更深入理解其成因，更有可能为大陆边缘泥质区的沉积环境演化提供新的潜在指标。

S18-O-21

Evolution of ocean productivity in the sub-tropical west Pacific Ocean across the Last Deglaciation

Bangqi Hu[1,2]*, Handan Zhang[3,4], Siqi Ouyang[3,4], Jingtao Zhao[1,2], Feifei Wang[1], Qing Li[1,2], Samuel L. Jaccard[5], Yiming Luo[3,4,6]

1 Qingdao Institute of marine geology, China Geological Survey, 62 South Fuzhou Road, Qingdao, 266071, China

2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071, China

3 Southern Laboratory of Ocean Science and Engineering (Guangdong, Zhuhai), Zhuhai, 519082, China

4 School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, B311 Main Building, SYSU, 2 University Road, Tangjia, Xiangzhou, Zhuhai, 519082, China

5 Institute of Geological Sciences and Oeschger Center for Climate Change Research, University of Bern, Bern 3012, Switzerland

6 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, 1239 Siping Road, Shanghai 200092, China

* bangqihu@gmail.com

Decline of atmospheric CO2 and associated climate change over the last deglaciation may have been modulated by changes in the marine productivity. To study the evolution of marine production in the western subtropical Pacific Ocean during the last deglaciation and the mechanisms governing these changes, 230Th-normalization is applied to study the deglacial changes in export production and terrestrial material influx based on a sediment core retrieved from the Okinawa Trough. The reconstructed export productivity shows two prominent pulses, centered at 14 ka and 17 ka. Given the productivity in our study site in the subtropical Pacific is generally nutrient-limited, elevated nutrient supply must have been responsible for producing the two deglacial productivity spikes. Specifically, shallow lateral transport of nutrient from the north (subarctic North Pacific) in the early deglaciation could have contributed to sustain the biological productivity pulse centered at around 17 ka, with secondary contribution from nutrient supply from the deep-water column with a weakening of water column stratification. In contrast, the synergy of enhanced upwelling driven by pronounced intensification of the East Asian Summer Monsoon, which promoted nutrient delivery to

the euphotic layer owing to the shoaling of North Pacific Intermediate Water, supplemented by the influence of sea level rise, was responsible for the distinct peak in biological productivity in the sub-tropical northwest Pacific at 14 ka. These observations lend support to the predominant governance of the atmosphere/ocean dynamics on the evolution of the marine carbon cycle in the western subtropical Pacific Ocean across the last deglaciation.

S18-O-22

现代浅海沉积中混合事件层的沉积过程

单新[1]*，石学法[1]，乔淑卿[1]，金丽娜[1]，王华伟[2]，Selvaraj Kandasamy[2]，Marco Fonnesu[3]

1 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

2 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361005

3 ENI Upstream and Technical Services，意大利 San Donato Milanese 20097

* xshan@fio.org.cn

沉积物重力流是全球大体积碎屑沉积物远距离搬运的重要过程。重力流的两个端元流体类型为碎屑流和浊流，它们之间的过渡流态可以形成混合事件层。混合事件层主要发现于深水扇边缘、盆底平原等深海沉积中。本次研究通过对东海陆架 DH01 钻孔和浊水溪三角洲前缘MZ04钻孔进行详细的沉积学研究，率先在我国东部陆架/三角洲现代沉积中也发现了混合事件层，揭示了浅海混合事件层的沉积过程，明确了陆架内垮塌和异重流均可以形成浅海混合事件层，指出了浊流与碎屑流之间的过渡流体类型是浅海重力流重要的沉积物搬运方式，丰富了浅海重力流沉积的类型。

S18-O-23

南海大气粉尘沉积与海洋生态响应

杜恕环[1,2]*，向荣[1,2]，刘建国[1,2]

1 中国科学院南海海洋研究所，广州，510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州，511458

* shuhuandu@scsio.ac.cn

大气粉尘对地球环境产生的影响已经渗透到地球的各个外部圈层，构架起水圈-地圈-生物圈圈层相互作用的桥梁，成为地球系统的重要组成部分。南海作为西太平洋最大的边缘海，深受东亚季风的影响，接受了大量来自亚洲大陆的粉尘，大气粉尘成为南海沉积现代过程的重要组成部分，与南海沉积过程以及生态演化息息相关。

南海已有的粉尘研究主要针对古海洋重建展开的，关于大气粉尘沉积的现代过程研究相对欠缺。本研究对南海大气粉尘现代过程进行初步探讨，通过粉尘沉积通量，粒度，扫描电镜等各项分析，了解大气粉尘的物质组成，沉积特征等；利用空气粒子传输轨迹模型（HYSPLIT-4）模拟粉尘搬运途径，整理南海现代粉尘的搬运过程，为南海东亚季风演化补充基础数据；结合南海海水表层叶绿素浓度数据，分析现代大气粉尘沉积对海洋生态环境的影响作用。

研究结果显示，南海现代大气粉尘沉积通量和粒度组成都具有季节性变化，利用后推轨迹模拟追踪南海大气粉尘的传播途径，发现季节性变化的粉尘颗粒主要与南海盛行的东亚季风相关，而大气，水体及沉积物中常年存在的细颗粒组分，其稳定物源可能是西风带。粉尘石英颗粒扫描电镜显示了明显的风成环境沉积特征，有效区别于沉积物中水成环境下形成的河流组分，从而可作为区分沉积物陆源碎屑物不同组分的依据，为提取粉尘组分作为冬季风指标，重建南海东亚古季风演化提供可能性。此外，来自亚洲大陆的粉尘，携带了浮游植物所需的营养成分，在大量粉尘输入南海的 1-2 天后，出现明显的粉尘触发引起叶绿素勃发的现象，表

明粉尘沉积通量变化引起海洋初级生产力显著不同的响应。

S18-O-24

黄河三角洲清水沟流路的平面二维水沙数值研究

贺治国，陈思思，李薇*，胡鹏

1 浙江大学海洋学院，舟山 316000

* lw05@zju.edu.cn

历史上黄河三角洲流路变动周期为 10 年左右，而现行清水沟流路自 1996 年人工改道已行水 20 多年，且随着近年来逐渐下降的来水来沙趋势，以及汛期与调水调沙项目期间大流量高含沙量的输入，其在新水沙条件下河道与河口的地貌演变特性仍不知晓。因此，本文采用平面二维水-沙-床耦合数学模型，建立了以利津为起点并囊括渤海海域的大尺度数值模型，探究黄河口现行清水沟流路的洪水演进过程、河床冲淤特性和入海泥沙时空分布特征。研究表明，在洪水期间，入海泥沙主要集中在河口处，部分泥沙在潮流动力作用下向南输移。在一个潮周期内，涨憩、落憩时在河口 10 m 水深左右的近海区域形成两种形态的切变锋，分别表现为内落外涨型与内涨外落型。切变锋最先在河口的浅水区产生，尔后逐渐向深水区移动，锋面流速近似为零，能有效地限制河口泥沙向外海输移。

S18-O-25

流域风化机制与碎屑沉积物组成

杨江海*，任俊童

1 中国地质大学（武汉）地球科学学院，武汉 430074

* yangjh@cug.edu.cn

碎屑沉积物来源于陆地表层岩石的风化剥蚀，其矿物和化学组成与对应流域的风化剥蚀状态密切相关。根据岩性可将流域划分成花岗质基岩流域和玄武质基岩流域。基于对陆地风化剥蚀研究的总结可知，花岗质基岩流域的化学风化受到气候和构造的联合制约，而玄武质基岩流域的化学风化通常与气候具有较强的内在联系。花岗质基岩流域具有较低的物理侵蚀速率时，化学风化与物理侵蚀呈正相关关系，属于供给限制型风化机制，表层土壤及产生的沉积物的风化强度与温度相关；当具有较高的物理侵蚀速率时，化学风化与气候条件相关，属于动力限制型风化机制，表层土壤及产生的沉积物的化学风化强度不反应气候条件。玄武质基岩流域的化学风化速率受控于年均温度，与物理侵蚀的强弱关系不明显。综合现代花岗质基岩和玄武质基岩流域的风化剥蚀数据，可基于碎屑沉积岩石记录来深入认识地质时期的示踪陆地风化剥蚀状态，进而重塑地质时期的陆地表层形貌变化，重建地质时期的陆地古气候演变。

S18-O-26

浙闽海湾晚更新世海侵过程及其指示的区域沉降

陈静[1]*，刘平[1]，孙丹丹[1]，于俊杰[2]，王继龙[2]，彭博[2]

1 华东师范大学河口海岸国家重点实验室，上海，200062

2 中国地质调查局南京地质调查中心，南京，210016

* jchen@geo.ecnu.edu.cn

通过对浙闽典型海湾多个钻孔基岩以上沉积物的 OSL 年代学、酸溶相地球化学元素、粒度以及稳定碳同位素分析，辨析了该区域晚更新世以来的海侵地层及其时代，初步揭示了该区区域沉降过程。结果表明，宁德地区基岩以上普遍存在 1-3 层深灰色淤泥质黏土层，富含有机质、贝壳碎屑，尽管有孔虫化石仅分布于顶层粘土层中，但沉积成因的 Sr/Ba 比值显示这 3 层远大于 1，且

含海相沟鞭藻、黄铁矿，表明其为海相沉积。OSL 测年结果表明其分别对应了全球晚更新世以来的高海面时期（MIS1、MIS3、MIS5）。值得注意的是，这些海相沉积层中的中颗粒石英含有长石包裹体，细颗粒石英晒退不充分，均会影响到 OSL 测年的准确性。沉积物粒度端元特征以及碳同位素反映出海侵时期潮上带-潮下带-海湾的沉积过程仅完整记录于 MIS1 期地层，MIS5 期地层仅出现了潮上带沉积，海侵强度最弱。该区 119 个钻孔岩芯资料显示出海侵范围也呈现类似特征，MIS5 期海侵有限，MIS1 期海侵最广。结合全球海平面波动，该区自 MIS5 期以来平均沉降速率可达 0.50-0.62 m/ka，快速沉降很可能发生在 MIS5-MIS3 期之间。

S18-O-27

水库调控对黄河入海沉积物通量、级配与组分的影响

吴晓[1,2]*，王厚杰[1,2]，毕乃双[1,2]，徐景平[2,3]，杨作升[1]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，青岛 266061

3 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055

* wuxiao@ouc.edu.cn

陆源沉积物被河流源源不断的从流域输运至海洋，对河口三角洲地貌演化、陆架海沉积环境与生物地球化学过程产生重要影响。然而，过去几十年来受流域内强烈的人类活动与气候变化的影响，全球河流系统发生显著调整，河流输沙的自然过程发生明显变化。尤其是，全球范围内水库大坝的快速增加，截留了超过 1000 亿吨的河流沉积物，引起河流入海沉积物通量的急剧降低。但与通量变化相比，水库大坝的运行对河流入海沉积物级配与组分的影响如何仍缺乏明确认识，极大地限制了对水库影响下河流系统调整与入海沉积物变化问题的深入理解。

作为全球输沙量第二大河，黄河曾向海输送高达 11 亿吨/年的巨量泥沙，对东中国海地质过程与沉积环境影响深刻。最近 60 年来受气候变化和人类活动的叠加影响，黄河河流系统发生明显调整，入海沉积物的通量和时空输运特征发生了重大变化。2002 年 7 月，黄河水利委员会开始利用黄河干流的大型水库实施调水调沙工程，利用下泄径流的挟沙能力，冲刷下游河道，增加汛期下游河道的行洪能力，最大限度地排沙出库，延长小浪底水库的使用寿命。调水调沙短短的十几天内，约占全年 30-50%的入海泥沙快速入海。如此大规模的人为改变河流的自然属性，在全球范围内尚属首次。

调水调沙实施以来，黄河彻底失去了“季风性”大河的特征，人造洪（沙）峰主导了黄河向海的水沙输送—入海水沙的自然特征（洪枯季波动）已被脉冲式输运所取代。与自然洪水相比，水库调控塑造的人造洪水持续时间大大缩短，洪峰时间提前至初夏(6 - 7 月)，比自然汛期提前 2-3 个月。沙峰随之发生调整，但由于调水期、调沙期与自然洪水的输沙差异，不同组分的时空输运特征存在显著不同。由于人工洪水强烈冲刷河道，黄河泥沙通量有所增加，尤其是砂/粉砂组分增加显著，级配粗化。入海泥沙通量、级配与组分的变化导致黄河三角洲由缓慢蚀退转为向海淤进，同时，脉冲式的输运特征进而引起陆源有机碳和污染物的快速入海和埋藏。对于全球河流来说，黄河水库调控提供了一个典型的范例，揭示了在年际/年代际尺度上通过水库人工运行可以有效增加入海沉积物、尤其是粗粒级组分的输运通量，进而缓解河口三角洲蚀退，但由此产生的潜在生态威胁需要进一步的关注。

S18-O-28

2ka 前后浙闽沿岸泥质沉积中心迁移的主控因素研究

仇建东*，刘健，印萍，曹珂，段晓勇，高飞，田元

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛，266071

* jiandongqiu@163.com

东海内陆架泥质沉积区是古环境演化和“源汇”过程研究的理想场所，是近年来海洋科学家关注的热点，对其物质来源、形成过程机制、地层厚度与分布、环境响应等研究取得丰硕成果。泥质体 2ka 不整合面的形成与长江口演化、季风、陆架环流等因素密切相关。先前研究对 2ka 界面已有所揭示，但对该界面的区域性分布，泥质体沉积速率时空差异、沉积动力背景空间差异等研究相对欠缺。根据大量高分辨率浅地层剖面和多个钻孔高密度 AMS14C 测年数据，我们初步发现 2ka 前后浙闽沿岸泥质沉积中心从瓯江口外迁移到浙江北部近岸。通过地震剖面和地质钻孔的综合分析研究，精细识别了 2ka 界面区域分布，细致刻画中晚全新世泥质沉积体分布特征，计算了沉积物通量，认为古地形、河流输入量、浙闽沿岸流、台湾暖流、黑潮近岸分支、上升流等因素对泥质沉积中心的迁移起着重要作用。本研究可以全面认识和解释全新世中晚期浙闽沿岸沉积速率时空差异，有望突破以往对泥质沉积体沉积过程的认识，并揭示季风-径流-陆架环流等多因素对泥质沉积体的发育控制作用。

S18-O-29

气候变化和人类活动影响下长江口外近三百年低氧沉积环境的演化

盛辉 [1]，赵亚青 [1]，刘东艳 [1*]，汪亚平 [1,2*]

1 华东师范大学河口海岸国家重点实验室，上海 200241

2 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210093

* ypwang@nju.edu.cn@163.com, dyliu@sklec.ecnu.edu.cn

低氧作为河口海岸地区典型的生态灾害，正严重威胁着生态系统的安全。在全球气候变化和人类活动影响日益加剧背景下，弄清楚历史低氧沉积环境演化的特征及其主导控制因素，将有助于我们未来制定有效措施降低低氧事件对生态环境的影响。但当前，由于缺乏长时间序列的观测资料导致我们很难从长时间尺度了解低氧沉积环境的演化，更不必说进一步探究其对气候变化和人类活动的响应。本文以长江口外南部低氧频发海区采集的沉积岩心为研究对象，选取工业革命时代开始到近现代人类活动影响显著增强的时期为研究时段，使用地球化学元素，沉积硅藻指标结合气候模拟数据尝试 1）重建长江口外低氧沉积环境的历史演化，2）探究大尺度气候变化（西太平洋季风信号）与流域剧烈人类活动（富营养化）对近岸河口区域低氧沉积演化的影响。研究结果表明，过去三百年来，气候人类共同驱动下研究区低溶解氧沉积环境呈现逐渐缓解的变化趋势，但在不同的特征时期存在明显的波动变化。1740-1820 年与 1870-1920 年为低氧加剧时期，1920-2018 年低氧总体处于相对缓解时期，但 1970 年以来低氧强度有明显增大的变化趋势。气候变化驱动的低温，高盐，低氧黑潮次表层水的入侵是长江口南部沉积低氧环境变化的主导因素。人类活动导致的陆源高营养盐的输入有助于长江口南部低氧沉积环境的形成，但受限于水动力驱动下陆源物质输运路径的影响，该地区人类活动对于低氧沉积环境形成的影响总体小于气候变化的驱动。多年际时间尺度上低溶解氧沉积环境背景的变化对于季节尺度低氧事件的触发具有重要的调节作用，未来气候快速转变背景下，需综合考虑气候因素及时调整人类活动对低溶氧环境产生的增幅效应，降低低氧事件发生的强度和频率。

S18-O-30

山东半岛北岸跨锋面物质输运对辽东半岛东岸沉积有机质的影响

舒卓，高建华*
1 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210023
* jhgao@nju.edu.cn

跨锋面物质输运是近岸沉积物、污染物和营养盐向外输运并参与全球物质循环的关键物理过程，具有显著的沉积、生态和环境效应。由此，选取辽东半岛东岸泥区柱状样一根，通过沉积物的粒度以及有机碳、氮和稳定同位素等指标，分析历史以来山东半岛北岸跨锋面物质输运强度变化及其对辽东半岛东岸泥区沉积有机质的影响。结果表明，自山东半岛北岸跨锋面物质输运机制形成以来：（1）其强度变化可分为两个阶段：6.5-2.5cal ka BP，随冬季风和黄海暖流的减弱而减弱，但受冬季风的影响更为明显；2.5cal ka BP 至今，由于冬季风较弱而黄海暖流较为强盛，则主要随黄海暖流的波动而变化；（2）辽东半岛东岸泥区沉积有机质的变化主要受到其强度变化的影响，其强度的增加会带来黄河来源细颗粒物质输入量的增加，这一方面会直接导致陆源有机质含量的增加，另一方面也会增加海区营养盐输入量，提高海区初级生产力，进而引起海源有机质含量的增加。相应于跨锋面物质输运强度的变化，陆源和海源有机质含量在 6.5-2.5cal ka BP 持续降低，而在 2.5cal ka BP 至今则呈现较为复杂的波动变化。

S18-P-01S

Impact of typhoon Chan-hom on sediment dynamics and morphological changes on the East China Sea inner shelf

Shuai Cong[1], Xiao Wu[1,2], Jianzhong Ge[3], Naishuang Bi[1,2], Yunhai Li[4], Jian Lu[5], Houjie Wang[1,2,*]
1 College of Marine Geosciences, Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ocean University of China, 238 Songling Rd., Qingdao 266100, China
2 Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, 1 Wenhai Rd., Qingdao 266061, China
3 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, 500 Dongchuan Rd., Shanghai 200241, China
4 Third Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, 178 Daxue Rd., Xiamen 361005, China
5 Institute of Oceanology, Chinese Academic Science (IOCAS), 7 Nanhai Rd., Qingdao 266071, China
* hjwang@mail.ouc.edu.cn

The East China Sea (ECS) inner shelf is highly impacted by tropical cyclones. Due to the limited availability of observations, the sediment dynamics and associated sedimentary process under the impact of typhoons are still poorly understood. In this study, a high-resolution unstructured-grid FVCOM model was employed to investigate the rapid responses of sediment dynamics in the ECS inner shelf to the passage of Typhoon Chan-hom in July 2015. The results indicated that there was an evident asymmetry in sediment dynamics around the typhoon track. During the typhoon, sediments were resuspended in nearshore area and transported downwind to southwestward and seaward. The gear-like sediment delivery presented a ratchet effect that induced an evident spatial asymmetry in responses of sediment dynamics and shelf sedimentation to the typhoon event. The coastal upwelling normally existing in summer was intermittently blocked by the passage of typhoon, and rapidly transited to downwelling, which substantially enhanced the cross-shelf sediment transport. As a result, severe erosions were mainly occurred near the typhoon track within 20 m isobaths, in contrast to newly formed sedimentary layers (~10 cm in thickness) in areas far south of the typhoon track and around the 50 m isobaths. The spatial asymmetry of sedimentary response to the

typhoon passage is therefore of importance to locating sediment records that well preserved the typhoon signals. The ratchet effect provided reasonable interpretations of the spatially asymmetric responses of shelf sedimentations in the northern Gulf of Mexico and the central Great Barrier Reef shelf to tropical cyclones, respectively.

S18-P-02S

长江口沉积物化学相态分析及主泓变迁的指示

倪和平[1]，毕磊[2]，郭玉龙[1]，何中发[3]，杨守业[1]*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 中国极地研究中心，上海 200136

3 上海市地质调查研究院，上海 200072

* syyang@tongji.edu.cn

元素地球化学是沉积环境研究的重要手段，但受河口海岸地区复杂多变的沉积动力环境影响，利用全岩沉积地球化学指标进行示踪研究存在局限性和多解性。长江口作为长江入海物质的重要沉积中心，沉积过程活跃，在径流与潮流共同作用下，河床蚀此积彼，主泓摆动频繁，河口沉积环境多变，是研究河口复杂环境下元素地球化学行为的理想场所。本研究选择长江下游干流悬浮物、东海陆架表层沉积物以及长江口具有一百多年沉积记录的 ZK6 孔，通过化学相态分析（1 N HCl 处理），探究酸溶态微量元素组成特征及其对河口环境变迁指示。

长江口 ZK6 孔沉积物酸溶态的 Sr/Ba 比变化范围为 1.2~1.9，介于现代长江和东海陆架沉积物之间，相较于钻孔全岩样品 Sr/Ba 比，酸溶态 Sr/Ba 比作为盐度指标反映河口古盐度和海陆相沉积环境变化更加可靠。ZK6 孔沉积物酸溶态 REE 含量占全岩比为 34~53%，主要赋存于 Mn 氧化物结合态，配分模式与现代长江沉积物基本一致；Ce/Ce*范围为 0.95~1.03，呈较弱的异常，Mn 氧化物含量基本控制 Ce/Ce*变化。

ZK6 孔沉积物酸溶态 Sr/Ba 比、Mn、ΣREE 含量以及 Ce/Ce*在 1899-2007 年期间呈三段式波动变化：1899~1948 年前后，酸溶态 Sr/Ba 比先波动降低，至 1920 年代中期后在低值区保持相对稳定，而 Mn、ΣREE 含量及 Ce/Ce*先波动升高后保持相对高值；1948~1971 年前后，酸溶态 Sr/Ba 比升高，Mn、ΣREE 含量及 Ce/Ce*迅速波动降低；1971 年后，酸溶态 Sr/Ba 比略有降低，但在 1971~2007 年期间整体变化不大，Mn、ΣREE 含量及 Ce/Ce*在 1971~2007 年期间呈先明显升高后不同程度降低的趋势。上述变化主要反映长江河口流路分汊和主泓位置迁移导致的水动力条件和盐度变化，以及河口絮凝沉积带位移引起的沉积环境变化，进而影响河口环境中活跃元素和次生组分在沉积地层中保存记录。本研究对了解复杂河口环境下微量元素地球化学行为以及利用微量元素示踪海洋环境变化有借鉴意义。

S18-P-03

先遣植被、动态泥炭沼泽主导约代尔旋回形成

石彦强

1 北京大地高科地质勘查有限公司，北京 100040

* shxshyq@126.com

“约代尔”旋回是由石灰岩、煤层和陆源碎屑岩组成的，以煤层顶板与海相灰岩直接沉积接触为特征的旋回。就此旋回，以往研究给出了截然不同的多种成因。为了探寻旋回的真正形成机制，将地史聚煤期沉积特征与现代植被、泥炭沼泽、碳酸盐岩沉积规律相对比分析，认为地史聚煤期植物异常繁盛，占据了盆地演化阶段的主导地位。在先遣植被的禁锢下,盆地输入陆源碎屑极其贫乏,形成动态泥炭沼泽；泥炭沼泽覆水后，很浅的水体也非常清澈，水生生物与已沉积有机质共同作用，以及随后的成岩胶结促进了

石灰岩的形成。煤层顶部至石灰岩下部代表的是无碎屑输入的滨海，水深逐渐增加的沉积序列，石灰岩与下伏煤层为连续沉积。约代尔旋回是先遣植被限制了陆源碎屑输入，导致海水清澈的、正常的海进海退沉积。石灰岩和煤层虽然厚度不是很大，但横向连续性相当好，向陆源方向煤层增厚、石灰岩变薄，向海方向煤层变薄、石灰岩增厚，约代尔旋回向陆可以形成厚煤层。约代尔旋回真相的揭示，为沉积古地理和层序地层研究，以及为准确的区域对比、探索聚煤规律奠定了坚实的基础。

S18-P-04S

基于碎屑矿物学证据重建黄海中部泥质区东缘 45kyr 来的物源和沉积演化

张尧[1,2]，韩宗珠[1,3]，孟宪伟[2,3]*，金秉福[4]，来志庆[1]，刘金庆[5]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266003

2 自然资源部第一海洋研究所海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

3 青岛海洋科学与技术国家实验室，青岛 266061

4 鲁东大学资源与环境工程学院，烟台 264025

5 山东科技大学地球科学与工程学院，青岛 266590

* mxw@fio.org.cn

黄海中部泥质区（CYSM）是全球陆架边缘海泥质区的典型代表，是东中国海近岸砂-远端泥沉积体系的重要单元。以往对该区沉积演化的研究多局限于全新世以来的泥质区内部。本研究以 CYSM 东缘一根拥有极低沉积速率的岩芯重建了晚 MIS3（~45 kyr）以来的物源和沉积演化。为了最大限度地消除非物源因素对物源判识信号的干扰，我们创新性地应用了重矿物比值（GS-HE）和石榴石单矿物化学（G-P-AS）示踪了粗粒物质的来源，其具有显著的黄河源特征，特别是在 MIS2 和 MIS1。研究发现，沉积演化主要受由海平面和气候主导下水动力变化的制约。在晚 MIS3，频繁海平面波动和潮流侵蚀导致研究区两次浅海-滨岸相转换和和低沉积速率。自生黄铁矿的富集指示了较高海平面时期古冷水团和泥质沉积的出现。在 MIS2，树枝状的古黄河水系散布于黄海陆架，流经研究区。干冷的气候背景下，河流沉积可能遭受了强东亚冬季风的侵蚀。9.6kyr 以来，由潮流和上升流导致的较强的水动力条件使得研究区只保留了微薄的全新世沉积。此外，我们从“泥质区边缘”这一新视角，系统比对了 CYSM 沉积中心-中部-边缘的沉积特征，从而为全面直观地认识陆架泥质区的形成过程和机制奠定了坚实基础。

S18-P-05S

Multi-year winter variations in suspended sediment flux through the Bohai Strait

Xingmin Liu [1,2],Lulu Qiao[1,2,*], Yi Zhong[2], Wenjing Xue[1,2] , Peng Liu[1,2]

1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, 238 Songling Road, Qingdao 266100, China; liuxingmin@stu.ouc.edu.cn (X.L.); zhongyi3821@stu.ouc.edu.cn (Y.Z.); ck@stu.ouc.edu.cn (W.X.); liupeng2703@stu.ouc.edu.cn (P.L.)

2 Key Lab of Submarine Sciences & Prospecting Techniques, MOE, Ocean University of China, 238 Songling Road, Qingdao 266100, China

* luluq@ouc.edu.cn

The Bohai Strait is the only channel that allows material exchanges between the Bohai Sea and the Yellow Sea. It is also the only channel for the transportation of materials from the Yellow River to the Yellow Sea and the East China Sea. The supply of suspended sediment from the Bohai Sea plays a decisive role in the evolution of the mud area in the northern Yellow Sea and even the muddy area

in the southern Yellow Sea. Previous studies have demonstrated that sediment exchange through the Bohai Strait occurs mainly in winter, but due to the lack of long-term observational data, changes in the sediment flux over multiple years have not been studied. In this paper, based on L1B data from the MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) -Aqua satellite, an interannual time series of the suspended sediment concentration (SSC) at each depth layers in the Bohai Strait in winter was established through 16 cruises that benefited from the complete vertical mixing water in the strait in winter. The numerical model FVCOM, (Finite-Volume Community Ocean Model) which is forced by the hourly averaged wind field, reflected the effect of winter gales. With the model simulated winter current from 2002 to the present and the SSC at each layer, multi-year winter suspended sediment flux data were obtained for the Bohai Strait. This study found that in the winter, the suspended sediment output from the Bohai Sea to the Yellow Sea through the southern part of the Bohai Strait, while the suspended sediment input from the Yellow Sea to the Bohai Sea is through the northern part. In terms of long-term changes, the net flux ranged between 1.22 to 2.70 million tons in winter and showed a weak downward trend. The output flux and input flux both showed an upward trend, but the increase rate of the input flux was 51,100 tons/year, which was higher than the increase of the output flux rate (46,100 tons/year). These changes were mainly controlled by the increasing strength of east component of winter wind. And the weak decrease in net flux is controlled by the difference of output and input flux.

S18-P-06S

东海外陆架-冲绳海槽水体 REE 空间变化特征与示踪意义

范佳慧[1,2]，窦衍光[1,3]*，赵京涛[1,4]，蔡峰[1,4]，陈晓辉[1,4]，李军[5]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

2 中国地质大学（北京），北京 100083

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室 青岛 266061

4 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室 青岛 266061

5 中国地质调查局武汉地质调查中心，武汉 430205

* douyanguang@gmail.com

近年来，稀土元素（REE）的海洋地球化学被广泛认为是探索水体特征和海洋环流的有力示踪剂。东海外陆架-冲绳海槽区域地形变化大，加之各种水源的影响使得水文环境复杂，该区域是研究黑潮强流下的水体循环和地球化学过程的良好靶区。目前，除了一些局部尺度 REE 分布的报告外，东海海水的区域尺度稀土分布数据未见报道。我们通过对东海外陆架至冲绳海槽两个水体断面 REE 浓度的分析，揭示该区域水体 REE 空间变化特征与水体来源，探讨东海陆架水、黑潮、冲绳海槽中深层水、太平洋水体之间相互关系，以及相关的地球化学过程。

研究发现，长江、黄河水等河流输入和颗粒物清除过程对陆架水的影响是显著的。东海陆坡和冲绳海槽的表层和次表层水体（<350m）REE 浓度低于东海陆架水，该层位水体主要来源于黑潮表层水(KSW)、黑潮次表层水(KTW)，部分水体受陆架水影响。冲绳海槽中深层水体（>350m）REE 浓度明显高于表层、次表层水体，略低于陆架水，且 PAAS 配分模式与陆架水体明显不同，端员分析发现该水体主要受南海中层水（SCSIW）和北太平洋中层水（NPIW）影响，SCSIW 和 NPIW 通过宫古海峡和台湾

东北部水道侵入冲绳海槽；另一方面，冲绳海槽中深层水体主要受颗粒清除过程的影响，陆源碎屑从斜坡侧向输送释放 REE。值得注意的是，冲绳海槽中部陆坡次表层水体溶解氧含量、REE 等指标与中深层水体一致，表明冲绳海槽下部水体上涌、陆坡上升流的存在。

S18-P-07S

基于岩芯扫描溴计数估算海洋沉积物有机碳含量方法

吴兰军 [1,2,3]*，黎刚 [1,2]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广东 广州 511458

2 中国科学院南海海洋研究所 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室/南海生态环境工程创新研究院, 广东 广州 510301

3 中国科学院大学, 北京 100049

* wulanjun@scsio.ac.cn

整合 X 射线荧光光谱仪（XRF）的沉积物岩芯扫描技术可以无损、快速获得高分辨率的溴（Br）计数信息，可用来估算海洋沉积物中有机碳含量，但是其准确性及各种校正方法的效果还需要深入研究。本研究选择在有机质来源构成上有明显差异阿拉伯海和南海的两根沉积柱，系统开展了沉积物 TOC 含量与 Br 计数的相关性分析，深入剖析了 Br 计数估算沉积物 TOC 含量的误差来源及评估该方法的适用性。对于有机质含量较高的海洋沉积物而言，Br 计数与 TOC 之间存在较好的相关性，且其相关性与是否校正 Br 计数没有显著关系。在一些近陆源的海域或者陆源有机质含量增大的层段，用 Br 计数估算的沉积物 TOC 含量会低于实测的 TOC 值。

S18-P-08S

北极东西伯利亚陆架沉积物物源：来自粘土矿物和化学元素的证据

李秋玲 [1,2]*，乔淑卿 [2,3]，石学法 [2,3]

1 河海大学海洋学院，江苏南京 210098

2 自然资源部第一海洋研究所 海洋地质与成矿作用重点实验室，山东青岛 266061

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室，山东 青岛 266061

* geolql@163.com

北极东西伯利亚陆架是世界上罕见的宽广大陆架，发育特色的沉积体系，具有复杂的海洋环流以及强烈的陆源物质和淡水输入。研究其现代沉积物的分布特征、来源及运移过程有助于更好地理解北极陆架沉积物的源-汇过程，揭示北极边缘海与周围大陆、海洋之间的相互作用机制。该区域以往在源-汇方面的研究大多采用单一指标进行物源示踪，多指标结合的研究还相对较少。为了进一步对北极东西伯利亚陆架区沉积物的来源进行限定，建立北极陆架沉积物输运模式，我们对北极东西伯利亚陆架表层沉积物进行了粒度、黏土矿物以及常微量元素测定，阐述了粒度、黏土矿物和常微量元素的分布特征，探讨了东西伯利亚陆架沉积物的主要来源与运移过程。结果表明，研究区可以划分为 4 个沉积区：（1）东西伯利亚海近岸河口区（Ⅰ区）：沉积物以粉砂和砂质粉砂为主，TiO_2、Zr、SiO_2 含量较高，其他元素在该区都处于低值，La/Th 与 Zr/Hf 比值在 4 个沉积区中为最大值，粘土矿物中伊利石含量占绝对优势，约为 70%。该区受到河流与海岸侵蚀物质输入的强烈影响；（2）东西伯利亚海中部（Ⅱ区）：沉积物以粉砂和泥为主，MnO、Ba 与 Ni 等元素在该区含量较高，粘土矿物组合与Ⅰ区类似，La/Th 和 Zr/Hf 比值比Ⅰ区略低。该区沉积物以河流输入的细粒沉积物为主，受海冰等过程的影响发生了混合，随着离岸距离的增加，海洋自生组分开始增多；（3）东西伯利亚海北部深水区（Ⅲ区）：沉积物以泥为主，Al_2O_3、

K_2O、V、Li 等元素在该区达到最大值，La/Th 和 Rb/Th 比值与Ⅱ区极其类似，伊利石含量在该区为最低值，蒙皂石与高岭石含量在该区达到最大值，>10%。该区细粒沉积物很可能受大西洋水体以及波弗特环流的影响；（4）楚科奇海（Ⅳ区）：该区沉积物主要由粉砂和砂质粉砂组成，CaO、P_2O_5 等元素在该区含量较高，Rb/Th、La/Th 与 Zr/Hf 均为最小值，绿泥石在该区最为富集。该区沉积物受太平洋入流水的影响强烈。

S18-P-09S

基于放射性核素指纹的北部湾海洋沉积物源汇过程示踪

林武辉[1,2]*，莫敏婷[1]，余克服[1,2]
1 广西大学海洋学院，南宁 530004
2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004
* linwuhui8@163.com

北部湾是我国“一带一路”有机衔接的重要门户，承担我国大西南地区最便捷出海口的角色，拥有丰富的海上油气资源，同时拥有红树林、海草床、珊瑚礁等典型海洋生态系统[3]，是许多海洋生物的栖息地。在北部湾区域经济快速发展背景下，广西防城港和海南昌江滨海核电站相继运行，并在“碳达峰、碳中和”背景下逐步扩建。然而，目前北部湾海域的海洋放射性核素源汇过程与生物地球化学循环研究相对匮乏。

本研究系统采集北部湾海域 90 个站位的表层沉积物以及近岸（大坪坡、红瓦寮、三娘湾）和远岸（涠洲岛西南海域）4 个站位的柱状沉积物，利用高纯锗 γ 谱仪测量沉积物中 5 种最主要的天然放射性核素（^{238}U、^{226}Ra、^{210}Pb、^{228}Ra 和 ^{40}K）含量，揭示核素的空间（水平方向和垂直方向）分布特征；探讨粒径、总有机碳、氧化还原状态、生物/物理扰动、海洋环流等因素对核素空间分布的调控机制；基于广东海域-琼州海峡-广西海域的区域海洋框架和流域-河流-海岸带-近岸连续体，探索以放射性核素指纹（$^{226}Ra/^{238}U$ 和 $^{232}Th/^{238}U$ 比活度比值）为潜在的地球化学指标，构建三端元模型定量计算北部湾沉积物中不同物质来源的贡献比例。

本文利用 ^{226}Ra-^{238}U 和 ^{232}Th-^{238}U 三端元模型定量计算出北部湾沉积物有 85%的广西本地输入和 15%的广东沉积物经琼州海峡的跨区域输入。拥有我国最多核电机组数量的广东省，是北部湾核污染的潜在风险源。该结论可为北部湾沉积物中物质源汇定量研究提供一定思路，也可以为区域海洋核应急管理提供一定参考。

S18-P-10S

沉积物粉碎年龄对长江流域侵蚀过程的约束及其对气候变化的响应

陈俊飞，李超*，杨承帆，毕磊，杨守业
1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
* cli@tongji.edu.cn

沉积物从源区风化剥蚀，经历河流或风的搬运，在边缘海埋藏沉积经历了一系列复杂的“从源到汇”过程。长江作为世界性大河，受到复杂岩性、地貌和气候以及人类活动的多重因素影响，其入海沉积物的“源—汇”转换过程十分复杂，尤其是该过程与气候变化的关系仍然存在争议。本文选取位于长江河口崇明岛上的 CM97 钻孔，开展了元素和 Sr-Nd-U 同位素的分析，探讨末次冰消期以来长江入海沉积物侵蚀过程与气候的响应关系。根据沉积物中细粒硅酸盐碎屑组分的 $^{234}U/^{238}U$ 比值，本文计算了沉积物的“粉碎年龄”，该年龄反映了沉积物自风化破碎以来经历的时间。研究结果显示，自 14ka 以来，虽然长江口沉积环境随海平面的上升在逐渐改变，但沉积物中细颗粒组分（粉砂和黏土粒级）物质来源较为稳定。前人在本钻孔中基于孢粉信息的解读，识别出长江流域几次气候湿润期和干燥期。本研究发现钻孔沉积物粉碎年龄与气候湿润和干

燥有较好的对应关系，具体表现为粉碎年龄在干燥时期相对较小，而在湿润时期相对较长。流域风化壳或土壤层侵蚀越深，流域输出的“新鲜”破碎颗粒越多，入海沉积物粉碎年龄越短；反之，粉碎年龄越长。以上发现表明气候温暖湿润的时期，流域整体土壤发育较好，降水充沛，冲刷强，流域侵蚀深，总体表现为沉积物“粉碎年龄”短。在气候干燥时期，土壤层发育薄，降水相对较少，冲刷弱，流域侵蚀浅，表现为钻孔记录中此时堆积的沉积物“粉碎年龄”长。本研究证实了大型流域的沉积物剥蚀过程对千年尺度上气候变化具有较快速的响应，为揭示气候演化对流域地貌的改造进行了有益探索。

S18-P-11S

($^{234}U/^{238}U$)评估沉积物/岩中硅酸盐碎屑组份提取效果

马松阳[1]，李超[1]*，王晨羽[1,2]，郭玉龙[1]，段知非[1]，杨守业[1]

1 海洋地质国家重点实验室（同济大学），上海，200092

2 GFZ German Research Centre for Geosciences, Earth Surface Geochemistry, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Germany

* cli@tongji.edu.cn

沉积物中不同化学相态组分的提取是表生地球化学研究的重要手段，其中硅酸盐碎屑组分可以反映沉积物源区的地球化学特征，是源区信号的重要载体。目前学界针对沉积物陆源碎屑组分的精确提取提出了多种方案，并取得了大量重要认识。然而，由于不同组分的划分主要还是操作上的定义，难以实现对硅酸盐碎屑组分提取效果的检验。表生环境中铀元素的性质活跃，由于优先淋滤和 α 粒子的弹射反冲作用，碎屑颗粒物表层的 ^{234}U 容易逃逸进入周围环境溶液。因此，碎屑颗粒物表层会形成非常薄的 ^{234}U 亏损层（~30nm），而周围溶液则富集 ^{234}U。理想情况下，在使用化学试剂进行顺序提取的过程中，碎屑颗粒表面附着的非碎屑组分（如自生碳酸盐组分和有机质结合组分等）首先溶解。当非碎屑组分完全溶解，而碎屑颗粒未发生溶解时，沉积物残渣中的($^{234}U/^{238}U$)应该处于最低值。因此可以通过监控残渣中($^{234}U/^{238}U$)变化来确定非碎屑组分的去除效果。本文选取了台湾沉积岩，长江、黄河以及台湾浊水溪沉积物，基于($^{234}U/^{238}U$)在碎屑颗粒中的分布特性，评估了 Dosseto et al. (2010)和 Francke et al. (2018)提出的两种顺序提取方法。结果显示，Francke 所提出的淋洗方法可以有效去除岩石样品中的非碎屑组分；而对沉积物样品，两种方法在去除效果上各有优势，推测与样品不同组分的含量特征有关。此外，本文还发现台湾浊水溪流域岩石样品($^{234}U/^{238}U$)并没有处于久期平衡状态，推测可能与岩石露头样品经历环境溶液改造或者发生较明显的优先淋滤有关。根据岩石碎屑颗粒不同层位($^{234}U/^{238}U$)的差异，未来随着分析技术和仪器水平的提高，有可能通过实时在线测试沉积物淋洗液和残渣中的($^{234}U/^{238}U$)来精确监控沉积物非碎屑组分和碎屑组分的分离效果。

S18-P-12S

红河河口沉积物 Sr-Nd 同位素组成对海区物源研究的指示

段知非[1]，李超[1]*，郭玉龙[1]，黄家潍[1]，杨守业[1]，段晓勇[2]，印萍[2]，Bui Van Vuong[3]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

3 越南科学院海洋环境与资源研究所，海防，18000

* cli@tongji.edu.cn

红河每年向南海输送约 1.3 亿吨泥沙，是南海北部重要的泥沙来源之一。南海西部和北部发育了湄公河、红河和珠江等世界级

的大型河流，在独特的季风和环流体系下，以上河流共同主导了南海西部和北部的沉积物供应。过去十几年的研究中，前人对珠江和湄公河对南海西部沉积物的供应取得了一系列重要认识。然而，对于红河在南海西部（中南半岛东侧）的影响范围和泥沙贡献认识相对薄弱，其主要原因是对红河入海沉积物的端元特征认识不足。例如，红河河流沉积物在黏土矿物和Sr-Nd同位素组成等常用物源示踪指标上与湄公河非常接近，限制了两条河流不同物质输入在南海西部的识别。

为进一步明确红河入海沉积物的端元特征，探究红河沉积物 Sr-Nd 同位素的影响因素，本研究测试了红河三角洲以及近岸海区的 27 个沉积物样品元素地球化学和 Sr-Nd 同位素组成。结果显示，样品 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 范围是 0.7268 ~ 0.7346，εNd 范围是-12.5 ~ -11.2，其变化范围小于前人报道流域内 Sr-Nd 同位素的变化范围。$^{87}Sr/^{86}Sr$ 与沉积物平均粒度以及 $K_2O/(Na_2O+CaO)$具有显著的相关性，而 εNd 则与上述指标不具有相关性。这说明粒度分选可能通过控制斜长石等矿物的含量，进而影响其 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 的组成。该结果表明在未来对比河流入海沉积物和海区沉积物 Sr 同位素组成时，应注意粒度分选和矿物组成对于 Sr 同位素的影响；相比之下，Nd 同位素受粒度分析影响造成的差异较小，能够更加可靠的指示海洋沉积物的来源。

目前对于湄公河沉积物 Nd 同位素的研究普遍集中在湄公河河口地区，已报道数据显示其范围是-10.8 ~ -9.9。而前人对红河沉积物 Nd 同位素的调查不仅局限于河口，还分布于流域中。但受到不同支流输入的影响，红河流域 Nd 同位素的变化范围是-13.1 ~ -10.4。本研究测定了红河河口地区沉积物 Nd 同位素值，变化范围显著小于流域样品，反映河口区沉积物相比流域沉积物混合更加均一，更能代表入海物质的平均组成。采用红河河口地区沉积物 Nd 同位素作为其入海沉积物端元特征，与湄公河河口入海沉积物 Nd 同位素组成显示出明显的差异。在此基础上建立红河和湄公河入海端元特征，可以实现南海西部海区红河和湄公河的不同贡献的准确识别，从而为该区域沉积记录解释和古环境重建提供更加可靠的证据支撑。

S18-P-13S

南海北部陆架 240ka 以来陆源碎屑供给及其对古环境变化的响应

张驰，杨守业*，黄湘通，郝强，许心宁

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* syyang@tongji.edu.cn

南海周边巨量的陆源物质从源到汇的搬运和沉积过程受到东亚季风引起的物质供给、海平面升降变化和洋流活动等过程的综合影响，是研究过去环境变化的良好场所。利用南海东北部外陆架 MD12-3429（水深 903）钻孔浮游有孔虫氧同位素结合 AMS14C 数据，建立了 240ka 以来高分辨率年代地层。通过陆源碎屑高分辨率粒度演化、XRF 岩芯扫描以及元素地球化学分析，探讨 MIS7 期以来陆源碎屑供给对古环境演变化的响应。结果显示，该孔陆源碎屑颗粒整体较细，4～28μm 占主要组成，几乎不含大于 64μm 颗粒，平均粒径 6.5φ。粒度的时间变化序列具有明显的冰期-间冰期旋回特征，与海平面变化具有良好的响应，冰期平均粒径 5.8φ，频率曲线现明显的双峰态；间冰期海平面迅速上升造成河口后退数百米，平均粒径下降至 7.3φ，频率曲线多位单一主峰态。元素地球化学结果显示，冰期陆源碎屑以珠江源为主，混杂一定台湾沉积物，CIA 平均值 78，沉积物受到中等程度化学风化；间冰期陆源沉积物主要来自台湾西部，陆源沉积物 CIA>85，含 K 矿物发生淋滤。研究认为，冰期旋回中南海东北部陆源碎屑物质的输入受物源供给和洋流搬运的双重影响。尽管冰期盛行冬季风能够驱动北部气旋式环流携带大量台湾源陆源碎屑，但大面积陆架暴

露以及珠江河口向陆架方向的推移有利于珠江陆源碎屑物质的供给；间冰期珠江沉积物在沿岸流影响下向西搬运。全新世台湾沉积物化学风化强度与间冰期存在明显不同，反映全新世以来，增强的夏季风以及物理剥蚀作用造成风化模式的改变。

S18-P-14S

末次间冰期以来鄂霍次克海海冰的轨道和千年尺度变化及其意义

王安琪[1]，姚政权[1,2]*，石学法[1,2]*，王昆山[1,2]，邹建军[1,2]，刘焱光[1,2]，吴永华[1,2]，Sergey Gorbarenko[3]

1 自然资源部第一海洋研究所海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 26606

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 26606

3 V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch of Russian Academy of Science, (FEB of RAS), Vladivostok, Russia

* yaozq@fio.org.cn, xfshi@fio.org.cn

鄂霍次克海的海冰在区域海洋环境和全球气候变化中扮演着重要的角色。然而，末次间冰期以来海冰变化的历史和机制仍存在争议。在这项研究中，我们利用在西南鄂霍次克海的 LV55-40-1 岩芯，以砂组分和坠石作为 IRD 指标，重建了过去 110 ka 以来海冰变化的历史，揭示了其在轨道和千年尺度的潜在成因。研究结果表明，在 MIS 5b，MIS 4，MIS 3 晚期和 MIS 1 早期发生了海冰扩张，其主要原因是当地秋季日照量的减少。此外，在受秋季太阳辐射影响的轨道尺度背景下可以观察到海冰的在千年尺度的变化，其中 19 个海冰扩张事件与 Dansgaard-Oeschger 冷事件（DOS）相吻合。我们认为海冰在千年尺度的变化可能受到北极涛动（AO）和东亚夏季风（EASM）的控制。当 AO 指数为负时，鄂霍次克海的气温下降导致更活跃的海冰形成。由于在间冰期东亚夏季风在 DOS 期间减弱导致阿穆尔河径流减少，期间温暖的平流对鄂霍次克海表层水的影响减弱，抑制了随后冬季海冰的形成。

S18-P-15S

马尼拉海沟浊流沉积的层序识别与环境效应

王俊喆[1]，王培杰[1]，徐景平[2,3]，王厚杰[1,2]，毕乃双[1,2]，吴晓[1,2]*

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，青岛 266061

3 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳，518055

* wuxiao@ouc.edu.cn

浊流多发生于大陆边缘地区，是陆源物质向深海输运的重要事件性过程。海底浊流能在短时间内将巨量陆源物质搬运数百至上千公里到达深海地区，同时切割陆坡塑造海底峡谷，并在海底峡谷远端的较开阔海底形成浊积扇，对海底工程安全与深海沉积环境产生重要影响，受到海洋地学界的广泛关注。普遍的研究认为强风暴或地震等过程对沉积物平衡的破坏是触发浊流的重要机制，但由于强风暴或地震过程发生的随机性和浊流过程的破坏性，导致现代浊流事件过程存在巨大的观测难度。因此，浊流高发区的沉积记录解译成为研究浊流导致的沉积环境变化的重要手段。马尼拉海沟及其上游的多条海底峡谷（高屏、枋寮、福尔摩沙）为海底浊流触发的有利地形条件，加之该区台风、地震侵袭频繁，成为研究浊流事件的天然试验场。为探究马尼拉海沟地区浊流沉积导致的海洋沉积环境变化，本申请通过对南海东部马尼拉海沟内岩心 X02 的沉积学与沉积地球化学分析，进行了浊流层序识别，探讨了浊流沉积与深海沉积的沉积差异。研究结果表明，X02 柱状样 54-60cm 深处存在一个明显的浊流层，突出表现为粒度急剧粗化，平均粒径由 53cm 处 6.62μm 增加至 57cm

处 35.6μm，砂组分增加 43.8%，后缓慢变细，降低至 61cm 处 6.34μm，砂组分重新减少至近于零。粒度频率分布曲线反映出该层位内部向上的粒度组分呈“细粒单峰-粗细双峰-粗粒单峰-粗细双峰-细粒单峰”的变化，指示了浊流过程从开始到落幕、沉积物搬运能力从加强到减弱的演化过程。浊流层位的常微量元素、重金属与矿物组成表现出与深海沉积层位的显著差异，表明浊流事件导致的巨量浅海陆源沉积物向深部快速迁移引起马尼拉海沟地区沉积环境的剧烈变化。

S18-P-16S

山东半岛泥质区东部 W02 岩芯沉积记录及物源环境指示

王培杰[1]，王俊喆[1]，王厚杰[1,2]，毕乃双[1,2]，胡利民[1,2]，吴晓[1,2]*

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，青岛 266061

* wuxiao@ouc.edu.cn

河流沉积物的入海通量及其在陆架海的输运过程与沉积归宿（从源到汇）一直是海洋地学界关心的热点问题之一。其中，陆架泥质区蕴藏了丰富的沉积历史和沉积环境演化的信息，成为反演历史时期河流沉积物“源-汇”过程变化的“金钥匙”，在河流沉积物“源-汇”问题的研究中备受关注。山东半岛泥质区位于黄海西侧，受山东半岛沿岸流和黄海暖流的影响，该区主要受长距离输运的黄河沉积物影响，同时长江、鸭绿江和韩国河流也有一定贡献。因此，山东半岛泥质区记录了末次冰消期以来气候变化、海洋环境演化和海陆相互作用等丰富信息，是揭示千年尺度气候变化和人类活动影响下流域变化和东中国海环境演化的理想靶区。本研究对山东半岛泥质区东部的 W02 岩芯沉积物的粒度、有机碳、碎屑矿物等参数进行分析，结果表明：W02 岩芯明显分为三个阶段，411-330cm 为致密黏土层，平均中值粒径为 7.40Φ，砂含量为 1.45%，粉砂含量为 65.16%，黏土含量为 33.39%；330-300cm 出现贝壳层，沉积物以灰黑色黏土质粉砂为主，夹杂大量完整的牡蛎与贝壳；300cm 以上为灰黑色粉砂层，平均中值粒径为 6.31Φ，砂含量为 8.42%，粉砂含量为 72.02%，黏土含量为 19.52%。TOC 测试结果表明，贝壳层以下（411-330cm）TOC 由 0.41%逐渐增加至 0.59%，δ13C 由-25.30‰变为-25.75‰，C/N 由 9.0 增加至 12.2，反映出随着海平面变化陆源 TOC 贡献的增加；贝壳层以上（330-0cm）TOC 整体变化不大，约为 0.87%±0.27%，δ13C 与 C/N 分别为-26.49‰和 15.4。碎屑矿物的鉴定结果显示，W02 岩芯整体重矿物含量较低，平均含量占碎屑矿物总量的 1.03%，其余为轻矿物。鉴定出的 29 种重矿物中自生黄铁矿含量最高，平均含量 40.10%，在垂向分布上，黄铁矿含量从底层到表层含量呈逐渐降低的趋势，指示该区经历过氧化还原环境的变化。

S18-P-17S

黄河口湿地植被时空变化及其地貌效应

巴旗[1]，毕乃双[1,2]*，张诗然[1]，王保铎[1]，王厚杰[1,2]，吴晓[1,2]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

2 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室，青岛 266100

* binaishuang@ouc.edu.cn

黄河三角洲作为我国暖温带最完整的湿地生态系统，是海洋的“蓝色碳汇”，也是重要的陆地碳库，了解湿地植被时空变化及其对地貌的作用，对维护黄河三角洲湿地的生态健康、提高生物多样性等方面有重要意义。本文基于 1999-2020 年 Landsat 系列卫星遥感影像提取 NDVI（Normalized Difference Vegetation Index，归一化植被指数）数据，利用监督分类、像元二分模型等

方法，研究了黄河现行三角洲湿地的植被时空变化；并结合高程调查资料，探讨植被时空变化对黄河三角洲地貌的影响。结果表明黄河口植被覆盖指数 2011 年后增加一倍左右，均值由 0.2 增至 0.4，表明河口植被覆盖度发生显著变化，黄河口植被类型近年来快速变化，主要表现在 2011 年后互花米草的爆发，导致其覆盖面积 2018 年已占据河口陆域面积的 11.5%，尤其是其主要位于潮间带，并由北向南不断扩展至 121 平台附近。互花米草的大爆发给河口的冲淤带来显著影响，2015 年和 2017 年河口湿地监测断面的高程资料显示，虽然黄河入海沙量锐减导致河口水下三角洲显著侵蚀，但在有植被覆盖的潮间带区域，其高程显著增加最大可达 0.8 m，显著促进了河口的淤积，河口造陆速率发生显著变化。

S18-P-18

长江和黄河沉积物碎屑矿物组成及其物源示踪应用

王中波[1]*，祝文君[2]，李日辉[3]，梅西[3]，白凤龙[3]，杨守业[3]

1 汕头大学理学院，汕头 515063

2 山东科技大学地球科学与工程学院，青岛 266590

3 青岛海洋地质研究所，青岛 266071

4 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* zhbwang@stu.edu.cn

影响沉积物组成的因素包括母岩组成、源区风化、搬运过程中的机械磨蚀和化学溶蚀、沉积成岩作用等。长江和黄河水系沉积物碎屑矿物组成对比研究表明，长江重矿物含量从长江上游至下游呈递减趋势，干流组合是普通角闪石－普通辉石－石榴子石－绿帘石－褐铁矿－钛铁矿；；而黄河流域石榴石、不透明矿物等特殊矿物含量变化主要反映悬浮泥沙的沉积分异程度以及不同水系的水动力强度。红柱石和磷灰石是金沙江、岷江和汉江流域的特征矿物分别是红柱石、蓝晶石和磷灰石，反映出不同支流源岩性质及源岩的差异。黄河碎屑矿物的含量变化并不完全受物源控制，可以反映季节性的河流水动力强度与沉积环境差异导致碎屑矿物的重力分选作用，因此在边缘海区运用碎屑矿物组成识别黄河入海物质的贡献时需谨慎。

此外，长江流域碎屑沉积物石榴石化学组成研究显示，长江流域出露的片岩、千枚岩和大理岩以及低温接触变质岩控制了沉积物石榴石的组成。利用石榴石 G-P-AS 物源分析方法，可以识别出长江流域的特征石榴石组合。金沙江是长江入海粗粒沉积物的主要来源，其石榴石组合可以作为长江特征物源端元。碎屑石榴石组成分析可为第四纪陆源碎屑沉积物物源示踪研究提供一种思路。

S18-P-19

南海北部~17ka 以来的表层水温度、盐度变化重建

殷鉴*，杨小强

1 中山大学地球科学与工程学院/广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室，广州，510275

* yinjian8@mail.sysu.edu.cn

石笋 $\delta^{18}O$ 序列显示亚洲夏季风总体降水普遍滞后于北半球夏季太阳辐射(Northern Hemisphere Summer Insolation, NHSI) ~2ka，而许多海洋沉积记录指出印度夏季风在岁差波段上晚于 NHSI 变化 ~8ka。亚洲季风区的古气候记录和古海洋记录在岁差波段上存在的显著相位差，吸引了诸多研究，尤其是对轨道尺度上古气候变化原始驱动的探讨。由于测年手段的限制，长尺度的海洋沉积记录需要通过深海氧同位素序列的天文调谐获得年代标尺。进而，通过间接方式确立年代框架的古海洋记录与有着精确定年的石笋 $\delta^{18}O$ 序列相对比所得出的结论，也有着难以评估的不确定性。相比之

下，末次冰盛期（MIS 2）以来的海洋沉积，可由测定的 14C 年龄获得更为准确的年代框架，用于与石笋 $\delta^{18}O$ 序列对比以讨论海-陆气候变化差异时，可以最大程度地缩小由年代框架精确度的不对等而带来的不确定性。而在末次冰盛期结束后快速升温的节点，海、陆气候变化是否同步、孰先孰后，被许多研究看作是解决古气候变化原始驱动的关键，相应的陆地记录和邻近海洋记录的对比工作也在多个区域开展。

本研究对取自南海北部的钻孔 ZSQD2 开展了工作，对其沉积物中的浮游有孔虫——红拟抱球虫 Globigerinoides ruber sensu stricto (s.s.)壳体进行了测试，获取了 Mg/Ca 值、$\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 值，并据此重建了南海北部 ~17ka 以来的表层水温度（Sea Surface Temperature, SST）、盐度(Sea Surface Salinity, SSS)记录。通过与东亚季风区的石笋 $\delta^{18}O$ 序列、南海南部、南海北部的其他古海洋记录相对比，可以看出，在末次冰盛期结束后的快速变暖阶段（~16ka），南海北部表层水体的温度升高、盐度降低与东亚季风季风区降水的增强具有同时性。

S18-P-20S

渤海及周边晚第四纪海侵研究进展

龙芝如，涂华*，王中波，赖忠平

1 汕头大学理学院, 汕头 515063

* htu@stu.edu.cn

渤海是亚洲大陆边缘海的重要组成部分，是研究亚洲大陆边缘海海陆相互作用、沉积环境变化的主要地区之一。近年来，渤海晚第四纪研究主要集中在海侵海退旋回以及海岸线演化等方面，识别并划分出三个海侵阶段。然而三次海侵的地层厘定出现了不同认识，尤其是第二海侵层的发生时间。已有研究对渤海海相-陆相地层的年代框架研究主要运用 14C 测年法来确定，大多数的年龄显示三次海侵分别发生在 MIS 1、MIS3 和 MIS5。而这种地层划分与同时期全球海平面变化冲突，出现了第二海侵层 (MIS3) 的海侵范围大于第三海侵层 (MIS5) 的海侵范围。部分研究将这种现象利用区域构造活动进行解释。同时，近年来的一些研究运用光释光测年对渤海及中国东部沿海海侵层进行年代厘定发现，第二海侵层形成于 MIS5，基于此重建的沉积环境与全球海平面变化具有良好的对应关系。因此，年代地层划分与全球海平面变化不一致可能是由于测年方法的局限。研究表明，^{14}C 测年由于易受新碳污染影响而对测年数据产生较大影响，导致年龄被严重低估。因此，对边缘海晚第四纪海侵年代学研究或需要更多的地质钻孔，运用不同测年手段进行交叉验证，并结合地层层序学和生物地层学等综合分析，进而提升年代地层厘定的可靠性。

S18-P-21S

渤海 CHS01B 孔沉积物碎屑矿物地层初步研究

祝文君 [1]，王中波 [2]*，梅西 [3]

1 山东科技大学地球科学与工程学院，青岛 266590

2 汕头大学理学院，汕头 515063

3 青岛海洋地质研究所，青岛 266071

* zhbwang@stu.edu.cn

渤海和黄海位于亚洲大陆边缘，是研究中国东部海-陆变迁及其沉积环境演化的主要地区之一。根据渤海海峡 CSH01B 孔（孔深 122.0m）沉积物碎屑矿物组合及微体古生物组合特征，基于古地磁年龄和光释光年龄，由下而上识别出自晚上新世以来形成的 4 个沉积单元。S1 单元（122.0-62.5m），形成于皮亚琴察阶-格拉斯阶（3.6Ma-1.8Ma），以钛铁矿等暗色矿物为主，含量超过 40%，而云母、绿泥石、碳酸岩盐含量很少；以河流相沉积为主，几乎未见海相生物化石。S2 单元（62.5-52.9m），卡拉布里亚早期（1.8Ma-1. 5Ma），云母总含量相对较高，而绿泥石

含量很低，轻矿物的成熟度指数变化较大，未见微体古生物化石，以湖相沉积为主。S3单元（52.9-34.1m），卡拉布里亚晚期（1.5Ma-0.8Ma），云母含量普遍较高，出现了最大值（81%），其中以风化云母为主，绿泥石及钛铁氧化物含量略有上涨，出现少量有孔虫化石，发生海侵作用。S4单元（34.1-0m），中更新世以来（0.8Ma-至今），云母和绿泥石含量达到峰值，风化云母少见，多海相有孔虫，丰度最高，钛铁氧化物及碳酸盐岩矿物含量变化较少，海平面变化控制沉积作用，形成完整的海侵-海退沉积旋回。此外，自S3单元风化云母大量出现，结合微体古生物冷暖水种组合变化，初步推测东亚季风开始对高纬地区产生明显影响。

S18-P-22S

黄河口泥沙异重流发育过程的影响因素研究

许鲍昕，贺治国*，李莉

1 浙江大学海洋学院，舟山 316021

* hezhiguo@zju.edu.cn

河口异重流是常见的一种河流入海传输方式，具有传输速度快和传输通量大的特点，对三角洲地貌变化及近海生态环境具有不可忽视的影响。黄河以水少沙多著称，近年来黄河来水来沙量大量减少，河口异重流发生频率和历时也随之变化。故本文选取黄河口作为泥沙异重流的典型区域，基于三维河流-河口-海洋动力数值模型，考虑底边界层的泥沙层化作用，研究实际河口地形下的黄河口泥沙异重流时空分布特性，分析不同影响因子（泥沙粒径、潮汐、含沙量等）对河口泥沙异重流形成和发育过程的影响。结果显示：受潮汐动力影响，黄河口异重流的发育过程具有周期性；异重流在落潮时发育较好，在涨潮时迅速衰减。高浊度径流是泥沙异重流的重要产生条件，细颗粒且高浓度的泥沙亦是泥沙异重流产生的必要条件。本研究对于深入理解河口泥沙异重流的产生、发育过程以及环境效应有重要的意义。

S18-P-23S

黄河口水动力和泥沙动力特征

徐佳洋，李莉*，查玥颖

1 浙江大学海洋学院，舟山 316021

* lilizju@zju.edu.cn

黄河河口径流与海洋动力的相互作用影响泥沙输移。为保证河口的稳定与管理，基于FVCOM建立了三维波浪-水流-泥沙耦合模型。该模型以海洋动力模型为基础，考虑了波流相互作用中的海底应力、波浪耗散和波浪辐射应力。泥沙模型耦合了水密度和悬沙浓度，并考虑了浮泥和细泥沙的絮凝作用。研究了黄河源区水沙变化特征及主要动力因子，揭示了径流变化对黄河源区水沙变化的影响。结果如下：黄河流域潮汐复杂，波浪受风控制，悬沙随潮汐变化而变化。M2分潮主导河口形态，水流呈直线状。无潮点的西/东主要是退潮/涨潮。在10~15 m深度和近凸岸处有强烈的潮流。剪切锋通常出现在近海涨潮和退潮的平潮区，且剪切锋两侧的水流较强。残留的水流向河口附近的海方向流去。浪高在迎风/背风面增加/减少。悬沙浓度(SSC)随着涨潮和落潮的周期性变化，受水流的影响。SSC与强潮流的再悬浮和升波有关，落潮时河口附近的SSC急剧增加。近/远海悬沙通量(SSF)呈平行于岸线的北向/南向变化，河口附近悬沙通量呈东向变化。潮汐抽运效应/垂直净环流效应控制着南向和海堤/北向和陆向SSF。侵蚀和沉积发生在海岸附近。黄河口的水沙动力以潮汐为主，其次是波浪和风，径流的影响最小。潮流对悬沙浓度和河床侵蚀产生影响，进而影响余流和泥沙通量。凸岸余流较大，SSF主要向北和向海方向流动。强烈的潮流作用是造成海底侵蚀的主要原因。风通过形式阻力影响流体力学。地表风速的增加沿风向逐渐减小，

从而影响底部应力。南岸 SSC 增加，发生侵蚀；北岸 SSC 减少，发生沉积。波浪通过底部应力、波辐射应力、形式阻力和波浪耗散影响水动力过程。沿波向速度增加幅度减小，近海面垂向混合增加，底部应力增加。河口处海面/海底余流增加/减少，SSF 向南、向海方向发展。

S18-P-24S

浙江海域风暴潮特征分析

李子璇，李莉*

1 浙江大学海洋学院，舟山 316000

* lilizju@zju.edu.cn

我国沿海地区人口密集、经济发达且城市化程度高。浙江省作为典型的沿海城市，遭受台风风暴潮的侵袭十分严重。因此，开展台风期间水动力特性的影响分析的研究，对于丰富浙江海域台风风暴潮理论研究、制定台风风暴潮防灾减灾措施以及完善近岸工程设计，均具有重要的理论意义和工程应用价值。

本文基于三维海洋动力数值模型与浙江海域观测数据，构建并验证了台风期间浙江海域的风暴潮动力数值模型。以台风“灿鸿”作为控制工况，研究台风期间浙江海域的水动力特性。实验结果表明，浙东沿海最早受到台风“灿鸿”的影响发生增水，浙南海域及台风路径东部海域流速较大，浙江海域有效波高与风速关系密切且在外海形成椭圆形的大波高区域。此外，选取陆地型台风“利奇马”、登陆型台风“米娜”、离岸型台风“玲玲”这三个 2019 年典型台风作为研究对象，对浙江海域风暴潮特性进行补充分析。结果表明，“利奇马”虽与“灿鸿”的路径差异明显，但对杭州湾、象山港、三门湾等区域潮位及增水影响过程类似，均在最大潮位时刻前后存在两个增水极大值；同时也形成了西南向沿岸流，但主要分布于浙东沿海。“米娜”对浙江海域增水的影响持续时间较长，波高呈骤增骤降趋势，但未能形成完整的漩涡状流场。“玲玲”对浙江海域水动力特性的影响总体来说较小，主要使杭州湾湾口区域和舟山群岛附近形成较大波高。

S19-O-01

南海三种代表性造礁石珊瑚的群体遗传学研究

黄雯[1]*，武茜[1]，李明[1]，罗燕秋[1]，阳恩广[1]，余克服[1,2]*

1 广西大学广西南海珊瑚礁研究实验室，广西大学珊瑚礁研究中心，广西大学海洋学院，南宁 530004

2 南方海洋科学与工程广东实验室（珠海），珠海 519080

* wenhuang@gxu.edu.cn, kefuyu@scsio.ac.cn

在气候变暖导致全球珊瑚礁退化的背景下，迫切需要掌握南海优势石珊瑚种类的遗传结构和连通性，为我国珊瑚礁保护措施、政策的制定提供基础数据。但是南海珊瑚的相关研究不足。本研究选择了 3 种代表性石珊瑚：广布种澄黄滨珊瑚、相对高纬度优势种盾形陀螺珊瑚、低纬度优势种疣状杯形珊瑚进行研究。开发筛选合适的微卫星标记和核标记对分别3种珊瑚群体进行分型、分析。结果发现：

1、澄黄滨珊瑚的遗传多样性高，群体之间的分化不明显；该物种环境耐受性高、群落退化程度较轻、排卵型的生殖方式和经历过种群历史扩张，是其保持高的遗传多样性和连通性的主要因素。

2、盾形陀螺珊瑚的遗传多样性低，群间存在显著的中等程度的遗传分化；其遗传适应性不足，遗传结构受到海表温度、地理距离、和局部剧烈的人为活动的影响。

3、疣状杯形珊瑚具有中等程度的遗传多样性，群间存在显著且高度的遗传分化。枝状珊瑚是退化最为严重的种类，其遗传多样性也出现了显著的降低，排幼型的生殖方式又限制了群体之间的流通性。永兴岛的高度分化，可能是受到前几年长棘海星爆发的

影响。

因此，这三种珊瑚的遗传适应性为：澄黄滨珊瑚>盾形陀螺珊瑚>疣状杯形珊瑚。不同种类之间的遗传特征有较大差异，影响因素多且复杂：主要受到繁殖方式、温度、地理距离等因素的影响；个别群体还受到局部人为活动、敌害生物爆发的影响。本研究获得了三种代表性珊瑚种类的遗传特征，为珊瑚礁保护提供基础数据。通过对遗传特征成因的分析，有助于理解南海珊瑚应对气候变化的机制。

S19-O-02

基于数值模拟的珊瑚共生关系多尺度碳循环研究

许一 [1]*，张经 [1,2]

1 华东师范大学河口与海岸学国家重点实验室，上海 200241

2 上海交通大学海洋学院，上海 200030

* xuyi@sklec.ecnu.edu.cn

珊瑚共生生态系统具有高效的物质循环机制，对环境变化极其敏感，长期以来是全球变化研究的重点关注对象。基于数值模拟方法研究珊瑚共生生态系统生物地球化学过程还比较有限。本项目通过建立珊瑚-虫黄藻共生模型（细胞尺度）、珊瑚息肉体模型（有机个体尺度）、珊瑚礁生态系统群落模型（生态系统尺度），并实现模型耦合将珊瑚礁生态系统所涉及的不同时空尺度的生理、生物化学过程结合到一起，计算珊瑚共生关系碳收支，探究珊瑚礁高效的碳循环机制。借助模型诊断分析发现，对于共生藻来说，光合作用是主要的碳源，向宿主有机碳的转运是主要的碳汇；对于珊瑚宿主来说，从共生藻光合作用转移出来的大部分有机碳都是通过粘液渗漏而丢失的。在宿主溶解无机碳库中，大部分碳 DIC 是通过海水的吸收、光合作用和钙化则会消耗掉大部分的 DIC。模型能够模拟出在高的大气 pCO_2 下珊瑚钙化速率的降低，从而引起的珊瑚杯体中相关的碳化学发生变化。珊瑚共生模型的建立可用于探索珊瑚共生机制，弥补实验室和原位实验研究的缺陷，帮助评估过去、现在和未来条件下珊瑚生态系统与环境间的相互作用。

S19-O-03

珊瑚共生体对自养氮和异养氮的利用及向系统的输出：共性与特性初探

盛华夏 [1]，邹波波 [1]，俞晓磊 [2]，黄晖 [2]，高树基 [1,3]*

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361101

2 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

3 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361101

* sjkao@xmu.edu.cn

珊瑚礁是热带寡营养海域的标志性生态系统，是地球上最具生物多样性的生态系统之一，为全球约 5 亿人口提供了多种多样的生态系统产品和服务，具有重要的经济和社会价值。同时，珊瑚礁系统是海洋中强烈的氮素快速周转的区域，也对海洋系统的碳和氮的生物地球化学循环起了重要的作用。长久以来，珊瑚在寡营养环境中对于含氮营养物质的摄取、利用和转化以及这一系列过程对于珊瑚礁生态系统的氮的生物地球化学循环的影响一直是珊瑚系统研究的热点之一。造礁珊瑚在物质和能量的摄取上与共生虫黄藻形成一个统一的整体，因此从本质上看珊瑚共生体是兼养生物。其一方面通过自养的内共生虫黄藻吸收无机氮，另一方面通过珊瑚宿主的异养摄食作用捕食颗粒氮。通过分别以 $^{15}NH_4^+$和 ^{15}N 标记的丰年虫做为示踪剂，我们了解到自养氮和异养氮在珊瑚共生体内的流动途径不同，自养氮可以快速从虫黄藻向珊瑚转移并排泄出体外，而异养氮倾向于留存在珊瑚宿主内且其排泄高峰相对滞后。因此，二者也具有不同的生物地球化学意义和命运。厘清自养氮和异养氮

对于珊瑚共生体在氮素摄取上的贡献以及向系统输出的差异，有助于我们理解在全球变化加剧的背景下珊瑚共生体的食物来源和营养结构发生变化时是否能够维持自身氮周转的平衡并保持自身及珊瑚礁系统的健康。

S19-O-04

气候变化和富营养化下的近岸珊瑚研究：以海南岛西北部海域为例

朱文涛[1,3]，夏景全[2,3]，任瑜潇[2,3]，谢敏睿[2,3]，尹洪洋[2,3]，刘相波[2,3]，黄建中[1,3]，朱铭[2,3]，李秀保[2,3]*

1 海南大学生态与环境学院，海南海口 570228

2 海南大学海洋学院，海南海口 570228

3 海南大学南海海洋资源利用国家重点实验室，海南海口 570228

* xiubaoli@hainanu.edu.cn

在全球变暖的气候背景下，生存在营养富集浅水区域的近岸珊瑚可能发生更严重漂白事件，但由于珊瑚宿主-共生体的复杂关系，在富营养条件下高温胁迫对沿海近岸珊瑚的影响仍未得到充分理解。在本研究中我们在热胁迫期间使用断面截线样条法初步调查了海南岛西北部近岸三个不同营养条件海域珊瑚礁的分布和白化情况，并分析了丛生盔形珊瑚在健康和白化不同状态的光合生理参数、能量物质指标、共生藻科和细菌群落的差异。结果发现海南岛西北部近岸3个海域造礁石活珊瑚平均覆盖率范围在7％-21.13％之间，珊瑚平均白化率可达45.46%-79.71％之间，主要由 *Porites*, *Pavona spp*, *Galaxea spp*, *Goniopora spp* 等被发现可以耐受升高的水温的块状珊瑚组成。白化珊瑚的最大光化学量子产量、实际化学量子产量、虫黄藻密度和叶绿素 a 含量比健康珊瑚中相应的光合指标参数显著降低，而能量存储的三个指标（蛋白质、糖类、脂质）在富营养海域均无显著性差异。在不同海域中健康珊瑚和白化珊瑚之间共生藻的多样性和群落组成没有差异，在每个样本中 D1 分支是占据主导地位的绝对优势系群。不同分组的共生细菌种群组成相似，并且群落结构较为稳定，优势菌门 Bacteroidetes、Firmicutes、Proteobacteria、Actinobacteria 可占珊瑚共生细菌的 97%以上。多种网络拓扑特征表明健康珊瑚共生细菌具有更复杂、更紧密联系的网络结构，但是稳定性却低于白化珊瑚网络。共生细菌群落功能预测分析发现，代谢过程为注释的主要通路，基因丰度可达 79.67%-81.47%，它们的基因丰度并没有受到营养水平和健康状态的影响。丛生盔形珊瑚共生功能体的高度稳定性为珊瑚提供了适应富营养和热胁迫的潜在机会，D 系群虫黄藻和与代谢相关的细菌保证了白化珊瑚的光合作用和异养能力。这些结果暗示丛生盔型珊瑚展现了抵抗胁迫的高耐受性和生存能力，可能在全球气候变化背景下成为近岸海域的赢家。

S19-O-05

热驯化增加霜鹿角珊瑚热耐受性

俞小鹏[1]，余克服[1,2]*

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西大学珊瑚礁研究中心，广西大学海洋学院，南宁 530004

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海

* kefuyu@scsio.ac.cn

诸多的生态调查结果表明经历过高温胁迫的珊瑚在响应二次热胁迫时具有更高的耐热性，但导致这一现象的原因还不清楚。为了明确导致这一现象的机制，本研究以霜鹿角珊瑚为研究对象进行室内模拟实验。比较了珊瑚共生体表型、抗氧化酶活性、虫黄藻密度和系群、共生细菌组成及多样性和珊瑚宿主及虫黄藻转录组的差异。结果显示：

（1）除未驯化组珊瑚在 33℃胁迫后出

现明显组织脱落外，对照组和驯化组在整个实验过程中均无明显白化特征；

（2）33℃胁迫后未驯化组珊瑚抗氧化酶活性显著高于驯化组，表明未驯化组珊瑚比驯化组珊瑚遭受更严重的活性氧损伤；

（3）热胁迫导致驯化组和未驯化组珊瑚共生虫黄藻密度和光合速率显著降低，并且 33℃胁迫后未驯化组显著低于驯化组。此外，ITS2 测序结果表明本研究中霜鹿角珊瑚的虫黄藻系群以 C1 为主，并且整个实验过程中虫黄藻群落结构维持稳定；

（4）共生细菌多样性的结果表明，驯化组的珊瑚经过热驯化后，其优势细菌发生显著改变。此外，驯化组恢复后其共生细菌多样性显著高于对照组。与驯化组相比，33℃胁迫后未驯化组细菌多样性显著降低，机会主义细菌弧菌入侵成为绝对优势细菌；

（5）与对照组相比，转录组测序结果表明经过热驯化之后驯化组珊瑚宿主中共有 318 个显著下调基因，虫黄藻无差异表达基因。KEGG 功能富集分析下调珊瑚基因主要与机体代谢途径有关，尤其是氮代谢相关的途径，表明热驯化导致珊瑚宿主代谢水平降低，这可能是宿主的一种自我保护机制。以上结果表明，热驯化可能通过减缓宿主代谢、改变优势细菌种群和增加共生细菌多样性来增加珊瑚的耐热性。本研究为珊瑚全生物体响应热胁迫提供了一个新的视角，为造礁石珊瑚对未来气候变化的潜在适应性提供证据。

S19-O-06

多环芳烃（PAHs）在南海珊瑚礁区大气-海水-珊瑚中的分布、来源和环境行为

韩民伟[1]，张瑞杰[1]*，余克服[1]*，康亚茹[1]，王英辉[1]，李军[2]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西大学珊瑚礁研究中心，广西大学海洋学院，南宁 530004

2 中国科学院地球化学研究所，广州 510640

* rjzhang@gxu.edu.cn, kefuyu@scsio.ac.cn

多环芳烃（PAHs）是一类典型的持久性有机污染物。其来源广泛，普遍存在于水体、大气、土壤等各种环境介质之中。PAHs 通过大气沉降、水气交换、生物蓄积等多种方式参与地表系统的生物地球化学循环，包括海洋循环。珊瑚礁是热带海洋中最重要的生态系统之一，在全球气候变化和人类活动影响的双重压力下正处于快速退化的过程中。而南海周边的工农业活动（如石油和天然气开发、船舶运输、秸秆燃烧等）和天然野火等释放大量 PAHs，可能通过洋流、大气传输迁移南海珊瑚礁区，从而对珊瑚礁生态系统健康产生潜在的影响。

通过对南海不同海域的造礁石珊瑚为研究对象，首次围绕南海近岸（广西涠洲岛、深圳大亚湾、三亚鹿回头）和远海（西沙群岛和南沙群岛）多个礁区展开空间研究，调查对比了水体、造礁石珊瑚以及大气环境中 PAHs 的污染特征，首次对珊瑚黏液中的 PAHs 进行了提取和测量。结果表明，PAHs 总含量在近岸珊瑚组织中明显高于远海，分别可达 173±314 和 71±109 ng g^{-1} dw， 对于不同珊瑚种，其浓度水平呈现出块状珊瑚>叶状珊瑚>枝状珊瑚的特征。而珊瑚黏液比珊瑚组织 PAHs 总含量高出 1-2 个数量级，平均高达 3200±6470 ng g^{-1} dw，黏液富集的 PAHs 总量可以达到整个珊瑚富集 PAHs 总量的约 29%。珊瑚黏液对 PAHs 的富集有助于减轻珊瑚组织对 PAHs 的积累，即珊瑚黏液可作为保护层，防止环境海水中的 PAHs 和其他毒素通过生物富集威胁珊瑚的健康生长。珊瑚礁区大气环境中气态 PAHs 显著高于颗粒态。为进一步解析珊瑚中 PAHs 的来源和环境行为，我们分析了 PAHs 的气粒分配、水气交换和大气沉降等环境行为。采用特征比值、PCA-MLR 和 PMF 模型对 PAHs 的环境来源进行了解析。并基于 NOAA 提供的气流轨迹模型、海流和风场数据，探讨了南海周边国家 PAHs 排放对南海珊瑚礁区的影响。结果表明 PAHs 在水气界面以沉降为主，呈现出大气→水体→珊瑚的

迁移模式，其中大气环境中的 PAHs 主要受气团影响，西南风比东南风带来更高浓度的 PAHs。源解析表明不同礁区受风向影响不同，大气中 35%-72%的 PAHs 来自周边国家的生物质燃烧，其余部分来自化石燃料燃烧和溢油挥发。不同风向影响下，西南风主要贡献生物质和石油燃烧源，而东南风主要携带溢油和石油燃烧相关源。与大气不同，水体环境中 PAHs 主要受海流和陆源污水或河流排放影响，主要来自溢油（70%-80%），只有少量来自燃烧源。我们还还评估了全球变暖对 PAHs 水气交换的影响，认为在水气环境中 PAHs 浓度不变的情况下，升温会抑制 PAHs 的大气沉降。但升温可能增加陆源土壤 PAHs 向大气的挥发，并向海洋迁移，因此很可能会加大珊瑚礁的生态环境压力。

总的来说，南海珊瑚礁区 PAHs 的来源受海流和风场的影响，南海周边国家和地区的陆源污染物，包括溢油、石油和生物质的燃烧等 PAHs 的主要污染源通过海流和风场迁移至南海珊瑚礁区，然后通过生物富集进入珊瑚体内，影响珊瑚的正常生命活动，威胁珊瑚礁生态系统。即使随着全球变暖，升温会抑制 PAHs 向水体的沉降，同时珊瑚也会通过分泌黏液减缓 PAHs 进入珊瑚体内，但升温也可能增加陆地 PAHs 的挥发，最终通过水气交换和沉降等方式进入海洋环境，增加珊瑚礁的生态压力。

S19-O-07

全新世和人类世的南海北部珊瑚岸礁

陈天然[1,2]*，李淑[1]，Jianxin Zhao[3]，Yuexing Feng[3]，张婷[1]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

3 Radiogenic Isotope Facility, School of Earth and Environmental Sciences, University of Queensland, St Lucia, Queensland 4072, Australia

* chentianran@scsio.ac.cn

地球已进入了一个以“人类活动显著改变地球系统”为特征的新纪元——“人类世”。相对于远离大陆的大洋珊瑚礁，近岸珊瑚礁除受到气候变化的胁迫外，还叠加了强烈的人类活动干扰，大多呈现急剧退化的趋势，即逐渐过渡到（或已经成为）“边缘珊瑚礁（marginal reefs）”。西北太平洋（包括东南亚以及我国南海北部）和大西洋加勒比海是全球两大典型区域，但对南海珊瑚礁的研究远低于加勒比海，主要由于缺乏长期观测和历史资料，制约了全面、深入了解南海珊瑚礁退化历史及其“病因”。

我们通过高精度 U-Th 放射性同位素测年技术，测定了南海北部涠洲岛约 100 个块状和枝状的珊瑚样品，并对死亡年代和物种进行了分析，揭示了近百年来珊瑚礁的演化历史，发现了珊瑚大量死亡、珊瑚礁的退化其实早在 1950 年左右就已经发生，远早于现代观测的记录，并与“人类世大加速期（The great acceleration）”吻合。研究揭示 1980s 以来南海北部珊瑚死亡频率和程度逐渐增加，并出现珊瑚覆盖率急剧降低和优势种改变等。根据珊瑚死亡年代的分布曲线，将珊瑚死亡高峰与近 50 年来各个时期发生的具体极端气候事件（如冬季冷事件、El Niño 高温事件）以及人类活动（如捕鱼、海水养殖、农业开垦、旅游开发、基础建设）一一关联，找出了“病因”，指出该区人类活动的破坏远超气候变化的影响。

此外，研究还发现陆地上（被抬升）的古珊瑚礁沉积主要由鹿角珊瑚构成，并且其年代分布于晚全新世（3000 yr BP）以来，说明数千年以来南海北部岸礁区很可能是以鹿角珊瑚为优势种的顶级生态模式，而“大加速”后的短短 50 年，人类活动已经彻底改变了珊瑚礁保持了数千年的发育模式，而逐渐“边缘化”。根据研究结果，我们针对 Prof. Hughes 等提出的“南海珊瑚礁之问”（“The wicked problem of China’s disappearing coral reefs”，详见 Hughes et al. 2013, Conservation Biology）作出了科学的解

答，并就如何有效保护和修复珊瑚礁等问题给出了科学建议。

S19-O-08

西沙群岛琛航岛全新世珊瑚礁的发育过程及其记录的海平面变化

马一方[1]，余克服[1,2]*，覃业曼[1]，李银强[1]，龙雅婷[1]，王瑞[1]，范天来[1]，姜伟[1]，许慎栋[1]

1 广西大学广西南海珊瑚礁研究实验室，广西大学中国珊瑚礁研究中心，广西大学海洋学院，南宁 530004

2 南方海洋科学与工程广东实验室（珠海），珠海 519080

* kefuyu@scsio.ac.cn

聚焦全新世珊瑚礁发育过程的研究，有利于我们了解古气候和海平面变化的行为及影响。本研究着眼于南海北部琛科 2 井（CK2）的全新世段钻探岩芯。该钻探岩芯由 873.55 m 厚的碳酸盐层组成，覆于 55.20 m 的火山岩基底之上。22 个珊瑚样品的高精度 U-Th 年代测定表明，全新世珊瑚礁大约在 7800 yr BP（before present（1950 CE））开始发育，在 3900 yr BP 停止垂直发育，厚度达 16.7 米。CK2 全新世礁体垂直发育速率平均为 3.48 m kyr^{-1}，从 7800-6000 yr BP 的 6.44 m kyr^{-1} 到 6000-3900 yr BP 的 0.87 m kyr^{-1} 不等。在 3900 yr BP 后，珊瑚礁的垂直发育停止，珊瑚礁的进一步发育可能转为侧向加积。CK2 全新世段的物质多为疏松粗粒沉积物，主要由珊瑚砂、珊瑚藻、大型底栖有孔虫和软体动物组成，属礁坪沉积相。根据珊瑚礁发育与海平面的关系，结合年龄剖面，我们推测琛航岛海域，相对海平面在 7800～6500 yr BP 之间迅速上升，在 6500 yr BP 左右经历了一个轻微的拐点，然后在 3900 yr BP 左右达到比现在平均海平面高约 2 m 的位置。3900 yr BP 后，海平面可能趋于稳定或开始下降，导致珊瑚礁停止向上发育。

S19-O-09

南海化石珊瑚与现代珊瑚的硼同位素体系对比研究

陈雪霏*，邓文峰，韦刚健

1 同位素地球化学国家重点实验室，中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640

2 中国科学院深地科学卓越研究中心，广州 510640

* chenxf@gig.ac.cn

在气候变化的背景下，海洋环境正经历着快速且显著的变革，使海洋生物面临极大的生存挑战。以造礁珊瑚为代表的钙质生物首当其冲会受到影响。海洋升温和酸化均可能导致珊瑚钙化能力的下降。然而，是否现今海洋环境的变化已导致珊瑚钙化机制的改变，仍尚不清楚。

本研究尝试通过对比现代珊瑚和化石珊瑚的硼同位素和 B/Ca 体系组成，来探讨人类活动影响下的海洋环境变化对珊瑚钙化机制的作用。我们选取采自南海北部的多条现代和化石滨珊瑚岩芯，测定了其硼同位素和 B/Ca 组成。通过结合前人研究结果，我们首先探讨了珊瑚硼同位素和 B/Ca 比值的个体差异情况，并在此基础上尝试对比了过去一千年特征气候时期（即中世纪暖期、小冰期、和现代暖期）珊瑚内部钙化流体组成的差异，以及海水 pH 的演变规律。我们发现珊瑚 11B 和 B/Ca 存在显著的个体差异。相同海域不同珊瑚个体间的 $\delta^{11}B$ 平均差值可以达到 1.05‰，而 B/Ca 平均差值可以达到 183μmol/mol。以此为基准来看，化石珊瑚 $\delta^{11}B$ 和 B/Ca 组成之间的差异均未显著高于个体差异所引起的 $\delta^{11}B$ 及 B/Ca 差值。因此我们推测从中世纪暖期到小冰期，尽管气候格局有明显的改变，但是珊瑚钙化流体的组成并未发生变化。这似乎指示冷、暖时期海洋环境的变化对珊瑚钙化的影响并不显著。然而同现代滨珊瑚对比，化石珊瑚的

$\delta^{11}B$ 平均值明显偏高，且二者差值超过个体差异，说明现代珊瑚钙化流体的 pH_{cf} 显著下降。虽然总体来看，化石珊瑚的 B/Ca 值也略高于化石珊瑚，但是二者差值并未超过个体差异引起的偏差。因此我们推测认为，现代珊瑚钙化流体 pH_{cf} 的降低主要是海洋酸化所引起。而较小的 B/Ca 差异说明钙化流体中的总溶解无机碳（DIC_{cf}）并未受到海洋酸化和暖化的影响。此外，根据这三个特征气候时期珊瑚钙化流体 pH_{cf} 的变化特征，我们推测过去一千年海水 pH 变化较小，但近一百年的现代暖期的海水 pH 明显低于小冰期和中世纪暖期。

S19-O-10

中晚全新世滨珊瑚周期性白化与恢复的新证据

王浩[1]，余克服[1,2]*，陶士臣[3]，许慎栋[1,2]，Tsai-Luen Yu[4,5]，沈川洲[4,5,6]，王少鹏[1]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西大学珊瑚礁研究中心，广西大学海洋学院，南宁 530004
2 南方海洋科学与工程广东省实验室，珠海 519082
3 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301
4 国立台湾大学地质科学系高精度质谱与环境变迁研究室，台北 10617
5 国立台湾大学未来地球研究中心，台北 10617
6 国立台湾大学全球变迁研究中心，台北 10617
* kefuyu@scsio.ac.cn

已有证据表明中全新世珊瑚发生过热白化事件。但珊瑚对中晚全新世更长时间内气候响应的信息仍十分缺乏。因此，我们采集了十块来自中国南海北部海南岛文昌地区年龄跨度约 2214 年（3497–5711 B.P.），具有保存完好的死亡面和生长间断面的珊瑚骨骼，并对这些死亡面、间断面的形成原因开展地球化学研究，以探索历史时期珊瑚对气候变化的响应。我们测试了珊瑚骨骼月分辨率的 Sr/Ca，$\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 的值，以重建珊瑚死亡或生长间断时表层海水的温度（SST），表层海水的盐度（SSS）和虫黄藻光合作用强度。结果表明：五块珊瑚死亡面与生长间断处表层海水具有较高的温度（30.3-33.6℃）和盐度（34.3-38.3），表明其形成于高温、高盐的环境。此外，$\delta^{13}C$ 值显示突变负偏 1.8‰或继续下降至较低水平，这意味着珊瑚光合作用强度显著降低，很可能是因为大量失去共生的虫黄藻所致。这些证据表明，这些形成于 3497-5711 B.P.之间的珊瑚死亡面、间断面是高温导致珊瑚白化的产物；白化事件后的快速恢复表明，南海的珊瑚在经历了严重的环境压力后具有恢复的潜力。

S19-O-11

4.2ka 气候事件期间的 ENSO 变化

党少华[1,2,3]*，余克服[2,3]*，陶士臣[2,3]，韩韬[2,3]

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092
2 广西大学海洋学院，南宁 530004
3 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004
* dsh19940529@163.com, kefuyu@scsio.ac.cn

4.2ka 气候事件是指距今 4200-3900 年前，发生在北半球中低纬度地区和部分高纬度地区的一次气候异常事件，以气候突然转冷和干旱为主要特征，这一特征也对早期人类文明的演化产生了重大影响。考虑到在 4.2ka 气候事件期间，太阳活动强度和火山活动强度在整个全新世内并不显著，北美大陆冰盖业已消融，因此诸多观点认为 4.2ka 气候事件是由地球气候系统的内部变率所引起。

作为全球海气系统在年际尺度的最强信号，厄尔尼诺—南方涛动（El Nino-Southern Oscillation，简称 ENSO）现象通常被认为能够引起季风衰退/增强，进而造成气候异常。全新世范围内 ENSO 活动的变化通常被认为属于气候系统的内部震荡，不受

外强迫控制，因此 4.2ka 气候事件被认为同 ENSO 活动强度的变化存在重大联系。

本研究基于 4 块生长在 4.2ka 气候事件期间的滨珊瑚，其生长时段和生长地点分别为 4175-4129a BP(*Vanuatu island*), 4109-4042a BP(*Kirimati island*), 4045-4005a BP(*Xisha islands*), 3974-3926a BP(*Kirimati island*)。我们通过分析这些珊瑚的 Sr/Ca 数据和 $\delta^{18}O$ 数据，并基于它们生长海区的气候与 ENSO 活动的关系，恢复了对各自生长时段 ENSO 活动强度的响应。研究结果表明，4.2ka 气候事件的 ENSO 活动强度变化呈现出双峰型的演化结构，即在 4200a BP 附近和 4000a BP 附近各存在一次 ENSO 活动增强的时段。这一结果不仅与同时段石笋恢复的亚洲季风与非洲季风结果极为相似，即存在两次季风的衰退过程；也同 Trace-21ka 的全强迫模拟结果类似，即北半球气候在此期间存在两次转干和变冷过程。基于此我们认为，4.2ka 气候事件的发生同 ENSO 活动强度的异常变化存在重大联系。

S19-O-12

南海北部珊瑚记录的中世纪气候异常期 ENSO 变率

江蕾蕾[1,2,3]，余克服[1,2,3]*，陶士臣[4]，王少鹏[1,2,3]，韩韬[4]，姜伟[1,2,3]

1 广西大学珊瑚礁研究中心，广西 南宁 530004

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西 南宁 530004

3 广西大学 海洋学院，广西 南宁 530004

4 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

* kefuyu@scsio.ac.cn

厄尔尼诺—南方涛动（ENSO）是发生在热带中—东太平洋上的海气相互作用事件，也是地球系统中最显著的、影响最广泛的年际变率。但由于器测气候参数的时间序列太短，严重制约了对 ENSO 变率演化过程及其驱动机制的理解。中世纪气候异常期（MCA；公元 950-1250 年）是距现代最近的一次自然暖期，对其气候特征的了解能为未来气候变化趋势的预测提供历史相似型。然而该时期的 ENSO 变率及其驱动机制尚存在着较大的争议。

本研究首先通过对南海北部西沙群岛生长于 1980–2007 CE（CE：公元年）的现代珊瑚 Porites lutea 进行月分辨率的 Sr/Ca 比值测试，建立了珊瑚 Sr/Ca 和海水表层温度（SST）之间的转换方程。然后通过对该海区化石珊瑚 Porites lutea 进行 Sr/Ca 比值测试，在此基础上重建了 1149-1205 CE 月分辨率的 SST 序列。

阈值分析和滑动方差的结果显示，西沙群岛器测 SST 异常准确地记录了 20 世纪的 ENSO 活动；同时，南海北部现代珊瑚的 Sr/Ca-SST 异常亦是 ENSO 活动可靠的代用指标。利用化石珊瑚 Sr/Ca-SST 异常重建的结果表明，由 El Niño 活动所控制的 ENSO 变率在 MCA 晚期逐渐增强。通过与热带太平洋其他区域重建的 ENSO 对比，发现 ENSO 变率在 MCA 呈现出波动性的演化过程。由于 MCA 的外部气候驱动因素波动幅度较小，且 ENSO 事件与太阳辐射和火山活动之间不存在时间上对应的关系，因此推测气候系统的内部变率在调制 ENSO 变率及其演变过程中发挥着重要作用。热带太平洋中部的珊瑚记录和气候模型模拟支持这一推测。上述研究对于理解 MCA 的 ENSO 变率演化及其驱动机制有着重要的科学意义。

S19-O-13

南海深水珊瑚特征及发育演化模式

张斌[1,2]，陈忠[1,3]*，王雪松[1,2]

1 中国科学院边缘海与大洋地质实验室，南海海洋研究所，南海生态工程创新研究院，广东 511458

2 中国科学院大学，北京 100049

3 南方海洋科学与工程广东省实验室，广东 511458

* chzhsouth@scsio.ac.cn

深水珊瑚作为古气候及古海洋学研究的绝佳载体，在解决洋流演变、海底流体渗漏以及碳循环的关键科学问题中发挥重要作用，然而对边缘海深水珊瑚的特征及发育演化模式仍缺乏了解。南海是西太平洋最大的边缘海，近年来发现南海广泛分布深水珊瑚，已观察和采获珊瑚骨骼样品，但对深水珊瑚的特征及其发育演化模式尚未进行系统的研究。

资料表明，在西沙海槽发育深海深水珊瑚林，在东沙、南沙海域以及深海盆已采获深水珊瑚，识别南海深水珊瑚 12 科 21 属 46 种。深水珊瑚骨骼矿物成分主要是文石，少量种属为方解石，深水珊瑚的 $\delta^{13}C$ 为-8.4‰～-0.6‰, $\delta^{18}O$ 为-1.38‰～4.50‰，与全球其他海域深水珊瑚的相似，但明显不同于浅水珊瑚的碳氧同位素组成。

南海东北部冷泉区深水珊瑚锶同位素比值介于 0.709126 到 0.709184 之间，与伴生冷泉碳酸盐岩锶同位素差异较大，但类似于海水锶同位素组成，说明深水珊瑚的发育受冷泉活动的影响较小。深水珊瑚稀土配分曲线相对平坦，呈现 Ce 负异常，具有典型的海水特征。元素因子分析表明,深水珊瑚常微量元素来源包括海水自生源、陆源以及生物源,其元素组成变化主要受控于洋流活动，部分微量元素含量如 Zr、Ti、Pb、Ni、Cr 等在深水珊瑚不同演化阶段出现较大波动，可能指示着洋流水体及陆源输入等环境因素的变化。

对珊瑚骨骼的碳、U/Th 测年表明，南海最老的珊瑚年龄达到了中更新世晚期即 13.71kaBP，在西沙海槽和南沙海域分布活体珊瑚。将深水珊瑚生长发育划分为 2 个生长期和 5 个演化阶段，即全新世高海平面间冰期生长期：①阶段（0-8 ka）和全新世—中更新世低海平面冰期生长期：②（15-20 ka）、③（39-40 ka）、④（57-62 ka）和⑤（135-137 ka）阶段。相应地，确定深水珊瑚的成因分为两种模式，即全新世的高海平面间冰期模式和全新世—中更新世的低海平面冰期模式。

冰期 Heinrich 事件和底流强度控制着东沙海域深水珊瑚的演替，洋流活动以及海洋初级生产力影响南海深水珊瑚的生长发育。末次冰消期早期，南海深水珊瑚骨骼中记录到了同北大西洋深水 $\delta^{234}U_i$ 快速升高的信号，而全新世以来，深水珊瑚 $\delta^{234}U_i$ 相对较低，所记录的是太平洋深海水的信号，表明冰消期后由吕宋海峡侵入南海的大洋洋流模态发生了改变，由大西洋型转变为太平洋型，使南海的深水珊瑚具有特殊的发育模式和成因类型。

S19-O-14

东沙海区的泥火山与深水珊瑚

阎贫[1,2,3]*，王彦林[1,2,3]，于俊辉[1,2,3]，靳永斌[1,2,3]，赵美霞[1,2,3]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室（南海海洋研究所），南海生态环境工程创新研究院 广东 广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州） 广东 广州 5111458

3 中国科学院海洋地质与环境重点实验室 山东 青岛 266071

* yanpin@scsio.ac.cn

泥火山是地球运动和深部含流体物质向表层迁移的一种重要形式, 其喷溢及喷出物对认识地质动力、地层岩性和资源环境具有重要的意义。环东沙群岛海区新生界薄（~1km），中生界厚（>5km），是南海最典型的中生代沉积区和油气勘探待突破区。区内不仅有东沙岛、卫滩等大型岛礁，还有有众多的海山海丘, 过去都被推测为不利于油气成藏的岩浆火山。在国家自然科学基金（U1901217、91855101、41876052、91328205、41376062）、南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）人才团队引进重大专项（GML2019ZD0104）、广东省特支计划（2019BT02H594）、“科学”号高端用户项目（KEXUE2019G10）等项目支持下，我们

近年搭载基金委共享航次（NORC2014-08; NORC2016-05, 06; NORC2017-05, 06, 07; NORC2018-05, 06; NORC2020-05, 06）针对这些深水（300-2000 m）海山海丘进行了调查，发现了它们普遍存在海底地层底辟形变与断裂、流体充注空白反射带和喷溢释放结构。通过海山浅表层取样采获了丰富的自生碳酸盐岩结核、钙质泥沙、石英、长石碎屑，以及深水生物，表明这些海山多具有明显的泥火山活动特征。东沙泥火山的发现表明区内具有良好的油气生成和运移条件，为勘探源于中生界的油气和水合物提供了重要线索。

东沙泥火山上采集的深水生物多样性十分丰富，主要包括珊瑚、海绵、螺、贝、苔藓虫、管虫，有些站位翼足壳体丰富，有些站位见有多粒鱼牙。初步识别的珊瑚包括枝状多目珊瑚（*Madrepora oculata*）、葵珊瑚（*Desmophyllum dianthus*）、树珊瑚（*Dendrophyllia*）、扇形珊瑚（*Flabellum*）、佛氏角杯珊瑚（*Deltocyathus vaughani*）、竹珊瑚等，从形态看，它们有的丛生，有的独居，有硬附底、软附底和游水多种生活形式。这些泥火山生物异常繁盛，普遍底质较硬，可能是深水生物礁发育区，为研究油气泄漏、化养生物和环境三者的关系提供了重要的研究对象。

S19-O-15

南海陵水冷水珊瑚礁的发现

陈端新[1]*，赵美霞[2]，张广旭[1]

1 中国科学院海洋地质与环境重点实验室，中国科学院海洋研究所，青岛 266071

2 中国科学院边缘海地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

* chenduanxin07@qdio.ac.c.cn

冷水珊瑚礁（Cold-water coral reef）是造礁冷水珊瑚建造的海底丘形隆起地貌。冷水珊瑚礁能提供高分辨率的古环境记录，具有丰富的生物多样性，被认为是除海底冷泉、热液外的深海第三大生态系统。冷水珊瑚礁是重要的深水渔场，同时冷水珊瑚以每年几毫米的速度生长具有脆弱的生态系统。目前冷水珊瑚礁受到底拖捕捞、海底工程施工和海洋酸化的影响而日益遭受破坏。世界上发现了成千上万的冷水珊瑚礁，是国际研究的热点。

冷水珊瑚礁主要分布在大西洋东西陆缘、地中海、墨西哥湾和澳大利亚-新西兰岸外海域。但在我国边缘海乃至西太平洋海域还没有发现类似东北大西洋陆缘发育的大规模冷水珊瑚礁。科学家一直疑惑邻近无共生藻石珊瑚全球物种三大多样性之一的我国南海到底有没有冷水珊瑚礁？

近年来，利用二维/三维（2D/3D）反射数据，船载和水下自主航行器（AUV）获取的高分辨率多波束、浅地层剖面和侧扫声呐数据，并结合海底影像观测数据，我们在南海海南岛东南陆架边缘发现了 1000 多个海底丘状隆起，杂乱分布在水深 180-240 m，长 160 km、宽 2-6 km 的狭长地带。这些丘体底部直径 100-300 m，高 2-30 m。地貌分析、影像观测、样品测试分析和属种鉴定结果表明这些丘体在形态、大小、分布和沉积发育模式方面与大西洋两侧陆缘的冷水珊瑚礁非常相近（Freiwald and Roberts, 2005; Wheeler et al. 2007），我们称之为陵水冷水珊瑚礁。

S19-O-16

南沙群岛珊瑚礁科学深钻“南科 1”井的新生代记录

黎刚[1,2,3]*，罗云[1,2,3]，颜文[1,2,3]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

3 中国科学院南海生态环境工程创新研究院，广州 510301

* gangli@scsio.ac.cn

针对南海南部新生代构造-环境演化，2017-2018 年中国科学院南海海洋研究所在南沙群岛美济岛上实施了“南科 1”井科学钻探。“南科 1”井深 2020.20 m，平均取芯率达到 91%，首次获得了南沙海域晚渐新世以来的碳酸盐岩样品。依据 Sr 同位素方法和激光 U-Pb 年代确定“南科 1”碳酸盐岩底界沉积年代为 26 Ma，与该岛周围早期拖网样品年代一致（Hinz and Schlüter, 1985），老于西沙群岛的珊瑚礁碳酸盐岩的底界年代。通过岩相分析、元素/氧碳同位素特征，在“南科 1”井中识别出两个长期暴露的古风化面（616.5 m 和 538.6 m），长期风化导致形成了大量颜色鲜艳的杂色沉积层。“南科 1”井两个古风化面的时代契合于西南海盆打开事件（<23-21 Ma）以及南沙与婆罗洲-巴拉望岛弧碰撞事件（<20-10 Ma）。南海南部俯冲碰撞结束时代约在 10 Ma，要晚于南海海盆扩张结束的时间。“南科 1”井碳酸盐岩的 Nd 同位素组成指示在晚渐新世-早中中新世南海为太平洋的古海湾，南沙海域的表层海水与西太平洋表层海水 Nd 同位素一致。中中新世之后南沙海域的表层海水与西太平洋表层海水 Nd 同位素发生了显著分异，认为其与南海的封闭有关。南海南部 10Ma 之后转入构造沉降期，美济岛上珊瑚礁重新开始发育。第四纪美济珊瑚礁的生长—发育受控于海平面变化，“南科 1”井更新统地层中的主要暴露面时代与西沙群岛珊瑚礁地层中的暴露面时代基本一致。与其他珊瑚岛礁一致，末次冰期低海平面之后珊瑚礁美济礁重新成长开始与 8 ka 左右。

S19-O-17

珊瑚礁碳酸盐地层 87Sr/86Sr 重建近 2000 万年的海平面下降事件

杨洋 [1]，余克服 [1,2]*

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西大学珊瑚礁研究中心，广西大学海洋学院，南宁 530004

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海

* kefuyu@scsio.ac.cn

重建新生代晚期所发生的海平面下降时间和幅度对进一步了解全球气候变冷和大陆冰量增加非常重要，但是目前海平面下降定量化指标的缺乏，阻碍了长时间尺度海平面下降的重建。为解决这一问题，本文以南海北部西沙群岛永乐环礁的珊瑚礁深钻（CK2, 928.75m）为研究对象，对上部 873.55 米的礁碳酸盐序列（19.6Ma）进行了 160 个样品的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 分析和岩石学观察。结果表明随深度变浅，CK2 井碳酸盐 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 总体连续增加，与同期海水变化趋势相同。但是与海水 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 演化曲线明显不同的是，CK2 井碳酸盐地层 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 演化曲线出现 5 次中断和 6 次高于上覆地层的现象。地层 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 异常位置与 CK2 井珊瑚礁碳酸盐地层沉积间断面位置的一致，表明地层 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 异常是海平面下降的产物。这是因为珊瑚礁的发育对海平面变化非常敏感，海平面下降会造成珊瑚礁纵向生长停滞，碳酸盐沉积缺失，无法记录同期海水锶同位素组成，导致地层 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 中断；此外，低海平面期外源流体蚀变导致部分碳酸盐地层产生偏离正常地层的异常 $^{87}Sr/^{86}Sr$。因此，珊瑚礁碳酸盐序列中 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 剖面中的中断和异常高值是海平面下降的有效指标，这一指标可指示海平面下降时间、幅度以及持续时间。利用这一指标，本文重建了 2000 万年以来发生的 11 次海平面大幅度下降事件：18.83-18.29 Ma (29.2-48.5 m), 16.62-16.1 Ma (46.7-74.3 m), 15.9-15.64 Ma (4.68-37.18 m), 12.55-10.19 Ma (42.4-82.7 m), 10.19-9.67 Ma (9.36-18.2 m), 8.1-7.39 Ma (24.9 m), 5.98-5.18 Ma (27.4-28.4 m), 4.45-3.6 Ma, 2.35–2 Ma, 1.58-1.5 Ma, 1.181-0.738 Ma (33.7-47.9 m)。这些记录不仅与其他记录载体和方法重建的海平面下降时间和幅度一致，也与全球大陆冰量增加和温度降低时间一致，证明了其可靠性。

S19-O-18

西沙群岛琛科2井块状白云岩的演化序列及环境意义

王瑞**，余克服

1 广西大学海洋学院，广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西大学珊瑚礁研究中心，南宁 530004

* wrzfl@gxu.edu.cn

琛科 2 井是 2013 年在西沙群岛琛航岛上钻探的一口千米深钻井（928.75m），平均取芯率达 69.6%。在深度 308.5-519m 段，钻井揭示出了厚层块状白云岩（白云石含量＞98%）。这套白云岩与西沙群岛上其他深钻井（西科 1 井、西琛 1 井）钻取的白云岩特征相似，说明这套白云岩是一套台地规模区域分布的白云岩。类似的厚层块状白云岩，在太平洋和加勒比海的众多孤立碳酸盐岩岛礁中也有广泛报道，包括大开曼岛、大东岛、穆鲁罗阿岛、埃内韦塔克环礁、纽埃岛和巴哈马台地等。从上世纪 50 年代以来，这些白云岩被持续的钻探获取和观测，被认为是研究持续200多年的经典“白云岩问题”的天然实验室。理论上而言，相对于古代白云岩，这些岛礁白云岩通常：1）形成时代年轻（新生代以来）；2）未经历深埋藏作用；3）形成之后受成岩改造弱；4）形成环境便于与现代海洋环境进行对比。

本次研究综合利用沉积学、岩石学和地球化学方法，对琛科 2 井块状白云岩开展了岩芯描述、薄片观察、全岩地球化学元素（Mg、Ca、Sr、Fe、Mn、Na）、同位素（$\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$、$^{87}Sr/^{86}Sr$）和 XRD 分析。研究揭示，西沙群岛黄流组中保存的多种浅海相生物化石（以珊瑚、珊瑚藻和有孔虫为主）显示其原始灰岩的沉积水深小于 30m，沉积时代主要属于晚中新世。依据不整合面发育的情况，黄流组内部可划分出 4 个次级地层单元（从下往上记为单元 1、2、3 和 4）。单元 1（434.5-519m）由棕褐色、致密坚硬、中粗粒（10-140μm）的白云石组成，呈组构-破坏型结构；单元 2、3 和 4（308.5-434.5m）由灰白色、疏松、细粒（<60μm）的白云石组成，表现为组构-保存型结构。计量学显示这套白云岩由低钙白云石和高钙白云石混合组成。$\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 指示其白云岩化流体主要为正常或受轻微改造的海水。$^{87}Sr/^{86}Sr$ 年龄值显示这套白云岩形成于 9.4 至 2.3Ma（百万年），且白云岩年龄从黄流组的底部至顶部逐渐变年轻。类似的“岛白云岩”在加勒比海和太平洋地区的岛礁中也广泛发育，前人研究认为这类白云岩的形成主要与全球海平面变化有关，即白云岩化可能发育于高位、低位或海侵过程中。本次研究发现西沙群岛琛科 2 井黄流组白云岩化与（半）连续的海侵过程有关，且这种海侵过程明显地受到了区域构造沉降和全球海平面变化的共同控制。

再通过对全球岛礁白云岩 87Sr/86Sr 数据（n=348）的综合对比分析，发现全球岛礁白云岩多形成于晚中新世至上新世时期（~10 至<0.5Ma）。全球岛礁白云岩化在地层学上均表现为（半）连续“时间-海侵”过程，这一认识不同于传统的“事件白云岩化”观点，为岛礁白云岩成因的认识提供了新的思路。此外，形成于快速沉降区的岛礁白云岩比形成于缓慢沉降或构造抬升区的白云岩厚度更大，这意味着在构建岛礁白云岩化模式时需要考虑构造的因素。但进一步细化岛礁白云岩的“时间-海侵”过程仍需要更多的来自于快速沉降区白云岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 数据。

琛科 2 井钻遇的黄流组白云岩厚度大、纯度高、取芯率高，为研究经典的“白云岩问题”提供了优质素材。Morrow (1982) 指出所有白云石化的发生必须具备：1）有效的 Mg_2^+来源；2）将 Mg_2^+运输到白云石化场所的有效输送系统；以及 3）促进先驱灰岩转化为白云岩的微观物理—化学条件。目前在岛礁白云岩的研究中，前人对前两个因素（富含 Mg_2^+的流体性质和流体运移机制）开展了大量研究，并取得了一系列成果；但对于自然环境中白云岩化的微观物理—化学条件知之甚少，阻碍了对“白云岩问题”的深入认识。因此，未来需要对琛科 2 井黄

流组白云岩深入开展微观探测技术的分析，了解微环境条件—白云石生长过程之间的耦合关系，以及运用理论模型构建白云岩宏观与微观数据的联系和统一。

S19-P-01S

西沙群岛珊瑚礁鱼类多样性研究

邱书婷，廖建基，陈彬，杜建国*

1 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361005

* dujianguo@tio.org.cn

2019-2020 年，采用水下视觉普查、水下高清摄影等观测手段对西沙群岛 27 个站位近了监测。

研究共记录该海域珊瑚礁鱼类 116 种，隶属 3 目 21 科；栉齿刺尾鱼（*Ctenochaetus striatus*）、燕尾光鳃雀鲷（*Chromis fumea*）、日本鹦嘴鱼（*Chlorurus japanensis*）以及福氏鹦哥鱼（*Scarus forsteni*）四种鱼类为主要优势种；全海域鱼类的 Shannon-Wiener 多样性指数（H'）在 1.57－2.58 之间，平均为 2.07，略低于 2006 年的调查；大型鱼类指数在 0-0.86 之间，平均为 0.4，小于澳大利亚海域，但处于健康水平；平均营养级范围为 2.24-3.17，平均为 2.74，小于我国其他海域；该海域鱼类可化分为三个群落，即由珊瑚礁和海草床镶嵌生境组成的潟湖群落，以及永乐群岛群落和宣德群岛群落。

结合以往的文献资料，编制了西沙群岛物种名录。研究发现，截止目前西沙群岛共记录珊瑚礁鱼类691种，隶属于24目97科。共记录到 691 种，主要科为科隆头鱼科、雀鲷科、鮨科、蝴蝶鱼科、多鳃鲨科、笛鲷科、鹦嘴鱼科、虾虎鱼科、鲀科和鲹科。本研究中，6 科(蝴蝶鱼科、雀鲷科、盖刺鱼科、隆头鱼科、鹦嘴鱼科和刺尾鱼科)的珊瑚鱼多样性指数(CFDI)为 229，根据估算该海域珊瑚礁鱼类应有 756 种。根据 IUCN 红色名录，西沙群岛有 1 种极度濒危物种、6 种濒危物种、16 种脆弱物种、13 种近危物种。发现还发现中国新纪录种一种暗褐盘雀鲷（*Dischistodus pseudochrysopoecilus*）和 23 个西沙新记录种。

通过对比分析历史调查数据，发现西沙群岛珊瑚礁鱼类在 14 年间种群密度呈下降趋势，由 2007 年的 2.36 尾/㎡降至 2020 年的 0.92 尾/㎡；大型鱼类指数在 2014-2020 年也呈下降趋势，并且都低于 0.3，说明该海域的珊瑚礁鱼类面临较大的捕捞压力，需要加强保护和生态修复。未来将从珊瑚礁鱼类对气候变化和人类活动的响应、基于生态系统的珊瑚礁保护等方面开展进一步深入研究。

S19-P-02S

珊瑚的主要疾病类型以及环境因素的影响

孙一楠[1,2]，姜伟[1,2]*，余克服[1,2]

1 广西大学海洋学院，南宁 530004

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004

* jianwe@gxu.edu.cn

珊瑚礁是一个生物多样性十分丰富的生态系统，为包括细菌、古生菌、藻类在内的众多物种提供了舒适的栖息地，但近年来珊瑚疾病的爆发在世界范围内不断增加，已成为危害珊瑚礁生态系统健康的一个重要因素，珊瑚覆盖面积大幅度下降，并对生物多样性和生态系统功能产生越来越大的威胁。因此，我们需要加强对于珊瑚疾病病原体及致病机理的研究，深入探究不同珊瑚礁区患病率增长的诱发环境因素，进而有助于人类对该生态系统进行保护及修复工作。

珊瑚疾病的病原体主要包括细菌、真菌、病毒和原生动物等，而疾病诱因与生物、非生物（或两者的结合）应激源有关。目前，已发现珊瑚疾病 40 余种，包括常见的黑带病、黑斑病、白带病、白色瘟疫、曲霉病等，其中施罗氏弧菌（*Vibrio shilonii*）、溶珊瑚弧菌（*Vibrio coralliilyticus*）、杀珊瑚橙色单胞菌（*Aurantimonas coralicida*）、黏质沙雷

氏菌（*Serratia marcescens*）、聚多曲霉（*Aspergillus sydowii*）、和溶藻弧菌（*Vibrio alginolyticus*）被证实是珊瑚疾病的病原体。与此同时，海洋变暖和酸化、与陆源污染物或过量营养物相关的水质污染以及捕食性海星的爆发等不良环境因素都可能导致珊瑚白化事件发生频率以及珊瑚患病率升高。

另外，在疾病尚未爆发的区域，人类活动以及气候变化造成的生存环境改变也会导致珊瑚呈现亚健康的状态，不适宜的生长环境能通过削弱宿主免疫能力、增强病原体毒性、为病原体提供舒适的生存环境等方式影响珊瑚礁生态系统的健康。因此，可通过研究相关环境因素对珊瑚的影响机制以及影响程度达到避免类似衰退事件发生的目的，即珊瑚疾病可以由病媒驱动，但积极的生态促进可以提供保护并预防疾病；或者尝试通过驯化的方式使珊瑚提前适应日趋严峻的生存环境。

S19-P-03

防城港白龙尾造礁石珊瑚空间分布及群落特征

林明晴[1,2]，李银强[3]，沈琼雯[1,2]，蔡鸿泰[4]，陈宇[4]，王欣[1,2]*

1 广西红树林研究中心，北海 536000
2 广西红树林保护与利用重点实验室，北海 536000
3 广西大学海洋学院，南宁 530000
4 国家电投广西核电有限公司，南宁 530000
* matcie@163.com

采用样线法（PIT 和 LIT）和样方法（2×2m）于 2020 年 10 月对防城港白龙尾海域造礁石珊瑚群落的空间分布及群落特征进行研究。研究发现：该海域共有三个造礁石珊瑚群落分布区，面积合计 62.2hm^2，其中分布区二面积为 54.8hm^2，占比 88.1%，分布区一和二的面积分别为 2.8hm^2、4.5hm^2；共鉴定造礁石珊瑚 4 科 7 属 12 种，其中优势种为斯氏伯孔珊瑚（*Bernardpora stutchburyi*）和多孔同星珊瑚（*Plesiastrea versipora*）；样线结果表明各站位活珊瑚覆盖度在 1.2%-17.6%之间，平均为 6.6%；个体数量在 3-63 株之间，平均为 22 株，形态以表覆状和块状为主，分别为 79 株和 97 株；样方结果表明造礁石珊瑚个体密度在 0.08~5.08 株/m^2 之间，平均为 2.12 株/m^2，其中小型珊瑚（0~10cm）平均个体密度为 0.93 株/m^2，占比 43.73%、中型珊瑚（10~30cm）平均个体密度为 1.07 株/m^2，占比 50.02%、大型珊瑚（30~50cm）0.10 株/m^2，占比 4.69%，特大型珊瑚（＞50cm）0.03 株/m2，占比 1.56%；造礁石珊瑚的个体大小在 29.31~352.24cm^2(10×2.9 ~10×35.2cm)之间，平均为 170.44cm^2(10×17cm)，其中表覆状和块状造礁石珊瑚平均个体大小分别为 188.60cm^2(10 × 18.8cm)和 152.72cm^2(10 × 15.2cm)。本次研究还发现少部分珊瑚白化现象，白化率在 0.2%-1.8%之间，平均为 0.43%。另外，此次未发现造礁石珊瑚补充量。

S19-P-04S

造礁石珊瑚相关β-葡萄糖苷酶产生菌及其基因的高度多样性

苏宏飞[1]*，张琦[1]，陆春蓉[1]，余克服[1,2]

1 广西大学海洋学院，珊瑚礁研究中心，广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519000
* shf2016@gxu.edu.cn

复杂的纤维素降解成纤维二糖等中间产物的过程是海洋环境中细菌碳循环的限速步骤，微生物 β-葡萄糖苷酶是一种纤维素复合酶，可将纤维二糖等降解为葡萄糖，减少了中间产物积累，对纤维素降解起着重要的调节作用。虽然 β-葡萄糖苷酶在珊瑚礁中具有重要意义，但对其产生菌的多样性、基因与酶的特性知之甚少。本研究首先从 6 属

珊瑚中筛选出 87 株产 β-葡萄糖苷酶的可培养细菌，它们可归类为 21 属，分布于变形杆菌门、厚壁菌门和放线菌门三个门类。其次，利用宏基因组学方法研究造礁石珊瑚共附生细菌 β-葡萄糖苷酶的基因多样性，发现这些酶主要属于糖苷酶水解酶家族 3（GH3）。最后，一个包含 670 氨基酸残基、分子量为 75.2 kDa 新的重组 β-葡萄糖苷酶 Mg9373 成功表达并进行酶学性质鉴定，该酶表现出良好的乙醇、氯化钠和葡萄糖耐受性。总之，这些结果表明，造礁石珊瑚蕴藏着高多样性的 β-葡萄糖苷酶产生菌和新颖的酶基因，新的酶学特性将使它们在食品工业和农业中具有巨大的应用潜力。

S19-P-05S

南海环境敏感型造礁珊瑚共生微生物生态特征及关键驱动因素

许勇前[1,2]， 梁甲元[1,2]，余克服[1,2]*

1 广西大学海洋学院，广西南宁 530004

2 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西南宁 530004

* kefuyu@scsio.ac.cn

中国南海珊瑚礁分布广泛，长期以来受气候和人类活动双重影响下演变出生活环境各异的珊瑚礁区。其中，珊瑚对这些特殊环境的适应跟自身共生微生物群落组成密切相关。本研究以南海 2 种环境敏感型的鹿角珊瑚（*Acropora* spp.）和杯形珊瑚（*Pocillopora* spp.）为研究对象，分析了南沙群岛（NS）、西沙群岛（XS）、海南陵水（LS）和涠洲岛（WZ）四个主要珊瑚礁区采集的 82 个珊瑚样品共生虫黄藻和细菌的群落构成与细胞含量的变化，及其与各种环境因子的关联性。结果显示，2 种珊瑚共生虫黄藻的群落组成存在显著的种间差异。其中，鹿角珊瑚以 C50 和 C1 为主导亚系群；杯形珊瑚则以 D1 和 C1d 为主导亚系群。2 种珊瑚共生细菌的优势菌群均为变形菌门（Proteobacteria）、拟杆菌门（Bacteroidetes）和厚壁菌门（Firmicutes），且具有光合作用功能的蓝细菌（Cyanobacteria）相对丰度随着纬度的升高而增加。与此同时，共生虫黄藻和细菌的含量均随不同纬度的升高（年均温度降低）而升高。微生物生态特征与环境因子关联性分析表明，2 种珊瑚的虫黄藻密度、细菌含量和蓝细菌相对丰度与叶绿素 a（Ch1 a）、颗粒有机碳（POC）、溶解无机氮（DIN）、溶解性活性磷（SPR）呈显著正相关，而与海水表面温度（SST）和透明度呈显著负相关。本研究为南海环境敏感型珊瑚环境适应性的共生微生物生态特征以及关键驱动因素给出了深入的认识，对评估珊瑚未来的生存动态提供理论基础。

S19-P-06S

Marinibactrum weizhouensis sp. nov., a bacterium isolated from coral Porites lutea

刘建峰[1,2,3]，王广华[1,2,3]*

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004

2 广西大学珊瑚礁研究中心，南宁 530004

3 广西大学海洋学院，南宁 530004

* wgh@gxu.edu.cn

从滨珊瑚中分离得到的一株新菌，无芽孢，运动型，好氧，并对其进行多相分类学研究。基于 16S rRNA 基因序列的全部比对显示 C21 与 *Marinibactrum halimedae* Q192 序列一致性最高，达 94.35%。根据表型、系统发育学、系统基因组学和比较基因组学分析结果，认为 C21 应该是 *Marinibactrum* 属中的一个新种。此外，根据化学分类学、极性脂质谱和生理生化情况，对 C21 做进一步的研究发现，C21 与 Q192 存在唯一的类异戊二烯醌（Q8）；均可降解吐温 40 和吐温 60；在氧化酶实验中均为阳性，pH 耐受范围是 5-9；随着培养时间的增加会产生棕褐色的水溶性色素。在温度实验中。C21 耐受范围是 15-37℃（最适 25-32℃），Q192 耐

受范围是 20-37℃（最适 25-32℃）。之后通过分子生物学的手段更进一步研究。

在实验初期培养时发现一个极其有趣的实验现象，该菌株在固体培养基生长良好，当置于同种液体培养基时却无法生长，查阅诸多文献后发现，前人在实验中也遇到同类情况，但解决方案大多是更换培养基，或实验延用固体培养基。本人出于好奇进行了初步探索，最终发现该菌株在粗糙的表面更容易聚集生长。之后进一步实验证明该菌株具有附着生长的特性。

S19-P-07S

基于转录组学的造礁珊瑚对异常高温差异响应机制

余骄洋 [1,2]，余克服 [1,2]*

1 广西大学海洋学院，南宁 530004

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004

* kefuyu@scsio.ac.cn

进入人类世以来，由于全球变暖等异常气候变化，导致全球珊瑚礁生态系统出现了严重的退化。然而，珊瑚如何响应热胁迫并最终产生适应性的机制尚不明确，迫切需要新的研究填补空白。因此，我们总结了近二十年来共 42 项关于珊瑚响应高温胁迫的研究，并在其中选择了分布最广泛、最具有指示意义的鹿角珊瑚属、滨珊瑚属和 *Orbicella* 属在热胁迫下的二代转录组测序数据进行重分析。我们对分组数据进行了主成分分析后，通过差异表达分析比较了上述珊瑚分别受到急性和慢性高温胁迫时的种间表达差异。我们随后对其进行了 GO 和 KEGG 基因功能分类注释分析。结果展示出了丰富的种间功能基因表达多样性，暗示珊瑚具有独特的热适应模式，解释了在相似环境下的表型差异。本研究揭示了珊瑚中存在的不同适应机制，有助于未来进一步了解珊瑚的差异耐受机制和评估南海珊瑚潜在的环境适应性，为南海珊瑚礁修复提供指导。

S19-P-08S

基于质谱代谢组学研究珊瑚响应高温胁迫的生化机制

张晶晶 [1,2,3]，韦展鹏 [1,2,3]，裴继影 [1,2,3]*，余克服 [1,2,3]*

1 广西大学海洋学院，南宁 530004

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004

3 广西大学珊瑚礁研究中心，南宁 530004

* pjying@gxu.edu.cn, kefuyu@scsio.ac.cn

全球变暖导致的珊瑚白化被认为是珊瑚礁退化的主要原因。升温下的珊瑚白化机制一直是珊瑚礁研究领域的热点问题。本研究基于代谢组学技术手段探究珊瑚应对热白化的生化机制。实验方法：选择十字牡丹珊瑚作为受试物种，采取程序升温方法建立热白化模型，利用高分辨质谱对白化前后的珊瑚代谢物进行分析测试。结果表明，珊瑚在热白化前后代谢物组成发生显著差异，其中甜菜碱类代谢物含量发生下调，某些二肽类物质、泛醇、泛酸以及乙醇胺代谢小分子含量发生上调。基于以上结果，我们推测甜菜碱脂参与了调节渗透压及能量消耗等过程；泛酸和泛醇参与了糖、脂、蛋白质代谢等过程。该研究对珊瑚礁生态系统保护与修复具有一定的科学支撑和理论指导意义。

S19-P-09S

海洋酸化下强壮鹿角珊瑚共生虫黄藻和细菌的群落结构响应与生理应答

葛瑞琪 [1,2]*，余克服 [1,2]，梁甲元 [1,2]

1 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西大学珊瑚礁研究中心，广西南宁 530004

2 广西大学海洋学院，广西南宁 530004;

* geruiqi127@outlook.com

海洋酸化被认为是威胁珊瑚礁生态系统的最主要因素之一，充分了解珊瑚共生

功能体对海洋酸化的响应对于理解珊瑚的适应机制和发展趋势具有重要意义。本研究以南海北部涠洲岛的强壮鹿角珊瑚 *Acropora valida* 为对象，利用高通量测序技术，探讨珊瑚表型、生理参数、共生虫黄藻和细菌的群落结构组成对不同酸化梯度的响应。实验设置了 4 个酸化梯度（pH 分别为 8.2, 7.8, 7.4 和 7.2），每个梯度持续 10 天，加上 30 天的驯化期，则整个实验过程共持续了 70 天。我们的结果显示：

（1）虽然酸化胁迫使共生的虫黄藻密度下降，但没有导致珊瑚白化，实时光合速率也没有显著变化，*A.valida* 对酸化表现出了较强的耐受性。

（2）对共生虫黄藻系群组成的分析表明，C1 在主导系群中始终占据绝对优势，pH 7.2 时共生虫黄藻背景系群的相对丰度显著上升。酸化很可能通过对 *A.valida* 共生虫黄藻背景系群的调节来影响 *A.valida* 共生虫黄藻群落结构的稳定性，而主导系群中具有高光合能力的 C1 亚系群与 *A.valida* 的稳定共生很可能补偿了酸化对虫黄藻密度的负面影响，解释了光合速率稳定不变的原因。

（3）对共生细菌群落结构和多样性的分析表明，占据主导优势的 *Endozoicomonas* 始终与 *A.valida* 稳定共生，但 pH 7.2 时，蓝细菌门相对丰度显著上升。因此酸化胁迫下 *Endozoicomonas* 与 *A.valida* 的稳定共生很可能帮助其适应了酸化环境，而 pH 7.2 时 Cyanobacteria 相对丰度的显著升高可能为珊瑚共生体的光合速率提供了补偿。综上，我们认为是共生虫黄藻和细菌群落的稳定性与灵活性共同帮助 *A.valida* 抵御了酸化胁迫。本研究为探索海洋酸化胁迫下造礁石珊瑚共生虫黄藻和细菌的群落结构变化提供了新的见解。

S19-P-10S

热胁迫压力下三种颜色表型澄黄滨珊瑚（*Porites lutea*）共生体的分子适应性特征

王永刚[1,2]*，余克服[1,2]，黄雯[1,2]，阳恩广[1,2]，蒙林庆[1,2]

1 广西大学珊瑚礁研究中心，广西大学海洋学院， 南宁 530004

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室， 南宁 530004

* 2027402004@st.gxu.edu.cn

2020 年的异常海洋热浪环境压力导致了广西涠洲岛海域出现大规模珊瑚白化现象，造成了珊瑚礁生态系统的严重破坏。特别是我们观察到面对白化胁迫时绿色澄黄滨珊瑚与褐色澄黄滨珊瑚群体相比黄色澄黄滨珊瑚群体表现出更好的适应能力，但不同颜色表型澄黄滨珊瑚群体的共生微生物组成及其共生体的蛋白质组学是如何潜在调节珊瑚适应白化胁迫的机制仍然未知。本研究对健康的绿色澄黄滨珊瑚（PLG）、褐色澄黄滨珊瑚（PLB）、黄色澄黄滨珊瑚（PLY）及白化澄黄滨珊瑚（PLW）群体的共生藻、共生细菌及其蛋白质组学进行了分析。虫黄藻 ITS 测序结果显示 PLG、PLB、PLY、PLW 群体的主导共生虫黄藻系群均为 C15 型。微生物 16SrRNA 测序结果表明 PLG、PLB 群体澄黄滨珊瑚的相比 PLY、PLW 群体澄黄滨珊瑚的微生物多样性更高，且群落结构差异显著。基于 TMT 的定量蛋白质组学分析显示 PLG-PLB、PLG-PLY、PLG-PLW、PLB-PLY、PLB-PLW、PLY-PLW 分别鉴定出 449、445、368、383、294、269 种差异表达蛋白，这些差异蛋白主要参与细胞骨架结构、碳水化合物和能量代谢、蛋白质合成和降解及氧化应激功能。共生微生物组成及差异蛋白功能互作表明不同颜色表型澄黄滨珊瑚共生体有不同的策略来适应热应激胁迫。本研究为海洋暖化背景下不同颜色表型澄黄滨珊瑚的白化适应分子特征提供了新的视角，有助于阐明不同颜色表型珊瑚应对热胁迫环境压力的策略，这对珊瑚礁在全球变暖过程中的白化监测及恢复有重要指导意义。

S19-P-11S

南海不同纬度澄黄滨珊瑚群体对极端高/低温胁迫的响应差异

阳恩广[1]，黄雯[1*]，王永刚[1]，蒙林庆[1]，余克服[1,2*]

1 广西大学广西南海珊瑚礁研究实验室；广西大学珊瑚礁研究中心；广西大学海洋学院，南宁 530004

2 南方海洋科学与工程广东实验室（珠海），珠海 519080

* wenhuang@gxu.edu.cn, kefuyu@scsio.ac.cn

珊瑚礁是诸多海洋生物赖以生存的家园。由于全球气候变化、沿海开发、环境污染等问题持续不断的干扰，全球珊瑚礁的健康状况可能会加剧下降。本研究以南海三个不同纬度的澄黄滨珊瑚群体为对象，包括西沙北礁、涠洲岛、大亚湾三门岛。通过高(34℃)、低(12℃)温胁迫获得其表型变化，白化程度，虫黄藻密度，叶绿素 a 含量，最大光量子产率 Fv/Fm 和酶活等生理数据，以比较不同海域澄黄滨珊瑚耐热/寒的能力。我们的结果表明，随着温度升高/降低珊瑚的白化程度显著上升。与对照组生长适宜温度（26℃）相比较，极端环境温度下珊瑚的虫黄藻密度，叶绿素 a 含量和最大光量子产率 Fv/Fm 均显著降低。其中西沙地区澄黄滨珊瑚的下降幅度最大，大亚湾下降幅度最小，涠洲岛次之。在高温条件下，西沙澄黄滨珊瑚的虫黄藻密度，叶绿素 a 含量，Fv/Fm 值，与对照组相比分别下降了 66.45%、54.39%、57.62%。大亚湾分别下降了 51.17%、37.33%、30.36%。在低温环境下，西沙下降了 71.78%、72.07%、91.79%，而大亚湾的降幅为 64.41%、49.27%、66.46%。在受到高/低温胁迫时，澄黄滨珊瑚的 CAT、SOD、POD、GS 等酶的活性变化表现出一致的趋势。说明澄黄滨珊瑚共生体可能有着类似的响应机制来应对环境温度的升高/降低。生理结果表明大亚湾、涠洲岛比西沙地区的澄黄滨珊瑚对极端的高温和低温都表现出更高的耐受性。这可能是相对高纬度群体长期适应温度大幅度变化的表现。同时我们发现，与较高的海温相比极端的低温环境对澄黄滨珊瑚造成的损害性可能更大。本研究探讨了南海不同纬度澄黄滨珊瑚对极端温度的耐受性，对南海澄黄滨珊瑚如何应对气候变化的干扰以及热带珊瑚北迁的可能性具有重要意义；同时可为珊瑚的移植修复提供基础数据和指导性建议。

S19-P-12

苯并[A]芘胁迫下珊瑚共生虫黄藻群落结构的响应

杨婷寒[1,2]，刁晓平[1*]

1 海南大学 南海海洋资源利用国家重点实验室，海口 570228

2 厦门大学 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361102

* diaoxip@hainanu.edu.cn

近几十年来，由于全球气候变化和人为活动的影响，珊瑚白化现象频繁且大面积的发生，造成全球珊瑚礁退化日益严重，不仅使许多海域珊瑚礁多样性下降，且严重影响着海洋生态系统的健康。由于人为活动带来的海洋有机物污染能够严重影响海洋珊瑚的健康，甚至导致珊瑚白化和死亡。BaP 作为有机污染物多环芳烃（polycyclic aromatic hydrocarbons，PAHs）中毒性最大的强烈致癌物，主要通过细胞生物过程对生物产生毒性，不仅广泛分布于环境且能够持久累积在生物中，在珊瑚礁中存在一定量的分布。本研究通过对苯并[a]芘（Benzo[a]pyrene, BaP）胁迫下珊瑚共生虫黄藻的生理和种群结构变化的分析，探讨了 BaP 胁迫珊瑚共生虫黄藻的毒性效应与种群适应性。根据对 BaP 胁迫指形鹿角珊瑚共生虫黄藻的叶绿素、细胞密度指标测定，发现 BaP 胁迫降低其共生虫黄藻的叶绿素含量和细胞密度，并表现出明显的时效关系。此外，利用荧光定量技术和高通量测序技术测定其共生虫黄藻各系群

和与亚系群的相对丰度，发现 BaP 胁迫下虫黄藻 D 系群相对丰度增加，其中 D1、D1a、A1.2 亚系群的增加呈时效关系，表明这些种群对 BaP 胁迫较耐受；而 C 系群相对丰度下降，其中 C1、C1232 亚系群相对丰度降低呈时效关系，表明这些种群对 BaP 胁迫较敏感。本研究结果为研究珊瑚共生虫黄藻对有机污染物的种群适应性，以及筛选珊瑚礁 PAHs 污染的生物标记物提供了重要的依据。

S19-P-13

有机磷酸酯阻燃剂和增塑剂在南海珊瑚礁区大气-海水-珊瑚系统中的环境分布及生物富集

张瑞杰，韩民伟，黄学勇，余克服*

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西大学珊瑚礁研究中心， 广西大学海洋学院，南宁 530004

* kefuyu@scsio.ac.cn

化学品污染被认为是近年来珊瑚礁，尤其是近岸珊瑚礁，快速退化的重要原因之一。因此，研究各种化学品在珊瑚礁区的污染状态及其对珊瑚的生态影响，寻找对珊瑚生长产生重要影响的化学品成为关注珊瑚礁健康的环境学者的重要任务之一。

有机磷酸酯类（OPEs）阻燃剂作为溴代阻燃剂的重要替代品，其产量和使用量在快速增长，被广泛使用。由于其采用非键合方式添加，易向环境中释放，目前亦广泛存在于各种环境介质中，并通过河流和大气迁移向海洋环境中迁移。由于 OPEs 也被陆续发现具有一定的类 POPs 属性，因此其在环境中的环境命运和生态影响也备受关注。

本文于 2015 年-2016 年间，在我国南海近岸（涠洲岛、大亚湾和三亚）和远海（西沙、中沙河南沙群岛）采集了大气、海水、珊瑚等环境样品，并对把珊瑚样品的黏液和组织进行了分离。采用固相萃取、索氏抽提等样品前处理方法、GC-MS/MS 的仪器分析方法分析了 OPEs 在各种介质中的含量水平、时空分布、气粒分配、水气交换和生物富集，并结合洋流、气流等分析了 OPEs 的来源。结果显示 11 种 OPEs 在水体、大气气态、大气颗粒态、珊瑚中的含量(Σ_{11}OPEs)分别为 0.74~16.9（2.31±3.27）ng/L，0.23~18.4（1.71±3.23）ng/m^3, 0.18~3.65 （0.69±0.76）ng/m^3, 528~2723 （1058±614）ng/g dw. 大气中气态 OPEs 明显大于颗粒态 OPEs。

近岸珊瑚Σ_{11}OPEs（1836±651 ng/g dw）明显高于远海珊瑚（816±340 ng/g dw）。表面黏液富集 OPEs 对总量的贡献平均为 51%，其中近岸平均贡献为 70%，而远海为 45%。这可能与近岸环境压力大，珊瑚分泌较多的黏液相关。

11 种 OPEs 在珊瑚中的生物富集因子的平均对数值（log BAFs）为 3.08~5.97，均表现出较高的生物富集性。

S19-P-14S

中国南海滨珊瑚钙化对长期海洋升温与酸化的响应

康慧凌[1,2]，陈雪霏[1]*，邓文峰[1]，韦刚健[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所，广东广州 510640

2 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049

* chenxf@gig.ac.cn

解析珊瑚对海洋酸化及升温的响应一直存在挑战，但这对理解珊瑚对海洋环境变化的适应性至关重要。本研究根据中国南海西沙群岛九根滨珊瑚的骨骼生长记录，获得该区域过去 168 年以来（1847-2014）总体的滨珊瑚生长历史。此外，通过测定其中两根珊瑚的 $\delta^{11}B$ 与 Sr/Ca，本研究还重建了该海域过去约两百年来的海表温度（Sea Surface Temperature, SST）以及海水 pH（pH_{sw}）。

重建结果表明，自 1920s 以来，西沙海域呈现出长期的酸化趋势（−0.0088 ±0.0017

pH/decade），而该海域的温度则自 1960s 显著升高（增幅约 0.50 ℃）。在这样的海洋环境变化下，该区域总体的珊瑚骨骼密度呈现出缓慢但长期持续的下降（1847-2014），并且这一下降与酸化显著相关，与温度的联系不显著。珊瑚骨骼的线性生长率与钙化率在 1960s 以前呈现出上升，而在 1960s 以后显著下降，其下降恰好对应着持续的低 pH_{sw} 与显著上升的温度，这似乎体现出近十年来珊瑚生长的被抑制。进一步的相关性分析表明，年代际尺度上，珊瑚的生长率与钙化率对 pH_{sw} 表现出抛物线相关，而与温度不相关。这似乎说明对于西沙滨珊瑚而言，海洋酸化对其影响更为主要，而温度所起的作用并不直观，并且珊瑚对酸化的响应存在阈值，初期的 pH_{sw} 下降似乎能促进其骨骼线性生长，而更为长期持续的酸化则带来抑制。

S19-P-15S

1985-2019 年南海珊瑚礁区热应力时空变化研究

陆永强[1,2]，陈正华[1,2]*，何鑫[1,2]，余克服[1,2]*

1 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004

2 广西大学海洋学院，南宁 530004

* chen.zhenghua@163.com, kefuyu@scsio.ac.cn

目的：珊瑚礁受到全球变暖的影响，受到热应力胁迫发生白化甚至死亡。南海珊瑚岛礁也受到严重的热压力，这导致了珊瑚礁发生严重白化现象。为了更好的对珊瑚礁进行保护和管理，我们对南海珊瑚礁区的热应力进行时空分析，得到珊瑚礁过去 35 年收到的热应力胁迫时空变化，对珊瑚所受到的热应力导致的白化进行估计。同时，热应力最严重的年份与 ENSO 有所联系，我们最后探究热应力与 ENSO 的关系，研究珊瑚礁的热应力 ENSO 的响应。

研究区域：南海珊瑚区

研究方法：本研究利用 NOAA 珊瑚礁保护计划（CRW）的产品：时间分辨率为每日，空间分辨率为 5km 的海表温度数据、Niño 3.4 index 时间分辨率为每月的数据。南海珊瑚礁分布来源于珊瑚礁全球分布数据（Global Distribution of Coral Reefs）。

1.首先利用 SST 计算出 35 年周热度（DHW），我们将 1985 年至 2019 年的年最大 DHW（annual maximum DHW）数据表示热应力指标，并对南海珊瑚礁可能发生白化（DHW>=4）和珊瑚礁发生白化（DHW>=8）的频率进行统计；2.对 35 年的年最大 DHW 进行最小二乘法分析，得到珊瑚礁的趋势变化，同时对研究区的年最大 DHW（maximum DHW）得到研究区热应力变化的空间差异；利用交叉小波分析得探究热应力与 ENSO 的相位关系，交叉分析量化两者的相关系数，探究两者的相关性。

结果： 1.1985-2019 年南海珊瑚岛礁区的受到呈现的热应力呈现空间上的变化，最小值到最大值为 0-12.89℃-weeks。东沙珊瑚礁受到的热应力最大，nan_0（南沙西南部）最少，由西北和东南往中间逐渐减若，。在空间上变现为西北往东南方向逐渐减弱；2.对 35 年每年最大 DHW 热应力进行分析，我们发现在时间上热应力最严重的年份从高到低依次为 2010 年、2014 年、1998 年、2019 年以及 2015-2016 年，同时珊瑚礁所受的热应力越来越严重且频率更强；3.南海珊瑚岛礁区受到的热应力与 ENSO 存在 12 个月左右的共振周期，两者相位呈现同向为变化。同时相关关系表明，南海热应力对于 ENSO 变化有 18 个月的滞后效果。

总结：本文通过 NOAA 的 CRW 得到的相关 SST 产品，统计了南海珊瑚礁区过去三十五年的热应力时空变化规律，其有助于预测未来的珊瑚礁环境的热应力状况，进而确定 35 年间珊瑚礁区白化风险最大以及最小区域。同时结合 ENSO 数据，得到了珊瑚礁所受热应力与 ENSO 的关系。这些信息有助于更好地了解未来热应力预测的潜在影响因此，评估历史变化对于理解热应激暴露至关重要。.

S19-P-16

南海灰沙岛对过去 30 年气候变暖响应的遥感影像记录

黄荣永 [1]*，余克服 [1,2]

1 广西大学海洋学院、珊瑚礁研究中心、广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519000

* rongyonghuang@163.com

在气候变暖背景下，世界范围内的珊瑚礁面临着被淹没的风险，严重威胁着建立在珊瑚岛之上的诸多国家的未来生存。就我国而言，珊瑚礁又是我国南海唯一的陆地国土类型，我国南海的军事、渔政措施无一不是建立在珊瑚礁之上。因此，珊瑚岛礁对气候变暖的响应规律在国内外受到广泛的关注。因此，本文选择选择南海具有代表性的 11 座灰沙岛为研究对象，包括西沙群岛甘泉岛、晋卿岛、金银岛、珊瑚岛、西沙洲、北岛、中岛和南岛，以及南沙群岛的子岛、马欢岛和西月岛，借助 1989 年至 2019 年的 67 景 Landsat 和 Sentinel-2 影像，重建这些灰沙岛地貌过去 30 年间的变化历史，以便探讨南海灰沙岛对气候变化的响应规律。研究先是基于梯度矢量流的主动轮廓线模型（GVF-Snake）并结合手动矢量化的方法提取地貌边界信息，再利用线性拟合方法分析灰沙岛及其上植被覆盖范围面积的变化趋势。结果表明：1）南海珊瑚礁灰沙岛的面积普遍呈缩减的趋势；2）南海珊瑚礁灰沙岛的植被面积呈扩张的趋势；3）南海灰沙岛将继续受到气候变暖的威胁，海浪侵蚀、风暴强度增加、珊瑚钙化率下降以及珊瑚礁退化等因素将导致灰沙岛面积进一步缩减，而其上植被面积将则因降雨量的增加而得以扩张，但其扩张至接近灰沙岛的边缘后很可能将随灰沙岛一同缩减。

S19-P-17S

基于地貌的西沙群岛珊瑚礁浅水地形遥感反演及珊瑚分布研究

段正贤 [1,2]，余克服 [1,2]，苏奋振 [3]，左秀玲 [1,2]*，吴会胜 [4]

1 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004

2 广西大学海洋学院，南宁 530004

3 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室，北京 100101

4 中国石油大学（华东）海洋与空间信息学院，青岛 266580

* zuoxl@gxu.edu.cn

珊瑚礁是生物多样性最丰富的生态系统之一，对造礁珊瑚的群落结构以及空间分布规律的研究是珊瑚礁生态系统研究中的重要方面。本研究采用 GF-1 号遥感影像及 ICESat-2 星载激光卫星测高数据，基于珊瑚礁地貌和不同波段回归模型反演了西沙群岛 12 个珊瑚礁 25m 以浅水深，在此基础上开展了研究区礁坡地形的空间差异分析，并结合实地调查分析的珊瑚覆盖度、珊瑚多样性和珊瑚均匀度指标探究地形与珊瑚分布的关系。结果表明，基于地貌构建的珊瑚礁水深遥感反演模型，显著改进了水深反演精度；研究区礁坡坡度普遍东北向最缓，西南向最陡；不同珊瑚礁之间，南向、西南向及东北向的礁坡平均坡度相似度高，而西北向、北向及西向的礁坡平均坡度相似度低；永乐环礁西南向礁坡以杯形珊瑚科为主，东北向礁坡以鹿角珊瑚科为主。各坡向中随水深的增加，杯形珊瑚科及蜂巢珊瑚科占比增加，鹿角珊瑚科占比下降；礁坡坡度中西南向>西北向>东北向，而珊瑚多样性及均匀度东北向>西北向>西南向。本研究可为珊瑚礁地形遥感反演及基于地形的珊瑚分布空间预测与珊瑚礁保护管理提供方法和决策支持。

S19-P-18S

基于 $^{210}Pb/^{226}Ra$ 年代法和 ^{40}K 代用指标的珊瑚历史覆盖度反演技术

莫敏婷[1]，林武辉[1,2]*，余克服[1,2]

1 广西大学海洋学院，南宁 530004

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004

* linwuhui8@163.com

珊瑚覆盖度作为反映珊瑚礁生态系统健康程度的重要指标，是珊瑚礁调查的基本参数。长时间系列下珊瑚覆盖度的年际变化，可以反映珊瑚礁生态系统在气候变化和人类活动影响下的演变过程，对预测未来珊瑚礁生态系统发展和珊瑚礁科学管理与保护具有重要的指导意义。如何可靠反演珊瑚覆盖度正成为一项重要议题。

近些年来，珊瑚礁生态系统的严重退化引起全球广泛关注。澳大利亚大堡礁、加勒比海区域以及我国的广东大亚湾、海南三亚和西沙永兴岛等的珊瑚覆盖度均呈现显著的下降趋势。目前获得珊瑚覆盖度的技术手段主要有两种，一是传统的潜水调查法，二是卫星遥感反演法。潜水调查法通常采用全球珊瑚礁监测网络（GCRMN）推荐使用的截线样条法。截线样条法主要通过实地潜水录像和室内判读海底录像，计算获得珊瑚覆盖度。但是该方法费时耗力，调查频次受限，空间覆盖度较小，而且历史调查数据较短（通常始于 1970S 以来）。卫星遥感方法是通过光谱解译获得活珊瑚覆盖度，具有时间连续性、空间覆盖范围广等特点，可以弥补潜水调查方法的不足，但同时也会受到水色、云层等影响而带来较大误差，并且时间尺度上受限于观测卫星发射时间（主要在 1970S 以后）。

因此，本研究立足于物源识别的理念，进一步提出基于 ^{40}K 的珊瑚历史覆盖度反演新方法，以涠洲岛珊瑚礁区沉积柱样为例，在 $^{210}Pb/^{226}Ra$ 年代法的基础上，利用 ^{40}K 示踪沉积物的不同物质来源，计算沉积物生源无机物（以碳酸钙为主）贡献比率，并与涠洲岛海域的珊瑚覆盖度进行比对和验证，最后提出基于 ^{40}K 代用指标的珊瑚历史覆盖度反演技术。本方法具有时间尺度长（百年尺度）、连续记录、操作简单、成本低廉等特点；但是受限于本方法的原理假设，仅适用于岸礁的珊瑚覆盖度反演。此技术可以反演百年尺度上珊瑚历史覆盖度的连续变化，解析人类活动与气候变化对珊瑚礁的影响，为珊瑚礁生态系统科学保护和管理提供一定的技术支持。

S19-P-19S

涠洲岛珊瑚礁区沉积物界面营养盐的交换通量及其影响因素研究

方草[1]，宁志铭[1]*，韦芬[1]，夏荣林[1]，杨斌[2]

1.广西大学 海洋学院/广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西 南宁 530004；

2.北部湾大学 广西北部湾海洋灾害研究重点实验室，广西 钦州 535011)

* zmning@gxu.edu.cn

在全球气候变暖和人类活动影响下，珊瑚礁正在严重退化，而珊瑚礁区的富营养化以及营养盐比例失衡会加剧珊瑚礁的退化，沉积物在珊瑚礁生态系统环境变化中扮演着重要的角色。已有研究表明，涠洲岛礁区沉积物界面的营养盐交换导致海水中氮含量和氮磷比的下降，这可能有利于缓解近海富营养化对珊瑚礁退化的压力。但在不同环境压力影响下，礁区沉积物界面营养盐交换通量如何变化？在何种条件下，沉积物界面营养盐交换可以更大限度地改善珊瑚礁水环境？因此，本研究利用流动式反应装置对涠洲岛珊瑚礁区沉积物进行不同条件的受控培养，探究不同温度、营养盐浓度、沉积物有机质含量、间隙水对流流速、沉积物厚度等对沉积物界面营养盐交换通量的影响。结果表明，温度、水体硝酸盐浓度、有机质含量升高使沉积物对海水溶解无机氮吸收

增加，海水的磷限制可以通过钙质砂中的磷酸盐溶解释放得以缓解，氮磷比也随之降低。此外，在适当的间隙水对流流速和沉积物厚度，沉积物向海水中释放溶解无机磷达到极大值，这可能为钙质砂释放磷酸盐提供了最佳条件。根据研究结果提出利用礁区沉积物改善珊瑚礁海域营养盐条件，并使沉积物改善水质的效果最大化，为珊瑚礁的生态修复和保护提供理论基础。

S19-P-20S

南海珊瑚礁表层沉积物磁性矿物的类型及其可能来源

韦露[1]，范天来[1,2,3]*，余克服[1,2,3]

1 广西大学海洋学院，南宁 530004

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004

3 广西大学珊瑚礁研究中心，南宁 530004

* fantl2004@hotmail.com

磁性矿物在形成、搬运、沉积和演化过程中，受到气候变化和环境过程的影响，可作为环境变化和气候过程的代用指标。磁性矿物的组成和粒度分布决定了岩石或沉积物的基本磁学性质，以及其所携带的天然剩磁稳定性。珊瑚礁主要成分为碳酸钙，磁性极其微弱，关于珊瑚礁的磁性矿物组成、来源和气候意义，目前还没有获得一致的结论。我国南海珊瑚岛礁众多，但鲜有关于珊瑚礁的磁学特征以及磁性矿物成分的研究，且珊瑚礁磁学性质对环境气候的响应方面的研究也较少。

本研究选取我国南海涠洲岛、西沙群岛的北岛、浪花礁、永兴岛、中沙群岛的黄岩岛、南沙群岛的渚碧礁表层沉积物，对珊瑚礁样品进行了详细的磁学参数测试。结果发现大部分样品的磁滞回线形态基本一致，都表现为细腰形，线形非常的细长，表明沉积物磁性较弱且含有大量的顺磁性矿物。大部分样品的磁滞回线基本上在 300mT 之前达到饱和,说明大部分样品中主要的载磁矿物应该为低矫顽力的磁性矿物。FORC 图显示，这些样品的携磁矿物颗粒大多介于单畴-多畴之间的假单畴颗粒。低温剩磁曲线（FC/ZFC）发现，表层样品中有磁黄铁矿和磁铁矿的存在。通过与周围沉积物表层样品的磁学参数和磁性矿物组分比对，初步判断这些样品的磁性矿物来源为海水带来的陆源碎屑。

S19-P-21S

长棘海星爆发周期珊瑚礁区沉积物营养盐的动力学研究

夏荣林[1]，宁志铭[1,2]*，方草[1]，黄学勇[1]，傅亮[3]，余克服[1,2]

1 广西大学海洋学院，珊瑚礁研究中心，南宁 530004

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004

3 三沙航迹珊瑚礁保护研究所，三沙 573199

* zmning@gxu.edu.cn

近年来长棘海星爆发的频率和强度越来越高，对珊瑚礁生态的可持续性发展构成严重挑战，而水体富营养化可能是导致海星爆发的一个关键诱因，影响着海星爆发的时间和频率。砂质沉积物是生物地球化学反应活跃的区域，是上覆海水中营养盐重要的源和汇，对调控浅海营养盐浓度和结构起着关键作用。然而，长棘海星排泄的营养盐及其死亡后有机质降解对水体营养盐浓度及结构的影响还不清楚，砂质沉积物在此过程中所起到作用也尚不明确。因此，探究在长棘海星影响下的砂质沉积物营养盐动力学对珊瑚礁海域的生态环境管理具有重要科学意义。

本研究通过对长棘海星和砂质沉积物进行室内培养，分析海星生理活动和死亡后有机质降解对水体营养盐浓度及结构的影响，并探究砂质沉积物对此的响应。实验结果发现：(1)长棘海星的排泄会使海水溶解无机氮、无机磷含量以及氮磷比值升高，这很有可能为大型藻类的生长及海星幼虫创造了有利的生存条件，进而为海星的持续爆发

提供物质基础；(2)沉积物会吸收海星排泄的部分溶解无机氮、磷，使水体营养盐氮磷比值显著升高；(3)海星死亡后其有机体的降解促进了沉积物中营养盐的释放，这虽然可以在一定程度缓解水体贫营养压力，给贫营养的南海珊瑚礁海域带来营养物质补充，但失衡的营养盐结构可能更利于大型藻类生长，使珊瑚礁生态系统面临海星直接干扰和富营养化的双重风险。本研究成果深化了长棘海星爆发周期沉积物营养盐动力学的认识，为治理和防范长棘海星的爆发提供重要科学依据。

S19-P-22S

南海珊瑚礁区长棘海星体内重金属含量与特征分析

赵思佳[1,2]，张媛媛[1,2]，余克服[1,2]*

1 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西大学珊瑚礁研究中心，广西南宁 530004
2 广西大学海洋学院，广西南宁 530004
* kefuyu@scsio.ac.cn

为了解珊瑚礁区底栖生物的重金属污染状况，本文用 kruskal-wallis 单因素方差分析、主成分分析和聚类分析的方法描述了南海岛礁中典型底栖生物——长棘海星 6 个部位中 12 种重金属（含类金属 As）含量和分布规律、特征。结果表明：长棘海星的重金属平均含量依次为 Fe＞Zn＞As＞Cd＞Cu＞Ni＞Mn＞Cr＞V＞Pb＞Mo＞Co，这与其生活环境和自身特性有关。V、Cr、Cu、As、Cd、Fe、Zn、Mo 主要蓄积在幽门盲囊、生殖腺和胃等内脏中；Mn、Co、Ni、Pb 主要富集在钙化部位，这可能是因为不同组织器官的生理功能、代谢水平和诱导金属结合蛋白的合成速度存在差异。长棘海星体内 Cd 的富集能力最大，Pb 最小；V、Fe、Zn、Cd 和 As 5 种重金属在长棘海星——珊瑚这条食物链中存在生物放大现象。V、Fe、Co、Ni、Mo、Pb 的含量在长棘海星生命活动周期中没有生物积累，As 含量具有生长依赖性，我们认为长棘海星的代谢活性影响了它在不同生长阶段的重金属含量。

S19-P-23S

浅水珊瑚骨骼 Cu 和 Zn 同位素组成特征及其气候环境和生物活动意义

肖杭芳[1,2,3]，邓文峰[1,2]*，韦刚健[1,2]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室，广东 广州 510640
2 中国科学院深地科学卓越创新中心，广东 广州 510640
3 中国科学院大学，地球与行星科学学院，北京 100049
* wfdeng@gig.ac.cn

Cu 和 Zn 都是珊瑚生长过程中必需的微量营养元素，是珊瑚虫和其体内共生虫黄藻体内 300 多种酶（如超氧化物歧化酶和碳酸酐酶等）的重要辅助因子，对虫黄藻的光合作用和珊瑚虫的钙化至关重要。海水中的 Cu、Zn 被珊瑚吸收进入体内后会被用于各种生物过程（如虫黄藻的光合作用等），然后被进一步输送到钙化流体中替代 Ca^{2+}而保存到珊瑚骨骼中。由于在参与生物过程时它们可能会产生同位素分馏效应，且考虑到这些生物过程对气候变化非常敏感，因此珊瑚骨骼 Cu 和 Zn 同位素组成可能是示踪气候变化和/或生物活动的潜在指标。

本研究对采自于澳大利亚大堡礁的滨珊瑚骨骼进行了月分辨率 $\delta^{65}Cu$、$\delta^{66}Zn$、$\delta^{18}O$ 、$\delta^{13}C$、Sr/Ca、Cu 和 Zn 含量分析，将 $\delta^{65}Cu$ 和 $\delta^{66}Zn$ 组成与该珊瑚生长时期的各种器测环境因素（包括海表温度（SST）、径流量、叶绿素浓度和日照强度）进行对比研究以揭示珊瑚骨骼 Cu 与 Zn 同位素的变化与气候环境因子的关系；对采自南海北部三亚湾鹿回头礁区的 6 个不同种类的珊瑚骨骼 $\delta^{65}Cu$ 和 $\delta^{66}Zn$ 组成进行了分析研究，以揭示生物活动对 Cu 与 Zn 同位素分馏的影响。

研究结果发现滨珊瑚骨骼的月分辨率 $\delta^{65}Cu$ 组成变化范围较小（-0.09‰～0.34‰），无明显的变化规律，与气候环境因子之间的相关性差，不适合作为示踪气候/环境变化的替代指标。此外，不同种类珊瑚体内的 $\delta^{65}Cu$ 值存在显著的种间差异（0.02‰～0.57‰），并与受生物过程影响的 $\delta^{98}Mo$ 存在很好的正相关关系，因而骨骼的 $\delta^{65}Cu$ 值受珊瑚生命效应的影响。对珊瑚骨骼 Zn 同位素的研究发现滨珊瑚骨骼中的月分辨率 $\delta^{66}Zn$ 组成存在显著的变化（-0.01‰～0.61‰），但其变化与其他珊瑚气候和环境替代指标以及器测环境参数之间的相关性较弱；另外，不同种类珊瑚骨骼 Zn 含量和 $\delta^{66}Zn$ 表现出显著的种间差异。根据这些发现可以推测珊瑚骨骼月分辨率 $\delta^{66}Zn$ 变化并非是直接由周围海水环境和化学组成的变化引起的，而是主要受珊瑚生物活动控制。珊瑚骨骼的 Zn 同位素分馏可能是内部生物过程产生的活性氧的数量变化引起的，而环境因素（如 SST）主要通过介导生物过程而间接影响骨骼中 $\delta^{66}Zn$ 的变化。因此，珊瑚骨骼 $\delta^{66}Zn$ 在古环境和古气候重建中起的作用有限，但它能为珊瑚生物活动对环境变化的响应提供有价值的见解。

S19-P-24

Porites coral on a remote reef reveal marine phosphorus biogeochemical cycling following artificial disturbance

Wei Jiang, Kefu Yu*

1 Guangxi Laboratory on the Study of Coral Reefs in the South China Sea; School of Marine Sciences, Guangxi University, Nanning 530004, PR China.

* kefuyu@scsio.ac.cn

Excess anthropogenic phosphorus (P) supplied to marine systems, which may subsequently jeopardize ecosystem structure and function, has altered the P balance and quadrupled its flow. However, due to the diversity of P sources, the unpredictability and variability of human activities, and the absence of long-term records, it remains uncertain how long the effects of excess P persist in aquatic ecosystems, and whether it stimulates gross primary productivity. In this study, we utilized geochemical proxies in coral skeletons from an atoll in the Xisha Islands of the South China Sea to reconstruct historical patterns of P in surface seawater. This atoll has remained in a natural state for an extended period of time, except for a short period of unambiguously documented guano extraction. Analyses of coral skeletons dating back to 1851 AD distinctly show that the P concentration in surface seawater increased abnormally in the 1960s. We deduced that guano extraction at that time led to an abrupt increase in the long-term equilibrium of seawater P concentration. Subsequent P addition appeared to have continued for at least ~30 years after phosphorite exploitation ceased, and P showed a decay period that was longer than that of other elements. Similar temporal trends of coral P/Ca and δ13C indicated that elevated marine primary productivity was associated with increased P. Large inputs within a short period, as well as the continued influence of P over the long-term, can serve as a natural ecological analog for coral reefs subject to nutrient contamination.

S19-P-25S

涠洲岛海域表层海水镍元素的高分辨率珊瑚记录及其环境意义

吴星媛[1,2]，姜伟[1,2]*，余克服[1,2]

1 广西大学海洋学院，南宁 530004

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004
* jianwe@gxu.edu.cn

珊瑚骨架中的微量元素水平是海洋污染的良好指示物。本研究采集了南海北部湾涠洲岛一个橙黄滨珊瑚样品，利用电感耦合等离子质谱仪（ICP-MS）测定珊瑚骨骼中 Ni 元素的含量，报告了 1984~2015 年表层海水中 Ni 的年/月分辨率的时间演化历史。结果显示，表层海水 Ni 这 31 年中波动显著，明显增加。同时，得益于 1989 年底《环境保护法》的实施以及后续的环保措施，Ni 的浓度在 1994~2008 年间明显降低，并在一段时间内保持了较为稳定的的持续低值。我们利用该时间段表层海水 Ni 探索其在没有明显人为干扰的情况下的自然变化规律，发现 Ni 可以记录强降水和强风等极端天气事件。热带气旋带来的强风可以有效地削弱海水分层，使得海底沉积物中的 Ni 被释放并向表层迁移，引起研究区域 Ni 的升高。海水 Ni 在 2009 年左右开始出现波动上升，主要受人类活动影响，2009 年以来北部湾经济区开发开放造成的交通运输发展、海上作业频繁影响，几次峰值与 2009~2015 年四次溢油事件相关。在现代全球石油需求快速增长的背景下，用珊瑚骨架 Ni/Ca 重建石油污染历史的方法是可靠的，对于检验局部海域环境执法的效率也有重要意义，有望应用于世界其他石油污染珊瑚地区。

S19-P-26

21 世纪以来珊瑚骨骼碳同位素组成对苏斯效应响应的变化

刘熙[1,2,3]，邓文峰[1,2,3]*，崔灏[1,2,3,4]，陈雪霏[1,2,3]，蔡观强[5]，曾提[2,3,6]，韦刚健[1,2,3]

1 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640
2 中国科学院深地科学卓越创新中心，广州 510640
3 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州 511458
4 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049
5 自然资源部中国地质调查局广州海洋地质调查局， 广州 510760
6 中国科学院广州地球化学研究所边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510640
* wfdeng@gig.ac.cn

珊瑚骨骼的碳同位素组成 ($\delta^{13}C$ 值)是重建表层海水溶解无机碳 (DIC)历史变化的重要指标，它有效记录了近 200 年来苏斯效应引起的海洋 $\delta^{13}C_{DIC}$ 值的下降趋势。2000 年以来，人类化石燃料消耗增速，导致大气 CO_2 浓度加速上升、苏斯效应不断增强，海洋 $\delta^{13}C_{DIC}$ 值可能加快下降。然而，已有研究表明，珊瑚作为一种生物，对外部环境压力因子具有适用和恢复的能力，并不是单一被动地响应环境变化。因而，有必要重新评估珊瑚骨骼 $\delta^{13}C$ 值是如何响应 2000 年以后的苏斯效应。本研究收集了 10 个不同海域的滨珊瑚长时序列 $\delta^{13}C$ 值和两个海洋观测站点的海水 $\delta^{13}C_{DIC}$ 值，用于评估珊瑚骨骼碳酸盐化学性质如何响应苏斯效应。珊瑚 $\delta^{13}C$ 值在 20 世纪 60 年代后持续下降，可进入 21 世纪后，8 个珊瑚 $\delta^{13}C$ 值的下降速率却减缓了。另外，太平洋夏威夷和大西洋百慕大观测站点的数据却表明，相比 1960-1999 年，2000 年以后海水 $\delta^{13}C_{DIC}$ 值的下降速率没有明显变化。这些证据或许意味着 21 世纪以来珊瑚骨骼 $\delta^{13}C$ 值对苏斯效应的响应机制发生了变化，这一变化可能源于珊瑚自身对环境压力因子的适应。为了适应不断酸化的海洋，珊瑚有可能调节细胞外钙化流体 DIC 的来源或者使用途径，进而导致了珊瑚骨骼 $\delta^{13}C$ 值对苏斯效应响应的变化。

S19-P-27S

近千年南海珊瑚钙化：造礁石珊瑚与气候变化共同演化的意义

邓广超[1,2,3,4]，韦刚健[1,2,3]，康慧凌[1,2,3,4]，陈雪霏[1,2,3]*，邓文峰[1,2,3]，曾提[2,5]

1 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640
2 中国科学院深部地球科学卓越创新中心，广州 510640
3 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州 511458
4 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049
5 中国科学院广州地球化学研究所边缘海地质重点实验室，广州 510640
* chenxf@gig.ac.cn

在当今全球变暖和海洋酸化背景下，珊瑚的生存和发展面临严峻挑战。虽然珊瑚本身可以通过自我调节来保持内部钙化流体具有高出周边海水的溶解无机碳（DICcf）和酸碱度（pHcf），从而在一定程度上适应环境的变化。然而，这种自适应的调控能力随着气候环境的进一步变化会发生什么样的改变，仍然需要进一步的探索。为了更好地了解珊瑚自身生物调控作用对环境能力适应性的本质，我们测量了一批取自海南岛东部的现代和化石大型滨珊瑚（Porites sp.）岩芯的线性增长率、骨骼密度和钙化率，重建了近千年来的珊瑚生长和钙化的演变历史。结果显示，在最近 1000 年来的不同特征气候时期，如中世纪气候异常期（MCA）、小冰期（LIA）和当前暖期（CWP），这些滨珊瑚的生长和钙化速率有明显的差异。与 MCA 和 CWP 珊瑚相比，LIA 珊瑚生长速率较慢，平均为 1.11 厘米/年，说明温度仍然是驱动珊瑚生长的主要因素。此外，虽然 MCA 和 CWP 的平均温度基本上处于同等水平，但这两个时期珊瑚的平均生长率似乎略有不同，MCA 较高，为 1.30 厘米/年，而 CWP 较低，为 1.20 厘米/年，这种微小的差异可能代表了人类活动影响的不同。总的来说，温度仍然是控制珊瑚生长和钙化的主要因素，寒冷气候会抑制南海珊瑚的生长，在中晚全新世时期这种影响甚至超过了人类活动的干扰。

S19-P-28S

Corals perspective on temperature seasonality and interannual variability in the northern South China Sea during the Roman Warm Period

Leilei Jiang[1], Kefu Yu[1]*, Tao Han[1,2], Shichen Tao[3], Huiling Zhang[4]

1 Guangxi Laboratory on the Study of Coral Reefs in the South China Sea; Coral Reef Research Centre of China; School of Marine Sciences, Guangxi University, Nanning 530004, China
2 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China
3 Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences 510301, Guangzhou, China
4 College of Ocean Engineering, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China
* kefuyu@scsio.ac.cn

Few reconstructions of sea-surface temperature (SST) have focused on seasonal and interannual variability, two major components of the global climate system, due to the limited temporal resolution of proxies. Here, we present a combined 228-year-long, monthly resolved strontium to calcium ratios (Sr/Ca) record covering the period of 2070–1740 a BP (years before 1950 CE (Common Era)) extracted from three U-series-based sub-

fossil *Porites* corals located on the Xisha Islands, northern South China Sea (SCS). The composite time series allow accurate assessment of the natural range of SST variations during snapshots of the Roman Warm Period (RWP). Reconstructed SST reveals the RWP was characterized by cooler conditions compared with recent decades, consistent with climatic variations in the western Pacific and East Asia. The amplitude of SST seasonality is within the modern range, except for a relatively lower value at 1980–1928 a BP. Interannual variability associated with El Niño–Southern Oscillation (ENSO) activity is enhanced by 39% relative to 1980–2014 CE. The results of sliding window demonstrate ENSO variability persistently strengthened during 2070–2010 a BP, followed by an overall fluctuating attenuation during 1980–1928 a BP. And then, it appeared the trends of rising first before descending twice during 1852–1800 a BP. Furthermore, ENSO activity plays a leading role in steering short-term changes in SST seasonality in the northern SCS, manifested as stronger ENSO activity with more frequent El Niño events and the decreased SST seasonality. Considering that the frequency of extreme ENSO events may strengthen in the future under global warming, the climate in the northern SCS might become more varied and complex.

S19-P-29S

利用珊瑚共附生细菌进行珊瑚礁修复研究进展

陈金妮 [1,2]， 梁甲元 [1,2]，余克服 [1,2]*

1 广西大学海洋学院，广西南宁 530004

2 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西南宁 530004

* kefuyu@scsio.ac.cn

珊瑚礁是海洋中最重要的生态系统之一，近年来气候变化和人类活动导致全球范围内珊瑚礁大幅度退化，珊瑚礁生态系统面临严重威胁。利用珊瑚共附生细菌开展珊瑚礁生态修复是目前认为最有前景的珊瑚保护手段之一。本文综述了珊瑚共附生细菌在珊瑚礁生态修复中的研究现状与进展：1）珊瑚共附生细菌的分布及其多样性；2）珊瑚共/附细菌的功能和应用潜力；3）珊瑚共附生细菌提高珊瑚环境耐受性、促进生长以及治疗疾病等方面的应用。结合上述理论基础，提出以下研究方向，以促进珊瑚礁生态系统的修复：1）改进珊瑚共附生细菌分离纯化方法，促进稀有细菌的可培养；2）识别单一珊瑚共附生微生物的生态特征，构建稳定的微生物群落，实现珊瑚共生微生物群落的定向重组；3）验证珊瑚重组微生物群落在室内和野外环境下的稳定遗传。

S19-P-30S

典型持久性有机污染物（有机氯农药和多氯联苯）在近岸和远海珊瑚礁区多介质环境中的分布特征和环境行为分析

康亚茹 [1]，张瑞杰 [1,2]*，余克服 [1,2]*，韩民伟 [1]，王英辉 [1]，黄学勇 [1]，刘方 [1]

1 广西南海珊瑚礁研究实验室；中国珊瑚礁研究中心；广西大学海洋科学学院，广西南宁 530004

2 南方海洋科学与工程广东省珠海实验室，广东珠海 519080

* rjzhang@gxu.edu.cn, kefuyu@scsio.ac.cn

有机氯农药（OCPs）和多氯联苯（PCBs）属于典型的持久性有机污染物（POPs）。海洋被认为是 POPs 的最大储存库，随着 POPs 的全球禁用，其“一次源”排放减少，海洋可能成为 DDTs、HCHs 和 PCBs 等 POPs 的“二次源”，并通过大气沉降、水气交换和生物富

集等多种方式参与地表系统的生物地球化学循环。南海是世界上最大的边缘海之一，周边发展中国家是 POPs 的重要来源地。南海分布的生物多样性最高的珊瑚礁生态系统在过去几十年来处于急剧退化之中。而 OCPs 和 PCBs 已在南海多种环境介质中被发现，可能对珊瑚礁生态系统的健康存在威胁。因此对珊瑚礁区域 OCPs 和 PCBs 的污染水平、来源以及环境之间的耦合关系有一个深入的了解就显得尤为重要，进而为后续珊瑚礁的相关研究奠定理论基础。

我们首次对 22 种 OCPs 和 24 种 PCBs 在近岸和远海珊瑚礁区域水体、大气和珊瑚多个介质中的残留水平、分布特征、潜在来源以及环境行为进行了同步分析。结果发现南海珊瑚礁区域 OCPs 和 PCBs 处于全球较低水平。在水体中，近岸陆源污染、西部边界海流的流速和流向对于 OCPs 和 PCBs 呈现出近岸高于远海的趋势具有重要的贡献作用。在大气样品中，OCPs 和 PCBs 主要分布在气相中，且在水气界面呈现出下降趋势，具有大气-水体-珊瑚的迁移模式。基于 NOAA 提供的气流轨迹模型和海流数据，西南和东南季风是大气 OCPs 和 PCBs 空间分布的主要影响因素，大陆气团比海洋气团带来更高浓度的污染物。在珊瑚样品中，受环境和化合物理化性质的影响，OCPs 和 PCBs 具有不同的空间分布模式。珊瑚的特殊结构-黏液对于 OCPs 和 OCBs 较强的生物富集能力可能具有一定的相关性。与之前的风险评估研究相比，南海珊瑚体内 PCBs 可能会通过降低虫黄藻密度、叶绿素-a (Chl-a)和叶绿素- C2 (Chl-C2)的含量对珊瑚造成潜在健康风险。

S19-P-31S

Prasibacter corallicola gen. nov., sp. nov. 从石珊瑚中分离出来的一种产玉米黄质的细菌

黎远金[1]，余克服[1,2]*，刘建峰[1]

1 广西南海珊瑚礁研究实验室；中国珊瑚礁研究中心；广西大学海洋科学学院，广西南宁 530004

2 南方海洋科学与工程广东省珠海实验室，广东珠海 519080

* kefuyu@scsio.ac.cn

一种新的革兰氏阴性，非运动性，黄绿色色素，杆状细菌命名为 R38T，从石珊瑚黄斑 Porites lutea。虽然菌株 R38T 与河口中黄菌 KYW614T 的 16S rRNA 基因序列相似性最大，为 93%，基于全基因组序列和 16S rRNA 基因序列的系统发育分析表明，菌株 R38T 与黄杆菌科 Leptobacterium flavescens KCTC 22160T 组成了一个强大的聚类。菌株 R38T 对 aestuarii KYW614T 和 Leptobacterium flavescens KCTC 22160T 的 ANI 值分别为 70.2%和 72.5%。唯一检测到的呼吸醌是 Menaquinone 6 (MK-6)。基因组 DNA G+C 含量为 33.2 mol%。主要极性脂质为磷脂酰乙醇胺、磷脂酰乙醇胺、一种未知的茚三酮磷脂、三种未知的茚三酮阳性脂质和三种未知脂质。主要的细胞脂肪酸为 iso-C15: 0、iso-C15: 0 ω6c、C16:2 DMA 和 C13:1 ω3c。R38T 菌株在生物化学、化学分类学、系统发育和系统基因组学等方面与已发表的分类株存在明显差异，表明该菌株代表一个新属的新种，并提出了 Prasibacter corallicola gen. nov.， sp. nov. 型株 R38T (=MCCC 1K03889T=KCTC 72444T)。

S20-O-01

30 年磨一剑：从一孔之见到多孔之见的中国植物藻类造礁作用理论研究

许红*

1 青岛海洋地质研究所，青岛 266071；自然资源部第一海洋研究所，海洋沉积与环境地质重点实验室，青岛 266061

* qdxhong@163.com

一孔之见具有重大意义出自王国忠（2001）专著《南海珊瑚礁区沉积学》，指西琛1井与珠江口盆地油气探井藻礁发现科学价值，也是在生物礁成因理论争论不修两种观点-珊瑚礁还是珊瑚藻礁之间选边站。事实上，珠江口盆地8大生物礁油气田石油钻井大量发现珊瑚藻，是始于1989年深圳全国第三届生物礁油气藏学术研讨会对于西琛1井藻类造礁作用研究成果的认定。借助于国家自然科学基金项目的支持，西琛1井的研究渐次深入形成系统理论，为中国生物礁成因研究独树一帜。名校有大师。曾呈奎院士、盛金章院士和刘志礼教授推荐，成就了藻类造礁作用国家自然科学基金委员会优秀研究成果专项出版资助成书，资助参加太平洋科学大会，再被国际科学界周知。

第二个10年非发现者再寻寻觅觅，而是政府科学技术奖的肯定。但仍然还是一孔之见；加上国际同行通过AAPG报道Malampaya生物礁油气探井的仙掌藻礁发现-但却也仅仅只是点到为止的只言片语。十一五寻寻觅觅，花大力气推动钻穿西沙群岛生物礁科探井工程，同时也推动三沙市组织实施了建国以来最大规模西沙群岛现代生物礁科考。

第三个十年始于油气重大专项钻穿西沙群岛生物礁科探井-西科1井工程，艰难探索工作起步于十一五，实施于十二五第二年，借助于国家经济腾飞，达尔文科学钻穿环礁的梦想在西沙群岛美梦成真，油气重大科技专项（西科1井）、973（琛科1、2井）两口三孔井先后完钻，获得两个环礁两千余米珍贵岩心，为植物藻类造礁作用理论研究提供了多孔之见结论的基础：无论是9属43种两类钙藻（西琛1井），12属28种两类钙藻（西科1井），还是11属珊瑚藻（琛科1井），都异曲同工：实现海洋地质学古生物学历史性学科交叉。到今天超过30年，终于从一岛一环礁西琛1井一孔之见，到同岛同环礁琛科1、2井的两口三孔之见，再到第二个环礁另一个岛第四口井和第三个岛第五口井的五孔之见和加上石油探井之见，共同代表中国植物造礁作用研究至亮时刻，成就领先成果。

1989到2021，记录了中国植物藻类造礁作用和生物礁成因科学研究长途跋涉的进步，通过30年磨一剑终于还植物一个迟到的公道：作为主要的造礁生物与珊瑚一道铸就西沙群岛生物礁，既发育珊瑚礁，也形成植物藻礁。通过西沙群岛科探井岩心与连续不断海岛礁盘调查，证实活体仙掌藻与化石仙掌藻同在，植物至今是西沙群岛主要的造礁生物。

S20-O-02

塔里木盆地寒武系岩溶型白云岩储层类型及水—岩作用特征

黄理力[1,2]*，潘文庆[1,3]，林畅松[4]，张天付[1,2]

1 中石油集团公司碳酸盐岩储层重点实验室，杭州 310023

2 中国石油杭州地质研究院，杭州 310023

3 中国石油塔里木油田公司，库尔勒 841000

4 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083

* huangll_hz@163.com

塔里木盆地深部广泛分布寒武系白云岩层系，是值得探索的重要油气勘探领域。埋藏期地层水、表生期大气淡水以及深部热液是三类最主要的成储流体，与巨厚结晶白云岩层段的水-岩作用过程，在长期的地质演化过程中形成了3类主要的岩溶型白云岩储层，并且在不同盆地构造单元呈现较明显差异。储层的主要类型、识别特征及对应的成孔机理是亟待解决的基础研究问题。通过大量岩心描述、镜下岩石薄片和阴极发光观察，结合微量元素和同位素地球化学特征分析，认为塔北和塔中地区寒武系白云岩普遍经历了过度白云岩化、溶蚀、胶结、交代等成岩作用的叠加改造，从而导致了储集空间的复杂化。依据成因、地球化学特征和孔隙结构的不同，岩溶型

储层可归纳为表生岩溶型储层、埋藏-热液岩溶型储层和叠合岩溶型储层。

表生岩溶型储层主要发育于塔北隆起上寒武统顶面、中寒武统顶面等界面之下，在高能沉积相带的礁滩相顶部尤为明显。顺层发育有大量溶孔、小型溶洞，乃至出现大规模溶洞，在镜下可见溶蚀孔洞多呈港湾状，周围无强烈重结晶现象，孔洞内无热液矿物充填。中寒武统含膏白云岩层段中见有顺层膏溶孔和大量细小晶间溶孔。这类储层中白云岩总体表现为为总稀土相对较轻，Eu 负异常，反映出较低温下溶蚀作用对 Eu 等元素的迁移贫化效应，钠和钾含量有时很低，锶含量变化范围大，氧同位素轻微偏负，Fe^{2+}、Mn^{2+}含量变化较大但总体不高。这类储层是长期大气水环境下水-岩作用的产物。

埋藏-热液岩溶型储层在全盆地普遍发育，尤其以塔中地区较典型，以晶间孔隙、溶蚀孔洞等储集空间为主，在孔喉结构、形态、分布总体受控于层理，但有很强的非均质性，少数孔隙中可见石英、重晶石、天青石等自生热液矿物。一方面受深部热流体、富有机酸流体的溶蚀和 TSR 作用的影响，埋藏期白云岩可进一步不均匀溶蚀形成数倍-数十倍于原生孔隙的储集空间；另一方面，与断裂、不整合面等高速流体通道密切相关的区域，深部热流体使得相对稳定的埋藏期地层水“活化”，并可能汇入了深部的锶、钡等元素。不同于同生-准同生期近地表的海水环境，埋藏-热液岩溶型储层中白云岩可形成高有序度的鞍形白云石，较高含量的 Mn^{2+}使溶孔周围白云石阴极发光明显增强，锶含量因流体不同差异较大，氧同位素明显偏负，稀土配分模式也不同于同期海水。

叠合岩溶型储层主要发育于塔北牙哈-英买力地区，该地区白云岩中较好地保留了大气水淋滤形成的溶孔（洞）形态和分布特征，但同时在孔洞中可观察到受热液影响的证据，如自形的后期自生石英充填或强烈硅化作用、石英与白云石晶体相互穿插，孔洞边缘白云石外环带铁、锰含量明显增高。说明表生岩大气水溶作用之后，晚成岩期还叠加了深埋期热流体的改造，形成表生岩溶-热液岩溶叠合岩溶型储层。

S20-O-03

南海北部珊瑚群落资源现状与珊瑚礁修复技术研究进展-以深圳为例

廖宝林*，肖宝华，蓝军南，谢子强

1 广东海洋大学深圳研究院，深圳 518108

* kejifzzx@126.com

南海北部地处珊瑚自然分布的北缘地带，在全球暖化、热带珊瑚退化的背景下，有望成为珊瑚安渡高温胁迫的避难所。造礁石珊瑚在南海北部的分布跨度较大，较具代表性的区域包括雷州半岛西南部、广西涠洲岛、珠江口万山群岛、深圳大鹏湾、香港、惠州大亚湾、福建东山岛等海域均有分布。各海域造礁石珊瑚的群落结构不同，珊瑚种类空间分布从大陆沿岸到沿海岛礁逐渐递增，随纬度增加而逐渐递减。2019 年中国珊瑚礁状况报告结果显示，雷州半岛西南部共有造礁石珊瑚 12 科 29 属 66 种，优势种为角孔珊瑚和滨珊瑚，覆盖率为 6.86%；涠洲岛珊瑚礁是典型的边缘珊瑚礁，共有造礁石珊瑚 12 科 33 属 82 种，主要优势种为滨珊瑚和秘密角蜂巢珊瑚，覆盖率约为 17.60%。珠江口万山群岛海域共有造礁石珊瑚 13 科 25 属 47 种，优势种为多孔同星珊瑚、滨珊瑚、网状菊花珊瑚，平均覆盖率约为 22.06%；深圳大鹏湾共有造礁石珊瑚 12 科 24 属 67 种，优势种为块状的澄黄滨珊瑚、肉质扁脑珊瑚和翼形蔷薇珊瑚，覆盖率为 35.21%；香港海域共有造礁石珊瑚 14 科 32 属 97 种，优势种在各个区域都不相同，覆盖率为 49.71%；惠州大亚湾共有造礁石珊瑚 11 科 23 属 83 种，主要优势种为肉质扁脑珊瑚、单独鹿角珊瑚、翼形蔷薇珊瑚，覆盖率为 21.97%；福建东山岛海域为造礁石珊瑚在南海分布的北缘，其种类约 5 科 7 属 7 种，皆

为团块状，优势种为标准盘星珊瑚、锯齿刺星珊瑚和盾形陀螺珊瑚，覆盖率约为5.90%。现阶段南海北部珊瑚礁生态修复技术研究主要以深圳东部海域和广西涠洲岛为代表，本团队近年来在深圳东部海域开展了珊瑚群落调查与监测、生态功能与生物多样性及生态系统健康评价等系列研究，在珊瑚室内有性和无性繁殖技术、自然海区珊瑚种苗人工网圃培育技术、珊瑚原位种植技术、珊瑚礁生物增殖放流技术、智能实时监测与传输技术等方面进行了创新应用，开发了完整的适合南海近岸及岛礁的珊瑚礁修复技术方法，并在南海多个海域进行了推广应用，取得了良好的生态效益和社会效益。

S20-O-04

塔里木盆地南华-震旦系岩相古地理与白云岩储层特征

潘文庆[1,2]*，左小军[1,2]，陈永权[1]，黄理力[2]，邬光辉[3]，黄少英[1]

1 中石油塔里木油田公司，库尔勒 841000

2 中石油集团公司碳酸盐岩储层重点实验室，杭州 310023

3 西南石油大学，成都 610500

* panwq-tlm@petrochina.com.cn

本文克服南华—震旦系资料缺乏和资料品质差的困难，在全面收集前人资料基础上，整个团队系统开展了包括盆地周缘野外露头观察，盆地内 25 口钻遇前寒武系井资料研究，42 条新拼接处理地震大剖面解释，塔里木盆地 56 万 km^2 航磁资料解译，45 万 km^2 重力资料剥层处理解释，1700km 电法资料反演和 9 处野外露头资料岩样—岩心的测年数据；按照工业化制图标准，编制塔里木盆地南华-震旦系岩相古地理图：①以钻井、野外露头及其测年资料为约束，利用航磁和重力资料宏观控制前南华纪古陆和震旦—南华系沉积格局，利用 9 条野外露头剖面结合深层电法反演剖面，建立牛头式裂陷构造沉积体系与结构模型，以创新形成的模拟合成记录进行标定，利用地震和电法资料刻画南华-震旦系古断裂及裂陷槽展布，编制形成了南华—震旦系地层厚度图，结合部分特征明显的地震剖面的地震相变化特征，综合编制南华—震旦系构造—古地理图；②在野外露头建立的 21 种沉积微相模式指导下，以可靠钻井资料和典型地震资料为主，开展了塔里木盆地南华—震旦系沉积相分析，③综合构造—古地理格局和沉积相分析，绘制前寒武系岩相古地理图。历经 5 年攻关形成如下主要成果：①利用野外露头观察资料识别出南华—震旦纪发育以砂砾岩沉积为主的滨岸相，以暗色泥岩沉积为主的浅海相，以碳酸盐岩沉积为主的台地相和以冰碛砾岩沉积为主的冰水相。②通过钻井资料、测年数据和航磁、重力资料综合分析认为南华—震旦纪发育“裂陷—古陆相间”的古地貌格局。结合新拼接处理地震资料和电法资料对前寒武系地震剖面层位解释和裂陷槽的刻画，证明南华纪时期盆地构造格局为北东—南西走向的“三陆四陷”古地理格局；其中“三陆”分别是喀什古陆、塔北古陆、和塔中—车尔臣古陆，“四陷”从东南向西北分别是阿尔金裂陷、玉北裂陷、罗斯-满东裂陷和乌什裂陷。早震旦纪受盆地中部的阿满裂陷影响，塔北古陆南部下沉，北部形成两个孤立古陆，喀什古陆与塔中车尔臣古陆拼接成为中央古陆，形成北东—南西走向的“两陆两陷”古地理格局；③ 中央古陆西南部三古陆拼接处发育罗斯内裂陷、玉北内裂陷、塘南内裂陷和民丰内裂陷，其中罗斯内裂陷面积约为 38972km^2；玉北内裂陷面积约为 15915km^2。根据目前资料分析认为，这两条内裂陷是前寒武系烃源岩的潜在区。晚震旦世时期盆地构造格局与早震旦世相似，但盆地西部逐渐抬升，盆地内部大面积发育碳酸盐岩台地相，形成近东西走向的“两台两盆”古地理格局，该时期主要发育古陆、台地相、斜坡相和盆地相。④ 经野外初步取样分析认为，南华—震旦系砂岩储层物性总体较差，多为Ⅲ类储层，部分为Ⅳ类

储层，仅尤尔美那克剖面的苏盖特布拉克组砂岩储层物性较好为Ⅱ类，厚度达286.5m。白云岩仅在震旦系发育，尤其是晚震旦世盆地内大量发育白云岩，且在新藏公路附近和阿克苏地区均发现溶蚀孔洞型藻白云岩和粉晶白云岩储层，其中新藏公路剖面顶部克孜苏胡木组Ⅱ类白云岩储层厚 90.5m，尤尔美那克剖面Ⅱ类白云岩储层厚度为 90.5m，萨瓦普齐剖面Ⅰ类白云岩储层厚度达 236.6m，什艾日克剖面Ⅱ类白云岩储层厚度为 141.3m。南华纪和早震旦世时期盆地内发育浅海相，沉积的暗色泥岩是潜在的优质烃源岩，晚震旦世发育溶蚀孔洞型白云岩储层，可形成良好的生储组合。

本文属于国家重大专项2106ZX05004-004 阶段成果，将为塔里木小克拉通盆地的下一步超深油气地质理论的发展和有利区带优选将起到重要作用。

S20-O-05

南海南部中新世碳酸盐台地和生物礁繁盛发育特征及与多圈层演化之间的成因关系

鄢伟[1,2]*，张光学[1,2]，张莉[1,2]

1 广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室，广州 510075

2 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州 511458

* yanwei021066@126.com

南海自海底扩张以来，在其南部陆缘发育了一系列碳酸盐台地，是南海的一大特色，也是全球碳酸盐台地发育的典型地区。中新世时期，南海南部海域碳酸盐台地和生物礁发育处于鼎盛时期，是世界上发育最多的地区之一。通过高精度 2D 地震资料解释，在南海南部北康盆地发现多种类型碳酸盐台地和生物礁繁盛发育，台地包括退积型、淹没型、加积型、进积型、向外—向上堆叠型、向外—向下堆叠型、向下堆叠型，生物礁包括塔礁、点礁、台地边缘礁、块状礁等类型。碳酸盐岩生长条件苛刻，对环境的敏感性使得台地与构造变迁、海平面变化、水体环境、水动力条件以及气候变化等因素密切相关。南海南部碳酸盐台地发育基本与南海扩张同步，适宜碳酸盐岩发育的窗口期正是新南海扩张期，碳酸盐岩发育演化与古南海消亡及新南海扩张存在成因联系。南海南部台地发育同时伴随着南沙地块、曾母地块、婆罗洲地块相互间一系列迁移、碰撞变形、应力转换等重要构造事件，且明显受到构造控制。中新世时期，南海乃至全球经历了几次气候及水体环境重大变化，台地发育受到该时期气候变化、陆缘碎屑注入以及地质流体活动的影响。因此，岩石圈—水圈—大气圈的相互作用和耦合变化综合影响着南海南部碳酸盐台地和生物礁的发育。该成果对于碳酸盐台地发育成因机制研究和碳酸盐岩储层预测具有一定参考意义。

S20-O-06

铁白云石的形成与硫化氢的消减-以鄂尔多斯盆地马家沟组为例

张军涛[1,2]*，韩月卿[1,2]，金晓辉[1,2]

1 中国石化 石油勘探开发研究院，北京，10083

2 中国石化 石油勘探开发研究院 构造—沉积储层实验室，北京，10083

* zhangjt.syky@sinopec.com

鄂尔多斯盆地奥陶系的马家沟组气藏中含有一定量的硫化氢，其形成于热硫酸盐还原反应，但相比其他盆地的海相气藏，其含硫量相对较低，且分布极不均一。本文通过调研对比发现，研究区内的硫化氢的消减与膏盐岩、温度、烃源岩和地层水分布，相关性不大。马五段地层中含有较高的铁，铁元素主要赋存在铁白云石、粉晶白云石、黄铁矿和菱铁矿之中。铁白云石，多为鞍状白

云石，铁均匀分布于晶体之中，具有较负的氧同位素值和碳同位素值，说明其沉淀于较高温度的、含有机质、富铁的流体活动。而粉晶白云石充填物的铁仅分布于晶体边缘，氧同位素偏负，而碳同位素略微偏负，也说明其受到过后期含铁热流体的改造。而黄铁矿多与铁白云石共生，其硫同位素与硫化氢值以及海水的硫同位素值大致相近，说明其具有共同来源。而菱铁矿主要富集与风化壳，其形成与风化残积有关，其可能是马家沟组地层的主要铁源。演化过程大致为，在风化过程中，碳酸盐岩地层中铁不断残积富集，形成富铁层。进入埋藏期后，其中的铁不断析出，下渗，使得下伏地层水中富铁，当有烃类充注时，与地层水，石膏发生热硫酸盐还原反应，形成硫化氢，在继续运移过程中，硫化氢与富铁流体发生反应形成黄铁矿，和富铁白云石，并消减了气藏中硫化氢。

S20-O-07

中国的白云岩与白云岩储层：分布、成因与控制因素

何治亮[1,2]*，张军涛[1,3]，朱东亚[1,3]，钱一雄[1,3]，丁茜[1,3]，陈代钊[4]

1 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室，北京 100083
2 中国石油化工股份有限公司, 北京 100728
3 中国石化 石油勘探开发研究院 构造与沉积储层实验室, 北京 100083
4 中国科学院 地质与地球物理研究所 油气资源研究重点实验室, 北京 100029
* 17964942@qq.com

中国是世界上少有的几乎每个地质时代都有白云岩分布的国家。从华北地区的元古宇到第四系的盐湖沉积物，都能见到各种类型的白云岩（石），但白云岩在层位和区域上分布不均，类型上也有明显差异。其中，下古生界白云岩分布最为普遍，而上古生界、中生界和新生界仅有局部地区发育白云岩。中国白云岩的类型和与之相对应的白云岩化作用主要有：微生物（生物）白云岩化、萨布哈白云岩化、回流渗透白云岩化、热液白云岩化和混合水白云岩化。由于白云岩化作用是一个持续或断续的、复杂的过程，即使同一层系的白云岩也会经历多期次、多类型白云岩化作用的叠加改造。白云岩是中国重要的油气储层，其类型多、形成时间跨度大。在深层和古老海相层系之中，白云岩比灰岩更易于形成优质的油气储层，由此其重要性显得更为突出。在晚古生代和中、新生代形成的湖相白云岩也具有很好的储集性能，是非常规油气的重要赋存场所。白云岩储层按照其形成主控因素可以大致分为4种基本类型：相控准同生溶蚀型、面控表生溶蚀型、断控深埋改造型和深埋生烃溶蚀型。白云岩储层形成和保持受构造、层序、岩相、流体和时间五因素的联合、复合作用所控制。这些因素和成储机制的差异，造就了白云岩储层发育展布的多样性。

S20-O-08

南海西科1井致密白云岩特征及成岩环境探讨

董刚[1,3]，许红[1,2,3]*，刘新宇[4]，李绪深[4]，张道军[4]，闫桂京[1,3]，苏大鹏[1,3]

1 青岛海洋地质研究所，青岛 266071
2 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266071
3 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266071
4 中海石油(中国)有限公司湛江分公司，广东湛江 524057
* xuhong8320@163.com

西科1井为南海区域揭示生物礁地层最全、取心最为完整的钻井。该井下中新统三亚组发育致密白云岩，其孔隙度1.65%～16.4%，平均6.7%。渗透率极低，局部渗透率仅为（11.8～39）×10^{-3}μm，平均渗透率<1×10^{-3} m。利用沉积岩石学、岩石孔渗物性特征和包裹体测试方法，分析了致密白云岩的成岩特征，讨论了其成岩

演化条件。致密白云岩中的白云石以粉晶、细晶和泥晶为主，形态多为自形和半自形，晶形较好，具有雾心亮边构造，白云石晶体接触紧密。晶间孔细小，孔隙呈分隔状且互不连通，次生溶蚀孔不发育。三亚组致密白云岩形成于准同生成岩阶段和后生成岩阶段。频繁的海平面变化和沉积物暴露，导致多期的海水充注孔隙作用，加上高温高盐的古海洋和地层环境，为致密白云岩的形成创造了条件。

S20-O-09

西沙群岛白云岩-铁白云岩空间变异的特征-来自地球化学的证据

沈江远[1,3]，付和平[2,4]，马骁[2,4]，许红[2,3]*，赵强[3]，陈香玉[5]，李绪深[6]，张道军[6]，刘新宇[6]，闫琢玉[6]

1 长江大学，武汉 430100
2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071
3 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266100
4 中国石油大学（华东），青岛 266580
5 三亚学院，海南三亚 572000
6 中海石油（中国）有限公司湛江分公司，广东湛江 524057
* qdxhong@163.com

成礁以来西沙群岛白云岩-铁白云岩大量发育，针对白云岩空间变异及成因演化的讨论具有重要意义。西科 1 井存在 7 层白云岩，本文对 7 层白云岩进行了划区处理，将 7 层白云岩层分为浅、中、深 3 类，<600 m 为浅层（层一、层二、层三，合计厚度 203 m）、600~1 000 m 为中层（层四、层五、层六，合计厚度 79 m）、>1 000 m 为深层（层七，厚 155 m）。运用了统计学、地球化学知识结合前人研究成果对7层白云岩的主微量元素特征、成岩环境与成因模式及浅层、中层、深层白云岩地球化学数据之间的规律与差异进行了细致研究与探讨。认为西科 1 井白云岩受陆源物质影响小，高的 SiO_2 可能来自西沙周缘火山地带。西沙地区白云岩成岩环境总的来讲属于氧化环境，但浅、中、深层成岩环境的氧化强度具有差异。西科 1 井白云岩的古盐度都较高，但层与层之间有着细微差异。西科 1 井白云岩锶含量总体偏低，受到淡水淋滤作用强烈，形成于古水深较浅的礁相台地环境，相比较而言，浅层受到大气淡水影响最强，中层次之，深层最弱。西沙白云岩成岩过程中受到高盐度海水、大气淡水和回流渗透作用等多种因素的影响。

S20-O-10

南海生物礁同位素地层学研究

田立军[1]，吴海斌[1,2,3]*，颜文[4,5]，张春霞[1,3]，邓成龙[2,6,7]，贾云霞[1,2]，姜雯琪[1]，乐秀琴[1,2]，易亮[8]，郭正堂[1,2,3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境院重点实验室，北京 100029
2 中国科学院大学，地球与行星科学学院，北京 100049
3 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心，北京 100044
4 中国科学院南海生态环境工程创新研究院，南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301
5 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
6 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029
7 中国科学院地球科学研究院，北京 100029
8 同济大学，海洋地质国家重点实验室，上海 200092
* haibin-wu@mail.iggcas.ac.cn

南海是全球碳酸盐岩台地及生物礁生长发育的重要海区，理解南海碳酸盐岩台地的演化历史可以为重建区域古海洋变化和预测生物礁的未来响应提供有价值的信息。然而由于目前南海的岛礁钻井缺乏可

靠的年代学约束，我们对南海生物礁的起源和演化历史还知之甚少，因此如何对南海生物礁进行年代地层划分是当前研究的重点与难点。本研究获得位于南沙群岛美济礁的南科 1 井约 980 米长的连续碳酸盐岩序列，结合磁地层学和同位素地层学研究，为生物礁演化历史提供了可靠的年龄约束。结合已经发表的南海生物礁沉积同位素序列，我们发现南海生物礁具有一致的氧同位素（$\delta^{18}O$）变化模式：第四纪（0–2 Ma）$\delta^{18}O$ 先在−8‰左右持续偏负而后正偏至−4‰；中新世晚期（2–10 Ma）$\delta^{18}O$ 相对稳定在+4‰左右；中新世中期（10–16 Ma）$\delta^{18}O$ 在−8‰与+4‰之间剧烈波动；中新世早期（16–21 Ma）$\delta^{18}O$ 相对稳定在 0‰左右。这一同位素变化模式，将可用于南海生物礁碳酸盐岩序列的年代地层划分和对比研究。进一步通过 Z 值法区分出三种不同类型的碳酸盐成岩作用：淡水成岩环境、海水成岩环境和混合水成岩环境，上述成岩环境演化主要受控于南海海平面变化。最后通过对南海生物礁的同位素地层的递归分析，探讨了碳酸盐岩台地演化的可预测性。

S20-O-11

现代生物礁生物钙化机制的实验研究

丁茜 [1,2]*，胡新平 [3]，蔡卫君 [4]

1 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室，北京 100083

2 中国石化石油勘探开发研究院，北京 100083

3 Texas A&M University–Corpus Christi, 6300 Ocean Dr., Corpus Christi, TX, 78412-5503

4 University of Delaware, 139 The Grn 140, Newark, DE 19716

* dingqian.syky@sinopec.com

在过去的 250 年里，大气二氧化碳水平增加了接近 40%，珊瑚以及珊瑚群落对大气 CO_2 变化有着非常敏感的响应，在酸化条件下珊瑚的钙化速度降低。为了查明珊瑚对于大气 CO_2 变化的响应机理，明确钙化速度和温度，营养盐，pCO_2 的关系，设计了一系列多因素协同实验，结合液膜微电极和三维微电极操纵器，对不同种类珊瑚内部的 pH，CO_3^{2-}浓度、分布、转运及钙化机制进行了考察。

借助微电极观测到了珊瑚的钙化层，获得了完整的 pH，Ca^{2+}，CO_3^{2-}剖面数据。实验发现珊瑚内部腔体的 pH 随着深度的增加，呈现先增大后减小的趋势；珊瑚内部腔体的 CO_3^{2-}呈现先增加，后减小的趋势；在控制光照条件下，在珊瑚内固定位置的 pH 和 CO_3^{2-}浓度呈现周期性变化；结合腔体底部观测到的 pH 极低值和 Ca^{2+}的剖面数据，验证了质子泵理论，探讨了珊瑚钙化的机理；将 pH 和 CO_3^{2-}剖面数据相结合，计算了腔体内的总溶解无机碳(DIC)和文石饱和度 Ωarg。

同时设计了为期两年的多因素实验，使用液膜微电极考察珊瑚对 pCO_2、温度、营养盐水平等培养条件的响应。这一实验系统考察了珊瑚在面对未来的海洋酸化、气候变暖以及人类生活环境干扰时发生的变化，对珊瑚生态系统的保护、海洋环境的治理以及人类海洋交互影响提供科学的依据。

S20-O-12

西科 1 井深层致密白云岩—铁白云岩岩相特征与成因

许红 [1,2]*，沈江远 [1,3]，马骁 [2,4]，付和平 [2,4]，李绪深 [5]，张道军 [5]，董刚 [2]，闫桂京 [2]，苏大鹏 [2]，刘新宇 [5]，闫琢玉 [5]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

2 自然资源部第一海洋研究所，海洋沉积与环境地质重点实验室，青岛 266061

3 长江大学，武汉，430100

4 中国石油大学（华东），青岛，266580

5 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司，广东 湛江, 524057

* qdxhong@163.com

灰岩形成白云岩孔隙度增加 12.9%，因此公认白云岩是优质油气储层，是教科书般的定律。但是，最新研究发现西科 1 井深层白云岩渗透率为零，位于 1044m 以深，厚逾百米，是三十余年西沙群岛白云岩研究首次发现；2015 年系统实测发现大多深度孔隙度较低和渗透率为零，包括白云岩和铁白云岩。本文再次提供最新对应深度的岩心照片、来自院校与产业部门背靠背孔渗性测试与数据对比的分析，证实渗透率很低可以忽略为零，属于典型致密白云岩。通过地球化学、扫描电镜、X 光粉晶衍射谱、阴极发光和有序度系统分析，揭示致密白云岩-铁白云岩岩相学特征，白云石—铁白云石自形—半自形，“杏仁状”孔隙密布但彼此间互不连通，且为粉晶—细晶结构；铁白云石薄层，可分为含铁白云石、铁白云石、铁质白云石，发育微晶—粉晶结构；阴极发光分析证实致密白云石—铁白云石多期成因；综合分析指出致密白云岩—铁白云岩成因于多期白云石化作用及相应机制。

S20-P-01

西沙石岛西科 1 井深层致密白云岩再研究：岩相学特征

苏大鹏[1]，许红[1,4]*，贺静[2]，闫琢玉[3]，沈江远[4,5]，马骁[1,6]，付和平[1,6]，李绪深[7]，张道军[7]，刘新宇[7]，董刚[1]，闫桂京[1]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071
2 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院，西安，710018
3 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司
4 国家海洋局第一海洋研究所，青岛 266061
5 长江大学，武汉，430100
6 中国石油大学（华东），青岛 266580
7 中海石油(中国)有限公司湛江分公司,广东湛江, 524057
* xuhong8320@163.com

石岛致密白云岩—铁白云岩发现 6 年，再研究聚焦于岩相学特征。针对西科 1 井致密白云岩层段完成最新采样，开展系统常规岩石薄片磨制和偏光显微镜和扫描电镜鉴定，提供了系列照片和鉴定分析的认识。确定偏光显微镜下深层白云岩岩相学显微特征，揭示了微晶—细晶—凝块泥晶白云石构成致密藻礁白云岩的特征，它们发育粉晶—细晶、凝块、生物结构。细晶白云石自形—半自形，雾心亮边，0.05-0.25mm，多世代特征；生物碎屑是珊瑚藻和仙掌藻白云岩，2-3mm，部分 3-5mm，少部分 5-10mm，生物体内部白云石多粉晶，生长或充填于生屑孔隙，藻体中白云石不规则状，0.3-0.5mm，星散状、镶嵌状白云石包体，涉不透明矿物；发现块状、不规则状凝块泥晶白云石，部分凝块聚集在一起，凝块内部主要充填泥晶白云石和少量有机质，发育隐晶结构。多个深度白云石含量 90-95%或 95-100%，镜下无色，有时呈浑浊的灰色，闪突起显著，完全解理，高级白干涉色；部分含 5-10%细晶方解石，半自形，0.05-0.25mm，星散状分布在白云石之间；粉晶方解石自形-半自形粒状，0.01-0.05mm，镶嵌状分布于生屑边部或充填在生屑内部孔隙中；扫描电镜系统分析主要是针对致密白云岩样品进行，选取典型照片分析了白云石颗粒特征和充填特征，发现两类不同的充填样式，一种是细晶白云石间孔缝中的泥晶类充填露头，另外一类是细晶白云石上泥晶类面积覆盖。

S20-P-02S

西沙群岛梅山组一段白云岩矿物特征分析

付和平[1,2]，沈江远[3,4]，马骁[1,2]，许红[1,2,4]*

1 中国石油大学（华东），青岛，266580；
2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛，266071；
3 长江大学，武汉，430100；
4 自然资源部第一海洋研究所，青岛，266071
* qdxhong@163.com

白云岩既是南海油气储集层又与生物礁成因机制相关。作为作者团队首次在西沙群岛梅山组一段 600～750 m 岩心段采样分析的成果，相关研究意义深远：一在于它属于新层位，二在于它属于中深埋藏白云岩（西科 1 井 600-1 000 m），三在于它可能属于对应油气盆地的储层。通过 SEM 观察其微观形貌发现大量菱形晶体，结合 EDS 元素分析，菱形晶体含有 Ca 和 Mg 元素，XRD 分析可证实全部样品为白云石；表面碎屑物质为方解石，但是 EDS 检测出 Si，说明混杂陆源沉积；在光滑的白云石晶体上 EDS 能谱分析则未见 Si。事实上，西科 1 井梅山组一段白云岩层 MgO 和 SiO_2 含量变大，且成明显正相关关系，推测为海退期白云石形成过程中的陆源物质输入。XRD 验证 620-646.5 m 岩心发育厚层白云石，计算其有序度中等，下伏 646 m 方解石占比开始增加。

S20-P-03

南海南部曾母盆地碳酸盐台地对陆坡迁移的影响作用

雷振宇 [1,2]*，张莉 [1,2]，王智刚 [1,2]，骆帅兵 [1,2]，鄢伟 [1,2]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，广东 广州 510760；

2 自然资源部海底矿产资源重点实验室，广东 广州 510760；

* 44231234@qq.com

陆坡一直以来都是深水沉积研究的前沿热点。南海南部碳酸盐台地分布广泛，研究南海南部碳酸盐台地对陆坡迁移的影响可为南海南部深水油气勘探寻找优质储层提供依据。本研究以南海南部曾母盆地碳酸盐台地为研究对象，在地震资料精细解释和结合国外钻井资料的基础上，精细刻画了碳酸盐台地的地震反射特征，分析了碳酸盐台地的空间变化规律，探讨了碳酸盐台地与陆坡迁移的相互作用。研究表明，南海南部碳酸盐台地多为孤立台地，其发育可以划分为 3 个期次：第 1 期碳酸盐台地自早中新世开始发育，范围大且厚度较薄；中中新世，第 2 期碳酸盐台地范围缩小，受到断层控制明显；从晚中新世开始，第 3 期碳酸盐台地开始衰退，范围进一步缩小直至被淹没。曾母盆地中新世碳酸盐台地主要为北东向和北西向，这与周边盆地和现今碳酸盐台地走向一致，其平面分布受到构造隆起和断裂的控制。自 16.5Ma 以来，南海南部陆坡发育有纳土纳台地和卢卡尼亚台地，自南而来的沉积物经两大台地之间向海输送，陆架坡折不断向海迁移，最终形成巨厚的陆架边缘三角洲，将台地覆盖。

S20-P-04S

西沙群岛石岛沉积相带识别与沉积序列划分

王宇喆 [1]*，邱隆伟 [1]，许红 [2,3]

1 中国石油大学（华东），地球科学与技术学院，山东青岛 266580

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

3 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

* 1048271747@qq.com

西沙群岛位于中国南海中建盆地北部西沙隆起区，目前西沙群岛除了高尖石岛为火山岩岛屿之外，其余岛屿均为生物礁生成与发展的过程中形成的生物礁岛。其中石岛位于西沙群岛宣德环礁东北部，为海拔最高、年龄最老，并且是唯一完全固结成岩的岛屿。作为东亚季风的直接产物，对石岛风成砂丘的沉积期次以及夹于其间的古土壤层组成进行沉积学研究对整个南海地区的沉积历史与气候背景的还原无疑有着非常重要的意义。

本文在对石岛全岛沉积物进行了详细的摄像与描述。认为研究区共发育四种沉积单元，分别为高角度前积层组成的丘状连续沙丘与自由沙丘，低角度风成沙丘组成的沙

丘间沉积，受到植物根系强烈扰动的古土壤沉积，以及堆积于海平面附近溶蚀洞中的珊瑚碎屑砾岩沉积。在此基础上以两个可在全岛追踪的不整合面为基础对石岛高位海滩岩进行了划分，将石岛风成沙丘划分为由北向南逐渐进积的三个风成沙丘沉积阶段。发育于每期风化成沙丘顶部的古土壤以及其内部的根管石遗迹显示不同期次风成沙丘之间均存在时间较长的沉积稳定期，稳定期的出现可能与末次冰期海平面的变化有关。

本文在对石岛地区进行系统观察的基础上对石岛发育的沉积物进行了系统的观察与描述，并据此对石岛沉积物进行了期次划分，对今后的生物礁碳酸盐岩风成沙丘沉积研究具有借鉴意义。

S20-P-05

七连屿海滩沙与砂岛成因模式

邱隆伟[1]*，王宇喆[1]，许红[2,3]

1 中国石油大学（华东），地球科学与技术学院，山东青岛 266580

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

3 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

* qiulwsd@163.com

西沙群岛发育于西沙隆起，位于南海西部陆坡区，共 40 余个岛屿，岛屿总面积约为 8km2，是南海四大群岛中陆地总面积最大的群岛。七连屿发育于西沙群岛宣德环礁东北部，主要由北部链状分布于 2 个碳酸盐岩台地之上的 8 个砂岛组成。海滩沙是砂岛形成的基础，成长初始状态原生态海滩沙是砂岛形成的标志；沿岸沙丘是植被成长屏障，二者都具有重要的研究意义。

对七连屿代表性的岛屿进行了海滩砂样品的采集，使用筛析法对其进行粒度分析，并据此对砂岛形成过程中的水动力作用进行分析。在对宣德环礁七连屿进行系统观察与粒度分析的基础上，结合历史卫星图对七连屿砂岛发育的不同阶段进行了观察与总结，探讨了植物等因素对砂岛形成过程的影响。

研究认为在沉积物的搬运与海滩沙-沿岸沙丘的形成过程中，不仅有海浪与潮汐的持续作用，风暴潮和双向季风等的影响也不可或缺。通过现场观察以及对七连屿历史卫星图的研究，发现七连屿各砂岛呈现较为完整的砂岛现代植物的发育过程：砂岛中植物首先呈点状发育，之后不断扩张并首先覆盖潮上带位置即沿岸沙丘，最后由沿岸沙丘扩展至海岛中心乃至全岛；在此期间植物的固沙作用在砂岛的扩张和增高的过程中不但能够起到固沙作用，而且参与了砂岛的型成，起到十分重要的积极作用。据此，提出了在七连屿海滩沙-海滩岩-植被-砂岛共同参与下的海滩砂与砂岛成因模式。

S20-P-06

西沙西科 1 井元素地球化学特征与海平面升降的关系

刘新宇[1]*，邵磊[2]，张道军[1]，史德锋[1]

1 中海石油（中国）有限公司海南分公司，海南海口 570100

2 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

* dujiaojing@126.com

以南海北部西沙群岛石岛碳酸盐岩台地为研究对象，对 1268 件碳酸盐岩样品进行全岩元素地球化学特征分析，并结合早中新世以来沉积学特征，研究其与海平面升降的响应关系。实验结果显示，该地区常量元素（Na_2O/K_2O、Na_2O/SiO_2、P_2O_5）及微量元素（B/Ga、Zr/Al、Li、V）分析的古盐度、古环境氧化还原状态和酸碱度及海平面变化，与岩石地层学和古生物学分析得到的结论基本一致，进而可应用于孤立海相碳酸盐岩台地的沉积层序划分；受限于复杂的白云岩化作用，Mg/Ca 难以反映海平面变化。Na_2O/K_2O、Na_2O/SiO_2、$P2O_5$ B/Ga、Zr/Al、Li、V 等指标表明，早中新世初期三亚组水

深逐渐加深，有利于生物礁的发育；中中新世早期梅山组二段海平面第一次达到最高值，礁盘随之扩大，形成较深水环境下的碳酸盐岩台地，以潟湖相和内侧滩相为主；随后水体于中中新世晚期梅山组一段逐渐变浅，持续至晚中新世早期黄流组二段，生物礁受淋滤剥蚀形成礁-滩相沉积；晚中新世晚期黄流组一段海平面再次持续上升，于上新世达到第二次最高值，直至更新世水深才逐渐变浅。

S21-O-01

当前南海形势和未来展望

吴士存*

1 中国南海研究院

* zhonghui@nanhai.org.cn

当前，南海形势总体稳定可控，趋稳向好的大方向并未因为一些消极因素的影响而受到大的干扰。2020 年以来，中国与东盟国家克服新冠疫情带来的重重挑战，围绕“南海行为准则”磋商、落实《南海各方行为宣言》框架下的海上务实合作等问题进行了有效的对话。但与此同时，近期也出现了一些令人不安的新变化，相对稳定、脆弱的南海形势正处在由“趋稳向好”转向“动荡不安”的十字路口。一是美国放弃“保持中立”的南海政策，继续利用南海问题强化其在西太平洋地区的军事部署。二是日本、欧洲等其他域外国家通过外交照会或声明、以及军事活动等方式配合美国行动，加大了对南海问题的介入和干预。三是少数声索国以裁决为背书的单边行动此起彼伏。四是仲裁裁决的负面影响不断显现。未来，法理和规则领域的博弈将是一段时期内影响南海形势发展演变的两条新的主线；美国等域外国家以军事存在在南海谋求地缘政治利益，将把南海问题国际化推向新阶段；受疫情、外部干扰和共识缺失等因素叠加影响，“南海行为准则”磋商将步履维艰。

S21-O-02

印太北部大陆边缘生物泵观测与集成—国际合作需求

陈建芳 [1,2]*，李宏亮 [1,2]，冉莉华 [1,2]，张静静 [1,2]，卢阳阳 [1,2]

1 自然资源部海洋生态系统动力学重点实验室，杭州 310012

2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* jfchen@sio.org.cn

全球开阔海洋每年吸收的碳约为 2000 ±1000 Tg C yr^{-1}，与我国每年的排放量相当。由于全球变暖，海洋碳源汇格局正在发生巨大的变化，其改变的幅度要远远超过我国陆地和近海的碳汇。沉积物捕获器锚系观测是了解海洋生物泵主要手段，近 30 年来，我们在南海、极地海域、西太及北印度洋布放了数百套时间系列沉积物捕获器，开展生物泵长期观测和调控机制研究。大陆边缘是开阔海生物泵强度最大的海域之一，作为同时受季风控制的印太北部大陆边缘的南海、阿拉伯海、孟加拉湾，同步开展季风-ENSO/印度洋偶极子调控的生物泵同步观测研究，对于整体了解海洋碳汇的自然变化具有重要意义。本报告主要探讨开展印太北部大陆边缘生物泵观测与集成的研究设想和实现途径。

S21-O-03

基于国际合作的南海周缘地区的地震观测：实践、成果及思考

杨挺 [1]*，薛梅 [2]，于有强 [2]，黎庆繁 [3]，陈名雄 [3]，黎伯孟 [1]，刘志飞 [2]

1 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

3 越南河内矿业和地质大学，河内

* tyang@sustech.edu.cn

相对于我国，南海周缘其他国家的天然地震观测台站数目很少，在利用 OBS 进行南海海盆大规模天然地震海底观测之前，这种状况在很大程度上制约了我们对于南海以及区域性构造演化的理解和认识，因为天然地震资料是约束岩石圈和上地幔，以及更深的地幔转换带结构和性质最有效的手段。

从 2009 年开始，我们通过与越南河南矿业和地质大学合作，在南海西缘的越南沿海地区，从北到南，先后布设了 6 个天然地震临时观测台站。尽管台站数目有限，但有效地填补了这一地区地震观测的空白。结合这一地区稀疏的固定台站，我们进行了面波层析成像、接收函数和各向异性等分析工作，揭示了红河断裂两侧岩石圈的不同性质，表明碰撞-逃逸模型更能解释红河大断裂的构造演化；地幔转换带的结构显示，印支地块之下存在着断裂的、斜向俯冲的印度板片，以及与南海和华南地区大规模岩浆活动相关的地幔上涌；各向异性的特征说明了绝对板块运动方向、或者俯冲印度板片的回摆和后撤是其形成原因，但俯冲板片内部缺口和沿东缘的上涌地幔导致了局部变化。这些成果对于理解南海、印支地块和区域性的构造演化意义重大。

与越南的这一国际合作给我们的经验和体会是，合作中需要充分考虑对方的利益，而不仅仅是要求对方为我们的实验提供帮助。我们在数据共享、论文发表以及人才培养等方面为对方做了大量的工作，形成了一个双赢的局面。国际合作无疑存在一些风险，尽管卓有成效，但因 2014 年中越关系恶化而被迫中断，但是，因为我们有非常好的前期基础和个人联系，我们正考虑重返越南，也在寻求与其他国家，如印尼、马来西亚和菲律宾的合作，从而在环南海地区布设更加密集的天然地震观测台阵。

S21-O-04

南海和周边海域环流相互作用的研究现状和国际合作需求

袁东亮*

1 中国科学院海洋研究所，青岛 266071

* dyuan@qdio.ac.cn

南海是西太平洋最大边缘海，其与西太平洋和印尼海的交换过程对区域和全球气候有重要影响。当前南海及周边海域海洋环流动力学研究的突出科学问题包括：1）吕宋海峡黑潮与南海环流交换和相互作用的非线性动力过程；2）南海贯穿流的控制机理和变异规律；3）南海深层“三明治”环流的结构和动力机制。本专题旨在回顾以上科学问题的研究现状和未来方向，探讨全球变化背景下，南海与西太平洋环流的变异及其气候效，提出当前中国面对的国际形势下，解决以上热点科学问题的国际合作前景和倡议。

S21-O-05

中国—东盟海洋地震数据平台与研究中心建设

栾锡武[1]，朱伟林[2]，刘可禹[3]，解习农[4]，韩作振[5]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，山东 青岛 266071

2 同济大学，上海 266100

3 中国石油大学（华东），山东 青岛 266237

4 中国地质大学（武汉），湖北，武汉，266071

5 山东科技大学，地球科学与工程学院，山东 青岛 266590

* xluan@qnlm.ac

中国—东盟海洋地震数据平台与研究中心建设是我国资助的中国—东盟海上合作基金项目。项目主要任务为搜集东南亚海域多道地震数据，建设海洋地震数据平台，并联合国内、国际优势力量成立研究中心，

主要开展东南亚构造、沉积与油气资源与环境效应研究。依托数据平台和研究中心开展中国-东盟人员交流、互访、培训、人才培养等。通过交流、互访、共同研究提升东盟海洋地学研究的整体水平，加深海域资源现状的了解，推动中国-东盟资源深度合作；依托数据平台和研究中心，搭建中国—东盟之间沟通渠道与合作平台，增进交流合作、政治互信，维护区域稳定，实现互利共赢。

目前，该数据平台已搜集东南亚海域 20 多个区块的二维/三维多道地震数据，可供开展若开、安达曼海、爪哇海、东帝汶海槽、越南南部、澳大利亚西北和北部、南海周边等海域的地震数据解释及相关构造、沉积等研究工作。

S21-O-06

南海沉积学国际合作研究的回顾与展望

石学法[1,2]*，乔淑卿[1,2]，刘升发[1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室，山东 青岛 266061；

2 青岛海洋试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，山东 青岛 266037

* xfshi@fio.org.cn

过去十年来，我国南海沉积学研究的最主要特点是从全球视野开展研究。一方面，继续与国际组织或国外科学家合作对南海海域进行深入研究，这方面最具代表性的工作是 IODP 计划的实施，从 2014 年至今，“决心号”钻探船在南海实施了 4 个钻探航次，取得了近万米沉积岩心；而之前的 1990-2018 年间，德国“太阳号”和法国“Marion Dufresne”号调查船在南海执行了 15 个航次，采取了 200 多个沉积柱样；另一方面，通过与泰国、马来西亚、印度尼西亚、柬埔寨和越南等周边国家的合作，对南海西部、南部的巽他陆架以及泰国湾实施了大小十多个航次的调查和数次陆地河流考察，取得了 300 多站沉积物样品，使南海成为世界上沉积学调查研究程度最高的边缘海之一。今后南海沉积学国际合作研究应该重视如下几个方面：（1）发起一个以南海沉积学为主题的大型国际合作计划开展综合对比研究，特别是加强对南海南部的沉积物的精细调查研究，并积极推动南海南部钻探研究；（2）加强南海现代沉积过程的长期连续观测，在南海关键区选择若干断面和点获取精细化、多层次、长时间序列的海洋环境基础数据和资料；（3）通过广泛的国际合作建立南海沉积数据库，实现南海沉积大数据的挖掘和应用，这是深化南海沉积学研究的基础；（4）与其他学科如地球物理学、物理海洋学和海洋生态学等进行联合交叉研究。

S21-O-07

南海国际法律与国际政治态势的可能发展

傅崐成*

1 海南大学法学院/国际海法与争端解决中心

* kuenchen_fu@163.com

法律与政治是一体的两面。南海的国际法律与国际政治发展息息相关，对于周边国家以及所有南海利益相关方而言，这一海域相关法政态势变迁的因素，包含在下列两个区块中。第一、《联合国海洋法公约》第 123 条所建立的“闭海与半闭海“（enclosed and semi-enclosed sea）机制的内涵与效力。就这一点而言，中国作为南海社区的最大国家，理应推展公约的社区概念，从服务与合作中取得实质的领导地位，完成南海整体的区域利益。第二、美国作为域外的积极介入者，是否会加入《联合国海洋法公约》，是一大影响因素。拜登总统当年在参议院曾努力推动加入该公约，未来美国的法律立场或许会有所改变，需要及早分析看清全局。

S21-O-08

西太平洋地区有害赤潮的合作与联合研究

王鹏斌[1,2]*，胡家荣[2]，王瑞芳[2,3]，郭若玉[1,2]，戴鑫烽[1,2]，陆斗定[1,2]

1 自然资源部第四海洋研究所，北海 536000

2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

3 浙江大学海洋学院，舟山 316021

* algae@sio.org.cn

近年来，在中国及周边国家乃至世界沿海有害赤潮的发生均呈现出频率逐渐增加、规模不断扩大的趋势，危害人类的身体健康和生命安全，同时也造成了巨大的经济损失。在我国东海，长期以来都是由东海原甲藻形成赤潮，规模有时达数千平方公里，实属世界罕见，引起了我国政府、公众和科技界的广泛关注。中国邻近的日本与韩国所爆发的有害赤潮原因种却与中国截然不同，在日本致灾最严重的卡顿藻与在韩国致灾最严重的多环旋沟藻，在我国就极少形成大规模赤潮。随着船运的繁荣，船舶压仓水也可能将不同海域的赤潮种或其包囊带到其他国家，导致赤潮灾害。此外，在全球气候与海洋变化的背景下，海洋热带有害赤潮种不断向温带扩张，西太平洋地区国家受到由热带从南向北输送的黑潮等复杂流系的影响，有害赤潮种的扩张将成为西太平洋地区海洋生态系统、人类健康及海洋水产经济的一大潜在威胁。区域性的有害赤潮的合作与联合研究显得尤为重要。为了更好地应对有害赤潮在西太平洋地区的扩张与减少有害赤潮危害，本研究探讨了在联合国海洋十年的大背景下，针对有害赤潮在西太平洋地区所需要开展的合作与联合研究。

S21-O-09

海洋生态系统智慧感知示范

张学雷[1,2]*，夏涛[1,2]

1 自然资源部海洋生态环境科学与技术重点实验室，自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

2 海洋生态环境科学功能实验室，海洋科学与技术试点国家实验室，青岛 266237

* zhangxl@fio.org.cn

海洋生态系统的复杂性使我们对它的认知越来越需要大数据的获取和分析。南海位于印太两洋交汇区，具有丰富的鲸豚种类多样性，这些位于海洋生态金字塔顶的物种是健康海洋的标志；南海也分布有众多珊瑚礁，它们是沿海社会民生赖以发展的基础；然而，对它们均缺乏有效的感知，这制约了相关科学研究和对社会民生发展的支撑。本文基于南海生态系统的上述特征，我们拥有的技术特点，以及近年来的相关国际合作研究经验和需求，提出以无人帆船等为牵引的鲸豚类“望闻问切”综合感知方法，并以无人系统原位远程观测珊瑚礁生物多样性和白化过程。冀望由此在南海周边海洋机构间建立海洋生态系统智慧感知的合作伙伴网络，共同为联合国海洋科学十年计划做出贡献。

S21-O-10

印度尼西亚北苏拉威西热带海洋生态系统研究进展与展望

杜建国[1]，Dirhamsyah[2]，陈彬[1]*

1 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361005

2 印尼科学院海洋研究中心，雅加达 14430

* chenbin@tio.org.cn

2010-2017 年，自然资源部第三海洋研究所与印尼科学院海洋研究中心合作，在东南亚地区建立了中国第一个联合海洋生态站——中印尼比通联合海洋生态站，并综合运用生态浮标、深水潜标、船舶走航、水面和水下定点观测等手段，对北苏拉威西红树林、海草床、珊瑚礁和浮游生态系统等开展了 13 次多学科联合调查研究，获得了该海域第一手海洋生态环境资料，并取得了一系列成果。

双方合作鉴定北苏拉威西海域珊瑚、海绵等海洋生物 1733 种；发现甲藻 1 新属和 1 新种、水母 4 新种、小头虫科 2 新种、鱼类 3 新记录种；在仅数十平方公里的蓝碧海峡即发现浮游生物 736 种，多样性指数显著高于我国美济礁等其他热带海域；构建的 Ecopath 生态模型计算结果也表明印尼海域生态系统复杂度和成熟度高于加勒比海等海域。这些发现进一步佐证了珊瑚三角区为世界海洋生物多样性中心的观点。

研究了海洋高盐环境中红树林土壤3种温室气体的释放特征及其与土壤环境的关系，发现北苏拉威西海洋高盐环境下红树林具有土壤碳/氮含量高和温室气体通量低的特点。该研究是对印度尼西亚乃至东南亚地区红树林 3 种温室气体通量的首次报道，从碳气体排放弱的角度为热带地区红树林土壤碳高储存能力提供了证据，也为认识区域和全球红树林土壤温室气体通量提供了重要信息。

研究还从更高的层次研究了热带海洋生态系统之间的连通性，发现蓝碧海峡南部和北部水动力环境的显著差异引起两个海域浮游植物、浮游动物、珊瑚和珊瑚礁鱼类多样性的不同；证明了海草床生态系统是鱼类重要育幼场，并对邻近珊瑚礁生态系统具有资源补充作用；红树林有机碳构成邻近海草床土壤有机碳的主要来源。上述研究结果进一步加深了对热带海洋生态连通性的科学认识。

未来双方将积极进行中印尼海域生态环境立体监测网建设，拟就印尼贯穿流的变化及其对生态系统的影响、珊瑚礁、滨海湿地、生态连通性及其对气候变化和人类活动的响应、有害藻华的预警等方面开展更深入的合作交流。

S21-O-11

中生代末华南大陆边缘构造背景的地质记录——来自巴拉望地块的证据

邵磊[1]*，乔培军[1]，崔宇驰[1]，张浩[1]，朱伟林[1]，张功成[2]，曹立成[3]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 中海油研究总院，北京 100027

3 中国地质大学，武汉 430074

* lshao@tongji.edu.cn

中生代至新生代，欧亚大陆东南缘持续经历了一系列复杂的俯冲、碰撞及拼合过程。其中，巴拉望微陆块的形成，古地理演化及其与华南大陆边缘的构造关系，在学术界一直未有定论。揭示巴拉望与南海北部的相互关系对确定南海中生代末期的构造背景极为关键。本研究采用国际合作方式，在菲律宾大学 Alyssa Peleo-Alampay 等教授协助下，通过矿物岩石学、构造地质学、沉积地球化学以及同位素地球化学等方法，对巴拉望陆块及南海北部盆地地质样品开展了深入细致的研究工作，揭示了中生代末/新生代初期沉积物组成特点及沉积物源变迁信息，认为晚侏罗世，古太平洋的俯冲活动已经开始，南海地区介于大陆岛弧和弧前盆地之间，南海北部琼东南盆地、潮汕坳陷、台湾太鲁阁带以及巴拉望上侏罗统为临近的先前存在的岛弧体系，潮汕坳陷和巴拉望陆块在该时期为发育于大洋板块层序顶部的增生楔沉积；白垩纪，巴拉望陆块与南海东北部存在共轭关系；始新世，巴拉望陆块与台西南盆地和台湾地区样品相似，显示其与南海北部相连。

S21-O-12

菲律宾吕宋岛与菲律宾海板块在新生代的构造亲缘关系：古地磁学和锆石 U-Pb 年代学证据

赵西西[1,2]*，杨逸凯[2]，谌微微[2]，黄奇瑜[2]，邵磊[2]

1 南方科技大学，广东省深圳市南山区学苑大道 1088 号
2 同济大学，上海市四平路 1239 号
* xzhao@tongji.edu.cn

菲律宾海板块和菲律宾北部的吕宋岛位于欧亚板块、太平洋板块和印澳板块的交汇处，是了解西太平洋构造演化和全球板块重建的关键区域。然而，菲律宾海板块和吕宋岛之间的构造关系仍然不是很清楚。通过与菲律宾的国际合作，我们对出露在吕宋岛东部的 Sierra Madre 和西南部的 Zambales 山脉的晚始新世-早渐新世 Carabello 地层开展了古地磁学和锆石 U-Pb 年代学研究。样品的碎屑锆石 U-Pb 测年结果显示，该地区玄武岩夹层的形成年代为 33.5±1.3 Ma（晚始新世—早渐新世），岩浆活动与 Sierra Madre 弧形成同期。对应的，火山碎屑岩夹层的锆石 U-Pb 年龄谱峰值年龄为 34.51±0.61 Ma，其物源来自附近的火山岩体，二者的年代学结果相互吻合。逐步热退磁和交变磁场退磁成功地分离出两个磁性分量。较低解阻温度的分量代表新近的地磁场重新磁化；较高解阻温度的分量是特征剩磁（ChRM），具有正、反极性，表明特征剩磁为原生剩磁。从吕宋岛东部的 Sierra Madre 获得的 ChRM 的平均方向表明，取样区域自渐新世以来经历了 35° 的顺时针旋转，与菲律宾海板块新生代以来顺时针旋转历史相吻合。古地磁倾角数据研究显示本次研究采样地区自渐新世以来向北移动了几百公里。这些古地磁结果与已知的菲律宾海板块构造历史一致，表明吕宋岛和菲律宾海板块在新生代有成因联系。本次研究结果为西太平洋及欧亚板块的构造演化过程增加了新的制约，也为推动南海周边国家开展密切科学合作提供了一成功实例。

S21-P-01

亚洲季风爆发监测研究的区域合作：进展与未来展望

于卫东[1]*，王辉武[2]，刘延亮[2]，李奎平[2]，刘琳[2]，祝从文[3]，杨崧[1]

1 中山大学大气科学学院，珠海 519082
2 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061
3 中国气象科学研究院，北京 100081
* yuwd@mail.sysu.edu.cn

亚洲季风是影响南亚、东南亚和东亚地区大尺度天气、气候灾害的重要系统，影响着超过全球一半人口的生计和当地社会经济发展。但由于亚洲季风包含复杂的海洋-大气-陆地-生态等多圈层耦合过程，在多个时间尺度上呈现复杂变化，目前的科学认知还存在着诸多薄弱环节，亚洲季风区仍然是全球天气和短期气候预报能力最薄弱的区域。亚洲季风区国家往往在夏季遭受严重持续性洪涝、干旱和热浪，以及极端性灾害天气过程冲击，亟需大力推动亚洲季风多学科研究，提高防灾减灾能力，支撑该地区可持续发展。

亚洲夏季风的建立具有突发性，即季风爆发，在空间-时间上表现为典型的区域性、阶段性，即亚洲夏季风最早于 5 月初在孟加拉湾爆发，随后是5月下旬在南海北部爆发，最后是 6 月初在印度半岛爆发。季风爆发作为季风季节进程中最独特的一个环节在其理论、模拟和预测服务等方面还有不足，需进一步发展季风爆发新理论，进一步认识模拟误差的主要来源，进一步提高天气和气候尺度的预测能力。

当前围绕着亚洲季风表现出的“孟加拉湾-南海-印度半岛”时-空爆发次序的研究正在不断取得进展，这方面的研究进展也得益于在东南亚地区的区域合作，特别是在 IOC/WESTPAC 的东南亚海洋观测系统（SEAGOOS）框架下推动实施了“亚洲季风爆发监测及其社会与生态系统影响”（MOMSEI）探索性科学计划。MOMSEI 计划得到了印尼、泰国、马来西亚、缅甸、菲律宾、越南等国家科学家的积极响应和参与，孟加拉和柬埔寨科学家也逐步参与其中，印度科学家也对该项目表达了高度关注。同时，

MOMSEI 也得到印度洋海洋观测系统（IndOOS）的支持。

面向未来，特别是联合国海洋科学十年计划，我们期待进一步加强围绕亚洲季风主题的区域合作研究，推动多学科交叉的季风-海洋相互作用研究，认识季风气侯强迫下海洋生态系统的响应，从科学发现、防灾减灾、气侯变化、生物多样性、深海探索、能力建设和可持续发展等多个视角去继续推动区域海洋、环境和气候合作的深入发展。

S21-P-02

南海陆源碎屑沉积物源汇过程国际合作的进展与展望

刘志飞[1]*, 赵玉龙[1], Fernando P. Siringan[2], Khanh Phon Le[3], Wahyoe S. Hantoro[4], Edlic Sathiamurthy[5], Penjai Sompongchaiyakul[6], Soben Kim[7], Xianfeng Wang[8], Hoang Van Long[3], Ngo Xuan Thanh[3], Chen-Feng You[9], Christophe Colin[10], Karl Stattegger[11]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 University of the Philippines, Quezon City 1101, Philippines

3 Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

4 Research Center for Geotechnology, Indonesian Institute of Sciences, Bandung 40135, Indonesia

5 University Malaysia Terengganu, Kuala Terengganu 21030, Malaysia

6 Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

7 Royal University of Agriculture, Phnom Penh, Cambodia

8 Nanyang Technological University, Singapore 639798, Singapore

9 National Cheng Kung University, Tainan 70101, Taiwan

10 Université Paris-Saclay, Orsay 91405, France

11 University of Kiel, Kiel 24118, Germany

* lzhifei@tongji.edu.cn

南海是西太平洋地区最大的边缘海，是全球接收陆源碎屑沉积物最多的半封闭海盆。南海同时还具有丰富的表层和深水洋流系统，拥有保存完好的半深海沉积物质，使得南海成为全球开展陆源碎屑物质从源到汇研究最合适的边缘海。南海毗邻多个东亚和东南亚国家，包括北部的中国大陆/台湾岛、东部的菲律宾、西部的越南/柬埔寨/泰国、南部的马来西亚/印度尼西亚/新加坡/文莱，从而成为开展南海陆源碎屑沉积物从源到汇搬运过程国际合作的必然纽带。而且，南海长期以来一直是中德、中法、中美等国际/双边合作的热门海区。因此，为了促进南海沉积物源汇过程的实地调查，提升该领域的前沿研究，我们自 2008 年起在政府间海洋委员会西太分委会（IOC/WESTPAC）“南海河流沉积物与环境变化”（2008-2023）项目的支持下，持续开展南海周边全部国家/地区实质性合作，详细调查遍布南海周边全部 180 余条河流，并与中法、中德等其他国际/国内计划合作调查遍布南海海底 1100 余个表层沉积物站位，取得了南海陆源碎屑沉积物从源到汇研究的重要进展。基于前期这些研究进展，我们提出南海陆源碎屑主题进一步国际合作的前景，包括陆源有机碳输入与海洋碳循环、沉积物源汇动力过程原位观测、沉积物源汇过程对极端和快速气候变化响应等理论机制和全球变化应用研究，对于促进南海海洋科学前沿进展、推动“一带一路”合作伙伴建设具有重要意义。

S21-P-03

中国—马尔代夫海洋领域合作简介

刘琳*，王辉武，杨光，刘建军，吴伟，申宏

1 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

* liul@fio.org.cn

受亚洲季风系统影响，印度洋上层海洋具有显著的季风性海洋环境特征，具体表现为上层海洋环流呈现明显的季节变化。东、西印度洋上层物质及热量交换主要受季节性环流控制，赤道中印度洋是影响东、西印度洋间物质与能量交换的重要区域。作为赤道中印度洋唯一国家，马尔代夫跨越南北半球，是开展海洋气候综合环境监测的天然基地。自 2012 年以来，我国与马尔代夫在海洋气候观测领域开展了交流互访，推动了双方在海洋领域的务实合作。本研究简要介绍了双方合作概况，并对未来合作加以展望。

S21-P-04

Subseasonal-to-Seasonal Predictability of Onset Dates of South China Sea Summer Monsoon: A Perspective of Meridional Temperature Gradient

刘伯奇*，祝从文

1 中国气象科学研究院气候与气候变化研究所，北京 100081

* liubq@cma.gov.cn

The onset of the South China Sea summer monsoon (SCSSM) has traditionally been ascribed to the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) on an interannual timescale, but the two do not correspond in some years. The present study applies harmonic analysis on the meridional temperature gradient (MTG) in mid–upper troposphere over South China Sea (SCS) and decomposes the onset process to be a slow-varying seasonal cycle and transient subseasonal component. The ENSO-related air temperature anomaly in the southern SCS provides seasonal predictability of SCSSM onset by a stable and robust relationship between ENSO and MTG seasonal cycle. However, in the northern SCS, the MTG is regulated by an intraseasonal oscillation (ISO) of extratropical air temperature with a significant 10–30-day period. This ISO originates over the western Tibetan Plateau (TP), then propagates eastward and gets enhanced by anomalous diabatic heating due to spring rainfall anomaly over South China, as a result of subseasonal thermal forcing of TP. When the ISO arrives to the north of the SCS, it directly changes the tropospheric temperature to modulate the MTG. Meanwhile, the upper-level circulation associated with the ISO alters the meridional potential vorticity advection and pumping effect, followed by the anomalous low-level westerly wind and monsoon convection over the SCS. The SCSSM onset is evidently disrupted from its seasonal cycle when this ISO is more active. Since the independence of its intensity from ENSO, this extratropical ISO over TP and South China provides additional subseasonal predictability of the onset dates of the SCSSM.

S21-P-05

Diversity and distribution of harmful microalgae in the Gulf of Thailand assessed by DNA metabarcoding

Haifeng Gu[1]*, Zhengxu Fu[1,2], Ajcharaporn Piumsomboon[3], Porntep Punnarak[3], Praderm Uttayarnmanee[4], Chui Pin Leaw[5], Po Teen Lim[5], Aijun Wang[1]

1 Third Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Xiamen 361005, China

2 College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China

3 Aquatic Resources Research Institute, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

4 Marine and Coastal Resources Research and Development Center, Central Gulf of Thailand, Department of Marine and Coastal Resources, Chumphon, 86000, Thailand
5 Bachok Marine Research Station, Institute of Ocean and Earth Sciences, University of Malaya, 16310 Bachok, Kelantan, Malaysia
* guhaifeng@tio.org.cn

Most eukaryotic diversity could be classified within several supergroups such as Opisthokonta, Amoebozoa, and SAR (Stramenopiles, Alveolates, and Rhizaria). Major photosynthetic groups including diatoms, raphidophytes, chrysophytes and dinoflagellates were nested within SAR and some of them are considered harmful. Information on the diversity and distribution of harmful microalgae in the Gulf of Thailand is very limited and mainly based on microscopic observations. Here, we collected 44 water samples from the Gulf of Thailand and its adjacent water from Perhentian Island (Malaysia) for comparison in 2018. DNA metabarcoding was performed targeting the partial large subunit ribosomal RNA gene (LSU rDNA) and the internal transcribed spacers (ITS1 and ITS2). A total of 44 free living dinoflagellate genera (made up of 72 species) were identified based on the LSU rDNA dataset, while the results of ITS1 and ITS2 datasets revealed 29 dinoflagellate genera comprising 83 species. Five potentially toxic *Pseudo-nitzchia* (Bacillariophyceae) species were detected, with four as newly recorded species in the water (*Pseudo-nitzchia americana*/*brasilliana*, *Pseudo-nitzchia simulans*/*delicatissima*, *P. galaxiae* and *P. multistriata*). The highest relative abundances of *P. galaxiae* and *P. multistriata* were found in Trat Bay and Chumphon (accounting for 0.20% and 0.06% of total ASVs abundance, respectively). Three paralytic shellfish toxin producing dinoflagellate species were detected: *Alexandrium tamiyavanichii*, *Alexandrium fragae*, and *Gymnodinium catenatum*. The highest abundance of *A. tamiyavanichii* was found in the surface sample of Chumphon (CHO7 station), accounting for 1.95% of total ASVs abundance. Two azaspiracid producing dinoflagellate species, *Azadinium poporum* ribotype B, *Azadinium spinosum* ribotype A, and a pinnatoxin producing dinoflagellate species *Vulcanodinium rugosum*, with two ribotypes B and C, were revealed from the datasets although with very low abundances. Six fish killing dinoflagellate species, including *Margalefidinium polykrikoides* group IV, *Margalefidinium fulvescens*, *Karenia mikimotoi*, *Karenia selliformis* ribotype B, *Karlodinium australe*, and *Karlodinium digitatum* were detected and all representing new records in this area. The findings of numerous harmful microalgal species in the Gulf of Thailand highlight the potential risk of human intoxication and fish killing events.

S21-P-06

南海内波研究发展现状和态势

徐振华*

1 中国科学院海洋研究所，青岛 266071
* xuzhenhua@qdio.ac.cn

南海有着世界海洋最强的内波，包括最大振幅内孤立波和最强能量的内潮。南海复杂岛屿和陆坡地形调制内波动力演变和能量传递过程，南海内波混合驱动水体中营养物质输运从而影响生态系统，内波与环流之间存在复杂相互作用，潮致混合影响南海深层环流的维持变异。内波研究涵盖海洋多尺度动力过程并体现多学科交叉的特点。

南海北部和吕宋海峡是全球海洋内波研究的标杆性区域之一，吸引了国内外海洋学家合作或独立开展的数个重要观测实验和研究计划。本报告将重点回顾近 20 年来南海内波和内潮主要研究进展，特别是国际合作框架下的主要计划及取得的重要认识，并对未来发展前景和态势进行展望。

S21-P-07

南海涡致热输送的时空变化及机理研究

丁睿彬[1]，宣基亮[1,4]*，张涛[2]，周磊[3,1]，周锋[1,3]，孟启承[1]，In-Sik Kang[1,3]*

1 卫星海洋环境动力国家重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州
2 极地深海研究院，自然资源部第二海洋研究所，杭州
3 海洋学院，上海交通大学，上海
4 海洋生态环境监测与预报实验室，自然资源部第四海洋研究所，北海

* xuanjl@sio.org.cn, kang@sio.org.cn

南海的涡致热输送对于局地热收支来说具有重要意义。但是由于 down-gradient 方法的局限性以及数值模拟的不确定性，目前对其时空变化的认识还存在分歧。本研究采用一个充分验证的同化模型结果去研究南海涡致热输送的时空变化特征及机理。以多年平均而言，我们发现越南东南部和吕宋以西存在显著的涡致热通量，且主要分布在海洋上层 400 米。涡致热通量还存在显著的季节变化，其中越南东南部的涡致热通量在秋季达到最大值，其季节变化与风应力旋度存在联系；而吕宋以西的涡致热通量在冬季达到最大值，其季节变化主要与黑潮入侵存有关。能量收支分析的结果表明越南东南部涡动能的产生与斜压和正压不稳定都存在显著联系，而吕宋以西的涡动能只与正压不稳定性有关。特别地，我们在吕宋以西发现一个常年存在 up-gradient 涡致热通量的区域，up-gradient 表示涡致热通量与平均温度梯度的方向相同。进一步的分析发现 up-gradient 涡致热通量的产生主要与斜压不稳定引起的逆能量输运有关，该逆能量输运主要由局地的黑潮入侵和地形相互作用决定。此外，冬季最显著的 up-gradient 涡致热通量在次表层表现为向西南方向传播的波动特征。

S22-O-01

深海海山（海山链）环流结构与驱动机制

田纪伟*

1 中国海洋大学，青岛 266100

* tianjw@ouc.edu.cn

深海呈现出复杂丰富的海山结构，它们对大洋环流和局地次级环流具有重要的调控/驱动作用。本报告基于观测、理论与数值模拟等方法，探究了不同海山与海山链几何构形对深海湍流混合、海底边界层结构、边界流、及其次级环流等方面作用。主要研究结果包括下面三部分：正压潮与不同地形谱海山相互作用，边界层混合驱动深海次级环流；远场准定常流与不同地形谱海山相互作用，边界层混合驱动深海次级环流；正压潮和准定常流与不同地形谱海山联合相互作用，边界层混合驱动深海次级环流。

S22-O-02

马里亚纳深海/深渊区内潮动力机制及混合效应

徐振华*，赵晨，王洋，尹宝树

1 中国科学院海洋研究所，青岛 266071

* xuzhenhua@qdio.ac.cn

全球内潮转化功率约 1 TW，其中西太平洋可贡献 0.5 TW，马里亚纳海域是西太平洋内潮的热点区域之一，但对该海域内潮认识仅局限在上层，而对马里亚纳深海深渊区内潮动力机制及能量耗散途径、马里亚纳

海沟-海脊-海盆在内潮能量源汇过程中扮演何种角色等问题并不清楚，我们对全球海洋深渊区内潮的能量动力认知还几乎是空白。

本研究通过构建高精度且万米刻画的数值模式，首次给出马里亚纳沟弧盆区内潮三维能量传播和耗散路径，发现马里亚纳海脊是内潮能量主要源地，马里亚纳海沟起着内潮能量汇的作用。因为深海复杂沟弧盆地形的塑造，深海内潮存在复杂干涉、共振、反射等动力过程，并且导致内潮能量耗散在垂向上呈现多层结构分布。

虽然传统观点认为深海深渊是平静的海洋，但我们的最新研究发现，深渊区虽然内潮能量较弱，但极弱层结的同时存在，即便微弱外部能量输入也可导致深海剧烈扩散混合；马里亚纳海域已被发现存在复杂生物物种和独特生态系统，深海深渊地带的内潮混合可能是深层水团变性、生物迁移和极端生态环境演变重要的能量动力来源。

S22-O-03

菲律宾海深层环流空间特征及水团变异

周春[1]*，田梓辰[1]，肖鑫[1]，曲堂栋[2]，赵玮[1]，田纪伟[1]

1 中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室，青岛 266100

2 Joint Institute for Regional Earth System Science and Engineering, University of California, Los Angeles, CA, 90095

* chunzhou@ouc.edu.cn

菲律宾海深层环流是太平洋翻转环流的重要组成部分，然而受种种因素限制，当前对其认知极少。本文基于日本气象厅（JMA）在137°E的多年重复水文观测断面和WOCE计划在菲律宾海的水文观测断面，首次给出了绕极底层水（Lower Circumpolar Deep Water）在菲律宾海的空间分布，并初步探讨了深层水团的长期时间变异特征。

研究发现，在通过雅浦-马里亚纳海脊联通处深水通道（Yap Mariana Junction）进入菲律宾海之后，绕极底层水可扩散至帕里西-维拉海盆和四国海盆，并穿过九州-帕劳海脊17°N以北的缺口向西进入北菲律宾海盆，其上界也由4000米下降至5000米。因为受到中央断裂带的阻隔，绕极底层水无法进入南菲律宾海盆。诊断结果进一步表明，4000 米以深存在一支跨越九州帕劳海脊的西向流动，能够携带绕极底层水从四国海盆进入北菲律宾海盆；菲律宾海深层大体呈现气旋式环流结构。137°E断面的多年重复水文观测则显示，1990-2020年期间，2000米以深的水体普遍出现增暖趋势，平均增暖速率可达到0.33 ±0.19 m ℃ yr^{-1}。同时，受到北太平洋深层水（North Pacific Deep Water）的影响，携带高浓度的硅酸盐，从伊豆-小笠原海脊的缺口进入菲律宾海北部的深层水体则出现一定的降温趋势。另外，在20°N以南、4000米以深出现的减盐和升温趋势，可能预示着进入菲律宾海的绕极底层水体积的逐渐减少。

本文对今后菲律宾海深层水团的空间结构、时间变异乃至对太平洋热盐环流的影响的相关研究起到一定的铺垫作用。

S22-O-04

西太深层西边界流时间变化及其对区域深海环流的调控

徐洪周[1]*，江会常[1]，田纪伟[2]，谢强[1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚，572000

2 海洋与大气学院，中国海洋大学，青岛，266100

* hzxu@idsse.ac.cn

西太平洋深层西边界流由南大洋深层水流经赤道而形成，是全球大洋环流的重要组成部分。其强度和变化控制着区域海洋环流的强度和水团特性分布，也间接影响着全球气候变化。借助现场观测和数值模拟手段，

科学家可以定量获得该流系流量通量的大小和时间变化，从而评估其对区域海洋环流及水团特性的影响。通过分析前人研究结果和现有的观测结果，我们发现西北太平洋深层西边界流主流轴强度存在明显的季节变化特征，在夏秋季节其流量减弱明显。受该主流轴流量通量季节变化影响，在马里亚纳-雅浦海沟通道处深层西边界流分支的流量通量存在季节上反向输运特征，从而影响着局地和下游菲律宾海的水团特征和环流结构。通过诊断发现，在强入流季节，菲律宾海的深层海水温度明显降低、盐度升高，海盆内环流明显加强，反之则深层海水温度升高、盐度减小，环流减弱。

S22-O-05

南海 Stokes 层状交替旋转环流的热点动力学

甘剑平[1]*，龚晓雪[1]，蔡中亚[2]，刘志强[3]，李俊鲁[1]

1 香港科技大学，香港

2 澳门大学，澳门

3 南方科技大学，深圳

* magan@ust.hk

受风应力旋度和贯穿流路径的共同强迫，南海环流在海盆的北半部和南半部呈现相反环流方向的特征偶极子环流结构。这种空间多变的环流模式在位势坐标中、并在 Stokes 定理约束下表现为气旋-反气旋-气旋（CAC）的三层交替旋转环流。鉴于南海环流对高度可变的地形及其复杂的海流-地形相互作用动力的响应，我们对南海构成 CAC 环流的涡度空间分布和相关动力知之甚少，且经常把不同物理平面和局地的环流形态当成南海三层环流的真实存在，这不仅影响了我们对南海流通和运输的认知，而且也混淆了南海环流结构动力。我们发现 CAC 环流主要由陆坡地形热点动力带、通过陆坡流-地形相互作用产生的涡拉伸和挤压而形成。本研究从层积分涡度动力学（LIVE， Layer Integrated Vorticity Equation）和能量平衡出发，分析包括陆坡流、海峡交换流及跨地形槽/脊流产生的热点动力对南海 Stokes 层状交替旋转环流的贡献及动力的同性和异性，提升对南海环流和边缘海环流理论的认知。

S22-O-06

Variations of temperature and salinity in the deep South China Sea associated with ENSO flavors

林羽馨，刘志强*

1 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055

* liuzq@sustech.edu.cn

El Niño-Southern Oscillation (ENSO) critically modulates the hydrographic properties of the upper South China Sea (SCS) through both the atmospheric bridge and oceanic pathways. However, the impacts of ENSO events on the deep SCS are much less understood. In this study, we explored the possible pathways that ENSO events may affect the deep potential temperature and salinity in the SCS by utilizing the World Ocean Database 2018. Two main pathways including the deep Luzon Strait Transport (LST) and the meridional overturning circulation (MOC) are proposed. Their impacts on changes in the potential temperature of the abyssal SCS vary markedly, mainly in response to the ENSO diversity. For example, during the EP El Nino, colder waters intrusion through the deep Luzon Strait is intensified, whereas the MOC plays a significant role in regulating the interannual variability of potential temperature of the abyssal SCS during CP El Nino. The interannual variability of the salinity, particularly in the central part, is largely attributed to changes of the MOC. This study

reveals the possible responses of the deep SCS to the ENSO for the first time and provides the underlying mechanisms.

S22-O-07

海洋沉积物中微生物介导的碳转化过程和机制的认识

王风平[1]*，王寅炤[2]，牛明杨[2]，梁乐文[2]，侯佳林[2]

1 上海交通大学海洋学院

2 上海交通大学生命科学与技术学院

* fengpingw@sjtu.edu.cn

海洋沉积物是地球上最大的有机碳库，有机质主要来自于陆源输入和表层海水中的初级生产力有机质沉降。沉积物中有机质的转化（降解）控制了许多（生物）地球化学过程，包括例如无机碳和营养元素的循环，自生碳酸盐的形成，有机碳的矿化与埋藏等。因此沉积物中有机碳的降解矿化将最终决定大气 CO_2 和 O_2 含量的波动（海洋是大气中 CO_2 和 O_2 的汇或者源），进而在长时间尺度上影响地球气候变化。海洋沉积物有机质的降解/转化和埋藏过程及其机制研究是认识和理解地球系统生物地球化学循环和气候变化的重要环节，然而由于其复杂性目前的认识仍相当有限。

在此我们归纳近年来相关研究进展，提出微生物介导碳转化的模型 MCT-S（Microbially mediated Carbon Transformation in marine Sediment），认识海洋沉积物中介导碳循环的主要微生物功能类群和过程，反应速率与规模，讨论知识的空白缺乏点，呼吁更多的多学科交叉和定量的观测数据以构建定量模型深入我们的认识。

S22-O-08

Seasonal change in particle flux maxima in the mesopelagic zone at the shelf-edge and the role of sediment advections by submesoscale vortexes

李芊[1]*，卢文芳[2]，俞建成[3]

1 中国科学院南海海洋研究所，广州，510301

2 福州大学数字中国研究院，福州，350108

3 中国科学院沈阳自动化所，沈阳，110016

* qianli@scsio.ac.cn

Sinking flux of particles to the ocean interior is important for ocean biogeochemistry. Spatial and temporal change of particle fluxes can affect biological pump and hence the ocean carbon cycle. However, the long-term change of sinking particles and the associated biogeochemical fluxes remain inadequately understood at the shelf-edge, due to the complexity of shelf-sea interaction. Here, we focus on particle fluxes in the Xisha region by synthesizing results from sediment trap measurements, underwater glider observations, and a 3-D high-resolution physical-biogeochemical coupling model.

A two-year timeseries observation of monthly particle fluxes at 500 m, 1000 m, and 1500 m was conducted at a pelagic station of the Xisha, located between the northwestern shelf and the deep basin of the South China Sea. We found enhanced particle exports at 1000 m with 3.6, 8.7, and 9.4 folds higher than those at 500 m during August, October, and February. Local resuspension apparently could not explain these events since fluxes at 1500m were only about 0.76, 0.67 and 0.51 of those at 1000 m during these periods. Although opal flux was well consistent with the total particle flux, there was an inverse correlation between the particle flux and opal percentage of sinking particles at these layers, with a high particle flux corresponding to a low opal percentage.

Sinking particle with low silicate content presumably should come from the nearby shelf since it is lower than the local sediment resuspended signals.

Field observations across the shelf-edge on the north of the Xisha region by four underwater gliders carried out during July-August 2018 indeed suggested that suspended solids over the shelf can be entrained in submesocale vortexes and transported offshore to the basin. In order to demenstrate the possile pathways of particles to the Xisha station, an numerical particle-tracking experiment was conducted with particle tracers initially released along the 150 m isobath near the seabed using an eddy-resolving circulation model. The model predicted the cross-isobath export of suspended sediment particles to the Xisha station over one hundered kilometers away enforced by submesoscale vortexes.

Based on these findings, we conclude that cross-shelf transportation of suspended particles over the shelf-slope by submesoscale vortexes may be responsible for pulses of particle fluxes to the mesopelgic waters of the Xisha. Our findings highlight the important role of physical dynamics in controlling particle exports in the mesopelagic and the bathypelagic zones of the shelf-sea.

S22-O-09

Microbially-driven fate of terrigenous particulate organic matter in oceans

张瑶*，张连宝，陈明明，沈嘉明，焦念志

1 厦门大学海洋与地球学院，近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361101

* yaozhang@xmu.edu.cn

In the context of climate change, both ecological modeling and field research have indicated that the flux of terrestrial input to oceans would increase with increasing river runoff due to intense evaporation over oceans coupled to continental precipitation increase or continental evaporation decrease. A long-standing conundrum in oceanography is that this abundant terrestrial organic matter is “missing” in the marine environment. We hypothesized that the essential mechanism behind this is microbial transformation. However, the underlying coupled molecular and genetic information remains unknown. An ultra-large-volume, long-term river-seawater stratified simulation system was built to explore the microbially-driven fate of terrigenous particulate organic matter (POM) after they are discharged into marine systems. Our results showed that the polysaccharide was preferentially degraded by members of the Fungi and Bacteroidetes, and the high-C:N-ratio nitrogenous compounds by Planctomycetes. This, along with the nitrification enhanced by remineralization, caused a decrease in the C:N ratio of POM. The degradation of terrigenous POM and bacterial biomass biosynthesis were responsible for the positive deviation trends in $\delta^{15}N$ and $\delta^{13}C$ in bulk POM. When oxygen decreased, negative deviations of $\delta^{13}C$ in bulk POM could occur due to chemotrophic nitrifiers biomass accumulation. This study provides mechanistic insights into the missing chemical and isotopic signals and microbially-driven fate of terrigenous POM in the ocean, with important implications for how materials flowing from rivers to the ocean affect global carbon and nitrogen cycling.

S22-O-10

基于海洋溶解氧观测值的全球海洋最小含氧带的面积变化

周韫韬*

1 上海交通大学海洋学院，上海 200030

* ytzhou@sjtu.edu.cn

由于气候变化，全球海洋溶解氧正在经历脱氧的变化，并且最小含氧带（oxygen minimum zone, OMZ）正在扩大。我们使用地统计回归模型估算了1960年至2019年全球和区域OMZ的区域及其相关的不确定性。大多数海洋区域在OMZ地区都呈现出显着的增长趋势，然而，尽管赤道东太平洋的OMZ 面积最大，缺呈现了略有下降的趋势外。 在全球海洋中，西太平洋的OMZ面积的增长率最大。此外，我们的初步结果表明赤道东太平洋中OMZ面积的变化更可能是由分层驱动的，而东北太平洋，西太平洋和孟加拉湾的OMZ面积的变化则更可能是由溶解度驱动的。该研究强调了气候变化下海洋资源管理的必要性，以应对OMZ变更带来的挑战提供了科学基础。

S22-O-11

北太平洋硝酸盐动力学过程：海盆尺度硝酸盐同位素信号的演变

杨进宇*，徐光坤，高树基，戴民汉

1 近海海洋环境科学国家重点实验室，海洋与地球学院，厦门大学，厦门 361102

* jyyang@xmu.edu.cn

基于中国 GEOTRACES 计划首个西太平洋航次，本研究首次报道了西北太平洋流涡区、黑潮区和北赤道流影响区全水柱硝酸盐稳定氮、氧同位素组成（$\delta^{15}N_{NO3}$、$\delta^{18}O_{NO3}$），并以此解析西北太平洋的氮循环过程。结合所有在太平洋发表的硝酸盐同位素数据，分析海盆尺度硝酸盐同位素的演变及其与氮循环过程和水团传输的关系。相比北赤道流影响区，西北太平洋流涡区和黑潮区次表层水体存在显著的$\delta^{15}N_{NO3}$低值和超额氮高值，反映了固氮作用信号矿化产物的累积。上述发现与在流涡区和黑潮区观测到较高的固氮速率相一致。比较西北太平洋北赤道流影响区和东赤道太平洋次表层的硝酸盐同位素特征，发现其沿着热带太平洋纬向分布呈现均一性，这说明赤道流能够将东热带太平洋的硝酸盐特征信号快速且保真地输送至西热带太平洋。北太平洋流涡区中层水比其源头水团——在高纬度海域生成的具有低盐特征的北太平洋中层水（NPIW）的$\delta^{15}N_{NO3}$高1–2‰，说明源头水团向低纬度移动过程中混合了东赤道太平洋低氧区具有反硝化作用信号的水团，并且累积再矿化的营养盐。由于西北太平洋流涡区与ALOHA站中层水的硝酸盐特征相似，暗示上述两种过程可能主要发生在东太平洋。对于深层水（> 3000 m），北赤道流影响区的硝酸盐特征与流涡区存在明显差别，表现为相对低$\delta^{15}N_{NO3}$和低超额氮的信号。这说明北赤道流影响区深层水主要来源于南极绕极深层水。西北太平洋边缘海（南海）相比开阔海盆区存在明显的N/P比降低，而相应的$\delta^{15}N_{NO3}$变化很小，暗示陆架边缘海沉积物过程对于氮去除的重要性。

S22-O-12

P-limitation promotes carbon export in the cosmopolitan phytoplankton *Emiliania huxleyi*

Cong Wang[1,2]*, Senjie Lin[1,3]

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, 361102

2 College of the Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen, 361102

3 Department of Marine Sciences, University of Connecticut, Groton, Connecticut, United States of America

* cong@xmu.edu.cn

CO_2-promoted global warming is generally expected to cause decreases in nutrient availability, photosynthetic carbon fixation, and carbon export in the ocean. Here, using transcriptomics, miRNAomics, and physiological measurements, we report that phosphorus (P)-nutrient limitation enhances specific carbon export rate in the cosmopolitan phytoplankton *Emiliania huxleyi*. Under P-limitation, cell size and cellular contents of organic (3.4-fold) and inorganic (5-fold) carbon increased substantially due to cell division arrest observed and CO_2 incorporation into C4 compound suggested by transcriptomic data. Furthermore, our data indicate that calcification is promoted under P-deficiency through transcriptional and epigenetic regulations. Although calcification releases CO_2, the considerable increase in cellular carbon content and sinking rate outweigh CO_2 elevation, yielding a net increase in carbon export. Our findings, along with the anticipated expansion of coccolithophorids-favoring habitats, suggest that coccolithophorids may produce stronger negative feedback to curb global warming than we currently understand solely based on dimethylsulfide production.

S22-O-13

多时间尺度北太平洋环流变化对海洋固碳作用的影响

宫勋*

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 100871

* gongxun@cug.edu.cn

“生物碳泵”和“物理碳泵”两个过程是控制大气二氧化碳进入海洋的两个最主要途径。在海盆尺度上，海洋环流和垂向层化的变化既直接决定了“物理碳泵”过程的效率，又通过改变背景物理场间接控制“生物碳泵”的成效。因此，对全球海洋碳循环的研究，需要紧密结合海洋环流的动力学和热力学过程来进行。在整个气候系统中，北太平洋及其边缘海的洋流系统主要通过两个过程来控制碳收支：（1）表层洋流系统的演化对海洋初级生产力的影响；（2）亚北极太平洋垂向通风对表层海洋与深海碳储库之间的碳通量的控制作用。前者对海洋固碳作用的影响，体现在季节性到多年际尺度；而后者跨度更大，从季节性一直延续到“冰期-间冰期”尺度。因此，研究全球变暖背景下北太平洋环流变化对区域海洋固碳作用的影响，需要对不同的时间尺度上海洋环流所起到的作用进行区别认识和综合考量。本研究依托数据分析和计算机数值模拟，尝试从季节性、年代际、多年际、百年际和千年际尺度上，从对“海洋初级生产力”和“与深海碳库交换”两个角度，对北太平洋及其边缘海环流系统对海洋固碳作用的影响进行阐述。

S22-O-14

Typhoon-induced near-inertial gyroscopic waves and turbulence on the continental slope of the South China Sea

Xiaohui Xie*，Han Zhang，Dake Chen

1 自然资源部第二海洋研究所卫星海洋环境动力国家重点实验室，杭州 310012

* xxie@sio.org.cn

Mooring observations on the continental slope in the northern South China Sea are presented to reveal near-inertial responses in the deep water during typhoon Mangkhut in September, 2018. Mangkhut caused very strong near-inertial response in the upper ocean, with near-inertial currents larger than 1.0 m/s near the sea surface. These surface-enhanced near-inertial waves propagated downward but only reached the middle layer (~800 m). In the

deep water (below 900 m), a fast near-inertial response was observed during Mangkhut. The deep-generated near-inertial waves caused large (>200 m) isopycnal excursions and near-rectilinear polarization. These waves were different from the surface generated near-inertial waves with near-circular polarization but consistent with gyroscopic waves in weak stratified water with small buoyancy frequency *N*. Overturning of 1-200 m caused by breaking internal tides at critical topography provided step structures of density profiles with small *N*, supporting generation of near-inertial gyroscopic waves in the deep water. Furthermore, the deep-generated near-inertial waves enhanced vertical current shears near the seafloor, caused shear instability and leaded to an increase of the bottom turbulent dissipation rate.

S22-O-15

南海西沙海槽深层季节内变率观测研究

舒业强[1]*，王东晓[2]，陈举[1]，谢强[3]

1 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室，广州 510301

2 中山大学海洋科学学院，珠海，519082

3 中国科学院深海科学与工程研究所 三亚，572000

* shuyeq@scsio.ac.cn

南海西沙多年潜标观测发现该海域深海存在强的季节内变率，其典型周期为 9-20 天、30-110 天周期。在近底层主要为 9-20 天周期，表现为底层加强的特征，对近底层环流变率的解释率最高达到 50%；而 30-110 天周期的变化主要其对深层环流变率的贡献率随深度增加逐渐减少，在离底 280 米深度上，对深层环流的解释方差最大能达到 45% 。这两种周期的季节内变率被证明其分别为底层强化的地形罗斯贝波与独立与上层的深海涡旋。研究表明底层强化的地形罗斯贝波与深海涡旋均为深层环流对上层中尺度扰动的动力响应。上层中尺度扰动引起了跨越等深线的流，其水柱的压缩/拉升导致了水体位势涡度的变化，进而在陆坡地形区域激发底层强化的地形罗斯贝波。特别地，当一对冷、暖涡西移经过西沙海山地形时：一方面，对于深层而言，在冷涡的东侧（即暖涡的西侧）水柱压缩，由于位涡守恒，深层出现负涡度，产生深海涡旋；另一方面，冷、暖涡旋的交界面将形成一个强的锋面，出现强的北向流轴，北向流与海山地形相互作用，由于侧向摩擦，在海山西侧会形成负涡度，进而驱动深层的气旋式环流。深海涡旋与底层强化的地形罗斯贝波很可能由于其强的流速剪切，在海山地形区域很可能激发了强的亚中尺度动力过程，导致了其能量正向串级。

S22-O-16

南海深层西边界流与涡旋相互作用的数值模拟研究

周木平[1,2]，王桂华[2]*，刘文虎[2]

1 自然资源部第二海洋研究所卫星海洋环境动力学国家重点实验室，杭州 310012

2 复旦大学大气与海洋科学系/大气科学研究院，上海 200438

* wanggh@fudan.edu.cn

利用一个简单的约化模式探讨了南海深层西边界流与深层涡旋作用的动力过程。本文设计了一系列实验探讨了不同强度的深层西边界流与不同强度的深层涡旋相互作用过程，发现涡旋的耗散过程与深层西边界流的强弱紧密相关：深层西边界流越强则涡旋耗散越快，涡旋越弱耗散也越快；同时，不同强度的涡旋与不同强度的西边界流的相互作用的动力过程也有显著差异。进一步的研究结果表明，这些过程的差异对泥沙的输运有一定的影响。

S22-O-17

Topographic rossby waves in the abyssal South China Sea

Qi Quan[1], Zhongya Cai[2], Guangzhen Jin[3], Zhiqiang Liu[1]*

1 Department of Ocean Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, China

2 State Key Laboratory of Internet of Things for Smart City and Department of Civil and Environmental Engineering, University of Macau, Macau, China

3 College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai, China

* quanq@sustech.edu.cn

Topographic Rossby waves (TRWs) in the abyssal South China Sea (SCS) are investigated using observations and high-resolution numerical simulations. These energetic waves can account for over 40% of the kinetic energy (KE) variability in the deep western boundary current and seamount region in the central SCS. This proportion can even reach 70% over slopes in the northern and southern SCS. The TRW-induced currents exhibit columnar (i.e., in-phase) structure in which the speed increases downward. Wave properties such as the period (5–60 days), wavelength (100–500 km), and vertical trapping scale (10^2–10^3 m) vary significantly depending on environmental parameters of the SCS. The TRW energy propagates along steep topography with phase propagation offshore. TRWs with high frequencies exhibit a stronger climbing effect than low-frequency ones and hence can move further upslope. For TRWs with a certain frequency, the wavelength and trapping scale are dominated by the topographic beta, whereas the group velocity is more sensitive to the internal Rossby deformation radius. Background circulation with horizontal shear can change the wavelength and direction of TRWs if the flow velocity is comparable to the group velocity, particularly in the central, southern, and eastern SCS. A case study suggests two possible energy sources for TRWs: mesoscale perturbation in the upper layer and large-scale background circulation in the deep layer. The former provides KE by pressure work, whereas the latter transfers the available potential energy (APE) through baroclinic instability.

S22-O-18

深海底边界层的流场结构与动力过程

吕丹妮,，张艳伟*，刘志飞,，赵玉龙，张晓栋

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* ywzhang@tongji.edu.cn

深海底边界层流场结构影响近底层颗粒物的水平搬运与垂向沉积或再悬浮，是研究海洋沉积物和浮游生物等物质在深海沉积的关键过程和全球碳循环的突破口。而由于观测数据的缺乏，深海底边界层的基本理论依然停留在实验室和数值模拟的认识。本文利用在南海北部水深 2100m 处连续 7 个月底边界层内海流剖面高分辨率观测数据，研究深海底边界层海流结构的时空变化特征。结果表明：①南海北部深海底边界层内的海流主要受全日潮、半日潮、大小潮以及~33h 周期的近惯性运动影响，具有明显的季节性变化；②底边界层中的潮流主要为斜压潮，其流速振幅和相位随深度变化，伴有流向倒转的现象，且倒转出现的深度在全日分潮中普遍比半日分潮高，受大小潮、季节变化的影响显著。深海底边界层的潮流调控机理将为进一步研究深海近底层湍流混合的时空变化过程提供理论基础。

S22-O-19

东沙东南等积体沉积动力的现场观测

赵玉龙*，刘志飞，张艳伟，张晓栋，凌晨，张靖雯，赵玖强，吕璇，马鹏飞，林宝治，俞恂，王轶婕

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* yeoloon@tongji.edu.cn

等深流被认为是全球深海沉积物最重要的搬运介质，其所搬运沉积物形成的等积体广泛分布于全球海洋中。但是，目前对等积体及等深流的主要学术观点均来源于对已形成的沉积产物的描述，缺乏对沉积动力过程的观测研究。本次研究对南海北部东沙群岛东南等积体沉积动力开展深水锚系观测，分别在等积体之上、等积体与海山之间的壕沟（moat）内及等积体范围外深水盆地布设锚系，以理解等积体形的沉积动力特征。研究发现，等深流仅存在于等积体之上 200 m 水层范围内。传统认为等深流最强的壕沟内不存在等深流，其亚惯性流为沿壕沟主轴方向的低速震荡性水流。在等积体下方的深海盆地中，则为常年东北向的持续性水流。同时，发现等积体上悬浮沉积物浓度与等深流强度不存在对应关系，相反，与潮流的最小值存在较好对应关系，说明潮流的扬筛作用可能是控制等积体上沉积动力的主要因素：潮流较强时，等深流携带的沉积物无法发生沉降，大多数被搬运至更下游的海区；而只有在潮流强度较弱的时期，沉积物才能发生沉降，形成等积体。同样，在传统上认为等深流最强的壕沟内，也存在着沿壕沟主轴方向的潮流，其强度比亚惯性流高至少一个数量级，是壕沟内沉积动力过程以及壕沟形成的主要控制因素。本次研究的观测结果挑战了传统沉积学对于等积体沉积动力机制的认识，突显了潮流在此过程中所起的重要作用，对全球等积体沉积记录的解释具有重要参考意义。

S22-O-20

南海冷水珊瑚生态系统观测与研究展望

党皓文[1]*，翦知湣[1]，李建如[1]，王晓雪[2]，曾治惟[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 中国科学院南海海洋研究所，南京 510301

* hwdang@tongji.edu.cn

随着我国载人和无人深潜技术的进步，关于海洋和海底的新发现层出不穷、新课题不断涌现，其中之一就是南海深潜发现的冷水珊瑚。尽管国际冷水珊瑚研究已有数十年历史，我国海洋生物学界对冷水珊瑚也并不陌生，但冷水珊瑚作为底栖生态系统和海洋物质能量循环环节的系统性认识在我国仍是个新鲜事物，相关的认知仍然缺乏。基于现有对南海中、北部冷水珊瑚的调查结果，我们初步建立了南海冷水珊瑚的群落特征、环境偏好以及骨骼成分等的直观认识，提出冷水珊瑚在海洋生态、生物地球化学循环以及古海洋学重建中具有重要科学意义。据此，希望引起国内相关领域研究者的关注，通过开展多学科交叉的观测与研究，开拓我国冷水珊瑚研究的新领域。

S22-O-21

末次盛冰期以来北太平洋中深层水溯源

郑旭峰[1]*，高树基[1,2]，吴淑壮[3]，Lester Lembke-Jene[3]，Dirk Nürnberg[4]，陈忠[5]，颜文[5]，卢丽娟[5]，Ralf Tiedemann[3]

1 海南大学南海海洋资源利用国家重点实验室，海口 570228

2 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361102

3 Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research，Bremerhaven

4 GEOMAR，Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung，Kiel
5 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301
* xufengzheng@hainanu.edu.cn

现如今北太平洋中深层水源于鄂霍茨克海地区，但是关于冰消期北太平洋中深层水的来源却很有争议。对堪察加半岛东侧的孔位进行磁化率各向异性和古地磁分析，重建水团的强度和方向演变历史。研究发现：末次盛冰期以来北太平洋中深层水主要源于鄂霍茨克海，且洋流强度呈现前千尺度震荡。北太平洋中层水的增强超前于北大西洋深层水的减弱，这与传统的北大西洋驱动北太平洋-北大西洋“跷跷板效应”不一致，表明北太平洋气候在全球气候变化过程中扮演重要角色。

S22-O-22

蛟龙海山底层流速观测特征及其沉积效应

刘文虎[1]，王桂华[1]*，周怀阳[2]，周木平[3]，陈长霖[1]

1 复旦大学大气与海洋科学系/大气科学研究院，上海 200438
3 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 自然资源部海洋第二研究所，杭州 310012
* wanggh@fudan.edu.cn

海山是海洋中最常见的一种海底地貌特征。这些形态各异且分布广泛的海山对海洋内部及海山周围的环流形态、沉积效应和生态环境等都具有重要的影响。南海深海平原拥有众多的海山，蛟龙海山就是其中一座位于南海中部海盆的小海山。2018 年 4~5 月，在一次南海遥控深潜综合调查航次中，利用遥控深潜器对蛟龙海山进行调查。此次实验不仅开展了对蛟龙海山上铁锰结核的精细化调查，而且还利用深潜器的优势，通过直接在蛟龙海山上放置海流计和 CTD 等观测仪器，获得了蛟龙海山四个站位的底层流速、温度和溶解氧等的观测数据。

通过分析蛟龙海山的第一手观测资料，我们发现在蛟龙海山的底层流速存在显著的空间差异。特别是在蛟龙海山次高峰底层观测到间歇性强流现象，最大瞬时流速可达 69 cm/s，并伴随全日潮振幅和余流放大的特征。观测和模式结果表明，蛟龙海山底层强流具有典型海山捕获波的特征，海山捕获波与潮流发生共振可能是出现强流的原因。此外，还进一步对蛟龙海山底层流速如何影响铁锰结核进行初步探讨。分析结果显示，铁锰结核大面积分布区域的底层流速特征平稳，容易引起沉积物再悬浮，从而导致该区域沉积速率相对较低，为铁锰结核的形成创造良好的生长环境。

S22-O-23

利用反射地震方法研究南海东北部内孤立波相速度特征

邝芸艳[1]*，宋海斌[1]，关永贤[2]，范文豪[1]

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海，200092
2 广州海洋地质调查局，广州，510760
* 1531048803@qq.com

内孤立波作为一种独特的海洋学现象（Alford et al., 2015），具有强非线性特征。内孤立波在南海东北部有大量的观测和研究，内孤立波的研究对于研究海洋混合、初级生产力、海洋声学、生物过程、沉积物再悬浮、海底地形地貌、油气工程、军事活动等均有重要影响。通常有三种方法来研究内孤立波的传播演化：锚系观测、卫星遥感和数值模拟。锚系观测是定点观测，可得到随时间变化的信息，但站位间隔较大，空间分辨有限；卫星遥感能获得内孤立波横向分布，但是反演的结构参数误差较大；而数值模拟采用简化模型，与真实而复杂的海洋存在一定差距。地震海洋学具有高横向分辨率，采集数据时间短并有大量历史数据的特点，在内孤立波垂向结构等研究方面有一定优势。

地震海洋学的数据来源主要是传统的海洋地震勘探历史数据，这些数据之前主要目的是用于研究地层和构造，而地震海洋学则重点关注海水层结构。对这些历史勘探数据重新处理可以为研究海水层提供了大量的数据。利用反射地震学方法在东沙海域捕捉到波形形态丰富的内孤立波，这为深入研究内孤立波的特征提供了依据。

我们研究了南海东沙海域内孤立波的相速度与振幅和海底深度的关系。内孤立波相速度是刻画海水动力学特征的一个重要参数，对进一步研究内孤立波所引起的海水混合有重要意义。在本研究中，内孤立波在垂向上最大振幅值作为振幅。内孤立波的相速度分布随着海底深度由深变浅而趋于集中，在海底深度较大处，内孤立波相速度值较大。对于内孤立波分布较为集中的 100-400m 海底深度，在相近的海底深度范围内，内孤立波相速度变化较大，这反映了内孤立波在浅化过程中与海底界面复杂的相互作用，也有可能是内孤立波本身的波形发育对相速度的影响。对内孤立波的相速度和振幅的统计结果表明，相速度值与振幅存在正相关的关系，振幅越大，对应的内孤立波相速度值越大。但是，在内孤立波振幅范围 20-60m 处，相速度的分布范围较大，这些相速度值对应的内孤立波是分布在 100-400m 海底深度，即内孤立波的相速度受到振幅和海底深度的共同作用。我们构建了内孤立波的相速度与内孤立波振幅和海底深度的经验公式。

2009 年 9 月 20 日，东沙台地附近的地震海洋学剖面上捕捉到一个第二模态内孤立波，结合再分析水文资料进行了综合分析。在多道地震剖面提取同相轴，并得到第二模态内孤立波的振幅垂向分布曲线和海底深度。利用不同偏移距的叠前共偏移距道集(COGs)剖面可以按时间顺序观察该第二模态内孤立波的细结构变化。在此基础上，利用COGs方法估算了第二模态内孤立波在地震剖面上的波峰和波谷部分的视相速度，并根据卫星数据得到的内孤立波传播方向进行校正。根据 KdV 模型，利用再分析水文资料理论上计算内孤立波的垂直结构和传播速度，与地震观测结果进行比较。

研究表明，内孤立波的相速度受到其振幅和海底深度的共同作用，我们构建了内孤立波的相速度与内孤立波振幅和海底深度的经验公式。对于本研究观测到的第二模态内孤立波，垂向上波形不对称，波峰和波谷的相速度不同。本研究中由地震方法估算的内孤立波的相速度与 KdV 理论相速度的值大体一致。

S22-O-24

南海东北部高屏海底峡谷晚全新世浊流沉积的粒度特征及其搬运方式

黄华珍[1]，刘志飞[1]*，王雨薇[1]，Christophe Colin[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, Orsay 91405, France

* lzhifei@tongji.edu.cn

高屏海底峡谷是全球谷底地形最陡、构造最为活跃、单位面积输沙量最大的海底峡谷，是台湾西南部沉积物输向南海深海的主要通道，频繁发育深海浊流活动。该项研究选取高屏海底峡谷中段采集的 MD18-3565 岩芯（水深 2697 m），通过高分辨率的陆源碎屑激光粒度分析，研究晚全新世以来浊流发育的沉积物粒度特征及其搬运方式。结果显示，MD18-3565 岩芯由中细层泥质和细薄层砂质沉积互层组成，泥质粉砂层占主体（71%），砂质粉砂层（18%）和砂质层（11%）为辅。全部的砂质层及其上发育砂质粉砂层构成基本的粒序层理浊流沉积单元，粒度分布的 C 值（粒度累积曲线颗粒含量 1%处对应的粒径）和 M 值（中值粒径）在双对数坐标图的分布平行于 C=M 基线，显示典型的浊流沉积特征。同时，这些浊流层沉积物粒度频率曲线形态为尖锐且负偏的单峰，峰度

值大于 2.273，偏度小于-0.580。浊流层粒度概率累积曲线趋势表现为三段趋势分布，其中两段趋势线斜率较陡，另一条趋势线斜率较缓，指示该浊流沉积物的搬运方式以跳跃为主，悬浮方式为辅，不发育滚动方式。研究认为，高屏海底峡谷晚全新世以来的浊流沉积物的搬运方式以跳跃和悬浮作用，明显不同于以往深海峡谷浊流活动认识的近底滚动作用，这为进一步研究海底峡谷浊流搬运机制提供重要信息。

S22-O-25

基于 BGC-Argo 的南海海盆净群落生产力和群落呼吸研究

徐超，黄毅彬，黄邦钦*

1 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室、环境与生态学院，厦门 361102

* bqhuang@xmu.edu.cn

随着全球气候变暖的加剧，海洋在吸收大气 CO_2 和调节地球气候系统的作用越来越成为人们关注。海洋生物泵是海洋吸收大气 CO_2 的一个重要途径，海洋真光层净群落生产力和弱光层生物呼吸速率是定量生物泵潜力的重要指标。生物地球化学剖面漂流浮标（BGC-Argo）是一种高度自动化的海洋自主观测平台，为深入研究南海生物泵过程提供了具有高时空分辨率的数据。本研究利用 2014 年 6 月厦门大学在南海海盆投放的一台 BGC-Argo 浮标的溶氧数据，结合氧气物质通量模型，首次对南海海盆高时间分辨率、全年尺度的净群落生产力进行了估算。结果显示南海上层（0-56 m）净群落生产力呈现显著的季风驱动的季节变化：在东北季风盛行的季节月累计净群落生产力（0.29 mol C m^{-2}）高于西南季风盛行的季节（0.17 mol C m^{-2}）。大部分的异养状态（即群落净生产力 < 0）出现在西南季风盛行的夏季。全年尺度（2014 年 7 月-2015 年 7 月）累积净群落生产力为 2.7±1 mol C m^{-2} a^{-1}。我们进一步结合调整后的氧气物质通量模型，对弱光层水平输送过程引起的溶氧变化进行涩度（spice）校正，估算得到南海海盆（2014 年 7 月-2016 年 7 月）弱光层（150-1000 m）的生物呼吸约为 3.1 mol C m^{-2} a^{-1}。本研究还比较了基于不同观测方法（如捕获器、培养）的结果。

S22-O-26

Nutrient limitation of biological nitrogen fixation across the oligotrophic western North Pacific Ocean

温作柱，姜若桐，戴荣波，林文芳，洪海征，史大林*

1 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361102

* dshi@xmu.edu.cn

Biological nitrogen fixation is known as an important source of “new” nitrogen to support carbon export in the oligotrophic North Pacific Ocean. However, aside from the Hawaii Ocean Time-series Station and its adjacent regions, the biogeography and limiting nutrient(s) of nitrogen fixation in the vast North Pacific, especially the subtropical western North Pacific, are poorly understood. Here we report the community composition and the identity of limiting nutrient(s) of diazotrophs across the oligotrophic western North Pacific, spanning from the northern basin of the South China Sea (SCS) to the North Pacific subtropical gyre. In the oliogtrophic northern SCS, the diazotrophic community was dominated by the filamentous cyanobacteria *Trichodesmium* spp. and was co-limited by iron and phosphorus. In comparison, unicellular diazotrophic cyanobacteria especially UCYN-B thrived in the western North Pacific

subtropical gyre. Increased nitracline depth and enhanced iron inputs in this region promoted nitrogen fixation and hence drew down surface phosphorus to a limiting level. In the regions further eastward, the growth of major diazotrophic groups was likely limited by the decreased supply of iron. We suggested that the the supply of iron and phosphorus as well as the competition between diazotrophs and non-diazotrophs are key factors responsible for the observed switches of diazotroph community composition and its limiting nutrients in the oligotrophic western North Pacific Ocean.

S22-O-27

南海不同水层溶解有机物光化学活性及其对微生物可利用性的影响研究

宋贵生[1]*，杨昉明[1]，Huixiang Xie[2]，Philippe Massicotte[3], Hao Wei[1]

1 天津大学海洋科学与技术学院，天津 300072

2 Institut des sciences de la mer de Rimouski, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec, G5L 3A1, Canada.

3 Takuvik Joint International Laboratory (UMI 3376) Université Laval (Canada) & Centre National de la Recherche Scientifique (France), Université Laval, Québec, G1V 0A6, Canada.

* guisheng.song@tju.edu.cn

溶解有机物（DOM）的生产、消耗和转化在气候变化过程中扮演着重要角色。海水中大部分 DOM 以微生物惰性形态存储在深海中，基于 ^{14}C 手段测定的深海 DOC 年龄为 4000-6000 年，表明深海 DOM 在大洋环流作用下多次进入海洋透光层并经历光化学等过程的转化。本研究对南海和菲律宾海不同深度海水样品中 DOM 的光化学活性进行深入研究。结果表明深海水体中有色溶解有机物（CDOM）和类腐殖质荧光 DOM（FDOM）光漂白活性显著高于上层水体，而光化学过程既可分解又能产生类蛋白类 FDOM。光化学转化后，溶解有机碳（DOC）的微生物可利用性显著提高，而该过程又重新产生 CDOM 和 FDOM。因此，在上升流作用下，深海 DOM 进入海洋透光层后，光化学和微生物共同作用是海洋惰性 DOM 分解的重要途径。

S22-O-28

Tidal-driven submarine groundwater discharge and its influences on the carbonate system of a coastal coral reef in the northern South China Sea

Zong-Pei Jiang[1]*, Jiacheng Lv[1], Quanlong Li[2], Minhan Dai[2], Shuh-Ji Kao[2,3], Nan Zheng[4], Wei Fan[1]

1 Ocean College, Zhejiang University, Zhejiang, China.

2 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, China.

3 State Key Laboratory of Marine Resource Utilization in South China Sea, Hainan University, Haikou, China

4 National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian, China

* zpjiang@zju.edu.cn

The driving mechanisms of submarine groundwater discharge (SGD) in Sanya Bay in the northern South China Sea were investigated using a combination of time-series observation and modeling, as well as the influences of SGD on the carbonate system of a coastal coral reef. SGD flux, characterized by high variability on flood-ebb and spring-neap tidal cycles, was found to be mainly driven by tidal pumping. SGD posed more significant impacts on coastal water at the ebb phase during the spring tide

(higher SGD flux and extended offshore reach of SGD impact), with nearshore water to be more heavily affected. Under the influence of SGD, the diurnal ranges of the carbonate variables observed in the coral reef system were 124 to 313 μmol kg^{-1} for dissolved inorganic carbon, 29 to 101 μmol kg^{-1} for total alkalinity, 179 to 717 μatm for partial pressure of CO_2, and 0.20 to 0.45 for pH. The variations of the CO_2 system were dominated by the enhanced SGD input during the spring tide, while biological metabolism of coral reef played a predominant role during the neap tide. The intensified SGD input resulted in higher diurnal variations of the carbonate variables, enhanced acidification, and oceanic CO_2 emission during the spring tide. The SGD-associated inorganic carbon flux is an additional stressor influencing coastal acidification in the context of rising atmospheric carbon dioxide.

S22-O-29

南海北部浮游有孔虫 *Globigerinoides sacculifer* 氧碳同位素的季节和年际变化特征及其全球环境变化意义

张靖雯，刘志飞*，赵玉龙，张艳伟，张晓栋，凌晨

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* lzhifei@tongji.edu.cn

海洋浮游有孔虫的氧和碳稳定同位素能够有效地记录其生活的上层水体温度、盐度和生产力等环境信息，因而被广泛地用于研究多时间尺度的气候和环境变化。然而，浮游有孔虫氧碳同位素响应诸如季风和厄尔尼诺—南方涛动（ENSO）等长期海洋和气候变化机制的研究仍然不多。南海上层水体的化学性质受到东亚季风活动的强烈影响，并叠加西太平洋暖池水的长年入侵，为研究南海响应区域和全球长期气候和环境变化提供天然的实验场所。本研究选取南海北部陆坡位于 500 m 水层连续 7 年（2013 年 5 月—2020 年 5 月）的沉积物捕集器样品，通过分析其浮游有孔虫 *Globigerinoides sacculifer*（*G. sacculifer*）氧碳稳定同位素组成，研究其季节和年际的长期变化特征，以期揭示区域和全球气候和环境变化的指示意义。

研究结果显示，*G. sacculifer* 的 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 值均分别在–3.0‰至–1.8‰和 0 至 1.2‰之间波动，在时间序列上均存在明显的季节性变化。其中，$\delta^{18}O$ 高值（平均-2.87‰）和 $\delta^{13}C$ 低值（平均 0.09‰）均出现在冬季（12 月至次年 2 月），$\delta^{18}O$ 低值（平均-2.01‰）出现在秋季（8–10 月），而 $\delta^{13}C$ 高值（平均 1.09‰）出现在夏季（5-7 月）。研究认为，在季节性变化的尺度上，冬季风发育时的混合层厚度加深，是引起 *G. sacculifer* 生活的次表层水体热量迅速散失、温度降低，从而造成 $\delta^{18}O$ 相对高值；而 $\delta^{13}C$ 相对低值则与其引起的初级生产力升高有关。在年际变化的尺度上，$\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 值在强厄尔尼诺状态（2015 年 5 月—2016 年 2 月）均比正常年份同期偏重，认为是与西太平洋海水入侵增加引起的海水盐度升高和生产力降低有关。南海浮游有孔虫 *G. sacculifer* 氧碳同位素记录的海洋上层温度、盐度和生产力特征，直接响应了季风和厄尔尼诺变化，对于研究区域和全球长时间尺度的气候和海洋环境变化具有重要意义。

S22-O-30

从海洋有机碳到干酪根——打通“最后 1 公里”？

焦念志*

1 厦门大学，361005，厦门

* jiao@xmu.edu.cn

边缘海既是高生产力海区也是陆源物质沉积的重要场所，因而也是油气资源的重要场所。海洋生物的各种生理生态过程不断改造着海水有机质的化学组分，经由微型生物碳泵所产生的惰性溶解有机碳（RDOC）构成了海洋有机碳的主体。干酪根作为石油的前体已有很多研究，但其海洋有机质来源尚未明了。干酪根的组成非常复杂，从化学结构看，很多官能团，都与 RDOC 非常相似。尽管 RDOC 可在海水中滞留上千年，其归宿除了被海流带到海表被光化学降解之外，还有一个重要的去处是聚合沉降（Jiao et al., 2014）。RDOC 化合物的惰性使其在沉积物中更容易被保存下来，更有可能成为干酪根的前体。本文结合文献和实验研究结果分析有机碳的惰性和黏土矿物质保护（包括物理吸附、孔隙吸附，层间保护、化学键结合等）等多种机制 (Blattmann et al., 2019; Hemingway et al., 2019; LaRowe et al.,2020)，力图打通从海洋有机质到地层干酪根的“最后一公里”。

S22-P-01

Auditing the capricorn eddies by using a new eddy retrieval method

Zhibing Li[1,2], Zhiqiang Liu[1,3]*, Xiaohua Wang[2,4] and Jianyu Hu[5]

1 Department of Ocean Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, 518055, China; lizb@sustech.edu.cn

2 The Sino-Australian Research Centre for Coastal Management, The University of New South Wales, Canberra, ACT, Australia;

3 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou, People’s Republic of China; liuzq@sustech.edu.cn

4 School of Science, The University of New South Wales, Canberra, ACT, Australia; x.wang@adfa.edu.au

5 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen, 361102, China.

* liuzq@sustech.edu.cn

The Capricorn Eddies are transient and intermittent phenomena as a result of the East Australian Current colliding with the continental shelf edge near the Fraser Island, Australia. The understanding of the Capricorn Eddies is fragmented, which is limited by the observational data. Traditional eddy detection methods cannot well resolve the Capricorn Eddies due to their short temporal and small spatial scales. A new eddy-detection method is developed in this study based on the eddy-temporal evolution rather than traditional single eddy snapshot detection on the h-plane. The new method efficiently avoids the failure of detecting eddies which have inconspicuous surface features during some stages of their evolution and eliminates the excess detection. The developed method is implemented to detect the Capricorn Eddies based on 26 years’ sea level anomaly data. Characteristics of the Capricorn Eddies including the temporal and spatial scales, intensity preferences and the evolution details are then resolved. Remarkable seasonal variations and interannual variations of the Capricorn Eddies are also observed. A comprehensive picture of the Capricorn Eddies is provided and is crucial to further understand and predict the behaviours of the local ecosystems. The developed method also provides a potential insight into the global unrevealed eddies.

S22-P-02

Numerical Simulations on Water renewal of the Upper Gulf of Thailand

Qinya Zhang[1], Zhiqiang Liu[1]*, Khanittha Uthaipan[2], Zhibing Li[1], Zixuan Huang[1]

1 Department of Ocean Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen

2 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen

* liuzq@sustech.edu.cn

Water renewals and their spatial and temporal variability in the Upper Gulf of Thailand (UGoT) in 2019 are examined by using a two-level nested ocean circulation model with three modules including Particle tracking module (PTM), Constituent-oriented Age and Residence time Theory (CART) module, and Eulerian Representation of Lagrangian Labels (ELAL). The model reasonably reproduces the typical patterns of the seasonal mean circulations in UGoT, and show that currents in UGoT is predominantly determined by the monsoonal wind. Two-layered exchanging flows, composed by an extensive onshore invasion of surface waters, are established in summer when southwesterly winds prevail. In winter when the northeasterly winds prevail, circulations in the NGOT spin cyclonically. The surface waters are offshore transported. Numerical experiments were conducted to calculate the residence time in the wet season and dry season based on the particle tracking module. We also utilize the CART module to calculate the river water age. The water age of oceanic waters has been calculated using CART module and ELAL module. Dynamical mechanisms controlling water column stability, are also discussed. A stability analysis suggests that the waters in the dry season is mixed by showing a Richardson Number greater than 0.25, while the waters are more stratified in the wet season.

S22-P-03

Interannual variability of shelf circulation in the northern South China Sea

Yongfei Deng, Zhiqiang Liu*

1 Department of Ocean Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, China

* liuzq@sustech.edu.cn

We investigated the interannual variability of shelf circulation and its responses to El Nino-Southern Oscillation (ENSO) in the Northern South China Sea (NSCS) by using a well-validated high-resolution regional ocean model. We found that the NSCS shelf climate system is sensitive to the ENSO regimes shift. The shelf circulation and the advected plume water plays a key role in altering the baroclinic structure which in turn affects the shelf circulation. The shelf circulation favors northeastward and onshore (southwestward and offshore) flow anomalies in El Nino (La Nina) years. The controlling factors including atmospheric wind forcing and large-scale oceanic current, and their related driving processes are discussed. The local wind, in response to changes of the East Asia Monsoon and basin-scale wind stress curl in accordance with ENSO, is the dominant forcing for the inner-shelf currents (shallower than 150m-isobath). The outer-shelf current (deeper than 150m-isobath and inside the Taiwan Strait) is prominently affected by wind stress curl and the Kuroshio intrusion. The energetic unstable slope jet accompanied with the strong intrusion from the Luzon Strait may also alter the shelf circulation through its interaction with the inner-shelf part, and affect cross-shelf water exchange by generating eddies. The cross-shelf current is spatially affected by the interactions

among monsoon wind, river plume, shelf upwelling jet and slope current. Stronger cross-shelf exchange exists over the shelf to the east of Hainan Island, the head of widen shelf to the east of Pearl River Estuary, inside the Taiwan Strait and along the slope. The along-isobath pressure gradient force (PGF) is mostly responsible for the cross-shelf water exchange over the shelf, yet the origin of the PGF is spatially different. Over the inner-shelf, the intensified shelf current, which is mainly regulated by the wind stress associated with ENSO as well as a larger exchanging flow in the Taiwan Strait, contributes to the cross-shelf current through relative vorticity advection. Over the outer-shelf neighboring the slope, the JEBAR effect is more important because of the existence of the energetic slope current.

S22-P-04S

利用反射地震方法研究南海东北部内孤立波的浅化特征

龚屹[1]，宋海斌[1]*，范文豪[1]，关永贤[2]，张锟[1]，邝芸艳[1]

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海，200092

2 广州海洋地质调查局，广州，510760

* 1810587@tongji.edu.cn

中国南海内孤立波极为发育，是研究内孤立波的重要海域之一。内孤立波传播向陆坡陆架传播称为浅化，期间会发生极性反转和破碎等现象。内孤立波浅化对于海洋动力学过程和人类活动都有十分重要的意义。一方面，内孤立波浅化时引起湍流增强，这使得能量从中尺度向小尺度传递，对海洋中能量级联起到重要作用（Wunsch and Ferrari, 2004）。另一方面，内孤立波浅化时引起的垂向混合为海洋中上下层水体中物质和能量的交换和运输提供了动力（Boegman and Stastna, 2019）。

利用锚系和卫星等传统的海洋观测方法观测内孤立波浅化过程是比较困难的。因为锚系只能观测到海洋物理参数随时间的变化，而卫星无法观测到海水的内部结构。Orr and Mignerey（2003）利用高频声学观测到了内孤立波浅化的极性反转过程，但是观测深度较浅且易受到噪声影响。在本研究中，我们利用反射地震方法研究了南海东沙海域内孤立波的浅化特征。反射地震方法的原理与高频声学类似，但是反射地震方法的探测深度和范围更大。而且反射地震方法具有较高的空间分辨率，对于观测内孤立波浅化过程的结构特征十分有利。

反射地震方法是在海面向海水中激发低频地震波，当地震波遇到由海水温度和盐度差异引起的波阻抗界面时会发生反射，利用地震波的反射数据可以对海水温盐梯度结构进行成像。我们在南海东沙海域布置了多条地震测线用于观测内孤立波，在这些测线中发现了多个内孤立波或内孤立波包。我们首先在地震剖面中分析了这些内孤立波的垂向结构特征，并且将我们的观测与常用的理论进行了对比。为了进一步分析内孤立波浅化时的结构变化特征，我们利用叠前地震数据对同一位置但不同时刻的内孤立波的内部结构进行了成像，研究了内孤立波浅化时波形的变化。此外，我们还观测到 3 个发生极性反转的内孤立波并分析了其对与跨密度面混合的影响。

我们利用反射地震方法研究了南海东沙海域内孤立波的浅化特征。结果表明内孤立波浅化时垂向结构会受到地形和背景流的影响，其中振幅较大的内孤立波进入浅水时与地形相互作用使得非线性程度增大，从而影响其垂向结构。此外，背景中的其他尺度现象（如次级内波或涡旋等）也会对内孤立波的振幅观测产生影响。当前常用的理论尚没有对这些影响进行准确的描述，我们的研究为改进理论方案提供了参考。另一方面，通过叠前地震数据观测到内孤立波浅化时前翼变缓后翼变陡，内孤立波振幅在观测时间内逐渐变大，这与前人的结果一致。与前人结果不同的是，我们发现内孤立波波形在

不同深度上的变化不是统一的。靠近海底的波形首先发生变化，随后浅部的波形也随之发生变化，并且浅部波形的变化程度大于深部波形。因此我们认为内孤立波浅化时发生波形变化主要是地形摩擦引起的，这为内孤立波浅化的动力学机制提供了一种物理解释。除此之外，我们计算了内孤立波极性反转所引起的湍流扩散率，发现平均湍流扩散率的数量级是开阔大洋的 100 倍，且极性反转区域的湍流扩散率比其他区域大 2 倍左右。这说明内孤立波浅化极大的增强了局部跨密度面混合，对局地的海洋与气候环境产生影响。

S22-P-05S

中美洲海域第二模态内孤立波的地震海洋学研究

范文豪，宋海斌*，龚屹，张锟，杨顺，邝芸艳

1 海洋地质国家重点实验室，同济大学海洋与地球科学学院，上海，200092

* hbsong@tongji.edu.cn

内孤立波在海洋中、小尺度能量串级以及物质搬运中起着重要的作用。海洋中出现的内孤立波可以分为第一模态内孤立波和第二模态模态内孤立波，其中第一模态内孤立波比较常见。随着现场观测仪器的进步，海洋中发育的第二模态内孤立波在过去 20 年间逐渐被观测到。

到目前为止，对于第二模态内孤立波的研究大多是基于物理海洋观测、实验室模拟或数值模拟开展的。物理海洋学观测数据的空间分辨率较差，这一局限可以被空间上连续观测，且具有较高分辨率（垂向分辨率和水平分辨率可以达到 10m 左右）的地震海洋学方法克服。以往利用地震海洋学方法发现的内孤立波大多是第一模态内孤立波。最近，我们利用地震海洋学方法对已有中美洲太平洋沿岸的地震数据重新进行了处理，在测线上发现了第二模态内孤立波群的存在。该内孤立波群是目前为止用地震海洋学方法首次发现的较为完整的第二模态内孤立波群，本次工作主要从内孤立波传播速度、内孤立波垂向结构和能量耗散等方面来研究中美洲太平洋沿岸海域第二模态内孤立波的浅化特征以及区域特征。

研究发现中美洲太平洋沿岸海域浅化过程中第二模态内孤立波前、后翼垂向振幅变化存在不对称现象。振幅可能会削弱密跃层偏离对第二模态内孤立波稳定性的影响。表现为很大的振幅需要密跃层偏离很大，第二模态内孤立波才不稳定；对于很小的振幅，密跃层偏离很小，第二模态内孤立波就变得不稳定。利用共偏移距道集叠前偏移剖面计算第二模态内孤立波视相速度。发现在深水区，水深和振幅同时控制着第二模态内孤立波视相速度的大小；在浅水区，主要是振幅控制着第二模态内孤立波视相速度的大小，对于小振幅第二模态内孤立波，视相速度随着振幅增加而迅速增加；对于大振幅第二模态内孤立波，视相速度随振幅增加而增加，但增加速度较缓慢。通过计算相对地震谱能量，发现在陆架坡折处内孤立波的底部，大振幅内孤立波后翼等位置的湍流波数段地震谱能量较强，发生了较强的能量耗散。亚中尺度段的地震谱能量与第二模态内孤立波波形对应的比较好，浅化中的第二模态内孤立波具有亚中尺度特征。

利用反射地震对中美洲海域第二模态内孤立波开展了区域性研究。通过叠前偏移观察第二模态内孤立波细结构的变化，发现位于陆坡上的第二模态内孤立波在大约 50 秒的采集过程中，出现反射同相轴分叉、合并以及密跃层中心深度变化，反映了海水层结的不稳定。在浅水区波长可能会减弱密跃层偏移对第二模态内孤立波稳定性的影响。即浅水区具有较大波长的第二模态内孤立波，即使密跃层偏移程度较大，波形也能保持相对对称。分析了研究区第二模态内孤立波无量纲相速度与无量纲振幅之间的关系。当振幅较小时，第二模态内孤立波无量纲相速度以不同的增长速率随着无量纲振幅的增大而增大。当振幅较大时，第二模态内孤

立波无量纲相速度以相对较小的增长速度随着无量纲振幅的增大而增大。水深（海底地形）、密跃层深度和密跃层厚度对研究区第二模态内孤立波相速度的影响，引起了研究区第二模态内孤立波无量纲相速度与无量纲振幅关系的多样性。通过将观测的第二模态内孤立波振幅垂向分布与理论计算的垂向模态函数进行比较，发现研究区第二模态内孤立波振幅的垂向变化会受到内孤立波非线性强弱程度以及密跃层偏移的影响。

S22-P-06

南海北部深海平原地震地层解释和重力流沉积

王毕文[1]*，钟广法[1]，王嘹亮[2]，郭依群[2]

1 同济大学海洋与地球科学学院，海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 广州海洋地质调查局，广州 510075

* bww@tongji.edu.cn

利用高质量二维地震剖面，结合大洋钻探取得的岩心和测井资料，研究南海北部深海平原包括西北次盆和东部次盆北部晚中新世以来的地震地层及沉积特征。综合反射终止特征分析和波组对比，将上中新统至第四系划分为 7 个地震层序。根据内部反射结构，振幅，连续性，外形等参数进行地震相分析，识别出了 7 种地震相。利用钻井标定和文献类比，对地震相进行解释。结果表明，南海北部深海平原重力流沉积非常发育，主要有以下类型：块体搬运沉积，浊流成因的沉积物波，海底水道或海沟充填，陆坡脚非水道化的海底扇裙，水道-天然堤复合体，海底扇朵叶体，及浊流-半远洋交互沉积。晚中新世，重力流沉积主要分布于西北次盆及东部次盆西侧；上新世开始，北部陆缘的沉积物供应增多，来自北部和西部的浊流在东部次盆西侧谷地汇集，向南被海山分化为三条近南北向的海底水道。第四纪，东北部物源进一步增强，在东部次盆的北部和东北部发育了大面积的浊流成因的沉积物波。南海北部深海平原重力流沉积的分布特征可能主要与周缘板块构造活动（包括晚中新世红河走滑断裂带的反转及 6.5 Ma 以来弧陆碰撞和台湾造山等）有关。

S22-P-07

Distribution of plutonium in the Pacific Ocean and implications for tracing of ocean circulation

Junwen Wu[1,2]*，Jisheng Chen[1]，Jiang Sun[1]

1 Institute of Marine Sciences, Shantou University, Shantou 515063, China

2 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory, Guangzhou 511458, China

* wujw@stu.edu.cn

This study examined plutonium (Pu) sources and distribution in the Pacific Ocean based on a large number of field datasets over the past 50 years. The basin wide $^{240}Pu/^{239}Pu$ atom ratios in surface and deep seawater ranged from 0.192 to 0.279 averaging 0.235±0.019, a value consistently higher than that of global fallout at ~0.180. The spatial distribution of $^{240}Pu/^{239}Pu$ atom ratios showed an overall decreasing trend along the North Equatorial Current-Kuroshio to their extension areas. The activity levels of $^{239+240}Pu$ in Pacific Ocean surface seawater ranged widely from 0.2 to 43.5 mBq m^{-3}, and increased with latitude. We determined the Pu sourced from the Pacific Proving Grounds (PPG) and global nuclear fallout in the Pacific Ocean based on the Pu isotopic composition. Using a two end-member mixing model, we found that the PPG made the dominant Pu contribution (average=69.6 ± 14.4%) to Pacific Ocean surface seawater. The depth range of maximal $^{239+240}Pu$ activity in the Pacific Ocean was well defined, averaging 608

± 137 m. The vertical distribution of the $^{239+240}$Pu inventory showed most of Pu retained in the upper 3000 m, namely, the contributions of $^{239+240}$Pu inventories at 0-1000 m and 0-3000 m depths accounted for 43.5±9.0% and 75.1±12.0% of the total, respectively. We identified the transport pathway of Pu from the PPG in the Pacific Ocean and demonstrated that Pu isotopes hold great promise as tracers of ocean circulation. Finally, via this extensive compilation of Pu atom ratios and activity levels in surface and deep water in the Pacific Ocean, we established a baseline for future Pu studies and environmental risk assessment in the region.

S22-P-08S

Deciphering the paradox of oceanic CO_2 uptake and storage in the northwestern North Pacific

Cheng-long Li[1], Wei-dong Zhai[1]*, Lei Han[1], Di Qi[2], Hong-mei Lin[1], Xu-chen Wang[3,4], Li-wen Zheng[1]

1 Institute of Marine Science and Technology, Shandong University, Qingdao 266237, China

2 Key Laboratory of Global Change and Marine-Atmospheric Chemistry of Ministry of Natural Resources (MNR), Third Institute of Oceanography, MNR, Xiamen 361005, China.

3 Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China.

4 Ocean Science Isotope and Geochronology Center, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China.

5 Laboratory of Marine Isotopic Technology and Environmental Risk Assessment, Third Institute of Oceanography, MNR, Xiamen 361005, China.

* wdzhai@126.com

The ocean absorbs anthropogenic CO_2 (C_{ANT}) emitted by human activities and then mitigates the global warming. The C_{ANT} absorbed in one region may be moved by ocean circulation and ultimately stored in a different region, resulting in a noticeable difference in the distribution pattern of oceanic CO_2 uptake and storage. We refer to this as "the paradox of oceanic CO_2 uptake and storage". However, few field study to reveal this paradox and its controls in the ocean. To decipher this paradox in the northwestern North Pacific where is a major C_{ANT} sink, we surveyed carbonate parameters and dissolved inorganic radiocarbon in May and August 2018, spanning the Kuroshio Extension (KE), Kuroshio Recirculation (KR) and Subtropical zones. Our analysis reveals that the C_{ANT} storage in the KE zone due to the upwelling and the North Pacific intermediate water transport is lower than the storage in the KR zone due to the subtropical mode water (STMW) formation and transport traced by dissolved inorganic radiocarbon, although the KE zone is the strongest C_{ANT} sink in the North Pacific. This study is a try to decipher the oceanic CO_2 uptake and storage paradox and its controls by field data.

S22-P-09S

生物固氮对北太平洋流涡区初级生产力的贡献

姜若桐*，温作柱，洪海征，史大林

1 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361102

* jiangrt@stu.xmu.edu.cn

在全球约 70%的海区，氮（N）是限制浮游植物初级生产力最主要的营养盐之一。在这些寡营养海区，生物固氮作用可贡献高达 50%的海洋外源生物可利用氮—新氮，对

输出生产力有重要的贡献。北太平洋副热带流涡区（NPSG）是全球最大的寡营养海区之一，然而迄今在该海区的固氮研究仍十分有限，固氮作用的空间格局及对浮游植物生产力的贡献仍有待揭示。本研究运用碳、氮稳定同位素示踪技术，对 NPSG 的固氮速率和初级生产力进行现场观测，并且结合分子生物学手段分析了该海区的浮游植物群落结构。研究结果表明，夏季 NPSG 高固氮速率主要发生在 15-25 ℃之间（流涡中心），并向流涡南、北缘显著降低。高固氮速率区域其初级生产力也较高，通过计算，水柱积分固氮速率对初级生产力的直接贡献高达 22%。此外，我们还发现高固氮速率区域，其真光层水体中悬浮颗粒物的 $\delta^{15}N$ 显著轻于低固氮速率区域。该结果暗示由固氮生物引入的氮（Diazotroph-derived nitrogen, DDN）是流涡中心真光层的主要新氮来源；而在流涡边缘海区，从深层海水扩散上来的 NO_3^- 可能是真光层最主要的新氮来源。扩增子测序结果表明 UCYN-B 是流涡中心区最主要的固氮生物类群，在个别藻华站位，束毛藻是最主要的固氮类群。除固氮生物以外，总体上流涡中心和边缘的浮游生物群落结构差异不明显。然而，比较束毛藻和 UCYN-B 为主导固氮生物群落的站位，其非固氮浮游植物群落结构显著不同。本研究初步揭示了西北太平洋流涡区生物固氮作用对海洋初级生产力的贡献，同时发现不同固氮生物的 DDN 在真光层中的归宿可能不同，从而直接影响生物固氮对输出生产力的贡献。

S22-P-10S

西北太平洋钡生物地球化学及其对弱光层有机碳再矿化的指示

林玮*，李雅婷，饶欣婷，曹知勉

1 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361102

* wei-9@qq.com

海洋中钡（Ba）是介于微量至痕量之间的金属元素，主要以溶解态（DBa）和颗粒态（PBa）两种形式存在，是现代海洋和古海洋中示踪环流、水团混合、生物生产力等的常用指标。其中，生源颗粒钡（PBa_{xs}）在海洋中层形成极大值，与有机颗粒降解形成的过饱和微环境促进重晶石沉淀相联系，可用来示踪海洋弱光层颗粒有机碳（POC）的再矿化通量。本研究基于 GEOTRACES-CHINA GP09 航次，系统报道了北太平洋副热带流涡区（NPSG）西部全水柱 DBa 和 1000 m 以上 PBa 的调查结果。西北太平洋 DBa 浓度范围为 29-131 nmol kg^{-1}，总体呈现表层低、底层高的类营养盐分布特征。表层 DBa 浓度较之其他海域略低，可能缘于西北太平洋较弱的垂向混合作用。不同站位间中深层水 DBa 浓度存在精细结构上的差别，主要受控于环流和水团混合。西北太平洋弱光层 PBa_{xs} 浓度极大值位于 200-600 m，浓度范围为 200-400 pmol kg^{-1}，相比南海和亚北极海域极大值位置更深而极值更小，可能与西北太平洋相对较低的生物生产力有关。溶解钡同位素组成（$\delta^{138/134}Ba_{DBa}$）在垂向上与 DBa 浓度呈镜像分布，上层 $\delta^{138/134}Ba_{DBa}$ 显著重于同一层位颗粒钡同位素组成（$\delta^{138/134}Ba_{PBa}$），主要缘于颗粒物吸附和重晶石沉淀优先结合轻质量钡。K1 和 K8 站位 200 m 以上颗粒钡与溶解钡之间的表观分馏系数（$\Delta^{138/134}Ba$）平均为-0.31±0.01‰和-0.39±0.02‰，极大值位于 200-300 m，对应 PBa_{xs} 浓度迅速升高，表明 $\Delta^{138/134}Ba$ 极大值指示了弱光层有机物发生强烈的再矿化。此外，基于 1990 年代相同研究区域的调查数据计算耗氧速率（OUR），建立弱光层 PBa_{xs} 浓度与 OUR 关系的经验公式，并结合钡稳定同位素组成和变化，评估了西北太平洋弱光层颗粒有机碳再矿化通量。

S22-P-11S

Transit time distributions and apparent oxygen utilization rates in northern South China

Sea using chlorofluorocarbons and sulfur hexafluoride data

Weimin Wang[1,2], Minggang Cai[1,2]*, Peng Huang[3], Hongwei Ke[2], Mian Liu[1]

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361102

2 College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102

3 College of Ocean and Meteorology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088

* Hongwei_ke@xum.edu.cn

In this study, CFC-12 and SF_6 data from the northern South China Sea (NSCS) and western Pacific Ocean (WP) were collected in the summer of 2017, and used as a tracer couple to constrain the IG-TTD shape (i.e., Δ/Γ ratios). The fitting results of the Δ/Γ ratios in the NSCS indicated that the diffusion effect in water mixing decreased gradually from north to south in the upper layer, suggesting a stronger ventilation in the north. A regional Δ/Γ ratio average of 0.8 was adopted, resulting in younger mean ages compared to the open ocean with a Δ/Γ ratio of 1. The mean age and tracer distribution revealed that ventilation was stronger in the WP than the NSCS, especially in the deep layer.

The transit times of throughflow over the Luzon Strait (LS) were estimated based on the "three-layer circulation structure" and the mean age difference. Here, we established stations E1 and E2 (119.6–120.5 ° E, 21 ° N) on the NSCS side and station F2 (123 ° E, 22 ° N) on the WP side as two reference points. The results of estimation showed that there is a westward flow with a transit time of 8 ± 5 years in the upper layer (200–300 m, 25.1 ⩽ σ_θ ⩽ 25.4), an eastward flow with a transit time of 39 ± 22 years in the intermediate layer (800 – 1000 m, 27.2 ⩽ σ_θ ⩽ 27.4), and a westward flow with a transit time of 20 ± 18 years in the deep layer (1500 – 2000 m, 27.6 ⩽ σ_θ ⩽ 27.7), respectively. The shorter mean transit time in the upper layer is attributed to the transport mechanism, including the Kuroshio. The longer time in the intermediate layer indicates that there was a westward force driving water transport in the deep layer near the LS, except for the density gradient.

Apparent oxygen utilization rate (AOUR) was first estimated for the water column in the NSCS and WP using tracer-derived mean age and oxygen data. The AOUR results (8.4-0.66 μmol kg^{-1} yr^{-1}) were similar to those obtained for the North Pacific Ocean (11-0.12 μmol kg^{-1} yr^{-1}). Organic carbon export rates of 1.3 C m^{-2} yr^{-1} and 1.7 mol C m^{-2} yr^{-1} for the NSC and WP, respectively, were then estimated using Redfield ratios.

Arrhenius/Eyring equations were applied to evaluate the potential relationship between temperature and AOUR, with the results clearly showing a conspicuous correlation between temperature and AOUR in the NSCS and WP. We believe that marine microbial processes play an important role in oxygen consumption rather than changes in depth, but more data are needed to evaluate this. The deep ocean with low temperature and very high pressure creates a zone of significantly high oxygen stress, and may already be affected by global warming.

Approximately 95% of ocean oxygen consumption is driven by temperature, and has a strong dependence on climate. In general, linking thermodynamic relationships with biogeochemical processes, along with the use of tracers, provides new insights into the biogeochemical processes under the influence of continuous ventilation change in the area, especially the key role of temperature on AOUR. Through joint scientific research, and data sharing among different countries around the SCS, more complete coverage and higher

accuracy can be achieved with regard to research on ventilation and mass transport in the ocean, which has great significance in revealing the interrelationship between large tropical marginal seas and climate change.

S22-P-12S

东海生源硅的时空分布、输出通量与控制机制

章馨元，曹知勉*

1 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361102

* zmcao@xmu.edu.cn

海洋生源硅（Biogenic Silica，BSi）主要来源于硅藻，是硅循环的重要组成部分，驱动了近岸、上升流等富营养海域的生物泵固碳，从而与碳循环紧密相联。本研究系统报道了东海悬浮颗粒态生源硅的时空分布与输出通量，并初步探讨两者的控制机制。结果显示，东海 BSi 浓度范围为 0.013~4.172 μmol/L，在水平方向上，各个季节均随着离岸距离的增加呈下降趋势；在垂直方向上，BSi 极大值一般出现在表层，与叶绿素最大值层相对应，但由于沉积物再悬浮过程的影响，个别站位在底层出现 BSi 浓度高值。从季节变化来看，东海春、夏、秋、冬 BSi 浓度平均值分别为 0.286、0.617、0.730、0.383 μmol/L，最高值出现在秋季近岸表层，这与季节性藻华有关；夏秋两季 BSi 整体高于春冬两季，主要原因是河流冲淡水输入大量营养盐提高了夏季和秋季的硅藻生产力。总体而言，BSi 与岩藻黄素（硅藻特征色素）具有良好的正相关关系，表明东海的生源硅主要源于硅藻生产。此外，基于 $^{234}Th/^{238}U$ 不平衡法计算了东海真光层生源硅输出通量。发现该通量主要受真光层中 BSi 储量的控制，从而导致夏秋两季平均高于春冬两季；同时，由于生源矿物的压舱作用（Ballast Effect），较高的真光层 BSi 输出有助于浮游植物固定的颗粒有机碳向下输出。本研究以东海为例，定性分析了硅藻驱动的近海硅循环及其相关碳汇过程的潜在重要性，后续研究将进一步量化硅酸盐泵对近海碳收支的影响。

S22-P-13S

莱州湾沉积物－海水界面溶解态总氮交换通量研究

许泽昊[1,2]，梁生康[1,2]*

1 中国海洋大学化学化工学院，青岛 266100

2 中国海洋大学海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室，青岛 266100

* liangsk@ouc.edu.cn

莱州湾为渤海三大海湾之一。自 1970’s 末以来，随着环莱州湾地区社会经济高速发展，莱州湾环境质量持续恶化，突出表现在溶解无机氮（DIN）浓度严重超标。沉积物-海水界面交换作用是是近海氮收支的关键过程之一。本研究基于 2018 年 10 月（秋季）、2019 年 5 月（春季）、2020 年 8 月（夏季）、和 2021 年 3 月（冬季）在莱州湾采集的表层沉积物间隙水和上覆水数据，利用 Fick 第一定律估算了莱州湾不同季节沉积物-海水界面 DIN 的交换速率和交换通量。尽管莱州湾沉积物-海水界面 DIN 的交换速率和交换通量具有显著的时空差异性；但整体而言，沉积物为海水 DIN 的源。DIN 的交换速率与表层沉积物孔隙度（$r=0.429$, $p=0.000$, $N=82$）呈弱正相关性，表明表层沉积物孔隙度影响沉积物-海水界面 DIN 的扩散过程，进而影响 DIN 的交换速率。不同季节 DIN 的交换速率均值按照夏季（0.474 ± 0.629 mmol m^{-2} d^{-1}）、冬季（0.412 ± 0.579 mmol m^{-2} d^{-1}）、春季（0.395 ± 0.688 mmol m^{-2} d^{-1}）和秋季（0.226 ± 0.248 mmol m^{-2} d^{-1}）依次降低。莱州湾沉积物-海水界面 DIN 交换通量为 7.179×10^8 mol，分别相当于 2018 年和 2019 年莱州湾陆源 DIN 入海通量的 7.09 %和 9.60 %，其中，NH_4-N 交换通量为 6.779×10^8 mol，占比为 94.42 %，NO_2-N 和 NO_3-N 交

换通量之和为 0.400×10^8 mol，占比为 5.58 %。这表明，沉积物为莱州湾水体氮污染的重要源，在莱州湾海域陆海污染物陆海统筹管控中，应加强对沉积物内源氮释放的防治。

S22-P-14S

蓝细菌与真核浮游植物降解过程中的氨基酸碳同位素行为初探

马凌宇*, 刘宝敏, 刘洁, 康佩虹, 唐甜甜

1 近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361102

* malingyu@stu.xmu.edu.cn

一般认为由光合自养原核蓝细菌固定的有机碳会在上层海洋中迅速降解，对输送到深海的颗粒物有机物的相对贡献比较小。但是最近的研究表明蓝细菌可能是深海颗粒有机物的重要来源，因此，了解蓝细菌对颗粒有机物的相对贡献及其在颗粒输出过程中的保存情况对定量评估沉降颗粒物向深海的输出通量非常重要。蓝细菌和真核浮游植物固碳和代谢方式的差异导致细胞内氨基酸的稳定碳同位素比值是不同的，其在海洋中的保存能力决定了蓝细菌和真核浮游植物降解产物对输出的颗粒有机物的相对贡献。基于上述假设，我们进行了硅藻、颗石藻和聚球藻的现场降解模拟实验，测定了降解过程中氨基酸单体碳稳定同位素比值及总有机碳的同位素比值分布行为。实验结果表明三种藻类的氨基酸碳稳定同位素比值变化趋势与总有机碳的一致，单体氨基酸 $\delta^{13}C$ 值则变化较大，且随降解程度的加深呈现不同的变化趋势。因此认为氨基酸稳定同位素特征可以示踪具有不同水平的颗粒有机碳的生物来源，这一发现可以实现不同来源有机碳对输出颗粒有机碳相对贡献的评估。

S22-P-15S

PPhysiological and molecular responses of the marine diatom Phaeodactylum tricornutum to ocean acidification under iron and light limitation

Youting Ye, Hiazheng Hong, Dalin shi*

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, PR China，361102

* dshi@xmu.edu.cn

Light intensity and seawater pH can affect iron (Fe) availability in seawater and/or diatom Fe requirements, while CO_2 concentration can potentially affect energy allocation and light sensitivity in diatoms. Therefore, ongoing seawater acidification coupled with increasing light intensity under future climate conditions, is likely to have an impact on Fe-limited diatoms. In this study, *Phaeodactylum tricornutum* was used as a model organism to examine the mechanistic responses of Fe-limited diatoms to elevated light intensity and ocean acidification (OA). Results show that an increase in light intensity stimulated carbon fixation and growth in Fe-limited cells, due to an increase in photosynthetic electron transfer rate and a reduction in Fe requirements. OA also significantly promoted growth and carbon fixation in *P. tricornutum* under Fe-limited or light-limited conditions, with the promotion effect more pronounced under Fe and light co-limitation. Under Fe-limited conditions, the stimulatory effects of OA were achieved by allocating more Fe to PsaC to enhance cyclic electron transport chain activity and produce more energy. Under conditions of light limitation, acidification induced the expression of both PsbA and PsaC, while reduced

expression of the photorespiratory gene *pgp*, suggesting that enhanced photosynthesis and suppressed photorespiration led to higher carbon fixation rate. Under Fe and light co-limitation, OA significantly increased Fe use efficiency resulted from more cellular Fe being allocated within photosynthetic electron carriers to enhance both cyclic electron and linear electron transfer transport chain activity. Overall, our results imply that the contribution of diatoms to primary production and carbon sequestration in Fe-limited regions of the ocean, may increase under future climate conditions.

S22-P-16S

铁限制条件下单细胞固氮蓝藻鳄球藻对海洋酸化的响应

陈泽*，温作柱，洪海征，史大林

1 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 361102

* chenze300@163.com

工业革命以来，人为排放使得大气二氧化碳(CO_2)浓度急剧上升。其中近三分之一的大气 CO_2 被海洋吸收，导致海洋酸化。海洋生物固氮是海洋生态系统中重要的“新氮”来源，对支撑寡营养海区初级生产力至关重要。探索海洋酸化对生物固氮的影响及其效应已成为当前海洋科学的前沿和焦点之一。单细胞固氮蓝藻（UCYN）是近年来备受关注的固氮生物，其广泛分布于全球各大海区，显著贡献全球海洋固氮量。在热带和亚热带寡营养盐海区，UCYN 生长和固氮往往受到铁（Fe）营养盐的限制。此外，海洋酸化引起海水中铁的生物可利用性下降，将进一步加剧 UCYN 的限制程度。本研究以单细胞固氮蓝藻鳄球藻为研究对象开展室内海洋酸化培养实验，并结合现场酸化实验，以系统阐明铁限制条件下鳄球藻对海洋酸化的响应。室内培养结果表明，海洋酸化抑制鳄球藻的生长和固氮，且在铁限制条件下该抑制效应更为显著。在西北太平洋的观测结果显示，鳄球藻是流涡中心区域最主要的固氮生物。海洋酸化使得该海区水体固氮速率平均下降了 6.2%-18.6%。本研究结果表明，海洋酸化抑制单细胞固氮蓝藻鳄球藻生长和固氮作用。

S23-O-01

粘土矿物－有机质相互作用对有机质生烃的控制

蔡进功[1]*，杜佳宗[1]，雷天柱[2]，李颖丽[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 中国科学院西北生态环境资源研究院油气中心，甘肃兰州 730000

* jgcai@tongji.edu.cn

烃源岩由矿物和有机质组成，已发现粘土矿物吸附有机质形成的有机粘粒复合体的存在以及生烃演化与粘土矿物的演化具有同步性。然而，传统观点认为不可溶有机质-干酪根是生烃母质，构建了热作用下干酪根裂解和粘土催化的生烃机理，忽视矿物与有机质相互作用以及有机质生烃过程中无机氢的贡献。为此，选取蒙脱石-硬脂酸复合体（Sm-OA）、抽提后的蒙脱石-硬脂酸复合体（Ex-Sm-OA）和伊利石-硬脂酸复合体（I-OA），进行水热模拟实验及有机质和矿物学等特征检测，开展有机质、烃和衍生物及矿物学等特征研究，探讨有机-粘土矿物作用下有机质的生烃机理和控制因素以及生烃产物特征。

研究发现，在 200-300℃阶段，Sm-OA 和 I-OA 的矿物以无序向有序变化为主，氯仿沥青 A 含量较高，非烃丰富，表明粘土矿物吸附有机质开始解吸附，粘土矿物的布朗酸（B 酸）为有机质生烃供给了无机氢源，形成少量的液态烃。在 350-450℃阶段，Sm-OA 和 I-OA 的矿物含量、形貌、结构和元素变化最为显著，氯仿沥青 A 含量最高，饱和烃与非烃最丰富，气态烃等出现；进一步结

合无机氢和有机氢来源的计算结果，发现有机质缩聚供给的有机氢略高于粘土矿物 B 酸供给的无机氢，而 Ex-Sm-OA 中粘土矿物 B 酸供给的无机氢高于有机质缩聚供给的有机氢，表明粘土矿物结构的改变对有机质生烃机理产生影响。在 500℃以上阶段，Sm-OA 和 I-OA 的矿物含量、形貌、结构和元素变化更为剧烈，氯仿沥青 A 含量降低，气态烃等急剧升高；进一步结合无机氢和有机氢来源的计算结果，发现无机氢供给量远高于有机质缩聚供给的有机氢；而大量的碳酸盐类矿物出现与粘土矿物路易酸（L 酸）参入下的有机质脱酸密切相关，这些特征表明有机质生烃过程粘土矿物-有机质是相互作用和相互影响的。

总之，Sm-OA 和 I-OA 模拟实验启示我们，有机质生烃过程黏土矿物吸附有机质发生解吸附，且不同温度段矿物的变化特征以及对有机质生烃的控制方式的差异，如 B 酸、L 酸的作用及无机氢的贡献等，表明粘土矿物除了具有催化属性外，有机质生烃过程中更是重要的反应物；而 I-OA 比 Sm-OA 气态烃等丰富，说明矿物属性对有机质生烃产物的控制。这启示人们关注粘土矿物结构和属性变化对深化认识有机质的演化具有重要的意义。

S23-O-02

芽孢杆菌诱导细胞内外碳酸盐矿物特征及其矿化机制

韩作振[1,3]*，李丹[1,3]，闫华晓[2]*，赵辉[2]，赵延洋[1,3]

1 山东科技大学地球科学与工程学院，青岛 266590

2 山东科技大学化学与生物工程学院，青岛 266590

3 山东科技大学山东省沉积成矿与沉积矿物重点实验室，青岛 266590

* hanzz65@126.com, 15954804511@163.com

微生物与矿物相互作用是一种在自然环境中广泛发生的地质活动，是地质微生物学领域近几十年来快速发展的重要方向之一。近年来，研究者们已对微生物诱导矿物的生物矿化机质进行了深入研究，仍有许多问题尚未解决，而且由于技术限制，胞外矿化研究较多，胞内矿化研究则较少。因此，本研究利用解淀粉芽孢杆菌在不同 Mg/Ca 比、pH、HCO_3^-、CO_3^{2-}等水化学条件下诱导碳酸盐矿物的生物矿化，对其形成机制进行深入探讨的同时也对胞内、胞外矿化进行深入研究。

研究发现解淀粉芽孢杆菌不仅释放氨气提高 pH，而且也释放碳酸酐酶，通过该酶的水合作用提高了流体中的 HCO_3^-及 CO_3^{2-}浓度，CO_3^{2-}浓度的升高进一步提升了 pH，因此溶液地球化学特征发生巨大变化，从而更有利于碳酸盐矿物的沉积。在不同镁钙比下（0，3，6，8，10）诱导所得矿物有哑铃型和长杆状方解石，十字花型文石，哑铃型单水方解石，矿物形貌不仅丰富且表面有大量细菌留下的孔洞。碳酸酐酶极大提升了碳酸盐矿物的沉降速度，前 2 天溶液中钙离子浓度急剧下降，沉降速率明显高于其他时间，与碳酸酐酶活性具有明显线性相关性。FTIR 结果证实矿物含有有机官能团（C-H, C=C, C-O, P-O, C-N 等）及蛋白质的二级结构（β-turn, α-helix, β-sheet），XPS 结果证明矿物表面有 P, S, N 等有机元素的存在，稳定碳同位素在-16.68 ‰到-17.25 ‰之间，更接近有机物质牛肉膏（–18.86 ‰）和胰蛋白胨（-21.56 ‰）的数值，与大气二氧化碳（-8 ‰）差异极显著。上述结果进一步证明矿物的形成与微生物作用有密切联系。EPS 含大量带负电荷的酸性氨基酸，具备吸附带正电荷的钙、镁离子的功能，为碳酸盐矿物的形成提供成核位点。

TG-DSC 结果显示，镁钙比 6, 8, 10 条件下诱导得到的单水方解石热分解温度分别为 750.9 ℃, 738.3 ℃ 和 730.0 ℃，焓变为 269.0 J/g, 166.3 J/g 和 136.0 J/g，表明随着镁钙比升高，单水方解石的热稳定性变差。镁离子有助于单水方解石的形成，但是高浓度

镁离子却会导致单水方解石（111）半峰宽增大，结晶度下降，进而导致稳定性下降。通过 MS 软件 DMol3 模块进行分子动力学模拟，结果发现镁离子在 Top、Bridge、Fcc、Hcp 位的吸附能有巨大差异，在 Hcp 位吸附能最低，最稳定。态密度图和差分密度图证实镁原子和碳原子距离小于镁原子和碳原子半径之和，因此镁进入单水方解石晶体中形成共价键，镁可以稳定的存在于单水方解石晶体中，造成晶格畸变，进而导致结晶度和热稳定性下降。

重要的是，通过对解淀粉芽孢杆菌超薄切片进行分析，发现细胞内部有晶格结构的矿物产生，经 SAED 分析确定为单水方解石矿物。这是实验室内首次发现细胞内部具有晶体结构的纳米级单水方解石矿物，以往发现的往往是无定形的碳酸钙，该结论是对细胞内部生物矿化结论的进一步完善和补充。

本研究深入探讨了微生物碳酸盐矿物的形成机制，发现微生物不仅可以诱导细胞外的碳酸盐矿物，也可诱导产生具有晶体结构的胞内矿物。镁离子以化学键的形式影响了单水方解石的成核和生长，从理论上解释了镁离子影响单水方解石晶体生长的微观机制。细胞内合成纳米晶体矿物的实验结果拓展了对微生物诱导碳酸盐矿物成核位点位置的认识，为细胞内碳酸盐矿物的形成机理提供了重要的解释。为地质历史时期和现代自然环境中微生物诱导生物矿化的过程、各种生物矿物的成核位点及促进矿物成核生长的微观机制提供依据。

S23-O-03

有机质在天然粘土矿物-有机质复合体中的赋存

刘冬[1,2]*，袁鹏[1,2]

1 中国科学院科学与成矿学重点实验室，中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640

2 中国科学院深地科学卓越中心，广州 510640

* liudong@gig.ac.cn

土壤中的矿物（及矿物团聚体）在降雨等淋溶作用下，经地表径流携带进入河流，并随河水输入海洋。在大陆架，尤其是在入海口附近，大量的粘土矿物聚集沉积。这些粘土矿物通常以粘土矿物-有机质复合体的形式赋存于浅海沉积物中，并被认为对海洋有机碳的输入和海洋“碳汇”的形成有重要贡献。然而，有机质与粘土矿物的结合机制尚不清楚，尤其是，有机质小分子在粘土矿物表面的赋存特征仍不明确。这不仅影响到对有机质粘土矿物复合体结构和性质的认知，还制约了对边缘海区域有机碳封存机制的认识，阻碍了对有机碳陆海迁移机制的明确。基于上述问题，本研究由纳米尺度微区分析入手，借助高分辨电子显微技术和谱学等手段，对我国南方红壤和南海浅海沉积物中有机质在粘土矿物表面的赋存特征开展了原位分析研究。通过上述微区分析方法对粘土矿物外表面及层间域的有机质赋存特征进行直接观测，获得了土壤、海洋沉积物中粘土矿物层间域有机质赋存的直接证据以及有机质在粘土矿物有机质复合体中的分布特征。上述初步研究结果为理解粘土矿物在陆地和海洋有机碳封存中的作用及其对陆地和海洋“碳汇”的贡献，提供了依据。

S23-O-04

微生物 EPS 与锰氧化物耦合作用对 Ce 分配异常形成机制的研究

余茜倩*，邓冠宇，昝思璠, 马腾飞

1 中国地质大学（武汉）地球科学学院，武汉 430074

* qianqianyu09@gmail.com

在早期地球发展过程中，地表含氧量对于生物的出现和演化具有重要的意义，也关系到一些重要的沉积矿产的产生。利用氧化还原敏感元素来深入了解水体低氧区的形成机理，对于我们防治全球水体进一步富营养化有重要作用，也是现代海洋化学领域的

热点研究方向。Ce 异常是许多地球化学过程的重要标志，常被用来指示古环境，如古海洋的氧化还原状态等。近年来研究发现，生物强配体如铁载体 (DFOB)的存在，可以强烈影响 Ce(IV)的化学行为以及 Ce 异常的产生，但对于环境中普遍存在的弱配体如多糖对 Ce 元素迁移行为的影响尚不清楚。锰氧化物是一种广泛存在于自然界的氧化物，具有强吸附性、氧化性、比表面积大、电荷零点低等特点。因此，可以作为研究氧化环境对 Ce 异常影响的载体。本文借助 SEC-ICP-MS 分析技术，研究了锰氧化物形成过程中，不同分子量的多糖对稀土元素分配，尤其是 Ce 异常的影响。研究发现，以多糖为代表的生物弱配体同样可以影响锰氧化物表面 Ce 异常的产生。当分子量为 5000 Da 的葡聚糖存在时，稀土元素在锰氧化物表面的分配系数由通常的 Ce 正异常转变为 Ce 负异常。糖类影响 Ce 异常产生的机制与之前报道的强生物配体(如 DFOB)不同。糖类介导的电子转移可能发生在锰氧化物和 Ce(III)之间，导致在溶液中形成可溶性的有机-Ce(IV)复合物。研究结果表明，自然界中普遍存在的生物弱配体（如糖类物质）可以通过与锰氧化物等天然电子受体的耦合作用，显著影响 Ce 异常的变化，这种机制应该得到足够的重视。

S23-O-05

火山灰蚀变对海底沉积物碳循环的影响

罗敏[1]*，Marta E. Torres[2]，Wei-Li Hong[3]，陈多福[1]

1 上海海洋大学海洋科学学院，上海 201306

2 College of Earth, Ocean and Atmospheric Science, Oregon State University, Corvallis, OR 97331, USA

3 Department of Geological Sciences, Stockholm University, Stockholm, Sweden

* mluo@shou.edu.cn

大陆风化作用可吸收大气中 CO_2，长期以来被认为是驱动气候变化和调节地球宜居性的关键。而近 20 年来，海底硅酸盐风化在全球碳循环中的作用逐渐被意识到，并认为其吸收的 CO_2 的量与大陆硅酸盐风化吸收的量相当。火山灰被认为是海洋沉积物，尤其是主动大陆边缘沉积物的重要组成部分。作为一种反应活性较高的铝硅酸盐物质（包括铁镁质矿物和玻璃质），被埋藏在海底之后容易发生类似于陆地上的硅酸盐风化作用。海底缺氧沉积物中有机质产甲烷作用伴随 CO_2，促进火山灰蚀变（风化）的发生。大量生物培养和火山灰“施肥”试验表明火山灰蚀变可以迅速释放支持浮游生物生长所需的营养元素（主要是铁）。但是我们关于火山灰对沉积物铁的贡献及其有关生物地球化学循环还知之甚少。我们提出含火山灰沉积物中碳循环的概念模型。通过对采集于新西兰 Hikurangi 俯冲带北部海底沉积物和孔隙水进行地球化学分析，我们证实了以上碳循环模型。孔隙水 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 随深度从海水值降至 0.708461，且在海底以下 30-70 米范围内，Ca^{2+}和 Ba^{2+}含量升高，指示产甲烷带内正在发生火山灰蚀变。同时，在该深度范围内几乎不含有 SO_4^{2-}，甲烷含量降低、Fe^{2+}含量升高，且溶解无机碳和甲烷 $\delta^{13}C$ 值均出现最低值，表明存在微生物介导的铁驱动甲烷厌氧氧化（Fe-AOM）。沉积物铁组分分析和质量守恒计算表明火山灰蚀变释放的 Fe(III)参与 AOM 被转化为 Fe^{2+}，并沉淀为含 Fe 自生碳酸盐矿物保存在沉积物中。另外，利用数值模拟对孔隙水地球化学剖面进行拟合，分别计算了火山灰蚀变速率、有机质降解速率和 Fe-AOM 速率。该模型计算的 Fe-AOM 速率介于目前全球已报道的 Fe-AOM 速率之间。尽管 Fe-AOM 深度积分速率（0.4 μmol cm^{-2} yr^{-1}）明显低于 SO_4-AOM 速率（3.0 μmol cm^{-2} yr^{-1}），但是 SO_4-AOM 仅发生于硫酸盐-甲烷转换带（SMTZ）这一很窄的区间内，而 Fe-AOM 可以发生于深部整个产甲烷带内，对支持深部生物圈生命活动有重要意义。

本研究首次提出并证明海底沉积物火山灰中含有的 Fe(III)可以作为 AOM 的额外电子受体，这种通过火山灰蚀变驱动的 Fe-AOM 可能是主动大陆边缘沉积物中普遍的生物地球化学过程。尽管 Fe-AOM 反应速率以及消耗甲烷的量显著低于 SO_4-AOM，但是在大量火山喷发的地质历史时期（如奥陶纪、侏罗纪、白垩纪等），火山灰蚀变释放 Fe(III)驱动的 Fe-AOM 可能作为海底沉积物中更为重要的甲烷的汇，对深部沉积物 Fe-C 循环则产生更大的影响。

S23-O-06

深海搬运过程中粘土矿物与有机碳的相互作用

刘志飞 [1]*, Thomas M. Blattmann[2,3], 林宝治 [1], 赵玉龙 [1], Timothy I. Eglinton[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Geological Institute, ETH Zürich, Zürich 8092, Switzerland

3 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Yokosuka 237-0061, Japan

* lzhifei@tongji.edu.cn

陆源和海源颗粒有机碳在向深海搬运的过程中，经受了复杂的生物地球化学和沉积动力学作用，大部分被转化成溶解无机碳保存在海水中或返回大气，仅有小部分被最终埋藏到深海海底。这些过程构成了海洋碳循环的关键组成部分，对全球气候的多尺度变化产生重要影响。然而，陆源颗粒有机碳在深海搬运过程中如何发生转变以及转变后的去向，一直没有明确的答案，被称为“失踪”的颗粒有机碳。本项研究通过分析南海东北部深海时间序列沉积物捕集器样品的粘土矿物和颗粒有机碳同位素组成，结合其源区台湾和吕宋流域的粘土矿物和颗粒有机碳端元成份，发现吕宋提供的土壤成因有机碳在深海搬运过程中，从蒙脱石表面被剥离，取而代之的是海洋成因有机碳，但台湾提供的岩石成因有机碳，由于与伊利石和绿泥石紧密结合而在深海环境中不发生变化。研究认为，蒙脱石携带的土壤成因陆源有机碳容易被剥离，归因于其特定的高比表面积，这同时也是其易于携带较年轻土壤成因有机碳的原因。然而，陆源土壤有机碳在深海搬运过程中从蒙脱石矿物被剥离的微观生物地化学过程及其机制，还有待观测和研究。本项研究发现的粘土矿物与颗粒有机碳的相互作用，为追踪陆源颗粒有机碳输入海洋后的归宿提供新的研究思路。

S23-O-07

铁矿物介导的土壤碳循环：固持与激发效应

余光辉*，孙富生，王翔

1 天津大学地球系统科学学院，天津 300072

* yuguanghui@tju.edu.cn

土壤有机碳库是全球碳循环的重要组成部分，其稳定和累积机制是理解土壤碳循环的关键。土壤有机碳的储存机制主要为团聚体的空间隔离和矿物（尤其是活性矿物）-有机复合体导致的生物可利用性降低。由于土壤有机碳和矿物本身的高度异质、动态变化等原因，至今科学家仍然将矿物-有机复合体作为“黑箱”进行研究，而对于其形成机制缺乏深入理解。铁矿物是影响土壤有机质稳定和累积的关键因子，对于改良土壤结构具有重要影响。采用独立且互补的长期观测、室内微宇宙试验和同位素示踪试验，结合现代生物、化学和同步辐射技术分析，研究了土壤中铁矿物介导的土壤有机碳稳定机制，研究发现：1）铁矿物的可利用性和活性是影响土壤有机碳稳定和累积的关键因子。铁矿物可利用性增加，可以促进土壤中矿物-有机复合体的形成；亚微米乃至纳米级别的活性铁矿物可以作为“核”截留有机碳；长期有机物输入可以通过刺激土壤微生物生长、改变土壤微生物群落结构而增加土

壤矿物的可利用性和活性，促进土壤铁矿物“返老还童”，进而增加土壤有机碳储存；2）铁矿物的抑菌作用是土壤有机碳稳定和累积的重要机制。铁矿物与微生物接触可产生高浓度的羟基自由基(HO•)而抑制微生物的生长；3）铁矿物介导的原位类芬顿反应具有“激发”效应，同时是增加土壤中有机碳难降解性、促进矿物-有机复合体形成的关键过程。研究成果丰富了土壤矿物-微生物协同机制，为准确评估全球变化背景下土壤碳循环提供科学依据。

S23-O-08

氧化还原环境中粘土矿物对有机质转化的影响

曾强*

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* zengq @cugb.edu.cn

粘土矿物在地表环境中广泛存在，并且与有机质紧密结合，二者的相互作用机制对地表碳循环过程有着深刻的影响。粘土矿物细小的颗粒，巨大的比表面积，以及其八面体片结构中的活泼金属元素（如铁）使其在氧化还原环境中与有机质的相互作用呈现不同的方式。

在氧化环境中，粘土矿物中的结构 Fe(II) 的氧化能够通过活化分子氧，产生具有强氧化性的活性氧物质，如羟基自由基（•OH）。•OH 能够氧化自然界中的绝大多数有机物，因此对于碳循环过程有着重要影响。而环境中广泛存在的铁螯合剂会影响粘土矿物产生•OH 的过程。羧氨类铁螯合剂，如乙二胺四乙酸（EDTA）和氨三乙酸（NTA）能够增加粘土矿物产生•OH 的产量，并且将•OH 的产生方式由在矿物表明的非均相产生方式，转变为在溶液中的均相产生方式。磷酸根类物质也能够增加•OH 的产量，这主要是因为磷酸根类物质能够吸附于粘土矿物表面，改变其表面的催化性质导致的。腐殖酸作为天然环境中广泛存在的有机质，也具有很强的铁螯合能力，其也能够促进粘土矿物产生•OH。腐殖酸的促进机制与 NTA 和 EDTA 类似，都能够通过增加•OH 在均相溶液中的产量。并且，作为一种复杂的大分子有机质，强氧化性的•OH 能够显著地氧化腐殖酸，改变其分子结构与化学特性。由于•OH 的氧化作用，反应后的腐殖酸分子量显著减小，发色团被破坏，含氧官能团的数量显著增加，从而使得腐殖酸的生物可利用性显著提高。

在还原环境中，铁的还原过程与有机质的氧化紧密耦合，铁的赋存形式显著影响着该过程的进行。因此，我们合成了一种水铁矿-蒙脱石-有机质的矿物-有机质三元复合体，探究粘土矿物的存在对于该过程的影响。利用一株模式铁还原菌 *Geobacter sulfurreducens*.对矿物-有机质复合体进行还原，结果发现 *G. sulfurreducens*.能利用矿物结合态的有机质作为电子供体及碳源耦合水铁矿的还原。而粘土矿物的加入能够显著提高矿物-有机质复合体中有机质的生物可利用性。这主要是由于吸附于粘土矿物表面的有机质具有相对较弱的结合力，使得微生物更容易利用。生物还原的过程将这些矿物结合态的有机质转变为了微生物碳，包括微生物残体，胞外代谢产物等。具有更多芳香类结构，羧基官能团，以及分子量较大的有机质，其在生物铁还原过程中更难以从矿物复合体中脱附下来以及被微生物所利用。

S23-O-09

胞外聚合物来源氨基酸在兼性厌氧细菌 *Enterobacter ludwigii* SYB1 诱导单水方解石中的选择性吸附

赵延洋 [1]，韩作振 [2,3]*，闫华晓 [3]，赵辉

1 山东科技大学地球科学与工程学院，青岛 266590

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，青岛 266200
3 山东科技大学化学与生物工程学院，青岛 266590
* hanzuozhen65@126.com

微生物诱导所产生矿物的形态，晶体结构和元素组成通常与化学合成矿物质的形态，晶体结构和元素组成显著不同，但这些特征的形成机理尚未完全了解。在本文中，我们使用兼性厌氧细菌 Enterobacter ludwigii SYB1 在含氧溶液中进行微生物矿化实验，并对实验过程中的水化学，矿物质结晶和细胞表面特征进行了综合研究。在这里，我们发现 SYB1 的碳酸酐酶和产氨作用是影响封闭系统碱度和矿物饱和度的主要因素。X 射线衍射（XRD）光谱表明，接种细菌的样品中形成了方解石，单水方解石（MHC）和杜平石，而无细胞样品中没有形成矿物。还发现与标准数据相比，MHC 的（222）晶面是择优取向的。细胞切片的扫描透射电子显微镜（STEM）分析提供了细胞外聚合物（EPS）表面存在浓缩钙镁离子的直接证据。同时，高分辨率透射电子显微镜（HRTEM）显示在 EPS 中形成了结晶的纳米颗粒。基于这些发现，我们认为路德维希菌 SYB1 诱导的生物矿化机理应分为三个过程：i）利用碳酸酐酶和氨水增加微环境的碱度和饱和度，ii）吸附和螯合 EPS 周围游离的钙镁离子，iii）EPS 中纳米矿物质的结晶和生长。有趣的是，我们在 SYB1 的生物 MHC 和 EPS 中均发现了 17 种氨基酸，并且 MHC 中的谷氨酸和天门冬氨酸的百分比显着增加（$p<0.05$）。此外，我们计算了 MHC 的 7 种衍射晶面上各种氨基酸的吸附能，在这些晶面中，各种氨基酸倾向于吸附在（111）和（222）面上。同时，对于同一晶面，最低的吸附能始终是谷氨酸和天冬氨酸。这些结果表明，天冬氨酸和谷氨酸总是优先混合在 MHC 的晶格中，氨基酸在不同晶面上的差异吸附可以导致优选的取向。此外，有机物在矿物结构中的混合也可能对矿物晶格位错和热力学特性的增强产生一定的影响。

S23-O-10

天然有机质介导的赤铁矿异化还原：暴露晶面{001}和{100}上的界面反应

胡世文[1]，刘同旭[2]*，李芳柏[2]，石振清[3]，刘崇炫[1]

1 南方科技大学环境科学与工程学院，深圳 510006
2 广东省科学院生态环境与土壤研究所，广州 510000
3 华南理工大学环境与能源学院，广州 510000
* txliu@soil.gd.cn

赤铁矿纳米颗粒广泛存在于自然环境，但不同条件下形成的不同暴露晶面赤铁矿的反应活性具有较大差异。以往关于铁矿物晶面反应活性的研究主要集中于材料、催化等方面，此外，微生物、有机质和矿物之间的相互作用对元素循环、污染物转化等环境与地球化学过程具有重要影响。虽然醌类物质和天然有机质作为电子穿梭体的作用已被证实。然而，对于在异化铁还原过程中，赤铁矿暴露晶面如何影响异化铁还原过程以及醌类物质或有机质在铁矿物不同暴露晶面的作用机制尚不清楚。

本研究通过合成两种不同暴露晶面的赤铁矿，分别为正六面体纳米板状结构的{001}晶面和纳米棒状结构的{100}晶面。同时，选择典型的醌类化合物蒽醌-2,6-二磺酸（AQDS）作为模式电子穿梭体，选择富里酸（FA）作为模式天然有机质，研究了希瓦氏菌对不同暴露晶面赤铁矿{001}和{100}还原溶解作用。首先，研究结果发现，在微生物介导的不同暴露晶面赤铁矿还原溶解过程中，赤铁矿{001}晶面的还原活性显著高于{100}晶面，而赤铁矿不同暴露晶面的还原活性受到表面电化学性质和细胞附着量的共同影响。此外，在 AQDS 介导的不同晶面赤铁矿异化还原过程中，赤铁矿{001}对氧化态或还原态的 AQDS 具有更强的吸附能力，且加入的 AQDS 让赤铁矿{001}拥

有更高的导电能力和电子转移速率，导致赤铁矿{001}具有更高的还原速率。另外，在FA 介导的不同暴露晶面赤铁矿异化还原过程中，FA 中高分子量、高芳香性和高不饱和结构的分子更容易被赤铁矿{001}吸附或生物降解，使得赤铁矿{001}更容易接收来自还原态 FA 或微生物的电子，导致赤铁矿{001}更容易被还原。因此，天然矿物的不同暴露晶面可影响细胞粘附、生物膜的形成，而醌类物质或有机质的加入能够改变铁矿物的反应活性及微生物-矿物间电子传递效率和途径，进而影响矿物风化溶解、污染物迁移转化等过程。研究结果从矿物晶体结构角度加深了我们对微生物-矿物-有机质耦合反应机制的理解。

S23-O-11

有机－无机相互作用下的粘土矿物界面属性研究

李旭，蔡进功*

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

* jgcai@tongji.edu.cn

沉积物和沉积岩中广泛存在着各类性质不同的粘土矿物，这些粘土矿物由于结构差异而具有不同的界面属性（表面积、表面电性），进而控制其与不同类型的有机质结合能力，更为重要的是，粘土矿物通常并不是独自存在，而是与有机质构成有机-粘土矿物复合体，其界面属性也显著改变。为了研究这种变化，本研究通过人工合成有机-矿物复合体，并开展高温高压热模拟实验、N2 吸附、EGME 吸附、AFM 表面电势、介电常数和接触角等测试，系统的研究不同性质有机质结合后粘土矿物界面属性的变化规律。结果表明：（1）不同类型粘土矿物表面积和表面电势具有显著差异，蒙脱石具有最大的比表面积，高岭石次之，绿泥石最小；蒙脱石和绿泥石均表现出非常高的负电性，伊利石则具有较强的负电性，高岭石既具有负电性也具有正电性。（2）各类矿物结合有机质后其表面电势均发生了显著变化，即结合有机质后，负电性显著降低，正电性显著增强，不同类型的有机质具有不同的影响，此外，不同的矿物来说也具有一定的差异，表明不同类型粘土矿物对不同类型有机质的吸附特征不同。（3）通过对不同浓度有机质与矿物合成后的介电常数检测，发现随着合成过程中十六烷基三甲基氯化铵和赖氨酸浓度的逐渐增加，介电常数单调降低，且十六烷基三甲基氯化铵对介电属性的影响更大。（4）蒙脱石-赖氨酸复合体水热模拟实验后的表面电势检测结果表明，随着有机质的释放和矿物的转变，复合体的表面电势会逐渐降低，但表面电势均表现为正电势。（5）接触角测试结果表明，随着有机质的逐渐吸附，矿物会由完全水润向混合润湿转变，且不同类型有机质具有不同的影响；而水热模拟实验发现，接触角会存在先增加再减小的趋势，表明有机质解吸附/裂解和矿物转化对界面属性的控制作用。总之，有机-无机相互作用会显著改变矿物的界面属性，而不同的矿物与不同类型的有机质间的吸附关系具有差异，小分子、极性更强或电解后带正电的有机质最容易吸附，且对吸附后形成的复合体的界面属性影响最大。

S23-O-12

水钠锰矿与有机酸界面日光电子传递机制

叶欢，李艳*，刘雨薇，黎晏彰，丁竑瑞，鲁安怀

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* liyan-pku@pku.edu.cn

锰是地壳中含量第二高的金属元素，地表锰氧化物常与黏土矿物、有机质等一起形成具有良好可见光响应能力的膜状构造沉积物，称为“矿物膜”。水钠锰矿作为“矿物膜”中最主要的锰氧化物，其在日光照射下的光化学反应活性对地表锰、碳等相关元素循环的影响机制尚需进行深入探讨。

基于此，我们系统地对含有不同官能团（羧基类、醛基、羟基等）的小分子有机物在水钠锰矿表面吸附成键机制与电子转移过程进行了研究。XAS 和 XPS 结果显示，水钠锰矿光还原是质子协同的两步单个光电子转移过程。在光照下和暗室条件下，水钠锰矿中 Mn(IV)光还原作用位点具有较大差异。同时，水钠锰矿光催化还原效率和与 H^+浓度密切相关，pH 对于将还原中间产物 Mn(III)继续还原为 Mn(II)的第二步光电子转移影响尤为显著。结合第一性原理计算，模拟了不同有机物在水钠锰矿表面的成键模式，结果显示不同官能团有机物在矿物表面形成了金属配位结构具有差异。这项研究可为揭示日光照射下地表有机物与水钠锰矿结合过程中电子转移精细过程提供实验数据。

S23-O-01S

The control of different types of occurrence of organic matter on hydrocarbon generation in mudstones

Pengyan Du[1], Jingong Cai[1]*, Qing Liu[2], Xuejun Zhang[2], Juan Wang[2]

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, China 200092

2 Sinopec Shengli Oilfield Geological Sciences Research Academy, Dongying, China 257015

* jgcai@tongji.edu.cn

Organic matter is preserved as different occurrence forms in mudstones, that could affect the hydrocarbon generation process. However, there is little systematic research of hydrocarbon generation as a function of different occurrence of organic matter. This study collects a suite of mudstones in Dongying Sag, Bohai Bay Basin, and uses Soxhlet extraction and $Na_2S_2O_8$ oxidation methods and Rock-Eval VI pyrolysis to separate and quantify different occurrence of organic matter, aiming to learn the hydrocarbon generation differences of each occurrence of organic matter. There are three types of occurrence of organic matter: soluble organic matter (SOM), mineral-bond organic matter (MOM), particulate organic matter (POM). MOM owns the greatest abundance among the three types organic matter; SOM and MOM are the main hydrocarbon precursors and their hydrocarbon contribution change alternately with different kerogen types and layers. Additionally, MOM-contributed hydrocarbon is large at shallow depth; SOM-contributed hydrocarbon mainly occurs at deep depth; POM-contributed hydrocarbon shows little change throughout the entire depth. It demonstrates that MOM should be the main hydrocarbon precursor in shallow formation and SOM is the main hydrocarbon contributor in deep depth.

S23-O-02S

有机碳在方解石 104 晶面的吸附行为研究

高虓[1,3]，赵延洋[1,3]，闫华晓[2]*，赵辉[2]，韩作振[1,3]*

1 山东科技大学地球科学与工程学院，青岛 266590

2 山东科技大学化学与生物工程学院，青岛 266590

3 山东科技大学山东省沉积成矿与沉积矿物重点实验室，青岛 266590

* hanzz65@126.com, 15954804511@163.com

由微生物本身及其代谢产物产生的有机碳直接或间接影响着地球系统的物质和能量循环，有机碳与矿物的相互作用则影响着结晶过程和次生变化。量化计算是分子尺度研究有机质与矿物晶体相互作用的一种重要手段。

有机碳选取了包含有极性、非极性、中性三类 8 种氨基酸进行了密度泛函计算，首先将结构优化后的氨基酸分子置于方解石 104 表面进行动力学弛豫。一般来说，对于氨基酸在矿物表面的吸附，有许多有利的位点可供吸附。为了识别不同氨基酸的吸附特性，将普通基团放在上方，使-R 基团靠近方解石 104 表面。通过计算不同氨基酸在方解石 104 面的吸附，分析了不同氨基酸在方解石 104 表面的吸附稳定性和分子的局部反应性。由于氨基酸的吸附作用，造成晶体内部的应变较大，这些内应力引起局部距离倾斜，例如 CO_3^{2-}的平面，在实际样品实验测试中，中远红外光谱（FITR）中会出现峰值的异常漂移。此外，由于吸附作用还造成了晶面 Ca^{2+}的脱离现象，最终会造成晶面的空位缺陷，从而影响矿物表面的电荷分布，进而对环境溶液的杂原子掺杂提供一定的晶格位点。

通过差分密度电荷可以清楚地反映电子的转移和成键信息。将总密度图与差分密度电荷图进行对比，发现在氨基酸分子和方解石表面形成了电子云，方解石与分子之间存在较强吸附作用，有较强的电荷交换。含羧基官能团的有机分子在方解石 104 表面形成了较高的电子密度。在化学反应中，反应物之间的相互作用只发生在分子的前轨道之间，最高占据轨道(HOMO)是分子中被电子占据的最外层轨道，LUMO 是未占有电子的能级最低的轨道。氨基酸分子的 HOMO 和 LUMO 都离域于分子两端，说明两端是分子的反应区。$-NH_3$ 有一个未与$-NH_3$ 成键的 sp 轨道，被孤对电子占据而-CN 基团中存在 2 个 π 电子，使其具有更强的极化效应，从而产生更强的吸附，N 原子和 O 原子中的孤对电子都是容易发生化学反应的活性电子。携带苯环的氨基酸由于具有离域大 π 键的原因同样也造成了较强的吸附能。最后由于氨基酸分子中氧原子的 2P 轨道与钙原子的 3D 轨道杂化在方解石晶体中，最终在差分密度电荷图中显示出氨基酸分子和方解石之间有一团电子云。

有机质在方解石晶面的吸附行为研究有助于我们理解有机质在晶体表面的吸附趋向以及晶体的结构变化与强度，反应界面电荷的分布，在生物矿化过程中，有机碳影响晶格匹配对晶体生长的调控、晶面修饰以及异相成核具有重要意义。

S23-O-03S

Magnetic mineral diagenesis in the last glacial Black Sea 'lake' sediments

Jiabo Liu[1,2]*, Norbert R. Nowaczyk[2], Antje Wegwerth[3], Yi Zhong[1], Anja M. Schleicher[2], Qingsong Liu[1], Helge W. Arz[3]

1 Centre for Marine Magnetism, Department of Ocean Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China

2 Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geosciences, 14473 Potsdam, Germany.

3 Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde, Marine Geology, 18119 Rostock, Germany

* liujiabo7@gmail.com

Knowing the alterations of magnetic minerals in sediments is of fundamental interest for environmental interpretations and the assessment of the fidelity of paleomagnetic records. During the last glacial, the Black Sea was disconnected from the Mediterranean Sea and turned into a giant freshwater/brackish lake. The sub-/oxic bottom water conditions at the study site were favorable for preserving detrital magnetic minerals, generally titano-/magnetite ($Fe_{3-x}Ti_xO_4$, $0 \leqslant x \leqslant 1$). Nevertheless, greigite (Fe_3S_4)-bearing nodules are also sporadically observed in glacial Black Sea sediments, though embedded in normally oxic sediments. Aiming to investigate how the greigite-bearing nodules formed, nodules collected from core MSM33-55-1 from the SE Black Sea were

subjected to rock magnetic, X-ray diffraction, scanning electron microscopy, and energy-dispersive X-ray spectroscopy analyses. The obtained results indicate that the nodules are mainly composed of sulfur (S_8), greigite (Fe_3S_4), and goethite (FeOOH). Specifically, sulfur and greigite are constrained inside goethite crusts. Solely assessed from individual cores, the occurrences of greigite-bearing nodules, indicated by ratios of saturation magnetization to magnetic susceptibility > 10 kAm^{-1}, exhibit no correlations with (reconstructed) environmental variations. Further, based on the occurrence frequency of greigite-bearing nodules stacked from a total of fifteen cores from the Arkhangelsky Ridge in the SE Black Sea, a non-steady state diagenesis related to stadial/interstadial oscillations can be recognized in a time window spanning from 70 ka to 20 ka.

S23-O-04S

二叠纪－三叠纪之交碳同位素负偏的新解译：来自荧光有机质的证据

邱志莆，胡超涌*

1 中国地质大学（武汉）地理与信息工程学院，武汉 430078

* chyhu@cug.edu.cn

二叠纪-三叠纪之交发生了显生宙最大的一次生物灭绝事件，整个生态系统遭受了毁灭性的打击。这一灾难事件伴随着巨大的环境变化，比如超大规模的西伯利亚火山喷发、全球变暖以及海洋缺氧等。这些环境剧变不仅导致了生态系统的崩溃，还深刻影响了碳循环，碳同位素记录出现了显著的负偏。然而，精细的年代学研究发现，海洋无机碳同位素负偏要早于生物大灭绝与环境灾变的开始时间，成因机制尚不清楚。本研究中我们利用三维荧光光谱对浙江煤山金钉子剖面二叠系-三叠系界线碳酸盐岩保存的荧光有机质进行分析，了解它们的来源和转化过程，讨论对海洋环境的指示意义。研究表明，1）三维荧光光谱展现一个明显的特征峰（Ex: 250 nm，Em: 350 nm），与菲的荧光特征相一致。溯源结果表明菲的前驱物来自于类固醇和三萜类化合物，而类固醇和三萜类化合物的来源虽然广泛，但在缺氧水体中的含量明显高于有氧水体，主要是硫酸盐还原菌的贡献。硫酸盐还原菌参与的还原作用是陆架边缘海沉积环境中有机质矿化最主要的途径。因此，以菲为代表的荧光强度指示了早期沉积阶段硫酸盐还原菌参与的有机质矿化。2）荧光强度整体上与无机碳同位素呈现负相关关系（r = -0.73，n=133）,意味着早期成岩作用对碳同位素组成的影响。当有机质矿化增强时，荧光有机质的前驱物增多；与此同时，有机质矿化释放含轻碳同位素的二氧化碳，导致碳酸盐过饱和而形成自生碳酸盐沉淀，使得最终形成的碳酸盐岩碳同位素值降低。在一些特定的海洋环境下，硫酸盐还原菌参与的有机质矿化会发生在沉积物-水界面之下，由此导致碳同位素记录的负偏提前于缺氧事件。因而，有机质荧光为二叠纪-三叠纪之交碳同位素负偏提供了一个新解译。

S23-O-05S

微生物诱导镁碳酸盐沉淀及其沙漠化防控应用潜力

张猛龙[1]，赵良[1]*，李根[2]，朱辰[1]，东思嘉[2]，李子波[1]，唐朝生[1]，季峻峰[1]，陈骏[1]

1 南京大学 地球科学与工程学院，南京 210023

2 加州理工 学院地球与行星科学系，洛杉矶 帕萨迪纳 91125

* zhaoliang@nju.edu.cn

中国西北沙漠化地区具有丰富的盐湖镁资源，通过微生物诱导的镁碳酸盐沉淀反应可以用于该地区的沙漠化防控治理。本研

究探究了尿素分解菌（*Sporosarcina pasteurii*, ATCC 11859）诱导的镁碳酸盐沉淀过程，实验结果表明，过量的镁离子对 *Sporosarcina pasteurii* 的生长产生有一定的促进作用，而钙离子对该细胞生长有抑制作用，镁离子的相对转换效率高于钙离子，镁碳酸盐的沉淀物相为三水菱镁矿、富镁的无定型碳酸盐及富镁方解石，钙碳酸盐的沉淀物相为球文石和方解石。本研究进一步利用盐湖钾盐生产过程中产生的废弃镁盐，通过 *Sporosarcina pasteurii* 沉淀镁碳酸盐以胶结沙漠沙样品。胶结实验显示，镁碳酸盐沉淀的物相为三水菱镁矿，其沉淀在生物膜表面并将沙颗粒胶结，其胶结样品的抗压强度和胶结壳厚度均符合国标 GB/T 21141-2007 的固沙要求。此外，该过程不引入其他难降解物质，产生的铵盐留在沙颗粒中有利于后期的植被恢复。因此本研究认为利用盐湖废弃镁盐进行微生物诱导镁碳酸盐沉淀反应是一种极具前景的沙漠化防控治理方式。

S23-O-06S

离线热裂解法揭示土壤和水体环境中微生物脂类结合态比例不同

裴宏业[1,2]，杨欢[2,3]，谢树成[1,2,4]

1 中国地质大学（武汉）地球科学学院，武汉 430074；
2 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室，武汉 430074
3 中国地质大学（武汉）地理与信息工程学院，武汉 430074
4 湖北省流域关键带演化重点实验室，武汉 430074
* yhsailing@163.com; xiecug@163.com

土壤、湖泊和海洋是主要的有机碳库，其收支的微小波动会影响大气二氧化碳浓度。微生物在土壤和水体环境的固碳中都起到了重要的作用。在海洋中，微生物碳泵将 DOC 转变为难降解的 RDOC，促进了有机质的长期保存；在土壤环境中，土壤微生物同化合成产物是土壤稳定有机碳库的重要贡献者。微生物有机碳的保存是微生物碳泵的关键组成部分。有机质与黏土矿物结合形成的有机-矿物组合体可以大大减缓有机质的降解速率。然而，微生物碳在土壤和水体中的保存差异仍然不清楚。甘油二烷基甘油四醚化合物(GDGTs)是来源于微生物细胞膜的脂质，可以用来研究微生物来源的碳在水体和土壤环境的保存。本文利用离线热裂解法研究 GDGTs 在不同载体中的结合态比例。选取的样品为青海湖周边的砂质壤土、西藏色林错湖泊沉积物和东海沉积物。将样品分别混匀后在不同温度下（150, 200, 250, 300, 350℃）厌氧加热 72 小时，对有机化合物超声抽提，用液相色谱质谱联用仪定量分析样品中的 GDGTs 化合物，每个温度点设置一个平行。

结果表明，经 150, 200, 250℃加热的土壤样品中 GDGTs 含量明显高于未加热的土壤样品。GDGTs 含量在 200℃达到了峰值。这表明部分结合态的 GDGTs 经热裂解作用转变为游离态。将 200℃的 GDGTs 含量视为完整的 GDGTs 库，未经加热的样品中抽提到的 GDGTs 为游离态，可计算 GDGTs 在土壤中的结合态比例。土壤中 GDGTs 的结合态比例可达 92%，其中古菌 isoGDGTs 的结合态比例远高于细菌 brGDGTs。与土壤中的情况不同，在湖泊和海洋样品中，GDGTs 含量随着加热温度升高而降低，这表明湖泊和海洋样品中 GDGTs 的结合态比例很低，在热裂解过程中是以 GDGTs 的降解为主。

由此可见，土壤和水体环境中的 GDGTs 结合情况不同。在土壤中，isoGDGTs 主要由奇古菌原位产生，在产生过程中，奇古菌会产生胞外聚合物，在矿物表面形成生物膜(Liu et al., 2019)。而在水体环境中，浮游奇古菌与矿物的相互作用弱于土壤环境，这导致了在不同环境中 GDGTs 的结合态比例不同。

与矿物或其他大分子结合可以延缓有机质的降解，在土壤中大量的微生物脂类处于结合态，而在水体环境中这些结合态不明

显，这说明微生物碳泵在土壤中的效率要高于水体环境。

S23-O-07S

海洋深部沉积物中铁氧化物结合有机碳的动态赋存

陈云如[1,2]，董良[3]，王风平[3]*

1 上海交通大学生命科学技术学院，上海 200240

2 上海交通大学微生物代谢国家重点实验室，上海 200240

3 上海交通大学海洋学院，上海 200240

* fengpingw@sjtu.edu.cn

在陆地土壤和海洋沉积物中，铁氧化物通过表面吸附、共沉淀等方式与有机质结合，使得有机质难以被微生物利用，从而加强了对有机质的保存。研究结果显示，表层海洋沉积物中约 10-30%的有机碳与活性的铁氧化物结合。然而，铁氧化物在沉积物中作为活跃的电子受体参与到微生物的厌氧呼吸作用中。已有的实验室培养工作指示铁氧化物在被微生物还原的过程被溶解，造成与之结合的有机质被再次释放并被微生物利用。至今，与铁氧化物结合的有机质在埋藏过程中的变化依然未知。

为此，我们研究了南海北部陆坡沉积物柱 QDN-G1 和冷泉区沉积物柱 QDN-14B 中与铁氧化物结合的有机质(iron-bound OC)在埋藏过程中的变化。结果表明在 9 万年的埋藏历史中，iron-bound OC 在总有机碳（TOC）中的占比总体较为稳定，有 13.3±3.3%的有机质与铁氧化物结合。但是在硫酸盐还原过程产生的硫化氢会导致铁氧化物的还原性溶解，从而释放 iron-bound OC，造成 iron-bound OC/TOC 比例在硫酸盐-甲烷转换带（SMTZ）达到最低值。iron-bound OC 的碳同位素信号指示其主要为海洋来源的有机质，但在 SMTZ 区负偏，说明 iron-bound OC 可以在特定层位为微生物提供碳源。基于在 SMTZ 区以下，活性铁氧化物很难再受到微生物活动干扰，我们推测 iron-bound OC 可以在更长的地质时间尺度上稳定存在，其在全球海洋沉积物中可赋存 $16.4\pm4.2\times10^{20}$ Pg 的有机碳，相当于大气碳含量的 1000-2500 倍。通过这一机制，大量的活性海源有机质得以被保存，从而参与调节长时间尺度的碳循环。

S23-O-08S

厌氧－有氧转变过程中不同赋存形态的 Fe (II)引发的自由基反应对土壤有机碳周转的影响

胡楠楠，冯玲，余茜倩*

1 中国地质大学（武汉）地球科学学院，武汉 430074

* hnn@cug.edu.cn

土壤是陆地生态系统中最大的碳库，已有大量研究证明，广泛分布于土壤中的含铁矿物的氧化还原反应和电子传递作用对于调控全球有机碳循环具有关键作用，尤其是含铁矿物的自由基反应对于土壤有机碳的周转近年来得到广泛关注。人类活动及工业化活动对土壤理化性质产生显著影响。以湖南株洲某冶炼场地为例，碱性废液排放可使土壤 pH 达到 12 以上。然而，环境条件的改变对土壤中含铁矿物驱动的有机质转化尚不清楚。矿物中的铁可在二价与三价之间转化。当在厌氧环境中还原的土壤重新暴露于有氧条件下时，Fe(II)可以快速氧化，其引发的自由基反应可刺激土壤有机碳的非生物降解和转化，而不同赋存形态的 Fe(II)引发的自由基反应活性有所差异。本研究通过室内实验模拟三种赋存形态（离子态、表面吸附、矿物晶格中）的 Fe(II)在充氧过程中引发的自由基反应对左旋多巴（L-3,4-二羟基苯丙氨酸，L-DOPA）分解的影响，探究该过程中参与反应的自由基种类及其相对贡献，并结合野外采集的天然土壤样品，分析评价不同赋存形态的 Fe 在厌氧到有氧转变

过程中引发的自由基反应对土壤有机碳周转的相对贡献，探究人类工业化活动背景下 Fe 所介导的碳循环过程及其影响。

S23-O-09S

嗜碱藻类诱导碳酸盐沉淀的可行性探究

徐丹，张猛龙，赵良*

1 南京大学地球与工程科学学院，南京 210023

* zhaoliang@nju.edu.cn

工业革命以来大量化石燃料的使用，使得大气 CO_2 浓度迅速增加并造成了一系列环境问题，CO_2 减排问题引起了广泛关注。已有研究表明，藻类通过光合作用可显著提升溶液 pH，在这一过程中必然伴随着藻类对大气 CO_2 的吸收利用。本研究通过对 6 种候选蓝藻等时间间隔取样，监测其细胞密度以及藻液的 pH 等指标，旨在筛选高浓度 CO_2 耐受程度最好、CO_2 固定最高效、pH 提高程度最大的最优藻种。研究中涉及的蓝藻包括铜绿微囊藻 FACHB-927、水华微囊藻 FACHB-1028、聚球藻 FACHB-805、钝顶螺旋藻 FACHB-439、螺旋鱼腥藻 FACHB-418、集胞藻 FACHB-898。结果发现，在 25℃、光照 2000 lux、光暗比 12h：12h 培养 20 天后，集胞藻 FACHB-898 生长情况最好，细胞密度可达 1.8×108 cell/ml，pH 升高最大可达到 11.18。此外，在铜绿微囊藻、聚球藻、水华微囊藻培养液中发现，有玫瑰状团块镁碳酸盐沉淀在蓝藻细胞表面及胞外聚合物包裹中。本研究验证了利用嗜碱藻类对 CO_2 进行镁碳酸盐矿物封存的可行性，有望为低成本 CO_2 减排提供一个新方案。

S24-O-01

我国城市大气化石源 CO_2 的 ^{14}C 示踪研究

周卫健 [1,2,3]*

1 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061

2 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心，西安 710061

3 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室，西安 710061

* weijian@loess.llqg.ac.cn

二氧化碳 (CO_2)作为大气中最重要的温室气体，对全球升温的贡献占比超过 50%。城市区域化石源 CO_2 (CO_{2ff})排放占全球总量的 70%以上，因而成为研究的热点区域(Duren and Miller, 2012)。当前，中国面临着减少碳排放与减缓空气污染的双重问题。我国政府承诺到 2030 年单位国内生产总值(GDP)的碳排放比 2005 年下降 60%~65%。减排目标的实现需要对碳排放量进行可靠的监测与核查，目前主要是通过“自下而上”的排放清单数据来实现，即根据各类化石能源消耗量的统计数据和碳转化系数（即排放因子）计算碳排放量。这一方法依赖于统计数据的可靠性和各类化石燃料碳转化系数的准确性，其结果存在一定的误差 (Liu et al., 2015; Ciais et al., 2010; Gregg et al., 2008)。大气 $\Delta^{14}CO_2$ 观测为获得 CO_{2ff} 浓度提供了一个独立的、客观的方法。这是因为，化石燃料燃烧生成的 CO_2 不含放射性碳(^{14}C)，1 ppm CO_{2ff} 排放到大气中，能使大气 $\Delta^{14}C$ 下降 2.8‰ (Turnbull et al., 2006)，因此测定大气 CO_2 的 $\Delta^{14}C$ 可以定量计算化石燃料对大气 CO_2 的贡献量。我们自 2011 年起在西安开展利用 $^{14}CO_2$ 示踪 CO_{2ff} 的研究，结果显示，2014-2016 年西安大气 CO_{2ff} 平均浓度比 2011-2013 年下降了 14.4ppm，而同期 $PM_{2.5}$ 浓度下降了 53.9 μg/m^3，说明自 2013 年 9 月以来实施的“大气十条”，促使了大气污染物与温室气体的同步下降。数值模拟和 CO_{2ff} 来源解析发现西安 CO_{2ff} 主要来自当地排放，且以燃煤排放为主 (64±7%)。2014-2019 年在中国多个城市的观测发现，研究期内大部分城市 CO_{2ff} 浓度出现不同程度下降。这与当地政府的减排努力密不可分。冬季北方城市 CO_{2ff} 浓度高于南方城市，夏季南北方城

市 CO_{2ff} 浓度差别不大；冬季 CO_{2ff} 浓度普遍高于夏季。北方内陆城市冬季 CO_{2ff} 高值主要来自居民取暖使用大量的化石燃料和逆温、静风等不利扩散条件影响。我们发现 CO_{2ff} 浓度和大气细颗粒物 ($PM_{2.5}$)浓度之间具有很好的线性关系，可为污染提供协同治理新思路。在采取严格减排措施的城市，大气 CO_{2ff} 浓度已开始下降。中国城市减排的重点在于控制冬季燃煤的使用。应加强对大气 CO_{2ff} 浓度的持续观测，才能为评估节能减排提供可靠的科学依据。

S24-O-02

我国本底地区大气和树轮 ^{14}C 观测与化石源 CO_2 示踪研究

牛振川*，周卫健

1 中国科学院地球环境研究所，西安 710061

* niuzc@ieecas.cn

历次联合国气候变化大会的核心议题是：如何通过国际协调，将大气 CO_2 控制在某个浓度水平之内。迄今为止，国际社会评价全球大气 CO_2 浓度增长状况所引用的数据主要来自世界气象组织的本底站。随着我国经济的发展，我国区域本底站大气 CO_2 已受到区域经济圈化石能源排放的影响；那么，这种影响程度有多大？此外，大气 $\Delta^{14}C$ 的本底值是示踪化石源 CO_2 浓度的“基准”，本底 ^{14}C 值通常由在本底地区的大气观测得到；那么，我国大气 $\Delta^{14}C$ 的本底值是多少？

通过在瓦里关全球大气本底站和上甸子、临安、鹿回头站等区域本底站从小时到年际尺度的大气 $\Delta^{14}C$ 观测，确立了我国大气 $\Delta^{14}C$ 的本底值，为化石源 CO_2 的 ^{14}C 示踪研究提供“基准”；基于 $\Delta^{14}C$ 本底值，准确定量了区域本底大气 CO_2 中来自化石排放源的浓度水平，阐明了其变化特征和影响因素，为证实区域本底站大气 CO_2 受化石能源排放的影响提供有力证据。此外还通过树轮 $\Delta^{14}C$，量化了核爆和化石源排放对我国本底地区 1948-2018 年大气 $\Delta^{14}C$ 变化速率的影响。

S24-O-03

喀斯特小流域水面 CO_2 气体排放特征及其来源辨识

丁虎[1]，徐胜[1]，郎赟超[1]，李思亮[1]，Susan Waldron[2]，刘丛强[1]

1 天津大学地球系统科学学院，天津，300072

2 格拉斯哥大学地理与地球科学系，格拉斯哥，G12 8QQ

* dinghu@tju.edu.cn

内陆水体向大气排放的 CO_2 是全球碳平衡的重要环节。喀斯特地区河水溶解无机碳(DIC)含量较高，可能为水体大气排放 CO_2 提供丰富的碳源，然而这种碳排放却在过去被忽略，综合考虑其通量、控制因素及来源辨识等方面尚的系统研究较少。本研究以后寨流域为研究对象，就上述几个方面开展了系统研究。结果表明，后寨流域河水 CO_2 的排放通量处于全球目前已有报道（直接测定）的最高水平，受控于水力条件，并可以用河水的流速和 pCO_2 模拟。

对利用分子筛对水面释放的 CO_2 的同位素分析发现，后寨水体释放的碳相对于现代大气亏损 ^{14}C，时空差异明显。基于 ^{14}C 和 ^{13}C 的结果表明，风化成因的老碳平均占 22% 左右，因此是老碳向大气释放的一个重要途径。全球地表碳酸盐岩占比高达 20%，喀斯特河水 CO_2 释放的作用及重要性应该予以重新评估。

S24-O-04

Stronger mineral than temperature controls on the turnover of slow-cycling soil carbon

Juan Jia[1,2], Zongguang Liu[1,2], Negar Haghipour[3,4], Lukas Wacker[4], Jin-Sheng He[5,6], Meixun Zhao[7,8], Timothy I. Eglinton[3] and Xiaojuan Feng[1,2]*

1 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093, China

2 College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China

3 Geological Institute, ETH Zürich, Zürich, CH 8092, Switzerland

4 Laboratory of Ion Beam Physics, Department of Physics, ETH Zürich, Zürich, CH 8093, Switzerland

5 State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou, 730020, China

6 Institute of Ecology and Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing, 100871, China

7 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, and Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

8 Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China

* xfeng@ibcas.ac.cn

Climate projections require an understanding of carbon-cycling of different fractions in soil and their response to global warming. However, the inherently complexity of soil organic carbon (SOC) and traditional analytical methods have constrained us to understand the stability and vulnerability of SOC to global change. Here, using compound-specific radiocarbon analysis, we assessed the long-term turnover of various molecules in soil profiles along the grasslands of northeastern China and provided unequivocal evidence that short-chain lipids and lignin-derived compounds turnover faster than long-chain lipids and black carbon, whose stabilization is mainly governed by minerals. Further, our study demonstrates that fast-cycling components (i.e. lignin and short-chain lipids) are more sensitive to temperature increase than slow-cycling carbon (i.e. long-chain lipids and black carbon). Collectively, our findings challenge traditional view that lignin is the stable fraction in soil and that slow-cycling carbon are more sensitive to global warming and suggest that mineral association overshadows the temperature response of slow-cycling carbon in soil.

S24-O-05

基于 ^{14}C 评估火山流域深部碳对地表碳的影响

钟君*，徐胜，李思亮

1 天津大学地球系统科学学院，天津 300072

* jun.zhong@tju.edu.cn

深部碳释放对地表碳循环产生着重要且深远的影响，控制着全球气候变化。在本研究中，我们采集长白山火山地带河流及温泉水样品，分析其水化学、$\delta^{13}C_{DIC}$ 及 $\Delta^{14}C_{DIC}$ 来探究火山流域碳的来源及变化趋势。基于化学平衡模型，我们利用 Cl^- 进行径流分割来区分水的来源，在长白山北坡的河流中温泉水的贡献为 0.3%-16%。尽管温泉水对河流流量贡献不高，但是却对河水溶质有重要的贡献，同时对碳同位素值有重要的影响。通过碳同位素证据，我们发现在整个火山流域河水中碳主要受深部碳与生物碳混合的影响，而在河流源头区 CO_2 排放作用占主导（排放量占 DIC 总量的 42%）。本研究重点关注火山流域深部碳对河流碳的贡献，对于

理解深部碳在地表碳循环中的作用有重要意义。

S24-O-06

南海北部周边河流颗粒有机质来源研究

林宝治 [1]*，刘志飞 [1], Timothy I. Eglinton[2]，Thomas M. Blattmann[2,3], Selvaraj Kandasamy[4], Negar Hagpipour[2,5], Gert, J. de Lange[6], 黄国芳 [7], 游镇烽 [8], Fernando P. Siringan[9]

1 海洋地质国家重点实验室, 同济大学, 上海, 200092, 中国

2 Geological Institute, Department of Earth Sciences, ETH Zürich, 8092 Zürich, Switzerland

3 Biogeochemistry Program, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokosuka 237–0061, Japan

4 地质海洋学系和海洋环境科学国家重点实验室, 厦门大学, 厦门, 361102, 中国

5 Laboratory of Ion Beam Physics, ETH Zürich, Otto-Stern-Weg 5, 8093 Zürich, Switzerland

6 Department of Earth Science-Geochemistry, Geosciences, Utrecht University, 3584 CD, Utrecht, The Netherlands

7 Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei 11529, Taiwan

8 Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University, Tainan 70101, Taiwan

9 Marine Science Institute, University of the Philippines, Diliman, Quezon City 1101, Philippines

* bzlin@tongji.edu.cn

陆地颗粒有机质通过河流向海洋输送并埋藏的过程组成全球碳循环的重要部分，对调节大气二氧化碳（CO_2）浓度起着关键性作用。陆源颗粒有机质来源包括由植物碎屑和土壤组成的生源有机质和岩石有机质组成，前者在海洋的埋藏组成大气的碳汇，而后者的埋藏不影响大气 CO_2 浓度，因此，研究河流颗粒有机质的来源是准确评估河流在全球碳循环扮演角色的基本前提。南海北部汇集周边河流（珠江、台湾和吕宋河流）输入的大量沉积物，然而，关于这些河流颗粒有机质来源仍然不是很清楚。本文通过分析珠江、台湾和吕宋河流沉积物的总有机碳（TOC）和总氮（TN）含量、有机碳稳定性碳和放射性碳同位素（$\delta^{13}C$ 和 $\Delta^{14}C$）、粒度和比表面积，并结合各流域中已发表的悬浮颗粒物和土壤剖面相关数据，研究南海北部周边河流颗粒有机质的来源。结果显示，珠江颗粒有机质的碳-14 年龄为现代至距今 7800 年，主要来自中深层土壤（占 60-90%）、水体自生初级生产力（0-20%）和岩石碎屑（10-20%），其中，雨季颗粒物主要由土壤贡献，而水体自生初级生产力和岩石碎屑的贡献量在旱季明显增加（Lin et al., 2019）。台湾河流颗粒有机质的碳-14 年龄为距今 2100 至 20000 年，由土壤（20-70%）和岩石碎屑（30-80%）组成。全岛 17 条河流的颗粒有机质来源存在显著差异，其中，西北部河流的沉积物含有较高含量的土壤，而南部河流则以岩石碎屑为主（Lin et al., 2020）。吕宋河流颗粒有机质的碳-14 年龄为现代至距今 2800 年，主要由土壤组成，而岩石碎屑的贡献则很少（6±6%）。据估算，热带吕宋小型河流向海洋输出的生源有机碳量可达 3.2-3.7 $t/km^2/yr$，远高于密西西比河和刚果河等热带大型河流（Lin et al., 2021）。因此，不同区域的河流颗粒有机质来源存在着的明显差异，这为研究陆源颗粒有机质在南海北部的源汇过程奠定了基础。

S24-P-01

兴庆湖水－气界面 CO_2 及其 PMC 的季节性变化特征

熊晓虎 [1,2]*，王亚 [1,2,3]

1 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安加速器质谱中心

2 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室

3 中国科学院大学

* xiongxh@ieecas.cn

我国近百分之九十的化石源 CO_2 排放发生在城市，因此城市正面临着温室效应和大气污染带来的双重考验。城市湖泊、河流是城市生态系统中一个重要的“活性”碳库，通过与大气 CO_2 的交换影响到城市 CO_2 的浓度。^{14}C 是碳循环研究中不可或缺的工具，不同来源的 CO_2 中 ^{14}C 水平一般存在差异，因此 ^{14}C 常被用于 CO_2 的来源解析。已开展的湖泊水-气界面 CO_2 的研究多集中在城郊的大型湖泊（如洞庭湖、鄱阳湖、太湖、洱海等），且缺乏 $^{14}CO_2$ 观测。本研究以城市景观湖（西安市兴庆湖）为研究对象，采用静态浮箱法，收集了不同季节、不同时刻（日间）的水-气界面的 CO_2。分别利用 Picarro CO_2 分析仪（G2131-i）和加速器质谱仪（AMS，HVEE 3MV）测定 CO_2 浓度和其 ^{14}C 含量。研究结果显示：兴庆湖水-气界面 CO_2 浓度变化范围较大， 420.7 ppm-707.7ppm，冬春季较低，夏秋季较高；CO_2 的 PMC（percent of modern carbon）的变化范围为 77.9% -99.6%，春夏变化幅度较大，秋冬变化幅度较小；CO_2 通量的变化范围为 7.94mg m^{-2} h^{-1} - -12.66 mg m^{-2} h^{-1}（正值表示释放 CO_2，负值表示吸收），除夏秋季午间时段通量为正值，冬春季和夏秋季日间其他时段通量均为负值，表明观测时段内主要表现为湖泊水体吸收大气 CO_2。基于质量守恒定律对 CO_2 PMC 变化显著的样品进行了源解析，发现来自于底泥释放的较老的 CO_2 可达 53.9ppm，通量为 8.63 mg m^{-2} h^{-1}。本研究揭示了城市景观湖水-气界面日间 CO_2 通量季节变化特征，发现景观湖在日间主要作为碳汇，然而 ^{14}C 源解析的结果显示在气温较高的季节，湖底沉积物会释放一定量的“老碳”，这部分碳作为净输入可能会抬升城市大气 CO_2 浓度。

S24-P-02

Cadmium isotope compositions in marine sediments as novel paleo-productivity proxy

S.V. Hohl*

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, 200092 Shanghai PR China

* sv_hohl@tongji.edu.cn

Cadmium (Cd) and isotope systematics are emerging tools for studying the biogeochemical cycling of micronutrients in the oceans, and sedimentary archives, as Cd concentrations in seawater show a nutrient-like behaviour, with surface depletion and deep water enrichments. However, the underlying processes are yet to be fully understood. The Cd concentration and isotopic composition of seawater are set by the balance of Cd inputs (and their isotopic composition) and the fractionation on removal to sedimentary sinks. The most favoured explanation is the Cd utilisation by marine phototrophic biomass, causing the surface water’s dissolved Cd pool depletion creating a depth gradient of increasing Cd concentrations and lighter isotopic compositions. Under incomplete oxidative recycling, organic matter may act as an effective Cd sink and authigenic minerals may store the ambient seawater’s Cd isotope composition.

Consequently, stable Cd isotope compositions in marine sediments show broad variations linked to paleo-productivity and redox state changes. Additional fractionation processes govern the Cd isotopic compositions: besides biological utilisation, experimental Cd partitioning into authigenic calcites or sulphides under variable redox and salinity conditions has been shown. Therefore, when applying Cd isotopes in marine sediments, other geochemical proxies must be evaluated very carefully to understand the involved Cd

fractionation processes. This presentation aims to present the status quo of research done on authigenic and biologic carbonates and carbonate leachates in organic matter rich shales to show the strengths and pitfalls of this new emerging bio-geoscience isotope proxy and its use for paleoenvironmental reconstructions on Earth and beyond.

S24-P-03

ENSO-like patterns in Western Pacific Warm Pool since the late Pleistocene

Yang Zhang[1]*, Guangxue Li[1,2], Jishang Xu[2], Rui Bao[3]

1 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ocean University of China, Qingdao, China, 266100

2 Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao, China, 266100

3 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, Key Lab of Marine Chemistry Theory and Technology, Ocean University of China, Qingdao, China, 266100

* zy6556@ouc.edu.cn

The Western Pacific Warm Pool (WPWP) exert a permanent sea surface temperature (SST) of >28℃, receiving the largest amount of solar radiation in the earth, is the main source of water vapor and heat engine driving the global climate change. The evolutionary history and driving mechanism of upper water temperature in WPWP become a palaeoceanographic frontier topic, due to that the role of WPWP in palaeoclimate change is closely related to the Asian Monsoon and El Nino-Southern Oscillation (ENSO) activity.

Here, we performed a high-resolution foraminifera $\delta^{18}O$ and Mg/Ca sediment records from the center of WPWP since the late Pleistocene in order to reconstruct the SST and thermocline water temperature (TWT) and the variation of glacial-interglacial conditions in the region. Moreover, we combined with the previous published records in Eastern Equatorial Pacific (EEP) to calculate the SST gradient along the equatorial Pacific for understanding the ENSO-like patterns during the late Pleistocene. In addition, we assessed the local factors and remote processes on WPWP in response to obliquity forcing and climate effects of ENSO-like patterns. This work would provide a new line for investigating the ENSO-like patterns in palaeoclimate with a great significance for understanding the disciplinary of global climate change and predicting the future trend of global climate change.

S24-P-04

Black carbon burial history in the East China Sea over the anthropocene

Jingyu Liu[1], Nan Wang[2], Weifeng Wu[1], Yangli Che[1], Cuimei Xia[1], Deju Lin[1], Rui Bao[1]*

1 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, and Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education/Institute for Advanced Ocean Studies, Ocean University of China, Qingdao, China, 266100

2 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, MOE and College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao, China, 266100

* baorui@ouc.edu.cn

Black Carbon (BC) derived from incomplete combustion of biomass and/or fossil fuels in land, but finally buried in the ocean as a carbon 'sink' pool, exerting a slow but important function for the oceanic biogeochemical carbon cycles. Pilot studies suggested that a large amount of BC was buried in China Marginal Seas, reflecting the energy structure and development process of China. However, the temporal fluxes and sources of BC burial in the East China Sea are still not well-constrained. Here, we present a detailed investigation on contents and carbon isotope compositions of the BC from marine sediments retrieved from a muddy belt in the East China Sea. We examined BC contents (wt%) using CTO-375 method after considering the potential influences from two different decarbonate pretreatments. Our preliminary results reveal an evident variation of BC contents over the past decades. In addition, the $\delta^{13}C_{BC}$ show a range of values, comparable to the $\delta^{13}C$ of marine organic carbon, suggesting that graphitic BC (GBC) with a marine-like $\delta^{13}C$ signature may contribute to a significant fraction of BC in the East China Sea. The downcore $\delta^{13}C_{BC}$ values do not show obvious fluctuations, implying a stable source apportionment of BC input over the past decades. Our findings indicate that burial of BC in the ocean during the Anthropocene is closely related to its emissions and sources, which may have a profound impact on climate change.

S24-P-05

Abundance, stable carbon isotope and radiocarbon of sedimentary organic carbon lost during the acid-rinsing pretreatment

Cuimei Xia[1], Li Xu[2], Ann McNichol[2], Mengfan Chu[1], Jingyu Liu[1], Nan Wang[3], Timothy I. Eglinton[4], Rui Bao[1,4]*

1 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, and Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education/Institute for Advanced Ocean Studies, Ocean University of China, Qingdao, China

2 National Ocean Sciences Accelerator Mass Spectrometry Facility, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts, USA.

3 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, MOE and College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

4 Geological Institute, Department of Earth Sciences, ETH Zurich, Zurich, Switzerland

* baorui@ouc.edu.cn

The accuracy of organic geochemical results from sedimentary organic carbon is the premise to interpret the complexity of oceanic environmental changes. An increasing body of evidence indicates that sedimentary organic carbon (OC) loss during the acid-rinsing pre-treatment which is essential and common for decarbonization processes in the laboratories. Our knowledge about geochemical information of the lost OC, such as abundance, stable carbon isotopes ($\delta^{13}C_{org}$), and radioisotopes ($^{14}C_{org}$), however, is limited. Here, we investigate the influence of HCl acid-rinsing process on the results of the lost OC in bulk and differentiated-size sediments (< 20, 32-63, 63-125, 125-250, 250-500, and >500μm) from the Arabian Sea as well as bulk sediment from the Peru upwelling. Our results show that the maximum OC lost rate is found in the 32-63 μm fraction, up to 11.5 %, and its $\delta^{13}C_{org}$ is the minimum, -22.2 ‰, implying the more

terrestrial OC loss over the pretreatment. Moreover, the ^{14}C ages of the lost OC increase with increasing grain size from 575 to 3430 yr. Our finding suggests that OC %, $\delta^{13}C_{org}$, and $^{14}C_{org}$ are largely affected by acid-rinsing treatment, and the influence is closely related to the grain size of the marine sediment. Our findings imply that the grain size of marine sediment would be one of the important factors influencing on organic geochemical characteristics of samples over the pre-treatment process.

S24-P-06S

Investigating hydrodynamic effects on carbon isotope composition and microbial community redistribution of resuspended sediments in the shallow marginal sea

Yangli Che[1], Longhai Zhu[2], Nan Wang[3], Chaoran Lin[2], Rui Bao[1]*

1 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, and Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education/Institute for Advanced Ocean Study, Ocean University of China, Qingdao

2 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao

3 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, MOE and College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao

* baorui@ouc.edu.cn

The shallow marginal sea serves as a transition zone between river estuary and deep ocean, receiving organic carbon (OC) and microbial community with complex composition. An increasing body of evidence indicates that the sediments in the shallow marginal sea are susceptible to strong hydrodynamic processes, causing sediments' resuspension and influencing the benthic carbon cycles and microbial activities. However, the mechanisms of biogeochemical characteristics in the resuspended sediments driven by specific hydrodynamic conditions have not been understood effectively. Here we examined the stable carbon isotope ($\delta^{13}C_{org}$), $^{14}C_{org}$, DNA, grain size, the mass and OC content (OC%) of resuspended surface sediments retrieved from the Yellow River Estuary to assess the influences of hydrodynamic forcing on the OC characteristics and microbial redistribution under a range of benthic sheer stresses (from 0.01 to 0.6 N/m^2) stimulated by the UGEMS-2C erosion microcosm system. Our results show that $\delta^{13}C_{org}$, grain size, and OC% of resuspended sediments vary under different shear stresses. The maximum of $\delta^{13}C_{org}$, grain size, and OC% are found under 0.3, 0.2, and 0.1 N/m^2, respectively, suggesting that specific hydrodynamic condition can shape biogeochemical characteristics of resuspended sediments. Additionally, the results of $^{14}C_{org}$ and DNA are still on the processes, and we believe that these parameters could give us more informations about carbon isotope composition and microbial distribution. Our work would provide a comprehensive understanding for the marginal seas' biogeochemical cycles controlled by hydrodynamic forcing.

S24-P-07S

中国西南部剑湖沉积物中的土壤侵蚀和微量金属污染记

录所揭示的云南西北部全新世－人类世的转变

杨瑞[1]，吴铎[1]*，李泽慧[2]，袁子杰[1]，牛丽丽[1]，张欢[1]，陈杰[1]，周爱锋[1]*

1 兰州大学资源环境学院，西部环境教育部重点实验室，兰州 730000

2 大理剑川湖省级湿地自然保护区管理局，大理 671000

* dwu@lzu.edu.cn; zhouaf@lzu.edu.cn

加速的土壤侵蚀和水生环境中的微量金属污染已成为“人类世”期间全球环境变化的一个普遍现象，威胁着粮食安全和生态系统的活力。这些过程的长期记录可以促进对其时间、幅度和环境影响的更好理解。这里我们介绍了来自中国西南部云南省剑湖的沉积记录，结果表明，土地利用变化至少在公元 1200 年就已经影响到了湖泊流域，从公元1450年开始，土壤侵蚀的强度增加，磁化率增加和微量金属含量较高证明了这一点。大气运输铅（Pb）增加的时间，可能与该地区冶金活动的增长有关，比人为的土壤侵蚀早了约 250 年。自公元 1950 年代以来，采矿和冶炼业、燃煤和使用含铅汽油造成的铅排放导致该地区的铅污染加剧。与云南西北部湖泊的地球化学记录进行比较，发现在南诏和大理王国时期，环境干扰相对有限。然而，从元代开始，由于移民造成的人口增加，云南湖泊流域的人类干扰加强，随后人类活动的类型和强度发生变化，20 世纪中期以后人类活动的影响加强。总的来说，我们的研究为理解 "人类世 "的历史背景提供了一个案例分析。

S24-P-08S

过去 2.5 亿年以来古气候中植被的演化

郭佳琦*，胡永云

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* 1901110244@pku.edu.cn

植被影响着大气与陆地之间的碳、水、动量和能量的交换，两者之间的相互作用对于气候具有十分重要的作用，通过模式重现古气候中的植被分布对于提高古气候模拟的准确性和真实性具有重要意义。目前常用的地球系统模式 CESM 中的植被参数参照于现代植被信息进行设置，用其所包含的动态植被模块进行古气候模拟得到的植被覆盖率和植被结构不合理，表明该植被模块可能不适合模拟古气候中的植被情况。由此，对植被模式进行改造用以研究古气候中的植被是有必要的，但相关系统研究较少。为了模拟重现 2.5 亿年以来植被的演化过程和研究植被在重大古气候事件中的作用，本研究将 BIOME4 植被模式耦合于地球系统模式 CESM1.2,得到了初步的植被演化过程，其中一些植被分布结果与地质证据相吻合，一定程度上验证了结果的可靠性。在此基础上，本研究将充分结合古植物的演化历史，改变模拟研究中的植被类型及参数，用以再现古气候中的植被分布。后续研究也将考虑更多的植被模式来提升模拟的结果。此外，本研究有望可以回答二叠纪-三叠纪交界（PTB）和古新世-始新世极热(PTEM)时期出现不同植物响应的原因，支撑恐龙等大型动物存在的植被因素等科学问题。

S24-P-09

Compound-specific radiocarbon reveals sources and land-sea transport of polycyclic aromatic hydrocarbons in an urban estuary

Miaolei Ya[1,2], Yuling Wu[2], Li Xu[3], Yongyu Li[2], Hanzhe Chen[2], Xinhong Wang[2]*

1 School of Environmental and Biological Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, China.
2 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, College of the Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen, China.
3 National Ocean Sciences Accelerator Mass Spectrometry Facility, Department of Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts, United States.
* xhwang@xmu.edu.cn

As typical chemical indicators of the Anthropocene, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their environmental behavior in urban estuaries can reveal the influence of anthropogenic activities on coastal zones worldwide. In contrast to conventional approaches based on concentration datasets, we provide a compound-specific radiocarbon (^{14}C) perspective to quantitatively evaluate the sources and land–sea transport of PAHs in an estuarine–coastal surficial sedimentary system impacted by anthropogenic activities and coastal currents. Compound-specific ^{14}C of PAHs and their ^{14}C end-member mixing models showed that 67−73% of fluoranthene and pyrene and 76−80% of five- and six-ring PAHs in the Jiulong River Estuary (JRE, China) originated from fossil fuels (e.g., coal, oil spill, and petroleum-related emissions). In the adjacent Western Taiwan Strait (WTS), the contributions of fossil fuel to these PAH groups were higher at 74−79% and 84−87%, respectively. Furthermore, as a significant biomarker for source allocation of terrigenous organic matter, perylene, a typical five-ring PAH, and its land–sea transport from the basin through the JRE and finally to the WTS was quantitatively evaluated based on the ^{14}C transport models. In the JRE, fluvial erosions and anthropogenic emissions affected the ^{14}C signature of perylene ($\Delta^{14}C_{perylene}$, -535 ± 5‰) with contributions of > 38% and < 62%, respectively. From the JRE to the WTS, the decreased $\Delta^{14}C_{perylene}$ (-735 ± 4‰) could be attributed to the long–range transport of "ocean current-driven" perylene (-919 ± 53‰) with a contribution of 53 ± 8%. This compound-specific ^{14}C approach and PAH transport model help provide a valuable reference for accurately quantifying land–sea transport and burial of organic pollutants in estuarine–coastal sedimentary systems.

S24-P-10

水动力过程和来源变化调控东海沉积有机碳年龄演化

李大伟[1]*，张海龙[1]，Julian P. Sachs[2]，袁子能[1]，王子成[1]，苏成龙[1]，赵美训[1]*

1 中国海洋大学，深海圈层与地球系统前沿科学中心和海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室，青岛 266100
2 华盛顿大学海洋学院，西雅图，98198
* ldw@ouc.edu.cn, maxzhao@ouc.edu.cn

在沉积记录中（包括表层沉积物），有机碳 ^{14}C 年龄普遍老于沉积年龄（后者通常以有孔虫壳体 ^{14}C 年龄为基准，两者之差标记为有机碳的表观年龄）并且在全球海域呈现不同的时空变化。然而到目前为止我们尚不清楚这种现象的产生原因。本研究利用东海陆架济州岛西南泥质区的沉积岩芯，开展了自 1.4 万年以来有机碳含量及碳同位素（^{13}C 和 ^{14}C）以及典型生物标志物组成的研究。我们发现（1）总有机碳的表观年龄在1,930–5,530 yr 之间，并且表现为冰消期高、中晚全新世低的特征。（2）陆源有机碳贡献比例及埋藏通量同样呈现为冰消期高，中晚全新世低的特征。（3）基于双同位素（^{13}C 和 ^{14}C）的混合模型并不能完全解释沉积有机碳的表观年龄。结合海平面变化历史与矿物特征，我们提出如下观点：在中晚全新世

（高海平面），陆源有机碳经由河口搬运至沉积区的历程中经历了强烈沉积-再悬浮过程，由此产生的水动力老化（hydrodynamic process aging）是有机碳表观年龄的主要贡献者。在冰消期阶段（低海平面），近岸水动力过程对古海岸的侵蚀导致更多的古老有机碳被搬运至济州岛西南泥质区，这一过程增加了古老陆源有机碳的贡献比例进而产生较高的有机碳表观年龄。此外，我们发现东海与北极陆架海区陆源有机碳的埋藏通量对气候/环境强迫的响应不同：陆源有机质向陆架的搬运在高纬度对 MWP（melt water pulse）事件响应敏感，而在东海则主要受控于海平面变化引起的水动力过程（如潮汐强度的时空变化）。

S25-O-01

微型生物碳泵与生物泵和碳酸盐泵的协同作用效应

焦念志[1]*,戴民汉[1]，翦知湣[2]，王晓雪[3]，谢树成[4]，张锐[1]

1 厦门大学，361005，厦门

2 同济大学，20092，上海

3 中国科学院南海海洋研究所，510301，广州

4 中国地质大学（武汉），430074，武汉

* jiao@xmu.edu.cn

海洋储碳机制主要包括生物泵(Biological Carbon Pump, BCP)、碳酸盐泵(Carbonate Carbon Pump, CCP)、微型生物碳泵(Microbial Carbon Pump, MCP)等。我们认为 BCP、CCP、MCP 之间存在协同效应。BCP 与 MCP 是密切关联的, MCP 对 BCP 有两种效应: Protection effects 和 Aggregation effects, 前者指颗粒有机碳（POC）在沉降过程中与 RDOC 分子碰撞、结合、乃至被 RDOC 包裹, 从而起到增大和保护 POC 的作用；后者指的是 RDOC 分子通过聚合作用形成新的 POC 加入到 BCP 中(Jiao et al 2014)。这种情形下, 还有一个附带的效应——RDOC 改变了沉积物中 POC 的年龄结构, 本来 POC 从海表层沉降到海底时间约 1 年, 而 RDOC 有着数千年的“高龄”，即便其对 POC 的绝对贡献量不大, 它所造成的同位素定年误差也可能不可忽视(Jiao et al 2014)。MCP 对 CCP 的作用主要有两方面：碳酸盐凝结核(Carbonates condensation nuclei, CCN)效应和微型生物代谢产生的碱度效应(Jiao 等, 2018；2020)。前者对 CCP 的促进作用, 就像云的凝结核促进降雨一样；后者在厌氧环境中促进自生碳酸盐的形成。地球历史上曾经出现过自生碳酸盐大量沉积的现象, 对气候变化产生了重要影响(Schrag 等, 2013)。

S25-O-02

Ocean deoxygenation and acidification have opposing effects on phytoplankton growth and productivity

Jia-Zhen Sun[1], Tifeng Wang[1], Ruiping Huang[1], Xiangqi Yi[1], Di Zhang[1], John Beardall[1,3], David A. Hutchins[4], Xin Liu[1], Xuyang Wang[1], Zichao Deng[1], Gang Li[5], Guang Gao[1,2], Kunshan Gao[1,2]*

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science & College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China

2 Co-Innovation Center of Jiangsu Marine Bio-industry Technology, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China

3 School of Biological Sciences, Monash University, Clayton, Victoria 3800, Australia

4 Marine and Environmental Biology Section, Department of Biological Sciences, University of Southern California, Los Angeles, California 90089, USA

5 Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

* ksgao@xmu.edu.cn

The oceans are respiring less due to expansion of hypoxic zones and ocean deoxygenation (DOX) caused by ocean warming. Nevertheless, effects of DOX on phytoplankton have been neglected due to technical bottlenecks on examining O_2 effects on O_2-producing organisms. Here we show that DOX increased primary productivity of a coastal phytoplankton assemblage, and enhanced photosynthesis and growth in the coastal diatom *Thalassiosira weissflogii*. Mechanistically, reduced O_2 suppressed mitochondrial respiration and photorespiration, but increased the efficiency of their CO_2 concentrating mechanisms (CCMs) and effective quantum yield with improved light use efficiency, which was apparent under both ambient and elevated CO_2 concentrations predicted for future ocean acidification (OA). While OA treatment partially counteracted the effects of DOX in terms of CCMs activity, reduced levels of O_2 still strongly enhanced phytoplankton primary productivity. This implies that progressive DOX boosts re-oxygenation by phytoplankton, especially in hypoxic areas, with profound consequences for marine ecosystem services in coastal and pelagic oceans.

S25-O-03

14 亿年前海洋中的铁循环与有机质富集

王华建[1,2]*，张水昌[1,2]，王晓梅[1,2]，叶云涛[1,2,3]，Donald E Canfield[1,2,4]

1 中国石油勘探开发研究院，北京 100083

2 中国石油油气地球化学重点实验室，北京 100083

3 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

4 南丹麦大学地球演化北欧中心，欧登塞 5230

* wanghuajian@petrochina.com.cn

地球上的规模性铁沉积主要出现在 18 亿年前，8 亿年前又曾短暂出现。针对长达 10 亿年的规模铁沉积的匮乏现象，有多种解释方案：一是地球氧化事件使得海水 Fe^{2+}被大量氧化沉积；二是海洋硫酸盐输入量增加，还原后生成的 H_2S 将铁以黄铁矿的形式沉积。近年来研究发现，18-8 亿年间的超大陆裂解、大火成岩省、海底热液等活动仍然活跃，可以持续向海洋输入 Fe^{2+}，海洋仍以富 Fe^{2+}水体为主。

海洋中的铁循环主要取决于氧化还原反应和微生物作用。在低氧的海洋环境下，厌氧和需氧的微生物活动可能是铁循环的主要驱动者。绿硫和紫硫细菌、铁氧化细菌等微生物作用使得 Fe^{2+}被氧化，形成难溶的铁氢氧化矿物。这一过程主要发生在海洋表层，伴随着光合作用的发生、有机质的生产和氧气的释放。铁还原菌则通过异化铁还原反应将铁氢氧化矿物还原成 Fe^{2+}，再次进入海水。这一过程则主要发生在海洋深部和水岩界面，伴随着有机质的消耗和降解。因此，微生物参与的铁循环对于有机质的制造和埋藏、氧气的生成和释放有着至关重要的意义。

中国华北克拉通下马岭组是一套 14 亿年前沉积的以黑色页岩和绿色粉砂质泥岩为主的碎屑岩沉积。在其厚层黑色页岩的下部，沉积铁的矿物形式依次从菱铁矿、赤铁矿/磁铁矿过渡到黄铁矿，同步沉积的有机质丰度则呈现中、低、高的变化趋势。下马岭组沉积铁的同位素分馏情况证实铁还原细菌主导的铁呼吸作用在 14 亿年前的海洋深部和水岩界面普遍存在的，且规模巨大，使得原始沉积的赤铁矿或铁氧化氢氧化物被还原成 Fe^{2+}，再次进入海洋或被 HCO_3^-捕获后菱铁矿形式沉积，进而导致有机质降解和无机矿化。直至细菌硫酸盐还原反应启动，使得 Fe^{2+}以黄铁矿沉积，才开始有机质的大规模富集。

下马岭组沉积物记录了 14 亿年前海洋中多种微生物驱动的铁循环和碳埋藏过程，也记录了富铁沉积至富有机质沉积的转变

和大气增氧过程。由此揭示中元古代贫有机质的沉积物可能并不意味着初级生产力的匮乏，而是受到了铁呼吸作用的影响。中元古代富 Fe^{2+}海洋可能依然有着高的初级生产力水平和高效的产氧机制。

S25-O-04

“矿物增效的生物泵”可望用于提高海洋固碳效率

袁鹏[1,2]*，刘冬[1,2]

1 中国科学院科学与成矿学重点实验室，中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640

2 中国科学院深地科学卓越中心，广州 510640

* yuanpeng@gig.ac.cn

海洋施铁肥（Ocean Iron Fertilization；OIF）是一种地球工程（Geoengineering）策略，旨在通过增加对高营养盐、低叶绿素海域的铁营养供给，促进浮游生物勃发，使之将更多有机碳带入深海储存；从而减少大气中二氧化碳含量，缓解全球变暖。然而，由于硅藻等浮游生物在垂向运移中发生有机碳的再矿化，其有机碳垂向输送至深海的效率很低，这已被多次 OIF 实践所证明。我们通过研究粘土矿物-硅藻相互作用，发现硅藻可捕获粘土矿物所释放的铝，使硅藻壳体骨架结构中赋铝；且硅藻与粘土矿物颗粒易发生团聚。上述两方面效应均有利于抑制硅藻生物硅的溶解，减少其在沉降过程中的有机碳损失。据此，我们提出，可在 OIF（或其它基于海洋的地球工程中）人为添加粘土矿物等矿物微粉，促成“矿物增效的生物泵（Mineral-enhanced Biological Pump；MeBP）”效应用于海洋固碳。MeBP 作为一种提高 OIF 等地球工程固碳效率的潜在策略，其技术方法和实现途径值得进一步研究。

S25-O-05

西太平洋溶解有机物在南的海物理交换和微生物转化过程的分子水平分析

江鹏[1]，陈洪梅[1]，刘占飞[2]，李骁麟[1]*

1 近海海洋环境科学国家重点实验室，海洋与地球学院，厦门大学，厦门 361005

2 海洋科学研究所，德州大学奥斯汀分校，Port Aransas，78373

* xlli@xmu.edu.cn

海洋中溶解有机物（DOM）的混合和转化是影响海洋生源要素循环的重要过程，然而由于我们对 DOM 在分子水平解析技术的限制，以及对海洋中不同时间尺度（从小时到千年）的物理和生物过程理解的限制，使得我们很难追踪 DOM 在真实海洋环境中的转化过程。本研究我们旨在利用中国南海（SCS）作为一个典型陆架边缘海系统，研究源于北太平洋（NPO）的 DOM 通过表层（< 500m）和深层（1500-2500m）与 SCS 的交换过程，及其在交换过程中的微生物转化程度。我们具体利用固相萃取技术（SPE）富集 DOM，并分析其中放射性碳 14 用以指示 DOM 的年龄，同时我们利用傅立叶变换离子回旋共振超高分辨质谱（FT-ICR-MS）和离子淌度四极杆飞行时间质谱（IM-Q-TOF）从分子水平研究 DOM 在不同层位的分子组成特征和转化过程。南海盆地深部样品（2000m）中 SPE-DOM 的碳 14 年龄为 6,300±45 年，比 NPO 深部中的年龄高 130 年。根据等密度面混合模型，我们发现黑潮侵入显著地影响了南海北部表层 DOM 的分布，并且发现混合锋面是 DOM 发生微生物转化的热点区域。通过对 FT-ICR-MS 数据的统计分析，将 DOM 的离子质谱峰区分成代表惰性 DOM（RDOM）和活性 DOM（LDOM）两个组分。发现在 LDOM 中包含 N 和 S 的异质原子分子显著高于 RDOM 中的分子，并且从表层到深水，LDOM 分子中存在双键当量（DBE），芳香度指数（AImod），O/C 升高和 H/C 降低的趋势，进一步证明了

DOM 从表层到深层海洋混合过程中由 LDOM 到 RDOM 转化的羧基化过程。 此外，RDOM 离子质谱峰与 LDOM 相比在水柱中的分布相对更均一化，但是由于 SCS 和 NPO 中不同量级的垂直混合过程的影响，RDOM 的垂直分布主要由不同区域物理混合过程所控制。最后，IM-Q-TOF 分析结果显示，海洋 DOM 分子多样性（用同分异构体的占比作指示）比较有限，并且随深度增加而减少。

S25-O-06

南海溶解有机碳收支的数值模拟

马文涛 [1]*，修鹏 [2]，于溢 [1]

1 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

2 中国科学院南海海洋研究所，广州 210093

* wtma@sio.org.cn

南海是西太平洋最大的半封闭型边缘海，浮游植物叶绿素、生产力以及颗粒物输出通量都受东亚季风的强烈影响。前人已对上述过程的季节性变化进行了深入研究，但是溶解有机碳（DOC），尤其是不同生物活性 DOC 库的源汇变化仍缺乏深入研究。本项研究利用生物地球化学模式评估了活性、半活性及惰性溶解有机碳的季节产率变化，并期望深入了解有机物的动力调控机制及收支。模拟结果显示南海海盆内上述三种 DOC 的产率与净初级生产力高度相关，在冬季风期间出现高值，而在夏季风期间出现低值，指示了浮游植物初级生产对 DOC 产率的控制作用。但是在不同海区 DOC 产率仍有不同的调控机制。在北部近岸海区，河流的营养盐输入对 DOC 的生产其主导作用，DOC 产率在夏季最高。在东北部吕宋海峡西侧，冬季黑潮入侵引起的锋面过程促进了 DOC 的生产。在西南部的越南岸外上升流区，冬季风混合及夏季风造成的沿岸上升流都导致 DOC 生产增加。惰性 DOC 生产能够促进碳的封存。模拟结果估计惰性 DOC 的产率为 1.8 mg C m^{-2} d^{-1}，相当于 1000 米处输出颗粒有机碳通量的 26%。

S25-O-07

DNA-barcoding and RNA-seq reveals the dominant contribution of metazoan and dinoflagellates to carbon export and dynamic

Senjie Lin*

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science and College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen, 361102

* senjie.lin@xmu.edu.cn

Carbon export dictates the biogeochemical cycle and CO2 drawdown. Despite its importance and ample research effort, the relative contribution of different groups of organisms is not entirely clear. In this study, sediment traps were deployed at a continental shelf site and a slope site in the South China Sea. The captured particles were analyzed for their taxonomic composition of eukaryotes using molecular (18S metabarcoding) and bacterial composition using the molecular method (16S metabarcoding). 18S and 16S metabarcoding was also carried out for the water column samples to investigate differential export of the planktonic organisms. Furthermore, the potential of bacteria to metabolize the particulate organic carbon was examined using metatranscriptomic data from the overlying water samples. Results indicate that carbon export at our study sites was primarily contributed by metazoan (dominantly copepods) and dinoflagellates. Our results also reveal taxa that were disproportionately enriched in the trap and those that were

diminished. Prokaryotic contributors were primarily Gammaproteobacteria, Bacteroidetes, Alphaproteobacteria, and cyanobacteria. Some of these bacteria exhibited interactions with eukaryotes such as dinoflagellates. Potentially contributing to the decay of the sinking particles were monooxygenase, dioxygenase, dehydrogenase, and hydrolase expressed by some of the detected bacteria. The implications of these findings in carbon export and sequestration will be discussed.

S25-O-08

新元古代雪球地球中的碳循环过程

沈冰[1]*，王瑞敏[1]，郎咸国[2]

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

2 成都理工大学沉积地质研究院，成都 610059

* bingshen@pku.edu.cn

新元古代雪球地球事件时期是地球历史上最为严重的冰室气候阶段，古地理证据表明大陆冰川记录在全球范围分布，并已经推进到古赤道附近。1998 年 Paul Hoffman 提出了雪球地球假说（Snowball Earth Hypothesis），认为当时地球表面被冰川完全覆盖长达数十个百万年。雪球地球假说解释了冰期结束后全球盖帽碳酸盐岩的沉积以及条带状铁矿（BIF）在该时期的再次出现等观察。但是，雪球地球假说与冰期间的沉积记录相矛盾，无法解释冰期-非冰期的旋回性。与雪球地球假说相对应，Hyde 于 2000 年提出了泥球假说（Slushball Earth Hypothesis），认为当时地球并没有完全冰封，而在低纬度赤道附近仍然存在较为广泛的开放海域。泥球假说模型可以解释冰期间的沉积记录，但是却无法解释冰期结束后的盖帽碳酸盐岩的沉积。因此，对新元古代全球冰期的解释仍然存在很大的争议。在本研究中，我们从全球碳循环的角度重新考虑大气-海洋-陆地碳库的体量分配，冰期中缺少碳酸盐岩沉积和有机碳埋藏，同时长达数十个百万年的地幔去气过程会导致地球表面圈层（大气圈+水圈）的碳含量持续增加；为了整合冰期过程中的低大气二氧化碳含量与冰期结束后全球范围盖帽碳酸盐岩的沉积记录的矛盾，我们提出了全球冰期过程中碳循环的新模型，以泥球假说为背景，通过考虑溶解有机碳库（DOC）的大小在冰期-间冰期的变化及其原因，成功耦合了新元古代雪球地球事件的中的各种地质观测。

S25-O-09

全球海洋有机碳通量的估算以及碳通量对气候变暖的响应

王为磊[1]*，Francois Primeau[2]

1 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，海洋与地球学院，厦门, 361102

2 Department of Earth System Science， University of California at Irvine, Irvine, CA, USA, 92617

* weilei.wang@xmu.edu.cn

有机碳从表层海洋向深海的输送对地球气候系统具有非常重要的作用，因为该输出途径代表碳从表层海洋和大气向深海或沉积物输出的主要途径，有机碳在深海或者沉积物中可以存留几百上千年，因此将碳隔绝与大气之外，降低地球的温室效应。但是，目前对有机碳输出通量的估算尚存非常大的误差，并在部分区域与现场观测数据相悖。另外，溶解有机碳/悬浮有机碳的输出往往被忽略。本项课题旨在精确估算有机碳输出，所用方法为国际前沿的逆向反演方法。该方法将融合磷、碳、氧的生物地球化学模型，充分利用丰富的无机磷，碳，总碱度和溶解氧的观测数据来约束模型参数。从优化后的模型推算总有机碳，颗粒有机碳和溶解有机碳的输出。此外，我们还将在大尺度范围内优化温度与有机物矿化速率之间的关系，深入探讨温度，有机物矿化速率，有机碳输出通量之间的反馈效应，研究温度变化如何影

响有机碳的输出通量。该研究有助于深入认识海洋碳循环，解析海洋碳循环对气候变暖的响应。

S25-O-10

硅藻膜脂化感物在近海的分布及其碳循环应用初探

吴正超，李芊*

1 热带海洋环境国家重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

* qianli@scsio.ac.cn

海洋通过多种机制储碳，由浮游生物群落相互作用等生态过程驱动的生物泵和微型生物碳泵是核心途径，影响到全球气候变化。硅藻广泛分布于近岸与开阔大洋，贡献了全球 20%以上的总初级生产，其在全球尺度的碳输出和碳储存中占据主导地位。硅藻在摄食创伤或营养盐限制等环境压力胁迫下，自身组成的膜脂通过酶催化级联反应，合成一系列的氧化脂类化合物，这些膜脂产物可以反映其生物合成时的环境条件。海洋多不饱和醛（Polyunsaturated aldehydes, PUA）是硅藻合成的一类重要的氧化类膜脂，虽然 PUA 只占据了一小部分生源有机碳比例，但它们已被广泛证实作为化感作用信号物质（化感物），能够影响多种关键浮游生物功能类群的结构，从而潜在地调控海洋生物泵和微型生物碳泵。

近海由于受陆源输入的影响，具有很高的生产力和碳通量，浮游植物群落中的优势种群为合成 PUA 的硅藻。本研究对硅藻化感物 PUA 在河口近海的时空分布、受控因素及其潜在碳循环应用开展了初步的现场观测。研究表明，PUA 组成的空间分布差异性是由于合成硅藻种群演变的结果，羽流锋边界底层 PUA 主要来源于再悬浮的沉积硅藻碎屑。近海藻华区内，硅藻潜在利用该化感物对桡足类进行摄食防御，限制浮游动物规模进而影响到碳传递。近海低氧区内，颗粒物微环境的原位 PUA 浓度，能够促进颗粒有机碳的微生物矿化：PUA 在低浓度下激发附生菌生长但没有明显改变菌群结构，高浓度下激发附生菌呼吸代谢并引起菌群结构显著变化；该调控结果最终将减少颗粒有机碳的输出，同时加剧水体溶解氧的消耗。本研究旨在初步探索海洋生源有机碳中的化感效应组分在海洋现场的格局，尝试阐释其在近海生态系统和碳循环中的作用与调控模式，为理解海洋碳循环提供理论基础。

S25-O-11

埃迪卡拉纪海洋生物泵－微生物碳泵对地表环境调控的定量模拟：结果与启示

石炜[1]，Benjamin Mills[2]，李超[1]*

1 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室

2 School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, UK

* chaoli@cug.edu.cn

埃迪卡拉纪（**635-541Ma**）记录了地质历史上最为显著的全球碳循环扰动事件和后生动物的早期辐射。定量估算生物碳泵-微生物碳泵对全球碳循环的调控过程对于全面理解早期生命与环境协同演化具有重要意义。我们使用由 C-S 同位素地质记录驱动的 COPSE 模型对埃迪卡拉纪全球有机碳和黄铁矿埋藏效率以及大气氧含量、大气二氧化碳含量和海洋硫酸盐浓度等环境要素进行了高分辨率定量重建，并模拟了不同生物泵/微生物泵输出速率比对于全球海洋碳埋藏以及‘快速循环有机碳库’（包括 DOC，烃类有机质，陆地老碳等）规模的响应程度。模拟结果表明：（1）埃迪卡拉纪早期，由绿藻等藻类为主要生产者的生物碳泵导致海洋初级生产力和有机碳埋藏效率在数千万年内保持较高水平，固定了大量碳并向大气中净释放等当量的氧气，导致大气二氧化碳含量降低了 25%同时大气氧含量从 0.1 PAL 上升到 0.6 PAL，且直接引发了 Gaskiers 冰

期；（2）较高的生物生产力快速消耗了深部海洋中的氧化剂（溶解氧和硫酸盐），导致海洋始终处于缺氧状态，并与大气氧化解耦；（3）由冈瓦那超大陆隆升和泛非造山运动驱动的陆源蒸发岩风化继而引起的黄铁矿埋藏之间的耦合作用形成了一个正反馈回路，维持稳定的氧气释放、化学风化、营养盐供给和温室效应，导致 Shuram 时期（575~567 Ma）海洋生物碳泵-微生物碳泵固碳效率下降和有机碳净氧化；（4）敏感性分析显示，较高的生物泵/微生物泵输出速率比值和较小的快速循环有机碳库有助于维持全球碳循环的稳定；反之，则容易在遭受外界干扰时发生大幅度扰动，引起温室—冰室的极端气候变迁。

S25-O-12

氧循环对碳中和的启示：估算海洋碳汇的新视角

李昶豫[1]，黄建平[1,2]*，丁磊[1]，刘晓岳[1]

1 兰州大学大气科学学院 ，兰州 730000

2 兰州大学西部生态安全协同创新中心，兰州 730000

* hjp@lzu.edu.cn

碳中和指的是在规定时期内大气中二氧化碳移除与排放相抵消，使其净排放达到零。海洋作为最为重要的天然碳储库之一，在实现碳中和目标中有着不可替代的作用；精确估算海洋中碳封存状况对国家制定减排目标意义重大。目前对海洋碳汇的估计方法主要有浮标观测与海洋模式模拟，然而前者会受到时空分辨率不足的制约，后者则存在模式系统误差。为此，我们根据黄建平等人建立的全球氧循环及其收支，从氧的角度对全球海洋碳汇进行了全新的定量估算。结果显示在 1990-2015 年期间海洋平均每年吸收约 2.16 GtC 碳，与全球碳计划(GCP)估值相一致。值得注意的是，不同于 GCP 中碳吸收速率过去 30 年内近乎单调的增长，我们结果表现出了明显的年代际变率，这与 PDO、AMO 等气候模态有着显著相关。最后我们在碳-氧框架下预估了未来不同排放情景碳汇的变化状况。根据情景的差异，本世纪末海洋碳沉降速率会在 2.96 至 5.70 GtC/yr 之间浮动。该结果揭示了碳循环对人类活动的强烈响应，可以为碳中和达成路径提供一定的参考。

S25-P-01

一种基于 FT-ICR-MS 的 DOM 新分析方法及其在碳氮循环中的应用

甘淑钗*，郭鹏然

1 广东省科学院测试分析研究所，广州 510070

* ganshuchai@163.com

一般认为在海洋上层水体中的有机碳经过微生物碳泵可转化为难降解有机碳并保存，一部分有机物经过沉降埋藏于海底沉积物，并形成了地球最大的碳库。海洋次表层沉积物则被认为是生物活性极低的海洋惰性碳库。但最新研究显示，海洋次表层沉积物的大量生物（深部生物圈）影响着上层水圈的地球化学过程及地球碳库的储存。在深层厌氧条件下，微生物如何存活并利用和降解稳化保存的有机碳的厌氧机制尚不清楚。前期研究发现沉积物溶解有机物（DOM）包括生物可利用组分及前体，可作为揭示该过程的突破口。但尚无适用的 DOM 分析方法，瓶颈在于海洋深层沉积物间隙水难以采集、提取时目标信号损失。目前通用的超高分辨质谱法可有效表征 DOM 的组成信息，但作者以往研究发现，前处理过程中采用的固相萃取法往往导致有机物的选择性损失，且由于样品量不足，以往研究常通过外加水溶液提取 DOM，破坏了原有组成信息。鉴于此，本研究建立了一种针对微量间隙水的高通量分析方法，利用 FT-ICR-MS 结合新的离子化技术对不同间隙水的 DOM 组分进行了鉴定，避免了前处理过程中组分的选择性损失。由于该方法适用的样品量(<1μL)是

以往传统方法的万分之一或者低于万分之一，对于难以获取间隙水的固体样品来说，大大拓展了可测得的溶解有机物组成，可满足环境固体样品（如土壤、沉积物等）这类难以获得间隙水样品的原位溶解有机物的分析。结果表明基于传统 FT-ICR-MS 方法的研究远远低估了 DOM 的多样性，溶解性有机氮的比重也被低估一半以上；这些被鉴别的新组分指示，间隙水中的 DOM 包括大量的非腐殖酸组分，包括脂质、糖类、黑碳类、多酚类和多肽类等。该研究拓展了对 DOM 多样性的认识，为沉积物碳氮循环提供关键科学方法。该方法已成功用于淡水体系的 DOM 分析，接下来将继续进行优化以用于海洋高盐体系中 DOM 的高通量分析。

S25-P-02

南海深海奇古菌分布及其对氨添加的响应研究

谢伟*，曾芳

1 中山大学海洋科学学院，广东 珠海 519082

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)，广东 珠海 519082

* xiewei9@mail.sysu.edu.cn

深海黑暗食物链的发现，打破“万物生长靠太阳”的传统观念。作为深海中广泛分布的化能自养微生物，奇古菌所主导的硝化反应在深海黑暗食物链中是初级生产力的重要贡献者。但是这些深海奇古菌目前还没有被分离和培养，因此它们所参与的硝化和固碳过程仍然不清楚。本研究对南海北部及中部 30 个深层站位水体中附着态和自由态原核生物的群落结构进行了研究。结果显示，南海200米以下水体中附着态和自由态奇古菌分别占原核生物总量的 6%和 20%，是深海中丰度最高的原核生物种类。为深入研究这些奇古菌在南海深部的生态作用，我们对采集南海北部三个站点深层海水的进行氨添加实验，并监测培养过程中溶解有机质、溶解无机碳、营养盐、微生物总量等参数的变化，结果显示，经过 28 天的培养之后，三个不同站点的深层海水培养，在低氨浓度的添加组中，均有亚硝酸盐的产生，而高氨浓度组中，均没有亚硝酸盐的产生，表明深海氨氧化原核生物对相对低氨浓度的适应性。进一步针对原核生物 16S rRNA 的测序结果显示，培养物中奇古菌占原核生物比例，可从培养起始的 3%增长至的 32%。而相应样品的溶解有机碳浓度并未显著增加，这可能是由于奇古菌产生的溶解有机碳增量较低而未被有效检测到，也可能其产生的溶解有机碳被异养细菌分解。同时，培养过程中病毒颗粒与原核生物数量比值持续减少，并未出现如细菌增长过程中常呈现的“kill the winner”的现象，提示病毒在奇古菌生长过程中调控作用有限。总之，本项研究量化了奇古菌在南海深部的相对丰度，并揭示了其对低氨浓度更具适应性的生理特征，为进一步富集培养深海奇古菌并揭示其在黑暗食物链中的作用奠定基础。

S25-P-03

中元古代生物泵的沉积记录—以 14 亿年前下马岭组为例

张水昌*，王华建，王晓梅，叶云涛

1 中国石油油气地球化学重点实验室，中国石油勘探开发研究院，北京 100083

* sczhang@petrochina.com.cn

海洋生物泵是指以一系列海洋生物为介质，将碳从大气层传输到海洋深层的过程。在显生宙海洋中，以浮游植物为主的生态系统、磷等营养盐供应、固氮作用、铁的作用等影响着生物泵传输效率；而在更古老的中元古代(1.6-1.0Ga)海洋中，生物泵的驱动方式和有机质埋藏机制仍然未知。多项国际权威研究认为，中元古代大气氧含量不及现代水平的 0.1%，海洋普遍缺氧硫化，生物以低等的原核细菌为主，难以形成大规模的有机质富集。

然而，在我国华北燕辽盆地 1.65-1.35Ga 的沉积物中，发育有串岭沟组、高于庄组、洪水庄组和下马岭组 4 套富有机质页岩和厚达近 6000 米的微生物碳酸盐岩。其中下马岭组 (1.42-1.35Ga) 富有机质沉积时长达 4000 万年，黑色页岩最厚达 250m，有机碳含量最高达 20%以上，仅在燕辽盆地就形成高达 1 万亿吨的有机碳埋藏，而且生油能力与显生宙典型的 I~II 型(生油型)有机质完全可比。这意味着在 14 亿年前已经出现高效生物泵。

根据下马岭组 TOC 高达~20%的碳-硅页岩段具有高含量的绿硫细菌分子标志物和低于地壳平均值的钒含量，发现了 14 亿年前已经出现底层水氧化、透光带厌氧的“最小含氧带”(OMZ)海洋环境。根据碳-氧循环模型，计算维持 OMZ 长期存在所需的大气氧含量为现今水平的 4~8%，高于真核藻类生存所需的 1%关键阈值。与现今一样，OMZ 海洋控制着水体中 N、P、Fe 等营养元素的循环。下马岭组 OMZ 扩张期，对应着 TOC 最大值；此时，$\delta^{15}N$ 快速下降后升高，固氮蓝细菌分子标志物达到最高值，指示固氮速率、硝化作用和反硝化作用的增强，固氮生物繁盛。OMZ 环境也提升单位 P 的有机质制造能力，下马岭组的 C_{org}/P_{react} 比值 81/1 高于现代沉积物(40/1~63/1)，指示 14 亿年前的海洋中依然有着很高的有机质制造能力。伴随着 OMZ 海洋的出现，硫酸盐还原作用(BSR)启动，HS^-沉淀 Fe^{2+}生成黄铁矿，异化铁还原(DIR)大大减弱，有机质开始大量埋藏。

此外，随着氧含量的升高，14 亿年前海洋藻类出现红、绿质体分异，一系列 C_{27}-C_{29} 甾类化合物检出，指示真核藻类生态系统出现，促进了海洋生产力，提高了海洋生物泵效率。因此提出，气候-海洋和生物的协同演化同样控制着地球“中世纪”有机质富集，下马岭组长达 4000 万年有机碳埋藏指示中元古代存在高效生物泵。

S25-P-04

Biodegradation of terrigenous organic matter (TOM) in a stratified large-volume water column: implications of the removal of TOM in the coastal ocean

Xilin Xiao[1,2], Leanne Powers[3], Jihua Liu[2,4]*, Michael Gonsior[3], Rui Zhang[1,2], Lianbao Zhang[1,2], Hugh Macintyre[5], Xiaowei Chen[1,2], Chen Hu[1,2], John Batt[2,5], Qiang Shi[2,5], Yao Zhang[1,2], Dapeng Xu[1,2], Nianzhi Jiao[1,2]*

1 College of the Environment and Ecology, State Key Laboratory of Marine Environmental Science, College of Ocean and Earth Sciences, Fujian Key Laboratory of Marine Carbon Sequestration, Xiamen University, Xiamen 361102, China

2 Joint Laboratory for Ocean Research and Education (LORE) of Dalhousie University, Canada, and Shandong University and Xiamen University, Xiamen 361102, China

3 Chesapeake Biological Laboratory, University of Maryland Center for Environmental Science, Solomons, Maryland 20688, United States

4 Institute of Marine Science and Technology, Shandong University, Qingdao 266237, China

5 Department of Oceanography, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia B3H 4R2, Canada

* shiningxiao2015@foxmail.com

A large amount of terrigenous organic matter (TOM) is delivered to the ocean every year. To explore microbial removal processes of TOM, we used the Aquatron Tower Tank facility, a land-based large-volume system (117,100 L), to simulate the scenario of freshwater entering the ocean. During the 339-day dark incubation experiment, total organic carbon (TOC), chromophoric dissolved organic matter (CDOM), fluorescent dissolved organic matter (FDOM), dissolved inorganic

nutrients and oxygen content were monitored with a high frequency. While microbial processes contributed to TOM compositional changes, the rate of CDOM photobleaching was a magnitude higher than rate of CDOM biodegradation for surface freshwater-derived DOM. Two-end member modelling analysis imply that DOM biodegradation was stimulated during freshwater-seawater mixing. The accumulation of humic-like FDOM in the bottom layer suggested that surface-derived terrigenous material sinking leaded to an increase of the efficiency of microbial carbon pump, and resulting in carbon storage. Taken together, our long-term incubation experiment confirmed that microbial carbon pump play an important ecological and biogeochemical role in estuaries and the coastal ocean via transforming TOM.

S25-P-05S

Optical characterization of dissolved organic matter in Kuroshio-Oyashio confluence region implication for water mass mixing

Yasong Wang[1,2], Yinghui Wang[3], Jianqiang Wu[4], Lulu Han[1], Yongsheng Liu[1], Jianchun Yu[1], Yunping Xu[1,2]*

1 Shanghai Engineering Research Center of Hadal Science & Technology, College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

2 Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

3 Guangdong Key Laboratory of Soil and Groundwater Pollution Control, School of Environmental Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, Guangdong 518055, China

4 Shanghai Academy of Environmental Sciences, 508 Qinzhou Road, Shanghai 200233, China

* ypxu@shou.edu.cn

Chromophoric dissolved organic matter (CDOM) and fluorescent DOM (FDOM) are important components of DOM and play many important roles in biogeochemical processes. Here, we examined the concentration, composition, and distribution of DOM in waters (depth 0 – 1000 m) from the Kuroshio-Oyashio mixed water region (Northwestern Pacific), a key area for ocean carbon cycle and an important fishery. Dissolved organic carbon (DOC) concentration varied between 30.5 and 78.2 μmol L-1 with a higher level in surface waters. Three humic-like components (C1, C3, C4) and one protein-like component (C2) were identified by fluorescence excitation emission matrix (EEMs)-parallel factor analysis (PARAFAC). The C1 and C3 intensity generally increased with depth, and positively correlated with apparent oxygen utilization (AOU) ($p < 0.01$), whereas the C2 intensity decreased downward, and negatively correlated with 25 AOU ($p < 0.01$). These characters suggested in-situ production of biorefractory C1 and C3 during microbial transformation of labile DOM (like C2). Large amplitude variation in optical parameters is attributed to the transport and mixing of different water masses. The application of three-endmember mixing model based on the C1 intensity and salinity revealed variable contributions of Kuroshio, Oyashio, and North Pa-cific Intermediate Waters that is consistent with the predication from water temperature. Our study suggests that the optical property of DOM has a potential to distinguish different water masses in the ocean characterized by

complex biogeochemical processes like the Kuroshio-Oyashio mixed water region.

S25-P-06S

南海神狐海域沉积物孔隙水和微生物特征分析

魏雪芹[1,2]，余娟[3]，陈学萍[3]，叶涛[1]，刘丽华[1]*，金光荣[1]，翟梦月[1,4]

1 中国科学院广州能源研究所，中国科学院天然气水合物重点实验室，广州，510640
2 中国科学院大学，北京，100049
3 上海大学，200444
4 中国地质大学海洋学院，北京，100083
* liulh@ms.giec.ac.cn

海洋环境中生命体与生命体之间，以及生命体与非生命体之间的物质和能量交换作用，对海洋生态系统的形成和演化有巨大的影响。因此，海底浅表层沉积物，尤其是表层沉积物的厘米尺度剖面元素的地球化学特征对于记录地质背景的记载显得尤其重要。

本文采用地球化学、高通量测序和荧光定量 PCR 技术，对南海神狐海域两个柱状浅表层沉积物（S8 和 L1）的孔隙水和微生物特征进行了分析，并将沉积物孔隙水中离子浓度分布作为环境因子，探讨神狐地区不同地质条件下环境因子与微生物分布的相关性。结果显示，除 Fe^{2+}外，两个站位点的大部分孔隙水组分浓度差异不明显，微生物群落结构差异较大。L1 浅表层沉积物中中，细菌的优势种群是变形菌（*Proteobacteria*）、拟杆菌（*Bacteroidetes*）和绿湾菌（*Chloroflexi*）。4.5 cm 以下深度中厚壁菌（*Firmicutes*）占比最大，其次是变形菌（*Proteobacteria*）和拟杆菌（*Bacteroidetes*）。厚壁菌（*Firmicutes*）在整个 S8 中占主导地位。两个站点的优势古菌种群都是奇古菌（*Thaumarchaeota*）、深古菌（*Bathyarchaeota*）和洛基古菌（*Lokiarchaeota*）。qPCR 结果表明，细菌的拷贝数比古细菌高 3-4 个数量级，主要原因可能是取样地点靠近海岸，有机质来源丰富，有利于微生物尤其是细菌的生长发育。

通过环境影响因子，探究微生物群落与孔隙水化学元素离子浓度之间的相关性，发现：在 L1 位点，Cl^-与硝基螺旋菌（*Nitrospirae*）呈强正相关，未分类古菌与 SO_4^{2-}、Fe^{2+}分别呈极负相关和极正相关。在 S8 位点，古菌与地球化学元素具有弱相关或不相关的特征，其中 Fe^{2+}与土杆菌（*Atribacteria*）、拟杆菌（*Parcubacteria*）呈强正相关，与奇古菌（*Thaumarchaeota*）呈强负相关；Cl^-与酸杆菌（*Acidobacteria*）和未分类细菌呈强正相关。孔隙水的组成可能对表层沉积物微生物结构的形成起重要作用，但是这种影响背后的机制尚不清楚，需要进一步的研究。

S25-P-07

“海雪”团聚体上微生物代谢动力学研究

侯蕾[1]，赵子豪[2]，焦念志[1]，张瑶[1]*，Gerhard J. Herndl[2,3,4]

1 厦门大学近海海洋环境国家重点实验室，厦门 361102
2 维也纳大学功能生态中心湖沼与生物海洋学系，奥地利维也纳 A-1090
3 荷兰皇家海洋研究所海洋微生物与生物地球化学系，荷兰阿姆斯特丹 1790
4 维也纳大学代谢中心，奥地利维也纳 A-1090
* yaozhang@xmu.edu.cn

“海雪”作为海洋生态系统生物泵（Biological pump，BP）最主要的有机物来源之一，被认为是原核生物群落的营养基础。与周围海水相比，“海雪”上丰富的有机和无机营养物质促使多样的微生物类群定植于其中。这些微生物类群通过胞外酶将团聚体水解为溶解有机物（Dissolved organic matter，DOM）形成 DOM“羽流”，再经由“海雪”周围的浮游微生物通过转运蛋白将 DOM 输送到胞内进行代谢。这一过程被认

为是“海雪”团聚体被利用的起点以及微生物代谢的限速步骤。然而，因“海雪”极为脆弱，且船载采样方法经常改变和破坏其团聚体结构，迄今人们对天然“海雪”上微生物有机质代谢的动力学特征及过程机制的理解极为有限。

研究借助滚动台人工制造“海雪”生境，通过培养组学（宏基因、蛋白质组）分析发现：Alteromonadales 迅速定植于“海雪”团聚体上，通过分泌碳水化合物活性酶（Carbohydrate-active enzymes，CAZymes）将“海雪”颗粒率先水解，周围形成 DOM “羽流”，再经 TonB 转运蛋白在“海雪”表面和周围“羽流”中转运和利用水解产物；在形成的“羽流”中，Vibrionales 作为另一重要类群，通过 ABC 转运蛋白转运、吸收多种类型的溶解态产物。通过对宏基因组 reads 进行组装和分箱，我们获得了“海雪”生境中最主要的三个宏基因组组装基因组（Metagenome‐assembled genomes，MAGs）——*Alteromonas*（Alteromonadales）、*Thalassotalea*（Alteromonadales）和 *Vibrio*（Vibrionales），它们在“海雪”生境中的相对丰度比无“海雪”寡营养生境高 2–3 个量级，构成了降解“海雪”团聚体最主要的微生物群系。进一步结合宏蛋白质组数据分析了 MAGs 的蛋白表达信息，发现甲基接受趋化蛋白（Methyl-accepting chemotaxis protein，MCP）、鞭毛蛋白以及部分转运蛋白调控微生物种群在“海雪”及其“羽流”中处于不同的小生境并代谢有机质。研究揭示了典型三类微生物种群迅速响应于“海雪”团聚体并协同代谢的动力学特征。

S25-P-08S

北冰洋太平洋扇区西部陆坡和高纬海盆次表层溶解无机碳的增加机制

楚港志，罗晓凡*，郑字佳，赵伟，魏皓

1 天津大学海洋科学与技术学院，天津 300072

* xiaofan.luo@tju.edu.cn

太平洋入流携带的高溶解无机碳（Dissolved Inorganic Carbon, DIC）水的扩展在北冰洋海盆中形成了次表层 DIC 最大值层，同时对北冰洋次表层的海洋酸化产生重要影响。我们将三维海洋-海冰-生态系统耦合模型 1998-2015 年的后报结果划分成了 1998-2007 年和 2008-2015 年两个时间段，研究北冰洋 DIC 分布的变化。结果显示相对于 1998-2007 年，2008-2015 年加拿大海盆中央区域太平洋冬季水的下边界（27 kg m^{-3} 等密面）加深了约 50 米，并且向马卡洛夫海盆方向扩展。同时，次表层 DIC 最大值层加深并且向高纬扩展至 85 °N。2008-2015 年 50-250 米水柱加权平均的 DIC 浓度在楚科奇-东西伯利亚陆架前沿和马卡洛夫海盆增加最明显。陆架上 DIC 增加主要是由于生物分解增加，同时通过巴罗峡谷向楚科奇陆架的平流输运增加。在马卡洛夫海盆，收支估算表明平流输运主控 DIC 的增加，2008-2015 年比 1998-2007 年平流输运增加了 2.6 倍。这是由于海洋环流模式的改变，2008-2015 年环流速度增强，沿楚科奇-东西伯利亚陆坡在拉普捷夫海汇入穿极流向高纬输运，有利于 DIC 向马卡洛夫海盆聚集。

S25-P-09S

Dilution-limited or intrinsically refractory? Revisiting the persistence mechanisms of marine dissolved organic carbon

Xiaoxuan Zheng[1], Ruanhong Cai[1,] *, Hongwei Yao[2], Xiaocun Zhuo[3], Chen He[3], Quan Shi[3], Nianzhi Jiao[1]*

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science and College of Ocean and Earth Sciences, Fujian Key Laboratory of Marine Carbon Sequestration, Xiamen University, Xiamen 361005, China

2 Institute of Molecular Enzymology, Suzhou University, Suzhou 215123, China
3 State Key Laboratory of Heavy Oil Processing, China University of Petroleum, Beijing, Beijing 102249, China
* crh1987@xmu.edu.cn, jiao@xmu.edu.cn

Oceanic dissolved organic matter (DOM) forms a vast carbon pool, most of which resists biotic decomposition. However, it remains controversial whether the persistence of recalcitrant DOM (RDOM) is primarily controlled by mechanisms of molecular dilution or is it intrinsically refractory. Following previous studies, DOM was extracted from coastal, epipelagic, and deep-sea waters by solid-phase extraction using distinct absorbents of octadecyl-silyl (C18) and styrene-polyvinyl benzene (PPL). The C18- and PPL-DOM extracts were re-amended into the seawaters where DOM was extracted to conduct a 180-day incubation. Nuclear magnetic resonance and ultra-high-resolution mass spectrometry analyses reveal that the C18 and PPL absorbents exhibited a bias toward DOM extraction among the coastal, epipelagic, and deep-sea water samples. Incubation experiments show that most of the solid-phase extracted DOM (86–96%) resisted microbial decomposition, even when concentrated 3-fold throughout the 180-day incubation, while only about 4–14% of the concentrated DOM could be accessed by microbes. Nonetheless, additions of glucose caused its substantial utilization in the three seawater samples during the 180-day incubation. Our experimental results together indicate that most of the solid-phase extracted DOM resists microbial decomposition, while only a minor fraction of DOM can be degraded after concentration; these results suggest that both the molecular dilution and intrinsic refractory properties control the persistence of the natural RDOM reservoir, while the latter could be the predominant mechanism. This study re-examined the persistence mechanisms of natural DOM and underlined that the primary mechanism controlling the persistence of natural RDOM is related to its intrinsic refractory properties.

S25-P-10S

藻华中精简的机会主义者是有机氮竞争优胜者

韩昱[1]， 焦念志[1]， 张瑶[1]，张帆[2]，何晨[3]，梁雪娇[1]，蔡阮鸿[1]，史权[3]，汤凯[1]*

1 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361005;
2 美国贝勒医学院宏基因组学和微生物研究中心，休斯顿 77030
3 中国石油大学（北京）重油加工国家重点实验室，北京 102249
* tangkai@xmu.edu.cn

浮游植物藻华在近岸海域频发，所提供的丰富溶解有机质能被机会主义细菌能快速响应。但细菌如何利用藻华溶解有机质及其在群落演替中发挥的作用仍不清楚。通过基因组学、蛋白质组学和代谢组学相结合的方法，研究近岸春季血红哈卡藻藻华的细菌群落多样性、优势菌基因特征及其对藻华溶解有机质的代谢响应。发现随着藻华爆发，氨基酸、二肽、脂类、核苷酸类物质显著增加，黄杆菌 *Polaribacter*、玫瑰杆菌 *Lentibacter*、海洋螺菌 *Litoricola* 在游离态和颗粒态群落上均占优势。藻华中分离到主要代表株 *Polaribacter marinivivus*、*Lentibacter algarum* 和 *Litoricola marina* 的基因组具有精简特征，基因组大小、GC 含量和非编码 DNA 相比类群中其他细菌偏小。而通过藻华原位有机碳分别培养代表株，发现它们维持核心蛋白的高表达，如各种转运体、肽酶、运动性和抗氧化性蛋白。代表株是藻华有机氮化合物的有力竞争者。代谢结果表明 *P.*

marinivivus 和 *L. algarum* 主要吸收氨基酸和肽类（如异亮氨酸、脯氨酸）而 *L. marina* 主要吸收核苷酸和核苷类物质（如腺苷和嘌呤）。以上结果表明，在溶解有机碳丰富、氨盐耗尽的藻华环境，促使具有基因精简、有机氮高效代谢的机会主义细菌占据竞争优势并维系营养循环。

S25-P-11S

基于数字全息技术和机器学习的海洋浮游植物细胞活性鉴别研究

王妍妍*

1 山东大学海洋研究院，青岛 266000

* yywang2017@163.com

在海洋生态系统中，浮游植物的死亡是影响种群动态和物种演替不可或缺的过程，直接影响着海洋的物质循环和能量流动。现有研究表明，全球各个海域的浮游植物群落中有很高比例的细胞受损或死亡。然而，现有的鉴别微藻细胞活性的方法都存在着需要染色和预处理、价格昂贵、无法原位观测等缺陷，成为限制海洋生态研究的瓶颈。本文设计并开发了一种基于数字全息显微技术和机器学习的方法来鉴别海洋浮游植物细胞的活性。数字全息成像能够同时获得光经过细胞后的强度和相位变化，而与细胞死亡相关的代谢变化会改变细胞内溶质浓度，进而反映在相位变化上。机器学习能够挖掘全息图像中活细胞和死细胞的强度和相位的变化规律，提高数据处理的速度和精度。首先，在实验室条件下人工诱导藻细胞死亡，对活细胞和死细胞分别进行全息成像，从全息图的强度和相位变化中提取 10 个有效特征向量，训练 12 个机器学习分类模型，分类结果与染色法相比，准确率可达 94.8%。在此基础上，在我国东海进行了现场验证，测得的藻细胞死亡率与染色法基本一致。该方法具有无标签、非入侵、准确性高、原位应用潜力大等优点，为研究海洋浮游植物的受损和死亡提供了一种新的思路。

S25-P-12S

全球生物地球化学浮标（BIO-ARGO）数据：颗粒有机碳（POC）及其相关特性的初步分析

周晴晴*，李沛轩，罗亚威

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361102

* qingqingzhou@stu.xmu.edu.cn

Biogeochemical-Argo 简称 Bio-Argo，是遍布全球海洋的、目前包含约 370 个垂直剖面浮标的数据采集系统。Bio-Argo 自动测量从海表到深海的测量参数，主要包括温度、盐度、压强、溶解氧、pH、硝酸盐、叶绿素 a、悬浮颗粒、辐照度等，可以为生物地球化学研究提供大量研究数据。

本课题计划下载 Bio-Argo 数据，进行数据管理分类并初步分析参数的空间和时间变化规律，并通过统计和机器学习方法研究参数之间的关系。

目前已初步下载 Bio-Argo 数据，首先根据研究需求设计程序管理数据。从数据中心下载的浮标数据文件夹只是按照站点进行简单的归类，想要查找到特定海区特定年份某参数的文件需要读取所有文件，每次都需要遍历文件就会造成效率低下，因此需要进行额外的整理才能方便使用。为解决这一问题，使用 Matlab 开发了一个原始文件检索系统，并设计了图形界面。

其次根据 Bio-Argo 数据着手研究北太平洋副热带区域的颗粒有机碳（POC）的分布及其相关特性。海水中颗粒有机碳的生物地球化学行为是海洋碳循环研究的重要组成部分。在开阔大洋中，颗粒有机碳与后向散射有很强的协变关系，因此可以通过 Bio-Argo 浮标测量的后向散射（bbp）来估测海洋中的颗粒有机碳分布。根据 Bio-Argo 浮

标测量的硝酸盐（Nitrate）数据可以估测硝酸盐跃层深度。真光层深度可以通过 Bio-Argo 浮标测量的下行辐照度（Downwelling_PAR）得到。进一步研究颗粒有机碳在真光层中的空间、时间变化，及其在真光层中的相关特性。并根据北太平洋副热带海域颗粒有机碳的特性扩展到全球海域颗粒有机碳的分析研究。

S25-P-13S

RO/ED 提取典型海域中海水 DOM 及其溶解性黑碳的分子水平表征

王孝聪[1]*，何晨[2]，黄海燕[1]，史权[2]，宋桂雪[3]

1 中国石油大学（北京）理学院，北京 102249
2 中国石油大学（北京）重质油国家重点实验室，北京 102249
3 山东大学（青岛）海洋研究院，山东 青岛 266237
* xcwcup@163.com

黑碳（Black Carbon）具有高度芳香结构，是惰性有机碳库的重要组成之一。工业革命以来，大量经过燃烧后产生的黑碳类物质通过江河、大气沉降等碳循环过程进入海洋，其中一部分溶解后成为溶解性黑碳（DBC）。DBC 是由稠环结构组成一个内核，核的外围羧基、羟基、乙烯基结构、例如多环芳烃类物质，海洋中 DBC 可能是惰性溶解有机碳(RDOC)组成的一部分，研究海洋 DBC 的化学组成、分布以及分子特征，分析其分子变化规律以及惰性结构，对研究 DBC 与 RDOC 之间的关系、RDOC 解析、归趋、以及深入了解海洋 RDOC 的生物成因及其环境效应十分重要。反渗透耦合电渗析（RO/ED）大体积海水 DOM 提取技术回收率高、富集组分范围广、处理量大且对有机碳分子的影响较小，其装置处理量大但其含盐量高且存在的电离抑制效应使其较难进行高分辨质谱分子水平的表征。本工作对 RO/ED 技术进行优化，极大地提高了样品的分析适用性，初步研究结果将在会议期间展示。

S25-P-14S

南黄海悬浮颗粒物中有机碳、氮、硫浓度及化学计量比

郭聪聪，杨树*

1 山东大学海洋研究院，青岛 266237
* yangshu707@163.com

悬浮颗粒物在水体中广泛存在，并在生物地球化学和生态过程中具有重要作用。颗粒物的丰度、类型及其组分在全球尺度上均呈现出了明显的时空分布变异，因此阐明颗粒物中生源要素（C、N、S）的来源及归趋对于深入了解相关的生物地球化学过程具有重要意义。通常而言，颗粒有机碳（POC）是颗粒物中的主要组分（50%或者更多），颗粒有机氮（PON）和有机硫（POS）则主要依赖于生物产生，因此与生物物种组成和营养盐结构存在密切关系。生源要素之间的化学计量比及其相对变化可以为推断边缘海颗粒有机物来源提供有用的信息。经典理论认为海洋中的化学计量比与生物生产密切相关，即遵守 106:16:1（C:N:P）的 Redfield 比。然而，很多河口或者陆架海域的相关研究发现，颗粒或溶解有机物以及营养盐中的元素化学计量比与 Redfield 比存在明显偏差，出现这一现象通常与地表径流、人为富营养化、溶解/胶体有机物的凝聚与沉积、浮游动物和异养微生物的活动等因素密切相关。

南黄海作为典型的半封闭边缘海，在时空尺度上呈现出了独特的生物地球化学过程。其西部沿岸海域受到各种沿岸流以及长江冲淡水的影响，具有较为明显的营养盐输入并受到明显的人为活动影响。中心海盆区由于黄海冷水团的存在，呈现明显的水柱层化现象。南部受台湾暖流和黄海暖流的影响，与邻近海域存在一定程度的水体和物质交

换。此外，上述海流过程在季节尺度上具有明显的变化。

本研究通过南黄海冬季、春季、夏季 3 个季节的野外调查数据，揭示了南黄海地区悬浮颗粒物中元素浓度分布（POC、PON 和 POS）和化学计量比的季节和区域变化及其潜在驱动机制。研究发现元素浓度分布和化学计量比之间存在明显的解耦。各季节的元素浓度空间分布具有相似性，总体上呈现由近海向外海递减的趋势。产生该趋势的主要原因是沿岸地区有更显著的物理强迫和陆地输入。在春季和夏季，中部区域表层的元素浓度均高于底层，而其他区域的垂直分布则与之相反，这表明中心区域上层的生物活动对元素分布具有显著的控制作用。由于垂直混合作用、无机氮源输入和生物量的增加，沿海区域会输入和产生较多的 POC 和 PON，从而导致较高的 C/N 或 N/S 比，即沿岸区域的元素化学计量比更加受控于物理混合和水陆交换等过程。由于河流排放的稀释效应和较高的降解消耗率，沿岸海域经生物生产的 POS 储量相对于中心海域较少，这说明非生物因素对沿海 POS 分布的贡献较生物过程贡献更大。相比之下，夏季离岸海域的 POS 分布则更多地受控于生物硫代谢过程，即主要以生源有机硫为主，这导致了该区域的 C/S 比显著低于沿岸区域。总体而言，我们推测沿海与离岸海域的化学计量比差异与颗粒物中有机碎屑和浮游植物细胞之间的相对比例变化密切相关：沿海区域较为显著的垂直混合和陆源输入导致悬浮颗粒物中有机碎屑的占比增加，从而呈现出较高的 C/N 和 C/S 比；离岸区域受陆源和混合作用影响较弱，因而浮游植物细胞在悬浮颗粒物中的占比会增加，这导致该区域具有较低的 C/N 和 C/S 比。后续对于水体中生源有机硫来源和组分的深入分析，将进一步加深对南黄海碳、氮、硫循环的理解和认识。

S25-P-15

硫烷硫介导 CCMR 调控蓝细菌碳代谢的分子机制研究

刘代喜 [1]，刘纪化 [1]，荀鲁盈 [2]*

1 山东大学海洋研究院，青岛 266000

2 山东大学微生物技术研究院，青岛 266000

* lyxun@sdu.edu.cn

蓝细菌是海洋碳循环的重要参与者，硫烷硫是蓝细菌中具有重要生理活性的信号分子，然而硫烷硫对蓝细菌碳代谢的影响机制尚不明确。本研究发现，蓝细菌中 SQR-PDO 催化的 H_2S 氧化是胞内硫烷硫产生和代谢的关键途径，同时该硫烷硫代谢过程与碳代谢过程紧密相关，SQR 失活引起的胞内硫烷硫浓度降低不仅影响蓝细菌的光合生理，同时亦影响碳代谢过程中关键基因的表达。本项目通过不同浓度硫烷硫诱导，从全局角度解析了硫烷硫对蓝细菌光合生理及碳代谢过程基因转录水平的影响；以转录调控因子 CcmR 调控的 CO_2 吸收过程作为研究靶点，深入探究硫烷硫影响碳代谢的详细机制。该机制的阐明可以揭示蓝细菌碳代谢的新调控机制及其与硫代谢的紧密联系，更好地理解蓝细菌在海洋碳硫循环中的重要作用，为海洋碳-硫偶联代谢机制的研究提供新的视角。

S25-P-16S

Diel variation of Marine Group I archaea decoupled with algae in the Pearl River estuary

WENYONG YAO[1,2]*, WEI HE[1,2], JINGZHUO ZHOU[1,2], XUERONG ZOU[1,2], CHUANLUN ZHANG[1,2]

1 Shenzhen Key Laboratory of Marine Archaea Geo-Omics

2 Department of Ocean Science & Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China

* 11710409@mail.sustech.edu.cn

Marine group I archaea (currently known as Thaumarchaeota) have important ecological functions by coupling ammonia oxidation with CO_2 fixation (i.e. nitrification). Because ammonia is often present in low concentration in open ocean, understanding the availability of ammonia is important for evaluating the process of nitrification in the ocean. In this study, surface water samples were collected at the Dongao island (113.658028E, 21.983961N) in the Pearl River estuary (salinity 30.10-33.97) every 2 hours during a 22 hour period by using a drone equipped with a 1-liter water bottle. Salinity and temperature were determined at each sampling time point. Water samples were filtered through 0.2 μm filters and DNA (22-33 ng/μl) collected on the filter was used for qPCR and sequencing analyses. qPCR was performed to quantify the abundance of Marine Group I Thaumarchaeota (MGI), Marine Group II Euryarchaeota (MGII), bacteria and algae. 16S and 23S rRNA sequencing was conducted to delineate the community structures of these microbial groups. Bacteria are the dominant prokaryotic community and stayed relatively constant during the sampling period. The abundances of MG I, MG II and algae were 2-3 orders of magnitude lower than bacteria. One salient feature of this preliminary study was the negative correlation in abundance between algae and MG I, with MG I reaching a peak value while the algae dropped to a lowest point around 4 am in the morning. We hypothesize that the activity of MG I in performing nitrification is repressed during the day time by photo-inhibition and algal uptake of ammonia as a nutrient; this repression is lessened during the night time when photo-inhibition is removed and algal activity subsided, leaving ammonia available for archaeal nitrification. Observation of this diel variation in MGI abundance is important for understanding the temporal dynamics of nitrification in coastal oceans.

S25-P-17

Microbial transformation of distinct exogenous substrates into analogous composition of recalcitrant dissolved organic matter

Jie Lian[1], Xiaoxuan Zheng[1], Xiaocun Zhuo[2], Chen He[2], Quan Shi[2], Nianzhi Jiao[1,3,*], Ruanhong Cai[1,3*]

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science and College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China

2 State Key Laboratory of Heavy Oil Processing, China University of Petroleum, Beijing, Beijing 102249, China

3 Fujian Key Laboratory of Marine Carbon Sequestration, Xiamen University, Xiamen 361005, China

* crh1987@xmu.edu.cn, jiao@xmu.edu.cn

Oceanic dissolved organic matter (DOM) comprises of a complex molecular mixture which is typically refractory and homogenous in the deep layers of the ocean. Though the refractory nature of deep-sea DOM is increasingly attributed to microbial metabolism, it remains unexplored whether ubiquitous microbial metabolism of distinct carbon substrates could lead to similar molecular composition of refractory DOM. Here, we conducted microbial incubation experiments using four typically bioavailable substrates (L-alanine, trehalose, sediment DOM extract, and diatom lysate) to investigate how exogenous substrates are transformed by a natural microbial assemblage. The results showed that although each-substrate-amendment induced

different changes in the same initial microbial assemblage and the amended substrates were almost depleted after 90 days of dark incubation, the bacterial community compositions became similar in all incubations on day 90. Correspondingly, revealed by ultra-high resolution mass spectrometry, molecular composition of DOM in all incubations became compositionally consistent with recalcitrant DOM and similar toward that of DOM from the deep-sea. These results indicate that the successive microbial processing of labile DOM into refractory deep-sea DOM is mostly independent of carbon quality, which could also explain the similarity of the DOM composition in different deep oceans. We further suggest that the microbial carbon pump can be functioning universally and efficiently, transforming different carbon sources into the similar molecular composition of the deep-sea RDOM and playing an essential role in marine carbon cycling.

S25-P-18S

Co-culturing of Marine Group II Archaea and *phaeocystis globosa*

Rongman Yan[1,2], Haodong Liu[1,2], Chuanlun Zhang[1,2]*

1 Shenzhen Key Laboratory of Marine Archaea Geo-Omics, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, 518055, China

2 Department of Ocean Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, 518055, China

* zhangcl@sustech.edu.cn

Marine Group II (MGII) are the most abundant heterotrophic archaea in the ocean water column. However, pure cultures or even enrichments of MGII are still unavailable up to date. Recent studies show that MGII co-occur with algae and may form a syntrophic relationship. In this study, we tried to establish a co-culture system of MGII and a species of marine algae, *Phaeocystis globosa*, to explore an effective approach for the enrichment of MGII. Surface seawater collected from Dapeng Bay in December 2020 was co-cultured with *Phaeocystis globosa* and the algae fluid filtered by 0.22 μm membrane, respectively. They were co-cultured for 72 hours. The qPCR results showed that in the co-culture group of seawater and *Phaeocystis globosa*, the quantity of MGII increased much more sharply than that other experimental groups which contained no algae and the control group. The abundance of MGII increased significantly from the 18th hour and reached the peak at the 48th hour. These results not only indicated that *Phaeocystis globosa* can significantly stimulate the growth of MGII in the initial stage (1-2 days) in their co-culture system but implied that the growth of the uncultivated MGII is mainly affected by particulate organic matter.

S25-P-19S

海洋沉积物中微生物介导的碳转化过程和机制的认识

王风平[1]*，王寅炤[2]，牛明杨[2]，梁乐文[2]，侯佳林[2]

1 上海交通大学海洋学院；

2 上海交通大学生命科学与技术学院

* fengpingw@sjtu.edu.cn

海洋沉积物是地球上最大的有机碳库，有机质主要来自于陆源输入和表层海水中的初级生产力有机质沉降。沉积物中有机质的转化（降解）控制了许多（生物）地球化学过程，包括例如无机碳和营养元素的循环，自生碳酸盐的形成，有机碳的矿化与埋藏等。因此沉积物中有机碳的降解矿化将最终决

定大气 CO_2 和 O_2 含量的波动（海洋是大气中 CO_2 和 O_2 的汇或者源），进而在长时间尺度上影响地球气候变化。海洋沉积物有机质的降解/转化和埋藏过程及其机制研究是认识和理解地球系统生物地球化学循环和气候变化的重要环节，然而由于其复杂性目前的认识仍相当有限。

在此我们归纳近年来相关研究进展，提出微生物介导碳转化的模型 MCT-S（Microbially mediated Carbon Transformation in marine Sediment），认识海洋沉积物中介导碳循环的主要微生物功能类群和过程，反应速率与规模，讨论知识的空白缺乏点，呼吁更多的多学科交叉和定量的观测数据以构建定量模型深入我们的认识。

S25-P-20S

颗粒态与浮游态海洋古菌 II 分布与代谢特征的差异

陶建昌[1]*，王文秀[2]，侯圣伟[1]，余珂[3]，张永雨[4]，张传伦[1]*

1 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055
2 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092
3 北京大学深圳研究生院环境与能源学院，深圳 518055
4 中国科学院青岛生物能源与过程研究所，青岛 266101

* taojianchang@163.com, zhangcl@sustc.edu.cn

海洋古菌 II （MGII）是海洋中丰度最高，系统发育性最高的海洋异养古菌。前人研究表明 MGII 具有颗粒附着态与浮游态共存的生存方式，基因组分析表明颗粒附着态 MGII 表现出对高分子量底物的代谢能力提升，而标记培养实验证明浮游态 MGII 具有较强的蛋白质代谢能力。因此 MGII 可能参与了海洋水体中颗粒有机碳-溶解有机碳-惰性溶解有机碳转换的重要过程，探究不同粒径 MGII 的碳代谢过程对理解海洋碳循环有重要意义。本项研究中，我们在中国近海典型的温带半封闭海湾-胶州湾中进行了一年的连续采样，获得了不同粒径范围的表层水体微生物样本，用于探究在季节性富营养化的沿岸水体中不同粒径 MGII 分布的差异，以及不同粒径 MGII 代谢特征的可能变化。微生物定量结合 16S 扩增子分析，表明 MGII 呈现出夏季的丰度和多样性明显高于冬季，远岸点的多样性高于近岸点的分布特征。将 MGII 的 OTU 进一步的系统发育划分，发现 OTU 中丰度最高的 OTU2（MGIIa）和 OTU3（MGIIb）分别分布在< 2.7 μm 和> 0.7 μm 的粒径范围内，且 OTU2 在近岸点占据优势，OTU3 则几乎只分布在远岸点，同时网络分析表明，OTU2 与多种光合微生物的变化联系紧密，而 OTU3 仅与细小微胞藻呈现单调而密切的联系。由此表明不同粒径 MGII 不仅呈现分布上的差异，也具有系统发育的差异性，MGII 与其他群落的相关性差异可能指示了代谢方式的区别是不同粒径 MGII 差异的内在原因。通过对样品宏基因组数据的分析，我们获得了 22 个分属于不同亚族的 MGII 基因组，其中胶州湾特殊 MGII 系统发育类群-MGII_JZB 在近岸点的夏季占据绝对优势，特别是在> 2.7 μm 的粒径范围内，通过泛基因组分析发现 MGII_JZB 具有两个特殊的富马酸还原酶功能基因，可能指示了颗粒态 MGII 具有部分的厌氧呼吸能力，更完整的厌氧呼吸证据还需要进一步的分析。

S25-P-10S

甾类代谢产物对海洋惰性溶解有机碳的贡献初探

刘子菁[1,2]，蔡阮鸿[1,2]，禚笑村[3]，陈宜龙[1]，史权[3] ，焦念志[1,2]*

1 海洋与地球学院，近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门大学，厦门 361005
2 福建省海洋碳汇重点实验室，厦门 361005
3 重质油国家重点实验室，中国石油大学（北京），北京 102249

* jiao@xmu.edu.cn

全球海洋储存了近 7000 亿吨溶解性有机碳（Dissolved Organic Carbon, DOC），超过 95%的海洋 DOC 耐受微生物降解，被称为惰性溶解有机碳（Recalcitrant DOC, RDOC），对调节气候起重要作用。然而，海洋 RDOC 高度多样化，分子结构信息尚不明了。前述研究提出富含羧基的脂环族分子 (Carboxyl-Rich Alicyclic Molecules, CRAM) 是一类广泛分布于海洋环境的 RDOC，睾酮作为重要的甾类化合物（sterols），是潜在的 CRAM 前体物质。为揭示 CRAM-RDOC 的分子组成和结构特征，本研究选择一株具睾酮降解基因的细菌 *Comamonas testosterone* ATCC11996，以睾酮为单一碳源开展降解实验，收集代谢产物并添加至海水中培养 90 天。通过傅里叶变换离子回旋共振质谱（FT-ICR MS）等技术分析睾酮降解产物的分子组成、检测其变化、并与深海 RDOC 分子组成对比，解析睾酮代谢产物并揭示甾类化合物对 CRAM-RDOC 的贡献。实验结果表明：添加睾酮代谢产物后，海水的 DOC 浓度在 90 天内降低 70%。FT-ICR MS 分析发现 688 个分子（占代谢产物总分子数的 34%）难以被降解，且其相对丰度在培养过程中增强，其中近 70% 的分子被鉴定为类 CRAM 分子。进一步比对培养体系中难降解的分子在天然环境中的分布，发现有 404 个培养 RDOC 共同存在于南海四个深度（200m，500m，1000m，2000m）的深海水样品中。实验结果表明单一菌株降解睾酮生成 CRAM-RDOC，验证了甾类化合物是海洋 CRAM-RDOC 的重要前驱物，表明微型生物碳泵海洋可将环境污染物转化为有利于碳汇的海洋 RDOC 分子。

S25-P-22S

病毒模块优化了海洋生物地球化学模型

谢乐 [1,2]*，张锐 [1,2]，罗亚威 [1,2]

1 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361102

2 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361102

* xiele@stu.xmu.edu.cn

海洋病毒是一类个体微小、结构简单的非细胞型生命体，它也是海洋中丰度最高、多样性最丰富的微生物，其丰度占据了海洋全部生物数量的 90%以上，且绝大多数为侵染原核生物的病毒。病毒对细菌的裂解与原生动物捕食一样是造成海洋细菌死亡的重要原因，贡献了细菌死亡率的 40~60%，并且大约 20%的海洋初级生产力经过病毒裂解回到海洋有机碳库再循环利用，减少了有机物向更高级营养级流通，病毒通过以上“病毒回路”在生态系统的物质循环、能量传输、群落结构等方面起着重要的调控作用。病毒过程在绝大多数海洋生态系统模型中并没有很好的模拟。一般情况下，病毒裂解宿主的过程在模型中隐含的表现为宿主的一个不变的死亡率。但是，病毒侵染和裂解宿主的概率和速率，既和病毒和宿主自身的丰度、病毒自身繁殖过程有关，又受很多环境因子的影响。因此，病毒造成宿主的死亡率是随时空变化的。而此动态的宿主死亡率，又可以在更大程度上影响模拟生态系统的其他部分，可能传导到模型中对营养盐循环速率、生产力、营养层级的关系、碳输出等关键过程的模拟。目前，已有的海洋生态系统模型研究中，并没有很好的体现病毒过程在模型模拟中的作用，也不能考察模拟病毒过程的是否可以提高模型的预测水平。在本研究中，我们将病毒与细菌关系模块加入一个已有的海洋生物地球化学模型，实现了病毒-宿主细菌关系的时空动态模拟，并应用于北太平洋的夏威夷海洋时间序列站（HOT）和阿拉伯海的一个调查站位。通过与固定病毒致死模型的对比分析，结果显示模拟病毒变化后，模型的细菌死亡率在表层增加，在下层降低。这使得细菌在垂直方向上的变化减少，更好的符合实际测量的细菌丰度垂直分布特征。

S25-P-23S

Model-based analysis of the mechanisms regulating the coexistence of photosynthesis and N2 fixation in the marine dominant diazotroph Trichodesmium

Weicheng Luo , Ya-Wei Luo*

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science and College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, 361102 Xiamen, Fujian, China

* ywluo@xmu.edu.cn

Trichodesmium is an important cyanobacterial N_2 fixer (diazotroph) in the ocean. Among diazotrophs not forming heterocysts to protect N_2 fixation from photosynthetic O_2 production, *Trichodesmium* uniquely conducts both photosynthesis and N_2 fixation during the daytime. Previous studies have revealed inconsistent patterns and proposed different mechanisms for how *Trichodesmium* solves this conflict temporally and/or spatially. Here, we validate and compare these mechanisms by constructing a model simulating diel cycles of physiological processes in *Trichodesmium* trichome. By applying Monte Carlo method, the model self-organizes a temporal segregation between photosynthesis and N_2 fixation to maximize daily-integrated growth rate. The model results suggest that the respiratory protection (RP), a process that *Trichodesmium* wastefully respires fixed carbon aerobically, and the lowered O_2 diffusion across membranes are two prerequisites for *Trichodesmium* regulating intracellular O_2 to accomplish N_2 fixation, while the alternative electron transfer (AET) can also contribute but is not indispensable. By incorporation spatial segregation of N_2 fixation and photosynthesis, the modeled RP is greatly reduced, resulting a much-enhanced growth. Further model experiments show that *Trichodesmium* with spatial segregation is less dependent on the lowered O_2 diffusion, while a moderate RP is still necessary. The study provides a deeper insight into the concurrent coexistence of photosynthesis and N_2 fixation in *Trichodesmium*, and the framework is expected to be applied in marine biogeochemical and ecological simulations to explore how *Trichodesmium* physiologically responses to global change, such as ocean deoxygenation.

S25-P-24

银额盆地楚鲁隆起下白垩统巴音戈壁组古气候及湖泊 C-N-S 循环机制研究

柳蓉[1,2]*，张坤[1]，刘高飞[1]

1 吉林大学地球科学学院，长春 130061

2 吉林省油页岩与共生能源矿产重点实验室，长春 130061

* liurong@jlu.edu.cn

白垩纪早期古气候的快速变化对全球各个生态系统造成了深刻影响，这不仅在海相沉积物中得到证实，而且湖泊生态系统更为详细的记录了等时陆相沉积特征。本次研究通过对银额盆地（中国北方）巴音戈壁组（Aptian 早期）湖泊沉积物中的古生物化石资料（热河生物群，孢粉）、沉积特征及地球化学进行系统分析，揭示了陆相湖盆所记录的古气候扰动及湖泊演化过程中的C-N-S循环研究，对于重建古环境变化规律及揭示生物与环境的相互作用机制具有着重要意义。早白垩纪银额盆地的古植被类型以寒温性针叶林为主，暗示了具有高的古海拔特征。巴音戈壁组油页岩段的底部含有丰富的含滴石层段，这被推断为气候冷却事件或古湖泊季节性冻结而形成的冰筏沉积。湖相油页岩段中热带-亚热带常绿阔叶林及旱生植被

的孢粉含量快速增加，暗示了一次气候变暖事件。温暖湿润的古气候促进了湖泊初级生产力的增加和湖平面的上升，为陆相油页岩的形成提供了丰富的有机质来源及必要的保存条件。

通过对岩心样品进行元素及同位素地球化学分析可知，(Fe+Mn)/Ti 和 Al/(Al+Fe+Mn)比值揭示了巴音戈壁组深湖时期存在多期间歇性热液活动。Mo_{EF} 和 U_{EF} 指示了富有机质页岩段主要沉积于厌氧环境，贫有机质泥岩段显示出贫氧环境的沉积证据。富有机质页岩段中 $\delta^{13}C_{org}$ 的负漂移可能与早 Aptian 时期全球 CO_2 浓度的升高相关，$\delta^{15}N$ 的正漂移暗示了在缺氧水体中不完全反硝化作用或厌氧氨氧化作用的增强，$\delta^{34}S_{pyrite}$ 的负漂移可能暗示了热液活动及硫酸盐还原细菌（SRB）对黄铁矿硫来源的贡献。对比巴音戈壁组上段的生物地球化学过程及碳氮硫的循环机制可以发现，古气候是古湖泊中的碳-氮循环的主要驱动力，而湖泊硫循环同时受控于古气候和间歇性热液活动。

通过与全球古气候的演化特征进行对比，东亚热河生物群第二阶段的扩张和中国北方早白垩世湖相烃源岩的广泛发育，均受到了早 Aptian 全球古气候变暖的影响，其中与与大洋缺氧事件 1a（OAE 1a）相关的 CO_2 浓度上升在其中也扮演着重要角色。

S26-O-01

高静水压下的生命过程、元素循环与生命边界

肖湘 [1,3]*，赵维殳 [1,3]，杨艺 [1,3]，冷浩 [1,3]，顾家豪 [1,3]，张宇 [2,3]

1 上海交通大学生命科学技术学院，上海 200240

2 上海交通大学海洋学院，上海 200240

3 深部生命国际研究中心，上海 200240

* zjxiao2018@sjtu.edu.cn

高静水压（HHP）是深海中最普遍的胁迫因素，尽管科学界特别关注这个很大程度上存在但严重被忽视的环境参数及其在形成微生物生理、群落结构和进化中的作用。迄今仍不清楚微生物到达深海后是否及如何在元素循环中发挥关键作用。我们的研究发现高压诱导了微生物胞内过氧化，抗氧化是深海高压适应的核心，高压诱导的过氧化使得微生物在代谢中倾向于利用氧化电位较低的电子受体；揭示并测定了高压下甲烷厌氧氧化途径中 15%的代谢终产物为乙酸而非传统认知的全部是甲烷。上述结果证实，深海生物地球化学循环过程显著不同于海洋表层。

深海中的高温环境（主要包括海底热液喷口和深层沉积物）支持了大量的生物量、生产力和生物多样性。了解深海高压条件下生命的高温边界可以帮助我们估算生物圈的边界，并探索生命在地球和域外的宜居性。总结现有研究中高温高压影响主要包括两个方面：生物学的完整性和代谢可行性。前者高压可帮助细胞在高温下保持生物学完整性。对于后者，现有的研究提供了一些线索，暗示高温和高压都会影响微生物代谢的可行性，但是由于缺乏系统的分析，仍难以得出高温高压双重胁迫下对微生物代谢的叠加效应的确切结论。我们呼吁研究团队更多地关注对高温和高压对微生物代谢的影响，因为微生物代谢是地球化学和生态学之间的桥梁，帮助我们了解深海及深部生物圈中的微生物功能，并帮助我们估计生命和宜居环境的边界。

S26-O-02

同位素解析深海极端生态系统甲基汞的来源

孙若愚*，袁晶晶，刘羿

1 天津大学地球系统科学学院，天津市 300110

* ruoyu.sun@tju.edu.cn

甲基汞（MMHg）具有极强的神经毒性，它能够被生物有效富集并沿食物链传递和放大，危害生态安全。研究海洋中 MMHg 的

来源和产生过程对了解海洋 MMHg 循环至关重要。目前，海洋 MMHg 来源存在极大的不确定性。已有研究表明上部海洋 MMHg 主要产生于异养生物活跃的低氧区（100-1000 米）；微生物以下沉的有机颗粒物为食，并将无机汞转化为 MMHg。近年来研究发现深海（>1000 米）MMHg 含量及其占总汞的比例并不低，但难以确定其来源：上部海洋 MMMg 的向下传递、热液/冷泉汞的原位甲基化或深层背景区海水汞的原位甲基化。本研究基于不同来源 MMHg 同位素信号来示踪深海 MMHg 的来源与传输途径。

本研究在深层海洋，包括马里亚纳海沟（最深达 10900 米）、雅浦海沟（最深点达 8527 米）、印度洋、南海采集了不同海底环境下（背景区、热液区、冷泉区）的深海生物样品和沉积物样品，测试了其总汞和甲基汞浓度以及总汞同位素组成。研究发现 7000-11000 米海沟生物具有明显偏正奇数汞同位素非质量分馏值（odd-MIF；Δ199Hg = 1.47 ± 0.13‰，Δ201Hg = 1.21 ± 0.11‰，1SD），与北太平洋上层海洋 MMHg 的 odd-MIF 值（Δ199Hg = 1.44 ± 0.75‰，Δ201Hg = 1.16 ± 0.60‰，1SD）十分接近(Blum et al., 2013; Motta et al., 2019)，明显不同于深海沉积物的 odd-MIF 值（Δ199Hg = 0.20 ± 0.07‰，Δ201Hg = 0.18 ± 0.04‰，1SD）以及热液的 odd-MIF 值（0‰）。本研究认为：海沟生物的 MMMg 主要来自于上部海洋；表层透光带海洋经光降解的 MMHg 与中层非透光带海洋未经光降解的 MMHg 混合，继而通过下沉的颗粒物进入到深海食物链系统。深海中原位 MMHg 的产率很少或者基本不具有生物可利用性。

S26-O-03

深海极端环境下的脱卤球菌纲微生物

杨毅*，严俊

1 中国科学院沈阳应用生态研究所，沈阳 110016

* yangyi@iae.ac.cn

有机氯化物是一类重要的工业原料和产品，在工业、农业、医学等各方面领域有着广泛的用途。由于生产过程中的过度使用、不当存储，以及废物的任意排放和不合理处置导致了严重的有机氯污染，使得有机氯成为一类常见的环境污染物，对我国区域生态环境及人居健康构成了严重威胁。在厌氧环境中，脱氯微生物利用氢气或小分子有机酸作为电子供体来裂解有机氯化物的碳氯键，并从中获得能量来供给自身生命活动，在这个称之为有机卤呼吸（Organohalide respiration）的过程中，有机卤呼吸微生物利用自身能量新陈代谢活动将有毒有害的有机氯转化为低毒甚至无毒的化合物。例如，氯乙烯作为地下水中的典型污染物，能被脱卤球菌纲（Dehalococcoidia）中专性有机卤呼吸微生物脱卤拟球菌（*Dehalococcoides*）和脱卤单胞菌（*Dehalogenimonas*），通过逐步还原脱氯的方式降解为无毒乙烯，从而达到微生物修复氯乙烯污染场地的目的。

当前关于脱卤球菌纲微生物的生理学、生物化学和生态学研究，主要集中在从污染场地中富集或分离出的脱卤拟球菌（*Dehalococcoides*）和脱卤单胞菌（*Dehalogenimonas*）菌株。而越来越多研究证据表明，在各种非污染原始环境中（例如深海沉积物、湖泊、陆地、极地等生态系统）脱卤球菌纲微生物也经常被检测到，但是脱卤球菌纲微生物在这些环境中的生态功能尚未完全明确。脱卤球菌纲微生物可能可以利用天然产生的卤代有机物作为电子受体、其他厌氧微生物产生的氢气作为电子供体来供给自身能量代谢，并对有机卤化物和碳元素的生物地球化学循环起着重要作用。通过分析 JGI 数据库中 131 个脱卤球菌纲基因组，我们发现陆地与海洋系统的脱卤球菌纲微生物在基因组组成和新陈代谢功能上有着较大差异，而这种差异很有可能是因为地质环境选择胁迫下脱卤球菌纲微生物自身进化所致。本研究旨在介绍和探讨脱卤球菌纲微生物的生理、生态和进化，以鼓励跨学

科研究来揭示脱卤球菌纲微生物在深海等极端环境中的功能和作用。

S26-O-04

世界最深海底的新型绿弯菌基因组揭示其适应深海环境的代谢策略

刘如龙*，魏星，王丽，方家松

1 上海海洋大学海洋科学学院深渊科学与技术研究中心

* rlliu@shou.edu.cn

深海包含了海洋中大部分的微生物生物量和原核生物生产力，是地球上有机物再矿化和长期储存的关键场所。深海环境总体上处于贫瘠状态，但是伴随间歇性或地域性的新鲜有机质输入（如表层硅藻水华爆发），造成深海有机质供应在贫瘠与丰富之间转化。这一有机质状况对深海微生物的代谢和功能具有巨大影响。目前，人类对深海主要微生物类群的代谢潜力以及其应对多变的有机质状况的代谢策略了解很少。对生活在世界海洋最深处的深渊海沟的微生物的代谢策略更是缺乏认识。

本研究利用宏基因组学、宏转录组学及生物信息学深入挖掘，首次对深渊绿弯菌的系统发育、生态分布、以及代谢潜力进行了系统的研究。我们从马里亚纳海沟“挑战者深渊”表层沉积物的 9 套宏基因组数据中共获得 62 个深渊绿弯菌的基因组（MAGs）。基于基因组的系统发育分析揭示，这些绿弯菌属于厌氧绳菌纲（Anaerolineae）和脱卤球菌纲（Dehalococcoidia），分别代表了六个新种、四个新属、一个新科和一个潜在新目。片段招募（Fragment recruitment）结果显示，所获得的基因组广泛分布在全球深海海水和表层沉积物中，并且宏转录组分析揭示这些基因组代表的细菌在深渊原位环境中具有较高的活性。代谢网络重建显示深渊绿弯菌主要营异养代谢，可以降解多种不同惰性程度的有机碳、有机硫和卤代有机化合物。本研究首次揭示深渊绿弯菌基因组中存在可以完全降解多种难降解有机物的完整代谢通路，包括对芳香族化合物（如苯甲酸盐），多环芳烃（芴），多氯联苯（4-氯联苯），以及多种有机卤化物（如卤化烷烃和林丹）的水解和氧化降解途径。同时，这些细菌显示出合成多种胞内内含物（如海藻糖、糖原等）的潜力。另外，所有的基因组中都含有编码“饱食-饥饿”（feast and famine）调控蛋白的基因（例如亮氨酸响应蛋白基因 *lrp*），说明深渊绿弯菌具有响应周围环境中营养条件变化的代谢调节潜力。这些代谢特征使得深渊绿弯菌可能使用一种“饱食-饥饿”（feast and famine）的代谢策略，使其在有机物丰富的条件下可以快速消耗活性有机物并将多余能量储存在胞内内含物中，而在有机物匮乏时通过消耗胞内内含物或降解周围环境中的难降解有机物来维持生存。

本研究扩展了我们对深海绿弯菌代谢过程的认知，强调了绿弯菌在深海碳、硫和卤素循环中的重要作用，揭示了深渊绿弯菌具有随着周围环境中有机质的含量和成分的变化而对代谢模式做出适应性调控的潜力，从而在深渊乃至深海的复杂多变的有机质环境中获得生存优势。

S26-O-05

深海热液区优势化能自养菌氢/硫氧化驱动的固碳机制研究

姜丽晶*，王莎莎，邵宗泽

1 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361006

* jianglijing@tio.org.cn

深海热液喷口是地球上最独特的生态系统之一，黑暗、高压和剧烈的环境梯度变化，对生命生存构成了挑战，也提供了独特的栖息地。化能自养微生物能量代谢驱动的碳固定是热液生态系统的基础。生活于此的化能自养微生物主要是氧化从海底喷出的 H_2S、 H_2 等还原性无机物，获取能量、固定

CO_2、合成有机物，作为关键的初级生产者构成了热液生态系统食物链（黑暗食物链）的基础。因此，化能自养微生物在热液区的物质能量转化、元素生物化学循环以及生态系统的形成与维持中发挥着至关重要的作用。

为深入认识化能自养微生物的代谢特征与生态功能，本课题组开展了化能自养微生物的培养技术研究，并成功分离纯化获得热液区优势代表性菌种，如硫单胞菌 *Sulfurimonas* 和硫卵菌 *Sulfurovum* 等。基于纯培养菌株的研究揭示了一系列热液区化能自养微生物的新机制和新生态功能，如首次证实了硫单胞菌具有硫还原功能，耦合氢气的氧化获得能量固定二氧化碳，而非此前一直认为的硫氧化细菌；揭示了单质硫还原机制。首次发现二种硫还原途径，即周质多聚硫化物还原酶（$PsrA_1B_1CDE$）和胞质多聚硫化物还原酶（$PsrA_2B_2$）共存于一个细菌中，这种特殊组合广泛存在于热液区硫单胞菌中。单质硫呼吸新机制的发现为评估热液区氢能利用与黑暗碳固定的耦合过程提供了新的依据。此外，研究也揭示了热液区化能自养微生物新的生态功能，硫氧化固碳过程会在胞外累积大量的单质硫，多以 α -S_8 形式存在，且该功能在热液区化能自养微生物中普遍存在。胞外硫的产生具有重要的生态意义，在热液区硫循环过程发挥重要的作用。最近我们发现硫歧化也是驱动热液区化能自养微生物固碳的途径之一，该途径不仅存在于自由生长的化能自养菌中，也存在于与大型生物共附生的细菌中。在研究深海热液区盲虾共附生菌时，我们重构了 Deltaproteobacteria 细菌的能量代谢机制，结合转录组数据，发现该类群在原位环境下通过硫歧化获得能量固定二氧化碳。进一步提出该共生生境中存在一个基于“硫养化-硫还原-硫歧化”的硫循环过程。随着对化能自养微物能量代谢特征研究的加深，我们希望揭示化能自养微生物在热液环境的生存策略，获得对热液区暗能量驱动的碳固定机制的全新认识。

S26-O-06

基于高通量测序研究柴达木盆地马海盐湖微生物多样性

谢凌璐[1,2]，于珊[2]，卢海龙[2]*

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871
2 北京大学天然气水合物研究中心，北京 100871
* hlu@ pku.edu.cn

【目的】马海是青海省有名的天然结晶盐湖，位于青海省海西蒙古族藏族自治州大柴旦镇境内。盐湖卤水环境中存在丰富的嗜盐菌资源和潜在的新种，细菌和古菌的群落结构特征和物种多样性尚不明确。【方法】采用 Illumina 高通量测序平台对马海盐湖水样和底泥混合物中的细菌和古菌群落进行 16S rRNA 基因(V3−V5 区)高通量测序，检测 24 个样本的群落结构差异和微生物多样性。【结果】获得细菌总有效序列为 2417482。结果分析表明细菌的物种注释(Operational taxonomic unit，OTU)数目为 4225，12 个 OUT 存在于所有样品里，59 个 OUT 存在于 90%的样品里，490 个 OUT 存在于 50%的样品里。获得分类地位明确的细菌种类为 33 门 65 纲 294 属。细菌的优势类群是变形菌门 Proteobacteria，所占比例为 29.1%，其次为厚壁菌门(Firmicutes) (22.2%)；优势种属依次为拟杆菌属 Bacteroides（1.5%）芽孢杆菌属 Bacillus (1.5%) 黄杆菌属 Flavobacterium（1.1%）布劳特氏菌属 Blautia（1%）和假单胞菌属 Pseudomonas (0.9%)；古菌的优势类群以广古菌门(Euryarchaeota)盐杆菌纲(Halobacteria)为主。【结论】揭示了马海盐湖中细菌和古菌的群落结构及物种多样性，为嗜盐菌的开发及后续微生物资源的挖掘提供了理论依据。

S26-O-07

Carbon flow and microbial activity in the hydrothermally

altered sediment of Guaymas Basin

Guangchao Zhuang[1,2]*, Andy Montgomery[2], Samantha Joye[2], Andreas Teske[3]

1 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System (FDOMES) and Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao, 266100, China.

2 Department of Marine Sciences, University of Georgia, Athens, GA, 30602, USA

3 Department of Marine Sciences, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, NC, 27599, USA

* zgc@ouc.edu.cn

The Guaymas Basin, in the Gulf of California, is a deep‐sea hydrothermal system characterized by rapid accumulation of organic-rich sediments and active oceanic crust production (Teske et al., 2016). Magmatic intrusions from the spreading center alters the overlying sediments, generating a wide range of hydrocarbons such as methane, short/long chain alkanes, polycyclic aromatic hydrocarbons and other low-molecular-weight metabolites (e.g., CO_2, H_2, ammonium, organic acids and alcohols; Bazylinski et al., 1988; Whelan et al., 1988; Zhuang et al., 2019), which constitute energetic substrates for a diverse array of microorganisms that live and thrive under extreme conditions. In this study, we integrated geochemical analysis and experimental incubations with radiotracers to constrain the carbon flow and microbial activity in hydrothermally influenced sediments from the Guaymas Basin. Abundant methane, acetate, methanol and hydrocarbons were detected in the porewaters. Rate measurements suggested methane could be produced from bicarbonate, acetate, methanol and hydrocarbons. High oxidation rates versus low methanogenesis rates indicated that these substrates were predominantly consumed by non-methanogenic processes. Methane was anaerobically oxidized and AOM was generally coupled to sulfate reduction. Microbial activity was influenced by environmental factors, which also shaped the distribution of microbial communities. These results reveal a dynamic carbon flow mediated by various microorganisms and provide new insight into the carbon metabolism and cycling in seafloor hydrothermal systems.

S26-O-08

深海微生物组图谱（MASH）——热液系统的微生物相互作用

李留洋[1]，张国庆[2]，肖湘[1]，王风平[3]，王寅炤[1]*

1 上海交通大学生命科学技术学院，上海 200240

2 中国科学院上海营养与健康研究所，上海 200240

3 上海交通大学海洋学院，上海 200240

* wyz@sjtu.edu.cn

深海存在多种生境，例如热液、冷泉、海山，深渊等。这些地质成因、理化参数不同的环境中支撑了多样的微生物群落。近年来，针对深海生境的探索已经积累了大量的微生物组学数据和相应的环境物理化学数据。然而，这些研究呈现破碎化、烟囱化、孤岛化的特点，鲜有系统化的研究揭示深海微生物群落相互作用。本研究将针对深海生境，整合团队积累的深海环境微生物组学数据及相应环境数据，结合公共数据库中全球深海微生物多组学数据，以大数据分析驱动知识发现新范式，并以解释重要科学问题为目标探索深海微生物作用机制。

热液喷口是深海中一个非常独特的生境，热液微生物具有独特的化能合成和极端

环境适应性。据报道，全球有超过 721 处已知热液区域，广泛地分布在洋中脊、弧后盆地和火山弧等区域。深海热液口通常是高温缺氧环境，并富含还原态化合物，而热液流体通过和低温含氧的海水混合，导致还原态热液流体和氧化态海水化学反应的不平衡。热液自养微生物能够利用硫、氢气、甲烷、硫化物、铁等还原态物质所产生的能量来固碳，从而支撑了整个热液生态系统。热液和海水混合的不同形式和程度塑造了高度异质性的热液生境。例如，微生物与动物群形成的共生体，烟囱、菌席、羽状流、沉积物等等独特的微生物群落。尽管一些研究已经为揭示热液口微生物群落的部分特征作出了重要贡献，但这些研究更关注局部区域，对于全球热液微生物多样性、地球化学元素循环驱动因素和相互作用关系的认知尚不清楚。本研究选取了全球深海微生物组中的热液数据，探索热液微生物相互作用形成的代谢网络如何介导生物地球化学循环。旨在通过从局部到整体的研究策略，逐步梳理并形成深海生境的领域知识库，探索并尝试揭示深海微生物群落驱动碳氮硫循环的机制。

S26-O-09

深海热液区发酵型铁还原菌生物矿化过程及机制

曾湘*，邱冬华，陈瑶，李曦，邵宗泽

1 自然资源部第三海洋研究所，海洋生物遗传资源重点实验室

* Zengxiang@tio.org.cn

深海热液区是地球上重要的铁源，热液硫化物中铁含量可高达 1-100 mMol/kg，羽流中铁含量可高达上千 μMol，远高于其它海洋环境（通常小于 1 nMol）。发酵型铁还原过程是热液区嗜热微生物的重要生理代谢途径。本研究以从深海热液区硫化物样品中自主分离获得的超嗜热古菌 *Palaeococcus pacificus* DY20341，嗜热细菌 *Anoxybacter fermentans* DY22613 和 *Thermosipho ferrireducens* W03 为研究对象，研究发酵型微生物在铁还原和硫还原代谢下，微生物与矿物的相互作用过程及分子机制。研究表明，发酵型微生物的硫还原过程可以显著促进铁还原过程，促进胞内[Fe-S]键合成，进而促进氢酶和其它氧化还原酶的转录表达。另一方面，微生物可以利用胞外电子穿梭体（小分子化合物）和直接接触（铁还原酶）还原含铁矿物，生成磁铁矿、菱铁矿、无定形硫化物等衍生矿物。其铁还原酶不同于呼吸型铁还原菌，是一种新颖的机制。发酵型铁还原菌在深海热液区广泛分布，对该环境下的化学元素循环起着重要的作用。

S26-O-10

病毒对厌氧环境的适应——以甲烷厌氧代谢古菌噬菌体为例

王龙[1]*，周昆[2]，王寅炤[3]，黄星煜[1]，王风平[3]，张锐[1]

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361102

2 香港科技大学海洋科学系，香港 999077

3 上海交通大学海洋学院，上海 200240

* kodragon@xmu.edu.cn

甲烷（CH_4）在全球碳循环中发挥着重要的作用，同时甲烷也是一种温室效应显著的温室气体，对气候变化有着深刻的影响。在深海极端环境如冷泉、热液区以及深部生物圈，甲烷在厌氧环境下的产生和消耗是极为重要的生物地球化学循环过程，因此对参与甲烷厌氧代谢微生物生物量和代谢能力的影响因素的研究具有重要意义。在厌氧环境中，由于多/单细胞真核捕食者的数量较少甚至缺失，推测噬菌体是甲烷厌氧代谢古菌的主要致死因素。然而目前仍然没有获得甲烷厌氧氧化古菌噬菌体的纯培养，产甲烷古菌噬菌体的纯培养也较少且全部来自废水污泥，针对自然环境下甲烷厌氧代谢古菌噬菌体的生理生态特性的认识更少。

结合多种病毒序列预测方法，我们从 75 组可能有甲烷厌氧氧化或产甲烷过程发生的自然环境宏基因组中预测到 141 个病毒可能感染甲烷代谢古菌，并发现这些噬菌体中的一些在基因组成和同源性方面与 δ 变形菌纲的硫酸盐还原菌具有较高的相似度，暗示着某些噬菌体可能可以同时感染这两个类群。在辅助代谢功能方面，甲烷厌氧代谢古菌噬菌体编码了多种用于调节宿主细胞表面抗原合成相关的基因，可能可以提高宿主应对环境变化的能力；而其携带的 PAPS 还原酶基因，可以促进其宿主进行同化硫酸盐还原，进而促进半胱氨酸的合成。本研究通过对甲烷厌氧代谢古菌噬菌体多样性和功能的挖掘和分析，有助于我们了解感染绝对厌氧微生物的病毒的独特生存策略。

S26-O-11

深海平端偏顶蛤宿主－共生菌互作机制研究

王昊[1]，张峘[1]，何铠[2]，张全勇[3]，李晶[1]，钟兆山[1]，王敏晓[4]，陈凯[3]，李超伦[1,4]

1 中国科学院海洋研究所深海中心
2 南方医科大学基础医学院生物化学与分子生物学教研室
3 昆明理工大学灵长类转化医学研究院
4 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室

深海平端偏顶蛤（*Gigantidas platifrons*）是西太平洋深海化能生态系统的典型物种。通过与化能合成微生物在其鳃丝组织的特殊菌细胞（Bacteriocytes）中建立的胞内共生体系，深海平端偏顶蛤适应了马努斯海盆热液、海马冷泉、南海 F 冷泉、冲绳海槽热液区等差异显著的深海化能生态系统，并在多数系统中成为优势物种之一。深海平端偏顶蛤是如何在组织、细胞及分子水平上与其共生菌协同互作，维持高效的化能合成并适应深海极端环境，目前仍未可知。本研究依托”科学“号考察船船载实验室及“发现”号 ROV 的原位实验及取样平台，以深海原位实验及甲板实验相结合的方式，通过分子-细胞生物学、比较转录组、宏转录组及单细胞测序等技术手段，剖析了深海平端偏顶蛤共生组织鳃丝中宿主-共生菌的互作机制。研究发现，在深海平端偏顶蛤鳃丝组织中，除含有共生菌的菌细胞外，还存在大量的非共生细胞。宿主非共生细胞在调节鳃丝的空间结构和运动，维持细胞生长，提供粘液免疫保护等方面发挥着重要的支持作用;宿主菌细胞可以向胞内共生菌提供代谢物，控制共生菌的数量，并保护共生菌免受噬菌体的感染;而共生菌从宿主创造的理想环境中获益，并作为共生关系的受益者，致力于甲烷氧化和能量生产过程。深海平端偏顶蛤可与共生菌可在组织、细胞和分子水平上协同互作，维持高效、和谐的化学合成“微生态位”。

S26-O-12

海底冷泉系统－深海砷元素的富集器：现象与机理，以“海马”冷泉为例

唐永杰[1,2]，李季伟[1]*，张哲轩[1]，李太思[1,2]，彭晓彤[1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000
2 中国科学院大学，北京 100049
* lijiwei20025@idsse.ac.cn

海洋是地球最大的砷库，而遍布于全球海洋大陆边缘的海底冷泉系统是一类典型的富砷环境。目前，人们对冷泉环境中砷的地球化学行为的认知十分匮乏，尤其是甲烷消耗过程对砷地球化学循环规律的影响更一无所知。本文以南海北部“海马”冷泉为对象，选取冷泉活跃区、衰亡区和背景区的柱状沉积物进行了系统的地球化学和地质微生物学研究，探讨了冷泉不同发育阶段过程中砷元素的生物地球化学行为及其受甲烷厌氧消耗的影响机制。数据表明，砷在冷泉活跃区的沉积物中明显富集，其表层沉积

物中总砷浓度高达 18.82 mg/kg，是背景区表层沉积物（2.86~6.41 mg/kg）的 3~6 倍；冷泉沉积物中，砷的赋存形式以黄铁矿和无定型雄黄共沉淀砷为主，占总砷浓度的 38.86~85.01%，这一数据指示了冷泉沉积环境中砷的沉淀过程受到了硫酸盐介导的甲烷厌氧氧化作用（S-AOM）影响，该作用生成的 H_2S 是砷沉淀的主控因素；计算表明，间隙水中砷的沉淀主要发生在硫酸盐耗尽带以下，其沉淀最大速率为 0.036 nmol L^{-1} d^{-1}。单菌基因组构建结果发现一株含有许多砷代谢相关基因的产甲烷古菌，表明冷泉中砷代谢过程可能与甲烷的代谢有关；冷泉中砷代谢相关功能基因相对丰度与间隙水中砷浓度正相关，与 DIC 浓度负相关，且砷酸还原相关基因 *arsC* 与甲烷厌氧氧化相关基因 *mcrA* 占比都随深度增加而升高，指示了冷泉中砷的还原可能受到了甲烷厌氧氧化（AOM）过程影响，即砷耦合的甲烷厌氧氧化（AsR-AOM）过程。同时，冷泉沉积物中 *arsC* 基因主要来自 *Desulfovibrionales*，*Desulfobacterales* 等硫还原微生物，未发现具备独立完成 AsR-AOM 过程能力的微生物，故推测 AsR-AOM 过程与 S-AOM 类似，由不同种间微生物协作完成。基于以上地球化学及分子生物学数据，本文首次提出了冷泉从活跃到衰亡的不同阶段中甲烷-硫-砷的生物地球化学共循环模型。

S26-P-01S

Diet change of amphipods in the hadal trench revealed by fatty acid biomarker and stable isotope ratio

Linlin Shi[1,2], Xi Zhang[1], Wenjie Xiao[1], Binbin Pan[1], Zhiguo Liu[3], Yunping Xu[1,2]*

1 Shanghai Engineering Research Center of Hadal Science & Technology, College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

2 Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

3 Shanghai Rainbowfish Ocean Technology Co., Ltd, Shanghai, 201306, China

* ypxu@shou.edu.cn

The hadal zone (from 6 to 11 km depth) is one of the least explored habitats on Earth, and the knowledge about trophic ecology of hadal organisms is limited. Here we analyzed fatty acids of the amphipods collected from three contrasting Pacific trenches that New Britain Trench (NBT; 8.2 – 8.9km) is under strong terrestrial influence, whereas Mariana Trench (MT; 11km) and Massau Trench (MS; 6.9km) receive little terrestrial material. The predominance of $C_{18:1\omega9}$, high $C_{18:1\omega9}/C_{18:1\omega7}$ and high $\delta^{15}N$ values suggested that hadal amphipods were necrophagous. The inter-trench comparisons based on $C_{18:1\omega9}/C_{18:1\omega7}$, $C_{22:6\omega3}/C_{20:5\omega3}$, Σ polyunsaturated/ Σ saturated fatty acids, Σ branched fatty acids and principal component analysis (PCA) showed that the amphipods in the NBT were more dependent on high-quality organic matter (i.e., carrion), whereas those in the MT and MS more utilized detritus and bacterial organic matter as supplementary food. This inter-trench difference had been attributed to a bottom-up effect of food availability that the NBT has higher net primary productivity (NPP) and a strong terrestrial influence, whereas the MT and MS have lower NPP and insignificant terrestrial influences. We further explored the diet change of hadal amphipods in relation to ontogenetic development by analyzing the amphipod species (*Alicella gigantean*) collected in the NBT (8225 m depth). A total of 50 samples were divided into five developmental stages according to body length (1–129 cm): Stages I (juvenile), II (sub-adult)

and III/IV/V (adult). Mean total fatty acid content for stage I (237.7 ± 105.6 mg g^{-1}) was significantly lower than that for stages II to V (476.4 ± 49.0 mg g^{-1}). The $\delta^{15}N$ of mussels (14.7–18.4‰) positively correlated with the body length, whereas the EPA/DHA ($C_{20:5\omega3}/C_{22:6\omega3}$) ratio (0.09–0.51) negatively correlated with the body length. These results suggested an increase of trophic levels with growth. The PCA result revealed that stage I-individuals consumed more bacteria/zooplankton debris, stages II to IV-individuals primarily preyed on carrion, while stage V-individuals had more diverse diet (benthic fauna/algae and carrion). Overall, our fatty acid and stable isotope data suggested an ontogenetic diet shift for hadal amphipods that may contribute to their success in the deepest ocean. Some preliminary data on compound specific nitrogen isotopes of amino acids were also presented in order to estimate trophic levels of amphipods.

S26-P-02S

马里亚纳海沟沉积物中放线菌的代谢潜力及其生态功能

魏星[1,2]，刘如龙[1,2]*，杜江涛[1,2]，姚程[1,2]

1 上海深渊科学工程技术研究中心，上海海洋大学，上海 10264
2 国家远洋渔业工程技术研究中心，上海海洋大学，上海 10264
* rlliu@shou.edu.cn

深渊海沟沉积物具有高水平的有机质含量和微生物碳周转活性，是深海中微生物栖息和降解有机质的研究“热点”。最新的研究显示，广泛分布在海洋各种环境中的放线菌是海沟沉积物中最主要的分类群之一，其因产生独特的次生代谢产物而备受关注。海洋放线菌已发展出独特的代谢方式应对海洋极端环境，也具有产生新颖抗生素的潜力。然而，目前对深渊放线菌的了解十分有限，对深渊沉积物中放线菌的代谢策略及其生物合成潜力等功能还尚未可知。在本研究中，我们基于马里亚纳海沟沉积物的 9 个宏基因组数据重建了 21 个高质量的放线菌基因组（MAGs），这些 MAGs 皆属于酸微菌纲（Acidimicrobiia），是深渊微生物群落的主要活性类群。研究表明，深渊放线菌或存在巨大的生物合成潜力，对放线菌的海洋环境适应机制及对海洋生态具有重要作用。

S26-P-03

单细胞测序揭示超深渊环境中两种常见海洋异养细菌的基因组特征及其对深渊环境的适应机制

陈明明[1]，宋毓[1]，冯晓远[2]，汤凯[1]，焦念志[1]，田纪伟[3]，张瑶[1]*

1 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门大学海洋与地球学院，厦门 361102
2 香港中文大学生命科学学院，香港 999077
3 中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室，青岛 266100
* yaozhang@xmu.edu.cn

异养细菌在海洋超深渊环境中具有很高的丰度，但是我们对其基因组特征及其对深渊环境的适应机制知之甚少。本研究利用单细胞测序技术，得到了多个来自马里亚纳海沟超深渊区域的 *Roseobacter* 和 *Alteromonas* 单细胞基因组（Single-Amplified Genomes, SAGs）。虽然针对核心基因的系统发育分析表明这些 SAGs 与浅海来源的基因组具有较高的同源性，但根据宏基因组招募的结果，它们在超深渊区域的丰度大于上层海洋。深渊 SAGs 与浅海参比基因组的对比分析表明，可移动基因（包括转座子和前噬菌体）在超深渊 SAGs 独有基因中的占比远高于其在所有基因中的占比；并且这类基因编码的功能蛋白也比其他蛋白表现出更

高的氨基酸序列变异性。我们还发现参与细胞壁/膜/包膜生物合成、转录调控和金属转运的基因可能对这两类异养细菌适应深渊环境起到重要作用。这些结果暗示异养细菌对细胞表面相关蛋白和转运蛋白基因的修饰是其适应超深渊环境的主要进化方式，而转座子和前噬菌体介导的基因重组可能是推动这一过程的关键。

S26-P-04

深部生物圈古菌的研究进展与展望

林喜铮[1,2]，谢伟[1,2]*

1 中山大学海洋科学学院，广东 珠海 519082

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)，广东 珠海 519082

*xiewei9@mail.sysu.edu.cn

古菌作为深部生物圈中常见的原核生物，广泛分布于各类海洋沉积生境中，在沉积物生物地球化学循环中发挥着重要作用。由于不同古菌类群对环境条件的生理适应性差异，它们分别在近岸沿海和开阔海洋环流之下构成厌氧微生物生态系统和好氧微生物生态系统。我们通过对近岸与远洋、沉积物与上覆水体两个不同维度的古菌群落结构进行比较，以及对出现在深部生物圈中的常见古菌(奇古菌门(Thaumarchaeota)、深古菌门(Bathyarchaeota)、底栖古菌目(Thermoprofundales)、Asgard 古菌超级门、乌斯古菌门(Woesearchaeota))的分布、代谢和环境适应机制的论述，总结了深部生物圈中古菌的研究进展，在此基础上，展望了几个未来研究的方向与重点以供参考：1）根据宏基因组、宏转录组、单细胞基因组学等组学技术所获得的古菌的潜在生理特征和代谢机制，为古菌的纯培养和富集培养提供针对性的指导；2）多学科交叉合作，结合生物、化学、地质等学科方法量化古菌在全球生物地球化学循环中的贡献；3）关于不同海洋古菌的生理代谢、古菌蛋白质和酶的异源表达以及随后的生化特性也是非常有价值的研究方向；4）古菌病毒和其他可移动元件是海洋古菌研究的另一个新兴领域。利用宏基因组学、宏转录组学、单细胞基因组学，以及最终的古菌纯培养，将有助为了解它们的病毒多样性、病毒-宿主相互作用和水平基因转移提供了新的见解；5）真核生物的起源和细胞复杂性是生物学研究中的一个重大科学问题。古菌作为在系统发育上与真核生物最近，并编码许多与真核特征蛋白相关的基因的原核生物，研究其与真核生命起源的关系将对整个地球生命演化的理论体系产生重大影响。

S26-P-05

西南印度洋龙旂热液区铁氧化菌矿化机制研究

他开文[1,2]，吴自军[2]*，彭晓彤[1]*，李江涛[2]，陈顺[1]，许恒超[1]，李季伟[1]，杜梦然[1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚，572000

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海，200092

* wuzj@tongji.com , xtpeng@sidsse.ac.cn

深海热液区广泛发育的铁氧化物/氢氧化物中蕴含着重要的地质、环境和生物信息，为研究极端环境中生物矿化机制提供了极好的对象。然而，当前学术界对于超慢速扩张洋中脊热液区，生物成因铁氧化物/氢氧化物形成机制的认识还十分有限。近期，我们通过“深海勇士号”载人潜水器在西南印度洋龙旂热液区，采集了大量特征性的生物成因铁氧化物/氢氧化物化物。研究发现铁氧化物/氢氧化物表现以下特征：（1）生物被动矿化是低温铁氧化物/氢氧化物化物形成的主要方式；（2）分子生物学结果显示ζ-变形杆菌是参与铁氧化矿化的优势菌群，不同温度下，参与铁氧化矿化的ζ-变形杆菌菌群存在差异；（3）微区矿化结构与其他热液环境的矿化形态相似，主要有丝状，分

叉状，螺旋状，茎状、球状等结构组成，长度约 5-30 μm，然而，新鲜的铁氧化菌席以纳米纤维组成的杆状结构为主，这与淡水环境生物成因铁氧化结构极其相似；（4）激光拉曼光谱和高分辨纳米红外光谱显示，这些胞外矿化结构主要是纤铁矿和少量的有机组分组成；（5）铁氧化物/氢氧化物中含有丰富的 GDGT-0，crenarchaeol 和 brGDGT-Ia，其他脂类化合物较少；（6）有机碳、氮含量、碳同位素组成进一步暗示了铁氧化物/氢氧化物是微生物原位作用结果，铁的生物矿化结构潜在影响着微生物产生的特有的脂类化合物的保存。此项研究对深入了解超慢速扩张带热液区铁的生物矿化过程具有十分重要意义；此外，认识这一极端环境中的铁矿物成因机制将有助于揭示洋底沉积记录所记载的环境演变信息。

S26-P-06S

基于基因组学、转录组学和蛋白质组学的深海螺共生体中噬菌体－细菌间的相互作用研究

周昆[1,2]，徐颖[1,3]*，张锐[4]*，钱培元[2]*

1 深圳大学 SZ-HKUST 联合培养项目，深圳 518060

2 香港科技大学广东省南方海洋科学与工程学院广东省实验室香港分部与海洋科学系，中国香港

3 深圳大学生命科学与海洋学院，深圳 518060

4 厦门大学海洋微生物与生态圈研究所，海洋地球科学学院海洋环境科学国家重点实验室，福建厦门

* boqianpy@ust.hk, ruizhang@xmu.edu.cn, boxuying@szu.edu.cn

深海热液口动物普遍与化能合成细菌存在细胞内共生关系。内共生的微生物在动物共生体中起着重要的生化和生态功能，但其噬菌体的研究尚少，对共生菌的影响仍不清楚。目前，已发现深海螺 *Gigantopelta aegis* 的食管腺组织存在内共生菌，即硫氧化细菌（SOB）和甲烷氧化细菌（MOB）。基于宏基因组学分析，我们组装出了四个与 *G. aegis* 螺共生体相关的 *Caudovirales* 噬菌体基因组（Bin1、Bin2、Bin3 和 Bin4）。CRISPR 系统的 spacer 的比对分析和全基因组和转录组的比较分析表明，噬菌体 Bin1，Bin2 和 Bin4 已侵染了 SOB 和 MOB。共生菌 SOB 和 MOB 基因组中发现的原噬菌体以及温和噬菌体 Bin2 和 MOB 之间的水平基因转移表明噬菌体可能溶源性的侵染了内共生菌宿主。另一方面，结构蛋白和溶菌酶基因的表达表明噬菌体也可能裂解性的侵染了 SOB 和 MOB。针对噬菌体的侵染，SOB 和 MOB 表达了 CRISPR–Cas 系统，这一系统的基因表达可能说明内共生菌使用了 CRISPR–Cas 来靶向噬菌体 DNA，阻止病毒侵染。另外，其他的防御系统的表达，例如限制修饰系统（restriction-modification systems）和毒素-抗毒素系统（toxin–antitoxin systems），可能协同作用地形成了多条防线的抗病毒防御体系。为了对抗宿主防御体系，噬菌体 Bin1，Bin2 和 Bin3 进化出了限制修饰系统，其甲基转移酶基因的表达可能降低了宿主限制性内切酶的活性，减少了噬菌体 DNA 被剪切的机会。此外，噬菌体的辅助代谢基因 *narGH* 的高水平表达可能促进了宿主 ATP 的产生，为噬菌体 DNA 包装等提供了更多能量以利于病毒的复制。考虑到噬菌体的裂解性，我们认为噬菌体是除动物免疫调节共生菌种群大小之外的另一因素。综上所述，我们的研究为深海螺共生体中的噬菌体-细菌间的相互作用提供了新的认识。

S26-P-07S

Thermococcs eurythermalis A501 不同生长阶段膜质组成及其合成通路研究

陈淼[1]，赵维殳[2]，董良[1]*，肖湘[2]*

1 上海交通大学 海洋学院

2 上海交通大学 生命科学技术学院
* dongliang@sjtu.edu.cn

热球菌广泛存在于深海热液系统中，是研究极端环境适应机制、生命的起源与演化的理想材料。细胞膜是维持细胞结构和功能的生物学基础，因此阐明热球菌的脂质组学特征是研究其极端环境适应和演化的必要条件。本研究分析了模式菌株 *Thermococcs eurythermalis* A501 的全生长阶段核心膜脂（core lipids, CL）和完整极性膜脂（intact polar lipids, IPL）组成特点，并结合基因组、蛋白组分析其各生长阶段膜脂合成通路变化。初步结果显示，A501 主要由 GDGT-0 (甘油二烷基甘油四醚)、archaeol（古菌醇，AR）和 2OH-GDGT-0 三种核心膜脂以及七种极性膜脂组成。对全生长阶段膜脂含量变化的研究显示，从对数期到平台期，GDGT-0 的绝对含量从 0.02 fg/cell 上升到 0.31 fg/cell, 相对百分含量从 34%升至 68%；AR 的绝对含量从 0.05 fg/cell 上升到 0.14 fg/cell，相对百分含量从 66%下降到 31%；而 2OH-GDGT-0 的绝对含量从 0.0001 fg/cell 上升到 0.01 fg/cell, 相对百分含量从 0.1%升至 1.2%；IPL 中 PI-AR（磷脂酰肌醇-AR）相对百分含量从 73%降到 51%；在膜脂含量中占比较少的完整极性脂质则主要对应衰亡前期到后期变化。该结果暗示在热液等热球菌占主导的环境中具有构建膜脂含量变化的模型去指示热球菌群活跃状态的潜力。通过 A501 膜脂的合成途径，初步探索热球菌的主要膜脂合成通路随生长周期的变化特点，为理解热球菌在热液系统中的生物学及生态学意义提供了新的视角。

S26-P-08

Active anaerobic archaeal methanotrophs in recently emerged cold seeps of northern South China Sea

Tingting Zhang[1,2,3] & Xi Xiao[1,2,3], Songze Chen[4,5], Jing Zhao[1]*, Zongheng Chen[1], Junxi Feng[1,2], Qianyong Liang[1,2,3], Tommy J. Phelps[4,7], Chuanlun Zhang[4,5,6]

1 Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou, China
2 Gas Hydrate Engineering Technology Center, China Geological Survey, Guangzhou, China
3 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou, China
4 Department of Ocean Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, China
5 Shenzhen Key Laboratory of Marine Archaea Geo-Omics, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, P. R. China
6 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou, China
7 Earth and Planetary Sciences, University of Tennessee, Knoxville, TN, USA
* Yulanlin126@126.com

Cold seep ecosystems are developed from methane-rich fluids in organic rich continental slopes, which are the source of various dense microbial and faunal populations. Extensive studies have been conducted on microbial populations in this unique environment; most of them were based on DNA, which could not resolve the activity of extant organisms. In this study, RNA and DNA analyses were performed to evaluate the active archaeal and bacterial communities and their network correlations, particularly those participating in the methane cycle at three sites of newly developed cold seeps in the northern South China Sea (nSCS). The results showed that both archaeal and bacterial communities were significantly different at the RNA and DNA levels, revealing a higher abundance of methane-metabolizing archaea and sulfate-reducing bacteria in RNA

sequencing libraries. Site ROV07-01, which exhibited extensive accumulation of deceased *Calyptogena* clam shells, was highly developed, and showed diverse and active anaerobic archaeal methanotrophs (ANME)-2a/b and sulfate-reducing bacteria from RNA libraries. Site ROV07-02, located near carbonate crusts with few clam shell debris, appeared to be poorly developed, less anaerobic and less active. Site ROV05-02, colonized by living *Calyptogena* clams, could likely be intermediary between ROV07-01 and ROV07-02, showing abundant ANME-2d Ⅰ and sulfate-reducing bacteria in RNA libraries. The high-proportions of ANME-2dⅠ, with respect to ANME-2dⅡ in the site ROV07-01, was the first report from nSCS, which could be associated with recently developed cold seeps. Both ANME-2d Ⅰ and ANME-2a/b showed close networked relationships with sulfate-reducing bacteria; however, they were not associated with the same microbial operational taxonomic units (OTUs). Based on the geochemical gradients and the megafaunal settlements as well as the niche specificities and syntrophic relationships, ANMEs appeared to change in community structure with the evolution of cold seeps, which may be associated with the heterogeneity of their geochemical processes. This study enriched our understanding of more active sulfate-dependent anaerobic oxidation of methane in poorly developed and active cold seep sediments by contrasting DNA- and RNA-derived community structure and activity indicators.

S26-P-09S

南海冷泉区沉积柱中古菌细胞膜脂单体稳定碳同位素变化及其指示意义

赵小小[1]，牛明扬[1]，董良[2*]，王风平[2*]

1 上海交通大学 生命科学与技术学院，上海，200240；

2 上海交通大学 海洋学院，上海, 200240

* dongliang@sjtu.edu.cn, fengpingw@sjtu.edu.cn

海洋沉积物中的古菌细胞膜脂甘油二烷基甘油四醚（GDGTs）常被用来重建上层海洋的古海水温度变化，为古海洋、古气候研究做出了重要贡献。然而，海洋沉积物原位自生的古菌也可能会对沉积物中总GDGTs 库产生贡献，从而会造成次表层海表温度重建的偏差。尽管有甲烷指数（Methane index）、环化指数（Ring index）等对温度代用指标的应用进行了定性约束，但原位贡献的定量研究仍然非常有限。而冷泉区沉积物通常具有较为活跃的原位微生物活动，同时又广泛接受上层水体沉降颗粒物的贡献，是研究沉积物中自生 GDGTs 相对贡献比例的理想区域。据此，我们选取位于南海北部冷泉区一根柱状沉积柱，对其中的$\delta^{13}C_{iGDGTs}$ 同位素组成进行了系统分析，发现在 440cmbsf 和 550cmbsf 处几种主要的 GDGTs 裂解产物的$\delta^{13}C_{BP0\text{-}2}$ 同位素存在明显负偏。结合古菌 16S rDNA 数据，发现这些层位与 ANME1 古菌峰值相对应，暗示该负偏主要由 ANME1 造成。通过双端元模型计算，我们发现整根沉积柱中原位自生 GDGTs 对总 GDGTs 库的贡献量在 0-66%之间变化。这说明沉积物中存在的活跃古菌群落参与了不同碳库之间的转化，在生物地球化学循环中扮演着重要角色。此外，上层水体来源的氨氧化古菌奇古菌 Thaumarchaeta 的特征生标泉古菌醇 Crenarchaeaol 的裂解产物的$\delta^{13}C_{BP3}$ 值在-20‰左右波动，同位素值未受明显的原位影响，且在末次冰期出现显著负偏，结合现代水体悬浮颗粒物过程过程研究，暗示其具有作为古次表层海水$\delta^{13}C$ 代用指标的潜力，可用于重建更长时间尺度古海洋的重建，然而这需要更为系统的表层沉积物校正。

S26-P-10S

Deep-sea carbonates are a reservoir of fossil microbes previously inhabiting the oxic-anoxic interface of cold seeps

Yingli Zhou[1,2], Wenli Li[1], Qingmei Li[1,2], Zhaoming Gao[1], Dong Feng[3], Yong Wang[1]*

1 Institute of Deep Sea Science and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Sanya, Hainan, P. R. China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, P. R. China

3 Shanghai Engineering Research Center of Hadal Science and Technology, College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai, China

* wangy@idsse.ac.cn

Carbonates are globally distributed particularly around deep-sea cold seeps. The embedded microbes are fossil records of the past bioprocess but metagenomes of the carbonates have not been fully studied. In this study, we report microbial community structures and genomes of dominant species in cold-seep carbonates from the South China Sea (SCS) and Gulf of Mexico (GoM). The carbonates contained both anaerobic microbes represented by methane oxidizing archaea (ANME) and aerobic ammonia-oxidizing archaea (AOA). The samples from GoM were mostly composed of small microbial groups, indicating heavy degradation of the fossil microbes. The composition of the carbonate communities differed from that of cold seep sediments, suggesting alteration of cold-seep microbial structures during formation and weathering of carbonates. Extraction of 18S rRNA genes from metagenomic reads revealed prevalence of fungal species in the carbonates of the GoM. Genome binning resulted in 10 genomes for dominant prokaryotic species. The ANME genomes showed a short genetic distance to the relatives from the current cold seep sediments; the AOA genomes were affiliated with alpha ecotype dominating deep-sea sediments. Our study reports the first genomes in ancient carbonates and sheds lights on microbial role in formation and bioweathering of carbonates.

S26-P-11S

基于高通量测序研究中国南海 QDN 海域天然气水合物赋存区微生物群落结构

刘思炜[1,2]，于珊[2]，卢海龙[2]*

1 北京大学工学院，北京 100871

2 北京大学天然气水合物研究中心，北京 100871

* hlu@ pku.edu.cn

【目的】中国南海 QDN 海域是南中国海天然气水合物资源潜力较丰富的地区。中国南海 QDN 海域水合物赋存区沉积物中含有丰富的微生物类群，研究其微生物的群落结构对揭示我国南海天然气水合物的生物成因机理、鉴定微生物识别标志具有重要意义。【方法】采用 Illumina MiSeq 高通量测序平台对 QDN 海域水合物赋存区沉积物的细菌和古菌群落进行 16S rRNA 基因(V4 区)高通量测序，检测 9 个样本的微生物群落结构。【结果】获得细菌总有效序列为 490878 条。结果分析表明细菌的物种注释(Operational taxonomic unit，OTU)数目共 5148，25 个 OTU 存在于所有样品里。获得分类地位明确的细菌种类为 21 门 57 纲 337 属。细菌的优势类群是变形菌门 Proteobacteria，所占比例为 42.3%，其次为放线菌门（Actinobacteriota） (23.7%)。变形菌门主要为 γ-Proteobacteria 和 α-Proteobacteria。古菌的优势类群以泉古菌门（Crenarchaeota）为主。【结论】揭示了马

海盐湖中细菌和古菌的群落结构及物种多样性，对南海 QDN 海域沉积物微生物结构有了进一步了解。

本文利用分子生物学方法分析南海 QDN 海域天然气水合物赋存区一个位点不同深度层位的 9 个样品，结合 16s rRNA 扩增子测序方法。首先对原始数据进行拼接质控得到高质量 xulie。然后基于有效序列统计数据进行 OTU 聚类和物种分类分析。根据 OTU 聚类结果，一方面对每个 OTU 的代表序列做物种注释，得到对应的物种信息和基于物种的丰度分布情况。同时，对 OTU 进行丰度、alpha 多样性计算、Venn 图等分析，得到样本内物种丰富度和均匀度信息、不同样本间的共有和特有 OTU 信息等。另一方面，对 OTU 进行群落结构分析，探究 9 个样品微生物群落结构与深度变化的关系。

S26-P-12

斯科舍海盆冷泉不同深度沉积物中微生物对热成因烃的降解

董西洋

1 中山大学海洋科学学院

* dongxy23@mail.sysu.edu.cn

在海洋冷泉中，气态和液态烃从深层地下生成并迁移到沉积物-水界面。众所周知，冷泉沉积物孕育着丰富多样的微生物，但不同深度微生物对烃的代谢机制以及分布规律尚不清晰。本报告将结合地球物理、地球化学、宏基因组和代谢组学等多学科研究手段，对一处新发现的冷泉中的微生物活动进行剖析。宏基因组分析表明，近表层沉积物和深层沉积物中的微生物，在群落组成和代谢功能上存在显著差异。不论在富含硫酸盐还是硫酸盐已经耗尽的深度带，古菌和细菌群落都在活跃地进行热成因烃的厌氧氧化。厌氧烃氧化古菌在深度上呈现出来的分布规律表明，古菌参与的乙烷和丁烷等厌氧氧化过程并不一定总与硫酸盐还原相耦合。总的来说，这些发现成功地将海底微生物组与深部来源的热成因烃厌氧降解的各种生化机制进行了有效关联。

S26-P-13

南海深水珊瑚林动物食物链的氨基酸同位素分析

罗中原，贾国东*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* jiagd@tongji.edu.cn

2019 年 7-8 月，我们从南海西南海台附近海山通过深潜采集了约 1500 水深的深水珊瑚林生态系统中的一些动物（深水珊瑚、海参、海蛇尾、海星、海绵、海虱、海葵、虾）以及不同水深的悬浮颗粒物样品。本文报道了从这些样品中提取的氨基酸分子的碳氮同位素的初步分析结果。数据表明：通过苯丙氨酸与谷氨酸氮同位素数据计算出的各样品的营养级分别为：颗粒物的平均营养级为 1.1±0.3；深水珊瑚(2.2±0.2)、海葵(2.3)、海参(2.1)、海绵(2.0)、虾(2.6)、 海虱(3.3)、海星(3.5)。大多数动物的平均营养级在 2-2.5 之间，高出颗粒物 1 个营养级，似乎是以颗粒物为主要食物来源；海虱和海星的平均营养级更高一级，可能以其他动物为主要食物。颗粒物的苯丙氨酸($\delta^{15}N_{Phe}$= 4.9 ± 2.8‰, 与南海上层硝酸盐 $\delta^{15}N$ 一致；但大多数海底动物的 $\delta^{15}N_{Phe}$ 显著 >4.9‰，暗示除了上层海水初级生产者的供应，似乎还有其他初级食物来源。通过碳氮同位素数据的综合分析，认为还可能存在与这些动物共生的微生物对宿主的能量和营养贡献。

S26-P-14

埃迪卡拉纪早期海洋的氧化还原状态：来自黄铁矿原位微区硫同位素组成的证据

王伟*，关成国，周传明

1 现代古生物学和地层学国家重点实验室，中国科学院南京地质古生物研究所和生物演化与环境卓越创新中心，南京，210008，中国

* wwang@nigpas.ac.cn

距今 6.35–5.41 亿年前的埃迪卡拉纪是地球生命演化的关键转折时期。该时期地层中产出了大量由复杂多细胞生命组成的化石生物群，例如，华南扬子地台的“蓝田生物群”、“瓮安生物群”、“庙河生物群”及“石板滩生物群”等。复杂多细胞生物的生命活动需要大量氧气，它们的出现代表着当时海洋环境中含氧量的增高。本研究利用 nanoSIMS 开展了原位微区黄铁矿硫同位素研究，研究结果认为：埃迪卡拉纪蓝田岩芯中的沉积黄铁矿主要存在两种形态：草莓状黄铁矿和自形/半自形黄铁矿。草莓状黄铁矿具中等大小的粒径范围（$5.9 \pm 2.0\ \mu m - 8.7 \pm 4.1\ \mu m$），以及较低且稳定的同位素组成（$\delta^{34}S_{py}$ 均值为$-25.3 \pm 6.2‰$）。这些草莓状铁矿形成于底层水体或沉积物的浅表面，代表了开放的形成环境。部分草莓状黄铁矿具有成岩过程中形成的重结晶和包壳现象，与保存完好的草莓状黄铁矿相比，它们的硫同位素数值相对较高但仍为负值。研究表明形成于开放水体环境、未经成岩作用改造的草莓状黄铁矿的硫同位素组成最有可能代表底层水体的硫同位素分馏状态，可以作为恢复古海洋氧化还原条件的研究载体。

长期以来，传统地球化学指标揭示了新元古代多细胞真核生命与底层海水氧化协同演化的多种模式。例如，有学者认为海洋环境中含氧量的增高是复杂多细胞生命演化的前提，相反观点则认为复杂生命的演化改变了地球生态和海洋环境条件。为进一步解释埃迪卡拉纪早中期的古海洋环境变化，阐述早期生命与环境的演化关系，本研究另辟奇径，应用扫描电子显微镜（SEM）和纳米二次离子质谱（NanoSIMS）技术对埃迪卡拉纪沉积地层中的黄铁矿进行了详细的岩石学和原位微区同位素分析。分析样品采自斜坡相-盆地相的蓝田岩芯剖面的黑色页岩，沉积时段包括 Marinoan 冰期（~635Ma）后的沉积间断和“蓝田生物群”（~600Ma）（二段及三段下部）。研究结果表明蓝田组大部分黄铁矿为准同时沉积矿物，可见草莓状黄铁矿、自形-半自形黄铁矿、化石状黄铁矿聚合体，以及以草莓或自形黄铁矿为核的具多期生长的黄铁矿聚合体。所有类型黄铁矿的硫铁原子比为 1.9 ± 0.037 至 2.1 ± 0.175,接近纯黄铁矿标准比值（2:1）。草莓状黄铁矿 $\delta^{34}S_{py}$ 为负值，而自形-半自形及化石状黄铁矿 $\delta^{34}S_{py}$ 为正值。草莓状黄铁矿与黄铁矿总面积的比值表明蓝田岩芯中草莓状黄铁矿的形成很大程度受控于较高的 TOC%。全岩 $\delta^{34}S_{py}$ 值的高低多受控于该层位草莓状黄铁矿的含量：全岩 $\delta^{34}S_{py}$ 值较低的沉积层位多含有较高含量的草莓状黄铁矿。此外，研究也表明蓝田组二段下部黑色页岩中的草莓状黄铁矿与自形-半自形黄铁矿 $\delta^{34}S_{py}$ 值域重合，但在二段上部和三段下部二者的 $\delta^{34}S_{py}$ 值域则完全分离，并表现出较大的差异；具有多期生长期次的黄铁矿聚合体的 $\delta^{34}S_{py}$ 分布模式在不同层位的样品中也有所不同：蓝田组二段底部样品不同生长期次的黄铁矿的 $\delta^{34}S_{py}$ 值没有显著差别，但二段中部样品中黄铁矿的 $\delta^{34}S_{py}$ 值从核部向外缘逐渐升高。这种现象很可能表明了因大气含氧量和海洋硫酸根浓度的不断增加埃迪卡拉纪早期海洋中存在着氧化还原界面的深度不断增大的趋势。随着氧化还原界面的不断加深，海水中充足的硫酸根氧化离子渗透到到海洋沉积物中，以支持硫酸跟与沉积物下部厌氧反应形成的甲烷发生反应，从而促使了硫酸盐-甲烷过渡带（SMTZ）的形成，并在反映带产生了富集 ^{34}S 的硫化氢离子信号，同时在相对封闭的环境中致使了富集 $\delta^{34}S_{py}$ 的黄铁矿形成。逐渐加深的氧化还原界面深度也有助于使深部的硫化水体转变为氧化-次氧化水体，从而为复杂形态的底栖宏体藻类和动物的出现提供了可能性。我们的研究结果支持古海洋环境的氧化是早期复杂多细胞生命出现的先决条件。

S26-P-15S

铁矿加入转变海洋产甲烷区沉积物有机质矿化途径

梁乐文[1], Hanni Vigderovich[2], 侯佳林[1], Omer Yorshansky[2], Orit Sivan[2], 王风平[1,3]*

1 上海交通大学微生物代谢国家重点实验室，上海 200240

2 本古里安大学地质环境科学系, 以色列贝尔谢巴 84105

3 上海交通大学海洋学院，上海 200240

* fengpingw@sjtu.edu.cn

陆源输入的含铁矿物是海洋中有机质矿化过程中能级较高的电子受体，因而通常情况下在海洋沉积物中硫酸盐还原带以上即被微生物呼吸作用消耗。然而，在沉积速率较快的如陆架边缘等区域，部分铁矿得以埋藏，甚至在硫酸盐还原区域以下的产甲烷区观测到铁矿还原的现象，引发人们对于该区域甲烷、铁代谢循环机制的兴趣与探索。结合产甲烷区低有机质含量、痕量硫酸盐、富甲烷等特点，不同的地化模型得以提出，如产甲烷区隐匿的硫循环（cryptic sulfur cycle）可以促进铁矿的还原，及产甲烷区存在以铁矿作为电子受体的甲烷厌氧氧化过程（Fe-AOM）等。然而仅依赖已有的地球化学参数和模型很难回答以下问题：产甲烷区沉积物铁还原是否为生物参与的过程？有哪些微生物参与？铁矿存在及还原对原位产甲烷沉积物中主要的有机质矿化过程之一——产甲烷作用是否有影响？为了更进一步探究产甲烷区铁还原现象背后的微生物代谢机制，本文采用取自南海海马冷泉区沉积物柱产甲烷区沉积物进行富集培养实验。实验添加甲烷和水铁矿并模拟原位静水压（15MPa），超过一年的富集过程中，添加的水铁矿被持续还原，同时培养体系中的细菌、古菌均得到富集。令人意外的是，铁矿的加入转变了产甲烷菌的类群从而改变了甲烷产生的途径，富集培养一年时，未加铁矿的对照组中古菌类群为以 H_2/CO_2 为底物的 Methanogeium 属的产甲烷菌所主导（93.8%），而添加水铁矿的两个平行的实验组古菌类群均为利用甲胺等甲基化合物产甲烷的 Methanococcoides 属所主导（88.5%和 97.2%）。同位素喂养实验排除了 Fe-AOM 对富集物铁还原的贡献。实验组中硫代谢相关的菌群丰度均较高于不加水铁矿的对照组，且硫酸盐代谢抑制剂对铁还原具有抑制作用，指示硫酸盐还原菌参与培养物中铁还原作用。加铁富集物宏基因组测序的结果支持培养物中硫酸盐还原菌参与铁还原过程并与产甲烷区沉积物中主导的 H_2/CO_2 产甲烷菌如 Methanogeium 等竞争底物氢气，而非竞争性底物的甲基化合物等则被产甲烷古菌 Methanococcoide 利用，从而导致沉积物中有机质矿化途径改变。本文系统性探究了产甲烷区微生物铁还原机制，发现硫酸盐还原菌参与铁还原过程，并导致产甲烷区中主导的氢气产甲烷作用转变为以甲基化合物产甲烷作用所主导，本文同时对富含甲烷、铁及硫的早期海洋及地球系统的研究提供新的视角。

S27-O-01

东亚大陆边缘百年来有机碳埋藏的纬度差异及响应

胡利民[1,2,3]*，白亚之[2,3]，叶君[2,3]，乔淑卿[2,3]，刘焱光[2,3]，石学法[2,3]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

2 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

* hulimin@ouc.edu.cn

在全球变暖背景下，边缘海沉积有机质的源-汇过程复杂并具有高度的时空变率。亚洲大陆边缘特色鲜明的气候格局、跨越不同纬度的大河输入、宽广的陆架系统和密集的人口赋予了该区沉积有机质的源-汇研究具有鲜明特色。本研究围绕百年来气候变化

和人类活动影响下的近海沉积源汇过程的纬度差异，重建了从热带低纬到极地高纬近海沉积有机碳的埋藏记录。结果表明，受流域人类活动（建坝）和区域气候模态（如ENSO）的变化，中低纬海区有机碳的沉积通量、来源和输入方有明显阶段性变化，尤其是近 30 年来泰国湾陆源有机碳的沉积通量和降解程度明显偏高，可能跟区域降雨和海岸侵蚀作用的增强有关；而渤海地区有机碳的埋藏变化主要反映了近几十年流域人类活动（如黄河改道）和海洋富营养化加重的趋势。另一方面，发现受区域 PDO 和北极涛动等相位变化的影响，近几十年极地高纬海冰变化与浮游植物群落结构具有显著的阶段性响应，陆架有机碳埋藏与海冰过程、初级生产力和颗粒有机碳输出效率等因素密切相关。综上，不同地区有机碳埋藏的纬度差异反映了其对区域气候模态、沉积源汇过程和人类活动等因素具有不同程度的敏感响应。

S27-O-02

峡湾沉积有机碳特征的纬度梯度规律

崔行骞[1]*，Thomas Bianchi[2]

1 上海交通大学海洋学院，上海 200030

2 佛罗里达大学地质科学系，美国佛罗里达 32603

* cuixingqian@sjtu.edu.cn

峡湾特指山地地区由陆地冰川侵蚀河谷并伴随海水入侵形成的狭长陡峭型河口系统，在>42°的南北纬海岸带广泛分布。峡湾具有水深较深、山体滑坡频发、降雨量显著、浅水砂坝发育等特点，其沉积速率和有机质埋藏速率明显高于其它类型河口和大洋海域，成为海洋中有机碳埋藏的热点区域。前人研究表明，峡湾总面积虽只占海洋陆架区域的~2%，但其在间冰期每年的有机碳埋藏量占到全球海洋总埋藏量的 11-12%，是海洋碳循环中不可忽略的一类系统。峡湾主要发育于中纬、次高纬和高纬地区，并在东南阿拉斯加、英属哥伦比亚、巴塔哥尼亚、南极半岛、格陵兰岛、斯瓦尔巴群岛和北欧等地区广泛分布，但是至今对峡湾河口中沉积有机碳特征随纬度的变化规律仍然不十分清楚。

本报告将首先从沉积物和有机碳沉积速率的角度入手探讨峡湾沉积的纬度梯度规律，然后从有机碳全样、同位素和分子生物标记物的角度入手，并结合有机碳来源的端元模型，探讨有机碳特征随峡湾纬度分布的变化规律。在以上基础上，总结峡湾有机碳特征的纬度分布规律，并探讨该认识在深刻理解峡湾有机碳循环研究中的重要性。

S27-O-03

有机碳在河流-河口-边缘海连续体输运过程中的演化和埋藏效应

赵彬[1]，姚鹏[1,2]*，Thomas S. Bianchi[3]，于志刚[1]

1 中国海洋大学深海圈层与地球系统前沿科学中心和海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室，青岛 266100

2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室，青岛 266237

3 佛罗里达大学地质科学系，盖恩斯维尔 32611

* yaopeng@ouc.edu.cn

河流影响下的陆架边缘海是陆源有机碳的主要沉积汇，在全球碳循环中发挥了重要作用，有机碳在河流-河口-边缘海连续体中的输运和埋藏是认识全球碳循环过程的关键。长江和黄河及其邻近的边缘海是典型的大河沉积物输运连续体，每年都会输送大量的颗粒物、有机碳和营养盐等陆源物质进入中国东部边缘海。以往对该区域沉积有机碳输运和埋藏的研究多集中于某个特定区域且研究手段单一，缺少从河流到河口，再到边缘海的整体研究，也缺少各区域不同来源有机碳埋藏机制和埋藏通量的比较。本研

究采集了两个河口颗粒物和表层沉积物样品，测定了样品的粒度组成、比表面积、有机碳及其同位素组成（$\delta^{13}C$ 和 $\Delta^{14}C$）、木质素和沉积色素，并整合前人已发表的数据，比较了长江和黄河沉积物输运系统中有机碳的演化过程，估算了不同来源有机碳的埋藏通量和埋藏效率，并剖析了影响有机碳埋藏的因素。研究发现，长江颗粒物的 TOC 和 $\Delta^{14}C$ 显著高于长江口表层沉积物，表明河口移动泥频繁的物理扰动加速了年轻有机碳的降解，而年龄较老的有机碳被保存下来，这与世界其他被动陆架沉积物输运系统中有机碳组成的演化过程相似。这种降解可能与活性铁快速的氧化还原循环有关。与之相反，由黄河颗粒物到黄海中部泥质区的输运过程中，TOC 和 $\Delta^{14}C$ 逐渐升高，这主要归因于相对稳定的沉积环境使沉积物能够持续地接收海源有机碳，与主动陆架沉积物输运系统，特别是小型山区河流中有机碳组成的演化过程相似。渤海泥质区总有机碳的埋藏效率（~43%）高于黄海（~11%）和东海（~16%）；黄海泥质区陆源有机碳的埋藏效率（~41%）显著高于海源有机碳（~7%），而东海泥质区海源和陆源有机碳的埋藏效率均较低（分别为 14%和 23%），这些差异与有机碳的来源和活性、水动力和沉积动力过程等有关，表明陆架边缘海复杂的沉积环境对有机碳的埋藏具有重要影响。通过对比建坝前后不同来源有机碳的埋藏通量，发现建坝后陆源有机碳的埋藏通量下降了约 66%，表明大坝建设显著降低了有机碳在中国东部边缘海的埋藏。

S27-O-04

我国东部陆架边缘海黑碳“源－汇”的研究进展

方引*

1 上海海洋大学海洋生态与环境学院，上海 201306

* yfang@shou.edu.cn

黑碳是生物质和化石燃料在不完全燃烧条件下产生的高度芳香性的碳质副产物，涉及到全球碳氧循环等重要科学问题。我国被认为是全球最大的黑碳排放国，占全球黑碳排放总量的 1/4，黑碳的排放及其引发的一系列有关地球科学方面的问题受到国内外科学界的广泛和持续关注。在全球典型入海大河（包括长江和黄河等）和东亚季风（包括今年频发的强沙尘天气）等输入过程的综合作用下，我国东部陆架边缘海接收大量的黑碳输入，是研究黑碳“源-汇”过程的良好场所。本报告将系统总结报告人及相关学者在我国东部陆架边缘海黑碳“源-汇”过程的研究进展，同时提出未来可能聚焦的重点研究方向。

S27-O-05

The fate of terrestrial organic carbon pools in China marginal sea sediments: ^{14}C age and burial efficiency

Meng Yu[1,2,3], Timothy I. Eglinton[3,*], Negar Haghipour[3], Daniel B. Montluçon[3], Lukas Wacker[4], Pengfei Hou[1,3], Yang Ding[1,2], Meixun Zhao[1,2*]

1 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, and Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2 Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China

3 Geological Institute, Department of Earth Sciences, ETH Zürich, 8092 Zürich, Switzerland

4 Laboratory for Ion Beam Physics, Department of Physics, ETH Zürich, 8093 Zürich, Switzerland

* maxzhao@ouc.edu.cn, timothy.eglinton@erdw.ethz.ch

Burial of terrestrial organic carbon (OC_{terr}) in marginal sea sediments is a key component of the carbon cycle, exerting long-term influence on atmospheric CO_2 and climate. Assessment of the burial efficiency of OC_{terr} is of key importance, yet remains poorly constrained due to current gaps in our knowledge of mechanistic controls, including the influence of organic matter composition and age on OC_{terr} burial in marine sediments. We measured bulk characteristics ($\delta^{13}C$ and $\Delta^{14}C$ of OC; mineral surface area, SA; grain size) and biomarker carbon isotopic compositions (fatty acid $\delta^{13}C$ and $\Delta^{14}C$) of a suite of surface sediment samples from the Bohai Sea and Yellow Sea (BS-YS). Combining with published results, bulk OC and biomarker carbon isotopic data are used to examine spatial variability in the sources and ages of different OC_{terr} pools in this shallow marginal sea system. Although highly spatially variable, pre-aged OC ($OC_{pre\text{-}aged}$) and fossil OC (OC_{fossil}) when combined (i.e., "non-modern OC") on average accounted for 51 ±10% of sedimentary OC in the BS-YS. This was equivalent to the proportion of OC_{terr} (ave., 51 ±14%) estimated from a $\delta^{13}C_{OC}$ binary mixing model, suggesting OC_{terr} in BS-YS surface sediments is predominantly composed of millennial-aged OC. Preservation of pool-specific OC_{terr} in sediments was then evaluated through comparison of their mineral SA-normalized loadings with those of Yellow River suspended particulate matter. Our results reveal high burial efficiencies for all terrestrial OC pools delivered by Yellow River, which are attributed to the aged and refractory nature of OC. However, we find that the preservation of $OC_{pre\text{-}aged}$ is consistently higher than that of OC_{fossil}. This surprising observation suggests either enhanced degradation of OC_{fossil} during lateral transport, possibly as a consequence of different mineral associations and hydrodynamic sorting effects, or additional sources for $OC_{pre\text{-}aged}$, such as from small rivers or aerosol deposition. Overall, OC age, mineralogical composition and hydrological settings contribute to the complex OC preservation patterns in the northern China marginal seas. This novel molecular-isotopic approach reveals significant spatial variability in proportions, contents and preservation among terrestrial OC pools, and underlines the importance of considering organic matter age and composition in understanding and constraining the fate of OC_{terr} in marine sedimentary environments.

S27-O-06

Export and burial of terrestrial organic carbon in the coastal northern South China Sea during the last century

Bingbing Wei[1,2]*, Gesine Mollenhauer[2,3,4], Stephanie Kusch[5], Jens Hefter[2], Hendrik Grotheer[2], Enno Schefuß[4], Walter Geibert[2], Guodong Jia[1,6]

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, China.

2 Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany.

3 Department of Geosciences, University of Bremen, Bremen, Germany.

4 MARUM-Center for Marine Environmental Sciences, University of Bremen, Bremen, Germany.

5 University of Cologne-Centre for Accelerator Mass Spectrometry, University of Cologne, Cologne, Germany.

6 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhuhai), Zhuhai, China.

* 1610869@tongji.edu.cn

Tropical and subtropical rivers deliver large quantities of terrestrial organic carbon (OC_{terr}) to the ocean and their subsequent burial in the marine sediments is an effective mechanism to draw down atmospheric CO_2. However, the efficiency of riverine export of OC_{terr} as well as anthropogenic perturbations of their supply and final burial in the coastal ocean remain little known. Here we examined ^{13}C and ^{14}C compositions of bulk OC and biomolecular tracer – C_{28+30} fatty acids (FAs) – from eight surface sediments and two sediment cores in an alongshore transect southwestward from the Pearl River mouth in the northern South China Sea.

A four-source mixing model shows that surface sediments in the Pearl River-derived mudbelt consist of 0.15–0.36 wt.% marine OC, 0.03–0.13 wt.% riverine primary production-derived OC, 0.18–0.49 wt.% terrestrial biospheric OC, and 0.07–0.16 wt.% petrogenic OC. The mean burial efficiency of petrogenic and terrestrial biospheric OC is ~85% and 49%, respectively, indicating the refractory nature of petrogenic OC but a significant loss of terrestrial biospheric OC due to remineralization during transport in the marine environment before the final burial. Over longer timescales, the OC_{terr} loss experienced during transport may, thus, to some extent reduces the capacity of terrestrial ecosystems (particularly soils) as CO_2 sinks.

In addition, analyses of sediment cores suggest two periods of anthropogenic perturbation of the Pearl River system: agriculture practices and deforestation changes ecosystem to more C_4 plants but had relatively small effect on erosion 'regime' between 1930–1950s; river managements changed erosion 'regime' and led to massive petrogenic OC and relatively fresh terrestrial biospheric OC export from lowland areas post-1970s. Extracting this information from coastal sedimentary sequences helps disentangle the complex impacts of different human practices on OC_{terr} export to the ocean, revealing the enhanced replacement of upland-derived OC with lowland-derived OC and the burial of younger terrestrial biospheric OC in ocean depocenters as a quick and negative feedback on geological CO_2 emissions.

S27-O-07

有机分子指标：海洋生态系统的“告密者”

沈渊*

1 厦门大学海洋与地球学院，福建 361102

2 近海海洋环境科学国家重点实验室（厦门大学），福建 361102

* yuanshen@xmu.edu.cn

浩瀚的海洋中散布着大量肉眼不可见的溶解有机碳（dissolved organic carbon；DOC），其中仅有一小部分（1-10%）可被微生物快速利用，被称为活性 DOC。虽然占比小，但活性 DOC 支撑着海洋微型食物网，并驱动碳、氮、磷等生源要素的循环。传统的活性 DOC 鉴定方法（微生物降解实验）受限于采样范围小、实验周期长等因素，难以大面推广，导致对其在海洋中的分布以及如何响应生态系统变化的认识存在碎片化问题。本报告将浅谈如何利用有机分子（如氨基酸），快速指示各类天然水体中活性 DOC 的时空分布，并解析生态系统的生物、物理和化学过程变化。

S27-O-08

澜沧江溶解性陆源有机质组成的空间演变规律

刘婷[1]，王新[1,2]，朱二雄[1,2]，刘宗广[1]，何晨[3]，史权[3]，冯晓娟[1,2]*

1 中国，北京，中国科学院植物研究所，植被与环境变化国家重点实验室，100093
2 中国，北京，中国科学院大学，资源与环境学院，100049
3 中国，北京，中国石油大学，重质油国家重点实验室，102249
* xfeng@ibcas.ac.cn

河流作为连接陆地与海洋的纽带，是陆源物质向海洋输送的主要通道，在全球物质循环中起着重要作用，有机碳在河流传输中的归趋对流域碳循环具有深刻影响。然而，由于河流有机碳的来源和组成非常复杂，传统的研究方法难以精确地刻画不同有机碳组分的动态变化及其对环境变化的响应。生物标志物和高分辨率质谱技术可以对河流中来源和组成不同的有机碳进行精确区分及定量，为研究河流传输过程中有机碳的动态变化开辟新的视角。澜沧江发源于青藏高原的高寒草甸、流经亚热带、热带雨林地区，是典型的跨越多个气候带的河流。澜沧江流域内土壤、植被覆盖类型极其丰富，且下游水文过程还受到梯级水库的强烈影响，因此，该河流中陆地有机碳的来源和分子组成具有较大的时空差异性，解析这些差异性对深入理解陆源有机碳的河流传输和降解机制有重要意义。但是，目前关于澜沧江中溶解性有机质组成及其演变规律的研究非常有限。因此，本文以澜沧江为研究对象，采用生物标志物、光谱及超高分辨率质谱等技术，研究了澜沧江溶解性有机质的时空演变规律和调控因素，并结合室内吸附实验，揭示了河流水库中悬浮颗粒物对溶解性有机质吸附去除的潜在影响。结果发现，澜沧江上游天然河段溶解性有机碳和木质素浓度在雨季沿程上升，但溶解性木质素在旱季沿程下降；下游水库影响河段木质素在旱季和雨季均沿程下降，表明溶解性有机质在天然和受水库影响河段呈现不同的季节和空间变化特征。溶解性有机质中木质素酚酸醛比（Ad/Al）和高氧化度的高度不饱和化合物的相对强度沿受水库影响的下游河段逐渐下降，表明高氧化度、带有羧基的大分子陆源有机质在水库中的吸附可能是影响溶解性有机质归趋的重要过程。进一步通过室内吸附实验发现带有羧基的木质素酚类化合物易被土壤矿物优先吸附，导致木质素酚酸醛比下降，支持了陆源有机碳在梯级水库中被吸附去除的猜想。随着全球河流水库建设，吸附过程可能是影响陆源有机质在河流中归趋的重要途径，陆源有机质在吸附后的迁移、转化及埋藏也值得进一步探讨。以上结果阐明了溶解性有机质在澜沧江中的时空演变规律，为评估水库影响下河流溶解性有机质的行为和生物地球化学过程提供了理论指导。

S27-O-09

基于高分辨质谱的天然有机质研究

戚羽霖[1,2]*，傅平青[1,2]，李思亮[1,2]

1 天津大学地球系统科学学院，天津
2 天津大学环渤海滨海地球关键带国家野外科学观测研究站，天津
* yulin.qi@tju.edu.cn

天然有机质是自然界碳、氧、氮以及金属元素循环的重要媒介，与地区的生态变化紧密相关。探索有机物质的来源、转化和归宿能更好地判断人类活动对自然环境的影响，进而为生态环境的保护提出对策。有机质是一类结构复杂的混合物，包含了一系列理化性质各异的化合物，具有独特的大分子结构。来源和成分的复杂性对我们了解有机质分子组成，进而推断其生态作用带来了巨大的挑战。目前大多数研究都把样品作为一个整体，缺少针对有机质个体的探索，以及解析分子结构和化学形态的方法。因此，很难详细地解析有机质混合物的全貌。质谱以及相应的方法体系建立后，复杂有机质的表征才渐渐变得丰富起来。现如今，傅立叶变换离子回旋共振质谱仪(FT-ICR MS)已经被广泛地用于地球科学领域，成为分析有机质、原油等复杂样品的首选仪器。

通过 FT-ICR MS 的研究我们发现，自然环境和实验条件都会对有机质的检测产生重大的影响，如光照会诱使有机质发生氧化反应继而改变它的分子特征。此外，在实验过程中，不同有机质萃取方法、溶剂/基质系统、以及离子化方式对于不同结构的化合物都有各自的选择性，这也会导致被检出的成分大相径庭，进而直接影响甚至误导我们对于生态环境的评估。因此，这些影响因素需要我们在设计实验时能够统筹考虑。

此外，我们通过色谱-质谱联用的方式，有效地对样品进行了降维处理，把复杂地有机质分成了金属盐(salts)、富含羧基的脂环分子(CRAMs) 、有机硫酸酯(OSs) 、木质素(lignin)等不同成分进行进一步地研究。并且通过串联质谱的方法对天然有机质进结构表征和半定量分析。

S27-O-10

分子水平解析河口陆源溶解有机质来源与迁移转化

赵伟强[1]，鲍红艳[1]*，黄德坤[2]

1 近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门大学，厦门，300062

2 自然资源部第三海洋研究所，厦门，361005

* baohy@xmu.edu.cn

河口是陆源有机质（terrestrial dissolved organic matter, t-DOM）进入大洋的重要通道，易受潮汐，降水，盐度等影响，也是与人类活动最为密切的水生生态系统之一。故而对 DOM 在该区域的循环过程同时进行定性和定量研究非常困难，然而，在河口缺氧状况持续加剧，CO_2 排放不断增加的现状下，厘清该区域 DOM 的转化过程不仅能进一步揭示其有机质的生物地球化学循环，更具有重要的环境意义。本研究以位于厦门的易受诸多物理过程影响的亚热带河口——九龙江河口为研究对象，分别采集受降雨影响前后的水样，借助高分辨率质谱（Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry, FT-ICR-MS）分析和生物标志物手段，从定性和定量的角度揭示了水动力条件对该区域 DOM 的特征和循环的影响。

结果显示，降雨前后木质素浓度、B6/B5（溶解黑碳稠环程度的一种指标）存在显著差异（t 检验，$p<0.05$），表明陆源有机质组成和来源受降雨的影响。溶解有机碳（DOC）、溶解黑碳（Dissolved organic carbon, DBC）和木质素浓度在降水前后均随盐度升高而降低，呈现不保守混合。生物标志物结果显示，相对于保守混合，DOC 在河口的移除或添加与 DBC 和木质素有较大差异，并且受降雨影响显著。基流时 DOC 基本呈现添加态势，而 DBC 和木质素却大量被移除，降雨后三者总体表现为移除特征，但移除量明显低于基流。高分辨质谱结果表明河口 DOM 的组成主要受盐度的影响，而降雨前后的差别不显著，可能表明 DOM 在周转过程中不断被均一化。综上，我们的结果表明在不同的径流条件下，不同 DOM 组分在河口区的迁移转化趋势可能相近，与有机质的特性有关，然而，不同流量情景下，DOM 的移除或添加比例不同，随着流量的升高，陆源 DOM 更趋于保守混合，更多的陆源有机质可以被输送到近海。

S27-O-11

Seasonal variations in dissolved organic matter composition and processing in a eutrophic, semi-enclosed bay in southeastern China: implications for the carbon cycling

Chen Zhao[1], Yuping Zhou[1], Yuntao Wang[2], Wei Huang[2], Chen He[3], Quan Shi[3], Ding He[1,2]*

1 School of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, China

2 State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Hangzhou, China
3 State Key Laboratory of Heavy Oil Processing, China University of Petroleum, Changping District, Beijing 102249, China
* dinghe@zju.edu.cn

Coastal bays are transition zones connecting the terrestrial and marine ecosystems with long water retention time. However, we still have a limited understanding of the role that coastal bays play in estuarine carbon cycling. To address this issue, we combined stable carbon isotopes, ultraviolet-visible absorption, fluorescence excitation-emission matrices spectroscopy, and Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry to investigate the spatial and seasonal chemical of dissolved organic matter (DOM) pool in Xiangshan Bay, a semi-enclosed, eutrophic bay in southeastern China. Results showed that the DOM in Xiangshan Bay was characterized with a higher degree of humification and aromaticity during winter than that during summer. Enrichment of nutrients caused by special landforms of bays might act as the main underlying factor controlling the changes of optical and molecular compositions of DOM between seasons. Coastal currents, bacterial metabolism, and sediment pore water diffusion are also responsible for the difference in DOM chemistry between summer and winter, which might influent the carbon source/sink pattern in coastal bays and should not be ignored in estuarine carbon cycling.

S27-O-12

典型海洋环境活性有机碳同位素地球化学行为比较研究

唐甜甜[1,2]*，康佩虹[1,2]，杨子翔[1,2]，王腾腾[1,2]

1 近海海洋环境科学国家重点实验室（厦门大学），厦门 361102
2 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361102
* tiantian.tang@xmu.edu.cn

氨基酸和脂肪酸能够在海洋中快速周转，是海洋活性有机碳的主要组成，其在海洋中的生产、迁移和转化在很大程度上决定了海洋碳汇的效率。近年来，单体同位素分析技术的兴起为海洋活性有机碳过程研究提供了同位素特征这一新的研究维度。然而当前研究仍主要局限于零散的观测，尚缺乏跨生态系统的系统研究。通过比较研究中国边缘海典型环境如河口、陆架、开放大洋、海源气溶胶及红树林系统氨基酸和脂肪酸等活性有机碳同位素分布特征，我们发现 1）活性有机碳同位素特征对海洋碳酸盐体系的快速响应；2）有机碳保留时间和传输方式决定了活性和惰性有机碳对不同时间尺度物理过程响应的差异；3）不同生态系统活性有机碳的输出与埋藏能力的差异决定了该系统碳汇的效率。这一跨生态系统活性有机碳同位素地球化学行为的比较研究揭示了典型海洋环境有机碳生物地球化学行为的广泛差异及其对海洋碳汇效率的调控作用。

S27-O-13

HCO_3-Ca 型地表水生物泵的碳施肥及其碳增汇和富营养化缓解效应

刘再华*

1 中国科学院地球化学研究所，环境地球化学国家重点实验室，贵阳 550081
* liuzaihua@vip.gyig.ac.cn

现代全球碳循环研究表明，估算的大气碳源量大于碳汇量，此部分“遗失碳汇”之谜一直是全球变化研究关注的热点和前沿。

随着研究的深入，内陆地表水体(特别是湖库)在全球碳循环中的作用得到越来越多的关注。

我们发现在喀斯特地表水生态系统中，浮游-沉水植物通过光合作用产生强烈的生物泵(BP)效应可将部分碳酸盐风化碳汇固定下来，形成稳定碳汇。溶解无机碳(DIC)浓度越高，水生植物生长越快，存在“DIC 施肥效应”。同时，喀斯特地表水 BP 具有改善水环境的作用。BP 或水体富营养化都以水生光合作用形成有机质为机制，通常认为，N-P 在富营养化过程中具有限制作用，但生物在进行光合反应 $CO_2+H_2O-->CH_2O+O_2$ 时，在满足光-热条件前提下，CO_2 或水都可能是光合固碳的限制性因子，而水中则仅取决于 CO_2。以往的研究认为 CO_2 可以源源不断地从大气中获得，但事实上，水-大气间 CO_2 的交换是一个缓慢过程，植物利用水中溶解 CO_2 进行光合作用，而喀斯特水生生态系统，由于其独特的碱性环境，尤其是在 pH>8 的碱性水体中溶解 CO_2 不到 DIC 的 1%，因此在对 BP 研究中碳限制问题很重要。同时，水体 CO_2 高低也会对生物结构造成影响，蓝-绿藻相对于其他藻类更能适应较低的 CO_2 浓度，而沉水植物更倾向于在富 CO_2 环境中生长。

此外，BP 利用水体 DIC 形成内源有机质的过程中，由于喀斯特水体 Ca^{2+}浓度高，方解石过饱和产生碳酸钙沉淀，该过程促成磷酸盐的共沉淀，将水体中的磷去除，对富营养化起到缓解作用。本研究进一步拓展和延伸了 DIC 施肥效应地域(河流+小池塘→湖泊+水库)，探究了其作用条件、对浮游-沉水植物群落结构/组成的影响以及所形成的碳酸钙对去除水体过剩 P 可能缓解蓝藻富营养化的作用。

总之，将碳增汇和富营养化缓解耦合进行研究是我们研究的创新点。该研究将为有效应对气候变暖和保证水质安全双赢提供新思路，并引领相关的研究和应用。

S27-O-14

河流水系“MORE-DOC”模型构建与应用

晏维金*，吕书丛，余其彪

1 中国科学院地理科学与资源研究所，北京 100101

* yanwj@igsnrr.ac.cn

河流溶解性有机碳（DOC）是碳的地球化学循环中的一个关键碳库。河流 DOC 的环境地球化学过程是探究地球系统未知二氧化碳汇的一个重要环节，正受到越来越多的关注。目前，对河流 DOC 的组成特征、环境过程及其对河流水气界面二氧化碳释放的贡献仍然缺乏系统深入的研究。本研究在河流 DOC 组成特征与降解过程研究的基础上，结合河流水系物质输送的 Spiraling 理论和河流 Strahler 分级理论，建立一个自主的描述大河水系 DOC 输送全过程的综合模型（“MORE-DOC” model），并进一步探讨了长江水系 DOC 输送的时空变化格局。结果表明，长江水系入河 DOC 的通量主要取决于流域内的湿地比例和土壤有机质含量，长江水系各子流域对入河 DOC 的通量有显著空间差异；河道内 DOC 的截留率占入河总量的 50%以上。长江向河口-近海输出的 DOC 约占全球河流向近海输出的 DOC 的 0.3%-1.2%。我们的研究有助于理解区域尺度上河流 DOC 生物地球化学循环的环境与气候变化意义，并为长江水质的规划提供参考。

S27-O-15

湿地有机碳来源、周转及其与硅铁循环的关系研究

宋照亮*，夏少攀，余昌训

1 天津大学地球系统科学学院，天津 300072

* zhaoliang.song@tju.edu.cn

湿地是陆地、海洋和大气之间最为活跃的关键带，其碳储量约占到陆地碳库的 30%，同时仅占海洋总表面积的<0.3%，约占海洋沉积物埋藏有机碳储量的 47%。湿地有机碳来源和周转已成为当前研究的热点。本文研究了湿地植被-土壤系统有机碳的来源、周转及其与硅铁循环等的关系。其主要结论如下：

（1）植被覆盖和土地利用变化是湿地土壤有机碳来源与周转的重要影响因素。自然湿地转化为农田、林地和建筑用地后，有机碳含量/储量和碳氮比均显著降低，在表层（0−40 cm）和底层（40−100 cm），影响 SOC 和 $\delta^{13}C$ 分布特征的单个变量和组别变量均存在一定差异，说明了湿地转化为其他土地类型的有机碳分解过程和保存机制有所不同。互花米草分别入侵 3 个本地种（芦苇、秋茄和白骨壤）植被群落后，互花米草来源有机碳输入贡献分别为 5.55%，23.1% 和 12.2%，SOC 储量的收支分别为+3.50，−13.8 和–3.90 t C ha^{-1}，互花米草入侵草本沼泽和红树林在气候、植被和土壤属性方面均具有不同的 SOC 储量影响机制。

（2）盐度是河口湿地形成自然植被景观梯度的重要变量。沿着河流-河口-近海海洋连续体，有机碳储量逐渐降低，陆源有机碳输入（35%-60%来源于 C_3 维管植物为主）逐渐降低，海源输入逐渐增大，被子植物的非木质组织来源逐渐减小。这主要与自源输入（植物凋落物碳输入降低）和异源输入（河流径流输入减小和海平面上升引起的海洋藻类及浮游植物输入增加）有关。

（3）在富硅植物主导湿地生态系统中，生物硅介导的分解速率加快和植物生物量碳增加具有“竞争拮抗”作用，在生物地球化学碳循环中具有重要作用。(水合)铁氧化物的生物地球化学过程与有机碳循环相互作用。异化铁还原作用对厌氧有机碳矿化过程的贡献大小仅与活性三价铁丰度显著相关。这意味着所有有助于水合铁氧化物形成和积累的生物地球过程都可以增强异化铁还原作用的重要性，进而抑制硫酸还原作用和甲烷的生成。此外，铁斑中非晶态水合铁氧化物的形成和循环与湿地植物根系活动密切相关，提供多种重要的生态功能，有助于维持滨海湿地植物在不同环境压力下的生产力。

S27-O-16

矿物与有机质的吸附作用对有机－矿物复合体形成效率的影响

陈淑玲[1,2]*，洪汉烈[2]，刘崇炫[1]，Thimo Klotzbuecher[3]

1 南方科技大学环境与工程学院，518055

2 中国地质大学（武汉）地球科学学院，430074

3 Martin Luther University Halle-Wittenberg, Soil Science and Soil Protection, 06120

* chensl@sustech.edu.cn

地球表层生态系统中碳的平衡在很大程度上受控于土壤碳循环，而土壤碳循环又主要取决于有机-矿物复合体的形成。土壤中矿物对溶解性有机质的吸附是有机-矿物复合体形成的主要途径，但两者的吸附作用会如何改变有机质和矿物表面特征，并进一步影响后续的吸附作用？本次研究主要通过动态吸附实验展开，以高岭石、三水铝石为代表性矿物，持续性输入森林提取的天然有机质溶液，模拟土壤剖面有机质持续输入土壤中、且溶解性有机质不断向下迁移的过程。通过高分辨率傅里叶变换离子回旋共振质谱仪表征有机质组分的变化，并利用 X 射线光电子能谱来探讨矿物表面发生的变化，从而揭示吸附作用对后续有机-矿物复合体形成过程的影响。研究发现，高岭石和三水铝石都选择性吸附具有较高吸附活性的有机质组分，比如芳香类物质以及富氧的有机组分。矿物与有机质的吸附作用显著改变输入到土壤深部有机质的组分。当矿物接接触的有机质组分改变后（芳香类、富氧组分减少），有机-矿物复合体的形成效率也随之骤降。由此可见，土壤剖面中，深部和表层矿物对有机质的稳定机制发生改变。另一方面，

新鲜矿物对有机质的吸附率可以达到 25%左右，而当矿物表面吸附有机质后，其对有机质的吸附效率大大降低。溶解性有机质被矿物吸附后，可能占据了矿物表面的活性位点，改变矿物的电位等特征。而土壤的风化作用可以促进矿物的形成，提供更多具有活性位点的“新鲜”的矿物表面。因此，合理的土地利用方式（比如翻耕土地）是提高土壤碳储量的有效方式。

S27-O-17

沉积物中溶解性有机质的形态结构对微生物群落的响应研究

李帅东[1]*，黄昌春[1,2,3]*，黄涛[1,2,3]，杨浩[1,2,3]

1 南京师范大学地理科学学院，南京 210023
2 虚拟地理环境教育部重点实验室，南京 210023
3 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心，南京 210023
* huangchangchun@njnu.edu.cn

近年来，很多学者已经证实了沉积物中溶解性有机质（dissolved organic matter, DOM）的内部组分在水平和垂直尺度上会发生显著的降解、转化过程。由于在沉积物环境中，缺乏足够的氧气和紫外光照，因此微生物作用是改造 DOM 主要的驱动力之一。然而，关于沉积物 DOM 光学组分和结构与主要细菌种群之间联系的研究还相对较少。本次研究中，我们利用紫外-可见光谱、三维荧光光谱、稳定碳同位素以及 16s rRNA 测序技术，探寻滇池沉积物中 DOM 与微生物群落结构的耦合机制。结果显示，DOC、有色物质（a_{254}）和荧光物质（F_{max}）浓度从表层到深层逐渐减少，这一趋势和总有机质含量保持一致（$p < 0.01$），说明 DOM 主要被有机质所吸附。湖泊富营养化环境容易导致沉积物表层较高的有机质埋藏通量，从而大幅提高其中 DOM 的含量。与此同时，一些特定的光学参数，比如：$SUVA_{254}$，$S_{275-295}$，BIX 和 HIX，表示 DOM 的化学结构也会随着深度的变化而变化，其分子量、芳香性和新生物质贡献水平在升高，但腐殖化程度逐渐降低。校正过的 δ^{13}C-DOC 值范围：-20.459—-27.413， 结合 MixSIAR 模型结果显示，DOM 的来源在沉积深度 28cm 处（^{210}Pbex 定年：~1980 年）由内源物质（藻类）占主导转变为外源物质占主导的特征。四种 alpha 指数（Chao 1，Richness，Simpson 和 Shannon）表面沉积物中微生物的多样性和丰富度随着深度逐渐降低。对相对丰度排名前 300 的 OTUs（operational taxonomic units）进行 network 分析，解译出 3 个模块单元，且主要由 Proteobacteria、Acidobacteriota、Armatimonadota、Bcateroidota、Desulfobacterota、Planctomycetota 和 Spirochaetota 组成。这些主要菌种的相对丰度与光学组分占比、结构参数之间存在密切的相关性（$p < 0.05$），说明了微生物对沉积物 DOM 具有明显的改造作用，尤其是类富里酸组分和微生物类腐殖质组分在微生物调节下会发生相互降解转化的过程。本次研究加强了对 DOM 和微生物循环的认识。

S27-O-18

超深渊微生物的高压适应策略及其驱动地球元素循环的机制

张晓华*，郑艳芬，刘吉文，钟浩辉

1 中国海洋大学海洋生命学院，青岛 266003
* xhzhang@ouc.edu.cn

深渊具有超高静水压力、低温、无光等生境特征，蕴育着独特的生命形式。以往受深海采样技术等方面的限制，对深渊生命过程认识严重不足。马里亚纳海沟是地球上最深的海沟，最深达 11034 米。本研究开展了马里亚纳海沟深渊微生物的高压适应策略及其驱动地球元素循环的机制研究，发现深海细菌可利用二甲基巯基丙酸内盐（DMSP）

抵抗高静水压力，指出异养细菌是深渊海水和沉积物中 DMSP 的重要生产者，揭示了深海细菌参与全球硫循环的新过程机制；提出马里亚纳海沟底层微生物可能比其他水层具更强的生命活力，而且海沟底部可能存在特殊的氮循环方式，为高氨类型的氨氧化古菌的生存提供额外的氨源；发现马里亚纳海沟深渊水体中的氨氧化古菌可活跃参与氨氧化和碳固定，它们演化出特殊的生存机制（如特殊的渗透保护剂及能量代谢途径等）以适应深渊极端环境。

S27-P-01

Carbon outwelling under different spatiotemporal granularities: a case study from an estuary invaded by *Spartina alterniflora*

Yu Gao[1,2,3,4], Tingting Zhang[1,2], Jiquan Chen[5], Bin Zhao[2,*], Zutao Ouyang[5,6], Steven McNulty[7], Haiqiang Guo[2], Ying Huang[3], Feng Zhao[1], Jun Ma[2], Sikai Wang[1,2], Ping Zhuang[1]

1 East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization; Scientific Observing and Experimental Station of Fisheries Resources and Environment of East China Sea and Yangtze Estuary, Shanghai, 200090, China

2 Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Coastal Ecosystems Research Station of the Yangtze River Estuary, and Institute of Eco-Chongming (IEC), Fudan University, 200438 Shanghai, China

3 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, and Institute of Eco-Chongming (IEC), East China Normal University, 200062 Shanghai, China

4 Department of Geological Sciences, University of Texas at Austin, Austin, TX 78712, USA

5 Department of Geography and Center for Global Change and Earth Observations (CGCEO), Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA

6 Department of Earth System Science, Stanford University, Stanford CA, 94305-4216, USA

7 Eastern Forest Environmental Threat Assessment Center, Southern Research Station, USDA Forest Service, Research Triangle Park, NC 27709, USA

* zhaobin@fudan.edu.cn

Lateral movements of mass and energy across the terrestrial-aquatic interface have been increasingly recognized for their influence on the carbon balance of coastal wetlands. Unfortunately, vertical and lateral carbon fluxes in coastal wetlands are not concurrently measured, hindering our understanding of the carbon budget imbalance. Here, we estimated vertical carbon exchange based on gross primary production (GPP) of in situ flux towers (GPP_{EC}), MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) time series (GPP_{MODIS}), methane (CH_4) outgassing, and ground measurements of biomass and accumulation. We concurrently installed an experiment to measure the lateral flux of detritus carbon. We found that GPP_{MODIS} (472.6 g C m^{-2} y^{-1}) accounted 73.0% of GPP_{EC} (646.9±70.7 g C m^{-2} y^{-1}), with ~2.8% (17.9 ± 3.7 g C m^{-2} $year^{-1}$) of annual carbon loss as CH_4 and 25.8% from primary production. On the other hand, we detected a higher amount of MODIS-predicted GPP_{MODIS} during the pre-growing season period, which was consistent with the magnitude of lateral detrital carbon flux exhibited in the tidal creek in March. In addition, the values obtained from the monthly sampling strategy (i.e., once-a-month sampling) were generally higher than those obtained from the sum of daily sampling. We also found a

significant correlation between different sampling strategies, suggesting that once-a-month sampling strategy correlated better with tidal activity. Interestingly, considerable differences were apparent, suggesting that the sampling frequency of laterally transported detritus was highly correlated with the relative contributions of vertical and lateral carbon fluxes for the annual budget. Furthermore, the uncertainties in differentiating sediments of native *Phragmites australis (Phragmites)* and invasive *Spartina alterniflora (Spartina)* are large and decisive for ecosystems as a carbon source or sink.

S27-P-02

潜流带中溶解性有机质组成特征及其对硝酸盐迁移转化过程的指示意义

张晶*

1 水利部牧区水利科学研究所，呼和浩特 010020
* zhj@cug.edu.cn

我国西北干旱－半干旱地区的生态环境十分脆弱，地下水作为当地生活、生产、生态的主要用水，时空分布不均匀，一旦短缺就会影响当地经济社会发展。近年来随着人类农业生产活动的不断加剧，化肥、动物粪便和生活污水中的硝酸盐（NO_3^-）在大气降水和农业灌溉的作用下很容易进入到松散的包气带中，进而造成土壤和地下水的硝酸盐污染。硝酸盐的迁移过程中可能伴随着反硝化作用的发生，该过程在一定程度上可以减缓并抑制硝酸盐的迁移。溶解性有机质（DOM）广泛存在于土壤、地表水和地下水中，DOM 作为微生物活动的重要碳源和能量来源，其组成特征对于 NO_3^-的迁移转化有着重要影响。

潜流带是地表水体、陆地和地下水体连续系统的重要组成部分，包含其延伸至河流/湖泊边岸地带的水分饱和的沉积物区域。作为地表水和地下水动态相互作用的重要过渡区域，潜流带中的微生物对 NO_3^-的迁移转化发挥着重要的作用，这是因为潜流带中氮元素对环境中的氧化-还原条件极为敏感，其同位素组成也会产生明显的动力学分馏。国内外研究者运用氮同位素手段开展了关于硝酸盐污染溯源的相关研究，但是如果发生强烈的反硝化作用与污染源混合作用，这时很难明确解译出确切的污染源，需要通过其他手段来辅助区分。运用溶解性有机质的组成特征与硝酸盐迁移转化过程之间的相关关系，或许可以为我们提供一个新的技术手段。

本研究以鄂尔多斯盆地北部湖泊集中区的潜流带作为研究区，通过野外调查取样、室内水化学、DOM 光谱分析和同位素手段的有机结合，分析了研究区潜流带中 DOM 的组成特征和硝酸盐迁移转化的相关关系，获得了一些新的认识：研究区地下水中的 NO_3^-受到多个 NO_3^-源的共同影响，且部分地下水样发生了反硝化作用；DOM 光谱指数中的 HIX 值、BIX 值、E_2/E_4 值、$E_{253/203}$ 值和 SUVA 值以及荧光组分中的类腐殖质组分 C_1 和 C_2 与硝酸盐含量之间的正相关关系较为显著，表明反硝化过程中微生物利用地下水 DOM 中类腐殖质组分，降解生成了类蛋白质组分。最终得出潜流带中溶解性有机质组成特征与硝酸盐的迁移转化之间存在的相关关系可以作为识别反硝化作用的辅助手段，该结论可以促进我们更好地理解地表水和地下水的相互作用，为潜流带的开发和利用、地表和地下水污染修复工程提供必要的理论和科学依据。

S27-P-03S

浙闽沿岸泥质区沉积有机碳对末次冰消期以来沉积环境演化的指示

张明宇，王厚杰，刘喜停*

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，海底科学与探测技术教育部重点实验室，山东青岛 266100

* liuxiting@ouc.edu.cn

东海是典型的以河流输入为主导的边缘海，同时也是有机质输运、沉积和碳循环最活跃的海域之一。以长江为主的河流携带巨量沉积物入海，使得东海内陆架沉积有机质陆源占比明显。特别是全新世高海平面以来，在东海内陆架沉积了大量的以粉砂和粘土粒级为主的细粒物质，形成了东西向宽约100km、北东-南西向长约 800—1000km 的泥质沉积区。有机碳作为地球化学研究的常用指标，特别是全样的 $\delta^{13}C$、TOC/TN 以及单分子组成和同位素特征常用于指示海平面变化、古环境重建、恢复海洋生产力和季风演化过程等多方面研究。利用浙闽沿岸泥质区 EC2005、ECMZ 岩芯有机碳相关指标（TOC/TN、$\delta^{13}C$）恢复古海平面变化与沉积环境演化，并与硫相关指标相结合，发现其对于环境演化具有良好的指示意义。

S27-P-04S

喀斯特地区典型端元样品溶解有机质特征及其来源辨析研究

吴婧 [1,2]，张润宇 [1]*，王立英 [1]，张志 [1,2]，陈敬安 [1]

1 中国科学院地球化学研究所，贵阳 550081

2 中国科学院大学，北京 100049

* zhangrunyu@vip.gyig.ac.cn

自然水环境中溶解性有机质（Dissolved organic matter, DOM）的来源辨识对深入理解地球表生生态系统中的物质循环与耦联机制至关重要。我国西南喀斯特地区因其独特的水文地质结构，DOM 的产生、分解和保存方式与非喀斯特地区有所不同，而研究 DOM 的来源、分布特征与循环过程对于阐释全球碳循环及岩溶碳汇的稳定性具有重要意义。目前来说，对喀斯特地区不同端元类型 DOM 特征的影响考虑较少。本研究采集了喀斯特地区典型土壤与水生植物样品，综合利用紫外—可见吸收光谱、三维荧光光谱、C/N 比值比与 $\delta^{13}C$ 分析，通过对 DOM 特征指标的对比研究，探寻适用于喀斯特地区 DOM 来源辨识的可靠方法与判别指标。

结果表明：（1）紫外指标吸收系数 a_{350} 能很好地反映出不同端元的发色 DOM 的浓度特征，其浓度排序为：石灰土＞狐尾草-根＞狐尾草-茎叶＞藻类＞轮叶黑藻＞黄壤＞水葫芦；土壤 S_R 值与藻类有显著差别，但与沉水植物接近，显示 S_R 能有效区分陆源与藻源，但不能应用于沉水植物与藻类的具体区分；（2）荧光指标 FI 表明浮游藻类和狐尾草茎叶主要来源于生物有机体，体现了典型的内源有机质特征；而石灰土、水葫芦和狐尾草根以陆源有机质来源为主，轮叶黑藻兼有内源和外源两种有机质来源。这与前人的报道研究结果相一致，展示了喀斯特地区水生生态生态系统的复杂性。腐殖化指数 HIX 与 HIXohno 可进一步表征 DOM 的腐殖化程度，石灰土显示较强的腐殖质特征，藻类的腐殖质特征次之，沉水植物与漂浮植物较弱。（3）石灰土的 C/N 比值为 14.5，水葫芦和狐尾草 C/N 比值高达 30 以上，与传统的陆源和内源有机质端元值偏差很大，因此 C/N 比值法不宜用来示踪喀斯特地区有机质的来源解析。（4）各端元样品 $\delta^{13}C$ 组成基本符合预期值，基本可作为有机质溯源研究，但藻类与土壤样品的 $\delta^{13}C$ 范围有所重叠，解译时需要注意。综上所述，相比于 C/N 比值及 $\delta^{13}C$ 分析，紫外—可见吸收光谱、三维荧光光谱方法能更好地示踪喀斯特地区有机质的来源。其中，紫外指标 a_{350} 可有效反映发色 DOM 的浓度特征，而荧光指标 FI、HIX 与 HIXohno 对有机质来源能进行相对较好的半定量区分。

S27-P-05

山地水体溶解性有机碳对温度和营养的响应

胡盎 [1,2]，王建军 [1]*

1 中国科学院南京地理与湖泊研究所，南京 210008
2 湖南农业大学，长沙 410128
* jjwang@niglas.ac.cn

在中国和挪威选择两个典型气候带山地，依据海拔梯度开展营养盐富集的微宇宙野外试验，分析沉积物 DOM 分子组分，研究气候变化和人类活动对可溶解性有机碳（DOM）的影响，发现沉积物中 DOM 含量和分子组成等受到了人类活动的显著影响，且中国和挪威表现出明显的差异。具体表现为：（1）中国 DOC 含量随着营养盐先降低后升高，而挪威呈现线性降低。（2）两个地区一共获得 19538 个 DOM 分子，主要的化合物为木质素和脂质。（3）中国 DOM 分子 α 多样性显著高于挪威，两个地区 α 多样性都随营养盐升高而升高，但不同化合物变化规律存在差异，例如中国烃类和木质素随营养盐升高而升高，而脂质随营养盐升高而降低。（4）中国 DOM 分子组成和 α 多样性主要受到 pH 和 DOC 含量的影响，而挪威主要的影响因子为温度和 TN、TOC 等营养物质含量。（5）细菌群落组成能显著解释 DOM 分子组成的变化，两者的相关性随营养盐的变化规律呈升高-降低-升高趋势。

S27-P-06S

红树林沉积物有机碳积累速率的时空变化：从区域到全球尺度

张尧[1,2]，孟宪伟[2,3]*，夏鹏[2]，张俊[2]，李珍[4]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266003
2 自然资源部第一海洋研究所海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061
3 青岛海洋科学与技术国家实验室，青岛 266061
4 维多利亚大学地球与海洋科学学院，加拿大
* mxw@fio.org.cn

红树林是低纬度地区仅有的占据海陆交界地带的木本植物，作为高效的碳生产者、捕获者和蓝碳汇，红树林在全球碳循环中具有与其面积不成比例的影响。为了全面准确地评估红树林在全球碳循环中的作用并为国家碳战略的制定提供理论支持，红树林沉积物中有机碳积累速率(OCAR) 的研究方兴未艾，特别是对其过去变化的理解有助于评估红树林在未来快速气候变化中的作用。因此，深刻认识区域乃至全球尺度上红树林沉积物 OCAR 的时空变化迫在眉睫。本研究以中国广西英罗湾红树林内部-边缘 3 根沉积物岩芯为研究对象，探究了区域尺度上红树林沉积物 OCAR 的时空变化和影响因素。结果表明：① 温度升高引起的红树林繁盛是控制红树林内部 OCAR 增加的主要原因；② 海平面上升引起的水动力增强是导致红树林边缘 OCAR 降低的主要原因；③ 海水淹没时间和水动力条件造成了红树林 OCAR 的空间变异。此外，本研究搜集了全球不同地区的数据，总结了全球尺度上红树林沉积物 OCAR 变化的规律及机制。我们发现：在红树林初级生产力和沉积物积累速率的影响下，红树林沉积物 OCAR 受纬度控制，而这种“纬度效应”可能最终会被人类活动的增强所打破。

S27-P-07

长链二醇指标示踪长江口以南东海陆架局部河流输入、温度和上升流

陈立雷[1,2]，李凤[3]，刘健[2,3]*，段小勇[3]，徐刚[2,3]，覃茂刚[4]，贺行良[3]

1 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 深海研究中心，青岛 266237
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061
3 青岛海洋地质研究所，青岛 266071
4 海南省海洋地质调查研究院，海口 570206
* liujian0550@vip.sina.com

陆架沉积过程受到复杂的河流和海洋过程相互作用影响。为了评估局部河流输入物质的“源-汇”过程和黑潮入侵影响，本研究对取自东海大陆架的多个表层和两根短岩芯（DZ-28：28.63 ℃，122.36 ℃，水深 52.8 m 和 DZ-41：28.07 ℃，121.95 ℃，水深 42.2 m）沉积物中的长链二醇分布特征进行详细分析。认为 1,14-二醇主要来源于 *Proboscia* 硅藻。东海内陆架沿岸局部河流原位产生的 C_{32} 1,15-二醇受近岸环流系统的水动力输运影响主要被束缚在近河口的浅水区（水深 <50 m），长江源 C_{32} 1,15-二醇对泥质楔远端的贡献甚微。尽管 1,13-和 1,15-二醇的确切生物来源并不明确，但可以确定主要的 1,14-和 1,13-、1,15-二醇来源不同，并且它们的母源生物生长繁盛期可能存在季节性差异。长链二醇指标（LDI）可以有效地用于重建水深大于 50 m 东海大陆架偏向秋季节的海水表层温度。而水深浅于 50 m 受河流输入影响显著，应用 LDI 重建的海水表层温度记录存在误差。基于 1,14-二醇提出的二醇指标（DI）很好的表征了东海大陆架上升流普遍盛行，并因为地形地貌、季风和黑潮、长江冲淡水等水团的综合作用于夏季节在北纬约 28.8 至 29.6 ℃和 27 至 27.8 ℃东海大陆架存在典型的上升流较强区。营养盐二醇指标（NDI）可能适用于重建东海大陆架受长江冲淡水强烈影响以外海域的海水表层暖季节营养盐浓度记录，但适用性仍需进一步研究证明。

S27-P-08

利用氨基酸来量化表层海洋水中溶解有机碳成分的周日变化：意义和初步应用

朱卓毅[1]*，周迎春[2]，刘素美[3]，吴莹[4]，许学伟[1,5]

1 上海交通大学海洋学院，上海 200030

2 华东师范大学统计学院，上海 200241

3 中国海洋大学化学与化工学院，青岛 266100

4 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241

5 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* zhu.zhuoyi@sjtu.edu.cn

从氨基酸视角洞悉有机质成分，是指征有机质降解程度、量化其早期成岩过程的重要手段。在海洋表层，受日-夜驱动的光合作用和浮游植物垂向迁移等节律影响，表层浮游生物必然呈现特定的周日内高频变化。氨基酸作为海洋生物吸收和释放的产物，含量和成分受浮游生物密切影响，但从有机质循环视角的氨基酸高频变化却鲜见报道。氨基酸含量及其衍生计算的各种有机质降解程度指标在短时间尺度的变化，会影响我们如何认识海洋大面调查的溶解有机质结果——大面调查得到的氨基酸差异只有显著大于氨基酸本身周日的变化程度，其相应的有机质成分差异才有合理性。另外，在不同氨基酸指标指示结果出现矛盾时，基于氨基酸周日变化程度的认识，也有助于我们筛选和剔除其中的干扰项指标。

本研究以南海陆坡开阔海表层水为研究实例，分别在 6 月和 10 月，在 L07 站开展了 24h 定点连续观测。以 6 小时为间隔采集了 5m 和 200m 上层海水，量化了溶解态氨基酸含量和其衍生的常见有机质成分指标。其中，GABA%和 DI 两个指标的周日变化存在，但数值小于终传递误差，因此我们认为该两个指标在分析误差内不存在显著周日波动。但氨基酸碳产率（stdev 0.2%-0.4%）和 D/L Ala 比值（stdev 0.02-0.13）呈现了显著的周日内波动，说明这两个氨基酸指标确实存在显著的周日变化波动，在今后有机质成分研究中需要予以注意。

以氨基酸周日变化认识为基础，我们进一步比较了南海陆坡指定断面上溶解有机质降解程度的季节性差异。其中，断面调查样品在6月较10月呈现了总体上更低的D/L比值和 GABA%，暗示 6 月的 DOM 比 10 月更为新鲜（降解程度更低）。周日观测站（L07）的结果进一步显示 6 月具有比 10 月更高的 Ser%（19.5% vs. 13.2%），结合其更低的 D/L

比值（0.06 vs. 0.24），本研究认为 6 月的溶解有机质成分主要是受浮游植物活动影响，而 10 月则主要是细菌微生物影响。有机质成分体现出的季节性差异和6月调查期间存在的双涡驱动的上升流物理背景，以及浮游微生物季节性差异相吻合。

S27-P-09

基于木质素示踪北极东西伯利亚陆架沉积有机碳的来源、输运与埋藏

叶君 [1,2]，胡利民 [2,3]*，石学法 [1,2]，姚鹏 [4]，夏逸 [1]，白亚之 [1,2]，张钰莹 [1]

1 自然资源部第一海洋研究所 海洋沉积与成矿作用重点实验室，山东 青岛 266061；
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室，山东 青岛 266237；
3 中国海洋大学海洋地球科学学院 海底科学与探测技术教育部重点实验室，山东 青岛 266100;
4 中国海洋大学海洋 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室，山东 青岛 266100
* 792083520@qq.com

在全球变暖和北极快速变化的背景下，北极陆架陆源有机碳的供应显著增加；受海冰和流域背景条件等因素的制约，前人对北极陆架沉积有机碳的研究主要集中在河口或近岸陆架区。本文基于 2016 年和 2018 年中俄北极联合科考航次获得的表层沉积物样品资料，系统分析了东西伯利亚海和楚科奇海表层沉积物的比表面积（SSA）、粒度、有机碳（TOC）含量及其稳定同位素（δ13C）和木质素等相关参数，研究了近海河口–陆架不同沉积环境有机碳的来源、输运和埋藏降解情况。研究发现东西伯利亚海东部和楚科奇海的沉积有机质总体以海源为主，东西伯利亚海西部陆架区以陆源输入为主（约 60%）；不同区域有机碳的沉积格局具有明显的空间异质性特征。相比之下，本研究中木质素降解参数(Ad/Al)s 和(Ad/Al)v 受植被组成、降解和浸出/吸附作用等因素综合影响，并未呈现明显的区域差异。受水动力分选、海冰、有机质降解和洋流等因素影响，有机碳的载荷（TOC/SSA）在输运过程中也呈不断下降的趋势。而 3,5-Bd/V 则呈现近岸低、远岸高的趋势，这说明在输运过程中土壤源有机质的降解程度不断变大；这类陆源有机碳向海输运过程中的“损失”将对于认识和评估变暖背景下北极近海冻土碳的释放与归宿及其气候环境效应具有重要意义。

S27-P-10

流域建坝和三角洲侵蚀对长江口及东海内陆架有机碳埋藏的影响

姚鹏 [1,2]*，赵彬 [1]，李栋 [3]，于志刚 [1,2]

1 中国海洋大学深海圈层与地球系统前沿科学中心和海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室，青岛 266100
2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室，青岛 266237
3 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
* yaopeng@ouc.edu.cn

流域建坝显著减少了沉积物的入海通量，引起河口三角洲的侵蚀，已经成为全球许多大河影响下的三角洲前缘河口（Large-river delta-front estuaries, LDEs）所面临的严峻问题。然而，大坝建设和三角洲侵蚀对河口及邻近陆架沉积有机碳的来源、分布和埋藏的影响，特别是定量化认识，目前所知甚少。本研究在长江口及其邻近的东海内陆架不同区域采集了颗粒物和短柱状沉积物样品，测定了比表面积、总有机碳（TOC）及其稳定同位素（$\delta^{13}C$）、总氮（TN）和木质素等参数，利用基于蒙特卡洛模拟的三端元混合模型，区分了河口颗粒物和沉积物中河流、三角洲和海洋来源有机碳对 TOC 的贡献，并根据长江大通站泥沙入海通量、长江口-浙闽沿岸沉积物埋藏通量和有机碳含量等历史数据，建立了三峡大坝建设前（1953

年-1985 年）、建设后（1986 年-2003 年）和建成后（2004 年-2018 年）三个阶段陆源有机碳沿长江沉积物输运系统（从流域、河口到东海内陆架）的收支模型。结果显示，三峡大坝建成后（2004 年-2018 年）相较于大坝建设前（1953 年-1985 年），长江输送颗粒物的入海通量减少了 72.7%，长江口三角洲发生了严重的侵蚀，使得沉积物中三角洲来源的有机碳所占比例显著增加。三峡大坝建成后长江入海颗粒有机碳的通量减少了 82.7%，但沉积有机碳在河口与东海内陆架的埋藏通量减少了 97.3%。这种有机碳埋藏通量的剧烈下降不仅与大坝建设对陆源有机碳的截留有关，同时也受三角洲侵蚀加剧的影响。三角洲侵蚀使得原本埋藏在河口的有机碳暴露出来，在输运过程中发生降解，从而减少了陆源有机碳的埋藏通量。随着大坝的建设，河流输送的陆源有机碳的埋藏地点事实上由河口逐渐转移到水库。在全球碳循环模型中，需要考虑这种碳埋藏“热点区域”的转移。

S27-P-11S

化能自养过程控制世界最深蓝洞缺氧水体的碳循环

陈霖[1]，张海龙，王旭晨，张晓华，杨作升，赵美训，赵彬，于志刚，姚鹏[1,2]*

1 深海圈层与地球系统前沿科学中心和海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室，中国海洋大学，山东，青岛 266100

2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室，山东 青岛 266237

* yaopeng@ouc.edu.cn

颗粒有机碳 (POC) 是海洋的重要碳库，在海洋碳循环中发挥着重要作用。目前对于含氧或低氧水体中 POC 的生物地球化学过程已经有了较多认识，但对于缺氧水体，特别是从有氧到无氧的转变过程中 POC 的产生和消耗过程及控制机制了解还很少。在近海水体脱氧日益严重的背景下，认识这一过程对于深入了解水体 POC 的迁移转化过程和微生物作用机制有重要意义。南海三沙永乐龙洞是世界上最深的海洋蓝洞，其缺氧水体厚度达到了 200m（占整个水柱深度的 2/3 左右），对于其中溶解无机碳（DIC）和溶解有机碳（DOC）的循环已经有了一些认识，但对于 POC 的循环过程还不清楚。于 2017 年 3 月和 2019 年 10 月在永乐龙洞采集了全水深的水样，应用稳定同位素和放射性同位素等手段，获得了三沙永乐龙 POC、DIC 和 DOC 的 $\delta^{13}C$ 和 $\triangle^{14}C$ 全深度剖面，使用蒙特卡洛三端元双同位素模型计算了初级生产、化能固碳和 DOC 原位吸附对 POC 的贡献，并应用 ^{16}S RNA 等手段，测定了化能自养微生物群落组成。在有氧层中（0-80m），POC 浓度逐渐降低，但变化幅度不大，表明 POC 在有氧层随深度有一定程度的降解。此时 POC 的 $\delta^{13}C$ 随深度加深有小幅降低，但基本稳定在-24‰左右，这一数值与典型海洋来源 POC 的 $\delta^{13}C$ 相比要低 4‰左右，表明其除了海洋浮游植物来源之外，还可能有其他来源；进入无氧层后，从 100m 到 150m，POC 浓度迅速增加，在 150m 附近达到峰值，表明在此层次可能存在 POC 的潜在生产或 DOC 的吸附；此时 POC 的 $\delta^{13}C$ 逐渐升高，最高至-15‰左右。POC 的 ^{13}C 变得富集说明了化能自养过程的存在。端元模型结果表明，在有氧层中（0-80m），初级生产来源占比 95%以上；进入无氧层后，化能自养作用和 DOC 原位吸附对 POC 的贡献随水深增大，分别占到>30%和 60%左右。微生物群落组成在 90-110m 主要类群为硫氧化菌，而在 115-190m 主要类群为硫还原菌，这表明无氧区的硫化能自养微生物可能支持了化能固碳过程，进而主导了三沙永乐龙洞的碳循环。

S27-P-12S

长江口和黄河口沉积有机碳再矿化作用的比较研究

李康[1]，赵彬[1]，杨建斌[1]，姚鹏[1,2]*

1 中国海洋大学深海圈层与地球系统前沿科学中心和海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室，青岛 266100
2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室，青岛 266237
3 佛罗里达大学地质科学系，盖恩斯维尔 32611
* yaopeng@ouc.edu.cn

大河河口及其邻近边缘海是有机碳的主要沉积汇，而沉积有机碳是否得到有效保存而埋藏下来是影响边缘海碳汇潜力的关键因素之一。在不同的大河河口系统，沉积有机碳埋藏效率差别很大，但对其控制机制认识还很有限。本研究对长江口和黄河口 12 个站位的沉积物进行了时间序列培养，分析了沉积物间隙水中的溶解无机碳（DIC）、无机氮（NH_4^+和 NO_3^-）、硅酸盐（SiO_3^{2-}）、氧化还原敏感元素（Fe^{2+}和 Mn^{2+}）和主要离子（Ca^{2+}、Mg^{2+}、SO_4^{2-}和 Cl^-），并结合沉积物中总有机碳（TOC）及其稳定同位素组成（$\delta^{13}C$）、粒度和沉积物比表面积（SSA）等参数，比较了这两大河口在早期成岩过程、有机碳再矿化速率和自生矿物形成等方面的差异，以期更好地了解大河河口系统影响沉积有机碳保存的因素。长江口间隙水中硫酸盐含量随沉积物深度的增加而显著降低，而黄河口间隙水中硫酸盐含量剖面保持不变，表明长江口相对于黄河口存在更强烈的硫酸盐还原作用，有机碳分解作用更强。培养实验的结果表明，黄河口沉积物中 DIC 和 NH_4^+的产生速率（1.54 ± 0.61 mmol/m^2/d; 0.11 ± 0.07 mmol/m^2/d）显著低于长江口（3.81 ± 1.37 mmol/m^2/d；0.29 ± 0.08 mmol/m^2/d），进一步说明黄河沉积有机碳的再矿化分解作用较弱，可能与黄河口沉积物中预陈化土壤有机碳的占比较高，且沉积环境稳定有关。值得注意的是，长江口沉积物间隙水中 Ca^{2+}和 Mg^{2+}浓度随着沉积深度的增加而减少，SiO_3^{2-}浓度在深层次沉积物中随着深度的增加而减少或基本不变，表明可能存在自生碳酸盐和自生铝硅酸盐的形成（即反风化过程），而黄河口这些离子随深度的变化都很小，自生矿物形成作用较弱。两个河口的沉积动力环境、沉积物中的氧化还原条件和有机碳来源和活性的差异，对沉积有机碳的早期成岩过程、再矿化作用和有机碳的保存等产生重要影响。

S27-P-13S

Quantitative estimates of organic carbon contributions to the river-estuary-marine system in the Jiaozhou Bay, China

Ke Liu[1,2], Xiaotong Xiao[1,2*], Daolai Zhang[3], Yang Ding[1,2], Li Li[1,2], Meixun Zhao[1,2]

1 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, and Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China
2 Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China
3 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China
* xtxiao@ouc.edu.cn

Land-ocean interactions play an important role in transporting and accumulating organic carbon (OC) in marine sediments. Understanding sources (terrestrial, marine and anthropogenic contributions) of sedimentary OC are important to better evaluate the processes controlling the OC distribution in coastal zones. In this study, we present bulk parameters of total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), stable carbon isotopic composition (δ13Corg) and biomarker contents in surface sediments from the Dagu River-estuary-marine system in the Jiaozhou Bay. Comparison between C/N ratios and δ13Corg indicated significant C4 plant contribution to

the sedimentary OC, which was approximately equal to C3 plant contribution. Generally, terrestrial biomarkers contents were high in the river and showed a decreasing trend towards the estuary and inner bay. Marine biomarkers displayed opposite spatial distribution patterns with terrestrial biomarkers except for the brassicasterol that also has a terrestrial/fluvial source. The universal detection of petroleum and sewage biomarkers revealed the significant anthropogenic influence on the sedimentary OC in our study. Principal component analysis-multiple linear regression (PCA-MLR) was performed to quantitatively estimate the OC contributions in the Jiaozhou Bay, showing that anthropogenic activities contributed 77.6% and 29.9% to the sedimentary OC in Dagu River and outside the Dagu River (the estuary and the inner Bay), respectively. Further studies need to be carried out to test this approach in broader regions.

S27-P-14

氮磷营养盐水平对藻源溶解有机碳释放及菌群结构的影响

陈晶*

1 中国科学院南京地理与湖泊研究所，南京 210008

* chenj@niglas.ac.cn

在气候变暖和水体富营养化的双重压力下，藻源溶解有机碳释放对水生系统碳库组成贡献和碳循环的影响日益加深。然而，蓝藻水华或是浒苔绿潮聚集沉降后，水生系统底层的氮磷营养盐水平对藻源溶解有机碳释放及菌群结构的影响尚不清楚。因此，本研究通过室内实验研究了不同氮磷营养盐水平条件下附生菌群对浒苔腐解过程中藻源溶解有机碳释放的作用。浒苔在附生菌群作用下释放出溶解有机碳，同时水体中的浮游菌群丰度也会有所增长，但是水体的氮磷营养盐水平会对藻源溶解有机碳的释放量和化学组成产生影响，部分反映在荧光溶解有机物组分的差异上，同时不同氮磷营养盐水平条件下响应浒苔腐解的细菌群落被重塑为不同的群落结构。在四种氮磷营养盐水平条件下藻源溶解有机碳释放过程中，高浓度的磷能够抑制藻源溶解有机碳的释放，表明高磷沉积环境有助于藻有机物以非溶解态的形式封存，由于藻源溶解有机碳释放受到限制，因此其也削弱了对水体微生物的影响。

S27-P-15S

微生物转化对珠江口表层水体 DOM 光化学降解活性的影响

李梦婷[1]，宋贵生[1]*，Huixiang Xie[2]，Philippe Massicotte[3]

1 天津大学 海洋科学与技术学院，天津 300072

2 Institut des sciences de la mer de Rimouski, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec, G5L 3A1, Canada

3 Takuvik Joint International Laboratory (UMI 3376) Université Laval (Canada) & Centre National de la Recherche Scientifique (France), Université Laval, Québec, G1V 0A6, Canada.

* guisheng.song@tju.edu.cn

光化学和微生物降解是水体中溶解有机物（DOM）主要的清除途径。关于光化学转化对 DOM 微生物可利用性的影响已得到广泛关注，但微生物转化过程对 DOM 光化学活性的影响还未得到足够重视。基于 2016 年冬季珠江口表层水体研究的结果表明，淡水端元 DOM 的微生物和光化学活性远高于主混合区和陆架海区域；有色 DOM（CDOM）和类腐殖质荧光 DOM 的微生物活性均显著低于光化学活性，但类蛋白类荧光 DOM 微生物活性更高。经微生物转化，DOM 光化学活性的变化在珠江口不同区域有所差异：

淡水端元溶解有机碳（DOC）和 CDOM 光化学活性无明显改变（<5%）；主混合区光化学活性 DOC 含量不变（<1%），CDOM 由于微生物的大量摄食（26%）而被抑制；在陆架海区域，具有光化学和微生物双重活性的海源 DOC 光化学活性被竞争抑制，由于微生物转化过程生产新的 CDOM，其光化学活性提高了约 10%。与珠江口低盐区域 DOM 含量显著降低不同，不被微生物和光化学过程降解的惰性 DOC（RDOC）和 CDOM（以 $a_{R,330}$ 计）沿河口呈保守混合行为。由此估计，冬季 RDOC 和 RCDOM 由珠江口进入南海陆架海的通量分别为 33.0×10^9 g 和 7.42×10^9 m^2，占同期 DOC 和 CDOM 通量的 61%和 10%。本研究结果表明微生物转化过程对不同来源或组成 DOM 的光化学活性的影响不同，并为进一步深入认识全球河流/河口 DOM 向海输送过程中的迁移转化、入海通量以及不同组成 DOM 在海洋中的存留时间提供新的视角。

S27-P-16S

南海北部表层与叶绿素最大层古菌的季节变化

李濛[1]，巩法慧[1]，谢伟[1]*

1 中山大学海洋科学学院，珠海 519000

* xiewei9@mail.sysu.edu.cn

古菌是一种重要的原核生物类型，具有独立的系统发育地位，在全球生物地球化学循环中占有重要地位。研究海洋古菌的结构和分布格局是了解其在生态系统中作用的基础。南海是世界上最大的半封闭边缘海之一，其北部海域具有复杂的生态系统动力学特征。我们在 2016 年夏季和 2018 年冬季采集了南海北部表层和叶绿素最大（DCM）层的样本，基于针对古菌 16S rRNA 的高通量测序分析发现，夏季 DCM 样本的 α 多样性显著高于表层，而冬季两个水层的古菌多样性差异不显著，其原因可能是夏季强烈的分层现象影响了古菌群落的多样性。群落结构而言，Marine Group Ⅰ（MG Ⅰ）、Marine GroupⅡ（MG Ⅱ）、Marine GroupⅢ（MG Ⅲ）为主要的古菌物种。MG Ⅰ，即氨氧化古菌，属于一类奇古菌，这些样品中的 MG Ⅰ主要包括 Nitrosopelagicus 和 Nitrosopumilus 两个属，其中 Nitrosopelagicus 在冬夏季均有分布，而 Nitrosopumilus 则在冬季丰度较高，夏季很低，体现出氨氧化古菌分布的季节性差异。MGⅡ在所有样品中平均丰度最高的古菌类群，且在各季节水层中均有分布，DCM 层相对丰度较表层略低。MG Ⅱ包含 MG Ⅱa 和 MG Ⅱb 两个类群，其中，MG Ⅱb 在夏季 DCM 层显著高于冬季 DCM，且与 DCM 层海水溶解氧、月平均光照强度显著正相关，提示 MG Ⅱb 古菌对相关高溶解氧浓度更加适应。提示夏季较高的光强促进了 DCM 层的藻类生长，并产生更高浓度的溶解氧，促进了 MG Ⅱb 的生长，该发现可为实现这一重要古菌类群的富集培养提供依据。。前期研究显示，MGⅢ通常在深层海水中较为丰富，而我们在南海北部表层水体的冬夏季各季均发现了较高比例的MGⅢ的分布，且在夏季表层中丰度更高，这可能是由于南海北部强烈的洋流过程将深海古菌类群带至表层海洋的原因。本项揭示了南海北部冬夏季古菌群落分布特征，表明洋流季节性差异带来的理化参数的改变，对古菌群落结构组成的显著影响，可为厘清物理海洋过程对古菌适应性演化的驱动作用提供依据。

S27-P-17

典型地下水人工回补区有机质的动态变化

郑雅欣，何伟*，郭华明

1 中国地质大学水资源与环境学院，北京 100083

* wei.he@cugb.edu.cn

天然有机质（NOM）对地下水自然补给过程具有良好的响应，但人工回补地下水影响溶解态有机质（DOM）动态变化依然不够

明确；此外，地下水 DOM 与颗粒态有机质（POM）相互转化过程以及 DOM 对人工回补过程的分子响应也缺乏相关研究。针对上述科学问题，本研究选取北京密怀顺地区潮白河流域的再生水和南水北调水人工回补区作为研究区，采集了 222 个地下水、40 个地表水样品，并通过碱性溶液提取了 67 个水体颗粒物的有机质，利用三维荧光光谱结合平行因子分析（EEM-PARAFAC）和傅里叶变换离子回旋共振质谱，测定了地下水有机质的表观特征和分子种类，分析了回补过程中有机质的动态变化，深入研究了回补区水体有机质的季节性动态、DOM 和 POM 相态特征的表观响应以及地下水回补导致的 DOM 分子响应，为人为地下水补给的生物地球化学过程和风险评估提供理论依据。研究取得以下主要认识：

（1）再生水回补区地下水较南水北调区 DOM 含量更丰富。丰水期 DOM 的含量最高、分子量较小且生物活性较高。五组分 DOM-PARAFAC 模型中类腐殖质 C3 能较好的区分地表-浅层地下水-深层地下水，C4（微生物产生的类蛋白）、C5（微生物能利用的类蛋白物质）体现地表水-浅层地下水-深层地下水季节变化的关联。主成分分析表明，类蛋白组分具有示踪南水北调回补过程的潜力。

（2）四组分 DOM-POM-PARAFAC 模型中类腐殖质组分（C1 和 C4）的 DOM/POM 分配比值大于类蛋白质组分（C2 和 C3），即惰性类腐殖质比类蛋白物质更易进入水相。C1 浓度和组成在再生水区和南水区剖面上存在明显梯度变化，即类腐殖质 C1 可以显著区分两个补给区；且回补区样点随深度沿 PC1 呈梯度变化，揭示了类腐殖质对人为地下水回补过程的响应及其示踪回补过程的潜力。

（3）再生水区域地下水 DOM 分子多样性较南水北调水更丰富，且共同分子出现数量要大于南水区域。通过共同分子与表观特征指标之间的相关性系数聚类获得了五个分子族，其中分子族 1 与类腐殖荧光有机质 C1 具有较强的正相关，该分子族内分子具有潜在的指示地下水回补的潜力；在该分子族中，与 C1 相关性系数大于 0.9 的分子共计 7 个，综合溶解度和水解半衰期陈述了潜在的响应地下水回补过程的有机分子特征。

S27-P-18

河海关键带水体有机质的光化学转化：差异性和连续性

陈洪梅[1]*，Aleksandar I. Goranov[2]，Alicia Bryan[2]，Patrick G. Hatcher[2]

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361000

2 Department of Chemistry and Biochemistry, Old Dominion University, Norfolk, USA, 23509

* chenhm@xmu.edu.cn

天然水体有机质的光化学过程研究在过去二十年日益受关注，其中一个重要的原因是要研究有机质经由光化学降解形成无机物质（水和二氧化碳等），及其对温室气体排放和全球碳循环的贡献。但是，其中有一个重要的环节经常被低估或忽略，那就是天然有机质分子组成和结构的光化学转换的定性分析，这与有机分子的鉴别和分析手段欠缺有密切关系。直到最近几年，随着高等分析手段在有机地球化学中的应用，例如高分辨率质谱技术和高磁场核磁共振技术等，天然有机分子的结构变化才逐渐揭开面纱。

本研究的目标在于调查分析河海关键带的不同水体中的有机质在光化学过程中的分子转换和降解，了解它们的共性和差异，以便厘清光化学过程在生物地球化学中的作用。在 2018-2020 年期间，本研究采集了美国东海岸的八个典型的湿地河流和近岸水体，在实验室模拟太阳光的条件下进行光化学反应，综合应用常规的分析—紫外分光光度、荧光光谱、营养盐和金属浓度等的测定，和高等分析—核磁共振和高分辨质谱测定，定量分析水体有机质的光化学降解速率，定性示踪水体有机质在分子水平上的光化

学转换。研究结果表明水体有机质的降解速率和水体原位有机质的组成和初始芳香族物质的含量有密切关系，不同水体的差异性显著。通过对不同水体的有机质在光化学过程中的分子转换作统计综合分析，本研究还发现了天然水体有机质分子在光照下，从芳香族和不饱和结构脱去双键，形成脂肪族，进而形成不饱和聚合结构分子的连续性变化路径，为理解天然有机质从陆地到海洋的迁移转化提供了新的信息。

S27-P-19S

异养固氮菌的全球海洋分布及控制因子

邵智博*，罗亚威

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361102

* shaozb@stu.xmu.edu.cn

氮是海洋中初级生产力的一个重要的限制性营养盐。然而海水中的氮收支至今为止仍然估算平衡，造成这个问题的原因可能是对固氮菌群落的认知还不完全。异养固氮菌是一类最近才被重视的固氮种类，不少研究发现它们在上层海水的孤单群落中占据主导优势。但是目前，对于它们在全球范围内的分布和控制因子依旧未知。并且人们对它们在海水生地化循环中的贡献度的认知也是模糊。

本研究收集了全球范围内文献报告的异养固氮菌的 nifH 丰度，实测环境数据，以及固氮速率。我们选用了气候态环境因子数据与异养固氮菌的丰度进行相关性分析，采用广义加性模型展示它们之间的非线性关系，发现盐度与铁对其丰度有较强的负相关性。我们还通过实时海表面高度异常值数据，把每个采样地点分为气旋涡，反气旋涡和涡外三种情况，分析物理过程对异养固氮菌丰度测量的影响，根据它们在寡营养海域和富营养海域不同表现推测出中尺度涡对异养固氮菌丰度的影响模式。最后我们使用生态位模型模拟出营养固氮菌在全球范围内的主要分布，并且与其他三大类自养固氮菌相比较，推断出它在全球海洋中比较特有的生态位，为以后海洋氮循环的研究提供参考价值。

S28-O-01

Source, composition, and distributional pattern 1 of branched tetraethers in sediments of northern Chinese marginal seas

Yongsheng Liu[1], Wenjie Xiao[2,3,4]*, Jianqiang Wu[5], Lulu Han[1], Hongrui Zhang[6], Yunping Xu[1]*

1 Shanghai Engineering Research Center of Hadal Science & Technology, College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, 201306 Shanghai, China

2 Shenzhen Key Laboratory of Marine Archaea Geo-Omics, 518055 Shenzhen, China

3 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), 523936 Guangzhou, China

4 Shanghai Sheshan National Geophysical Observatory, 201602 Shanghai, China

5 Shanghai Academy of Environmental Sciences, 508 Qinzhou Road, 200233 Shanghai, China

6 Department of Earth Sciences, ETH, Zurich, Sonnegstrasse 5, 8092 Zurich, Switzerland

* wjxiaocug@126.com, ypxu@shou.edu.cn

Branched glycerol dialkyl glycerol tetraethers (brGDGTs), biomarkers for organic carbon source and paleoenvironment, can be produced in both land and sea. The source assignment is prerequisite for the accurate application of brGDGTs-based indicators. Here, we reported brGDGTs in surface sediments of northern Chinese Marginal Seas (CMS), including the Bohai Sea, Yellow Sea

and East China Sea. Two source indicators, ΣIIIa/ΣIIa and $\#rings_{tetra}$, have an average of 0.86 ± 0.18 and 0.74 ± 0.08 in the Bohai Sea, 0.61 ± 0.34 and 0.73 ± 0.16 in the East China Sea, and 1.32 ± 0.45 and 0.87 ± 0.12 in the Yellow Sea, suggesting variable contributions of terrestrial and marine derived brGDGTs in the Bohai Sea and East China Sea, but the predominance of marine in-situ brGDGTs in the Yellow Sea. The distribution of brGDGTs presents a zonal pattern from nearshore to offshore in the Bohai Sea/East China Sea, but a complex and patched pattern in the Yellow Sea. This difference is attributed to different influences of terrestrial brGDGTs from the Yangtze River and Yellow River. However, the branched and isoprenoid tetraether (BIT) index, an indicator for terrestrial organic carbon in marine environments, has low values (an average of < 0.1) in all three marginal seas, demonstrating the limitation of the BIT index in high productive marginal seas. Of those samples containing pure marine derived brGDGTs (ΣIIIa/ΣIIa ≥ 0.92), significant correlations between ΣIIIa/ΣIIa and CBT_{5ME} and between water temperature and MBT'_{5ME} suggest that the production of brGDGTs by marine bacteria is also affected by ambient pH and temperature, although a global calibration is still lacking.

S28-O-02

Improved paleotemperature proxy derived from branched GDGT in South China Sea

Li Li*, Zhan Liu, Yanming Ruan, Juan He, Jiangnan Shi, Jiantao Cao, Qianyu Li, Guodong Jia

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, P.R. China

* lilitju@tongji.edu.cn, hj08@tongji.edu.cn

The spatial distribution of branched glycerol dialkyl glycerol tetraethers (brGDGTs) in late Quaternary samples from the northern South China Sea is featured by significant changes in the fractional abundance of hexamethylated brGDGTs III. From the last glacial to the Holocene, tetramethylated brGDGTs I reduced from 46% to 32% while hexamethylated brGDGTs III increased from 19% to 37%, respectively. The observed strong positive correlation between the 5- and 6-methyl isomers in the marine settings implied the temperature controlling on the methylation, therefore, both isomers should be considered in temperature reconstruction. The integration of the oceanic and soil datasets revealed a good match between the fractional abundance of brGDGTs (I+III) with the subsurface temperature in the ocean and mean air temperature in continental environments, which challenges the misperception on the ineffectiveness of brGDGTs for temperature reconstruction in oceanic settings. The methylation index is accordingly revised to MBT-L = (I+III)/(I+II+III) and applied to the newly improved thermometer equation ($T=-15.27-8.06\times CBT+56.2\times MBT\text{-}L$, $r^2=0.83$). The calibrated temperature based on the improved equation in the northern South China Sea rectified the abnormal temperature from using previous equations and illustrated a clear glacial cooling and interglacial warming pattern. Both the brGDGTs derived temperature and that from iGDGTs (TEX_{86}) were consistently about 5℃ lower than the surface water temperature based on alkenones (U^K_{37}), implying that the unknown brGDGTs producing organisms most likely thrived at subsurface water and responded to hydrological variability by changing individual brGDGTs components. The applicability of the new equation to temperature reconstruction in

both marine and continental environments implied similar response of the brGDGTs producing bacteria to temperature change regardless source settings, and may help to eliminate problems caused by multi-sources of the brGDGTs for temperature reconstruction, especially in marine environments.

S28-O-03

细菌 3-羟基脂肪酸的海水表层温度代用指标(RAN13)的建立及其古气候应用

杨义[1]，王灿发[1]*，James Bendle[2]，阮小燕[1]，高超[1]，谢树成[1]

1 生物地质与环境地质国家重点实验室，地球科学学院，中国地质大学(武汉)

2 University of Birmingham, Birmingham, B15 2TT, UK

* wangcf@cug.edu.cn

3-羟基脂肪酸主要来源于革兰氏阴性细菌的细胞外膜，其对于外界环境响应灵敏，具有很好的环境指示意义。目前基于细菌 3-羟基脂肪酸的支链和直链化合物相对比例所构建的土壤温度和 pH 指标及其可靠性已经在全球土壤环境中得到证实，并且已经成功应用于长江中游和尚洞石笋古气候重建。但是对于细菌 3-羟基脂肪酸在海洋环境中的分布模式、来源和指标可适用性等问题均值得进一步进行研究。因此本研究通过采集于北太平洋边缘海的不同纬度（12 ºN-61 ºN）的表层沉积物来研究 3-羟基脂肪酸在海洋环境中的分布特征。统计分析结果表明海洋环境中的细菌 3-羟基脂肪酸相对比土壤环境具有较高的反异构 3-羟基脂肪酸化合物。同样通过对比海洋沉积物站位和土壤站位的细菌群落特征，结果初步表明海洋环境中细菌群落主要以变形菌为主（>90%），而土壤环境中则主要以变形菌（~40%），酸杆菌（~20%）等为主，指示着 3-羟基脂肪酸的来源可能存在差异。因此综合统计分析和基因群落结构差异提出海洋环境中 3-羟基脂肪酸可能主要来源于海洋水体产生。通过深入分析其化合物分布特征与环境参数之间的关系，发现反异构与正构 C_{13} 3-羟基脂肪酸化合物的比值 RAN_{13} 与温度之间呈现出显著的指数关系，具有作为古温度指标的潜力。通过将 RAN_{13} 重建的东海近 60 年温度与器测温度的对比，证实了该指标具有作为古海洋温度指标的潜力。总之，目前对于细菌 3-羟基脂肪酸在不同载体中的应用均显示了其对于古环境的指示能力，值得进一步研究。

S28-O-04

Responses of archaeal tetraether lipids to oxygen levels in seawater: Implications for archaeal lipid-based redox proxies

Jinqiang Guo[1,2,3,4]*, Huamao Yuan[1,2,3,4], Jinming Song[1,2,3,4], Xuegang Li[1,2,3,4], Liqin Duan[1,2,3,4], Ning Li[2,3,4,5], Yingxia Wang[2,4,5]

1 Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, China;

2 Laboratory for Marine Ecology and Environmental Sciences, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, China;

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China;

4 Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, China

5 Public Technology Service Center, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, China

* guojinqiang19@mails.ucas.ac.cn

Glycerol dibiphytanyl glycerol tetraethers (GDGTs) are important archaeal membrane lipids and widely occur in marine water columns and sediments. Based on its sensitivity

to temperature, the paleotemperature reconstruction index TEX_{86} was developed and extensively researched. However, deviations between TEX_{86}-derived and in situ temperatures indicate that physiological and physiochemical factors other than temperature, such as growth stage, ammonium supply and dissolved oxygen (DO) level, also affect the composition of GDGTs, which is still poorly understood. In this study, we performed laboratory incubation experiments under constant temperature (25 ℃) and field investigations to trace the responses of sedimentary GDGTs to DO. The experimental results showed that a decrease in DO led to an increase in cyclization and crenarchaeol (Cren) abundance but that the opposite pattern was found for GDGT-0, indicating that archaea could reduce energy loss by increasing the concentrations of the corresponding membrane lipids. Interestingly, TEX_{86} was relatively constant for all incubation settings despite the differential production of various GDGTs, independent of the DO level, which is still in accordance with the expectations under the same cultivation temperature. The field survey results coincided well with the incubation results, suggesting that DO has important ramifications for the biosynthesis of GDGTs but shows limited impact on TEX_{86} in the study area. In addition, strong relationships between DO and GDGT-0 (%) and between DO and GDGT-0/Cren indicate that the two parameters can serve as potential redox proxies for bottom water, and the underlying mechanism may be related to the fact that archaea are more inclined to produce cyclized Cren or recycle the pre-existing detritus than to perform *de novo* synthesis under low DO stress. Further studies coupled with archaeal community are needed to cover more areas to constrain their applicability.

S28-O-05

火山灰输入促进深海底部化能生物合成有机碳：来自马里亚纳海槽凝灰岩的证据

李太思[1,2]，李季伟[1]*，张哲轩[1]，唐永杰[1,2]，彭晓彤[1]*

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

2 中国科学院大学，北京 100049

* lijiwei20025@idsse.ac.cn, xtpeng@idsse.ac.cn

大规模的海底火山活动几乎贯穿于整个地球地质历史。然而，巨量火山物质输入会对深海底部碳的生物地球化学循环带来怎样的影响，至今依然是谜。本次研究以马里亚纳海槽 18 个海底火山凝灰岩和 3 个背景沉积物为对象，开展了矿物学、地球化学与地质微生物学交叉研究。分析表明，凝灰岩中富透辉石、橄榄石等铁镁质矿物；且它们发生了不同程度的蚀变，其次生的赤铁矿、磁铁矿脉状填充于辉石、橄榄石的矿物裂隙中。扫描电镜和激光共聚焦拉曼，发现了磷灰石环绕赤铁矿分布的特征，指示了矿物蚀变与生命活动过程的潜在关系。有机地化分析表明，凝灰岩中 BrGDGTs 和 IsoGDGTs 含量分别为 0.002-54.690 μg/g TOC 和 0.003-119.756 μg/g TOC。总体上，凝灰岩与正常大洋沉积物醚脂组成差异显著，具 BrGDGTs 富集的特征，其 $R_{i/b}$ 和 BIT 指数分别为 0.2-12.4(均值 4.4)和 0.11-0.88(均值 0.38)，而背景沉积物分别为 14.3-26.3（均值 20.6）和 0.06-0.12（均值 0.08）。并且，IIa+IIa'-IIIa+IIIa'-$Rings_{penta\text{-}hexa}$ 三元图、#$rings_{tetra}$-#$rings_{penta\text{-}6Me}$ 散点图、(IIIa+IIIa')/(IIa+IIa')-IIIa'(%)的图解表明，凝灰岩样品 brGDGTs 源于原位自生，且其主成分为有环的五、六甲基化合物(IIb、IIb'、IIc、IIc'、IIIb、IIIb'、IIIc、IIIc')，而对照沉积物主要以 IIIa'为主。凝灰岩 GDGTs 这些特征表现出与已报道的热液、冷泉、蚀变基岩等化能生态系统的样品特征相似。与此同时，16S rRNA 基因高

通量测序在凝灰岩中发现了较丰富的潜在的金属循环微生物（如 *Shewanellaceae, Geobacter, Magnetospiraceae* 和 *Bacillus* 等），氢氧化相关微生物（如 *Woeseiaceae, Hydrogenophilaceae, Mycobacterium* 和 *Dehalococcoidia* 等），甲烷厌氧氧化相关微生物（如 NC10, SAR324 clade 和 Methylococcales 等），以及既能进行氢氧化又能参与金属循环的微生物（如 *Geodermatophilaceae, Bradyrhizobium* 和 *Rhodococcus* 等）。以上研究表明，海底火山灰中铁镁质矿物的蚀变过程，可能为化能生命活动提供了物质基础（如 Fe(II)、H_2 和 CH_4 的氧化），进而导致了凝灰岩醚脂组成的异常特征。通过热力学模拟计算，环太平洋地区每年输入的火山灰中 Fe、S 完全氧化所释放的化学能，能供给产生 $5.23 \pm 1.37 \times 10^{10}$ g C，如果水岩反应产生的 H_2 被全部用来进行产甲烷反应或氢氧化反应，分别能产生 $0.44 \pm 0.08 \times 10^{10}$ 和 $16.07 \pm 3.03 \times 10^{10}$ g C/yr，而产生的甲烷与硝酸盐还原偶连发生厌氧氧化则可产生 $2.98 \pm 0.57 \times 10^{10}$ g C/yr。上述反应供给的化能微生物产量，相当于每年新增洋壳氧化所产生化能生物量的 25%。因此，我们推测火山活动带来的蚀变过程是深海有机碳的潜在物源，对海洋碳循环过程具有重要的影响。

S28-O-06

马里亚纳海沟沉积物自生支链甘油二烷基甘油四醚的分布特征及生物来源研究

曾芝郁[1]，张传伦[1]*，郑峰峰[2]*，肖文杰[1]，田纪伟[2]

1 深圳海洋地球古菌组学重点实验室，南方科技大学海洋科学与工程系 深圳 518055

2 中国海洋大学，青岛 266100

* zhangcl@sustech.edu.cn

支链甘油二烷基甘油四醚（branched GDGTs，*b*GDGTs）是一种重要的微生物膜脂，它反映了微生物对环境变化的响应，其衍生指标能够用于地质学上的古环境重建。然而目前对海洋沉积物中自生 *b*GDGTs 的特征还不甚了解，其潜在生物来源以及古环境意义也有待研究。在此，我们以马里亚纳海沟水下 8300 米处，一段长度近 3 米长的沉积柱为研究对象，通过脂类组学分析，辅以沉积物孔隙水溶解有机质鉴定和地质学分析方法，旨在从样品中识别出海沟沉积物自生的 *b*GDGTs，再结合基因组学技术，推断出合成这些脂类化合物的微生物以及这些化合物指示的地质学意义。我们发现，*b*GDGTs 在沉积物中随深度变化明显，其含量变化与细菌的荧光 PCR 定量结果显著相关；在相对厌氧的区域，高度甲基化的 *b*GDGTs（OB-GDGTs）大量富集，这与沉积物孔隙水中两类荧光溶解有机质的分布特征相近；同时，一些微生物类群也展现出与 OB-GDGTs 相关的分布规律。综上，我们判断，在马里亚纳海沟沉积柱中发现的 OB-GDGTs 为海洋沉积物自生的 *b*GDGTs，其组成与空间分布可能与沉积环境的氧化还原电位密切相关，与 OB-GDGTs 在分布上具有明显相关性的微生物类群如 Caldatribacteriota 等，极有可能是合成这些 *b*GDGTs 的海洋微生物。

S28-O-07

水位深度对湖泊 brGDGT 古温标的潜在影响

曹建涛[1]，饶志国[2]*，贾国东[1]*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 湖南师范大学地理科学学院，长沙 410081

* jiagd@tongji.edu.cn

生物标志物 brGDGT 的甲基化指标与温度相关，这为陆地古温度重建提供了一个很好的温度代用指标。然而，水位深度与 brGDGT 的来源也可能影响湖泊 brGDGT 古温标在沉积记录中的应用。基于此，我们采

集了一个高山封闭湖泊（公海）中不同水深的沉积物，流域表层土壤以及涵盖过去 15ka 的沉积柱状岩芯。结果显示：1) 表层沉积物中 brGDGT 分布与岩芯 brGDGT 分布类似，而显著不同于土壤，表明公海沉积物中 brGDGT 主要来源于湖泊内部自生，土壤输入的影响很小。2) 表层沉积物中 brGDGT 古温标计算的温度值高于年均气温，接近年均水温，表明湖泊 brGDGT 古温标主要反映湖泊水温的变化。3) 表层沉积物 brGDGT 古温标随着水深增加而逐渐降低，表明公海沉积物中 brGDGT 主要反映地是底层水的温度。4) 在公海沉积岩芯中，brGDGT 古温标记录呈现冰消期温度“高值”，而全新世温度“低值”，最低值出现在中全新世的变化趋势。这与湖泊降水量呈现镜像关系，表明 brGDGT 古温标主要反映地是公海湖泊水位的变化。公海的现代过程与沉积记录证明湖泊水位深度主要控制 brGDGT 古温标的变化，在其他湖泊应用时需考虑深度的影响。

S28-O-08

新的长链烯酮同分异构体 RIK37 指标在湖泊盐度重建中的应用

姚远[1,2,3]*，黄永松[2,3]*，赵家驹[2]，王丽[4]，冉有华[5]，刘卫国[2]，程海[1]

1 西安交通大学全球环境变化研究院，西安 710054
2 中国科学院地球环境研究所，西安 710061
3 美国布朗大学地球环境与行星科学系，普罗维登斯 02912
4 中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640
5 中国科学院西北生态环境资源研究院，兰州 730000
* yaoyuan@xjtu.edu.cn, yongsong_huang@brown.edu.cn

长链烯酮是由等鞭金藻产生的一类含有 2-4 个双键的直链（C_{35}-C_{42}）不饱和甲基和乙基酮。目前基于 18S rDNA 构建的系统发育树，将长链烯酮的母源种属分为 Group I（也称为格陵兰种系）、Group II 和 Group III 三组。在淡水和微咸水湖中，Group I 和 Group II 等鞭金藻有着明显的转变：淡水湖主要以 Group I 等鞭金藻为主；而微咸水湖包含 Group I 和 Group II 等鞭金藻的混合或以 Group II 等鞭金藻为主。并且 Group I 长链烯酮以一系列三个不饱和键的同分异构体化合物为特征（如 $C_{37:3b}$、$C_{38:3b}$ 和 $C_{39:3b}$）。因此，基于 Group I 和 Group II 等鞭金藻随盐度的转变以及它们的长链烯酮分布特征，RIK_{37}（$C_{37:3a}$/（$C_{37:3a}$+ $C_{37:3b}$））指数具有重要的潜力作为盐度指标重建淡水和微咸水湖的盐度变化。本研究通过调查分析我国北部 20 个淡水湖和微咸水湖的长链烯酮组分，首次建立了湖泊中 RIK37 与盐度的矫正方程。利用该矫正方程重建了我国东北部五大连池自 1776 年（最近的火山爆发事件）以来高分辨率的盐度变化。结果显示大约自 1980 年以来，五大连池从微咸水湖快速演变为淡水湖，该水文变化一致于气温快速升高以及模拟的冻土南界线变化结果，推测气温变暖导致的冻土消融可能打开该区域地下水径流渠道，大量的地下水流入湖泊使得湖水快速变淡。同时结合一系列指示甲烷氧化菌和产甲烷菌的有机分子代用指标，发现冻土消融后湖泊甲烷循环增强。在全球变暖背景下，该研究加强了冻土区湖泊将成为释放甲烷的重要渠道。

S28-O-09

末次冰期以来西南季风区气候演变

赵成[1,2,3]*， Eelco J. Rohling[4,5]， Zhengyu Liu[6]， 杨小强[7]，张恩楼[1,2]，程军[8]，Zhonghui Liu[9]， 安芷生[2,10]，羊向东[1]，冯小平[1]，孙晓双[1]，张灿[1]，闫天龙[1]，隆浩[1,2]，晏宏[2,10]，Zicheng Yu[11,12]， 刘卫国[2,10]，于世永[13]，沈吉[1,3]*

1 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and

Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China.
2 Center for Excellence in Quaternary Science and Global Change, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China.
3 School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China.
4 Research School of Earth Sciences, the Australian National University, Canberra ACT 2601, Australia.
5 Ocean and Earth Science, University of Southampton, National Oceanography Centre, Southampton SO14 3ZH, UK.
6 Department of Geography, Ohio State University, Columbus 43210, USA.
7 Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guanghzou 510275, China.
8 Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China.
9 Department of Earth Sciences, University of Hong Kong, Hong Kong, China.
10 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China.
11 Department of Earth and Environmental Sciences, Lehigh University, Bethlehem 18015, USA.
12 Institute for Peat and Mire Research, School of Geographical Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China.
13 School of Geography, Geomatics, and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China.
* czhao@niglas.ac.cn, jishen@nju.edu.cn

当前对晚第四纪以来轨道尺度上地球气候变化的认识，主要包括高纬驱动的以~10 万年周期为主的冰期-间冰期循环和夏季风影响的以~2.3 万年周期为主的低纬水文变化。但是，由于低纬陆地没有较为可靠的温度记录，使得对低纬陆地的长期季候变化仍然缺乏全面的理解。本文通过获取云南腾冲青海的一根湖泊沉积岩芯，同时分析了沉积物中的支链甘油二烷基甘油四醚酯（brGDGTs）和叶蜡氢同位素，分别重建了~9 万年以来南亚地区的年平均温度和季风降水的变化序列。结果表明，夏季风降水与之前的研究一致，表现出明显的 2.3 万年周期，但是年均温度记录揭示了 8.8-7.1 万年和 4.5-2.2 万年存在两个暖期，温度变幅 2-3℃，与该记录中的冰期-间冰期变幅接近。通过对比 TraCE21ka 瞬态模拟结果和相关气候驱动因子，发现这两个暖期很可能受当地的年均太阳轨道辐射影响；而低纬地区的年均太阳辐射由以~4.1 万年周期为主的地球倾角变化控制，并与高纬地区的年均太阳轨道辐射呈反向关系。此外，该记录中的两个暖期与古人类活动的年代有较强的相关性，表明末次冰期内温度变化可能对亚洲地区古人类的生存有重要的影响。

S28-O-10

湖光岩玛珥湖异形胞蓝细菌生物标志物对季风气候的指示意义

康曼玉[1]，陈法锦[2]，孔德明[2]，贾国东[1]*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 广东海洋大学，湛江 524088
* jiagd@tongji.edu.cn

生物固氮作用是水体中重要的生物可利用氮来源，对维持水体生产力和碳循环起着重要作用，并与气候变化密切相关。目前，对于生物固氮在晚第四纪历史上的变化学术界主要是运用氮同位素记录去进行推测，很少有固氮生物的直接记录。异形胞蓝细菌是一类重要的固氮微生物，能产出特征的异形胞糖脂（HGs）。HGs 合成于蓝细菌固氮场所—异形细胞—的细胞壁内侧，由糖苷基连接长链二醇、三醇、酮醇或酮二醇等烷基

组成，在环境中能够稳定存在，成为可以示踪异形胞蓝细菌固氮的直接证据。本研究选取受季风影响的湖光岩玛珥湖作为研究区域，于 2017 年 1 月-12 月逐月采集了水体悬浮颗粒物，并采集了一根沉积柱，以探究现代湖泊的固氮活动与季风季节变化的关系以及末次冰期以来异形胞蓝细菌的固氮历史。现代水体悬浮颗粒物的结果表明，水体 HGs 含量具有明显的时间变化规律：在冬季风加强的 10 月-次年 5 月，未检测到 HGs 存在；而在夏季风加强的 6 月-8 月，HGs 含量迅速升高，并保持较高值；9 月 HGs 含量降低，但仍能检测到。本研究结果说明，6 月-9 月，在夏季风影响下，水体出现分层环境，刺激了异形胞蓝细菌固氮活动的增强。我们利用这一 HGs 含量-夏季风规律分析古沉积记录结果显示，在早全新世，HGs 含量较低，固氮活动较弱，表明夏季风强度较弱，而至中-晚全新世，HGs 含量升高并达到最高值，固氮活动显著增强，我们的结果或许表示在该区域夏季风在中-晚全新世最强盛。

S28-O-11

碱湖与硫酸盐型盐湖沉积物中 GDGTs 的分布差异

齐雯[1]*，陈永欣[2]，吴嘉[3]

1 中石油勘探开发研究院西北分院，兰州 730000
2 中科院西北生态环境资源研究院油气资源研究中心，兰州 7370000
3 中国石油大学（北京），北京 200092
* qi_wen@petrochina.com.cn

通常认为古菌醚类化合物在高盐和海洋环境中的分布受盐度控制。然而，笔者在硫酸盐型和碳酸盐型盐湖沉积有机质的生烃特征对比研究中发现来自内蒙古鄂尔多斯高原的碱湖（碳酸盐型盐湖）和硫酸盐型盐湖样品的 GDGTs 分布表现出明显差异，而差异似乎与 pH 关联性更强。本研究的样品来自内蒙古鄂尔多斯的碱湖大克泊（pH=10.39）、达楞图如淖（pH=9.01），硫酸盐型盐湖五湖洞淖（pH=7.53），陕西省榆林市的硫酸盐型盐湖莲花池（pH=8.24）。

GDGTs 分析结果显示，碱湖中 GDGTs 的种类和浓度明显高于硫酸盐型盐湖。所有样品中 GDGT-0、GDGT-1、 GDGT- 2、GDGT-3 的浓度依次降低，但来自碱湖的样品上述指标均高于硫酸盐型湖泊，特别是前者 GDGT-0 的含量高于后者 2 个数量级（进样量相当时，大克泊 1453.12ng/g，达楞图如淖 226.97 ng/g，五湖洞淖 46.08 ng/g，莲花池 19.07 ng/g）。泉古菌醇（Crenarchaeol）同样在碱湖中的浓度高于硫酸盐型盐湖。更加值得注意的是 brGDGT-Ic 、brGDGT-IIa、brGDGT-IIa’、 brGDGT-IIIa 和 brGDGT-IIIa’仅在碱湖检出。

这似乎有别于郑峰峰等（2016）研究，其认为 brGDGT 分布与干燥或湿润的气候条件相关。以同分布在内蒙古鄂尔多斯的碱湖大克泊和硫酸盐型盐湖五湖洞淖为例，前者计算所得环化指标 CBT 为 11.48，甲基化指标 MBT 为 0.31，而五湖洞淖的 CBT 为 1.20， MBT 为 1。显然，MBT 的差异掩盖了两个湖泊同处内蒙古鄂尔多斯高原、具有相同气候和大气温度条件这一事实。上述结果提示我们应该谨慎使用 GDGTs 分析环境和气候。

S28-O-12

甘油二烷基甘油四醚（GDGTs）在示踪小型亚热带河流-河口系统有机物来源中的应用

程章宇[1]，余凤玲[1,2]*，阮小燕[3]，程鹏[1,2]，陈能汪[1,2]，陶舒琴[4]，宗永强[5]，杨欢[6]，黄昭权[1]

1 厦门大学海洋与地球学院，近海海洋科学国家重点实验室，厦门 361102
2 厦门大学，福建省海陆界面生态环境重点实验，厦门 361102

3 中国地质大学，构造与油气资源教育部重点实验室，武汉 200092
4 中国自然资源部，第三海洋研究所，厦门 361005
5 香港大学地球科学系，中国香港
6 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室，武汉 200092
* fengling.yu@xmu.edu.cn

河流-河口系统连接陆地和海洋两大碳库，故深入了解河流-河口系统中的有机质源-汇问题，是研究陆海界面有机碳循环的前提之一。然而，对河流-河口系统有机质行为的研究，在很大程度上受制于示踪指标的适用性和精确性。近年来，甘油二烷基甘油四醚（GDGT）已成功用于识别近海和远洋地区有机物的不同来源，但它们在沿海地区的适用性仍不清楚。本研究以福建省九龙江河流-河口系统（JRES）为例，旨在了解九龙江河流-河口系统沉积物中 GDGTs 的行为，并探讨 GDGTs 在小型亚热带河流河口系统中作为有机质源指标的适用性。基于此，本研究在 2018 年，收集并分析了三组沉积物样本：包括河岸土壤，河床表层沉积物和河口表层沉积物，并取得以下三个主要认识：1）GDGTs 和 crenarchaeol 的丰度，以及 iGDGTs / bGDGTs，GDGT-0 / crenarchaeol（GDGT-0 / cren），crenarchaeol isomer/（crenarchaeol + crenarchaeol isomer）和 IIIa /IIa 的比值，能够较好地定性指示陆源、海源有机质输入，是定性示踪有机物来源的良好指标；2）在西溪（九龙江主要支流之一）中下游，GDGT-0 / cren 比值和 bGDGT 丰度异常高，可能指示人为活动引起的水体富营养化有机质输入有关；3）分支和类异戊二烯四醚指数（BIT）在指示土壤-海洋两端元有机物对河口沉积物总有机物的贡献方面尤为敏感。此外，我们还发现，河口复杂的生地化过程都可能影响 GDGTs 对有机质物源的示踪效果，如，九龙江口最大浑浊带和河口中部的高 BIT 值表明，最大浑浊带的过滤效应、有机质的保存条件（如地形）和河口沿岸或岛屿的土壤来源等。了解此类河流-河口系统中 GDGTs 的行为和应用将有助于进一步提升沿海系统中有机碳循环研究。

S28-O-13

近代升温背景下的北极冻土有机碳输出变化

Xiaowen Zhang[1,2,3]*, Thomas S. Bianchi[1], Andrea J. M. Hanna[4], Michael R. Shields[1,5], Gareth Izon[3], Jack A. Hutchings[6], Chien-Lu Ping[7], Mikhail Kanevskiy[8], Negar Haghipour[9,10], Timothy I. Eglinton[9]

1 Department of Geological Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida 32611, USA
2 School of Oceanography, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China
3 Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA
4 Institute of Geophysics, Jackson School of Geosciences, University of Texas at Austin, Austin, Texas 78712, USA
5 Geochemical and Environmental Research Group, Texas A&M University, College Station, Texas, USA
6 Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University, St. Louis, Missouri, USA
7 School of Natural Resources and Extension, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska, USA
8 Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska, USA
9 Department of Earth Sciences, Geological Institute, ETH Zürich, Zürich 8092, Switzerland
10 Laboratory of Ion Beam Physics, Department of Physics, ETH Zürich, Zürich 8093, Switzerland
* xiaowenz@sjtu.edu.cn

北极气温的快速升高正对北极地区的碳循环产生重大影响。温度升高引起的冻土消融使得原本贮藏在冻土中的有机碳面临着被微生物降解并产生温室气体的情况，从

而对全球气候变暖产生正反馈，是预测未来气候变化的关键。然而，现有的生态和地球系统模型主要依据最近几十年的观测和实验数据来预测气候变化，很难保证长时间预测的准确性，因此需要寻找更长时间尺度的地质记录来作为参考。大河流域的河口沉积物常常被用来反演过去成百上千年的陆地环境和有机碳的输出变化，是研究长期历史记录的绝佳载体。本研究选取了阿拉斯加北部的科尔维尔河流域作为研究对象，通过对过去两千多年的河口沉积物进行全样和单体放射性碳同位素分析，来反演流域内冻土消融和有机碳输出的相关性。我们的分析结果显示，在过去 160 年，冻土有机碳的输出出现了较明显的增长趋势，这与近代北极气温的快速升高相吻合。此外，通过对比沉积记录中的其他变暖期，我们推测气候变暖的升温速率、气温升高前的环境状态等因素也可能是影响北极冻土融化和冻土有机碳输出的重要潜在因素。

S28-O-14

全球变暖对北极地区埋藏有机质组成以及埋藏的影响

黄德坤[1]*，鲍红艳[2]，于涛[1]

1 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361005

2 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，海洋与地球学院，厦门 361102

* dkhuang@tio.org.cn

基于 2017 年中国第八次北极科学考察航次获得的三根沉积物柱状样，系统分析了210Pb、有机碳（OC）、总氮（TN）含量及其稳定同位素（$\delta^{13}C$、$\delta^{15}N$）、有机碳与总氮的比值（C/N）和木质素等相关参数，研究了北极和亚北极海域近 50 年沉积环境有机碳的来源、输运和埋藏降解情况。研究发现白令海陆架区和楚科奇海域的沉积有机质总体以海源为主。木质素含量（Λ8）在最上层 0-5 cm 的层位自下而上逐渐增大，表明在采样时间前近 10 年的时间里白令海北部和楚科奇海域的陆源有机碳输送增加，其中白令海沉积物 Λ8 值与育空河年径流量的增加趋势相符，反映了全球变暖下北极地区河流径流量增加可能导致有机质来源输入以及埋藏的增加。S/V 和 C/V 的特征值表明，楚科奇海和白令海北部沉积物中木质素为被子植物和裸子植物的混合来源。木质素降解参数$(Ad/Al)_s$和$(Ad/Al)_v$总体上未呈现出明显的区域差异，这可能是由于楚科奇海接收了一部分的来自育空河的陆源物质。在白令海北部沉积物表层，降解参数$(Ad/Al)_s$和$(Ad/Al)_v$自下而上逐渐增加，说明表层沉积物的降解程度增大，可能是由于全球变暖导致北极深层土壤有机质的输出增加。3,5-Bd/V 在楚科奇海陆架随着离河口的距离增加而更大，表明随着离岸输运的进行，土壤降解程度的增加。在全球变暖背景下，北极河流输送有机质通量和输送土壤类型可能发生变化，这对认识和评估北极快速变化的环境效应具有重要意义。

S28-O-15

Proxies for Quantitative Sea-Ice Reconstruction under Complex Sedimentary Processes: A Case Study in Prydz Bay, Antarctica

Jiaqi Wu[1], Zhengbing Han[1]*, Gaojing Fan[1], Jun Zhao[1], Haifeng Zhang[1], Jianming Pan[1]*, Sohey Nihashi[2], Baijuan Yang[1], Qiuhong Zhu[1], Haiyan Jin[1,3], Jianfang Chen[1,3]

1 Key Laboratory of Marine Ecosystem Dynamics, Second Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Hangzhou, 310012, China.

2 National Institute of Technology, Tomakomai College, Tomakomai 059-1275, Hokkaido, Japan

3 State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Hangzhou, 310012, China.

* hzbing@sio.org.cn, jmpan@sio.org.cn

A di-unsaturated C_{25} highly branched isoprenoid ($IPSO_{25}$) and a combination of phytoplankton biomarkers and $IPSO_{25}$ ($PIPSO_{25}$) were proposed as qualitative sea-ice proxies in Antarctica. Exploring the effects of sedimentary processes on the proxies may prompt the development of quantitative sea-ice reconstruction. We investigated the variabilities of $IPSO_{25}$, brassicasterol, and $PIPSO_{25}$ in a sediment trap and the distributions of these proxies and grain size in surface sediments from Prydz Bay. The fluxes of $IPSO_{25}$ and the values of $PIPSO_{25}$ increased sharply during the ice-melting period, indicating that sea-ice indices are sensitive changes in sea-ice conditions. However, weaker linear relationships were observed between the sea-ice indices in surface sediments and summer sea-ice concentrations (R^2 = 0.23 for IPSO25 and 0.22 for $PBIPSO_{25}$; $PBIPSO_{25}$ indicates that brassicasterol is used as the phytoplankton biomarker in $PIPSO_{25}$). Temporal changes in biomarker fluxes, along with the spatial distribution of biomarkers and indices, suggest that the indices in sediments are impacted by deposition rates controlled by the ballast effect and hydrodynamic conditions, influencing the accuracy of sea-ice reconstruction. The grain size parameters, mean size (Mz) and sorting (σ), are the established indicators of sedimentary environment. Therefore, we normalized $IPSO_{25}$ and $PBIPSO_{25}$ to Mz and σ to compensate for different sedimentary environments, and the accuracy of summer sea-ice reconstruction increased to 64% (based on $PBIPSO_{25}$ $\times\sigma^2$). This study provides a new method for quantitative sea-ice reconstruction under different hydrodynamic conditions by combining proxies based on biomarkers with different grain size parameters. Future work will focus on the calibration of the normalized sea-ice proxies versus sea-ice conditions in other regions to extend and validate this approach.

S28-O-16

珠江口沉积物的生物标志物垂向变化特征及其动力沉积环境意义

李文朋，赵昕，李芯芯*

1 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055

* lixinxin@sustech.edu.cn

自人类世以来，人口和经济增长，土地利用发生巨大变化，森林破坏等日趋严重，直接影响了河口生态环境，进而也对河口有机地球化学循环造成显著影响。为了研究中国最发达地区之一的珠江口（Pearl River Estuary, PRE）生物标志物垂向变化特征及其动力沉积环境意义，本研究采集了一根 3 米长的沉积物柱状样，5-10 cm 进行分样。分析了 ^{210}Pb、TOC、TN、$\delta^{13}C$、粒度组成和有机生物标志物木质素等相关参数。根据不同历史时期的参数分布，沉积过程可以被分为三段。$\delta^{13}C$ 值显示出从海源到陆源的变化，木质素含量的增加也表明陆源维管植物有机物输入增加，可能反映珠江口从稳定沉积环境到具有人为干扰作用环境的过渡，即由于城镇化建设用地导致的森林砍伐的影响。^{210}Pb 数据也证明了沉积物的稳态沉积受到干扰的过程。定量计算表明碳埋藏速率总体呈降低趋势，显示珠江口碳汇能力的减小，可能与人为活动或赤潮等产生的大量不稳定的输入刺激再矿化作用有关。本研究表明人类世的珠江口沉积物有机碳埋藏及沉积过程受到干扰，这将对当地碳循环过程和河口的“碳中和”作用产生影响。

S28-O-17

细菌藿多醇对东海内陆架生态环境长期变化的指示与潜在应用

尹美玲[1]*，段丽琴[2,3]，宋金明[3]

1 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室，青岛 266071
2 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049
3 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室，青岛 266237
* yinmeiling18@mails.ucas.ac.cn

边缘海作为海洋有机碳埋藏的重要储库，其复杂的生物地球化学过程及海洋生态环境变化对全球碳氮循环和海洋服务功能具有重要影响。东海内陆架作为我国重要的陆架边缘海，其有机质归趋、季节性低氧等海洋生态环境问题一直是备受关注的焦点。细菌藿多醇 BHPs 是一种同时集合生物来源专属性和环境特异性的较新型微生物标志物，其对海洋环境变化响应敏感且易保存，受成岩作用的影响较小，在追踪有机质来源，指示海洋低氧环境以及反演环境演变过程方面具有较大潜力。但是，目前对于 BHPs 在中国近海环境指示作用的关注很少，环境指示功能尚未明确。本研究聚焦细菌藿多醇对东海内陆架生态环境长期变化的指示与潜在应用这一关键科学问题，系统分析了东海内陆架沉积物中 BHPs 的组成、分布及来源等生物地球化学行为特征，重点探讨了 BHPs 对东海内陆架有机质来源的判别及对低氧环境的响应，初步揭示了特征 BHPs 对厌氧氨氧化活动和甲烷氧化活动的指示作用，并以此为理论反演了百年来东海内陆架生态环境的演变过程。获得的主要成果和结论如下：

1. 系统研究了东海内陆架沉积物中 BHPs 的地球化学特征。发现长江口邻近海域和东海沉积物中 BHPs 具有显著的空间分布和来源特征。海源自生来源的细菌藿四醇（BHT）和陆源贡献的腺苷藿烷分别呈现明显的离岸增加和降低趋势。

2. 深入探讨了东海内陆架沉积物中 BHPs 对海洋生态环境变化的指示作用。发现新型陆源有机质判别指标 R_{soil} 指示了沉积有机质的混合来源；细菌藿四醇同分异构体 BHT-II 可用于指示海洋低缺氧环境；氨基藿四醇和氨基藿戊醇可用于指示好氧甲烷氧化活动强度。

3. 利用 BHPs 特征指示指标重建了东海内陆架百年来的有机质来源、低氧和厌氧氨氧化等演变历程。发现近百年来东海内陆架中海陆有机质贡献比例逐渐增加，低氧整体呈现持续增加趋势；厌氧氨氧化活动与低氧的演变历程相似，但存在一定的时间滞后性，整体也表现为增强趋势。

S28-O-18

东海沉积物孔隙水溶解有机质对细菌群落结构的影响

李敏纯[1,2]，谢伟[1,2]*，张传伦[3,4,5]，殷克东[1,2]

1 中山大学海洋科学学院，广东 珠海 519082
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），广东 珠海 519082
3 南方科技大学深圳海洋地球古菌组学重点实验室 广东 深圳 518055
4 南方科技大学海洋科学与工程系 广东 深圳 518055
5 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广东 广州 510000
* xiewei9@mail.sysu.edu.cn

海洋沉积物孔隙水中的溶解有机质（DOM）在沉积环境的生物地球化学过程中起着重要作用，但我们对其化学性质的了解非常有限，对其与微生物群落的相互作用关系更是知之甚少。为探讨细菌群落与孔隙水 DOM 之间复杂的相互关系，本研究对采集自东海沿岸 42 个站位的表层沉积物微生物群落结构及相应孔隙水 DOM 的光谱特征进行了分析。结果显示，细菌群落组成与孔

隙水 DOM 的性质普遍相关，尤其是 DOM 的来源。此外，该细菌群落的丰富度与陆源物质对有机质的贡献比例呈正相关，而与 DOM 的分子量呈负相关，这暗示着 DOM 的新鲜度对细菌群落的影响。基于此，我们进一步将 42 个样品按照其新鲜指数（Biological index, BIX）的相对大小分为“高新鲜度组”和“低新鲜度组”两个组别。网络分析结果显示，“低新鲜组”中与 DOM 互作的细菌类群较多，细菌间的相互联系也较“高新鲜组”中的更加紧密且复杂，这可能是由于“低新鲜组”的 DOM 需要更多的细菌类群协调作用才能完成相应有机分子的降解，而高新鲜度组由于有机质较容易被各种不同类型的微生物独立利用，从而展现出较少的网络互作关系。两组别的代谢通路也存在一定的差异，“低新鲜组”的群体感应代谢通路丰度显著高于“高新鲜组”，与网络分析的结果相一致，提示“低新鲜组”中的细菌需要更多的群体协作以代谢利用孔隙水中较难分解的有机质。本研究创新性地将孔隙水溶解有机质按照新鲜程度进行分组分析，揭示出低新鲜度与高新鲜度溶解有机质与微生物不同的互作关系，为理解边缘海区域中微生物参与的有机质的转化过程提供了新思路。

S28-O-19

陆地植物叶蜡生物指标“植物类型效应”研究

刘金召*，安芷生

1 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061

* liujinzhao@ieecas.cn

叶蜡生物指标作为古环境重建最主要的生物指标之一。其特有的属性包括：1）分布广泛；2）易于提取；3）结构稳定，可以在环境中保存上百万年；4）重建时间精度高。这些属性使得叶蜡生物指标得到广泛地应用。然而，近二十年来，人们发现叶蜡生物指标在不同的植物之间存在明显差异（即“植物类型效应”）。因此，叶蜡生物指标“植物类型效应”的研究，将为更好地解释地质记录中的叶蜡生物指标的环境和气候意义至关重要。

现代植物叶蜡的调查和分析成为研究叶蜡生物指标“植物类型效应”必不可少的手段。黄土高原丰富的植物种类为该研究提供了很好的研究基地。笔者通过对黄土高原陆地植物样品的收集、化学抽提和同位素测定，以及对全球已发表叶蜡 *n*-alkanes 丰度和同位素数据等进行汇总及整理分析，发现叶蜡 *n*-alkanes 的丰度和同位素（氢和碳）在不同的植物类型之间存在明显的差异。例如，单子叶植物叶蜡 *n*-alkanes 的最大丰度主要集中在较长链长的 *n*-alkanes（即 C_{29}、C_{31} 和 C_{33}），双子叶植物叶蜡 *n*-alkanes 的最大丰度主要集中在较短链长的 *n*-alkanes（即 C_{27}、C_{29}）；单子叶植物叶蜡 *n*-alkanes 氢同位素比值（δ^2Hwax）相比双子叶植物叶蜡 *n*-alkanes 氢同位素比值整体显著偏负，大约 30-50‰；C_3 植物（包括双子叶植物、裸子植物、单子叶等）叶蜡 *n*-alkanes 碳同位素（$\delta^{13}C_{wax}$）相比 C_4 植物（包括单子叶植物和少数双子叶植物）叶蜡 *n*-alkanes 的碳同位素整体显著偏正。这种叶蜡 *n*-alkanes 的丰度含量和同位素值（氢和碳）“植物类型效应”的发现，为更好地认识和解释地质记录中叶蜡生物指标的气候和环境信号非常有启迪。再者，笔者也研究了叶蜡生物指标“植物类型效应”随高度和纬度的变化（记录降雨的高度和纬度效应），这种空间变化为叶蜡生物指标的应用提供了条件。

S28-O-20

东灵山地区植物叶片 $\delta^{13}C_{bulk}$ 和叶蜡 $\delta^{13}C_{alk}$ 对气候响应的长期研究

石敏锐[1]，韩家懋[2]，周力平[3]，崔琳琳[2]，王佳[1,4]，王国安[1]*

1 中国农业大学资源与环境学院环境科学与工程

系，北京 100193
2 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029
3 北京大学城市与环境学院，北京 100871
4 同济大学海洋与地球科学学院，上海，200092
* gawang@cau.edu.cn

沉积物有机质的碳同位素在古气候重建中有着广泛的应用，想要更好地应用碳同位素记录，必须对现代高等植物碳同位素与气候因素的关系进行深入研究。然而，由于气候因素、地理地形因素和系统发育的相互作用，这种关系仍然存在许多不确定性。此外，不准确的气候数据也会给相关关系的建立带来误差。为了在最大限度减少干扰因素的情况下评估气候因子对植物叶片总碳同位素($\delta^{13}C_{bulk}$)和叶蜡正构烷烃碳同位素($\delta^{13}C_{alk}$)的影响，我们于 2004 年至 2019 年对生长在中国北方东灵山同一地点的植物叶片有机质 δ13Cbulk 和叶蜡 δ^{13}Calk 进行了长期测量，并通过采样点旁的气象站台获得了植物生长过程中准确的气候数据。叶片 $\delta^{13}C_{bulk}$ 和叶蜡 $\delta^{13}C_{alk}$ 之间呈现显著的正相关关系。对不同碳链长度的正构烷烃同系物而言，碳链长度与 $\delta^{13}C_{alk}$ 值呈显著负相关关系。东灵山的植物正构烷烃以 *n*-C_{29} 和 *n*-C_{31} 为主峰碳。总体而言，植物叶片 $\delta^{13}C_{bulk}$ 和叶蜡 $\delta^{13}C_{alk}$ 的年均值与温度没有显著关系，但与年降水量(MAP)呈显著负相关。MAP 对植物叶片 $\delta^{13}C_{bulk}$ 年均值变化的解释度为 67%，年降雨量每升高 100 mm，植物叶片 $\delta^{13}C_{bulk}$ 降低 0.53‰; MAP 对叶蜡 $\delta^{13}C_{29}$ 和 $\delta^{13}C_{31}$ 年均值变化的解释度分别为 65%和 64%，年降雨量每升高 100 mm，叶蜡 $\delta^{13}C_{29}$ 降低 0.50‰，$\delta^{13}C_{31}$ 降低 0.35‰。因此，根据本研究的结果，表明沉积物中有机质的总碳同位素和正构烷烃碳同位素不受温度的影响，主要受控于降雨量的变化，它们是年降雨量的有效性替代指标。本研究建立的植物叶片总碳同位素($\delta^{13}C_{bulk}$)和叶蜡正构烷烃碳同位素($\delta^{13}C_{alk}$)与年降雨量的数学关系为利用沉积物中有机质的总碳同位素和正构烷烃碳同位素定量重建古降雨变化奠定了坚实的基础。

S28-O-21

长链正构烷烃分子特征和碳同位素值在原位土壤中的变化

王佳[1,2]，贾国东[1]，王国安[2]*，陈梓勋[2]，石敏锐[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 中国农业大学资源与环境学院，北京 100094
* gawang@cau.edu.cn

源自植物表皮蜡质层的长链正构烷烃（*n*-C_{25} ~ *n*-C_{35}）在土壤、黄土-古土壤以及湖泊和海洋沉积物中广泛存在，且性质比较稳定，通常被认为是重建过去植被和气候的重要生物标志化合物。然而，植物体进入土壤是一个漫长且复杂的过程，成岩作用可能会改变植物长链正构烷烃分子及其同位素信号。为了探究长链正构烷烃分子指标从植物到土壤的变化，本文以北京市西郊东灵山亚高山草甸植被、表土及土壤剖面作为研究对象，共采集优势植物样品 8 个、土壤样品 29 个，测试所有样品中长链正构烷烃含量及单体碳同位素组成。结果表明，不同深度土壤中长链正构烷烃均以 *n*-C_{31} 为主峰碳（C_{max}），与上覆优势植物——硬质早熟禾（*Poa sphondylodes*）长链正构烷烃的 C_{max} 一样。从植物到表土，长链正构烷烃碳优势指数（CPI）降低了 17.9，而平均碳链长度（ACL）变化很小；总有机质碳同位素（$\delta^{13}C_{bulk}$）值增加 2.9‰，而 *n*-C_{27}、*n*-C_{29}、*n*-C_{31} 和 n-C_{33} 正构烷烃单体碳同位素值（$\delta^{13}C_{27}$、$\delta^{13}C_{29}$、$\delta^{13}C_{31}$ 和 $\delta^{13}C_{33}$）只分别增加了 0.4‰、0.9‰、0.1‰和 2.0‰。随着土壤深度增加，长链正构烷烃总含量（Σalk）呈降低趋势，CPI 值的变化无规律，ACL 值变化量不超过 0.3。$\delta^{13}C_{bulk}$ 和 $\delta^{13}C_{alk}$ 值随土壤深度增加均呈升高趋势，$\delta^{13}C_{bulk}$ 增加 2.0‰，$\delta^{13}C_{alk}$ 平均增加 1.9‰。这些结果表明：（1）在原位土壤中，成岩作用不会改变植物长链正构烷烃 C_{max}，而且对 ACL 值的

影响也较小，但会明显降低 CPI 值；（2）从植物到土壤，$\delta^{13}C_{alk}$ 值比 $\delta^{13}C_{bulk}$ 值更加稳定，$\delta^{13}C_{alk}$ 值是更好的古环境代用指标。

S28-O-22

中国泥炭地表层微生物 GDGTs 环境指示意义

张莉佳[1]，丁伟华[1]，龚林锋[2]，杨欢[1]*，谢树成[1]

1 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室，武汉 430074

2 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361005

* yhsailing@163.com

古菌和细菌的脂类分子甘油二烷基甘油四醚(Glycerol Dialkyl Glycerol Tetraethers, GDGTs)是一类重要的生物标志化合物，对环境变化响应灵敏，是很好的研究气候变化的工具。独特的泥炭地环境具有丰富的有机质和缺氧的条件，且分布广泛、沉积稳定，是全球变化的重要研究载体。此前细菌 brGDGT 的 MBT/CBT 指标在全球表层土壤样品中展现出与大气年均温 MAT 和土壤 pH 的线性相关性，因此将细菌 brGDGT 用于泥炭以尝试获得独立的 MAT 和 pH 变化。由于泥炭 pH 可能与水位或区域降雨量建立联系，GDGTs 或许可作为一个潜在的古水文指标。

将中国不同区域的 10 处泥炭地的表层泥炭 GDGTs 作为研究对象，讨论 GDGTs 分布与泥炭地气候环境因子之间的关系，得到以下认识：

中国泥炭中 isoGDGT 与 brGDGT 的相对含量 Ri/b 指数几乎全部＜0.2，其中大部分样品的(1)Ri/b 指数低于 0.1。其中 isoGDGTs 的分布以 GDGT-0 为主，bGDGTs 中 Ia 的相对含量最多，6-甲基 brGDGTs 异构体中最丰富的是 IIa’。

(2)RDA 分析显示 isoGDGT 含量与年降水量 MAP 和大气年均温度 MAT 呈正相关关系，而与 pH 呈负相关关系。

(3)BrGDGTs 的 6-甲基异构体相对含量指数 IR 值随 pH 增加而增加，pH 小于 4 的泥炭地没有检测到 6-甲基异构体，IR 值似乎也可作为泥炭 pH 的新指标。相比于全球泥炭数据集，中国泥炭的 IR 分布模式更加类似于土壤数据。

(4)在分离 5-甲基和 6-甲基 brGDGTs 之后，CBT'_{5ME} 和 CBT'_{6ME} 都与 pH 呈显著的负相关关系，brGDGTs 及异构体的环化程度对 pH 响应的一致性说明 CBT 可以作为泥炭 pH 重建的可靠指标。

(5)在酸性泥炭中几乎没有 6-甲基 bGDGTs，MBT'_{6ME} 值维持在 1，MBT'_{6ME} 表现出的与 pH 的相关性可能不是由于其甲基化程度受 pH 影响。此外单种 6-甲基 brGDGTs 异构体含量对 pH 的响应发现主要的 6-甲基 GDGT（IIa'、IIb'和 IIIa'）均对 pH 有良好响应，本质上说明是 6-甲基异构体的相对含量变化在响应 pH。

(6)BrGDGTs 甲基化指数 MBT'_{5ME} 与温度高度相关，MBT'_{6ME} 也与温度有较好相关性，但考虑到 6-甲基异构体还受控于 pH，因此认为选用 MBT'_{5ME} 进行古温度重建更为可靠。

(7)古菌各 isoGDGTs 化合物的“肩峰”与其对应的古菌 iGDGTs 之间的相对含量的变化与 pH 相关。在更酸性的表层泥炭中，“肩峰”含量较低，随着 pH 增加，“肩峰”化合物的相对含量明显增高，几乎与对应的常规 isoGDGT 的含量相等。

S28-O-23

中国南方土壤和泥炭剖面细菌支链 GDGTs 随深度的变化：对古环境重建的启示

满怡[1,2]，肖文杰[3]，丁伟华[1]，裴宏业[1]，杨欢[1,2]*，谢树成[1]

1 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室，湖北武汉 430074

2 中国地质大学地理与信息工程学院，湖北武汉 430074

3 南方科技大学海洋科学与工程系，广东深圳 518055
* yhsailing@163.com

微生物通过改变细胞膜的化学组成，能够适应温度等环境条件的变化，是环境变化出色的响应者。脂类作为微生物细胞膜的主要组成成分，其组成的变化具有很好的环境指示意义。甘油二烷基甘油四醚（Glycerol Dialkyl Glycerol Tetraether lipids，GDGTs）是一种微生物膜脂成分，可分为古菌类异戊二烯型 GDGTs（Isoprenoid GDGTs，isoGDGTs）和细菌支链型 GDGTs（Branched GDGTs，brGDGTs）。基于它们建立的一系列环境代用指标可用于古环境、古气候的重建。其中细菌 brGDGTs 广泛存在于土壤中，研究表明细菌 brGDGTs 的甲基相对数量主要与年平均气温（MAT）和土壤 pH 有关，而环戊烷环的数量主要与土壤 pH 有关，因此创建了 MBT 指数（甲基相对数量）和 CBT 指数（环戊烷相对数量），两者结合以重建陆地古温度。

细菌 brGDGTs 的生物来源未知，以往的研究多集中于温度和 pH 对细菌 brGDGTs 分布的影响，自然环境中是否还存在其他的因素会影响 brGDGTs 的分布还未可知。本研究采集中国南方云南昆明红壤剖面、湖北武汉喻家山红壤剖面和湖北恩施二仙岩泥炭剖面，查明 brGDGTs 随深度的变化。通过最新的液相色谱-质谱方法检测了剖面不同深度的细菌 brGDGTs，对其含量、组成、相关指标以及与深度变化的相关性进行分析，明确细菌 brGDGTs 分布如何受深度变化影响。

在四个剖面中都检测出 brGDGTs-Ⅰa、IIa、IIIa、Ib、IIb、Ic、IIc7 种化合物。其中含量最高的是 brGDGTs-Ⅰa。在昆明和武汉红壤剖面中主要以 5-甲基 brGDGTs 为主，还发现了 6-甲基 brGDGTs-Ⅱa'的存在，而两个二仙岩泥炭剖面中几乎不存在 6-甲基 brGDGTs。

在所有剖面中 brGDGTs-Ⅰa 的含量与深度的变化均具有良好的负相关性，而 brGDGTs-Ⅱa 与 brGDGTs-IIIa 的含量与深度的变化因剖面类型的不同而不同。由此可见，不含甲基的 brGDGTs-Ⅰa 在土壤和泥炭样品中对深度的响应较为灵敏。含有五元环的 brGDGTs-Ⅰb、brGDGTs-Ⅱb、brGDGTs-Ⅰc、brGDGTs-Ⅱc 的含量随深度的增加都表现出类似的趋势：在表层的含量极低，随着深度增加其含量迅速升高达到峰值，之后略有降低后保持在该较低值的附近波动。随着深度的增加，氧气含量减少，说明在土壤中细菌 brGDGTs 会对氧气含量的变化做出响应。对于含五元环的 brGDGTs 在土壤中含量到达峰值的位置，代表的可能是产 brGDGTs 厌氧菌生存的最适深度。由于泥炭的通气性比土壤通气性差很多，含五元环的 brGDGTs 在泥炭中在较浅的位置其含量就达到了稳定，致使泥炭中其含量随深度变化的相关性较低。这也从另一个角度印证了氧气含量会对 brGDGTs 的组分造成影响。

从指标上来看 MBT 指标未能在所有的土壤中都表现出与深度变化的相关性，CBT 则与深度有着较好的相关性，在所有剖面中都表现出随着深度增加其值减小的趋势，这启示我们在重建古环境时沉积相的氧化还原环境的不同会使重建的温度和 pH 产生特定的偏差。

S28-O-24

二叠纪—三叠纪之交赤道泥炭地脂类分子变化特征及古生态意义

吴佳琪，罗根明*，谢树成

1 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室，武汉 430074
* gmluo@cug.edu.cn

二叠-三叠纪之交发生了显生宙最严重的一次生物大灭绝事件，海洋和陆地生态系统也受到强烈的扰动。目前的研究主要针对海相地层，而对于这个时期陆地生态系统的演变研究还较少。华南贵州西部云南东部地

区发育有非常良好的二叠纪-三叠纪过渡期陆相和海陆过渡相地层，因此本研究选取了云南曲靖市的 ZK4703 剖面，进行有机地球化学脂类分子的研究。结果表明，总体上，除了宣威组的顶部（15m）处左右，正构烷烃的短碳链（(C_{15}+C_{17}+C_{19})/总正构烷烃）所代表低等菌藻类呈现了下降趋势，而长碳链（(C_{23}+C_{25}+C_{31}+C_{33})/总正构烷烃）代表的沉水植物则呈现上升趋势，表明在晚二叠世至早三叠世期间存在明显的低等菌藻类的相对减少和陆源高等植物输入的相对增加，然而，作为陆源高等植物输入的指标 Pr/Ph 在卡以头组 20m 处呈现显著下降趋势，表明了陆地植物群遭受了崩塌瓦解，陆源高等植物输入量的减少。结合 Paq 指标，总体上呈现了降低趋势，表明当时的气候环境干旱情况的加剧。此外，对应有机碳同位素负偏的开始，沉积物中的热解多环芳烃（Polycylic aromatic hydrocarbons, PAHs）浓度增加，结合前人已发表的化石木炭数据，表明森林野火活动的频发，同时，生物多样性发生骤减，而其后 PAH/TOC 的明显增加对应了 Hg/TOC 的峰值，这表明气候变化导致了陆地生态系统的崩塌，火山活动只是雪上加霜。此外，二苯并呋喃（Dibenzofuran, DBF）发生了对应的两次增加，表明这两次事件都导致了陆地土壤侵蚀的加剧。

S28-P-01

Photosynthetic production determines bottom water oxygen variations in the upwelling coastal South China Sea over recent decades

朱小畏[1,3]*，贾国东[2]，颜文[1,3]

1 中国科学院南海海洋研究所边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

* miseraboy@126.com

Dissolved oxygen (DO) in seawater is fundamental to marine ecosystem health. How DO in coastal upwelling areas responds to upwelling intensity under climate change is of particular interest and vital importance, because these productive regions account for a large fraction of global fishery production and marine biodiversity. The Yuedong Upwelling (YDU) in the coastal northern South China Sea can be served as a study case to explore long-term responses of DO to upwelling and climate due to minor influence of riverine input. Here, bottom water DO conditions were recovered by sedimentary $C_{28}\Delta^{22}/\Delta^{5,22}$ ratios in three cores, showing overall increasing trends in oxygenation in response to intensified YDU over recent decades. This occurrence is impossibly ascribed to the YDU-involved physical processes, including southwesterly wind-induced onshore advection of source waters from outer shelf and oceanic warming due to enhanced El Niño, which would rather lead to less oxygenation in bottom waters in recent decades. Intriguingly, the alcohol records of *n*-$C_{20:1}/C_{28}\Delta^{5,22}$ and *br*-$C_{15}/C_{28}\Delta^{5,22}$ ratios, indicative of the relative strengths between biogeochemical oxygen consumption (i.e., by zooplankton and microbes) and photosynthetic oxygen production (i.e., by phytoplankton), showed overall decreasing trends that changed almost in parallel with the $C_{28}\Delta^{22}/\Delta^{5,22}$ records upon the cores. Therefore, we propose that the biogeochemical process is more likely responsible for bottom water DO variability in the YDU area. This study may suggest an important biogeochemical mechanism of photosynthetic production in determining bottom water DO dynamics in shallow coastal upwelling regions with minor

contribution of riverine input.

S28-P-02

微生物生物膜对潮滩泥沙稳定性的影响

陈欣迪[1]*，张长宽[2] ，龚政[3]，余锡平[1]

1 清华大学土木水利学院，北京 100084

2 河海大学港口海岸与近海工程学院，南京 210098

* chenxindi@mail.tsinghua.edu.cn

传统海岸动力学理论认为，海岸泥沙的侵蚀特性仅与物理化学因子有关。近年来的研究却发现，潮滩现场观测到的一些现象无法用传统的理论解释。例如，富含微生物的潮滩底沙常表现出较经典公式预测值高很多的临界起动切应力。这些问题的出现，引发了科学界的进一步思考，除理化因子外，海岸泥沙的侵蚀特性是否还与微生物因子密切相关？潮滩沉积系统中生活着数量巨大的微生物，微生物及其分泌的粘性物质形成的生物膜，附着泥沙颗粒而展现出的生物稳定效应，是一个新的研究难点，也是国际前沿和热点问题。

已有研究表明微生物生物膜可显著增加底床的临界起动切应力。然而，目前关于海岸、潮滩动力环境中生物膜对潮滩底沙侵蚀特性的影响和作用机制研究仍十分有限。国内外多围绕恒定流环境开展关于生物稳定的研究，但本研究发现，潮流、波浪动力作用下（海岸环境）生物膜-泥沙的形成与恒定流条件下（河流环境）存在明显差异。本研究利用交叉学科手段，涉及海岸动力学、泥沙运动力学、环境微生物学，通过解读潮流作用下生物膜-泥沙抗侵之间的互作机制，真实还原微生物因子与海岸稳定的协同演化关系，将生物稳定效应的研究扩展至海岸工程领域。研究成果可以丰富海岸动力学和泥沙运动力学的学科内涵，为海岸生物稳定技术的开发和应用提供科学依据，在潮滩保护、海岸工程底床稳定性设计及安全评价等领域有丰富的工程应用前景。

S28-P-03S

温度对四醚膜脂组成和分布的影响

张金玉[1,2]，杨群慧[1,2]*

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* yangqh@tongji.edu.cn

四醚膜脂作为古菌和部分细菌的细胞膜脂组分，有研究认为其组成受到温度的影响，因此常被用于重建古温度参数。但是也有研究认为其组成受 pH、DO 等的影响较大。本研究选择云南腾冲热泉 3 根具有不同温度剖面的沉积柱开展四醚膜脂组成和分布的研究，以探究温度对其影响程度。

柱 1、柱 2 和柱 3 采集的沉积物深度分别为 36cm、20cm 和 28cm，温度变化范围分别为 64.2~90.8 ℃、42.3~72.6 ℃和 66.5~73.2℃。其中，柱 1 在 0~16cm 深度内温度从 64.2℃升高至 90.8℃，16cm 以深温度基本保持 90.8℃不变；柱 2 在 0~20cm 深度内温度从 42.3℃逐渐升高至 72.6℃；柱 3 在 0~10cm 深度内温度从 66.5℃升高至 73.2℃，10cm 以深温度基本保持 73.2℃不变。

样品中的完整极性脂质组成没有检测到磷头基，主要是带单糖头基的 iGDGTs，带两个糖头基的 iGDGTs 仅出现在表层两个层位中。核心脂质检测到 iGDGTs-0~6、crenarchaeol 及其同分异构体、brGDGTs-Ia~IIIc、iGTGT-0、iGMGTs-0~4 以及少量的 iGDGT-7 和 iGDGT-8，组成以 iGDGT-4、iGMGT-0、iGMGT-4 和 brGDGT-Ia 占主导。垂向分布上，古菌和细菌四醚核心脂总含量随温度升高呈现明显逐渐降低的趋势；细菌膜脂在表层占主导，随着温度的升高，古菌膜脂相对含量逐渐增加。其中，在柱 1 最底层，古菌膜脂含量占总膜脂的 98%以上。这

一研究结果与同步的微生物分布数据结果一致。

进一步分析发现，温度对柱 2 和柱 3 中样品的 RI 和 H-RI 值没有明显的影响，但是，在柱 1 中则有差异性影响。柱 1 样品的 RI 值随温度的升高不断增加，当温度不变时，RI 也基本恒定；而 H-RI 值则呈现相反的变化趋势，当温度从 64.2℃到 90.8℃逐渐增加的过程中，H-RI 值很低且基本不变，但是在温度维持在 90.8℃左右的地层中 H-RI 出现了高值。这一研究结果有别于前人得出的温度对 H-RI 一般是无影响或者是正相关的认识，推测可能是由于特定环境条件下温度对 H-RI 的影响存在临界温度值，这需要进一步的研究去证实。

S28-P-04S

脂类标志物指示的楚科奇海过去 70 年中的水体结构和生产力变化

高超[1]*，杨义[1]，张一歌[2]，杨欢[1]，吕晓霞[1]，王红梅[1]，阮小燕[1]*，于晓果[3]*

1 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室，武汉 430074

2 Department of Oceanography, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA

3 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* ruan6231@163.com, yuxiaoguo@sio.org.cn

The Chukchi Sea has experienced significant changes as a result of global warming, which significantly impacted the primary productivity in this area. Previous studies focus on the effects of environmental changes at short-term scales. Here, we characterize the biomarkers (e.g. *n*-alkanes, *n*-alkanols, *n*-alkanoic acids, diols, sterols, and IP_{25}) from a sediment core (R07) to highlight the temporal variations and factors that influenced primary productivity in the Chukchi Sea Shelf during the past 70 years. Our results show that the sediment core studied contains organic matter of both terrestrial and marine origin. Similarity in the temporal variations of terrestrially-derived compounds (e.g. long chain *n*-alkanes, *n*-alkanols, *n*-alkanoic acids and C_{32} 1,15 diol) indicate that the changes in terrigenous input is mainly controlled by river discharge. In Core R07, the terrigenous input exhibits an increasing trend before ca.1983, and a decreasing trend thereafter. According to source-specific biomarkers, the phytoplankton community display obvious changes, with an elevated ratio of diatoms to dinoflagellate after ca.1983. Concurrent changes in the terrigenous input and phytoplankton community indicated a water structure alteration at ca.1983. This alteration is attributed to an Arctic Oscillation shift and unsynchronized changes in different water masses. Temporal variations of marine biomarkers in Core R07 reveal an overall increasing trend in primary productivity. However, primary productivity significantly decreased from ca.1983 to ca.2000, which we speculated might be caused by water structure change. Owing to the water structure change, there was intense water mixing and light limitation in the study area, and these conditions probably account for the reduced primary productivity. The present study demonstrates that in addition to global warming and sea ice retreat, other factors, such as alteration in water structure, may also have a significant influence on the primary productivity and the phytoplankton community in the Chukchi Sea Shelf.

S28-P-05S

过去 170ka 以来西太平洋暖池水文变化的有机地球化学记录

郁金勇，李丽*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* lilitju@tongji.edu.cn

西太平洋暖池是赤道附近大气加热最强、全球海气相互作用最显著的区域，被认为是全球水汽的主要来源以及热输送引擎，对于调节全球气候有着举足轻重的影响。目前西太平洋暖池区域内冰期-间冰期尺度的水文变化重建结果有着巨大争议，存在显著的地域性差异。利用 KX12-1 岩心（1°48.81’S, 143°40.09’E）BIT 指标、烷烃链长指标（ACL、C_{31}/C_{27}）重建了过去 170ka 以来巴布亚新几内亚北部的水文变化，并结合 KX12-1 岩心已发表的 Ln(Fe/Ca)降水指标讨论了多种指标对当地降水的差异化响应。过去 170ka 以来，Ln(Fe/Ca)指标具有连续的岁差周期，振幅和相位保持恒定，未受到冰期-间冰期变化的影响；BIT 指标也显示了连续的岁差周期但其数值在冰期明显降低；烷烃链长指标最为特殊，似乎受到了冰期-间冰期变化的强烈影响，冰期时数值较高而间冰期及冰消期时数值较低。生物标志物和元素记录的差异可能源于其对降水的选择性响应，Ln(Fe/Ca)指标主要反映了当地雨季的降水，BIT 指标也主要记录雨季降水但也受到旱季时土壤干燥度的影响而烷烃链长指标主要反映雨季和旱季的长度和强度的变化。BIT 指标和烷烃链长指标共同反映了当地冰期时时旱季水分胁迫加剧。冰期低海平面导致的水汽来源减少、南半球低太阳辐射导致的湿润夏季季风的减弱以及类厄尔尼诺状态导致的降雨减少及降水季节性增强是旱季水分胁迫加剧的可能原因。我们的有机地球化学记录显示了岁差周期对西太平洋暖池降水的主导作用及冰期-间冰期变化对水文变化的显著影响。

S28-P-06S

Effects of Anthropogenic Activities and Climate Changes on Phytoplankton Biomass and Community Structure revealed by Lipid Biomarkers

Jiawei Gao[1], Rong Bi[1,2]*, Yaoyao Wang[1], Meixun Zhao[1,2]

1 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, and Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2 Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China

* rongbi@ouc.edu.cn;

Phytoplankton biomass has strongly increased in eutrophic coasts, particularly showing an increasing occurrence of harmful algal blooms. The coastal areas of the East China Sea (ECS) are influenced by complex interactions of anthropogenic and climatic forcing, while the mechanisms of phytoplankton variation and its ecological consequences are still unclear. We measured lipid biomarker contents (brassicasterol, dinosterol and C_{37} alkenones) and the relationship between lipid biomarkers and environmental factors in suspended particulate matters in spring and summer in the coastal areas of the ECS. The high values of total lipids in spring were located in the Changjiang River plume and Zhejiang coast. Specifically, high-value areas of dinosteol were located in the river plume, but those of brassicasterol in the outer area. The proportions of alkenones increased in the upwelling area. In summer, the high values of total lipids and brassicasterol occurred in the northern part of the study area, while the contents of dinosterol and alkenones were higher in the south. Correlation analysis shows that nutrient concentrations played a key

role on phytoplankton biomass in both seasons, with the effects of temperature and salinity being more important in spring, and turbulence and turbidity in summer. The effects of Changjiang dilute water (CDW) and upwelling on phytoplankton biomass and community structure were distinguished, indicating high contributions of dinoflagellates in the CDW in spring, diatoms in the mixing area of the CDW and upwelling in both seasons, and haptophytes (in spring) or dinoflagellates (in summer) in the upwelling. Our results suggest that lipid biomarkers are useful proxies to reveal phytoplankton biomass and community structure in the highly dynamic and eutrophic coast, providing strong support for their applicability in biogeochemistry and paleoenvironmental reconstruction.

S28-P-07S

Spatial variations of phytoplankton biomass and community structure in the northwest Pacific revealed by lipid biomarkers during summer

Yaoyao Wang[1], Rong Bi[1,2,*], Jing Zhang[1,2,3], Jiawei Gao[1], Shigenobu Takeda[4], Yoshiko Kondo [4], Fajin Chen[5], Meixun Zhao[1,2]

1 Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, and Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2 Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China

3 Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama, Toyama, Japan

4 Graduate School of Fisheries and Environmental Sciences, Nagasaki University, Nagasaki, Japan

5 College of Ocean and Meteorology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

* rongbi@ouc.edu.cn

Phytoplankton biomass and community structure in the northwest Pacific play important roles in ecosystem functions and global carbon cycle, both showing significant spatial variations which are strongly influenced by the Oyashio and Kuroshio currents. However, the lack of large-scale phytoplankton surveys covering several currents hinders our understanding of spatial forcing mechanisms in the northwest Pacific. Here, we present phytoplankton biomarker brassicasterol/epi-brassicasterol, dinosterol and C_{37} alkenones concentrations and their proportions in surface suspended particles of the northwest Pacific during summer. Spatial distribution patterns and correlation analyses with environmental parameters (temperature, salinity and nutrients) reveal that nutrient availability in different water masses play a dominant role in controlling the variations of phytoplankton biomass and community structure. The biomass and proportions of brassicasterol/epi-brassicasterol were higher in the eutrophic Oyashio region, while dinosterol and C_{37} alkenones contributions were high in oligotrophic region affected by the Kuroshio where the biomass was low. Modified Kuroshio water mixing with shelf water in the Tsushima region enhanced P deficiency and dinosterol contributions, opposite to the pattern in mixed water region where Kuroshio mixes with Oyashio water. However, the proportions of C_{37} alkenones were increased in the Tsushima region and mixed water region owing to the interactions between Kuroshio and eutrophic water mass. The results indicated that lipid biomarkers are useful proxies for phytoplankton biomass and community

structure in the open ocean.

S28-P-08S

台湾新养女湖泥火山沉积脂类化合物特征及碳同位素

翟梦月[1,2]，刘丽华[1]*，吴怀春[2]，茅晟懿[1]，魏雪芹[2,3]，马晓理[2,3]

1 中国科学院广州能源研究所，中国科学院天然气水合物研究重点实验室，广州 510640

2 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083

3 中国科学院大学，北京 100049

* liulh@ms.giec.ac.cn

泥火山的喷发将原本无法取样的深处几公里以内的气体、液体和固体颗粒运送到地球表面，提供了可以观察深层地下环境的通道，具有深部岩石圈与生物圈的研究窗口、油气勘探、碳氢化合物矿床的指示标志、影响全球气候变化、监测地震活动、和地质灾害等作用。我国的泥火山基本上都与石油或天然气水合物有一定的关系，海底泥火山与天然气有关，陆地泥火山与石油有关。台湾南部泥火山异常发育，沿旗山断层分布的新养女湖泥火山（SYNH MVs）是喷发剧烈的典型代表。为了进一步了解生物地球化学过程，本文以脂质生物标志物和单体碳稳定同位素为主要工具，从沉积物中生物标志物角度分析台湾新养女湖泥火山沉积物的来源与形成环境，以研究样品中脂类有机物及其单体碳同位素特征，评估有机物的特征和来源。本文对四个泥浆喷口泥水混合物（SYNH MV-01、SYNH MV-02、SYNH MV-03、SYNH MV-04）、两根沉积柱样（SYNH MV-01 喷口下游）及休眠泥火山泥样（SYNH MV-02 喷口附近）进行了脂质生物标志物与单体碳稳定同位素分析。结果显示：所有样品的总脂含量具有相似的脂质生物标志物分布规律，饱和烃组分有正构烷烃、类异戊二烯烃（降姥鲛烷、姥鲛烷、植烷）、三降霍烷至三升霍烷类；脂肪酸组分有正构一元羧酸类、二元羧酸二甲基酯类、邻苯二甲酸二甲酯、支链脂肪酸、单不饱和脂肪酸和少量的藿酸，几乎无类异戊二烯酸（姥鲛酸、植烷酸）检出。正构烷烃呈单峰型分布，分布范围为 C15-C35，无奇偶优势，$CPI_{17\text{-}33}$ 均小于 1.2 且接近 1，$OEP_{25\text{-}29}$ 值大于 1 小于 1.2，w (Pr) / w (Ph) 值范围为 2.81～4.55，藿烷类的 22S/（22S+22R）比值相对接近热力学平衡值（约 0.6）；正构脂肪酸呈双峰型分布，分布范围为 C13-C32，呈偶碳优势，$CPI_{15\text{-}31}$ 均小于 0.5，$OEP_{25\text{-}29}$ 值小于 1，$EOP_{24\text{-}29}$、$EOP_{26\text{-}30}$ 均大于 1。正构烷烃碳稳定同位素分布在-23.04‰~-32.89‰，波动范围小，随着碳数增加呈略微下降的变化趋势，碳同位素比值逐渐变重，高碳数部分偏重 2‰左右。正构烷烃和正构脂肪酸碳同位素值较低。分析表明，沉积物中有机质主要来源于石油烃的热降解，具有中等至高度的热成熟度，沉积环境为弱氧化弱还原。

S28-P-09S

有孔虫壳体中海洋有色溶解有机质的记录

张慧敏，胡超涌*，邱志莆

1 中国地质大学（武汉）地理与信息工程学院，武汉 430074

* chyhu@cug.edu.cn

有色溶解有机质（CDOM，Colored dissolved organic matter），吸收可见和紫外光，能有效减少海洋的紫外线辐射，保护海洋生物。现代海洋 CDOM 含量的全球分布和演化过程以及形成机制有了广泛研究，但是对于古海洋的CDOM及其变化知之甚少。有孔虫作为表层古海洋环境信息的重要载体，被用于过去海洋温度和盐度等参数的重建，但是否能记录 CDOM 尚不清楚。本研究中，我们利用三维荧光仪对来自印度洋岩芯的浮游有孔虫壳体进行了光学特征研究，识别有机质的性质，调查有孔虫壳体对CDOM 的记录。初步的研究结果表明，有孔虫中保存的 CDOM 荧光光谱与现代海水具

有很强的相似性，有孔虫的两个荧光特征峰，A 峰(EX:260 nm,EM:400-460 nm)和 C 峰（EX:320-360 nm,EM:420-460 nm），与海水中 CDOM 的相符合。不同的时期有孔虫的荧光光谱也存在明显的差异，可能与过去海水的 CDOM 演化有关。建议下一步针对有孔虫中 CDOM 进行更为详细的研究，开发出反映海水 CDOM 变化的新指标。

S28-P-10

IsoGDGTs and their biphytane $\delta^{13}C$ values along the biogeochemical gradient of the Pearl River estuary

Juan He[1], Jiayuan Jia[1], Wei Guo[2], Guodong Jia[1]*

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, China

2 Collage of Water Resources and Environmental Engineering, East China University

* jiagd@tongji.edu.cn

Recently, an isotope flux-balance model was proposed that the stable carbon isotopic composition ($\delta^{13}C$) of crenarchaeol, produced by the autotrophic marine Thaumarchaeota, are dependent on passive CO_2 uptake and a slow rate of intracellular conversion to HCO_3^-, and this model was tested applicable in the open ocean environments. However, further works are required in environments with lager ranges of aqueous pCO_2 and diverse archaeal communities to examine if the $\delta^{13}C$ value of crenarchaeol could be still predicted by the model. Here we report the $\delta^{13}C$ values of biphytanes released from the archaeal tetraether lipids (i.e., GDGTs) in sediments along a transect exhibiting shifts in archaeal community and showing gradients of salinity, pH and pCO_2 in the Pearl River estuary, South China. Methanogen and methanotrophic Euryarchaeota are existent, although not significant, in the upper estuary as revealed by the elevated relative abundances of GDGT-0 and higher values of methane index, as well as the more ^{13}C-depleted biphytanes released from GDGTs 0–3 (BPs [0]–[2]) than the crenarchaeol-derived BP[3]. Toward the lower estuary and the coastal sea, GDGT distributions tend to indicate archaeal communities under normal marine conditions, but there is still differences in $\delta^{13}C$ values between BP[0] and BP[3] by 2.4‰ although the offsets between BPs [0]–[2] and BP[3] disappear, likely due to the existence of Marine Group II Euryarchaeota. Along such a physicochemical and biogeochemical gradient, values of $\delta^{13}C_{BP[3]}$ increase monotonically with increases of salinity and pH and decrease of pCO_2. This phenomenon resembles the reported $\delta^{13}C_{GDGT}$ variations with water depth in the open ocean, and hence consistent in direction with the isotope flux-balance model for Thaumarchaeota. However, our estimated apparent biosynthetic isotope effect (ε_{Ar}) of crenarchaeol, ranging from 19.1‰ to 14.8‰, are mostly lower than those estimated in the open oceans. With the constraint of archaeal growth rates in the dynamic estuarine environments, we suggest a lower intracellular kinetic isotope effect for CO_2 hydration (ε_{HYD} = 20‰ vs. 25‰ that was set for *Nitrosopumilus maritimus*) should be appropriate in this study. Whether such a lowered ε_{HYD} value results from changes in thaumarchaeal populations or reflects variable ε_{HYD} under special, atypical marine environments needs future investigations.

S28-P-11S

亚北极太平洋 15 万年来古生产力及古海洋演化— 基于有机分子的沉积记录

张钰莹[1]，胡利民[1,2,3]*，刘焱光[1,3]，姚政权[1,3]，石学法[1,3]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

2 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

* hulimin@ouc.edu.cn

海洋浮游植物通过光合作用固定大气 CO_2，而有机质的分解及海水与大气的通风作用可将 CO_2 释放回大气，影响海洋与大气之间的碳循环。亚北极太平洋作为太平洋连接北冰洋的重要海域，是典型的 “HNLC” 区，同时也是全球三大碳汇海域之一，因此认识该区地质历史时期中沉积有机质的来源、古生产力及古海洋演化，有助于理解不同时期亚北极太平洋有机碳的长期储存及其对全球气候变化的响应机制。本研究以亚北极太平洋底特律海山的 LV63-4-2 岩芯为对象，基于正构烷烃、菜籽甾醇、TEX_{86} 等有机分子指标以及有机碳、蛋白石等地球化学指标，揭示了该区 15 万年来古生产力及古海洋演化的变化规律，初步探讨了该区不同时间尺度中海洋生产力的影响机制。研究发现该区海洋生产力变化与 n-Alkane 指示的有机质含量都具有较显著的旋回特征；进一步推测在 MIS4 冰期 TEX_{86}-SST 回升可能引发了表层生产力的异常勃发；而烷烃指数以及 BIT 指标指示此时陆源有机质输入增强，可能反映海冰部分融化和洋流作用下的陆源物质供给增高。而在 MIS2 和 MIS6 期，浮游植物生长可能受 SST 限制，且由于北太平洋中层水增强，使得底部营养物质上涌减弱，导致初级生产力降低。综上，研究认为北太平洋中层水的加强导致研究区生物泵减弱，以及更多的 CO_2 被封存于深海共同作用可能造成冰期 CO_2 逸出减少，研究有助于厘清亚北极太平洋冷期生产力峰值事件及其对全球气候变化的响应机制。

S28-P-12S

Contrasting Holocene Terrestrial Temperature Variations in Mid-latitude Eurasia

Jiang Jiawei[1], Meng Bowen[1], Snezhana Zhilich[2], Sergey Krivonogov[3,4], Jiang Qingfeng[5], Chu Guoqiang[6], Liu Zhonghui [1]*

1 Department of Earth Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong, China

2 Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russia

3 Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk 630090, Russia

4 Novosibirsk State University, Novosibirsk 630090, Russia

5 Institute of Geographic Engineering Technology, School of Geography Sciences, Nantong University, Nantong, 226007, China

6 Key Laboratory of Cenozoic Geology and Environment, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029, China

* jwjiang@connect.hku.hk, zhliu@hku.hk

Understanding the early to mid-Holocene climate mystery is crucial for reliable projection of the future warming scenarios. However, temperature inconsistency between proxy-based reconstructions and model-derived simulations, namely ‘the Holocene temperature conundrum’, highlights the importance of understanding temperature change during the Holocene and associated physical mechanisms. Meanwhile, Holocene terrestrial temperature reconstructions from Eurasia are very limited, regional Holocene

temperature evolution and temperature–moisture association remain speculative. Here we present three alkenone-based warm season temperature records ($U^{k'}_{37}$ index) over the past ~10,000 years from mid-latitude Eurasia (Lake Yihe, northeastern China; Lake Sayram, northwestern China; and Lake Ebeyty, southwestern Siberia, Russia). Two types of temperature evolution patterns are identified. Temperature variations in Lake Yihe and Sayram show general cooling trends, with several millennial-scale fluctuations superimposed on the long-term trends. However, temperature history of Lake Ebeyty is characterized by a warmer late Holocene, and extreme coldness occurred during the mid-Holocene (~5,000-7,000 years BP), contrasting with records from Arid Central Asia and Monsoonal margin region of China. We speculate that the temperature disparity in mid-latitude Eurasia during the early to mid-Holocene and its reduction towards the late Holocene might be related to a large-scale shift of atmospheric circulation modes during the mid-Holocene.

S28-P-13S

The role of membrane lipids in low pH resistance of archaea in acid mine drainage

Wei He[1,2], Fengfeng Zheng[1,2], Yangkai Zhou[1,2], Hongxia Ai[3], Linan Huang[3], Chuanlun Zhang[1,2]*

1 Shenzhen Key Laboratory of Marine Archaea Geo-Omics, Southern University of Science and Technology，Shenzhen, 518055, China

2 Department of Ocean Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, 518055, China

3 School of Life Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China

* zhangcl@sustech.edu.cn

Acid mine drainage (AMD) has attracted attention from environmental microbiologists because of the existence of extremely acid-tolerant microbes in this unique ecosystem based on metagenomic and metatranscriptomic studies. To understand the role of membrane lipids in acidic resistance of archaea, we extracted and detected lipids from AMD sediments in southeast China. Metagenomic data showed that the most abundant archaea were Euryarchaeota. LC-MS analysis showed a large number of archaeal glycerol dialkyl glycerol tetraether (GDGT) compounds with1G-GDGT-4 (GDGT with one polar head group and four cyclopentyl rings) being the most abundant GDGTs. 1G-GDGTs were much more abundant than other GDGTs and the composition of polar head group varied under different pH conditions, suggesting that the diversity of polar head groups with the 1G-GDGTs may play a role in acid resistance. The data also showed preference of even numbers of cyclopentyl rings in GDGTs, which may indicate that the symmetrical distribution of cyclopentyl rings in membrane lipids is beneficial to the survival of archaea in acidic environment.

S28-P-14

泰国湾百年来沉积有机碳汇变化及环境响应

白亚之[1,2,3]，乔淑卿[2,3]，吴斌[2,3]，胡利民[1,3]*，王楠[1]，范德江[1,3]，杨刚[2,3]，石学法[2,3]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院海底科学与探测技术教育部重点实验室，山东青岛 266100

2 自然资源部第一海洋研究所海洋沉积与成矿作用重点实验室，山东青岛 266061

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，山东青岛 266237

* hulimin@ouc.edu.cn

泰国湾海域海陆相互作用强烈，受东亚季风气候和陆源输入影响显著，是研究海洋沉积物中有机碳埋藏与陆源输入、海洋初级生产力和海洋环境演化关系的理想靶区。基于 2011 年南海底质调查专项调查获得的样品资料，以总有机质与分子水平生物标志物以及粒度等参数为基础，结合 ^{210}Pb 建立的高分辨年代地层框架，重建了该区百年来有机碳的沉积记录，并初步探讨其对区域气候环境变化的响应。结果表明，该区沉积有机碳来源为海陆混合源，以海洋自生有机质为主。TOC 的垂向分布与 TN、δ^{13}C 具有较好的一致性，说明有机碳和氮来源较一致，TOC 含量随陆源有机质的增加而增加。δ^{13}C 显示沉积柱底部有机质以海源贡献为主，随后陆源有机质输入逐渐增加。基于沉积物干密度估算的质量埋藏速率以及陆源有机碳埋藏通量在 1960 年之后总体呈现降低的趋势，这可能与周边流域建坝等人类活动导致的入海泥沙量不断减少有关；然而，自 1980 年以来，δ^{13}C、ALKter（%）、C_{31}/C_{17} 显示出陆源有机碳输入明显增强，这可能反映了近些年来降雨的增强及沿岸侵蚀作用的加剧。

S28-P-15S

碰撞能量优化在古菌脂类化合物鉴定中的重要作用

张琬[1,2]*，郑峰峰[1,2]，张传伦[1,2]

1 南方科技大学深圳海洋地球古菌组学重点实验室 广东深圳 518055

2 南方科技大学海洋科学与工程系 广东深圳 518055

* 11930320@mail.sustech.edu.cn

古菌具有特殊结构的醚键膜脂化合物，其结构稳定，对环境变化响应敏感，具有重要的生物地球化学意义。近年来人们利用高效液相色谱和高分辨率质谱技术对古菌脂类化合物进行定量和定性分析，这极大地扩充了古菌脂类数据库。然而由于缺乏标准数据库，人们对古菌脂类化合物的鉴定仍存在各种问题。

化合物结构鉴定主要依赖二级质谱信息。MS/MS 二级质谱是质谱数据库的重要组成部分，为古菌脂类结构的解析提供了关键信息。其中碎裂池的碰撞能量大小对高质量二级质谱的获得至关重要。我们利用超高效液相色谱仪与 SYNAPT G2-Si qTOF 串联质谱仪的联用，对古菌脂类化合物的碰撞能量进行了优化。优化过程包括 1）通过 Fast-DDA 模式对纯培养的古菌膜脂化合物扫描，确定脂类化合物的准确分子量；2） 针对主要的古菌二醚及四醚化合物，选择高丰度的代表性化合物（m/z 在 500-2000 Da 之间，共计 21 个特征化合物），通过 MSMS 数据采集方式，以 10V 为梯度进行能量优化（10-65V 之间）。通过以下评判标准对上述化合物的最优碰撞能量进行确定：1）得到带有清晰的碎片离子特征的高分辨率质谱以完成化合物鉴定； 2)针对 Multiple Reaction Monitor (MRM)方法选择响应度最高的特征离子。针对不同化合物我们获得的最优能量在 20V-40V 之间。古菌膜脂化合物由于其结构复杂，同一样品包含的不同化合物所需碰撞能量不同。结果表明脂类化合物 m/z 越大，碰撞能量越高，得到的二级质谱越优质。碰撞能量的优化对我们古菌脂质数据库的建立、MRM 方法的开发等过程具有重要意义。

S28-P-16S

长江口外生物标志物氢同位素与海水盐度关系探讨

贾佳源，贺娟 *

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* hj08@tongji.edu.cn

搭载 2019 年度国家基金委共享航次，采集 3 月，7 月和 10 月长江口外表层沉积

物和现代水体中的悬浮颗粒物样品，通过对其中的生物标志物含量及其稳定氢同位素进行分析测试，尝试探讨和建立甲藻甾醇和菜籽甾醇的 δD 值与表层海水盐度（SSS）的关系。研究结果表明：

研究区域中表层沉积物中甲藻甾醇与菜籽甾醇的含量分布特征相似，均在河口区偏低，在浙江沿岸附近出现高值区。颗粒物中的甲藻甾醇与菜籽甾醇没有明显的分布规律，有明显的季节差异，夏季含量较另外两个季节均更高。同时两种甾醇的相对含量在表层沉积物与悬浮颗粒物中也有明显差异，表层沉积物中甲藻甾醇占优势，悬浮颗粒物中菜籽甾醇占优势，推测原因是表层沉积物中菜籽甾醇的降解程度更高或者经历了氢化作用的改造而大量转化为菜籽甾烷醇。

研究区域中表层海水的 δD 值与 SSS 的线性关系明显。表层沉积物中甲藻甾醇的 δD 值和 SSS 有显著的正相关性，特别是将河口区排除在外的结果；浙江沿岸附近的颗粒物中菜籽甾醇的 δD 值和 SSS 的正相关性同样显著。综合样品结果得出线性关系如下：δD=5.763(±0.741)*SSS-451.443(±22.033), R2=0.506, P<0.001, n=61（甲藻甾醇）；δD=4.207(±0.622)*SSS-392.573(±17.894), R2=0.621, P<0.001, n=30（菜籽甾醇）。但沉积物中菜籽甾醇的 δD 值，颗粒物中甲藻甾醇的 δD 值，和 SSS 的相关性均较差，推测沉积物中菜籽甾醇来源于混合种属的藻类，其 δD 信号对 SSS 具有不同响应；颗粒物中甲藻甾醇受海流搬运的影响而不能完全反映原位的信息。

S28-P-17

南海北部海底峡谷陆源有机碳搬运过程和机制

吴斌[1,2]*，乔淑卿[1,2]，石学法[1,2]，胡利民[2,3]，白亚之[1]，单新[1,2]，吴晓丹[4]

1 自然资源部第一海洋研究所海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

3 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室，青岛 266100

4 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室，青岛 266071

* wubin@fio.org.cn

海底峡谷是陆源有机碳由近海向深海搬运的主要通道，通过短暂间歇性沉积物搬运过程将大量陆源有机碳搬向深海，从而连接大气、陆地和海洋碳储库，对大气 CO2 调控和全球碳循环具有重要意义。分析了 2019 年 8 月南海北部琼东南盆地中央峡谷区载人深潜获得的 4 根原位、无扰动沉积短柱 ^{210}Pb 年代框架、粒度、有机碳（TOC、C/N、δ^{13}C）和常微量元素。结果显示琼东南盆地海底峡谷中 TOC 含量为 0.47~0.99%（平均值为 0.77±0.11%）。空间分布上，TOC 平均含量从峡谷上部到底部逐渐降低（0.85%到 0.70%），C/N 比值降低（7.0 到 5.6）而 δ^{13}C 相对富集（-22.6‰到-21.5‰），表明陆源有机碳的浓度梯度从峡谷顶部到底部也呈逐渐降低的趋势。在峡谷底部柱状沉积物中 TOC 含量大体从顶部层位向底部逐渐降低，而峡谷上部柱状沉积沉积物中 TOC 含量则呈先升后降再升的趋势。峡谷上部短柱（水深~900m）沉积速率为 0.15 cm/yr，显著高于峡谷底部的 3 根短柱（水深~1300 m）的 0.09~0.12cm/yr。底部短柱均在约 18-20 cm 左右出现粒度先粗后细的浊流沉积层序，在中值粒径最高的层位，含水率和 SSA 最低，Fe/Ti 比值升高，显示陆源碎屑物质输入增加，尽管 TOC 含量降低，但 δ^{13}C 相对亏损，表明陆源有机碳输入比值增加，推测海底峡谷广泛发育的浊流活动是陆源有机碳向深海搬运的触发机制。本研究结合载人深潜现场观测和地球化学综合分析，揭示了沉积有机碳在海底峡谷中分布的时空异质性，提供了海底峡谷中陆源有机碳搬运触发机制的地球化学证据。

S28-P-18S

中中新世南海北部古环境的有机地球化学研究

梁栋[1,2]，李丽[1,2]*，徐沁[1,2]

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* lilitju@tongji.edu.cn

中中新世作为全球气候由温室期向冰室期转变的重要阶段，近年来正越来越成为研究关注的焦点，而东亚地区在这一时期同样也发生了明显改变，目前已陆续有关于东亚中中新世相关的工作，但是普遍分辨率偏低不利于对具体气候行为进行研究。本研究依托 IODP1505 长时间高分辨率沉积物岩芯样品对 9.7-18.5Ma 南海北部的长链正构烷烃和 GDGT 相关指标进行分析并借此对东亚地区中中新世气候发展过程进行重建。对长链正构烷烃分析的结果显示在中中新世研究区间内地区降水方面呈现干湿交替的旋回特征，表明东亚季风尤其是夏季风的强度变化可能具有某种周期性特征；此外利用 TEX86 温度计获取了南海北部中中新世高分辨率水温记录信息，但是在记录 MMCO 暖事件时出现了低温异常现象，对此提出猜想或与该时期水体结构变化有关。

S28-P-19S

陆地输入对湖北梁子湖 GDGTs 环境代用指标的影响

樊嘉琛[1]，王永渤[1]，杨欢[1,2]*，谢树成[1]

1 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室，湖北 武汉 430078；

2 流域关键带演化湖北省重点实验室，地理与信息工程学院，中国地质大学（武汉）， 湖北武汉 430074）

* yhsailing@163.com

湖泊环境是陆地气候环境的良好记录载体，在第四纪环境研究中已经建立的许多代用指标在湖泊环境中均有广泛应用。来源于微生物细胞膜的甘油二烷基甘油四醚化合物（Glycerol Dialkyl Glycerol Tetraethers，简称为 GDGTs）具有化学性质稳定、具有一定的生源来源、在环境体中广泛存在的优点，成为古环境研究的有力工具。前人研究发现在表层土壤和湖泊沉积物中 5-甲基和 6-甲基支链 GDGTs（branched GDGTs，简写为 brGDGTs）对环境因子的响应存在很大不同，这可能是因为 5-甲基和 6-甲基 brGDGTs 具有不同的生物源。在湖泊中存在陆源输入物质的影响，也能够增加湖泊中 brGDGTs 对环境响应的复杂性，并且对该指标记录温度的可靠性存在争议。因此，进行高时间分辨率的微生物脂类时空监测是解决湖泊 brGDGTs 如何响应环境这个问题的关键。本研究沿着河口-湖泊中心的断面上在不同季节对悬浮颗粒物和沉积物进行采样，发现湖北梁子湖湖泊沉积物中核心 GDGTs 的 TEX86 指标与采样前一个月月均温 MATm 存在显著相关，而在河口和河口-湖心过渡段没有相关性，表明湖泊中可能存在大量自生古菌响应季节温度，陆源输入能够相助影响古菌 isoGDGTs 的分布；同时 TEX86 与 GDGT-0/Cren 存在较好的季节协同变化，且响应暴雨导致的高水位缺氧事件，可能受到含氧量等因素影响，但主要是受控于沉积物中古菌群落的变化。受陆源输入物质影响，在夏季 MBT′5ME 更多的是响应湖泊自身温度的信号，而在春秋季节响应陆源输入的信号。河湖过渡带陆源输入对 TEX86、GDGT-0/Cren 等 GDGT 指标具有明显的响应，尤其是高水位或滞水缺氧时期。本研究为评估陆地输入对浅水湖泊 GDGTs 相关指标的使用提供了现代过程的支持。

S28-P-20

冰期-间冰期尺度南海水体氮库稳定的脂类证据

董良[1]*，靖云阁[2]，康曼玉[3]，金晓波[3]，高树基[4]，贾国东[3]，王风平[1]*

1 上海交通大学海洋学院，上海 200240
2 上海交通大学生命科学技术学院，青岛 266071
3 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
4 厦门大学，厦门，361005
* dongliang@sjtu.edu.cn, fengpingw@sjtu.edu.cn

氮循环作为地球最重要的元素循环之一，通常与碳循环耦合，在全球气候变化中发挥着至关重要的作用。然而，截至目前，地质时间尺度上海洋氮循环的研究主要依赖于沉积物中有机氮（$\delta^{15}N_{有孔虫}$、$\delta^{15}N_{有机氮}$）同位素这一单一指标，追溯固氮作用与反硝化作用相对强弱、营养盐利用率等过程的历史，无法给出氮循环的具体细节，参与氮循环相关微生物的生物标志物为突破这一限制提供了重要工具。本研究综合利用与硅藻共生的异形胞蓝细菌的特征生标异形胞糖脂（Heterocyst glycolipids with a pentose moiety，C5 HGs）及沉积物有机氮同位素分析手段，对南海北部沉积柱进行系统分析，对 10 万年以来的南海固氮历史进行了细致的重建及解析。研究结果发现：C5 HGs 在 100ka 到末次冰期呈现阶梯状上升趋势，末次冰消期显著上升；而整体与 $\delta^{15}N_{有机氮}$数据呈现长期的升高趋势，与通常固氮作用引起的氮同位素负偏作用相悖。通过系统对比表层-次表层海水温度重建的温跃层深度变化、颗石藻重建的生产力变化（营养盐跃层）以及全球不同沉积环境下的氮同位素数据，我们提出：南海水体异形胞蓝细菌的固氮作用主要受控于下层水体供给的营养盐 N/P 的变化。100ka-末次冰消期，温跃层变深，营养盐跃层变浅，下温跃层的供应的营养盐增加，而南海下温跃层 N/P 偏小，氮元素不充足，进而促进了固氮作用的发生；而末次冰消期由于海平面上升，导致大量陆架被淹没，促进了沉积物中反硝化作用；而整体上蓝细菌固氮作用与 $\delta^{15}N_{有机氮}$相反的趋势，则主要反映了固氮作用与整个大洋反硝化作用的耦合，暗示南海水体氮库在冰期-间冰期尺度处于平衡状态。

S29-O-01

海底冷泉系统烟囱状碳酸盐岩形成过程中镁同位素行为研究

金梦[1,5]，冯东[2]*，黄康俊[3]*，梁前勇[4]，陈多福[2]

1 中国科学院南海海洋研究所 边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301
2 上海海洋大学 海洋科学学院 深渊科学与技术研究中心，上海 201306
3 西北大学 地质学系 大陆动力学国家重点实验室，西安 710069
4 中国地质调查局 广州海洋地质调查局，广州 510070
5 中国科学院大学，北京 100049
* dfeng@shou.edu.cn, hkj@nwu.edu.cn

海洋碳酸盐岩的镁（Mg）同位素组成已经被应用于恢复海水的地球化学组成并示踪全球 Mg 循环。硫酸盐驱动的甲烷厌氧氧化作用（SD-AOM）是有利于海洋自生碳酸盐形成的重要过程之一。然而，在自然环境的条件下，对 SD-AOM 是否会影响自生碳酸盐 Mg 同位素组成的认识仍然有限。我们对南海东沙海域两个烟囱状冷泉碳酸盐开展了地球化学研究。烟囱状冷泉碳酸盐岩通常被认为是流体持续渗漏形成。样品横截面上显示出从“烟囱”外层向内 $\delta^{13}C$ 值降低和碳酸盐含量增加的趋势，可能是由于 SD-AOM 作用的增强以及相应的碳酸盐沉淀速率升高所致。从外层向内逐渐富集钼（Mo）和铀（U）的趋势表明，样品内侧形成于相对外侧更加还原的条件下。其中一样品横截面上的 $\delta^{26}Mg$ 值从外层向内逐渐降低（−2.63‰至−3.24‰），而另一样品横截面上的 $\delta^{26}Mg$ 值基本保持不变（−3.42‰至−3.37‰），显示了冷泉碳酸盐岩形成过程中 Mg 同位素分馏的复杂

性。$\delta^{26}Mg$ 和 $\delta^{13}C$ 值之间呈正相关，$\delta^{26}Mg$ 和 Mg/Ca 摩尔比之间呈负相关，表明增强的 SD-AOM 更有利于轻 Mg 同位素进入碳酸盐晶格中。该认识与前人通过沉淀实验所得的较高碳酸盐沉淀速率下会由于 Mg 离子的不完全脱水而降低 Mg 同位素分馏程度的结论并不一致。据此，结合前人研究中证实的溶解硫化物对 Mg 进入碳酸盐矿物的影响，我们推测 SD-AOM 产生的硫化氢可能可以通过减弱 Mg 的水合作用来扩大分馏的程度。且孔隙水中溶解硫化物对 Mg 同位素分馏的影响甚至可以抵消或超过沉淀速率的影响，从而在更高沉淀速率的一个烟囱样品中显示出接近平衡分馏的现象。类似的影响可能发生在具有地质历史上自生碳酸盐岩形成更广泛的时期。当然，为了能合理有效地利用海洋自生碳酸盐岩 Mg 同位素这一恢复古环境和示踪元素循环的指标，仍需要更进一步了解在海洋自生碳酸盐岩形成过程中影响 Mg 同位素分馏的可能因素。

S29-O-02

硫同位素对冷泉碳酸盐与黄铁矿共生机制的约束

陈婷婷[1]*，林志勇[1,2]，孙晓明[1]，芦阳[3]，Harald Strauss[2]

1 中山大学海洋科学学院，广州 510006

2 Institut für Geologie und Paläontologie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Münster, Germany 48149

3 Institute für Geologie, Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit, Universität Hamburg, Hamburg, Germany 20146

* chentt33@mail2.sysu.edu.cn

甲烷是一种强烈的温室气体，其向大气的大量释放会加速全球气候变化。冷泉（Cold seep）是海底甲烷向大气释放的重要窗口，在全球大陆边缘分布较为广泛。在冷泉区，绝大部分甲烷在向上迁移的过程中会与沉积物中的硫酸盐发生甲烷厌氧氧化反应（Anaerobic oxidation of methane，AOM），这一过程产生 HCO_3^- 和 H_2S，促使自生碳酸盐和黄铁矿的形成。作为冷泉区重要的自生矿物，自生碳酸盐和黄铁矿有效记录了冷泉的活动。冷泉碳酸盐和黄铁矿常表现出紧密的共生关系，然而二者之间的共生机制并不清晰。

为了深入研究冷泉碳酸盐和黄铁矿的共生机制，我们采集了南海北部东沙海域和琼东南海域两个冷泉站位的碳酸盐样品，并对其矿物学特征及其共生黄铁矿的硫同位素（原位微区 SIMS 和全岩硫同位素）组成进行了详细的研究。碳酸盐样品主要矿物相为早期微晶文石、高镁方解石、白云石和后期纯文石。镜下观察发现碳酸盐中包裹的黄铁矿形貌多样，包括草莓状，增生型和自形等，与碳酸盐密切共生，且早期微晶碳酸盐和后期纯文石相中的黄铁矿形貌也有差异。利用铬还原法对碳酸盐中的黄铁矿硫进行全岩提取和分析。结果显示，与文石共生的黄铁矿含量和 $\delta^{34}S$ 值较低，可能与文石形成于较开放的海水环境有关；而与高镁方解石和白云石共生的黄铁矿含量和 $\delta^{34}S$ 值较高，主要受瑞利分馏（Rayleigh distillation）影响，与相对封闭的条件下孔隙水中的硫酸盐富集 ^{34}S 有关。为了排除黄铁矿的硫同位素可能受后期成岩作用影响，与碳酸盐所保存的冷泉信息可能并不一致，本文对微晶碳酸盐和纯文石相中不同形貌的黄铁矿进行了原位微区 SIMS 硫同位素分析。SIMS 结果显示高镁方解石和白云石中的 $\delta^{34}S$ 值比纯文石高，与全岩结果一致，且草莓状和后期增生型黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值差别不大，指示了相同的 H_2S 来源，且未受后期成岩作用影响。本研究表明样品中的碳酸盐和共生黄铁矿主要形成于同一时期，二者均记录了相同的冷泉环境。因此，对碳酸盐与黄铁矿共生机制的准确理解能为示踪冷泉活动提供重要的信息。

S29-O-03

海马冷泉碳酸盐岩中新发现的两种古菌型羟基植烷甘油单醚和甘油醚与醇之间的成岩转化研究

许兰芳[1,4]，管红香[1,2]*，刘丽华[1]，苏正[1]，陶军[3]

1 中国科学院广州能源研究所，中国科学院天然气水合物研究重点实验室，广东广州 510640
2 中国海洋大学，海洋地球科学学院，青岛 266100
3 中国地质调查局，广州海洋地质调查局，广州 510760
4 中国科学院大学，北京 100049
* guanhx@ms.giec.ac.cn

特定沉积环境中的类异戊二烯甘油醚和非类异戊二烯单/双烷基甘油醚对于有机质在成岩作用中的转化研究具有重要意义。本文利用色谱-质谱(GC-MS)和色谱-同位素质谱(GC-IRMS)分析技术对南海海马冷泉碳酸盐岩的脂质生物标志化合物进行分析，发现在醇类组分样品中除了检测出大量已知的类异戊二烯甘油醚和非类异戊二烯单/双烷基甘油醚(MAGE 和 DAGE)，还检测出两种未被报道过的羟基植烷甘油单醚—*sn2-/sn3*-O-羟基植烷甘油醚，并且对它们的来源及其在成岩作用过程中的转化关系进行了研究。通过质谱碎片鉴定发现新化合物在植烷侧链的 C-3 处被羟基化，因此将新化合物命名为 *sn2-/sn3*-O-羟基植烷甘油醚。它们极低的 $\delta^{13}C$ 同位素值(–132‰至–120‰)、高的 *sn2*-羟基古醇(*sn2*-OH-Ar)/古醇(Ar)比值(1.48 至 2.75) 以及前人关于海马冷泉中的微生物菌群的研究，表明新化合物最有可能的生物来源为甲烷厌氧氧化古菌 ANME-2，但不能完全排除 ANME-3 的贡献。*sn2-/sn3*-O-羟基植烷甘油醚、3,7,11,15-四甲基十六烷-1,3-二醇和双羟基古醇(*di*-OH-Ar)有相同的碳骨架结构和非常相似的 $\delta^{13}C$ 同位素值(–132‰至–116‰)，表明 sn2-/sn3-O-羟基植烷甘油醚和 3,7,11,15-四甲基十六烷-1,3-二醇有可能是 di-OH-Ar 的水解产物。3,7,11,15-四甲基十六烷-1,3-二醇也可能是由 *sn2-/sn3*-OH-Ar 和 *sn2-/sn3*-O-羟基植烷甘油醚的降解产生的。此外，MAGE 和短链醇也存在相似的降解关系。除了非常相似的 $\delta^{13}C$ 值（–110‰至–100‰）外，短链醇和 MAGE 呈现出非常相似的链长和相同的不饱和模式(双键位置为 ω7c，ω7t 和 ω5)，表明这些短链醇是 MAGE 在成岩过程中的降解产物。虽然 DAGE 的侧链没有 C_{18}-醇的同系物，但是相似的 $\delta^{13}C$ 值和不饱和模式说明不能排除 DAGEs 向相应的短链醇类的降解关系。本文的研究厘清了甘油醚及其相应醇类衍生物的成岩转化关系，这有助于我们对碳酸盐岩中的有机质成岩演化做出预测，并对其成岩反应和变化所经历的可能途径进行推演。

S29-O-04

冲绳海槽中段冷泉流体在浅层沉积物中的迁移与转化研究

徐翠玲[1,2]*，孙治雷[1,2]，吴能友[1,2]

1 青岛海洋地质研究所, 自然资源部天然气水合物重点实验室, 山东青岛, 266071
2 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东青岛, 266071
* xcl1130@163.com

海洋沉积物是全球的重要碳汇。微生物或热降解作用将埋藏的有机质分解为可挥发性碳，这些碳可通过冷泉系统返回至海水。然而，甲烷厌氧氧化作用（AOM）及其伴随的自生碳酸盐岩沉淀，不仅改变了冷泉流体的地球化学组成，而且降低了冷泉系统对海水碳输入的总量。冲绳海槽中段西部陆坡广泛发育以气泡运移为主要泄漏方式的海底冷泉。在冲绳海槽中段新发现的冷泉区，本报告首次利用 ROV 可视化精确短柱取样和重力柱取样，开展了沉积物的孔隙水地球化

学测试分析，包括 CH4、溶解无机碳及二者的碳同位素组成和主要阴、阳离子浓度，研究了富甲烷流体的来源及泄漏强度，并利用孔隙水物质运移-化学反应数值模拟，定量估算了 AOM 和碳酸盐沉淀速率，以及沉积物-水界面的甲烷和溶解无机碳（DIC）排放通量。

研究表明：冷泉活动与海底凸起具有良好的对应关系，空间上具有强烈的不均一性。其中，强泄漏冷泉站位的甲烷-硫酸盐转换带（SMTZ）深度<0.5 m，主要位于海底凸起顶部，与菌席、气泡羽流或活动巨蛤群落相伴；其他冷泉站位的甲烷泄漏强度为中等（SMTZ 深度 1-5 m）至不明显（SMTZ 深度>10 m）。此外，小型海底断裂内部和峡谷外缘分别出现中等（SMTZ 深度 2.5 m）和弱的甲烷泄漏活动（SMTZ 深度 9.2 m）。根据沉积物孔隙水中的甲烷碳、氢同位素，溶解无机碳 δ13CDIC 和 C1/C2+C3 比值，认为小型断裂内部泄漏的甲烷为微生物成因，而海底凸起地区泄漏的甲烷为热解成因。

冷泉流体在穿过浅层沉积物时，经历了程度不同的化学转化。硫酸盐还原驱动的甲烷厌氧氧化作用（SR-AOM）对中等-弱的甲烷泄漏具有近 100 %的转化能力，而在强泄漏冷泉站位，SR-AOM 的拦截效率降低到 34-88 %。在浅层沉积物中主要出现高镁方解石沉淀，部分强泄漏站位同时出现文石沉淀，这些碳酸盐岩将 21-50 % 的 AOM 生成 DIC 固结下来。沉积物-水界面的平均甲烷释放通量为~30 mmol m−2 yr−1，比东海陆架背景地区（~0.4 mmol m−2 yr−1）高 75 倍。甲烷和 DIC 释放通量的总和为~50 mmol m−2 yr−1，相当于沉积物接受海水有机碳埋藏通量（350–730 mmol C m−2 yr−1）的 7-14 %。这些数据表明海洋沉积物不仅是海水颗粒碳的汇，而且是海水重要的甲烷和 DIC 来源。

S29-O-05

安达曼海 6Ma 以来古甲烷渗漏事件的底栖有孔虫记录

岑越[1]，王家生[1]*，丁旋[2]，Dorrik Stow [1,3]，赵洁[1]，王舟[1]，陈粲[1]，马晓晨[1]

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074
2 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083
3 赫瑞-瓦特大学（Heriot-Watt University）地球能源工程研究所，爱丁堡 EH14 4AS
* js-wang@cug.edu.cn

海洋天然气水合物稳定带是一个长期处于动态稳定状态的地质系统，一旦稳定条件被破坏，水合物藏就会失稳释放出异常数量的甲烷。甲烷沿沉积物空隙和/或构造面向上运移后可形成含甲烷的上涌孔隙流体，在沉积柱中上部位与下渗的含硫酸盐海水之间发生一系列生物地球化学反应后可留下特殊的地质痕迹。生活在甲烷渗漏环境中的底栖有孔虫能适应低氧且富甲烷的极端环境，并将受甲烷流体影响的海水或孔隙水中的地球化学信号记录在壳体中，是研究古甲烷渗漏事件和古气候变化的良好材料。

报告通过对印度洋北部陆缘安达曼海沉积物中冷泉优势属种底栖有孔虫（表栖种 *Cibicidoides wuellerstorfi*，内栖种 *Uvigerina peregrina* 和 *Bulimina mexicana*）壳体的碳氧稳定同位素组成的研究，探讨底栖有孔虫碳稳定同位素组成变化的成因，并通过其碳氧稳定同位素特征指示古甲烷渗漏事件，探讨古甲烷渗漏事件的驱动机制。研究发现底栖有孔虫壳体表面光滑，边缘轮廓清晰，微孔敞开，未受到后期成岩改造作用的影响，反映的是原始的孔隙水地球化学特征。底栖有孔虫壳体表现出较正常海洋环境下变化范围更大且更负的碳同位素特征，可能反映了额外轻碳源的加入，很可能源自甲烷渗漏事件发生时硫酸盐甲烷转换带中的甲烷厌氧氧化作用对孔隙水溶解无机碳碳同位素的改造。此外，

底栖有孔虫壳体 $\delta^{13}C$ 值在近 6 Ma 以来有 7 个明显的负偏层位，反映了地质历史时期多幕次的甲烷渗漏事件。其中有 5 次甲烷渗漏事件发生在近 1 Ma 以来的几次低海平面时期，这些事件的触发可能与冰期海平面下降引起的水合物失稳有关。而发生在中更新世气候转型之前的两次甲烷渗漏事件可能与沉积速率突变引起的沉积物静岩压力的显著变化及其导致的水合物失稳有关。

S29-O-06

海底冷泉孔隙水硫酸根氧硫同位素组成及其环境指示意义

宫尚桂[1]*，冯东[1]，梁前勇[2]

1 上海海洋大学海洋科学学院，上海，201306

2 广州海洋地质调查局，广州 510075

* sggong@shou.edu.cn

甲烷厌氧氧化驱动(SD-AOM)和有机质矿化驱动（OSR）的微生物硫酸盐还原过程是控制海洋沉积物中碳硫循环和甲烷消耗的的关键生物地球化学过程。示踪 SD-AOM 和 OSR 过程并确定各自对硫酸盐消耗的贡献是评估甲烷渗漏通量、全球碳硫循环的重要基础。孔隙水硫酸根氧硫同位素组成（$\delta^{18}O_{SO4}$、$\delta^{34}S_{SO4}$）可以用来探究沉积物中硫酸盐还原驱动模式，表现为 SD-AOM 过程由于高甲烷通量对应较小的 $\delta^{18}O_{SO4}/\delta^{34}S_{SO4}$ 斜率（小于 0.5）。然而，产生特征性的较小 $\delta^{18}O_{SO4}/\delta^{34}S_{SO4}$ 斜率所需的最小甲烷通量仍然未知。选取了海马冷泉站位三根具有不同甲烷通量（26 ~ 1126 mmol m^{-2} yr^{-1}）的沉积柱样开展研究，发现这些柱样中硫酸根还原作用主要由 SD-AOM 主导，$\delta^{18}O_{SO4}/\delta^{34}S_{SO4}$ 斜率随着甲烷通量降低而增加。同时，发现在相同净硫酸盐还原速率下，SD-AOM 和 OSR 主导的环境中孔隙水硫酸根氧硫同位素也表现出差异性，正在开展进一步的工作以确定导致这种差异的原因。研究突出了量化甲烷通量对利用 $\delta^{18}O_{SO4}$ 和 $\delta^{34}S_{SO4}$ 示踪富甲烷环境中 SD-AOM 过程和硫循环的必要性。

S29-O-07

南海北部垂向和横向超压流体交互运移系统

孙启良[1]*，Joe Cartwright[2]，Martino Foschi[2]，鲁向阳[1]，解习农[1]

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074

2 Department of Earth Sciences, University of Oxford, Oxford, UK

* sunqiliang@cug.edu.cn

大陆边缘沉积盆地超压流体运移及海底冷泉系统对油气资源勘探和海洋地质灾害评价具有重要的意义。在过去的十年中，利用高分辨率三维地震数据，人们已经深入地认识了沉积地层中的超压流体运移系统。但是，目前的研究多集中于超压流体运移以后所留下的痕迹（如泥底辟和泥火山等），尚没有研究直接反映超压流体的动态运移。本文详细刻画了南海北部的超压流体运移系统，即在中新世薄层粘土、粉砂岩和砂岩所组成的地层中，纵向和横向(层状)超压流体运移以及逸散到浅层\海底的过程。我们的研究指出南海北部张扭性断层（雁列断层）在深部地层中阻挡超压流体运移，从而形成四维圈闭和超压流体藏。随着超压流体在圈闭中的聚集，超压越来越高，最终圈闭中的超压流体会开启部分封闭断层而向浅部运移。超压流体垂向运移到浅部以后，会沿着薄层粉砂岩横向运移。当遇到雁列断层带以后，会从断层的边缘部分绕过断层继续向前运移。从而在平面上留下清晰可识别的超压流体运移路径，能够动态的追踪超压流体运移情况。本研究表明，研究区这种垂向和横向运移体系已经持续了相当长一段时间（至少三个百万年），并且超压流体逸散现在还在继续进行。另外，本研究也是首次用地震

资料记录到超压流体的动态运移情况和动态运移路径。对南海北部的超压流体勘探和地质灾害评估都具有重要的意义。

S29-O-08

南海珠江口盆地番禺隆起区气烟囱形成过程的数值模拟

王庆[1]，孙启良[1]*，李帅[2]

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074

2 中国地质大学（武汉）地球物理与空间信息学院，武汉 430074

* sunqiliang@cug.edu.cn

气烟囱是深水地质环境中广泛发育的地质结构，是重要的流体运移通道；此外它是引发海底滑坡的重要因素之一。因此，研究气烟囱对于资源勘探、防灾减灾等有重要意义，具有广阔应用前景。通过地震等手段我们能够很好地刻画气烟囱形态特征，然而，它的生长过程仍然未知。因此，很难确定气烟囱是如何生长的，以及哪些因素控制着气烟囱的生长。本文通过地震解释、钻井信息、前人流体包裹体等资料，在参数约束下定量研究了南海北部珠江口盆地番禺隆起区气烟囱的发育情况。

该研究区气烟囱是由于超压流体从白云凹陷运移、聚集至番禺隆起区，地层在处于初始拉伸应力状态下，由于底部超压流体增加和向上渗流使岩石孔隙压力增大，引起岩石变形和发生水力压裂，导致地层岩石发生拉张破坏而形成气烟囱。本文借助格里菲斯极限破坏理论推导了岩石临界孔隙压力，在此基础上对气烟囱的生长过程进行数值模拟。研究表明，地层渗透率对气烟囱影响极大：气烟囱半径的生长趋势与地层原始渗透率呈负相关；突破地层所需超压与地层渗透率呈正相关。此外，气烟囱在形成过程中，会使大量超压气体渗入到上部未破裂的地层中使其物理性质发生极大变化，形成过渡层。由于紧邻气烟囱上部，过渡层底部已形成微裂隙，在超压气体水力压裂作用下极易发生地层破裂使气烟囱继续生长，因此过渡层可能会成为引发海底失稳的安全隐患。之后，对气烟囱模型进行敏感性分析综合认为，气烟囱的生长主要受地层渗透率、底部压力、气烟囱底半径和地层应力系数的控制，而地层泊松比随气烟囱的生长呈负相关。

本研究首次系统地探讨气烟囱的生长及其控制因素。结合科学研究的发展趋势来看，目前对气烟囱发育研究对工作是了解其生长机理及其超压机理的重要步骤，在油气勘探和地质灾害评估中具有潜在应用价值。本次模拟研究具有较好实用性，对该研究区气烟囱的研究经验和结果适用于世界其它地区对气烟囱的研究。

S29-O-09

海底泥火山形成机制研究

万志峰[1]*，钟思玲[1]，张伟[2]，李清[3]，王宏斌[3]，张金锋[1]

1 中山大学海洋科学学院，珠海 519082

2 广州海洋地质调查局，广州 510075

3 青岛海洋地质研究所，青岛 266071

* wanzhif@mail.sysu.edu.cn

海底泥火山具有重要的研究意义。南海北部中建南盆地、莺歌海盆地、琼东南盆地、台西南盆地以及东海的冲绳海槽盆地广泛发育泥火山。我们开展了我国近海典型泥火山等流体渗漏构造的发育及分布特征的对比分析，及其形成机制的物理模拟、数值模拟研究工作。我国近海泥火山的发育和分布与其发育区的沉积厚度、地层超压、构造应力背景及断裂分布特征密切相关。泥火山多分布在沉积充填较厚且具有明显超压的深水区，较厚的上覆沉积盖层更利于泥底辟的发育；更大的超压能够为流体向上运移提供充足的动力，将更有利于深部流体沿着构造薄弱带向上运移形成泥火山。区域深大断裂在垂向上为深部流体向上运移提供通道，在平面上控制着泥火山等流体渗漏构造的分布；应力场

的差异并未直接导致泥火山发育规模的差异。深层流体沿先存管道向上运移，流体流速增加，压力和密度减小。发生在台湾和东海周缘的中强地震具有触发台西南盆地和冲绳海槽盆地泥火山喷发的可能性，6.5 级的浅源地震可以对 100 km 范围内的泥火山活动造成影响。

综合认为，泥火山的形成是在在丰富的泥源物质和一定的地层超压的基础上，沉积盆地地层深部的含水泥质物在地震等构造运动的触发作用下，沿物源层之上的断裂等高渗透性通道向上运移。流体在通道内向上运移过程中速度增加、压力和密度减小，在一定深度内压力减小至零。若断裂等高渗透性通道从物源层延伸至海底，则深部流体易沿通道运移到海底，堆积形成泥火山；反之，形成泥底辟。若泥浆在浅部二次形成泥浆储层，在有利的地质条件下在发生多期次侵入，最终喷出地表形成泥火山。.

S29-O-10

冷泉系统的地球物理定量研究进展及展望

张锟[1]*，宋海斌[1]，关永贤[2]，王宏斌[2]，陶军[2]，李欢佳[1]，龚屹[1]

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局，广州 510760

* kunsir1995@foxmail.com

海底流体穿过海底沉积物向上运移至海底，并输送至海水乃至大气的地质过程称为冷泉活动。冷泉活动所喷溢的流体多为富甲烷流体，其形成和发育常常与天然气水合物的分解与分解具有密切的关系。前人在冷泉探测、冷泉流体的性质、冷泉与天然气水合物的关系、冷泉相关地形地貌、冷泉生物群落及演化等方面取得了大量成果，但是由于数据、手段和认识过程的限制，前人的研究主要针对冷泉的单一部分和某一时刻的特征进行定性的认识。我们尝试将冷泉作为一个整体系统进行认识，主要基于地球物理方法对冷泉系统进行了初步的定量研究，并对下一步的工作方向进行了展望。

按照冷泉系统发育的空间位置，我们将冷泉系统分为水体中的冷泉羽状流系统，海底冷泉相关的地形地貌和海底冷泉流体通道系统三部分进行研究。对冷泉羽状流系统，我们基于水下机器人所拍摄的视频资料和粒子图像测速技术，分析了海马冷泉和美国西海岸冷泉站位的冷泉羽状流，并计算了其流场参数，我们发现这些冷泉羽状流的流场具有明显的湍流特征，其流速随时间和空间的变化而变化。对于海底地形地貌特征，我们结合多波束地形数据和多道反射地震数据，对南海南部安渡海山海域的海底麻坑进行了报道，统计了其地貌学参数，我们发现，安渡海山区的麻坑以大型和巨型麻坑为主，平面上形态各异，这些麻坑的成因可能与下伏气体的逃逸活动有关。此外，我们基于海底地形数据和多道反射地震数据，汇编了南海东北部海域海底滑坡、天然气水合物和海底流体活动的分布图，并统计了海底滑坡的相关参数，我们发现，南海东北部海域海底滑坡以小型滑坡为主，其分布与海底流体活动和天然气水合物的分布具有很好的一致性，在研究区的主动大陆边缘增生楔区域，这些海底滑坡的形成可能主要受海底流体活动和地震的影响。

冷泉系统的地球物理定量表征工作，对于理解全球碳循环系统，天然气水合物系统和深海生命系统都具有重要的意义。今后，我们还希望在以下几个方面进一步开展冷泉系统的地球物理定量研究工作：（1）通过三维地震、三维浅剖等手段对海底流体通道系统进行地球物理定量表征，分析海底流体通道的空间展布和发育情况；（2）基于海底观测网和座底式观测系统等手段对冷泉羽状流进行长期的观测，分析冷泉羽状流的长周期时空变化特征；（3）将冷泉作为整体系统进行研究，分析冷泉

系统内部各个部分的耦合关系，如流体通道与羽状流时空变异直接的关系，海底地形地貌与流体通道直接的关系等。

S29-O-11

南海北部琼东南盆地冷泉发育区渗漏型天然气水合物运聚成藏控制机理

张伟[1,2]*，梁金强[1,2]，黄伟[1,2]，孟苗苗[1,2]，冯俊熙[1,2]，何玉林[1,2]，邓炜[1,2]

1 广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室，广州 510075

2 中国地质调查局，天然气水合物工程技术中心

* zwgmgs@foxmail.com

南海北部琼东南海域冷泉系统发育，冷泉差异发育特征与天然气水合物（水合物，下同）富集成藏关系密切。根据水合物钻探站位海底观测结果、结合水合物地球物理勘探，测井解释，水合物岩心样品及气体样品地球化学测试结果，开展了琼东南盆地冷泉发育区水合物成藏地质特征综合分析，试图探究琼东南盆地深水区水合物成藏机制并建立水合物富集成藏模式，以期作为琼东南盆地深水区后续水合物勘探研究的参考和借鉴。

水合物钻探结果表明，渗漏型水合物主要以块状、结核状和脉状等形式充填于细粒粘土质粉砂储层裂缝中。裂缝的形成和分布受控于大型气烟囱的发育和演化，气烟囱在地震剖面上表现为大范围的模糊带，其内部可能存在大量微裂缝和裂隙，当气体通过气烟囱通道运移至水合物稳定域底部时，可以通过这些开启的裂隙通道继续向水合物稳定域内部运移，当遇到裂隙空间时聚集形成渗漏型水合物。

钻探区识别出的气烟囱发育于松南低凸起斜坡带的构造单元上，在凹陷超压背景下，凹陷周缘凸起斜坡带是气源运移的有利聚集带，同时由于上部地层的差异压实作用，使凸起带成为构造相对薄弱的地带，更加有利于小型断裂、气烟囱等气体运移通道的形成。钻探站位气烟囱顶部出现 BSR，气烟囱内部出现同相轴“下拉”，在气烟囱上方或两侧出现振幅增强反射，表明天然气通过气烟囱通道发生过垂向运移并被储层“捕集”。气烟囱形成的纵向运聚通道系统可以连通深部气源与海底浅层高压低温水合物稳定域，将深部古近系湖相及煤系烃源岩生成的热解气输送至浅层裂缝性储层中形成热成因气供给的水合物矿藏。因此，琼东南盆地冷泉发育区水合物与深部油气藏可能存在“共生”关系。同时，由于热成因气的供给，不仅扩大了水合物稳定域的范围，而且引起 I 型水合物和 II 型水合物共存。此外，冷泉系统活动引起的热流体异常，同样会影响水合物稳定域，引起水合物处于动态成藏的过程，最终导致渗漏型水合物差异富集。

S29-O-12

南海北部神狐海域近期活动水合物系统地质因素研究

靳佳澎[1,2]，王秀娟[1,2]*，李杰[3]，钱进[1]，孙鲁一[1]，周吉林[1]

1 中国科学院海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室，青岛 266071

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，青岛 266237

3 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，深圳 518054

* wangxiujuan@qdio.ac.cn

1. 研究意义

我国南海北部神狐海域已经进行了多个水合物钻探航次，是我国海域水合物研究热点也是研究程度最深刻的地区。大量天然气水合物（水合物）钻探与勘探研究表明水合物空间分布具有很强的非均匀性，这种非均质性与储层、流体运移条件、海底沉积-侵蚀、盆地深部构造条件、多期次成藏及气源

类型等一种或多种因素耦合有关，多要素叠合分析也是探寻有利富集区的关键。近期，我国南海水合物钻探发现神狐海域不同站位水合物层厚度、饱和度差异较大，而且在试采区相邻的峡谷脊部第三条带（W18 & 19 地区），岩心指示富有孔虫砂储层，且岩心地化数据显示孔隙水高盐度特征，与神狐海域其他矿体富集特征差异大，深部流体及储层如何控制该矿体富集研究较少。

2. 研究结果及讨论

2.1 水合物储层特征

神狐海域 W18 & 19 目标测井评价显示水合物层主要富集于水合物稳定带底界附近，饱和度最高超过 70%，厚度最厚可达 30m，伽马测井向上降低指示储层粒度向上变粗，该特征对应了水合物饱和度向上增加的趋势，表明岩性变粗有利于对水合物富集程度增加。而岩心及元素捕获能谱测井分析显示低伽马的粗粒地层主要由有孔虫壳体含量增加导致，沉积体系分析揭示该地区水合物储层为峡谷底部沉积与邻近的 W11 & 17 水合物试采区峡谷脊部沉积特征完全不同，反演显示 W18 & 19 目标具有高孔隙度、低背景速度及低电阻率等特征，说明其储层质量更有利于水合物富集。

2.2 近期活动特征分析

研究区 GMGS3&4 航次钻探揭示 W18 & 19 目标具有高孔隙水盐度特征，表明水合物系统非常年轻，为近期活动或正在活动特征。应用一维衰减模型，利用测井评价的水合物饱和度、厚度、地层温度、地温梯度、孔隙度等参数，对水合物形成时间模拟，显示水合物系统形成时间为距今 1.9-2.9 万年之间，为近期活动特征。另外局部薄层存在较模拟曲线更高或更低的浓度氯离子值，揭示水合物系统可能多期次活动特征。

2.3 深部流体横向-垂向长距离运移

区域油气成藏地质研究显示，神狐海域位于珠江口盆地东部油气富集区上部，临近深水油气田 LW3-1，深部油气钻井揭示白云凹陷主坳 4000m 以下地层存在明显的地层超压，流体运移路径模拟显示在超压作用下，排烃作用驱使烃类流体向流体势高的地方运移，且东沙运动以来南海北部构造运动活跃，盆地内部流体势和构造运动为深部流体向浅部运移提供动力和条件，形成高富集近期活动水合物系统。

2.4 岩浆活动

三维常规油气地震数据揭示白云凹陷-云荔低隆起上部发育大量岩浆活动相关构造，包括岩浆底劈和岩浆流等，岩浆活动范围较为聚集，但可分为多个活动期次。这些岩浆相关构造与断层、气烟囱等发育具有较强的伴生关系，对流体垂向运移具有很好的疏导作用，因而岩浆构造与浅部游离气及水合物的发育关系密切，是水合物成藏过程中一重要助力因素。

3. 结论

神狐海域水合物富集特征非均质性特征强，W18 & 19 目标水合物为高饱和度富集特征，综合区域地质、岩心及沉积特征分析显示，水合物富集受控于富有孔虫粗粒储层、深部流体横向-垂向供给及岩浆构造活动等多地质要素耦合作用。

S29-P-01

琼东南海域渗漏型水合物系统流体运移特征

任金锋[1,2]*

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）广州，511458

2 广州海洋地质调查局水合物工程中心，广州，510760

* jf_ren@163.com

2015 年在琼东南盆地陵南低凸起西南部首次发现大型活动冷泉-“海马”冷泉，并发现海底以下数米就有块状水合物发育。2018-2019 年钻探证实琼东南盆地陵南低凸起之上存在丰富的水合物资源。通过地震资料初步研究发现，这些冷泉均处于陵南低凸起上部发育的大型气烟囱之上，气烟囱“根部”连接于低凸起的构造高点，而且通过天然气气体组分和同位素判识冷泉

气源主要为热解成因气，其应是来自盆地早渐新统煤系烃源岩生成的成熟-高成熟天然气。通过“深部烃源岩层-中部运移通道-浅部流体聚集-海底流体渗流”四位一体的垂向耦合关联，建立在低凸起背景下其运移通道的发育和生长模式，分析低凸起控制下形成的流体运移通道的运移效能，研究冷泉区水合物成藏特征，主要结论如下：第一、低凸起周缘发育的有机丰度较高，生烃潜力大的煤系烃源岩对浅部水合物的成藏来说具有近水楼台的优势。第二、低凸起与气烟囱共同控制了水合物成矿深部流体运移。第三、低凸起周缘的超压控制了流体充注期次和流体运移强度。第四、低凸起之上的一些构造高点，不仅有利于形成古油气藏，更有利于形成气烟囱等优势运移通道，因气源充足以及超压驱动，发生高通量流体运移，一部分气体在天然气水合物稳定带内形成天然气水合物，另一部分游离气通过管状通道到达海底形成冷泉。

S29-P-02

冷泉双壳类壳体的微观结构和高分辨率元素地球化学研究

王旭东[1]*，梁前勇[2]，陶军[2]，冯东[1]

1 上海海洋大学海洋科学学院，上海 201306

2 广州海洋地质调查局，广州，510075

* xd-wang@shou.edu.cn

海底冷泉流体活动强度的动态变化受海底温度波动、烃类来源、海底突发事件（底流、地震等）和孔隙水与海水之间压力梯度变化等单一或多因素控制，这种变化的环境信息很可能记录在冷泉双壳类这一的绝佳载体上。开展了南海海马冷泉发育的两种不同化能自养类型双壳类（甲烷营养型贻贝：*Gigantidas haimaensis*；硫营养型蛤类：*Calyptogena* sp.）的壳体微观结构和沿最大生长轴方向的高分辨率元素地球化学特征研究。初步结果表明，*Gigantidas haimaensis* 壳体微量元素含量受其矿物成分和生理学因素的控制，而 *Calyptogena* sp.壳体微量元素含量主要由微环境控制，反映了两种冷泉双壳不同的生活环境——*Gigantidas haimaensis* 完全生活在海水中而 *Calyptogena* sp.则部分在沉积物中，冷泉活动对海水性质的影响有限而对沉积物影响更加明显。接下来会在确定双壳类绝对年龄框架的基础上进一步研究环境和生理学对其生长状况的影响，以期确定海底活动冷泉短时间尺度下（数年-数十年）环境记录载体的有效性。

S29-P-03

冷泉碳酸盐岩中有机碳的地球化学特征及其环境意义

冯东*，胡钰，陈多福

1 上海海洋大学，海洋科学学院，上海 201306

* dfeng@shou.edu.cn

海底冷泉和天然气水合物发育区向海洋释放甲烷是一种常见的自然过程，大部分渗漏甲烷在近海底沉积物中被甲烷厌氧氧化作用（AOM）所消耗，产生了大量的溶解无机碳和溶解有机碳，影响深海碳循环。然而，AOM 作用对海底表层沉积物沉积有机碳库是否有贡献及有多大贡献还不清楚。针对该科学问题，我们选取墨西哥湾和南海发育的冷泉碳酸盐岩，开展了有机碳的含量及稳定和放射性碳同位素研究。结果表明碳酸盐岩中有机质的碳同位素值（$\delta^{13}C_{org}$）具有非常大的变化范围（接近60‰），且最低可达–80‰。碳酸盐岩中有机碳的新碳比例通常小于 20%，表明甲烷是有机碳最主要的来源，推测快速且持续的甲烷渗漏有利于有机碳的形成。对冷泉碳酸盐岩中有机碳的含量和碳同位素研究，为评估海底冷泉和天然气水合物分解释放甲烷对深部碳库的影响具有重要意义，为探索地质历史时期全球范围多次出现有机

质碳同位素值负偏现象（可低至-60‰）的成因机制提供基础数据。

S29-P-04S

冷泉环境中铁锰穿梭过程的控制因素初探

贾子策，王钦贤*，陈多福

1 上海海洋大学海洋科学学院，上海深渊科学工程技术研究中心，上海 201306

* qxwang@shou.edu.cn

冷泉渗漏在大陆边缘广泛发育，甲烷的厌氧氧化（AOM：$CH_4+SO_4^{2-}\rightarrow HCO_3^-+HS^-+H2O$）是冷泉渗漏最关键的生物地球化学过程，该作用形成的冷泉碳酸盐岩记录了流体活动的地球化学信息。在冷泉碳酸盐岩形成过程中，有大量的元素发生运移，铁锰穿梭作用会导致钼、砷、锑及中稀土元素在碳酸盐岩和孔隙水中产生富集。在全球多个冷泉区的冷泉产物中发现了该作用的存在，但铁锰穿梭作用的研究大部分难以排除下部流体的影响，仅有少量研究区位于大陆边缘，对于其控制因素仍存在较多争议。

俄勒冈、土耳其地区发育大量晚三叠世冷泉碳酸盐岩，根据前期研究发现其形成没有下部流体的影响。本文对其进行了主微量及稀土元素分析，发现两地区 Fe_2O_3+MnO 均值分别为：0.25%和 1.19%，Al2O3 均值分别为 0.24%和 1.99%，Mo、As、Sb 元素含量及富集系数较低，与铁含量相关性极差，且多呈负相关，所以认为两个地区均不存在铁锰穿梭现象。

关于铁锰穿梭控制因素的争论很多，聚焦在特殊的冷泉环境中，认为氧化还原环境和铁含量对于该作用至关重要。在硫化环境中，钼、砷、锑元素分别以不溶的硫代钼酸根（$MoS_{4-x}O_x^{2-}$）、砷黄铁矿（FeAsS）、雌黄（As_2S_3）和辉锑矿（Sb_2S_3）的形式存在，促进了三种元素的富集。铁锰物质会吸附三种元素及中稀土，而且黄铁矿是钼、砷、锑三种元素固存的重要载体。而黄铁矿形成的前提条件是充足的铁和富含硫化氢的环境，也对三种元素富集要求的氧化还原环境进行了限制。俄勒冈样品稀土配分模式表现为铈负异常，重稀土富集，轻稀土亏损，与海水稀土配分模式相似；土耳其样品配分模式主要表现为铈负异常，少数呈无异常，中稀土富集，铁锰元素含量较高。根据样品的稀土元素特征结合岩石学特征及主量元素特征综合认为俄勒冈冷泉碳酸盐岩均形成于浅表层的氧化环境中，受到了海水的影响；而土耳其冷泉碳酸盐岩形成于次氧化环境的铁锰还原带中。因为三种元素的富集需要大量硫化氢及铁锰氧化物的存在，而两地区都不满足以上两个条件，所以均不存在铁锰穿梭作用。因此认为大量铁锰物质和缺氧硫化的环境共同作用是控制铁锰穿梭的主要因素。

S29-P-05

河口近底高浓度泥沙的观测和模拟

葛建忠[1]*，丁平兴[1]，Changsheng Chen[2]，Zheng Bing Wang[3]

1 华东师范大学河口海岸国家重点实验室，上海 200241

2 School for Marine Science and Technology, University of Massachusetts Dartmouth, New Bedford, MA, USA

3 aculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands,

* jzge@sklec.ecnu.edu.cn

河口最大浑浊带区域的近底高浓度泥沙过程对泥沙输运、沉积动力过程影响显著，其观测和模拟都具有较强的挑战性。采用高分辨率多种仪器综合集成的近底三脚架系统观测了长江口最大浑浊带核心北槽区域的近底水沙动力，以分析确定在显著垂向层化背景下河口高浓度泥沙的形成

机制。观测及分析表明：长江口北槽区域近底高浓度泥沙在南侧约 20g/L 的量级，而在主槽北侧其浓度可达 47g/L 的量级，且所有高浓度泥沙主要形成于涨潮-落潮转换期。长江口区域洪季河流输入的淡水与口外的高盐水形成在最大浑浊带形成的显著垂向层化限制了垂向混合，同时，在考虑层化的潮汐混合作用在涨潮-落潮期间也显著减小，从而造成近底层泥沙难以通过潮汐混合达到上层水体。同时，近底层泥沙浓度的逐步增加也在一定程度上增加了垂向层化。结果发现无论主槽南北两侧，在小潮期间都形成了显著的高浓度泥沙，其与小潮期间层化达到最强而潮汐混合作用达到最弱直接相关。

本研究建立了基于 FVCOM 的双层模型，含有一个上层悬浮泥沙层和一个下层浮泥层，再现了台风海葵期间一段时间内浮泥的形成、输运和消亡。结果表明在口外浮泥的产生是台风导致的盐度分层所导致的，随后，由于小潮时期混合作用较弱，浮泥层可以很好地维持，受到水体底层浮泥层导致的压力梯度力以及盐水入侵的影响，浮泥层快速向上游传播到了北槽的中部地区。这导致了浮泥层与上层悬浮泥沙层水体之间极强的流速剪切，使泥沙向上层水体输运。最后随着潮汐混合作用增强，浮泥层逐渐开始消亡，直到大潮时完全消失。

S29-P-06

南海张裂边缘玄武岩的热液蚀变作用

吴家望*，刘志飞，俞恂

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室，上海 200092，中国

* jwwu@tongji.edu.cn

本研究基于 IODP 第 367/368 航次在南海北部边缘 U1502 站位所钻取的晚始新世–早渐新世岩芯，针对其底部一套约 180 米厚、经历热液蚀变作用的玄武岩样品，开展系统性的地球化学分析。从全球意义上来说，由于南海张裂边缘在大陆破裂机制和特征谱上的独特性、以及慢速扩张中心基性岩热液系统的稀缺性，该套岩芯为探讨热液蚀变的过程提供了一个绝无仅有的机会。就南海本身而言，采自 U1502B 钻孔的岩芯不仅是目前已知最古老的原位钻取洋壳，而且可能是热液蚀变玄武岩在南海地区的首次详细报道。

U1502B 钻孔的原岩为拉斑、富集型洋中脊玄武岩，较为稳定的 Nd 同位素值指示其未受陆壳混染作用的影响。该套蚀变样品以 Ca 的极度淋失、Sr 元素和 Sr 同位素值的大幅度变化为主要特征，伴随着 Na、Mg 在岩石中富集，并具有轻稀土元素富集和 Eu 正异常等典型特征。研究结果表明：U1502 站位玄武岩的热液蚀变过程受斜长石调控，主要蚀变反应为钠长石化（albitization）和绿泥石化（chloritization）；其上部也额外遭受角砾化（brecciation）的较大影响。

一系列证据指示 U1502B 岩芯曾位于热液系统的流出通道区域，同时又广泛遭受海水侵入的影响，故总体上反映了一个变化剧烈的热液排放环境（discharge zone）；具体包括：绿片岩相的典型蚀变特征（greenschist facies）、高温的矿物特征组合（250–400 ℃；albite + chlorite + epidote ±quartz ±pyrite）、较高的水岩比（water/rock = 1–25；基于 Sr 同位素）、基底金属的极度富集（base metals Zn, Cu）、以及广泛出现的水热型角砾化现象（hydro-fracturing brecciation）。

将地球化学证据与地球物理原位测试数据相结合，结果显示 U1502 站位已钻入地震学表征的 layer 2A/2B 界限。这一界限很可能与上地壳喷出岩与侵入岩之间的过渡层位有关（lava–dike transition）；也可能代表了热液流体与洋壳相互作用的一个蚀变前缘，受拆离断层（detachment-related faulting）的较大影响。综上，U1502B 热液蚀变玄武岩的研究结果指示了一个较为复杂、冗长的南海张裂过程。

S29-P-07S

Study on Authigenic Minerals in Sediments Recovered from the Sea of Marmara

YuKai Tang*, Yujia Liu, HaiLin Yang, Hailong Lu*

1 Beijing International Center for Gas Hydrate, Peking University, Beijing, China

* 302744029@qq.com, hlu@pku.edu.cn

Gas hydrate, widely distributing in marine sediments on continental slope and in permanent terrestrial permafrost, attracts worldwide attention because of its environment-friendly property, high energy density and gigantic reserves. There are several conditions for gas hydrate to form: methane saturating pore water and pressure and temperature regime in sediment being in the regime of hydrate stability. In such a condition, the geochemical environment in sediments with hydrate occurrence is generally reductive and acidic, and certain specific authigenic minerals will be formed. The sediment samples for this study were collected from the Western High in the western part and the Cinarcik Basin in the eastern part of Sea of Marmara, and the occurrence of gas hydrate was identified in the former while no hydrate recognized in the latter. The sediment samples were recovered with piston corer for both sites (MRS-CS-13 and MRS-CS-17). Efforts have been made to study the types and morphology of authigenic minerals for the two sites by using XRD and SEM.

Authigenic minerals are mainly gypsum and iron sulfide in the sediments of Core MRS-CS-13 on the Western High, while they are pyrite and calcite in the sediments of Core MRS-CS-17 Cinarcik Basin. Greigeite is identified in the sediments of Core MRS-CS-13 on the Western High, indicating an acidic and reduced environment,and there possibly exists gap of methane leak.

S29-P-08S

甲烷活动对冷泉区沉积物 DOM 性质的影响

胡廷苍[1]，罗敏[1,2]*，宫尚贵[1]，许云平[1]，陈多福[1]

1 上海海洋大学，上海 201306

2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266221

* mluo@shou.edu.cn

冷泉作为海底一种独特的地质现象，其富甲烷的流体不仅为冷泉区生物提供了重要的能量来源，也是研究冷泉区生物地球化学元素循环过程的重要载体。最近的研究发现冷泉区沉积物可以向上覆海水释放大量老的、甲烷来源的 DOC。为了研究甲烷活动对沉积物 DOM 性质的影响，本研究在中国南海北部冷泉区选取了 3 个冷泉活动强度不同的站位，分别测试了孔隙水硫酸根浓度、DOC 浓度、DOM 紫外-可见波段吸光度和三维荧光光谱。结果显示随着硫酸根甲烷转换带（SMTZ）深度的变浅，DOC 浓度逐渐增大，指示甲烷活动强度是冷泉区沉积物 DOC 浓度的重要控制因素。另外，利用平行因子分析方法对三维荧光光谱进行解析，将冷泉区沉积物荧光 DOM（FDOM）分为类腐殖质和类蛋白质两大类，结果显示冷泉活动较强的站位类蛋白质含量明显升高，同时类腐殖质组分降低，指示在冷泉沉积物中，营甲烷微生物群落的生命代谢过程会产生较多的类蛋白组分，这些活性类蛋白物质也是冷泉区异养生物的潜在营养来源。

S29-P-09S

南海南部冷泉活动影响下的地球化学特征

陈崇敏[1]*，万志峰[1]，尚久靖[2]，黄伟[2]，张伟[2]，张金锋[1]

1 中山大学海洋科学学院，广东珠海 519082

2 广州海洋地质调查局，广东广州 510075

* chenchm9@mail2.sysu.edu.cn

南海南部有丰富的油气资源并且近年的研究也表明其环境利于冷泉活动的形成与发展。但目前对南海南部冷泉活动的地球化学影响和甲烷循环等的认识尚不充分。本文主要通过研究位于北康盆地的 BH-CL37，BH-CL37A 和 BH-CL32A 三个站位的地化特征，再结合它的地震剖面信息，进一步完善对南海南部冷泉活动系统的认知。BH-CL37，BH-CL37A 和 BH-CL32A 的孔隙水的 $\delta^{13}C_{DIC}$ 分别为 -40.73‰ --16.70‰，-55.66‰~-11.8‰和 -40.57‰~-21.24‰，指示了强烈的 AOM 作用以及主要的生物成因甲烷的来源。孔隙水中高含量无机碳（DIC）值以及对应的极负的 $\delta^{13}C_{DIC}$ 最小值深度指示了 BH-CL37，BH-CL37A 和 BH-CL32A 的硫酸盐甲烷转换带深度为 530-540cmbsf，290-300cmbsf 以及的 470-480cmbsf。沉积物中 Sr 和 Ba 等元素的富集系数以及 Sr/Mg 等比值有良好的相关性，并在 BH-CL37 的 290-300cmbsf 中有异常扭折现象的显示，指示了古 SMTZ 的深度，说明该处的冷泉经历了甲烷通量减弱的过程。Mo，U 微量元素的富集系数以及稀土元素 PAAS 标准化的配分曲线中的中稀土富集，无 Ce 异常等特征说明沉积物的还原的沉积环境。此外，通过对比有相同流体来源的 BH-CL37 和 BH-CL37A，我们总结冷泉活动往往随着流体中心向外减弱，高的流体通量会压缩铁锰还原区和硫酸盐还原区，并有较浅 SMTZ。而较深的 SMTZ 常有较封闭的沉淀环境使其生成的黄铁矿有更大的 S 同位素值（＞0），但也因此可能缺乏足够的 Mo 含量来形成显著的 Mo 富集。据我们所知，本研究是首次对南海南部冷泉的孔隙水和沉积物结合分析研究，期望会对未来南海南部冷泉活动更加系统更加深入的研究有所启示。

S29-P-10

海底冷泉气泡羽状流建模及气泡体积分数定量估算的地震海洋学研究

陈江欣[1]*，韩同刚[2]，何兵寿[2]，徐华宁[1]

1 青岛海洋地质研究所数据处理室，青岛 100871

2 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 210093

* jiangxin_chen@sina.com

海底羽状流是指气体或流体穿过海底沉积层（或更深）喷涌或渗漏进入海水之后形成的自然现象，与热液系统、冷泉渗漏、蛇纹石化过程和活跃构造区的流体运移有关。气泡羽状流为海底流体逃逸活动正在发生的最直接证据，其在天然气水合物、常规油气勘探、全球气候变化、碳循环和极端生物群落等研究方面具有重要意义（陈江欣等，2017）。

地震海洋学是一门新兴的反射地震学和物理海洋学的交叉学科，利用传统多道反射地震方法研究物理海洋学问题，以其高横向分辨率和快速进行中小尺度过程成像的优势在物理海洋学领域获得广泛应用（Holbrook et al., 2003）。最近研究表明，地震海洋学方法不仅可以研究海水层内部的物理海洋学现象和过程，而且可以对水圈与岩石圈之间的重要海底边界过程进行成像，进而探讨与此相关的如海洋沉积动力学、冷泉和热液活动过程等（陈江欣等, 2016）。

海底气泡羽状流呈现为被海水包围的“火焰状”气液混合特征（Naudts et al., 2010）。本文从理论模拟角度验证海底气泡羽状流的地震海洋学特征，在分析海水物理性质和声学性质的基础上，基于实际物理海洋学资料，结合海水状态方程（IOC et al.,

2010）和声速经验公式（Wilson, 1962），计算建立背景海水层模型。海底羽状流成份复杂（如气体成份差异、天然气水合物、油滴、沉积物颗粒和低密度水体等），此模型以甲烷气体成份的气泡为切入点，详细研究分析气泡的声速和密度特性，推导气液混合区域声学特性，结合修正的气体状态方程（谢刚和张信勇, 2014）和气泡溶解模型（Leifer and Patro, 2002; McGinnis et al., 2006）计算气泡的密度和地震传播声波速度，进而建立气泡羽状流模型。将背景海水层与气泡羽状流模型耦合，以建立整体海水层气泡羽状流模型，利用有限差分和逆时偏移进行数值模拟获得合成地震剖面，并利用地震属性分析定量研究地震响应特征与气泡体积分数关系的重要数据基础（Chen et al., 2020）。

为了建立地震响应特征与气泡体积分数之间的量化关系，针对考虑的每种地震属性（瞬时振幅、瞬时频率和瞬时相位）剖面，计算了海底气泡羽状流内不同位置矩形区域的属性均值。瞬时振幅和瞬时频率可以直接利用上述方法从属性剖面中提取地震属性值，并研究其与气泡体积分数之间的定量关系。而瞬时相位需要引入信息熵作为中间变量来研究其与气泡体积分数之间的关系，并量化同相轴的连续程度。

随深度增加，海水声速和密度呈现增大趋势。然而，当海水中存在气泡时，会使得原有海水的声速和密度降低。将海底气泡羽状流模型与相应的合成地震海洋学剖面对比，发现二者之间具有很好的一致性。不同频率地震海洋学剖面上的海底气泡羽状流轮廓和海水层的刻画均清晰精确，并且与模型中真实的气泡羽状流位置相匹配。对地震海洋学剖面的进一步分析表明，频率越高，气泡羽状流的边界越清晰，与所建模型的一致性越好。海底气泡羽状流地震属性剖面上表现为振幅强、频率高、边界同相轴错断的特征。

瞬时振幅随气泡体积分数的增加而增大，利用三次多项式模型对此关系进行建模，其回归判定系数大于 0.93。瞬时频率随着气泡分数的增加而降低，对于此地震属性，我们拟合了二次多项式模型，其中回归判定系数高于 0.85。瞬时相位与气泡体积分数之间的关系曲线中存在一个“拐点”，随着气泡体积分数的增加，瞬时相位值首先迅速增加，然后呈现出轻微的上升趋势，最后达到平稳状态，此关系的变化特征利用 Weibull 模型进行定量描述，其回归判定系数大于 0.82。

数值模拟和实例研究说明了利用地震海洋学方法研究海底气泡羽状流动力学过程的可行性，从多个角度对所提出的海底气泡羽状流模型进行研究分析，表明地震海洋学为研究和捕捉海底气泡羽状流参数提供了一种新有效的量化方法，量化分析表明海底羽状流气泡体积分数的变化将引起地震响应的明显变化，为进一步利用该方法探测海底羽状流和研究其动力学过程奠定重要基础。

S29-P-11

冲绳海槽中北段构造作用对于海底甲烷渗漏发育的控制

李昂[1,2]*，蔡峰[1,2]，吴能友[1,2]，李清[1,2]，闫桂京[1,2]，孙运宝[1,2]，董刚[1,2]，骆迪[1,2]，王星星[1,2]

1 自然资源部天然气水合物重点实验室，中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

2 海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛海洋科学与技术试点国家实验室，青岛 266071

* ang.li_cn@outlook.com

陆架边缘深水环境中游离态甲烷能在构造应力的作用下逃逸至海水当中。至今尚不完全清楚拉张应力主导的环境下何种地质过程控制了海底甲烷渗漏的空间分布。本次研究联合使用多波束回声探测和多道地震数据，揭示了 2013-2016 年弧后拉张背景下冲绳海槽中北段海底游离态甲烷渗漏分布。这些渗漏具有如下地质表征和地物信号：（a）呈孤立状或集群分布的水体羽状流，（b）海底凸起微地貌，（c）中-

高背向散射强度指示的自生碳酸盐岩发育区，（d）上述区域下方的气烟囱。这些表征和信号空间组合指示了研究区浅层沉积物中富气孔隙流体渗漏的广泛分布。基于甲烷游离气渗漏的地物和地化约束，提出研究区主要发育有两类游离态甲烷渗漏（A 和 B 型）。其中，A 型渗漏同位素分析结果表明浅部甲烷具有热解和微生物混合成因，富甲烷孔隙流体沿断层向上运移维持了该类渗漏的发育。B 型渗漏中主要包含热解成因甲烷且附近断层较少，超压孔隙流体优先通过气烟囱中裂缝发生逃逸。总体来看，冲绳海槽弧后拉张作用导致了大量张型断层作用，这可以影响浅部沉积物中超压分布，在孔隙压力达到封闭失效临界点之前将气体释放出来。断层作为构造活动的产物为下伏孔隙流体运移提供可渗透运移通道，很大程度上决定了冲绳海槽中北段海底甲烷游离态渗漏的分布。此外，海底隆起地貌和局部挤压也控制了部分甲烷渗漏的发育，前者体现在地貌高处海底甲烷渗漏的富集，后者集中在陆坡张扭断层系的挤压弯部。

S29-P-12S

南海北部海马冷泉区表层沉积物的 AOM 生物标志化合物特征

吴一帆[1,2]，管红香[1]*，许兰芳[1,2]，刘丽华[1]，苏正[1]

1 中国科学院广州能源研究所，广州 510640

2 中国科学院大学，北京 510640

* wuyf@ms.giec.ac.cn.com

研究选取了 2 个采自海马冷泉管状蠕虫区(ROV06)和贻贝区(HM101)的表层沉积物柱状样品，并对其中的生物标志化合物进行了提取和测定，以探讨海底表层沉积物中甲烷厌氧氧化反应（AOM）的发育情况及其中主导 AOM 反应的微生物群体分布。研究结果发现海马冷泉区沉积物中存在大量与 AOM 有关的生物标志物，如 2, 6, 11, 15-四甲基十六烷(Crocetane)、2, 6, 10, 15, 19-五甲基二十烷(PMI)等类异戊二烯烃，古醇（Archaeol）、sn2-羟基古醇（sn2-OH-Ar）等类异戊二烯甘油二醚以及 n-$C_{15:0}$ 和 n-$C_{17:0}$ 异构/反异构脂肪酸等。极负的 $\delta^{13}C$ 值显示其来源于海底渗漏甲烷。主导 ROV06 和 HM101 沉积物中 AOM 现象的微生物组合以 ANME-2/DSS 为主，指示海底存在较大甲烷通量的渗漏，但是在 ROV06 站位的顶部发现了 ANME-2/DSS 与少量 ANME-1/DSS 共存的迹象，反映了甲烷通量在垂向上的减少。对比两个站点的生物标志化合物模式发现，ROV06 站位的甲烷通量明显低于 HM101 站位，同时站点之间硫酸盐还原菌 SRB 生物标志物的 $\Delta\delta^{13}C$ 显示 ROV06 区的 AOM 作用更强，这可能与管状蠕虫释放的硫酸盐有关。HM101 站位的饱和烃组份中存在明显的 UCM 现象，可能存在深部烃类渗漏。

S29-P-13S

Hikurangi 俯冲带沉积物成岩作用示踪研究：来自孔隙流体 Sr 同位素证据

孔丽茹，罗敏*

1 上海海洋大学 海洋科学学院，上海 201306

* mluo@shou.edu.cn

俯冲带是地球上地质活动最活跃的地带之一，对地球表面和内部的演化具有重要意义。俯冲板片的岩性和成岩作用影响着俯冲带的几何形状，俯冲带类型，并影响俯冲带界面的力学性质和地震发生的深度。深入了解俯冲带沉积物成岩作用是理解俯冲过程前提和关键。本文以国际大洋发现计划 IODP 375 航次在新西兰 Hikuangi 俯冲带钻探站位取得的沉积物孔隙流体为研究对象，对俯冲板块站位（U1520）和变形前缘逆冲断层（U1518 站位）的孔隙流体 SO_4^{2-}、Ca^{2+}、Mg^{2+}和 Sr^{2+}

浓度以及放射性 Sr 同位素（$^{87}Sr/^{86}Sr$）开展分析。Ca^{2+}、Mg^{2+}浓度的负相关性以及随着 Sr^{2+}浓度增加 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 减小的结果表明这两个站位均存在火山灰蚀变，两个站位顶部 Ca^{2+}、Mg^{2+}浓度同时降低则表明该处存在自生碳酸盐沉淀。同时，俯冲板块 U1520 站位岩性单元 IV（509.82 ~848.45 mbsf）Mg^{2+}浓度减小 Ca^{2+}浓度增加而随着 Sr^{2+}浓度的增加 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 保持稳定，显示发生了显著的碳酸盐重结晶作用；而紧邻其下部的以火山碎屑岩为主岩性单元 V（848.45~1016.24 mbsf）中，由于 SO_4^{2-}、Ca^{2+}、Mg^{2+}浓度均趋近海水值，认为该位置存在明显的流体横向流动。我们推测，俯冲板片的岩性和成岩作用的高度不均一性，可能使得被俯冲之后形成特殊的应力场和异常的流体压力，进而可能与 Hikurangi 俯冲带频发的慢滑移事件有关。

S29-P-14S

Trace elements in authigenic pyrite as methane seepage indicator

Xiaoming Miao[1], Xiuli Feng[1,2]*, Jingrui Li[2], Xiting Liu[1,2], Junxi Feng[3,4], Jiangong Wei[3,5]*

1 Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Technology, College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2 Pilot national Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266037, China

3 MLR Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China

4 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou, 511458, China

5 School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China

* fengxiuli@ouc.edu.cn, weijiangong007@163.com

The enrichment mechanism of authigenic pyrite by trace elements under methane seepage remains unclear. To provide insights, we used pyrite samples from the ‘Haima seep’ sedimentary area to determine the trace element contents in pyrite between methane seepage and normal (non-seepage) sedimentary environments. Under the methane seepage, the Cd, Ni, Cu, and Zn contents related to the organics degradation in pyrite are low, while Mo contents related to the redox environment are high. Such a discrepancy in the trace element contents can be explained by the fact that the sulfates in the sulfate-methane transition zone are consumed by anaerobic oxidation of methane. This process inhibits the organic sulfate reduction and leads to a decrease of trace metal contents in pore water. Simultaneously, intense AOM can produce more H_2S, which would make the pore water microenvironment even more reducing and, as a result, increase Mo content in pyrite.

S29-P-15

冷泉活动对底层海水氧气浓度和底栖有孔虫的影响—来自南海的证据

李牛[1]*，王宏斌[2]，冯东[3]，陈多福[3]

1 中国科学院南海海洋研究所中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301

2 广州海洋地质调查局，广州 510075

3 上海海洋大学海洋科学学院上海深渊科学工程技术研究中心，上海 201306

* liniu@scsio.ac.cn

甲烷渗漏广泛分布于全球主动和被动大陆边缘。地质历史时期大规模的甲烷释放被认为能导致底层海水的缺氧和酸化，从而造成生物灭绝，但是缺乏自然系统中甲烷渗漏引起的低氧环境的直接证据。在这里我们通过对采自南海琼东南盆地，东

沙海域和南沙海槽的三个深水（1745 米，2000 米和 2796 米）冷泉的柱状沉积物的研究发现，甲烷的缺氧氧化作用造成沉积物中 TS/TOC 比值的升高，同时冷泉碳酸盐岩的发育造成沉积物的无机碳同位素负偏，甲烷缺氧氧化作用耦合的硫酸盐还原作用形成硫同位素偏正的黄铁矿。值得注意的是，沉积物中的氧化还原敏感元素(Fe, U, 和 Mn)指示缺氧的底层海水环境。我们认为甲烷有氧氧化作用的发生造成了底层海水的缺氧环境，而甲烷有氧氧化作用主要受控于甲烷通量的变化。同时，我们对南海东沙海域沉积物的研究发现，像 *Uvigerina* 这样的冷泉区常见的底栖有孔虫可在较低甲烷通量时由于甲烷氧化菌的出现而发生繁盛；相反，强烈的甲烷渗透导致沉积物孔隙水硫化氢浓度的升高，并且硫酸盐-甲烷转化带的位置靠近海底。在这种情况下，底层海水的氧气容易被消耗，从而导致底栖有孔虫的减少。我们的研究表明，冷泉活动的动态特征能显著的影响海底氧气浓度和生物（如底栖有孔虫）。因此，在研究未来全球海洋变暖对水合物分解的影响时，应考虑微生物消耗甲烷在深海氧气浓度变化和底栖生物中所起的作用。

S29-P-16S

Regab 麻坑沉积物地球化学特征对冷泉活动的示踪

常静怡[1]，卢海龙[2]*

1 北京大学工学院，北京 100871

2 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* hlu@pku.edu.cn

Regab 麻坑位于非洲西南，Congo 深海冲积扇内，在麻坑内分布有大量的烃气泄漏以及水合物生成。研究样品取自 Regab 麻坑内的 WACS-03 和麻坑外的 WACS-01 站位。

XRD 显示沉积物中以石英，岩盐，长石类矿物为主，黏土矿物主要以高岭石，绿泥石，云母，蒙皂石，伊利石为主。沉积物含有黄铁矿和石膏，但各个层位均表现出极低的碳酸盐含量。沉积物中 TOC 含量整体都在 2%以上，通过 Congo 河及深海河道搬运而来的富有机质的陆源沉积物为其主要来源。TS/TOC 随深度显示出不规律的变化（WACS-01 站位为 0.2~0.9 %，WACS-03 站位为 0.1~1.75 %），可能代表了多渗漏期次以及浊流的影响。黄铁矿主要以草莓状，填充于硅藻和放射虫的形式产出，表层黄铁矿比深层黄铁矿的含量更高，可能代表着较为活跃的有机质氧化过程。WACS-01 站位的黄铁矿硫同位素值为 -47~-33 ‰V-CDT，WACS-03 站位为 -40~-7 ‰V-CDT。03 站位的黄铁矿硫同位素值明显高于 01 站位，说明了其处于冷泉环境中，受到硫酸盐驱动的 AOM 的影响。两个站位均没有检测到甲烷气体，代表了冷泉活动的减弱。SEM 观察到黄铁矿表面有溶蚀现象，这个过程和有机质氧化，可能导致了两个站位的酸性沉积环境，进而造成了碳酸盐的溶解和石膏的形成。

S29-P-17

南海南部浅表层沉积物中甲烷通量变化过程的多指标方法示踪

冯俊熙[1]*，李牛[2]，尚久靖[1]，梁金强[1]，杨胜雄[3]

1 广州海洋地质调查局，广州 510075

2 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 510071

* fengjx123@163.com

大陆边缘存在广泛的甲烷渗漏活动，并且其渗漏通量受到海洋环境变化的影响。然而，冰期/间冰期转变阶段沉积环境重要变化对深海甲烷渗漏活动的影响还不清楚。南

海南部发育宽阔的巽他陆架，在末次冰期巽他陆架广泛出露，为研究这个科学问题提供了绝佳的场所。为了认识甲烷渗漏活动的动态演变和沉积作用之间的关系，我们对北康盆地沉积物岩心CL3A开展了地球化学研究。分析结果显示，在510-660cm层位上存在沉积物总无机碳(TIC)和总硫含量高异常，同时伴随极负的 $\delta^{13}C_{TIC}$ 值和正偏的还原性硫硫同位素组成，表明该层位存在强烈的甲烷缺氧氧化（AOM）作用，代表一个甲烷-硫酸盐转换带（SMTZ）。AOM作用使得自生碳酸盐岩和铁硫化物在SMTZ内形成。最近数百年甲烷扩散通量增大，形成了下凹型硫酸盐剖面。 末次冰消期（~13ka）以来甲烷扩散通量相当稳定，较低的沉积速率导致SMTZ 固定在一个深度上，形成了较厚的SMTZ。该项研究成果有助于认识南海南部甲烷渗漏历史，也揭示了沉积速率对甲烷有关的早期成岩过程的影响。

S29-P-18

南海北部冷泉碳酸盐岩含铁锰碳酸盐矿物特征及环境意义

陈弘*，陈芳，高红芳

1 广州海洋地质调查局

* chenhong@mail.cgs.gov.cn

南海北部冷泉区某钻孔发育的碳酸盐岩主要由自生碳酸盐矿物和陆源碎屑矿物组成。其中碳酸盐类矿物包括方解石、文石、少量白云石和菱镁矿。全岩X射线衍射分析结果表明，该区的碳酸盐矿物中有含量不等的钙、镁、铁、锰等金属阳离子，其特征峰（104）位置与金属离子含量有关。根据矿物中的金属元素含量，方解石和白云石又可细分为高镁方解石、低镁方解石、锰方解石、铁白云石、锰白云石等亚类，不同亚类的碳酸盐矿物有不同的X射线特征峰（d值）及结晶学特征。

影响碳酸盐矿物的形成因素众多，包括碳酸盐过饱和度、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Fe^{2+}、Mn^{2+}等阳离子浓度、SO_4^{2-}等阴离子团浓度、温度、pCO_2、氧化还原条件、微生物活动以及后期的地质构造活动等，因此通过矿物组份及结晶学特征的研究有助于我们了解矿物形成过程中流体来源及介质条件的变化。

地层中的铁、锰均为变价元素，碳酸盐矿物中的铁锰以低价态存在。氧化还原沉积环境的变化导致沉积物中的铁、锰元素表现为不同价态，高价态的铁、锰代表了氧化环境，低价铁、锰相对处于还原沉积环境。相同外界条件下，二价铁、锰离子与碳酸根离子形成的碳酸盐溶度积（ksp）远小于碳酸钙、碳酸镁（25℃溶液中 $MgCO_3$、$CaCO_3$、$FeCO_3$ 和 $MnCO_3$ 的溶度积 ksp 分别是 6.82×10^{-6}、3.36×10^{-9}、3.13×10^{-11} 和 2.24×10^{-11}），因此二价铁、锰更易与碳酸根离子结合形成沉淀，含铁、锰的碳酸盐矿物对介质物理、化学性质的变化比钙、镁碳酸盐更为敏感。

全岩分析结果表明，钻孔自下而上矿物分布有较大变化，有的层位以文石为主，其它矿物很少，有的层位则可发育不同的碳酸盐类型，两种或多种碳酸盐矿物共存。推测本区碳酸盐矿物是多期次形成于不同沉积环境中，也意味着与此有关的水合物有多期分解活动。以文石为主的层位其它碳酸盐矿物很少，代表了水合物分解作用较强时期，处于氧化环境。含铁、锰碳酸盐矿物多与高镁方解石伴生出现，可能代表了该时期水合物分解作用相对较弱，更偏向还原环境。矿物种类的变化也说明不同时期形成碳酸盐矿物的成矿流体来源也有差异。

初步分析认为：不同时期水合物分解强度、不同来源流体中金属离子浓度的差异以及氧化还原条件等沉积环境的变化是导致本区不同碳酸盐矿物种类及组合出现的主要原因。

S29-P-19

南海琼东南海域古冷泉流体活动与生态系统演化的关

系：来自碳酸盐岩和贝壳化石的证据

肖曦[1,2,3]*，梁前勇[1,2,3]，张亭亭[1,2,3]

1 广州海洋地质调查局，广州 510760
2 中国地质调查局天然气水合物工程技术中心，广州 510760
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
* xiaoxi_629@126.com

海底冷泉活动既是海域天然气水合物的储存标志，也滋养了大量化能自养生物群落，与全球气候变化和极端环境下的生态系统密切相关。冷泉碳酸盐岩作为冷泉渗漏活动的重要产物之一，是记录古冷泉流体活动和演化规律及水合物分解释放甲烷事件的重要证据。

本文在南海北部陆坡琼东南海域采集到两根沉积物柱 W13B (总长 715 cm)和 W13C (总长 270 cm)。研究发现，在其不同深度均出现具有古冷泉特征的碳酸盐岩和双壳类贝壳化石，其中碳酸盐岩多以结核、结壳和硬底状产出。碳-氧稳定同位素研究表明，碳酸盐岩具有较重的碳同位素组成 ($\delta^{13}C$ 值 = −35.3‰ ~ −30.4‰) 和较重的氧同位素组成 ($\delta^{18}O$ 值 = 3.61‰ ~ 5.00‰)。研究结果表明，以热解成因气为主要来源的甲烷流体是该海域冷泉渗漏流体的主要来源；不同层位碳酸盐岩的形成可能与天然气水合物分解和多期次冷泉渗漏有关。同时，在沉积物中发现了双壳类贝壳化石(包括我国南海北部冷泉区的主要优势种平端深海偏顶蛤和伴溢蛤)；它们在不同沉积层位具有不同的分布规律和碳-氧同位素比值。其中伴溢蛤碎屑大多出现在浅表层沉积物中，$\delta^{13}C$ 值为 2.10 ‰，$\delta^{18}O$ 值为 3.81 ‰～4.14 ‰；深海偏顶蛤碎屑在沉积物柱的不同深度均有出现，其 $\delta^{13}C$ 值为−9.4 ‰ ~ 0.7‰，$\delta^{18}O$ 值为 3.22 ‰~ 4.85‰，表明受天然气水合物分解的影响出现 $\delta^{18}O$ 的正偏移；半闭合单瓣深海偏顶蛤的 $\delta^{18}O$ 值小于 3.88 ‰，$\delta^{13}C$ 值为−5.7 ‰ ~ 0.9‰，表明贝壳死后不久即遭受沉积埋藏，受天然气水合物的影响较小。自生碳酸盐岩中生物壳体的 ^{14}C 年龄可以近似反映所在地层的沉积年龄，指示冷泉渗漏的时间。研究发现，沉积物柱 W13B 的 ^{14}C 年龄具有连续性，反映出在历史时期 W13B 站位出现了多期次的冷泉渗漏 (主要发生时间为 8 ka、15-18 ka、27-32 ka 和 46 ka)，平均沉积速率为 14.2 cm/ka。

综上所述，本文通过碳-氧稳定同位素示踪和加速器质谱 (AMS) ^{14}C 测年法确定了南海北部陆坡琼东南海域柱状沉积物的年代框架和沉积速率，探讨了古冷泉系统的甲烷来源与生态系统演化的关系，结果表明琼东南海域在历史时期可能存在多期次海底天然气渗漏活动。本文的研究结果为恢复南海北部陆坡琼东南海域古冷泉甲烷渗漏系统，重建水合物储库演化规律提供了重要证据。

S29-P-20

甲烷厌氧氧化古菌参与氮吸收过程的地球化学证据

胡钰[1]*，冯东[1]，彭永波[2]，Jörn Peckmann[3]，Sabine Kasten[4]，王旭东[1]，梁前勇[5]，王宏斌[5]，陈多福[1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院，上海 201306
2 Department of Geology and Geophysics, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA
3 Institute for Geology, Center for Earth System Research and Sustainability, Universitat Hamburg, 20146 Hamburg, Germany
4 Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, 27568 Bremerhaven, Germany
5 广州海洋地质调查局，广州 510075
* huyu@shou.edu.cn

海洋沉积物是地球上最大的甲烷储库。由甲烷厌氧氧化古菌（ANME）和耦合的硫

酸盐还原细菌诱导的甲烷厌氧氧化（AOM）是海洋沉积物中控制甲烷向海底排放的主要过程。最近的实验室培养工作显示 ANME 或者与 AOM 耦合的共生体具备固氮或者铵盐的同化吸收能力。然而目前还缺乏海洋沉积物中的这些氮的吸收过程的同位素地质和地球化学记录，从而阻碍了我们对于这些微生物诱导的氮吸收过程在现代和古代海洋中所扮演角色的理解。我们通过南海海马冷泉沉积物中 4 根重力-活塞柱状样品的孔隙水特征和沉积物中无机碳含量及其碳稳定同位素、铁硫化物含量及其硫稳定同位素、微量元素 Mo 富集程度确定了沉积物现代和古代硫酸盐-甲烷转换带（SMT）所处的位置。先前的研究表明我们的柱子中 SMT 处的 ANME 丰度最高，能达到峰值。我们首次发现了在所有 SMT 中均存在非常显著的全岩沉积物的稳定氮同位素负向漂移现象。这些氮同位素负向漂移特征仅仅局限于 SMT 中，表明氮同位素的负向漂是由 ANME 诱导的氮吸收过程所致。我们据此推断这一微生物诱导的氮的吸收过程普遍存在于海岸带和大陆边缘沉积物的 SMT 中，并能导致出现氮同位素负向漂移特征。因此，氮同位素负向漂移特征有望用于示踪地质历史时期中的 AOM，并能够用于更好地限制古代沉积环境中的碳和氮循环过程。

S29-P-21

Microbial diversity of two cold seep systems in gas hydrate-bearing sediments in the South China Sea

Hongpeng Cui[1,2], Xin Su[1,2]*, Fang Chen[3], Melanie Holland[4], Shengxiong Yang[3],Jinqiang Liang[3]*, Pibo Su[3], Hailiang Dong[2,5], Weiguo Hou[2]

1 School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing, 100083, China

2 State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Beijing, 100083, China

3 Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou, 510075, China

4 Geotek Ltd. United Kingdom, Daventry, NN118PB, UK

5 Department of Geology and Environmental Earth Science, Miami University, OH, 45056, USA

* xsu@cugb.edu.cn, ljinqiang@hydz.cn

Cold seep is a unique habitat for microorganisms in deep marine sediments, and microbial communities and biogeochemical processes are still poorly understood, especially in relation to hydrate-bearing geo-systems. In this study, two cold seep systems were sampled and microbial diversity was studied at Site GMGS2-08 in the northern part of the South China Sea (SCS) during the GMGS2 gas hydrate expedition. The current cold seep system was composed of a sulfate methane transition zone (SMTZ) and an upper gas hydrate zone (UGHZ). The buried cold seep system was composed of an authigenic carbonate zone (ACZ) and a lower gas hydrate zone (LGHZ). These drill core samples provided an excellent opportunity for analyzing the microbial abundance and diversity based on quantitative polymerase chain reaction (qPCR) and high-throughput 16S rRNA gene sequencing. Compared to previous studies, the high relative abundance of ANME-1b, a clade of anaerobic methanotrophic archaea (ANME), may perform anaerobic oxidation of methane (AOM) in collaboration with ANME-2c and Desulfobacteraceae in the SMTZ, and the high relative abundances of Hadesarchaea, ANME-1b archaea and Aerophobetes bacteria were found in the gas hydrate zone (GHZ) at Site GMGS2-08. ANME-1b, detected in the GHZ, might

mainly mediate the AOM process, and the process might occur in a wide depth range within the LGHZ. Moreover, bacterial communities were significantly different between the GHZ and non-GHZ sediments. In the ACZ, archaeal communities were different between the two samples from the upper and the lower layers, while bacterial communities shared similarities. Overall, this new record of cold seep microbial diversity at Site GMGS2-08 showed the complexity of the interaction between biogeochemical reactions and environmental conditions.

S29-P-22

游离气层性质限定水合物区深部甲烷通量—以布莱克海台区域为例

郑子涵[1,2]，曹运诚[1,*]，徐文跃[3]，陈多福[1,2,*]

1 上海海洋大学海洋科学学院，上海 201306

2 中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640

3 美国斯伦贝谢公司，马萨诸塞州

* yccao@shou.edu.cn, dfchen@shou.edu.cn

海洋沉积物中天然气水合物成藏受控于甲烷的供给，含甲烷的深部流体通过孔隙水对流作用将甲烷运移至水合物稳定带(gas hydrate stability zone, GHSZ)，其携带的溶解甲烷浓度影响甲烷的输送量，从而影响天然气水合物成藏。以往关于海底天然气水合物成藏的研究大多假设该溶解甲烷浓度为一定值，这会造成对水合物成藏过程认识的不确定性。因此，为定量计算该深部甲烷通量，本文将游离气层与深部甲烷通量联系起来，建立解析解计算模型。且将模型应用于布莱克海台区域，揭示该区域深部甲烷通量分布特征。计算结果表明稳定带底界之下的游离气层性质可以限定地层深部甲烷通量大小。假定现今 ODP995 站位游离气层处于稳定状态，则该站位深部甲烷通量为 0.0231mol/m^2/a。模拟显示 ODP994 站位甲烷水合物产出底界浅于水合物稳定带底界，就是由深部来源甲烷通量较小造成。结合前人关于ODP997站位高甲烷通量供给的结论，得到布莱克海台区域深部甲烷通量从翼部边缘的 ODP994 站位，至翼部中心的 ODP995 站位，至脊部 ODP997 站位表现为逐渐增大的特征。

S29-P-23

琼东南盆地和郁陵盆地天然气水合物成藏对比研究

黄伟[1,2]*，张伟[1,2]，梁金强[1,2]

1 广州海洋地质调查局 广东 广州 510760

2 中国地质调查局天然气水合物工程技术中心, 广东 广州 510760

* acahw_1991@foxmail.com

南海北部陆坡琼东南盆地和韩国郁陵盆地开展了多次天然气水合物(简称水合物) 钻探并获取了水合物实物样品，揭示出两盆地具有良好的水合物资源前景及勘探潜力。为加深不同构造背景下水合物成藏理论及科学指导水合物勘探部署，本研究基于琼东南盆地和郁陵盆地地质、地球物理、地球化学分析并结合水合物钻探成果，从水合物成藏系统角度对两盆地水合物藏的气源条件、输导条件、储集条件、稳定域条件开展综合对比，深入研究了两盆地水合物成藏特征的异同及控藏机制，建立了琼东南盆地“深部超压驱动—混合气源供给—多元流体输导—块体流封闭型”和郁陵盆地“浅层沉积变形—生物气源供给—气烟囱输导—块体流封闭型”两种水合物成藏模式，认为“气烟囱”和“块体流”的耦合作用是两盆地“渗漏型”水合物藏形成及块状水合物赋存的主控因素。研究结果表明：两盆地均属典型“热盆”，含气流体活动更加剧了海底浅层局部高地温场产生，地温梯度可到 90℃/km 以上，琼东南盆地水合物气源为热成因气和生物成因气

的混合气,$\delta^{13}C$-CH_4 总体大于-60‰,C_1/C_{2+}<1000，输导通道多为构造断层、气烟囱、泥底辟，浅层水合物藏与深层常规气藏在气体来源、流体输导特征上具有密切联系，块体流主要通过物性封盖和“温度-压力”封闭作用控制水合物成藏；郁陵盆地水合物气源为浅层生物成因气，$\delta^{13}C$-CH_4 几乎全部小于-60‰,C_1/C_{2+}>1000，输导通道主要为小型断层及微裂隙，块体流主要通过影响浅层沉积变形及储层结构局部优化，控制生物气的运聚和水合物成藏。

S29-P-24S

硫酸盐-甲烷转化界面带中氮的地球化学循环过程：以南海东沙海域 GC10 沉积柱为例

杨鑫[1,3]，孙晓明[1,2,3]*，张艺昊[2,3]，陈伊楠[1]

1 中山大学海洋科学学院，广东 519000

2 中山大学地球科学与工程学院，广东 519000

3 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室，广东 519000

* eessxm@mail.sysu.edu.cn

甲烷是一种重要的温室气体，其温室效应是二氧化碳的 23 倍。甲烷渗漏现象广泛出现在大陆边缘，对全球气候变化有着重要的影响。甲烷在渗漏过程中会与海水中的硫酸根发生甲烷厌氧氧化（anaerobic oxidation of methane，AOM），这一反应发生在硫酸盐-甲烷转换界面带（sulfate-methane transition zone, SMTZ）。在 SMTZ 中化学元素经历了独特地球化学过程，理解化学元素在 SMTZ 的地球化学过程，对于示踪地质历史时期甲烷渗漏事件有重要意义。

氮元素是重要的生命元素与 SMTZ 处的生态群落有着密切的联系。氮同位素在 SMTZ 也经历着独特的地球化学过程，然而迄今为止我们对于 SMTZ 中氮元素的地球化学过程了解的很少。AOM 作用受到产甲烷厌氧古菌（anaerobic methanotrophic archaea，ANME）和硫酸盐还原菌（sulfate-reducing bacteria，SRB）的共同调节。实验室生物培养证明 ANME 会同化较轻的 14N 同位素来组成自身的生物组织，形成 15N 亏损的生物标志化合物，可以造成最大 27‰的氮同位素分馏。同时，前人对冷泉贻贝生物组织的氮同位素分析表明，冷泉生物组织中氮同位素比正常海洋环境中的贻贝生物组织氮同位素值低，证明由 ANME 固定下来的 15N 亏损的氮进入了冷泉生态系统之中。在 SMTZ 处，沉积物氮同位素出现负偏也被认为是一种重要的示踪甲烷渗漏的指标。虽然我们对于 SMTZ 处氮同位素的变化有所了解，但是我们对于氮元素在 SMTZ 的转变和循环过程仍然存在未知。一方面，ANME 对氮的同化利用可能会使得 SMTZ 处有机质的氮含量增加；另一方面，由于极端的厌氧环境，反硝化作用增强，硝酸根会转变成为 N2 逃离系统沉积体系，这可能会使得沉积物中氮含量减少。然而由于缺乏 SMTZ 处沉积物中总氮含量和有机氮含量的相关报道，我们使得对于对氮元素在 SMTZ 处的转变和循环缺乏了解。此外，在孔隙水中广泛观察到 SMTZ 界面带中 NH4+离子浓度的显著升高的现象。如何将孔隙水、沉积物、冷泉生物结合起来的系统的理解 SMTZ 中氮元素的转变和循环也是一个重要的科学问题。

本研究选用的沉积柱为 GC10，来自南海北部陆坡东沙海域水合物区，水深 3008m，柱长 973cm。前人的研究中已经报道了其孔隙水中多种离子浓度，并通过甲烷浓度和硫酸根浓度限制了沉积柱中 SMTZ 的位置。本研究测试了 GC10 沉积柱沉积物的全岩氮同位素、全岩氮含量、有机氮同位素、有机氮含量，目的是系统的理解 GC10 沉积柱中 SMTZ 处氮元素的转变和循环过程。

S29-P-25

沉积物深部硫酸盐还原驱动有机质矿化过程：来自墨西

哥湾盐底辟区碳酸盐岩的证据

黄慧文[1]，冯东[2]*，宫尚桂[2]，郭炀锐[3]*，Daniel Birgel[4]，Jörn Peckmann[4]，Harry H. Roberts[5]，陈多福[2]

1 中国科学院南海海洋研究所边缘海与大洋地质重点实验室， 广州 510301

2 上海深渊科学工程技术研究中心，上海海洋大学海洋科学学院，上海 201306

3 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学重点实验室， 广州 510640

4 Institute for Geology, Center for Earth System Research and Sustainability, Universität Hamburg, Hamburg 20146, Germany

5 Coastal Studies Institute, Department of Oceanography and Coastal Sciences, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, 70803, USA

* dfeng@shou.edu.cn.

海洋沉积物中的有机质埋藏和碳酸盐沉淀是最重要的海洋碳汇过程(Burdige, 2005; Mitnick et al., 2018)。在硫酸盐和甲烷过渡带以下，尽管海水供给的硫酸盐被消耗殆尽，然而，沉积物中的一些矿物或者流体仍然存在硫酸根可以作为电子受体参与到碳循环过程中，发生微生物或热硫酸盐还原作用（Wortmann et al., 2001; Zindorf et al., 2019）。深部的硫酸盐驱动甲烷等烃类的厌氧氧化过程（AOM-SR）能有效降低海底沉积物对海洋碳的贡献，是一类重要和未被认识的甲烷的汇(Caesar et al., 2019)，同时也深切地影响了埋藏油气的组成演化(Parkes et al., 2007)。深部的硫酸盐还原作用一般发生于油气藏位置，而本研究报道的碳酸盐岩记录了深部硫酸盐还原驱动的有机质矿化（OSR）过程。

样品采集自墨西哥湾 SS296 站位，该站位受到盐底辟作用强烈影响，下伏底辟形成的盐穹构造。碳酸盐岩以低镁方解石为主，岩石和地球化学研究揭示样品直接沉淀于卤水的自生碳酸盐岩，保留了微生物的凝灰结构。部分样品呈叠锥结构，这种结构一般形成于高温高压（70~120 ℃）的沉积物埋藏条件。在假定所有碳酸盐岩形成于同一类流体的前提下，具叠锥结构的样品的无机氧同位素值也指示了高温条件的影响，初步的 Δ_{47} 簇同位素的温度结果揭示这部分碳酸盐岩的形成温度为~65℃。碳酸盐岩中存在大量球状黄铁矿，且样品总硫含量及铬还原性硫的硫同位素值呈明显的正相关，指示了碳酸盐岩形成时硫酸盐还原作用引起的硫同位素分馏。碳酸盐岩的无机碳同位素相对海相碳酸盐岩偏负，而有机质的碳同位素组成特征则未显示 $\delta^{13}C$ 值偏负的烃类的影响，指示其碳源最可能是有机质降解。这些结果揭示 SS296 的部分碳酸盐岩样品极有可能直接由深部的 OSR 作用影响而沉淀。

综上，沉积物深部的硫酸盐很可能并不局限于促使 AOM-SR 过程的发生。尽管深部有机质具有更强的抗矿化能力，然而仍然可能是深部埋藏沉积物中硫酸盐还原作用的重要底物。然而，目前研究揭示，硫酸盐还原菌主要利用的是活动的小分子有机质，因此，沉积物深部的 OSR 作用的发生机制仍然需要进一步研究。

S29-P-26

台湾龟山岛浅海热液痕量金属迁移、通量与潜在影响

梅康[1,2]，石梦秋[1,2]，陈镇东[3]，王德利[1,2]*

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361101

2 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361101

3 台湾中山大学海洋学系，台湾高雄 809

* deliwang@xmu.edu.cn

中国台湾东北部龟山岛（24.83N, 121.96E）海域岩浆活动频繁，东南侧 1 公里范围内形成了海底喷口众多的浅海热液生态系统。浅海热液活动包括如金属矿物排放、硫化物堆积、典型微生物群落形成和喷口生

物聚集等现象，是构成影响海洋生态环境变化的独特来源。尤其热液喷口释放的大量重金属在海洋生物体内累积，并沿食物链进行传递，进而影响生态系统稳定，威胁人类健康。研究调查了白泉（16 m）和黄泉（13 m）两个典型烟囱体热液喷口。黄泉热液与白泉热液相比，具有较高温度、低溶解氧、酸性环境以及流体中含有大量的黄色硫颗粒等特征。黄、白泉热液均观测到大量可溶性硫化物（S2-）的释放。溶解态 Fe, Mn, Cu 和 Mo 均呈现为白泉高于黄泉，两个热液口 V 的分布基本一致，与背景站相比，热液是贡献 V 的重要来源，溶解态 V 在泉口及泉内均有颗粒清除作用。龟山岛黄泉和白泉热液喷口的溶解态金属年通量估算为：0.10-1.23 kg Fe、0.08-28.0 kg Mn、33.4-306 g V、2.89-77.7 g Cu 和 54.3-664 g Mo。环境因子中 DIC 对环境分异的解释度极显著（$p<0.01$），pH 对环境分异的解释度呈显著差异（$p<0.05$）；影响黄泉环境差异的的环境因子为 TA、DO 和 NH4+-N；影响白泉环境差异的的环境因子为 DIC、盐度、和叶绿素（Chl-a）。研究发现大量酸还原性硫化物和成矿金属的热液，形成海底热液活动影响的特殊生态系统，为加强理解地球内部物质释放和海洋环境演化提供了支撑证据。

S30-O-01

南海构造与岩浆研究新突破

林间[1,2,3]*, 李家彪[4], 徐义刚[5], 孙珍[1], 夏少红[1], 黄小龙[5], 解习农[6], 李春峰[7], 丁巍伟[4], 周志远[1], 张帆[1], 罗怡鸣[2]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301
2 海洋科学与工程系，南方科技大学，深圳 518055
3 美国伍兹霍尔海洋研究所，伍兹霍尔 02543
4 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
5 中国科学院广州地球化学研究所 同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640
6 中国地质大学（武汉） 海洋学院，武汉 430074
7 浙江大学 海洋学院，舟山 316021
* jlin@whoi.edu

南海是西太平洋地区规模最大且具有代表性的边缘海盆地之一。经过近几十年的研究积累，尤其是通过实施 5 个国际大洋钻探航次与国家自然科学基金委“南海深海过程演变”重大研究计划，科学家获得了大量宝贵的第一手资料，取得了一系列创新进展与重大突破，标志着南海海洋地质与地球物理研究正走向国际前沿。重要研究成果包括（1）新提出南海是“板缘张裂”盆地，与经典的大西洋型陆缘模式不同；（2）大洋钻探首次获取了基底玄武岩样品，结合南海首次深拖地磁测量实验，精确测定了南海海盆玄武岩年龄，揭示南海海盆从东向西分段扩张；（3）大洋钻探结果发现南海陆缘岩石圈减薄之初岩浆迅速出现，未发现缓慢破裂造成的蛇纹岩出露；（4）发现南海扩张结束后仍存在大量岩浆活动,可能受控于多种构造与地幔因素；（5）地球化学证据与地球动力学模拟都显示南海岩浆的形成受到周边俯冲带的影响。目前海洋地球科学正在进入崭新的发展阶段，有望以南海为基点，开始拓展到周边大洋，提升我国在南海、西太平洋与印度洋海洋地质科学研究的实质性影响力与引领地位。

S30-O-02

南海扩张脊变迁的机制

孙珍[1,2,3]*，丁巍伟[4]，邱宁[1,2,3]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，广州 510301
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
3 中国-巴基斯坦地球科学研究中心，伊斯兰堡 45320
4 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* zhensun@scsio.ac.cn

扩张脊旋转和扩张脊跃迁是海洋板块发育壮大过程中常见的两种板块调整方式，广泛见于各洋盆中。麦格理洋脊复合体是一个典型的旋转案例，扩张轴的方向发生了60-90°的顺时针变化；冰岛和 Galápagos 是扩张脊跃迁的典型例子。洋脊跃变通常与地幔柱/热点-洋脊相互作用或不对称海底扩张有关。在南海，人们发现了至少两期扩张脊变迁，但其跃迁机制尚无报导。与以往海洋区域的许多观测不同，没有证据支持南海扩张早期存在热点或地幔柱影响。为了探讨洋脊跃迁的原因，我们追踪了海盆的扩张组构和磁异常条带。在扩张组构和磁异常条带的共同制约下，我们回溯了南海的扩张过程，发现南海在扩张过程中曾多次改变扩张方向。有时扩张脊表现为向新的方向旋转，有时发生跳跃。通过运动学分析，我们发现扩张脊与转换断层之间的空间关系可能决定了扩张脊何时发生旋转或跳跃。在南海，当扩张方向由 NW-SE 向 NS(顺时针)转变时，扩张脊发生旋转。当扩张方向由南北向向北西-东南(顺时针)转变时，发生了跃迁。反之，沿转换断层的两个板块之间会因板块运动方向和角度的差异而发生局部压缩，从而停止旋转或跳跃过程。这一运动学分析与在南海的观测结果很好地吻合。这一发现为洋脊跃变提供了重要的机制，有助于从新的角度重新评价海底扩张和洋脊跃变的构造过程。

S30-O-03

南海成因及其演化

李学杰[1,2]*，王哲[1,2]，姚永坚[1,2]，高红芳[1,2]，祝嵩[1,2]，徐子英[1,2]

1 广州海洋地质调查局，广州 510760

2 自然资源部海底矿产资源重点实验室，广州 510760

* xuejieli@yeah.net

尽管南海已进行深入的调查与研究，提出多种成因模型，包括挤出模型、弧后扩张模型、古南海俯冲拖曳模型等，但因其所处构造位置特殊，周边构造环境经历了复杂的改造，所有成因模式均未能得到广泛的认可。本文从三大板块相互作用入手，结合南海实测数据，提出南海形成的弧后扩张－左旋剪切模型。认为南海是古南海往北俯冲的弧后盆地，菲律宾海板块往北漂移形成的大规模左旋走滑是南海扩张的触发因素。印度－欧亚碰撞产生中南半岛挤出主要影响西南海盆扩张方向，使得扩张轴从近东西向转为北东向。

南海及邻区晚中生代以来的演化可以分为以下阶段：1）早白垩世开始澳大利亚板块往北漂移，新特提斯洋往北俯冲消亡，导致弧后扩张，形成古南海；2）晚白垩世末－始新世，古南海往北俯冲，导致弧后拉张形成陆缘裂谷；3）早渐新世，受菲律宾海板块西缘大型左旋走滑影响，在原有裂谷的基础上从东往西海底扩张，形成南海；4）渐新世末，受俯冲后撤的影响，扩张中心往南跃迁，同时受西缘断裂左旋活动的影响，扩张轴从近东西西逐步转为北东向；5）早中新世晚期，南沙地块－北巴拉望地块与卡加延脊碰撞，南海扩张停止。

S30-O-04

先存汇聚板缘作用下南海北部断陷结构的多样化特征

庞雄[1,2]，郑金云[1,2]，任建业[3]，梅廉夫[3]，柳保军[1,2]，张忠涛[1,2]，吴哲[1,2]*

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，深圳 518054

2 中海石油深海开发有限公司，深圳 518054

3 中国地质大学（武汉）构造与油气资源教育部重点实验室，武汉 430074

* wuzhe3@cnooc.com.cn

珠江口盆地为位于南海北部陆缘的新生代断陷盆地，发育在中生代活动大陆边缘

背景之上，具有与经典被动大陆边缘断陷盆地不同的洼陷结构和构造演化样式。

形成在超级大陆稳定克拉通背景之上的大西洋型伸展陆缘，其岩石圈的强度具有层状化结构特征，其陆缘断陷结构由陆向洋随着伸展作用和岩石圈薄化程度的增强会发生有序的变化。然而，本研究认为，中生代主动陆缘背景决定了南海北部新生代陆缘断陷结构的复杂性和多样化，先存构造和岩浆作用破坏了地壳结构强度的一致性，对南海北部陆缘珠江口盆地各洼陷结构具有强烈的控制和影响，由此导致了盆地结构和构造的特殊性和多样化。珠江口盆地断陷结构具有以下特征和差异性：

1.受先存构造和或岩浆作用的控制，南海北部陆缘发育壳幔拆离、壳间拆离和上地壳内拆离三种不同构造层次的拆离断裂，不同类型的伸展拆离控制了不同的断陷结构。拆离面的深度决定了断陷的深度，韧性伸展程度决定了断陷的宽度。

2.在位于近端带的珠一坳陷发育了多个受上地壳低角度拆离断层控制的断陷，这些拆离断裂的形成通常受先存断裂和（或）岩浆侵位的影响，拆离面位于埋深较浅的上地壳。

3.超伸展区的白云-荔湾凹陷表现出差异的洼陷结构特征。岩浆作用较弱的白云主洼为复合式宽深断陷，受控于壳幔拆离系；而白云凹陷东部和西南断阶带在下文昌组（T83）地层沉积之后发生广泛的岩浆作用，地壳韧性伸展变形，发育位于上地壳的拆离断裂，断陷的深度较白云主洼浅。

4.拆离断陷具有不同于板式断层控制的断陷结构和沉积充填特征。板式断层控制的断陷通常为窄条状的裂谷型，拆离断陷则为长宽比小的椭圆形态，上盘旋转翘倾是显著特征。拆离断裂上盘翘倾旋转导致轴向物源减弱，而缓坡物源增强，发育大型三角洲沉积，断陷内下沉区发育湖相沉积。

5.受岩浆作用控制的拆离断裂会导致快速拆离和上盘旋转，发育深陷的欠补偿深湖沉积环境。

南海北部陆缘断陷盆地既不同于板内的断陷盆地，也不同于大西洋陆缘断陷盆地。深入分析先存构造和岩浆作用对陆缘伸展断陷结构特征的影响，有助于正确认识洼陷的结构及演化、沉积充填和成烃成藏，避免盲目类比。

S30-O-05

利用 DONET 海底观测网研究日本南海海域俯冲带地震波各向异性

刘渊[1]，薛梅[1]*，郭桢[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 同济大学土木工程学院，上海 200092

* meixue@tongji.edu.cn

地震波各向异性是研究构造演化以及地幔变形的重要方法，利用横波分裂分析俯冲带地震波各向异性具有重要意义。当地震台站布设在海沟附近时，地震射线可以在板片内部传播较长距离，通过对这些地震波信号进行横波分裂解析，就可以获得俯冲板片内部的地震波各向异性结构，从而揭示该地区的地球动力学特征。

本研究基于在日本南海海槽附近布设的 DONET 海底观测网，通过层析成像模型、地震射线三维投影和俯冲板片的导波效应确定地震射线在板片内部传播，应用波形旋转互相关法和最小特征值最小化方法对四国海盆俯冲板片、太平洋板块上覆地幔楔进行直达 S 波分裂研究，共得到 63 个可靠的横波分裂解，揭示了该地区的各向异性特征。

研究表明，四国海盆俯冲板片和太平洋板块上覆地幔楔各向异性快轴方向均为 NE-SW 向，平行于南海海槽走向，垂直于伊豆-小笠原海沟走向。四国海盆俯冲板片的各项异性来自于板块扩张时期形成的“化石各向异性”，这种各向异性在俯冲过程中

未被改造，同时板片挠曲有关的含水断层也对横波分裂结果做出了贡献；太平洋俯冲板块上覆地幔楔各向异性来自于二维地幔楔拐角流引发的各向异性矿物晶体定向排列，结合地震层析成像结果和各向异性强度/厚度的不均一性，推测该地区可能存在地幔上涌。

S30-O-06

动力学模型揭示含水地幔对南海岩石圈薄化破裂的控制作用

周志远[1,2]，林间[1,3,4]*

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 510301
2 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)，广州 511458
3 海洋科学与工程系，南方科技大学，深圳 518055
4 美国伍兹霍尔海洋研究所，伍兹霍尔 02543
* jlin@whoi.edu

南海是西太平洋最大的低纬度边缘海，拥有完整的“威尔逊旋回”，是研究边缘海动力学演化机制的天然实验室。南海国际大洋钻探 IODP 367/368 航次发现南海洋-陆转换带窄，岩浆迅速出现，在洋陆过渡带基底未发现蛇纹石化地幔出露，与经典的大西洋型陆缘显著不同。近年在南海的新发现，催生了“板缘张裂”新模型，并提出南海环形俯冲可能将水带入地幔。然而地幔水如何加速南海岩浆产生、加快陆缘张-破裂过程的具体机制仍不清楚。

本文创新性地在南海张裂模型中直接加入地幔水，定量化地模拟地幔含水量与温度对南海岩石圈破裂、岩浆演化的动力学过程的影响。模型假设大陆上地壳脆性变形，下地壳塑性流动，软流圈地幔在含水情况下的减压熔融，粘度随温度、压力、应变率变化。模拟结果显示：（1）含水地幔与高温地幔均会在南海陆缘张裂过程中产生较多的岩浆，形成张裂期的底侵过程。（2）只有含水地幔（100-300 ppm）才会形成两个张裂中心，其中一个中心后期可能“夭折”。而地震剖面显示南海北部可能存在这样的“夭折”张裂中心构造，与含水地幔模型的预期吻合。（3）含水地幔会显著加速南海破裂的过程，促成岩浆迅速出现。以上结果同时解释了大洋钻探的最新发现与南海的地震剖面构造，揭示了地幔水在边缘海“板缘张裂”过程中的重要作用。

S30-O-07

Mantle serpentinization in the magnetic quiet zone and continent-ocean boundary in the northeastern South China Sea

Chun-Feng Li[1,2,5]*, Xiaoli Wan[3], Wenai Hou[1], Yutao Liu[1], Minghui Zhao[4], Enyuan He[4], Siqing Liu[4], Xuelin Qiu[4], Yu Lu[3], Nan Chen[3]

1 Institute of Marine Geology and Resources, Zhejiang University, Zhoushan 316021
2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237
3 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092
4 South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301
5 Hainan Institute, Zhejiang University, Sanya, Hainan
* cfli@zju.edu.cn

In 2016, we carried out a coincidental multi-channel reflection seismic and wide-angle reflection/refraction seismic experiment along a 320-km long profile across the northeastern margin of the South China Sea (SCS). Based on these new data, we studied velocity structure of the transitional continental

crust using both ray-tracing based seismic phase modeling and travel-time tomography. The velocity model shows that Mesozoic sediments have velocities of 4.3-5.3 km/s and are about 3-6 km thick in the magnetically quiet Chaoshan Depression and the attenuated transitional continental crust. This confirms that it is this thick layer of weakly magnetized Mesozoic sediments that causes the magnetic quiet zone. This Mesozoic layer pinches out seawards near the continent-ocean boundary. Two apparently isolated high-velocity anomalies are revealed in the lower crust of the continental slope. The first has velocities of 7.0-7.5 km/s and a maximum thickness of 8 km, and the second has velocities of 7.0-7.3 km/s and a maximum thickness of 3 km. We find that the discontinuity of the high-velocity zones is not due to the lack of some seismic phases or lose of a seismometer. We suggest that post-spreading magmatism caused these high-velocity zones. A third high-velocity zone, showing a distinctly large velocity gradient, is revealed near the continent-ocean boundary (COB). This indicates upper mantle upwelling and/or exhumation right at the COB, despite recent unsuccess in directly sampling these deep materials in the SCS.

The post-spreading magmatic activities in the northeastern South China Sea (SCS) margin are very strong, evidenced by widely distributed high-velocity lower crustal anomalies (HVLC) and numerous volcanoes. However, there are large contrasts in magmatic activities and crustal structure between the Southern Depression (TSD) of the Tainan Basin in the north and the continental slope area further south. We analyze their crustal P-wave velocity structures based on a newly acquired wide-angle ocean bottom seismic dataset. The Cenozoic strata below the TSD, a Cenozoic failed rift, are relatively thick (~3-4.5 km) with velocities from 1.6 to 3.6-3.9 km/s, whereas the Mesozoic strata are relatively thin (~1-2.5 km) with velocities from 4.3 to 4.6-5.2 km/s. In the TSD, magmatic activities are relatively weak and the crust is severely thinned (~4 km). The crust is 9-15 km thick below the continental slope area, which shows extensive volcanism. We identified a HVLC below the failed rift TSD (Zone 1) and attributed it to mantle serpentinization, whereas the imaged HVLC below the continental slope (Zone 3) and HVLC adjacent to the failed rift TSD (Zone 2) are due to post-spreading magmatic underplating or intrusions. At the model distance of ~90 km, lateral transition from magmatic underplating/intrusions to mantle serpentinization occurred abruptly. We concur that post-spreading cooling and thermal contraction in the nearby SCS oceanic lithosphere can trigger decompressive melting and deformation in the thinned continental slope zone. Our study shows that, in addition to mantle serpentinization in the continent-ocean transition zone (COT), mantle can also be serpentinized below the rift during early-stage rifting. Weak syn-rifting magmatism and mantle serpentinization below the failed rift support that the northeastern SCS has a magma-poor margin.

S30-O-08

海底地震仪地震探测技术与研究进展

赵明辉[1]*，王元[2]，丘学林[1]，郝天珧[2]，丁巍伟[3]，阮爱国[3]，张佳政[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301

2 中国科学院地质与地球物理研究所，中科院油气资源研究重点实验室，北京 100029

3 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* mhzhao@scsio.ac.cn

海底地震仪（OBS）深地震探测可以获取深至地幔岩石圈结构，是解决深部结构问题的有效手段（郝天珧和游庆瑜, 2011；丘学林等, 2012）。以国家重大需求为导向的国内研制 OBS 探测装备填补了国内技术空白，成功打破了发达国家的技术封锁，使我国跻身于该领域前沿。OBS 规模地在南海应用，标志着南海深地震探测进入一个新的历史阶段。研究结果为南海张裂过程、洋壳形成模式、岩浆活动、形成演化模式等理论概念带来了新的认识突破。

西南次海盆探测结果揭示了横跨残留扩张脊两侧洋壳不对称增生的速度结构特征（Zhang et al., 2016）。东部次海盆的三维深地震探测与研究，获得了研究区三维空间变化的速度结构，认为珍贝-黄岩海山链是通过浮力上涌减压融熔机制，在 6–10 Ma 岩浆沿着先存的构造薄弱带上涌形成 (Zhao et al., 2018)。南海东北部东沙隆起区三维 OBS 探测与研究，阐明了张裂期后的岩浆活动及其上涌通道(Xia et al., 2016; Fan et al., 2017)。马尼拉俯冲带三维 OBS 探测与研究，揭示了南海东北部是受到张裂期后岩浆活动影响的减薄陆壳，下地壳底部存在岩浆底侵的高速层 (Liu et al., 2018)。南海北部陆缘洋陆转换带（COT）二维/三维 OBS 探测，结合最新 IODP 结果，建立了洋陆转换带张裂-破裂机制模型，不同于典型大陆边缘的两种端元类型 (Ding et al., 2020)。在解决南海各向异性、岩浆活动、形成演化等深部动力学机制方面同样发挥了不可替代的作用，初步构建了南海与菲律宾海板块之间的构造演化模式(Zhao et al., 2019)。

S30-O-09

多地质过程耦合下的南海板缘-板内破裂

李付成[1]*，孙珍[1]*，杨宏峰[2]，林间[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

2 香港中文大学，香港

* iamlifucheng@163.com, zhensun@scsio.ac.cn

从晚中生代开始，南海大陆边缘至少经历了俯冲、伸展、构造平静、挤压等四期典型地质过程。要想更好地理解现今南海大陆边缘所表现出来的构造特征，就需要整体的耦合相关过程，而不是仅仅将南海陆缘视为纯伸展的结果。

我们第一阶段已完成的工作是探讨南海如何从俯冲向伸展破裂过渡。通过收集并重新处理了南海陆缘磁力异常数据，并与现今活跃岛弧的磁力属性特征进行对比，圈画出全南海区域可能与岛弧相关的高磁异常范围；也收集并对比了南海海域超过 200 口钻井和拖网的岩相与地球化学数据，利用与中生代岛弧相关的岩石分布约束残留岛弧位置，全面恢复南海晚中生代火山弧的位置。将岛弧按照南海打开的方向将位置进行回推，我们发现南海大陆边缘的张破裂具有东西向的差异性，西部破裂位置发生在晚中生代火山弧上、而东部则具有弧前破裂的特点（Li et al., 2018）；

为了验证上述破裂过程的动力学机制，同时更好地再现南海陆缘的多阶段演化过程，我们建立了一系列的热-机械耦合数值模拟模型，实现了单个数值模型中融合俯冲-构造平静-伸展等多地质过程。模拟结果表明俯冲转向的确可诱发大陆岩石圈破裂，并产生新的洋盆。大陆岩石圈的破裂方式有板缘（Continental edge）和板内（Continental interior）破裂两种；破裂发生的位置受控于向北俯冲的时间和大洋岩石圈年龄。板缘破裂以弧前碎块裂离、俯冲大洋岩石圈的拆沉为主要特征；而板内破裂时出现大型陆块向南漂移。上述结果很好地解释了南海初始破裂位置与破裂特征的关系。东侧陆缘在中生代弧前破裂，属于板缘破裂，裂离华南的陆块为狭窄的陆条，宽度小于 300 公里（包括巴拉望岛等）；西侧在岛弧发生破裂，属于板内破裂，裂离的南沙地块宽度超过 500 公里。结合模拟结果与重力对比，新研究推测现今残存的向西北俯冲的中生代海沟可分为两段，其中西侧的海沟在板内破裂时随南沙地块运移至 Crocker - Palawan 增生楔体

之下，东侧海沟则因板缘破裂仍留在南海北部(Li et al., 2020)。

南海东西侧陆缘破裂位置和破裂方式的差异可能是南海东西部陆缘结构和岩浆作用存在巨大差异的主要控制因素；进一步耦合多地质过程、同时添加岩浆、水及岩相的模拟计算工作正在进行。

S30-O-10

东台湾蛇绿岩：南海初始俯冲的构造岩浆响应？

余梦明[1]*，黄奇瑜[1]，闫义[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 中国科学院广州地球化学研究所边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510640

* mmyu@tongji.edu.cn

弧前是了解俯冲带如何形成的窗口。不同于年老的海洋板块因自身重力自动下沉进入软流圈并引起俯冲带上盘发生近海沟海底扩张（supra-subduction zone & near-trench spreading: SSZ-NTS），年轻的海洋板块要发生俯冲需借助外力加以触发。在不考虑活跃洋中脊被动向俯冲带快速转换的特殊情况，理论考量和数值模拟指出发生被动俯冲时因俯冲带上下两板块之间强烈的挤压作用导致 SSZ-NTS 艰难发生（Stern, 2004; Maunder et al., 2020）。南海向东俯冲于吕宋火山岛弧之下，前人根据吕宋岛弧连续的岩浆作用限定南海沿马尼拉海沟的俯冲作用始于中新世，且凭借地震层析成像技术限定已有现今南海三分之一的面积俯冲于吕宋岛弧之下。如果依据现今残留南海的年龄（33-15 Ma），在理论上马尼拉海沟的初始形成应为热的被动俯冲。然而，马尼拉海沟以东-吕宋火山岛弧以西呈现一处类似 IBM 弧前一样狭长的平缓海底地形，或为南海初始俯冲引起的 SSZ-NTS。台湾岛东部发生着吕宋火山弧与欧亚大陆边缘的弧-陆碰撞，其海岸山脉（即吕宋岛弧北段）弧前位置出露结晶年龄略早于相应岛弧火山作用的似 MOR 型蛇绿岩，或为构造抬升的吕宋弧前碎片，代表南海初始俯冲引起的 SSZ-NTS？

S30-O-11

基于被动源海底地震实验的南海西南次海盆岩石圈速度结构研究

田晋雨[1,2]，林间[2,3,4]*，马知途[1]*，徐敏[4]，黎伯孟[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 500085

3 美国伍兹霍尔海洋研究所，伍兹霍尔 02543

4 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，中科院南海海洋研究所，广州 510301

* jlin@whoi.edu, zhitu_ma@tongji.edu.cn

本文利用远震面波层析成像方法，对布放在南海西南次海盆残余洋脊区域的 10 台海底地震仪和周边3台陆地台站数据进行处理和分析，得到了该区域下的 20-80 km 横波速度结构。研究结果表明：（1）在 35 km 以上深度，南海西南次海盆的速度结构与传统冷却模型相似；在 35 km 以下深度，西南次海盆的残余洋脊和其西北部的横波速度相较于洋脊东南侧更高，在 50 km 处速度相差最大（约 3.5%），随后差距缩小，并一直持续到 80 km（不到 1%）；造成洋脊两侧速度差异的原因可能是海盆在扩张时，西南海盆的西北部陆缘基本保持不动，整个海盆向东南部运动，造成海盆的西北部岩石圈冷却更充分；（2）把横波速度随深度变化的最大负梯度处当做是岩石圈底界面，本论文估算南海西南次海盆平均岩石圈底界面为 50 km，残余洋脊及其西北部岩石圈底界面最深，约为 60 km，残余洋脊东南部岩石圈底界面最浅，约为 45 km；（3）观测模型与实验室根据同年龄板块计算的理论模型整体速度低 0.1-0.2 km/s，可能是由于西南次海盆晚期存在岩浆活动，其实际的开始冷却年龄并非是

海盆扩张停止的 16 Ma，而是晚期岩浆活动结束后。同时西南次海盆的地幔中含有下大陆地壳成分，造成了南海西南次海盆的横波速度更低。

S30-O-12

南海北部陆缘洋陆转换带深部速度结构研究初步结果

袁野 [1,2,3]*，赵明辉 [1,2,3]，贺恩远 [1,2]，张佳政 [1,2]，高金尉 [4]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 511458
2 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州 511458
3 中国科学院大学，北京 100049
4 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000
* yy@scsio.ac.cn

南海是西太平洋最大的边缘海，位于欧亚板块、印-澳板块和太平洋板块的交界处，受到三大板块相互作用的影响，有着复杂的构造演化过程。南海北部陆缘是华南大陆向南海洋盆的关键地带，是理解南海由张裂、破裂到海底扩张的关键区域。张裂期以构造拉张作用为主，但在裂后期甚至海底扩张停止后均有较为活跃的岩浆活动，形成了众多的海山（Sun et al., 2019）；最新的 IODP 钻探结果表明，南海北部陆缘在渐新世早期（约 33Ma）陆壳破裂，由一次短暂的岩浆活动完成了从陆到洋的迅速转换（Larsen et al., 2018; Ding et al., 2020），洋陆转换带的范围沿构造走向有明显的变化；虽然并未钻遇蛇纹石化地幔，但在南海东北部的深地震探测结果表明存在蛇纹石化地幔剥露（Wan et al., 2019）。所以为了更全面的了解南海北部陆缘复杂的深部空间结构，揭示南海从张裂到破裂的构造演化过程和动力学机制，需要开展进一步的深地震探测实验。

2018 年 5-7 月，国家基金委南海北部地球物理共享航次搭载中国科学院南海海洋研究所的“实验 2”号科考船，在以 IODP367/368/368X 钻孔为中心的南海北部洋陆转换带区域成功开展了三维 OBS 深地震探测实验。一共投放 52 台 OBS，成功回收 49 台，获得了大量的基础地震数据， 本文选取其中相互近垂直的两条测线（L2 和 H4 测线），共 26 台 OBS 数据，结合沿测线的高精度多道反射地震剖面和 IODP 钻井数据，进行处理分析，通过正/反演方法获得了两条测线的二维地震速度结构模型。

速度结构结果显示，垂直构造走向的 L2 测线，由北向南从减薄陆壳一直延伸到稳定的洋壳范围内，由陆向洋莫霍面逐渐抬升，地壳厚度由 13km 减薄至 5km，下地壳含有 1-4km 厚的连续高速层（7.0~7.4km/s），速度变化较小，推测为岩浆底侵形成。由陆向洋分布着 5 个基底隆起，其向海一侧均被向海倾斜的正断层所切割，向陆的两个隆起下方在多道剖面上可见明显的反射异常，推测为岩浆侵入形成的岩脉，根据对上覆沉积层的破坏程度可以得出两个隆起分别形成于不同的时期。，在模型 90-100km 处的隆起处地壳厚度仅为 5km，下方对应的高速度梯度可能是由岩浆上涌造成，结合磁异常条带的分布，我们推测此处可能为陆壳的破裂点。而隆起处的正断层可能充当了岩浆上涌的通道，向南方向地壳又缓慢增厚至 6.5km，表明海底扩张逐渐趋于稳定。平行于构造走向过 U1503 钻井的 H4 测线下方地壳厚度为 5-7km，莫霍面较为平缓，多道剖面显示基底顶部具有连续高振幅的反射特征，沉积层近水平，几乎没有被构造活动改造过的迹象，属于典型的洋壳，与 U1503 的钻井结果一致，下地壳有由西向东逐渐增厚的趋势，存在 2-4km 厚的连续高速层，代表了海底扩张期的岩浆活动，并且符合南海北部下地壳高速层东厚西薄的总体特征（Nissen et al., 2019）。

结合研究区域向邻的多道剖面，我们获得了一些初步的认识：南海北部陆缘在张裂期以构造拉张作用为主，导致陆壳极度减薄，形成多个大型拆离断层，有的切穿整个地壳至莫霍面；破裂期的洋陆转换过程十分迅速，

形成了约 30km 的洋陆转换带，扩张期的岩浆活动比较活跃，底侵形成了连续的下地壳高速层，并在向洋一侧侵入形成两个基底隆起，从磁异常条带 C10n（约 28.9Ma）开始稳定的海底扩张。

S30-O-13

海南地幔柱的活动性：来自地震震群与发震构造的探讨

夏少红 [1,2]*，林江南 [1,2]，王新洋 [1,2]

1 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

2 三亚中科海洋研究院，三亚 572100

* shxia@scsio.ac.cn

地幔柱不仅会引发极为壮观的岩浆火山活动，其岩浆和流体运移过程也会诱发相关的地震活动。近年来，海南地幔柱的存在已经被多学科证据所证实，从大尺度的地震层析成像获得的 P 波速度模型中，可以看到明显的源自下地幔的柱状低速体；从南海及其周边的新生代晚期玄武岩的岩石学和地球化学研究中，发现了广泛分布的 OIB 型玄武岩；同时，第四纪以来海南及其周边地区有过剧烈的火山喷发活动，约 100 座火山喷发的熔岩覆盖了海南岛北部超过 5000 km2 的区域，甚至在海南琼北火山区 1883 年和 1933 年还有裂隙熔液活动；在琼东南盆地的多道地震探测中也发现热液流体活动的痕迹。

除了显著的岩浆活动之外，事实上，2000-2012 年的地震台网监测数据显示，海南及其周边的岩浆活动区频繁发生了 M<4 级的地震活动并且在空间上呈震群状。我们收集统计了大量资料发现，这些地震与岩浆活动覆盖区极为吻合（保守估计有 85%）。有意思的是，1969 年 12 月 17 日和 20 日，在海南东南海域下方 8 km 深度处发生了一对 M>5 的双震型地震（17 日事件 M5.1，20 日事件 M5.2），二者相距仅有 17 km。然而，这对双震震源区的深部发震结构具有怎么样的特征？其发生是否与海南地幔柱的岩浆流体活动存在紧密关联？等科学问题尚不清楚。

为此，我们在 1969 年海南外海双震震源区首次开展了主动源海上 OBS 广角地震探测，利用 17 个 OBS 台站记录到了清晰的 Pg 和 PmP 震相走时，并基于这些数据开展了地壳三维地震结构成像研究。我们的结果显示，1969 年海南外海双震发生在明显的高低速异常边界，并且与断裂的深部延伸对应良好。同时，研究区地壳内存在明显的类似岩浆侵入通道的低速异常体。结合多道反射地震剖面、地热以及大尺度深部成像等多学科证据，我们推断震源区的低速体可能与海南地幔柱通道引起的岩浆和热液流体活动有关，地壳内的大断裂为岩浆和热液流体向上运移提供了有利通道。1969 年海南外海双震可归因于断裂带的岩浆热液蚀变导致断裂强度和摩擦系数显著降低，从而引起应力失稳及剪切破裂的发生。此外，海南地区地震活动多呈震群型的特征，这与夏威夷、冰岛等典型地幔柱区的地震震群活动具有很好的相似性。

S30-O-14

南海北部陆缘洋陆过渡带晚中生代海山的发现及其构造意义

许岳 [1]，鄢全树 [1,2]*，石学法 [1,2]

1 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，青岛 266003

2 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

* yanquanshu@163.com

研究表明，晚中生代期间南海地区是一个存在安第斯型俯冲带的主动大陆边缘 (e.g., Taylor and Hayes, 1980; Holloway, 1982; Yan et al., 2014; Xu et al., 2017)。关于南海北缘晚中生代古太平洋俯冲缝合带的位置尚不清楚，且该区域主动转换为被动陆缘的构造转换机制亟待解决（Niu et al., 2015; Xu et

al., 2017）。南海北部陆缘晚中生代板缘弧岩浆活动和板内海山是其构造演化的直接地质记录，对理解南海北缘主动俯冲到被动伸展的地质演化过程具有重要意义（Li et al., 2018; Li et al., 2019）。

海山是南海构造演化的重要“窗口”。根据广州海洋地质调查局 1:200 万南海地质地球物理图系和蛟龙号视像资料，南海北缘东部洋陆过渡带中有两座海山，分别命名“浦元”和“北坡”。浦元海山（21°8’24’’N, 119°14’24’’E）位于笔架斜坡东北部，水深 1542－2800 米，山顶火山口出露新鲜玄武岩；北坡海山（20°33’08’’N, 118°12’03’’E）位于东沙斜坡和笔架斜坡之间，水深 367－2000 米，山坡处出露新鲜玄武岩。2017 年大洋 37 航次“蛟龙号”载人深潜器在这两座海山上原位获取了新鲜的玄武岩样品，通过高精度单矿物 40Ar/39Ar 定年和全岩主-微量研究工作，获得以下结果：（1）年代学方面，浦元海山碱性玄武岩中钾长石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄为 154.1±1.8Ma，与反等时线年龄 154.2±3.1Ma 一致；北坡海山拉斑玄武岩中斜长石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄为 93.2±5 Ma，与反等时线年龄 94.4±10.4Ma 基本一致。（2）地球化学方面，根据微量元素蛛网图和稀土配分图，浦元海山碱性玄武岩与典型洋岛玄武岩（OIB）具有一致性，而北坡海山拉斑玄武岩与富集型洋中脊玄武岩（E-MORB）高度相似。

基于以上结果，我们初步获得以下认识：

（1）南海北缘晚中生代古太平洋俯冲缝合带的位置。从中生代古太平洋板块向西俯冲至东亚陆缘之下的整体构造格局来看，上覆大陆岩石圈的板缘位置（包括珠江口盆地-东沙岛等区域）通常能够产生大量岛弧型岩浆。两座海山具有板内特征的岩石学特征显示，它们更可能是古太平洋板块内部的遗迹海山。结合珠江口盆地和东沙岛弧岩浆的钻孔位置，可以确定的是，古太平洋俯冲缝合带位于浦元-北坡海山与珠江口盆地-东沙地体之间。

（2）中生代南海北部主动变被动陆缘的转换机制。Niu et al. (2015)根据中国东部侏罗-白垩纪花岗岩的时空分布提出，古太平洋在中国东部的岩浆作用在 88±2Ma 终止，导致俯冲终止的机制是外来地体的俯冲堵塞。堵塞地体是规模大、密度低、浮力大的洋底高原或微陆块，与中国大陆岩石圈无关。本研究的海山年代学和地球化学证据似乎验证了这一观点：①北坡海山的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄（93.2 ±5 Ma）与岩浆作用停止时间十分接近；②OIB 和 E-MORB 的性质指示两座海山可能形成于古太平洋板内火山作用，其基底是伴随古太平洋不能俯冲的具浮力的正地形地体。

结合前人的板块重建和本研究的数据，侏罗-白垩纪时期南海北部为开放大洋，古太平洋板块西向俯冲，在珠江口盆地、东沙等区域产生了大量弧岩浆物质。在俯冲进程中，一些板块(如板内洋底高原或凸出的海山物质)密度低、浮力大，它们通常以平板俯冲形式进行，并逐渐堵塞海沟且导致俯冲终止。这些外来地体逐渐碰撞拼贴至中国大陆岩石圈形成整体的南海北部陆缘，从而导致了南海北部陆缘从主动变为被动陆缘的构造体制转换。

S30-O-15

南海东北部古俯冲残留盆地及弧前张裂模式

范朝焰 [1,2]*，夏少红 [1,2]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

* fancy@scsio.ac.cn

南海的“前世”受控于中生代古太平洋板块向欧亚大陆俯冲，“今生”起源于新生代华南陆缘裂解，经历了由汇聚型陆缘向离散型陆缘的构造反转。然而关于古太平洋俯冲系统的构造格局及其构造反转的动力机制尚不明确。庆幸的是，南海东北部陆缘受裂后期构造活动改造较少，因此保存了与古

太平洋俯冲有关的残留构造（如火山弧和弧前盆地）。这些残留构造不仅是重建古太平洋俯冲系统的关键参考，也蕴藏着华南陆缘构造反转机制的重要线索。

本研究基于海底地震仪（OBS）记录的中生代沉积层折射震相，结合多道地震剖面、重力数据、钻井资料和岩石学证据，刻画了南海东北部中生代盆地的地球物理特征和空间分布。结果显示，南海东北部中生代地层厚度大（约 1-8 km），波速高（3.5-5.5 km/s），密度高（2.55-2.65 g/cm^3），盆地整体呈北东走向，内部发育明显的交替褶皱和逆冲断层，与新生代地层特征截然不同。结合盆地西北侧钻遇的花岗岩、南海东南部相似的中生代地层以及巴拉望北部同时代的增生混杂岩露头，重建了连续的古太平洋俯冲系统，包括“火山弧（华南沿海及南海北部花岗岩带）-弧前盆地（南海东北部和东南部中生代盆地）-增生楔（巴拉望北部）”的构造序列。基于此，提出了古太平洋俯冲系统弧前张裂（forearc rifting）导致了南海东部次海盆裂解，俯冲板块的后撤是弧前张裂和南海初始裂解的主要原因。

S30-O-16

南海与菲律宾海协同演化---来自 ODP1177 孔的约束

刘伟，郭来银，林间，刘青松*

1 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055

* qsliu@sustech.edu.cn

南海与菲律宾海处于欧亚板块、太平洋板块和印澳板块的交汇处，研究该区域的构造演化对东亚、西太平洋乃至全球板块重建具有重要意义。然而，对南海与菲律宾海协同演化的认识至今仍然不太明确。本文基于菲律宾海四国盆地最老的 ODP1177 孔的古地磁学和物源研究，结合其他约束，提出南海与菲律宾海四国盆地至少在早中新世曾连接在一起，为统一的构造动力学系统。

通过对 ODP1177 孔的古地磁学分析，获得该孔在~20 Ma 的古纬度为 16.0°±4.5°N，与南海在~20 Ma 时的扩张中心的古纬度相当。对该孔早中新世沉积的薄层浊积岩进行锆石定年分析，其锆石年龄谱特征与南海北缘 X28 孔早中新世锆石年龄谱相似，显示了物源来自于珠江。基于南海与四国盆地在早中新世相似的古纬度和沉积物源，结合其他证据：1）南海于 33Ma 开始扩张，四国盆地于 30Ma 开始打开，两者的打开时间相差不大；2）四国盆地北部的宽度和南海东部次海盆的长度相差不大，把四国盆地逆时针旋转，其和南海大致能对接在一起；3）南海和四国盆地的洋中脊玄武岩均为印度洋型地幔来源；我们提出南海在早中新世乃至渐新世曾与四国盆地连在一起，受控于统一的动力学系统。在~20 Ma 时，澳大利亚板块与东亚碰撞，造成菲律宾海的顺时针旋转，四国盆地开始与南海分离，并逐渐向北运动，接受长江和日本的物源，进而逐渐演化到现今位置。

南海与菲律宾海四国盆地协同演化的模式强调两个盆地曾经具有统一的扩张中心，扩张中心逐渐向东边与西边扩展，能完美地解决南海东部次海盆先打开，西南次海盆后打开，以及四国盆地北部先打开，南部后打开的问题。

S30-O-17

南海东部次海盆洋壳结构和扩张期岩浆供应的时间变化特征

于俊辉[1,2]*，阎贫[1,2]，邱燕[3]，Matthias Delescluse[4]，黄文凯[3]，王彦林[1,2]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

3 自然资源部广州海洋地质调查局，广州 510075

4 Laboratoire de Géologie, École Normale Supérieure, PSL Research University, Paris 75005
* jhyu@scsio.ac.cn

南海新生代以来经历了被动陆缘伸展破裂和海底扩张，并伴随洋脊的向南跳跃，形成了南海洋盆，包括东部、西北和西南三个次海盆。由于以往研究大都局限于洋陆过渡带（COT）和洋中脊，缺少对洋盆地壳结构的系统研究，导致对同扩张期岩浆供应量和增生过程的认识不足。为此，本研究利用3条多道地震反射剖面揭示了南海东部次海盆从 COT 到洋中脊的地壳结构连续变化特征。结果显示，东部次海盆北侧 COT 附近的洋壳基底起伏较大、断裂发育，Moho 反射较弱，初始洋壳较薄、仅 3.9-4.5 km，说明该区初始扩张阶段岩浆供应较为匮乏，并经历了来自贫岩浆型被动陆缘的继承性构造拉伸作用。从北侧 COT 至跳跃洋脊，基底逐渐平坦、断裂减少，Moho 反射逐渐变强且连续，洋壳厚度逐渐变厚（局部可达 8.4 km），意味着扩张早期逐渐增强的岩浆供应和减弱的构造拉伸。但是，从跳跃洋脊至古扩张中心，基底再次变得崎岖不平、深断裂发育，洋壳逐渐变薄、古扩张中心处厚度仅为 3.7 km，说明扩张晚期岩浆供应减弱、构造拉伸作用增强。东部次海盆洋壳结构的变化特征反映了海底扩张期间岩浆供应由弱变强、再变弱的分段式演化过程。虽然经历了后扩张期岩浆作用的强烈改造，古扩张中心处的深中央裂谷仍清晰可见，且其地壳较薄、构造拉伸强烈，与慢速/超慢速扩张域地壳结构相近，进一步说明该区末期海底扩张为慢速扩张、停止于~15 Ma，也说明海南地幔柱活动对东部次海盆的岩浆贡献非常微弱。

S30-O-18

古南海俯冲在婆罗洲的壳幔动力学响应

宋文恺[1]，于有强[1]*，高佳[1]，Stephen S. Gao[2]，Kelly H. Liu[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 美国密苏里科技大学，罗拉 65409
* yuyouqiang@tongji.edu.cn

关于南海扩张诱发因素迄今为止已有多个假说，其中一个假说是古南海的俯冲拖拽引发了南海的扩张。为了更好地揭示出古南海存在的残留证据，我们利用布设在南沙群岛和婆罗洲北部的地震台站数据，通过接收函数方法得到了该地区地壳厚度以及 Vp/Vs 值；借助远震核幔边界转换横波分裂方法约束了该地区上地幔地震各向异性构造。

接收函数研究显示，婆罗洲地区的地壳结构在东北部和西北部存在明显的差异。西北部的地壳厚度小但是 Vp/Vs 值大，这可能是由于古南海向南俯冲导致火山作用从而使得 Vp/Vs 值的增大并且地壳减薄。而东北部的值与之相反，可能是由于古南海停止俯冲后南沙地块的造山运动所致。在南沙太平岛，我们观测到地壳厚度和 Vp/Vs 值分别为 22.8 ± 0.2 km 和 1.83 ± 0.01。由于海洋的地壳厚度在 3km-7km 之间，由我们得到的结果可以判断，该台站之下不是洋壳，但是比一般的陆壳要薄，这体现了南海演化过程中存在扩张或拉张的过程，其较高的 Vp/Vs 值也表明了扩张后火山作用对于地壳性质的改造。

横波分裂分析显示，在婆罗洲北部以及南沙太平岛，绝大部分的快波极化方向平行于巽他板块现今的板块绝对运动方向，而在婆罗洲的沙巴地区则观测到近乎垂直于板块运动方向的快波极化方向。最近一些地震层析成像研究发现，在婆罗洲北部沙巴地区下方 100-300 km 深度存在一个地震波速高速异常体，并被推断为古南海俯冲残片。俯冲残片的存在会阻挡和改造地幔流，引起沙巴地区观测到的局部地幔流异常。基于目前

婆罗洲壳幔深部构造的初步结果支持古南海俯冲存在的模型。

S30-P-01

南海古地磁学、磁性地层学和环境磁学的综合研究

赵西西[1,2]*，刘青松[1]，盖聪聪[1]，袁伟[2]，谌微微[2]，吴怀春[3]，时美楠[3]，张世红[3]，黄奇瑜[2]，邵磊[2]

1 南方科技大学，深圳 518055

2 同济大学，上海 200092

3 中国地质大学（北京），北京 100083

* xzhao@tongji.edu.cn

南海是西太平洋边缘海的典型代表，其地层层序保留了西太平洋板块新生代构造演化的地质记录。我们对南海东部国际海洋发现计划（IODP）349 航次的 U1431 站位，南海西南部 IODP U1433 站位，南海北部大洋钻探计划（ODP）184 航次 1148 站位和南部 ODP 184 航次 1143 站的岩芯样品开展了系统性的古地磁学、岩石磁学、磁性地层学与环境磁学的综合研究。在实验室内对所有样品采用系统的逐步退磁处理，确定出原生剩磁和次生磁成分。磁化率各向异性（AMS）结果表明大多数样品的 AMS 椭球体呈扁圆状，表明样品处于正常沉积环境，且沉积以后没有经受明显的扰动作用。所有测得的 x-T 加热曲线在~585 ℃ 时急剧下降至接近零值，对应于磁铁矿的居里温度。表明磁性矿物以单畴/准单畴磁铁矿颗粒和胶黄铁矿为主，是记录剩磁的良好载体。结合钙质超微化石和浮游有孔虫数据火山灰 Ar-Ar 放射性同位素年龄成果，精细的磁性地层学结果进一步细化了站位地层的年代标尺，为南海形成以来提供了高分辨率磁性地层学年代框架，进而确定出沉积速率的变化特征，为确定南海早渐新世以来的构造、环境演化及重要地质事件提供精确的年代约束。南海东部次海盆和西南次海盆的玄武岩岩芯样品显示正向磁化极性的倾角较浅，但反向磁化极性的倾角则较陡，这与铲状断层的影响后果是一致的。根据古地磁结果，结合东部次海盆和西南次海盆的深层地震反射剖面和构造地质资料，可以确定东部次海盆和西南次海盆为铲形断陷盆地，可能是由于海山的垂直侵位和该地区的其他伸展活动所致。这些磁学特征有助于深入探讨南海形成以来的构造演化历史。

S30-P-02

下洋壳倾斜反射层成因机制的数值模拟研究

张旭博[1,2]，田小川[3]，林间[1,2,4,5]*

1 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

3 波士顿学院，栗树山 02467

4 南方科技大学，深圳 518055

5 伍兹霍尔海洋研究所，伍兹霍尔 02543

* jlin@whoi.edu

洋中脊作为离散板块边界，是洋壳增生的地方，是认识地球内部物质性质和循环过程的重要窗口。洋中脊处的地幔对流模式、岩浆运移过程和洋壳增生机制是地学研究的前沿问题。多道地震剖面显示不同扩张速率形成的洋壳下部存在清晰的倾斜反射层，比如，西北大西洋中生代形成的洋壳；夏威夷岛南部东太平洋隆起处的洋壳；西北太平洋日本海沟东侧的洋壳；阿拉斯加大陆边缘南部外侧的洋壳；胡安德富卡板块处的洋壳；印度洋 Enderby basin 的洋壳；南海海盆的洋壳。下洋壳倾斜反射层（lower crustal dipping reflector）一般终止于莫霍面，倾角为 10-30°，横向间距为 1-10 km。

关于下洋壳倾斜反射层的成因机制存在争议，主要假说有三种：（1）下洋壳倾斜反射层与洋中脊处岩浆侵入和构造伸展作用产生的断层结构有关，但越来越多的观测数据显示大部分下洋壳倾斜反射层终止于莫霍面，且在洋壳底部没有位错；（2）下洋

壳倾斜反射层与洋中脊扩张过程中在洋壳内部形成的成分条带有关，但该假说不能解释下洋壳倾斜反射层只存在于部分而非所有洋壳内部这一现象；（3）下洋壳倾斜反射层与地幔-洋壳相对运动在洋壳内部产生的剪切带有关。洋中脊跳跃、板块扩张方向的改变或洋中脊-地幔柱的相互作用可能引起洋脊下方地幔的异常流动，从而导致地幔和洋壳存在显著的相对运动。下洋壳倾斜反射层的成因是复杂的，可能是多种构造-岩浆活动叠加的结果。利用地球动力学模拟软件FLAC（Fast Lagrangian Analysis of Continua），我们创新性地耦合岩浆侵入、构造拉伸和地幔-洋壳的相对运动等多重效应，建立二维洋中脊扩张模型，系统分析不同构造-岩浆过程对洋壳内部温度、流场和应力分布的影响；并以多道地震剖面结果为约束，揭示下洋壳倾斜反射层的倾向、倾角、空间尺度和分布范围的控制因素。

S30-P-03

蚀变洋中脊玄武岩氩氩定年前处理方法研究

张万峰[1,2,3,4]*，郑德文[1,2]，黄小龙[1,2,3]，杨帆[1,2,3]，徐义刚[1,2,3,4]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640
2 中国科学院深地科学卓越创新中心，广州 510640
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
4 中国科学院大学，北京 100049
* wfzhang@gig.ac.cn

$^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年体系基于岩石矿物中 ^{40}K 的放射性衰变。原则上，所有含钾的矿物、岩石都可以开展 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素测年（陈文等，2011）。钾是洋中脊玄武岩（MORB）的主量元素，其含量常小于 0.2 wt%，理论上具备了开展 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年的条件。但MORB 普遍存在的蚀变作用，极大地影响着矿物或岩石的形成年龄的测定。为此 MORB 的样品前处理技术是制约 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年法成功与否的首要因素。

传统的玄武岩 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年样品的前处理流程一般是将样品破碎，去除斑晶，通过酸淋洗后在镜下挑选合适的组分。在酸淋洗过程中，常采用硝酸和氢氟酸酸组合进行淋洗（Jourdan, et al.，2012），也有采用盐酸和硝酸组合进行淋洗（Koppers, et al.，2000; Klath, et al.，2013）。硝酸具有氧化性，使用较高浓度硝酸进行淋洗时，可能会对待测样品进行溶蚀。虽然盐酸无氧化性，但使用盐酸进行酸淋洗时，无法确保残留的 $^{1}H^{35}Cl$ 得到彻底洗尽。在辐照和测量阶段氯均是影响最终结果的影响因素，通常避免使用 HCl 进行样品清洗（邱华宁和彭良，1997）。该过程难以获得高质量的样品。

本研究建立了精细的样品前处理流程。在样品破碎中，采用高压脉冲碎样仪进行样品破碎。这一技术手段能使样品沿着裂隙边缘被充分剥离出来，能极大地提高样品的破碎效率与利用率（刘建辉等，2012）。其次，基于斜长石的物理特性，如无磁性，密度小于 2.85 g/cm^3，可通过强电磁选获得样品中无磁性组分，并采用重液分选的方式，进一步富集得到纯度较高的斜长石基质。最后通过稀硝酸超声处理，将颗粒裂隙中充填物/蚀变产物进一步去除。最后在体式显微镜下逐颗检查，达到最佳的分离提纯效果。

S30-P-04

南海北部 IODP 1502B 钻孔玄武岩基底中绿帘石岩脉的成因与指示意义

陈凌轩[1,2]，田丽艳[1,3]*，胡斯宇[4]，王选策[5]，张汉羽[1]，丁巍伟[6]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000
2 中国科学院大学，北京 100049
3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266003

4 澳大利亚联邦科学与工业研究组织矿产资源部，肯辛顿 6151
5 云南大学地球科学学院，昆明 650500
6 自然资源部第二海洋研究所 海底科学重点实验室，杭州 310012
* lytian@idsse.ac.cn

南海扩张早期的岩浆活动可能是由于软流圈地幔部分熔融，并以岩浆通道的形式侵入地壳，岩浆活动造成南海北部局部地区出现了短暂的热液活动。IODP 368 航次在南海北部陆缘洋-陆过渡带靠洋一侧的 1502B 钻孔，获取了长 180m 的玄武岩岩芯，地球化学研究表明其代表南海扩张的初始洋壳。大部分玄武岩样品经历了明显的蚀变作用，形成了不同类型的蚀变矿物和岩脉，为研究南海扩张早期的热液活动提供了线索。我们选取了位于 1502B 钻孔下部的 8 个玄武岩基底样品，对其中的绿帘石岩脉开展了原位主-微量元素地球化学分析。从主量元素组成上看，绿帘石岩脉表现出 Fe - Al 元素控制的环带现象，推测是强烈的区域构造活动造成了绿帘石的破碎与再胶结作用，导致绿帘石形成过程中发生了重吸收以及不连续结晶，最终使得结晶流体中 Fe - Al 元素浓度产生波动。从微量元素组成上看，绿帘石岩脉整体表现出轻稀土元素富集和正 Eu 异常（δEu），与弧后盆地或洋中脊高温热液的稀土分布模式一致。但是，少量绿帘石表现出从高稀土总量（ΣREE）和负 δEu 向低ΣREE 和正 δEu 过渡的特征，这可能是具有高ΣREE 和负 δEu 特征的岩浆出溶流体参与到绿帘石结晶过程或者裂隙之中残余热液的演化结晶的结果。另一方面，部分具有低ΣREE 和负 δCe 特征的绿帘石样品，其 Y / Ho 和 Ce / Ce*比值呈现出明显的正相关性，并不符合与海水的混合趋势。以上研究结果表明南海扩张早期的热液活动经历了快速的降温过程，1502B 钻孔下部的绿帘石岩脉主要形成于热液释放区，而通过岩浆通道侵入地壳的岩浆所产生的热液活动，其具有的热通量并不足以维持在离轴海水注入区形成绿帘石。

S30-P-05

南海东南部中生界识别及其构造属性

王利杰 [1,3]*，姚永坚 [1,3]，孙珍 [2,3]，李付成 [2,3]，杨楚鹏 [1,3]，徐子英 [1,3]

1 自然资源部海底矿产资源重点实验室，中国地质调查局广州海洋地质调查局，广州 510760
2 中国科学院南海海洋研究所边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
* wlje12345@163.com, ljwang@scsio.ac.cn

正确识别南海东南部中生界及其分布，对认识南海形成演化和油气资源潜力具有重要意义。受资料条件约束和地层系统划分差异的影响，南海东南部中生界分布和构造特征一直存在争议。本文在钻井、拖网约束下，通过井震对比、地震反射特征、层速度分析、岩浆岩体与地层接触关系和构造变形特征来综合识别中生界。结果表明，中生界呈平行、连续、低频的反射特征，层速度 3400~4200 m/s，随着埋深或（和）变质程度增强，层速度增大（4500~5500 m/s），反射波组模糊，多数未见明显底界反射。研究区中生代地层发育范围局限，局部地震反射波组特征明显，但较难进行区域对比和解释。其中，西北、西南巴拉望盆地、礼乐滩和安渡北盆地中生界呈现低角度掀斜或近水平地层；礼乐滩西南部九章盆地中生界层速度 3500~4500 m/s，高于上覆新生界，与钻井层速度吻合，地层呈高角度掀斜或挠曲变形，可能与岩浆活动侵位相关。结合中生代火山弧和识别的岩浆岩体分布，我们推测南海东南部在破裂之前，前者零散分布在弧前盆地靠火山弧一侧，构造活动相对弱，后者分布于岩浆活动强烈的弧间盆地。

S30-P-06

南海珍贝-黄岩海山地区密度结构特征研究

徐亚[1]*，赵明辉[2,3]，王建[3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

2 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

3 国防科技大学，长沙 410073

* xuya@mail.iggcas.ac.cn

南海东部次海盆分布着近东西走向的珍贝-黄岩海山链，根据对海山的样品测年及南海扩张年龄的最新成果，形成珍贝-黄岩海山链的大规模岩浆活动发生在海盆停止扩张之后，这些后期的岩浆活动破坏和改造了海底扩张期的洋壳结构，因此对理解南海演化历史和演化机制等造成不利影响。通过地球物理工作进一步认识该地区地壳结构及其岩石物理性质对认识后期岩浆活动范围、规模及其作用具有良好的制约。本文基于在南海东部次海盆开展的三维海底地震（OBS）探测工作及成果，在该地区速度结构特征基础上开展密度结构反演。结合该地区 OBS 探测成果对穿越海山链地区的三条剖面进行密度反演，结合 OBS 三维探测速度成果，利用速度-密度经验关系构建初始模型并进行三维密度结构反演，结合均衡重力异常改正特征综合分析海山区地壳结构特征，通过密度和速度特征进一步推断洋壳特征及岩浆活动范围，为分析后期岩浆活动对洋壳改造作用及南海演化的影响提供地球物理依据。

S30-P-07

远震体波层析成像研究阿拉伯地台东北部上地幔结构

胡昊[1]*，Simone Pilia[3]，Nicholas Rawlinson[3]，阮爱国[2]，林间[1]

1 南方科技大学前沿与交叉科学研究院，深圳 518055

2 自然资源部第二海洋研究所海底科学重点实验室，杭州 310012

3 University of Cambridge Department of Earth Sciences，Cambridge CB3 0EZ

* hhshiyi@163.com

在阿拉伯东部，从下寒武纪到显生宙的巨厚层沉积序列掩盖了一个不为人知的新元古代基底（阿拉伯东部地台），该基底曾经将目前出露的阿拉伯西部地盾与曾属于冈瓦纳大陆的印度西北部分隔开来。近年来，在阿拉伯联合酋长国和阿曼地区部署的 55 台宽频带地震仪组成的台网记录了大量远震体波数据，为获得其三维地震波速度提供了条件。本研究首次以阿拉伯地台为研究对象，采用较高分辨率的被动源地震层析成像技术揭示其地壳和上地幔 P 波速度结构，以期推断其性质和成因。利用基于网格计算的程函方程求解器和子空间反演技术的 Fast Matching Tomography（FMTOMO）程序，通过远震事件的相对剩余走时反演出地震台网下方的地壳和上地幔三维 P 波速度扰动。由此获得的层析成像剖面揭示了从阿曼湾区域的高速到西部阿曼造山带的低速转变，认为这是白垩纪特提斯洋岩石圈和阿拉伯被动大陆边缘之间的岩石圈边界，并且该大洋岩石圈北部边界终止于 Dibba 断裂，这与陆地出露的构造现象一致。在内陆区域，反演出的层析成像结果明显地展现出北西向高低速交替结果，值得注意的是，其中一个清晰的高速异常与在阿曼北部出露的新元古代火山弧花岗闪长岩一致，将此异常与莫桑比克洋在拉伸纪俯冲时期形成的洋内弧和西部广泛的大洋地体增生作用联系起来，有力地支持了阿拉伯地台通过岩浆弧增生的大陆生长的观点。

S30-P-08

南海西南海域地壳结构特征及其对裂谷过程的指示

朱荣伟[1,2,3]*，姚永坚[1,2]，刘海龄[3]，徐子英[1,2]

1 自然资源部海底矿资源重点实验室，广州海洋地质调查局，广州 510760
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
3 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 510301
* zhurongwei1209@126.com

位于南海西南海域的西南次海盆一直被认为是研究南海中-新生代构造演化历史和进行南海共轭陆缘对比研究的有利区域。本文利用横跨西南次海盆两侧陆缘的多波束、海底地震（OBS）、长排列多道地震和重磁等地质地球物理资料，对南海西南次海盆及其两侧陆缘地壳结构特征进行了分析。结果表明：1）南海西南次海盆两侧陆缘地形地貌以及深部地壳结构不对称，为一非对称的共轭陆缘；2）南海西南次海盆两侧陆缘在古新世-早渐新世阶段，上、下地壳的伸展作用是分层而异的，与深度相关，其上地壳是以简单剪切形式发生脆性伸展，在局部形成大型低角度拆离断层，而下地壳则以纯剪形式发生塑性变形，形成“布丁构造”；3）晚渐新世之后，西南次海盆断裂由古扩张中心向两侧陆缘大致对称发育，新生代沉积厚度和洋壳厚度表现为洋中脊区厚，两翼薄的特点，海盆两侧陆缘上、下地壳则均以纯剪作用的方式发生伸展作用。

S30-P-09

南海东北部下地壳高速体的空间分布特征与形成机制

程锦辉[1,2,3]*，张佳政[2,3]，赵明辉[1,2,3]，杜峰[4]，范朝焰[1,2]，王星月[1,2,3]，丘学林[1,2,3]

1. 中国科学院南海海洋研究所, 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室,广州 511458
2. 中国科学院南海生态环境工程创新研究院，广州 511458
3. 中国科学院大学，北京 100049
4. 湖北省地震局，地震预警湖北省重点实验室，武汉 430071
* jhcheng@scsio.ac.cn

南海受多个板块相互作用，形成了复杂多样的地质构造现象。其中，南海东北部的洋陆转换带、马尼拉俯冲带等构造与南海形成演化过程息息相关（McIntosh et al., 2014）。因此，深入研究南海东北部的岩石圈结构是认识南海形成演变过程的基础与前提。前人在该区域已开展大量的深地震探测工作，累积了相当数量的二维地震测线数据（赵明辉等，2018），对南海东北部的地壳结构特征有了一定认识。然而，这些二维测线揭示的下地壳高速体特征呈现显著差异，在部分测线上成层分布，而在部分测线则呈块状分布。

为探讨该区域下地壳高速体的空间分布特征及其成因机制，本文收集了研究区域（18.7°-22.8°N, 117°-121.2°E）内多条已公开发表的二维地震测线数据，利用克里格插值法，构建了准三维速度结构。结果显示，沉积层厚度分布与构造单元较为吻合，而且莫霍面埋深与前人结果（杨胜雄等，2016）相近，反映克里格插值法在空间插值上的可靠性；地壳厚度为 6-22 km，大尺度上呈现沿伸展方向由陆架向海盆逐渐减薄的趋势，此外，台西南盆地地壳厚度极度减薄至 6 km，可能指示有夭折裂谷；下地壳高速体沿古太平洋俯冲带分为西北、东南两侧，西北侧呈片状分布，东南呈块状分布。

通过准三维速度结构得到上下地壳的拉张系数和高速体的空间分布特征，结果显示片状高速体位于高磁异常带上，且平行于与古太平洋俯冲带，可能是古太平洋俯冲的残留岩浆；块状高速体的位置与下地壳拉张系数偏高（6-10）的区域与相对应，并推断块状高速体的形成与张裂期后的岩浆底侵作用有关。

本研究通过准三维速度模型，对南海东北部下地壳高速体的空间分布特征及其成因机制有了新的认识，接下来将利用2016年马尼拉三维主动源 OBS 探测实验数据，开

展南海东北部跨洋陆过渡带和俯冲带的精细三维速度结构研究，研究结果将有望进一步揭示南海形成演化过程。

S30-P-10

南海及周缘地区下的上地幔不连续面：热结构的直观反映

尚正涛*，杨挺，黎伯孟

1 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055

* 11930408@mail.sustech.edu.cn

南海及邻近地区具有复杂的地质构造和地球动力学特征，例如，海南岛及其附近被认为观测到地幔热柱的存在；南海周边存在多个俯冲带，且整个区域内存在多个古俯冲带。这对回答南海及周缘地区热点是源于热柱还是源于俯冲系统以及热柱起源深度等一系列科学问题提出了重大挑战。而地幔转换带(MTZ)携带着重要的地幔热结构和动力学信息，因此获得深部地幔的精细结构对于南海及周缘地区构造演化的研究具有重要的意义。鉴于南海海盆缺少地震台站的分布，采用接收函数、三叠波等方法研究地幔精细结构困难重重，因此我们采用 SS 前驱波（SdS，在上地幔不连续面下发生反射的 SS 前相，d 标注不连续面的深度）的方法。利用该方法，SS 反射点在研究区域实现了较高密度的覆盖，是研究南海深部地幔热结构的一种有效手段。

我们收集了震中距 100°~165°、震级大于 5.5Mw 和震源深度小于 75km 的上万条反射点位于研究区域的地震波形，并进行人工挑选获得高质量的数据。我们将研究区域划分为 69 个 5°为半径的圆形单元，在每个单元里进行了地壳走时校正、动校正等处理（基于 SS 参考震相利用倾斜叠加），得到了 SdS 震相的精确到时，最终通过时深转换方法得到研究区域内 410km 不连续面（d410）和 660km 不连续面（d660）的起伏。

我们的结果显示，在海南岛及邻近的雷州半岛，d410 有明显下降（~17.25km），d660 部分区域上升幅度较小（~3km），部分区域出现下沉（~4km），MTZ 厚度最大较薄量约 23.18km。据此，我们推测海南地幔柱起源于下地幔，穿过了 d410 和 d660。在 d410 处发生了 α 相橄榄石到瓦兹利石的相变；在 d660 处，发生了后尖晶石相变，且由于富含水而在相变基础上出现不同程度的下降；d660 的连续下沉也有可能源于区域富含铝，在高温下引发了后石榴石相变。此外，我们在南海大部地区以及马尼拉海沟和菲律宾海沟附近观察到 MTZ 厚度明显增厚的现象，我们推测这些区域受到了古太平洋俯冲板片的影响。在婆罗洲北部地区 d410 抬升，整个婆罗洲区域下方 d660 下沉明显，MTZ 增厚，我们推测古南海俯冲板片俯冲至 660km 附近，并携带了较多岩石圈板片，从而造成了这一现象。

依据 MTZ 厚度的变化和-0.13km/K 的温压关系，研究区域内最高温度异常估计值位于海南岛下方，大约为 178.4 K。这一温度异常与前人对于其他热点（冰岛、夏威夷等）温度异常的估计相比，处于一个相对较高的水平。

S30-P-11

南海台西南盆地裂谷中心地壳结构特征研究

陈昌亮[1,2]，阎贫[1]*，于俊辉[1]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室（南海海洋研究所），南海生态环境工程创新研究院，广州 510301

2 中国科学院大学，北京 10049

* yanpin@scsio.ac.cn

已有研究表明，南海台西南盆地南部凹陷是一个地壳强烈拉张减薄的大陆裂谷，该裂谷中心的地壳结构特征尚不清晰。

在国家自然科学基金项目（U1901217、91855101、41876052）、南方海洋科学与工

程广东省实验室（广州）人才团队引进重大专项（GML2019ZD0104）、广东省特支计划（2019BT02H594）、“科学”号高端用户项目（KEXUE2019G10）等多个项目的支持下，本研究收集了多条台西南盆地南部凹陷区多道地震剖面，剖面内部的基底反射和 Moho 反射较为清晰。通过对这些多道地震数据进行分析，发现台西南盆地南部凹陷区内地壳厚度普遍小于 10 km，表明该区域内形成了超伸展地壳。在西南部，超伸展地壳宽度~50 km，向东北方向增加至~100 km，表明裂谷向东北方向开口逐渐变宽。中部裂谷的地壳厚度在西南部为 4.2 km，向东北部逐渐减少至 0 km，该区域 Moho 反射与基底反射重合，表明可能存在因极端拉张作用而造成地幔剥露的情况。此外，根据 OBS 反演的速度结果，在台湾岛南部的俯冲增生带下也存在强烈拉薄（3 km）的地壳。因此，可以推断台西南盆地南部凹陷区域的裂谷向东北方向延伸至台湾岛以下。

S30-P-12

Lithospheric stretching-style variations and anomalous post-rift subsidence in the deep water sags of the Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea

Hui Xie[1,2]*, Di Zhou[2], Hongcai Shi[1]*, Deming Kong[1], Yuanping Li[3], Fucheng Li[2], Jinghe Cao[2]

1 Guangdong Province Key Laboratory for Coastal Ocean Variation and Disaster Prediction, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088

2 CAS Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301

3 Institute of Science and Technology, Shenzhen Branch, China National Offshore Oil Corporation, Shenzhen 518054

* xiehuihaoba@163.com, hcshi@gdou.edu.cn

The stretching and subsidence characteristics of the passive continental margins have been investigated for decades but are still controversial. We focused our study on the deep water sags of the Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea where is the only well preserved passive margin in the South China Sea. Inverse modeling and forward modeling based on flexural cantilever model were employed. The stretching factors of the upper crust, lower crust, whole crust and mantle lithosphere were mapped and the anomalous post-rift subsidence were also isolated from the McKenzie model. The Liwan Sag shows a highly depth depend stretching and increases with depth significantly. The stretching factor of the lower crust in the Baiyun Sag center is higher than the mantle lithosphere. Two significant anomalous rapid subsidence events were revealed. The 23.03-19.8 Ma Event is characterized by the anomalous subsidence center located in the southern Baiyun Sag with a maximum value excess of 1200 m. Volcanic rocks indicated an upwelling mantle under the Baiyun Sag around 23 Ma. We suggest that the 23.6 Ma southward ridge jump in the SCS could weaken or disappear the mantle upwelling under the Baiyun Sag and cause rapid subsidence in 23.03-19.8 Ma. The 14.3-11.9 Ma Event is characterized by a subsidence zone orientated northeast along the Baiyun Sag with maximum value excess of 600 m. We propose that the rapid depositional sediment in this period would drive the lower crustal flow away from the Baiyun Sag center which could cause rapid vertical subsidence and lead to the stretching factor of the lower crust higher than the mantle lithosphere.

S30-P-13

南海西缘中建南盆地的形成对走滑型陆缘裂解的启示

吴婵[1,2]*，张莉[1]，雷振宇[1,2]，林珍[1]，钱星[1]，鄢伟[1]

1 自然资源部海底矿产资源重点实验室，广州海洋地质调查局，广州 510760

2 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州 511458

* wuchan10@126.com

位于南海西缘的中建南盆地，是走滑型大陆边缘裂解过程初始阶段的产物，是陆洋转换的必经之路。对中建南盆地的研究，能够有效揭示走滑型大陆边缘的裂解过程，深化对陆洋转换机制的认识。本次研究综合利用区域地质资料和钻井资料，通过对中建南盆地二维地震反射剖面的解析，揭示盆地的结构构造，在此基础上对盆地的构造进行几何学、运动学和动力学分析，探讨盆地的形成过程和机制及其对走滑型陆缘裂解的启示。研究结果表明，中建南盆地的断裂主要有盆地西缘的中建南走滑断裂、NW-SE 向雁行式断裂、近 EW 向拉张断裂以及 NE-SW 向断裂。其中，中建南走滑断裂以及近 EW 向的拉张断裂，控制了盆地的沉积以及构造格架。NE-SW 向断裂主要分布在盆地东部，分割了中建南盆地与西南次海盆。中建南走滑断裂、NW-SE 向雁行式断裂与近 EW 向拉张断裂是在中建南断裂左行走滑剪切应力场下形成的主断裂及次生断裂。近 EW 向断裂是中建南盆地的雏形，随着左行走滑作用的持续进行，陆缘持续拉张减薄，地幔物质上涌，基底和盖层发生拆离，熔体入侵上覆地层，引起上覆地层褶皱和破裂，形成了中建南盆地裂陷期构造格架，制约着盆地的沉积以及资源和能源效应。由此可见，南海西缘的大型走缘断裂在走滑型陆缘裂解以及盆地形成过程中起着极其重要的作用。

S30-P-14S

越南及南海北部地壳上地幔横波速度结构研究

杨旋[1]*，姚华建[1]，黄柏寿[2]

1 中国科学技术大学地球和空间科学学院，安徽 230026

2 Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei 11529

* yang1129@mail.ustc.edu.cn

南海位于西太平洋板块，菲律宾海板块以及印度板块的汇聚中心，经历了复杂的构造演化过程。越南及南海北部区域，位于太平洋构造域和特提斯喜马拉雅构造域的交汇处，其构造演化对于了解两大构造域的相互作用，以及新生代的区域构造和地球动力学过程具有重要意义。前人利用不同的地震学研究手段，包括体波面波成像、接收函数、横波分裂以及 GPS 观测等，已经获得了该区域的地壳和上地幔速度结构，对海南地幔柱，以及南海的拉张演化有了一定的认识。尽管如此，这些研究大多集中在南海海盆、越南或者大区域尺度范围，而对越南及南海北部区域缺乏精细的结构和构造研究。除此之外，该区域也缺乏比较精细的各向异性研究，对该区域岩石圈及软流圈的形变研究以及物质运移的认识不足。因此，构建该区域精细的地壳和上地幔横波速度结构对研究板块运动、地幔柱活动以及其与南海拉张构造之间的联系具有重要意义。

本次研究我们联合背景噪声瑞利面波频散与双台地震面波频散，利用三维横波速度方位各向异性直接反演方法获取了越南及南海北部地壳上地幔三维横波速度各向同性和方位各向异性模型。

各向同性速度模型显示，在地壳区域，莺歌海、北部湾盆地浅部存在着明显的低速异常，表明这两个区域存在巨厚的沉积，越南北部，海南岛以及云开隆起区域的高速异常与该区域出露的玄武岩相吻合。越南北部和华南块体上地幔大范围的低速异常可能与岩石圈的拆沉，印度板块的俯冲后撤有关。

除此之外，我们的结果发现在雷琼区域的下方可能存在着海南地幔柱的柱头。各向异性结果显示，区域中上地壳的快波方向近乎平行于断裂带走向，表明该深度的各向异性主要是碰撞引起的岩石圈形变主导的。红河断裂带的上地幔顶部的方位各向异性由 NEE-SWW 走向转变为 NW-SE 向，我们推测其可能与岩石圈的地幔流东南向逃逸有关。海南岛区域的方位各向异性呈现分层特征，浅部为北西-南东向，上地幔为北东-南西向，可能与海南地幔柱活动相关。华南块体，越南北部岩石圈的快波方向与软流圈的快波方向近乎垂直，我们认为这可能与板块碰撞、俯冲后撤形成的地幔物质上涌有关。

S30-P-15S

泰国之下岩石圈地幔性质以及地幔源区岩性的限定

袁龙[1]*，鄢全树[1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所 海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

* 15762254356@163.com

新生代南海停止扩张（16Ma 至今）以来该区域出现了一期岩浆活动，该期岩浆活动也广泛发育于中南半岛地区，这些玄武岩主要为碱性玄武岩以及少量的拉斑玄武岩，具有类似于 OIB 的微量元素特征。前人研究表明，泰国及越南地区晚新生代玄武岩的 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素具有亏损的印度洋型地幔和 EM2 富集地幔端元混合的特征（An et al., 2017; Yan et al., 2018），母岩浆在离开源区上升到地表期间经历了分离结晶作用，但均未受到地壳混染的影响，同时，推断的较高地幔潜在温度表明这些玄武岩的形成受到了海南地幔柱的影响(Yuan et al., 2019)。岩相学特征显示，泰国新生代玄武岩含有捕虏晶/捕虏体，它们对了解本区域之下的大陆岩石圈地幔的特征、地幔部分熔融熔体的特征及其深部过程提供了重要的窗口（徐义刚等, 2002; 汤艳杰等, 2004）。

本次研究分析了泰国新生代玄武岩中斑晶以及捕虏晶/捕虏体中橄榄石、单斜辉石以及尖晶石的主、微量。橄榄石和尖晶石捕虏晶数据表明泰国之下的岩石圈地幔性质为“肥沃”的尖晶石二辉橄榄岩，温度 936-1096℃。泰国橄榄石斑晶可以判断泰国玄武岩的地幔岩性为石榴石橄榄岩和少量辉石岩（20%-50%）的混合源区，其中辉石岩组分成因可能为再循环的洋壳与周围橄榄岩地幔相互作用的结果。基于橄榄石-熔体氧逸度计和湿度计得到泰国玄武质岩浆具有较高的氧逸度（△QFM = +0.9 - +1.5）和 H2O 含量（平均值 1.58%），表明泰国之下可能存在含水的碳酸盐化地幔。单斜辉石和尖晶石数据表明，本次研究中的单斜辉石岩为岩浆高压堆晶成因，辉石岩堆晶深度约为 50-56km。地幔橄榄石中环带结构的保留，表明岩浆快速喷出地表，同时也表明泰国之下的岩石圈地幔存在广泛的岩石-熔体（水岩）反应，与海南地幔柱有关的地幔上涌可能机械侵蚀了周围地幔并导致了岩石圈地幔组分改变。

S31-O-01

东南亚环形俯冲系统深部结构研究的回顾与进展

李家彪*，丁巍伟，牛雄伟，孔凡圣

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学重点实验室，杭州 310012

* jbli@sio.org.cn

俯冲带是地表物质返回地球深部的主要通道，也是人类探索地球动力和深部循环的主要目标。环形俯冲系统是一种三边向内俯冲的特殊类型，主要发育于多个板块交接的复杂动力区域，其俯冲机制、岩浆响应与对流循环没有公认的模式，是板块构造理论的崭新领域和潜在突破口。东南亚环形俯冲系统作为自然界规模最大的环形俯冲系统，

不仅是地球上独特的超级汇聚中心，地震、海啸灾害频发，资源、能源富集，而且也是我国“一带一路”倡议、国家海洋战略和维权的重点区域。东南亚环形俯冲系统是超级汇聚的复杂地球动力系统的表现，涉及地幔深部结构、循环对流模式、岩浆响应机理和地球动力学过程等科学问题。地幔深部结构课题研究组在2020-2021年度开展的研究工作，主要从南海深部动力学以及周边环形俯冲带深部结构与构造出发，重点突破以下三个方面的瓶颈问题。（1）利用部署在南海深海盆区宽频带被动源海底地震仪记录的被动源地震数据，应用地震层析成像方法，研究南海地壳和地幔的速度结构，结果表明在地幔过渡带中，南海东部海盆下方为低速异常区，而西南次海盆下方为高速异常区，其边界与中南礼乐断裂带的位置基本一致，预示着地幔过渡带的不均匀结构在南海海盆的形成演化中可能有重要作用。（2）完成了对国际及国内学术界近几十年来在东南亚环形俯冲系统深部结构、物质循环、岩浆活动和地球动力学演化过程的成果与进展进行了系统的综述，相关成果发表在国际地学主流期刊《Earth-Science Reviews》。（3）开展爪哇俯冲带深部结构与构造研究。爪哇俯冲带位于东南亚环形俯冲系统的南部，是全球最为活跃的地震、火山活动带之一，其强烈的地震火山活动与俯冲系统密切相关。前人地球化学研究表明，俯冲带周边高钾火山相比于岛弧火山，岩浆物质来源于更深的软流圈，通过开展基于接收函数叠加的地幔转换带和基于横波分裂的各向异性研究，阐述了俯冲板块的俯冲深度和形态，厘定了高钾质火山活动与通过板块窗的地幔流（软流圈）物质上涌有关。

S31-O-02

南海海盆海底地震仪天然地震层析成像

牛雄伟[1]，李家彪[1]*，丁巍伟[1]，卢绍平[2]，范建柯[3]

1 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室 杭州 310012

2 中山大学地球科学与工程学院，南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 51900

3 中国科学院海洋研究所，青岛 266071

* jbli@sio.org.cn

东南亚环形俯冲系统作为自然界规模最大的环形俯冲系统，不仅是地球上独特的超级汇聚中心，地震、海啸灾害频发，资源、能源富集，而且也是我国“一带一路”倡议、国家海洋战略和维权的重点区域。在国家自然科学基金重大项目课题“东南亚环形俯冲系统的地幔深部结构探测（41890811）”的资助下，在南海海盆开展了大规模的海底地震仪（OBS）天然地震观测试验。试验共回收17台海底地震仪（OBS），结合国际地震中心（International seismic center, ISC）台网572个陆地地震仪的数据，针对南海形成演化的深部构造成因等科学问题，开展了南海海盆天然地震纵波（P波）速度结构层析成像研究。

本研究使用的是远近震联合反演的方法（Zhao et al., 1992），共使用震中距小于25度的近震7697个，其中OBS工作期间记录了46个近震，ISC台网记录7651个近震；使用震中距为25-100度的远震11130个，其中OBS工作期间记录了61个远震，ISC台网记录11069个远震。OBS的地震到时拾取参考了STA/LTA方法和机器学习等方法（Wang et al., 2019），最终由人工重新检查，保证拾取的可靠性，拾取误差为0.1 s。对于ISC台网的地震记录，每个地震事件均使用EHB方法进行了重定位，每个地震事件被10个以上地震台站记录，保证了数据的可靠性。对于远震层析成像，参考IASP91模型计算了来自NW，NE，SW，和SE四个方向远震的相对到时残差。对OBS记录的远震到时（670个）和ISC台网记录的远震到时（397947个）进行分析和筛选，仅选取残差小于5 s的远震到时，以保证模型结果的可靠性（Zhao et al., 2006）。最终使用的到时数量为375535个，反演时使用了最优的阻

尼和平滑，模型最终拟合残差为 1.09 s。使用射线密度对模型可靠性进行评估，ISC 台网下方射线密度普遍大于 1000，海南岛下方射线密度大于 3000，海盆区域在 100 km 以下射线数逐渐增多，表明海盆区域速度结构在深部约束较多，深部结构更可靠。

最终获得相对于 IASP91 模型的 P 波速度异常结构模型，模型水平网格间距为 1 度，深度网格间距为 50-100 km。模型主要有如下关键特征：（1）相对于前人对本区域的认识，如马尼拉俯冲带、菲律宾海俯冲带、苏门答腊俯冲带和爪哇俯冲带等关键构造特征，在本模型中都有较清晰的成像；（2）本模型清晰的成像出俯冲板块的不连续或板块撕裂现象；（3）在地幔过渡带中，南海东部海盆下方为低速异常区，而西南次海盆下方为高速异常区，其边界与中南礼乐断裂带的位置基本一致，预示着地幔过渡带的不均匀结构在南海海盆的形成演化中可能有重要作用；（4）海南岛下方存在自地幔过渡带到地壳的低速异常区。

S31-O-03

南海 MORB 源区辉石岩的新证据及其地球动力学意义

杨帆 [1,2]*，黄小龙 [1,2]，徐义刚 [1,2]，刘亮 [1,2]

1 中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640
2 同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640
* yangfan@gig.ac.cn

地球的地表地形主要受均衡地形所控制。前人研究认为全球地幔对流也能造成地球地表的地形起伏，称之为动力学地形。目前主要有两种估计方法，一种是通过从观测地形中去除沉积物、岩石圈沉降等来估计，结果称作残余地形；另一种是通过地幔对流模型来估计，称作预测动力地形。

根据地幔对流模型预测，东南亚地区是全球的最典型的负动力学地形区域。但是对东南亚地区洋盆残余地形的估计则支持或不支持这种负动力学地形预测。前人研究早已发现上地幔的岩石密度变化引起的重力均衡效应可以导致全球洋脊水深达 5 km 的变化。南海具有显著的残余地形负异常（500-1000 m），我们利用橄榄石的熔体包裹体的主量元素成分和橄榄石成分证明了南海 N-MORB 的源区具有相对大比例的辉石岩组分。因为地幔辉石岩的密度显著高于地幔橄榄岩的密度，饱满橄榄岩的密度明显大于亏损橄榄岩的密度，所以，地幔辉石岩的加入以及相关的交代作用形成的饱满橄榄岩都会使得南海地幔（~12%）比其它相对缺失地幔辉石岩的大洋地幔（~4%）更重。根据重力均衡原理，这将导致南海海盆具有较大水深，与实际观测相符合。我们进一步利用数值模拟手段，证明异常重的地幔确实能够导致南海海盆发生额外沉降进而造成观测到异常大的水深。实际上，动力学地形模拟往往忽视上地幔的密度和热不均一性，而深部地幔对流的机制以及深部地幔的性质也大多是基于假设模型，我们不否认地球的地表地形可能受到地幔深部对流的影响，但重力均衡对地球地形的影响可能比之前认为的更加普遍和重要。而本研究为理解东南亚地区海盆的地形异常提供了一种新的思路。

S31-O-04

东南亚环形俯冲的南海及东南亚响应

关成尧 [1]*, 赵国春 [2]

1 防灾科技学院地球科学学院，三河 065201
2 中国地质大学地球科学与资源学院，北京 102200
* gcywww@126.com

东南亚环形俯冲带地震层析成像显示俯冲带深入到南海近边缘，本文倾向于将巽他大陆下的俯冲带的影响地幔区解释为“阶梯形”结构，存在一个倾斜地幔柱及其控制的“蝶形”地幔域，并存在新生代“蝶形”

地幔域的后撤。东南亚环形俯冲带上控制的地幔区域曾经使轻流体影响边界向右向北推进了 1000km-1100km，其历史上的影响边界可能达到了南海北缘。古地磁的数据或可以推断曾经在新生代华南大陆向北移动了数百千米，南海的扩张中心也因此向北移动，历史上南海拉张初期东南亚环形俯冲带的对流区域的影响范围可以向北达到目前的三水盆地-澎湖-台湾-菲律宾海一线，目前菲律宾海的富水上地幔可能也有当时第三纪东南亚环形俯冲带的轻流体贡献。东南亚环形俯冲带导致的地幔对流导致俯冲带能够控制整个南海扩张，并导致华南等地体转亲冈瓦纳，据此认为南海是东南亚环形俯冲带控制下的边缘海，东南亚环形俯冲带控制下的弧后扩张是南海形成的主导因素，并形成了南海扩张中心垂直于太平洋俯冲带的反常格局，推测 56ma 后东南亚-澎湖-台湾-华南-菲律宾海一带岩浆岩的转亲冈瓦纳事件是东南亚环形俯冲带作用的结果，俯冲带是地球化学元素“扩散”和“混染”的重要实现形式之一。另外，80-50Ma 期间逐渐加强的太平洋俯冲带和东南亚环形俯冲带的俯冲物质增量和汇聚缩短导致的软流圈涌流是亲冈瓦纳地幔物质向华夏地块输送的重要形式，并助力了华夏地块在 56Ma 转亲冈瓦纳，50Ma-35Ma 古菲律宾海板块在两侧俯冲带控制下的挤压汇聚则成为进一步的涌流接力，软流圈涌流有可能参与到了苏拉维西海、西里伯斯海、苏禄海等的海盆的弧后扩张活动之中。

S31-O-05

南海及邻近地区面波方位各向异性成像研究

范兴利[1]*，郭震[1]，赵琰喆[2]

1 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055

2 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* fanxl@sustech.edu.cn

南海位于欧亚板块、印度-澳大利亚板块和太平洋-菲律宾板块的交汇地带，周边地区被俯冲带所环绕，区域内地质构造十分复杂，是研究认识板块运动、地幔柱活动、板内火山成因、洋陆相互作用以及壳幔物质和能量传递的天然实验室。壳幔各向异性是约束地球深部构造演化过程及其动力学机制的重要手段，然而，由于受到海域地震观测资料的限制，南海及邻区目前尚缺乏一个精细的三维剪切波速度和各向异性结构模型。本研究通过搜集研究区域内密集的地震台站数据，采用远震双台法面波成像技术获得了南海及邻区地壳上地幔高精度的三维剪切波速度结构和不同深度上的方位角各向异性分布。成像结果显示：在上地幔顶部深度，青藏高原东南缘、越南晚新生代板内火山区、台湾和菲律宾岛弧火山区以及加里曼丹岛北部地区表现为显著低速异常，华南地区、南海北部以及苏拉威西海呈现显著高速异常，这与区域内地壳厚度分布以及岩浆作用的空间特征相吻合。研究区域西部地区，包括青藏高原东南缘、中南半岛和苏门答腊俯冲带表现为北西-南东向的快波方向，跨越南海和加里曼丹岛向东之后，快波方向转变为北东-南西向，这直接反映出印度-澳大利亚板块和太平洋-菲律宾板块对区域内构造演化控制作用的空间分布。在软流圈深度，大量出露晚新生代玄武岩的雷琼地区、中南半岛地区和南海深海盆地区表现为显著连续的低速异常，可能代表了与海南地幔柱活动相关的热物质上涌。各个深度上南海深海盆都处于方位各向异性发生剧烈转变的位置，可能暗示出其拉张形成与板块间的相互作用过程密切相关。本研究结果为进一步理解南海的形成和演化机制提供了重要的地震学观测证据。

S31-O-06

被动陆缘向主动陆缘转换的例子：北苏拉威西海

董淼[1]*，郝天珧[1]，张健[2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029
2 中国科学院大学，北京 100049
* dongmiao@mail.iggcas.ac.cn

被动陆缘的俯冲起始一直被认为是威尔逊旋回中重要的，必不可少的一环。但是，由于没有地质观测的支持，科学家们对这个过程仍不清楚，甚至对被动陆缘是否能转变为主动陆缘这个观点一直存在争议。苏拉威西海(Celebes sea)，作为西太平洋众多新生代的边缘海之一，自晚始新世开始扩张，至中始新世扩张停止。而其在早上新世开始发生向南的俯冲，随着北苏拉威西海沟持续的向北后撤，苏拉威西岛北支以其东端为轴，以 4°/Ma 的角速度进行着顺时针方向的旋转。该地区正是研究被动陆缘转变为主动陆缘过程的绝佳地区。

我们根据苏拉威西海地质，地球物理数据构建基础初始模型，模型为边缘海构造结构。在岩石圈结构完全相同的情况，根据模型边界条件和密度的不同来模拟海沟的主动后撤和被动后撤。主动后撤模型的各边界为自由滑移边界，板片俯冲只受密度差导致的负浮力影响；被动后撤模型的初始密度不设定密度差，上、下边界为自由滑移边界，模型左、右边界为指定速度边界，左侧边界岩石圈的速度来模拟上覆板块的所受的推挤作用，左、右两侧下部地幔的速度为平衡岩石圈物质守恒所设定的。

模拟结果显示在俯冲至约 260 km 深度时，也就是现今苏拉威西板块最深的位置，主动后撤和被动后撤的模型中分别各有一个模型符合在 5~8 Ma，海沟后撤速度在 35~55 mm/a 的区间。然而被动后撤模型中俯冲板块弯折角度较小，与实际观测的震源深度分布不符；主动后撤模型中俯冲板块弯折角度较大，与震源深度分布相吻合。我们在参数和边界条件保持不变，将主动后撤模型的深度由 660km 分别减小至 400 km 和 200 km，模拟结果显示，当俯冲空间被压缩后，主动俯冲后撤过程会被明显抑制，海沟后撤速度也会大大降低。因此，苏拉威西海东侧由于其下方的桑义赫（Sangyihe）板片压缩了苏拉威西海的俯冲空间，抑制了俯冲过程，延缓了海沟后撤速度。而苏拉威西海西侧俯冲空间充足，海沟后撤速度大于其东侧，因此观测到苏拉威西岛北支呈顺时针旋转。因此，我们可以得出结论，被动陆缘转变为主动陆缘转换后，大洋板块的负浮力在板片俯冲和海沟后撤的过程中起到了决定性的作用。

S31-O-07

东南亚环形俯冲：三维地幔上涌与熔融过程

林间 [1,2,3]*，周志远 [1,4]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 510301
2 海洋科学与工程系，南方科技大学，深圳 518055
3 美国伍兹霍尔海洋研究所，伍兹霍尔 02543
4 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)，广州 511458
* jlin@whoi.edu

南海三面受到俯冲带的包围，包括西边苏门达腊俯冲带、南边爪哇俯冲带、东边菲律宾与马尼拉俯冲带。地球物理观测与理论研究结果表明，南海构造演化过程与周边俯冲系统的相互作用密不可分：（1）西边苏门达腊俯冲带的俯冲物质在下地幔深度可能已到达南海的边缘；（2）南边爪哇俯冲带向北俯冲同样可能在一定深度进入南海底下；（3）东边菲律宾与马尼拉俯冲带正分别从两个方向俯冲到菲律宾岛弧与吕宋海峡下；（4）南海北部可能存在一个较大范围的地幔上涌区，并推测其与周边俯冲相关；（5）印支半岛地震各向异性研究表明，西南边印度板块的俯冲引发地幔上涌，可能为南海演化提供新生代岩浆源。

本文基于先进的三维地球动力学模拟方法 ASPECT，借助超算平台，定量化模拟南海环形俯冲诱发的三维地幔上涌与熔融

过程。模型基于最新的全球板块模型，GPlates 计算的板块速度作为模型的表面边界条件；考虑地幔转换带的相变过程；设定由粘度随温度与深度变化的地幔物质模型；计算地幔运动速度、温度、粘度、地幔熔融程度等参数。模拟结果表明：（1）南海深部由多向俯冲诱发的大规模区域性地幔上涌，而浅部由板块扩张引起的小范围地幔上涌；（2）南海周边的俯冲系统是诱发南海北部与印支半岛地幔上涌的可能机制，这为解释在不同时期观测到的南海及周边系统的岩浆活动提供了新见解。

基于创新的三维粒子示踪技术，本文还追踪南海地幔物质随时间演化的位置、深度、熔融状态等参数，建立了不同时刻的南海三维地幔熔融与粒子模型，重现了地幔物质经历的温压条件和熔融过程。结果显示：（1）模型揭示了东部、西南次海盆下地幔粒子的三维时空路径，到达洋脊下方与上涌至地表的时间；（2）通过重演南海深部结构，揭示南海洋脊向南迁移如何造成了南海海盆南、北地壳的不对称；（3）揭示东部次海盆地幔起始熔融深度大于西南次海盆，计算东部次海盆 IODP U1431 站位比西南次海盆的 U1434 站位的地幔起始熔融深度约大 10 千米。

S31-O-08

环南海俯冲带深部地幔结构

范建柯[1]*，赵大鹏[2]，董冬冬[1]

1 中国科学院海洋研究所，青岛 266071

2 日本东北大学，仙台 980-8578

* fanjianke@qdio.ac.cn

南海地处欧亚板块、印度-澳大利亚板块和菲律宾海板块的交汇区，三大板块的相互作用导致了大量俯冲带的形成，尤其是南海东侧、台湾-菲律宾地区周边甚至发育有多个多板块俯冲系统，因此，研究这些俯冲带的深部地幔结构对于准确理解南海的形成演化至关重要。我们利用国际公开的地震学数据，对南海周边的俯冲带深部结构进行了系统的各向同性和各向异性层析成像研究，细致刻画了各俯冲带的板块俯冲形态以及深部地幔结构，为多板块俯冲系统以及南海的形成演化提供了重要的地震学约束。

方位各向异性结果揭示，在菲律宾中南部的地幔转换带附近可能存在水平的地幔流动。该地幔的水平流动可能是由菲律宾海板块沿菲律宾海沟以及摩鹿加海板块沿桑吉海沟的共同西向俯冲引起，欧亚板块沿马尼拉-尼格罗斯-哥达巴托海沟的俯冲与菲律宾海板块沿菲律宾海沟的对向俯冲以及南海的扩张可能促进了这一地幔流的发育。这可能是南海东部次海盆印度洋域物质的来源之一。另外，各向同性成像结果揭示，沿爪哇海沟俯冲的印度-澳大利亚板块深部存在空洞，来自印度洋的地幔物质沿空洞进入弧前地区，甚至可能已经达到南海区域，这可能也是南海印度洋域物质的来源之一。

方位各向异性成像结果显示，在吕宋岛最北部及其沿岸，存在 NE-SW 向的平行于南海古洋脊的方位各向异性。该方位各向异性可能与以下因素有关。第一，随着南海板片的俯冲后撤，南海东部次海盆下方的地幔物质可能通过古洋脊附近的板片窗流入吕宋岛下方的地幔楔内，形成观测到的方位各向异性，同时对吕宋岛埃达克岩的形成可能具有一定的贡献。第二，平行于洋脊的方位各向异性同时平行于洋底高原的构造走向，而洋底高原可能已经部分俯冲到吕宋岛最北部的下方，这种一致性可能说明平行于洋脊的方位各向异性与俯冲的洋底高原存在相关性。第三，平行于洋脊的方位各向异性还可能暗示在南海扩张过程中，存在形成于扩张中心并且平行于洋脊的残余各向异性。近期的地震学研究认为，在洋壳形成过程中，扩张中心下方的地幔物质可能会沿着扩张中心流动，导致平行于扩张中心的各向异性的形成。南海的东部次海盆（33-15 Ma）和西南次海盆（23.6-16 Ma）具有不同的扩张年龄，东部次海盆较早的扩张起始时间和较长的扩张持续时间说明东部次海盆所需要的地幔物质要多于西南次海盆，可能会引发

由西南次海盆向东部次海盆的地幔流动，从而产生平行于洋脊的方位各向异性。

S31-O-09

环苏拉威西海多俯冲带地区上地幔形变特征研究

曹令敏[1,2]*，何小波[3]，赵亮[4]，吕川川[5]，郝天珧[6,7]，赵明辉[1,2,7]，丘学林[1,2,7]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海生态环境工程创新研究院，中国科学院南海海洋研究所，广州 511458
2 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州 511458
3 浙江海洋大学，舟山 316022
4 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029
5 Bullard Labs, Department of Earth Sciences, University of Cambridge, Cambridge CB3 0EZ UK
6 中国科学院地质与地球物理研究所，油气资源研究院重点实验室，北京 100029
7 中国科学院大学，北京 100049
* caolingmin@scsio.ac.cn

上地幔各向异性的地震学研究可以揭示地幔流动和岩石圈变形模式，在俯冲带地区上地幔各向异性的研究则是认识俯冲带应力分布及俯冲动力学过程的关键。本研究聚焦于东南亚环苏拉威西海地区，东邻太平洋板块，南邻印度–澳大利亚板块。研究区长期受到西太平洋与特提斯构造域的影响，形成复杂的多俯冲系统，包括位于苏拉威西海北东侧的科托巴托（Cotabato）俯冲带、南侧的北苏拉威西（North Sulawesi）俯冲带，及东南侧的双向俯冲带——摩鹿加海（Molucca Sea）板块分别向西和东俯冲形成的桑义赫（Sangihe）和哈马黑拉（Halmahera）俯冲带。因此，环苏拉威西海俯冲带系统是研究相邻俯冲带之间的动力学过程相互作用的理想区域。本次研究利用远震 SKS 震相分裂获得环苏拉维西海周围地区的7个地震台站下方的上地幔各向异性参数（快波偏振方向和快慢波延迟时间）。新结果中显示，哈马黑拉岛弧之上的台站 TNTI 的快波方向为 NE–SW，倾斜于海沟和板片俯冲方向。Di Leo 等（2012）利用震源端 S 和 SKS 震相分裂获得的摩鹿加海下方和苏拉威西岛北支东段的 MNI 台站的各向异性结果，快波方向均平行于海沟走向。我们认为，在对向的桑义赫俯冲带和哈马黑拉俯冲带之间的板下地幔中存在由南向北的地幔流，而本研究中台站 TNTI 的快波方向为 NE–SW，各向异性主要来源于哈马黑拉弧前下方的板下地幔流，很可能是受到上述由南向北的地幔流以及向东俯冲的板片与板下地幔耦合产生的地幔流的叠加影响。位于棉兰老岛的台站 DAV，东西两侧分别为对向俯冲的菲律宾海板块和苏拉威西海板块，但成像结果（Hall 和 Spakman, 2015）显示俯冲板片的深度均未到达台站下方，而南侧处于摩鹿加海板块俯冲的边缘。该台站的快波方向近似垂直于科托巴托海沟走向，且与其南边的震源端 S 震相分裂结果一致（Di Leo 等, 2012）。结合 Hall 和 Spakman（2015）的上地幔速度模型，DAV 台站的 SKS 分裂结果很可能与俯冲的苏拉威西海板块之下的地幔流叠加菲律宾海板块地幔楔对流（低速）或/和摩鹿加海板块边缘地幔物质运移（低速）有关。台站 TOLI 和 LUWI 分别位于苏拉威西俯冲带（沿北苏拉维西海沟向南俯冲）弧前和俯冲板片前缘上方，快波方向均为近 NW–SE 向。结合苏拉威西海板片、摩鹿加海板片的俯冲深度和形态（Hall 和 Spakman, 2015）以及东南侧和南侧的班达（Banda）板片俯冲形成的地幔楔流场（Wang and He, 2020），推测 LUWI 各向异性可能与弓形的班达板片俯冲并后撤形成的地幔楔对流有关；而 TOLI 的各向异性方向可能代表桑义赫板块俯冲引起的板下地幔流方向。婆罗洲上的台站 KKM、LDM 和 BKB 的各向异性方向与以往研究得到的周围的区域地幔流场方向一致。本次研究结果为西太平洋与特提斯构造域交汇处–环苏拉威西海多俯冲系

统相互作用下的上地幔形变研究提供了新的证据和认识。

S31-O-10

南海西南次海盆残留扩张中心后扩张期海山的速度结构及其对海山演化的指示

张洁[1]*，李家彪[1]*，阮爱国[1,2]，丁巍伟[1]，牛雄伟[1]，王伟[1,2]，谭平川[1]，吴振利[1]，于志腾[1]，卫小冬[1]，赵阳慧[1]，周志远[3]

1 自然资源部第二海洋研究所海底科学重点实验室，杭州 310012

2 上海交通大学海洋学院，上海 200240

3 中国科学院南海海洋研究所边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510000

* zhangjie@sio.org.cn, jbli@sio.org.cn

后扩张期海山是一种特殊类型的海山，通常形成在残留扩张中心附近，广泛分布于太平洋区域，如东太平洋（Tian 等, 2011）、南海（Yan 等, 2008）、日本海（Kaneoka 等, 1990）、菲律宾海（Sato 等, 2002）等。过去几十年里，我们对于此类型海山的认识主要依赖于岩石地球化学数据，研究表明后扩张期海山的形成通常与浮力减压熔融相关（如 Castillo 等, 2010; Raddick 等, 2002），岩浆主要以碱性的洋岛玄武岩（与小尺度的部分熔融相关）为主，同时也存在钙碱性的洋中脊玄武岩（与大尺度的部分熔融相关）(如 Batiza, 1977; Castillo 等, 2010)。就后扩张期海山内部结构而言，仅在南海东部次海盆内的黄岩-珍贝海山（Zhao 等, 2018）和菲律宾海四国盆地内的 Koza and Daini‐kinan 海山开展过主动源海底地震仪调查，对海山结构特征（控制因素）及其形成演化过程的研究有限。因此我们对南海西南次海盆后扩张期海山（龙南海山）开展了三维主动源海底地震仪调查，获得了四条穿过海山的测线。基于海底地震仪数据，开展了旅行时正反演模拟，揭示了龙南海山的速度结构。通过分析全球相同规模、相同（不同）起源海山的结构特征，建立了海山演化模型，阐述了海山结构的控制因素。最后通过与南海东部次海盆海山（黄岩-珍贝海山）结构的对比，揭示了结构差异特征并给出了造成差异的原因。获得的主要认识如下：（1）南海西南次海盆龙南海山是一个喷发占主导的海山，其喷发/侵入边界（~6.0km/s）在形态上呈现出下凹状态。通过计算海山体积获得海山的喷发/侵入比为 3.0；（2）通过分析全球海山（<100 km）结构，建立了 2 种可以解释海山结构差异的演化模型。这 2 种模型均表明海山的喷发/侵入比和地壳增厚形式的差异源于岩浆供应量和岩浆供应时间的差异；海山侵入核的缺失指示其起源与热点/地幔柱无直接的联系。（3）对比南海西南次海盆和东部次海盆后扩张期海山的结构，发现其喷发/侵入比和地壳增厚形式存在差异。结合上文获得的演化模型，我们认为南海洋脊跃迁导致的异常地幔可以解释南海海盆内后扩张期海山的结构差异。

S31-O-11

巴拉望陆块碎屑物源与南海东部古地理演化

曹立成[1]*，邵磊[2]*，乔培军[2]，崔宇驰[2]，张功成[3]，张向涛[4]

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

3 中海油研究总院，北京 100027

4 中海油深圳分公司研究院，广州 510240

* licheng.cao@gmail.com, lshao@tongji.edu.cn

不同微板块的起源、生长和消亡过程差异显著，在地球动力学和区域构造研究中具有举足轻重的作用。东南亚发育复杂的微板块构造拼合带，其中包括位于菲律宾西部、南海东侧的巴拉望陆块。关于南海的形成和演化，其东部边缘至关重要，巴拉望陆块对此有丰富、连续的地质记录。该地区新生代

构造运动早已为人熟知——古新世至始新世裂陷活动之后，渐新世至早中新世洋壳扩张使得巴拉望陆块向南漂移。然而，巴拉望陆块的起源和早期古地理演化还存在诸多争议和不确定性，其中包括最古老岩层的年龄和成因、古太平洋俯冲和岛弧活动的沉积响应、南海南北陆缘的早期共轭关系等问题。

本文从碎屑物源的角度对巴拉望陆块起源和区域古地理演化进行系统的研究，针对巴拉望岛出露的和南海北部钻井揭示的中生代-新生代地层开展了元素地球化学、重矿物、碎屑锆石 U-Pb 测年综合分析。借助广泛收集的区域范围锆石 U-Pb 年龄数据集，以及最年轻锆石年龄对样品沉积年龄的约束，对南海共轭陆缘的物源信号进行对比分析。研究结果发现巴拉望陆块的物源信号发生了多次转折，指示其古地理位置从侏罗纪的俯冲增生背景演化至新生代早期的裂陷陆缘，再至新生代中期的微陆块。根据不同区域样品物源信号的相似性，推测巴拉望陆块中生代时期可能拼贴于南海东北部，直至南海洋壳扩张发生漂移。此外，白垩纪末至早新生代，巴拉望陆块可能作为古南海的北部被动陆缘，至始新世末古南海洋中脊可能再活化并发生强制俯冲。随着古南海的逐渐消亡，其残余洋壳最终于渐新世-中新世侵位于巴拉望陆块之上。

S31-O-12

基于接收函数叠加的爪哇俯冲带地幔转换带厚度起伏研究及其地球动力学意义

刘张聚[1,2]，孔凡圣[1]*，丁巍伟[1,2]，李家彪[1,2]

1 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

2 浙江大学地球科学学院，杭州 310027

* kongfs@sio.org.cn

本文应用 121 个地震台站所记录的 3688 条 P-S 波径向接收函数，经过一维 IASP91 地球速度模型的震中距校正后，通过叠加方法得到了地幔转换带 410km（d410）和 660km（d660）速度间断面的深度变化特征。d410、d660 的视深度和地幔转换带的厚度分别为 379 至 430km、609 至 694km 和 217 至 291km，平均值分别为 404 ± 13km、662 ± 18km 和 257 ± 18km。爪哇岛绝大部分区域表现出 d410 上升（平均为 9km）和 d660 下降（平均为 11km），使得地幔转换带增厚约 18km，d410 和 d660 的深度起伏可归因于冷俯冲板进入地幔转换带，其低温异常导致 d410 和 d660 处的 相橄榄石到瓦兹利石和尖晶橄榄石到布氏岩的相位变化分别出现抬升和下降；爪哇岛中南侧有一小范围区域表现为 d410 下降（平均为 16km），而 d660 基本不变，结合前人层析成像结果，我们推测 d410 下降可能与板块破裂导致的减压熔融及热物质上涌产生的高温异常相关；龙目岛与松巴哇岛区域表现为 d410 上升（平均为 9km），且 d660 剧烈抬升（平均为 35km），致使地幔转换带厚度减薄约 27km，该现象可能是下地幔高热物质上涌造成的结果。

S31-P-01S

南海中央海盆 Mw5.4 震源区地震活动性监测及初步结果

宫文斐[1]*，阮爱国[2,3]，牛雄伟[2]，汪祯杰[4]

1 上海交通大学海洋学院，上海 200240

2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

3 浙江大学地球与科学学院，杭州 310007

4 浙江省地震局，杭州 310012

* 675219304@qq.com

以 2019 年 9 月 5 日南海海盆突发 Mw5.4 中强地震为契机，我们用宽频带海底地震仪（OBS）在震源区开展了地震活动性监测，以期对三个科学问题进行研究：一是 Mw5.4 地震的震源区构造和活动性；二是南海残留扩张脊的深部构造及转向问题；三是“中南

断裂”性质与作用。本文报告了第一期地震活动性监测的情况和初步结果。投放 OBS 5 台，回收 3 台，监测时长 288 天。采用 Phasepicker 法自动拾取微震事件，根据震相特征和时频特征分析拾取的微震进行了确认；在此基础上对 Mw5.4 震后的地震活动性进行了分析。结果表明：1）3 个 OBS 台站分别记录了 68、21、89 次微震；2）所拾取微震主频为 12~15Hz，可以认定为构造性破裂；3）微震发生距离台站范围 <20km；4）Mw5.4 震后约 2 个月是微震发生高频期，目前为止微震仍时有发生。另外，拾取了 Mb6.0 级以上远震事件 23 个 (震中距>30°)，其中 6.0~7.0 级 21 个，Mw7.0 级以上 2 个。

S31-P-02S

异常俯冲的成因探究

王星月[1,2,3]*，赵明辉[1,2,3]，张佳政[1,2]，程锦辉[1,2,3]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 511458

2 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州 511458

3 中国科学院大学，北京 100049

* 1598662267@qq.com

年老的岩石圈密度高、厚度大，具负浮力，易下沉，通常会俯冲到年轻岩石圈之下。然而，在一些地区却发现了年轻洋壳向年老洋壳俯冲的现象，将其称之为异常俯冲，如 Hjort 海沟和 Mussau 海沟。对前人在这两个构造区域进行的地球物理探测的结果进行分析，得到了三个相同的地质构造特征：（1）具有相对独立的性质，Mussau 海沟所处的 Caroline 板块相对于印度板块、太平洋板块和菲律宾海板块是一个单独的板块，独立于这三个板块而存在；约 145°E 以东、55°S 以南的澳大利亚板块区域与 Demets 等人（1988）提出的 Macquarie 板块相对应，它既不属于澳大利亚板块也不属于太平洋板块，是一个独立的刚性板块，Hjort 海沟位于其 55°-59.5°S 处。（2）构造环境复杂，至少受到三个板块的作用，如 Mussau 海沟受到菲律宾海-太平洋-印度板块三个方向的作用力；Hjort 海沟受到澳大利亚-太平洋-南极洲板块三个方向的作用力。（3）俯冲极性一般发生变化，如在 Caroline-太平洋板块边界处，3°N 以南，年轻的 Caroline 板块沿着 Mussau 海沟向年老的太平洋板块俯冲，3°N 以北由年老的太平洋板块向年轻的 Caroline 板块俯冲；在澳大利亚-太平洋板块边界的 55°-59.5°S 处，年轻的澳大利亚板块沿着 Hjort 海沟向年老的太平洋板块俯冲，海沟北部似乎有年老的太平洋板块向年轻的澳大利亚板块俯冲的趋势（Weissel and Anderson, 1978；Hegarty et al., 1983；Demets et al., 1988；Meckel et al., 2003；Cande and Stock, 2004）。Caroline-太平洋板块边界的变形强度向南增加，在 Mussau 海沟处由汇聚形成的压缩性更强，收敛速度较快，Caroline 板块受到的推力也较大，形成了 Caroline 板块向太平洋板块的俯冲（Weissel and Anderson, 1978）。在 Hjort 地区，随着澳大利亚板块和太平洋板块的斜向汇聚，其边界由转换断层转变为俯冲性质（Meckel et al., 2003），澳大利亚板块向太平洋板块运动的挤压力应大于太平洋板块年龄产生的负浮力以及向澳大利亚洋壳运动的挤压力，才能导致异常俯冲的发生。Caroline-太平洋板块边界的性质从南到北依次为异常俯冲的 Mussau 海沟、N35°W 的正常俯冲以及左旋走滑的 Sorol 海槽，澳大利亚-太平洋板块边界的性质从 60°S 到 50°S 依次为异常俯冲的 Hjort 海沟、正常俯冲以及右旋走滑的 MRC（Macquarie 海脊复合体，是新西兰北部澳大利亚-太平洋板块的边界）（Weissel and Anderson, 1978；Meckel et al., 2003），说明 Caroline 板块和太平洋板块、澳大利亚板块和太平洋板块的相对运动方向从南到北由挤压转换为走滑，而在转换过程中会伴随着板块间相互作用力的减小，从而可能导致俯冲极性的改变。综上，异常俯冲形成的基本条件与正常俯冲相似，不同之处在于年轻板块所受到的推力需要大于年老板块受

到的推力以及年龄产生的负浮力，且板块间不同方向的作用也会对其构造环境产生影响。

在今后的工作中，可以根据 John 和 Michael（1998）在已存在的断裂带上建立俯冲起始模型的思路，改变一些参数建立异常俯冲起始的模型，并以花东海盆中的 Gagua 海脊为例，开展数值模拟研究，从而更深入地了解异常俯冲的成因机制。

S31-P-03

苏门答腊俯冲板块的撕裂来自天然地震和地表数据的约束

谭平川 [1]*，孔凡圣 [1]

1 自然资源部第二海洋研究所海底资源重点实验室，杭州 310012

* tanpc@sio.org.cn

俯冲板块的运动学、动力学随着俯冲深度的增加而发生变化，这种变化会造成板块几何形态的变化。俯冲板块的撕裂是其中变形的重要组成部分，迄今报道较少、研究相对薄弱。苏门答腊俯冲带被认为是研究俯冲板块撕裂的理想场所，大量的地震成像数据揭示了俯冲板块的撕裂，并且地球化学数据显示其对应的第四纪最大的陆地火山口 Toba 也可能与俯冲板块的撕裂有关。前人研究板块撕裂主要基于深部的地震成像。但深部成像模糊且多解，本次研究主要通过 4 万多个天然地震数据刻画 1707 条（95°E-120°E）垂直于俯冲带走向的板块形态剖面，并与对应的浅部地形剖面进行对比研究。结果显示由西北向东南方向，俯冲板块的俯冲深度逐渐增加（250km-650km），其俯冲角度逐渐变陡（11°-50°）,与实际观测的俯冲板块的年龄逐渐增加相吻合。我们的研究表明在 110°E-115°E，板片在 300-500 公里深度可能发生撕裂，撕裂导致了该区域观测到的板块俯冲倾角的异常。板块撕裂可能导致浅部板块的回弹，这种回弹现象造成观测到的地表海沟和增生楔的异常隆起。

S31-P-04

东海中生代的缝合带：来自广角地震剖面的证据

卫小冬 [1]*，丁巍伟 [1,2,3]

1 自然资源部海底科学重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519082

3 上海交通大学海洋学院，上海 200092

* xdwei_922@126.com

作为中国东部的大型边缘海，东海一般被认为是华南陆缘向海的延伸，其上发育的陆架盆地，与新生代以来古俯冲强度的减弱及俯冲带的后撤在太平洋俯冲带后缘形成的拉张作用相关，而冲绳海槽则属于菲律宾海板块在 45Ma 至 35Ma 期间向欧亚板块俯冲形成的弧后盆地，与琉球海沟、琉球岛弧组成了完整的沟-弧-盆体系（金翔龙，1992；李家彪，2008）。然而，基于浙、闽、粤沿海的大地构造研究结果（郭令智等，1983）、中国东部~190 Ma 至~88 Ma 的花岗岩带（牛耀龄等，2015）、以及东海陆架盆地与华夏块体的碎屑锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素分析（Fu et al., 2021），新的观点认为华南大陆东缘存在中生代的俯冲带，东海是一外来地块，在东海和华南陆缘之间存缝合带（牛耀龄等，2015；李家彪等，2017；Ding et al., 2017; Fu et al., 2021）。为揭示东海陆架区的地壳结构特征并确定缝合带的位置，2017 和 2019 年，我们在东海陆架布设两条广角地震测线（ECS2017 和 ECS2019）。

ECS2017 和 ECS2019 测线都经过浙闽造山带和陆架盆地，其中 ECS2017 测线长 285km，布设 14 台 OBS，成功回收 11 台；ECS2019 测线长 170km，投放 11 台 OBS，成功回收 10 台。采用射线追踪正演和层析成像反演得到了相应测线的速度结构。结果

揭示浙闽造山带地壳厚度为 23km，而陆壳盆地地壳厚度不超过 15km，且浙闽造山带的地壳速度比陆架盆地的地壳速度高约 0.5 km/s；重力反演也显示浙闽造山带和陆架盆地地壳厚度存在差异；磁异常揭示浙闽造山带具有高频、强振幅的特点，而与之相反，陆架盆地表现为低频、低振幅的特征（Ding et al., 2017），表明浙闽造山带和东海陆架盆地地壳结构存在差异。两条测线的速度结构都揭示在浙闽造山带和陆架盆地交界处存在宽度约为 50km 的高速异常，高速异常的下地壳存在莫霍面抬升。结合该区域以往的研究，推测高速异常区域为一缝合带，是东海与华南陆缘碰撞区域。其成因与古太平洋板块俯冲有关，古太平洋板块在该区域撕裂、后撤产生的岩浆沿着缝合带进入地壳形成的。

S31-P-05

The Caroline Ridge fault system and implications for the bending-related faulting of incoming oceanic plateaus

Zhengyi Zhang[1,2,3], Dongdong Dong[1,2,3]*, Weidong Sun[3,4], Guangxu Zhang[1,3]

1 CAS Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071

2 Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237

3 Center of Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071

4 Center of Deep Sea Research, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071

* zhangzhengyi@qdio.ac.cn

The latest multichannel seismic data from the Yap subduction zone is presented to investigate the Caroline Ridge fault system, developed by faulting and bending processes within the incoming oceanic plateau. We reveal that horst and graben structures exist along the entire incoming Caroline Ridge adjacent to the trench and that pervasive bending-related faults trending ~N30 °E have developed subparallel to the trench. However, the widths of the horst and graben structures decrease gradually from north to south. The two-stage ancient abyssal hill fabrics overlap the incoming Caroline Ridge. Abyssal hill faults trending ~N65 °W present large trench-ridge angles (85-90 °); in the southern segment, abyssal hill faults trending ~N70 °E have relatively low trench-ridge angles (~35-40 °). From the Caroline Ridge to the horst and graben structures, the topography decreases, and slump bodies with deformed internal reflections have developed above an irregular reflector. Little stable pelagic sediment with horizontal reflectors accumulates on the horst and graben structures, suggesting that the faulting and bending processes involve long and intense tectonic processes that affect the sedimentary environment. The sedimentary strata and fault distributions differ between the North and South Caroline Ridge, which is primarily attributable to the different rifting processes. Furthermore, we propose that N65 °W-trending ancient faults sufficiently decrease the yield strength of the incoming Caroline Ridge to facilitate the bending-related faulting. During subduction, the incoming North Caroline Ridge that has a large degree of rifting and the Sorol Trough, which has a thin crust, may resist less flexural bending and generate the wide horst and graben structures. The ancient faults and rifting model of incoming oceanic plateaus play a significant role in bending-related faulting.

S31-P-06S

洋盆俯冲起始的模式和条件

钟辛易，李忠海*

1 中国科学院大学，计算地球动力学重点实验室，北京 100049

* li.zhonghai@ucas.ac.cn

现今地球上的存在的俯冲过程是地球内外圈层物质和能量循环的纽带，同时也是板块构造理论的基础。由于观测手段和资料等限制，洋盆的俯冲起始（subduction initiation）的机制和过程仍然有待进一步的研究。目前，洋盆的俯冲起始模式按动力来源分为岩石圈横向密度差驱动的自发模式和远场应力驱动的诱发模式。自发俯冲起始模式要求大洋两侧较大的年龄差或者强度较低的岩石圈地幔，这两种条件在现今的地球环境相对难以实现。而在现今板块构造环境下，远场力条件驱动的诱发俯冲起始过程则相对较为常见。

本次研究采用数值模拟手段，对诱发俯冲起始的模式和动力学条件进行了探究。研究中，通过在数值模型中通过设置不同大小的应力边界条件，薄弱带强度和大洋岩石圈的年龄，探究俯冲起始在不同环境中的所需的动力学条件。首先本研究对单个大洋的俯冲起始的动力学条件和控制因素进行了研究，随后，对该研究进行扩展，对包含两个俯冲带的俯冲传递模式中的动力学机制和过程进行了研究和讨论。本研究解释了东南亚的新生俯冲带的动力学条件，同时也对特提斯的多期俯冲——碰撞过程的动力学过程和机制提供了启示。

S31-P-07

辽东湾坳陷新生代应力场数值模拟与动力学研究

户盼盼[1,2]，杨风丽[1,2]*，董若雯[1,2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

* yangfl@tongji.edu.cn

辽东湾坳陷位于太平洋西部边缘新生代盆地群渤海湾盆地的东北部，是下辽河坳陷向海域的延伸。郯庐断裂带从盆地的东部穿过，受其走滑活动影响，辽东湾坳陷新生代构造演化十分复杂，表现为多期次伸展、走滑的叠加与转换（Huang et al., 2015）。为揭示辽东湾坳陷新生代构造演化的动力学机制，明确郯庐断裂带在其中所起的作用，本次研究采用 SHELLS 有限元法模拟了辽东湾坳陷古新世至早始新世，晚始新世，渐新世及中新世 4 个时期的构造应力场。该方法是 Peter Bird 及其团队在 1995 年编译的一套基于流变学及动量构造守恒原理来进行应力场模拟的有限元方法（Bird，1999）。

模拟结果表明：（1）古新世至早始新世时期，辽东湾坳陷最大水平主压应力（以下简称主应力）方向以 NNE 向为主，晚始新世期间，主应力方向转变为 NE 向，渐新世以来再次转变为 NEE 至近 E-W 向；（2）古新世至始新世，盆地以伸展应力为主，走滑应力主要分布在辽中凹陷及辽东凸起的局部地区，而渐新世以来则以走滑应力为主，伸展应力主要分布在盆地东部主干断裂的旁侧；（3）自晚始新世以来，主应力方向在辽中 1 号断裂（郯庐断裂带分支断裂）附近发生了明显的偏转。综合上述结果，认为辽东湾坳陷在中晚始新世时期构造应力场发生了明显变革，导致盆地由伸展活动为主转变为强右行走滑兼弱伸展活动。结合区域动力学背景，推测该期应力场变革与中始新世期间太平洋板块俯冲方向的转变有关，但后期印度-欧亚板块碰撞的远程效应对此亦有贡献；此外，晚始新世以来郯庐断裂带走滑活动对辽东湾坳陷局部应力场具有明显的调整作用，但影响范围有限。

S31-P-08S

华南南部陆缘沉积盆地晚新生代剥蚀特征及其构造意义

赵鹏[1,2,3]，施小斌[1,2]*，任自强[1,2,3]，谌永强[1,2,3]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 510301
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
3 中国科学院大学，北京 100049
* xbshi@scsio.ac.cn

晚新生代以来，华南南部陆缘整体处于抬升环境，这与南海北部陆缘整体处于沉降环境形成鲜明对比。为了了解华南南部陆缘晚新生代以来的抬升剥蚀特征，我们选择位于华南南部大陆基底之上四个重要的中-新生代陆相沉积盆地南雄盆地、三水盆地、茂名盆地及长昌盆地作为研究对象，采用镜质体反射率、低温热年代学和数值模拟方法，估算了各沉积盆地的剥蚀量及剥蚀时限。初步结果显示，华南南部陆缘发生抬升剥蚀的时限可能为 23-10Ma；各盆地剥蚀量大体表现为沿陆缘自西向东呈逐渐增大的趋势，其中长昌盆地约 550m，三水盆地约 1358m，南雄盆地约 1650m。分析表明，华南南部陆缘晚新生代以来的抬升剥蚀很可能是受控于印度-欧亚板块碰撞及太平洋板块 NWW 向俯冲的叠加作用，且作用强度沿陆缘自西向东方向呈逐渐增强的趋势。本文剥蚀量估算是恢复沉积盆地原型和判断构造运动影响程度的重要依据，对重建华南南部陆缘区域构造演化具有重要意义。

S31-P-09

穿过板块窗的地幔流上涌引起的爪哇俯冲带高钾火山活动：来自横波分裂的证据

孔凡圣[1,2]*，Stephen Gao[2]，Kelly Liu[2]，李家彪[1]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学重点实验室，杭州 310012
2 Missouri University of Science and Technology，USA 65409
* kongfs@sio.org.cn

爪哇俯冲带代表的是印度-澳大利亚板块沿着爪哇海沟对巽他板块（Sunda Plate）的俯冲，俯冲在爪哇岛造就了大量的活动火山，岛上分布有火山 100 多座，其中海拔 1800 米以上的火山峰有 58 座，3000 米以上的有 14 座。弧后分布有多座高钾质火山（如 Muria、Lasem）。爪哇俯冲带是全球最为活跃的地震、火山活动带之一，其强烈的地震火山活动与俯冲系统密切相关。前人地球化学研究表明，高钾火山相比于岛弧火山，岩浆物质来源于更深的软流圈，通常情况下与板块破裂导致的地幔流（软流圈）物质上涌有关。一些层析成像研究表明在爪哇中部下方，俯冲板块存在板块洞，但此板块窗具体位置和大小争议很大，且穿过板块窗口的地幔流缺乏地震学依据。如果存在穿过板块窗口的地幔流，其水平方向的分支可由基于横波分裂的各向异性研究准确刻画。

为系统性研究爪哇俯冲带地幔流场，本研究综合应用爪哇俯冲带产生的近地震和震中距位于 87°到 180°的远震产生的 S 波，应用横波分裂方法对研究区域的地幔楔和俯冲板块下方的地幔流场进行高分辨率约束。地震数据来自于 127 个地震台站，相比前人各向异性研究，本研究数据量有了极大的提升。研究结果表明，弧前地幔流与板块运动方向一致，而在俯冲带的大部分区域，岛弧下方的地幔楔地幔流走向与海沟走向大体一致。在爪哇岛中部下方，地幔流横穿位于其下方的板块窗口进入地幔楔中，研究推测此地幔流与高钾质火山活动形成相关，可能通过以下两种方式影响其产生：1）高钾质火山的钾质组份直接来自于穿过板块窗口上涌的软流圈物质；2）钾质组份来自于受之前俯冲交代的岩石圈，此岩石圈被穿过板块窗的软流圈上涌熔融。

S32-O-01

地球深部矿物与水之间的化学作用

胡清扬[1]*，金德荣[1]，刘锦[1]，侯明强[1]，何宇[1,2]，毛立文[3]，毛河光[1]

1 北京高压科学研究中心，北京 100871

2 中国科学院地球化学研究所，贵阳 550081

3 斯坦福大学地质科学系，斯坦福 94305

* qingyang.hu@hpstar.ac.cn

地球的一个显著特征就是覆盖着大面积的水，水也是高等生命存在、繁衍与进化不可缺少的成分之一。水深度参与环境的无机物循环，通过化学反应，深刻影响了地球物质多样性和表层-深层循环。在地球深部的高温高压环境下，水与深部矿物发生反应生成化学性质接近于过氧化物的 FeO_2、FeO_2H_x，$(Mg,Fe)O_2H_x$ $(0<x\leqslant 1)$等新型化合物，它们的原子和电子结构与地球内部矿物显著不同，在存在水的前提下，地球内部的氧化还原水平也将呈现出多样性。近年来，我们结合原位 X 射线衍射实验、高压原位拉曼光谱、四电极电导率测量和第一性原理计算研究高温高压下的水参与的化学反应，当压力达到 75 GPa 以上时，氧离子可以穿过 Fe_2O_3 的层状结构从而形成 FeO_2；与此同时，氢粒子可以自由进出 FeO_2 的晶格，从而形成稳定的 FeO_2- FeO_2H 的固熔体，其成分相当于 FeO_2H_x。在地球内部的温度-压力条件下，FeO_2H_x 的晶格可以描述为高自由度的 H 游离于固态 FeO_2 的晶格中，即为一种超离子态。传统观念认为，地球内部随着深度增加，化学环境变得更为还原；我们的工作提出在局部区域内，氧化还原状态受高压下物象的晶体结构控制，FeO_2H_x 等化合物可以与氢气、氢化物等共存。我们的实验结果预测地球内部的氧化还原可能存在高度不均一性。

S32-O-02

西南马里亚纳裂谷的地幔源区特征研究

田丽艳[1,3]*，董彦辉[2]，陈凌轩[1,4]，刘红玲[1,4]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

2 自然资源部海底科学重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266003

4 中国科学院大学，北京 100049

* lytian@idsse.ac.cn

位于马里亚纳俯冲带最南部的西南马里亚纳裂谷，分隔了西马里亚纳海岭和弧前地块。与发育成熟的马里亚纳弧后盆地相比，西南马里亚纳裂谷可能位于构造张裂阶段。本研究首次报道了采自西南马里亚纳裂谷的火山岩样品的研究工作。样品来自 2018 年和 2019 年的探索一号航次，采集方法包括电视抓斗、地质拖网和“深海勇士”深潜取样。所获得的火山岩样品为一套（粗面）玄武岩-（粗面）安山岩组合，属高钾钙碱性-钾玄岩系列，K_2O 含量最高可达 2.8wt%。所有的样品都具有轻稀土富集、重稀土平坦的分布模式，富集流体活动元素（Cs, Rb, Ba, U, Sr 和 Pb），亏损高场强元素 （Nb, Ta, Zr 和 Hf）。具体来说，西南马里亚纳裂谷样品同马里亚纳岛弧样品类似，在 Ba/Yb vs Nb/Yb 图上，都位于马里亚纳弧后盆地玄武岩区域上方，其地幔源区受到了俯冲组分的强烈影响。在具有相同的 Ba/Th 比值时，西南马里亚纳裂谷样品比马里亚纳岛弧样品具有更高的 Th/Nb 比值，表明影响其地幔源区的俯冲组分可能更多来自沉积物熔体，样品 Pb 同位素也清晰地表明其源区受到俯冲沉积物的影响更大。因此，初步研究结果表明，西南马里亚纳裂谷火山岩表现出类似岛弧岩浆的特征，指示了其地幔源区是受到俯冲组分强烈改造的地幔楔，俯冲组分可能是来自俯冲板块深部的沉积物熔体。

S32-O-03

板块驱动的熔融异常：以西南印度洋中脊为例

余星[1,2]*，Dick Henry[3]

1 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

2 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

3 美国伍兹霍尔海洋研究所，伍兹霍尔 02540

* yuxing@sio.org.cn

西南印度洋中脊(SWIR)的洋壳一般很薄，且不连续，在很多区域地幔直接出露在海底，成为大洋核杂岩，可以认为地壳厚度接近于零，而在另一些区域，洋壳较厚，可达 10 km，如第 27 洋脊段的新生火山脊处。厚层的洋壳指示过量的岩浆作用，表明源区存在熔融异常。这种熔融异常的原因可能有多种模式:地幔柱的影响、俯冲沉积物和洋壳、大陆下地壳/岩石圈拆沉等。通过对 SWIR 46-52°E 的系统元素地球化学和同位素分析，认为该洋脊段整体源区亏损，具有较亏损的 Nd 同位素特征。Sr-Nd 同位素反映源区符合 DMM 与 Crozet 热点的混合，但 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 显示 EMII 与 DMM 的混合，存在矛盾，即地球化学证据不足以支持热点-洋脊相互作用的观点。更重要的，SWIR 46-52°E 显示的 V 字形熔融异常带由西指向东，即由西向东传播，这与 Crozet 相对洋脊的位置不符。同时 Crozet 热点距离洋脊 800-900km，中间存在 Del Cano 海隆，都不利于热点物质的远距离传输。西南印度洋中脊 46-52°E 段的熔融异常更可能为板块驱动的微热点模式。这种熔融异常的形成与地幔热点无关，而是受板块构造应力场驱动，由 “肥沃”地幔高程度熔融、熔体在洋脊段内聚焦式喷发形成，如第 27 段。这种微热点比 Wilson 的经典热点小一个数量级，可以在很长时间内保持稳定，也可以不固定，自由迁移，如 46-52°E 段在 11-8Ma 以来向东迁移至 27 段。西南印度洋中脊存在多处类似的微热点成因熔融异常，如 Joseph Mayes 海山、Narrowgate 洋脊段、SWIR 16°E 洋脊段、Atlantis Bank 洋脊段和 SWIR 63.9°E 洋脊段。

S32-O-04

南海残留洋脊扩张后板内火山成因研究

钟源[1]，张国良[1,2,3]*，钟立峰[4]*，陈立辉[5]，王小均[5]

1 中国科学院海洋研究所深海极端环境与生命过程研究中心，青岛 266071

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，青岛 266237

3 中国科学院海洋大科学研究中心，青岛 266071

4 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 511458

5 西北大学大陆动力学国家重点实验室，西安 710069

* zhangguoliang@qdio.ac.cn, zhonglifeng@sml-zhuhai.cn

南海海盆残留洋脊附近存在一系列链状分布的海山（黄岩岛海山链）。前人研究显示由扩张后板内岩浆作用形成的火山主要由强碱性玄武岩构成，同时还包含稀有的碳酸盐化硅酸盐熔体样品。显然，厘清在空间及时间上相互联系的南海板内玄武质岩浆及伴生富 CO_2 岩浆的成因机制有助于进一步理解碳酸盐化地幔的熔融行为。本研究分别选择了黄岩岛海山链上数座不同海山的洋岛玄武岩样品及 IODP 349 航次在残留洋脊附近 U1431 钻孔获得的板内碳酸盐化熔体样品开展了全岩 Mg 同位素（以 $\delta^{26}Mg$ 表示）分析工作，以及全岩主、微量元素地球化学、Sr–Nd–Pb–Hf 同位素等的分析工作。结果显示，海山链的碱性玄武岩及 U1431 的碳酸盐化熔体样品均具有显著变化的 Mg 同位素组成（$\delta^{26}Mg$ 变化范围分别为–0.38‰～–0.23‰及–0.53‰～–0.11），且两组样品均具有低于正常地幔值（–0.25‰）的低 $\delta^{26}Mg$ 端元，暗示它们地幔源区受到了具有极低 $\delta^{26}Mg$ 特征的重循环含碳酸盐沉积物组分的

影响。然而值得注意的是，海山链碱性玄武岩的低 $\delta^{26}Mg$ 端元显示高 SiO_2 特征，且亏损稀土元素，与火成碳酸岩熔体不同。而 U1431 碳酸盐化熔体样品的低 $\delta^{26}Mg$ 端元则显示低 SiO_2、稀土元素高度富集等典型火成碳酸岩特征。结合两组样品之间的年龄差异（海山链碱性玄武岩 7.9～6.7 Ma，U1431 碳酸盐化熔体样品 11.6～8.3 Ma），南海扩张后板内岩浆活动可以通过碳酸盐化组分的两阶段熔融模式来解释。Nd 同位素显示早期的 U1431 碳酸盐化熔体是由具有较低固相线温度的（CO_2 引发）、含大量富 C 沉积物的重循环洋壳（εNd＝4.2）熔融形成，该过程可以高程度地提取源区中的 C 及稀土元素，而晚期的海山链碱性玄武岩的源区组分则以固相线温度较高、亏损 C 和稀土元素的残余洋壳为主（εNd＝8.7）。该模型显示碳酸盐化组分在地幔熔融中可以依次产生碳酸岩熔体及硅酸盐熔体，且两类熔体可以通过不同期次的板内岩浆活动各自独立出现。

S32-O-05

超大陆裂解中的岩浆作用

关慧心[1,2]*，Laurent Geoffroy[3]，徐敏[1,2]*

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

3 UBO, IUEM, CNRS UMR6538, Rue Dumont d'Urville, Plouzané 29280

* huixinguan@scsio.ac.cn, mxu@scsio.ac.cn

在大陆裂解过程中形成的被动大陆边缘有两种类型：一种是由于地幔岩浆大量涌出而形成的火山型被动陆缘（VPM），另一种是没有或仅有少量同张裂期岩浆作用的非火山型被动陆缘（NVPM）。在超大陆裂解前，通常伴随着大火成岩省（LIP）的形成。最近的研究指出，大陆张裂起始于大火成岩省形成之前，认为地幔柱的岩浆流会聚集在预先变薄的大陆岩石圈之下，并触发超大陆的裂解。但是，我们研究发现，大火成岩省形成前发生的大陆拉张与最终导致超大陆裂解的大陆拉张存在不同的内在驱动力，并不属于连续的大陆拉张过程。

我们通过盘古超大陆裂解过程中接连形成的六个大火成岩省（中大西洋大火成岩省，南非卡鲁火成岩省，南大西洋帕拉纳-埃滕德卡大火成岩省，印度德干大火成岩省，北大西洋大火成岩省，东非阿法尔大火成岩省）已发表的地球物理数据重新分析，发现岩浆涌出前形成的大陆裂谷的拉张中轴的方向与大陆裂解后形成的被动陆缘的方向并不平行，甚至可能产生 90 度的夹角。而且，岩浆涌出前发生的大陆早期张裂期与岩浆涌出形成大火成岩省后超大陆裂解的时间在北大西洋地区间隔长达 6 千万年，在非洲东部阿法尔地区长达 9 千万年，这足以使大陆岩石圈重新达到热平衡的状态，也就是说前期拉张与后期拉张属于不同时期的构造作用。

因此，我们得出结论，在超大陆裂解过程中，大火成岩省形成前发生的早期大陆张裂作用，与大火成岩生形成之后岩浆参与导致的最终大陆裂解的张裂作用，在地质构造上来讲是相对独立的。大陆岩石圈下的地幔柱的上涌可能是触发大陆主动裂解的主要原因。大陆裂解的过程中，洋盆会先形成于共轭的火山型被动陆缘之间，之后随着裂解的扩张，向非火山型被动陆缘地区拓展。火山型被动陆缘与非火山型被动陆缘之间通常能观察到大的转换断层作为分界，这些转换断层会对岩浆沿陆缘方向的运移产生阻碍作用

S32-O-06

马里亚纳弧前蛇纹岩泥火山成因研究进展

赵瑞鹏[1,2,3,4]，李洪颜[1,2,3]*，Jeffrey G. Ryan[5]，徐义刚[1,2,3]

1 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640
2 中国科学院深地科学卓越创新中心，广州 510640
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
4 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049
5 美国南佛罗里达大学地球科学学院，坦帕 33620
* hongyanli@gig.ac.cn

俯冲带是地球层圈间物质、能量交换和元素循环的重要场所，俯冲板片释放的流体在这些过程中起着关键的作用，对于俯冲带流体作用的研究，以往大多集中在全球俯冲带广泛分布的弧火山岩，研究发现俯冲板片在弧下深度脱水交代地幔楔促进了弧岩浆的产生并影响其化学组成，但是目前对于俯冲板片在弧前深度的脱水过程知之甚少。最新的一些研究表明，即使在冷俯冲带，俯冲板片在弧前地幔深度就已经大量脱水，释放出了大量流体活动元素。伊豆-小笠原-马里亚纳（IBM）沟-弧-盆体系位于西太平洋，是太平洋板块向西俯冲于菲律宾海板块之下的产物。在 IBM 南部的马里亚纳海沟和马里亚纳岛弧之间的弧前地区分布着大量的蛇纹岩泥火山，它们是弧前地幔楔受俯冲板片流体交代的产物。俯冲板片在弧前深度脱水，流体交代上覆地幔楔橄榄岩，使它们蛇纹岩化，板片流体和蛇纹岩泥一起沿着先存的弧前断裂上升至海底，喷发于海底形成马里亚纳弧前蛇纹岩泥火山，也被称为蛇纹岩海山。马里亚纳弧前蛇纹岩泥火山是全球唯一的浅部俯冲隧道物质（即俯冲板片和弧前地幔楔物质）可以被直接采样的地方，是研究弧前位置俯冲板片流体作用的绝佳对象，这些弧前蛇纹岩对于研究固体地球物质循环和地球生命起源具有着重要的意义。之前的 ODP125 和 195 航次分别对 Conical 和 South Chamorro 蛇纹岩泥火山进行了钻探采样，它们分别对应了 19km 和 18km 的板片俯冲深度和 250-350℃的板块脱水温度。相关研究在蛇纹岩的元素地球化学、同位素地球化学等方面取得了一些成果，对俯冲带弧前深度条件下的元素迁移规律、同位素分馏机制、蛇纹岩化流体来源、蛇纹岩化过程以及浅部俯冲隧道的温度压力等方面进行了制约。最近的国际大洋发现计划（IODP）366 航次对马里亚纳弧前地区的 Yinazao(13km, 80℃)，Fantangisña(14 km, 150℃)和 Asùt Tesoru(18km, 250℃)三个蛇纹岩泥火山进行了钻探采样，它们相比于之前的两个泥火山具有更浅的板片俯冲深度和更低的板块脱水温度。相比于之前两个航次的泥火山，这些蛇纹岩泥火山记录了俯冲板片更早期的脱水作用，是研究弧前地区俯冲板片低温流体作用以及地幔楔橄榄岩蛇纹岩化过程的绝佳样品。该航次的相关研究取得了一些新的认识，对于我们更加深入的理解俯冲带的物质交换和元素循环具有着重要的意义。

S32-O-07

橄榄石地球化学揭示夏威夷和卡洛琳海山链地幔源区具有富集 CO_2 的特征

张国良[1]*，王帅[1,2]，张吉[1,2]，Shichun Huang[3]，战明君[1,2]

1 深海研究中心，中国科学院海洋研究所，青岛 266071
2 中国科学院大学，北京 100049
3 地球科学系，内华达州立大学（拉斯维加斯分校），NV 89154-4010
* zhangguoliang@qdio.ac.cn

板块俯冲携带地表沉积碳酸盐进入深部地幔，导致地球内部可能是个巨大碳储库。来自深部地幔的地幔柱很有可能携带深部俯冲-再循环的 CO_2 向地表迁移。本研究对来自下地幔的夏威夷海山链和卡洛琳海山链碱性火山岩进行了研究。我们发现卡洛琳碱性火山岩含有被碳酸岩熔体广泛交代的地幔橄榄岩捕掳体，这些火山岩在演化过程中主要表现为碳酸岩熔体交代特征的高稀

土元素和亏损高场强元素组成，以及很低的SiO_2含量（~34 wt%），在演化过程中逐渐失去大量稀土元素和高场强元素，SiO_2含量明显逐渐升高，同时演化过程中发生了岩浆脱碳作用。本研究根据高精度橄榄石地球化学推断，地幔源区是碳酸盐化的辉石岩模型；另外，根据原始岩浆高的 CaO 和橄榄石低的 CaO 计算，获得 Ca 在橄榄石中具有异常低的分配系数，这与CO_2降低 Ca 分配系数的结果是一致的，据此计算原始岩浆的CO_2大约为 10-15 wt%。

为了进一步揭示 CO_2 在碱性火山岩成因中的作用，为了揭示CO_2在地幔柱活动中的作用，我们分析了夏威夷三个岛（Kauai、Oahu、Maui）的造盾期拉斑玄武岩和复苏期碱性玄武岩的全岩主微量元素和高精度橄榄石微量元素组成。研究显示，碱性玄武岩相比拉斑玄武岩具有全岩异常低SiO_2、低 Ni 和高 Ca-Mn 特征，其中部分碱性玄武岩体现出高场强元素（Nb-Ta-Zr-Hf-Ti）负异常特征。这些碱性玄武岩和拉斑玄武岩橄榄石的 Ca 和 Mn 组成却非常相似；碱性玄武岩橄榄石 Ni 含量明显低于拉斑玄武岩橄榄石、却高于洋中脊玄武岩的橄榄石。我们计算获得 Ca 和 Mn 在橄榄石/造盾期拉斑玄武岩熔体之间的分配系数符合干的无水体系的实验结果，而 Ca 和 Mn 在橄榄石/碱性玄武岩熔体之间的分配系数明显比干的岩浆体系低，这些结果与高压实验中CO_2影响一致。复苏期碱性玄武岩不仅具有全岩略低于造盾期的 Ni 含量，也具有略低于造盾期的橄榄石 Ni 含量，这与CO_2对 Ni 在橄榄石/硅酸盐熔体分配影响不明显的高温高压实验结论一致。我们认为碱性玄武岩源区是来自辉石岩的碳酸岩熔体交代橄榄岩的结果，其中形成更高比例的 Cpx，而没有更高比例的 Opx；其在CO_2作用下熔融，相对拉斑玄武岩其源区具有更高比例的橄榄石，而且使 Opx 比 Cpx 趋向于更稳定，这就使得碱性玄武岩具有更高的 Ca、Mn 含量，而 Ni 含量相对拉斑玄武岩略低。本研究认为复苏期碱性玄武岩的全岩和橄榄石化学组成符合一个受到碳酸岩熔体交代后橄榄岩地幔熔融结果。

S32-O-08

俯冲改造地幔在软流圈中的分布及其意义

杨阳[1,2,3]*，C. H. Langmuir[4,1]，Y. Cai[5]，P. Michael[6]，S. L. Goldstein[5]，Z. Chen[4]

1 中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640
2 中国科学院深地科学卓越创新中心，广州 510640
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
4 哈佛大学地球与行星科学系，剑桥 MA02138
5 哥伦比亚大学拉蒙特-多尔蒂地球研究所，纽约 NY10964
6 塔尔萨大学，塔尔萨 OK 74104
* yangyang@gig.ac.cn

太平洋板块的持续俯冲源源不断的向弧下地幔中输送水及其他易活动元素，从而显著改造了弧下软流圈地幔的组成，而经典观念中俯冲板片贡献的富水组分对于软流圈地幔的影响范围多局限于俯冲带附近。本研究在超慢速扩张的北冰洋 Gakkel 洋中脊发现了一系列具有明显岛弧特征且富水的洋中脊玄武岩（mid-ocean ridge basalts, MORB），对于经典理论提出了巨大的挑战。因此，本研究对于采自北冰洋 Gakkel 洋脊的576件玄武岩玻璃样品重新进行了高精度的激光微区主微量元素分析，发现了北极地区软流圈中广泛分布了俯冲改造的地幔物质。通过统计全球近六千件 MORB 样品数据发现，俯冲改造地幔组分在大西洋和印度洋 MORB 中也能识别出来，然而在太平洋 MORB 中则极为罕见。因此，本研究提出，软流圈地幔中半球尺度的不均一性反映了俯冲过程对于软流圈地幔组成的影响，近 200Ma 以来持续的太平洋板块俯冲像一个巨型的罩子把太平洋其下软流圈地幔罩住，从而隔绝了俯冲释放流体/熔体对于太平洋

地幔的影响，而在“俯冲罩”之外的印度洋、大西洋、北冰洋地幔则接收了来自俯冲板片的富水组分贡献。定量模拟指示全球软流圈地幔中俯冲板片释放的富水组分贡献约等同于其在全球弧下地幔释放量的 13%。

S32-O-09

东太平洋加拉帕戈斯三联点区域的地壳结构研究

郑婷婷[1,2]*，林间[1,2,3]，Hans Schouten[3]，Deborah K. Smith[4]，Ross Parnell-Turner[5]，Brian E. Tucholke[3]，Emily Klein[6]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

3 Department of Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543

4 National Science Foundation, Arlington, VA

5 Scripps Institution of Oceanography, La Jolla

6 Duke University, Durham, NC

* tzheng@scsio.ac.cn

太平洋加拉帕戈斯三联点区域（Galapagos triple junction）位于太平洋赤道附近（104˚W–96˚W，0˚–4˚N），此处东太平洋隆起洋中脊与加拉帕戈斯洋脊交汇。加拉帕戈斯洋脊自形成以来在热点的驱动力下一直向西传播，是研究板片从岩石圈破裂到扩张中心的形成、热点与洋脊相互作用等前沿国际科学问题的重要场所。2018 年 4 月，美国科考航次在研究区域收集了新的多波束地形、船测重力、船测磁力以及岩石化学样品等数据，本研究将此高精度综合地球物理数据与全球数据进行结合，通过重力反演该区域的地壳结构，同时结合最磁力解释获取的年龄数据综合分析该区域的构造演化及其与热点的作用。研究获得如下主要结果：（1）研究区域内的太平洋洋脊两侧具有系统性的不对称性，主要表现为西侧比东侧具有更深的地形和更负的地幔布格重力异常（RMBA）；（2）在太平洋脊东侧，加拉帕戈斯裂谷北部比南部具有更负的 RMBA，这与南部更靠近加拉帕戈斯热点的情况相符合；（3）加拉帕戈斯洋脊自西向东的地壳厚度逐渐增厚，反映了热点的影响随距离的增加而变小。其中洋脊末端～100 公里范围地壳厚度比周边区域明显减薄～1.5-2 公里，揭示了岩石圈破裂的拉张减薄过程；（4）与之相反，三联点南侧的加拉帕戈斯微板块南边界区域（以~101.6˚W，1.3˚N 为中心）的地壳厚度比周边增厚约 1-2 公里，结合该处的采集到的新鲜玄武岩，可揭示这可能为一个较小尺寸的热点活动现象。本研究可提高对洋脊-热点演化的动力学过程与机制的认识，同时对探索南海洋中脊渐进式扩张演化与海南地幔柱的影响具有启发作用。

S32-O-10

Mo 同位素在洋中脊岩浆过程中行为研究：以东太平洋洋隆 5°N-12°N 玄武岩为例

陈硕[1]*，孙普[1]，牛耀龄[2]，郭鹏远[1]，Tim Elliott[3]，Remco C. Hin[4]

1 中国科学院海洋研究所，青岛 266071

2 Department of Earth Sciences, Durham University, Durham DH1 3LE

3 Bristol Isotope Group, School of Earth Sciences, University of Bristol, Bristol BS8 1RJ

4 Bayerisches Geoinstitut, Universität Bayreuth, Bayreuth 95447

* shuochen@qdio.ac.cn

钼（Mo）及其稳定同位素被广泛用来指示沉积环境的氧化还原条件，在古地理、古海洋演化和古环境的应用研究中取得了很大成功。Mo 同位素在表生过程中的变化使其对研究高温地质过程，如壳幔循环、俯冲过程等很有潜力。然而，Mo 同位素在高温地质过程中的行为还并不清楚，目前仍处于

数据观察与积累阶段。本研究通过系统分析东太平洋洋隆（EPR）5°N-12°N 的新鲜大洋中脊玄武岩（MORB）和海山样品 Mo 元素含量及同位素组成，揭示了 Mo 同位素在部分熔融和结晶分异过程中行为特征和分馏机制，并进一步探讨了地幔 Mo 同位素不均一性及富集 MORB （E-MORB）成因。

EPR 5°N-12°N MORB 和海山样品 Mo 同位素比值变化范围较大，但该变化与 MORB 岩浆起源与演化过程无关。本研究发现 MORB 样品的 Mo 同位素组成与常用的地幔富集指标具有良好的相关性，因此 Mo 同位素的变化可以通过两端元混合模型解释。其中，亏损端元具有低 $\delta^{98/95}$Mo，La/Sm，Nb/La，Nb/Zr 和 Th /Yb，但高 Sm/Nd 和 ^{143}Nd/^{144}Nd，而富集的端元则具有较高的 $\delta^{98/95}$Mo，La/Sm，Nb/La，Nb/Zr 和 Th/Yb，但较低的 Sm/Nd 和 ^{143}Nd/^{144}Nd。E-MORB 更加富集重 Mo 同位素这一特征说明再循环洋壳以及沉积物不是地幔富集成因。利用熔融模型，本研究认为 MORB 富集端元是岩浆成因的，极有可能是由亏损的 MORB 地幔经低程度部分熔融形成的。因此，利用 MORB 的 Mo 同位素特征，本研究证明了由低程度熔体交代的再循环大洋岩石圈对形成 E-MORB 有重要贡献。本研究还强调了 Mo 同位素是研究上地幔过程的有效工具。

S32-O-11

Mo 同位素对西太平洋板块起始俯冲过程的制约

李翔[1,2,3,4]，李洪颜[1,2,3]*

1 中国科学院广州地球化学研究所 同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640

2 中国科学院深地科学卓越创新中心，广州 510640

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

4 中国科学院大学，北京 100049

* hongyanli@gig.ac.cn

目前围绕板块俯冲的起始机制仍然存在很多争论，精细剖析板块起始俯冲阶段的壳幔相互作用对于理解这一过程具有重要的意义。~52 Ma 前，西太平洋板块开始向菲律宾板块下方俯冲，形成了现今的伊豆-小笠原-马里亚纳岛弧，它的弧前地区保留了完整的俯冲起始相关的岩浆记录，从下往上依次出露橄榄岩、辉长岩、弧前玄武岩和玻安岩，其中玻安岩是该岛弧最早的受俯冲交代影响的岩浆岩。国际大洋发现计划 352 航次在小笠原弧前地区进行了系统的钻探取样，根据年代学和地质观察，玻安岩（含演化形成的高镁安山岩）存在两期岩浆活动：早期脊轴低硅玻安岩（LSB）和晚期离轴高硅玻安岩（HSB）。元素及 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素研究揭示 LSB 源区含有角闪岩相变质洋壳熔体贡献，而 HSB 源区则另外叠加了沉积物熔/流体输入。但是目前对于俯冲物质交代地幔的细节仍然很不清楚，如为何 Ba/Nb 显示 LSB 源区至少存在两种板块熔体的交代？沉积物究竟是以熔体还是流体形式补给地幔？这些问题的解决都亟需新的研究手段。

Mo 是一种流体活动元素，以往研究揭示给定岩浆体系中角闪石的分离结晶会引起 Mo 同位素的分馏，相比全岩，Mo 在角闪石中含量更低并且角闪石中的 $\delta^{98/95}$Mo 更低。本研究对玻安岩开展了 Mo 同位素研究，期望通过 Mo 的特殊性质揭示起始俯冲过程中的壳幔相互作用过程。结果显示 LSB 的 Ce/Mo 和 Hf、Zr/Sm 和 Nb/Ti 等具有较好的线性关系，说明 Mo 由俯冲板块向地幔源区的迁移主要是以熔体的形式进行。研究发现低 Ba/Nb LSB 具有高 Ce/Mo，低 $\delta^{98/95}$Mo 的特征；而高 Ba/Nb LSB 具有低 Ce/Mo，高 $\delta^{98/95}$Mo 的特征。这些现象揭示有些角闪岩相俯冲洋壳可能经历了多阶段熔融，早期熔融产生高 Mo 含量、高 $\delta^{98/95}$Mo 的熔体，晚期熔融产生低 Mo 含量、低 $\delta^{98/95}$Mo 的熔体，这些熔体分别交代亏损地幔产生了不同 Ba/Nb 的 LSB。和 LSB 相比，HSB 显示出更低的 Ce/Mo，但是相对较高且均一的 $\delta^{98/95}$Mo，明显高于沉积物，这些特征都反映

了 HSB 的 Mo 主要是来自于沉积物的流体，类似于沉积物在成熟岛弧的脱水，重的 Mo 同位素倾向于富集于流体相，这也暗示在 HSB 形成之后，岛弧逐渐发育成熟。

S32-O-12

地幔温压条件下 phase H 的弹性：寻找下地幔输运水的证据

宋子隽*，吴忠庆，王文忠，郝尚钦

1 中国科学技术大学地球和空间科学学院，合肥 230026

* songzj@mail.ustc.edu.

致密含水镁硅酸盐（DHMSs）被认为是输运水到地球内部的主要载体，phase H 作为地球内部存在最深的致密含水镁硅酸盐，其携带水至下地幔会显著影响地球内部的物理和化学性质以及动力学过程。我们利用基于密度泛函理论的第一性原理计算的方法得到了地幔温度压力条件下 phase H 的热力学和弹性性质。温度对 phase H 的弹性模量和波速的影响随着压力的增加而减小。在 30GPa 条件下，由 300 K 到 2000 K, VP 和 VS 分别减少了 8.5%和 10.0%，然而在 60GPa 时对应的减少分别只有 4.7%和 5.6%.

Phase H 的速度和密度低于下地幔的主要矿物布里奇曼石（bridgmanite）。在冷的俯冲板块，Phase H 在深度约 1600 公里处会分解为布里奇曼石和水(Nishi et al., 2018)，导致横波速度、纵波速度和密度分别增加 2.7%、0.9%和 15%，其分解所带来的高阻抗差可以利用地震学手段观测。在西北太平洋，北太平洋俯冲带区域以及可能存在古俯冲带的美国南部，太平洋中部区域，都在深度约 1600 公里处观测到多个不连续面(e.g., Schumacher and Thomas 2016)。因此，phase H 的分解可以解释这些不连续面。

此外，在下地幔顶部，phase H 的波速各向异性显著高于其他主要矿物。实验将测得的单晶弹性各向异性结果与地幔流动模型结合，得到下地幔主要矿物布里奇曼石在俯冲带区域 920 公里处的 VS 径向各向异性约为 0.8%(Fu et al., 2018)，而区域地震学研究表明，在下地幔顶部 670-1000 公里处，俯冲带区域 VS 径向各向异性平均为 1-2% (e.g., Foley and Long, 2011)，phase H 的存在可以解释一些俯冲带区域的强地震波各向异性。

S32-O-13

中生代东南亚大陆边缘的北向俯冲：南海岩浆岩记录

钟立峰 [1]*，蔡观强 [2]，姚永坚 [2]，万志峰 [3]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519080

2 广州海洋地质调查局，广州 510760

3 中山大学海洋科学学院，珠海 519080

* zhonglifeng@sml-zhuhai.cn

中生代东南亚（包括华南和南海）位于特提斯和太平洋两大构造域过渡地带，但东南亚大陆边缘的地球动力学过程究竟受特提斯俯冲还是受太平洋俯冲的控制仍不清楚。本文中，我们报道了采自南海小珍珠海山的~124 Ma 的埃达克质花岗闪长岩和富 Nb 玄武岩组合。花岗闪长岩具有典型埃达克岩的特征：高 Sr/Y(34.7-37.0) 和 (La/Yb)N(13.8-15.7)比、低 Y(9.67-9.90 ppm) 和 Yb(0.93-9.94 ppm)含量，再结合它们相对低的初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值（0.70541-0.70551）、相对高的 K_2O 含量（3.31-3.38%）和 Th/La 比（0.33-0.40）、负的 εNd(t)值（-3.62 到-3.52）以及不定的锆石 εHf(t)值（-3.8 到+5.2），指示这些岩石形成于俯冲洋壳和沉积物的部分熔融。富 Nb 玄武岩显示出富集高场强元素、正的 εNd(t)值（+2.90 到+2.93）和相对低的初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值（0.70341-0.70343），表明它们源自亏损地幔，但该地幔被俯冲洋壳部分熔融产生的硅酸盐岩浆交代过。

基于我们的数据结果和周缘其它晚中生代弧岩浆岩和埃达克岩成果，我们提出一

个中生代东南亚大陆边缘地球动力学模式：（1）晚侏罗纪（J_3），年轻的因而热的古南海俯冲洋壳在相对浅的深度脱水，引发上覆地幔楔部分熔融，产生了早期的弧岩浆岩；（2）随着俯冲加深，古南海板片部分熔融，形成了早期的埃达克岩和含富 Nb 矿物的交代地幔；（3）早白垩世（K_1），古南海洋中脊俯冲下去，随后俯冲板片撕裂，导致软流圈上涌，上涌带来的热量不仅诱导了断裂板片边缘和交代地幔的部分熔融，形成晚期埃达克岩和富 Nb 玄武岩，另外，也导致了断裂板片内部的第二次脱水，从而引发了上覆地幔楔的第二次部分熔融，产生了晚期弧岩浆岩。

S32-O-14

碳酸盐溶解是实现俯冲带碳循环的重要机制

张运迎[1]*，孙敏[1]，袁超[2]，孙珍[3]

1 香港大学地球科学系，香港 999077

2 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640

3 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301

* zhangyunying66@163.com

碳在俯冲带的收支不仅影响着地幔岩石的物理化学性质（如地幔氧逸度和 C-Mg 同位素组成），还调节着大气的 CO_2 浓度从而影响着地表环境演变。通常来说，大气中的 CO_2 会随着大陆风化作用进入陆壳水体，并最终进入大洋形成沉积碳酸盐或者与大洋玄武岩发生碳酸盐化反应，其中大部分碳酸盐会随着洋壳进入俯冲带。基于部分实验岩石学结果，一些研究者认为当代俯冲区达不到变质脱碳作用所需的 P-T 条件，因此主张大部分碳酸盐进入深部地幔。但这一假定无法解释弧岩浆中的碳来源。那么，俯冲碳酸盐到底能否（若可以，有多少）循环到上覆地幔并通过弧岩浆将 CO_2 释放到大气层，就成为我们认识全球气候变化和评估地表宜居性亟待解决的重要科学问题。

为了解答上述关键问题，我们注意到板片流体作为俯冲区物质迁移的主要介质，其对碳酸盐循环所起的作用尚未得到充足的评估。鉴于此，我们对天山地区同一俯冲背景下、起源于交代地幔楔的安山岩（形成于 426 Ma）和起源于板片熔融的埃达克岩（形成于 422 Ma）进行了 Mo-B 同位素研究，旨在揭示板片流体和残留板片的碳酸盐信号；选取 Mo-B 同位素是因为沉积碳酸盐具有重的 Mo 和 B 同位素组成且 Mo 和 B 均为流体活动元素。研究结果表明作为安山岩源区的地幔楔有沉积碳酸盐的加入，且碳酸盐是以流体溶解形式进入到地幔楔。与之对照，同一俯冲背景下、形成时代略晚于安山岩的埃达克岩并未显示出碳酸盐的 Mo-B 同位素信号，表明在天山俯冲带大部分碳酸盐已通过流体进入到上覆地幔。通过创新性地对比安山岩（源于地幔楔）和埃达克岩（源于板片熔融）之间的化学组成，证实了板片流体有足够潜能将大部分俯冲碳酸盐迁移到上覆地幔，为估算俯冲区碳循环通量提供了重要依据。

S32-O-15

The nature and origin of upper mantle heterogeneity beneath the Mid-Atlantic Ridge 33-35°N: A Sr-Nd-Hf isotopic perspective

Pengyuan Guo[1,2]*, Yaoling Niu[1,2,3,4], Pu Sun[1,2], Junjie Zhang[1,2], Shuo Chen[1,2], Meng Duan[1,2], Hongmei Gong[1,2], Xiaohong Wang[1,2]

1 Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071

2 Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061

3 Department of Earth Sciences, Durham University, Durham DH1 3LE
4 School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083
* guopy@qdio.ac.cn

We present new Sr-Nd-Hf isotopic data on mid-ocean ridge basalts from two ridge segments (OH-1, OH-3) between the Oceanographer and Hayes fracture zones at the Mid-Atlantic Ridge 33-35 ℃N to constrain the nature and origin of upper mantle heterogeneity beneath the Mid-Atlantic Ridge. Together with the major and trace elements data (Niu et al., 2001), the new Sr-Nd-Hf isotopic data illustrate that the mantle sources of these lavas comprise three components, i.e., a depleted mantle with high radiogenic Hf isotopic compositions (ADM), an incompatible elemental enriched component with radiogenic Sr and un-radiogenic Nd-Hf isotopic compositions (E-type I), and an incompatible element depleted component with variably enriched Sr-Nd-Hf isotope compositions (i.e., E-type II).

The ADM and E-type I components may be understood as representing ancient mantle melting residues and metasomatic veins developed at the base of the thickening oceanic lithosphere, respectively. The unique E-type II component is best explained as recent mantle melting residues of a geochemically enriched mantle, probably associated with the Azores mantle plume to the north. Taking together, we interpret the E-MORB dominated OH-1 lavas as resulting from a relatively higher degree melting of a mantle source composed of ADM matrix and E-type I material, whereas the N-MORB dominated OH-3 lavas resulting from lower degree melting of the mantle source primarily comprising ADM and E-type II components.

Such a petrological and geochemical understanding explains the contrast in crustal thickness, ridge morphology and tomography, and mantle Bouguer anomalies between the two ridge segments.

S32-O-16

橄榄石地质温度计揭示西南印度洋龙旂脊段地幔热异常

李洁[1]*，黄小龙[2]，李小虎[1]，初凤友[1]

1 自然资源部第二海洋研究所海底科学实验室，杭州 310012
2 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640
* lijie@sio.org.cn

与快速洋脊相比，虽然超慢速扩张洋脊岩浆总体供应较少，洋壳较薄甚至缺失，但在部分脊段下部存在数量众多的熔融异常区，导致岩浆供应极度不均。然而对于超慢速洋中脊熔融异常区的形成机制目前尚不明确，特别是在西南印度洋龙旂脊段（Indomed-Gallieni 断裂带之间），该脊段具有异常厚的洋壳，最大厚度可达 10 km，远高于西南印度洋洋中脊其他洋脊段洋壳厚度，也高于全球洋中脊系统平均洋壳厚度（~6 km）。目前对于该脊段厚洋壳形成究竟是地幔不均一的结果还是受洋中脊-地幔柱相互作用的影响仍存在较大争议。本次研究通过橄榄石铝温度计（Al-in-olivine thermometry）获得橄榄石最大结晶温度，揭示原始岩浆及洋脊下伏地幔热力学状态。利用橄榄石铝地质温度计可摆脱对熔体成分的依赖，因此被广泛应用于 MORB、LIP 和 OIB 等多种构造背景下岩浆热异常识别的研究工作中。

研究结果表明：西南印度洋龙旂脊段玄武岩中橄榄石的结晶温度在 1197 ±37 ℃至 1393 ±21 ℃之间。在通过 Montel Carlo 模拟进行误差传递并剔除不适用于橄榄石铝温度计的样品后，获得橄榄石最高结晶温度为 1345 ℃，这一温度明显高于正常 MORB 最大结晶温度（1273 ℃, Coogan et al., 2014），

与冰岛橄榄石获得的最大结晶温度接近（1368 ℃, Spice et et al., 2016）。同时，橄榄石中 Ni, Ca 和 Mn 含量及 Fe/Mn 比值等指标与 N-MORB 范围近似，全岩 Zr、Nb 含量及地球化学指标（FC3MS）均表明岩浆主要来源于橄榄岩地幔而不是辉石岩地幔，橄榄石较高的结晶温度也不是由于结晶压力高而造成，因此我们推断在龙旂脊段下部具有热异常，可能和地幔柱的作用有关。

S32-O-17

Boron isotopic investigation of the Catalão II carbonatite complex, Brazil: Insights into the mantle source and hydrothermal alteration

Hao Zhao[1,2,3]*, Sanzhong Li[1,2]*, Antonio Simonetti[3]

1 Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, MOE, College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100

2 Laboratory for Marine Mineral Resources and Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237

3 Department of Civil and Environmental Engineering and Earth Sciences, University of Notre Dame, South Bend, IN 46556

* haozhao1993@foxmail.com, Sanzhong@ouc.edu.cn

Carbonatites are unique igneous rocks derived from metasomatized (incompatible element enriched) regions of Earth's upper mantle (e.g., Bell and Simonetti, 2010). Their low viscosity, elevated Sr and Nd contents render carbonatites as insightful probes into deciphering the chemical nature, temporal evolution, metasomatic history, and carbon cycle of Earth's upper mantle. The Alto Paranaíba Igneous Province (APIP) occurs between the southwestern boundary of the Archaean São Francisco Craton and the northeastern border of the Paleozoic Paraná Basin in central Brazil. APIP-related carbonatite complexes are located along an important NW-trending structural lineament, and were emplaced predominantly into Late-Proterozoic metamorphic rocks (quartzite and micaschists) of the Brasilia mobile belt. Here, this study reports for the first-time boron isotopic compositions, combined with the stable (C, O), and radiogenic (Sr, Nd, Pb) isotope data, and in-situ U-Pb age results to decipher the possible mantle- and crustal-related processes involved in the petrogenetic history of the Catalão II carbonatite complex, one of the many APIP-related alkaline centers.

The apatite analyses from the carbonatite yield a Tera-Wasserburg age of 78.4 ± 6.0 Ma, and a weighted mean $^{206}Pb/^{238}U$ age of 76.7 ± 6.6 Ma, which overlap compared with previously reported U-Pb perovskite ages for phlogopite-picrite (82 ±3 Ma and 83 ±4; Guarino et al., 2013). The carbonatites display preferential enrichment of the LREEs resulting in steep, negatively sloped chondrite-normalized REE patterns, similar to the phlogopite-picrite and typical magmatic carbonatites worldwide. They are characterized by enrichments in Ba and Sr, and depletions of Nb, Ta, Zr, and Hf relative to primitive mantle abundances. The low B abundances (0.16–0.58 ppm) fall within the range for MORBs, but are markedly lower than those for bulk continental crust and carbonate sediments. The $\delta^{13}C_{PDB}$ (−5.2 to −6.7 ‰) and $\delta^{18}O_{SMOW}$ (+8.3 to +10.6 ‰) values reported here plot within the primary igneous carbonatite field, which is indicative of their derivation from mantle sources and not consistent with the involvement of crustal materials. The ^{11}B values of gray calcite in carbonatite range from +4.17 to +5.68 ‰, which agree with the positive signatures obtained for younger

carbonatites worldwide (Hulett et al., 2016). It looks to be pristine or mainly represents the primary carbonate, whereas the red calcite has been produced during hydrothermal alteration since the latter record extremely heavy ^{11}B ratios (+9.70 to +12.84 ‰). The ^{11}B values positively correlate with the $\delta^{18}O_{SMOW}$ values, suggesting that the ^{11}B values of altered rocks are essentially controlled by isotopic equilibrium with hydrothermal fluids. The radiogenic (Sr, Nd, and Pb) isotope investigations of Catalão II carbonatite complex indicate derivation from a heterogeneous upper mantle source involving of EMI and Trindade plume components. Mantle-derived boron of recycled, oceanic crustal origin may be characterized by heavier ^{11}B values compared to that of typical asthenospheric MORB (~ −7.1 ± 0.9‰; Marschall et al., 2017), and OIB mantle (−4.5 to −11.6‰; Walowski et al., 2021). Thus, the positive ^{11}B values for carbonatite may be explained by contributions from the metasomatic lithospheric mantle by the fluids enriched in 11B from a recycled oceanic crust.

S32-O-18

弧岩浆高氧逸度成因：来自全球弧火山岩 Cu/Zr 比值的制约

赵思宇[1,2,3,4]，杨阳[1,3,4]*，赵太平[2,4]，Charles H. Langmuir[5]

1 中国科学院广州地球化学研究所，边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510640

2 中国科学院广州地球化学研究所，矿物学与成矿学重点实验室，广州 510640

3 深地科学卓越创新中心，广州 510640

4 中国科学院大学,地球与行星科学学院，北京 100049

5 哈佛大学，地球与行星科学学院，美国 02138

* yangyang@gig.ac.cn

俯冲带岩浆体系的氧逸度是研究地表浅部与深部物质、能量交换循环的重要参数，对于探索地表大气圈、水圈、生物圈等各圈层的起源与演化也起着重要的示踪作用，在地球的宜居性研究中扮演着重要的角色，一直是地球科学研究的前沿课题。前人研究发现，岛弧岩浆比洋中脊岩浆氧化程度高，但弧岩浆高氧逸度的成因一直存在争议。部分学者认为是由于俯冲大洋板块被海水蚀变而变氧化，俯冲时经历变质作用，产生富含氧化物质（如 S^{6+}、Fe^{3+}等）的流/熔体交代上覆地幔楔，导致地幔楔熔融产生的岩浆氧化程度高；另一部分学者则认为是由于弧岩浆在地壳中经历的岩浆分异过程导致其氧化。对于弧岩浆高氧逸度是“幔源”还是“壳源”成因的，目前还没有统一的认识。

俯冲带体系中，变价元素硫在岩浆中的价态、分配行为以及赋存状态是不断变化的，这一变化过程取决于岩浆的氧化还原状态，因此变价元素硫及亲硫元素 Cu 系统变化可以灵敏示踪岩浆中氧逸度的变化：氧逸度越高，岩浆中 S 的饱和度越高，地幔熔融形成的原始岩浆中 Cu 的含量就越高。前人统计全球岛弧和洋中脊玄武岩中 Cu 的数据发现：MgO>8 wt.%的弧火山岩和洋中脊玄武岩中 Cu 含量相同，因而认为二者地幔源氧逸度相同。然而高 MgO 的弧火山岩样品（MgO>8 wt%）仅占的全球弧火山岩样品的 3%，不能代表全球原始弧岩浆的成分，并且硫化物耗尽后的地幔熔融过程以及硫化物不饱和的分离结晶过程分别会导致弧岩浆中 Cu 的降低和升高，因此难以准确限定原始弧岩浆中 Cu 的含量。本研究采取与 Cu 在硅酸盐矿物中分配系数相近的 Zr 来消除上述影响，采用 Cu/Zr 比值限定了原始弧岩浆和洋中脊岩浆中 Cu 的系统差别，结合弧下地幔楔硫含量高的特征，证明了弧岩浆高氧逸度是“幔源”成因的。

S32-O-19

海洋多道反射地震成像在洋中脊热液系统成像的应用

狄会哲[1,2,3]，张茂传[1,2]，徐敏[1,2]*

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

3 中国科学院大学，北京 100049

* mxu@scsio.ac.cn

海洋多道反射地震数据是研究大洋岩石圈结构、岩浆系统和热液活动等信息的重要手段。通过多道反射地震数据获取高精度的地震偏移成像结果依赖于准确的速度模型。由于缆长、水深、采集方式等的缘故，多道地震拖缆接收到的用于速度建模的壳内折射震相通常仅仅出现在较远的偏移距，同时仅利用走时信息获得的速度模型只含有长波长结构信息，这些限制严重制约了速度模型和地震成像的分辨率。

本文在传统初至波走时层析成像方法的基础上，加入地震波场的向下延拓、全波形反演和逆时偏移成像，建立了一套能显著提高洋中脊上地壳速度结构探测分辨率的地震数据处理、建模与成像流程，并把此流程成功应用到东太平洋海隆 9°16′-9°56′N 脊轴位置上地壳结构和热液系统探测的研究中。此套流程的建立不仅为后续开展东太平洋海隆 8°-10°N 三维上地壳结构与热液通道地震成像奠定了基础，同时为这套流程在其他研究区的应用提供了丰富的经验与借鉴。

S32-O-20

Internal stress in mid-ocean ridge basalts and its implications on remanent magnetization of oceanic crust

Fei Han[1], Huapei Wang[1]*, Junxiang Miao[2], Tao Yang[3], Yiliang Lv[4], Lingxiao Zhao[4], Duowen Zhu[1], Shaochen Hu[1], Jeff Gee[5], Dennis V. Kent[6,7]

1 School of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074

2 School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074

3 School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083

4 Wuhan National High Magnetic Field Center, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074

5 Geosciences Research Division, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California 92093

6 Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, NY 10964

7 Earth & Planetary Sciences, Rutgers University, Piscataway, NJ 08854

* huapei@cug.edu.cn

Mid-ocean ridge basalts (MORB) are thought to be ideal materials to record the strength of the paleomagnetic field (Tauxe et al., 2013). Gee and Kent (1995) studied a recently erupted (zero-age) MORB dredged from the Juan de Fuca Ridge and found that the Mrs/Ms ratio of the chilled margin reached up to 0.68 using an applied field of 1 Tesla, which they interpreted as due to cubic magnetocrystalline anisotropy. However, Fabian (2006) conducted near-saturation hysteresis measurements using 7 Tesla on the same samples and found that the Mrs/Ms ratios were no more than 0.5, which he interpreted as due to stress (200 MPa) dominated anisotropy. Here, we present new results from saturation and low-temperature rock magnetic measurements on the same MORB samples.

We conducted saturation hysteresis measurements using up to 15 Telsa on specimens that are 0.5 cm, 1.5 cm and 6.5 cm from the chilled margin and found that their

Mrs/Ms ratios were 0.28, 0.51 and 0.19, respectively. FORC diagrams show clear single domain behavior with micro-coercivity peaks from ~100 mT to ~15 mT. We also measured hysteresis loops and direct-current demagnetization (DCD) curves at lowered temperatures from 10 K to 300 K. Thermal fluctuation tomography (TFT) modeling indicates that our low-temperature DCD curves follow the predictions from samples dominated by stress anisotropy.

Our results strongly support that internal stress dominates the magnetic anisotropy in these MORB samples, which may greatly increase the recording efficiency of remanent magnetization in the oceanic crust.

S32-O-21

M 值沿 Mohns 洋中脊的变化

张一诺[1,2]*，张帆[1]，张涛[3,4]，周志远[1]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

2 中国科学院大学，北京 100049

3 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

4 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

* 995787645@qq.com

Mohns 洋中脊是位于北冰洋 71°N~74°N 之间的一段超慢速扩张洋中脊（全扩张速率 15~17 mm/yr）。我们分析了 Mohns 洋中脊西部海底地形和地球物理异常，揭示了沿洋中脊岩浆供应量的变化。我们利用多波束测深资料，在沿 Mohns 洋中脊扩张方向的 329 个平行剖面（间距≤2 km）上识别出正断层，并计算板块扩张过程中的岩浆贡献比例 M 值。结果表明，沿洋中脊 M 值变化范围为 0.44-0.70，平均值为 0.59，总体略高于其他超慢速洋中脊；东西两侧 M 值平均值分别为 0.60 和 0.58，可能与洋中脊的非对称扩张有关。Mohns 洋中脊的分段平均剩余地幔布格重力异常（RMBA）从南到北逐渐变大，表明洋壳厚度从南到北逐渐减薄，岩浆供应量逐渐变小。在研究区南部，M 值与 RMBA 呈负相关关系，而北部相关性不明显。M 值与 RMBA 之间的相关性变化可能反映了地幔温度结构与岩浆分布情况。前人研究发现 Mohns 洋脊北部存在明显的海洋核杂岩（OCC）区，而南部没有发现 OCC，推测前文所述现象与洋脊-热点相互作用下的地幔温度变化有关。根据 Mohns 洋中脊构造特征，我们利用先进的 FLAC 方法建立了超慢速扩张的二维地球动力学模型。模拟结果表明，在超慢速扩张背景下，M 值对洋中脊断层发育具有显著的控制作用，Mohns 洋脊正断层发育宽度对应的 M 值在 0.4-0.7 之间，其中 M 值在 0.5-0.6 之间会产生 OCC。热点对 OCC 发育的影响机制正在进一步探索中。该研究结果有望揭示深部地幔对洋脊构造岩浆对地形贡献比例的控制机理。

S32-O-22

原位矿物化学揭示新特提斯洋地幔部分熔融过程与冷却速率

杨凯，戴紧根*，沈洁

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* djgtibet@163.com

蛇绿岩中的橄榄岩能够记录古大洋岩石圈上地幔的部分熔融、熔体萃取以及熔体-岩石相互作用过程的重要信息，并且能够为蛇绿岩的构造背景提供关键性的证据。作为理解新特提斯洋演化及其地幔动力学关键的雅鲁藏布江蛇绿岩（YZO），其起源和演化历史还存在较大的争议。主要包括：（1）YZO 形成于慢速扩张的洋中脊或洋脊转换带；（2）东段和西段的 YZO 起源于洋中脊随后经历了俯冲的改造；（3）中段的 YZO 形

成于单阶段的弧前快速扩张环境；（4）东段的 YZO 形成于两阶段的弧前增生。

本研究对 YZO 地幔橄榄岩进行了详细的原位矿物化学研究。YZO 地幔橄榄岩单斜辉石（Cpx）和斜方辉石（Opx）岩具有低的 Al_2O_3 和 TiO_2 含量，但东段二辉橄榄岩整体上要高于方辉橄榄岩。东段二辉橄榄岩 Cpx 稀土元素（REE）比方辉橄榄岩整体上富集中-重稀土元素（MREE-HREE）而亏损轻稀土元素（LREE），方辉橄榄岩 Cpx 具有明显富集 LREE 和大离子亲石元素（LILEs）的特征；中段和西段二辉橄榄岩及方辉橄榄岩 Cpx 具有相似的富集 LREE 以及 LILEs 的特征。YZO 橄榄岩 Cpx 的 REE 分布范围整体上位于弧前区域而低于典型洋中脊区域，且利用尖晶石 Cr#、Cpx 微量元素以及 REE 部分熔融模拟结果显示：东段二辉橄榄岩经历了 8%-12%的尖晶石相部分熔融，所有的方辉橄榄岩先经历了~5%的石榴石相部分熔融之后又经历了 10%-15%尖晶石相部分熔融，表明方辉橄榄岩经历了多阶段更高程度的部分熔融。这些特征表明 YZO 东段的二辉橄榄岩具有不同的部分熔融过程且其 LREE 和 LILEs 特征表明没有遭受后期熔体-岩石相互作用，而其他地幔橄榄岩经历了富集 LREE 和 LILEs 的熔体的交代作用，结合前人 Sr-Nd 同位素特征表明富集 LREE 和 LILEs 的熔体源于俯冲板片。

三价 REE 比二价 Fe^{2+}、Mg^{2+}扩散速率更慢，因此二辉石 REE 温度计计算得到的温度（TREE）比主量元素 Fe-Mg 温度计的温度（TBKN）更准确。YZO 橄榄岩的 TREE（991℃~1332℃）与 MOR 型和 SSZ 型蛇绿岩中橄榄岩并没有明显的区别，但是利用 TREE 和 TBKN 构建的冷却速率曲线计算得到 YZO 的冷却速率为 0.01~1℃/年，明显高于慢速扩张洋中脊的冷却速率，表明 YZO 并非形成于慢速扩张洋脊环境。YZO 地幔橄榄岩 Cpx 低的 Al_2O_3 和 TiO_2 含量，高程度的部分熔融以及快的冷却速率结合日喀则弧前盆地底部与蛇绿岩呈沉积不整合接触等地质证据，表明 YZO 形成于弧前环境。

S32-O-23

全球热点分布与 LLSVP 空间叠置性再分析

党牛[1,2]，余星[1*]

1 自然资源部海底科学重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

2 成都理工大学，沉积地质研究院，成都 610059

* yuxing@sio.org.cn

地震层析成像结果显示在非洲及太平洋之下的核幔边界处（~2800km）存在两个大型剪切波低速带(LLSVP)，指示温度或成分的异常。若以层析成像 SMEAN 模型为例，以-1%速度异常为边界，两个 LLSVPs 的对应地表面积分别为 5200 万 km^2 和 5500km^2，对应非洲和太平洋之下的 Tuzo 和 Jason 两个低速省。前人通过研究发现，全球热点的分布与 LLSVPs 似乎存在相关性。经过古地理恢复的大火成岩省喷发位置以及现今活动热点位置多位于 LLSVP 边界±10°附近。由于空间相关性，LLSVP 狭窄的边界被解释为地幔柱生成区(plume generation zones ,PGZ)，是地幔柱的深部起源，广泛用于地幔柱与热点的成因解释。不过，将一个 2800km 深度的地球物理异常与地表热点建立联系，存在诸多不确定性。除了少数深源热点能够直接联系 LLSVP 和地表特征外，大部分热点并未显示有从地表到核幔边界的连续层析成像异常，也就是说即使空间上相关，两者也未有直接的地球物理证据显示其关联性。此外，存在深源热点远离 LLSVP 的情况，如冰岛地幔柱。同样存在大量远离两个 LLSVPs 的浅源热点。另外，LLSVP 边界类似突变界面，以±10°(~1000km)来作为缓冲区计算热点与 LLSVP 的空间叠置性本身存在一定问题。因此本文对已报道的全球热点空间位置与 LLSVP 边界重新进行空间分析，缩小了边界缓冲区，同时考虑随机分布状态下热点落入 LLSVP 范围的概率，因为 LLSVP 范围本身已占地球表面积的 1/5。通过空间分析，重新计算热点与 Tuzo/Jason

的空间相关性概率，从而判断两者存在相关性的可信度以及约束条件。初步结果显示，太平洋 Jason 区与太平洋区的热点相关性较差，Tuzo 与非洲区的热点相关性较好。总体上，热点与 LLSVPs 空间关联性的鲁棒性不及预期，可能指示热点的分布与成因并不完全受控于 LLSVPs，需要重新审视更多可能的成因机理。

S32-O-24

近地表复杂性对基于 SS 前驱波的地幔间断面测定影响

王培锋 [1,2,3]，周勇 [1,2]*，陈晓非 [4]，徐敏 [1,2]*

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

3 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049

4 南方科技大学地球与空间科学系，深圳 518055

* zhouyong@scsio.ac.cn, mxu@scsio.ac.cn

地幔转换带作为上下地幔物质与能量交换的区域，其上下界面（地球内部 410 km 和 660 km 深度处的地幔间断面）特征在地球动力学的研究中具有重要意义。通过 SS 及其前驱波（SdS）的走时差和振幅比研究地幔间断面起伏和弹性参数变化等特征，被地震学广泛应用。已有研究结果表明近地表复杂多变结构可能导致 SS 震相复杂甚至无法识别。考虑近地表结构复杂性引起的 SS 波形变化，进而探讨其对地幔间断面参数测定的影响，可为准确获取地幔间断面参数提供帮助。

我们发展了一种快速、准确的 SS 及其前驱波波形正演算法，并定量探讨了近地表复杂结构对 SS 及其前驱波的走时差和振幅比的影响。研究结果发现地壳厚度主要影响 SS-SdS 走时差，而对 SdS/SS 振幅比的影响较小；沉积层的影响较为复杂，沉积层的波速主要影响 SdS/SS 振幅比，但厚度对 SS-SdS 走时差和 SdS/SS 振幅比几乎没有影响。我们同时计算了全球 SS 及其前驱波（SdS）的走时差和振幅比异常的分布，发现大部分区域的近地表复杂性导致的走时差和振幅比影响较小，然而，对于沉积层区域，近地表复杂性引起走时差异常最高可达 8 s，振幅比异常可达 30%。在 SS 前驱波研究中，当反射点位于沉积层区域时，近地表结构的复杂性造成的影响不容忽视。

S32-P-01

全球海洋转换断层形态特征的扩张速率依赖性

罗怡鸣 [1,3]，林间 [1,2]*，张帆 [2]*，Meng Wei[3]

1 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055

2 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

3 美国罗德岛大学海洋学院，纳拉甘西特 02882

* linj@sustech.edu.cn, zhangfan@scsio.ac.cn

本研究定量分析全球转换断层形态的系统性变化，揭示其对扩张率的一阶控制作用：（1）转换断层全年龄位错与分段年龄位错随扩张率的增加而减小。（2）相较于慢速系统，快速系统的转换断层与相邻洋中脊的平均深度都较小，可能与快速系统中较热地幔导致的密度异常以及慢速洋中脊系统的裂谷作用有关。然而，转换断层和相邻洋中脊的平均深度差从快速到慢速系统都相对一致。（3）在洋中脊-转换断层交界处，超慢速和慢速系统中主要是更深的节点盆地，可能反映了岩浆供应量较低，以及由于较冷的转换断层面导致上涌地幔的粘性阻力增强。相比之下，节点高地主要出现在快速、中速及热点影响的系统中，由脊轴火山向洋中脊-转换断层交界处延伸形成。（4）具有较大年龄位错的转换系统相对较宽，反映了转换断层两侧的岩石圈较厚。（5）由于孕震区面积的增大，转换断层地震的最大震级随年龄位错而增加。形态上具有明显异常的转

换断层主要受控于复杂的局部构造和岩浆过程。

S32-P-03S

卡尔斯伯格脊北段的岩浆作用及地幔源区特征

胡航，余星*

1 自然资源部海底科学重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* yuxing@sio.org.cn

洋中脊玄武岩的地球化学组成受多种因素影响：地幔源区组成，熔体-围岩反应，结晶分异，扩张速率等。不同洋脊段的地球化学特征的对比可以反映区域岩浆作用过程、地幔不均一性和构造演化历史等问题。本研究拟对欧文断裂带以南的卡脊北段4个站位的新鲜玄武岩进行全岩主微量元素及同位素特征分析，揭示卡脊北段地幔源区的组成及岩浆作用过程。研究表明，北段地幔源区不同于典型的亏损型地幔端元（DM），而表现出与富集型地幔端员（EMI）的亲缘性。岩浆主要来自于尖晶石二辉橄榄岩地幔的熔融，熔融深度较浅，但熔融程度较高（16%~28%），岩浆经历斜长石及单斜辉石的分离结晶。主微量元素表现出变化较大的K/Ti比值（0.13~0.21）及Th/Nb比值（0.068~0.081），可能表明地幔源区有富集组分的混入。同位素特征表明富集组分可能是冈瓦纳大陆裂解时期拆沉的下陆壳物质或俯冲物质。全岩的低CaO特征表明源区存在较高的辉石含量，可能为富辉橄榄岩或辉石岩源区。

S32-P-04

华夏地块下地壳加厚与减薄：来自道县中生代麻粒岩捕虏体的证据

魏颖[1]*，黄小龙[2]，于洋[2]，王雪[3]，贺鹏丽[2]，马万伟[2]

1 东华理工大学，南昌 330013

2 中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640

3 山东科技大学，青岛 266590

* weiying@ecut.edu.cn

华夏地块中生代经历了从特提斯构造域向太平洋构造域的体制转换，发育强烈的岩浆活动，与下地壳的增生和改造密切相关。麻粒岩捕虏体，作为直接来自于下地壳的岩石样品，是约束下地壳演化历史最有效的媒介之一。前期研究显示，道县分布丰富的麻粒岩捕虏体，以镁铁质为主，记录了幔源岩浆的底侵及其伴随的下地壳增生。

本报告对道县中生代玄武岩中的镁铁质麻粒岩捕虏体开展了岩石学、地球化学、Sr–Nd同位素、锆石年代学及原位Hf–O同位素研究。镁铁质麻粒岩捕虏体主要记录了连续的岩浆活动年龄（226–218 Ma）和变质作用年龄（218–193 Ma）。矿物平衡温压的估算结果显示捕虏体的平衡温度主要集中在850–900 ℃之间，压力为1.2–1.5 GPa，这些捕虏体可能来自下地壳最底部。镁铁质麻粒岩具有低SiO_2高Mg#值（78–82）的特征，稀土配分模式显示LREE从亏损到轻微富集之间变化，且有不同程度的正Eu异常。麻粒岩的Mg#与$\varepsilon_{Nd}(t)$显示较好的相关性，具较高的$^{87}Sr/^{86}Sr_i$（0.704572–0.707134）和变化的$\varepsilon_{Nd}(t)$值（–2.44到+4.62）。上述特征共同揭示了镁铁质麻粒岩捕虏体是早中生代岩浆底侵的产物，经历了斜长石和辉石的堆晶作用，其源区可能包括亏损地幔、富集地幔和先存下地壳的三端元混合。该混合模式进一步受到锆石Hf同位素（$\varepsilon_{Nd}(t)$ = –19.2到+5.9）和O同位素特征的支持（$\delta^{18}O$=5.9–7.6‰）。

本报告中镁铁质麻粒岩形成的温压条件与前人的结果显示较好的一致性，均指示在220–200 Ma道县地区发生了下地壳的增生，导致其厚度达到大约42 km。然而，地球物理的证据表明现今华夏地块平均地壳

厚度为 32 km 左右。捕虏体形成之后，该地区可能再次经历了下地壳的伸展减薄。道县地区中生代下地壳的增厚与减薄推测分别受到该时期古太平洋板块的平板俯冲和板片撕裂–拆沉–后撤一系列过程的影响。

S32-P-05

印度洋三大洋中脊作用域及关键演化事件

余星[1,2]*，韩喜球[1,2,3]，李洪林[1,2]，胡航[1,2]，党牛[1,2,4]，许绪成[1,2]

1 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

2 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

3 上海交通大学海洋学院，上海 200240

4 成都理工大学沉积地质研究院，成都 610059

* yuxing@sio.org.cn

洋中脊是全球洋底的最主要构造单元，其发生、发展与消亡构成了洋底地壳演化即威尔逊旋回的主体。印度洋洋底以 Y 型的三支洋中脊为最显著特征，不同洋脊的扩张在空间上彼此制约，相互影响。了解印度洋的演化需要同时了解三支洋中脊的协同作用，将印度洋视为整体进行研究。洋中脊，即扩张中心，属于线状要素，但随着海底扩张的进行，在四维时空中洋中脊的作用域是一个面，是线状要素在一个时间轴上的积分。利用重磁、地形及区域洋陆转换带等资料，对印度洋的三大洋中脊系统的作用域进行了划分。发现西北印度洋中脊增生的洋壳约占印度洋的 20.2%，西南印度洋脊占 16.5%，而东南印度洋脊贡献的洋壳最多，占 63.3%。研究认为西北印度洋中脊的演化以 62Ma 和 45Ma 为界线分为三个阶段，西南印度洋中脊以 76Ma 和 52Ma 为界线分为三个阶段，而东南印度洋中脊以 84Ma 和 38Ma 为边界分为三个阶段。研究为认识印度洋各洋脊的活动轨迹以及在印度洋演化过程中的角色地位提供了最直观的证据，为认识印度洋洋底的总体构造格局提供了便利。

S32-P-06

西天山早二叠世闪长玢岩的高镁埃达克质特征:来自矿物学的限定

贺鹏丽[1]*，黄小龙[1]，杨帆[1]，王雪[2]

1 中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640

2 山东科技大学，青岛 266590

* penglihe@gig.ac.cn

埃达克岩在研究俯冲碰撞造山和早期大陆地壳产生等方面具有极其重要的地球动力学意义。然而由于全岩地球化学特征是岩石中各矿物成分组合的体现，有时并不能代表岩浆的原始成分，因岩浆不断演化形成丰富多样的岩石类型，从而限制了全岩成分对原始岩浆特征的限定。因此在使用全岩地球化学特征对埃达克岩岩石及构造成因进行约束时可能会得到错误的信息。而矿物可以记录很长时间的岩浆成分信息，是反演岩浆原始成分的可靠手段。本报告对西天山尼勒克早二叠世黑山头闪长玢岩开展了详细的年代学、岩石学和地球化学研究。发现该闪长玢岩全岩显示低 MgO、Ni、Cr，高 Sr、Sr/Y、La/Yb，低 Y、Yb 的埃达克质成分特征，指示加厚下地壳部分熔融成因。单斜辉石和角闪石斑晶也具有高 Sr、Sr/Y、La/Yb，低 Y、Yb 的特征，反映早期岩浆也具有埃达克质特征。然而单斜辉石斑晶的核部具有比边部明显高 $Mg^{\#}$、Cr、Ni，计算的平衡熔体成分符合拆沉下地壳熔融形成的埃达克质熔体特征。斑晶斜长石显示地壳混染引起的从核部到边部逐渐升高的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 和 Sr，以及岩浆补给形成溶蚀环带，均表明岩浆经历过复杂的演化过程，这些过程都在一定程度上对岩浆成分进行了改造，从而影响全岩成分对埃达克岩岩石成因及构造演化的判断。形成于 271 Ma 黑山头闪长玢岩，结合区域上其他埃达克质岩石、碰撞后的 A 型花岗岩、双峰式岩浆活动、大规模中基性火山岩等研究，表明西天山造山带在早二叠世经

历了下地壳拆沉事件，包括加厚下地壳熔融、岩石圈拆沉和软流圈上涌等。

S32-P-07S

马里亚纳俯冲带最南端的构造演化历史研究

张吉[1,4]，张国良[1,2,3]*

1 中国科学院海洋研究所，深海极端环境与生命过程研究中心，青岛 266071
2 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266237
3 中国科学院海洋大科学研究中心，青岛 266071
4 中国科学院大学，北京 100049
* zhangguoliang@qdio.ac.cn

俯冲起始是板块构造学的重要突出问题之一，是现代地球物理和地质学的中心理论。弧前玄武岩和玻安岩被认为是与起始俯冲密切相关的两类岩石，其成因研究是解读起始俯冲过程的突破口。该研究首次对马里亚纳俯冲带最南端的弧前区 M2 海山进行了岩石取样，获得了火山岩（轻微蚀变的弧前玄武岩）和变质岩（发生绿片岩相变质的低硅玻安岩）。低硅玻安岩的采样位置位于靠近海沟的俯冲侵蚀，其 SiO_2（52.11–54.89 wt%）、MgO（6.94–9.73 wt%），含量较低的 TiO_2（0.36–0.54 wt%）。与稀土元素呈 U 型分布的 IBM 玻安岩不同的是，M2 海山的低硅玻安岩表现出极其亏损的特征：高场强元素（Nb、Ta、Zr、Hf 等）亏损，轻稀土元素明显亏损（La_N/Sm_N 为 0.26–0.62）。极高的 εHf（16.64–23.48）和 εNd（9.47–10.58）表明其来源于强烈亏损的地幔源区。Ba/Th、Th/Yb 等元素比值表明，俯冲板块贡献的流体和熔体导致强烈亏损的地幔楔发生了加水熔融作用。M2 的弧前玄武岩的采样位置位于海山顶部，样品轻微蚀变，其 SiO_2（49.48–54.05 wt%）、MgO（3.87–6.28 wt%）含量较低而 TiO_2（0.54–0.62 wt%）含量较高，高场强元素亏损，LREE 明显亏损（La_N/Sm_N 为 0.38–0.57），来源于强烈亏损的地幔源区（εHf 值为 19.58–21.72，εNd 值为 9.66–10.34），其亏损程度与伊豆小笠原马里亚纳弧的弧前玄武岩的地幔源区相似。绿片岩相的玻安岩的全岩 K-Ar 和磷灰石原位 U-Pb 测年获得的变质年龄结果分别为 24.50 ± 0.77 Ma 和 23.9 ± 3.6 Ma，该年龄结果与雅浦岛弧的变质岩同期，指示了卡洛琳洋底高原的俯冲、碰撞所引起的区域变质作用的时间。根据斜长石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年，弧前玄武岩的年龄结果为 18.76 ±0.79 Ma 和 16.89 ±0.70 Ma，M2 的弧前玄武岩产生于早期玻安岩变质之后，属于构造后期的岩浆作用产物。地球化学和年代学的结果表明，马里亚纳俯冲带最南端的构造演化经历了如下阶段：（1）初始俯冲阶段。马里亚纳岛弧俯冲起始阶段产生了亏损的低硅玻安岩；（2）区域变质阶段。南部的卡洛琳洋底高原的俯冲碰撞导致岛弧火山活动产生间断，俯冲起始阶段产生的玻安岩在~24 Ma 发生绿片岩相区域变质作用；（3）俯冲再活化阶段。18.8—16.9 Ma 期间，俯冲作用重新活动，产生较为年轻的弧前玄武岩；同时，俯冲侵蚀作用导致先前变质的玻安岩出露于海沟。

S32-P-08

西藏南部与平俯冲作用有关的地壳增厚事件？来自冈底斯地区晚白垩世辉长闪长岩和流纹岩的证据

李秋环[1,2]，张开均[2]*，严立龙[3,2]，陆鹿[4,2]，惠洁[2]，吉琛[2]

1 中山大学海洋科学学院，广州 510275
2 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049
3 中国地质科学院地质研究所，北京 100037
4 中国矿业大学资源与地球科学学院，徐州 221116
* kaijun@ucas.edu.cn

冈底斯弧于印度-欧亚大陆碰撞之前就已经开始隆升，这是对青藏高原演化的重要认识。但导致这一事件的机制尚不清楚，特别是晚中生代时期冈底斯地区的广泛抬升是如何及何时开始出现？本文以冈底斯地区中西部的一套中-酸性岩浆岩为研究对象，通过对其进行锆石 U-Pb 年代学(LA-ICP-MS)、矿物学、全岩主、微量元素地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素地球化学研究，结果表明，晚白垩世(~87 Ma)折朵田高镁辉长闪长岩的 MgO 含量高达 3.94-5.18 wt.%，$Mg^{\#}$为 50-55，具有富集大离子亲石元素(LILE)和轻稀土元素(LREE)，亏损高场强元素(HFSE)的特征。这些特征，以及变化且低的 $\varepsilon_{Hf}(t)$值(–16.1 至–7.2)和较低的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值(–7.5 至–6.39)可能指示其来源于地幔楔部分熔融，并伴有大量俯冲沉积物或混杂岩成分的加入。晚白垩世(~67 Ma)措勤辉长闪长岩，在单个深成岩体中含有高 Sr/Y 辉长闪长岩和低 Sr/Y 辉长闪长岩，与同一时期的差女流纹岩显示出相似的 Sr-Nd-Hf 同位素和地球化学特征，如较高的 K_2O/Na_2O 比值、富集 LREE 和 LILE、亏损 HFSE，以及较高的($^{87}Sr/^{86}Sr$)i 比值(0.7074–0.7116)和较低的 $\varepsilon_{Nd}(t)$和 $\varepsilon_{Hf}(t)$值(分别为–6.01 至–4.09 和–9 至 0.8)。这些特征表明辉长闪长岩和流纹岩具有一个共同的成因模式，即可能来源于增厚的地壳物质部分熔融，并经历了熔体和地幔之间的相互作用。基于对高 Sr/Y 辉长闪长岩的压力条件估计进一步表明，该岩石岩浆来源于下地壳，压力高达 19 kbar，相应深度约为 66 km。因此，冈底斯地区在晚白垩世时期已明显出现地壳增厚，这可能是由于新特提斯洋板片朝拉萨地块发生低角度俯冲作用引起的安第斯型造山过程导致。

S32-P-09S

北极欧亚海盆的岩石圈有效弹性厚度变化及其地质构造意义

凌子龙[1,2,3]，赵俐红[1,3]*，张涛[2]

1 山东科技大学，青岛 266590

2 国家海洋局海底科学重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛海洋科学与技术国家实验室，青岛 266237

* zhaolih@sina.com

为了了解北极欧亚海盆的岩石圈结构、构造-岩浆过程以及周围地质构造活动对于海盆形成的影响，本文利用扇形小波法获得了欧亚海盆及其邻区高分辨率的有效弹性厚度。在海盆的形成初期（OCT-C20），岩石圈表现为均一的低 Te 值特征。在 C20-0，海盆的 Te 值逐渐变大，并且整体上呈现出由西向东增大的趋势。罗蒙诺索夫海岭和巴伦支-喀拉海大陆架不同的岩石圈流变性可能是导致海盆形成初期不对称的原因。在 C20-C13，格陵兰岛向北运动引起的挤压应力可能导致了海盆西部岩石圈强度的减弱、海盆中部 Te 值的非对称性以及海盆东部周围的挤压特征。西部火山带的低 Te 导致了广泛的火山作用。中部非岩浆增生带的低 Te 值特征可能是由于岩石圈蛇纹岩石含量增大而导致的结果。东部火山带的北侧相较于南侧具有较弱的岩石圈，使得熔融物集中于北侧，导致了它的非对称性特征。

S32-P-10S

地球板块构造与下地幔热-化学结构联系的数值模拟研究

史志东[1,2]*，李杨[1,2]，朱日祥[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

2 中国科学院大学，北京 100049

* zdshi@mail.iggcas.ac.cn

板块构造活动尤其是穿过下地幔的俯冲带是连接岩石圈和深部地幔物质循环的一个非常重要的过程。研究深部地幔大尺度低速体的演化与板块构造之间的联系和影响，是下地幔热化学结构研究中一个非常重

要的问题。关于板块构造活动是否会影响下地幔热-化学结构（本研究中指 LLSVPs）的演化一直存在着非常大的争议(Conrad et al.,2013; Torsvik et al.,2010; Zhong and Rudolph, 2015)。但是目前对下地幔观测和重建的数据还不够精确，因此，利用数值模拟研究这一动力学问题很有必要。

我们使用 STAGYY (Tackley, 2008)进行三维地球动力学数值模拟实验，通过在模型表面加入最大屈服应力来产生自洽的板块构造活动，系统地研究了自洽的板块构造活动与下地幔原始热化学异常体在长时间演化中的联系及相互影响。我们测试了屈服应力、原始物质与地幔物质的密度差、热黏度差、化学成分黏度差、原始物质的初始体积分数、地幔转换带黏性跳跃因子对模型空间的影响。我们得到如下结论：(1)板块构造的模式变化会影响下地幔热化学结构的分布，板块边界的增多会使得下地幔热化学结构变为高阶结构;(2)原始物质与地幔物质的密度差的增大会促使下地幔热化学结构更稳定；(3)热黏度差的增大会使得下地幔热化学结构稳定在低阶结构；(4)原始物质的化学黏度差的增大（>10）会减弱板块构造活动对下地幔热化学结构的影响，使得下地幔热化学结构的位置长期（>2.5 亿年）稳定不变；(5)原始物质的体积的增大会使下地幔热化学结构变得稳定；(6)下地幔黏性跳跃对下地幔热化学结构的影响不大。

S32-P-11S

俯冲板片熔融及地幔楔相互作用：来自索伦-长春缝合带南侧早-中三叠世富铌镁铁质岩石-埃达克岩组合的证据

景妍[1,2]，葛文春[1,2]*，董玉[1,2]，杨浩[1,2]，纪政[1,2]

1 吉林大学地球科学学院，长春 130061

2 吉林大学东北亚矿产资源评价重点实验室，长春 130061

* 2452241501@qq.com

中亚造山带东段具有多洋盆、多俯冲带、多方向增生、多地体拼贴的特点，发育多种不同属性的微陆块和多条蛇绿岩或混杂岩带，显示增生-软碰撞造山的特点。由于缺少大陆深俯冲和高压变质作用等陆-陆碰撞相关的地质记录，古亚洲洋以何种方式，于何时最终碰撞拼合这一关键问题仍缺乏统一的认识。

本文研究区位于华北克拉通北缘增生带，该地区广泛发育呈东-西向展布的石炭纪-中三叠世镁铁质岩浆岩，其成因大多与俯冲板片脱水作用密切相关。然而，与俯冲过程中普遍发生的变质脱水相比，俯冲板片通常难以发生大规模的部分熔融并衍生出含水熔体。洋壳熔融一般局限于板片遭受异常加热的特殊俯冲环境，如年轻的大洋板片俯冲、洋脊俯冲、平板俯冲、板片断离/撕裂、板片回卷等。因此，辽宁法库地区首次发现的一套紧密共生的富铌镁铁质岩石-埃达克岩组合，它们作为板片熔体-地幔楔相互作用的直接产物，不仅可以为俯冲板片熔融提供关键证据，而且对查明古亚洲洋的最终阶段的地球动力学过程提供了可能。

本文对早-中三叠世富铌镁铁质岩石-埃达克岩组合开展了详细的岩石学、全岩主、微量元素和 Sr-Nd 同位素以及锆石 Hf-O 同位素的综合研究。其中，埃达克岩富钠，贫钾，显示与 MORB 类似的亏损的 Sr-Nd-Hf 同位素组成，具有正的 $\varepsilon_{Nd}(t)$和锆石 $\varepsilon_{Hf}(t)$值，其岩浆源于俯冲大洋板片的部分熔融过程。富铌镁铁质岩石显示类似弧岩浆岩的地球化学属性，如富集大离子亲石元素，亏损高场强元素，发育 Nb-Ta-Ti 负异常。不均一的 Sr-Nd-Hf 同位素组成和微量元素地球化学特征表明其地幔源区曾遭受俯冲板片衍生熔体的交代作用。Sr-O 同位素组成进一步揭示俯冲板片熔体及上覆陆源沉积物对地幔源区的贡献。结合前人实验成果和地球化学特征，我们查明板片来源的埃达克质熔体与

地幔谢楔橄榄岩发生相互作用，从而形成富 Nb 的交代相。

结合索伦-长春-延吉缝合带南侧发育的同时期的岩浆岩，变质作用和沉积相，以及古地磁研究进展，我们提出早-中三叠世富铌镁铁质岩石-埃达克岩组合与板片熔体密切相关，而板片熔融所需的异常热的环境与古亚洲洋俯冲末期板片断离引发的软流圈物质上涌相关。

S32-P-12S

拆离断层诱发下洋壳大规模熔体流动：以 Atlantis Bank 大洋核杂岩为例

张维骐[1]*，刘传周[1]，Henry Dick[2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029

2 Department of Geology & Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole Massachusetts 02543

* zwq@mail.iggcas.ac.cn

和快速扩张脊不同，慢速-超慢速扩张脊的大洋下地壳具有差异巨大的结构。然而，慢速-超慢速扩张脊下洋壳结构多样性的成因目前还缺乏很好的限定。本文对位于超慢速扩张的西南印度洋脊东段~57oE 的 Atlantis Bank 大洋核杂岩上钻取的 IODP U1473A 钻孔中的橄榄辉长岩样品进行了系统性的全岩和矿物主微量元素分析。Atlantis Bank 大洋下地壳具有发育广泛且强烈的塑性变形和显著的岩性分层的特征，尤其是塑性变形最为强烈的下洋壳上部呈现出明显的氧化物辉长岩的富集现象。与此类似，IODP U1473A 钻孔上部约 589 米为强变形带，发育广泛的塑性变形，而下部 220 米为弱变形带，仅发育有限且局部的塑性变形。弱变形带中的橄榄辉长岩具有很低的填隙角闪石和钛铁矿含量、很低的粒间熔体比例，并发育典型的辉长结构、晶粥压实结构和熔岩反应结构。岩相学观察和矿物微量元素组成表明弱变形带中的橄榄辉长岩经历了一期由晶粥压实作用驱动的氧化物不饱和熔体渗流改造。强变形带内的橄榄辉长岩发育明显塑性变形结构，具有较高的填隙角闪石和钛铁矿含量和较高的粒间熔体比例。岩相学观察和矿物微量元素结果表明强变形带中的橄榄辉长岩经历了两期熔岩反应过程：早期晶粥压实驱动的氧化物不饱和熔体渗流和晚期塑性变形驱动的富铁钛熔体渗流。

这些结果表明大洋下地壳的塑性变形过程可以诱发显著的晚期富铁钛玄武质熔体的渗流。结合 Atlantis Bank 下洋壳中广泛分布有数百米厚度强变形带的现象，我们提出拆离断层活动可以导致部分熔融下洋壳辉长岩形成大规模的同岩浆剪切带，随后富铁钛熔体便渗入剪切带，并以剪切带为熔体管道向上渗流，最终导致了 Atlantis Bank 下洋壳顶部显著的氧化物辉长岩富集。通过与其它大洋核杂岩的对比，我们认为岩浆供给量的大小可以影响下洋壳部分熔融区域的规模和存留时间，它是控制慢速-超慢速扩张脊下洋壳结构的重要因素。在岩浆供给量较大时，拆离断层活动可以诱发大范围、稳定的部分熔融区域内熔体大规模的渗流；而在岩浆供给较小时，下洋壳缺乏稳定部分熔融区域，拆离断层活动无法明显影响洋中脊的岩浆演化。

S32-P-13

新特提斯软流圈中再循环的古老大洋地幔：来自土耳其 Kop Mountain 蛇绿岩的制约

刘通[1]*，吴福元[1]，刘传周[1]，朱弟成[2]，林音铮[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029

2 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* liutong@mail.iggcas.ac.cn

地球物理学和地球化学研究表明软流圈具有高度不均一性，存在大量再循环的古老大陆、岛弧和大洋岩石圈地幔以及俯冲的洋壳和深海沉积物。这些古老地幔物质的识别和性质的厘定对于理解洋壳的成因和大洋壳-幔关系具有重要的意义，而蛇绿岩中的地幔橄榄岩可以为这一问题提供重要的参考。本文对位于新特提斯构造域西段土耳其境内的 Kop Mountain 蛇绿岩中的地幔橄榄岩进行了系统的岩石学和地球化学研究，尤其是全岩 Re-Os 同位素和矿物 Lu-Hf 同位素。Kop Mountain 地幔橄榄岩的全岩和矿物主微量化学特征与现今大洋深海橄榄岩类似，而区别于弧前和大陆地幔橄榄岩。单斜辉石的微量元素模拟结果显示这些地幔橄榄岩经历了典型的无水熔融过程，不同于 SSZ（Supra-subduction zone）橄榄岩普遍经历的含水熔融。全岩 Re-Os 同位素和矿物（单斜辉石、斜方辉石）Lu-Hf 同位素进一步指示 Kop Mountain 地幔橄榄岩经历古老的（高达 19 亿年）部分熔融和侏罗纪熔体交代作用。这些地球化学特征一致指示 Kop Mountain 地幔橄榄岩代表了新特提斯软流圈中再循环的古老大洋地幔，而并非前人认为的形成于新特提斯洋初始俯冲过程的弧前地幔。结合本研究成果和已发表的新特提斯蛇绿岩的数据，本文系统厘定了新特提斯蛇绿岩中古老地幔的分布和来源。结果显示，新特提斯软流圈中存在大量古老的地幔物质再循环，Re-Os 同位素指示其与现今软流圈具有高度一致的熔融历史。因此，新特提斯软流圈物质可再循环至现今大洋中脊，而其本身也受到更早大洋地幔熔融的影响，即具有历史继承性的特征。软流圈中再循环的古老地幔可以用来解释洋壳中的特殊化学组成的来源，如富 K 玄武岩、E-MORB、岛弧特征玄武岩和玻安岩。因此，仅利用玄武岩的地球化学特征来厘定蛇绿岩的构造环境可能存在一系列的问题。

S32-P-14

西南印度洋 Marion 隆起深部地幔过程：来自超镁铁质碎屑矿物的启示和制约

林音铮[1,2]，刘传周[1,2]*，Henry B.J. Dick[3]，刘通[1]，张振[1,2]，张维骐[1,2]，张振宇[1,2]，韦武[1,2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029

2 中国科学院大学，北京 100049

3 Department of Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543

* chzliu@mail.iggcas.ac.cn

深海橄榄岩作为软流圈部分熔融的直接残留，其成分变化记录了软流圈地幔部分熔融程度和经历的熔体-岩石反应，也可以约束软流圈地幔的不均一性。本文对西南印度洋脊 Marion 隆起上 44°54’E 处出露的钙质胶结的超镁铁质碎屑岩进行了岩相学观察，并对其中的尖晶石及辉石碎屑矿物进行了主微量元素含量分析和统计，认为这些碎屑矿物代表了区域上深海橄榄岩矿物的天然混合，碎屑矿物的成分变化非常大且一些元素覆盖了全球深海橄榄岩的数据范围。尖晶石中出现高 Cr#（0.16-0.60）但没有表现出 Ti（<0.21 wt..%）的富集，说明部分样品具有非常高的软流圈地幔部分熔融程度；辉石 Al_2O_3、Cr_2O_3 含量和 Mg#的变化规律符合软流圈地幔部分熔融产物的特征，单斜辉石的稀土元素根据配分型式不同可以分为四组，其中一组超出全球深海橄榄岩的数据范围，具有超低的重稀土元素含量，说明其经历了在洋中脊无水熔融状态下无法达到的高程度部分熔融过程。

这些结果表明部分样品经历了含水条件下的高程度部分熔融过程。Marion 地区在地形上呈隆起却发育薄洋壳，可能代表软流圈成分的异常点，而其在地理位置上又对应冈瓦纳大陆时期太古宙克拉通和元古宙东非造山带之间的分界，因此推测其软流圈地

幔可能来自莫桑比克洋盆闭合时俯冲作用形成的弧下地幔楔再循环。本项工作也充分说明了通过对钙质胶结的超镁铁质碎屑矿物进行分析和统计快速了解区域上地幔组成和地幔过程的可行性。

S33-O-01

俯冲带大洋软流圈结构与大地震

范建柯 [1]*，赵大鹏 [2]*

1 中国科学院海洋研究所，青岛 266071

2 日本东北大学，仙台 980-8578

* fanjianke@qdio.ac.cn, zhao@tohoku.ac.jp

大地震，尤其是俯冲带大地震（M ≥ 9.0）能够导致巨大的人员伤亡和财产损失。一般认为，板间界面的应力状态控制着俯冲带大地震的发生，然而目前相关的研究基本集中在俯冲板块界面及其附近，俯冲板块下方的大洋软流圈是否能够影响到大地震的发生尚没有相关研究。

我们利用最新的陆地固定台站和被动源海底地震仪记录的天然地震数据对上述已发生 9.0 级以上大地震的俯冲带进行了高分辨率的层析成像反演。结果显示，在这些俯冲带的弧前地区，俯冲板块下方的大洋软流圈均表现出低速异常（板下低速异常）不均一性特征，日本、阿拉斯加和勘察加大地震下方存在板下低速异常空白区，苏门答腊和智利大地震的震中位于低速异常的边缘。虽然目前仍无法准确判断卡斯卡迪亚大地震的震中位置，但在其俯冲带的北部和中部也存在板下低速异常的空白区。另外，将上述6个大地震的同震位移投影到速度异常图上，发现勘察加、苏门答腊和智利大地震几乎 100%的较大的同震位移都位于板下低速异常的空白区上方，而日本、阿拉斯加和卡斯卡迪亚大地震约有 57%、82%和 81%的较大的同震位移位于板下低速异常空白区上方。作为对比，我们对尚未发生过 9.0 级以上大地震的爪哇俯冲带进行了成像研究。结果显示，爪哇俯冲带软流圈没有明显的低速异常聚集以及结构的不均一性。

于是，我们认为，板下低速异常的不均一性可能对俯冲带大地震的发震及破裂有非常大的影响。板下低速异常一般会产生较大的的上浮力，这种上浮力提高了上覆板间界面的地震破裂临界应力值，而在板下低速异常空白区上方的板间界面，其地震破裂的临界应力值要稍小于板下低速异常上方的板间界面，因此，大地震更容易在板下低速异常空白区上方发生。另外，板下低速异常产生的较大上浮力可能导致俯冲板块界面的抬升，从而增强板间正应力，增大的板间正应力无法被地震撕裂，或者板下低速异常可能通过热传导或热侵蚀使得板间界面的流变性由摩擦转变为粘性剪切，这种转变可能是导致板下低速异常上方的板间界面发生慢地震或慢滑移的一个因素，而慢地震区通常会阻碍大地震的破裂传播。

因此，我们提出，虽然流体和板间界面及其附近的结构不均一性可能是俯冲带大地震发生和破裂的主控因素，但是弧前地区的板下低速异常不均一性可能也是影响俯冲带大地震发生和破裂的一个非常重要的因素，弧前地区的板下低速异常可能控制了大地震较大的同震位移范围。因此，有必要对全球俯冲带实施高精度的层析成像研究，详细调查弧前地区俯冲板块下方的软流圈结构，这可能会精确指定未来俯冲带大地震的潜在破裂位置及影响范围。

S33-O-02

西北太平洋俯冲带及其深震活动

陈棋福 [1,2,3]*，王新 [1,2]，姜金钟 [4]，李天觉 [5]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院地球和行星物理重点实验室，北京 100029

2 中国科学院地质与地球物理研究所，漠河地球物理野外科学观测研究站，北京 100029

3 中国科学院大学地球和行星科学学院，北京 100049
4 云南省地震局，昆明 650224
5 新加坡南洋理工大学数理科学学院，新加坡 637371
* chenqf@mail.iggcas.ac.cn

板块俯冲是地球上最宏大、最复杂的地质过程之一，是理解地球内部物质循环和能量交换、大陆岩石圈演化、地震和火山活动及矿产资源分布等的重要环节。俯冲带的研究一直是地球科学领域的前沿、热点和难点。在板块俯冲过程中，俯冲板片将冷的、不同组分的物质（如地表沉积物、玄武质洋壳、水和碳等）带入地幔，与周围地幔相互作用，在二者边界上发生强烈且复杂的热化学交换。俯冲板片的精细探测成像是认识与理解板片几何形态、组分结构、深部水循环、地幔熔融等地球深部动力学过程和深源地震成因机制的关键。近些年来，浅部俯冲板片结构的探测成像已取得了较大进展，但对俯冲板片深部精细形态和结构的探测研究仍较缺乏，难以完整地认识板块俯冲过程。

位于太平洋板块西北俯冲的弧后地区的中国东北是深源地震多发区，是世界仅有的 2 个在大陆内部发生较多震源深度大于 300 km 的深震地区之一，是研究板块深俯冲及深源地震机制的最佳天然实验场。中国东北一带的深源地震活动可以从近 600 km 的深度向上和向东接续至日本海沟附近的浅源地震，十分明显地展现出太平洋板块向欧亚大陆板块底部俯冲插入到中国东北大陆下方约 600 km 深度处至吉林珲春附近。

地震层析成像结果很好地揭示了太平洋板块俯冲并滞留在地幔过渡带的主要特征，但因成像的空间分辨率有限，目前学界对西北太平洋俯冲板片精细形态及是否穿透 660 km 间断面进而深入到下地幔等问题，在认识上存在明显差异。此外，由于相对稀疏地震观测台站导致的深源地震定位精度有限等问题，使得我们难以回答俯冲滞留板片转弯处是否存在深震活动（如 2002 年吉林汪清 7.2 级深震）的疑问，进而影响了对深震成因机制的深入探讨。

地震探测是获知地球内部结构信息的最重要手段之一，本研究聚焦于西北太平洋俯冲带，通过汇集多种地震观测研究结果，清晰地揭示了由日本海沟至中国东北的俯冲板片整体活动图像，即整个西北太平洋俯冲板片的主压应力轴一致地稳定在俯冲方向上，俯冲板片上深浅部的显著地震活动存在密切的关联性；俯冲板片深处的亚稳态橄榄岩楔形区及其周边是深源地震多发区，深源地震可能是由亚稳态橄榄岩楔形区内的相变断层开始破裂的；在 410-660 km 深的地幔过渡带内处观测到的俯冲板片上下界面，揭示了俯冲板片的层状组分结构和板块下侧的高含水量。

S33-O-03

东印尼班达海弧前大型走滑断裂的形成机制与大地震风险

杨晓东 [1,2]*

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301
2 法国巴黎地球物理研究院，法国，巴黎 75005
* xdyang@scsio.ac.cn

斜向俯冲带广泛发育平行于海沟的走滑断裂，比如苏门答腊，加勒比，新西兰等，这种断裂是斜向俯冲沿着海沟的滑动分量产生的。在东印尼班达海地区，澳大利亚板块正在以每年 20 毫米的速度沿着 Seram 海槽向欧亚板块（班达岛弧）俯冲。在俯冲带的弧前形成了世界上极为罕见的大型走滑断裂与海沟斜交现象。该断裂规模较大：总长 400 多公里，最大位移达 80 公里，切穿岛弧、弧前盆地和增生楔。断裂经过了人口密集的 Seram 岛，如果一旦爆发大地震并触发海啸，将会产生灾难性破坏。

我们利用高分辨率的海底地形、地震反射剖面、天然地震和 GPS 形变等数据深入

研究了该断裂的成因机制、变形速率和大地震风险。研究结果显示：(1) 班达海弧前走滑断裂形成于 2 Ma 之前，从北西到南东可分为三段: 拉分盆地（右旋），离散式变形带（左旋） 和线性断层带 (左旋) ； (2) 断层由北西向南东传播，切穿了整个俯冲上盘并且强烈变形海底，但是没有发生明显的地震，这一特征与弧前拉张产生的班达拆离断层（Banda detachment）极为相似； (3) 通过将断裂变形特征与区域构造相结合，我们提出断裂主要是俯冲后撤导致上盘拉张形成的; (4)断裂的平均滑动速率是 40 毫米/年，现今滑动速率是 14 毫米/年。这些结果与断层强烈的海底变形、80 公里位移和断层端部马尾式次级断裂上的 5.2 级地震相结合，说明该断裂目前处于闭锁状态，将来很可能产生大地震。

S33-O-04

双地震带上层地震活动的热-岩石学机制

桂州 [1]*，高翔 [1]，王克林 [2]，何江衡 [2]

1 中国科学院海洋研究所，青岛 266058

2 加拿大地质调查局太平洋地球科学中心，悉尼，加拿大 V8L 4B2

* guizhou@qdio.ac.cn

俯冲带内普遍发育着双地震带，其空间特征表现为中源地震分布在近乎平行的上下两层内，并由地震活动明显较少的区域分隔。全球双地震带高精度的地震定位结果表明上层地震的震级-频率关系（b 值）随着板块年龄变老而增大，并在板块年龄约 100 Ma 时趋于定值，然而，对于造成这种现象的机制尚不清楚。考虑到上层地震与俯冲洋壳内的含水矿物存在密切联系，我们通过构建二维有限元数值热模型计算俯冲带热结构，并结合相关岩石学实验结果，来分析俯冲洋壳内含水矿物的空间分布与脱水作用。计算结果发现年轻洋壳脱水作用主要集中在深度 0-75 km，而上层地震多发生在深度 80-140 km，在此深度范围内，俯冲洋壳矿物含水量已近很低且组成成分相对简单；而年老洋壳的脱水作用主要集中在深度 65-200 km，在该深度范围内，俯冲洋壳矿物含水量较高且组成成分较复杂（异质性较强），上层地震也主要发生在该深度范围内。相较于年轻板块，年老板块在特定的深度范围内矿物含水量更高、矿物组分更为复杂，断层面通常表现为各向不均一性，易于小地震的发生，同时大量含水矿物的脱水可能进一步加剧了小地震的发生频率。因此，年老俯冲板块内上层地震 b 值更大。

S33-O-05

西北太平洋海沟洋侧高热流异常及其对俯冲洋壳内水热循环的指示

宋子龙 [1,2]*，高翔 [1]，Makoto Yamano[3]，王克林 [4]，何江衡 [4]

1 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室，青岛 266071

2 中国科学院大学，北京 100049

3 东京大学地震研究所，东京 113-0032

4 加拿大地质调查局太平洋地球科学中心，不列颠哥伦比亚 V8L 4B2

* songzilong@qdio.ac.cn

俯冲洋壳的热状态控制着俯冲带的热结构，进而影响俯冲带的诸多动力学和岩石学过程。西北太平洋具有 130Ma 以上的古老俯冲洋壳，理论上其热状态相对稳定，对应的海底热流值约为 50m W/m^2。然而，在日本海沟洋侧 150km 范围内发现了广泛分布的高热流异常区，热流值介于 50-110m W/m^2 之间，平均约为 70m W/m^2，在局部区域 2-3km 内，热流值可陡升近 60m W/m^2。类似高热流异常也出现在千岛海沟和南马里亚纳海沟洋侧，不同的是，其均值略低，都约为 65m W m^2。其中，但在南马里亚纳海沟洋侧，发现有 26m W/m^2 的低热流异常及 208 m W/m^2 的极高热流异常。以上热流

异常区的位置与观测的地震波低速异常区分布一致，被认为与俯冲板挠曲破裂引起的水热循环有关，但对于俯冲洋壳内水热循环的范围以及造成不同俯冲带热流异常差异的原因尚不清楚。我们基于洋壳的内部结构，假定其顶层的枕状和席状玄武岩层在挠曲断层周边更易产生易于流体循环的通道，从而确定流体循环的垂向范围。通过构建包含挠曲断层带的俯冲带二维数值热模型，并以断层带高热导率来近似其内的水热效应，我们发现（1）100m 宽的挠曲断层带内的水热循环，即可引起日本海沟外隆区 2-3km 内热流值陡升 50m W/m^2，且可以持续 3Ma 以上；（2）挠曲断层的宽度越大，所到达的深度越深，以及断层带顶部的沉积物越薄，地表热流的异常值越大；（3）造成低热流异常的原因可能是挠曲断层断距大于洋底沉积物的厚度，导致冷的海水沿断层带进入俯冲洋壳内部；（4）俯冲洋壳挠曲断层带的发育程度和空间分布的差异，可能是不同俯冲带洋侧高热流异常差异的原因。

S33-O-07

俯冲断层浅部结构及其对俯冲带大地震潜力的指示

高翔 [1]*，谭惠文 [1,2]，王克林 [3]

1 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室，青岛 266071
2 中国科学院大学，北京 100049
3 加拿大地质调查局太平洋地球科学中心，加拿大，悉尼 V8L 4B2

* xgao@qdio.ac.cn

在控制大地震生成的众多潜在因素中，俯冲断层的结构（粗糙度）最为重要。板块俯冲前的地表形态可以近似表征俯冲断层的结构，并对应着不同的大地震潜力，如光滑的海底俯冲通常对应着大地震发生区域，而粗糙海底（如海山覆盖区）俯冲往往对应着中小地震频发区域。然而，板块俯冲前的地表形态在俯冲后可能受到改造，特别是在增生型板块边界，海底大量的沉积物被刮擦从而堆积在俯冲前缘，粗糙的洋壳基底可能出露。因此，板块俯冲前后的表面形态可能存在较大差异，进而影响对区域大地震潜力的评估。通过收集全球俯冲带的多道地震深度剖面，来刻画俯冲断层浅部（拆离面）形态，借助傅里叶频谱分析方法，定量计算了板块俯冲前海底表面和俯冲后拆离面的粗糙度。发现板块表面在俯冲前后都极为光滑的俯冲区域，往往对应着大地震发生区域，如卡斯凯迪亚俯冲带和智利俯冲带；而板块表面在俯冲前后都极为粗糙的俯冲区域，往往对应着中小地震频发区域，如西库朗伊俯冲带。然而在某些区域，板块俯冲前海底表面和俯冲后拆离面的粗糙度存在较大差异，如马尼拉俯冲带北段，尽管因巨厚的沉积物覆盖，南海板块俯冲前海底表面极为光滑，但因大量沉积物在海沟附近被刮擦致使崎岖的洋壳基底出露，俯冲拆离面变得较为粗糙，这与该区缺少大地震的现象一致。可见，相较于海底俯冲前地表形态，俯冲后的拆离面可更好的表征俯冲断层结构，进而更精确的评估俯冲带大地震潜力。

S33-O-08

从地表震后形变到地球深部岩石物性的量化

邱强 [1,2,3]*

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，广州 510301
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 510301
3 中国-巴基斯坦地球科学研究中心，中国科学院-巴基斯坦高等教育委员会，伊斯兰堡 45320

* qiu.qiang@scsio.ac.cn

地球深部岩石的物理属性控制板块的构造运动，直接影响地震的成因和发生过程。然而，断层处在地表以下几公里至数十公里

的深度，导致目前无法直接观测断层周围岩石的物理属性。随着科技的快速发展与革新，地表形变的观测精度可达毫米级，时间采样可到秒级，给断层活动性研究提供绝佳的机遇。本文将介绍如何利用震后多源地表形变观测（InSAR，GNSS，潮位等）解析壳幔结构与岩石物理属性的新方法。该方法和传统方法相比，其最突出的优势是通过格林函数，将断层蠕滑、壳幔粘弹性变形与地表形变关联起来，从而无需预先估算壳幔粘弹性形变，实现量化蠕滑和粘弹性形变的三维变化规律。该模型降低了估算引入的不确定性，显著提高了震后机理辨析的精确度。采用此方法，我们揭示了苏门答腊俯冲带地幔楔存在瞬时变化的流变学机制；并首次对南美智利俯冲带进行了高时空的三维剖析，证明了该区域壳幔存在“三明治”概念流变模型的结构，同时解析了控制孕震过程的断层面物理属性与地震破裂的关系，为该区域发震机制的认知提供重要科学依据。该方法可为陆域和大洋俯冲带壳幔震后过程研究提供新手段，为全球俯冲带的地震活动性、结构异性与动力学过程研究提供重要基础和新思路。

S33-O-09

加勒比海波多黎各俯冲带海啸风险评估

李奕志 [1]，周志远 [2,3]，林间 [2,3,4]*

1 力学与航空航天工程系，南方科技大学，深圳 518055
2 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室(南海海洋研究所)，南海生态环境工程创新研究所，广州 510301
3 美国伍兹霍尔海洋研究所，马萨诸塞州，伍兹霍尔 02543
4 海洋科学与工程系，南方科技大学，深圳 518055
* jlin@whoi.edu

加勒比海波多黎各俯冲带长约 1200 公里，具备发生超大地震的潜力，从而给波多黎各、维尔京群岛乃至美国和加拿大等北大西洋西岸城市造成海啸灾害。然而，由于历史地质与地球物理数据的缺乏，对该区域的大地震与海啸风险评估仍处于初级阶段。因此，亟需基于现有的高精度数据，进行系统性的海啸风险评估研究。

本文基于最新的地球物理数据，利用先进的海啸模拟平台 COMCOT，模拟加勒比海波多黎各俯冲带发生大地震时海啸的传播过程，对波多黎各俯冲带大地震可能造成的海啸风险进行了系统性的研究。本文重点计算不同震级、长度、宽度、走滑量和走滑角的地震发生后六小时内波多黎各岛至加拿大新斯科细亚半岛之间的海域及海岸线的实时海啸波波高。此外，对应参考地震，在俯冲带东段设立对照模型进行对比。

模型结果表明，若以莫纳海沟为震中发生 8.5 级地震，波多黎各首府圣胡安会在地震发生 20 分钟后遭受海啸袭击，峰值达到 2m；纽约等美国东海岸城市普遍受到大陆架的缓冲作用保护，海啸波在地震发生四小时左右到达海岸线，且峰值很小。个别城市如大西洋城因为海底地形原因可以观测到一定的海啸侵袭，海啸峰值可达 0.8m。若与参考模型相同震级的地震发生在俯冲带东段，则产生的海啸不会对波多黎各岛及美东海岸造成海啸灾害，但小安地列斯群岛则受灾严重。通过控制变量法进行大量模拟，实现震源参数的敏感性分析，结果表明地震断层长度和震级对海啸波浪高起决定性的作用。断层长度增加对海啸波的放大效应仅限于圣胡安等靠近震源地的城市，而震级变化与波多黎各和远海如纽约、大西洋城海啸峰值的抬升都是指数关系的。本文研究结果将为加勒比海波多黎各俯冲带的海啸灾害预警研究提供重要的科学依据。

S33-O-10

马里亚纳海沟挑战者深渊附近机器学习地震定位研究

仲秋 [1]*，Lijun Zhu[2], Zhigang Peng[2], Jian

Lin[3]

1 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

2 Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, U.S.A.

3 Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543, USA

* qiuzhong@scsio.ac.cn

马里亚纳海沟为典型的“洋-洋”型俯冲板块边界，其地震活动频繁，震源深度可达约 600km。精确而完备的地震记录对于海沟附近的地震触发机制，板片俯冲形态，板块俯冲理论等研究至关重要。由于当地地震台站的匮乏，沿马里亚纳海沟的历史地震目录不完备、定位精度低。2016-2017 年布放于挑战者深渊附近的海底地震仪（OBS）台阵弥补了马里亚纳俯冲带南部的近场观测空白，并获得了持续 6 个月的地震观测数据。近年来兴起的机器学习方法在各个领域中表现优异。在地震定位的应用中，机器学习自动波形拾取方法成功获得了几倍于传统地震目录的地震个数。

本研究应用 Yews 机器学习工具箱（Zhu 等, 2019b）和模版匹配方法得到的该区域地震精定位目录（Zhu 等, 2019a），进行地震到时拾取模型训练。并分别应用 Yews 和 Mousavi 等（2020）开发的 EQTransformer 机器学习软件，对 2016 年 12 月至 2017 年 6 月间各个 OBS 台站的连续地震波形进行地震到时拾取。并应用 REAL 和 EQTransformer 软件对各个台站的到时进行分类关联，进而对关联后的地震到时信息进行绝对和相对地震定位。最终定位结果显示，机器学习方法可以得到 1-2 倍于模板匹配方法得到的地震目录个数。尽管地震拾取方法简便快速，其拾取的准确性及其后续的地震到时关联的准确性，仍旧是决定了地震定位精度和目录完备性的亟待解决的关键问题。

S33-O-11

马尼拉俯冲带北部增生楔前缘构造变形对南海减薄陆壳和洋壳俯冲的响应

高金尉[1]*，Nathan Bangs[2]，Jonny Wu[3]，姚永坚[4]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

2 Institute for Geophysics, University of Texas at Austin, Austin TX 78758, USA

3 Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston, Houston TX 77004, USA

4 广州海洋地质调查局，广州 510760

* gaojw@idsse.ac.cn

马尼拉俯冲带是南海的东部边界，记录了南海形成演化的关键信息，同时也是地震和海啸多发区域。本文利用过马尼拉俯冲带北部的八条多道地震反射剖面，刻画了从台湾南部海域到吕宋北部地区海沟充填沉积物、增生楔前缘逆冲断层和滑脱层以及俯冲基底的变化特征，揭示了增生楔前缘构造变形对于南海减薄陆壳和正常洋壳俯冲的响应机制。研究发现：（1）海沟充填沉积发育于上新世，在洋壳俯冲区域呈楔形并沿南海海盆向马尼拉海沟逐渐加厚；（2）正断层密集分布于靠近俯冲带的南海海盆和海沟地层之中，其中的一些正断层向下切穿沉积基底，向上延伸至海沟充填沉积底部甚至延伸至海底；（3）增生楔变形前缘由前缘逆冲断层、盲冲断层和挤压背斜等三种类型的构造标定，由这些构造构成的初始逆冲带在陆壳俯冲区域几乎不发育，而在洋壳俯冲区域却极为发育；（4）增生楔前缘以主要向陆倾斜的叠瓦逆冲断层系统以及由这些断层围限的强烈褶皱的地层为特征，这些叠瓦逆冲断层向下归并到一条滑脱面上，该滑脱面在陆壳俯冲区域在靠近基底或者沿基底向南海海盆方向滑动，而在洋壳俯冲区域则在沉积层内滑动。分析认为，海沟内的正断层在增生楔向海盆推进的过程中，可以通过构造反转形成初始逆冲断层；南海减薄陆壳由于自身具有更大的向上浮力从而导致该地区的

滑脱层在接近基底或者沿基底发育；此外，无论是在陆壳俯冲区域还是在洋壳俯冲区域，埋藏的基底凸起或者海山都强烈地影响着滑脱层的发育和向海扩展。特别地，在发育大型埋藏海山和基底凸起的洋壳俯冲区域，相比于减薄陆壳俯冲区域和平坦的洋壳俯冲区域，其携带俯冲沉积物的规模要远大于后两者。这些结果可为研究马尼拉俯冲带的地震和海啸提供重要的依据。

S33-O-12

马里亚纳俯冲起始条件下的弧后扩张的动力学模拟

程子华[1]*，张帆[1]，林间[3]，丁巍伟[3]

1 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

2 南方科技大学，深圳 518055

3 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* chengzihua@scsio.ac.cn

从俯冲起始到弧后扩张的演化过程及动力学机制是动力学研究的热点，马里亚纳俯冲带是俯冲起始最可能发生的地方，沿着转换断层或薄弱带，较老的大洋岩石圈受重力作用向年轻的大洋岩石圈俯冲形成。其俯冲开始后，先后经历了两期弧后扩张，即帕里西维拉海盆（30~15 Ma）和马里亚纳海槽（7 Ma~至今），因此研究马里亚纳俯冲带弧后扩张机制，既能为俯冲起始机制提供新的认识，也对多期次的弧后扩张机制有指导意义。我们根据马里亚纳俯冲起始地质背景，进行了一系列二维弧后扩张模拟。模拟结果显示主要包括：（1）在模型自发俯冲的条件下，俯冲起始后，软流圈上涌马上产生弧后扩张，俯冲洋壳板块年龄控制弧后盆地的发育，洋壳年龄< 120 Myrs 时，只有发育一个弧后盆地，而洋壳年龄较老时（> 120 Myrs），则发育两个弧后盆地，其中扩张脊随着俯冲板块后撤发生跃迁；（2）当模型受到远场应力作用，如汇聚速率的影响时，俯冲起始后不容易发生软流圈上涌，俯冲洋壳难以发生部分熔融，不发育弧前玄武岩和玻安岩，而弧后扩张发育较晚，发育时间与汇聚速率呈正相关。综上，从动力学模拟的角度，仅受重力诱发的自发俯冲起始，弧后扩张会伴随着俯冲起始马上产生，俯冲洋壳年龄是其主要控制因素，而在汇聚条件下，俯冲起始后不发生软流圈上涌，弧后扩张产生时间较晚，比较符合实际地质情况，但难以产生弧前玄武岩和玻安岩。然而马里亚纳俯冲带既有俯冲起始的软流圈上涌，又有弧前扩张关闭形成稳定俯冲，最后产生弧后扩张。因此，下一步模型考虑在重力诱发俯冲起始后几个Myrs，再加入汇聚速率的影响，在此条件上模拟其动力学过程，提高对马里亚纳俯冲带“俯冲起始-岛弧裂解-弧后扩张”完整的动力学过程的认识。

S33-P-01

苏门答腊俯冲温度场、岩石相变和地震分布

朱伟龄[1,2]*，季颖锋[1]，闫如玉[2]，曾登[1]，解朝娣[2]，瞿睿[1]，吉冈祥一[3]

1 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统科学国家重点实验室，北京 100101

2 云南大学地球科学学院地球物理系，昆明 650091

3 日本神户大学都市安全研究中心，日本神户 6578501

* zhuweiling@itpcas.ac.cn

2004 年苏门答腊-安达曼 Mw9.1 级大地震引发海啸并造成巨大人员伤亡。历史上频发大震的苏门答腊被认为是最危险的板块汇聚带之一，然而，该区域俯冲界面热液分布对侵入板块耦合逆冲断层的具体影响仍待进一步研究解决。

本研究通过三维热模型计算俯冲澳大利亚板块的温度场、岩石相变过程及其含水量分布变化，推测发生在苏门答腊地区岩石变质过渡带内或附近区域各深度的地震受板内热液系统控制。苏门答腊下方俯冲的含水丰富的洋中脊玄武岩(MORB)的榴辉岩化

和超镁铁质岩石的橄榄岩化产生的板块脱水向俯冲界面和上覆板块释放了大量流体，进一步促进了弧岩浆的产生。这些流体沿该板块界面俯冲通道上涌，导致苏门答腊近海区域下方脱水前沿的板块破裂和地震聚集，从而在苏门答腊近海下方形成活跃的流体界面和高地震风险。本研究分析指出，深部的脆性破裂、脱水脆化以及由复杂板块形状引起的俯冲岩石相变物理场差异，影响了苏门答腊俯冲界面快慢地震的区域分布特性。

S33-P-02

南海海盆裂后岩浆底辟作用及其地质意义

高红芳[1,2]*，黄文凯，聂鑫，孙美静，汪俊，杜文波，陈家乐

1 广州海洋地质调查局，广州 510301

2 中国地质大学资源学院，武汉 430074

* promap@163.com

南海海盆岩浆底辟作用发育，尤其在西南次海盆和东部次海盆南部更为活跃。海盆底辟作用以隐刺穿为主，主要分布在中新世层位中，少量分布在上新世-第四纪层位中。其产出产状主要为圆锥状，大部分以串珠状呈近东西向或近南北状分布，链状特征明显，显示出底辟作用受到系统的控岩构造限制。底辟岩体上部围岩呈明显的龟背状上拱，发育发射状断裂，上隆构造发育于上中新统到第四系层位中。根据底辟岩体与围岩的接触关系推断底辟作用主要发生于中中新世到第四纪时期，可分为三期：中中新世早期，晚中新世、上新世到第四纪，说明南海海盆扩张作用停止后岩浆活动依然十分活跃。岩浆底辟作用是由于重力不稳和侧向挤压导致岩浆垂直上升向上顶托侵位、穿刺围岩的构造作用，海盆中沉积物厚度不大，分布较为均匀，重力不稳引起的构造变动一般不太发育，引起底辟的主要原因为侧向挤压应力。而海盆南部底辟作用明显比海盆北部活跃，揭示出南海海盆扩张末期及扩张结束后多个时期，海盆南部经受了大范围的侧向挤压力，这种侧向挤压既是岩浆底辟作用形成的动力，可能也是海盆停止扩张的原因所在。

S33-P-03S

龙门山逆冲推覆带隆升变形影响因素分析—基于物理及离散元模拟

王迎[1,2]*，李江海[1,2]

1 造山带与地壳演化教育部重点实验室，北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

2 北京大学，石油与天然气研究中心，北京 100871

* wy0619@pku.edu.cn

龙门山地处莫霍面陡变带、地形起伏剧烈、构造样式丰富且大震频发。为探明龙门山逆冲推覆带隆升变形的主要控制因素。本文进行了物理模拟对比实验，基于龙门山东西两侧下地壳物质层属性差异巨大的特征，将深度尺度扩大至下地壳，并在实验设计中加入青藏高原隆升高地形重力载荷因素。在物理实验的基础上，运用 PFC2D 应用软件进行离散元数值模拟，记录颗粒运动状态，实现定量化分析。物理模拟对比实验发现在下地壳物质属性无明显差异的条件下，板块碰撞挤压应力对于龙门山垂向高地貌形态的塑造作用微乎其微。离散元数值模拟实验发现高密度重力载荷颗粒的加入，近挤压端变形趋势减弱，隆升变形集中在模型中部。明确了青藏高原隆升高地形重力载荷对于板块边缘作用力在水平方向上远距离传递的促进作用：在下地壳物质层属性存在明显差异的前提下，高密度颗粒的加入，水平变形影响范围由 37.82%增至 69.72%。模型颗粒运动矢量图显示：下地壳物质层属性变化端两侧颗粒运动速率相对值大小相差 20-30 倍，中上地壳物质层颗粒在近下地壳物质属性变化端具有较大的向上速度分量。综合物理模拟及离散元数值模拟结果得出，龙门山东西两侧下地壳物质层异质性是龙门山垂

向上发生隆起变形的先决条件，是最为重要的控制因素。在下地壳物质层属性存在明显差异的前提下，板块碰撞挤压应力和青藏高原隆升高地形重力的联合作用，共同塑造了龙门山逆冲推覆带隆升变形的高地貌形态。

S33-P-04S

板块俯冲起始物理模拟研究进展

童政毅[1,2]，丁巍伟[1,2,3]*，王春阳[2]

1 浙江大学地球科学学院，杭州 310027
2 自然资源部海底科学重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
3 上海交通大学海洋学院，上海 200030
* wwding@sio.org.cn

板块俯冲起始过程对理解板块构造的起源与驱动机制、岩石圈的强度与非均质性至关重要。但是自板块构造理论提出以来，“俯冲带在哪形成？如何形成？”仍存在诸多争议。近三十年来，数值模拟和物理模拟方法逐渐成为研究俯冲起始过程与动力机制的有效手段。相比数值模拟，前人物理模拟成果受到关注较少且缺乏系统总结。整理了前人关于俯冲起始过程的物理模拟成果，根据模型中是否设置挤压力（活塞推挤），将其分为诱发型和自发型两大类。诱发型可分为两个亚类：（1）薄弱带处（转换断层、被动陆缘、大型倾斜断裂）挤压应力集中形成新俯冲带；（2）老俯冲带碰撞消亡后诱发新俯冲带在其附近（碰撞带后缘、岛弧、弧后盆地）形成。自发型可分为三个亚类：（1）大陆岩石圈伸展垮塌，仰冲到大洋岩石圈之上；（2）年老大洋岩石圈负浮力大而重力失稳；（3）地幔物质上涌并加载到大洋岩石圈之上，使之重力失稳。先存薄弱带是诱发型俯冲起始的必要条件，大型倾斜断裂最薄弱最易发生俯冲，岛弧、弧后盆地等岩石圈减薄部位次之，转换断层、洋陆边界等垂直界面最强。讨论对比了诱发型和自发型俯冲起始过程的变形差异，为其野外观测识别提供了指导依据。未来的俯冲起始物理模拟需要更多关注自发俯冲起始、薄弱带的合理假设、三维模拟、定量化观测及力学分析。

S33-P-05S

贝加尔裂谷形成演化的主控因素探讨—基于地球动力学数值模拟

王盟楠*，李江海

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871
* mengnan0225@pku.edu.cn

贝加尔裂谷位于全球最大的大陆板块中心，远离活跃板块边界，却是地球上现今构造活动最为活跃和复杂的地区之一，也是世界上地震活动最强烈的地区。作为可能指示大陆分裂早期阶段的裂谷，对其形成演化的主控因素探讨具有重要意义。从贝加尔裂谷发育几何形态来看，其属于典型的“窄裂谷”类型，具有“窄且深凹陷”的发育特征，且裂谷两侧结构构造具有明显的不对称性。本文通过总结影响大陆裂谷形成演化的多种因素，其中包括：先存断裂、扩张速率、地温梯度、岩石圈厚度、岩石圈热结构、下地壳流变性等，采用地球动力学数值模拟手段，基于质点网格的有限元方法求解热—动力学守恒方程。根据贝加尔裂谷实际地质情况，设置以粘—弹—塑为基础的多因素对照数值模型，还原裂谷区壳幔结构，通过正演裂谷区岩石圈形变过程，探究影响贝加尔裂谷形成演化的主控因素。

数值模拟结果显示，影响贝加尔裂谷形成演化的主要因素有 3 个，分别为：先存断裂、岩石圈流变性质差异、岩石圈厚度，其中岩石圈流变性质差异对裂谷形成演化起主控作用。贝加尔裂谷区主要位于古老的西伯利亚克拉通和年轻的萨彦—贝加尔造山带的结合部位，处于力学和流变学间断的薄弱构造区，又受早元古代西伯利亚板块和外贝加尔板块碰撞以及早白垩世裂谷事件的影响，继承性断裂发育，使得该区易于破裂

形成裂谷。先存断裂主要对裂谷发育起一定的驱动作用；同时，较冷又硬的克拉通一侧下地壳强度较高，与岩石圈地幔机械耦合程度高，而较热又软的造山带一侧下地壳强度较弱，与岩石圈地幔易发生脱耦，这使得应力在克拉通一侧发生集中，从而在靠近克拉通边缘一侧形成高角度深大断裂，此后应力向较弱的造山带一侧发生迁移，形成一系列雁列式裂谷盆地，造成了裂谷“窄且深凹陷”特征及结构构造的不对称性；此外，据重力和地震观测，贝加尔裂谷区岩石圈厚度约为50km，造山带一侧岩石圈厚度约为160km，克拉通一侧岩石圈厚度达到200km。裂谷区较大的岩石圈厚度抑制了地幔热物质上涌，使得热对流作用发生于地幔深部，其产生的张力难以作用于岩石圈促使其发生伸展减薄。因此，本文倾向于认为贝加尔裂谷为“被动成因模式”。

S33-P-06S

Petrogenesis and tectonic evolution of the Granitic plutons of the Peshawar Plain Alkaline Igneous Province, North-West Pakistan: Implications from Petrography and Geochemistry

Muhammad Sarim*, Xu Jian

1 Department of Geology, Northwest University, Xi’an, 710069

* msarim92@yahoo.com

The Warsak, Malakand, and Shewa Shahbazgari plutons forming the certain portions of the Peshawar Plain Alkaline Igneous Province (PPAIP) are investigated to interpret their petrogenesis, tectonic setting and model of emplacement. The presence of high amount of feldspar, aegirine and riebeckite confirms the alkaline nature of these plutons. All the three alkaline plutons show a pronounced porphyritic texture with the phenocrysts of feldspar and quartz. The phenocrysts contain abundant inclusions of accessory minerals including apatite, zircon, epidote and sphene. Possible, post emplacement deformational episode in these plutonic bodies is recorded by the parallel alignment of minerals and development of fluxion texture.

Geochemical signatures reveal metaluminous to peraluminous magmatic association for the Warsak and Shewa Shahbazgari porphyritic plutons (A/CNKN 0.9-1.1) relative to the peraluminous characteristics of the Malakand plutonic body (A/CNKN >1.1). The major and trace element data (FeO/MgO-SiO_2, Nb-Y, Nb-SiO_2 and Rb-Ba-Sr) from Warsak and Shewa Shahbazgari plutonic bodies show close association to the extensional environment on the tectonic discrimination diagrams while the Malakand body portray the post-collisional setting. In addition, trace element data from the Warsak and Shewa Shahbazgari plutons also suggest that these bodies have been evolved from the partial melting of the lower continental crust (enrichment of some incompatible trace elements i.e. Zr, Nb and Ce and depletion of Sr and CaO), which are probably contaminated by influx from mantle source in the later stage (positive Nb anomaly). In contrast, the Malakand body has likely formed by incipient crustal anatexis of pelite caused by magma ascent (High A/CNKN values, positive Sr and Ti anomalies and enrichment in LILE compared to the HFSE). Detailed petrologic and geochemical characteristics of the Warsak and Shewa Shahbazgari plutons suggest a similar protolith (I-type).

S33-P-07

断层伸展宽度定量分析及在脆性地壳伸展因子计算中的应用

贺超[1]，赵中贤[2]*

1 海南省海洋地质资源与环境重点实验室，海南省海洋地质调查研究院，海口 570206

2 边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，广州 510301

* zxzhao@scsio.ac.cn

采用拟合函数、统计地震剖面上断层水平伸展量计算伸展因子，是认识脆性上地壳伸展减薄强度的有效方法。实际操作中，断层伸展宽度需估算，通常是整条断层的伸展宽度假定为介于 75-150 km 的一个常量。这会导致不同脆性层位置（脆性层厚度）、产状各异的断层只要伸展量一致，伸展因子的计算结果就一样，如相同伸展量、分别发育在陆架浅水区的高角度断层和深水区的低角度正断层，从而对上地壳伸展因子计算带来误差，进而影响到岩石圈伸展机制研究。针对这一问题，本文采用控制变量法，通过改变脆性层厚度、断层倾角和断层水平伸展量的数值，定量分析脆性层变形宽度随之变化的规律。结果表明，断层的伸展宽度普遍小于 80 km，且多分布于 10-60 km 之间；若断层伸展宽度假定的数值偏小，那么相应计算出的伸展因子就会高估。尤其是在薄地壳的深水区，对于低角度断层如倾角为 15° 的断层，其伸展宽度大概率小于 60 km。

S33-P-08S

北印度洋莫克兰俯冲带地震和海啸特性研究

陈占营[1,2,3]，林间[1,4,5]*，邱强[1,2,5]，周志远[1,2,5]，张帆[1,2,5]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室(南海海洋研究所)，南海生态环境工程创新研究所，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)，广州 511458

3 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049

4 海洋科学与工程系，南方科技大学，深圳 518055

5 中国-巴基斯坦地球科学研究中心，中国科学院-巴基斯坦高等教育委员会，伊斯兰堡 45320

* jlin@whoi.edu

北印度洋莫克兰俯冲带是阿拉伯板块向欧亚板块俯冲所形成。该区域发育有全球超低角度的俯冲（接近水平）、沉积最厚（5-7 千米）和增生楔最宽（超过 400 千米）的独特地质构造环境。全球俯冲带大地震研究表明，莫克兰俯冲带的独特构造环境是孕育大地震（Mw>8）和超大地震（Mw>9）可能性。历史上该区域曾发生多起大地震和海啸事件，其中 1945 年 Mw8.2 地震引发的海啸造成了超过 4000 多人员的伤亡。目前已有的高精度地表形变数据表明，该俯冲带从变形前缘往陆地 200 多千米范围内，断层很大程度是处于高度耦合状态，正在累积能量。然而，自 1851、1765 和 1945 大地震分别爆发之后，近 70 多年来没有大地震（Mw>7）发生以释放累积的能量。因此，未来发生大地震和海啸的风险高。

本文融合 InSAR 地表形变观测数据和 Slab2.0 俯冲板片几何模型，并考虑地震破裂速度对海啸的影响，构建了更接近真实的静态和动态地震滑移模型。同时采用实测高精度多波束海底地形对海啸从产生、传播到陆侵的水动力过程进行了详细模拟。通过对比分析不同滑移模型的海啸特征，对莫克兰沿海岸地区开展了系统性海啸灾害评估。研究表明地震源区的高精度地形将对远场的海啸波造成 50-100%的差异。动态滑移模型沿破裂方向，海啸波在近场和远场被放大 50%以上。在瓜达尔港口，最大海啸波可达 3 米。因此可能对地势低洼的瓜达尔港口，带来不同程度的破坏。本文的研究结果对将来该区

域精细化综合性海啸评估提供重要科学基础，并为瓜达尔港与北印度洋减灾防灾提供科学依据。

S33-P-09S

新几内亚-所罗门弧俯冲体系的流体分布结构特征研究

王文义[1]，李德勇[1,2]*，彭树聪[1]，徐学远[1]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，海底科学与探测技术教育部重点实验室，青岛 266100
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266237
* wangwenyi@stu.ouc.edu.cn

板块起始俯冲动力机制是经典板块构造的核心科学问题，理解地球深部流体活动是揭示俯冲动力机制的的关键切入点。研究表明，伴随着大洋俯冲片向地球深部运移的流体是驱动板块俯冲起始、诱发岛弧岩浆作用和地震分布、影响俯冲体系各圈层物质能量交换的关键因素之一。

新几内亚-所罗门弧俯冲体系位于印度-澳大利亚板块与太平洋板块汇聚边界，区域内板块俯冲、弧前弧后扩张、火山喷发、破坏性地震等地球内部动力导致了不同年代类型丰富的俯冲带。新几内亚-所罗门弧俯冲体系成为板块俯冲机制研究的最佳试验区，通过对研究区的反射地震数据体进行波阻抗反演，结合岩石物理模型，建立地震属性与岩石物性参数的关系，并应用于反演得到的波阻抗数据体，即可得到物性剖面。

本研究利用 Jason 反演软件对所罗门海盆内的一条二维反射地震测线进行稀疏脉冲约束反演，得到纵波阻抗剖面。同时，依据大洋钻井钻孔资料，分析区域内沉积岩与玄武岩的孔隙度与波阻抗的响应关系，建立了孔隙度渗透率的统一孔渗方程。依据得到的波阻抗数据体，结合建立的模型和方程，计算出剖面的孔隙度数据与渗透率数据，建立孔渗剖面。基于得到的物性结构剖面，结合所罗门板块的俯冲速率，计算本区域岩层的孔隙水含量及进入俯冲体系的流体通量，为 4.55*1010 吨/百万年/千米，随着所罗门海板块向新不列颠海沟的俯冲，沉积岩及浅层玄武岩孔隙中存在的大量海水随俯冲板片进入地幔，这些流体对岩浆作用、地震分布、俯冲动力机制具有重要影响。

S33-P-10S

南极特拉裂谷北部沉积构造解释

岳梅[1,2,3]*，高金耀[2,3]

1 浙江大学海洋学院，舟山 316000
2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
3 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012
* 603592436@qq.com

特拉裂谷是沿西南极裂谷系统西缘与横贯南极山脉相邻的新近纪裂谷带和火山活动带。最新一幕的裂谷作用形成了维多利亚陆盆地的特拉裂谷，该裂谷近南北走向，位于墨尔本火山区和罗斯岛火山区之间，由东部 Lee 穹窿和西部 Discovery 地堑构成。关于裂谷北部的断层运动和几何学以及火山作用少有研究，其新近纪的伸展变形过程仍不清楚。本研究利用中国第 31-33 南极科考航次获得的多道地震剖面，对特拉裂谷特别是北段新近纪变形的断层几何学和运动学进行分析，结合重磁异常特征探讨北部火山分布范围及其成因。通过多道地震剖面的断层剖面重建解释其大型铲状控制断层特征，结合平衡恢复技术计算剖面拉伸量，研究发现：1）在特拉裂谷北部多见西倾高角度正断层，无花状构造，证明裂谷没有受到走滑断层的影响；2）在特拉裂谷北部，穿过海底的断层偏移距逐渐随深度逐渐变小，表明该地区最年轻的断层是由于断层重活动导致的；3）联合重磁异常特征和二维多道地震剖面解释，认为裂谷北端及东北部前缘存在

一个近平行于克拉里浅滩的岩浆侵入体。该岩浆侵入体推测是与 Polar3 高磁异常体相关的又一期岩浆活动，可能是特拉裂谷形成 Lee 穹窿这一构造特征的主要原因。

S33-P-11

针对火山管道中双向流动的数值研究

秦智鹏*

1 广西大学机械工程学院，南宁 540003

* zhipengq@gxu.edu.cn

许多火山喷出的岩浆比释放出的气体少得多，这意味着大量的岩浆在脱气后必须下降回到管道系统中。富含挥发物的浮力岩浆的上升以及致密，脱气的岩浆的同时下降在管道中产生了双向流场。前人通过模型实验已经绘制出了窄管中双向流动的不同状态。在这项研究中，本团队使用数值模型将实验室中观察到的双向流动行为与火山系统中岩浆的动力学特性有机地结合起来。

实验室实验和理论分析表明，双向导管流动中的流体沿其界面发展存在不稳定性不稳定性。而相对应的流量波动和流态转换可能是导致持续活跃的火山爆发活动的周期性变化的一个因素。但是，将在实验中观察到的行为拓展到火山管道并不容易。局限性包括难以在实验环境中达到稳态，不存在热效应以及可能与岩浆分离并改变火山管道中流动动力学的固态晶体和气塞气泡的存在。

为了补充现有的实验室研究，本团队将计算流体力学技术引入地球物理的研究领域，针对火山管道中的岩浆流动建立数值模型。与实际实验非常相似，数值模型可以准确地捕获晶体、气体和流体的耦合运动，而无需简化关于各相态间相互作用力或沉降速度的假设。针对固流耦合运动，此模型结合了分布式拓扑拉格朗日乘子方法和沉浸边界方法来表示固体颗粒，该拓扑保留对流方案用于跟踪上升和下沉流体之间的界面。另一方面，此模型使用高阶水平集法精准捕捉气-液两相界面及双向流体界面的运动与变形。此外，火山管道中热对流在改变岩浆的粘度和密度中的作用也已被充分考虑。目前，此模型的适用性已经通过复制现有的实验室实验被充分验证。

在将此模型应用到火山系统中后，本团队发现岩浆熔体中晶体的存在改变了两种纯流体所观察到的不稳定性。模拟结果表明，晶体和热效应趋向于抑制岩浆上升和下降之间的界面不稳定性。然而，由于晶体速度取决于晶体的局部体积分数，晶体的存在有可能会往系统中引入新的不稳定性因素。我们还发现，晶体可以增强沿界面的混合，特别是在低粘度对比下。同时，本团队发现气塞的上升运动可以与岩浆的双向流动同时存在，且气塞的存在将改变双向流体的质量平衡，有可能导致流态的不稳定甚至崩溃。

S33-P-12

塔里木过渡型大火成岩省的成因与碳循环

张招崇[1]*，程志国[1]，孔维亮[1]，刘秉翔[1]，魏博雯[1]，王振朝[1,2]，张东阳[1,3]

1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室，北京 100083

2 香港大学地球科学系，香港 999077

3 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室，武汉 430074

* zczhang@cugb.edu.cn

越来越多的证据表明，以短时间巨量喷发为特征的大火成岩省，特别是产在大陆环境中的大火成岩省，在喷发过程中会释放出巨量的 CO_2，并由此导致全球气候变暖和生物灭绝。然而，岩浆中的碳的来源尚有不同的认识：1）再循环的沉积碳酸盐；2）深部软流圈地幔；3）岩浆侵位到富碳地层（如灰岩等碳酸盐岩以及含碳有机物地层）导致地层中碳的释放。由于大火成岩省中的主要岩石为拉斑玄武岩，碱性玄武岩非常的稀少，

加之缺乏岩浆成因的碳酸盐矿物，所以其源区是否存在碳酸盐还存在很大的争议。

塔里木大火成岩省是继峨眉山大火成岩省之后我国又一个被国际承认的大火成岩省。与全球其他大火成岩省相比，塔里木大火成岩省具有如下的特点：1) 岩石组合十分复杂，几乎包含了全球大火成岩省中所有的岩石类型，是迄今为止岩石组合最为复杂的大火成岩省。除了常见的溢流玄武岩、镁铁-超镁铁质侵入岩外，还存在非常罕见的岩石类型，如碳酸岩（包括钙质、钙镁质和镁质碳酸岩）、霞石岩、煌斑岩(包括超镁铁质煌斑岩、碱性煌斑岩和钙碱性煌斑岩)、碱性-过碱性侵入岩、响岩以及各类中酸性岩体和钠质碱性中-基性岩墙；2) 岩浆作用持续较长(283-272Ma)，表现出多期次的特征；3) 大多数岩石表现出富碱、富铁；4) 长英质岩石面积较大，达 4.8 万 km^2，约占总面积的 18%，是属于介于镁铁质大火成岩省和硅质大火成岩省之间的过渡型大火成岩省。

为了解释塔里木大火成岩省这4个特点，分别对镁铁质端元和长英质端元进行了岩石学和地球化学研究。长英质岩石分为两种类型：低 Nb-Ta 和 Nb-Ta，前者为主体，具有明显的壳源特征，后者与玄武岩的地球化学性质相似，可能是玄武质岩浆发生 AFC 作用的结果。对低 Nb-Ta 的长英质岩石的含水性研究表明，其水的含量介于全球典型的硅质大火成岩省和镁铁质大火成岩省的长英质岩石之间，说明塔里木大火成岩省长英质岩石占比高的原因可能与地壳富水有关。镁铁质-超镁铁质岩石端元也大致可以分为两组：一组以过碱性为特点，即方解霞黄煌岩-碳酸岩-霞石岩，并均存在岩浆成因的碳酸盐矿物；另一组是碱性程度较低，即玄武岩-煌斑岩-镁铁-超镁铁质侵入岩。当然还有一些岩石的碱性程度介于这 2 组之间。其中过碱性岩石组合表现为低的 Sr 同位素比值和正的 ε_{Nd} 值，指示了亏损地幔低程度部分熔融的产物。然而，其 Mg 同位素具有非常轻的特点，特别是碳酸岩，其 $\delta^{26}Mg$ 可低至-1.1。另外，其 $\delta^{13}C_{V\text{-}PDB}$（-4.1‰～-5.9‰）略高于地幔值，而 $\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}$ 值（5.9‰～8.0‰）则位于正常的地幔值范围。结合高温高压实验结果，其 Mg-C 同位素和 Sr-Nd-O 同位素的解耦可以用再循环的碳酸盐在下地幔温度压力条件（30-80Gpa, 2700K）下的相变来解释： $MgCO_3 + SiO_2$ (斯石英) = $MgSiO_3$ (Mg-perovskite) +CO_2; CO_2=C (diamond) + O_2。由此表明，再循环的沉积碳酸盐可能已经到下地幔。至于岩浆富铁的特征则指示了源区存在俯冲成因的榴辉岩。

为了进一步验证源区是否存在早期俯冲的物质，1）对方解霞黄煌岩的超镁铁质包体进行了研究，发现其岩石组合和主要矿物特征与阿拉斯加型岩体非常相似，暗示这些被捕获的超镁铁质岩石包体可能是在早期俯冲阶段形成的；2）利用随机森林和深度神经网络等机器学习方法，对塔里木大火成岩省玄武岩的属性进行了预测，发现玄武岩的岛弧属性从东北向西南依次递减，这与南天山洋的俯冲方向一致。

综上所述，塔里木大火成岩省的成因归纳如下：古生代时南天山洋板片向西南方向俯冲，在浅部交代岩石圈地幔形成富钠的富集地幔，伴随着深部俯冲，板片发生断离，其中的碳酸盐矿物发生相变：方解石/白云石→菱镁矿/方镁石，断离的俯冲板片被上升的地幔柱捕获，这种含有碳酸盐的地幔柱在上升到岩石圈底部时与岩石圈地幔发生不同程度的相互作用，形成了塔里木大火成岩省复杂岩石组合。其中过碱性岩石组合主要是含有再循环碳酸盐的地幔柱低程度部分熔融的结果，而溢流玄武岩则主要是交代富集的岩石圈地幔部分熔融形成的。

S33-P-13S

滇西高黎贡造山带内早白垩世花岗质岩石对班公湖-怒江缝合带南向延伸的制约

刘正宏*，王晨，徐仲元，李刚

1 吉林大学地球科学学院，长春 130061

* wangchen19@jlu.edu.cn

三江构造带位于青藏高原东南缘，是东特提斯构造域喜马拉雅造山带与东南亚造山带的交接转换部位，是研究东特提斯域洋-陆演化的关键地区。腾冲地块和保山地块之间的高黎贡造山带位于三江构造带的西缘，由于印度-亚洲大陆的碰撞，块体逃逸或者侧向挤出叠加了强烈的右行走滑剪切作用，研究区内的岩石都发生了不同程度的变质变形。早白垩世花岗质岩石是腾冲地块东部及龙陵-瑞丽断裂带内重要的岩石类型，其形成的构造背景是揭示怒江洋演化及腾冲与保山地块关系的重要证据。本文在野外调研的基础上，对本研究区花岗质岩石开展了岩相学、地球化学和锆石 U-Pb 定年等方面的研究。结合已有区域地质资料，制约中特提斯洋壳沿班公湖-怒江缝合带向拉萨-腾冲地块下俯冲碰撞历史。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示研究区花岗质岩体岩浆侵位时间为早白垩世（120－114Ma）。全岩地球化学数据显示研究区花岗质岩石样品具有高硅（SiO_2=70.06%－75.90%）、富钾（K_2O=3.89%－6.58%）、贫铁（TFe_2O_3=0.90%－2.18%）和贫镁的特征，为准铝质-弱过铝质系列（A/CNK=1.04－1.09），结合其负铕异常特征，认为研究区花岗质岩石为高分异 I 型花岗岩。样品富集轻稀土元素和 Rb、K 等大离子亲石元素，亏损重稀土元素和 Nb、Ta、Ti、P 等高场强元素，类似于典型的活动大陆边缘花岗岩。腾冲早白垩世岩浆岩的形成时代、锆石 Lu / Hf 同位素组成及其对应的单阶段模式年龄、微量元素特征与中拉萨和拉萨地块东缘的火成岩非常相似，暗示腾冲早白垩世岩浆岩带是中拉萨岩浆岩带的东南延伸部分，是对中特提斯洋壳沿班公湖-怒江缝合带向拉萨-腾冲地块下俯冲碰撞的响应。

S33-P-14

九州帕劳海脊的岩浆演化模式-来自精确海山岩浆分布的证据

丁航航[1,2]，丁巍伟[1,2]*，赵阳慧[1]，Bryan Riel[3]

1 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

2 浙江大学，地球科学学院，杭州 310058

3 地球大气与行星科学系，麻省理工学院，美国 02139

* dh2yypz@163.com

沿着俯冲带的火山活动通常是与板块衍生的流量熔融相关，而海山是海洋岩石圈演化过程中地幔对流强度的重要指标。九州-帕劳海脊（KPR）与俯冲后的弧后扩张密切相关，代表了俯冲的开始，弧后盆地扩张的开始，以及火山弧的分裂。最近收集的地震和测深数据显示了沿 KPR 的海山的不同分布。通过使用基于白帽转换的空间滤波方法，我们从 KPR 沿脊的海底地形中提取出海山形态，并在地震数据和重力反演地壳厚度的约束下确定了 KPR 的边界。随后，我们计算了海山的体积的时空分布，并分析了海山形状与周围断裂方向之间的关系，再结合地球化学和岩石学定年研究的结果，探讨了 KPR 海山的火山活动与区域构造活动的关系，并提出了 KPR 岩浆演化的模式。

海山体积分布显示，沿 KPR 的三个段之间存在明显差异。北部的第 1 段与第 2、第 3 段相比，海山的总体积和平均体积最大，而且在第 2 段和第 3 段的交汇处海山体积也偏大。另一方面，第 1 段和第 2 段过渡处的体积较小，这与四国和帕里西维拉海盆的海底渐进式扩张相一致。此外，海山地形分析表明，在第 1 段和第 3 段，KPR 的走向与海山长轴方向有更多的不一致，这表明在这些地方存在着更多的近东西走向的薄弱带。地球化学的研究表明 KPR 是典型的岛弧型岩浆，与 45 Ma 后的 IBM 的岩浆在同位素组成上是相似的，但是 KPR 沿脊的岩石样品定年显示其岩浆活动时间集中在 30-25 Ma。

KPR 的海山体积与弧后盆地打开之间的正空间关系表明，随着弧后盆地打开而迁移的延伸应力对沿 KPR 的流量熔融火山活

动有很大影响。海山体积在第一段较大的原因之一是大东海岭下原始岩石圈的参与，而体积在第 2 和第 3 段交界处较大是由于这些东西向岩石圈薄弱地带的存在，有利于岩浆在局部的迁移。KPR 的岩浆演化模式主要分为三个阶段，在 30 Ma 之前，太平洋板块俯冲导致流量熔融，并沿着俯冲带形成了早期的 IBM 岛弧，且岛弧岩浆在地壳中形成地壳存储带；在 30-22 Ma，由于四国海盆和帕里西维拉海盆的渐进式扩张，KPR 从 IBM 分离开来，弧后盆地扩张中心的减压熔融使得 KPR 下方的地壳存储发生再熔融并喷出形成海山，并且其喷发受到渐进式扩张和现存构造薄弱带的影响导致海山体积的不均匀分布；在 22 Ma 后弧后盆地相连，扩张中心与 KPR 距离增加，KPR 下方火山活动停止，现今的 KPR 基本形成。

S33-P-15

中亚造山带西段古生代俯冲机制分析

马昌明*，李江海

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* pkuer_mcm@pku.edu.cn

俯冲带机制分析是研究地球构造演化的关键环节，建立合理的俯冲模型和演化模式对认识俯冲带变形至关重要。中亚造山带西段在地质上主要包括东北部阿尔泰造山带、南部天山造山带和中部哈萨克斯坦山弯三个部分组成。古亚洲洋长期俯冲消减的产物。古亚洲洋演化呈现多洋盆、多俯冲带、多向汇聚复式增生造山特征，并伴有洋中脊俯冲、板片后撤、海山或大洋高原俯冲－增生过程。前人研究主要是根据地质记录、物质组成和构造样式等方面分析其古生代俯冲机制。

中亚造山带西段发育海山、大洋高原和大洋岛弧，古生代俯冲作用，最终被带到海沟，进而发生增生。而哈萨克斯坦板块内的山弯构造的形成是俯冲板片的不对称后撤和塔里木、西伯利亚板块阻挡共同作用的结果。此外中亚造山带中大量发育的海山或大洋高原是不同时代、不同规模地幔柱活动的产物。西准噶尔地区北部被认为是准噶尔残余洋关闭位置，该区的俯冲机制和起始时限都存在不同的认识，需要进一步的地球动力学模拟进行验证分析。

S34-O-01

行星物质来源的同位素制约

秦礼萍[1,2]*，刘佳[1,2]

1 中科院壳幔物质与环境重点实验室，合肥 230026

2 中科院比较行星学卓越创新中心，中国科学技术大学，合肥 230026

* lpqin@ustc.edu.cn

同位素异常已经成为指地球以及其它行星物质来源的重要手段：通过对化学性质不同、核合成来源不同的同位素体系的同位素异常的测量可以指示地球不同的演化阶段的物质来源。另外地球样品呈现的同位素异常也被用来指示其它地质过程。例如，现代地球样品的负的 ^{182}W 同位素异常被解释成核幔相互作用的产物。最新的研究表明，在太阳系形成初期同位素异常存在二分性，即存在“碳质球粒陨石”和“非碳质球粒陨石”两个储库，这两个储库存在有限的物质交换。了解这两个储库的形成机制和演化对正确了解行星的物质来源，包括后期增生物质来源具有重要意义。

球粒是未分异陨石的主要组分之一，可能代表了行星胚胎和类地行星的构造单元。因此研究球粒对了解太阳系早期行星物质的来源有重要的指示意义。我们汇报了碳质球粒陨石 Ornans（CO3）中九个球粒的高精度 Cr 同位素组成。Ornans 球粒的外部 ^{53}Mn-^{53}Cr 等时线结果表明其形成于 4567.6±1.3 Ma，该结果与 CAIs 形成时间在误差范围内一致。所有球粒的 $\varepsilon^{54}Cr$ 组成显示出显著的变化（0.20 至 1.22），并且 $\varepsilon^{54}Cr$ 和 $\varepsilon^{53}Cr$

具有正相关关系，这一结果揭示了原始行星盘中不同同位素源区的混合过程。该过程可能反映了在球粒形成过程中来自于 CAI 形成区域的硅酸盐物质传输到CO球粒母体所处的区域并与 CI 陨石质的物质发生混合，而且该混合过程的时间应早于球粒母体的形成时间。我们还对 Murchison（CM2）和 EET 92042（CR2）陨石的球粒进行了高精度 Cr 同位素组成的测量，研究结果表明，Murchison 球粒的外部 ^{53}Mn-^{53}Cr 等时线年龄为 4567.4±1.3 Ma，与 CAIs 形成时间在误差范围内一致，而 EET 92042 球粒的外部 ^{53}Mn-^{53}Cr 等时线年龄为 4565.1±1.3 Ma，对应 CAIs 形成之后 2.2 Myr。我们还发现不同的球粒陨石中球粒的 ε ^{54}Cr 的变化范围随球粒的形成年龄下降，这表明在外太阳系同位素异常的空间不均匀性随着时间降低。

S34-O-02

潮汐耦合一阶对流：对月壳不对称结构的解释

张懿卓，张南*

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* nan_zhang@pku.edu.cn

月壳结构和成分在近地侧和远地侧的不对称性是月球的主要特征，其形成原因也是月球研究中最重要的问题，前人曾提出地球不对称辐射、岩浆洋倾斜对流（tiled convection）、月幔长波对流、伴星增生、陨石撞击、潮汐不对称加热等模型来对该问题做出解释，但随着对月球岩浆洋（LMO）固化过程以及地月轨道早期演化的研究进展，大多数单一模型缺少合适的时间窗口，或存在概率学上的极大随机性。本文提出一种潮汐耦合一阶对流的早期月球内部热演化模型，将地球潮汐势扩展到球谐三阶，并与三维球壳内的固态对流模型相耦合，并与地月轨道的演化和月球岩浆洋固化过程进行匹配，基于地幔对流有限元数值模拟开源程序 CitcomS 对该模型进行模拟实验。数值实验表明，在钙长石（anorthosite）结晶上浮与月壳增生过程中，岩浆洋与下部月幔可以形成球谐一阶对流结构，地球的微弱不对称辐射会造成上升流大概率出现在近地侧，而下降流相应的出现在远地侧，潮汐力会造成上升流与下降流的迁移，以及一阶对流结构的变形。由此产生上升流向极地和下降流向赤道的迁移趋势，最终导致下降流稳定在远地点附近，形成局部冷中心，导致钙长石的大量结晶与富集，增生成初始月壳。该模型可以解释在远地点附近观测到的月球斜长岩高地（Feldspathic Highland Terrane，FHT），并为近地侧西北部的风暴洋 KREEP 地体（Procellarum-KREEP Terrane，PKT）的形成提供了一种可能的前置机制。

S34-O-03

太阳系天体运动的长期演化研究

唐凯*，孔大力

1 中国科学院上海天文台，上海 200030

* tangkai@shao.ac.cn

太阳系是以太阳为中心，和所有受到太阳引力约束天体的集合。与太阳系天体运动相关的 N 体问题一直为世人关注而未被真正解决。针对 N 体问题常用的解法包括:分析方法、数值方法以及利用定性方法辅助分析。与其他方法相比，数值计算不失为处理此类复杂问题的一种简单高效的手段。目前随着计算机科技的高速发展，可以直接通过数值积分得到上亿年的太阳系天体运动变化情况，并开展相关长期演化研究。本报告则将介绍近些年来，我们在此方向上的一些研究进展，包括相对论效应在太阳系长期演化中的影响，地月轨道演化中潮汐耗散的作用等等。

S34-O-04

超快速自转小行星在 YORP

效应作用下的动力学演化研究

胡寿村*

1 中国科学院紫金山天文台，南京 210000

* hushoucun@pmo.ac.cn

太阳系大部分小行星的自转周期都大于 2.2 小时，此时小行星表面的引力大于离心力,这与大部分小行星（直径大于 200 米）被认为具有“碎石堆”结构的观点是一致的。然而，观测发现也有一部分小行星的自转周期是快于 2.2 小时的，这些小行星被称为超快速自转小行星（SFRs），在存在一定的内部粘聚力的情况下，这些 SFRs 也可能具有碎石堆结构。在 YORP 效应导致的自转加速作用下，我们通过数值模拟研究了具有碎石堆结构的 SFRs 的演化过程，发现其最终的演化结果主要与密度、粘聚强度和直径的一个组合值（η）有关。本报告将汇报最终的演化结果与不同 η 值的关系以及对小行星形状演化的启示。

S34-O-05

类地行星的热力学演化与动力学机制思考

唐春安 [1,2]*，龚斌 [1]，陈甜甜 [3]

1 海岸和近海工程国家重点实验室，大连理工大学，大连 116024

2 地质过程与矿产资源国家重点实验室，地球科学学院，中国地质大学（武汉），武汉 430074

3 资源与土木工程学院，东北大学，沈阳 110819

* tca@mail.neu.edu.cn

在许多类地行星演化历史上曾多次出现过冷-热事件交替的现象。与此同时，地质活动的静止期与活跃期也在这些行星上交替出现。然而，对于这些类地行星冷-热周期波动与幕式地质事件之间的基本关系，却一直没有很好的解释。导致行星内部热量释放的可能因素众多，如岩浆海、板块运动、静止盖层对流等。但是，这么多因素间是如何转换的却仍然是个谜。为此，我们研究了球壳内部热膨胀导致的裂谷过程，从热力学定律出发对类地行星的演化过程与动力机制进行了探讨，由此导出了类地行星热循环的直观物理模型。据此认为，全球尺度的裂谷作用是触发这些行星不同演化阶段热波动的主要机制，它使行星在变暖和变冷之间发生了转变。从比较行星学的角度来看，这样一个模型可能在众多类地行星中找到广泛的适用性。

S34-O-06

蒸发盐中微生物脂类分布特征及天体生物意义

程子烨 [1]*，肖龙 [2]

1 广东财经大学地理与旅游学院，广州 510320

2 中国地质大学（武汉）地质过程与矿产资源国家重点实验室行星科学研究所，武汉 430074

* ziye7cheng@126.com

由于目前还没有火星样品返回地球，也没有人类到达火星进行相关实验，因此对火星生命痕迹的研究主要依靠地球进行类比。分析地球上极端干旱环境蒸发盐中微生物脂类的保存状况，以及这些微生物脂类保存的差异和主控因素，对探索火星盐类环境中生命痕迹及其保存形式具有重要意义。

本研究选取柴达木盆地的不同矿物类型、沉积特征的典型蒸发盐剖面，分析其中类脂物的保存特征。结果显示：柴达木盆地大浪滩剖面沉积物中都检测到丰富的脂肪酸化合物。通过对剖面沉积物样品的支链脂肪酸定量分析，发现支链脂肪酸含量随沉积物的矿物构成呈现一定的变化规律：所有盐层中支链脂肪酸含量较碎屑层含量偏低，高盐环境会限制细菌微生物的生长。剖面样品

中 GDGTs 和 archaeol 的分布模式基本一致，archaeol 含量最高，古菌合成的 iGDGT 化合物及细菌合成的 bGDGTs 含量低。这与前人发表的高盐沉积物中该类类脂分布特征一致。蒸发盐沉积物中 GDGT-0 化合物最可能来源于产甲烷古菌的贡献，嗜盐古菌应该是沉积物中 archaeol 化合物的主要贡献者。

S34-O-07

太阳系与系外行星系统的比较研究

王雪淞*

1 清华大学天文系，北京 100084

* sharonw@tsinghua.edu.cn

自 1995 年人类发现第一个类太阳恒星周围的行星以来，我们已找到超过 4000 个系外行星。这些系外行星的大小、质量、轨道周期以及系统架构多种多样，揭示了除我们的太阳系外，行星系统的多样性和复杂性，以及其形成和演化的多渠道性。本报告通过比较太阳系行星的属性与系外行星的统计性质，阐述和分析太阳系作为银河系众多系外行星系统之一的可能特殊之处，以及通过比较可能揭示的行星形成和演化过程。

首先，已知的几千个系外行星中，多数是大小介于地球和海王星之间的超级地球或迷你海王星。NASA 的 Kepler 卫星通过大量的凌星行星发现，揭示了在银河系中，此类行星很可能是最为普遍的。然而我们的太阳系内却不存在这样的行星。此外，太阳系所呈现的内部为岩质行星，外部为气态巨行星（特别是长周期类木星）的系统架构特点，从系外行星的角度而言，有其罕见之处，也有其普遍性。比如长周期类木星在类太阳恒星周围的存在概率只有 5%左右，这使得太阳系显得特别。最后，太阳作为宿主恒星，似乎也有特殊之处。太阳的耐熔质元素与周围的极似太阳恒星相比显著较少。有理论认为这可能是由于这些元素被锁定在了太阳系的岩质行星和小行星中，也可能是因为木星的形成对于太阳吸积原初星盘中的物质造成了一定的影响。未来结合恒星刻画以及行星系统统计性质的相关研究，将进一步揭示太阳系的这些特殊性背后的行星形成和演化机制。

S34-O-08

类地行星的相对生成率

晋升*

1 中国科学院紫金山天文台，南京 210023

* shengjin@pmo.ac.cn

本工作旨在给出类地行星在 FGK 恒星周围的生成率分布。根据 Kepler 望远镜最终发布的 DR25 数据，我首先使用高斯核模型得出连续的行星分布密度，同时校正凌星观测的发现空间随着行星轨道半长径的增加而减小的几何因素。然后，我拟合两个指数衰减函数，用以描述凌星法探测效率随着行星轨道距离的增加的衰减，以及随行星半径的减小的衰减。最后，通过补偿拟合得到的两个探测效率的指数衰减函数，我推算出类地行星的在 FGK 恒星周围的相对生成率。该结果显示出两个高行星丰度的区域：一个对应于 0.2 au 以内，半径在 0.5 到 1.5 地球半径之间的短周期类地行星；另一区域对应于 0.5 au 以外，半径在 1.5 到 3 地球半径的宜居区类地行星。该研究还证实了可能由大气逃逸导致的分布特征：在约 0.5 au 内，半径在 2.0 到 4.0 个地球半径之间的行星极少；此外，在 0.2 到 0.5 au 之间，介于 2.5 和 3.0 地球半径之间的“大气逃逸谷”内的行星生成率相对较低。

S34-O-09

在热木星晨昏线上发现氧化钛分子

陈果 [1,2,3]*

1 中国科学院紫金山天文台，南京 210023

2 中国科学院行星科学重点实验室，南京 210023
3 中国科学院比较行星学卓越创新中心，合肥 230026
* guochen@pmo.ac.cn

氧化钛分子在过去很长一段时间被认为是高辐照热木星大气在光学波段的主要不透明度来源，很可能引发温度结构的反转。近期，多颗超高温热木星的阳面大气热辐射谱揭示了逆温结构的存在。然而，高分辨率多普勒光谱观测显示这些逆温结构很可能由铁或镁的原子谱线、或者氢负离子连续谱引发，并不一定需要氧化钛等金属氧化物分子。实际观测中，在热木星大气中探测到氧化钛分子的确很罕见，目前仅有两例。其中最为可信的氧化钛分子发现于超高温热木星 WASP-33b 的阳面大气。另一例则发现于绕活跃恒星公转的热木星 WASP-19b 的晨昏大气，然而该结果充满争议，独立研究暗示该探测很可能来自恒星活动污染。我们利用 10.4 米口径大加纳利望远镜（GTC）对一颗平衡温度为 1930K 的热木星 HAT-P-65b 进行了两次凌星观测，我将汇报基于其低分辨率透射谱得到的较为确信的晨昏大气氧化钛分子的首次探测发现。

S34-O-10

Stability of Closely Packed Multiple Planetary Systems Subject to Atmospheric Mass losses

Su Wang[1]*，D. N. C. Lin[2]

1 CAS Key Laboratory of Planetary Sciences, Purple Mountain Obervatory, CAS, Nanjing 210023
2 Department of Astronomy and Astrophysics, University of California, Santa Cruz, CA 95064
* wangsu@pmo.ac.cn

There are more than 4000 exoplanets have been observed up to now and hundreds of multiple planetary systems among them. Many planet pairs are in the configuration of mean motion resonances (MMRs) or near MMRs. We investigate the stability of multiple planetary systems to find out if the MMRs configuration is more stable for planets to survive and the stability influenced by the atmospheric mass losses of planets. Through numerical simulation on equal-mass multiple planetary systems, we find out that (1) If all planets undergo inward type I migration, planet pairs tend to be more stable with the increase of the relative separation between them; (2) If there are both inward and outward migration exist in the system, the separation between planet pairs will shrink to smaller Hill Radius and planet pairs can find their stable configuration if they are captured into MMRs. But the stable region is very narrow; (3) The density of the gas disk is related to the final separation between planet pairs and when they are captured into MMRs. If planet pairs migrate to small separation with larger gas density, the system are easy to be crossing. The resonances are deeper in the system with larger depletion timescale and the system are more stable; (4) When the libration timescale of planet pairs larger than the migration timescale which are caused by the mass loss of planets in the system, the stable configuration can be destroyed. (5) Planetary systems can maintain stable if one of planets lose less than 10% of its mass, while it is difficult to preserve its stability if one or more planets lose more than 20% of its total mass.

S34-O-11

The escape of hydrogen-rich atmosphere of exoplanets: mass loss rates and the

absorption of stellar Lyα

Dongdong Yan[1,2,3]* and Jianheng Guo[1,2,3]

1 Yunnan Observatories, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 110, Kunming 650011, People's Republic of China

2 School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, People's Republic of China

3 Key Laboratory for the Structure and Evolution of Celestial Objects, CAS, Kunming 650011, People's Republic of China

* yand@ynao.ac.cn

Since the mass loss rates are the function of the mean density of the planet and the stellar irradiation, we calculated about 450 models covering planets with different densities and stellar irradiation. Our results show that the mass loss rates are dependent on the stellar irradiation and the mean density. However, the mass loss rates predicted by the energy-limited equation are higher than that of hydrodynamic model when the XUV integrated flux is higher than ~2×10^4erg/cm^2/s. The overestimation can be revised if the kinetic and thermal energy of the escaping atmosphere is included in the energy-limited equation. We found that the heating efficiencies are proportional to the product of the gravitational potential of the planet and the stellar irradiation. The mean absorption radii of stellar irradiation are 1.1-1.2 Rp for the Jupiter-like planets while they vary in the range of 1.1-1.7 Rp for the planets with smaller sizes. We evaluated the absorption of stellar Lyα by planetary atmosphere and found that the deeper Lyα absorptions tend to locate in the high stellar irradiation and low planetary mean density regions, and vice versa. Moreover, planets with mass loss rates higher than 1011 g/s are likely to exhibit obvious absorptions. Finally, we suggested that the absorption levels are related to the inherent properties of the exoplanets. The planets with larger sizes (or lower mean density) show strong Lyα absorptions. Neptune-like and Earth-like planets tend to have weak Lyα absorptions because of their small sizes (or high densities).

S34-O-12

背景大气质量对降水与地表温度关系的影响

熊俊琰*，杨军

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* jybear@pku.edu.cn

降水是行星气候的重要指标之一，它可以通过影响地表风化速率来控制大气中的二氧化碳含量，从而调制地表温度。在现代地球气候下，全球平均降水和地表温度呈线性关系，随温度上升而降水增多，增长率约为 0.1 mm day^{-1} K^{-1}.通过全球大气环流数值模拟，我们的研究显示，当背景大气质量（如N_2）改变时，这一增长率会发生变化，背景大气质量越大，增长率越小。例如，若大气质量为 30 bars 时，这一增长率减小为 0.03 mm day^{-1} K^{-1}；若大气质量为 0.5 bar，这一增长率增大为 0.13 mm day^{-1} K^{-1}。其内在机理是：全球平均降水量的大小主要由大气长波辐射冷却控制，因为降水过程潜热释放对大气的加热主要是通过长波辐射冷却来平衡，长波辐射冷却越强，可以支持的降水量就越大。当大气的背景质量增加时，大气的温室效应越强，向外的长波辐射冷却能力越小，降水量随温度变化的敏感性减少；当大气的背景质量减少时，大气的温室效应越弱，向外的长波辐射冷却能力越大，降水量随温度变化的敏感性增加。该研究结果对于地球早期气候和系外行星气候研究具有重要价值。在地球早期，背景大气质量可能比现在低很多，而对于系外行星，背景大气质量与地球可能截然不同，因此，降水随温度的响应关

系也将有很大不同，这将影响地表风化过程的强度及其变化。

S34-P-01S

Effects of rheology and internal heating on lunar cumulate mantle convection

章文博，李昊远，张南*

1 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* nan_zhang@pku.edu.cn

Lunar cumulate mantle convection, including lunar cumulate mantle overturn and subsequent upwelling of overturned mantle cumulates, offers a possible solution to some first-order lunar observations from the perspective of the thermochemical evolution. However, its timescale is largely determined by the rheological behavior and lunar internal heating. We use a three-dimensional mantle convection model with an evolving core to investigate these effects. Our results show that a change in viscosity of both mantle and ilmenite-bearing cumulates (IBC) by 1 order of magnitude can substantially shape the evolutional pattern. Our model also indicate that internal heating would shorten the timescale of the thermochemical while maintain a similar evolutional pattern.

S34-P-02S

月球车轮与月壤相互作用的离散元建模与仿真

李佳[1,2]，童小华[1,2]*，蒋明镜[1,3,4]，谢欢[1,2]，王超[1,2]，柳思聪[1,2]，石安宁[3]，吕雷[3]

1 上海市航天测绘遥感与空间探测重点实验室，同济大学，上海 200092

2 同济大学测绘与地理信息学院，上海 200092

3 天津大学建筑工程学院土木工程系，天津 300072

4 同济大学土木工程学院地下建筑与工程系，上海 200092

* xhtong@tongji.edu.cn

研究月球车车轮与月壤之间的相互作用机理，对了解月壤特性和月球车行车安全具有重要意义。根据月表真空环境和月壤内摩擦角较大的特点，本文采用考虑范德华力和抗转动作用的接触本构模型，对轮-壤相互作用进行离散元方法（DEM）建模与仿真。通过对三轴压缩试验进行数值仿真，获得数值模拟月壤的宏观力学特性，并与真实月壤的力学特性进行对比，从而确定离散元数值模拟的细观参数。确定数值模拟月壤后，根据嫦娥四号月球车车轮特点和月表运动状态，对月球车驱动轮与月壤相互作用过程进行离散元三维建模，在考虑边界效应、尺寸效应和车轮特点的基础上，从车轮受力与运动状态变化、月壤力学特性角度探讨轮-壤相互作用机理。实验结果表明，该方法能够有效地分析轮-壤相互作用机理，并从车轮的速度、下陷量、滑转率和土体的变形、应力分布、颗粒速度等方面解析作用机理，为进一步理解月壤特性和行车安全提供依据。

S34-P-03

天体引力对地球影响的静力学特征及动力学变化规律

关凤晨*

1 上海建腾建筑工程监理公司，上海 201800

* 2367179591@qq.com

地球，时刻受天体引力作用的影响。天体引力变化作用和地球自身物质的引力（或称重力）和压力、支撑力之间互为平衡运动，使得现实中的地球自身的静力学特征和动力学变化规律变得极其复杂。

我们先研究一下从天体引力作用下与地球自我平衡后，外天体引力分布特性和地

球内部物质压力与比重分布规律的一般特征。

根据任意相应天体（或天体系统）及其对地球引力的天文背景，总能建立起一个相应数学模型系统。为了更好说明等效质量天球对地球地表重力和内部压力以及外天体引力和地球的自转关系等，我们选取以银河系中心为背景现时期的等效质量天球对地球影响的模型。当把地球看成是由可塑性优异的流体物质组成时，并把地球自转离心力分解到等效质量天球上，那么等效质量天球作用下静态的流体地球，具有如下特征：1、地球表面各个点的重力相等且物质比重相同，并与等效质量天球作用下的地球表面形状及与地球匀速自转无关；2、地球内部压力的等势面，与心径（地球表面到地球中心点的直线距离）和深径（地球表面指向地球中心点的深度距离）的比值有关，即深径和心径比值相等的点在一个等势面上，且在同一等势面上物质比重相同，且地球物质密度组成由地表向地球中心逐步增大；3、等效质量天球对地球中心的引力代数和等于零；4、地球中心点的重力加速度和引力都等于零。以上几点特性非常重要，这是我们研究以流体地球物理学为基础的静止状态下的，天文地球静力学和动力学中最为基本的东西。

然而，现实中，作用在地球上的天体引力时刻在发生变化。我们根据任意（如或月或日或木或土或银河系中心等等某一天体或系统）的天体系统的天体引力变化特征，都有相对独立的天体引力变化的系统条件，并可将每一任意天体（系统）背景分为两类四种：两类是指天体引力的绝对变化和相对变化；四种是指天体引力绝对变化中的等效质量天球均匀的膨胀变化或收缩变化，在天体引力绝对变化中，引起地球总包容体体积变化；以及天体引力相对变化中的经度间或纬度间相对不平衡天体引力变化，在天体引力相对变化里，地球包容体总体积不变，但区域体积有变化（例如日月的经度间相对不平衡天体引力变化产生的潮汐运动）。包容体体积的变化带来了地球的吸液（气）排液（气）的问题。

从客观煤层的产状看，现实中天体引力变化引起的地质回旋运动是极其复杂。

外天体引力的相对变化也引起内地核的运动。内地核在地球中心位置的运动可以等效成等效天体质量的变化：亦即是宇宙空间暗物质的运动问题。同时说明，内地核周边的压力也是有规律变化的。

经度间和纬度相对不平衡天体变化，不仅改变地球表面形状（潮汐或海陆变迁），更重要的是引起内地核的运动。经度间相对不平衡天体（如日月等）引力变化下潮汐问题，可以用重力测量仪器检测；而纬度间相对不平衡天体（太阳木星土星银河系中心等）引力变化问题，现有仪器的技术方法，还不能精确检测。

所以，这里较详细介绍一下：纬度间相对不平衡天体引力变化作用问题。

图一所示的等效质量天球对地球的影响图，原则上讲是银河系中心为背景的纬度间相对不平衡天体引力作用的结果；也就是说，现在地球南北不对称的地球表面形状，是现时期银河系中心引力作用的结果。同样，太阳等天体在冬至的时候，也存在相似物理效应，但是我们现有重力监测方法，还不能给予检测。

从图一模型，我们可以看出：离心力等效质量天球分量的变化可以影响地球自转速度的变化，那么，天体引力的南北运动也会使得地表产生东西方向的变化；也就是说，纬度间相对不平衡天体引力变化，不仅是影响地球纬度间体积的位置（即大地高程）变化，还使地球表面水平产生东西方向的变化。

我们先以太阳在南北回归线之间运动的纬度间相对不平衡天体引力变化，产生的纬度间差动力为例，来阐述其现实的物理意义：由于太阳一年内在南北纬度之间周期性运动，故可用三角方程表达。

太阳对地球纬度间相对不平衡的天体引力变化引起纬度之间的水平差动力（剪应力）三角方程：

$F_{日}(X_1,X_2)=1[COS3.83X_1+COS(0.9862X_2+\varphi)]COSX_1$，其中 X_1 为纬度 X_2 为时间。

事实上，所有对地球有纬度间相对不平衡天体引力变化的天体（包括银河系中心）都应有如下通式：

F 通 式 $=A[COS\omega_1X_1+COS(\omega_2X_2+\varphi)]COSX_1$

只不过是天体变化的周期和其质量不同产生的引力大小也不同，只有月球因与地球互为公转而不适应此方程，另外太阳系行星存在逆行问题，在逆行期间此方程略有畸变外，在系统周期内总体还是适用的。

从比较行星学角度讲，这个通式特性，不仅适合地球上动力学特征，在其它相应的星球上也适用。就是说：其它天体对地球南北纬度位置变化产生地球上纬度间差动力变化，那么地球和其它天体相对该天体的南北纬度变化，也要影响该天体的纬度差动力变化。

特别是中值基线的存在，标志着赤道的自转速度大于两极。由于地球的大气受太阳光辐射的影响使得地球表面上赤道附近的大气向东涛动没有像太阳、木星、土星表面大气运动的明显。所以，正确的地球动力学理论，不仅能解释地球上的动力学问题，而且相同的力学方法也能解释其它相应天体的动力学问题。

特别是银河系中心对地球的纬度间相对不平衡天体引力变化，却使得岩石圈的地质结构产生明显塑性流变的“S”型扭曲。这个扭曲与太阳冬至时水平东西曲线的一致。

对于地球在早期形成时，是由各种不同结构的天体创击后经过不断自我调节组合而成的。从而使得现在地球的物质组成成分变得复杂，既有流动性很强的大气、海洋和外地核，也有刚度较强的地壳和内地核，也有有一定刚度且还有一定流动性的上地幔。所以，纬度间不平衡天体引力变化，在引起地球包容体局部体积变化时刻，也引起地球表面物质南北方向的运动（如海陆变迁及喜马拉雅山脉的形成等）。

典型的例子是以银河系中心为背景的纬度间相对不平衡天体引力变化使得喜马拉雅山脉的隆起。亦即以银河系中心为背景的纬度间相对不平衡天体引力变化不仅控制海陆分布和地壳上岩石圈层结构水平东西方向的“S”型扭曲问题，而且还有对地壳和上地幔的结构南北方向水平运动也有决定性的影响的问题。

另外值得一提的是，地球之外天体的同纬（度）、相会相合、以及太阳系较大天体（如木星土星）逆行或逆行顺行转换期间，与地震的频率和震级有很好的相关性。2011年3月11日的日本地震就是一个典型例子。近年地震森林火灾洪涝等灾害很多，与土星木星在银河系中心附近相会有关。2020年冬至前后，土星木星与太阳同纬度或相会时刻应该提防较大的地震。

总之，地球动力学，不仅是岩石圈层的动力学，还包括海洋大气地核地幔的动力学。作用在地球上的两类四种天体引力变化，对地球包容体总体积和区域性体积的变化、内地核的运动、地球的吸气（液）排气（液）、以及地震等、甚至地球地壳岩石圈上的断层褶皱背向斜侵蚀与沉积等地质地貌，都是地球演变进化一定历史时期的产物。在以上事件中对其有影响的天体包括太阳月亮、太阳系的九大行星、以及银河系中心等。其中以银河系中心为背景的纬度间不平衡天体引力变化，对地球地质史上的海陆变迁起着重要控制作用。如果没有外天体引力变化对地球的影响，仅仅是地球自我调整的问题，那么地球上的海陆变迁山脉火山和地震等一切地理事物也不会存在。

一部地球的演变史，就是在不断地追求其各方面平衡的变化史。

S34-P-04

开源 APT-MCMC 程序 Nii：轨道拟合应用

晋升*

1 中国科学院紫金山天文台，南京 210023

* shengjin@pmo.ac.cn

本工作旨在给出一个基于 Python 的稳健易用的开源 Automatic Parallel Tempering

Markov chain Monte Carlo（APT-MCMC）程序包 Nii。本工作以系外行星轨道拟合为例，测试了 Nii 在多维参数空间的可靠性。

S34-P-05

土星深部环流结构的重力场与感应磁场联合反演

袁龙辉 [1]，孔大力 [2,3]*

1 香港大学地球科学系，香港 999077
2 中国科学院上海天文台，上海 200030
3 中国科学院行星科学重点实验室，上海 200030
* dkong@shao.ac.cn

土星分子氢氦层比木星要厚很多，因此其赤道区域的南北对称环流速度高、深度大、范围广，并且内部环流与大气表面风的动力学一致性比较高，更加接近“深模型”。在高纬度地区，大气风场与内部环流的动力学特征差别较大，更加接近“浅模型”。为了更有效地约束整个土星分子氢氦层中地流体动力学结构，采用重力场和感应磁场综合反演的方法，对南北对称环流和南北反对称环流分量模型进行联合自洽求解。结果显示：土星分子氢氦层环流深度可能达到 0.129 个土星半径（约 7800 千米）；南北对称环流与反对称环流在赤道区域符合旋转对流理论预测的强度对比；而在高纬度地区，则首次给出完整的环流结构模型；得到的土星环流模型既符合卡西尼飞船得到的重力场数据，也满足土星的热流测量约束。

S34-P-06

土星磁层中具有扫频结构的静电回旋谐波的观测

First observation of periodic rising and falling tone ECH waves at Saturn

滕尚纯 [1,2]*，吴一凡 [1,2]，郭瑞龙 [3]，尧中华 [4]，陶鑫 [1,2]

1 中国科学技术大学，合肥 230026
2 中国科学院比较行星学卓越创新中心，合肥 230026
3 山东大学，济南 250100
4 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100871
* tengsc@mail.ustc.edu.cn

Electron cyclotron harmonic (ECH) waves are ubiquitous in the planetary magnetosphere. They are known to be effective in precipitating electrons into the loss cone and generating diffuse aurora. In this paper, we report the first observation of quasi-periodic rising and falling tone ECH waves in Saturn’s magnetosphere using the RPWS instrument data onboard the Cassini spacecraft. Six falling tone ECH wave events and one rising tone ECH wave event were detected. For the events analyzed, ECH waves occur at L < 9 near the magnetic equator. The wave element properties are compared with those observed on Earth. The duration of falling tone ECH waves is roughly on the order of minutes or seconds while rising tone ECH waves last around seconds. Our findings reveal interesting features of the ECH wave properties at Saturn, which should be helpful to understand the wave generation better and evaluate their potential effects on particle dynamics.

S34-P-07S

系外行星 HAT-P-12b 云霾大气的 GTC 凌星透射谱观测

蒋承孜 [1,2]，陈果 [1]*

1 中国科学院紫金山天文台行星科学重点实验室，南京 210023

2 中国科学技术大学天文与空间科学学院，合肥 230026

* guochen@pmo.ac.cn

系外行星的凌星透射谱描述了凌星深度随波长的变化关系，刻画了行星晨昏线附近大气的光谱吸收特征. 然而，此前对系外行星 HAT-P-12b 的多个天基或地基的低分辨率透射谱研究并未给出一致的结果，主要的分歧点在其光学波段的瑞利散射特征. 在这项研究中，我们分析了由 GTC 望远镜对 HAT-P-12b 进行的两轮低分辨率凌星透射谱观测. 我们利用高斯过程提取凌星光变曲线的系统噪声，使用嵌套抽样算法估计贝叶斯模型证据和模型参数的后验分布，从而得到大气透射谱，然后联合哈勃空间望远镜在近红外波段观测的凌星透射谱,反演计算 HAT-P-12b 的一维大气模型. 我们得到的光学透射谱呈现出微弱的钠原子吸收以及小幅度的瑞利散射特征，这可以用大气高空的云层覆盖进行解释. 我们对比先前由 LBT 和哈勃望远镜观测的光学透射谱，发现行星轨道参数的取值差异并不能合理解释光学透射谱的特征差异. 我们认为结果上的差异更可能归因于仪器系统效应和对应数据处理方法上的差别。

S34-P-08S

将地球视作系外行星：分解与重建分光图像

顾理想*, 胡永云

1 大气与海洋科学系，物理学院，北京大学，北京 100871

* lixianggu@pku.edu.cn

尽管高度复杂，类地行星的表面信息仍然包含在单点观测的分光光度曲线中。解析这些光度曲线中所包含的空间信息对于评估随时间变化的地表特征及星球气候的总体特征至关重要。而这些行星环境信息无论是对于地球生命本身还是系外行星宜居性的判断都不可或缺。鉴于地球是目前唯一被确认拥有生命的天体，将其作为一颗系外行星，并分析其分光图像的时间序列，将为寻找宜居系外行星提供基准。深空气候观测站（DSCOVR）上搭载的地球多色成像相机（EPIC）提供了进行此类分析的机会。它拥有十个波段，每年提供约 5000 张昼半球图像，拥有很高的时间分辨率。利用这些数据，通过面积分，我们构建了地球的单点观测分光时间序列。同时通过对这些分光图像进行分解与重构，地球的多种表面特征得以从单点分光光度曲线中被提取。我们的分析表明，单点分光曲线的第一与第四主成分贡献了约 83.23%的光度曲线变化，分别包含有关低云和高云的信息。与海陆分布有关的地表信息则包含在第二主成分中。具体的陆面类型无法被分辨（变化贡献小于 0.04%）。 具有真实云分布的地球模型及分解出的光谱特征可以作为分析类地系外行星光变曲线的基准，并为未来的观测提供谱段选择和采样策略的指导。

S34-P-09S

陆地位置对锁相宜居行星气候态的影响

赵洲峤，刘永岗*

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* ygliu@pku.edu.cn

随着系外行星的大量发现，系外行星的宜居性以及宜居行星的气候态也吸引了许多研究者的关注。银河系中约 75%的行星为红矮星，据估计 1/6 的红矮星的宜居带内存在类地行星，而红矮星宜居带内的类地行星通常处于潮汐锁定状态，因此红矮星周围锁相宜居行星的气候近年来受到了大量关注。

先前工作对锁相行星气候态的讨论主要基于水球，对陆地分布影响的讨论较为有限。本文探讨锁相系外行星上陆地的位置对行星气候的影响，发现当半径为 20 °的圆形

大陆被放置在不同位置时，行星的全球年平均地表温度会变化超过 26 ℃，气候态会从雪球状态变化到相对较暖的全球无冰封状态。当陆地处于不同位置时，宜居带外边界会移动约 10%。

本工作指出，该变化主要由于陆地阻挡部分洋流，从而影响海洋热输送造成，与陆地反照率关系较小。本工作通过在洋面设置低反照率区域来模拟低反照率区域，发现在快自转情形下反照率效应的降温效应明显，但慢自转情形下反照率效应对于气候印象有限。这是由于慢自转情形下向阳面云量较大，地表接收太阳辐射较少，因此受反照率影响不明显。同时，本工作使用狭窄的条带陆地来模拟陆地阻挡对于气候的影响，发现当条带陆地阻挡了赤道超级旋转流时，地表平均温度显著降低；当条带陆地阻挡半球涡旋的向极支时，地表温度显著上升。这是因为阻挡赤道超级旋转流后，从向阳面向背阳面的热输送被大幅度降低，从而增加了背阳面向向阳面的海冰输送，导致行星反照率降低，星球进一步变冷。

本工作指出相对小面积的陆地即对星球气候态造成较大影响，这为讨论锁相行星宜居性提供了一个新的角度。

S34-P-10S

Small Sensitivity of the Simulated Climate of Tidally Locked Aquaplanets to Model Resolution

Mengyu Wei, Yixiao Zhang, Jun Yang*

1 Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871

* junyang@pku.edu.cn

Tidally locked terrestrial planets around low-mass stars are the prime targets of finding potentially habitable exoplanets. Several atmospheric general circulation models have been employed to simulate their possible climates, however, model intercomparisons showed that there are large differences in the results of the models even when they are forced with the same boundary conditions. In this paper, we examine whether model resolution contributes to the differences. Using the atmospheric general circulation model ExoCAM coupled to a 50-m slab ocean, we examine three different horizontal resolutions (440 km×550 km, 210 km×280 km, and 50 km×70 km in latitude and longitude) and three different vertical resolutions (26, 51, and 74 levels) under the same dynamical core and the same schemes of radiation, convection and clouds. Among the experiments, the differences are within 5 K in global-mean surface temperature and within 0.007 in planetary albedo. These differences are from cloud feedback, water vapor feedback, and the decreasing trend of relative humidity with increasing resolution. Relatively small-scale downdrafts between upwelling columns over the substellar region are better resolved and the mixing between dry and wet air parcels and between anvil clouds and their environment are enhanced as the resolution is increased. These reduce atmospheric relative humidity and high-level cloud fraction, causing a lower clear-sky greenhouse effect, a weaker cloud longwave radiation effect, and subsequently a cooler climate with increasing model resolution. Overall, the sensitivity of the simulated climate of tidally locked aquaplanets to model resolution is small.

S34-P-11

潮汐锁相行星上的海洋超级旋转现象

杨军*，曾耀萱

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京 100871

* junyang@pku.edu.cn

系外行星上有海洋超级旋转吗？大气超级旋转是金星、土卫六、土星、木星和潮汐锁相系外行星大气中的一种常见现象，其特征是赤道上空有角动量超大的西风。在地球平流层准两年振荡的西风期，平流层大气也是超级旋转的。然而，同样的现象是否能在海洋中发生却鲜为人知。通过数值模拟，我们发现海洋超级旋转确实可以发生在低质量恒星周围的潮汐锁相类地行星上。它的形成（从静止状态出发）与表面风场、Rossby 波造成的赤道动量辐合以及海洋中 Kelvin 波的向东传播有关。它的维持是由不均匀的恒星辐射分布激发的海洋中耦合 Rossby-Kelvin 波的向赤道动量输运驱动的。超级旋转的宽度主要受海洋中 Rossby 变形半径的制约，而强度则更为复杂。影响海洋超级旋转强度的因素很多，包括行星自转速率、恒星通量、温室气体浓度、海水盐度、海底摩擦等。这项工作证实了海洋超级旋转可能发生在潮汐锁相的有海水海洋的类地行星上，并表明它也可能发生在潮汐锁相的有岩浆海洋的热行星上，这可能在不久的将来被望远镜观测到。

S34-P-12S

系外行星大气透射光谱反演工具 TauREx 和 PLATON 的对比研究

王婉好，刘慧根*，周济林

1 南京大学天文与空间科学学院，南京 210023

* huigen@nju.edu.cn

The study of exoplanet atmospheres has undergone dramatic expansion with several transmission spectroscopic observations for transiting exoplanets recently. Great progress has been made in atmospheric retrieval over the last decade, but there are still challenges in quantitatively determine the temperature and molecular abundances allowed by the observed data. Here we show an intermodel comparison between two retrieval tools: TauREx and PLATON. We present that these forward model spectra are in good agreement and discuss the cross-retrievals results between the two suites. To assess biases, we use Exo-Transmit, an open-source code for calculating transmission spectra to simulate the cloud-free atmosphere of several planet systems with a wide range of sizes, temperatures, and atmospheric composition. Then, we retrieve these spectra with global Bayesian retrieval tools TauREx and PLATON to infer the most common atmospheric parameters, such as temperature, C/O ratio, metallicity, and molecular mixing ratios, respectively. Although the retrieval bias due to different forward models cannot be ignored, we find that a high signal-to-noise ratio can considerably decrease the degeneracies between mixing ratios and temperature. An unrealistic isothermal approximation of the T-P profile leads to odd multimodal distributions of the retrieved chemical abundances, therefore it is necessary to provide a reasonable prior hypothesis for retrieval rather than a constant T-P profile. We also use the simulated transmission spectrum from JWST to test the efficiency of the two retrieval codes for typical atmospheres of both Jupiter-like and Earth-like exoplanets.

S34-P-13S

The influence of topological boundary layer on precessing fluid

Xiuyu Chen*, Dali Kong

1 Shanghai Astronomical Observatory, Chinese

Academy of Sciences，Shanghai 200030
* xiuyuchen@shao.ac.cn, dkong@shao.ac.cn

Rotation plays an essential role in the structure and variation of large-scale flows taking place in the interiors, atmospheres and oceans of planets. We studied fluid motions in irregular cylindrical cavities under the influence of precession. For simulating the precession, we employ the finite element method to solve our dimensionless Navier-Stokes equations with precession terms. In our simulations, we just change the Poincare number, and fix the Ekman number and some other parameters in order to focus on the effect of precession. The irregular cylindrical cavities are constructed by adding barriers to the sidewall on the basis of the cylinder. A three-dimensional tetrahedralization is applied to our irregular cylindrical cavity, and it produces a finite element mesh. The mesh is carefully designed with dense edges and sparse interior for studying the influence of the boundary layer on fluid. As increasing the Poincaré number, we find that the existence of barriers can cause different fluid dynamics compared to that in a cylinder. And some interesting fluid movements, like horseshoe-like vortex, appear in our containers under certain conditions. In the future, more laboratory experiments will be carried out in CAS key laboratory of planetary sciences to verify our numerical results.

S35-O-01

IODP 近 5 年来构造与地球动力学领域重要进展

丁巍伟[1]*，孙珍[2]，赵阳慧[1]

1 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
2 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301
* wwding@sio.org.cn

国际大洋发现计划（IODP）自 1968 年开始实施以来，对于地球内部，也即洋壳及其下莫霍面的研究一直是最为重要的科学目标，一直追寻打穿地壳，钻遇莫霍面，以了解地球深部的构造与动力学过程。IODP 的前身深海钻探计划（DSDP）最大的贡献之一就是通过 1968 年的 SDP Leg3 航次在南大西洋的 8 口钻井，发现洋壳的年龄远离洋中脊逐渐变老，验证了海底扩张和板块构造理论，从而引发了地球科学的革命。其后的 50 年大洋钻探的科学目标越来越广泛，逐渐涵盖了古生物学，古环境与古气候，陆海相互作用等诸多领域，而地学研究也逐渐变成地球系统科学的研究，这其中“构造与地球动力学”领域依然是 IODP 钻探的重要方向，并取得了一系列重大的进展。这些进展与发现探索了板块俯冲的起始机制，板块俯冲对地质灾害的影响，超级大陆裂解的过程，板缘盆地张裂过程，不同扩张速率下洋壳的结构，热点的活动特征，以及热点与洋中脊的相互作用，对地球动力学的一些经典问题进行了证实或者证伪，极大的完善和丰富了板块构造学的理论。

S35-O-02

巽他陆架大洋钻探站位调查的研究设想

马鹏飞[1]*，刘志飞[1]，钟广法[1]，Thanawat Jarupongsakul[2]，Edlic Sathiamurthy[3]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 Department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
3 Faculty of Science and Marine Environment, University Malaysia Terengganu, Terengganu 21030, Malaysia
* pma@tongji.edu.cn

巽他陆架在海平面变化时发生的大面积出露和淹没可能通过改变水循环和碳循

环而影响全球气候。但是，由于缺乏连续沉积记录，全新世之前、特别是上新-更新世巽他陆架的海平面变化、水系变迁、及其周期性出露-淹没对气候演化的具体作用等尚不清楚，开展科学大洋钻探是解决这些问题唯一途径，而详细的站位调查则是保证大洋钻探成功实施的重要前提。本项研究全面收集并整理了巽他陆架中、北部马来盆地和北大年盆地所有公开发表的地质、地球物理资料，初步评估了两个盆地内部的沉积体系演化过程和地层厚度特征。结果显示，巽他陆架中部的海侵始于早中新世，至晚中新世海洋沉积体系开始在巽他陆架北部占据主导；晚中新世（~10 Ma）以来，两个盆地未发生重大构造事件，发育的 5 个沉积中心均堆积了厚度超过 1000 m 的沉积地层，最大程度地记录了海平面、沉积体系和气候演化过程，是开展科学钻探的理想区域。为获取 5 个沉积中心更新-全新统高分辨率地层学特征，结合现有地震测线及钻井分布，布设了 20 条共 600 km 的封闭地震测线，该项工作将为未来巽他陆架大洋钻探提供有力支撑。

S35-O-03

南海中北部陆缘洋陆过渡带建造与破裂机制研究

张翠梅[1,2]*，孙珍[1,2]*，Gianreto Manatschal[3]，庞雄[4,5]，李三忠[6,7]，Daniel Sauter[3]，Gwenn Péron-Pinvidic[8,9]

1 中国科学院南海海洋研究所边缘海与大洋地质重点实验室，广州 510301
2 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州 511458
3 IPGS/CNRS, 法国斯特拉斯堡大学，法国斯特拉斯堡 67084
4 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，深圳 518054
5 中海石油深海开发有限公司，深圳 518054
6 海底科学与探测技术教育部重点实验室中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100
7 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋地质功能实验室，青岛 266237
8 挪威地质调查局，Trondheim 7040
9 挪威科技大学地学和油气部，Trondheim 7491
* cmzhang@scsio.ac.cn, zhensun@scsio.ac.cn

位于大陆和明确洋壳边缘之间的洋陆过渡带（OCT）是了解板块构造最基本过程之一的理想实验室，即新板块边界形成的机制，也称为岩石圈破裂。但是，OCT 的位置和结构以及控制大陆岩石圈破裂和新洋壳形成的过程仍存在争议。在本文中，我们介绍了新获取的高分辨率地震反射剖面图，这些剖面图描绘了南中国海中北部从明确的陆壳到洋壳之间的完整过渡，并运用 IODP 钻孔和重力数据，旨在通过绘制 OCT，探索岩石圈破裂的位置，时间和方式。

基于反射地震资料的观察和解释，我们首先确定了 OCT 的边界。结果表明，OCTs 对应于陆壳和岩浆作用形成的混合壳，有拆离断层系统导致的减薄地壳与同构造期的火成岩物质之间的复杂相互作用所导致。进一步对 OCT 结构的分析表明，南海北部陆缘和共轭陆缘间发生了不对称破裂，板块分离由核杂岩构造所完成，并且该过程中伴随了从构造伸展向岩浆作用的转化，且控制大陆岩石圈发生破裂的拆离断层沿走向上（在 30 km 范围内）发生了显著的极性反转，也即 OCT 发生了从下板块到上板块背景的快速过渡。沿走向上的基底结构变化和OCT拆离断层极性的突然转变暗示了一个明显的转换断层的存在，该断层是造成陆缘区段性变化的重要因素。我们推测陆缘区段性是由继承的前张裂地壳和/或岩石圈的非均质性或伸展速率沿走向上的变化而造成的。值得注意的是，陆缘的区段性并不控制破裂和随后的洋壳增生。

S35-O-04

再钻南海洋陆转换带

雷超[1,2]*，任建业[1,2]，王后金[2]，李福元[2]，庞雄[3]

1 中国地质大学（武汉）海洋学院海洋地质资源湖北省重点实验室，武汉 430074
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
3 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，湛江 510240
* clei@cug.edu.com

岩石圈陆壳的伸展、减薄、破裂和最终洋脊扩张和洋壳增生过程是板块构造理论中 Wilson 旋回重要的构造阶段。自上世纪 80 年代以来对现今的大西洋洋陆转换带进行了 ODP 大洋钻探，结合阿尔卑斯山、比利牛斯山等山脉带中古老洋陆转换带露头观测，建立了以蛇纹石化地幔橄榄岩组成的洋陆转换带为核心的贫岩浆型被动陆缘和以向海倾斜反射体为核心的富岩浆型被动陆缘岩石圈伸展破裂模式，较好地阐明了陆洋转换机制。

2017-2018 年，针对南海北部陆缘洋陆转换带的 IODP367/368/368X 钻探揭示了韧性剪切变形作用和丰富的岩浆增生作用，显示出与大西洋陆缘截然不同的陆缘结构要素和构成样式，表明衍生于俯冲陆缘背景的小型而年轻的南海洋盆经历了特殊的伸展破裂过程和扩张机制，仍然有待于选定关键的目标区域，继续开展 IODP 钻探，以进一步获取重要的基底岩石。

本次研究认为可在南海东北部珠江口盆地靖海凹陷及其南部开展钻探工作，该区沉积物厚度薄，构造类型多样，特别是发育有高热陆缘背景下中下地壳减薄、上隆机制，而且预计从北向南依次钻穿沉积层获得减薄陆壳、洋陆转换壳和洋壳上基底。该建议区域如果开展大洋钻探有望建立以南海为代表的高热陆缘背景下西太平洋边缘海盆地陆壳伸展破裂机制。

S35-O-05

深地震反射剖面探测南海西南次海盆地壳精细结构

王利杰[1,3]，秦绪文[2,3]，李福元[1,3]，张衡[1,3]，王后金[1,3]，姚永坚[1,3]，陈梅[1,3]，张宝金[1,3]，张如伟[1,3]

1 自然资源部海底矿产资源重点实验室，中国地质调查局广州海洋地质调查局，广州 510760
2 中国地质调查局，北京 100037
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
* wlje12345 @163.com, ljwang@scsio.ac.cn

深地震反射法已经被公认为是探测岩石圈精细结构与构造的先进技术，是获得岩石圈内部构造边界几何以及地震波在深层岩石中传播的动力学信息的重要手段。南海西南次海盆是南海的重要组成部分，呈现渐进式扩张，其中段具有慢速扩张、中央裂谷、同扩张断层发育等构造主导型的海底扩张特征，并可能发育异常薄地壳、甚至出现蛇纹石化地幔，是探讨南海构造演化及动力学机制的关键，也是未来我国实施大洋莫霍面钻探计划的重要目标之一。受探测手段、精度和浅层复杂地质条件影响，前期地球物理探测未能精细刻画西南次海盆精细地壳结构，且存在多解性和矛盾，使其构造特征和海底扩张模式尚存争议。为此我们在西南次海盆中段垂直扩张脊方向的中法合作剖面（2011CFT）的洋盆区及两侧陆缘开展了近 300 km 深地震反射剖面探测，拟结合测线上重、磁和主动源 OBS 等资料，通过浅层精细地质约束和联合正反演的方法研究西南次海盆的深部结构和物质组成。目前，通过采用弱信号保真恢复、大面元处理技术、复杂多次波保真压制技术和低频拓展技术等深地震反射处理技术攻关，获得了有效深部反射信息。初步结果显示：（1）与快速扩张形成的清晰、连续 Moho 反射不同，洋盆区可成像的地震反射 Moho 面埋深横向变化较大、连续性差，基底掀斜特征明显，地壳厚度非均一性强，壳内部分可见大量向洋中脊和背离洋中脊倾向下地壳反射，表明扩张过程岩浆和构造复杂的相互作用过程；（2）重

处理的深反射地震信息和 OBS 速度结构相互约束解释，获得了可靠陆缘地壳结构。两侧陆缘上地壳厚度较大，下地壳厚度薄，可见韧性变形层，上地壳随下地壳韧性蠕动变形发生拆离断层和基底隆升，但不发育深大断裂和凹陷，其洋陆转换较快，推测其破裂模式为地幔岩石圈早于地壳破裂；（3）地壳最薄处位于扩张脊南侧，(早期扩张阶段~19-20.45 Ma),洋壳厚度约 2.3km，Moho 面埋深约 7.6km，与重力反演超薄洋壳范围吻合。因此，可以通过深反射地震探测技术与其他深部地球物理探测相结合，围绕西南次海盆慢速扩张条件下洋中脊精细结构和物质组成，是否存在蛇纹石化异常地幔和陆缘两侧下地壳高速体分布及成因等科学问题进行部署和研究，有望为南海科学钻探选址提供依据。

S35-O-06

南海陆缘张-破裂之共轭陆缘钻探建议

孙珍 [1,2,3]*，曾程辉 [1,2,4]，朱筱曦 [1,2,4]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 5114583

3 中国-巴基斯坦地球科学研究中心，伊斯兰堡 45320

4 中国科学院大学，北京 100049

* zhensun@scsio.ac.cn

边缘海是全球板块构造理论的最后堡垒，蕴含着板块相互作用的重要信息。南海是西太最大的边缘海，发育了丰富的构造类型，保留了威尔逊演化旋回的重要记录，是回答主被动陆缘转换、张-破裂转换和俯冲起始等重要过程的天然实验室。大洋钻探表明，南海陆缘不同于典型的非火山型大陆边缘，主要表现为陆洋转换迅速，岩浆量充沛，地壳韧性流动特征明显。然而科学家们对陆洋转换的方式是断裂主导还是岩浆主导，以及具体的破裂过程是如何完成的却存在较大的争议。地震探测表明，南海陆缘无论是在断陷结构、底侵高速体厚度、陆缘宽度等方面都表现出极大的东西差异以及南北差异，如要确定陆缘的破裂方式，需根据高精度地球物理数据建立共轭陆缘破裂方式的地质模式，提出可靠的站位，进行钻探证实。为了实现上述目标，我们首先系统总结了南海南北陆缘的速度结构、变形特点和沉积充填方式，对其共轭陆缘开展对比，发现南海陆缘的破裂基本为岩浆主导型，且以中南礼乐断裂为界，东部表现为同张裂岩浆量大，地壳韧性减薄特征明显，破裂受断裂影响小；西侧破裂表现为断裂与韧性地壳薄化共同控制。根据地壳结构与底侵岩浆的量，建议被动陆缘划分为 5 个子类，南海陆缘东侧为多岩浆型，向西变为少岩浆型。东西差异除与伸展速率有关，可能还与东侧陆缘发生了板缘破裂，而西侧陆缘发生了板内破裂有关。因此，只有开展至少 2 对共轭陆缘钻探，才有机会揭示东西侧陆缘结构、岩浆量和破裂方式差异巨大的机制。

S35-O-07

西太平洋地球动力学问题与未来大洋钻探目标

李春峰 [1,2]*，周多 [1]，李刚 [1,2]，李志康 [1]，邓永康 [1]，刘文潇 [1]，温永林 [1]，陆哲哲 [1]，章露露 [1]，李珂迪 [1]

1 浙江大学海洋科学系，舟山 316021

2 浙江大学海南研究院，三亚 572025

* cfli@zju.edu.cn

西太平洋区域是全球地质构造和海陆相互作用最活动的区域，经过 50 多年的大洋钻探研究，对西太平洋弧后海底扩张成因、俯冲工厂的动力学机制、地幔演化过程、发震带、热点岩浆活动、沉积古环境等都有了深入研究和分析，但是西太平洋边缘海盆具有很大的构造多样性和复杂性，仍然有很多

的科学目标和科学问题有待进一步开展研究。本文详细分析边缘海盆的大洋岩石圈演化特殊性，原位上地幔蛇纹岩化的程度，初始俯冲与初始扩张的形成机制，海台、海山、海岭、洋脊、洋隆的属性，洋中脊水热循环活动的强度及其对大洋岩石圈演化的影响，岩石圈共轭张裂与破裂模式与机制，大洋红层与异常沉积等七个方面的科学问题，并建议就流体地球化学剖面、海山岩浆剖面、穆绍海沟与加瓜海脊、Ayu 海槽、卡罗琳海岭系统、Eauripik 海岭、冲绳海槽、莫霍面等八个关键具体目标开展详细的地球物理刻画并提出具有全球意义的钻探建议，为今后实现中国领导的全球大洋钻探工作提供思路。

西太平洋边缘海盆表现出异常沉降，但是年龄小水深不大，同时具有异常薄的地壳、以及异常冷的岩石圈，并靠近大陆便于后勤供给和保障，是未来实施深部莫霍面钻探的理想场所。大部分海洋地幔可能存在原位蛇纹岩化，且不同的扩张速率对洋中脊热液活动存在重大影响。西太平洋存在年轻大洋板块俯冲到古老大洋板块之下的现象，与传统的俯冲起始模式相悖。大量海山、海岭、海脊等的成因并不能用地幔柱模式来解释而更多与板块运动相关。大陆边缘裂谷与大洋海岭裂谷的成因以及属性仍然缺乏详细的岩石学证据。目前西太边缘海盆内几乎所有钻遇的红层都与基底大洋玄武岩或火山碎屑岩相关，反应了沉积物与火成岩之间强烈的热液和物质交换，水热活动可能同时使得沉积物中钙质化石外壳分解，降低了沉积层的厚度和观测的沉积速率。

S35-O-08

花东海盆大洋钻探的科学意义

钟广法*，黄奇瑜，汪品先，余梦明

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* gfz@tongji.edu.cn

西太平洋地区汇集了全球约 75%的新生代边缘海，南海和西菲律宾盆地是其中分别从陆缘和洋壳裂离出来的两个最大的边缘海。大洋钻探证实，南海和西菲律宾盆地分别形成于 33-15 Ma 和 56-30 Ma。磁异常条带解释和海底拖网辉长岩样品测年表明，夹在南海和西菲律宾盆地之间的花东海盆具有白垩纪洋壳基底，可能代表了曾经发育在欧亚板块与太平洋板块之间的中生代大洋的残留。台湾东南海域兰屿火山岛出露的白垩纪放射虫硅质岩捕掳体，吕宋弧海底拖网取得的白垩纪辉长岩，及广泛出露于菲律宾群岛的白垩纪蛇绿岩等表明，位于花东海盆南部包括吕宋弧在内的菲律宾变动带在白垩纪也是大洋环境。因此，花东海盆和菲律宾变动带很可能是同一中生代大洋板块的组成部分，统称为“花东板块”（Huang et al., 2019）。古地磁资料表明，花东板块和西菲律宾盆地自始新世以来快速北移，花东板块所代表的中生代洋和原始的西菲律宾海在始新世时总体位于赤道附近的低纬区。

关于南海成因机制的争论已持续多年，已提出的观点主要有碰撞挤出说（认为南海扩张力源于西部），古南海俯冲拖曳说（认为扩张力源于南部）及海南地幔柱或地幔上涌说（认为扩张力源于深部地幔）等。南海深部计划研究成果表明，南海并不是前人所认为的“小大西洋”，其打开机制为板缘裂谷而非洋内裂谷（Wang et al., 2019）；南海打开的力源可能主要来自东部，与欧亚大陆东缘和花东板块之间近南北向的左行走滑活动有关，正是该左行走滑导致了南海在渐新世-中中新世自东而西的楔形张裂（Huang et al., 2019）。16-18Ma 以来，南海向东俯冲于中生代花东板块而非新生代菲律宾海板块之下。因此，花东板块可能见证了南海从板缘张裂到海底扩张，直至向东俯冲演化的全过程。由于菲律宾变动带已遭受强烈的后期构造变形改造，而基本未变形的花东海盆成了花东板块乃至西太平洋地区仅剩的中生代洋盆的残留，保存在其中相对完整的中-新生代深海沉积序列，记录了花东海盆由

早白垩世开阔大洋逐渐演变为被新生代边缘海包围的残留小洋盆的地质历程，其中蕴含着丰富的关于西太平洋地区中-新生代板块构造环境演变和新生代边缘海形成方面的信息。这正是我们联合国内外相关专家共同提出在花东海盆实施大洋钻探的 IODP 初始建议书的动因所在。目前该建议书已顺利通过 IODP 科学评审委员会的专家评审，转入了完整建议书提交阶段。

通过大洋钻探，获取花东海盆洋壳样品，有助于了解西太平洋地区中生代洋壳的性质，丰富我们对全球中生代大洋的了解。通过钻取覆盖在花东海盆洋壳基底之上未变形的沉积序列，可以了解该中生代洋盆从位于赤道附近的开放大洋，演变为今天完全被新生代边缘海包围的残留洋盆的地质过程，这对于深入理解南海和西菲律宾盆地等新生代边缘海的形成，及西太地区中-新生代板块格局的调整或重组等具有重要的意义。此外，通过钻探花东海盆基底隆起部位的沉积记录，有助于理解花东板块与欧亚板块及菲律宾海板块之间相互作用所引起的地形或地貌的改变及沉积格局的调整，对于探索西太平洋地区基底隆起上覆沉没珊瑚礁的形成机理，追溯黑潮的起源等沉积-古海洋问题亦具有重要的科学意义。

S35-O-09

年轻大洋板块如何俯冲于年老大洋板块之下?

章露露 [1]，Sergio Zlotnik[2]，李春峰 [3,1,4]*

1 浙江大学海洋地质与资源研究所，舟山 316021

2 加泰罗尼亚理工大学，巴塞罗那 08034

3 浙江大学海南研究院，三亚 572025

4 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源重点实验室，青岛 266237

* cfli@zju.edu.cn

当沿大洋转换断层的俯冲初始被触发时，通常认为年龄较老且密度较大的大洋岩石圈将演化为俯冲板块，下插于年轻且密度较小的大洋岩石圈之下。然而，南海的东部边界的马尼拉俯冲带在地质上却表现为年轻的南海板块俯冲于较老的菲律宾海板块之下，其成因机制仍不清楚。运用地球动力学数值模拟方法，我们对沿转换断层诱发俯冲的极性问题进行讨论，模型结果表明在挤压作用下，俯冲极性主要取决于两相邻大洋板块之间的年龄差、转换断层的强度和大洋板块的塑性强度。过转换断层的较小的板块年龄差有利于年轻板块的俯冲起始；较弱的转换断层将促进了沿板块边界的应变集中作用，并触发更老和更致密的板块的俯冲；若大洋板块的塑性强度很强且应变弱化速率较慢，那么即使大洋板块间的年龄差较大，较年轻的板块仍可能俯冲于年老板块之下。此外，我们还发现，如果板块的应变弱化速率足够快，那么塑性变形将更容易集中在远离转换断层的年轻板块的内部，因而形成板内俯冲。我们的数值模型探讨了沿转换断层诱发俯冲初始极性的控制因素和年轻板块俯冲起始的潜在机制。

S35-O-10

卡洛琳海山链科学钻探与“地幔柱”假说的检验

张国良*

1 深海研究中心，中国科学院海洋研究所，青岛 266071

* zhangguoliang@qdio.ac.cn

自从板块构造理论建立以来，板块边界附近的岩浆活动通常可以由板块构造有关的动力学过程解释。但是，除了与板块边界相关的火山作用以外，板块内部还存在大量火山活动。板内火山活动在大洋中广泛形成了洋底高原和海山（全球高 1km 以上的海山>4 万座）。尽管总岩浆量不及洋中脊火山活动，由于这些板内火山通常在较短时间内喷发完成，这些板内火山活动对地表环境可能产生重要的影响。这些板块内部的岩浆活

动不能直接由板块构造来解释，其成因是固体地球科学研究的重大挑战之一。上世纪 70 年代，国际上提出了一个“地幔柱”假说来解释板内火山的成因。“地幔柱”假说认为一个来自地幔深部（如核幔边界）的化学异常的热柱，在上涌通过上部地幔的过程中包裹周围地幔物质形成地幔柱“头”，且在上地幔上部水平扩散（如，扩张至 1000-2000km）并减压熔融，先在短期内（如 5Myr）形成巨大的洋底高原，此后，紧随地幔柱头的“尾巴”仍有长期持续（如>50Myr）的火山活动形成有年龄序列的海山链。因此，检验这个假说成立的基本条件是，如，在大洋中存在一个有成因联系和时间顺序的洋底高原-海山链组合。然而，目前地球上的洋底高原和海山链均是独立分布，尚无明确证据显示二者有成因联系。即便是有长期岩浆活动（>80 Myr）的夏威夷热点，也没有发现相应的地幔柱“头”形成的洋底高原。实际上，北半球太平洋除了黄帝岭-夏威夷海山链以外，还有一个热点海山链——卡洛琳海山链。这个海山链西端是一个洋底高原（面积与中太平洋的 Manihiki 洋底高原相当），而与其相连的东部被认为是一个有年龄序列的热点海山链火山活动。由于缺少卡洛琳洋底高原相关的采样工作，关于该洋底高原与其东部海山链的成因联系很不明确。我们这里提供了一系列资料显示，卡洛琳很可能形成于一个中等规模的地幔柱活动，而卡洛琳洋底高原很可能是其东部海山链的地幔柱“头”。我们提出对卡洛琳高原和海山链系统进行科学钻探，有望有效检验地幔柱假说。

S35-O-11

南海东部次海盆下地壳倾斜反射构造特征及成因探讨

徐子英[1,2]*，姚永坚[1,2]，汪俊[1,2]，张旭博[2,3]，高红方[1,2]，李学杰[1,2]，王哲[1,2]

1 自然资源部海底矿产资源重点实验室，广州海洋地质调查局，广州 510075

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

3 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，广州 511458

* xuziying19556511@163.com

南海是我国走向深海大洋战略的突破口，作为其重要组成的东部次海盆，其洋壳内发育了独特的下地壳倾斜反射体，它记录了海盆洋壳增生的形成过程，它的时空分布、结构特征及成因机制的研究是破解东部次海盆扩张过程的重要入口，对认识南海海盆的构造演化具有关键作用。

本文基于最新采集的深反射多道地震剖面，对东部次海盆下地壳倾斜反射体的构造特征及成因进行了初步研究。研究发现东部次海盆南北两侧都存在下地壳倾斜反射体，下地壳倾斜反射体特征丰富，但分布范围大小不一，北侧分布范围大，南侧分布范围小，且南北侧下地壳倾斜反射体的结构特征及成因存在差异。

海盆北侧下地壳倾斜反射体分布范围从洋陆过渡带附近洋壳一直延伸至石星北海山以北。下地壳倾斜反射振幅强且倾斜长度长，范围大，基底相对平整，Moho 面总体起伏不大，下地壳倾斜反射区下 Moho 面有 0.5s(双程走时，下同)抬升，振幅较强，发育较连续，但部分下地壳倾斜强反射位置下，Moho 面存在间断或模糊不清，根据前人的研究，初步推测其成因与岩浆的间隙喷发侵入有关。东部次海盆北部在 C11 至 C6c 区域，除了存在下地壳倾斜相向反射，同时还存在上下地壳倾斜反射相交现象，洋壳内还疑似发育深大断裂，初步推测上下地壳倾斜反射相交现象与同岩浆断裂有关。

海盆南侧下地壳倾斜反射体分布范围有限，大体分布在以 C8-C9r 为中心的上下区域。下地壳倾斜反射虽强但倾斜长度短，反射只靠近 Moho 面，反射倾向优势不明显，疑似有相交现象。基底起伏大，基底深断裂和岩体侵入发育，断层切穿至上地壳。Moho 面起伏较北侧大，下地壳倾斜反射区下 Moho 面有 1s 抬升，上下存在 1s 距离的起伏，岩浆侵入区下 Moho 面有明显下降，初

步推测该区下地壳倾斜反射成因与岩浆的间隙侵入和基底断裂有关。

东部次海盆南北侧下地壳倾斜反射结构在不同部位、不同方向上都存在明显差异，这些下地壳倾斜反射的结构差异到底与那些控制因素相关？它又是如何响应洋壳增生过程的？这些谜团的解开还有待后续开展深入的研究工作。

因此，下一步工作拟基于最新采集的深反射多道地震剖面，结合重力、磁力等资料，系统厘清东部次海盆下地壳倾斜反射的时空展布，刻画其精细结构，然后利用数值模拟和物理模拟的相结合的方法，查明下地壳倾斜反射形成的主要控制因素，揭示其成因机制，构建其成因模式，探讨东部次海盆洋壳的增生过程。研究将有利于提高对全海盆洋壳增生过程的认识，对解读南海多期次海底扩张过程具有重要科学意义。

S35-O-12

南海西南缘走滑断裂带深部动力过程

姚永坚[1]，张健[2]*，董淼[3]，徐行[1]，朱荣伟[1]

1 广州海洋地质调查局，广州 510075

2 中国科学院大学，北京 100049

3 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

* zhangjian@ucas.ac.cn

南海西南缘走滑断裂带位于越东陆架与南海西部陆坡转换带，是重要的海陆构造边界。利用海底热流数据、地震剪切波层析模型、重力位场资料，本文计算分析了南海西缘南部的海底热流分布特征、壳幔热-流变结构、上地幔Vs低速层的温度-粘度特征、岩石圈底部流变边界层切向应力场、地幔软流层对流速度结构。结果表明：南海西缘南部的深部地热活动强烈,Qm/Qs>70%的地幔高热区呈北北东向条带状分布,南海西缘走滑断裂带东、西两侧在莫霍面深度对应两个粘滞系数在 1021~1022Pas 之间的低值区，南沙陆块之下是粘滞系数在 1024~1025Pa·s 之间的硬、冷块体。岩石圈地幔底部流变边界层北向、东向剪切应力分量τN、τE 随深度增大而减小，65km 深度，τN、τE 均大于 $5.5\times10^8 N/m^2$，100km 深度，τN、τE 均小于 $1\times10^8 N/m^2$。基于上地幔地震剪切波模型和重力大地水准模型拟合计算显示，120～250km 为 Vs 低速层，180km 深度的地幔平均温度达到 1300℃，平均有效粘滞系数接近 1018Pa·s，满足地幔物质部分熔融或对流迁移所需的温度、粘度条件。地幔对流计算结果显示，200km 深度平均流速 8.5cm/a，400km 深度平均流速 2.2cm/a。

S35-P-01S

Greenschist facies mylonite documenting the tectonic evolution of the South China Sea continental margin since the Mesozoic

Liheng Sun[1,2], Zhen Sun[1,2,3]*, Yunying Zhang[1], Zhongxian Zhao[1]*, Jianxin Zhao[4], Zhe Zhang[1,2], Longtao Sun[1], Xiaoxi Zhu[1,2]

1 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Innovation Academy of South China Sea Ecology and Environmental Engineering, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 511458, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 China-Pakistan Joint Research Center on Earth Sciences, CAS-HEC, Islamabad 45320, Pakistan

4 Radiogenic Isotope Facility, School of Earth and Environmental Sciences, The University of Queensland, Brisbane, QLD 4072, Australia

* zhensun@scsio.ac.cn, zxzhao@scsio.ac.cn

The transition from active to passive continental margin of the South China Sea (SCS) is usually inferred to occur in the Late Mesozoic to the Early Cenozoic, however, the specific time and processes for the transition are still unclear due to the lack of direct evidence. The International Ocean Discovery Program (IODP) site U1504 has sampled greenschist facies mylonite from the basement in the Outer Margin High of the northern SCS continental margin, which contains significant information regarding the Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the SCS region. Our previous work has found two episodes of extensional deformation in the mylonite, namely early ductile and later brittle deformation, but without age control. Here, we further identify in the greenschist facies mylonite three episodes of carbonate veins (pre-mylonite, syn-mylonite and post-mylonite) on basis of the intersecting relationship between the veins and the mylonite foliation. Then we select 10 carbonate samples for in situ U-Pb dating, and obtain three accurate ages. The pre-mylonite carbonate veins are dated to 210 ± 20 Ma and 195 ± 32 Ma, respectively, which might denote the age of the protolith clast. The age of the syn-mylonite carbonate vein is 135 ± 12 Ma. But for the post-mylonite carbonate veins, no effective age was obtained using U-Pb dating. The $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ and $^{87}Sr/^{86}Sr$ values suggest that the post-mylonite carbonate veins should be formed by hydrothermal fluid precipitation dominated by sea water. Therefore, we conjecture the post-mylonite carbonate veins to be of Late Eocene as the overlying Late Eocene bioclastic limestone. These dating ages of the three episodes of carbonate veins suggest that the mylonite records at least two main periods of continental extension in the SCS region since the Early Cretaceous. In reference to the Mesozoic tectonic settings, we infer that, due to the slap rollback of the subducting paleo-Pacific, the SCS continental margin started significant extension during the Early Cretaceous as shown by the ductile deformation of the mylonite. In the Early Cenozoic, the mylonite is exhumated to the seafloor along with further continental extension, and weak brittle deformation occurred in the mylonite. Therefore, the deformation in the mylonite clearly documented the transition from active to passive continental margin of the SCS, which improves our knowledge toward the tectonic evolution of the SCS continental margin.

S35-P-02S

珠江口盆地中西部陆缘张-裂过程与特征

曾程辉 [1,2]*, 孙珍 [1,3]*, 庞雄 [4]，郑金云 [4]，李洪博 [4]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
2 中国科学院大学，北京 100049
3 中国-巴基斯坦地球科学研究中心，中国科学院-巴基斯坦高等教育委员会，伊斯兰堡 45320
4 中海石油深海开发有限公司，深圳 518054
* chenghzeng@163.com, zhensun@scsio.ac.cn

大陆岩石圈张-破裂过程是板块构造理论的重要环节，该过程记录了大陆裂解与洋壳新生的地质现象，因此厘清该过程的特征与机制有助于完善岩石圈破裂理论并指导资源勘探实践。珠江口盆地中西部区域记录了西北次海盆打开前陆缘张-破裂过程，具备良好研究背景，但受限于地震数据资料的精密度，在陆缘结构、岩浆活动、洋盆打开模式等方面仍然具有争议。为探讨西北次海盆及其陆缘张-破裂演化过程，我们对最新

采集的与残留扩张脊正交的高分辨率深反射多道地震剖面进行综合解释，重点分析陆架-陆坡-洋陆过渡带-洋盆的构造样式、沉积充填、岩浆活动、地壳厚度变化等特征，结论如下：（1）珠江口盆地中西部陆缘从陆向洋方向发育多个伸展减薄区域，包括白云凹陷和南部隆起带，地壳厚度最薄处分别为9.4 km 和 6.1 km。白云凹陷伸展过程以发育大型铲式断层（张裂期最大活动速率达 175 m/Ma）和沉积较厚地层为特征；而南部隆起带伸展过程断层活动速率较低（张裂期最大活动速率为 34m/Ma）且沉积地层厚度较薄，并在张裂晚期发育岩浆侵入活动减弱岩石圈强度。我们认为从陆架向洋盆方向，上、下地壳减薄程度具有差异，白云凹陷以上地壳减薄为主，南部隆起带以下地壳减薄为主；（2）西北次海盆两侧洋陆过渡带沉积充填特征具有不对称性，表现为北侧洋陆过渡带宽缓，基底破碎层强烈伸展减薄且未发生旋转，而南侧洋陆过渡带狭窄，基底破碎层未经历强烈伸展减薄但发生逆时针旋转，并且南北两侧洋陆过渡带因伸展减薄造成的前积反射特征宽度分别约为 14.8 km 和 20.0 km。因此我们推测西北次海盆以简单剪切模式拉伸减薄，并且上盘发生逆时针旋转作用，最终岩浆刺穿强烈伸展减薄的地壳及基底破碎层导致岩石圈破裂，形成海底扩张中心。该认识明确提出了中度岩浆活跃陆缘的破裂方式，对未来南海西北部共轭陆缘 IODP 钻井选位提供相关依据。

S35-P-03S

南海白云-荔湾深水区扩张期岩浆活动特征及构造意义

朱筱曦[1,2,3]，孙珍[1,2,4]*，赵中贤[1,2,4]，卓海腾[5]，孙龙涛[1,2,3]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，广州 510301

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

3 中国科学院大学，北京 100049

4 中国-巴基斯坦地球科学研究中心，伊斯兰堡 45320

5 中山大学，珠海 519000

* zhensun@scsio.ac.cn

早期学者们对南海周缘及陆地岩浆活动的统计发现，新生代岩浆活动主要集中在海盆扩张前和扩张后，同扩张期间岩浆活动较弱，提出了扩张脊吸提作用可能制约了周缘同扩张期岩浆的分布。然而近期越来越多研究显示，南海深水区陆缘均不同程度发育同张裂期及同扩张期岩浆，其时空展布特征、岩浆活动量及活动机制存在较大争议。

我们选取三维反射数据质量较高且覆盖全面的珠江口盆地白云-荔湾深水区，对岩浆活动开展解释和岩浆量的统计工作。在钻井的约束下，综合运用反射特征和接触关系分析以及火山地层学方法，开展了 19 条二维反射地震资料解释，在此基础上对白云-荔湾凹陷沉积层中侵入和喷发的岩浆岩开展了系统研究，结果显示：（1）研究区自浅部到深部共识别出的一百余个火成岩体及与岩浆活动相关构造，含 3 相 11 亚相，3 相包括火山岩相、侵入相和气液相；（2）岩浆活动划分为三期 32-23.8 Ma、23.8-18.5 Ma 及 18.5-15.5 Ma，各期岩浆产生量逐期减少；（3）空间上，岩浆活动呈现东南多西北少、由南向北逐渐变新的趋势，且岩浆活动大多分布于周围隆起之上。

这些岩浆活动整体上受控于南海区域尺度的扩张活动，于 23.8 Ma 时，扩张脊南迁，研究区岩浆活动突然向北跃迁。同时晚期岩浆（<17 Ma）碱性程度升高，深部地幔物质含量升高。推测拉张-扩张早期上涌地幔物质可能受到脊吸作用的影响而导致其上涌头部向洋脊偏转，在扩张脊南迁后，脊吸作用变弱，部分上涌地幔向北回撤，从而导致 23.8Ma 之后岩浆活动向北跃迁。

S35-P-04S

南沙地块的地壳结构与伸展

减薄特征

张家岭[1,2]，吴招才[1,2]*

1 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* wuzc@sio.org.cn

南海作为西太平洋最大的边缘海，一直是国内外学者研究的热点。在先前的研究中，由于缺乏向海倾斜反射层和破裂时岩浆作用，人们经常将南海被动陆缘比作大西洋伊比利亚贫岩浆边缘的类似物。随着研究的深入和 IODP 的钻探的实施，人们发现南海破裂时存在着大量的岩浆作用，南海既不属于贫岩浆边缘亦不属于富岩浆边缘，而是一种“中间类型”。南海在中生代俯冲构造背景下通过板缘张裂而来，而不是类似于大西洋边缘的板内张裂，因此南海的地壳或岩石圈有着许多独特的构造特征。

由于靠近我国大陆，南海北部边缘已经进行了大量的地质地球物理调查，地壳结构特征已较为清晰。然而作为与北部边缘共轭的南沙地块，由于缺少 OBS 等资料，地壳深部结构信息尚不明确。本文利用公开发表的穿过南沙地块的 4 条 OBS 剖面和 1 条多道地震剖面，结合重、磁数据反演了南沙地块的地壳内部结构，建立了 5 条剖面的地壳结构模型，分析了南沙地块地壳结构与地壳减薄特征。研究结果显示：（1）南沙地块中地壳密度横向差异大。从东向西，地壳的减薄样式存在差异，具有不同的流变性质的地壳块体会影响地壳的减薄样式。（2）不同于全球其他张裂边缘，南沙地块显示出中地壳水平的石香肠化，这是由南海地区地壳的热—机械条件和继承性结构控制的。（3）南沙地块拆离断层近端陆倾，远端海倾，推测近端陆倾拆离断层在先前的继承性构造的影响下发育自地壳同时变形阶段，而远端海倾拆离断层受控于地壳破裂前的张裂加速阶段。

S36-O-01

东北亚早白垩世裂谷盆地演化与古西太平洋板块俯冲

孟庆任*

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室，北京 100029

* qrmeng@mail.iggcas.ac.cn

早白垩世裂谷盆地演化是东北亚晚中生代构造发展的一个重要部分，其形成和发展与古西太平洋板块俯冲存在密切的联系。东北亚大陆由两大地质单元组成：南部华北克拉通和北部中亚造山带。早白垩世裂谷盆地在不同区域显示迥异的火山-沉积序列。华北克拉通东部裂谷盆地下白垩统以碎屑岩沉积开始，然后过渡为火山岩/火山碎屑岩。如胶莱盆地下白垩统由下部莱阳群碎屑岩和上部青山群火山岩/火山碎屑岩构成；合肥盆地下白垩统由下部朱巷组碎屑岩和上部毛毯厂组火山岩/火山碎屑岩构成。在华北克拉通北缘，早白垩世裂谷盆地序列首先以火山岩/火山碎屑岩开始，然后过渡为碎屑岩。如滦平盆地下白垩统下部为张家口组火山岩/火山碎屑岩，向上过渡为西瓜园组和南店组碎屑岩；北票盆地下白垩统由下部义县组火山岩/火山碎屑岩向上过渡为九佛堂组碎屑岩；在中亚造山带区域，小型裂谷盆地群广泛发育，如海拉尔盆地、二连盆地以及东戈壁盆地等。这些盆地下白垩统的主体由碎屑岩组成，但火山岩/火山碎屑岩层序不同层位普遍出现。依据不同火山-沉积序列和构造环境，将东北亚早白垩世裂谷盆地划分为三种类型：位于华北克拉通东部的被动裂谷盆地、位于华北克拉通北缘的主动裂谷盆地、和位于中央造山带的宽裂谷盆地。被动裂谷的形成是受岩石圈水平伸展以及软流圈被动上涌过程的控制；主动裂谷则受控于软流圈热物质主动上涌和诱发的上部地壳伸展裂陷；宽裂谷盆地是造山带增厚地壳发生重力垮塌的结果。不同类型裂谷盆地在不同区域的发育显然受盆地基底构造属性和不同动力学机制的控制，但不同盆地

动力学过程应与东侧古西太平洋板块俯冲作用直接相关。东北亚大陆东侧晚中生代俯冲带可划分为南、北两段。南段位于华北克拉通东侧，北段位于中亚造山带的东侧，两者的过渡部位对应于华北克拉通北缘。提出的构造模型认为，早白垩世南部俯冲带不断向东后撤和俯冲板块回卷使得华北克拉通发生水平伸展，形成被动裂谷盆地。北部俯冲带位置相对稳定，造山带地壳重力垮塌则产生了大面积分布的宽裂谷盆地。由于古西太平洋板块在南、北俯冲带向东后撤速率不同，从而导致俯冲古西太平洋板块发生撕裂，产生近东西向延伸的垂向撕裂断层。撕裂断层向东和向上不断发展，造成软流圈物质沿撕裂断层上涌，不仅促发华北克拉通北缘发生大规模岩浆活动，而且导致火山活动由西向东逐步迁移。

S36-O-02

跨北太平洋早白垩世大地构造：欧亚大陆东部岩石圈伸展机制与动力学

刘俊来[1]*，倪金龙[2]，陈小宇[1]

1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室，北京 100083

2 山东科技大学地球科学与工程学院，青岛 266590

* jliu@cugb.edu.cn

大陆构造演化、再造与稳定性是当代地球科学的前沿命题，大陆在什么地方发生变形、发生怎样的变形以及为什么会发生变形，浅表板块相互作用与深部地幔过程的贡献等诸多问题，成为我们理解和认识大陆演变的重要方面，也是发展板块构造学的学科前缘方向。早白垩世时期在欧亚大陆东部发生了多阶段伸展及期间较弱的收缩反转，为认识大陆岩石圈再造与破坏提供了典型案例。

对于东亚早白垩世伸展构造的研究，结合与北美西部同期构造对比分析，发现欧亚大陆东部与北美大陆西缘晚中生代大地构造演化具有鲜明的反差。在欧亚大陆东部发育从晚侏罗世到早白垩世多阶段伸展构造，以贝加尔湖畔到俄罗斯远东、东北亚，从中国东北到华北、华南大于 3000×3000 km 的范围内广泛发育早白垩世多阶段伸展型构造-岩浆活动性为峰期。在贝加尔、兴蒙、松辽、胶辽、燕辽、大别-合肥-小秦岭和华南伸展构造省，广泛发育具有共性特点的伸展构造-岩浆组合，归咎于多阶段区域岩石圈伸展作用的结果。岩石圈伸展壳-幔拆离模型很好地解释了区域性岩石圈伸展构造的发育与相伴岩浆活动性及其不均匀性。与此同时，在北美大陆西部旋回性收缩型构造-岩浆过程，依次发育 Nevadan、Sevier 和 Laramide 造山作用，伴随着挤压型弧岩浆活动、弧后挤压组合、弧后区地表抬升及弧后前陆盆地演化，形成科迪勒拉造山带。

欧亚大陆东部受古太平洋板块俯冲影响可能追溯到晚三叠世晚期到早侏罗世，直到晚侏罗世时期一直具有安第斯型俯冲带特点。从晚侏罗世（~160 Ma）开始出现回退型俯冲（Retreating subduction），持续发育陆缘收缩与陆内伸展的分化，并于约 145~120 Ma 达到峰期陆内伸展，随后短暂微弱挤压反转后出现新一轮的岩石圈伸展（122-120 Ma 之后）。此间，始于约 180 Ma，北美大陆西缘 Farallon 板块的前进型俯冲（advancing subduction）形成的安第斯型俯冲带持续发展到早白垩世晚期甚至近现代。洋陆板块会聚速率、弧后挤压收缩及弧岩浆活动在约 160 Ma 达到峰期，与东亚地区回退相伴的晚侏罗世陆内伸展一致。与早白垩世早期（145~120 Ma）欧亚大陆东部区域岩石圈伸展相伴，北美大陆西缘出现岩浆宁静期并伴随大规模的走滑构造活动性。

晚中生代（尤其是早白垩世）时期以来，跨太平洋构造系统发生了相异但统一的大地构造过程，包括古太平洋板块与欧亚板块间的回退型俯冲及俯冲板块的回转、太平洋中脊的东向迁移以及 Farallon 板块与北美大陆间的前进型俯冲及俯冲板块俯冲角度减小。暗示太平洋及大陆下伏的地幔对流系统相对于两个大陆的东向迁移。板块间的相互

作用为陆缘构造-岩浆活动性提供了重要的动力学机制。建立了双层地幔对流模型，浅层地幔对流解释了板块相互作用，如洋中脊扩展、洋陆俯冲，以及洋陆会聚带及附近的构造过程，包括俯冲板块俯冲角度变化、沟弧系统发育与陆缘造山过程。深层地幔对流体现作为传送带，致使浅层地幔对流系相对东向迁移，并造成太平洋西侧的回退型俯冲、东侧前进型俯冲及洋脊的东向迁移，影响俯冲板块（深达过渡带）俯冲深度、产状与形态变化，并为欧亚大陆东部宽域（>3000 km）陆内伸展提供动力学条件。

S36-O-03

夏威夷-帝王岛链的脊-柱相互作用

孙卫东[1,2,3]*，张丽鹏[1,2]，孙赛军[1,2]，李聪颖[1,2]

1 中国科学院海洋大科学研究中心，中国科学院海洋研究所深海研究中心，青岛 266071
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266237
3 中国科学院大学，北京 100049
* weidongsun@qdio.ac.cn

夏威夷地幔柱形成了世界著名的夏威夷-帝王海山链，该海山链由 130 多个海山组成，长约 6000 千米。1963 年 Wilson 提出夏威夷-帝王岛链大拐弯是板块运动转向的结果，从此夏威夷帝王岛链成为板块构造理论和地幔柱假说的一个重要支点。50 多年过去了，夏威夷地幔柱一直是固体地球科学的研究热点。2003 年，Tarduno 等学者利用大洋钻探样品，获得了多个帝王岛链海山喷发时的古纬度，发现这些海山喷发位置逐渐南移，由此提出帝王岛链是由地幔柱移动和板片运动共同作用形成的，不是板块构造理论和地幔柱假说认为的“地幔柱不动，仅由板块运动而形成的”。这种观点对地幔柱假说和板块构造理论都提出了挑战，引起了广泛的关注。2019 年，Bono 等学者进一步提出，夏威夷-帝王岛链的大拐弯是地幔柱移动，而非板块运动的产物。

本文发现这种现象是地幔柱与洋脊相互作用的结果，地幔柱的主干并未移动，帝王岛链受到洋脊-地幔柱相互作用的影响。脊柱相互作用改变了部分海山的空间位置，并不能挑战地幔柱假说和板块构造理论。

大洋岩石圈底部存在数十千米的高程差，超过 100 百万年的大洋岩石圈厚度可以达到 90 千米左右，而扩张洋脊处岩石圈厚度仅为十几千米（孙卫东，2019），比地表的高程差大一个数量级。地幔柱物质流达到岩石圈底部后，会向扩张洋脊方向流动，即地幔柱-洋脊相互作用。孙卫东等（2021）发现利用帝王海山的年龄和距离获得的板块漂移速度与利用板块重建获得的太平洋板块漂移速度有很大的差异，说明海山的喷发位置相对于太平洋板块曾经有大幅度的迁移。

地球化学特征显示这些海山从 75-85 百万年前的梅吉、底特律海山的亏损特征，向南逐渐转为洋岛玄武岩的富集特征，梅吉和底特律海山受到了强烈的地幔柱与洋脊相互作用的影响。上述两个海山喷发的位置在洋脊上，即梅吉海山指示了太平洋与伊泽纳吉板块之间洋脊的展布方向。此后的海山受到洋脊的影响逐渐减弱。地球动力学模拟显示，地幔柱与洋脊的相互作用影响的距离可以达到 1000 千米。

S36-O-04

早白垩-渐新世西北太平洋俯冲：左行走滑与洋脊俯冲事件

刘恺[1]*，肖文交[2]，张进江[3]

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083
2 中国科学院新疆生态与地理研究所，乌鲁木齐 830011
3 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* k.liu@cugb.edu.cn

自中生代以来，(古)太平洋板块俯冲主导了东亚地区的构造变形、岩浆活动等深部圈层过程，塑造了地形地貌和季风气候等表生系统的基本格局。诸如华北克拉通破坏、重力梯度带形成等重大地质事件均与(古)太平洋俯冲关系密切。然而，长期以来，我国学者对于俯冲过程的研究只能借助于距离俯冲带较远的岩浆和变形记录，而大洋俯冲的最直接证据——增生杂岩则主要保存在俄罗斯远东和日本列岛。因此，本文选择毗邻黑龙江省的锡霍特-阿林增生杂岩带为研究对象，通过杂岩中的砂岩进行碎屑锆石年代学研究，以期获得东北亚陆缘的物源-沉积系统演化过程及其与构造运动的关系;同时，通过近些年发表的整个区域上岩浆岩数据和构造解析结果，全面理解东北亚陆缘从晚白垩世Izanagi(伊泽纳崎)板块俯冲到始新世以后 Pacific(太平洋)板块俯冲的转换过程。获得的主要认识如下。

通过对锡霍特-阿林造山带中部剖面的砂岩碎屑锆石 U-Pb 定年，结合已发表的南部、北部剖面数据，建立了对整个增生杂岩带的物源认识。结果表明，在晚侏罗-早白垩世时期，东北亚地区存在两个具有明显差别的物源-沉积区：1)中亚造山带及布列亚-佳木斯-兴凯地块为源区，弧前盆地、海沟为沉积区，特征碎屑锆石峰值为 500 Ma，且缺失或含有少量前寒武纪年龄;2)华北克拉通和朝鲜半岛为源区，其弧前盆地和海沟为沉积区，沉积物中包含大量前寒武纪物质(以 1.8 和 2.5 Ga 为特征峰值)，且缺失 500 Ma 左右年龄。在 Izanagi 板块向 N 或 NNW 方向的俯冲下，以中锡霍特-阿林断裂带为代表的左行走滑断裂将这些沉积单元错段、向北运移，导致了这两种具有截然不同物源特征的地体并置于现今的锡霍特-阿林地区。

通过综述锡霍特-阿林地区、朝鲜半岛、我国东北地区、日本群岛等地区的岩浆岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学数据、古地磁数据、古生物数据和构造调查数据等，建立了 Izanagi-Pacific 洋中脊在新生代早期近平行于陆缘俯冲的构造演化过程。晚白垩世时期，Izanagi 保持了前期的俯冲方向，左行走滑断裂仍然活动，同时，从锡霍特-阿林到日本的广大区域内，大陆弧岩浆源区以古老大陆基底为主，多 I-和 S-型花岗岩类;古新世时期，一些 Izanagi-Pacific 洋中脊段及转换断层到达并近平行于陆缘的角度开始俯冲，导致了一些小规模的板片窗的发育，诱发局部软流圈上涌。这一时期的弧岩浆开始出现亏损的特征，且局部发育 A 型花岗岩，出现一些伸展构造，如锡霍特-阿林地区，古火山机构沿 E-W 向与中锡霍特-阿林断裂大角度相交;始新世早期，整个 Izanagi-Pacific 洋中脊俯冲于东北亚大陆边缘之下，形成大规模板片窗和大范围的软流圈上涌，导致整个区域弧岩浆的中断，且导致整个陆缘应力状态转为近垂直于海沟方向的伸展;始新世中期-渐新世时期，伊泽纳崎板块完全俯冲，太平洋板块的俯冲开始，重启该地区的陆缘弧，且呈现明显亏损的特征。由于太平洋板块向西俯冲，陆缘 NE 和 NNE 向的走滑断裂在这一时期转变为右行。

S36-O-05

西北太平洋俯冲带地幔结构的成像新认识

吕彦 [1,2,4]*，李娟 [1,2,4]，刘丽军 [3]，赵连锋 [1,2,4]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，地球与行星物理院重点实验室，北京 100029
2 中国科学院地球科学研究院，北京 100029
3 美国伊利诺伊大学厄巴纳香槟分校，厄巴纳 61801
4 中国科学院大学，北京 100049
* lvyan@mail.iggcas.ac.cn

西北太平洋地区在新生代期间经历了广泛的构造变形，是研究板块相互作用动力学过程的重要区域。太平洋板块和菲律宾海板块在鄂霍次克板块和欧亚板块下俯冲，形成边缘海、扩张带和广泛分布的岛弧。然而，

由于数据和方法的限制，该区域已有的层析成像结果仍然缺乏共识，了解西北太平洋地区的地球动力学特征是一项具有挑战性的课题。

本研究使用发展的地震波速度与各向异性层析成像方法，得到了西北太平洋地区地幔顶部高精度的 Pn 波速度和各向异性图像，获得了较前人明显不同的成像新发现，给出了西北太平洋俯冲带地区新的地幔顶部结构及动力学模型。研究揭示了日本海盆下方的低速异常，其空间范围与 15 Ma 前停止扩张的洋壳分布区域相对应。结果表明 30–15 Ma 的年轻洋壳以下地幔顶部的 P 波速度比正常波速低 4%–5%，这为研究洋中脊两侧地震波速度变化提供了新的地震学证据。结果显示，日本海其它区域的地幔顶部速度并不低，前人成像结果中日本以西大尺度的低速图像应是其它方法相对低的成像分辨率造成的。高精度的成像结果还发现长白山、镜泊湖火山下方地幔热物质在地幔顶部是分股上涌的，这是前人成像结果所未能反映的精细结构，从而为东北板内火山区深部动力学过程提供了新的地震学观测。Pn 各向异性为研究该地区的动态演化提供了新的视角，弧下的沟槽平行各向异性和弧后区域的沟槽垂直各向异性显示了板片俯冲对地幔结构的主导作用。

本研究得到的地幔顶部高精度速度与各向异性结构描述了会聚板块边界附近的复杂动力学过程，给出了西北太平洋俯冲带地区新的地幔顶部结构及动力学模型，也展示了发展的 Pn 波速度与各向异性成像方法的独特优势。

S36-O-06

古太平洋板块早侏罗世-早白垩世早期俯冲演化历史：来自东北中生代火成岩及陆缘增生杂岩的制约

李宇[1]*，许文良[2]，王枫[2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

2 吉林大学地球科学学院，长春 130061

* liyu19900821@126.com

古太平洋板块俯冲作用对于中国东部中-新生代重大地质事件，如华北克拉通破坏、华南大陆再造过程、东北地壳增生与再造以及大规模金属和非金属矿产资源的形成均起到了关键作用（Yang et al., 2008; Wu et al., 2011; Zhu et al., 2012; Xu et al., 2013; 李三忠等, 2013; 郭峰, 2016）。目前对于该板块的研究主要集中在俯冲起始时间及其俯冲演化历史问题上。此外，古太平洋板块晚侏罗世-早白垩世早期的构造演化历史的研究相对薄弱，主要原因在于东北亚陆缘缺少该期次岩浆作用。对古太平洋板块俯冲起始时间以及俯冲演化历史最好的制约应来自陆缘弧岩浆作用以及与俯冲作用直接相关的增生杂岩。

东北地区位于中亚造山带的东段，本文通过该区中生代火成岩的时空变异特征，并结合陆缘增生杂岩的增生、就位历史，共同揭示古太平洋板块早侏罗世-早白垩世早期的演化历史。佳木斯地块东缘以及兴凯地块早侏罗世火成岩为一套钙碱性系列岩石组合，与早侏罗世黑龙江增生杂岩一起揭示了古太平洋大洋板块向欧亚大陆下的俯冲作用起始于早侏罗世（Wu et al., 2007; Xu et al., 2013; Guo et al., 2015; Tang et al., 2018）。

此外，本文对俄罗斯远东哈巴杂岩碎屑锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素研究的基础上，系统总结了东北亚陆缘侏罗纪增生杂岩中碎屑岩锆石 U-Pb 定年结果和 Hf 同位素组成，并与陆缘区同时代中生代地层碎屑锆石 U-Pb 年龄对比，同时结合生物地层学和古地磁证据，重建了晚侏罗世-早白垩世东北亚陆缘构造演化历史。侏罗纪增生杂岩（包括饶河杂岩、哈巴杂岩和美侬杂岩等）中陆缘碎屑岩的碎屑锆石物源主要来源于华南板块的东北缘，而早白垩世早期沉积物质来源于中亚造山带东部，主要来自于布列亚、佳木斯以及兴凯地块。饶河增生杂岩被

未变形的花岗岩所穿切，花岗岩的形成年龄为 130 Ma（Zhou et al., 2014），表明了饶河增生杂岩的最终就位时间为 137-130 Ma 之间。

上述研究成果揭示了古太平洋板块在欧亚大陆下早侏罗世的初始俯冲、晚侏罗世-早白垩世早期构造走滑以及早白垩世西向俯冲的演化历史。

S36-O-07

华南晚中生代周期性伸展与太平洋俯冲带演化

褚杨 [1]*，林伟 [1,2]，Faure Michel[3]，冯振天 [1,2]

1 岩石圈演化国家重点实验室，中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029
2 中国科学院大学，北京 100049
3 法国奥尔良大学，奥尔良 45071
4 英国杜伦大学，杜伦 DH1 3LE
* chuyang@mail.iggcas.ac.cn

晚中生代，古太平洋（伊泽纳崎）板片向欧亚板块东缘之下俯冲，形成了广阔的弧后构造系统，发育了众多伸展盆地和巨量的火山活动。华南板块见证了弧后演化的整个阶段，通过广泛发育的伸展构造协调了岩石圈的伸展作用。在华南板块内部，越城岭地块的经历了白垩纪伸展过程，在其西侧发育了一条大型低角度拆离断层——资源断裂，以及中部的一条高角度韧性正断层——天湖断裂。两条断裂均记录了上部指向西的韧性剪切作用，但是对应了不同的两阶段伸展作用。早期伸展发育在 140-120 Ma，变形主要集中在东侧的天湖断裂，构造变形的温度约在 350 度，而此时西侧资源断裂并未记录显著的构造作用。晚期构造发生在 100-85 Ma，主要集中在资源断裂，表现为透入性中高温韧性变形（400-500 度）和快速的构造隆升；这一时期天湖断裂仅经历了低温脆性变形的叠加。纵观整个华南板块，两阶段伸展作用广泛的记录于其他伸展构造之中，并且对应了华南东缘的岩浆爆发，揭示了古太平洋板块俯冲角度的周期性变化。综合对比华南板块之上两期挤压构造，我们获得了华南晚中生代挤压-伸展构造的两个周期：155-120 Ma 和 120-85 Ma。这种周期性演化可以通过俯冲角度变化和地壳增厚-拆沉共同控制来解释，而周期性伸展作用可能是导致华南早中生代陆内造山形成的造山高原最终垮塌的决定性因素。

S36-O-08

古太平洋板块俯冲与长江中下游中生代岩浆作用

陈龙 [1,2]*，郑永飞 [2]，赵子福 [2]

1 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室，青岛 266100
2 中国科学技术大学地球和空间科学学院，合肥 230026
* chenlong@ouc.edu.cn, lbkong@ustc.edu.cn

由高钾钙碱性侵入体和橄榄玄粗质火山岩组成，有时伴有 A 型花岗岩的特征岩石组合在古汇聚板块边缘很常见。尽管这一岩石组合中的镁铁质火成岩显示出弧型地球化学特征，它们与大洋板块俯冲的成因联系通常被忽视，因为它们的产出位置通常离当时的大洋俯冲带很远。本文通过对长江中下游地区中生代火成岩的综合研究，探讨了这些陆内弧型岩浆岩的成因机制问题。长江中下游地区中生代岩浆作用始于辉长岩-花岗岩等高钾钙碱性侵入岩以及少量煌斑岩；之后产出镁铁质到长英质的橄榄玄粗质火山岩及次火山岩和稍年轻的 A 型花岗岩。该地区所有镁铁质火成岩的微量元素均呈典型的弧型分布，富集大离子亲石元素，亏损高场强元素。高钾钙碱性侵入体的 Sr-Nd-Hf 同位素组成一般比橄榄玄粗质火山岩/次火山岩和 A 型花岗岩更富集，但三者之间有明显重叠。虽然富集程度较弱的岩石的 Sr-Nd 同位素组成与江南造山带产出的新元古代大陆弧岩石非常类似，Sr-Nd 同位素更为富集

的岩石的形成过程则涉及了更为古老和富集的地壳组分。因此，中生代镁铁质火成岩的地幔源区可能是先前大洋俯冲带地幔楔交代作用产生的，而这一交代作用很可能与新元古代华夏大洋板块俯冲于扬子克拉通之下有关。我们的研究还发现，随着时间的推移，镁铁质橄榄玄粗岩的 K_2O/Na_2O 比值逐渐降低，与之相伴的是它们 Rb/Sr 比值的降低和 $\varepsilon_{Nd}(t)$值的增加。这种成分变化表明，它们的地幔源区从含有金云母的、富集程度更高的岩石圈地幔逐渐转变为含有角闪石的、富集程度更低的岩石圈地幔。此外，从长英质高钾钙碱性岩到长英质橄榄玄粗岩，再到 A 型花岗岩，它们的 Sr/Y 和$(La/Yb)_N$比值出现规律性的降低，Y 和 Yb 含量对应升高。这些系统成分变化表明，随着时间的推移，长英质岩石的地壳源区从更为古陆的深部地壳逐渐过渡为更为年轻的浅部地壳。因此，不同成分的火成岩记录了古汇聚板块边缘弧型岩石的岩性和地球化学成分随时间和空间的转变，而这一转变反映了新元古代造山岩石圈在中生代的伸展、减薄及最终破坏过程。另外，镁铁质岩浆作用从西南向东北系统变年轻的规律表明，这一造山带破坏过程是平俯冲的古太平洋板块向东北回卷诱发软流圈上涌流引起的。因此，古汇聚板块边缘岩石圈发生伸展减薄作用是形成大陆内部具有弧型特征的独特岩石组合的根本原因。

S36-O-09

平板俯冲后的板片拆沉与板片后撤：华南中生代构造岩浆作用对古太平洋板块俯冲的响应

戴黎明[1,2]*，王亮亮[1,2]，楼达[3]，李忠海[4]，董昊[1,2]，马芳芳[1,2]，李法坤[1,2]，李三忠[1,2]*，于胜尧[1,2]

1 深海圈层与地球系统前沿科学中心，海底科学与探测技术教育部重点实验室，中国海洋大学，海洋高等研究院和海洋地球科学学院，青岛 266100

2 青岛海洋科学与技术国家实验室,海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266100

3 大港油田中国石油天然气集团公司，天津 300280

4 中国科学院大学地球与行星科学学院计算地球动力学重点实验室，北京 100081

* dlming@ouc.edu.cn

越来越多的证据表明，华南地块广泛发育的中生代褶皱和岩浆活动归因于古太平洋板块（PPP）的平板俯冲和随后的陡俯冲。然而，从平板俯冲到陡俯冲过渡的动力学机制，以及构造过程与地表变形和岩浆事件之间的关系，都没有得到很好的制约。我们利用二维热力学数值模型，系统地研究了俯冲洋底高原榴辉岩化后板片后撤或拆沉对地表地形、构造变形和岩浆活动的影响。结果表明，洋底高原的俯冲驱动了板块的俯冲，进而导致了一条宽阔的逆冲断裂带的发育、隆起和岩浆活动的前陆和前陆盆地沉降。由于受到俯冲速率和洋底高原榴辉岩形成时间的控制，该模式进一步复杂化，经过板块回卷或拆沉，从平板俯冲过渡到陡俯冲。数值结果与华南地区地质资料的对比表明，板片拆沉模式再现了华南中生代的区域演化。根据我们的模型，我们认为在板块俯冲过程中的榴辉岩化过程不是瞬时的，而至少需要18Myr，俯冲的洋底高原才能达到理想相变条件。

S36-O-10

南海北部盆地基底特征及对华南大陆东南缘中生代构造性质的启示

崔宇驰[1,2]*，邵磊[1]，李正祥[2]，朱伟林[1]，乔培军[1]

1 同济大学，上海，中国 200092

2 科廷大学，珀斯，澳大利亚，GPO Box U1987

* cuiyuchi@tongji.edu.cn

南海北部基底是新生代盆地发育演化的物质基础。现有研究依据地球物理资料，认为盆地基底以一系列南北向断裂为界，整体呈现“东西分块、南北分带”的特点。然而，由于缺少准确系统的定年约束，其构造分区始终存在争议。为了准确揭示基底岩石类型、组成特征及地质年代，本文在钻井样品标定的基础上，结合重磁震联合反演技术，应用锆石 U-Pb 年代学、元素地球化学和岩石矿物学等分析方法开展研究。研究结果显示，南海北部基底年龄主要为中生代，东部广泛发育侏罗-白垩世花岗岩侵入体，西部以中生代变质沉积岩及少量花岗岩为主，仅在红河断裂带西侧发现前寒武变质黑云母花岗岩。相应的，南海基底东部变质程度较低、变质带范围较窄，西部变质程度则较高、变质带范围较宽，同时，伴随距离中生代板块俯冲带位置不同，岩石变质程度差异明显。三叠纪末中南半岛与华南大陆曾发生一系列大规模的俯冲、陆-陆碰撞及拼合过程，在南海最西侧地区形成了变质程度较深、分布较广的缝合带，海南岛及其西侧的前寒武变质花岗岩极有可能为来自冈瓦纳大陆的古老地块物质，被卷入板块俯冲带中。到中生代末期，古太平洋板块与华南大陆发生俯冲碰撞，在南海北部形成了一条变质程度相对较浅、分布狭窄的北东-南西向变质带。因此，南海新生代沉积盆地是在中生代大陆边缘俯冲增生产物基础上形成的。本研究成果对系统探讨南海北部基底的分布规律、揭示新生代南海扩张前欧亚大陆东南缘的岩浆活动及构造演化具有重要意义。

S36-O-11

西太平洋卡罗琳洋底高原俯冲系统的构造演化

董冬冬[1,2]*，张正一[1,2]，张广旭[1,2]

1 中国科学院海洋地质与环境重点实验室，海洋研究所，青岛 266071

2 中国科学院海洋大科学研究中心，青岛 266071

* dongdongdong@qdio.ac.cn

洋底高原的裂解是海底扩张的重要方式之一（Taylor, 2006; Campbell, 2007），但受限于观测数据，洋底高原早期张裂模式的研究实例非常缺乏。卡罗琳洋底高原（Caroline Plateau）发育在西太平洋雅浦俯冲系统的俯冲板片内部，又被称为 Caroline 洋脊，普遍被认为形成于晚渐新世的热点活动，洋底高原西侧与雅浦海沟相接触，海沟正在发生极慢的板块汇聚作用。中部发育的索罗尔海槽将洋底高原分为南北两部分，海槽发育时间持续较短，较好保存了洋底高原早期的裂解形态，为研究洋底高原裂解早期阶段的结构与演化模式提供了难得的“天然实验室”。

2015-2017 年，中国科学院海洋研究所的“科学”号考察船对 Caroline 海域开展了综合地质与地球物理调查，获得丰富的地震剖面，进而开展了区域构造演化的相关研究（Dong et al., 2018；Zhang et al., 2021a, b）。横跨索罗尔海槽的地震剖面揭示卡罗琳洋底高原发育两条广泛分布的强反射界面-R1 和 R2。R2 界面上部发育近水平的沉积地层，下部识别出壳内反射，推测为水平层状玄武岩流。R2 基底反射对应于卡罗琳洋底高原形成初期的热穹隆作用和熔岩流顶面。在高原上覆沉积物内部，发育区域性强反射面 R1，在裂谷肩部地层内，R1 与下伏地层呈明显的角度不整合接触，并可追踪至海槽内最老的沉积地层内，分析认为该反射指示了洋底高原的张裂过程。综上，我们提出了卡罗琳洋底高原的早期演化模式：初始裂解发生于早-中中新世，远场应力与地幔柱热效应等多种因素共同控制了卡罗琳洋底高原的初始张裂过程。

卡罗琳洋底高原与雅浦海沟的俯冲碰撞过程中发育复杂的断裂系统，地震剖面研究发现，洋底高原形成以来该区主要发育两组断裂：近海沟的~N30°E 向挠曲断裂以及洋底高原上~N65°W 向的裂谷断裂。先存的裂谷断裂强烈降低了卡罗琳洋底高原的屈

服强度，而北部发育的断裂比南部更加密集，因而北部更容易在进入俯冲带时发育挠曲断裂，从而形成了北宽南窄的挠曲断裂带。因此，先存断裂的存在强烈影响了板片俯冲过程中挠曲断裂带的发育过程。

S36-O-12

大洋高原在俯冲带重组中的作用：二维热-力学模拟

颜智勇[1]，陈林[2]*，孟庆任[2]，万博[2]，熊熊[3]，许厚泽[4]

1 华中科技大学，武汉 430074
2 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029
3 中国地质大学(武汉)，武汉 430074
4 中国科学院测量与地球物理研究所，武汉 430077
* chenlin@mail.iggcas.ac.cn

大洋高原是地幔柱减压熔融的产物，相对于正常的大洋岩石圈而言，大洋高原的地幔根具有强流变学且组分化学亏损的特征（Kerr, 2014）。作为现代大洋岩石圈的重要组成部分，大洋高原的俯冲对俯冲带动力学系统具有重要改造作用，也是大陆地壳生长的重要来源(Conice 和 Kröner, 2013)。增厚的玄武岩洋壳和熔体亏损的地幔根具有浮力性质，使得大洋高原具有抵抗俯冲的能力并具有在大洋高原后面引发新俯冲带的潜力。前人研究主要集中探讨了大洋高原的增厚地壳及其性质的对俯冲和增生影响（Tetreault 和 Buiter, 2012），但对于大洋高原地幔根在俯冲带动力学中的作用缺乏讨论。

我们采用二维热-力学模拟方法（I2VIS; Gerya 和 Yuen, 2003），研究了大洋高原在俯冲带重组中的作用，特别是针对大洋高原地幔岩石圈的性质。参考模型设计宽度为 4000 km，深度为 1000 km，由 2500 km 宽的俯冲大洋板块和 1500 km 宽的大陆岩石圈板块组成，其中洋壳厚 8 km，陆壳厚 45 km，岩石圈底界面温度为 1300 ℃，模型底部边界为渗透性边界条件，其他边界均为自由滑动速度边界条件，大洋和大陆均具有 5 cm/yr 的汇聚速度，一个距离海沟 450 km 远的大洋高原处于大洋板块内部。系统地测试了大洋高原地幔岩石圈的流变强度和组分密度，以及大洋高原的规模对俯冲形态的影响。结果显示：不同的大洋高原规模以及其地幔岩石圈的性质，模型表现出三种不同的俯冲模式：陡俯冲、平板俯冲和俯冲带跃迁。当一个中等规模(≥300 km)大洋高原的地幔岩石圈具有高流变强度和密度亏损的特性时，它更能抵抗俯冲作用，阻塞于海沟处并增生在大陆边缘，进而形成俯冲带跃迁；而同样具有高程度密度亏损的大洋高原地幔岩石圈，当其流变强度相对较弱时，模型更倾向于形成平板俯冲。相反，较低流变强度的大洋高原或小规模(150 km)的大洋高原，其本身不足以抵抗俯冲，发生陡俯冲。

Niu 等人（2015）通过对中国东部大陆中生代花岗岩的时空分布的分析认为东海和南海下方的大陆架基底可能来源于大洋高原或微陆块的碰撞和增生。这与我们模型预测的俯冲跃迁模式一致，我们的模型结果为理解中生代以来西太平洋及中国东部的构造演化提供了启示。

S36-P-01S

中美洲俯冲带南段上覆板块沉积物化学组分及其地质意义

赵仁杰[1,2]，鄢全树[1,2,3]*, 石学法[1,3]

1 自然资源部第一海洋研究所 海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061
2 山东科技大学 地球科学与工程学院，青岛 266590
3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061
* yanquanshu@163.com

在剥蚀型汇聚板块边缘，俯冲输入板块

剥蚀上覆板块并将剥蚀物质带入俯冲隧道，随后，这些剥蚀物质与俯冲板块物质一同参与了俯冲带浅部与深部地幔的地球化学循环(von Huene and Scholl, 1991; Straub et al., 2020)。构造地质学和地球物理研究显示中美洲俯冲带南段是典型的俯冲剥蚀型汇聚板块边缘，这为研究本区上覆板块俯冲剥蚀物质是否参与俯冲带物质循环过程提供了天然的实验室(Vannucchi et al., 2013)。由于目前仍然缺乏对该俯冲剥蚀机制的地球化学制约，综合大洋钻探计划(IODP)344 航次对中美洲俯冲带南部哥斯达黎加西部的俯冲板块和上覆板块开展了钻探工作，并获取了系统的岩芯样品(Harris et al., 2013; 李永祥等，2013)。本文对 IODP344 航次取自上覆板块中陆坡和上陆坡的 U1380 和 U1413 站位中沉积物中的粗碎屑层位样品，开展了系统的主、微量元素与 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素地球化学研究。这些沉积物粗碎屑层位组分与加勒比大火成岩省基底相似，指示它们可能来自加勒比大火成岩基底在弧前出露的区域，可以代表上覆板块基底被俯冲剥蚀的物质组成。研究进一步探讨了晚中新世中美洲俯冲带南部大陆弧火山岩的成因，并指出上覆板块底部被剥蚀物质参与了中美洲俯冲带南部大陆弧火山岩岩浆过程，这为中美洲俯冲带南部存在俯冲剥蚀过程提供了直接地质学证据。并指出自晚中新世以来，巴拿马三联点向东南的迁移引起中美洲俯冲带南部弧前大量的俯冲剥蚀，可能导致俯冲剥蚀物质、海山及俯冲沉积物共同进入了大陆弧地幔源区。

S36-P-02S

幔源岩浆的多期侵位及其浅表响应：二维热-力学模拟

崔晓娜[1,2,3]*，陈林[1,2,3]

1 岩石圈演化国家重点实验室，中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

2 中国科学院地球科学研究院，北京 100029

3 地球与行星科学学院，中国科学院大学，北京 100049

* 13582140657@163.com

岩浆作用是地球内部能量和物质向浅表传输的一种重要过程，一方面，火山喷发导致火山碎屑流、火山熔岩流、泥石流、山崩、地震、海啸等灾害，另一方面，大多数金属矿产的形成均与火山活动有关。因此，研究岩浆如何从深部上涌至地表的过程，具有重要的现实意义。地质研究发现，地表出露的岩浆从岩石类型的角度主要包括壳源的花岗岩和幔源的玄武岩两类，并且呈现岩浆多期补给（Liu et al., 2021）、岩浆房多次聚集（Gao et al., 2020；Li et al., 2020）的特征。前人已进行了大量数值模拟研究，例如，Gerya 等（2007）模拟了单期幔源岩浆在地壳的传播过程，强调了岩浆上涌和冷却导致的地壳变形；Schubert 等（2013）模拟了铁镁质岩浆注入预设长英质岩浆房的过程，发现了幔源岩浆和地壳流变对壳源岩浆上涌的促进作用；Cao 等（2016）发展多期脉冲模拟了壳源岩浆的上涌过程，分析了岩墙和底辟在岩浆垂向传播过程中的相互作用。然而，来自地幔深部的多期岩浆在地壳中如何侵位的过程及其浅表响应仍不清楚。

为了开展幔源岩浆多期侵位的动力学过程及其浅表响应的研究，在这里我们利用岩石-热-力学耦合程序 I2ELVIS（Gerya，2019）进行模拟。该方法结合了有限差分和 Marker-in-cell 技术，同时考虑了岩石的黏弹塑性流变和相变，适合模拟岩浆上涌的动力学过程。我们通过设定多次脉冲以一定的周期在岩石圈底部放置新的岩浆房，通过设定地壳的屈服强度控制地壳流变，通过设定岩浆的密度和粘度限定岩浆的上升速度。重点测试脉冲周期、岩浆特性、地壳围岩物性等参数对岩浆上涌过程的影响。初步的模拟结果表明：（1）多期脉冲的岩浆周期与岩浆混合有一定关系，目前测试的模型中岩浆房持续的岩浆脉冲补给，地表的岩浆出露偏向一侧，在重力加载的作用下板片下沉；过长的脉冲时间间隔会导致软流圈的减压熔融、下地壳熔融、岩石圈干橄榄熔融，并且发生

以上岩浆的混合。（2）岩浆与围岩的密度对比与岩浆上升的速度呈现正相关关系，密度对比越明显，负浮力越大，岩浆上升速度越快。以上结果表明岩浆周期和岩浆密度对熔融混合过程具有较大的影响，下一步我们将测试地壳流变和岩浆粘度的影响。中国东北广泛发育晚新生代玄武岩，并呈现明显的时间序列和空间分布特征，未来我们打算将模拟结果用于探讨东北晚新生代玄武岩的成因机制。

S36-P-03S

大陆变质核杂岩的形成与大洋板块俯冲：二维热-力学数值模拟

唐嘉萱[1,2,3]，陈林[1,2]*，孟庆任[1,2,3]，林伟[1,2,3]

1 岩石圈演化国家重点实验室，中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029
2 中国科学院地球科学研究院，北京 100029
3 地球与行星科学学院，中国科学院大学，北京 100049
* chenlin@mail.iggcas.ac.cn

根据岩石圈的流变学特点，Buck (1991)将大陆岩石圈伸展模式划分为窄裂谷、宽裂谷和变质核杂岩三种，而其中变质核杂岩被认为是地壳厚度较厚(约为 60 km)、地表热流值非常高(100 mW/m^2)的宽裂谷中的一种独特的表现形式。变质核杂岩广泛发育于大陆内部，如北美科迪勒拉古近纪的变质核杂岩、爱琴海地区晚中新世的变质核杂岩（Whitney et al., 2013）以及东亚地区早白垩世的变质核杂岩（Lin & Wei, 2020）等。变质核杂岩可出现在不同的地球动力学背景下，例如科迪勒拉变质核杂岩的形成与Sevier-Laramide 造山后的重力垮塌有关（Coney & Harms, 1984）；爱琴海地区变质核杂岩的形成归因于Hellenic板块俯冲后撤（Angelier et al., 1982）。华北克拉通变质核杂岩形成的地球动力学机制目前还存在诸多争议，如与造山后的重力垮塌有关（Meng et al., 2003; Wang et al., 2012），与NW向俯冲的古太平洋板块的回撤有关（Zhu et al., 2015），或是古太平洋板块俯冲诱发的岩石圈拆沉的结果（Lin & Wei, 2020）。俯冲板块回撤会造成上覆大陆岩石圈伸展的观点已被广为接受。然而，目前对板块回撤对陆内伸展范围以及伸展变形的控制作用还了解甚少。另外，与变质核杂岩成因相关的数值模拟目前主要为单向或者双向的简单拉伸模型（Tirel et al., 2008; Rey et al., 2009），缺少考虑在大洋板块俯冲背景下大陆伸展变形（Wang et al., 2015）。我们借助二维热-力学数值模拟，利用有限差分方法和粒子标记技术相结合的 I2VIS 程序（Gerya & Yuen, 2003），研究大洋板块俯冲过程中大陆内部的变形情况。通过在上覆大陆内部设置初始的薄弱带，探究大陆内部伸展构造演化过程。模拟结果显示：（1）在大洋板块俯冲过程中，上覆大陆岩石圈能从挤压环境转换为伸展环境，并且在弧后地区形成变质核杂岩和裂谷盆地；（2）大陆岩石圈的温度和下地壳的粘度明显控制变质核杂岩的形成。高温岩石圈以及低粘度的下地壳有利于变质核杂岩的形成，并且在变质核杂岩发育区形成平坦的 Moho 面；（3）岩石圈地幔的强度影响变质核杂岩形成的起始时间。若大陆岩石圈的强度西强东弱，虽东、西部均能发育变质核杂岩，但东部变质核杂岩形成的时间较早。大洋板块后撤作用可导致岩石圈形成西厚东薄的剖面形态；（4）大陆内部先存的薄弱带有利于发育变质核杂岩发育，没有薄弱带的大陆在俯冲过程中仅在边缘地区发生地形沉降或形成穹隆。模拟结果显示，古太平洋板块回撤可能是东亚晚中生代变质核杂岩形成的重要动力源之一，并导致广泛的伸展构造环境。华北克拉通岩石圈西强东弱，晚中生代古太平洋板块回撤作用使得其东部岩石圈强烈拉张减薄，并形成广泛分布的早白垩世变质核杂岩。

S36-P-04S

双差层析成像反演阿拉斯加地区地壳上地幔速度结构

周少贤，薛梅*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* meixue@tongji.edu.cn

阿拉斯加地区由不同地质时期的地体向北增生而成，经历了广泛的内部变形和不同程度的变质作用，地质构造复杂。本文使用 Array Network Facility（ANF）网站提供的阿拉斯加附近地区 345 个台站记录的 5638 个地震事件、229007 条初至 P 波、59835 条初至 S 波震相数据，采用区域双差地震层析成像方法对该区地壳和上地幔三维速度结构与地震震源位置进行联合反演，得到了高分辨率的三维 Vp 模型，分析了该区的俯冲带结构、中部 Yakutat 板块形态特征及 Denali 火山空区成因、东部板块边缘与 Wrangell 火山区的关系。研究结果表明阿拉斯加西部为太平洋板块的正常俯冲，俯冲板块脱水降低了上方岩石的熔点并触发部分熔融，在地表形成阿留申火山岛链；中部 Yakutat 的浅角度俯冲引起地壳增厚和 Chugach 山脉隆升并形成 Denali 火山空区，火山空区与 Yakutat 地体冷却使产生的熔体减少和厚地壳压应力增加抑制岩浆上升的双重作用有关；Yakutat 板块在其东部边缘垂直俯冲，Wrangell 火山下方未见俯冲板片，Yakutat 板片边缘的环形地幔流相关的上升流提供了 Wrangell 火山区的岩浆来源。

S36-P-05S

塔里木地幔柱差异强化及其周缘变形控制：二维热-力学模拟

向宵[1]*，陈林[1]，陈汉林[2]，徐曦[2,3]，林秀斌[2]，颜智勇[1,4]，唐嘉萱[1]，崔晓娜[1]，卢少康[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

2 浙江大学地球科学学院，杭州 310027

3 中国自然资源航空物探遥感中心，北京 100083

4 华中科技大学物理学院引力中心，武汉 430074

* xiangxiao@mail.iggcas.ac.cn

塔里木块体广泛地被认为是一个前寒武纪克拉通，是一个刚性克拉通，其南北分别与西昆仑造山带和天山造山带接壤。新生代印度-欧亚板块碰撞产生的应力向北传递，其远场效应重新激活了塔里木南部的西昆仑造山带与北部的天山造山带，导致塔里木边缘和与南北造山带的接触地带强烈地构造变形：塔里木向西昆仑下方逆冲下插，西昆仑有明显的缩短以及增厚现象（Wittlinger et al., 2004; Wang et al., 2021），而紧邻巴楚隆起的柯坪地区没有前陆，现阶段也不存在沉降，为一个薄皮构造，塔里木向南天山的下插也不显著（Carroll et al., 2001; Gao et al., 2013)，这表明,塔里木岩石圈可能存在刚性差异性。基于综合地质-地球化学-地球物理的观测（Xu et al., 2020）表明，位于巴楚地区的二叠纪地幔柱活动通过铁镁质侵入和底侵作用以及熔融脱水和增厚的方式分别对地壳及地幔产生了增强效应，导致塔里木岩石圈更粘、贫化、更厚、脱水和低密度，塔里木岩石圈的强度与二叠纪地幔柱活动有关，塔里木块体南北变形差异性可能与二叠纪地幔柱的岩石圈差异强化有关。为此，基于高分辨率的二维热-力学模拟方法(Gerya et al., 2003)，设计了差异强度岩石圈汇聚的二维模型，探讨塔里木块体南北的非均一性及其与南北两侧差异性变形的关系。模拟结果表明，塔里木块体的岩石圈强度对塔里木周缘变形过程与样式起着主导性作用，下地壳强度和深部地幔强度对塔里木与两侧造山带接壤处的地表沉降有控制作用，地壳和地幔的横向差异耦合对塔里木与两侧造山带接壤处的岩石圈构造和地表沉降有重要影响。

S36-P-06S

洋脊俯冲的构造-岩浆效应：二维热-力学模拟

卢少康[1]*，陈林[1]，唐嘉萱[1]，颜智勇[1,2]，崔晓娜[1]，向宵[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

2 华中科技大学物理学院引力中心，武汉 430074

* lushaokang@mail.iggcas.ac.cn

洋中脊的扩张和消亡是威尔逊循环的重要部分，新的洋壳在洋中脊处形成，老的洋壳在俯冲带消亡（Wilson 等，2019）。相较于古老大陆而言，洋壳普遍比较年轻，现今最老的洋壳年龄~300 Ma（Seton 等，2020）。洋中脊扩张的过程不断形成新的洋壳，其厚度由中心向两端逐渐增厚，其温度由热变冷（Stephen 等，1979）。扩张洋脊的俯冲与岛弧岩浆作用、大陆地壳生长与演化及金属成矿等密切相关。与洋脊俯冲相关的岩浆作用复杂，既包含了正常岛弧岩浆岩的组合，也包含了类似“板内伸展”环境岩浆岩的组合；岩浆岩的源区组成也非常复杂，既有地幔楔橄榄岩，也有俯冲洋壳、弧的中下地壳以及从板片窗上升的软流圈等(王强等，2020)。洋脊俯冲会伴随着岩浆作用，一部分学者认为，洋脊俯冲既可以揭示岩浆间隙(Wu & Wu, 2019)；也有一些学者认为可以增强岩浆作用(Grow & Atwat, 1970)，并可能与岛弧岩浆作用的产生及物质循环、大陆地壳生长与演化、上覆板块变形以及金属成矿相关（王强等, 2020）。前人的研究大都停留在洋脊俯冲的概念模型（Wu & Wu, 2019；孙卫东等, 2010；Windley et al., 2018）上，仅有少部分人用了物理实验模拟(Salze et al., 2020)，并且物理实验模拟不能模拟熔融过程。Groome 等人（2009）利用数值模拟了板片窗的运移规律和热状态，在数值模拟方面的研究非常少。洋脊俯冲模拟的研究比较薄弱，为此针对洋中脊俯冲做了数值模拟研究，重点是关注洋脊俯冲的构造-岩浆效应。

为此，本文利用二维热-力学“I2VIS”（Gerya 和 Yuen，2003）模型探讨了洋脊俯冲过程及其构造-岩浆效应。我们设计的初始模型如下：模型尺寸为 3000×1200km，左侧为大陆板块，右侧为扩张洋脊，洋壳年龄 2 Ma-64 Ma（由中间向两端逐渐变老），在右端 500km 处给一个初始的汇聚速率 5 cm/yr，陆洋过渡带设置一薄弱带。诱发初始俯冲，模型上边界和左右边界为自由滑动边界条件，底端为渗透性边界条件。我们系统地测试了对洋壳年龄、汇聚速度、脊的位置和形态，模型结果显示出三种典型的俯冲：俯冲带俯冲、洋脊俯冲和双向俯冲。在大多数情况下，洋脊会先发生俯冲，俯冲带后俯冲。对于活的洋脊会直接发生俯冲，除非在某些特定的模型下不再扩张，比如洋壳年龄大于 2 Ma 的古洋脊，上覆大陆有减薄。当扩张脊在俯冲带俯冲时，也会对上覆大陆的地形和构造应力的产生影响，比如说地形的升高，上覆大陆首先处于挤压的构造状态，然后再处于伸展的构造状态，对覆盖板块地质的动态影响已被用来解释上覆板块地形、侵蚀速率和模式以及科迪勒拉系统中区域应力状态的变化。

模拟结果表明，当洋脊为古洋脊，加上洋脊有一定的厚度和足够的冷却时间，会得到俯冲带先俯冲，当俯冲到一定深度后，板块会发生断离，形成板片窗，随着时间的进行，当洋脊到达俯冲带时，也会发生洋脊的俯冲，俯冲后会对上覆大陆的地形和构造应力产生影响。在北美和南美科迪勒拉山脉的活动扩张脊和板状窗口的分布，扩张脊俯冲对覆盖板块地质的动态影响已被用来解释上覆板块地形、侵蚀速率和模式以及科迪勒拉系统中区域应力状态的变化。在东北亚边缘 56~46 Ma 的岩浆间隙揭示了 Izanagi-Pacific 俯冲，最后，模拟结果很好的解释了洋脊俯冲的模式。

S36-P-07S

南极洲难言岛古生代岩浆岩

的地球化学特征及构造意义

高鹏，唐立梅*，陈灵

1 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

* tanglm@sio.org.cn

南极洲北维多利亚地（NVL）由三个截然不同以断层为界的地体拼接而成，分别是内部的威尔逊地体（WT）、中间的鲍尔斯地体（BT）、外侧的罗伯逊湾地体（RBT）（Borg and DePaolo, 1991; Kunst et al., 2005; Federico et al., 2006）。前人研究结果普遍支持 BT、RBT 是俯冲增生拼接形成的，是罗斯造山运动的产物。罗斯运动发生于晚元古代至早中奥陶系时期，古太平洋板块向西与东冈瓦纳南极大陆发生持续性俯冲碰撞(Borg and DePaolo., 1991)，形成了一系列岛弧和弧后盆地，并在随后的增生事件中拼接至现今构造位置（Federico et al., 2006）。本研究对南极北维多利亚地难言岛进行详细的野外地质调查工作，对来自难言岛青龙山、望鹅岭、定军山的岩浆岩样品进行了详细岩石矿物学、地球化学及锆石年代学等方面的研究，并结合区域地质探讨了其构造意义。岩石学及主量地球化学特征结果表明，难言岛侵入岩的岩石类型主要有花岗岩、正长岩、辉长岩、辉绿岩等，其侵入状态有岩体和岩脉。花岗岩属于钙碱性系列，并普遍具准铝质至过铝质特征，闪长岩属于钙碱性系列，花岗质岩脉具高钾钙碱性岩浆弧亲和性。微量元素特征显示，二长花岗岩具 Eu 正异常，最大异常 10 倍。闪长岩与石英闪长岩呈弱 Eu 负异常，某些二长花岗岩（K 异常）呈现弱 Eu 负异常，甚至无异常。对九个花岗岩和闪长岩石样品进行了锆石的高精度 SHRIMP 测定，定军山的花岗岩样品年龄在 477.3±1.7Ma~471.8±1.8Ma，望鹅岭的花岗岩平均年龄为 485.1±2.7Ma，闪长岩年龄为 500.4±1.2Ma；青龙山的岩石样品年龄均为 ~499.1±0.99Ma。全岩 Sr-Nd 同位素特征显示所有样品具有 EMⅡ型富集地幔特征。相关的构造环境指示图表明较年轻的二长闪长岩具有板内及洋岛玄武岩区（伸展环境）特征，相关花岗岩则具有强的岛弧亲和性，正长岩呈现出了早中奥陶同碰撞运动产生花岗岩（SKG）及后造山花岗岩（PKG）的特征，二长闪长岩的地化特征表明其形成于板内伸展的构造环境，其所处时期可能为从寒武至奥陶期间缓慢的由碰撞向伸展过渡的时期(Bomparola et al., 2007)。本研究结果为进一步了解早古生代罗斯运动的岩浆作用及古沟弧盆体系的初始演化及形成过程（Federico et al., 2006）提供了新的数据支持，并对理解现今板块俯冲体系在地质历史时期的演化发展具有重要意义。

S37-O-01

东北亚陆缘沟-弧-盆体系形成的时间与机制：新生代玄武岩成分时空变异制约

许文良[1,2]*，熊帅[1]，董玉[1]，王枫[1]

1 吉林大学地球科学学院，长春 130061

2 吉林大学自然资源部东北亚矿产资源评价重点实验室，长春 130061

* xuwl@jlu.edu.cn

东北亚从活动陆缘转变成沟-弧-盆体系的时间与机制一直是固体地球科学研究中争论的问题之一。已有研究主要集中在古地磁和地壳构造方面，很少从地幔深部性质的变化角度来讨论东北亚陆缘沟-弧-盆体系形成的时间与机制。东北亚陆缘新生代不同期次玄武岩成分的时空变异为揭示沟-弧-盆体系形成的时间与机制提供了可能，同时也为东北亚大地幔楔形成的时间与机制给出了限定。

中国东北东部新生代玄武岩形成的时间可以划分成 52Ma、33Ma、21Ma、11Ma 和 2Ma。52Ma 玄武岩在化学上为亚碱性系列，显示弧型火山岩的地球化学属性，暗示原始岩浆起源于受俯冲流体改造的岩石圈地幔的部分熔融，揭示太平洋板块俯冲作用的发生；33Ma 和 21Ma 玄武岩在化学上为

碱性系列，显示 OIB 型玄武岩的地球化学属性，暗示岩浆起源于软流圈物质的部分熔融，揭示了俯冲板片后撤（rollback）过程的发生；11Ma 玄武岩为亚碱性系列，具有 OIB 型与弧型火山岩之间的地球化学属性，并具有比 52Ma 玄武岩更低的大离子亲石元素丰度，暗示原始岩浆起源于受俯冲流体交代、且经历过早期熔融的岩石圈地幔的部分熔融，揭示了地幔等温面上升和海沟后撤过程的发生以及东北亚大地幔楔的形成；2Ma 玄武岩为碱性系列，具典型 OIB 型玄武岩的地球化学属性，暗示岩浆起源于软流圈的部分熔融，揭示海沟后撤和东北亚陆缘沟-弧-盆体系的形成。

日本北海道新生代玄武岩形成的时间可以划分成 34Ma、22Ma、10-15Ma 和 5Ma。34Ma 玄武岩在化学上为碱性系列，与我国东北东部 33Ma 具有类似的地球化学属性，显示板内玄武岩成因特征，暗示此时日本海初步打开；22Ma 新生代玄武岩显示弧型火山岩的地球化学属性，这明显不同于我国东北东部 21Ma OIB 型玄武岩，暗示此时日本海已经初步打开；10-15Ma 和 5Ma 玄武岩与 22Ma 玄武岩具有类似的地球化学属性——弧型火山岩的地球化学特征，而不同于我国东北东部新生代玄武岩 OIB 型的地球化学属性，揭示了日本海继续打开和海沟后撤的发生。

综上所述，可以得出东北亚陆缘沟-弧-盆体系形成的时间在 21-30Ma，而板片后撤（rollback）以及相继的海沟后撤是导致东北亚陆缘沟-弧-盆体系形成的机制，同时这也是东北亚大地幔楔形成的时间与机制（海沟后撤）。本文得到国家自然科学基金项目（编号：91858211）资助。

S37-O-02

中国东部霞石岩成因：俯冲物质的深部熔融

曾罡[1]*，陈立辉[2]，Albrecht W. Hofmann[3]，王小均[2]，刘建强[4]，俞恂[5]，谢烈文[6]

1 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室，南京 210023

2 西北大学大陆动力学国家重点实验室，西安 710069

3 德国马普化学研究所，美因茨 D-55128

4 河海大学海洋学院，南京 210098

5 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

6 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

* zgang@nju.edu.cn

霞石岩，作为一种高度富碱的火山岩类型，长期以来被认为起源自含金云母或角闪石的浅部岩石圈地幔。而本项研究通过对中国东部的四座霞石质火山形成过程的深入探讨，提出它们的初始熔融深度要远远超过之前的预期。我们发现，这些霞石岩和世界上其它地区分布的霞石岩相类似，具有极其低的 K/U 和 Ba/Th 比值，但是它们的 Sr-Nd-Hf 同位素组成与该区域岩石圈地幔的同位素特征存在明显差异，尤其它们还呈现出与海相碳酸盐类似的 Mg 同位素特征。我们认为这些地球化学与同位素的特征可以用再循环的含碳酸盐沉积物在地幔过渡带（410-660 km）的部分熔融来解释。而在地幔过渡带的深部熔融过程中，高压矿物相钾锰钡矿（$KAlSi_3O_8$；英文名：liebermannite / K-hollandite）是一个稳定的残余矿物相，且 K、Ba、Rb 和 Pb 相比 Th、U 和轻稀土明显更相容于该矿物，因此，低程度部分熔融释放的熔体就能呈现出霞石岩所具有的微量元素特征。同时，我们发现 I 型金伯利岩和 HIMU 型洋岛玄武岩呈现出与霞石岩相类似的微量元素特征，暗示三者的深部熔融过程可能存在相似性。

由于本次研究的霞石岩在 Mg-Sr 同位素、$^{143}Nd/^{144}Nd$-MgO 和 $\delta^{26}Mg$-Ba/Th 比上，表现出较强的线性关系，是两端元混合的典

型特征，因此，我们采用两阶段模型来解释霞石岩的成因。首先，含碳酸盐的沉积物在地幔过渡带深度发生低程度的部分熔融，形成碳酸盐化的硅酸盐熔体（初始熔体）。随后，此初始熔体在上升过程中与周围的橄榄岩发生反应，部分初始熔体转变为反应熔体，并最终与我们残余的初始熔体发生而混合，形成我们的霞石岩。综上所述，中国东部的霞石岩可以被看做是起源自地幔过渡带的熔体。

S37-O-03

地球深部地球化学储库及其成因研究进展

李洪颜 [1,2]*

1 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640

2 中国科学院深地科学卓越创新中心，广州 510640

* hongyanli@gig.ac.cn

地球各圈层之间的物质和能量传输支撑了整个地球系统的运行，同时也造就了地球深部的物质和能量不均一。幔源岩浆岩的放射成因同位素组成揭示出地幔存在 DMM、FOZO、EM1、EM2 和 HIMU 等端元组份，其物质组成、来源、形成时代、赋存状态和位置蕴含了地球圈层间相互作用历史、机制、过程与效应等方面的信息。软流圈地幔大比例熔融形成洋中脊玄武岩（MORB），其同位素组成在空间大尺度上的不均一性揭示出软流圈地幔存在多个大型地幔域，指示它的物质组成可能受到了板块俯冲、大陆岩石圈拆沉和地幔柱等地质过程影响。地幔域内部或边界 MORB 同位素组成的时空差异性揭示出软流圈地幔在不同地幔域之内或之间存在流动，可能受到了大陆岩石圈山根效应、超级地幔柱及板块运动等多种因素影响。全球深海橄榄岩具有相对 MORB 更为亏损的放射成因同位素组成，同时在下洋壳堆晶岩矿物中也发现了异常富集和亏损的成份，这些现象表明软流圈组成在空间小尺度上也是不均一的，多数情况下，其信号会被 MORB 源区亏损地幔（DMM）的高程度熔融所掩盖。板内岩浆岩由深部地幔小程度熔融形成，最大程度地体现了地幔中的富集组份（EM1、EM2 和 HIMU），记录了深部地幔在岩性、元素、同位素和挥发份组成的不均一。放射成因同位素和稳定同位素（例如 S）都指示地幔中的富集组份含有地球浅表物质的贡献，而浅表物质进入深部地幔的可能途径包括板块俯冲和大陆岩石圈拆沉。全岩、单矿物和矿物熔融包裹体地球化学组成与实验岩石学的结果对比研究表明，地幔中的EM型富集组份可能主要赋存在辉石岩中，而 HIMU 型富集组份主要存在于碳酸盐化橄榄岩之中。统计发现全球多数热点的分布与核幔边界低剪切波速省（LLSVP）的位置存在对应关系，并且热点玄武岩具异常低 $\mu^{182}W$ 和高 $^{3}He/^{4}He$ 值的特征，揭示 LLSVP 可能为重要的富集组份储库。但是，新的研究揭示有些远离 LLSVP 的板内岩浆也显示出明显的 EM 或者 HIMU 组成特征，说明 LLSVP 并不是富集组份唯一的储库，地幔过渡带或大陆岩石圈地幔也可能是重要的富集组份储库。

S37-O-04

东北亚陆缘中生代岩浆作用的空间变异：对古太平洋板块俯冲历史与后撤（rollback）过程的制约

唐杰 [1]*，许文良 [1,2]，王枫 [1]

1 吉林大学地球科学学院，长春 130061

2 吉林大学东北亚矿产资源评价重点实验室，长春 130061

* tangjie_jlu@163.com

古太平洋板块在欧亚大陆下的俯冲历史目前仍然存在争论，这主要集中在以下三个方面：1）俯冲的起始时间，2）晚侏罗世

-早白垩世早期的俯冲性质，3）早白垩世晚期-古近纪俯冲板片后撤过程与大地幔楔的形成是否有联系。东北亚陆缘（包括中国东北、华北东部、俄罗斯远东、日本以及南北朝鲜）中生代-古近纪火成岩的岩石组合及其空间变异为解决上述问题提供了可能。东北亚陆缘中生代-古近纪火成岩可划分为九期：早-中三叠世、晚三叠世、早侏罗世、中侏罗世、晚侏罗世、早白垩世早期、早白垩世晚期、晚白垩世和古近纪。东北亚陆缘三叠纪埃达克质岩石、双峰式火山岩、碱性岩、A-型花岗岩和 A-型流纹岩的形成揭示了区域伸展环境与被动陆缘的构造属性，而东北亚陆缘（吉黑东部-朝鲜半岛-日本飞弹地体）早侏罗世钙碱性火成岩的弧型地球化学属性以及从陆缘向陆内火成岩成分的极性变化揭示了古太平洋板块向欧亚大陆下俯冲作用的开始。

东北亚陆缘区（包括中国东北、俄罗斯远东、日本和朝鲜半岛）晚侏罗世-早白垩世早期岩浆作用的普遍缺失，与侏罗纪陆缘增生杂岩低纬度的生物组合以及碎屑锆石年龄组合一起，暗示该阶段东北亚陆缘与古太平洋板块之间主要处于走滑的构造属性，而非平板俯冲过程。大兴安岭和冀北-辽西地区晚侏罗世-早白垩世早期岩浆作用的广泛发育归因于蒙古-鄂霍茨克洋闭合后的伸展环境，这也得到了区域构造的局限性（即只分布在该区域，并非整个中国东部）所证实。东北亚陆缘早白垩世晚期钙碱性火成岩组合和陆内双峰式火成岩组合的存在揭示了古太平洋板块低角度俯冲作用的发生，而自早白垩世晚期-晚白垩世-古近纪火成岩分布范围向东的明显收缩——即岩浆作用由陆内向陆缘的迁移，揭示古太平洋俯冲板块逐渐回撤（rollback）构造过程的发生，而动力学模拟结果表明，板片后撤（rollback）还不足以导致大地幔楔的形成，海沟后撤则是导致大地幔楔形成的主导机制（Griffiths et al., 1995），而东北亚陆缘海沟后撤主要发生在新生代的中新世。

综上所述，古太平洋板块向欧亚大陆下的俯冲作用起始于早侏罗世，晚侏罗世-早白垩世早期东北亚陆缘与古太平洋板块之间主要为走滑的构造属性，早白垩世晚期-古近纪为古太平洋板块俯冲和逐渐回撤的过程。本文得到国家自然科学基金项目（编号：91858211）资助。

S37-O-05

古太平洋板块俯冲与东亚大地幔楔的形成时代

马强[1]*，徐义刚[2]

1 中国地质大学（武汉）地球科学学院，地质过程与矿产资源国家重点实验室，武汉 430074

2 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640

* maqiang@cug.edu.cn

西太平洋板块俯冲与大地幔楔结构深刻影响了东亚地质演化，改变了人们对俯冲板片命运和深部地幔动力过程的传统认识。然而，东亚大地幔楔的形成时代和古太平洋板块俯冲历史等重要科学问题一直没有很好解决。我们通过大尺度岩浆作用的时空演变规律研究，重建了古太平洋板块中生代的俯冲与后撤历史，揭示了华北及朝鲜半岛侏罗纪和白垩纪岩浆作用的时空演变特征，发现了该区域中生代岩浆活动具有侏罗纪自海沟向内陆迁移、早白垩世自内陆向海沟回迁的规律。从岩浆作用角度，揭示出华北克拉通破坏主要受控于古太平洋板块的平板俯冲与回转后撤，为华北克拉通破坏与古太平洋板块俯冲的关联提供了关键证据，确定了古太平洋板块俯冲带大规模后撤的起始时间（~145Ma），提出东亚大地幔楔系统初始形成于早白垩世的认识。

S37-O-06

板块平俯冲与大地幔楔模式的对比：流体-熔体活动及上覆岩石圈响应

李忠海*

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院，计算地球动力学重点实验室，北京 100049

* li.zhonghai@ucas.ac.cn

板块俯冲带深部富水流体和熔体活动对于上覆岩石圈的改造和破坏具有至关重要的作用；例如，一般认为华北克拉通早白垩纪的剧烈破坏及岩浆活动与古太平洋板块俯冲及其产生的流体-熔体活动直接相关。但是，一个关键点在于该俯冲模式到底是平俯冲还是大地幔楔，这两种模式之下的富水流体活动及对于上覆岩石圈的改造和破坏可能具有巨大差异性。基于此，我构建了一个动力学和热力学耦合数值模型，对板块俯冲带深部水循环的过程、机制和效应进行了系统的探讨。数值模型揭示：（1）大洋地壳之下的蛇纹岩层是俯冲板块将水带入深部地幔的主要载体，大地幔楔中流体活动及对上覆岩石圈的改造受控于俯冲板块的蛇纹岩层厚度及其含水量；（2）地幔过渡带岩石的含水能力及其先存含水量状况控制大地幔楔的流体活动及对上覆岩石圈的改造；（3）平俯冲板块的脱水及流体活动可以剧烈改造和破坏上覆岩石圈，产生的岩浆活动具有显著的时空规律性；（4）华北克拉通早白垩纪的改造可能主要受控于板块的平俯冲作用，大地幔楔可施加额外作用。

S37-O-07

青藏高原碰撞诱发新生代西太平洋板块俯冲

孙卫东[1,2,3]*，张丽鹏[1,2]，李贺[1,2]，刘曦[1]

1 中国科学院海洋大科学研究中心，中国科学院海洋研究所深海研究中心，青岛 266071

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266237

3 中国科学院大学，北京 100049

* weidongsun@qdio.ac.cn

板块构造理论是固体地球科学的基石，与量子力学、相对论、分子生物学一起被誉为二十世纪自然科学四大奠基性理论。板块构造体制起始的关键是板块俯冲起始。但是，迄今为止，板块俯冲是如何起始的一直存在争议，是国际地学界的研究热点。本文根据前期提出的“岩浆引擎”假说（孙卫东，2019），认为由于板块密度差引起的自发俯冲应该是先小范围开始俯冲，再逐渐向两侧扩展。因此，俯冲带不同部位俯冲起始时间存在明显的差异。但是，新生代西太平洋板块年龄差异很大，与不同时代洋壳相关的伊豆小笠原-马里亚纳海沟、阿留申海沟和汤加-科马迪克海沟的俯冲启动时间却基本相同。这就表明它们不是由于洋壳年龄差异引起的自发俯冲，而是由太平洋板块的重大变化所触发的。板块重建显示，在太平洋板块发生转向之前，印度板块和澳大利亚板块均在太平洋板块向西俯冲起始前发生了明显的减速，表明新生代西太平洋板块俯冲是诱导俯冲。在约 5300 万年前，印度板块、澳大利亚板块均与欧亚板块发生了硬碰撞，漂移速率大幅度降低。此时，太平洋板块向北的漂移未受到阻挡，形成了一个巨大的杠杆，导致了太平洋板块运动方向的改变，导致新的俯冲。这一发现支持作者提出的“岩浆引擎”假说，老的洋盆碰撞闭合导致邻居洋盆新的板块俯冲，这正是板块构造体制得以持续数十亿年的关键。这种板块俯冲起始机制为完善板块构造理论提供了重要的制约。本研究得到了中国科学院先导专项（XDA22050103, XDB42020203）、国家重点研发计划（2016YFC0600408）、泰山学者（ts201712075）等联合资助。

S37-O-08

伊泽奈崎-太平洋洋脊俯冲作用的恢复：东北亚陆缘新生代埃达克质岩浆作用的时空特征证据

王枫[1,2]*，许文良[1,2]，熊帅[1]，邢恺晨[1]，张思文[1]

1 吉林大学地球科学学院，长春 130061

2 吉林大学东北亚矿产资源评价重点实验室，长春 130061

* jlu_wangfeng@jlu.edu.cn

早中生代以来，东北亚陆缘进入到环太平洋构造体系演化阶段，但对古太平洋（伊泽奈崎）-太平洋洋脊俯冲作用的时间和空间形态，一直存在争议。出露于俄罗斯远东及中国东北地区的晚中生代——新生代中酸性火成岩，为恢复古太平洋（伊泽奈崎）-太平洋洋脊俯冲作用的时间和空间形态提供了可能，同时也为东北亚陆缘沟-弧-盆体系的形成机制给予一定的制约。

俄罗斯远东及中国东北东部晚中生代——新生代早期中酸性火成岩主要为一套英安岩-流纹岩组合，锆石 U-Pb 年代学数据显示其形成时间大概划分为 5 个阶段，分别为晚白垩世（~84-78 Ma）、古新世（~65-56 Ma）、始新世早期（~47 Ma）、始新世晚期（~38 Ma）和渐新世（~29 Ma）。地球化学上，晚白垩世、古新世和渐新世中酸性火成岩均显示出弧型火山岩的地球化学属性，全岩 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素和锆石 Hf 同位素组成显示其起源于新生下地壳物质的部分熔融。相比之下，始新世英安岩-流纹岩则显示较高的 Sr/Y 值和 MgO 含量，具有埃达克岩的地球化学属性，结合其更为亏损的 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素组成和更为年轻的同位素模式年龄，揭示了俯冲板片熔体和岩石圈地幔相互作用过程的，暗示洋脊俯冲作用的存在。

综上，结合始新世中酸性火成岩的空间展布和同位素模式年龄的空间变化特征，推测古太平洋（伊泽奈崎）-太平洋洋脊俯冲作用的时间应发生于 47-38 Ma 之间，洋脊展布与俯冲方向存在一定的角度，对东北亚大陆边缘新生代的构造过程和成矿作用产生了深远影响。本文得到国家自然科学基金项目（编号：91858211）资助。

S37-O-09

伊豆小笠原马里亚纳岛弧早期奄美盆地玄武岩独特地球化学特征及其地质意义

李贺[1]*，Richard J. Arculus[2]*，Osamu Ishizuka[3]，孙卫东[1]*

1 中国科学院海洋研究所，青岛 266071

2 Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra, Australia

3 Geological Survey of Japan/AIST, Tsukuba, Ibaraki, Japan

* lihe@qdio.ac.cn, richard.arculus@anu.edu.au, weidongsun@qdio.ac.cn

俯冲带和岛弧早期阶段形成的岩浆特征与成熟岛弧体系的岩浆特征有所不同。伊豆小笠原-马里亚纳（IBM）俯冲体系早期阶段主要由低 Ti-K 拉斑玄武岩和玻安岩组成。国际大洋钻探 351 航次在奄美盆地 U1438 钻孔发现的玄武岩（ASB），位于 IBM 最古老的残余弧的下方和偏西部，形成时间（49Ma）晚于此前发现的该区最早的弧前玄武岩（51-52 Ma）约 3 百万年，早于 IBM 最老的岛弧年龄（47Ma）。由于这些玄武岩正处于最早弧前玄武岩和典型弧岩浆作用之间的转折点，表明伊豆小笠原马里亚纳俯冲体系的俯冲起始经历了约 3 百万年的时间。奄美盆地玄武岩是低 Ti-K、含富铝铬尖晶石的拉斑玄武岩。这些伊豆小笠原马里亚纳岛弧发展早期阶段形成弧前玄武岩，与拉张环境下形成的大洋中脊玄武岩、弧后盆地、以及岛弧或洋岛玄武岩相比单矿物组份和全岩组份都存在明显地球化学的区别。它们来自热的、还原的、难熔亏损上地幔橄榄岩源区。该玄武岩及矿物温度计显示其形成的温压条件变化非常大，是从尖晶石-斜长石-橄榄岩相边界处的压力迅速上升到地表，并且保留了多压多热矿物学的遗迹。这些特征为揭示板块俯冲起始机制提供了关键信息，暗示该俯冲体系的俯冲起始阶段存在挤压环

境。支持 Sun et al (2020)关于俯冲起始的观点。

S37-O-10

东南亚环形俯冲系统的地幔柱活动及其岩浆响应

黄小龙[1,2,3]*，杨帆[1,2,3]，徐义刚[1,2,3]

1 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640

2 中国科学院深地科学卓越创新中心，广州 510640

* xlhuang@gig.ac.cn

东南亚地区自新生代以来受到印度洋板块、澳大利亚板块和菲律宾板块的俯冲作用，并伴随着太平洋板块俯冲作用的远程效应影响，构成东南亚环形俯冲系统，在其深部汇聚了大量的俯冲板块，从而深刻地影响了区域的岩浆-构造活动。南海海盆内的 OIB 与 MORB 的一个共同特点是其地幔源区中存在大量再循环地壳组分，其形成与南海周缘地区的岩石圈演化过程，特别是中-新生代以来的板块俯冲作用密切相关，这也可能是南海“新型”大规模地幔上涌的潜在动力学因素。对南海洋中脊玄武岩的橄榄石-尖晶石的主微量元素的分析及温度计算证实，南海扩张初期及扩张末期西南次海盆并不存在地幔高温异常，地幔岩性以橄榄岩为主，不存在明显的地幔柱-洋脊相互作用的痕迹；其 MORB 中的橄榄石斑晶保留了复杂的 P 与 Al 的成分分区，与斜长石斑晶的复杂环带结构变化特征均指示了慢速扩张洋脊不稳定岩浆房演化过程中所发生的溶蚀-再生长-再平衡的过程。在东部海盆扩张末期则存在地幔高温异常，形成的 MORB 在岩石成分及矿物结构上明显不同于西南次海盆，其地幔源区的岩性以辉石岩为主，具有明显的地幔柱活动特征。特别地，南海周边地区如雷州半岛、海南岛、中南半岛的板内玄武岩均显示了较高的地幔潜能温度，源区含再循环俯冲洋壳和深部物质组分，具有地幔柱活动的特征。结合地震层析成像资料，推测在板块俯冲过程下沉到地幔转换带的滞留板片在一定程度上阻碍了深部地幔柱的上升，这些地幔转换带的滞留板片在南海及周边地区不均匀分布，最终形成了树状地幔柱构造。这一新的地幔柱构造模型可以合理解释南海及周边地区的岩浆活动分布特征以及所反映的地幔源区不均一性。

S37-O-11

南海洋壳玄武岩地球化学组成记录了陆弧基底背景下的洋-陆转换过程

俞恂[1]*，刘志飞[1]，陈立辉[2]，曾罡[3]，唐铭[4]，陈开运[2]，黄小龙[5]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 西北大学大陆动力学国家重点实验室，西安 710069

3 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室，南京 210093

4 北京大学地球科学与空间学院，北京 100871

5 中国科学院广州地球化学研究所同位素国家重点实验室，广州 510640

* yuxun@tongji.edu.cn

大陆的破裂和初始洋壳的形成（洋-陆转换）是板块构造启动（威尔逊旋回）的关键步骤，其转换的过程和造成转换的机制至今仍未得到清楚认识。被动大陆边缘是洋-陆发生成功转换后的产物，可以分为富岩浆型和贫岩浆型。富岩浆型被动大陆边缘的形成往往与地幔柱活动相关，指示了一个快速的大陆破裂向洋壳生成的转换过程；相比而言，贫岩浆型被动大陆边缘无法与地幔柱活动建立起直接联系，其形成过程中的洋-陆转换模式仍然是不明确的。

本研究利用南海西南次海盆拉张初期形成的洋壳玄武岩样品，分析了这些玄武岩的全岩主量元素、微量元素和 Sr-Nd-Hf 同位素以及玄武岩斜长石斑晶的元素地球化

学组成和 Sr 同位素比值。通过玄武岩全岩元素地球化学特征的分析对比，揭示出初始拉张的洋壳玄武岩在形成过程中受到了岩浆演化和下地壳混染的重要影响。玄武岩全岩 Sr-Nd 同位素和斜长石斑晶 Sr 同位素特征分析显示，南海初始洋壳下部存在残留大陆陆弧下地壳。本次研究发现，南海海盆的初始拉张过程中存在过渡性洋壳，证实了形成南海海盆的洋-陆转换是一个渐变的过程。该项研究为认识形成贫岩浆型被动大陆边缘的洋-陆转换提供重要启示。

S37-O-12

高温高压下利蛇纹石的弹性性质：对俯冲带及岛弧岩浆中水含量的启示

邓忻[1]，罗晨星[2]，Renata M. Wentzcovitch[2]，吴忠庆[1]*

1 中国科学技术大学地球与空间科学学院，合肥 230026

2 Department of Applied Physics and Applied Mathematics, Columbia University, New York, NY 10027, USA

* wuzq10@ustc.edu.cn

俯冲带是地球上的巨大物质传输带。俯冲板片的下沉可以将地表的水携带进入地球内部。蛇纹石是超基性地幔岩的水化产物，含水量为 13wt%，在不同的温压条件下存在三种同质异形体，分别为纤蛇纹石、利蛇纹石以及叶蛇纹石。近年来研究发现在很多俯冲带中都可能存在着大量的蛇纹石。另外，蛇纹石可以具有非常强的各向异性。所以作为俯冲带中最重要的水的载体，蛇纹石的弹性性质对我们理解俯冲带中水的含量及俯冲带的地震波速各向异性有重要意义。

本研究利用基于密度泛函理论的第一性原理计算方法，计算了在俯冲带浅部温压条件下利蛇纹石的热力学和弹性性质随温度和压强变化的规律。计算得到的状态方程与实验结果一致。我们的结果表明利蛇纹石的弹性模量和地震波波速随温度和压强呈非线性变化，其地震波波速比周围地幔岩波速低，泊松比比周围地幔岩高，而且其各向异性非常大。我们发现利蛇纹石的横波速度比实验测量的纤蛇纹石与利蛇纹石聚合体的横波速度高，可能是由于纤蛇纹石的特殊结构导致。纤蛇纹石是亚稳相，主要存在于各向同性的应力条件下，在俯冲条件下存在的可能性很低。因此，俯冲带中的蛇纹石化程度以及带入地球内部的水量可能要比以前的研究结果估计的高得多，远远超过目前估算的地幔中水的释放量。这意味着我们或许需要重新估算全球水循环，特别是岛弧岩浆中释放的水量。本研究也讨论了蛇纹石的各向异性对俯冲带地震各向异性的影响。

S37-P-01

东亚大小地幔楔的对比研究

徐义刚*

1 中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640

* yigangxu@gig..ac.cn

晚中生代以来东亚大陆边缘地质演化受控于西太平洋板块的俯冲作用。该俯冲体系在这一地区同时形成了小和大地幔楔系统。所谓的小地幔楔系统即传统的沟-弧-盆体系，指沿海沟俯冲的大洋板片及其上的楔形地幔，其深-宽约为 100 公里×200 公里。西太平洋板块通过脱水作用形成的流体交代地幔楔，后者熔融形成岛弧岩浆岩带。全球地震层析成像显示，该俯冲板片并没有穿过地幔过渡带进入下地幔，而是平躺在地幔过渡带中，其最西端距海沟~1500 公里。滞留大洋板片之上的上地幔称为大地幔楔。显然大地幔楔的发现大大扩大了大洋板块俯冲作用对东亚大陆地质的影响范围，同时也提出了许多不同于小地幔楔体系的重大科学问题，如：（1）大地幔楔的物质组成如何？（2）滞留在地幔过渡带中俯冲板片与上地幔的相互作用机制？（3）大地幔楔系统中岩浆的形成机制如何？（4）大地幔楔系统中深

部水和碳循环对全球挥发分循环通量的贡献？本文对这些方面的研究进展进行初步总结，试图从深部过程的角度来理解东亚海陆岩浆作用的异同及控制因素。

S37-P-02

郯庐断裂带深部结构的多尺度多方法成像研究

雷建设[1]*，赵大鹏[2]，徐锡伟[1]，田凡凡[1]，马晨[1]

1 应急管理部国家自然灾害防治研究院，北京 100085

2 日本东北大学地球物理系，仙台 980-8578

* jshlei_cj@hotmail.com

郯庐断裂带位于我国东部地区、太平洋板块俯冲的弧后地区，在我国境内延伸 2400 km 长度。根据地震活动情况，通常将其分为北段、中段和南段三段，中段主要指渤海地区，渤海以北为北段，渤海以南为南段。郯庐断裂带南段，是本文研究对象，又可分为山东段、江苏段和安徽段。1668 年郯城地震发生山东段，而江苏段和山东潍坊段小震活动却较少，为地震活动空区，且属于中国地震重点监视防御区。江苏和山东两省均是我国经济发达、人口稠密地区，如果在郯庐断裂带上发生与西部同等强度的地震，造成的经济损失与人员伤亡比西部要大得多；郯庐断裂带如此大规模的断裂带，现今活动速率却非常小，每年约 1-2 mm，但发生过 8.5 级地震，其特殊性的认知程度还远远不够。因此，郯庐断裂带深部细结构具有重要的现实意义。

本研究采用研究区内 126 个地震台站在 2008-2016 年间记录到的 838 个远震事件的相对走时残差 1.5 s 以内的 4 万余条资料，通过成像反演，获得了研究区深至地幔转换带高分辨率 P 波速度模型。在横剖面上，郯庐断裂带在地幔浅部依然存在着明显横向不均匀性，郯城地震分布在高波速异常边缘上，在 150 km 深度上可以看到郯城地震发生在低波速异常边界上，同时在 230 km、310 km、390 km 和 470 km 深度上均可以看到越来越靠近的低波速异常，可能代表热物质上涌，在 390 km、470 km 和 550 km 深度上可以看到高波速异常，可能代表拆沉的岩石圈物质。在 630 km 和 710 km 深度上可以看到高波速异常，可能代表俯冲的太平洋板块。在纵剖面图上，可以看到代表热物质上涌的低波速异常，代表岩石圈拆沉的高波速异常以及俯冲的太平洋板块。因此，郯城地震的发生是与“岩石圈拆沉”引起的软流圈热物质上涌相关，与太平洋板块深俯冲形成的“大地幔楔”结构与动力学密切相关（Lei et al., 2020）。

然而，上地幔的热物质上涌是否到达地壳影响地震的孕育与发生呢？为此，我们采用 2017 年 8 月至 10 月在郯庐断裂带潍坊段布设的 302 个短周期（5s）密集（5km 间距）地震台站记录到的连续波形资料，开展两种结构成像：一种是密集地震台阵的远震地壳结构成像，一种是密集地震台阵的背景噪声成像。通过远震成像获得地壳结构结果显示出地壳中存在明显低波速异常（Tian et al., 2020）。采用背景噪声成像获得的浅部地壳成像结果也展示出明显的低波速异常，证实了太平洋板块深俯冲引起的热湿物质上涌已抵达上地壳甚至地表形成昌乐火山（Ma et al., 2020）。感谢中国科学院战略性先导科技专项（B 类）（XDB18000000）、国家自然科学基金（U1939206，41530212）、国家重点研发计划课题（2018YFC1504103）与专题（2016YFC0600408）的支持。

S37-P-03S

白云凹陷浅成岩浆侵入体发育特征、对沉积物的变形影响及油气意义

望畅[1]，孙启良[1,2]*，解习农[1]

1 中国地质大学（武汉），海洋地质资源湖北省重点实验室，武汉 430074

2 Department of Earth Sciences, University of Oxford, Oxford OX1 3AN
* sunqiliang@cug.edu.cn

珠江口盆地白云凹陷内发育大量早中新世（约 15.5 Ma）浅成岩浆侵入体（侵入深度＜3km）。与世界其他地区相比，白云凹陷内的岩浆侵入体分布复杂，且形态极为丰富。但目前对其形态特征、相互关系以及岩浆侵入诱发的强制褶皱等尚缺乏系统研究。

利用白云凹陷内的高精度三维地震资料，进行了岩浆侵入体及岩浆通道的刻画和解释。研究区内的岩浆侵入体主要位于早中新世珠江组地层内，呈现碟状、板状、舌状、透镜状等形态；较深处的侵入体多为碟状，规模较大（宽度＞1500m），而浅处的侵入体规模较小（宽度＜600m）。侵入体形态和它们之间的空间相对位置显示，岩浆主要通过临近岩床侧向供给或下部岩墙垂向供给这两种方式侵入至目前所在层位，其中侧向供给使多个侵入体组合成一个复合体。

部分侵入体会诱发上覆沉积物产生穹窿状变形，形成强制褶皱，研究区与其他地区的数据，统计结果表明 83.6%的褶皱起伏高度与对应侵入体厚度之比介于 1~0.33 之间。为了研究褶皱变形的演化过程，基于 ODP1146 站位的井数据，对侵入体附近的岩石柱进行去压实处理。研究表明，褶皱目前的形态是岩浆侵入和埋藏作用共同影响的结果。岩浆侵入时，沉积物向上隆起变形，这其中包含弹性和塑性两种形变；在埋藏过程中，差异压实使强制褶皱的侵入产生的幅度增大。在合适的岩性条件下，这种褶皱可以作为圈闭储存油气，圈闭的规模主要由下伏侵入体的范围和厚度决定。此外，差异压实产生的断层在一定程度上削弱了圈闭的储油能力，但为油气提供向地层浅部运移的通道。本研究受到国家自然科学基金项目（41676051）的资助。

S37-P-04

岩石圈地幔对华北西部新生代玄武岩成分的多重控制作用

侯永胜 [1,2]，李洪颜 [1,2]*

1 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640
2 中国科学院深地科学卓越创新中心，广州 510640
* hongyanli@gig.ac.cn

大陆岩石圈地幔对玄武岩成分的控制作用主要体现在三个方面：（1）岩石圈盖层效应，即岩石圈厚度控制软流圈地幔的熔融程度，在厚的岩石圈条件下软流圈部分熔融程度低，形成的岩浆以碱性玄武岩为主，在薄的岩石圈条件下，软流圈高程度部分熔融，主要形成拉斑玄武岩；（2）熔体橄榄岩反应，富硅熔体与岩石圈地幔橄榄岩反应，消耗橄榄石使熔体成分向贫硅熔体转变，贫硅熔体与岩石圈地幔橄榄岩反应，消耗斜方辉石使熔体成分向富硅熔体转变；（3）被流体-熔体交代的岩石圈底部直接发生不同程度部分熔融，形成不同硅含量的玄武岩。我们选取了华北西部繁峙和大同地区新生代玄武岩为研究对象，繁峙地区碱性玄武岩形成于始新世时期，大同地区玄武岩形成于更新世，表现为碱性玄武岩和拉斑玄武岩共存。对该地区玄武岩全岩及其橄榄石斑晶的研究已经揭示其源区岩性主要为辉石岩，始新世碱性玄武岩向更新世碱性玄武岩和拉斑玄武岩共存的转变可能反映了岩石圈盖层效应，即岩石圈随时间演化不断减薄，软流圈中辉石岩组分熔融程度增加，导致岩性转变。但是大同地区拉斑玄武岩的形成时间（0.74Ma）略早于碱性玄武岩的形成时间（0.4Ma），可能不能用单一的岩石圈盖层效应解释。实验岩石学研究表明辉石岩部分熔融产生的熔体在上升至地表的过程中会与岩石圈地幔橄榄岩发生反应，从而改变熔体的初始成分。辉石岩部分熔融产生的高硅熔体在与橄榄岩发生反应的过程中会消耗橄榄石，生成单

斜辉石、斜方辉石和石榴子石，且反应过程中伴随着熔体体积减小，反应前后的熔体可以实现从拉斑玄武岩到碱性玄武岩的演化。对华北西部汉诺坝等地区新生代玄武岩中地幔捕掳体的研究也发现了捕掳体的矿物组成具有明显的环带结构，进一步佐证了岩石圈地幔中可能存在玄武质熔体-橄榄岩相互反应的现象。相关研究对于充分认识东亚大地幔楔的物质组成具有重要意义。

S37-P-05

苏北盆地晚白垩世-新生代板内伸展与构造转换的动力学机制：来自玄武岩年代学与地球化学的证据

邹耀遥[1,2]，沈传波[1,2]*，朱祥峰[1,2,3]，葛翔[1,2]，吴路路[1,2,4]，王亮[1,2]，吴阳[1,2]，付红杨[1,2]

1 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室，武汉 430074

2. 中国地质大学资源学院，武汉 430074

3. 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院，武汉 430074

4. 英国利兹大学地球与环境学院，利兹 LS29JT

* cbshen@cug.edu.cn

板内伸展作用的动力学机制目前备受地质学家关注。白垩纪以来，中国东部经历了广泛的板内伸展作用并形成了一系列含油气裂谷盆地，但对于该过程中关键的构造转换的认识仍不全面，对其驱动机制的解释仍然存在较大争议。大陆板内玄武岩是了解深部地球的重要窗口，对于揭示板内伸展的深部动力学机制有着重要作用。本研究以中国东部新生代构造演化为背景，以苏北盆地南缘的板内玄武岩为主要研究对象，通过野外露头描述、岩相学特征观察、Ar^{40}/Ar^{39} 定年、主微量元素分析等方法，揭示了苏北盆地南缘板内玄武岩的时空展布特征与地球化学特征，并结合苏北盆地的地震资料解释成果与构造分析认识，阐明了苏北盆地晚白垩世-新生代板内伸展与构造转换的动力学机制。晚白垩世古太平洋板块回转开启了苏北盆地裂陷演化的序幕；早新生代（65～50 Ma）是苏北盆地裂陷活动的高峰期，盆地南缘及内部岩浆作用强烈；中新生代（50～23 Ma）早期，伴随着印度洋板块-亚欧板块碰撞造成的深部物质逃逸，苏北盆地裂陷作用与岩浆作用持续进行，但强度有所减缓；中新生代晚期盆地抬升造成沉积间断，岩浆作用也几乎停止；晚新生代（23～0 Ma）伴随着太平洋板块的俯冲加速，玄武质火山活动再次增强，在六合-仪征-江宁-句容形成一系列火山群，盆地则进入裂后沉降阶段。在这一过程中，玄武岩的源区由辉石岩/榴辉岩逐渐变为难融地幔橄榄岩，并伴随着岩石圈的减薄。

因此，本研究认为苏北盆地晚白垩世-早新生代以来的板内伸展作用和构造转换是由晚白垩世古太平洋板块回转、早-中新生代印度洋板块-亚欧板块碰撞，以及晚新生代太平洋板块俯冲和印度洋-亚欧板块碰撞共同驱动的，同时为研究板内伸展作用的动力学机制提供了一个综合的视角。

S37-P-06S

东北东部新生代玄武岩成分的时间变异：对地幔深部过程的制约

熊帅[1]，许文良[1,2]*，王枫[1]

1 吉林大学地球科学学院，长春 130061

2 吉林大学东北亚矿产资源评价重点实验室，长春 130061

* xuwl@jlu.edu.cn

地幔深部过程是控制地球深部活动的发动机，了解地球深部过程是地质学家、地球物理和地球化学家们一直追求的目标。东北亚大地幔楔是如何控制东北亚陆缘新生代板内岩浆作用的？它的形成时间与机制如何？这是近年来东亚固体地球科学研究

的重要前沿课题。东北亚陆缘新生代玄武岩成分随时间变异很好地揭示了地幔深部过程，并为东北亚大地幔楔形成的时间与机制提供了很好地限定。

中国东北新生代玄武岩主要形成于52Ma、33Ma、21Ma、11Ma 和 2Ma。其中52Ma 玄武岩属于亚碱性系列，具有弧型地球化学属性，指示原始岩浆可能来源于俯冲板块流体交代的岩石圈地幔。33Ma-21Ma 玄武岩则属于碱性系列，具有 OIB 型地球化学属性，指示其原始岩浆起源于受俯冲熔体交代的软流圈地幔的部分熔融。11Ma 玄武岩属于亚碱性系列，显示了 OIB 型与弧型火山岩过渡的地球化学属性，指示原始岩浆可能起源于受早期俯冲流体交代、并且已经发生过熔融的岩石圈地幔的再次熔融。2Ma 玄武岩属于碱性系列，具有典型 OIB 型地球化学属性，指示岩浆起源于亏损的软流圈地幔的部分熔融。

中国东北新生代玄武岩的地幔源区属性随时间的变化显示，岩浆源区从 52Ma 到 33-21Ma，岩石圈地幔逐渐过渡到软流圈地幔，标志着俯冲板块回卷和活动大陆边缘环境向沟-弧-盆体系过渡的开始。而从 21Ma 到 11Ma，岩浆源区由软流圈地幔变为已经发生过熔融的岩石圈地幔，暗示地幔等温面上升，伸展作用进一步发生，指示海沟的后撤过程。从 11Ma 到 2Ma，岩浆源区由岩石圈地幔再次转变为亏损的软流圈地幔，标志着沟-弧-盆体系的最终形成和日本海的最终打开。综上所述，可以看出新生代期间东北亚地幔经历了三次重要的深部过程：第一次从 52Ma 到 21Ma，地幔经历了等温面下降，岩浆源区从岩石圈地幔转变成软流圈地幔的过程，标志着俯冲太平洋板片后撤（rollback）过程的发生；第二次从 21Ma 到 11Ma，地幔经历了等温面上升，岩浆源区从软流圈地幔转变成岩石圈地幔的过程，标志着海沟后撤（retreating）过程的发生和东北亚大地幔楔的形成；第三次从 11Ma 到 2Ma，地幔再次经历了等温面下降，岩浆源区从岩石圈地幔转变成软流圈地幔的过程，标志着日本海的彻底打开和东北亚陆缘沟-弧-盆体系的形成。海沟后撤是导致东北亚大地幔楔形成的主导机制。本文得到国家自然科学基金项目（编号：91858211）资助。

S37-P-07S

造山带中微陆块的幕式地壳生长与超大陆循环：以松嫩地块为例

龙欣雨 [1]，许文良 [1,2]*，孙晨阳 [1]，唐杰 [1]

1 吉林大学地球科学学院，长春 130061

2 自然资源部 东北亚矿产资源评价重点实验室，长春 130061

* xuwl@jlu.edu.cn

地球区别于其他类地行星的重要标志便是其具有演化所形成的长英质大陆地壳（Cawood et al., 2013）。大陆地壳形成的机制和速率等问题一直以来都是地球科学领域研究的前沿与核心（Belousova et al., 2010）。超大陆的旋回历史与大陆地壳的生长与演化过程密切相关，这也被地球历史上周期性分布的地质记录所证实，包括花岗岩和碎屑锆石的结晶年龄、地幔柱、大火山岩省和绿岩带的形成年龄等等（Bleeker, 2003; Condie et al., 2011），这些年龄频谱中峰和谷的周期性出现似乎代表了地壳生长演化过程的一个基本特征。然而，目前关于全球大陆地壳生长模式的主流观点是，现今大陆地壳的主体是在~2.5Ga 之前形成，并且具有渐进式生长的特点，这与上面提到的幕式分布的岩石组合和地质事件形成了鲜明的对比（Belousova et al., 2010; Dhuime et al., 2012）。这种现象的产生可能是由于前人的数据集大多是基于全球不同克拉通地区的样品建立的，而地球的大陆地壳组成应包括克拉通和造山带两部分，目前对造山带中微陆块地壳生长与超大陆循环演化过程联系的研究相对薄弱。

作为全球最大的增生型造山带，中亚造山带是解决上述问题的理想地区。中亚造山带记录了一系列岛弧、蛇绿岩、洋岛、海山、

增生楔、大洋高原和微陆块的形成与演化，一直以来都是地质工作者研究大陆地壳增生与演化的重要场所（Sengör et al., 1993; Xiao et al., 2004）。松嫩地块作为中亚造山带东段中的一个代表性微陆块，其基础地质研究较为完善，且广泛分布花岗质岩石，这是探索造山带中微陆块地壳生长与超大陆循环联系的理想场所。

松嫩地块上 64 个花岗质岩石分选出的 1225 颗岩浆锆石的 U–Pb 定年结果介于 1094Ma 至 174Ma 之间，其中 571 颗代表性锆石的原位 Hf 同位素数据显示，它们的 $\varepsilon_{Hf}(t)=-8.9\sim+15.6$，TDM2=2295~234 Ma。本文报道的松嫩地块上多期新元古代岩浆事件以及它们古老的 Hf 同位素模式年龄表明，松嫩地块是中亚造山东段具有前寒武纪结晶基底的一个古老微陆块，不同期次的花岗质岩浆的产生经历了从古老下地壳物质熔融到新增生下地壳物质熔融的变化过程。且不同纬度上，由南向北，松嫩地块的古老陆壳成分逐渐增多，指示了陆壳的不均一性。根据这些花岗质岩石的结晶年龄和锆石 Hf 同位素模式年龄，本文进一步建立了松嫩地块的生长和再造曲线。松嫩地块的地壳生长主要有 2.2-1.8 Ga、1.6-1.0 Ga 和 0.85-0.6 Ga 三个生长期。阶梯状的生长曲线暗示松嫩地块在地壳演化过程中的幕式生长特征，我们认为其与超大陆的演化历史密切相关。超大陆的俯冲汇聚阶段是新地壳产生的重要时期（Cawood et al.，2013），而在陆陆碰撞的造山期，地壳的重熔再造过程占据主导地位。超大陆碰撞拼合阶段之所以具有最多的锆石记录，是因为拼合背景具有较高的保存锆石的潜力，而不能简单地与地壳生成相联系（Hawkesworth et al. 2009）。松嫩地块的幕式地壳再造主要发生于 1000-180Ma，伴有 800-600Ma 和~420Ma 两次明显的波动，地壳的再造也进一步导致了松嫩地块深部陆壳的不均一性。综上所述，中亚造山带东段中微陆块的地壳生长主要发生于前寒武纪，少量新元古代至早古生代的侧向增生发生于微陆块之间碰撞拼合过程中产生的岛弧地区。

S37-P-08S

索罗尔海槽基底岩石化学特征及其地质意义

闫施帅 [1]*，鄢全树 [1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

* shishuaiyan@yeah.net

雅浦海沟-岛弧系统是三个构造板块（菲律宾海板块、太平洋板块和卡罗琳板块）相互作用的区域，其地质构造背景特殊，地质演化历史相对复杂。前人对雅浦海沟-岛弧系统的俯冲活动性以及火成岩的成因进行了一定程度的研究，认为雅浦海沟火成岩均具有与俯冲相关火成岩的典型特征。然而，对海沟东南侧的正在俯冲的地质体（尤其是分开东、西卡罗琳脊的索罗尔海槽）的基底岩石学研究程度相对较低，这直接限制了我们完整理解雅浦海沟-岛弧系统的构造演化过程。

本次研究中，我们对从雅浦海沟东南侧处新获得的正在俯冲的索罗尔海槽基底样品开展了地质年代学、岩石学、单矿物原位主微量元素地球化学研究工作。结果表明，这些样品 K-Ar 年龄为 23.8±0.7Ma，玄武岩斑晶矿物组合为橄榄石和斜长石，偶见单斜辉石微晶。其中橄榄石为贵橄榄石；斜长石主要为拉长石及少量中长石和培长石，具有明显的 Eu 正异常；单斜辉石微晶主要为透辉石和钙铁辉石，且部分位于深绿辉石区域。全岩化学方面，它们属于碱性系列，富集大离子亲石元素（如 Rb、Ba、K 等）和高场强元素（如 Nb、Ta、Zr 等），无明显的 Eu 异常，具有似洋岛玄武岩（OIB）特征，形成于板内构造环境。根据模拟计算，玄武岩母岩浆可能是由地幔源区的尖晶石二辉橄榄岩经 5%-10%部分熔融形成的。利用反演的原始岩浆组分计算出了索罗尔海槽的地幔潜在温度为 1331-1393℃，暗示下伏地幔并

不存在热量异常。此外，单斜辉石结晶温度（1057-1119℃）和斜长石结晶温度（1030-1121℃）及其组成特征表明，岩浆具有明显的快速上涌的特征。因此，我们认为索罗尔海槽基底玄武岩是卡罗琳洋脊裂解形成索罗尔海槽期间由被动上涌的相对富集的地幔岩石组分低程度部分熔融所形成的，且索罗尔海槽打开的时间在 24Ma 甚至更早。

S37-P-09

古太平洋和太平洋板块地球化学属性：来自日本北海道新生代堆晶辉长岩与斜长角闪岩的制约

董玉[1]*，许文良[1,2]，纪政[1]，李毅兵[3]，Kiyoaki Niida[4]

1 吉林大学地球科学学院，长春 130061

2 吉林大学东北亚矿产资源评价重点实验室，长春 130061

3 中国地质科学院地质研究所，北京 100000

4 Hokkaido University, Japan 060-8611

* dongyu1990@jlu.edu.cn

俯冲滞留在地幔过渡带的（古）太平洋板块对东北亚上地幔的改造不仅制约了东亚大地幔楔的物质组成，而且也控制了东北亚陆缘新生代火山作用的性质，这已被新生代玄武岩的地球化学属性研究所证实。然而，俯冲滞留的古太平洋板块和太平洋板块的地球化学属性如何？这是目前研究中很少涉及的内容。日本北海道日高山脉南端出露的、分别代表古太平洋板块的新生代堆晶辉长岩和代表太平洋板块的变质底板斜长角闪岩为研究古太平洋和太平洋板块的地球化学属性提供了可能。

日高山脉位于日本北海道的南部，是欧亚大陆板块与（古）太平洋板块的缝合线，其南端出露一套长约 140km、宽约 10~20km 的蛇绿岩带（包括超基性岩、堆晶辉长岩、辉绿岩墙、玄武岩）——代表了古太平洋板块和变质底板斜长角闪岩——代表太平洋板块（Miyashita and Nagahashi, 1997）。本文对蛇绿岩中的堆晶辉长岩和斜长角闪岩进行了详细的岩石学与地球化学研究。其中，北海道新生代早期堆晶辉长岩主要由拉长石和单斜辉石组成，具有弧属性的地球化学特征。根据新生代早期堆晶辉长岩的 Pb 同位素组成特征，认为加入到地幔源区的古太平洋板片成分与印度洋型地幔相似。此外，代表太平洋板块的变质底板斜长角闪岩主要由拉长石和普通角闪石组成，具有 MORB 属性的地球化学特征，且表现出与印度洋 MORB 类似的 Pb 同位素组成，代表新生代早期俯冲的太平洋板片也具有印度洋型地幔特征。

综上所述，新生代早期俯冲滞留的古太平洋板块和太平洋板块均具有印度洋型地幔的地球化学属性。本文得到国家自然科学基金项目（编号：91858211）资助。

S37-P-10S

高温高压下含铁秋本石的弹性性质：对地幔过渡带底部多重不连续面和停滞板块的启示

赵亚婕*，吴忠庆

1 中国科学技术大学地球和空间科学学院，合肥 230026

* zhaoyj97@mial.ustc.edu.cn

在地幔过渡带底部和下地幔顶部较冷的区域，矿物秋本石可以稳定存在。在汤加的 L6 球粒陨石中也发现了秋本石晶体。通过对秋本石晶体的组分分析发现其中含有 3.72~13.54 wt.% 的 FeO。前人对于纯镁端元的秋本石已经有了较多研究，但对于高温高压下含铁的秋本石了解还很少。

在本研究中，我们利用基于密度泛函理论的第一性原理计算的方法计算了含铁秋本石$(Mg_{0.875}Fe_{0.125})SiO_3$ 在高温高压下的弹

性特性，并获得了温度和压强对弹性模量及波速的影响。计算结果表明，在 0 GPa，300 K 时，含铁秋本石相较于 $MgSiO_3$ 秋本石（Hao et al., 2019），V_P 偏低 3.1%，V_S 偏低 4.6%，密度偏高 3.5%；在 25 GPa，1800 K 时，V_P 偏低 3.8%，V_S 偏低 5.8%，密度偏高 3.3%.我们的结果与实验数据（Siersch, 2019）符合得很好。

结合已有的地幔过渡带底部及下地幔顶部矿物高温高压下的弹性数据，我们比较了含铁秋本石与其他含铁矿物（林伍德石、铁镁榴石、布里奇曼石）沿着冷的地温线的波速和密度差别，并与 PREM 和 AK135 模型进行比较。

基于 $MgSiO_3$ 相变，Akaogi et al. (2002) 认为，沿着冷的地温曲线，610-690 km 的不连续面是由石榴子石到秋本石的相变引起的；而 700-740 km 的不连续面是由秋本石到布里奇曼石的相变引起的，这个解释的最大困难在于含铝的秋本石到布里奇曼石的相界很宽。相反，板块的低温可以抑制辉石溶入镁铝榴石，而镁铝榴石的分解有更大的波速跳变和密度跳变及更窄的相界（Akaogi et al., 2002），据此我们认为镁铝榴石的分解更有可能解释 700-750 km 深度的不连续面，而幸存下来的斜方辉石在低温下不经历中间过程直接相变为秋本石更有可能解释 600 km 左右的不连续面。这也能很好的解释 660 km 多重间断面为什么发生在比较冷的板块中。

另外，动力学模拟俯冲过程的研究（King et al., 2015）表明，低温抑制辉石溶入镁铝榴石中，从而阻碍俯冲板块穿过地幔过渡带进入下地幔，这可能是冷的西太平洋俯冲板块在中国东部地幔过渡带出现停滞的原因。许多地球化学的证据证明在东亚大地幔楔中含有大量的再循环物质，其或许来自于停滞的俯冲板块。地幔过渡带停滞板块的脱水和脱碳作用及相关熔融和交代作用是东亚大地幔楔体系中板内岩浆成因的主要驱动力（Xu et al., 2018）。

S38-O-01

东海丽水凹陷古近纪构造特征及动力学控制

邓玉玲，许长海*，刘欢

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

* xchxch@tongji.edu.cn

丽水凹陷发育在晚中生代岩浆弧基础之上，由于古近纪再裂陷形成的。丽水凹陷古近系地处古板块俯冲的弧后部位，但不属于典型的弧后盆地。因此认为丽水凹陷古近系属于古岩浆弧再裂陷的弧后盆地。丽水凹陷具有“断坳双层结构”，断陷期结构以复式半地堑结构主导，其中又可划分出旋转板式半地堑、滚动半地堑以及拆离半地堑 3 种类型；坳陷期结构以坳陷结构为主，断裂活动明显减弱，局部发育反转构造，在丽水凹陷西次凹的中部形成了局部背斜构造。整体呈披覆式沉积，表现为裂后热沉降阶段。丽水凹陷的结构主要受边界断裂的影响，其中灵峰断裂和天王岩-七星岩断裂是主要控盆断裂，这些边界断裂将丽水凹陷划分出了西次凹、东次凹、灵峰凸起、南次凹等构造单元，体现出断裂对构造的控制作用具有“断隆联控”的特征。丽水凹陷划分出 3 级断裂，其中一级断裂是控凹断裂，控制凹陷的形成，切割基底，具有长期的演化历史；二级断裂为控带断裂，控制构造带的分布与复式油气聚集带的形成，多数也切割基底；三级断裂为控圈断裂，控制圈闭的形成，多为盖层断裂，为中小型断层，数量多，发生在盖层内部，控制局部构造并使油气水分布复杂化。识别出 5 类变换构造（分别为邻近式调节带、并列式转换带、重叠式调节带、调节断层、以及转换斜坡）和 8 种构造样式（顺向翘倾断块构造、反向翘倾断块构造、同向滑动断阶构造、反向滑动断阶构造地垒构造、潜山披覆构造、逆牵引背斜构造、底辟构造）。丽水凹陷经历了从断陷阶段到坳陷阶段的构造演变，主要受俯冲后撤和侧向拉张控制。这种构造演变不仅体现在丽水凹陷整体的结构之上，也体现在各个边界断裂的活动性

上，其中丽水凹陷最大的边界断裂灵峰主断裂在灵峰组沉积期活动最为强烈，随后活动速率逐渐降低，在瓯江组到温州组沉积期趋于停止，其它主要断裂活动性质类似。

S38-O-02

南黄海叠合盆地演化与油气资源

陈建文[1,2]*，袁勇[1,2]

1 青岛海洋地质研究所，青岛 266071

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266237

* jwchen2012@126.com

南黄海盆地是一个由中-古生代海相沉积盆地和中-新生代陆相沉积盆地相叠加的大型含油气盆地，经历了加里东、海西、印支、燕山、喜马拉雅等多期构造旋回。主要经历了 4 个地质演化阶段：加里东-海西期稳定克拉通沉积阶段、印支-燕山早期强烈回返阶段、燕山晚期-喜山早期断陷阶段和喜山晚期坳陷阶段，形成了古生代-早中生代稳定克拉通盆地、中中生代前陆盆地、晚中生代-古近系断陷盆地和新近系以来的坳陷盆地。盆地发育完整的海相震旦系-中下三叠统和陆相侏罗系-第四系沉积，地层总厚度超过万米，具有海相和陆相 2 套勘探层系和多套生储盖组合，形成了队员多期成藏系统。

（一）加里东-海西期稳定克拉通沉积阶段

加里东期：新元古代震旦纪-早寒武世时期，南黄海为“一台两盆”的沉积格局，中、晚寒武世形成白云岩和石膏沉积，奥陶纪沉积环境比较稳定，早志留世为深水陆棚相沉积，中晚志留世沉积时期，发生明显海退，总体为滨浅海-潮坪环境。在这一过程中形成了南黄海叠合盆地的第一套生储盖组合，以下寒武统为烃源岩，中上寒武统-奥陶系为储层，下志留统为盖层。

海西期：南黄海地区缺失早、中泥盆世沉积；石炭纪时，海水由南向北逐渐加深，从滨岸一滨海环境逐次到浅海，后期趋于稳定，沉积了一套以浅海碳酸盐岩为主的地层；早、中二叠世仍为南浅北深沉积格局，岩相有分异，总体上以浅海碳酸盐岩、滨海相碎屑岩和含煤沼泽相建造为主；晚二叠世一早、中三叠世期间处于滨浅海环境，大部分区域发育海陆交互相碎屑沉积及浅水碳酸盐岩台地沉积，仅在南部和西北部靠近物源区出现滨海和三角洲沉积；中三叠世晚期，海水开始向北退却，海盆被海湾或泻湖所代替，局部有石膏沉积。在这一过程中，形成了 2 套生储盖组合，即：下志留统烃源岩-中晚志留统至石炭系储层-二叠系盖层组合和二叠系烃源岩-二叠系至下三叠统储层-下三叠统盖层组合。

加里东运动和海西运动在下南黄海主要表现为频繁的升降运动，仅仅引起沉积的迁移和局部地层缺失。

（二）印支-燕山早期回返阶段

该阶段，华北块体和扬子块体发生碰撞挤压，南黄海地区整体抬升，结束了南黄海盆地南华纪以来的长期总体沉降稳定的格局，海水逐渐退出本区，大面积遭受剥蚀，形成了大量的构造圈闭，为古生界油气聚集提供了主要场所，断层的发育为油气运移提供了良好通道。

（三）燕山晚期-喜山早期断陷阶段

三叠纪末期-早、中侏罗世，伴随大规模的陆内俯冲作用，在北部造山带前缘因地壳弯曲下陷出现中生代前陆盆地；晚侏罗世-早白垩世，区域应力场表现为相对松弛状态下的走滑和拉张，形成南黄海断陷盆地；晚白垩世，受环太平洋构造域的影响，地壳处于伸展状态，断陷沉积较前拓宽，充填河湖相碎屑岩，含钙质和石膏。古新世，拉张作用明显增强，断裂活跃，大量张性断裂造就的箕状断陷和地垒普遍分布；始新世，以断块运动为主，坳陷持续下降，坳陷内凹陷和凸起明显分化。在上述演化过程中形成前陆盆地和断陷盆地 2 套生储盖组合。

（四）喜山晚期坳陷阶段

中新世，大部分正断层停止活动，盆地整体下沉，地形也逐渐夷平，河流沉积物向其它

凹陷、凸起上超覆，坳陷沉积范围越来越大。上新世继承了中新世发育趋势，海域继续全面下降，全区成为曲流河和泛滥平原环境，局部有沼泽发育；晚期转变成广阔的湖泊，盆地填平补齐，第四纪时期，广大海域稳定而缓慢地下降，晚期海水逐渐从东、东南部侵入，广泛沉积一套水平、以灰色黏土为主的地层。

上述表明，南黄海叠合盆地经历了多期沉积旋回和多次构造运动，形成了巨厚的沉积地层，发育海相和陆相 2 套含油层系、5 套完整的生储盖组合，近年来的调查表明，具备形成大型油气田的物质基础和基本的油气地质条件，随着研究的深入以及调查和勘探的持续开展，油气勘探突破必将成为现实。

S38-O-03

东南亚构造分区

栾锡武[1,3]*，魏新元[2,3]，冉伟民[1,3]，刘洁[3]，陈建宏[4,1]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

2 中国海洋大学，海洋地球科学学院，青岛 266100

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266237

4 山东科技大学，地球科学与工程学院，青岛 266590

* xluan@qnlm.ac

考虑到成因上的密切联系，中国华南、华北、青藏高原以及澳大利亚和印度洋板块向北的俯冲带都可以纳入到东南亚构造区域中，形成一个广义的东南亚构造区，可划分为东南亚特提斯构造域、东南亚山弧构造域、东南亚挤出逃逸构造域、东南亚巽他古陆构造域、东南亚东部边缘海构造域和东南亚菲律宾弧构造域。由于地理和历史的原因，东南亚地区整体研究程度较低，目前仍存在一些尚未解决的科学问题。其中特提斯块体从冈瓦纳大陆的裂离及拼贴方式、古南海的存在与消亡、新南海的成因机制、菲律宾岛弧活动带和新几内亚岛弧带的属性以及与古南海的关系是今后东南亚地球科学研究中值得关注的科学问题。

S38-O-04

南海东部中生代沉积盆地左行雁列式构造成盆机制

邱燕*，韩冰，黄文凯，杜文波，聂鑫

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，广州 510760

* zqiuyan60@163.com

发育于南海东部的沉积盆地均具有厚层中生界。研究该区中生代沉积盆地的成盆机制，有利于指导南海深入开展中生界油气新层系的勘探。古太平洋板块中生代时期向东亚大陆东部边缘 NNW 向的俯冲，在大致为南北走向的南海东部边缘形成左行走滑作用。该边缘与早期发育于南海中部、约南北走向的中南-礼乐深大断裂共同作用，使南海东部受到强烈的、以左旋走滑剪切为主的构造作用。中国东南沿海的构造活动特征也清楚地指示该区中生代左行走滑剪切作用的变形。受此构造作用的影响，南海东部形成一系列左行雁列式排列的张性断层，并逐渐发展成为中生代裂谷，最终发育成大致为左行雁列式排列的礼乐盆地、珠江口盆地潮汕坳陷、台西南盆地、澎湖裂谷乃至东海陆架盆地等中生代盆地。南海东部中生代盆地左行雁列式构造成盆理论不仅很好地解释了南海海域中生代沉积盆地形成发育的动力学机制，也能使为什么南海海域东部发育众多的中生代沉积盆地、而在海域的西部踪迹全无的事实得到合理的释义。

S38-O-05

陆相湖盆缺氧铁化与富有机质页岩形成——以济阳坳陷沙河街组为例

梁新平[1,2]*，金之钧[1,2]，刘全有[2,3]，李鹏[2,3]

1 北京大学能源研究院，北京 100871

2 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室，北京 100083

3 中石化石油勘探开发研究院，北京 100083

* xinping.liang@pku.edu.cn

有机质丰度是页岩油形成和富集的关键物质基础，是页岩有机质差异富集的主控因素之一。因此，对有机质差异富集机理的研究是揭示陆相页岩油富集与分布规律的关键所在。还原的水体环境是有机质的保存和富集关键因素之一，缺氧铁化的水体条件在湖泊和海洋中都会产生，但控制水体还原程度物理、化学和生物驱动过程却不相同。当前国内外建立在泥页岩基础上铁组分判识标准已被广泛用于古海洋氧化还原程度的研究，然而，这一标准在陆相盆的应用研究仍然十分薄弱。由于湖盆规模远小于海洋，有机质形成时期体系内温压与系统封闭性变化较海洋更敏感，铁化作用在不同的空间尺度上发生流体演化、离子迁移及矿物溶解-沉淀等成岩响应形式也有所不同，因此，湖盆中有机质的差异性富集规律更为复杂。同时，火山活动或者深部流体也会带来大量的外源铁或者硫的输入，在富有机质形成时期会加剧或者减弱水体的还原程度。因此，陆相湖盆富有机质页岩形成时期沉积水体底部的还原性波动状态，水体的表征，作用过程的鉴别和示踪，驱动机制及其引起的元素迁移和转化与有机质差异性富集的关系研究趋待深入。

基于此，本文以典型陆相盆地的富有机质页岩层系——济阳坳陷沙河街组为研究对象，开展不同程度条件下富有机质页岩形成演化研究，明确其与页岩有机质差异富集的协同机制，利于在理论上更清晰的认识富有机质页岩形成和富集机理，且可加深对页岩油甜点预测和评价的理解和认识，对指导页岩油勘探具有重要的理论和实践意义。本文研究表明，沙河街组富有机质页岩具有高的 TOC 值，一般高于 4%，活性铁与总铁比值（Fe_{HR}/Fe_T）均高于 0.38，而 Fe_{py}/Fe_{HR} 却小于 0.6，说明富有机质页岩形成于缺氧铁化的沉积环境。目的层铁组分、Fe/Al 比值、有机碳同位素($\delta^{13}C_{TOC}$)和黄铁矿硫同位素($\delta^{34}Spy$)特征表明，铁化水体一般是由于火山活动或者热液流体输入引起；同时 SRI/TOC 特征表明，过量的火山活动或者热液流体输入引起会引起强烈的 BSR 作用，大量有机质消耗，不利于有机质富集。

S38-O-06

几种新型的固体储氢的研究进展

王璐*

1 北京大学能源研究院，北京 100871

2 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* 754176796@qq.com

目前大气中二氧化碳（CO_2）的浓度超过 400ppm，并呈上升趋势，被认为是造成全球气候严重变化的主要原因之一。开发和利用可再生清洁能源的倡议在世界范围内扩大。在当前的可再生能源选择中，氢（H_2）已迅速成为传统化石燃料的优越替代品。但是安全有效地储存和运输氢气的方法仍然是实际应用的重大挑战。本文通过文献调研，简要介绍了目前几种新型的固体储氢的新方法。

（1）笼型水合物储氢，气体分子被困在由氢键结合在一起的水分子构成的空腔结构中，通过添加一种或几种如四氢呋喃（THF）、CH_4、C_2H_6、丙烷、环戊烷、环己烷、四氢噻吩等，不仅可以稳定水合物的结构，而且有助于氢在水合物介质中存储所需的动力学性能。

（2）“沸石-冰”储氢，是生成丙烷水合物，然后取出反应器中剩余的气体，形成“沸石冰”，这种空腔结构与沸石的结构相似。然后，将氢气加压到“沸石冰”中。在260k 和 250k 时，储氢量在 1.0 wt%-1.5 wt%之间波动。

（3）纳米结构多孔碳储氢，具有高表面积和孔隙体积的碳材料具有许多优点：来源丰富、耐热、无毒、良好的化学稳定性、良好的回收特性、可逆性、低成本，如活性炭、碳纳米纤维、碳纳米管、石墨烯和富勒烯。

（4）生物质合成多孔碳储氢，从可持续性、环境友好性和持续可用性的角度来看，以生物质为基础材料是多孔碳的更有前途的碳来源。真菌（如蘑菇、木耳等）是世界各地都有的食物。利用氢氧化钾对各种真菌基进行化学激活，从而制备的多孔碳在35bar 和-196ºC 时，H_2 吸收高达 4.2-4.7wt%。此外还可以通过微藻、稻壳、玉米芯制备多孔碳材料储氢。

（5）天然矿物及其加工材料储氢，有些矿物有纳米级的结构通道或空腔，可以作为储氢的多孔固体材料，如晶体石墨、沸石、蒙托石、海泡石—坡缕石族矿物。晶体石墨的结构单元层的距离（约 0.33nm）不大于氢分子的分子动力学直径，因此，氢分子难以进入夹层，储氢性能较差。沸石，具有一个三维通道/腔结构，独特的笼，如α、β笼是天然良好的储氢单元。此外，具有纳米级通道的粘土矿物可能比沸石等具有更多的储氢优势，如海泡石—坡缕石族矿物、蒙脱石等。此外对天然矿物进行加工可以提高他们的储氢能力。如沸石模板碳材料因其优越的储氢能力而成为迄今为止报道的最有前途的碳基材料之一。铁-蒙脱石具有较高的储氢释氢能力、可回收性和优异的热稳定性，是一种具有广阔应用前景的化学法储氢材料。钯负载有机蒙脱石提高了蒙脱石储氢的性能。

S38-P-01S

晚中生代太行山古地貌演化-基于团簇同位素分析

文一雄，张来明*，李亚林*，王成善，金天杰

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

* lzhang@cugb.edu.cn, liyalin@cugb.edu.cn

晚中生代时期，中国东部在板片多向汇聚的构造背景下，深部岩石圈经历了显著的破坏，引发了表层地貌的剧烈变化。在此过程中，太行山经历隆升并逐渐演变为中国东西部之间最重要的构造-地貌，气候生态分界线，对中国中东部地区的气候与经济产生了深远影响。重建太行山地区古高程变化过程，可以有效的约束华北地区地貌演化历史，进而分析华北地体陆内造山的动力学过程。本研究通过团簇同位素古温度计，在太行山北部与鄂尔多斯盆地开展古气候与古地貌重建工作。团簇同位素古温度计可以直接获取地表土壤碳酸盐形成时温暖季节的温度，团簇同位素古温度计可以直接获取地表土壤碳酸盐形成时温暖季节的温度。通过与同时期低海拔地区的温度对比，利用垂向温度梯度计算得到古高程。重建的结果显示，太行山北部在 160 Ma 时已经抬升至 2.5 km 的高度，在 113 Ma 时的古海拔为 2.6 km，早白垩世末期（~105 Ma）的古海拔为 1-1.4 km。太行山的初始隆升至少开始于中侏罗世晚期。结合低温热年学数据，构造变形分析，我们认为太行山北部在晚侏罗世时期经历了持续隆升作用，因此在早白垩世早期可能抬升到了更高的高度（>3 km）。早白垩世时期，在华北东部经历了显著伸展裂陷作用后，太行山北部地区仍保持较高的古海拔高度（2.6 km），证实了古太行山高地的存在，也表明华北地区西高东低的地貌格局在 113 Ma 之前就已经形成。早白垩世末期，受区域岩石圈伸展减薄的影响，大同-浑源盆地经历了古海拔的降低（1-1.4 km）。

S38-P-02S

华北克拉通破坏导致的差异性地貌：来自稳定同位素的证据

金天杰[1]，张来明[1]*，Katharine W. Huntington[2]，王成善[1]*，文一雄[1]，顾雪[1]，殷艺天[1]

1 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083

2 Department of Earth and Space Sciences, University of Washington, United States 98195-1310

* lzhang@cugb.edu.cn, chshwang@cugb.edu.cn

晚中生代以来华北克拉通经历了强烈的破坏，了解华北克拉通破坏期间的地壳厚度变化对认识克拉通破坏的性质和程度具有重要的意义，但目前该方面研究还较少。地貌变化是深部过程在地表的直接体现，因此，本文基于华北克拉通西部的鄂尔多斯盆地和东部的合肥盆地古土壤碳酸盐结核的团簇同位素（Δ_{47}）以及稳定同位素（$\delta^{18}O$、$\delta^{13}C$）进行了古高程重建。结果表明晚中生代以来华北克拉通经历了差异性的地貌变化，克拉通破坏高峰期前后鄂尔多斯盆地始终具有较高的古高程（>2 km），而合肥盆地则经历了高程的显著降低。这反映了华北克拉通东部地壳在晚中生代发生明显减薄，而西部则保持了稳定的较厚的地壳。研究认为这种差异性地貌变化可能形成了现代中国东部阶梯式地形的雏形，即二级阶梯与三级阶梯至少在早白垩世 Aptian 期就已经出现。

S38-P-03

裂谷湖盆热水沉积白云岩致密储层特征及其控制因素——以二连盆地白音查干凹陷下白垩统为例

杨喆[1,2]*，钟大康[2]，Fiona Whitaker[3]，苏琛[2]，刘润超[4]

1 地质矿产研究所，北京核工业地质研究院，北京 100029

2 地球科学学院，中国石油大学（北京），北京 102249

3 University of Bristol, Bristol BS8 1RJ, UK

4 中国科学院青藏高原研究所，北京 100101

* yangzhe_cup@126.com

近二十年来，在我国北部中新生代陆相裂谷盆地中陆续发现一套受热液活动控制的热水沉积白云岩，但研究往往集中在其岩石学特征、地球化学特征及其成因机制，而未对这套致密白云岩储层特征及其对油气富集的影响进行过详细研究。本次研究以二连盆地白音查干凹陷热水沉积白云岩为对象，详细地识别划分不同岩石类型的热水沉积白云岩的储集空间类型，阐明裂缝与孔隙之间的关系，并探讨热水沉积沉积作用如何控制储层质量。该研究结果表明：裂谷构造和高古地温背景下，热水沉积白云岩中热液成因的沸石和白云岩矿物为形成有效储集空间提供夯实岩石基础；通过同生断裂运移的热液流体和生烃伴生酸性流体的侵入导致白云岩发生溶蚀作用，形成大量的次生孔隙，为油气聚集提供有效储集空间；裂缝的发育不仅增加储集空间，而且增强储层连通性允许成岩流体运移并改造储集空间，提高储层质量；热水沉积岩储层直接夹在大套的烃源岩内，形成“源区控油”、“近源富集”油气藏。因此，发育裂缝的热水沉积白云岩成为油气勘探“甜点”区，此发现为今后这种热水沉积岩的油气储层优选勘探目标提供思路。

S38-P-04S

蛇纹石化作用下 H_2 和无机烃类生成的主要影响因素初探-以汉诺坝橄榄岩包体为例

黄晓伟[1,3]，金之钧[2,3]*，刘全有[3,4]*，朱东亚[3,4]，孟庆强[3,4]，刘佳宜[3,4]，王璐[5]

1 中国地质大学（北京）能源学院，北京 100083
2 北京大学能源研究院，北京 100871
3 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室，北京 100083
4 中石化石油勘探开发研究院，北京 100083
5 北京大学地空学院，北京 100871
* jinzj.syky@sinopec.com, liuqy.syky@sinopec.com

伴随人们对能源需求的不断增长和环境保护不断重视，能源的低碳化、少碳化促使天然气和 H_2 成为未来发展趋势。研究地球深部，尤其是深大断裂带影响下生成的 H_2 和无机甲烷的生成影响因素和潜力，对于向地球深部探索能源有一定探索指导作用。实验样品选自汉诺坝剖面橄榄岩包体，利用黄金管封闭体系进行高温、高压模拟实验，实验气体产物组分通过 Agilent 7890N 型全组分气相色谱仪完成检测。通过实验发现，对不同实验对照条件下温度、时间和不同金属离子反应结果显示，产物组分中都有不同产率的 H_2 产生，H_2 产率随着温度增加增大，但在水的临界态以上产率降低；反应快速达到反应平衡时间段。同时，相较温度和时间参数影响，金属离子作用对生成 H_2 的反应程度影响更大，相同摩尔浓度下，呈现出 Zn^{2+}＞Mg^{2+}＞空白，说明过渡金属元素和普通金属元素一般都普遍具有催化作用而促进 H_2 产率增加，但过渡金属元素作用可能较好。同时，根据模拟模拟实验发现，在盆地基底温压条件下，蛇纹石化释放出 H_2 最大产率达到 1.2~1.4m^3/t，可推算预估地下 1km^3 橄榄岩短时内就可以生成 30~40 亿方 H_2（在 220~350℃度范围），结合盆地基底火山岩中超基性-基性橄榄岩广泛发育和分布，因此在此地质条件下可生成巨量的 H_2。在进行蛇纹石化实验过程中，伴生费托合成（FTT）作用产物 C_1~C_4，且观测到 C_2~C_4 的各组分的烯烃类显著大于其烷烃产率，说明 C_1 在合成 C_{2+} 的过程中，优先通过反应生成不饱和键，再与 H_2 结合生成饱和烃类。同时，通过进行相同实验条件下的 FTT 合成模拟实验观测到不同金属离子催化作用对烷烃的产率影响最大，碳同位素变化呈现部分倒装，$\delta^{13}C_1$＞$\delta^{13}C_3$＞$\delta^{13}C_2$，δ^2D_3＞δ^2D_2＞δ^2D_1，但随着温度增加 δ^2（D_2-D_1）呈降低趋势。产物组分的碳氢同位素变化也很好地揭示了费托合成作用生成的无机烃类的特征变化。

综上，蛇纹石化作用下 H_2 和无机烃类生成受多因素控制影响，但受金属离子类型和浓度影响相对更加显著。因此在对地质体中 H_2 和无机烷烃资源潜力评价时，不同金属离子的影响也是重要考虑因素之一。

S38-P-05

中国东部新生代沉积盆地热状态及其油气资源潜力

徐曦[1,2]*，付晓伟[3]，朱伟林[3]，陈汉林[2]，杨树锋[2]

1 中国自然资源航空物探遥感中心，北京 100083
2 浙江大学地球科学学院，杭州 310027
3 同济大学海洋与地球科学学院，上海 210092
* winbreak@163.com

太平洋板块俯冲构造体系下，在大兴安岭—太行山—武陵山重力梯度带（NSGL）以东的中国海陆区，发育了渤海湾盆地、北黄海盆地、苏北—南黄海盆地、东海陆架盆地、台西南盆地、珠江口盆地、北部湾盆地、琼东南盆地和莺歌海盆地等 10 余个新生代沉积盆地，这些盆地汇集了东亚大陆大量的沉积物，蕴含着丰富的油气资源。这一系列沉积盆地呈现了相似的形成演化过程，在中生代基底格局上，岩石圈破破裂，中国东部的新生代盆地相继萌生发展，一个值得关注的现象是中国东部新生代盆地裂后热沉降量的大小与油气资源潜力大小和赋存贫富呈现正相关性。热沉降量的大小和持续时间的长短是岩石圈深部热扰动强度和深度的一个度量，这预示着沉积盆地的深部热状态与油气成藏响应之间可能存在着一定的关

联性。深部地幔热上涌直接控制着沉积盆地沉降结构的空间变化，决定着可容空间大小油气生储盖基本地质要素的质量与规模。根据石油有机成因，含油气盆地沉积岩层内的有机质成熟向烃类转化，有机质演化的化学反应的速率与温度呈指数关系，而与时间只是线性关系，烃源岩的成熟度主要受温度的控制。岩石圈深部热状态是沉积盆地的油气事件的决定因素，是岩石圈构造－热演化过程的综合反映和盆地油气响应的重要约束条件。为探究这一现象潜在的成因机理，基于最新的高精度航空磁测数据与大地热流数据，以中国东部新生代沉积盆地为研究对象，以磁异常反演的居里面深度作为沉积盆地深部状态一级约束，建立其与干酪根裂解的油气生成反应速度之间的定量关系，揭示了沉积盆地烃源岩有机质生烃与深部热状态之间具有显著的正相关性，探讨沉积盆地深部热地质作用与油气富集分布的相关性及其潜在的响应机制，可为中国东部新生代沉积盆地流体活动及油气资源潜力评价提供研究新视角。

S38-P-06

南黄海崂山隆起石炭系—二叠系碳酸盐岩储层特征及其成因分析

袁勇[1,2]*，陈建文[1,2]，梁杰[1,2]，张银国[1,2]，吴淑玉[1,2,3]

1 青岛海洋地质研究所，青岛 266071

2 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266071

3 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心，烟台 264001

* yuany010@126.com

海相碳酸盐岩是油气资源勘探的重要领域。南黄海崂山隆起海相地层发育，具有形成大型油气田的构造条件、物质基础和成藏条件，油气资源勘探潜力巨大。崂山隆起西部大陆架科学钻探 CSDP-2 井在石炭系—二叠系碳酸盐岩中获多层油气显示，证实其曾发生大规模的油气成藏过程，表明该层段具有较好的油气资源前景。本研究针对 CSDP-2 井，综合物性实验、铸体薄片、扫描电镜、阴极发光、X 衍射等分析测试手段，分析了石炭系—二叠系碳酸盐岩储层特征；以此为基础，结合岩石物理分析，预测了崂山隆起三维区储层的分布规律，并通过海陆对比，对储层成因进行了分析。

CSDP-2 井揭示，石炭系—二叠系碳酸盐岩以泥晶灰岩为主，渗透率均小于 0.5mD，而孔隙度相对较好，最大值为 4.36%，均值为 1.86%；储集空间主要为构造缝和晶间孔，见少量的生物碎屑溶蚀孔隙；成岩作用类型包括压实作用、重结晶作用、白云石化作用、溶蚀作用和裂缝化作用等。综合分析认为，CSDP-2 井石炭系—二叠系碳酸盐岩储层类型分为孔隙型和缝洞型。以此为基础，通过岩石物理分析，确定了该套储层岩性、物性、裂缝等敏感参数，进而采用叠前同时反演方法预测了不同类型储层的空间展布规律。结果显示，石炭系—二叠系缝洞型储层发育，具有较强的非均质性，横向不连续，纵向上发育 2 套储层。分析认为，储层物性及展布特征受控于台内滩等沉积环境、成岩作用和构造挤压事件等因素的影响。

S39-O-01

一种新型微生物自生磁铁矿：来自南海冷泉沉积物甲烷带中的新发现

孙晓明[1,2]*，林志勇[1]，芦阳[1]

1 中山大学海洋科学学院，珠海 519082

2 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室，珠海 519082

* eessxm@mail.sysu.edu.cn

存于海洋沉积物中的磁学信号是研究地球构造演化、磁场变化和环境演变的重要工具。陆地来源的磁铁矿、钒钛磁铁矿等磁性铁氧化物是沉积物磁信号的重要来源。近

年来的研究发现，生物成因的纳米自生磁铁矿是沉积剩磁的另一个重要载体，它们主要通过趋磁细菌（magnetotactic bacteria）的胞内合成以及异化铁还原细菌（dissimilatory iron-reducing bacteria）的胞外合成两种方式分别形成磁小体化石和超细磁铁矿。通常而言，大陆边缘沉积物中有机物或甲烷含量丰富，硫酸盐还原作用较强烈，沉积物中多出现硫化（含硫化氢）现象，而硫化氢的存在使得沉积物中的磁铁矿难以得到良好保存，位于海底沉积物中硫酸盐-甲烷转换界面（SMTZ）的磁化率会普遍出现低异常，这是由于该界面硫酸盐驱动-甲烷厌氧氧化过程较为强烈，可释放大量硫化氢并导致沉积物中磁铁矿等发生还原溶解。

本次研究中，我们对南海北部冷泉区一根长达 230 米的沉积钻孔 GMGS2-16 进行了磁化率分析，发现该钻孔深部出现的多个 SMTZ 界面的磁化率并未出现低值，相反均出现异常高值。在进一步综合采用 FORC 一阶反转曲线、X 射线衍射、扫描电子显微镜和透射电子显微镜等多种分析手段深入研究之后发现，在这些高磁化率层位中竟然保存着大量结晶良好、保存完整的纳米级磁铁矿：尺寸约为 200-800nm，且多以晶簇形式出现，其结晶特征和尺寸均有别于陆地来源以及通常认为的生物成因磁铁矿，表明这些自生磁铁矿可能具有全新的成因。结合多种生物地球化学和矿物学证据，我们提出，这类磁铁矿可能是沉积物深部甲烷带微生物铁还原作用的副产物。研究钻孔 GMGS2-16 位于我国南海东北部天然气水合物赋存区，该区域甲烷喷溢活动的剧烈变化会导致沉积物中氧化-还原环境的快速变化，可促进 SMTZ 界面铁硫化物（如黄铁矿）的迅速氧化，进而形成丰富的次生铁氧化物（如针铁矿和赤铁矿）。这些铁氧化物一旦被快速埋藏到甲烷带，可为深部微生物铁还原作用的发生提供大量的活性铁来源，从而导致大量自生磁铁矿的形成。

该研究首次鉴定出沉积物甲烷带中微生物铁还原作用相关的自生磁铁矿，这一新的发现突破了我们关于海底沉积物磁铁矿来源的认识，对准确解释沉积磁学信号至关重要。同时，该发现可能会为科学家破解微生物铁还原作用机制提供新的线索，为揭示该类型磁铁矿形成途径提出挑战。

S39-O-02

更新世以来南海东北部陆坡区甲烷水合物分布及成藏地质演化

关进安 [1,2,3,4]*

1 中国科学院广州能源研究所，广州 510640

2 中国科学院天然气水合物重点实验室，广州 510640

3 广东省新能源和可再生能源研究开发与应用重点实验室，广州 510640

4 中国科学院广州天然气水合物中心，广州 510640

* guanja@ms.giec.ac.cn

当海洋浅部沉积物中产生的生物甲烷横向通过地质通道流入当地水合物稳定区时，很容易形成一定含量的地层扩散甲烷水合物储层，这些水合物层通常呈薄层状分布。与厚层结构的渗漏型水合物相比，地层扩散性水合物含量适中，分布空间宽，开采的工程条件好，因此也是有利的海洋水合物商业开发对象。在我国神狐海域水合物第二次试采成功之后，我们迫切需要弄清在大洋陆坡上普遍存在的地层扩散型水合物系统的成藏演化过程。在这里，我们选择南海北部陆坡区台西南盆地东沙海域，一个典型的被动大陆边缘区域，作为研究对象探讨地层扩散型水合物的聚集机制和分布模式，明确其最佳聚集度和空间扩展性，从而评估潜在的开采价值。基于当地地层序列，我们从理论上阐述了这种类型的地层扩散型水合物藏的一般赋存特征，并建立了一个包含沉积过程、流体流动和反应动力学的二维耦合模型，以探讨该区域自更新世 1.8Ma 起的水合物成藏过程和诸如工程地质条件、地热场等控制因素的影响。我们展示了在 3 个不同时刻

（1.5Ma 以前，0.7Ma 以前和现在），几个关键参数，包括孔隙率，温度盐和水合物含量的演化过程，讨论了地热梯度和动力学反应系数这两个影响因素对演化过程的影响，最后还研究了由当地有机碳生产和不同反应时间导致的地层扩散型水合物分布问题，并进一步验证了该我们理论和模型的合理性。结果表明，我们的模型展示出了对海洋陆坡区水合物相关地质现象合理解释的强大功能，并具备添加复杂的地层信息的良好可扩展性。

S39-O-03

大洋富钴结壳研究进展及展望

杨燕子[1,2]，陈华勇[1,3,4]*

1 中国科学院广州地球化学研究所，中国科学院矿物学与成矿学重点实验室，广州 510640

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院，北京 100049

3 中国科学院深地科学卓越创新中心，广州 510640

4 广东省矿物物理与材料研究开发重点实验室，广州 510640

* huayongchen@gig.ac.cn

富钴结壳是一种重要的海底矿产资源，具有独特的经济价值和科学意义，不仅富含 Co、Ni、PGE 和 REEs 等金属，而且对研究海洋微量元素的生物地球化学循环过程和反演新生代以来古海洋环境记录具有重要作用，越来越多的富钴结壳勘探活动也说明该类矿床作为一种重要的潜在钴资源亟需加大研究力度。目前研究表明，大洋富钴结壳矿床成因独特，形成于地质、海洋和生物等多种因素相互作用的动态环境，影响其分布和化学组成的因素包括海山形态、基岩类型、水深、海水溶解氧含量以及生物生产力等。无机胶体化学反应和矿物表面反应是控制富钴结壳形成的主要过程，铁锰氢氧化物胶体从周围海水中广泛吸附各种金属元素沉淀到海底基岩上，通过复杂的矿物表面反应将其富集到铁锰氧化物矿物中，形成的铁锰氧化物矿物十分微小且结构复杂，矿物形成与 Co、Ce 和 Pt 等元素的富集过程可能与微生物活动有关。受限于当前有限的科学研究技术，富钴结壳矿床的成矿物质来源及演化、微量元素富集机制、蕴含的古海洋信息以及资源开采技术等问题仍需要进一步深入探讨。例如，基于富钴结壳的矿物结构和地球化学特征，利用高分辨率透射电子显微镜和同步辐射 X 射线吸收光谱对富钴结壳微小矿物开展进一步精细研究，有助于完善富钴结壳的成矿模式并发掘更多找矿指标。

S39-O-04

互层状扩散型海洋天然气水合物储层中水合物产生与演化模型讨论

朱林奇*，吴时国*

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

* zhulq@idsse.ac.cn, swu@idsse.ac.cn

海洋天然气水合物的成藏机制一直是国内外的研究重点，介观-微观尺度的水合物产生机制受到了越来越多的关注。Hikurangi 北缘的天然气水合物储层属于砂泥岩互层类型储层，纵向分均质性较强且呈层状分布，与目前发现的海洋水合物储层存在差异。IODP 372 航次的 U1517 站位钻取岩心显示，Hikurangi 北缘储层的水合物饱和度含量较低且纵向变化较大，部分层段饱和度从 5%左右陡增为 68%。目前并没有弄清该类储层的赋存特征，导致对于天然气水合物储层的微观成藏机制认识缺失。以页岩油气储层作为类比，本研究既对储层的储藏能力进行考虑，又对储层的生烃能力进行评估，认为对于砂泥岩互层类型储层来说，有机质的含量与石英含量同样重要，用于生成水合物的天然气来源于围岩（泥岩）中的有机质。研究给出了基于石英含量与有机质含量的

水合物饱和度半定量模型，强调了在储存空间足够时，有机质含量决定了水合物饱和度，并构建了互层状扩散型的水合物生成演化模型。该研究可对互层状扩散型海洋天然气水合物储层的水合物富集研究带来帮助。

S39-O-05

多金属结核和富钴结壳中稀散元素地球化学特征

符亚洲*

1 中国科学院地球化学研究所，矿床地球化学国家重点实验室，贵阳 550081

* fuyazhou@mail.gyig.ac.cn

稀散元素是指在地壳中丰度很低（多为10^{-9}级）、在岩石中极为分散、难以形成独立矿物并大量堆积、成矿条件苛刻的元素，包括 Ga、Ge、Se、Cd、In、Te、Re 和 Tl（涂光炽等，2003）。这些元素在光伏太阳能电池、计算机芯片、微波电路、光纤系统、红外光学等新兴产业中应用广泛，其经济重要性日益增长（U.S.G.S, 2019），美国、欧盟和我国分别将其中一些列为关键矿产（毛景文等，2019；U.S.G.S, 2019）。多金属结核和富钴结壳是重要的海底矿产资源，其生长速率缓慢、具有低密度、高孔隙度的物理性质以及吸附性较强的矿物组成，可以从海水中捕获大量金属元素（Hein et al., 2000）。因此，结核和结壳中许多金属的含量比在海水中高出 9 个数量级，最显著的包括 Co、Ni、Ti、Pt、稀土元素和稀散元素 Te（Hein and Koschinsky, 2014）。关于稀散元素在结核和结壳中的研究相对较少，开展其元素地球化学、富集特征和结合机制的研究，一方面有助于了解稀散元素在海洋环境中的地球化学行为；另一方面从潜在战略资源的角度，希望能引起对海底关键金属资源的进一步重视。

对采自太平洋不同区域不同成因类型多金属结核和富钴结壳样品开展显微结构构造、矿物学、元素地球化学、微区元素扫描和淋洗实验等研究，查明了结核和结壳中稀散元素的地球化学特征和富集规律，并进一步探讨了元素的结合机制。与地壳和深海远洋粘土相比，海洋多金属结核和富钴结壳富集分散元素 Te、Tl、Se 和 Cd，而 Re、Ga、Ge 和 In 不富集；与滇东南地区多个古代沉积锰矿床相比，Ga 富集程度相当，其它元素在现代海底锰结核和结壳中明显富集。在结核圈层、结壳剖面以及不同典型显微构造中，稀散元素呈现有规律的变化特征；不同成因类型的结核和结壳中稀散元素的含量明显不同；水成型结核和结壳中不同稀散元素含量与水深之间的关系具有不同的变化趋势。在水成作用和水成-成岩混合作用下，Cd、Se、Te 和 Tl 主要通过吸附在锰氧化物或/和铁氢氧化物进入结核和结壳；水成成因的结核和结壳中 Te 的高度富集可能与耦合的氧化还原和共沉淀过程有关。

S39-O-06

海山沉积模型及富钴结壳资源评价方法

杜德文[1,2]*，闫仕娟[1]，杨刚[1]，石丰登[1]，朱志伟[1]，宋庆磊[1]，杨凤丽[1]，崔迎春[1]，石学法[1]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与地球物理研究室，青岛 266061

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266037

* dwendu@fio.org.cn

海山斜坡出露四种岩性，即松散沉积（远洋沉积物），富钴结壳等化学沉积，过渡带沉积和无沉积物覆盖的裸露基岩。这四种岩性的空间分布，受海山斜坡特有的沉积模型所控制。前人研究表明，海山斜坡地形控制着板内海山沉积物的空间分布。然而，相对来说，我们对斜坡地形的变化如何限制这些沉积物的空间分布所知甚少。文献分析了海山斜坡这四种岩性的调查数据（包括富钴结壳等化学沉积物），研究这些岩性的空

间分布与当前斜坡地形之间关系模式。使用这些关系模式，讨论斜坡地形的历史变迁与沉积层序的关联。在浅钻岩心样品中，发现两种或两种以上的沉积岩性叠加在一起。这种沉积层序叠加的现象被解释为，斜坡地形随历史变迁，沉积岩性也随之改变。最后我们提出一套海山斜坡沉积模型，这些模型不但能解释海山斜坡的各类沉积层序，也为富钴结壳资源评价提供基础认识和评价参数。海山富钴结壳厚度的空间分布部分受控于水深，传统基于距离方向的变差函数并不能有效表达其空间自相关或各向异性。我们构建了新变差函数来拟合富钴结壳厚度的空间自相关性。这种新变差函数是基于“距离-坡度”或“距离-相对水深”的实验变差函数及其拟合方法。同时为了解决调查站位稀疏，信息点不足的问题，我们提出了多海山联合拟合方法。应用结果表明，新方法很好地反映了富钴结壳厚度的空间自相关性。新变差函数模型和多海山联合拟合的思路，成功地将地质统计学方法，引入海山富钴结壳资源评价工作中。

文献提出了一种定量评价海山富钴结壳资源的综合方法，用实例阐明使用流程。该方法包括四个步骤:首先，在目标海山上定义统计单元（比如 20km^2 平方公里的方形块），并估算各统计单元的富钴结壳各种特征值（利用上述地质统计学插值等方法）；期次，提出几种成矿因子算法，如结壳区域覆盖率、斜坡适矿率和拟合斜坡面积等；然后，将统计单元内的各种富钴结壳特征值（厚度，比重，含水率，金属浓度，覆盖率等）和各种成矿因子相乘得乘积，即可估算出各统计单元的资源量。将海山斜坡所有统计单元，按资源量排序，并进行空间组合。选取空间相对集中，资源总量大的若干统计单元的集合作为圈矿目标。

S39-O-07

深海多金属结核对中国关键战略金属 Co 的安全保障及勘查远景区圈划

任向文*，石学法，闫仕娟

1 自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室，自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

* renxiangwen@163.com

战略性关键金属指现今社会必需、安全供应存在高风险的稀有金属、稀土金属、稀散金属和部分其它金属（如 PEG、Cr、Co 等）。Co 是中国重要关键战略金属之一，在电池、电器、催化剂、染料、合金制造以及医疗领域应用广泛。中国金属 Co 的来源可分国内、海外、深海三类。国内 Co 储量有限（8 万吨，全球占比 1%）；电池 Co 替代品受技术条件限制；再生 Co 资源技术成熟，但不属于独立的国内 Co 资源供给来源；我国 Co 金属资源储备有限，仅可保障中国 Co 资源的短期战略安全。目前，中国 Co 资源主要来自海外，但矿产所有国的政府矿业政策的变化、社会的动荡、瘟疫的爆发、局部的战争，以及人权的问题，都将控制这些 Co 资源的供给，并且，海外 Co 资源主要来自刚果（金），在运输中受诸如马六甲海峡等关键水道限制。深海多金属结核富含 Co，未来 10-15 年中国将具备多金属结核开采的能力，届时深海多金属结核可为中国 Co 资源的战略安全提供有力保障。

开发深海多金属结核，需确定适合中国进行勘查与开采的多金属结核远景区。全球深海多金属结核的分布受控于全球海洋沉积物厚度、全球海洋表层沉积物 $CaCO_3$ 含量、初级生产力、近底底流流速、全球海洋水深、全球海洋近底海水溶解氧等要素。本文利用二项逻辑斯蒂回归建立了三大洋多金属结核预测模型，基于此模型，预测了三大洋多金属结核的分布。在此基础上，从国际海底范围、光缆和航道、海冰海浪分布、台风分布、捕鱼集中区分布、海洋保护区分布、多金属结核运输距离和原地价格等 8 个方面，评价了全球三大洋多金属结核集中区，在太平洋划分 9 个、印度洋划分 4 个、大西洋划分 3 个远景区，并提出，北太平洋低纬

海域是最优的深海多金属结核勘查和开采的远景区。

S39-O-08

富稀土深海沉积中稀土元素的物质来源探究

张霄宇[1,2]*，石学法[3]，卢艳芳[1]，黄牧[3]，朱孔阳[1]，于淼[3]，王静雅[1]

1 浙江大学，地球科学学院，杭州 310027

2 浙江大学，海洋研究院，舟山 16000

3 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

* zhang_xiaoyu@zju.edu.cn

近年来，国际上在中印度洋盆地（CIOB）、印度洋沃顿盆地以及西太平洋、中太平洋和东太平洋以及东南太平洋发现了富含稀土深海沉积物的广泛分布。稀土元素资源量远远超过陆地储量，重要的潜在深海资源矿产。然而，目前关于稀土元素的主要来源、控制稀土元素配分模式的主要因素尚不清楚，这影响了对富稀土深海矿产资源成矿机制的深入认识。

本研究对采集于中印度洋洋盆（Central Indian Oceanic Basin，CIOB）的沉积物岩心进行了矿物学鉴定、元素（主要、微量和稀土）检测。并开展了鱼牙骨和碎屑矿物中的 $^{87}Sr/^{86}Sr$-$^{143}Nd/^{144}Nd$ 的检测。研究表明，CIOB 的富稀土深海沉积物具有多物质来源的特点。作为喜马拉雅隆起风化产物的主要储库，陆源物质在中印度洋洋盆广泛分布，碎屑矿物和鱼牙骨中 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 具有明显的放射性成因。陆源物质的输入对于富稀土深海沉积物中 Ce 异常具有重要影响，但是并不是提供稀土元素的主要来源。鱼牙骨中具有高放射性成因的 $^{144}Nd/^{144}Nd$ 比值，明显高于底层洋流（南极底水，AABW），火山热液活动可能是稀土元素的主要来源。研究还表明，Sr 和 Nd 在沉积成岩过程的地球化学行为具有明显差别。一般来说，陆源含 Sr 矿物在沉积埋藏后持续释放，鱼牙骨在沉积期后长期从孔隙水中吸附 Sr，而 Nd 则在沉积早期被吸附到鱼牙骨上，因此，更多地代表了底层海水中的信息。研究表明，底层洋流可能是大规模火山活动释放热液物质的重要载体，长距离搬迁后在洋盆合适的沉积环境沉积并被吸附形成富集。

S39-O-09

深海稀土的分布规律与超常富集机制

石学法[1,2]*，黄牧[1,2]，于淼[1,2]，毕东杰[1,2]，周天成[1,2]，刘季花[1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

2 青岛海洋试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266037

* xfshi@fio.org.cn

深海稀土是近年来发现的一种富集中-重稀土元素的新型海洋矿产资源，其资源量远超陆地稀土储量，具有重要的潜在应用价值。在全球大洋中初步划分出 4 个深海稀土成矿带：西太平洋稀土成矿带、中-东太平洋稀土成矿带、东南太平洋稀土成矿带和中印度洋海盆-沃顿海盆稀土成矿带。深海富稀土沉积主要发育在深海盆地的远洋粘土特别是沸石粘土中，主要属于自生成因；发育在洋中脊附近盆地中的深海稀土，则受到热液作用的影响。研究发现，深海粘土中稀土元素主要赋存于生物磷灰石中，海水和孔隙水是稀土元素主要来源；在早期成岩阶段，稀土元素在深海沉积物中发生转移和重新分配，并最终富集于生物磷灰石中；大水深（CCD 面之下）、低沉积速率和强底流活动是深海稀土形成的主要控制要素。其中，持续的大区域强劲的底流活动提供了大范围海底的氧化环境，为深海稀土的大面积超常富集奠定了基础。总之，深海稀土在成因上不同于已知的陆地稀土矿床，是海洋多圈层相互作用的产物。资助项目：国家自然科学

基金项目（91858209）和国际海底区域资源开发研究项目（DY135-R2-1-01）。

S39-O-10

富稀土沉积物中稀土元素富集机制—以中印度洋海盆为例

于淼*，石学法，黄牧，杨刚，周天成，毕东杰，李佳，孙懿，张兆祺

1 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

* myu@fio.org.cn

稀土元素是一种广泛应用于现代高科技、新材料和新能源等多项领域的关键资源。近年来，在大洋深海盆地中发现一种新型潜在的海底稀土资源—深海富稀土沉积（REY-rich deep-sea sediments），这起了国内外学者的广泛关注。目前此类沉积物中稀土元素超常富集的机制尚不清楚。本文以中国大洋第 34 航次在中印度洋海盆获取的富稀土沉积物为研究对象，探索富稀土沉积物中稀土元素的富集机制。

中印度洋海盆富稀土沉积物类型主要为沸石粘土和远洋粘土，其稀土含量为736.3-1731 ppm，主要表现为富集中-重稀土，负 Ce 异常和正 Y 异常的特征。沉积物元素相关分析显示，富稀土沉积物中，稀土元素和 P、Fe、Mn 和 Co 元素呈明显的正相关关系。再结合涂片、X 射线衍射及稀土配分模式的分析结果，可确定磷灰石和铁锰氧化物是研究区沉积物中稀土元素主要赋存矿物。富稀土沉积稀土元素配分模式则指示，其内的稀土元素主要来源于上覆海水。

根据研究，生物磷灰石在海水-沉积物界面处捕获稀土，而铁锰微结核在形成时直接从海水中吸收稀土元素。受沉积物内有机质与氧化剂之间的氧化还原反应的驱动，铁锰微结核等科释放的少量稀土元素，并被生物磷灰石吸收。本研究得到国家自然科学基目（批准号：91858209, 41706061），国家科技重大专项（批准号：2017YFC0602305），中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金（2017Q07）和中国大洋矿产资源研究项目（DY135-R2-1）。

S39-O-11

渤海物源研究

秦亚超 [1,2]*

1 自然资源部天然气水合物重点实验室，青岛海洋地质研究所，青岛 266071

2 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266071

* Lucifer2046@126.com

基于近年来采集的224个站位的海底沉积物样品，采用碎屑矿物分析方法，对现代渤海沉积物的物源进行了研究。渤海沉积物具有多源特征，主要来自三大内陆源区：黄土高原、燕山山地和科尔沁沙地。它们在渤海西部和北部海岸带形成了一系列水下三角洲。辽东海岸带砂质沉积，主要来自于辽东半岛近源中生代花岗岩体的风化作用。除此之外，渤海中东部的沉积物，可简单地归结为辽河物质和黄河物质的两端元混合。以黄河三角洲和辽河三角洲重矿物组成作为端元，定量分析了不同沉积区的混合比例。在辽东沙脊和渤中沙席区，黄河物质和辽河物质的相对贡献平均为 32%：68%。在辽东沙脊北部的石英富集区，两者的相对贡献平均为 38%：62%。在渤海东部泥质带，两者的相对贡献平均为 60%：40%。沿着泥质带主轴，从西南向东北方向，黄河物质的占比呈线性降低的趋势；在渤海湾口，黄河物质的贡献几乎为 100%，至秦皇岛海域，降至19%。渤东涨潮流三角洲（辽东沙脊和渤中沙席）可以认为是古辽河物质的大型储库，在晚第四纪低海平面时期持续积累，并经历了多期海侵改造。作为辽河沉积物的二次源，在全新世高海平面时期，这些古代沉积被重新激活并加入现代沉积过程。本文提出了一个潮控沉积模式，来解释渤海沉积物的积累和再循环。渤海海峡南部盛行的落潮流，是

驱动黄河物质向黄海搬运的主要动力，而海峡北部盛行的涨潮流，则是驱动黄河物质再循环的主要动力。黄河物质的再循环过程可分为内循环和外循环。通过内部再循环，形成了渤中沙席及其终端叶瓣，即东部泥质带；来自北黄海沉积中心的黄河物质，通过外部再循环，建造了辽东沙脊及其终端叶瓣，即沙脊北部的石英富集区。本文对黄河分散系统提出了一些新的认识，对于理解晚第四纪时期的渤海沉积过程，以及古黄河和古辽河水系在渤海盆地末次冰期的分布及其相互关系，也提供了一个新的思路。

S39-O-12

印度洋沃顿海盆沸石粘土沉积特征及REY富集机制

李佳[1,2,3]，黄牧[2,3]，于淼[2,3]，石学法[2,3]*，宋召军[1,3]，毕东杰[2,3]，张艳[2,3]，张兆祺[2,3,4]，孙懿[2,3,4]

1 山东科技大学，地球科学与工程学院，青岛 266510

2 自然资源部第一海洋研究所，自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266237

4 桂林理工大学，广西隐伏金矿产勘查重点实验室，桂林 541004

* xfshi@fio.org.cn

利用电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）对在印度洋沃顿海盆采集的 42II-IB-S035GC26 柱状沉积物（采样经纬度为 91.66°E、23.85°S，水深 4307 m，获取样品长 258 cm）13 个样品进行了稀土元素（REY：La~Lu 和 Y 等 15 种元素）测试，结果显示，稀土元素总量（∑REY）为 86.0 μg·g^{-1}～1036.8 μg·g^{-1}，平均值为 606.6 μg·g^{-1}。∑REY 在沸石粘土、含沸石粘土、深海粘土、钙质软泥和硅质软泥中依次降低。

在 REY 较富集沸石粘土中，∑REY 为 720.9 μg·g^{-1}～1036.8 μg·g^{-1}，重稀土（HREY：Gd~Lu+Y）含量为 269.7 μg·g^{-1}～360.9 μg·g^{-1}，HREY 富集系数为 7.63～10.2，均值 9.06，整体而言富集 HREY。利用澳大利亚后太古代平均页岩（PAAS）标准化 REY 特征值表明，$(La/Yb)_N$ 的变化范围为 0.63～0.68，说明岩心剖面轻、重稀土分馏作用明显。在 100～102 cm 层位，Ce 异常值（δCe）为 1.12，Eu 异常值（δEu）为 1.13，∑REY 为 1036.8 μg·g^{-1}，相应的 MnO 和 TFe_2O_3 含量分别为 264.3 mg g^{-1} 和 103.8 mg g^{-1}，均明显高于本站其他层位样品（其他层位 MnO 和 TFe_2O_3 平均含量分别为 85.7 mg g^{-1} 和 84.7 mg g^{-1}）。研究样品中∑REY 与 MnO 和 TFe2O3 的相关系数分别为 0.89 和 0.72，且在∑REY 较高的层位镜下观察到铁锰微结核含量也明显偏高，REY 配分模式与印度洋结核、结壳的配分模式相似，说明铁锰氧化物对∑REY 富集有一定影响。其他层位 δCe 为 0.36～0.72，δEu 为 1.17～1.25，存在 Eu 的正异常和明显 Ce 的负异常，REY 配分模式与海水的配分模式相似。∑REY 与 P_2O_5 的相关系数为 0.81，在显微镜下可见鱼牙骨碎屑，表明在沸石粘土中鱼牙骨碎屑作为 REY 的寄主矿物对 REY 富集具有重要的作用，验证了生物磷灰石质鱼牙骨是深海 REY 重要载体矿物。Pattan（2011）研究认为深海沉积物中 97.3%以上的 Al 以铝硅酸盐的形式存在，因此 Al 的含量可作为衡量粘土矿物含量的指标，本研究中∑REY 与 Al_2O_3 相关系数为 0.36，全岩 X 射线衍射（XRD）测试结果显示，该区域沸石粘土沉积物中粘土矿物主要为伊利石和蒙脱石，其次为高岭石和绿泥石，粘土矿物可以通过清扫作用吸附 REY 从而使 REY 富集，因此粘土矿物对 REY 的富集也有重要的影响。

综上所述，∑REY 与 P_2O_5、MnO、Fe_2O_3 和 Al_2O_3 相关性表明，生物磷灰石质鱼牙骨碎屑等是 REY 的主要赋存矿物，铁锰微氧化物以及粘土矿物的吸附作用对 REY 的富集也有重要的影响。较低的沉积速率使得生物磷灰石质鱼牙骨碎屑和铁锰微氧化物在沉积物中堆积，因此低沉积速率是深海沉积物中 REY 富集的关键控制要素。

S39-P-01

南海北部台西南盆地不同AOM作用的识别

邬黛黛[1,2]*，谢瑞[1]，区相文[1]，张覃谊[1]，刘丽华[1]，吴能友[3]

1 中国科学院天然气水合物重点实验室，中国科学院广州能源研究所，广州 510640

2 中国科学院南海生态环境工程创新研究院，广州 510301

3 自然资源部天然气水合物重点实验室，中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

* wudd@ms.giec.ac.cn

海洋中蕴藏着大量的甲烷，海洋沉积物中产生的甲烷 90%是在沉积物中被甲烷厌氧氧化作用（Anaerobic Oxidation of Methane, AOM）所消耗。在海底水-岩界面附近，渗漏的甲烷在甲烷厌氧氧化古菌和硫酸还原菌的作用下与来自海水的硫酸盐耦合发生硫酸盐驱动的甲烷厌氧氧化作用（SO_4^{2-}-AOM）。甲烷作为电子供体被氧化，硫酸根作为电子受体被还原，使得甲烷和硫酸根浓度在垂向上形成特殊的亏损层，硫酸根和甲烷的含量急剧下降的过渡带，称为硫酸盐甲烷转化带（Sulfate-Methane Transition Zone，SMTZ），是甲烷厌氧氧化过程发生的主要区域。随着甲烷厌氧氧化作用研究的不断深入，金属驱动的甲烷厌氧氧化作用（Metal-AOM）在更多的沉积环境中发现，主要是 Fe（Ⅲ）和 Mn（Ⅳ）驱动的甲烷厌氧氧化作用。

本次研究区域位于台西南盆地东南侧，该区域受多期构造活动影响，在海底发育 NW-SE 向峡谷，接受了巨厚的晚新生代沉积，并以浊流体、海底扇等富砂质沉积物的形式堆积下来。同时，该区域海底广泛发育泥火山、泥底辟及断层。断层横切沉积层延伸至深层沉积物并造成大规模位移，为下部烃类气体向上运移提供了有利的通道。2004 年中德合作的 SO-177 航次在该区域发现了目前世界上规模最大的冷泉碳酸盐岩建造——九龙甲烷礁。在随后的多次航次中均在该区域发现了天然气水合物实物样品。

本文通过地球化学研究方法来研究冷泉渗漏活动导致的孔隙水、沉积物元素、矿物和同位素等异常。研究结果证实，台西南盆地存在较强的连续或多其次的甲烷渗漏活动，SMTZ 大概分布在 400～900cmbsf 的位置，该区域发生显著的 SO_4^{2-}-AOM；同时在 SMTZ 下部以及之下的硫酸盐亏损带中，同时存在 Fe-AOM 为代表的 Metal-AOM，形成的标志性矿物为蓝铁矿。元素含量异常、自生矿物形成及其同位素对于 SO_4^{2-}-AOM 和 Metal-AOM 有一定的响应，为水合物藏勘探开发提供进一步的地球化学异常指标。

S39-P-02

南大西洋中脊赤弧热液区成矿机制探讨

叶俊[1,2]，李响[1,2]，石学法[1,2]，李传顺[1,2]*，闫仕娟[1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

2 自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

* lichuanshun@fio.org.cn

海底热液系统是海水与岩石圈发生能量和物质交换的场所。热液喷流是海底热液系统在海底地表的表现。热液喷流伴随的矿物结晶和矿物堆积构成了具有潜在经济价值的海底多金属硫化物矿床。热液喷流可发生在不同的大洋中脊，已有研究表明，慢速扩张的洋中脊因其构造活动广泛，岩浆作用相对适中，更有利于大规模多金属硫化物的堆积。

大西洋中脊是典型慢速扩张洋脊，拆离断层是其特征构造之一。波纹状高地在洋脊两侧的非对称分布是拆离断层活动的标记，通常构成大洋核杂岩体（OCC）。尽管如此，南大西洋中脊鲜有拆离断层的相关报道。2011 年，大洋 22 航次在南大西洋中脊开展了广泛的地质考察，在 23.7°S 洋脊段东壁发

现一处 OCC，后将其命名为“赤弧海丘”。该海丘长 16.6km，宽 8.6km，平行于洋脊走向。海丘表面可见平行于洋脊扩张方向的波纹构造。海丘东侧紧邻“黑乌海丘”。黑乌海丘表面也发育显著的波纹构造。两个海丘的波纹构造一一对应，相互连接。依此判断二者为同一拆离作用不同时期的产物。2019 年大洋 52 航次在赤弧海丘西坡与中央裂谷交汇处，通过 AUV 探测到显著的温度异常和甲烷异常，判断存在水下热液活动。后续通过海底摄像在海底观测到了热液硫化物和热液生物，并取得大量岩石和硫化物样品。通过对该热液区的岩石和多金属硫化物研究发现，该热液区岩石类型复杂，主要包括拉板玄武岩、辉长苏长岩、含大量钛铁氧化物的辉长岩。航次采集的硫化物大多经历了成岩作用，硫化物碎屑与蚀变岩石碎屑呈不同比例被非晶质二氧化硅胶结或白云石-菱镁矿胶结。部分硫化物样品可见由蚀变岩屑层与粗粒硫化物层构成的似层状构造。硫化物碎屑主要由黄铜矿组成，其次是磁黄铁矿、黄铁矿、等轴古巴矿、闪锌矿等；硫化物碎屑粒度大小不一，棱角分明，局部相邻的粗大硫化物角砾轮廓彼此间可拼合；细粒硫化物多以细粒黄铁矿和棕色闪锌矿为主，分布于非晶质二氧化硅胶结带内或白云石-菱镁矿带内。蚀变岩屑之间的非晶质二氧化硅内可见大量细粒莓球状黄铁矿。蚀变岩屑主要由滑石、皂石、蒙脱石及少量绿泥石、蛇纹石等组成；XRD 结果显示还有少量闪石类出现。蚀变岩屑内可见大量浸染状分布的细粒黄铁矿。蚀变程度较轻的岩石裂隙和晶隙中也可见浸染状分布的细粒黄铁矿。

根据矿物产出的形态特征，结合热液区产出的构造位置，初步判断该热液区至少经历了两期成矿，第一期热液活动在地表形成了块状硫化物或硫化物烟囱，后期在海底风化作用及构造活动下发生滑塌，并向低洼处迁移，与蚀变岩屑混杂堆积；第二期以富硅质流体为主，对早期混杂堆积的硫化物和岩屑进行二次胶结，并伴随硫化物的沉淀。热液区玄武岩的出露为岩浆作用的存在提供了直接证据，结合热液区产出于拆离断层上下盘交界处，推测热源主要来自洋脊轴部侵入体，拆离断层是主要的导矿构造。大量的滑石、菱镁矿以及少量蛇纹石等的出现，指示热液区也受到了显著的超基性岩影响。

S39-P-03

南大西洋中脊洵美、彤管热液区含金属沉积物 Cu、Zn 同位素组成及成矿指示

杨宝菊[1,2]*，刘季花[1,2]，石学法[1,2]，李传顺[1,2]，李兵[1,2]，党院[1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

2 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

* haichenxiang@163.com

Cu、Zn 是重要的成矿元素，近年来，国内外学者对 Cu、Zn 同位素在矿床学中的应用进行了大量开拓性的研究，Cu 同位素在示踪成矿温度、成矿作用过程、表生过程硫化物氧化再循环及热液改造方面具有较大潜力（Rouxel et al., 2004），Zn 同位素在示踪成矿流体演化等方面具有潜在应用价值（Wilkinson et al., 2005; John et al., 2008; 王跃和朱祥坤，2010）。

在海底热液系统，活动的热液喷口不断堆积形成多金属硫化物烟囱体，烟囱体死亡崩塌后又形成热液沉积物，这一过程普遍存在，那么从高温烟囱体至其次生蚀变过程中，Cu、Zn 同位素是如何迁移变化，对于这一情况尚未可知。南大西洋中脊热液区附近含金属沉积物中含有大量硫化物、氧化物，为了分析海底烟囱崩塌后表生环境下沉积物 Cu、Zn 同位素的迁移变化，本研究在南大西洋中脊洵美和彤管热液区选取 6 个含金属沉积物样品，挑选沉积物中的硫化物、氧化物，分别对其全岩、硫化物、氧化物进行了 Cu、Zn 同位素分析。

本研究 6 个含金属沉积物样品，其中 46II-14、46II-30、46III-02 和 46III-06 位于

洵美热液区，取样水深在 2544m~2595m 之间，46II-09 和 46III-08 位于彤管热液区，取样水深分别为 3462m 和 3358m。沉积物呈红褐色或黑褐色，含有部分烟囱碎屑。全岩 XRD 结果显示，样品中含有大量硫化物，包括黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿，少量白铁矿、针铁矿。大量硫化物的出现说明样品取样位置靠近热液喷口，沉积物中广泛分布的针铁矿说明硫化物发生了氧化。

46II-14、46II-30、46III-06、46II-09 中的硫化物 δ^{65}Cu 值相对较低且变化范围较小，在-0.208‰~0.503‰之间，平均值 0.285‰。Cu 同位素的变化范围与北大西洋中脊不活跃的古老烟囱的 δ^{65}Cu 值（-0.98‰~0.14‰，平均值为-0.35‰）（Rouxel et al., 2004）接近，说明这几个沉积物样品中的硫化物主要来自坍塌的死亡烟囱体。另外两个样品 46III-02、46III-08 中硫化物的 δ^{65}Cu 值相对较高，分别为 1.097‰、0.964‰，δ^{65}Cu 值位于北大西洋中脊 Lucky Strike、Rainbown 和 Logatchev 热液区活跃的热液烟囱的 δ^{65}Cu 值范围内（-0.29‰~3.14‰，平均值 0.96‰），说明这两个沉积物样品中的硫化物主要来自正在活动的高温烟囱体，即热液柱颗粒沉降形成。热液柱中硫化物颗粒物搬运距离较近，通常会在近喷口处沉降，因此如果沉积物样品中的硫化物 δ^{65}Cu 值较高，暗示其位置离活动的热液喷口较近，推测在洵美热液区 46III-02 采样位置附近，以及在彤管热液区 46III-08 采样位置附近可能存在未发现的活动热液喷口。由此可见，沉积物中硫化物的 δ^{65}Cu 值不仅可以反映物质来源，也可以用来寻找活动的热液喷口。

46III-02、48III-08 中氧化物的 δ^{65}Cu 值相对较低（分别为 0.793‰、0.691‰），均低于同样品中硫化物的 δ^{65}Cu 值（分别为 1.097‰、0.964‰），表明 46III-02、48III-08 中的硫化物主要来自活动的热液烟囱中颗粒物的沉降。沉积物中氧化物较低的 Cu 同位素组成说明沉积物中新鲜的硫化物容易发生强烈蚀变，淋滤液带走了重同位素，而残留氧化物相对富集 Cu 的轻同位素。另外四个样品 46II-14、46II-30、46III-06、46II-09 中氧化物的 Cu 同位素组成均高于同样品中硫化物的 Cu 同位素组成。说明这四个样品中的硫化物主要来自古老的坍塌的死亡烟囱体。这些氧化物可能在烟囱体死亡后缓慢蚀变形成，并在最初形成时也保持低于原生硫化物的 Cu 同位素组成，在氧化物形成后又逐渐从海水中吸附 Cu 的重同位素从而造成 Cu 的重同位素的富集。

在洵美热液区，46II-30、46II-14、46III-02、46III-06 中硫化物的 δ^{66}Zn 值分别为 0.46‰、0.55‰、0.33‰、0.67‰。从样品的取样位置来看，46II-30、46II-14 距离洵美-3 热液喷口分别为 0.40km、0.50km。样品取样位置与其 Zn 同位素比值有正相关关系，即离喷口越远，Zn 同位素组成越重。这种相互关系与 Wilkinson 等（2005）研究中，越远离主矿体，Zn 同位素组成越重的结果一致。另外两个样品，46III-02、46III-06 中硫化物的 δ^{66}Zn 值分别为 0.33‰、0.67‰，而两个样品采样位置距离洵美-3 喷口的取样位置分别为 0.56km 和 0.38km，取样位置离喷口越远，Zn 同位素组成越轻，与上述结果正好相反。根据前人矿体位置与 Zn 同位素的关系，推测在本研究中，除了洵美-3 喷口外，46III-02 样品应该更靠近热液喷口，所以在 46III-02 样品采样位置附近附近可能存在一个活动的热液喷口。此分析结果与 46III-02 样品硫化物的 Cu 同位素分析结果一致。即 46III-02 中硫化物的 δ^{65}Cu 值相对较高为 1.097‰，推测这个沉积物样品中的硫化物主要来自正在活动的高温烟囱体，即在洵美热液区 46III-02 采样位置附近，可能存在未发现的活动热液喷口。

S39-P-04S

水平井开发海域水合物藏数值模拟研究

尚世龙[1,2]*，古利娟[1,3]，詹林森[1,2]，卢海龙[1,3]*

1 北京大学北京天然气水合物国际研究中心，北京 100871

2 北京大学工学院，北京 100871
3 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871
* shilongshang@pku.edu.cn, hlu@pku.edu.cn

随着全球能源需求的增加，开发海域天然气水合物藏受到世界多国广泛关注。在当前全球范围内已实施的水合物藏试采工程中，大多采用了直井进行开发，仅 2020 年中国第二次水合物试采时采用了水平井。为评估利用水平井开发海域含游离气高束缚水饱和度水合物藏的产气效果，本文建立了多层水合物藏模型。该模型中水合物层下伏游离气层，且沉积物的束缚水饱和度高达65%。开发时采用了单一水平井、垂向平行双水平井井型进行生产。模拟结果表明水平井开发能够获得较高的产气速率，特别是在生产早期当游离气对产气有较大贡献时。当采用单一水平井开发时，推荐水平井位于水合物层下部位置以充分产出游离气并引起水合物大规模分解。当采用垂向平行双水平井开发时，水平井可分别位于水合物层中部及下部以发挥协同效应。敏感性分析表明水合物藏中含有游离气及高的束缚水饱和度都能引起高的气水比，即增加产气降低产水。

S39-P-05S

拉曼光谱定量研究水合物相组成

李辉，吕万军*

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074
* lihui_0719@126.com

天然气水合物，是由甲烷、乙烷等小客体烃类分子与水形成的笼状化合物，可以在低温、高压下存在（Sloan, 2008）；由于其储量大、清洁高效的特性，已经成为了一种潜在的可替代传统化石能源的新型能源。最新的地质数据发现，在黔东南盆地中，发现了一型水合物与二型水合物共存的现象（Liang et al., 2019）。传统理论认为，在自然的水合物储藏中，气源组成决定了水合物的结构及其组成。本实验通过拉曼定量研究水合物相的组成与结构，结果发现：即使在相同的气源组成下，不同温度下也可以形成不同类型结构的水合物；除此之外，还通过拉曼定量研究了水合物相组成。

本实验所用的气体是甲烷-乙烷不同比例的混合气体，在 30MPa 压力条件下，在石英毛细管中合成了水合物，通过 Raman 研究水合物的结构；随后通过定量观测水合物的分解气组成，来间接研究水合物的组成、结构随温度的变化关系。

研究结果发现：在气体比例为 20%乙烷的气源组成中，温度为 278.15k 形成二型水合物，在 283.15k 形成了Ⅰ型水合物，即在相同的气源组成下，不同温度下可以形成不同类型的水合物；在气体比例为 10%乙烷的气源组成中，形成的水合物类型都是Ⅰ型水合物，随着温度的升高，水合物中乙烷组成也在逐渐升高，但水合物中乙烷的比例始终小于气源组成。

S39-P-06S

硫酸盐甲烷转换带内多硫同位素特征及应用研究

张覃谊[1,2]，邬黛黛[1,3]*，刘丽华[1]

1 中国科学院天然气水合物重点实验室，中国科学院广州能源研究所，广州 510640
2 中国科学院大学，北京 100049
3 中国科学院南海生态环境工程创新研究院，广州 510301
* wudd@ms.giec.ac.cn

近年来，关于海底沉积物中硫酸盐甲烷转换带内多硫同位素的研究热度有增无减。与多硫同位素分馏相关的硫酸盐还原-甲烷厌氧氧化作用（SR-AOM）被认为是沉积物中消耗甲烷的主要微生物地球化学过程。该过程典型地受微生物调节导致显著的同位素分馏而引起硫化物及黄铁矿中极大的负 $\delta^{34}S$ 值。然而，由于有机碎屑硫酸盐还原作用(OSR)同样会造成黄铁矿内显著亏损 ^{34}S，

所以仅依靠 $\delta^{34}S$ 区分 SR-AOM 和 OSR 是不具有特征性的。此外，Lin 等（2017）基于实验室培养试验和取样观测结果所提出的 $\Delta^{33}S$-$\delta^{34}S$ 等关系式被证明能很好区分 SR-AOM 和 OSR，即 SMTZ 内产生硫化物的 SR-AOM 含高 $\delta^{34}S$ 和 $\Delta^{33}S$ 值，不同于 OSR 和硫歧化作用结合产生的上覆沉积物内的硫化物。此外，形成在甲烷渗漏中的自生重晶石能潜在的捕捉 SMTZ 内的孔隙水硫酸盐，显示负 $\Delta^{33}S$-$\delta'^{34}S$ ($\Delta^{33}S \equiv \delta'^{33}S - 0.515\times\delta'^{34}S$; $\delta'^{3i}S=\ln(1+\delta^{3i}S)$; $\delta^{3i}S={}^{3i}R/{}^{3i}R_{ref}-1$)相关性，与由有机碎屑硫酸盐还原作用所控制的环境内的孔隙水硫酸盐正的 $\Delta^{33}S$-$\delta'^{34}S$ 相关性明显不同。Gong 等（2018）的研究也认为，重晶石内特征性的 $^{33}\theta$ 值($^{33}\theta \equiv \ln^{33}\alpha/\ln^{34}\alpha$)亦能清晰地指示与 SR-AOM 有关的多硫同位素特征，即海洋沉积物中的 SR-AOM 的特征 $^{33}\theta$ 值最终比典型的 OSR 过程的更小。在研究模型方面，针对硫化物及黄铁矿应用稳定状态盒模型以研究其多硫同位素演化，而针对重晶石则应用 1-D 反应转移模型研究其多硫同位素特征，这两种方法都能较好对应实验室和样本观测结果。本文主要对前人所做的 SMTZ 内多硫同位素的研究进行调研综述，集中于对具有代表性的黄铁矿和重晶石样本多硫同位素特征进行概括。这些研究为进一步了解海底甲烷渗漏区域内的微生物相互作用及能量来源和示踪潜在的天然气水合物矿藏提供了指导意义。然而，值得注意的是，SMTZ 内的生物地球化学过程是相当复杂的，如何结合多种方法正确揭示多硫同位素及硫循环特征仍然有待于进一步研究。

S39-P-07

水成铁锰氧化物对海水稀土元素的清扫作用

邓贤泽[1,2]*，何高文[1,2]，任江波[1,2]，蔡钊[3]，涂公平[1,2]

1 自然资源部海底矿产资源重点实验室，广州海洋地质调查局，广州 510075

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

3 新疆地质矿产勘查开发局第六地质大队，哈密 839001

* Dengxianze137@163.com

稀土元素因具有极度耐热、难熔、耐腐蚀以及优良的光电磁等独特性能，在新能源、高新技术材料、国防航空等行业具有不可替代的重要性。水成铁锰氧化物沉淀作用在全球海洋广泛存在，形成海山结壳，海盆结核，海盆沉积物铁锰微结核，水成铁锰氧化物因为超常富集稀土元素等关键因素而具有极其重要的经济价值。海水中溶解的稀土元素主要与碳酸根离子形成络合物，以共价键的形式与碳酸根离子形成一元或二元络合物而呈现正、负电荷。在海水条件下，海水中溶解的 Fe^{2+}、Mn^{2+}在氧化条件下分别形成带微弱正电荷的铁氧/氢氧化物胶体和带负电荷的锰相氧化物胶体。在库伦力作用下，水成铁锰氧化物对稀土元素的富集过程取决于矿物相表面络合和碳酸盐络合的竞争效应。揭示水成铁锰氧化物对海水稀土元素清除作用这一科学问题的关键在于查明水成铁锰氧化物中稀土元素的赋存状态。水成结壳、结核、铁锰微结核以鳞片状水羟锰矿和不定形铁的氢氧化物为主，两者在纳米尺度共生。前人在研究水成结壳、结核中稀土元素赋存状态时采用了化学淋滤法、微区 LA-ICP-MS 分析以及相关性与主成分分析，对水成铁锰氧化物中稀土元素的赋存状态存在三种不同的认识：锰相氧化物为主、铁相氧化物为主、铁锰相氧化物。这种认识差异可能缘于分析样品具有不同的铁锰氧化物比例；此外，化学淋滤法就不可能是完全有效的，在分离水羟锰矿时还淋滤出可观的铁相氧化物；而由于铁锰氧化物含有多个稀土元素矿物相，而多元体系的相关性与主成分分析往往是多解的。LA-ICP-MS 较大的分析束斑(稀土元素分析束斑>36μm)可能无法分辨铁、锰相微纹层。对铁锰氧化物中稀土元素赋存状态认识的不足制约了稀土元素在

水成铁锰氧化物沉淀过程富集机理的理解，有待进一步的分析研究。

S39-P-08S

中印度洋洋盆深海沉积物碲地球化学特征及其物源指示意义

卢艳芳*，张霄宇，朱孔阳

1 浙江大学地球科学学院，杭州 310027

* 21938009@zju.edu.cn

碲是制造太阳能薄膜电池的主要原材料，而日益受到重视。近年来的调查研究表明，海底铁锰结壳、结核以及热液硫化物中Te能够超常富集，深海沉积物是潜在的大量碲元素库，非常具有研究价值。但碲在沉积物中的赋存形式，以及物质来源仍然不清楚，限制了对深海碲元素的探测。

有鉴于此，本次研究以中印度洋洋盆GC03、GC04、GC11和GC02四个站位不同深度的沉积物样品为研究对象，基于沉积物矿物学分析，主量、微量和稀土元素检测数据，采用元素含量特征、相关性分析、特征元素三角图解，以及稀土元素分馏特征值等手段，开展沉积物物质来源研究。基于矿物研究数据，采用LA-ICP-MS手段，开展不同矿物中碲含量研究。

结果表明，GC04、GC11和GC02三个站位主微量元素具有相同的特征，并且REY含量大于 400ppm，属于富稀土深海沉积。GC04、GC11 和 GC02 岩芯沉积物中的 Te 分别为0.5, 0.68, 0.92ppm，富集系数分别为498, 677, 922，与上地壳相比形成了超常富集。但未达到结壳和结核的富集程度。碲的平均值在矿物中的分布情况（单位：ppm）：黑云母（35.50）>石英（24）>富钾斜发沸石（17.51）>正长石（16.16）>高岭石（11.05），含铁矿物中碲含量小于5ppm，其中黑云母、石英、富钾斜发沸石达到结壳碲富集水平，具有一定的资源价值。Te和Fe, Co, Ni, Mn, Pb等热液成因元素相关性很好，可能是热液来源。Te和稀土元素相关性也很好，可能碲和稀土元素具有相同的来源。

本次研究对于碲在深海沉积体系矿物中的含量分布有了初步的认识，深海富稀土沉积作为Te的潜在资源矿产的可能性，为Te找矿提供理论基础和科学依据。碲在指示稀土元素的物质来源方面提供思路。

S39-P-9S

西北太平洋GC03岩心深海富稀土沉积物地球化学特征及稀土元素主要赋存矿物

张兆祺[1,2,3]*，石学法[2,3]，毕东杰[2,3]，张艳[2,3]，刘希军[1,4]，黄牧[2,3]，于淼[2,3]，方习生[2,3]，朱爱美[2,3]，杨刚[2,3]

1 桂林理工大学，广西隐伏金矿产勘查重点实验，桂林 541004

2 自然资源部第一海洋研究所，自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266237

4 中国科学院新疆生态与地理研究所新疆矿产资源研究中心，乌鲁木齐 830011

* 15305514837@163.com

深海富稀土沉积物是指稀土元素（REE+Y）含量超过700 μg·g^{-1}的深海沉积物。继日本学者Kato（2011）首次提出深海沉积物中富含大量稀土元素（尤其是中、重稀土元素），具有极大的开发潜力。这引起了国内外学者的广泛关注。2016年，日本在南鸟礁岛附近的日本专属经济区发现了稀土元素总含量（ΣREY）约为7000 ppm的深海沉积物，表明西北太平洋的深海沉积物具有极大的研究价值。

综合地质背景分析，西北太平洋洋底为太平洋年龄最老的洋壳，具有较厚的深海沉积物，且该海区碳酸盐补偿深度（CCD）较浅，钙质生物干扰少，是形成深海富稀土沉积物发育的有利条件。由分析，西北太平洋

是深海富稀土沉积物最为发育的地区之一，为研究富稀土沉积物提供了优质样品。

本研究对西北太平洋海域GC03岩心中的36个深海沉积物样品进行了详细的矿物组成、主微量元素和稀土元素地球化学分析。结果表明，该区富稀土沉积物的主要矿物组成为粘土矿物（蒙脱石、伊利石等）、沸石（斜方沸石和钙十字沸石）、生物磷灰石、石英和长石等。

样品稀土元素总含量（ΣREY）最高可达3134.7 $\mu g \cdot g^{-1}$，其中31个样品为富稀土沉积物（ΣREY=727.61-3134.7 $\mu g \cdot g^{-1}$）。研究区深海富稀土沉积主要存在于孔深 50 cm 至358 cm层段。沉积物页岩（PAAS）标准化后的REY配分模式呈中、重稀土富集模式，具有显著的负Ce异常和轻微的正Y异常，与海水的PAAS标准化REY配分模式曲线相似，指示深海沉积物的稀土元素主要来源于海水。ΣREY与P_2O_5和CaO含量呈显著正相关性，与MnO含量也存在一定正相关关系，表明生物磷灰石（磷酸钙）和微结核为稀土元素的主要赋存矿物。

通过对比不同类型深海沉积物并对其进行地球化学特征分析发现，深海沉积物的稀土元素含量主要取决于沉积物中生物磷灰石颗粒的含量，同时，铁锰微结核颗粒对沉积物中稀土元素含量也有一定影响。

S39-P-10S

中印度洋深海盆地富稀土沉积物的地球化学特征及地质意义

孙懿[1,2,3]*，石学法[2,3]，于淼[2,3]，鄢全树[1,2,3]，刘希军[1,4]，黄牧[2,3]，张艳[2,3]，毕东杰[2,3]，周天成[2,3]，张兆祺[1,2,3]

1 桂林理工大学，广西隐伏金矿产勘查重点实验室，桂林 541004

2 自然资源部第一海洋研究所，自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室，青岛 266061

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266237

4 中国科学院新疆生态与地理研究所新疆矿产资源研究中心，乌鲁木齐 830011

* easonyii77@Gmail.com

稀土元素（Rare Earth Element, REE）是一种广泛应用于高科技领域的关键金属元素。随着科技的发展，全球对稀土元素（尤其是中、重稀土元素）的需求越来越大。2011年，Kato等人的研究发现，在太平洋区的部分沉积物中蕴藏大量稀土资源，据估计其稀土资源量是陆地稀土总资源的800-1000倍。目前前人做了大量的工作，其中不同类型深海沉积物的稀土元素储量潜力以及沉积物中不同组分会对稀土元素的富集产生的影响仍是科学讨论的热点问题。2013年，中国大洋协会在印度洋也发现了富稀土沉积，且资源潜力巨大，为开展上述研究提供了基础。本次研究以大洋第34航次在中印度洋海盆南部获取的GC02和第39航次获取的GC06站重力柱样品为研究对象，通过开展矿物学和地球化学测试分析，综合分析中印度洋深海盆地富稀土深海沉积物的岩相学及地球化学特征，探究稀土元素的富集影响因素。根据沉积物内发育的矿物类型及含量特征可知，中印度洋海盆南部沉积物发育有沸石粘土、含沸石粘土、钙质粘土，其主要组成矿物为鱼牙骨（生物磷灰石）、钙十字沸石、铁锰结核和少量的粘土矿物。钙质粘土中ΣREY为601-1172ppm，δCe平均值为0.6；含沸石粘土（钙十字沸石5-10%）中ΣREY为845-1561ppm，δCe平均值为0.5；沸石粘土中ΣREY为1487-1751ppm，δCe平均值为0.3。前人曾对印度洋深海软泥做过研究，西南印度洋钙质软泥中ΣREY为18-57ppm，δCe平均值为0.5；硅质软泥ΣREY为33-349ppm，δCe平均值为1.1。

综上，不同沉积物中的稀土元素储量潜力不同，沸石粘土>含沸石粘土>钙质粘土>硅质软泥>钙质软泥。沉积物的ΣREY与P_2O_5存在强烈正相关关系，表明稀土元素主要赋存在生物磷灰石中。稀土元素配分模式显示出重稀土富集的特征，与上覆海水中配分模式相似，指示了海水可能是稀土元素的

主要来源。另外，研究还发现ΣREY 和 δCe 之间存在负相关关系，δCe 均小于 1 且变化范围不大，代表了沉积物形成于稳定的氧化环境。

S39-P-11S

针铁矿对稀土元素的吸附及其在深海铁锰结核上的体现

梁泳嘉[1,2]*，李登峰[1,2]，付宇[1,2]，孙晓明[1,2]

1 中山大学海洋科学学院，广州 510006

2 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室，广州 510006

* liangyj43@mail.sysu.edu.cn

稀土元素（REY）是一种关键金属矿产资源。前人研究表明：深海是一个巨大的稀土储库，深海富稀土沉积物中稀土的主要赋存载体为生物磷灰石和铁锰微结核。在海水中，铁锰（氢）氧化物纳米颗粒最初能对 REY 以离子吸附的方式进行“清扫”，进而沉降凝结形成微结核，在海床表面进一步富集 REY。最终，微结核在成岩过程中被还原并溶解，其早期吸附的 REY 得以释放，借助孔隙水介导最终固定在磷酸盐相矿物中。针铁矿作为铁锰结核中常见的终端矿物，也是海洋中铁（氢）氧化物主要的矿物相，它有着比表面积大（8-200 m^2/g）和吸附能力强的特点。

本研究在常温常压条件下，通过调节 pH、离子强度和磷酸根的浓度，开展纳米相针铁矿吸附 REY 的系列实验，结果表明：（1）针铁矿在 pH 偏中性的环境下，短时间（24 h）内吸附的ΣREY 可达几个 ppm。在添加 PO_4^{2+}的组别中，吸附效率提高 1~2 个数量级。在离子强度较高（0.5 M $NaNO_3$）的组别，添加 PO_4^{2+}的组别对 REY 的吸附能力只是少量下降，因此推测：在 P 含量较高的海域中，针铁矿对稀土的吸附能力依然可观。（2）REY 在吸附过程中会发生分馏，重稀土含量普遍比轻稀土高 0.4~1 倍，这与先前研究发现的铁相主要吸附重稀土的现象是吻合的。依据以上证据，本研究初步认为：针铁矿通过在表面形成以磷酸根为桥的三元络合物，或直接与水解后的稀土离子结合的方式吸附稀土。进而推测在磷酸根含量较高的海域，即使结核中锰相占主导，铁相仍是主要的稀土赋存矿物。诚然，本研究后续需要更多的实验进一步表征针铁矿吸附后的结构，明确 PO_4^{2+}的作用、晶格取代的发生与否和 Ce 价态的问题，从而更好地与实际样品进行对比和解释。

S39-P-12

浅海沉积磷块岩型潜在稀土资源的研究进展

王静雅[1]*，张霄宇[1,2]，温汉捷[3]，任江波[4]

1 浙江大学地球科学学院，杭州 310027

2 浙江大学海洋研究院，舟山 316000

3 中国科学院贵阳地球化学研究所，贵阳 550002

4 国土资源部海底矿产资源重点实验室，广州海洋地质调查局，广州 510075

* migorhappyday@126.com

近年来，浅海沉积磷块岩作为潜在稀土矿产资源已经成为地质矿床研究的热点之一。然而目前关于浅海沉积磷块岩中稀土元素的物质来源、沉积环境和成矿机制都不明晰，由此制约了对磷块岩型稀土矿产的详细勘探和资源评价。本项目基于收集到的全球富稀土沉积型磷矿床相关数据，系统总结了富稀土磷矿床的时空分布规律，并详细分析了目前中国典型磷块岩型稀土矿床的矿物学特征、沉积环境、地球化学特征及富集机制等方面的研究进展，同时，针对未来的开采需要，指出对稀土赋存状态、可选冶性、提取技术和经济效益分析的重要性。研究表明，浅海沉积磷块岩有望成为未来接替性的稀土资源，如果能在物质来源、富集机制等方面有突破性进展，对研究磷块岩型稀土资源的形成演化和成矿规律具有重要的启示

作用，同时对寻找和开发磷块岩型稀土矿具有重要的指示意义。

与此同时，目前对其赋存状态、物质来源、沉积环境、富集过程等都还有待于进一步深刻理解。建议在以下方面积极开展探索性研究，有望解决浅海沉积型磷块岩稀土矿的成矿机制及其规律研究。

（1）加强富稀土磷块岩的基础调查研究工作。基于富稀土磷块岩地球化学特征、成矿时代、空间分布、稀土赋存状态、沉积环境和构造背景等已有的数据和成果信息，利用地学大数据技术方法，构建浅海沉积磷块岩型稀土资源知识谱图，有望在稀土元素物质来源方面取得突破，探讨大地构造对富稀土磷块岩成矿规律的可能制约，为寻找开发磷块岩型稀土资源提供理论基础和指导创新。

（2）开展海陆成矿作用对比研究，借鉴海洋富稀土沉积物研究比较成熟的方法和理论体系，为磷块岩型稀土资源成矿过程及机制研究提供指导。海陆对比和海陆结合必将有望促进海相沉积稀土成矿作用研究的大发展。

（3）基于磷块岩晶体结构的多样性和稀土元素不同的赋存形态，在之后的研究工作中有必要进一步深入开展稀土元素赋存形态和富集机制的研究。

（4）目前的研究表明，同时期不同地区或同地区不同时期的部分海相沉积磷矿床表现出不同的稀土元素富集特征。因此探明不同磷矿中稀土元素富集特征和影响因素，为解决物源问题提供重要途径。

S40-O-01

西南印度洋中脊钙质生物碎屑分布与影响因素初探

苏新[1]*，倪建宇[2]，吕士辉[1]，廖时理[2]，丁旋[1]，陶春辉[2,3]，宋备[1]，李世云[1]，郑畅[1,3]

1 中国地质大学，北京 100083

2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

3 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* xsu@cubg.edu.cn

本研究利用大洋航次调查研究获得的数据和记录，包括沉积物涂片半定量法得到的钙质生物碎屑及其组成、全岩元素地球化学分析记录中的部分元素、有孔虫碎壳率等资料展开分析，以期了解西南印度洋中脊海区远洋沉积中钙质生物碎屑组分沿洋脊的分布特征及受控因素。

全区钙质生物碎屑主要由有孔虫和钙质超微化石组成，这三者的含量变化范围（平均含量）分别为 8%-100% (91%), 4%-64% (31%), 1%-89% (60%)。钙质生物碎屑略低于全岩 $CaCO_3$（含量变化 4%-95%，平均 84%）记录。区内这些组分含量出现沿洋脊或洋脊两侧的变化，最明显的是沿洋脊的变化，如 48.5-50°E 区间出现钙质生物碎屑和 $CaCO_3$ 最高值。钙质超微化石的高含量也在这个区间。有孔虫碎壳率变化范围 0.15%~~28.48%，沿洋脊随经度变化，最低值在 48.5-50°E 区间，最大值在 52°E 附近。研究区平面空间上，钙质生物碎屑和 $CaCO_3$ 的大片范围分布见于深水区、零星小面积分布见于海山局部洼地。

因子分析等方法分析结果表明，钙质超微化石与有孔虫碎壳率呈现正相关，对该区碳酸盐溶解作用响应较为明显。TFe_2O_3、P_2O_5 和元素 Cu 这三个地化参数构成热液因子组合中的主要组分，本文推测其中的 P_2O_5 来源与热液活动有关。钙质生物碎屑常与 TFe_2O_3 和元素 Cu 呈负相关，意味着热液活动沉积对前者有稀释作用；而钙质超微化石和 P_2O_5 呈正相关，可能代表了热液活动增加了海水表层的营养盐有关。此外，沿洋中脊一带南大洋各个水团和锋面对钙质沉积的作用也比较明显。

S40-O-02

西南印度洋沉积物有孔虫矿物学和地球化学特征及对热液活动的示踪

陈宪[1]，孙晓明[1,2,3]*，吴仲玮[1]*，廖健林[1]，陈宏骏[1]，林晓[1]

1 中山大学海洋科学学院，珠海 519082

2 中山大学地球科学与工程学院，珠海 519082

3 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室，珠海 519082

* eessxm@mail.sysu.edu.cn,

wuzhw25@mail.sysu.edu.cn

研究表明，热液羽状流携带的不同元素或形成颗粒物沉淀至深海表层沉积物中，或以微颗粒形式悬浮于海水，或以可溶形式扩散进入孔隙水，并参与海洋地球化学循环（Gartman and Findlay, 2020）。而铁和锰是热液扩散流体中最为常见的两种主量元素，伴随着热液流体扩散进入沉积物柱，在适宜的环境条件下可从孔隙水中富集沉淀形成以 Fe-Mn（羟基）氧化物为主的皮壳状薄层，通常附着生长在岩屑或生物壳体表面（Templeton et al., 2009）。由于物质来源的多样性，这些铁锰结皮的成因也比较复杂。另一方面，大洋中脊热液流体扩散对生物活动的影响也不可忽视，但其研究目前主要集中在海底热液生物圈，包括蟹类、虾类、螺类、双壳类以及管状蠕虫等，而对生活在表层海水中的浮游生物以及沉降至海底的生物化石关注不多（Van Dover, 2002; Marcon et al., 2013; Chen et al., 2015; Copley et al., 2016; Zhou et al., 2018; Sun et al., 2020）。实际上浮游生物分布范围广泛，比底栖生物更容易开展观测取样工作，且碳酸钙质壳体相对于有机质壳体具有保存时间长等优点，故在活动/非活动热液喷口的示踪研究中亦具有潜在的价值。

尽管本次研究的采样位置距离龙旂热液活动区较远，但我们在表层沉积物样品中（根据全岩 MSI 值初步判定为非含金属沉积物）发现大量含 Fe-Mn 结皮的浮游有孔虫壳体，它们仍然忠实记录了热液活动和早期成岩作用叠加对其形态/微组构、矿物学组成、元素地球化学分布和 C-O 同位素特征所产生的影响，从而凸显了全岩 MSI（含金属沉积物指数）在示踪热液输入方面的局限性。因此，有必要针对不同类型（例如基于颜色深浅）蚀变有孔虫的不同壳层部位进行精细的矿物学表征和元素微区分布变化的原位分析，旨在从深海表层沉积物中提取潜在的热液作用指纹信息（作为对热液活动的沉积响应，这些关键信号不经刻意放大的话，在大多数情况下很容易被忽略）。鉴于此，本课题组综合运用激光扫描共聚焦显微镜、激光拉曼光谱、高分辨率 XRD、SEM-EDS、C-O 同位素分析、EMPA 和原位 LA-ICP-MS 等多种测试手段，以浮游有孔虫蚀变壳体内充填的富 Si-(Fe)沉积和壳体外附着生长的 Fe-Mn 结皮为研究对象，重点围绕其微观形态结构、矿物学-地球化学等特征进行详细观察和深入剖析。

其中，热液-水成混合成因的富 Si-(Fe)羟基氧化物通常充填于有孔虫房室内，主要由绿脱石、针铁矿、磷石英和 A 型蛋白石组成且含有大量有机质，其主要化学成分为 8.13 – 40.91 wt.% SiO_2、6.85 – 54.50 wt.% FeO 和 0.43 – 23.99 wt.% Al_2O_3。高含量的 Al 元素表明这些 Si-(Fe)羟基氧化物可能是从富 Al 热液流体中沉淀而成，Si-Fe-Al 元素组合也揭示其物质主要来源于海底热液-基岩相互作用过程中的斜长石溶解/蚀变反应。另一方面，重稀土、高场强元素与 Cr、Ni、Sc 等伴生元素的相对富集暗示其成矿物质还有一部分来源于辉石蚀变。此外，它们独特的显微结构（通常以丝缕状、球状和串珠状形貌为特征）也表明有微生物作为中间媒介参与其沉淀过程。相比之下，Fe-Mn 结皮具有薄层状结构，无明显的有机质荧光效应，主要由水羟锰矿和针铁矿组成，而化学成分主要为 23.98 – 30.06 wt.% FeO 和 8.55 – 21.52 wt.% MnO。其 Fe/Mn 平均比值、生长速率和 Zn-As 含量均高于采自 SWIR、在开放性大洋条件下形成的典型铁锰结壳，指示可能存在海底热液来源物质的额外输入。

而浮游有孔虫蚀变壳体主要由方解石组成，根据颜色深浅程度不同可大致分为3种类型（即白色/淡黄色/黄色）。它们的 Si、Al、Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Ba、高场强元素以及 REE 含量会随着颜色变深而增加，这也暗示了早期成岩作用物质部分来源于海底玄武岩蚀变。成岩作用的叠加改造进而导致在有孔虫蚀变壳体内层形成一种新的含铁碳酸盐矿物相（ankerite, 铁白云石）；其相应的碳氧同位素组成也变得具有高度相关性，比值随着壳体颜色加深而呈现出降低的趋势，同时还伴有 Ca、Na、Mg、Sr 等元素含量降低。这些特征将有助于我们更容易识别海底热液活动的影响以及成岩作用的叠加改造，这些变化也会对利用有孔虫壳体地球化学特征进行海洋古气候重建等研究造成误导。总而言之，本次研究反映出海底热液来源的多种物质在促进生物壳体外层 Fe-Mn 结皮的生长过程中扮演了不容忽视的角色（由此可见热液流体组分扩散范围之广），同时也为揭示深海钙质软泥（一般被认为缺乏经济意义）中的成矿元素在热液活动、岩石蚀变以及海水入渗等共同作用下发生迁移和重新富集提供了一定的参考与借鉴。

S40-O-03

洋中脊非转换不连续带热液成矿特征、条件和模式：以卡尔斯伯格脊大糖热液区为例

王叶剑[1,2]*，韩喜球[1,2,3,4]，Sven Petersen[5]，邱中炎[1,2]，李洪林[1,2]，Bin Fu[6]

1 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

2 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

3 浙江大学海洋学院，舟山 316021

4 上海交通大学海洋学院，上海 200240

5 GEOMAR, Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Kiel 24148, Germany

6 Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra ACT 0200, Australia

* yjwang@sio.org.cn

大糖热液区位于慢速扩张（全扩张速率：24.3 mm/yr）卡尔斯伯格脊 6.8°N，是目前印度洋地理位置最北、同时也是在洋中脊非转换不连续带（Non-Transform Offset）新火山脊发现的首个海底块状硫化物矿床。大洋科考航次调查发现，该矿床分布在新火山脊鞍部 3440~3500 m 的水深范围内，以镁铁质火山岩为围岩，受两组 NNW-SSE 向正断层和裂隙控制。热液区由中央硫化物丘和东南热液丘组成；其中中央丘宽轴可达 180 m、高 50 mm，分布 8 处大型活动硫化物烟囱体群，烟囱体多呈树状、树杈状、蜂窝状，高可达 24 m；东南丘距中央丘约 30 m，宽轴约 60 m，表层被厚约 20 cm 的含金属沉积物和远洋沉积物覆盖，并发育一处高约 2 m 的含硫化物硅质烟囱体。

研究表明，中央丘表层矿化主要表现为近 4000 yr 以来高温硫化物烟囱体的大规模产出，主要由闪锌矿、纤锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿和等轴古巴矿等硫化物组成、缺失硬石膏等硫酸盐矿物，富集 Zn、Ag、Co 和 Sn 等金属元素。矿物化学分析发现，Ag、Sn、Cd、Pb 等中低温元素主要赋存在闪锌矿，并与闪锌矿 FeS mol%值（1.7~33.3）呈显著的反比关系，暗示了温度、氧逸度和硫逸度是控制上述元素富集的主要因素；Mn、Mo、Tl 等低温元素主要富集在黄铁矿。Au 主要以自然金形式赋存在闪锌矿、等轴古巴矿和黄铜矿等矿物内，暗示了其沉淀具有较宽的温度范围。离子探针原位硫同位素分析（n = 108）发现，硫化物的 $\delta^{34}S$ 值分布在 1.2‰至 17.4‰的范围内，其中富锌型烟囱体闪锌矿的 $\delta^{34}S$ 值（5.8 ± 1.2‰（1σ））显著低于富铜铁型烟囱体黄铜矿（7.7 ± 0.3‰）、磁黄铁矿（8.8 ±3.7‰）和黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值（16.7 ±0.6‰），暗示了其成矿流体经历了热液流体-海水混合到热液流体淋滤硫化物堆积体、对流混合的复杂演化过程。东南丘表层矿化以热液成矿后期低温硅化作用为显著特征，表现为硅质烟囱体的形成和含金属沉积物层的大范围覆盖。原位硫-

氧同位素分析测得闪锌矿 $\delta^{34}S$ 值（9.3 ± 0.7‰）高于硫化物烟囱体的闪锌矿，蛋白石 $\delta^{18}O$ 值为 24.2 ± 0.9‰（n = 29; 1σ），计算获得其沉淀温度范围（69℃~89℃）。与其他慢速-超慢速扩张洋脊矿床对比发现，大糟热液区与玄武岩型硫化物矿床具有相似的 Cu-Au 相对亏损特征（如 TAG、Lucky Strike、Edmond 等），同时兼具橄榄岩型硫化物矿床 Sn-Co 富集特征（如 Ashadze、Logatchev、Nibelungen 等），这可能与两组断裂控制热液流体在丘体内部发生对流聚集淋滤以及次生富集作用有关。基于上述观测分析，我们提出了洋中脊非转换不连续带局部岩浆供给热驱动下的高温矿化-低温硅化-海底风化再到高温-低温矿化的幕式热液成矿模式。

S40-O-04

马里亚纳弧后盆地热液羽流中铁形态特征研究

王虎[1]*，Joseph A Resing[2]，周怀阳[1]，闫巧洋[1]，刘美彤[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Joint Institute for the Study of the Atmosphere and the Ocean, University of Washington and NOAA-PMEL, Seattle, Washington 98115, USA

* wanghu@tongji.edu.cn

近年来，多项研究表明海底热液羽流中含有高浓度溶解态铁，且可随洋流扩散至距离喷口几千公里以外，从而影响全球海洋铁循环和生态系统，并间接影响全球气候变化。羽流中含有高浓度溶解态铁的原因，主要归结于溶解相中含有可以稳定存在的有机铁络合物和纳米级胶体态铁。

在 FK151121 航次期间，采集了位于马里亚纳弧后盆地南部热液区高温喷口、低温喷口上方的浮力羽流和非浮力羽流，以及低温弥散流样品，开展羽流中铁形态分布特征研究，包括总铁（TFe）、溶解态铁（DFe）、不稳定铁（Labile Fe，Fe_{Lab}）、有机结合态铁（Fe-L）。结果表明，来自高温喷口上方的羽流中，DFe 和 Fe_{Lab} 占 TFe 比例相对较低，平均分别为 48.8%和 19.4%；低温喷口上方的羽流中，相对较高，分别为 82.2%和 43.3%；在弥散流中，Fe_{Lab}/DFe 最高（~74.6%），可能与研究区弥散流中含有较高浓度的结晶度较差的氢氧化铁有关。

对于有机结合态铁的分析结果表明，羽流溶解态铁中有 29.0±9.3%与有机配体络合，在低温喷口上方羽流中有机配体浓度最高可达 113.6nM。另外，我们还发现在这些低温喷口上方羽流中，各形态铁与锰以及有机配体浓度之间均呈现线性相关，由于锰与有机配体都为相对保守组分，因此低温喷口形成的羽流中的铁可能也具有保守特性，可以长期存在于羽流中并随洋流扩散至深海。

S40-O-05

深海热液硫化物矿物能量转化效应研究

李艳*，贾昊凝，祝佳琪，伍峻琦

1 矿物环境功能北京市重点实验室，北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

* liyan-pku@pku.edu.cn

深海热液区是深部岩石圈与地球水圈、生物圈交互作用极为活跃的典型极端生境，富含多种金属硫化物矿物，还孕育着数量巨大、代谢活跃的微生物。作为岩石圈的主要组成部分，矿物是地球物质与能量转化的重要无机载体。在碳、氮、硫元素循环速率集中出现峰值的热液堆积体区域，其中所富含的黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿等多种金属硫化物矿物是天然半导体矿物。当这些矿物处于急剧变化的热液温度场环境中时，其高温端载流子能量与浓度高于低温端，就会发生载流子的扩散，在矿物内部形成电场，从而转化热能。我们采用现代矿物学与环境微生物学交叉学科研究手段，模拟构建了热液区硫化物矿物烟囱壁模型，并针对主要的金属硫

化物矿物开展了物相组成、晶体结构、化学成分、微量元素、缺陷化学等矿物学精细特征研究。重点对其 Hall 效应、Seebeck 效应等半导体物理特性进行了研究，并根据电阻率、Seebeck 系数、比热、热扩散系数等结果，计算了其在不同温度梯度条件下的量子产率，探讨了其矿物组成与结构构成对能量转化效率的影响。在此基础上，构建了热液生境矿物与微生物交互作用模拟实验体系，探讨了模式电活性微生物对不同矿物的响应效能，为认识与理解深海热液金属硫化物矿物协同微生物能量代谢并驱动元素循环新途径提供实验依据。

S40-O-06

深海热液系统中 PGE 的分布和循环——基于金属络合物水解行为的新视角

丁兴[1,2]*，严海波[3]，孙卫东[4]

1 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室，广州 510640

2 中国科学院深地科学卓越创新中心，广州 510640

3 中国科学院矿物学与成矿学重点实验室，广州 510640

4 中国科学院海洋研究所深海研究中心，青岛 266071

* xding@gig.ac.cn

离子及其络合物是深地、深海物质循环的基本载体。对于深海热液系统中的成矿金属而言，其阳离子及其络合物的热力学稳定性控制了它们的活化-迁移-沉淀。由于金属阳离子易于与水发生水解反应，从而降低其络合物的稳定性，并影响或控制金属的迁移和沉淀（Ding et al., 2018），因此，研究金属阳离子及其络合物的水解行为，对于深入理解金属元素在深海中的分布和循环具有重要的理论意义。

铂族金属（PGE）是关键矿产资源之一；虽然 PGE 在地壳中极度亏损，但在部分深地、深海地质过程中能发生明显富集，比如，PGE 可富集在深海热液流体、硫化物，或者海底沉积物、铁锰结核里，富集程度可高达 5~6 个数量级（严海波等，2020）。深海热液系统为富氯的流体系统，已有的研究证实，PGE 在富氯流体中多以最高配位的氯络合物形式存在。本研究以 K_2RuCl_6 作为研究对象，运用高温高压模拟手段首次直接实验测定了 $[RuCl_6]^{2-}$ 络合物的累积水解平衡常数，在此基础上，建立了深海热液系统的地球化学模型，定量化探讨了 PGE 在深海热液体系中的热力学稳定性及迁移-沉淀过程（Yan et al., 2021）。

相关实验以不同浓度的 K_2RuCl_6 溶液代表深海热液中的流体，将之焊封在黄金管中，通过水热设备模拟 200-600 ℃ 和 100MPa 的条件，使得相关 PGE-Cl 络合物发生高温高压水解。实验获得该络合物水解平衡常数与温度之间的关系为：$\ln K=(42.95\pm4.13)-(56205\pm2594)$。在此基础上，根据该络合物水解平衡常数、HCl 电离常数以及深海热液中 Cl 的质量平衡，我们构建了 $[RuCl_6]^{2-}$ 络合物的热力学稳定性与热液 pH、温度和 Cl 浓度之间的定量关系。这些结果表明热液的 pH 和 Cl 浓度主控了 PGE-Cl 络合物的稳定性。起源于深部岩石圈或岩浆房的富 Cl 的酸性流体可以高程度地萃取围岩和岩浆中的 PGE。这些酸性热液喷发后，海水的稀释会降低热液中的 Cl 浓度且提升 pH，导致 PGE-Cl 络合物热力学稳定性降低，大量的 PGE 沉淀在近海底热液通道或喷口处；随着热液的 Cl 浓度与海水趋于归一化，热液的 pH 最终主控 PGE-Cl 络合物的稳定性，直至 pH 达到 6 的阈值，热液无法再输送适量的 PGE。因此，起源于深部的深海热液及后续的热液羽状流的中性化过程是 PGE 分布和循环的地球化学障。

S40-O-07

超慢速扩张洋脊高温热液循环机制新认识：地幔传导热驱动型循环模型

陶春辉 [1,2]*，柳云龙 [1]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学实验室，杭州 310012

2 上海交通大学海洋学院，上海 200240

* taochunhuimail@163.com

洋中脊热液循环系统是由热源驱动、受岩浆-构造活动控制的海水-洋脊相互作用的循环体系，伴生富含铜、锌和金的多金属硫化物这一重要海底资源。同时，洋中脊热液系统也汇聚了洋壳演化、物质循环和极端生态环境等科学问题。理解热液循环系统的形成机制是建立海底热液成矿模型并开展成矿预测的前提。前人的调查研究对快速和慢速扩张洋脊的热液循环模型已有较为清晰的认识。受区域地理位置和调查程度的限制，超慢速扩张洋脊热液循环机制仍不清晰。本研究以我国西南印度洋多金属硫化物勘探合同区内的龙旂高温热液区为研究对象，开展了综合地球物理探测、热液喷口流体化学成分分析和热源循环数值模拟等多学科的综合调查和研究（Li et al., 2015; Tao et al., 2020; Guo et al., 2020）。根据微震分布推断龙旂热液区下方双拆离断层的最大拆离深度达到海底下 13±2km 的地幔中；热液流体化学成分分析显示流体经过了超基性和基性岩的较长反应路径；此外，近底自然电位和瞬变电磁探测得到了深达 65 m 的硫化物堆积体的空间分布特征（Zhu et al., 2020）。在上述地质与地球物理研究结果的约束下，借助热液流体动力学数值模拟建立了超慢速扩张洋中脊典型高温热液系统的地幔传导热驱动型循环模型：在超慢扩张洋中脊热液流体可以循环到莫霍面以下~6 km 的地幔中，这个循环深度比慢速扩张洋中脊的 TAG 和 Logatchev 还要更深；其热源可以不是在洋壳中的岩浆房，而是来自于上地幔中的熔体聚集带以热传导形式驱动热液循环。该机制暗示了超慢速扩张洋中脊热液系统可能循环得更深、持续时间更长、产出富 Cu-Au 型矿床的概率更大（Yu et al., 2021）。

S40-O-08

中印度洋洋盆深海沉积物的热液信号解析

张霄宇 [1]*，卢艳芳 [2,3]，朱孔阳 [3]

1 浙江大学，地球科学学院，杭州 310027

2 浙江大学，海洋研究院，舟山 16000

* zhang_xiaoyu@zju.edu.cn

中印度洋洋盆广泛发育了富稀土深海沉积，被认为富稀土深海沉积的四大成矿带之一，但是，该海盆沉积物物质来源复杂，限制了对于深海稀土成矿作用机制的深入理解。

有鉴于此，本次研究以采集自中印度洋盆的四根沉积物岩心为研究对象，基于全岩矿物学分析、主微量元素，以及稀土元素主要富集矿物鱼牙骨上的 Sr、Nd 同位素检测结果，进行了中印度洋洋盆沉积物物质来源解析，从而为稀土元素的物质来源提供信息。研究结果表明，中印度洋洋盆沉积物物质来源复杂，30Ma 以来，喜马拉雅隆升剥蚀后的陆源风化产物是中印度洋洋盆沉积物的重要物质来源。但是来自鱼牙骨的稀土元素以及 Nd 同位素信息均表明，沉积过程中受到了明显的热液活动的影响。富稀土深海沉积物中同时广泛富集 Te，作为碱性火山活动的热液产物，海底火山热液活动可能是海底沉积中 Te 元素富集的物质来源和基础。研究最终表明，中印度洋洋盆的富稀土深海沉积可能是大规模的期次火山热液活动密切相关。

S40-O-09

High-Ca vent fluids discharged from the Lutao arc vol-canic hydrothermal system are associated with albitization and recycling of marine carbonate

Xue-Gang Chen[1]*, Ming-Zhen Yu[1,2], Zhongyan Qiu[3], Pei-Sun Loh[1], Chen-Tung Arthur Chen[1,4], Dieter Garbe-Schönberg[5], Mark Schmidt[6], Ying Ye[1]

1 Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China
2 Department of Earth and Planetary Sciences, Harvard University, Cambridge, MA02138, USA
3 Key laboratory of submarine Geosciences, Second Institute of Oceanography, Minister of Natural Resources, Hang-zhou 310012, China
4 Department of Oceanography, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung 804, Taiwan
5 Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts Universität zu Kiel, Kiel 24118, Germany
6 GEOMAR Helmholtz Center for Ocean Research Kiel, Kiel 24148, Germany
* chenxg83@zju.edu.cn

The chemical and isotopic characteristics of calcium in subduction zones are closely related to the budget of calcium and carbon cycles. Here we investigate the ultra-high Ca concentrations that charac-terize the hydrothermal fluids discharged from two types of vents, named the Zhudanqu brine vent (ZDQ) and the Huwaichi vapor spring (HWC), in Lutao hydrothermal system at north Luzon arc. The Ca con-centrations of up to 159 mM and Ca/Cl ratio of up to 0.26 in the ZDQ vent fluids are possibly the highest ever reported for Ca enrichment in global seawater-circulated hydrothermal/geothermal systems. The dif-ferences in chemical compositions between the ZDQ and the HWC vent fluids are primary controlled by subcritical phase separation. The brine phase (the ZDQ endmember) constitutes the ZDQ vent fluids, while the HWC vent fluids represent mixtures of the vapor phase (the HWC endmember) and seawater. Both the vapor and the brine phases exhibit similar $\delta^{44/40}$Ca values (0.72 ± 0.05‰), suggesting no significant Ca isotope fractionation has occurred during phase separation.

The hydrothermal endmember before phase separation (named as "Lutao endmember") presents depletions of 213 ± 14 mM of Na, 24.5 ± 0.5 mM of SO_4^{2-}, and 10.2 mM of K, and enrichment of 130.7 ± 5 mM of Ca, 0.42 ± 0.02 mM of Sr, and 7.1 ± 0.3 μM of Ba with respect to percolated seawater. The total gained Ca is 155 ± 5 mM with a $\delta^{44/40}$Ca value of 0.67‰ - 0.77‰ (0.72 ± 0.05‰), considering anhydrite precipitation during hydrothermal circulation. Much of the gained Ca (~ 112 ± 7 mM) is produced by high-degree albitization of Lutao host rock, which is promoted by the low water/rock ratio (~ 2), slightly alkaline conditions, and relatively lower temperature of the Lutao system when compared to most mid-ocean ridge hydrothermal systems. Calcium derived from this process inherits the Ca isotopes of the Lutao host rock ($\delta^{44/40}$Ca = 0.90 ± 0.08‰). On bases of mass and isotopic balances, the recycled marine carbonate is proposed to contribute 43 ± 12 mM Ca with a $\delta^{44/40}$Ca a value of ~ 0.23 ± 0.39‰ into the Lutao system. Marine carbonates enriched in lighter Ca isotopes are derived from either subducted South China Sea (SCS) plate or underlying Philiphine plate. The estimated mass ratio between the recycled marine carbonate and Lutao host rock is 1%, demonstrating a small fraction of recycled marine carbonate would produce large chemical and isotopic variations of Ca in hydrothermal systems.

S40-O-10

超慢速扩张洋脊发育深循环的氧化型热液系统

廖时理[1]*，陶春辉[1,2]，於俊宇[1]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学重点实验室，杭州 310012
2 上海交通大学海洋学院，上海 200030
* liaosl@sio.org.cn

慢速-超慢速扩张洋脊系统常发育深大断裂，海水下渗引起的强烈蛇纹石化使得该类地质背景条件下发育的热液系统中具有较高的 H_2 含量，因而所形成的硫化物中一般富集偏还原的热液矿物组合（黄铁矿-磁黄铁矿-黄铜矿），相应的，发育氧化型矿物组合（赤铁矿-磁铁矿）的氧化型热液区则一般以较浅的热液循环为特征。最近，我们在超慢速扩张西南印度洋脊龙角区首次发现了一处具有氧化型矿物组合的热液区，从该区采集到的网脉状矿石中发育典型的赤铁矿-磁铁矿-黄铁矿矿物组合，代表了该热液区的根部形成于相对较为氧化的环境。我们对该热液区矿石的硫同位素组成分析发现，该热液区成矿过程中具有极高的海水参与度，成矿过程中网脉状矿化（阶段 I 和阶段 II）以及半块状矿化（阶段 III）的海水硫来源比例分别为 50.00%, 45.79% 和 36.41%，表明成矿过程中极高的海水参与度可能是形成这种氧化型热液系统的原因。进一步的，对网脉状和半块状矿石中黄铁矿的微区微量元素组成分析表明，其中具有较高的 As 和 Ni 的含量，其 As/Ni 比值特征甚至与典型的超基性岩型热液系统 Logatchev 类似，表明成矿的物质来源为超基性岩。前期的天然地震和微震探测表明，龙角区具有 3-6km 的基性岩洋壳。因此，上述特征表明，龙旂 3 热液区的热液循环深度至少有 3-6km，才能淋虑出深部超基性岩中的物质参与成矿，表明龙旂 3 可能是一类新的热液系统。此外，课题组对龙旂 1 热液区的工作表明，其的形成可能是由地幔熔融体驱动循环深度达 13km 的热液循环形成的，龙旂 3 与龙旂 1 同时受控于龙角区拆离断层。因此，上述工作表明，在超慢速扩张洋脊拆离断层上课同时形成深循环的还原型和氧化型热液系统。

S40-O-11

西南印度洋天作热液区金属硫化物矿床的物质来源及控矿因素

曹红[1,2]，孙治雷[1,2]*，耿威[1,2]，张喜林[1,2]，翟滨[1,2]，徐翠玲[1,2]，李鑫[1,2]，闫大伟[1,2]

1 自然资源部青岛海洋地质研究所，天然气水合物重点实验室，青岛 266071
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266071
* zhileisun@yeah.net

本文以西南印度洋天作热液区为研究对象，通过开展系统的矿物学、元素地球化学和稳定同位素特征分析，探讨本区块状硫化物矿床的物质来源和成矿机制。矿物学分析表明，天作热液区金属硫化物经历了多个成矿阶段，可划分为 4 个明显的成矿期次。从元素地球化学上看，本区硫化物组成表现为较高含量的 Fe（31.57 ~ 44.59 wt%）、Co（高达 2400 ppm）以及 Ba（高达 47.89 ppm），低含量的 Cu + Zn（0.17 ~ 7.25 wt%）和 Ni（3.74 ~ 30.6 ppm），与同属于超基性岩热液系统的大西洋中脊硫化物相比，存在显著的区域性差异。我们因此推测，本区硫化物中 Ba、Co 含量的富集反映了深部辉长岩侵入体的贡献，而这些侵入体与普遍存在的蛇纹岩化共同驱动了天作高温热液喷口的产生（~335ºC）；Co 元素的分布除了受基底岩的影响，还受控于成矿流体温度以及梯度变化；从 Ni 元素的亏损可推断富 Ni 硫化物主要分布于深部硫化物网脉中；低含量的 Cu + Zn 元素特征表明本区硫化物组成又遭受了亏损地幔岩的影响。从稳定同位素特征上看，天作热液区金属硫化物的原位 S 同位素明显偏重，表明本区广泛发育的转化断层以及幕式发生的热液活动反复驱动冷海水在整个热液通道系统内循环；全岩 Pb 同位素的组成表明，Pb 元素主要来源于海水对玄武岩和橄榄岩基底的淋滤。综合以上证据，我们最后认为，在天作热液区，除基底岩石成分

外，普遍存在的转换断层和多期次热液活动是控制金属硫化物矿床组成特征的重要因素。

S40-O-12

西南印度洋中脊玉皇-1 热液区底质分布特征与资源量估算

於俊宇[1,2]，陶春辉[2]*，廖时理[2]

1 浙江大学海洋学院，舟山 316021

2 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

* taochunhuimail@163.com

海底多金属硫化物作为继多金属结核、富钴结壳、可燃冰等深海矿产资源之后，人类可开发利用的又一新型矿产资源受到广泛关注，其分布特征及资源量的估算在开发利用过程中尤为重要。此类型的硫化物资源大量赋存于慢速和超慢速扩张的洋中脊，而目前还没有针对超慢速扩张洋中脊的热液矿床的资源量估算。本研究通过对超慢速扩张的西南印度洋中脊上，玉皇-1 热液区海底硫化物分布特征的识别以及地质取样的结果分析发现：该热液区可分为西南区和东北区两个硫化物分布区。同时，利用丘体的形态特征计算了矿体体积，从而估算得到玉皇-1 热液区总资源量约为 10.6×10^6 吨，其中含有至少 7.5×10^5 吨的铜和锌，以及约 18 吨的金。此外，玉皇-1 热液区的海底表面普遍覆盖热液沉积物和硫化物角砾的混合物，其存在下伏块状硫化物的可能，因此总资源量将会更大，最大可以达到 45.1×10^6 吨。以上结果表明玉皇-1 热液区是全球最大的现代海底硫化物矿床之一，且表明超慢速扩张的洋中脊环境最有潜力形成大型的海底硫化物矿床。

S40-P-01

现代海底热液金在海洋中的归宿及影响

黄威[1,2]*，梁锦[3]，孙治雷[1,2]，路晶芳[1]，崔汝勇[1]，丁雪[1]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266237

3 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

* huangw@mail.cgs.gov.cn

现代海底热液作用作为一种连接地球内外圈层，进行物质能量交换的通道和纽带，其持续不断地向海洋水体这个地质大储库汇入具有高含量 Au 的热液流体，从而与河流等输入源一起动态改变着海洋水体中 Au 的含量和分布。在搜集整理了大量数据并对它们进行统计分析后发现，每年喷出海底面的热液来源溶解态 Au 约为 325 kg，仅有 3%～4%滞留在近喷口热液硫化物中，约 6%～7%随远端热液羽状流扩散沉降在含金属沉积物内，剩余部分（89%～91%）约 292 kg 都汇入了海洋水体内。

借助河流和河口三角洲水体中溶解态 Au 的含量、分布和地球化学行为特征数据（McHugh, 1988; Cidu et al., 1994; Lucas et al., 2015），我们进一步修正和丰富了现代海洋水体中 Au 的质量平衡信息。在剔除了河口三角洲的束缚以及天体物质、风尘和气溶胶沉降溶解的影响后，估算得出现代海洋水体中 Au 的滞留时间约为 230 年，这比前人计算出的值（Kenison Falkner et al., 1990）缩短了 70%以上，也比深层海水千年尺度的更新时间短的多，从而指示出现代开阔大洋水体中的 Au 具有非保守元素的行为特征。

S40-P-02S

西南印度洋脊龙旂热液区黄铁矿的原位微量元素和 S 同位素的研究:对海底浅部成矿过程的启示

孟兴伟[1,2]，李小虎[1,2]*，金翔龙[1,2]，初凤友[2]，朱继浩[2]，王叶剑[2]

1 上海交通大学，海洋学院，上海 200040

2 自然资源部第二海洋研究所，海底科学重点实验室，杭州 312000

* xhli@sio.org.cn

位于超慢速扩张洋中脊—西南印度洋洋脊上的龙旂热液区具有活跃的热液活动。通过微地震和数值模拟已经阐明了深部高温热液循环（Tao et al., 2020），但是尚未记录浅部海水-热液循环过程。了解海底热液系统浅部的海水-热液循环的关键在于理解浅部成矿过程中金属的行为和 S 的循环。我们系统研究了龙旂浅层网脉状成矿区中不同类型黄铁矿的原位微量元素和 S 同位素的空间分布特征，为建立海底浅部海水-热液循环对成矿过程的影响模型提供了证据。

网脉状硫化物集合中黄铁矿的微量元素演化，揭示了浅部海水-热液循环控制了成矿过程中金属元素的来源、迁移和沉淀。基于空间位置、矿物形态和和地球化学特征，黄铁矿可以分为：蚀变玄武岩中的细粒自形黄铁矿（Py-I），蚀变玄武岩裂隙中的粗粒自形黄铁矿（Py-II）和包裹蚀变玄武岩的半自形黄铁矿（Py-III）。在早期成矿阶段，上升的热液流体与浅层玄武岩发生反应并产生大量的玄武质纳米颗粒，这些颗粒随矿物沉淀导致了 Py-I 富集 Ti、Cu、Ni、Mg、V、Mn 和 U。在浅部海水-热液循环的作用下，Py-II 的中部环带相比边部和核部富集低温元素 Mo，Tl 和 Pb 和岩石来源元素 Ti 和 V，从而形成化学振荡环带。随着海水-热液循环的减弱和后期热液活动的增强，Py-II 在热液叠加作用下继续生长形成富含高温元素（e.g., Se、Te 和 Co）的 Py-III。

黄铁矿中原位微区 S 同位素记录了 S 的来源和流体事件，反演了浅部成矿区中 S 的循环过程。S 同位素结果显示黄铁矿具有显著的 S 同位素分馏（在黄铁矿颗粒中 20 μm^2 区域内呈现>1.5‰的分馏）和高的 $\delta^{34}S$ 值（高达 9.98‰）。浅部的海水还原 S 导致 Py-I 在微观尺度上具有巨大的 S 同位素分馏，而后期热液对硬石膏还原过程则是 Py-III 边部具有高 $\delta^{34}S$ 值的原因。Py-I、Py-II 和 Py-III 的核部具有相似的 $\delta^{34}S$ 值范围，意味着浅层来源的海水还原 S 是其共同的 S 源。根据估算，来自海水硫酸盐和/或硬石膏的浅层还原 S 占黄铁矿中总的 S 的 14 ~ 42 %。

S40-P-03

深海热液羽流携带矿物颗粒的输运和沉积模式

贺治国[1,2]*，楼映中[1]，韩喜球[1,3]

1 浙江大学海洋学院，舟山 316012

2 海洋感知技术与装备教育部工程研究中心，舟山 316012

3 自然资源部海底科学重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* hezhiguo@zju.edu.cn

深海热液羽流携带的颗粒物可在深海矿区的形成与演化过程起到重要作用，理解其在复杂海洋动力场中的迁移和沉降机制有助于揭示热液沉积矿物的分布规律。通过耦合拉格朗日颗粒输运模型与计算流体力学模型，使用现场测量资料作为模型输入，定量分析了深海层化背景流环境中热液羽流携带的矿物颗粒在输运和沉降过程中的动力学机制，揭示了热液颗粒物所具有的悬浮、近喷口沉积和长距离输运等三种典型的输运模式。结果表明只有特定粒径和密度范围内的矿物颗粒能够沉积在热液喷口附近，而较大或较重的颗粒可能会悬浮在喷口上方，较小或较轻的颗粒则会持续跟随中性浮力层中水平扩散流。计算所得的颗粒物轨迹表明热液矿物颗粒在近喷口区的沉积位置与其沉降速度的倒数具有线性关系，可能使得沉积通量的径向分布服从平方反比律。研究结果从水动力学的角度阐述了热液喷口附近矿区的沉积发展机制，揭示了热液羽流卷吸和由此产生的涡旋系统在控制热液区颗粒物沉降通量中的关键作用，为深海热液

生态系统研究和热液矿区勘探工程应用等提供了参考依据。

S40-P-04S

慢速-超慢速扩张洋中脊热液活动及其机理

宋珏琛[1,2,3]，李江海[1,2,3]*

1 造山带与地壳演化教育部重点实验室，北京 100871

2 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

3 北京大学石油与天然气研究中心，北京 100871

* jcSong@pku.edu.cn

海底热液系统是地球热量平衡的重要组成，也是地球化学循环和成矿作用发生的主要场所，与洋中脊系统在空间上具有很强的联系。慢速-超慢速扩张洋中脊中确认的活跃热液喷口数量约占全球总数量的三分之一，查明热液发育位置及发育岩性与岩浆-构造活动的耦合关系，对于研究海底热液活动演化过程和海底找矿具有很好的指示意义。本文将全球慢速-超慢速扩张洋中脊中已确认的活跃热液活动进行统计分类，其中受岩浆活动控制的热液活动有 29 处，而受构造活动控制的热液活动有 15 处，相对于快速-中速扩张洋中脊显示出较强的构造相关性。研究发现，岩浆作用控制下的热液活动集中在洋中脊轴部中央裂谷内，而构造主控型热液活动常发育在非转换不连续间断和拆离断层系统内。随着大洋核杂岩成熟，热液活动位置向着离轴方向迁移，并且热液类型由高温“黑烟囱”型向低温弥散流型转变。

S40-P-05S

西南印度洋洋中脊热液活动对沉积环境的影响

李东泽[1,2]，杨群慧[1,2]*

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* yangqh@tongji.edu.cn

超慢速扩张洋中脊热液活动对海洋沉积环境的影响目前认知有限。本研究通过在西南印度洋中脊（SWIR）48.0℃-52.0℃ 范围内使用 CTD 采水器、沉积物捕获器以及电视抓斗获取悬浮颗粒物、沉降颗粒物以及表层沉积物样品，并开展 TOC、TN 和 $\delta^{13}C_{TOC}$ 以及部分特征金属元素的分析，尝试探讨龙旂热液区热液活动对沉积环境的影响。

表层沉积物样品中 TOC、TN 含量表现为随热液喷口距离增加而降低的趋势，$\delta^{13}C_{TOC}$ 组成表现为随热液喷口距离增加而偏轻的趋势。受到热液羽流的影响，离底 400-50m 深度的悬浮颗粒物样品中 TOC、TN 呈现出了随深度增加而含量增加或者先增后减的趋势，$\delta^{13}C_{TOC}$ 组成表现为随深度增加而偏重或是先偏重后偏轻的变化。在沉积物捕获器所采集的沉降颗粒物中，样品的 TOC/TN 值与 Fe 含量具有一定的正相关性，并且表现出随时间的波动变化，揭示热液活动影响的变化性。

龙旂热液区周围 7km 及西南侧 20km 处的沉降颗粒物样品表现出低 Al/(Fe+Mn+Al)、高 Fe/Ti 特征，而西北侧 20km 处的样品则呈现出明显的 Cu 和 Zn 异常，并且 Cu/Mn-Zn/Mn 图解表明该处样品金属元素特征有别于龙旂热液区周围 7km 及西南侧 20km 处的样品，推测可能存在不同期次的热液活动或是新的热液场。

结合龙旂热液区已经发表的热液流体实测数据，利用 German 等（2015）建立的热液羽流铁循环模型进行计算，发现龙旂热液系统中弥散流向非浮力热液羽流中供应的 Fe 含量占比约为 45%-70%，而 German 等（2015）在东太平洋海隆 9°50′ N 计算得出的该值约为 78%-99%，造成这种差异的原因有待于进一步取样分析进行探究。

S40-P-06S

机器学习在西南印度洋海底多金属硫化物成矿定量预测中的应用

刘露诗[1,2]，陶春辉[2,3]*，黄南[2]，徐星[2,3]，廖时理[2]

1 吉林大学地球探测科学与技术学院，长春 1300261

2 国家海洋局第二海洋研究所，杭州 310012

3 上海交通大学海洋学院，上海 200240

* taochunhuimal@163.com

在实地勘探前，成矿定量预测是缩小勘探范围的一项关键技术，成矿定量预测在西南印度洋多金属硫化物勘探中的应用已经取得了一些进展（Ren et al.; Ma et al. 2020; Liu et al. 2021）。但由于海底数据获取难度大，多个图层存在缺失值，而且已知热液区数量少，因此海底多金属硫化物成矿预测中仍有两个问题有待解决：（1）如何利用存在缺失值的图层进行成矿预测；（2）对于已知热液区较少的情况，如何应用机器学习进行成矿预测。

本文研究的第一部分侧重于数据图层中缺失值的处理。虽然在西南印度洋对多金属硫化物的勘探中不断有新的数据被采集到，但在勘探历史很少或没有勘探历史的地区，很多数据图层在调查规模上是不完整的，当应用这些图层进行成矿预测时将面临着缺失值处理的问题。如今已有多种成矿预测方法提供了不同的处理、分析和整合不完整数据图层的方式。前人已经对证据权、逻辑回归、概率神经网络、随机森林方法（Singer and Kouda 1999; Knox-Robinson 2000; Bougrain et al. 2003; Feltrin 2009）在陆地成矿预测中处理缺失数据的能力进行了研究。而海底多金属硫化物作为新兴的矿产资源，虽然陆地矿产预测理论在海洋资源上同样适用，但海底数据缺失情况较陆地更为复杂，具体表现为数据缺失面积大，不同图层的缺失值所处位置不一致，多个图层同时存在数据缺失的问题，这更加加大了研究区缺失值填补的难度。本研究首次使用了基于多元特征估计的机器学习方法贝叶斯模型，它将每个带有缺失值的特性建模为其他特性的函数，并使用该估计值对对西南印度洋多金属硫化物的不完整数据图层进行了填补，我们对填补后的缺失值图层与未填补缺失值图层的成矿预测结果进行了对比，结果表明贝叶斯模型是适用于本文研究区数据填补的可靠方法。

本文的第二部分针对研究区已知热液区数量少的特点，利用非监督分类的机器学习方法孤立森林模型绘制了矿产潜力图。由于成矿作用是地质事件中的稀有事件，且成矿区与周围的地质环境有明显差异，因此异常检测可被应用在成矿预测中。孤立森林是由周志华教授等人于 2008 年在第八届 IEEE 数据挖掘国际会议上提出的一种异常检测方法（Chen and Wu 2019; Wu and Chen 2018; Liu et al. 2008）。本文采用该方法绘制了研究区多金属硫化物矿产潜力图，并用 ROC 曲线对预测结果进行了检验，最后利用约登指数对海底硫化物勘查目标进行优化圈定，使圈定的远景区与已发现的热液区之间的空间关联最大化。最终所圈定的远景区占研究区面积的 8.40%，包含已发现热液区的 88%，由此可见，孤立森林是一种有效的西南印度洋多金属硫化物成矿定量预测方法。

S40-P-07S

基于知识图谱技术的海洋成矿预测

黄南[1]*，王子昂[1,2]，徐星[1,3]

1 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

2 浙江大学海洋学院，杭州 316021

3 上海交通大学海洋学院，上海 200030

* huangnan1998411@163.com

知识图谱技术是语义网络的知识库，可以被看做一张包含多种类型节点和边的多向图。知识图谱将知识转化为实体与实体之间的联系，再将实体抽象成节点，关系抽象

成边，来构成一张网络图，借此将抽象的知识转化成计算机能够理解的语言。知识图谱技术是一种知识驱动的方法，可以方便地利用非结构化的数据，并且其构建不需要过多的样本，不依赖于海量的数据，但构建之后又能方便地处理大量数据，从而很好地规避海洋成矿预测中，数据采集困难带来的部分数据缺失，数据稀少，数据不连续，数据不均匀的问题。但知识图谱技术又区别于主层次分析等传统知识驱动方法，减少了专家的人工干预，主要从实际现象与现有的知识基础出发，显得更为客观。

知识图谱的构建不同于传统的数据库，依赖于一定的计算机技术，本人使用目前常用的可视化图形数据库软件 Neo4j 构建了西南印度洋洋中脊域的成矿知识库。该知识库仍有很多有待改良的地方，但是其基本形态已经符合预期了，并且能反映出一定的客观规律，表现出一定的聚类功能。在知识图谱的设计上，目前还有很多值得商榷的地方，比如，空间位置关系如何抽象体现在知识图谱中，什么样的知识用属性而不是关系来体现，实体的不同层次会怎样影响知识图谱，现有知识和实际现象之间如何结合等等。

构建知识图谱之后，应当需要进行长程知识的提取分析等功能，实现知识图谱在成矿预测中的应用。然而目前本人对这一领域的研究还较浅，没能够很好地进行知识提取工作，希望能在会议中通过交流得到指引。

S40-P-08S

海底热液区岩石磁学研究进展

刘隆 [1]*，周建平 [1]，陶春辉 [1,2]，吴涛 [2]

1 自然资源部第二海洋研究所海底科学重点实验室，杭州 310012

2 上海交通大学海洋学院，上海 200030

* liulongsio@163.com

岩石磁学对探究海底热液区磁异常，壳幔结构，热液通道等有重要意义，也可为寻找热液矿床提供地球物理参数约束。在过去几十年中，国内外学者对海底热液区进行了系统的研究，取得了一系列成果，主要包括热液区不同类型岩石磁性参数，热液蚀变对其的影响，岩石剩磁成因及蕴含的磁性矿物颗粒等。本文通过统计不同热液区的岩石磁学数据，给出不同类型岩石样品的详细磁学参数参考值范围，发现在海底热液区热液蚀变使玄武岩绿泥石化和角砾化，导致钛磁铁矿逐渐溶解，玄武岩的磁化率和自然剩余磁化强度将会降低，当热液作用持续的时间足够长玄武岩可能会转化为矿化角砾和热液产物。在辉长岩暴露的海底热液区，辉长岩中蕴含大量磁铁矿可能主导该区域的近底部磁异常信号。因此，可以稳定记录地磁场的辉长岩在研究海底磁异常，解译热液区磁异常时不应该被忽略。高温的热液流体对橄榄岩的蚀变作用很强，磁铁矿、氢气、甲烷等不断产生，高氢气维持还原环境，进一步促进磁铁矿和磁黄铁矿的形成。而硫化物低磁化率和较高自然剩余磁化强度可能会对近底磁异常造成影响。通过热液区磁特性研究，可以指导基于近底磁异常探测技术寻找热液喷口和硫化物矿床。

海底热液区岩石磁学的研究不仅为地球物理方法提供了关键的约束参数，也可以探究壳幔结构，热液通道，寻找海底硫化物矿床等问题做出贡献。但是还有很多重要问题亟待解决。岩石样品的磁性能与宏观构造之间有什么关系？多重因素影响下，如何利用岩石样品的磁性参数去识别特殊的磁测信号？能否利用岩石磁学的方法详细定量化热液蚀变？如何将岩石磁学的结果和海底热液区热液循环联系起来？一方面可以通过测量大量海底热液区岩石样品，利用更多的岩石磁学方法，探究这些科学问题，另一方面需要定向的钻孔数据，提供约束条件，解决一些更复杂的问题。

S40-P-9

超基性岩热液系统硫化物矿床磁性物质来源和磁异常特征

胡智龙[1,2,3]，吴招才[2]*，张家岭[2,3]

1 山东科技大学测绘与空间信息学院，青岛 266590

2 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

3 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* wuzc@sio.org.cn

自 1977 年直接观测到海底热液活动现象以来，越来越多的资料表明海底热液活动会发生 Cu、Zn、Au、Ag 等元素的富集成矿，即形成海底热液硫化物矿床。在对海底热液系统的调查中我们发现其硫化物矿床的磁性与周围海底有明显差异。不同基底类型的热液系统呈现不同的磁性特征，一般情况下玄武岩型热液区呈现低磁异常，超基性岩型呈现高磁异常。随着研究的深入，人们发现超基性岩型热液区呈现的高磁异常也会产生两种不同的形式，本文主要探讨超基性岩型热液系统的硫化物矿床磁性物质来源以及磁性特征。在超基性岩基底热液系统中，基底围岩受到热液作用，超基性岩在热液蚀变作用下产生磁铁矿和磁黄铁矿，因此一般情况下热液区呈现强烈的正磁异常。但是，一些特殊的超基性岩型热液系统呈现出弱的正磁异常特征。超基性岩型热液区磁异常强度的控制因素主要有两种：热液流体温度和蛇纹石化反应阶段。高温环境下的蛇纹石化作用产生磁铁矿，但当温度<200 ℃ 时，岩石中的铁元素会转移到所生成的弱磁性水镁石中，从而导致弱的正磁异常。例如位于北大西洋中脊的 Lost City 低温（<200 ℃）超基性岩热液系统。而在中印度洋脊的 Yokoniwa 高温热液系统中，由于其热液区属于发育晚期，热液蚀变活动趋于停止，因此无法继续产生氢气维持还原环境，磁黄铁矿被氧化成非磁性硫化物或氧化物，也会导致其磁性大大降低形成弱的正磁异常。深入认识超基性岩热液系统硫化物矿床的磁性物质来源和磁异常特征，有助于依据近底磁力探测的磁异常以及海底矿床样品的磁性特征，对硫化物矿床的空间结构和磁性特征进行约束，进而建立超基性岩热液系统硫化矿床模型。

S40-P-10S

深海矿床：金属资源和地球历程之窗

王莹*

1 上海交通大学海洋学院，上海 200240

2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* wangying5787@163.com

“深海”可以被认为是低于 200 米的海底，由于光照强度很低，无法进行光合作用。深海覆盖了约 60%的地球表面，拥有一系列的地质背景、地貌特征和生态系统。这种环境，导致了海底深处蕴藏着与大陆上发现的矿床相似的矿藏，以及海洋特有的矿藏类型。随着金属需求的不断增长以及地缘政治和经济等因素的影响，人们越来越关注深海矿藏的资源潜力。然而，准确评估金属总量及其可回收性是非常困难的。我们缺乏关于深海许多方面的基本信息。

尽管这个探索的过程十分艰难，基于深海矿藏可以对未来的原材料供应做出重大贡献，我们必须积极探索。目前，商业利益、科学研究和管制活动主要集中于铁锰结核、富钴结壳以及多金属硫化物三类富含金属的深海矿藏，每一类都有不同的地质背景（形成环境、形成过程和金属元素）和相关的生态系统、勘探和开采的特定技术要求，以及监管方面的挑战。此外，深海矿藏也为研究地球提供了宝贵的窗口，包括海水的演化，以及地壳和海洋之间热量和化学物质的交换。以富钴结壳为例，它们的矿物学性质类似于水成铁锰结核，沉积时能够保存当时海水环境的同位素组成，提供海洋和气候演变记录，使用同位素地层学来确定覆盖在鲸鱼骨骼化石上的结壳的年代，可以估计鲸鱼

尸体沉积的时间，并为这些尸体所支持的海底生物群落的进化提供时间限制。

在未来的几十年里，我们有足够的陆地金属资源。但是，随着金属需求的增长，经济、地缘政治若干因素的影响。我们可能不得不进行深海采矿。采矿将不可避免地影响自然环境，但这些资源所含的许多金属对技术发展至关重要，这些技术是实现全球可持续发展目标和确保地球的长期健康发展所不可或缺的。目前，我们缺乏关于深海生物圈的基本知识，无法就如何最好地管理可持续和公平地开采这些矿藏作出客观的的决定。为帮助我们更进一步了解深海矿藏、提高勘探效率和降低成本，需重视不同学科和产业之间的国际合作、创新技术交流以及确保数据公开透明。此外，深海矿藏只能被认为是广义上的矿物“资源”，大规模的商业经济开采的可能性尚未经证实。因此，现在是时候通过增加海底勘探和研究的速度来增强我们对资源评估的信心。

S40-P-11

西北印度洋卧蚕热液区沉积记录对热液活动史的指示

邱中炎[1]*，韩喜球[1]，李谋[2]

1 自然资源部海底科学重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

2 浙江大学海洋学院，舟山 316021

* qiuzy@sio.org.cn

卧蚕热液区位于西北印度洋慢速扩张的卡尔斯伯格脊，是一处由洋中脊岩浆作用控制的大型高温热液系统。它包含两个区：活动的卧蚕 1 号区和非活动的卧蚕 2 号区。本研究对“蛟龙号”载人潜水器采集的 3 个 push-core 沉积物岩心进行了矿物学、地球化学、Pb-Sr 同位素及年代学研究，以了解这两个区的热液沉积特征及其热液活动历史。JL125-S17 岩心（长 26 cm）采自卧蚕 1 号区，岩性以含金属沉积物为主，主要由硫化物、硫酸盐、铁氧化物和铁氢氧化物组成。JL123-S03（长 18 cm）和 JL124-S04（长 20 cm）岩心取自卧蚕 2 号区，主要由钙质软泥组成。地球化学上，卧蚕 1 号沉积物表现出强烈的金属和 S 富集。Ag、As、Cd、Co、Cu、Fe、Mg、Pb、Zn 和 S 主要为热液源，以硫化物的形式赋存，As、Ga、Mo、P、U 和 V 则主要被 Fe-Mn 氧化物/氢氧化物从海水中清扫而来。相比之下，卧蚕 2 号沉积物富含 Ca，重金属含量较低。热液金属通量的时间序列变化表明，卧蚕 1 号热液区在过去~1069 年以来持续强烈活动，热液源 Fe（Fe_H）通量为 9483–10834 $mg \cdot cm^{-2} \cdot kyr^{-1}$。在此期间，699–1069 yr BP 和 0–411 yr BP 代表了热液活动强度明显增加的两个阶段。卧蚕 2 号热液区在 4864±114 yr BP 之前就停止了活动，但此后岩心仍记录到微弱的热液信号，这可能与低温弥散流和远端羽流沉降的输入有关。

S41-O-01

锰驱动的甲烷厌氧氧化产生极轻碳和氧同位素的方解石

蔡春芳*、刘大卫、扈永杰、王道伟

1 中国科学院新生代地质与环境研究重点实验室，北京 100029

* cai_cf@mail.iggcas.ac.cn

玛湖凹陷下三叠统砾岩中存在两期方解石胶结物，但是缺乏黄铁矿，显示孔隙水缺乏硫酸盐；棕色泥岩作为砾岩夹层，经 XRD、漫反射和穆斯堡尔谱分析，均未检测出黄铁矿。早期方解石经团簇同位素分析显示，形成于<65°C 早成岩环境，该早期方解石 $\delta^{13}C$ 值主要介于-31~-70‰，$\delta^{18}O_{VSMOW}$ 值介于 5.9~15.2‰。微区 EPMA 分析显示 MnO 含量高达 9.0%，SIMS $\delta^{13}C$ 值低至-58‰，随 MnO 含量增高而发生正偏移；而 $\delta^{18}O_{VSMOW}$ 值低至 4.1‰，随 MnO 含量增高而降低。这些结果表明，1）方解石形成于甲烷被 MnO_2 所直接氧化，而非通过隐形的硫循环；2）甲烷与 MnO_2 之间的氧化还原反应、方解石沉

淀作用发生在封闭体系，^{12}C 的甲烷优先被氧化，而残余的甲烷则富 ^{13}C，于是，后期沉淀的方解石 $\delta^{13}C$ 值越来越富 ^{13}C。而方解石中的氧则具有 MnO_2 中氧的贡献，方解石中 Mn 含量越高，其 $\delta^{18}O_{VSMOW}$ 越接近含 MnO_2 的赤铁矿测试值（-3.8~5.8‰），于是，产生极其贫 ^{18}O 的方解石。模拟计算显示，在封闭体系下，在 60°C 下生物甲烷($\delta^{13}C$=-55‰)与赤铁矿（$\delta^{18}O_{VSMOW}$ 值介于-4.6~7.8‰之间）反应，碳同位素分馏效应为 15-25‰，则可以产生上述方解石的碳氧同位素组成范围。

上述形成富 Mn 方解石的机理，同样适合于地质历史上菱铁矿、菱锰矿等铁锰碳酸盐矿物。文献中，对地质历史上这些铁锰碳酸盐矿物（$\delta^{13}C$ 值低至-22‰、$\delta^{18}O_{VSMOW}$ 值低至-0.7‰）存在很多解释，但很少有人提到铁锰氧化物能提供氧给碳酸盐矿物。本文提到的机理在地质历史上广泛存在，同时，否定了铁锰碳酸盐矿物直接从海水沉淀、前寒武纪存在有机碳库这一假说；相反，我们认为铁锰碳酸盐矿物是在沉积物中经铁锰氧化物和有机质或甲烷反应的产物，这种作用主要是在微生物参与下进行的。

S41-O-02

深层高温“烃—水—长石”体系中有机—无机相互作用机理

远光辉*，操应长，眷念民

1 中国石油大学（华东）地球科学与技术学院，青岛 266580

* yuan.guanghui@upc.edu.cn

油气充注后高温条件下的有机—无机相互作用对于油气藏中烃类的演化和储层质量的演化具有重要的影响。通过开展渤海湾盆地深层油气藏中和高温“烃—水—长石”热模拟实验中矿物蚀变特征、烃类演化特征、孔隙水特征等的研究，探讨了高温“烃—水—长石”体系中的有机—无机相互作用过程和发生机理，提出了深层高温富长石碎屑岩油气藏中“多组合—多路径—多效应”的有机—无机协同演化模式。在高含油饱和度的油层中，烃类演化与长石矿物相互作用较弱，长石溶蚀弱，烃类热演化通过自由基铰链作用生成重质油和沥青、通过自由基裂解作用生成低分子烃类，沥青充填孔隙，降低油气和储层质量。在含水较多的油—水过渡层，水通过提供额外的 H^+和 OH^-来促进原油的降解，同时水对 H^+和 OH^-在矿物和烃类之间的交换起到桥梁作用，有效关联高温体系中的有机—无机相互作用；水和长石溶蚀促进烃类的自由基裂解生气作用和水氧化生酸作用、抑制自由基铰链沥青化作用，导致生成更多的低分子烃类、CO_2 和有机酸，更少的重质油和沥青，酸性流体可反过来进一步促进长石溶蚀形成更多次生孔隙，有效改善油气和储层质量。

S41-O-03

南盘江—右江盆地油气成藏与金矿成矿耦合关系：沥青及黄铁矿 Re-Os 同位素年代约束

葛翔[1]*，David Selby[2]，沈传波[1]*

1 构造与油气资源教育部重点实验室，中国地质大学，武汉 430074

2 Department of Earth Sciences, Durham University, Durham DH1 3LE, UK

* xiangge89@126.com, cugshen@126.com

沉积盆地是能源和金属矿产资源聚集的主要场所之一，国内外油气与矿产勘查揭示油气藏和中低温金属矿床常常在沉积盆地内部及边缘共同产出。无论是在美国内华达州还是我国贵州西南部的南盘—右江江盆地，烃类有机质（原油、固体沥青）与卡林型金矿床均表现出密切的空间分布特征。然而，关于烃类有机质与金矿床的成因关系，

一直缺乏较为统一的认识。研究选择南盘江—右江盆地内空间上紧密共存的烂泥沟、板其古油藏以及丫他金矿床为研究对象，在前人研究基础上，开展以古油藏沥青、卡林型金矿含金黄铁矿 Re-Os 年代学为核心的工作，尝试分析油气演化在卡林型金矿成矿过程中的作用。

古油藏内高成熟焦沥青 Re-Os 同位素年龄（~228Ma）与盆地热历史模拟、储层流体包裹体分析结果共同指示二叠及晚三叠纪分别为南盘江—右江盆地原油生成及原油裂解（天然气生成）关键时间。丫他金矿床含金黄铁矿 Re-Os 年龄（~218Ma）与盆内金矿床细粒伊利石 Rb-Sr 年龄（~216Ma），金红石 U-Pb 年龄（~213Ma），毒砂 Re-Os 年龄（204-235 Ma）表现出良好的一致性，共同指示晚三叠纪为金矿床的一个主要成矿期。原油裂解与金矿成矿较为一致的时空分布特征，指示气态烃类可能对金属成矿起到的促进作用。综合研究区油气藏及金属矿床流体包裹体均一温度先升高后降低、CH_4 和 CO_2 负相关性以及黄铁矿 S 同位素相对同期海水硫酸盐降低的特征，认为原油裂解引起的甲烷主导的热硫酸盐还原作用（TSR）通过增加盆地流体中$(HS)^-$的浓度，进而促进含金黄铁矿的沉淀可能是南盘江—右江盆地内油气成藏与卡林型金矿成矿的纽带。

S41-O-04

成岩作用早期黄铁矿对有机质中分子化合物的影响

许汇源[1,2,3]*，刘全有[1,2]，侯读杰[3]，朱东亚[1,2]，孟庆强[1,2]，丁茜[1,2]，刘佳宜[1,2]

1 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室，北京 100083

2 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院，北京 100083

3 中国地质大学（北京）能源学院，北京 100083

* xuhuiyuan.syky@sinopec.com

丰富的分子生物标志物的毫米级别微观变化研究较少，特别是微观下不同岩石纹理、结构和矿物组成中的差别。研究对一个黄铁矿结核及其围岩中的分子化合物进行比较，为矿物影响分子化合物和有机无机相互作用理论提供一个新的视角。我们从渤海湾盆地东营凹陷的始新统沙河街组中选取了一个黑色纹层页岩，包括两个相邻的、对比强烈的灰岩层（浅色）和黄铁矿层（深色）。研究对其进行水平切片，将黄铁矿胶结的凝结物与未改变的层状页岩分开，并刻画其地球化学特征，以评估两个切片中的元素、矿物、微化石和分子化合物的非均质性。结果显示，有机质生源输入有微观尺度变化。例如，4-甲基甾烷、甲藻甾烷和三芳甲藻甾烷在二者之间显示出不同的分布，这归因于甲藻类贡献的轻微差异。芳基异戊二烯比、异海绵烷的相对丰度、长链正烷碳同位素组成和其他分子化合物指标（包括二苯并噻吩、二苯并呋喃、甲基二苯并噻吩和甲基三癸基色氨酸的相对数量）的变化指示细菌硫还原作用不同。这些变化的主要控制因素似乎是不同的静水条件，但成岩作用期的有机-无机相互作用也影响了这些分子化合物的分布。不同类型厌氧细菌对有机质的改造作用，以及黄铁矿的吸附保护作用是该富有机质纹层页岩中毫米级的有机地球化学特征变化的两个主要原因。黄铁矿结核中的分子指标对热成熟度的指示意义不明确，对微化石的地化特征和水体条件的记录更准确。这项研究阐述了未来有机地球化学参数研究中的关键，无机矿物元素对分子化合物的影响不应忽视，尤其是对关键地层界面古环境气候的恢复以及各类资源勘探中的溯源问题。

S41-O-05

沉积盆地氧化还原条件对生烃演化的影响及意义

吴嘉[1,2]*，季富嘉[2]，金霄[2]，王远[2]，罗情勇[1,2]，钟宁宁[1,2]

1 中国石油大学（北京）油气资源与探测国家重点实验室，北京 102249
2 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249
* jia.wu@cup.edu.cn

沉积有机质的热降解生烃反应是在热力作用下单向释放出低分子量烃类的化学过程，其反应实质是水热条件下的一类特殊的氧化还原反应——歧化反应，包括脱氢氧化形成焦沥青和加氢还原裂解生烃。这表明沉积有机质内部的氢转移和重新分配是生烃过程重要的化学特征。在人工体系中，无论是高熟干酪根的催化加氢实验，还是原油的加氢炼制，均表明外部氢源可增加烃类产率。虽然沉积盆地中存在多种产氢途径（如放射作用下水分解生氢或水—岩相互作用），但是其对应的氢逸度远低于人工体系的氢逸度水平。因此，在沉积盆地的氧化还原条件（氢逸度水平）能否促进沉积有机质热解生烃尚不明确。

为了模拟沉积盆地中水—岩相互作用所限定的氧化还原条件，本研究在热模拟体系内采用了磁铁矿—赤铁矿氧化还原缓冲剂(MH buffer)，并用氢逸度表征其还原性。通过对比实验，研究了350 ℃和40 MPa下，沉积盆地的氢逸度水平对 Alum 页岩生烃行为的影响。实验结果表明，相对于对照组无 MH buffer 的实验中，H_2 产率上升，CO_2 和 H_2S 产率下降，前者是因为烃类脱氢—水化—脱羧的生成反应速率降低所致，后者是因为与含铁氧化物的相互作用所致。另外，烃类组分中干燥系数升高，乙烷和丙烷的 $\delta^{13}C$ 值变轻符合加氢裂解的一般反应行为，而甲烷的 $\delta^{13}C$ 值变重，则很大程度与脱羧生成 CO_2 的路径被抑制，有机成因 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 值变轻有关。因此，MH buffer 所限定的氢逸度水平，可以有效增加实验中可溶有机质和气态烃的产率，而且可溶有机质和烃类气体产率的增加是因为加氢裂解机理形成的。

沉积盆地水热体系可仅靠水—岩相互作用形成还原环境，其氢逸度往往限定的在 MH 和 FMQ（铁橄榄石—磁铁矿—石英）之间。而且，无机反应的供氢速率大于有机质生烃消耗速率。因此，在沉积盆地中，存在以沉积有机质为主要反应物，在水—岩反应限定的还原条件下，发生有机—无机复合生烃的可能。外部氢源的存在会改变沉积有机质中 H 转移过程，促进有机质加氢裂解生烃的同时，会抑制焦沥青的热演化。随着地层的加深，温压条件增大，水—岩相互作用所限制的氢逸度也会增大，即便是高—过成熟有机质，仍可能被再活化生烃。这将使得生烃死亡线下移，相应的生烃动力学模型也可能需要修订。

综上，沉积盆地水热体系中水—岩相互作用所限定的氧化还原状态对沉积有机质生烃的影响，不仅为超深层油气勘探提供了理论依据，还可深化对生烃机理的理解，为更准确地解析生烃行为奠定基础。

S41-O-06

TCA 焦沥青参与硫酸盐热化学还原反应的模拟实验研究：以晕苯为模型化合物

丁康乐[1,2]*，唐友军[3]，刘岩[3]，吴义[2]，余珍珍[2]

1 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室，武汉 430100
2 长江大学化学与环境工程学院，荆州 434023
3 长江大学资源与环境学院，武汉 430100
* dingkl@yangtzeu.edu.cn

碳酸盐岩储层中常伴生有膏盐沉积，在高温地质环境中油气藏中的烃类与硫酸盐接触后一般会发生硫酸盐热化学还原反应（Thermochemical Sulfate Reduction，简称 TSR）。TSR 是当今国际地学领域研究热点，也是储层地球化学中流—岩相互作用的核心研究内容之一。作为油气成藏中—成藏后在高温地质条件下的一种重要次生变化，TSR 反应属于有机—无机相互作用范畴。在油气资源研究领域，TSR 通过引起油气藏的蚀变、改造和破坏，影响油气的空间分布和

“油窗”的深度范围，使储层中有毒/非烃气体增加，改变油藏的气油比，对石油和天然气的保存及其演化产生重要影响。在固体矿产资源领域中，TSR 成因 H_2S 在大量金属存在的条件下形成金属硫化物矿床，并对硫循环产生深远的影响。众多地质实例研究表明，TSR 体系有机反应物主要包括链状烷烃、环烷烃、芳烃等，处于汽油馏分范围内的支链与直链烷烃最容易参与 TSR，其次是汽油馏分范围内的环烷烃、芳烃，也有甲烷参与 TSR 的报道。因此，以往 TSR 模拟实验大多采用石油及其组分、天然气、干酪根热解气、单个烃类及其含氧衍生物。近年来，硫酸盐还原剂的研究范围已扩大到干酪根和低成熟固体沥青。在模拟实验温度范围内，这些沉积有机质实际上可以释放出相当数量的烃类。国外有学者根据 H/C 比值、S 含量和 $\delta^{34}S$ 值，提出加拿大西北地区松点铅锌矿田 TSR 消耗了部分固体沥青。然而目前对热成因焦沥青在 TSR 过程中反应性的研究还鲜见报道。

沉积地质条件下油气具有热力学不稳定性。世界范围内不同含油气盆地在 90 ~ 200℃的地下温度下均经历不同程度的热降解。石油的热化学蚀变（TCA）作用可在深部储层原油裂解晚期生成相对气态产物数量更多的焦沥青，并能占据储层的大部分孔隙空间。Kelemen et al. (2008)认为 TCA 可生成芳香族碳含量超过 75%的固体沥青。尽管前人对 TCA 或 TSR 作用产生的固体沥青的特性进行了大量研究，但迄今尚不清楚作为石油裂解的不溶性有机碳质残渣即高成熟固体沥青是否也能参与 TSR。Truche 等人(2014)提出，除了烃类外，TSR 过程还可能涉及碳石墨。值得注意的是，最近国内有研究人员推测，自然条件下地层流体可能会与演化过程中的焦沥青发生反应，但 TSR 作用可能仅限于在焦沥青表面。迄今为止，关于硫酸盐与热成因焦沥青相互作用的理论或模拟实验研究还很少报道。

为探讨热成因焦沥青参与 TSR 的可行性，本论文在室内 300-500℃条件下对硫酸镁（$MgSO_4$）和模型化合物晕苯（六苯并苯，$C_{24}H_{12}$）进行了含水热模拟实验。研究结果表明，晕苯可参与 TSR，并遵循一级反应动力学模型，其表观活化能为 192.98kJ/mol。晕苯参与硫酸盐还原作用在化学动力学上归属于慢速 TSR 反应体系。因为相对于 C_{2+} 参与的快速 TSR 体系，晕苯具有高化学稳定性，限制其化学结构中的氢原子转化为 H_2S 分子中 H 原子的速率。在典型油气藏温度范围内，晕苯参与 TSR 的反应速率稍慢于甲烷参与 TSR 的反应速率，但启动两种 TSR 作用的门限温度非常接近。这暗示深埋储层中以甲烷为主要还原物的 TSR 过程中，也可能伴随发生热成因焦沥青与硫酸盐之间的有机—无机相互作用。热力学上，晕苯参与 TSR 反应在 100-220℃范围内为放热过程，其反应热为 221.0–248.3kJ/mol 烃。TSR 可消耗热成因焦沥青分子结构的一些碳原子，因此这也可能是 TSR 固体沥青的 S/C 比例高于 TCA 固体沥青的原因之一。

S41-O-07

中国北方产铀盆地地质构造特点与砂岩铀矿成矿作用

秦明宽*，李子颖，刘红旭，刘章月，刘武生，蔡煜琦

1 核工业北京地质研究院，北京 100029

* qinmk9818@163.com

近 20 年来，我国砂岩型铀矿找矿取得重大突破，其探明资源量已位居四大工业类型之首。我国砂岩型铀矿主要产于北方一系列中新生代沉积盆地中，产铀盆地类型主要包括大陆边缘裂谷盆地、陆内前陆盆地和山间盆地。从全球范围看，中国北方产铀盆地具有独特的地质构造特点，作者将其归纳为 6 大特点。中国特定的大地构造背景决定了产铀盆地地质构造的复杂性、多样性和特殊性，而产铀盆地类型及其区域地质构造特点又控制着砂岩铀矿的成矿类型、规模、时空分布以及成矿远景等。与全球著名的美国中西部、中亚地区产铀盆地相比较，中国北方

的产铀盆地在大地构造环境、盆地内部地质构造特征、新构造活动强度以及矿产资源的多样性方面存在十分明显的差异。中国北方中东部绝大多数砂岩铀矿床以及西部个别铀矿床普遍具有“叠合复成因”，具体表现为：多种铀源的叠合、多来源成矿流体的叠合、多种成矿作用（有机与无机、氧化还原与吸附、沉积成岩与后生改造等成矿作用）的叠合复成。

S41-O-08

基性岩侵入对砂岩储层成岩作用和物性特征的影响：以钱家店铀矿床为例

荣辉[1]*，焦养泉[1]，吴立群[1]，赵新福[2]，曹民强[3]，刘卫红[4]

1 中国地质大学（武汉）构造与油气资源教育部重点实验室，武汉 430074

2 中国地质大学（武汉）资源学院，武汉 430074

3 辽河石油勘探局新能源开发公司，盘锦 124010

4 中石油勘探开发研究院新能源研究所，廊坊 065007

* ronghui0411@163.com

沉积盆地中岩浆侵入是影响沉积物成岩作用的关键因素，许多研究都聚焦于岩浆侵入对深埋藏致密砂岩储层成岩作用的影响，但由于岩浆侵入之前这类储层成岩作用复杂性，会干扰岩浆侵入对储层成岩作用影响标志的识别，导致这方面研究具有很大的挑战性。目前岩浆侵入对砂岩储层物性的影响还存在争议：有人认为会造成储层物性降低；也有人认为对储层物性没有影响，还有人认为会改善储层物性。松辽盆地钱家店铀矿床中见大量基性岩分布，它们侵入到含铀岩系——上白垩统姚家组内部，烘烤了铀储层砂岩；该矿床铀储层所经历的埋深小于500m，早期成岩作用对基性岩侵入其中所引起的蚀变作用类型判别的干扰非常小。因此，钱家店铀矿床是研究岩浆侵入对砂岩储层成岩作用影响的典型案例。

本文在弄清楚松辽盆地钱家店铀矿基性岩附近铀储层的矿物学特征、碳酸盐胶结物中流体包裹体特征、铀储层品质参数（孔隙类型、直径、孔隙度及渗透率）特征基础上，揭示基性岩侵入对砂岩储层成岩作用和物性的影响。研究发现，基性岩附近砂岩储层以高岭石、伊蒙混层、铁白云石、白钨矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、钛铀矿的形成和石英、长石、菱铁矿的溶解为特征，而远离基性岩砂岩以蒙脱石、白云石、菱铁矿形成为特征。基性岩侵入对成岩作用的影响分为两个阶段：早期温度、盐度为 175-225 ℃、12.0-18.0 wt% NaCl equiv，以高岭石形成和石英、长石、菱铁矿的溶蚀为特征；晚期温度、盐度为 125-150 ℃、8.0-10.0 wt% NaCl equiv，以铁白云石、白钨矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、钛铀矿的形成和石英的溶蚀为特征。储层面孔隙率、孔径、孔隙率和渗透率随着靠近基性岩而迅速减小；随着远离基性岩逐渐增大。相对应，储层质量降低区域的规模远小于储层质量改善区域的规模。与基性岩侵入有关的两期流体造成砂岩中石英、长石及菱铁矿的溶蚀，为储层次生孔隙发育机理提供了新解释。基性岩侵入产生了两期热液流体活动：早期酸性流体和晚期碱性流体，其中酸性流体影响的范围比碱性流体影响的范围更大。与基性岩侵入有关的两期热液流体活动造成砂岩中石英、长石及菱铁矿的溶蚀，为储层次生孔隙发育机理提供了新解释。

S41-O-09

松辽盆地西南部姚下段有机质特征及其铀成矿意义

黄少华*，秦明宽

1 核工业北京地质研究院，北京 100029

* huangshaohua20@126.com

氧化—还原作用一直被认为是沉积盆地砂岩型铀矿形成最主要的铀沉淀机理和低温开放体系下的成矿机制；而铀的变价性

和亲有机质性决定了还原介质及其含量多少是铀成矿的关键控矿因素之一。研究表明，自生成因碳质物、黄铁矿以及以腐殖酸盐、沥青、液态石油和气态碳氢化合物等形式存在的外来有机质在不同地球化学带内对铀具有络合迁移和还原沉淀的双重作用，与铀矿床存在统计意义上的、空间的或化学的密切关系，但不同尺度下的表现结果可能不太相同。

松辽盆地西南部已发现的几个矿床是我国首个发现产在盆地姚家组红杂色岩系中的砂岩型铀矿床。许多学者针对区内铀源、构造—沉积演化、古气候演化、目的层岩性—岩相、砂体特征、后生氧化和油气次生还原蚀变、岩浆热液活动、铀的赋存状态和时代等铀成矿条件及特征方面做了大量的研究工作；构建了“预富集—构造—油气—层间氧化”四位一体，以及“姚家期辫状河道洼地、嫩江期末反转隆升，剥蚀构造天窗、NNE 向贯通性基底断裂”三位一体的多源混合叠造复成因成矿模式，形成了经典的天窗控矿理论。

为查明钱家店矿田主要含矿层姚下段有机质—灰色层—漂白带—板状铀矿体共伴生关系及其成因机制，系统对矿区姚下段有机质类型及其产生的岩石蚀变作用和铀成矿效应进行详细的宏观及微观解剖，得出赋矿层有机质主要包括同沉积成因碳屑（Ⅰ类）和异源可移动腐殖质（Ⅱ类），局部含有深部油气还原性流体（Ⅲ类）；并导致岩石产生了漂白褪色、绿色蚀变、不同类型黄铁矿化和碳酸盐化等蚀变作用。Ⅰ和Ⅱ类有机质一方面具有直接吸附还原铀的作用，另一方面通过微生物厌氧发酵和热解作用生成大量易散性 H_2S、H_2 等气体间接促使铀被还原沉淀；Ⅲ类有机质具有提高目的层还原容量和保矿富矿的多重积极性作用。矿石中铀主要以沥青铀矿为主，少量铀石和含铀钛矿物。基于区内铀成矿基本特征，从还原介质角度构建了姚下段砂岩4阶段铀成矿模式：①姚下段弱还原性浅灰色含矿目的层形成阶段；②板状富含Ⅰ和Ⅱ类有机质灰色层形成阶段；③成岩期漂白带形成与铀预富集阶段；④构造反转—多流体耦合主成矿阶段。该新模式的提出不仅丰富完善了盆地红杂色岩系砂岩铀成矿机制和模式，对于松辽盆地乃至国内外相似地区和层位的铀矿找矿也具有重要的指导作用。

S41-O-10

固体沥青催化加 H_2 生烃作用研究-以四川盆地矿山梁地区寒武系低熟沥青为例

黄晓伟[1,2]，金之钧[2,3]*，刘全有[2,4]*，孟庆强[2,4]，刘佳宜[2,4]，刘金钟[5]

1 中国地质大学（北京）能源学院，北京 100083
2 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室，北京 100083
3 北京大学能源研究院，北京 100871
4 中石化石油勘探开发研究院，北京 100083
5 中科院广州地球化学研究所，广州 510640
* jinzj.syky@sinopec.com, liuqy.syky@sinopec.com

地球深部流体作为沟通地球深部和沉积盆地的纽带，向盆地内输送大量的能量和物质。当深部流体向上运移作用于古老地层中固体沥青时能否促进沥青有机质再次生烃，其生烃条件与生烃机理如何，是否会发生显著增烃作用一直是一个值得深入探索的科学问题。

为深入探讨固体沥青在地球深部富氢流体作用下作为烃源二次生烃的条件及其生烃机理，本研究进行了固体沥青催化加氢生烃的模拟实验研究。实验样品选取四川盆地西北部矿山梁地区寒武系下统古油藏固体沥青，研磨至 200 目且提纯去除杂质。催化剂选用 $ZnCl_2$ 和 MoS_2 固体粉末，按照不同实验对照条件要求定量加入 H_2 及各反应组分，利用黄金管封闭体系进行模拟实验来研究催化加氢作用对低熟固体沥青的再活化生烃能力。

结果表明，通过与未加 H_2 系列对比，加 H_2 系列反应生成的烃类和 CO_2 在（＜400℃）产率相对降低，且 $\delta^{13}C_{1\sim3}$ 变重，$\delta^{2}H$

随温度升高呈变重趋势，说明自身裂解生烃能力大于外界加氢生烃贡献；随着温度进一步升高，催化加 H_2 反应强度增加，促使最大ΣC_{1-5} 产率（550℃）是未加 H_2 系列的2.4~2.5 倍；催化加 H_2 反应过程导致 CO_2 产率降低，$\delta^{13}C_{CO2}$ 值变重。对于不同金属矿物来说，相同对照条件下 $ZnCl_2$ 比 MoS_2 作用下生成的气态产物的产率更高。以上研究结果表明：（1）对于气态组分产率，外源 H_2 其对有机质催化加氢的程度除了受外界环境的影响，更易受到自身有机质中 H 含量控制。外源 H_2 对气态烃生成的贡献主要体现在相对高温阶段（≥400℃）。（2）由于 $ZnCl_2$ 相比 MoS_2 具有更好的质量传递效果和稳定性，导致其对低熟沥青催化加氢效果优于后者，同时通过 C_4 或 C_5 的 i/n 比发现，催化贡献中阳离子作用下催化模式发挥重要作用。（3）结合 CO_2 产率的在加氢与未加氢系列的产率和同位素对比变化，验证催化加氢过程中伴生费托合成反应（FTT）发生。

综上，本次模拟实验有效客观地验证了地下深部流体物质中的富氢组分和金属元素对沉积盆地中的固体沥青可具有显著的催化加氢促烃效果，且显著提高沥青的再活化生烃潜力。

S41-O-11

烃源岩加氢生烃过程对氢元素的选择性吸收：来自模拟实验的证据

孟庆强*，金之钧，刘全有，刘文汇，朱东亚

1 中国石化石油勘探开发研究院，北京 100083

* mengqq.syky@sinopec.com

尽管100年来石油工业获得了飞速发展，但关于石油的成因，一直争论未休：“有机成因说”因在指导油气勘探方面成效显著而得到了较多的认可，但其理论本身难以回答“油气产量大于或等于资源量”的难题；“无机成因说”尽管在成烃机理方面取得了一些新发展，但难以指导油气勘探，因此，进展缓慢。起源于沉积盆地基底之下的深部流体向盆地内输入了物质和能量，沟通了盆地内有机质与无机物质，可以形成有机-无机复合成因烷烃（Seewald J,2003；金之钧等，2007）。但是，在地质条件下既存在地层水，也存在因深部流体形成的氢气，二者对有机质生烃的影响程度有何差异，研究的较少。本文以济阳坳陷相对稳定区-牛庄凹陷王 12 井烃源岩为生烃母质，开展了加水、加氢气与水的密闭体系有机质热解生烃实验。对实验结果进行的气体及液体产物的组分和同位素分析表明，在氢气和水共存的状态下，甲烷的氢同位素组成特征与氢气的氢同位素组成特征更具相关性，表明氢气优先于水对有机质进行加氢生烃。本研究对进一步评价深部流体影响烃源岩生烃的资源量贡献具有重要意义。

S41-O-12

塔里木盆地巴楚隆起下寒武统 TSR 作用及方解石 U-Pb 定年约束

陶小晚*，李建忠，李超正，陈燕燕

1 中国石油勘探开发研究院，北京 100083

* taoxiaowanr@petrochina.com.cn

在塔里木盆地巴楚隆起 L1 井下寒武统肖尔布拉克组岩心中见到了单质硫、黄铁矿、重晶石、石膏、沥青、方解石和石英。

通过扫描电镜、普通薄片及阴极发光薄片观察，认为沥青与单质硫、石英、重晶石具有共生关系。通过激光拉曼确定石英单包裹体内气体组分，甲烷含量 72%，硫化氢含量 8%，CO_2 含量 20%，说明烃类物质与硫酸盐之间发生了 TSR 反应。

石膏硫同位素 32‰-35‰，与塔里木盆地其他井中下寒武统及地层水硫同位素一致，表明硫酸盐中硫来源于下寒武统地层。单质硫同位素为 24‰至 25‰，说明在 TSR 反应过程中存在一定硫同位素分馏，反应物

未完全消耗。黄铁矿硫同位素为-26‰至-30‰，可能为早期 BSR 过程的产物。

通过包裹体均一温度、构造演化史、地温-埋藏史恢复、方解石 U-Pb 定年，探讨了本区油气成藏过程及 TSR 发生的时间。(1) 第一期烃类包裹体发育在方解石中，现今为气态烃包裹体，无液态烃包裹体，但气态包裹体中见沥青，伴生盐水包裹体均一温度为 100-130℃，表明在志留纪中晚期油气首次充注，后期原油又遭受了裂解。(2) 第二期烃类也为气态烃包裹体，发育在方解石及石英颗粒中。方解石及石英与沥青和硫磺伴生。烃类伴生盐水包裹体均一温度为 140-180℃，说明石炭—二叠纪，地层埋深持续增大，原油裂解。石英中气态包裹体 H2S 含量达 8%，说明原油裂解与 TSR 作用伴生。晚于沥青充填的方解石 U-Pb 定年，明确原油裂解及 TSR 作用发生在 220Ma 前。(3) 石英单包裹体温压恢复表明，随着包裹体温度升高，压力发生降低，地层压力系数从 1.44 降为 1.09。在二叠纪，塔里木盆地巴楚地区受地幔柱影响，遭受断裂及抬升作用影响，气藏遭受破坏，导致本地区勘探失利。

S41-P-01S

石油活动对海洋重金属的影响综述

谢思荣 [1,2,3]*，姜伟 [2,3]

1 广西大学资源环境与材料学院，南宁 530004

2 广西大学海洋学院，南宁 530004

3 广西大学珊瑚礁研究中心，南宁 530004

* 1743128719@qq.com

近年来，在人类活动的不断影响下，海洋中的重金属含量随之发生变化，对海洋生态环境和人类健康存在着潜在的威胁。因此，研究海洋重金属的人为来源有助于从源头控制海洋重金属的输入。本研究聚焦于沿海和海上石油活动因素，对国内外石油活动对海洋重金属含量的贡献和影响研究进行了综述，总结已有的研究结果并以此为结果进行展望。

S41-P-02S

自生碳酸盐岩对天然气水合物成藏的指示作用

王子晨 [1,2]，姜磊 [1,2]*

1 中国科学院新生代地质与环境重点实验室，北京 100029

2 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

* lei.jiang@mail.iggcas.ac.cn

受到科学界和各国政府密切关注的天然气水合物即可燃冰为未来主要的替代能源，其广泛分布于大陆边缘沉积物中。然而，不同地区海域水合物的天然气组成及其同位素差异大，制约了人们对水合物成藏的认识。自生碳酸盐岩是水合物分解、渗漏后甲烷发生厌氧氧化的产物，其元素、同位素及年龄等特征可用于重建水合物发育及成藏过程。本研究对中国南海、美国东南海域（墨西哥湾盆地、布莱克海脊）、孟加拉湾等被动大陆边缘区域，日本南海海槽（Nankai Trough）、卡斯卡迪亚俯冲带（Cascadia Margin）、郁陵盆地（Ulleung Basin）等主动大陆边缘 1896 个天然气样品和 1540 个自生碳酸盐岩样品的化学成分、碳同位素，及 265 个自生碳酸盐岩 U-Th 和 ^{14}C 定年数据开展对比研究。分析结果表明：(1) 中国南海水合物以热解气为主，平均 $\delta^{13}C_1$=-48.2‰（n=135），热解气运移和渗漏主要受构造运动影响，单点渗漏量大、渗流速率高，自生碳酸盐岩沉淀速率快，其碳同位素与热解气相近，平均 $\delta^{13}C$ 值为-44.1‰ (n=280)；(2) 郁陵盆地、孟加拉湾和卡斯卡迪亚俯冲带水合物以生物气（平均 $\delta^{13}C_1$=-68.4‰，n=864）为主，生物气渗漏受气候和生、排烃作用影响显著，单点渗漏量小、渗漏点分散、渗流速率低，导致碳酸盐矿物中无机碳比重增大，

其 $\delta^{13}C$ 值平均为-21.7‰（n=357）；（3）日本南海海槽水合物以混合气（平均 $\delta^{13}C_1$=-57.2‰，n=156）为主，美国东南海域则同时发育生物气和热解气；气源类型复杂表明天然气渗漏受构造运动，气候和生、排烃作用等多重因素影响；碳酸盐矿物 $\delta^{13}C$ 值进一步增大，平均值为-13.5‰（n=889），表明热解气贡献量大；（4）自生碳酸盐岩 $\delta^{18}O$ 值通常在 3‰~5‰之间，显著高于海水沉积碳酸盐岩，可能是温度升高促进水合物分解并释放富 ^{18}O 流体所致；（5）水合物区渗漏始于 350ka，并主要发生于 150ka 以来，甲烷渗漏时间与水合物成藏期大致吻合且主要在间冰期和末次冰盛期发生，水合物成藏主要受气候、海平面升降、及局部构造控制。综上所述，结合大陆边缘的构造、天然气及自生碳酸盐岩的地球化学特征，能揭示水合物的气源类型及成藏过程，为天然气水合物勘探开发提供科学依据。

S41-P-03S

碳酸盐岩岩溶碳汇量和溶蚀速率与气候的关系研究——以广西岩溶区为例

耿夏童[1,2,3]，侯明才[3]，文华国[3]，刘媛媛[3]，邢凤存[3]，姜磊[1,2,3]*

1 中国科学院新生代地质与环境重点实验室，北京 100029

2 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

3 成都理工大学沉积地质研究院，成都 610059

* lei.jiang@mail.iggcas.ac.cn

碳酸盐岩的沉积与风化作用是全球碳循环的关键环节，并有效控制了大气 CO_2 浓度及地质历史时期的气候演化。同时，古老碳酸盐岩地层中蕴含丰富的天然气与地热资源，为保障国家能源安全及减少碳排放发挥了重要作用。已有研究表明，现代碳酸盐岩岩溶作用对大气 CO_2 具有较强的捕获能力，现今全球每年能回收超过 6 亿吨大气 CO_2 中的碳，并可形成超大型溶蚀洞穴体系。然而，目前对地表碳酸盐岩溶蚀速率、碳汇量及其与气候关系的研究鲜有涉及。

中国广西地区发育丰富的现代喀斯特岩溶地貌，本文选取广西地区 24 个国家级基准和基本气象站点 1995 年至 2017 年共二十二年平均气温、年降水量气象数据，并以 GIS 为研究平台，结合研究区内碳酸盐岩类型的地表分布，利用 ArcGIS 10.2 软件进行克里金插值，计算获取径流量，通过应用 GEM-CO_2（Global Erosion Model for CO_2 fluxes）模型计算出表生岩溶作用的年碳汇量（F_{CO2}），并根据岩溶溶蚀速率和径流量的关系计算出岩溶作用对碳酸盐岩地层的溶蚀速率（DR）。本次研究深入探讨了年平均气温和年降水量差异及其对碳汇量与溶蚀速率的影响，得出以下主要认识：

（1）年平均气温在 19.3-23.4℃之间，等温线基本呈平行纬向线分布，气温由南向北递减；

（2）年降水量在 1101-2762mm 之间，主要受当地地形与南亚热带季风气候的影响，具有靠近赤道处和东部多，西部少的特征；

（3）每年吸收大气 CO_2 量约在 12mmol km^{-2} s^{-1}-64 mmol km^{-2} s^{-1} 之间，且碳汇量与年降水量呈较好的正相关关系；

（4）根据碳酸盐岩溶蚀速率与径流量（P-E）的相关关系（DR=0.0544（P-E）-0.0215，R^2=0.98；其中 P 为降水量，E 为蒸发量），计算出溶蚀速率约在 13mm/ka-68mm/ka 之间，且与年降水量与年均温度呈正相关关系。

本研究针对广西地区岩溶碳汇量和溶蚀速率的计算方法，笔者认为可推广至全球其它地区岩溶甚至古岩溶作用的碳汇量和溶蚀速率及其与气候关系的研究中。

S41-P-04

雄安地区中元古深部岩溶热储裂隙成因探讨

欧泳良[1,2,3]，姜磊[1,2,3]*

1 中国科学院新生代地质与环境重点实验室，北京 100029
2 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029
3 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 101400
* lei.jiang@mail.iggcas.ac.cn

中国华北地区中元古界发育巨厚的海相碳酸盐岩沉积，其岩溶作用发育并储存了丰富的水热型地热资源，为国家能源安全及降低碳排放提供了保障。由于中元古界地层时代老、演化历史长、后期改造强烈，目前对岩溶热储成因尚不明确，制约了高效的地热资源开发进程。岩溶裂隙作为地热流体储存和运移的通道，对其形成时间和空间进行精确限定，探究裂隙成因、储层流体来源及演化过程等，对认识热水储层形成及热水资源富集尤为重要。本次研究以雄安地区中元古界高于庄组和雾迷山组裂隙岩溶储层为对象，在详细的岩石学、同位素地球化学研究的基础上，结合工业 CT 扫描技术等方法，探讨岩溶热储的地质成因过程。碳同位素和氧同位素值分别为-2‰~+3‰之间及-3‰~-13‰之间、$^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.7040~0.7130 之间，其中雾迷山组 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 主要分布在 0.7040~0.7060 之间；高于庄组 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 主要分布在 0.7050~0.7080 之间。碳、氧、锶同位素总体落入同时期海水值范围，表明后期成岩流体作用对碳酸盐岩基质的同位素无显著影响；少量样品具相对较负的氧同位素和高的 $^{87}Sr/^{86}Sr$，表明受到后期成岩流体（大气水、重结晶、热液等）的影响；部分样品的氧同位素比同时期海水值偏正，可能是蒸发作用的产物；此外，一些样品具有极低的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值，说明受到热液活动的显著改造，并得到岩石学证据的支持。工业 CT 扫描结果发现岩心溶蚀孔隙和裂缝非常发育，且具有多期性与复杂性的特点。通过显微镜下岩石学观察裂缝的截切关系可判断不同期次裂缝发育的先后顺序。本研究初步认为研究区对裂隙储层具有贡献的岩溶主要有两类：（一）准同生期或表生期岩溶作用；（二）埋藏期构造驱动的深成岩溶作用。然而，目前无法精确限定研究区热水储层的形成时间及地质成因模式，通过对获取的裂缝充填碳酸盐岩矿物进行流体包裹体测温、团簇同位素、及 U-Pb 定年等测试有望解决本研究关心的核心科学问题。

S41-P-05

深层不同类型流体改造碳酸盐岩围岩的模拟实验研究

丁茜[1,2]*，朱东[1,2]，何治[1,3]

1 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室，北京 100083
2 中石化石油勘探开发研究院，北京 100083
3 中石化科技部，北京 100892
* dingqian.syky@sinopec.com

深层—超深层碳酸盐岩是目前油气勘探聚焦的重点领域，其储层的形成和保持机制是制约深层储层预测的关键科学问题。为查明不同埋藏环境下碳酸盐岩储层溶蚀改造/沉淀致密化的流体环境，定性定量厘清碳酸盐岩储层演化过程，明确深层超深层地层流体-碳酸盐岩相互作用机制，建立优质碳酸盐岩储层发育的模式，研发了高温高压水岩实验系统，分别针对烃源岩生烃伴生酸性流体、热液流体和大气降水流体，开展了一系列模拟实验。

其中生烃模拟实验采用塔里木盆地奥陶系鹰山组灰岩和云南禄劝低成熟烃源岩为实验对象，利用岩相学和地球化学相结合的分析手段，查明中、深埋藏环境下生烃热演化过程中伴生的复杂酸性流体改造碳酸盐岩储层的过程及其控制因素，实验表明：中、深层埋藏环境下烃源岩热演化过程中伴生的有机酸和 CO_2 等酸性流体对碳酸盐岩储层产生明显溶蚀作用，扩大原有储集空间并提高孔隙度，并且随着埋藏深度增加，溶蚀作用明显减弱。

断裂—热液模拟实验采用塔里木盆地一间房组灰岩柱塞样和含 CO_2 盐水为实验对象，模拟热液流体沿断裂自下而上运移的过程，反应前后储集空间形貌变化表明沿裂缝扩溶，裂缝转折处溶蚀增强，储集空间扩大，物性得到改善，实验数据表明：热液流体沿断裂上行过程持续溶蚀改造碳酸盐岩围岩，上行过程中溶蚀作用逐渐减弱，其主要受控于岩石—流体接触面积及流体饱和度。提取 CT 数据，定量分析了流体沿裂缝改造储层的效果，明确流体沿优势通道流动，裂缝表面积提升了 0.6%，裂缝体积增加了 92.4%。

大气淡水模拟实验中，采用一间房组灰岩的颗粒样品，模拟表生—深埋环境下大气降水沿着断裂下行时与碳酸盐岩发生水岩反应的溶蚀/沉淀过程。模拟实验结果表明：大气降水沿断裂下行过程中持续改造围岩，流体溶蚀能力逐渐下降；当模拟深度达到 1500 m（对应 65℃，15Mpa）时，溶解和沉淀几乎达到动态平衡。实验表明大气降水沿断裂下行的岩溶最深发育至 1500 m，再往深处产生方解石胶结充填。

综上，通过不同类型的流体—岩石模拟实验，明确了生烃裂解酸性流体、大气淡水、热液流体溶蚀改造碳酸盐岩围岩的差异性，定性定量厘清了表生—深埋环境中碳酸盐岩储层演化的过程，以期为深层超深层碳酸盐岩储层勘探开发提供一定的理论依据。

S41-P-06S

中元古代低硫酸盐浓度的古海洋环境和不同形式硫同位素特征

蒋子文[1,2]，蔡春芳[1,2]*

1 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境院重点实验室，北京 10029

2 中国科学院大学地球科学院，北京 10049

* cai_cf@mail.iggcas.ac.cn

中元古代因为缓慢的圈层演化和稳定的全球板块构造，被归属于所谓的“Boring Billion”期间，然而近年的研究表明中元古代存在间歇式的增氧事件以及持续的生命演化，中元古代的特点为低的海洋硫酸盐浓度和低氧浓度导致的氧化硫循环受限，关于该时期的古海洋环境和硫同位素表达缺乏精细研究。华北克拉通北缘保存了良好发育的中元古代沉积地层记录，是研究当时古海洋环境条件和大气氧浓度的良好载体。下花园地区下马岭组四段主体为一套黑色页岩夹灰绿色页岩沉积，顶部过渡为灰绿色页岩与碳酸盐岩互层，含灰岩透镜体。通过 TOC、主微量元素、黄铁矿和干酪根有机硫同位素分析，了解该时期的海洋氧化还原状态和硫同位素表达差异。下马岭组四段 Mo 含量介于 0.46~8.17ppm，平均 1.93ppm；U 的富集系数（U_{EF}）介于 0.90~2.39，含量 1.71~4.94ppm，平均 2.99ppm；V 的富集系数（V_{EF}）介于 0.54~2.22，含量 49.77~243.51ppm，平均 111.21ppm。根据 U 和 V 的富集系数将该段氧化还原环境分为上下两部分，在 0~31.7m 的富有机质黑色页岩段，U_{EF} 和 V_{EF} 指示缺氧环境；在 31.7~79m 的贫有机质灰绿色页岩和富有机质黑色页岩互层段，U_{EF} 和 V_{EF} 指示波动式氧化和缺氧环境的交替变化。该结果与前人对该段铁组分的研究结果相符合，即该段下部为铁化和硫化环境，上部为交替出现的氧化、硫化和铁化环境。

该段黄铁矿的 $\delta^{34}S_{pyrite}$ 介于 -0.29~18.96‰，而同期海水硫酸盐的 $\delta^{34}S_{sulfate}$ 约 20~26‰，硫酸盐浓度约 2mM，是现今海洋硫酸盐浓度的 7%。该段整体黄铁矿的 $\delta^{34}S_{pyrite}$ 值富含 ^{34}S，表明该时期海洋硫酸盐还原较完全，可能是由于当时海水硫酸盐浓度整体较低的原因。将 $\delta^{34}S_{pyrite}$ 的变化与该段的氧化还原条件联系起来，在缺氧的下部 $\delta^{34}S_{pyrite}$ 值范围较窄，介于-0.29~7.53‰；而在氧化和缺氧环境交替的上部，$\delta^{34}S_{pyrite}$ 值范围较宽，介于-015~18.96‰。其中黄铁矿 $\delta^{34}S_{pyrite}$ 的低值与 Mo、U、V 的富集相关，并且每当沉积水柱由缺氧环境转变为氧化

环境时，$\delta^{34}S_{pyrite}$ 都会极度富集 ^{34}S，最大值为 18.96‰接近同期海水硫酸盐的 $\delta^{34}S_{sulfate}$ 值，表明在中元古代海洋硫酸盐储库较小时，缺氧环境中黄铁矿的埋藏使 $\delta^{34}S_{sulfate}$ 更富集 ^{34}S，硫酸盐浓度变低；随后，在缺氧和氧化环境交替时，氧化还原界面下降，缺氧水体范围收缩，硫酸盐几乎完全还原限制了硫化物同位素分馏的表达。

干酪根的有机硫同位素变化范围较小，$\delta^{34}S_{Kero}$ 值介于 5.46~11.11‰，总体大于同期的黄铁矿 $\delta^{34}S_{pyrite}$ 值且小于同期海水 $\delta^{34}S_{sulfate}$ 值。因为有机硫的硫主要源于 BSR 产生的硫化物，且形成时间晚于黄铁矿的形成，利用了后期含相对重硫同位素的硫化物。$\delta^{34}S_{Kero}$ 值的分布趋势近乎平行于同期的黄铁矿 $\delta^{34}S_{pyrite}$ 值，有机硫的低值与黄铁矿 $\delta^{34}S_{pyrite}$ 低值和 Mo、U、V 的富集同步，显示氧化还原环境对有机硫同位素值的控制。$\Delta^{34}S_{Kero\text{-}Py}$ 值介于-0.47~9.57‰，向上呈现逐渐增大趋势，伴随着水体环境由完全缺氧逐渐变为氧化和缺氧环境的交替。

S41-P-07

火山地质事件对鄂尔多斯盆地长 7 页岩层系成源—成储影响探讨

李鹏[1,2]*，刘全有[1,2]，梁新平[3]，张瑞[3]

1 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室，北京 100083

2 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院，北京 100083

3 北京大学，北京 100871

* 342416730@qq.com

中国陆相页岩层系垂向非均质性特征明显，且在富有机质泥页岩层段中普遍发育多套凝灰岩夹层，作为临近泥页岩沉积的一种岩石类型，凝灰岩作为烃源岩及储层的适用性均不明确。

以鄂尔多斯盆地长7段富有机质页岩层系为主要研究对象，针对火山活动作用下富有机质页岩层系成源—成储机制这一关键科学问题，首先通过野外踏勘、岩心观察测试，明确凝灰岩与富有机质页岩的发育及分布特征；其次选取典型凝灰岩和富有机质页岩发育层段从古生产力、古沉积环境等角度分析火山活动作用下富有机质页岩的形成机制；同时开展页岩层系储集空间微观分析，分析凝灰岩储层孔隙大小、形态、连通性等微观孔隙结构特征，明确火山活动作用页岩层系成储机制。

具体认识如下：（1）研究区凝灰岩呈层状交互在泥页岩中，平面分布与研究区烃源岩发育具有一致性。凝灰岩地化参数整体较低，TOC 含量为 0.07%到 1.31%，平均为 0.49%，生烃潜力（S1+S2）为 0.06 到 6.68 mg/g，平均为 1.14 mg/g，部分样品有机碳含量及热解参数受含油性影响显示高值，与砂岩变化特征一致，因此不是有效烃源岩。（2）多尺度元素地球化学分析显示，凝灰岩段 Fe、S、Mn、Mo 等多种元素异常，说明火山活动时期大量的深部营养物质随火山灰进入湖盆，导致水体的沉积环境发生突变。藻类模拟实验结果指示火山活动带来的营养物质会促进生物勃发，有利于原始有机质的富集。古生产力元素指标及恢复计算结果均显示凝灰岩发育层段古生产力突然变低，凝灰岩之上页岩层段为高生产力特征。（3）草莓状黄铁矿粒径统计显示凝灰岩上下页岩中黄铁矿粒径明显要比远离凝灰岩区带小且分布更均匀，指示更加还原的水体环境。火山喷发出的大量的 S 元素，为硫酸盐还原菌 BSR 作用提供了充足的 S 源，生成大量 H_2S，加快了水体中氧的消耗，增强水体的还原性，促进陆相湖盆水体形成还原环境，有利于沉积有机质的保存。（4）页岩层段多种岩性均有含油显示，其储集空间类型不同，页岩发育有机孔和无机孔，砂岩和凝灰岩只发育无机孔。受成岩作用影响，凝灰岩孔隙呈条带状分布，单个孔隙体积很小，但数量巨大，孔隙大小主要是微米-纳米级，连通性差。粘土矿物的演化对可动流体影响较大，矿物的润湿性影响可动油的渗流。凝灰岩粘土矿物特别是伊蒙混层含量高，整体也表现为亲油

特征，有利于页岩油的富集，但对后期开采是不利的。

S41-P-08

锂同位素示踪作用研究进展及其在凝灰岩鉴别中的应用

刘佳宜[1,2]，刘全有[1,2]*，朱东亚[1,2]，孟庆强[1,2]，李鹏[1,2]

1 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室，100083 北京

2 中国石化石油勘探开发研究院，100083 北京

* liuqy@syky.com

锂是自然界最轻的金属元素，主要以Li^+离子形式存在于矿物、熔体或流体中。锂同位素（^7Li 和 ^6Li）之间较大的质量差异使其成为研究大陆风化、洋壳蚀变、壳慢物质循环等诸地质过程良好的示踪元素。锂同位素的研究成为了近年来地学界研究的热点问题之一。本文对已报道的自然界各地质储库中的锂含量及同位素数据进行整理，分析了地球表层和地下深部地质过程中热力学平衡分馏和动力学分馏两种分馏机制对锂同位素的分馏过程控制和各地质储库中锂同位素地球化学组成的影响。总结了锂同位素在大陆化学风化和板片俯冲各个阶段中锂同位素地球化学演化特征及其对全球锂循环的示踪意义，讨论了在地表和地下物质循环过程中锂在各储库间的分配。最后结合近年来凝灰岩与油气藏伴生的勘探发现，提出锂同位素在鉴别“水携型”和“空降型”凝灰岩和火山活动对沉积盆地有机质的影响等相关问题的研究中的应用前景。

S41-P-09S

塔里木盆地下古生界烃源岩地球化学指标对古环境意义的指示

魏天媛*，蔡春芳

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

* wtywzwlh@163.com

下寒武统和中奥陶统烃源岩为塔里木盆地两套重要的海相烃源岩。本文通过对比塔里木盆地西北缘柯坪地区、中东部库鲁克塔格地区下寒武统玉尔吐斯组和中奥陶统萨尔干组典型剖面，展开了地球化学研究，探讨了玉尔吐斯组和萨尔干组沉积时期水体的氧化还原条件和初级生产力，以及有机质富集机制。氧化还原敏感元素（U、V、Mo）富集系数和比值表明玉尔吐斯组整体为还原环境，而萨尔干组主要为次氧化环境。玉尔吐斯组剖面无机碳同位素偏移较大，反映塔里木盆地玉尔吐斯组全球海洋碳循环大幅度波动，和与之相关的生物灭绝和之后生物大辐射。玉尔吐斯组底部无机碳同位素展示出最低值（低至-13‰），良好地记录了全球 E-C 界限处无机碳同位素负漂结果，随后碳同位素正偏回原来位置，直到玉尔吐斯组中段，对应第一次大规模海侵海退旋回。随后发生了第二期海侵海退旋回，再次造成小规模的无机碳同位素负偏和之后的正漂移。漂移可与在塔里木和不同大陆的其他剖面对比，证实了全球性下寒武统大规模海侵海退事件存在。氧化还原敏感元素（U、V、Mo）富集系数和比值同样展示出无机碳同位素相反的韵律性变化，共同指示了柯坪地区玉尔吐斯组底部刚沉积时期发生一次大规模海侵导致厌氧环境，随后海平面下降，导致逐渐演化为次氧化-氧化环境，之后又一次海侵，则又变为厌氧环境，这与后生动物的演化一致。微量稀土元素指示玉尔吐斯组底部发生海侵的同时还受到强烈的热液活动影响，与下段高含量 TOC 和相对高的 P_2O_5 偶合，结合整体的 Ce 负异常 av. 0.78 ±0.12，底部有机碳同位素负偏至-37‰，碳同位素分馏值 28-32‰，且 Sr/Ba=av. 0.2 ±0.16，综合认为海侵期间，热液和上升流导致盆地富含 ^{12}C 和 P、Fe、Ba、Cu 等营养元素的厌氧底水上涌至陆架，造成球疑源浮游藻类和带刺疑源底栖藻类共同繁盛，增强了初级生产

力，热液释放的硫化氢等还原性气体有利于有机碳保存，导致广泛沉积底部黑色页岩，使得其具有上升流或热液富集微量元素的特征，同时也会继承上覆氧化水柱 Ce 亏损的特点。而随着之后热液活动减弱，且海侵会造成透光带下段水体富含硫化氢，造成部分埃迪卡拉纪生物灭绝，进一步导致古生产力降低，碳酸盐沉积增多，且沉积环境逐渐演化为次氧化条件，持续到玉尔吐斯组中段，不利于有机质保存。且中段碳同位素分馏值大于 32‰，可能与海退导致不稳定的甲烷水合物释放和化能自氧细菌输入有关。库鲁克塔格地区有机碳同位素均小于-32‰，可能是由于深水盆地中化能自养和厌氧环境下甲烷营养导致。和玉尔吐斯组不同，萨尔干组 TOC 与 U、Mo、V 则无相关性，反映萨尔干组可能为次氧化环境，与 V、U、Cu、Ni 富集系数大部分均亏损一致。而 Mo_{EF}、V/V+Ni、V/Cr 变化剧烈，反映动荡水环境，氧化还原界面变化频繁。从底到顶，Cu_{EF} 显示由高变低再变高的一个过程，反映下段出现发生间断性的增氧事件，导致间断性的氧化环境。同时，无机碳同位素较负，同样反映间断性地氧气加入导致有机质降解，^{12}C 被释放到海水里，而有机碳同位素则呈现正偏趋势。上段 TOC 含量高的位置对应的无机碳同位素和 Ce 正异常均呈脉冲式正偏，反映海水循环逐渐减弱导致了还原条件，生产力逐渐变高，将导致大量轻 ^{12}C 从海水移到有机质，埋藏，有机碳同位素较下段偏轻（av. -35.25 ±2.09)，海水无机碳同位素偏重。

S41-P-10

自生矿物原位元素及氧同位素对油气运移路径的指示

黄林军[1,2]*，潘树新[1]，刘寅[3]

1 中国石油勘探开发研究院西北分院，兰州 730020

2 南京大学地球与工程科学学院，南京 210093

3 中国石油大学（华东），青岛 266580

* 445680532@qq.com

油气优势运移路径的刻画是油气勘探最重要的要素之一，目前以温度场、压力场、应力场及流体势、原油密度、地层水矿化度等参数耦合来判断油气运移的大致方向，但未达到精细刻画的要求，同时缺少一些新指标来示踪油气运移。

研究选取准噶尔盆地西部凹陷三叠系百口泉组砾岩、砂岩中石英颗粒为研究对象，针对石英颗粒加大边开展自生矿物岩石学、地球化学研究，利用偏光显微镜、扫描电镜、电子探针、XRF、CL、SHRIMP 等设备开展详细的自生矿物岩石学及同位素地球化学研究。

分析结果表明在运移路径上明显具有强烈的“流体—岩石”相互作用，蚀变作用更强，出现典型的粘土化、绿泥石化、石英次生加大，流体演化特征强。化学活动性强的主量元素如 Mn、Fe、Sr 等及微量元素如 Co、Ni、Sr 等与流体迁移关系密切，在运移路径上石英颗粒次生加大边出现元素聚集异常且原位元素边缘大于内部的特征，此外研究表明次生加大边氧同位素值降低方向可以指示流体运移方向。研究成果对于油气差异性富集规律的认识及目标部署具有重要的指导意义。

S41-P-11S

钱家店及外围地区红杂色含铀有利层位重新划分及铀矿勘探意义

肖菁[1,2]*，秦明宽[1,2]，郭强[1,2]，严张磊[1,2]

1 核工业北京地质研究院，北京 100029

2 中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室，北京 100029

* shawjingbao@sina.com

砂岩型铀矿具有开采成本低、环保等优势，是我国主要的铀矿勘查种类，大多分布于我国北方各大中—新生代盆地内，受层位控制较明显。松辽盆地南部钱家店砂岩型铀

矿床已实现规模化工业开采，勘探程度较高，找矿成果突出。近年来随着铀矿勘查工作量的不断投入，在钱家店铀矿床外围的海力锦、宝龙山、大林、双宝等地区又相继取得重大找矿突破，初步控制了一条呈 NNE 向延伸数十公里的“海力锦—钱家店—宝龙山—大林—双宝”特大型铀矿带，目前已成为我国砂岩型铀矿勘查的主要战场之一。

最早钱家店铀矿床取得突破时，主要赋矿层位为上白垩统姚家组下段，为一套灰色含矿砂岩层，其顶底界面在钱家店矿区小范围内较好对比，下伏为上白垩统青山口组（含矿灰色砂岩层底与下伏大套红色洪泛泥为界限），上覆为灰砂红泥互层的姚家组上段。随着外围地区找矿的相继突破，发现含矿灰色砂岩层在整个矿带范围内存在多套，但目前其含矿段层位归属问题仍认识不清（姚家组下段？青山口组？泉头组？），其主要原因是含矿目标层整体均表现为红杂色的河流相碎屑沉积，岩性及测井上均缺乏明显的标志层，导致区域内的层位划分与对比困难。目前铀矿勘查单位在生产过程中为了生产方便将多套灰色含矿层均归为姚家组下段，但是此种划分不仅存在着较大的地质矛盾，也越来越难以满足勘查生产单位进一步钻探工作部署的紧迫需求，现已成为生产单位实际勘探工作中困惑的难点与亟待解决的重点问题。

在此背景下，本文以松辽盆地南部钱家店及其外围铀矿带为研究对象，以含矿目标层厘定为直接问题，综合运用岩性、古生物、测井等多手段相结合的多重地层对比方法，总结了松辽盆地南部钱家店及外围铀矿带各组段特征，初步确立了地层划分识别方案，重新厘定了铀矿带内各矿区含矿段的层位归属及矿化特征。

该研究认识较合理地解释了灰色含矿层在区域上的复杂变化，证明了该套地层可以识别并划分出泉头组、青山口组和姚家组，以此重新开展研究区地层对比、基础图件编制和研究，这将对松辽盆地南部找矿认识具有重要理论和实际意义：（1）从层位上扩大找矿空间；（2）研究区找矿的主要识别标志是以寻找杂色层中具一定规模的灰色砂体为主，但目前灰色砂体成因与分布不清楚难以预测，层位上的重新划分，将更可能的揭示其分布规律，对找矿预测十分重要；（3）研究区具有“典型板状矿体”成因特征，前人就此做了大量研究，到目前为止还没有统一的结论，仍存在较多争议，这些研究均是基于含矿层归属于姚家组这一认识来开展的，如果含矿层是跨层位的，那么以上的认识就可能存在偏差，因此，在新层位体系下开展矿体形态和成矿规律的研究，将有助于真正揭示板状铀矿体的成因，具有重要的理论意义。

S42-O-01

东海秋月构造 OBN 数据多参数反演与成像

刘玉柱*，黄鑫泉，刘学义，杨积忠，董良国，程玖兵，耿建华

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* liuyuzhu@tongji.edu.cn

1 引言

东海为我国三大边缘海之一，作为中国最大的近海盆地，东海陆架蕴藏的油气资源有巨大的潜力。为了更好地完成对该区块的勘探和开发，提高探明油气储量，我们迫切地需要对地下参数分布和构造情况有更好的认识和了解。东海海域的秋月构造区，位于上海东南方向，距离大约为 425 km。该区域的海水深度在 80-90 m 之间，处在较为宽缓的大陆架缓坡地带。该工区构造总体向东南倾斜，位于西湖凹陷三潭深凹中部，是一个典型的凹中隆构造。受限于该地区的目的层埋深较大，砂泥煤薄互层以及多次波发育问题(高心怀等，2019)，目标层位的成像分辨率和信噪比较低，对储层及油气预测带来了困难。2017 年，采用中科院地质与地球物理研究所研发的 100 台节点式海底地震仪

（OBN），于该工区实施了一次主动源四分量窄方位采集实验。

从地震数据中构建地下速度模型，对地下构造的刻画以及储层参数的估计起着重要的作用。相较于传统的速度建模方法，如层析成像、叠加速度分析和偏移速度分析，全波形反演是一种具有高精度和高分辨率的地下介质参数估计方法。随着近年来海上油气勘探需求的增加，针对海上地震数据的全波形反演方法得到了快速发展。由于横波数据高昂的计算成本与波模式分离的挑战，海洋数据的全波形反演主要基于声波方程传播模型。但弹性波模拟能更真实地描述波在地下介质中的传播过程。为充分且合理地应用该四分量 OBN 数据，本文采用弹性波全波形反演估计地下速度分布，进而得到了纵、横波成像结果。

2 OBN 四分量数据处理流程

此次窄方位采集观测系统中心炮线长 30 km，共 1669 炮，炮间隔 18.75 米。100 台 OBN 均匀布放于 10 km 的长度范围内，即平均检波点间隔 100 米。最大偏移距 20 km，平均记录时间 19 s，1 ms 采样间隔。本文仅针对中心二维长测线开展研究。

2.1 重定位

受海浪、海底洋流等因素影响，OBN 实际着底位置相对于设计位置会发生偏移。因此，处理的第一步为重定位。本文在最小二乘反问题的框架下确定 OBN 的真实位置，然后对 OBN 坐标进行校正。通过匹配拾取的直达波走时和模拟的直达波走时建立目标函数，结合海底地形和海水声速，通过扫描法即可找到能够最佳匹配观测直达波走时的 OBN 位置。根据定位结果将炮点坐标和 OBN 坐标线性回归到一条直线上，并对数据做相应的时差校正。

2.2 三维观测系统到二维观测系统的数据转换

在实际数据处理中采用二维全波形反演方法，所使用的正演引擎为二维交错网格有限差分正演模拟。这种模拟方式严格意义上说属于线震源激发，呈柱面扩散，但是实际地震波的传播是点源激发，呈球面扩散，这就导致模拟数据和实际采集数据存在相位和振幅上的差异。因此，需要对实际数据进行校正，实现三维观测系统到二维观测系统的数据转换。首先将地震道记录乘以$\sqrt{t}$，将球面扩散校正为柱面扩散，然后将记录卷积$\frac{1}{\sqrt{t}}$，将点源激发校正为线源激发(Pica et al., 1990; Wang & Rao, 2009)。上述处理流程后，进一步对数据作带通滤波，保留 5 赫兹到 30 赫兹的数据。

2.3 分量旋转

在进行多分量 OBN 实际数据弹性波波形反演前，需要对数据进行旋转校正。第一步利用水平分量和垂直分量做倾斜校正，使得垂直分量中纵波信息成为优势波组，水平分量的横波得到增强。第二步做水平分量旋转，将观测到的 X、Y 分量数据旋转至炮检连线方向（R）和垂直炮检连线方向（T），使得 T 方向能量尽量小，R 方向能量尽量大。

2.4 OBN 四分量数据纵、横波速度反演

初至走时层析成像已经广泛应用于地下介质的速度建模，利用初至走时信息可以稳定快速地提供地下介质宏观速度模型。因此，本文首先利用散射积分法初至波走时层析(李勇德等，2016)建立初始纵波速度模型，然后利用与子波无关的声波初至波波形反演(Choi et al., 2011)对模型进行细化，再将声波波形反演结果作为弹性波反演的纵波速度初始模型，按照岩石物理关系(Castagna, 1985; Gardner et al., 1974)转换得到横波速度和密度初始模型。然后，利用旋转之后的三分量数据的初至波形信息进行与子波无关的弹性波波形反演。

2.5 OBN 四分量数据纵、横波偏移成像

在上述弹性波全波形反演提供的纵、横波速度模型的基础上继续进行反射波形反演细化深部模型。对观测数据进行波场分离，利用模式解耦标量波成像技术获得纵横波叠前成像偏移剖面。

3 结论

随着油气勘探逐渐向海洋拓展，OBN 数据与日俱增。针对 OBN 多分量数据的处理技术亟需得到开发，而作为具有刻画地下精

细结构能力的技术—全波形反演与多参数成像在 OBN 数据中的应用更值得注意。本文以东海 OBN 数据作为研究问题，实现了一套从预处理到初至走时层析、声波波形反演、弹性波波形反演、行波分离模式解耦叠前深度偏移的多参数建模与成像流程，为后续应用提供了参考。

S42-O-02

珠江口盆地古潜山形成的区域地质背景及惠州 26-6 构造演化

吴哲 [1,2]*，张丽丽 [1,2]，张向涛 [1,2]，李洪博 [1,2]，劳妙姬 [1,2]，吴婷婷 [1,2]，许长海 [2]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，深圳 518000

2 中海石油深海开发有限公司，深圳 518000

3 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* wuzhemelody@126.com

随着珠江口盆地古潜山油气勘探（惠州 26-6）取得历史性突破，明确其成山过程和构造演化特征具有重要意义。基于最新基底数据（岩石学、年代学、地球化学、薄片、成像测井等），结合海上、陆上基底资料，从区域构造背景、岩浆活动、先存构造三个方面开展综合研究。首先，明确珠江口盆地主体中生代处于古太平洋板片俯冲作用控制的陆缘岩浆弧构造背景，具有多期岩浆活动（晚侏罗世—早白垩世）、两组先存断裂（NW-NWW 走向和 NE-NEE 走向）发育特征，形成了复合火山岩—深成侵入岩“双层”岩性组合。其次，重建珠江口盆地陆缘岩浆弧的形成、演化过程，揭示经历了印支期残留洋盆、燕山初期初始有限岩浆弧、燕山主期大规模陆缘岩浆弧、燕山晚期区域隆升—挤压剥蚀、喜山期古南海—新南海旋回五个构造演化阶段，奠定了成山背景，并详细划分了珠江口盆地潜山成因类型及主要潜山构造区带。最后，在陆缘岩浆弧模式指导下，以惠州 26-6 具体构造为例，明确了该潜山形成的构造演化过程，解决了岩浆多期、岩性复杂的难题，并进一步揭示了惠州 26-6 的构造裂缝发育特征及开启性能，与已钻井有很好的对应关系。通过本次研究成果，明确了珠江口盆地中生代古潜山构造背景的独特性，明显区别于渤海湾盆地、东海陆架盆地、琼东南盆地古潜山的区域地质背景。同时还形成了一套古潜山成山全过程研究技术（区域—构造—裂缝），贯穿惠州 26-6 构造的勘探、开发过程，具有较好应用成效和推广价值。总的来说，陆缘岩浆弧是珠江口盆地的“前世”，对于理解珠江口盆地成盆机制至关重要，并且陆缘岩浆弧还构成珠江口盆地古潜山的物质基础，对其开展深入研究具有重要的科学价值和勘探价值。

S42-O-03

基于拟柱体孔隙的港湾—潟湖效应通用饱和度模型

朱林奇 [1]*，张超谟 [2]，吴时国 [1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

2 长江大学，武汉 430100

* zhulq@idsse.ac.cn

非常规油气与水合物储层的导电机理与饱和度评价是一项非常关键的岩石物理研究，研究难度较大。考虑到具有复杂孔隙空间特征的非常规储层广泛发育有不同导电能力的孔隙，提出了基于拟柱体孔隙的港湾—潟湖效应通用饱和度模型。模型认为直接将孔隙抽象为对称型是不合适的，并提出了拟柱体孔隙的理论；此外，研究认为孔隙结构的复杂化会导致处于不同位置的孔隙导电能力发生变化，处于主流导电路径上的孔隙的导电能力最强，导电能力与地层水矿化度直接相关；与主流导电路径上的孔隙相连通，但不位于主流导电路径上的孔隙的导电特征与港湾效应类似，孔隙导电能力受到孔隙结构影响；与主流导电路径上的孔隙不

互相连通，或者虽连通但距离较远的孔隙会产生潟湖效应，孔隙对导电贡献近乎为 0。在该假设下推导出了地层因素 F 表达式，发现其在致密砂岩、页岩气、火成岩、冻土天然气水合物、海洋天然气水合物、孔隙型碳酸盐岩储层 6 大类共 29 个数据集中的 24 个数据集获得了较其他模型更佳的效果。该饱和度模型可助力陆上与海洋非常规储层饱和度评价。

S42-O-04

面向断溶体储层的波形反演速度建模方法研究

王自颖，黄建平*，李振春，符力耘，慕鑫茹

1 中国石油大学（华东），青岛 266580

* jphuang@upc.edu.cn

断溶体储层是一种重要的碳酸盐岩储层类型，具有储集空间大小不一，分布不连续的特点，其内部缝洞组合结构复杂，各型洞穴、溶孔、裂缝并存，地震成像难度大，勘探复杂性高（鲁新便，2015）。近年来该类油藏的提出和研究对我国西部碳酸盐岩储层勘探开发具有重要意义，随着断溶体勘探的深入，对断裂、缝洞的成像精度要求越来越高。面对复杂的地质背景和中深部目标储层，全波形反演（FWI）方法利用叠前波场的运动学和动力学信息，具有揭示地下构造与速度分布，重建高精度速度模型的潜力（张宇，2018）。

为了实现断溶体储层的准确成像，本文以碳酸盐岩断溶体储层为目标，开展了利用波形反演进行精细速度场建模的研究。根据该类储层的典型特征，建立了两组不同形态、不同特征的断溶体等效地震地质模型。一是不同横向尺度的板状断溶体，其横向宽度由数十米到数百米不等；二是不同内幕填充的“V”型断溶体，从核部到翼部充填尺度由大变小，发育有大小不一的孔洞和裂缝。

本文利用多尺度波形反演方法对深部断溶体储层进行速度建模，基于最小二乘反演理论，通过局部寻优的策略减小模拟数据与观测数据的偏差，迭代更新速度模型，以逐步逼近真实模型（Tarantola, 1984）。为了缓解深大模型带来的计算量庞大的问题，我们采用 GPU 并行计算，以提高计算效率，降低计算成本（Wang 等，2020）。

根据反演结果，讨论波形反演对断溶体进行识别刻画的能力。在横向分辨率方面，波形反演方法可以刻画深大断裂附近 20 m 到 800 m 横向尺度的板状断溶体边界，并识别断裂带内部较大的洞穴。在断溶体内幕分辨率方面，全波形反演可描述核部充填伴生的 15 m 以上大小的溶洞特征，并可识别翼部直径 2 m~15 m 溶洞，对于翼部微小的裂缝（1-2 m），波形反演不能识别，但是可以分辨微裂缝带的边界，同时也是断溶体最外部的边界。

由波形反演建立的速度模型，较传统速度建模方法具有更高的精度，我们以此作为偏移速度模型进行逆时偏移（RTM）。所得的成像结果中，断裂破碎带的地震反射更加清晰，与真实的断溶体储层边界更接近，表征孔洞位置的地震反射“亮点”具有更强的振幅和更高的分辨率。

两组测试的结果表明，波形反演具有识别和刻画断溶体储层的能力，并可以为偏移成像提供高精度速度模型，从而提高成像分辨率及精度。

S42-O-05

六分量背景噪声横向高分辨率成像的数值研究

汤乐 [1]*，方鑫定 [1,2,3]

1 南方科技大学地球与空间科学系，深圳 518055

2 南方科技大学深圳市深远海油气勘探技术重点实验室，深圳 518055

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

* 11930671@mail.sustech.edu.cn

本研究利用六分量（6C）背景噪声数据，提出了一种地下介质横向非均匀性高分辨率成像的方法，其中 6C 由三个平移分量和三个旋转分量组成。首先从理论上推导了背景噪声数据的 6C 面波的互相关函数。然后采用改进的频率贝塞尔（MF-J）变换，有效地消除了 6C 互相关函数的空间假频，提取了准确的基阶频散曲线，由于高阶模容易受到近地表非均质散射的影响，因此本研究只考虑基阶模。传统基于阵列的面波分析方法求取的是台站间的地下平均速度，我们的研究表明，Rayleigh 波和 Love 波的基阶相速度完全可以从单个 6C 互相关函数中提取且相速度反映的是单个台站下的局部介质属性，这将极大提高地下介质横向成像的空间分辨率。通过对背景噪声数据的数值模拟，验证了成像方法的有效性。

S42-O-06

成熟度定量约束的有机质页岩油气储层地震岩石物理模型

朱津琬 [1,2]*，赵峦啸 [1,2]

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092
2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海，200092
* 1275200162@qq.com

表征有机质的泥页岩的地震弹性和各向异性性质对于非常规页岩油气储层的高效、经济开采至关重要。有机质页岩会在热成熟度演化过程中，其有机质的物理属性、孔隙结构、流体属性、力学结构等都会发生系统变化，从而影响其弹性响应。但目前对于此的研究主要局限在定性阶段，因此系统、定量的刻画成熟度对有机质页岩地震岩石物理响应特征的影响，建立一个在成熟度约束的框架下有明确地质意义和物理基础的页岩油气储层岩石物理模型，对基于测井和地震数据的页岩油气储层“甜点”预测具有重要意义。

本研究将探索岩石物理和有机地球化学的交叉，利用干酪根热演化形成沥青和烃类的物理化学过程约束地震岩石物理模型的构建。该模型定量刻画了干酪根和沥青的弹性特征，两者所占比例，有机孔构成，流体物理属性随成熟度的演化关系。根据干酪根和沥青在页岩油气储层不同成熟度阶段的分布特征，选用合适的等效介质理论来构建相应的地震岩石物理模型。

定量表征了非常规储层关键地质和储层参数（如孔隙度、有机质含量、粘土含量）在不同成熟度条件下对地震弹性特征（纵波阻抗和纵横波速度比）和各向异性的影响。建立了地震各向异性参数—弹性波速度的地震岩石物理模板，建模结果显示有机质含量、粘土含量和微裂隙的发育是地震各向异性的主控因素。将地震岩石物理模板用于实际岩芯测量超声波测量速度和各向异性数据，模板与实测数据有较好的吻合。构建的地震岩石物理模板较好地刻画了实际陆相页岩油储层弹性特征的变化趋势及其 AVO 响应特征。

S42-O-07

深层与非常规油气测井智能解释方法

谭茂金 [1]*，白洋 [1]，张海涛 [2]，李高仁 [2]，武宏亮 [3]，肖承文 [4]，韩闯 [4]，魏修平 [5]

1 中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院，北京 100083
2 中国石油长庆油田勘探开发研究院，西安 710021
3 中国石油勘探开发研究院，北京 100083
4 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院，库尔勒 841000
5 中国石化石油勘探开发研究院，北京 100083
* tanmj@cugb.edu.cn

地球物理测井作为深入地层的“眼睛”和“耳朵”，具有测量物理参数多、分辨率高、信息量大等优点，能够为油气藏评价提供连续、准确的电、声、核/核磁等原位物理参数。如何从这些参数中提取出有效的油气藏信息是测井解释和评价的主要任务。在页岩油气与深层致密砂岩储层中，流体赋存形式和矿物成分复杂，孔隙度、渗透率和饱和度等储层参数与测井响应之间的关系是非线性的，理论模型或者经验公式难以构建，计算精度也不高，必须探索新的测井解释方法。

在有机页岩测井评价中，有机碳含量预测是储层生烃能力评价的重要内容，提出了基于 RBF 神经网络有机碳(TOC)含量计算方法，考察了测井数据对 TOC 的敏感性，并对比了不同敏感输入的预测结果。研究表明，RBF 法计算结果与岩心实验的相关系数比 ΔlogR 法明显提高。针对有机页岩矿物含量预测的难题，开展了页岩测井最优化解释方法研究，分别实现了基于模式搜索法、遗传算法、模拟退火法的测井解释方法。研究了基于径向插值基函数的测井解释方法，即二维 RBF 方法，实现了利用多种测井数据预测黏土、石英、方解石、黄铁矿等多种矿物含量的方法，计算结果比上述任何一个最优化算法的预测精度明显提高。

在深层致密砂岩储层中，孔隙度小，渗透率低，流体对测井响应的贡献小，利用测井响应与原有模型进行流体识别与参数预测的难度较大。委员会机器是近年来发展起来的一项复合智能算法。针对致密砂岩流体识别与储层参数预测的需要，通过研究不同专家算法的功能和特点，选择 BP 神经网络、概率神经网络、决策树分类器组成分类委员会机器，采用投票法进行决策，实现了储层流体识别；选择 BP 神经网络、极限学习机、小波神经网络组成分类委员会机器，采用加权平均法进行决策，实现了测井储层参数预测。研究表明，委员会机器能够通过优良的决策机制把这些单一智能算法联合起来，比单个智能算法更优越，预测结果更好，而且，委员会机器能够有效避免陷入局部极小，使委员会的决策更科学，更准确。

可以看出，在有机页岩、深层致密砂岩等非常规油气中，基于模型驱动的测井解释方法难以实现。通过对多元测井数据以及其他多源的录井、测试、岩石物理实验数据，利用机器学习算法可以有效地实现储层特征提取和定量评价，这是测井解释发展的必然趋势。

S42-O-08

温度对页岩渗透率的影响研究

张谦 [1,2,3]*

1 北京大学能源研究院，北京 100871

2 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

3 亚琛工业大学石油与煤地质和地球化学研究所，亚琛 52056

* amadozhang@163.com

页岩油气作为常规油气资源的替代能源近年受到了广泛的关注。页岩渗透性的评价不仅关系到非常规油气资源的勘探开发，还是地下储气库（甲烷、二氧化碳和氢气）围岩的封闭性、常规油气藏盖层的有效性以及核废料地质埋藏风险评估的关键因素。因此，实际地层条件下渗透率的准确测定对于能源安全和资源环境效应意义重大。尽管前人对页岩的渗透性已经做了大量的研究，例如，渗透率的应力敏感性和水的毛细现象对渗透率的影响等。但是页岩渗透率的实验测试几乎均在室温和接近室温条件下进行，储层温度对页岩渗透性的影响未知。本研究以德国西北部下萨克森盆地下侏罗统 Toarcian 页岩为研究对象，挑选出了 7 个包含不同有机质含量（TOC：0.8~11.7%）和一系列成熟度（VRr：0.53~1.45%）的页岩样品在恒定围压和不同温度（30~120℃）条件下测定页岩的渗透率。此外，单轴压缩实验也在不同温度调节下进行，测得了岩石的形变和杨氏模量。随着温度的升高，不同样品表现出不同

程度的渗透率降幅，最大可达初始渗透率的71%，这种温度升高引起的页岩渗透性的改变是不可逆的，即随着温度的降低，渗透率不会增加。研究结果表明，温度升高加速岩石蠕变是导致渗透率降低的根本原因和直接原因。有机质含量是温度引起渗透率下降和岩石蠕变的主控因素，尽管黏土在这个过程中也起到了非常重要的作用。另外，温度对过成熟的样品（1.45% VRr）影响较小。考虑到有机质和黏土矿物的刚度对温度有较强的依赖性，页岩渗透率的评价应考虑温度的影响，常温条件下测得的渗透率值会过高的评价实际地层条件下的渗透性。此外，核废料具有产热的特性，随着时间的推移，废料处置库围岩的封闭性演化趋势可从该研究中获益。

S42-O-09

天然气水合物探测试采中的地震岩石物理技术

袁合民*，王赟，王祥春

1 中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院，北京 100083

* yhm3414@163.com

天然气水合物储量巨大、分布广泛，已成为油气资源研究领域的热点，越来越多的人正在研究天然气水合物的勘探和开发。纵波反射地震和岩石物理技术在水合物的勘探与试采试验中发挥了重要的作用。本文对天然气水合物的勘探和试采过程地震探测技术、岩石物理模型、以及试采方法进行了简要的综述。首先总结了用于水合物储层识别的常用的地震技术，分析了这些技术面临的挑战。然后总结了连接微观物性性质和宏观地震性质的几种常用的岩石物理模型，阐述了一般的建模流程。其次，针对水合物试采常用的三种技术，指出其中存在的潜在岩石物理基础问题和地球物理异常响应。最后针对水合物勘探试采的地质与工程问题，提出了几个可能的用地球物理方法来为水合物勘探和开发服务的研究方向。该研究可以使得我们对于水合物研究中涉及到的地球物理技术、对应的缺点和挑战、以及潜在的研究方向有一个清晰的认识，期望为未来的水合物研究提供重要的思路。

S42-O-10

井孔应力集中现象对页岩弹性的影响

胡洋铭[1,2]*，方鑫定[1,2,3]

1 南方科技大学地球与空间科学学院，深圳 518055

2 南方科技大学深圳市深远海油气勘探技术重点实验室，深圳 518055

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458

* 11930738@mail.sustech.edu.cn

在地层中钻孔会明显地改变井周局部应力场分布，即产生井孔应力集中现象。这会显著改变井周地层的弹性性质，并进一步改变井孔内声波响应特征。若无法正确评估应力集中现象的影响，这将会给观测到的声波测井数据解释带来误差。而研究应力集中现象与速度各向异性的关系则能反过来提供一种估测原位地层应力的手段。为了研究应力集中的影响，本文发展了一套能模拟页岩中弹性随应力变化的岩石物理模型，该模型适用于任意应力张量下而不局限于静水压力下的弹性变化计算。只需静水压力下页岩超声实验数据作为模型输入进行参数反演就能建立我们的页岩模型。结合Amadei(1983)井周应力解析解与该页岩模型便可将其应用到井孔环境中，计算出井周地层对集中型应力场的弹性与速度变化。通过考虑井倾角、方位角、原位地层应力和页岩本征物理性质对井周速度各向异性的影响，本研究可对复杂钻孔环境的声波测井数据校正、地应力评估与井壁稳定性分析给出一定的指导作用。

S42-O-11

基于数据驱动的非常规页岩储层弹性性质预测模型

蔡振家[1]*，赵峦啸[1]，秦玄[2]，王洋[2]，许明辉[1]，韩德华[2]，张丰收[3]，耿建华[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 休斯敦大学地球与大气科学系，休斯敦 77004

3 同济大学地下建筑与工程系，上海 200092

* caizj0223@163.com

加快非常规能源利用是国家“十四五”战略的重要规划，深入了解页岩储层的弹性性质对于表征非常规储层岩石物理特征和提升国内油气的勘探开发力度以及实现页岩油气开发过程中的碳中和的可能性具有重要作用。目前，大部分的研究是基于模型驱动的角度构建非常规页岩储层的弹性性质模型，对于表征自然界复杂的页岩储层的岩石物理性质具有明显的局限性。本文通过收集世界各地典型页岩储层的实验室超声速度数据，基于实际数据驱动，研究了页岩储层的弹性响应特征。研究表明：在垂直和水平方向上富有机质页岩的纵横波速度具有明显的线性关系，二者成正相关关系，相关系数（R2）接近 0.9。通过流体替代理论，我们发现该模型适用于含气或挥发油的页岩储层。TOC 含量与含油气孔隙度对纵波速度和 V_p/V_s 比值具有重要影响，他们呈负相关关系。页岩储层的矿物学特征也会影响非常规页岩储层的 V_p-V_s 关系，但二者无明显的定量关系。单因素线性回归与多因素线性回归方法预测的 V_s 结果相似。页岩储层的各向异性影响线性关系，特别是当纵波速度小于 4 km/s 时。同时，垂直地震速度 V_p0 和 V_s0 分别与 ε 和 γ 呈指数关系。根据海相和非海相储层页岩的指数预测模型，海相页岩一般比非海相页岩具有更大的各向异性。孔隙度，粘土，TOC，成熟度效应等因素均对页岩储层各向异性有重要影响。尤其粘土含量与各向异性呈正相关关系，相关性较强。成熟度效应对各向异性具有复杂的影响作用。我们将速度线性模型中国和美国两口页岩储层，对横波速度进行了预测。目标储层的横波速度小于 3%，这证明了所提出的横波速度预测模型在非常规页岩储层横波速度预测中的适用性。而各向异性指数模型适用于实验室岩心尺度的各向异性预测，该模型也可放大到更大的尺度上。

S42-O-12

长庆油田页岩油储层极限射孔完井效率优化

王小华[1,2]，张丰收[1,2]*，汤继周[3,4]

1 同济大学岩土及地下工程教育部重点实验室，上海 200092

2 同济大学土木工程学院，上海 200092

3 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

4 同济大学同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

* fengshou.zhang@tongji.edu.cn

最近几年水平井分段压裂的趋势是减少簇间距，增加单段簇数，一方面能够实现单井总压裂段数的减小以降低成本，另一方面也能够在单段尽可能多的创造裂缝以最大限度的提高储层改造体积。然而，现场监测发现单段的多个射孔簇并没有均匀的吸收液体，压裂后只有部分射孔簇对产能有贡献。所以，极限射孔完井作为一种能够有效提高射孔簇有效率的方法被提出。极限分簇射孔是通过大幅度减少每个射孔簇的射孔数量和孔眼尺寸以最大限度增加射孔摩阻，使每簇裂缝都起裂延伸，能够增加有效簇数和更好实现压裂液均匀的流动到每簇中进行均衡改造。然而，目前不同关键施工参数影响下的极限射孔完井效果并不明确。

为此，基于三维离散格子方法建立了一个考虑射孔摩阻、簇间应力差和压裂液滤失的三维全耦合的现场尺度极限分簇射孔压裂模型，数值模拟结果与现场压力曲线和阶

梯降排量测试结果基本吻合，证实建立数值模型的可靠性。分析了排量、簇间距、簇数和簇间应力差等不同因素影响下的多簇裂缝扩展形态、射孔簇效率和注入压力。

模拟结果表明，（1）极限射孔压裂过程中，注入压力始终维持在较高值，不同于传统限流射孔地层破裂之后压力曲线急剧下降的特点，这能够最大限度的促进各簇裂缝进液均匀，有利于均衡扩展。（2）随着排量增加，射孔簇效率近似呈线性增加，并且各簇裂缝扩展更加均衡。所以，在现场过程中应最大限度的提高压裂液注入排量。（3）存在一个较优的簇间距，当簇间距小于该值时，各簇裂缝扩展存在很强的非均质性；而当簇间距超过该值时，裂缝均匀扩展程度增加较小，但过大簇间距不利于对储层进行密切割改造。（4）随着单段簇数的增加，射孔簇效率显著快速降低，各簇裂缝扩展不均匀性显著增强，说明单段簇数过多不利于均衡扩展。但簇数过少不利于极限射孔完井对储层实现最大限度的密切割改造。（5）当目标储层中各簇射孔存在簇间应力差时，压裂过程中容易出现多条裂缝不均匀扩展的现象。在这种情况下，增加簇间距、适当增加排量和减少单段簇数有助于提高射孔簇效率，促进多裂缝的均衡扩展。此外，总结得到影响极限分簇射孔的射孔簇效率的最关键因素是射孔摩阻，并计算获得不同簇间应力差下的射孔簇效率指导图版。采用该图版，可以快速的得到不同簇间应力差情况下所需的极限分簇射孔的关键设计参数—射孔摩阻，然后可根据射孔摩阻确定射孔参数。研究成果可为页岩油储层极限射孔施工参数设计与优化提供理论指导。

S42-P-01

数字岩心应力松弛数值模拟

朱伟*

1 长江大学地球物理与石油资源学院，武汉 430100

* heathzhuwei@126.com

弹性波在岩石中传播时发生速度频散和能量衰减，一个重要原因是波致流体流动。波致流发生的空间尺度广，可分为颗粒尺度的喷射流，波长尺度的全局流，以及介于两者之间的中观流。在实验和野外数据的支持下，岩石物理学家建立理论模型来表征波致流的频散和衰减效应。数值模拟是研究弹性波在复杂孔隙介质中传播规律的另一种重要方法。基于孔隙弹性介质的波传播模拟在20世纪90年代兴起。21世纪初，基于孔隙弹性介质等效体元的应力应变模拟方法开始得到研究。近20年来，基于数字岩心的弹性模拟方法发展起来，包括有限元静力学模拟，透射波模拟，动态应力应变模拟，准静态应力应变模拟等。弹性波频散和衰减的另一个重要原因是散射，对弹性波测量结果可能具有重要影响。

这里介绍一种新的数字岩心动态应力应变数值模拟方法—应力松弛模拟。该方法使数字岩心在零时刻建立恒定应变，利用交错网格有限差分法数值模拟技术求解流固耦合的波动方程，实现数字岩心从等应变状态向等应力状态的变化过程（应力松弛过程），然后利用数字岩心的平均应力松弛曲线计算频散和衰减。以含裂隙孔隙数字岩心为例，分别在裂隙和孔隙中充填柔软或坚硬的弹性固体、气体（非黏性）和液体（黏性和非黏性），计算数字岩心的频散和衰减曲线。应力松弛曲线的不同时间阶段反映不同的频散和衰减机制。快速松弛的初始段是弹性散射效应的表现，缓慢松弛的中间段是喷射流效应的表现，基本稳定的末尾段反映了近似等应力状态。应力松弛曲线存在极高频噪音，裂隙孔隙中的液体具有黏性时，反映喷射流效应的频散和衰减曲线基本不受噪声影响，弹性散射效应被高频噪声掩盖。通过降噪方法压制了部分噪音，频散和衰减曲线中弹性散射效应也基本得到反映。

这种数字岩心应力松弛模拟方法对研究波致流效应和弹性散射效应的相互影响和综合作用具有潜力，值得进一步研究探索。

S42-P-02S

基于类别均衡的地震流体预测方法

许明辉[1]*，赵峦啸[1]，陈远远[1]，耿建华[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 1653328@tongji.edu.cn

在机器学习框架下开展流体的地震预测对于油气资源的勘探开发、地热能开发、以及 CO_2 存储等都具有重要意义。数据驱动的机器学习算法往往十分依赖于不同类别数据的标签数量和分布，所以在类别不均衡的数据集上，机器学习的分类结果会更倾向于多数类样本，导致少数类样本的分类准确率较低。而对于储层刻画中的流体预测任务来说，所构建的数据集往往存在类别不均衡问题，含气砂岩的样本数量相比含水砂岩和泥岩来说相对较少，基于类别不均衡的数据集训练得到的机器学习模型对气层的刻画能力不足。所以我们采用一种级联的降采样方法，得到多个类别均衡的子数据集来训练基学习器模型，最终实现集成预测，以期消除类别不均衡导致的模型偏置，提高机器学习对少数类样例——气层的刻画能力。

为获得类别均衡的数据集，我们通常可以采用上采样、下采样以及上、下采样结合的采样策略。上采样是将少数类样例采样至与多数类样例相同的数量，常见的算法包括随机过采样，合成少数类过采样及其改进算法，自适应合成采样算法等。下采样是将多数类样例采样至与少数类样例相同的数量，通常包括随机降采样、原型选择和数据清洗算法等。上采样策略合成样本容易受到噪音或者离群点的影响，简单的下采样又会丢失掉多数类样例的重要信息，而将上、下采样结合则可以一定程度克服单独利用两者时的缺点，但这种方法实际应用时效果有限。所以我们提出基于下采样和集成的方法，具体来说，首先定义基分类器的数量 N，然后对数据集中的多数类样例进行随机降采样，并与所有少数类样例合并，形成一个类别均衡的子数据集，再根据该数据集训练得到一个基分类器，该基分类器作为最终集成预测的一个基模型，同时我们需要利用当前基分类器对所有多数类样例进行预测，剔除预测正确的多数类样例，将剩余的多数类样例与所有少数类样例合并成为新的类别不均衡数据集，作为下一轮随机降采样的数据集。通过多轮迭代，最终可以得到 N 个训练好的基分类器，进而实现对待预测样本的集成预测，即将 N 个基分类器的预测概率取平均值作为最终预测概率。

所提出的级联降采样方法在本文所研究的一套碎屑岩流体预测中表现突出，相比利用原始类别不均衡数据集训练得到的模型，该方法在七口井的井间盲测中对含气砂岩 F1 值提高约 20%，七口井盲测的含气砂岩 F1 值为 37%；相比其他采样方法，该方法对含气砂岩 F1 值的提升幅度也更大，这不仅说明级联降采样方法能有效地提高模型对少数类样例的刻画能力，同时基于上述提到的多种采样方法的实验结果也表明数据分布对机器学习模型表现有很大的影响，类别均衡训练集有利于模型更好地预测少数类样例，但可能会一定程度降低对多数类样例的预测能力。

S42-P-03S

塔里木盆地库车凹陷盐体附近应力和孔隙流体压力的扰动及对钻井稳定性的影响

常成[1]，罗纲[2]*，王明文[1]，孙云强[1]

1 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049

2 武汉大学测绘学院，武汉 430079

* gangluo66@gmail.com, gluo@sgg.whu.edu.cn

盐构造与经济烃类储层密切相关。然而，盐体附近或者穿过盐体的钻井通常很困难，因为盐体的力学强度比围岩弱，导致盐体附近的应力和孔隙流体压力受到强烈地扰动。

我们开发了一个二维平面应变孔隙弹性有限元模型来模拟塔里木盆地库车凹陷的水平挤压盐构造系统中的应力和孔隙流体压力，并且利用模型结果中的应力和孔隙流体压力来计算盐盆地钻井的安全钻井泥浆重量。本研究发现在瞬态过程的早期阶段（接近不排水条件），盐体下方凸起处由于额外的挤压作用产生了孔隙流体超压，而在盐盆地的盐凹陷处由于额外的拉张作用产生了孔隙流体欠压。水平有效应力在盐凹陷处减小，但是在盐凸起处增加；垂直有效应力与水平有效应力的变化相反。在瞬态过程的最终阶段（排水条件），超压已经完全耗散，孔隙流体压力保持静水压力，并且应力的扰动和沉积物为弹性的稳态地质力学模型得到的结果相似：水平应力在盐体凸起处增加，在盐体凹陷处减小；垂直应力在岩体凸起和凹陷处都小幅增加。我们还计算了随时间变化的安全钻井泥浆重量和安全钻井泥浆重量窗口。特别地，在盐体凸起处，瞬态过程早期的安全窗口相对较窄，但是在晚期会因为孔隙流体超压随时间的耗散而变宽，并且这会使钻井更容易。我们的结果展示了水平挤压盐构造系统中应力和孔隙流体压力的不同扰动模式，并且为盐系统中的井孔钻井设计和安全泥浆重量提供启示。

S42-P-04

渤海湾盆地济阳坳陷中、古生界潜山成因类型

张勐*，吴智平

1 中国石油大学（华东）地球科学与技术学院，青岛 266580

* 774290423@qq.com

经历了 60 年的勘探开发，济阳坳陷新生界油气藏探明程度持续升高，已整体进入特殊及隐蔽油气藏勘探阶段（李丕龙等，2004）。埋深较大的中、古生界潜山是最具潜力的油气勘探接替领域之一。相较于同处于渤海湾盆地的黄骅坳陷与冀中坳陷（何登发等，2017），济阳坳陷潜山的研究程度较低，其构造特征与发育演化缺乏系统性研究，制约了潜山油气藏的勘探开发。

针对这一情况，本研究将覆盖全坳陷高精度的二维、三维地震资料以及两千余口钻至中、古生界的探井资料相结合，完成了济阳坳陷中、古生界地层划分以及断裂体系刻画，分析了典型潜山的结构特征与构造演化，归纳了济阳坳陷潜山的成因分类方案。研究表明，济阳坳陷潜山的平面展布与发育过程受控于中生代开始活动的 NW 向断层以及新生代开始活动的 NEE 向断层。在两组主控断裂的控制下，济阳坳陷形成了 NW 向与 NEE 向两组性质截然不同的山系。NW 向山系受控于中生代发生反转的 NW 向断层，在早白垩世形成。根据新生代 NW 向断层的活动情况以及 NNE 向走滑断层对其的改造情况，NW 向山系可进一步划分为继承型潜山、披覆型潜山、走滑改造型潜山等三类山体。NEE 向山系不受控于 NW 向断层，仅受控于新生代活动的 NEE 向断层。根据新生代以来其遭受剥蚀的时间长短，NEE 向山系可分为持续剥露型潜山、间隙剥露型潜山以及无剥露型潜山等三类山体。在 NW 向山系与 NEE 向山系的交汇部位发育着叠合型山体，这类山体受到了 NW 向、NEE 向两组断裂的共同作用，具体可分为变换型潜山、共控型潜山、走滑改造变换型潜山。多期构造运动的垂向叠加，挤压、拉张、走滑等多种不同性质应力的共同作用，造成了济阳坳陷两大山系、九类山体的潜山构造格局，导致了济阳坳陷潜山的多样性与复杂性。

S42-P-05S

南大西洋中段被动陆缘盆地下白垩统盐构造成因模式

王迎[1,2]*，李江海[1,2]，章雨[1,2]，杨梦莲[1,2]，柳晨[1,2]，徐海轩[1,2]

1 造山带与地壳演化教育部重点实验室，北京大学地球与空间科学学院，北京 100871

2 北京大学，石油与天然气研究中心，北京 100871
* wy0619@pku.edu.cn

随着巴西和西非海上巨型油气田的不断发现，盐相关勘探技术进步和数据资料快速积累，深入开展南大西洋被动陆缘盆地下白垩统盐岩成因环境及盐构造变形机理的研究，对于基础地质理论发展及海洋油气勘探开发具有重要的现实意义。南大西洋两岸被动陆缘盆地下白垩统阿普特阶盐岩构造具有明显的分带性特征，显示了从伸展构造到挤压构造连续过渡特点。巴西一侧，出现连续分布厚层盐岩，盐上和盐下地层协调变形。盐岩构造变形开始于洋壳出现的阿尔比期，漂移期新海底负地形空间的增长，触发了沉积载荷作用下的盐岩构造变形。随着被动陆缘沉积沉降，两侧陆地抬升（地幔作用），以及板块边界上构造应力的远程传递作用（南美），到新近纪持续发生重力作用下的构造变形。物理模拟实验以及在力学上实现正演再现的二维离散元数值模拟，表明南大西洋盐构造变形为重力构造作用成因，斜坡上的重力作用形成被动陆缘盆地的伸展—过渡—挤压的盐构造分带。局部高地抬升（被动陆缘断块抬升）扰动盐岩流动，盐岩颗粒具有较大的向上速度分量，形成盐株、盐底辟构造。而前缘构造阻挡（大洋地壳、SDRs 形成、过渡型伸展地壳、出露的超镁铁质地幔等抬升造成）、盐上地层压力（载荷）则是坡下盐岩运动速率降低，出现聚集增厚现象的主要原因。南大西洋两岸的盐构造经历多期构造变形改造，主要涉及两期（阿尔比期和新生代）盐构造变形流动及其向大洋盆地的前展式扩张。沿着盐层滑动过程中重力滑动及重力扩展的混合作用模式，可以解释本区主体的盐构造样式。

S42-P-06

裂缝表面形态对岩石弹性模量压力依赖性以及三阶弹性常数的影响

付博烨*

1 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029
* fuboye@mail.iggcas.ac.cn

岩石刚度对预应力很敏感。本文研究了裂缝面几何形状对有排列裂缝的预应力岩石的弹性模量和三阶弹性常数（3oECs）频率和应力依赖性的影响。在低频状态下，破裂面几何形状显著影响 3oEC 和 P 波和 S 波模量，岩石刚度随着破裂面自相关长度的增加而增加，并且对预应力具有较高的敏感性。在高频状态下，裂缝面几何形状的影响可以忽略，3oEC 接近于零，P 波和 s 波模量近似于背景值。当 slow-P 波长与对齐裂缝尺度相似时，3oEC 值最大，表明最大值位置可用于识别裂缝尺度。

S42-P-07

下扬子官地 1 井下寒武统海相页岩孔隙结构特征及影响因素

鲍衍君[1]，张鹏辉[1,2]*，张旭[1]，付奕霖[1]，王拔秀[1]，梁杰[2,3]

1 河海大学海洋学院，南京 210024
2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室，青岛 266071
3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071
* zph010@163.com

本文以下扬子地区官地 1 井幕府山组泥页岩为研究对象，综合运用场发射扫描电镜、X 衍射分析、气体吸附、高压压汞和有机地球化学分析等实验测试，系统研究了官地 1 井幕府山组泥页岩孔隙结构特征和孔隙发育影响因素。研究表明官地 1 井幕府山组泥页岩主要由石英、方解石和黏土矿物组成，含有少量长石和白云石。幕府山组泥页岩总有机碳含量较高，有机质类型以 I 型干酪根

为主且均处于过成熟阶段。孔隙类型主要为基质孔隙（粒间孔隙和粒内孔隙）、有机质孔隙和微裂隙，其中以有机质孔隙含量居多，而粒间孔隙面孔率占比最高。有机质、热演化程度对有机质孔隙的孔径和比表面积具有一定的影响；刚性矿物具有一定的支撑作用，对有机质孔隙的保存具有积极意义。压实作用构成过成熟阶段孔隙演化的主要因素，进一步降低了孔隙空间。分形维数与总有机碳含量和比表面积相关性较好，而与孔体积相关性弱；表明孔壁粗糙程度及孔隙结构复杂程度受有机质丰度影响较大，分形维数越大的页岩样品具有较大的比表面积。

S42-P-08S

珠一坳陷古近系油气成藏主控因素及有利区分布预测

蔡哲[1,2]，庞雄奇[1,2]*

1 中国石油大学（北京）油气资源与探测国家重点实验室，北京 102249

2 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249

* pangxq@cup.edu.cn

珠江口盆地珠一坳陷古近系受埋深大、储集物性差、经济门槛高、海上深层钻探费用高等因素的影响，一直作为烃源岩层系进行研究，缺少把其作为勘探目的层的系统分析。近年来随着新近系勘探程度越来越高，勘探难度也逐渐加大,古近系作为勘探的新领域越来越受到重视。在古近系多个凹陷取得了勘探重大突破,总地质资源达 23 亿吨；已发现原油储量约 1.4 亿吨，发现率仅 6%，勘探潜力巨大。目前珠一坳陷古近系勘探面临以下问题：①古近系不同洼陷结构、构造演化和沉积充填具有巨大差异,如何厘清不同洼陷的油气富集规律及成藏主控因素；②古近系分布面积大,洼陷分割性强,如何开展洼陷和区带的优选。

本次研究通过对研究区石油地质条件的分析及典型岩性地层油气藏的解剖，确定了岩性地层油气藏形成的主控因素（烃源灶 S、岩石物理相 D、界面势能 P、区域盖层 C）。然后对各个主控因素控油气作用进行分析并定量表征，应用功能要素组合（“T-CDPS”）控油气分布模式，预测了研究区珠一坳陷古近系共 29 个油气藏的最有利成藏区带。考虑多目的层成藏区叠加复合初步优选出 6 个最有利目标：恩平 12 洼北部隆起带、HZ08/HZ10 洼—惠陆低凸起、HZ26 洼及其周缘、HZ8/HZ10 洼—惠陆低凸起带、HZ05 洼北部隆起区、LF13 洼南部隆起。

珠一坳陷古近系共 29 个油气藏的最有利成藏区带统计表明：研究区目前已发现的100%的油气藏分布在预测的最有利成藏区带；研究区成藏概率值≥0.5 的探井中，87.5%为工业油流井，12.5%为油气显示井；成藏概率值介于 0.3-0.5 的探井中，80.7%为油气显示井，19.3%为失利井；成藏概率≤0.3 的探井中，100%为失利井。预测结果为该区岩性地层油气藏的下一步勘探指明了方向。

S43-O-01

美西 1700 年 Mw9 Cascadia 地震及岩石圈应力演化

胡岩[1]*，Roland Bürgmann[2]，Kelin Wang[3]

1 中国科学技术大学地球和空间科学学院，合肥 230026

2 Berkeley Seismological Laboratory and Department of Earth & Planetary Science, University of California, Berkeley, California, United States

3 Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada, Canada

* yanhu11@ustc.edu.cn

俯冲带大地震引起的应力扰动场在空间上可能影响上千公里。在时间上，应力黏弹性松弛效应可能持续几十，甚至上百年。由于俯冲带地震时空影响范围很大，可以帮助我们深入了解上地幔流变结构和性质以及岩石圈动力学过程和机制。本课题我们研究了 1700 年 1 月 26 日发生在美国西部

Cascadia 俯冲带，震级为 Mw9.0 的大地震震后形变，以及该地震导致的岩石圈应力分布和演化。

基于其他俯冲带相关研究成果，我们建立了三维黏弹性有限元数值模型。该模型包括弹性大洋板块和大陆板块，黏弹性大洋和大陆上地幔。我们采用 Burgers 体模拟上地幔黏弹性应力松弛效应，并且假设 Burgers 体中 Kelvin 黏滞系数比 Maxwell 黏滞系数低一个数量级。在我们的最优模型中，大陆和大洋上地幔（Maxwell）黏滞系数分别为 $3x10^{19}$ Pa s 和 10^{20} Pa s。大洋上地幔顶部软流圈厚度为 80 公里，黏滞系数为 $2x10^{18}$ Pa s。

我们的模型能够较好的拟合~5-15 mm/yr 地表速度 GPS 观测值。该地震导致弧前活动断层高达 2 MPa 以及弧后地区高达 200 kPa 同震库伦应力增加。震后应力演化和断层产状及性质有关。震后 50 年累积应力变化量在弧后部分活动断层可以达到 20 kPa。

该地震对数百公里以外的加州活动断层也产生很大影响。San Andreas 及其他活动断层同震应力变化高达 30 kPa 以上。震后 50 年累积应力变化量可达 15 kPa 以上。加州活动断层应力演化总体表现为：同震导致库伦应力下降，震后总体表现为应力增加，并且在震后 40-60 年左右达到最大值。模拟的应力演化和古地震研究一致。

S43-O-02

强震孕育、发生及其复发循环过程的数值模拟:对地震灾害预测的启示

朱守彪*

1 应急管理部国家自然灾害防治研究院，北京 100085

* zhusb@pku.edu.cn

强震孕育、发生及其复发过程的定量研究对于预测预报地震及地震灾害评估有着重要的科学意义；合理连续地计算地震孕育、同震破裂过程及其复发循环特征将有助于我们更好地认识强震发生的时、空分布规律。为此，本研究基于 Newmark 隐式时间积分法，根据模拟地震孕育—同震破裂及其循环过程的特殊要求，发展了一种新的有限单元计算方法。新方法具有以下特点：（1）在不改变时间积分方法的情况下，实现对时间步长进行自动平滑地缩放，进而可以连续的模拟准静态、动态不同力学状态下的地震孕育—断层破裂及其循环过程；（2）模型的初始应力场可以非人为指定，计算时通过施加重力及缓慢的构造加载获得；（3）地震破裂的成核区域及成核方式等亦非人为给定，模拟中破裂成核是自然形成的，这样更加符合地震地质实际。通过大量的模型计算，其结果表明，新的计算方法可以连续稳健的模拟断层孕震-同震及其循环过程，计算结果不仅可以给出强震的复发间隔，同时还可以给出地震时断层破裂行为的详细过程。此外，本研究还考察了摩擦关系对地震准周期性的影响，发现断层上的静、动摩擦系数差值直接影响着断层的强震复发周期，两者差值越小，复发周期越短；差值越大，复发间隔越长。

上述模拟方法可以推广到实际的断裂带上。先对选定的断裂带上的历史强震进行回溯性模拟，力争使得模拟的强震其时空强分布与实际历史上发生的强震一致，由此获得最佳的数值模型。然后，据此最佳模型，通过进一步边界加载及模型计算可望通过数值计算给出该断裂带未来强震发生的时、空、强三要素，并给出地震时强地面运动的空间分布，并对地震灾害进行评估。可见，本研究对于进一步认识地震震源过程、开展数值地震预测预报研究等有一定的参考。

S43-O-03

地震震后形变及对地表地质灾害影响的模拟分析

孙玉军*，谢世亮，徐昊

1 中国地质科学院地球深部探测中心，北京 100037

* sunyujunabc@163.com

2017 年 6 月在四川茂县松坪沟发生的新磨滑坡造成了重大人员伤亡。除了分析降雨、工程地质等因素外,前人也提出汶川地震对滑坡的形成也起到了重要作用。本次滑坡的发生时间距离汶川地震发生虽然已经有 9 年之久，但其震后的粘弹性效应会持续数十年乃至数百年。然而，大地震后的粘弹性松弛效应是否能对地表的地质灾害产生深部动力影响，目前还缺乏详细的定量计算分析。

本研究通过 CIG 平台提供的 Pylith 软件通过计算一个理想的逆冲断层模型，利用粘弹性本构关系，系统分析了不同断层产状、地壳结构以及粘滞性结构对逆冲断层震后粘弹性松弛效应的影响。结果表明对于逆冲断层的震后粘弹性松弛变形，地壳的有效弹性厚度和粘滞性系数对其变形有重要影响，会直接影响地表震后粘弹性松弛形变大小和持续时间。而断层产状会对地表形变的分布状态产生一定影响，在断层倾角较小的情况下，粘弹性松弛效应会在远离断层面地表投影的区域会产生一个地表位移极值区，其位移幅度可能会对地表地质灾害产生影响。而 2017 年新磨滑坡距离龙门山主断裂垂直距离约 60 km，同时与北川同震最大破裂位移距离也较近。因此，本研究认为汶川地震的粘弹性松弛效应可能是本次滑坡事件的深部动力原因。

S43-O-05

活动造山带前缘断层行为模式的砂箱模拟研究

孙闯*

1 中山大学，地球科学与工程学院，广州 510275

* sunchuang@mail.sysu.edu.cn

近年来多个大型破坏性地震（如1999年Mw7.6集集地震、2013年Mw6.6芦山地震、2016年 Mw6.0 呼图壁地震）先后发生在不同造山带的前缘构造带。该构造带既是陡峭山脉地形与平缓盆地地形的突变点，同时也深受掩埋于盆地沉积之下的隐伏断裂所影响。在此复杂背景之下，地震过程中断层的活动往往表现出一定特殊性，并与长期构造活动相关。本研究通过物理模拟的手段，系统考察了地形变化以及先存隐伏断裂对山前构造带断层活动模式的控制作用。我们发现虽然地形载荷不论大小均有助于挤压变形定位于山前构造带，但是先存隐伏断的行为却因倾角差异而完全不同。在地形载荷和先存断裂双重控制之下，总共出现了四种不同的山前变形模式（断层行为+伴生构造）。他们能够帮助一些缺乏地表破裂的震例建立深部断层活动模式。

S43-O-06

Source model for buried thrust-dominated earthquakes using partial InSAR displacements: The 2018 Lombok, Indonesia, earthquake sequence

Xiaohang Wang[1], Caijun Xu[1,2,3]*, Zhuohui Xiao[1,2], Ying Peng[1]

1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079

2 Key Laboratory of Geospace Environment and Geodesy, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079

3 Collaborative Innovation Center of Geospatial Technology, Wuhan University, Wuhan 430079

4 Now at Dept. of Earth and Environmental Sciences, Michigan State University, East Lansing 48823

* cjxu@sgg.whu.edu.cn

A remarkable earthquake sequence struck the island of Lombok in Indonesia during the period from July 28, 2018 to August 19, 2018.

In this study, we use Sentinel-1 and ALOS-2 radar images to investigate the deformation related to these events. The co-seismic surface deformation was predominated by uplift without surface rupture. It is worth noting that some of the rupture of the Lombok sequence is offshore. Whether the incomplete InSAR deformation can well constrain the geometry of the underground faults is a question worthy of attention. Through simulation experiments, we found that the influence of the lacking position of the deformation on the fault geometry inversion is greater than that of the deformation proportion. According to source models of each event, the Lombok sequence ruptured the south-dipping thrust faults with different strikes and dips. The peak magnitudes of slip for three events are 1.59 m, 1.93 m and 2.87 m. The geodetic moment of the events in Lombok sequence given by slip models are 6.3×10^{18}N·m (Mw 6.5), 2.7×10^{19}N·m (Mw 6.9) and 5.0×10^{19}N·m (Mw 7.1), respectively. The Lombok sequence ruptured the south-dipping thrust faults with different strikes and dips. Both the shallower imbricate thrust faults and the main Flores thrust might be the seismogenic faults for the Lombok sequence; Both the tectonic and volcanic activities play an important role during the Lombok sequence; Stress changing map indicates that the earlier events promote the later events. There is an obvious seismic gap in the northern part of Sumbawa region and this region has the potential to form some moderate earthquakes in the future.

S43-O-07

2008年汶川大地震孕震、同震及震后变形全过程的数值模拟及其动力学启示

胡才博[1,2]*，陈启志[1,2]，孟秋[1,2]

1 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049

2 中国科学院计算地球动力学重点实验室，北京 100049

* hucb@ucas.ac.cn

2008年8.0级汶川大地震发生在龙门山断裂带上。龙门山地区具有复杂的地质构造背景、强烈的地表起伏、不均匀的弹性和黏性结构。由于震前地震活动性不够强烈、地表构造变形较小，龙门山断裂带的地震危险性在汶川地震之前被低估。汶川大地震的同震及震后变形显著，余震较多且有较强的破坏性。因此，2008年汶川大地震孕震、同震及震后变形全过程是一个重要的科学问题，需要深入研究。

本文从数值模拟的角度，充分考虑2008年汶川大地震的特殊性和复杂性，建立黏弹性有限元模型，研究2008年汶川大地震的孕震、同震及震后变形的动力学全过程，定量研究发震断裂带及弹性层、黏弹性层的应力积累、释放、调整的特点。模型水平方向为530 km，深度方向为100 km，主要发震断裂带为映秀-北川断裂。断裂带浅部倾角较大，可达70°，从浅到深逐渐变小，并有一定厚度。发震断裂带采用横观各向同性弹性介质模型，考虑了中下地壳和上地幔的黏弹性松弛。模型的弹性和黏性结构是分层分布的，发震断裂带及其两侧区域还存在横向不均匀性。文中在几何模型表面加入了现今地形高程的10%作为计算的初始地形。取得以下主要认识：

（1）初始应力场对于整个地震循环过程的影响很大，为整个地震循环过程的模拟提供了最基本的力学环境，初始位移场显示出映秀-北川断裂带东西两侧的地形差异。

（2）2008年汶川大地震的同震位移模拟结果表明，汶川大地震主要属于逆冲断层机制，并且上盘变形明显大于下盘变形，这与地质考察和大地测量结果基本一致。

（3）2008年汶川大地震震后七年的位移及震后应力都明显地随时间变化，与大地

测量结果基本一致，反映了中下地壳和上地幔的黏弹性松弛效应。

S43-O-08

基于库仑速率状态模型模拟龙门山断裂带地震活动性时空特征

贾科*

1 西北工业大学自动化学院，西安 710026

* jk@nwpu.edu.cn

在过去的十几年中，中国四川龙门山断裂带及其周缘地区发生了三场中强地震（2008 Mw 7.9 汶川地震，2013 Mw 6.6 庐山地震，和 2017 年 Mw 6.5 九寨沟地震），并产生了大量余震。最近的研究表明基于物理模型的余震预测具有满足地震预测需求的潜力。本研究利用高质量的数据产品（例如震源位错模型，震源机制解，区域应力场等），通过建立库仑速率状态模型，研究龙门山断裂带 2008 年至 2020 年地震活动性的时空特征，并获得符合研究区物理实际的最优化模型参数。同时，研究余震的二次触发作用和摩擦系数对地震活动性模拟结果的影响。研究结果表明，在龙门山断裂带，摩擦系数对库仑应力变化和地震活动性模拟结果起着重要的作用；余震的二次触发作用对预测的地震活动有中等程度的影响。

S43-O-09

汶川地震与芦山地震之间地震空区是否存在高地应力?

李兵[1,2]*，郭启良[1]*，王建新[1]，许俊闪[1]，王健[1]，丁立丰[1]，张策[1]

1 中国地震局地壳应力研究所，北京 100085

2 中国科学技术大学 地球和空间科学学院，合肥 230026

* guoqiliang514@qq.com, mycoon@139.com

2013 年芦山地震后，汶川地震和芦山地震之间地震空区是否存在高应力积累备受关注。为查明地震空区的地应力状态，从应力角度探讨地震空区的地震危险性，在全新世逆冲型断裂带双石—大川断裂带两侧（大川镇）各布置 1 个钻孔（分别为 1000 m 和 500 m）进行水压致裂地应力测量工作。通常情况下，在活动断层的闭锁段浅部存在高地应力，利用多种方法识别断裂带的闭锁段或应力集中部位，并通过地应力测量技术查明其浅部的应力状态，进而评估活动断层的潜在地震危险性是地震预报的重要方法之一。上述方法对判定活动断层关键构造部位的地震危险性具有重要作用，已有震例表明：在深部闭锁段对浅部应力影响显著的区域，地应力测量技术可以观测到 μ_m 值的变化或者高地应力。但在影响非显著区探讨地震发生的潜在危险性则需要结合地震活动性参数 b 值，GPS 反演结果和跨断层水准测量等方法，建立浅部应力对深部闭锁的响应模式。

本文首次给出了地震空区南段 1000 m 深度范围内的地应力状态，利用回归分析方法研究了地应力随深度的变化特征，分析了两次强震前的应力时空演化和浅部应力测量结果变化特征，建立了龙门山断裂带地震前的应力模式，结合拜尔利准则和应力莫尔圆分析了双石-大川断裂带的稳定性，并对比分析了与龙门山断裂带周边几个强震的地应力量值的差异，结果表明：大邑地震空区的南端依然存在高地应力，这表明青藏高原向东强烈挤出在芦山地震后对浅部的影响并没有减弱；中北段在孕震期，深部闭锁对浅部应力影响较弱，扰动应力场较小，而在临震期，深部闭锁区对浅部应力影响显著，扰动应力场明显增强；在南段，深部闭锁对浅部应力的影响显著，芦山地震后深部闭锁对浅部应力的影响在增强；2 个钻孔的最大水平应力值不弱于芦山地震、汶川地震和康定地震前的量值，且 210 m 深度以上的 u_m 平均值大于芦山地震前硗碛地区的值，表明双石-大川断裂带具备了摩擦滑动的必要条件，具有发生中、强震的潜在危险性。如果地震空区深部存在塑性层，青藏高原向东的

强烈挤出作用更易于向地震空区的南北两端和东侧分解，增加这些区域的应力积累，大川镇的高地应力与此相吻合，那么这些区域可能会成为下一次地震发生的潜在危险区。

致谢：本摘要仅为该工作的初步结果，进一步成果将在疫情结束之后展开工作，详细的成果及作者以正式文章为准。向对本项目有重要贡献的徐锡伟研究员表示感谢，同时感谢杨树新研究员，张世民研究员，谢富仁研究员，李宏研究员，姜大伟助理研究员，任俊杰研究员，李康副研究员的帮助和支持。

S43-O-10

青藏高原东部是否存在地壳流？来自有限元数值模拟及大地测量数据的启示

尹力[1]*，罗纲[2]

1 中国科学院大学地球与行星科学学院，北京 100049

2 武汉大学测绘学院，武汉 430072

* yinli2018@ucas.ac.cn

青藏高原东部是否存在中下地壳流仍不清楚。近几十年来，特别是 2008 年汶川 Mw7.9 级地震之后，我们获得了越来越多的大地测量观测数据。前人提出了一些重要的科学问题：能否利用大地测量数据来判断青藏高原东部是否存在中下地壳的差异性流动；如果存在，能否推测出该地区地壳流的范围和幅度?为研究这些问题，我们建立了三维粘弹塑性有限元模型，模拟了有和没有中下地壳流的情况下地震循环过程的地壳变形，并将模拟结果与大地测量观测数据进行了对比和分析。通过对汶川地震同震形变和震后形变的模拟，我们得到了青藏高原东部 40 km 厚的中下地壳的稳态黏度（1.1×10^{19} Pa s），表明该地区的中下地壳同其它岩石圈分层可能存在力学上的解耦。通过模拟震间变形发现，在地壳缩短模型中，青藏高原东部地壳发生纯剪切变形，导致平均 0.5 mm/yr 的地表抬升速率，显著低于水准观测资料的平均抬升速率（2.2 mm/yr）。另一方面，结合地壳流模型可以模拟得到更快的地表抬升速率，且最快的抬升速率集中在地壳流的前沿处，这与观测的水准抬升速率更加一致。根据模拟结果和大地测量观测资料，我们认为青藏高原东部可能存在较大范围的中下地壳流。

S43-O-11

华北地震活动有限元数值模拟初步结果

张琦，罗纲*

1 武汉大学测绘学院地球物理学系，武汉 430079

* gluo@sgg.whu.edu.cn

我国华北地区历史地震记录超过了 2000 年，自公元 1300 年以来，发生过 49 次 6.5 级以上地震和至少 4 次 8 级以上地震，其中包括造成人类历史上伤亡最惨重的 1556 年 8.25 级华县地震、1668 年 8.5 级郯城地震、1976 年 7.8 级唐山大地震等等。这些地震造成了重大的人员伤亡和经济损失。华北地区地震活动具有典型的板内地震活动特点：构造加载速度缓慢，各个断层带之间的相互力学耦合、相互影响作用大。目前，我们并不清楚其地震活动规律与机理。因此，我们在已有的华北地区地震、地质、地球物理、地形变数据的基础上，建立了华北地区的三维粘弹塑性有限元模型，调查区域的地震活动规律、特征及机理。该模型以实际的 GPS 速度场作为模型的边界加载条件，模拟了区域的背景应力场及长时间尺度的地震时空强迁移，并得到了长期的人工地震目录。初步的数值模拟研究结果发现：1）华北地区各断层的滑动速度极低，小于 1-2 mm/yr，这是与地震地质及现今的地形变数据信息一致的；2）华北地区 M 6 级及 M 7 级以上地震具有一定的准周期性，其复发间隔为几千年至上万年，比如，模拟结果显示郯庐断裂带 M 7 级以上地震平均复发间隔在 2-3 千

年，而其他断层平均复发间隔最高可达 1-3 万年，这些结果也与地震地质研究结果一致；3）地震复发间隔与区域各断层滑动速率具有负相关关系。目前我们的数值模拟结果还比较初步，正在开展深入细致的模拟研究。本研究的研究结果对华北地区地震活动规律、特征、机制及抗震减灾，都具有重要意义。

S43-O-12

一种确定震后形变机制的联合模型：以 2017 年伊朗达尔班迪汗 Mw7.3 地震为例

赵雄[1]*，许才军[1,2]，温扬茂[1,2]

1 武汉大学测绘学院，武汉 430079

2 地球空间环境与大地测量教育部重点实验室，武汉大学，武汉 430079

* 1805174860@qq.com

通常震后形变中同时包含震后余滑与粘弹性松弛机制引起的地表形变。然而，目前对 2017 年达尔班迪汗地震震后形变机制的研究，均采用震后某一段时间内累积的所有形变单独研究震后余滑或粘弹性松弛机制，这可能与震后形变的物理机制是不符合的。对于这个问题，本文提出一种联合模型同时确定达尔班迪汗地震的震后余滑机制与粘弹性松弛机制。利用 Sentinel-1 卫星 4 个升降道轨 SAR 图像获取达尔班迪汗地震震后 228 天的形变时间序列。研究了达尔班迪汗地震的震后二维形变场、余滑分布和地壳流变学特征。利用多维小基线子集（MSBAS）技术获取震后二维时间序列变形场，结果表明主变形区在水平方向上向西移动，最大位移为 7.5 cm。在垂直方向上，断层左侧抬升，最大抬升位移为 8.2 cm，断层右侧沉降，最大沉降位移为 4.7 cm。利用联合模型推断的扎格罗斯山地区下地壳最优粘弹性系数为 3×10^{18} pa s。在震后 228 天内，余滑在同震滑动区域的上下倾方向继续滑动，最大滑动发生在同震上倾方向，大小为 0.66 m。余滑累积的矩张量大小为 2.5×10^{19} Nm，相当于 Mw 6.9 级地震。1000 次蒙特卡罗实验验证了联合模型的稳定性，联合模型计算的均方根误差小于纯余滑模型和纯粘弹性松弛模型的计算结果，验证了联合模型的可行性。

S43-O-13

南海潜在海啸危险性的并行数值模拟

杨少华*，李海兵

1 中国地质科学院地质研究所，深地动力学重点实验室，北京 100037

* yangshaohua09@sina.com

海啸是海底地形剧烈突变（常由地震导致）引起的具有破坏性的海浪。2004 年苏门答腊海啸，2010 年智利海啸，2011 年日本海啸等造成了重大损失。与破坏性地震类似，具有破坏性的海啸往往时隔多年才会再次发生。但有必要对海啸开展持续研究，为下次海啸减灾做准备。海啸的数值模拟研究是主要途径之一。研究内容主要包含两部分：1）以追求快速预警为目标的快速海啸传播数值模拟研究；2）以追求精确传播过程的海啸数值模拟研究。常用的线性长波方程大致可以满足前者的要求；后者需要更精确的方法。我们试图用总变差减小方法求解非线性方程模拟海啸传播过程，预判危险性。南海历史上曾多次发生海啸，并且沿海及部分岛屿是经济、军事等方面的重要区域，有必要持续研究南海海啸。马尼拉海沟被认识是最有可能激发南海海啸的区域。我们计划构建多组马尼拉海沟可能发生的地震破裂过程，分别模拟每个破裂导致的海啸传播过程，研究海啸对我国东南沿海及其他南海区域的危险性。我们模型的先进性体现在：1）基于目前精度最高的地形数据，结果势必会更加精细；2）运用更精确的数值方法，结果势必会更为准确；3）多参数的敏感性分析，结果

势必更为可信。已完成的研究内容体现出了上述特征。

S43-O-14

利用海洋 T 波约束南非地壳衰减结构

周勇[1,2,3]，陈晓非[4]，倪四道[5]，钱韵衣[4]，张亚运[1,2,3]，于传海[1,2,3]，仲秋[1,2,3]，郑婷婷[4]，徐敏[1,2,3]*

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，南海生态环境工程创新研究院，广州 510301
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
3 中国-巴基斯坦地球科学研究中心，中国科学院—巴基斯坦高等教育委员会，伊斯兰堡 45320
4 南方科技大学地球与空间科学系，深圳 518055
5 大地测量与地球动力学国家重点实验室，精密测量科学与技术创新研究院，武汉 430071
* mxu@scsio.ac.cn

尽管板内地震较板间地震数量少，但稳定块体的地震灾害同样不容忽视。近些年，在稳定块体的沿海区域发生了多次破坏性地震，造成了大量人员伤亡及财产损失。高频（>1 Hz）地壳衰减结构对于地震危险性评估有着重要指导意义。对于地震活跃区域，利用丰富的地震—台站对观测数据，有多种地震学方法可约束地壳衰减结构。但是，对于鲜有地震的稳定块体，区域地震射线路径覆盖稀疏，难以有效获得其衰减特征。T 波多由海底地震激发，并通过海洋水体 SOFAR 声学通道传播，在近岸可转换为地震波被地震台站接收。T 波的传播路径有效覆盖了沿海地区，为约束沿海区域稳定地块的衰减结构提供了可能。

本文以非洲南部为例，探索了利用海洋 T 波约束地壳衰减结构的可行性。我们首先分析了非洲南部 XA 台阵记录的 T 波特征，并使用波形、走时、偏振以及台阵分析方法识别出了近台站端转换波 T-P 和 T-S 震相。T-P 和 T-S 震相有明显的偏振和慢度差异，表明其有着不同的转换机制。基于 T-P 和 T-S 震相，使用尾波归一化方法反演了非洲南部随频率变化的高频地壳衰减结构特征，与该区域通过其他方法反演的衰减结果有较好的一致性。利用 T 波约束高频衰减结构方法可扩展到所有沿海大陆的地壳衰减结构反演。

S43-O-15

2020 年 7 月发生在西藏中部的 Mw 6.3 级尼玛地震:一次破裂在拉张阶分区的浅正断事件

杨九元，许才军*

1 武汉大学测绘学院，武汉 430079
* cjxu@sgg.whu.edu.cn

2020 年 7 月 22 日，在西藏中部地区的依布茶卡断裂带发生了一次以正断裂机制为主的 Mw 6.3 级地震，而该断裂带区域的总体构造背景却以左旋走滑运动为主。此次事件提供了一次重要的机会来了解该区域的构造形变及浅正断型地震发生的成因。我们使用 Sentinel-1 A/B InSAR 数据研究了此次地震的同震及震后形变。同震形变模拟结果显示此次地震以正滑动为主，最大滑动发生在深度 7 km 处。震后模拟结果揭示了该地震的震后形变机制主要以震后余滑为主。余滑主要发生在深度 1 到 8 km 范围内，在深度 5 km 处滑动达到最大为 0.24 m。反演得到的同震及震后滑动在空间上的重要重叠暗示着发震断层面上复杂、不均匀的摩擦特性。通过对反演结果、区域地质地貌，断层运动特性及地震活动性的综合分析，我们提出了一个构造模型来解释此次地震发生的原因。我们认为此次地震的发生归功于东北向左旋走滑的日干配错和布藏爱断裂控制的阶分区中的拉张应力的释放。

S43-O-16

基于地震目录数据的区域地震活动分析

靳锡波，罗纲*

1 武汉大学测绘学院地球物理学系，武汉 430079

* gluo@sgg.whu.edu.cn

使用地震目录数据调查区域的地震活动规律、特征，并进行地震危险性分析是地震活动性研究的重要方法。本文通过对我国华北地区、川滇地区，日本俯冲带、美国加州的地震目录和断层滑动数据进行对比分析，探讨了这些区域内断裂带的大地震周期、地震发生频次及地震活动规律。我们对过去几百年的地震活动数据统计分析，发现：1）区域断裂带附近的地震发震频次与断裂带活动性（比如断裂带滑动速度）具有正相关性，即发震频次随断裂带的滑动速度增加而增加，且具有非线性特点；2）在相对快速滑动断裂带上的地震活动具有较强的准周期性（变异系数小于 0.5），而断裂带滑动速度较小，则其地震活动周期性较弱；3）华北地区 M 6.0-6.5 级地震、川滇地区 M 6.5-7.0 级地震、美国加州 M 6.5-7.0 级地震及日本俯冲带 M 7.0-7.5 级地震在一定程度上表现出周期性复发。这些研究结果对理解区域的地震时空活动规律、区域各个断裂带之间的相互力学耦合及断裂带滑动速度与地震活动性的关系具有重要意义。

S43-O-17

数值模拟人工合成地震目录的有效性检验

赵文涛，罗纲*

1 武汉大学测绘学院地球物理系，武汉 430079

* gluo@sgg.whu.edu.cn

人工地震目录的合成是地震数值预报研究的关键，是我们进行地震数值预报工作的前提和基础。然而，如何检验数值模拟得到的人工合成地震目录的有效性是一个重要但没有解决的问题。为了能定量地评估人工合成地震目录与古地震序列之间的相似程度或匹配程度，本研究以青藏高原东北缘为例，开发并使用了平均绝对误差方法和余弦相似度方法，对比分析了青藏高原东北缘地震活动数值模拟得到的六个不同算例的人工合成地震目录和过去近 9000 年的区域古地震数据，得到它们之间的匹配或拟合程度，从而检测和评估了该人工合成地震目录的有效性。研究结果发现：1）两种方法都能够有效地用于人工合成地震目录与古地震序列的对比分析和匹配研究；2）虽然这两种方法的评价结果存在差别，但在一些算例中，它们的结果是一致的；3）本研究使用的六个不同的人工合成地震目录并不是都能与古地震数据很好地对应，其中两个算例与古地震序列匹配拟合程度较高。本研究为评价和检测基于物理的数值模型产生的人工合成地震目录的有效性做出了调查与探索，为区域的地震数值预报研究提供基础。

S43-O-18

利用深度学习方法在贝叶斯框架下快速确定地震震源参数

林学楷 [1]，许才军 [1,2,3]*

1 武汉大学测绘学院，武汉 430079

2 武汉大学地球空间环境与大地测量教育部重点实验室，武汉 430079

3 地球空间信息技术协同创新中心，武汉 430079

* cjxu@sgg.whu.edu.cn

在破坏性地震发生之后，根据观测到的地震或大地测量数据快速并准确地确定震源位置、震级和震源机制等震源参数是地震学中的一项基本任务，对地震应急响应、震后救援、海啸预警、余震趋势预测等抗震救灾工作具有重要意义，也为后续精细的震源物理研究和区域应力场变化分析提供了基

础数据。传统的震源参数反演方法通常需要分析人员对波形数据进行一定的处理，难以完全自动化地运行。近年来机器学习算法，特别是深度学习方法，由于具有能够从输入的原始波形中提取关键特征的能力以及便于自动化的特性，已成功应用于地震事件检测、震相识别、P 波极性判别等一系列地震观测任务，并进一步深入到地震学的各个研究领域。

本文提出了一种在贝叶斯框架下快速确定地震震源参数的深度学习模型，该模型由两部分构成：第一部分是一个多层卷积神经网络，利用卷积操作从输入的原始波形数据中提取特征，并进行数据压缩和降维；第二部分是全连接的混合密度网络，利用提取到的特征，进行概率密度估计，进而得到以高斯混合模型近似的待求解参数的后验概率密度函数，该结构能够捕捉到待求解模型参数可能具有的多解性特征。我们将所提出的网络应用于 2019 年 Mw7.1 级 Ridgecrest 地震震源参数的反演。由于具有可靠标签的真实波形资料十分有限，我们通正演模拟的方式，生成地震发生后 2 min 的波形数据作为训练、验证和测试数据集，用于所提出的深度学习模型的训练和测试。网络训练完成后，将 10 个高频 GNSS 台站记录到的波形数据喂入网络，在数秒内即可得到各个参数的概率分布反演结果。通过该方法得到的结果在不确定度范围内与 GCMT、USGS 等机构公布的结果一致，此外实验结果表明个别台站数据的缺失不会对反演结果产生很大的影响，证明了该模型的有效性和稳健性，可直接用于具有固定台站分布的地震危险区的日常监测任务。对于台站数量或位置经常发生改变的区域，该模型也可方便地与图神经网络结合，构建不依赖于台站的震源参数确定模型。

S43-P-01

一种基于滚石轨迹判定月震峰值加速度方法

朱伯靖 [1,2,3]*，陶莎 [3,4]，石耀霖 [3,4]

1 中国科学院云南天文台，昆明 650216

2 中国科学院大科学研究中心，北京 100012

3 中国科学院大学，北京 100049

4 中国科学院计算地球动力学重点实验室，北京 100049

* bjzhu@ynao.ac.cn

抵近探测发现，近年来月表存在一定数量的构造及月震($M_h = 5.8$)活动。对其研究，在月球科学理论方面及月球基地建设灾害评估应用方面均具有重要意义。但月震活动性低、仪器观测资料稀缺，客观上限制了现有研究方法，亟需开拓新方法。月震区的滚石轨迹，也为利用滚石识别出历史月震提供了观测基础。本研究通过物理建模和理论推导，得到滚石轨迹与月震裂度相关峰值加速度大小和方向关系，实现通过观测滚石轨迹来反演月震目的；1)针对月表岩石滚动问题，应用拉格朗日分析力学方法，将月表岩石所受惯性力定义为广义力，从机械能守恒、动量-冲量守恒、力矩矩平衡，分析瞬动($\Delta t = f^{-1}$)过程月表岩石滚动临界条件，得到月震大小(Δt、α)与月表岩石瞬动关系；2)利用机械能能守恒和功能定理，计算月表岩石滚动轨迹，建立其与月震裂度密切相关的峰值加速度关系，获得滚石轨迹与月震峰值加速度半解析公式。本研究结果为应用抵近探测月震区岩石精细时空数据反演月震，分析震区月震发生规律和周期，评估月震发生概率和灾害程度，在理论方法上提供了支持和帮助。

S43-P-02

基于统计流体力学框架的粤港澳大湾区地震与洪涝灾害数值模拟研究

朱伯靖 [1,2,3]*，张正锋 [3,4]，颜辉 [5]，钟英 [5]，David A Yuen[6]

1 中国科学院云南天文台，昆明 650216

2 中国科学院大科学研究中心，北京 100012
3 中国科学院大学，北京 100049
4 中国科学院计算地球动力学重点实验室，北京 10049
5 中山大学国家超算中心广州中心，广州 510006
6 美国哥伦比亚大学应用数学及物理系，纽约 10027
* bjzhu@ynao.ac.cn

针对南海及粤港澳大湾区地震与洪涝灾害特点，以国家超算中心广州中心天河二号超算系统为平台，基于统计流体力学框架，开展该区域洪涝灾害数值模拟研究。研发基于天河二号异构多态体系架构的混合并行计算技术、地震引起的洪涝水情实时滚动预报预警的大规模并行算法及其会商决策系统。

S43-P-03

由千米尺度的跨断层基线测量断层近场运动与变形—川滇块体东边界2个场地的初步实验

曹建玲[1]，张晶[1]，闻学泽[2]，冯蔚[1]，石耀霖[3]

1 中国地震局地震预测重点实验室（中国地震局地震预测研究所），北京 100036
2 中国地震局地质研究所，地震动力学国家重点实验室，北京 100029
3 中国科学院大学，北京 100049
* cjl@cea-ies.ac.cn

从上个世纪 70 年代开始，我国陆续开展跨断层短基线和短水准观测，作为一种断层近场运动以及可能地震前兆的监测手段，至今仍然有广泛应用。现行的数十至百米长度的跨断层短基线测量虽然精度高，但往往不能有效跨越大型活动断裂带；利用 GNSS 观测断层运动，则由于目前站点密度小和观测精度有限，对断层近场形变的分辨率差，尤其对于运动速率偏低的断层。我们在川滇块体东边界构造带新布设 2 个实验场地，分别跨越则木河断裂大箐梁子段和昭通断裂的龙树分支，实验利用千米跨距的基线测量活动断裂带的近场运动与变形，并已获得三年的实验观测数据。

本研究首先介绍场地选建、监测断裂、基线测量方法以及实验观测结果，然后利用测量资料，基于刚体、弹性和组合模型三种假设条件计算分析了这2个场地的断层近场位移和应变。则木河断裂大箐梁子段在刚体模型下两盘近场平行断裂走向的位移分量在±3mm 范围内波动，无明显趋势变化；垂直断裂走向的位移分量在 2015~2016 年之间持续下降，反映横向水平压缩，累计降幅达 6 mm，但 2017 年出现近 2 mm 的横向水平拉张；弹性模型下该断裂段的横向水平应变分量 ε_y 以挤压为主，年变幅度接近 10^{-5}，另外 2 个应变分量都在 10^{-6} 量级。昭通断裂龙树分支两盘近场的相对位移虽然变化小，但表现出与该断裂地质上活动一致的右旋走滑特征，位移速率量约 0.7 mm/yr；沿该分支断层走向的应变分量 ε_x 为挤压，量值在 2×10^{-6} 以内；垂直断层走向的应变分量 ε_y 表现为拉张为主。

针对位于国家地震科学实验场的2个新建实验观测场地，开展跨距为 1 km±、至少有 3 条测边的跨断层基线测量与分析实验，结果证明这种测量不仅可用于计算断层近场的位移，还可计算断层近场的应变，因此更适合地震前兆监测。

S43-P-04

斜向俯冲带与其上盘走滑断层相互作用：以苏门答腊俯冲带及印缅山脉区为例

郭来银[1]*，林间[2,3]

1 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055
2 南方科技大学海洋科学与工程系，深圳 518055
3 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301
* guoly@sustech.edu.cn

研究区中的苏门答腊俯冲带是活跃的俯冲带，由印度板块向亚欧板块俯冲形成，相对运动速率约为 44 毫米/年，自南向北依次减小。苏门答腊俯冲带北边的印缅山脉是否还存在俯冲带依然存在争论，但是观测的相对速率为 46 毫米/年。苏门答腊俯冲带上盘的苏门答腊大断层(Great Sumatra Fault)平行于海沟的速率为 10 毫米/年，印缅地区的实皆断层(Sagaing Fault)切向速率为 21 毫米/年。

本研究调研和汇编研究区断层的参数和局部构造应力的方向和大小，进一步分析历年来俯冲带大地震对于上覆板块的走滑断层的库伦应力影响。在方法上使用基于物理计算的库仑应力传递方法和数理统计模型联合预测地震的发生，该方法可以有效减少断层位置不准确而导致的结果不确定性，同时减少数理统计模型解释的物理原理不清晰性。

（1）走滑断层每一段上发生的地震其产生的静态应力变化和动态应力波动都可能影响其周边的断层演化，甚至影响俯冲带界面地震的发生。通过研究俯冲带上盘走滑断层的地震分布规律，探索走滑断层之间以及俯冲带与走滑断层之间的静态和动态触发问题。

（2）跃俯冲带和“死亡”俯冲带的不同地质条件下对上盘地震演化过程的影响，包括热结构和岩石圈构造、物质分布等性质，同时通过对比研究探索跃俯冲带和“死亡”俯冲带上盘走滑断层的地质及动力学问题。

通过系统对比研究活跃和死亡俯冲带上盘断层，可以加深对斜向俯冲带和上盘走滑断层的相互影响，尤其是研究区处于“一带一路”的核心区，本课题将为该地区的防震减灾做出贡献。

S43-P-05S

海洋地震远震 P 波尾波与三维海底地形变化的联系

臧翀[1]，倪四道[2]*

1 中国科学技术大学，地球和空间科学学院，合肥 230026

2 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院，大地测量与地球动力学国家重点实验室，武汉 430071

* sdni@whigg.ac.cn

全球数量众多的海洋地震缺少足够的近场观测资料，远震波形是研究这些事件的重要数据。观测发现海洋地震的远震直达 P 波之后经常存在复杂的尾波信号，可能会影响震源运动学反演结果及孕震机理解释。本研究测试发现一维平均地球模型或使用水柱近似算法（WCA）的三维地球模型常常不能很好解释这些尾波信号，而重点考虑震源区复杂三维结构特征的一维/三维混合算法能够较好地模拟尾波。远震 P 波强尾波信号的激发机制及其与震源区三维结构特征的关系尚未完全厘清。本研究以发生于马里亚纳俯冲带南端弧后张裂构造区的地震为例，通过定位测试、地形滤波等方式研究了其尾波信号与海底地形变化的关系。另一方面，本研究基于简单海底地形变化三维模型进行正演模拟，探索海底地形变化处尾波的激发机制，猜测震源激发的瑞雷面波在海底地形变化处的转换是可能的尾波激发机制之一。

S43-P-06S

月球热应力累积与浅源月震产生机理的关系的初步分析

陶莎[1,2]*，石耀霖[1,2]，朱伯靖[1,3,4]

1 中国科学院大学，北京 100049

2 中国科学院计算地球动力学重点实验室，北京 100049

3 中国科学院云南天文台，昆明 650216

4 中国科学院天文大科学研究中心，北京 100012

* taosha16@mails.ucas.ac.cn

阿波罗计划中布置在月表的月震台站八年间记录到丰富的月震数据，其中浅源月震发生次数较少，但震级要远大于其它天然月震，且具有很高的应力降。由于月球上并没有活跃的板块运动，对于浅源月震的发生机制也有不同的观点，尚无定论。本研究用参量化模型方法模拟了月球冷却历史，以此为基础，进一步计算了浅源月震区域近期的热应力累积速率以及长期应力松弛下累积至今的热应力。研究结果显示，在浅源月震区域，月球冷却收缩的热应力确可以对于浅源月震的发生做出可观的贡献：从热应力看，月球冷却收缩导致的热应力有可能成为浅源月震发生的背景构造应力；从能量来看，冷却收缩的热应力能在地质时间内长时间提供荷载，引起弹性能积累，最终以月震的形式释放积累的弹性能。本研究初步揭示了月球冷却收缩热应力与浅源月震产生机理间的关系，对未来的进一步深入研究具有一定的参考价值。通过对于月震的模拟计算研究可以帮助我们更好的理解月球内部结构，对我国未来进一步推进月球探测工程，建立月球基地有着重要意义。

S43-P-07S

俯冲带正断型地震的破裂过程研究—以 2009 年北安达曼海 Mw7.5 级地震为例

白起鹏[1]*，倪四道[2]

1 中国科学技术大学地球与空间科学学院，合肥 230026

2 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院，武汉 430077

* baiqp@mail.ustc.edu.cn

地震的破裂过程及相应的破裂模型是研究地震的发震成因、破裂动力学机制和探查活动断层等研究领域的重要基础。在地震实际应用中具有十分重要的作用，例如防震减灾、海啸预警和危险性评估等。大地震往往发生在构造变形较为活跃的地区，俯冲带就是其中的一个重要发震区，其发震类型多以逆冲型机制为主。2009 年 8 月 10 日在印度洋东北俯冲与欧亚板块的碰撞交界带（安达曼-苏门答腊俯冲带）发生了一次矩震级 Mw7.5 及的主正断型并伴有走滑机制的地震事件。此次事件还包含明显的非双力偶成分（Global CMT 目录给出的非双力偶成分占比为 61%），暗示其破裂过程具有复杂性，用简单平面断层破裂来解释不够准确。

本文通过地震学相关的分析方法，包括余震活动性情况，周边中强地震震源机制解，大地震多点源破裂过程以及有限断层滑移反演等研究 2009 年北安达曼地震的破裂过程，分析俯冲带正断型地震的破裂模型。研究表明主震周边余震分布空间上有南北分段现象，在 14℃ 附近以南余震深度比北侧余震分布深度浅。周边中强地震特别是较强的余震震源机制解表现为南侧分段走滑类型、北侧分段正断类型的不同。多点源结果表明 2009 年 Mw7.5 级北安达曼地震包含三次较强的子事件，这些子事件在不同的发震时间上震源机制逐渐变化。此外有限断层反演结果也支持地震此次地震破裂过程比较复杂，主要滑移分布在上覆增生楔变形区。

俯冲带浅源正断类型地震可以发生在倾斜板块汇聚地区，在转换拉张构造背景作用下主要滑移发生在上覆增生楔过渡变形区，进而诱发大洋地壳俯冲区的后续破裂形成主正断型伴有走滑机制的地震案例。安达曼—苏门答腊俯冲带由南至北俯冲角度逐渐增大及安达曼海的弧后扩张可能影响了此次地震破裂过程南北断层滑移分布不同。推断地震发震区构造变形复杂以及上覆增生楔破裂和后续二次破裂相互作用是导致此次地震具有明显非双力偶成分的主要成因。

S43-P-08

川滇地区中下地壳流对区域地壳变形及地震活动影响的数值模拟

孙云强[1]，罗纲[2]*

1 福建农林大学交通与土木工程学院，福州 350002

2 武汉大学测绘学院，武汉 430079

* gangluo66@gmail.com

川滇地区位于青藏高原东南缘，是印度板块与欧亚板块碰撞的强烈变形带。地形变观测资料显示该区域地壳运动呈顺时针旋转的趋势。相关研究表明该区域存在软弱的中下地壳，其运动速度快于脆性的上地壳形成中下地壳流。由于川滇地区地表形变及深部结构的复杂性，使得区域构造运动独特，强震频繁发生，是中国大陆最显著的强震活动区域之一和重点监视强震活动区。为了研究区域地震活动特点及中下地壳流对川滇地区地壳运动变形模式和区域地震活动的影响，本研究综合考虑了青藏高原东南缘主要的地质构造单元、断层带及其几何特征等因素，建立了区域的三维黏弹塑性有限元模型；并分别计算了模型在有无中下地壳流情况下的应力、应变场演化及断层系统的地震循环；探讨了中下地壳流对区域位移场、应力场、断层滑动速度及区域地震活动等的影响。模拟结果显示，模型在有中下地壳流情况下计算得到的震间速度场、应力场与实际观测得到的结果较为吻合，反映了青藏高原东南缘的深部地壳可能存在的动力学状态。进一步，我们模拟了区域断层系统的地震循环和地震序列的时空演化，得到研究区万年尺度的人工地震目录。我们通过计算人工合成的地震目录是否满足震级-频度关系（G-R关系）来验证合成地震目录的合理性；并基于合成的地震目录，计算分析了区域各断层上不同位置、不同震级地震的复发特征以及地震发生概率；对比分析了有无中下地壳流情况下区域断层系统的滑动速度及地震活动的时空分布特征。研究结果对区域地震中长期危险性评估提供参考；为基于物理的地震数值预报工作提供基础。

S43-P-09S

岷江断裂带与龙门山断裂带的相互作用及对区域地震活动性的影响

张航，柳畅*

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* changliuu@tongji.edu.cn

青藏高原东缘构造复杂、大震频发。1933 年 8 月 25 日在岷江断裂带上发生了 M7.5 级叠溪大地震；2008 年 5 月 12 日在龙门山断裂带上发生了 Mw7.9 级汶川大地震。这两次地震对当地均造成了重大的人员伤亡和社会经济损失。

地震的发生会影响周边区域的应力场变化和地震活动性。龙门山断裂带与岷江断裂带相距不到十几公里。但是到目前为止，这两条断裂带之间的相互作用所引起的应力场变化却未得到充分讨论。

本研究通过建立区域三维分层结构的粘弹性岩石圈模型，计算了 1933 年 M7.5 级叠溪地震引起的龙门山断裂带的库仑破裂应力变化，以及 2008 年汶川地震引起的岷江断裂带上的库仑破裂应力变化；并探讨不同的模型参数，如：地震破裂模型以及接受断层参数，对于计算结果的影响。在此基础上，综合判定 1933 年叠溪地震以及 2008 年汶川地震对岷江断裂带和龙门山断裂带的应力加/卸载作用，及对区域地震活动性的影响。

结果发现，岷江断裂带和龙门山断裂带的相互作用对区域的地震活动性产生了较大的影响。1933 年叠溪地震的发生增加了龙门山断裂带东北段的库伦应力，其最大应力值可达 110 kPa；而该地震对 2008 年汶川地震震源区的影响较小，其应力增加仅为 0.03 kPa，远远小于地震应力触发阈值 10 kPa，可以认为该地震的发生对于 2008 年汶川地震的触发作用微乎其微。而 2008 年汶川地震的发生则增加了岷江断裂带的库伦应力，在岷江断裂带的最南端的最大应力增加值

可达 200 kPa，远远高于地震应力触发阈值 10 kPa；可以认为 2008 年汶川地震在一定程度上增强了岷江断裂带南段的地震危险性。

S43-P-10S

2017 年精河 Ms6.6 地震前后地震活动性及发震断层研究

邱镛康，许才军*

1 武汉大学测绘学院，武汉 430079

* Yongkqiu@whu.edu.cn

北京时间 2017 年 8 月 9 日，新疆维吾尔自治区博尔塔拉州精河县境内发生 Ms 6.6 级地震。这次地震造成共造成 36 人受伤，直接经济经济损失达 40 亿元（阿力木江▪亚力昆等，2017），是该地区有地震记录以来发生的最强地震之一。

该地震发生之后，Zhang 等采用反投影技术建立了北倾断层模型的同震破裂过程（Zhang et al., 2019），但有的研究认为精河主震发震断层应为南倾断层。由于精河地震位于北天山西段的库松木楔克山前断裂（KPF）东段（陈建波等，2007）附近，许多学者认为南倾的 KPF 东段为主震发震断层（刘建明等，2017；白兰淑等，2017；徐治国等，2019；刘兆才等，2019），也有研究通过同震形变观测结果建立断层模型，认为发震断层应为主震北侧的一条盲断层（Gong et al., 2019；施贺青等，2019），何骁慧等通过区域地震波形确定断层破裂方向与破裂面，推测发震断层在地表出露位置，结合地质资料认为主震断层为南倾的精河南断层（何骁慧等，2020）。

精河地震主震断层难以判定，主要是由于区域构造复杂，主震并未破裂出地表，以及现有地震目录及记录到的余震数目有限，这些都限制了我们对此次地震的认识。在主震发生后的几天内，余震主要沿着主震破裂带发生，其时空演化有助于描绘主震断层面（Mori and Hartzell 1990; Yang et al., 2009；Liu et al., 2019）。因此详实准确的余震目录对于揭示孕震断层构造特征具有重要意义。

本研究首先对现有地震目录中 Ms >1.5 的余震利用双差定位算法进行了重定位，然后以重定位后的事件为模板，采用匹配定位算法（Match and Locate, 简称 M&L)(Zhang et al., 2015），对主震前后 5 天的连续地震波形进行扫描检测，以获得更丰富地震目录，并结合利用 gCAP 方法获得的主震与主要余震的震源机制对主震前、后的地震活动性与孕震断层进行研究。

通过对 2017 年精河 Ms6.6 级地震前后 5 天内微震的识别，本研究获得了 105 个前震和 948 个余震，极大丰富了地震目录。通过对结果的分析，认为 2017 精河 Ms6.6 地震为一次逆冲型地震，前震主要分布在凹凸体边缘，成核区域为主震西侧，成核模式符合“级联模型”。孕震断层位于库松木楔克山前断裂北侧，并且该断层在 10~12km 深度上发育出反冲断层，主震发生后，该反冲断层被激活，余震从断层的交汇区向两个断层面上传播。在关于 2017 年精河 Ms6.6 地震的研究中，本研究首次提出了反冲断层的影响，对于研究北天山与准葛尔盆地盆山过渡带西南角的构造背景具有重要的意义。

S43-P-11S

基于波形和极性的震源矩张量反演方法

徐妍妍 [1]*，温联星 [2]

1 中国科学技术大学地球和空间科学学院，合肥 230026

2 State University of New York at Stony Brook, New York 11794

* yanyanxu@mail.ustc.edu.cn

非双力偶成分是震源矩张量中非常重要的组成成分，但该成分还没有被很好地确定。我们提出了一个波形-极性震源矩张量反演方法，waveform-polarity moment tensor

(WPMT) source inversion method (WPMT)来精确确定地震台站记录到的各种事件（包括构造地震，火山事件，诱发地震，爆炸等）的震源矩张量。WPMT 方法以模拟退火的搜索方式快速地寻找能解释以下三种地震数据的最佳震源解：（1）初至 P 波的极性；（2）远震 P 波的波形；（3）长周期区域 P 波，Rayleigh 波，Love 波的波形和振幅。理论测试表明，极性数据的加入对于震源矩张量中的非双力偶成分有非常强的约束作用。而且模拟退火的搜索方式，使得震源反演速度得以大幅度提高。此外，对于源的设置，我们的方法中可以任意取 double couple (DC)，isotropic (ISO)，compensated-linear-vector-dipole (CLVD) 的遍历组合，其中 CLVD + ISO 源在以往的反演中是一直被忽略的。为了测试该方法的实用性，我们用这个方法研究了 2014-2015 年巴达本加（Bardarbunga）火山喷发期间的最大的一个冰岛事件，并准确确定了该事件的源的组成成分。结果表明，目标事件的源包含 35%的内爆成分和 65%的倾斜 CLVD 的成分。我们推断该目标事件的发生是由岩浆房的缩小和岩浆通道的塌陷导致的。WPMT 方法对于冰岛事件的成功应用，进一步证明了该方法的有效性和实用性。

S43-P-12S

地震定位和检测

张栓 [1]*，许才军 [1,2,3]

1 武汉大学测绘学院，武汉 430079
2 教育部地球空间环境与大地测量教育部重点实验室，武汉 430079
3 资源部地球物理大地测量重点实验室，武汉 430079
* 531107496@qq.com

地震是目前人类面临的主要自然灾害之一，因其具有较大的破坏性且难以准确预报等特点，往往给人类生命财产安全带来巨大威胁。如何开展好地震活动构造的研究、地震预报、地震救援、震后危险性评估等相关工作，不论是对地震学家还是对社会公众来说，尤其是破坏性的地震都是大家普遍关注的焦点问题。那么解决与地震相关的这些问题的关键就在于如何快速、精确的确定地震的发震时间和震源位置，即实现高精度的地震定位。

完成地震定位的前提是必须把一些地震事件检测出来，往往较大地震发生时，在短时间内会发生大量震级较小的余震，引发震群活动，不同地震事件的波形相互交叠，同时受背景噪声水平、记录仪器等多方面的影响，许多微弱的地震信号无法被识别，造成地震目录的遗漏，也不利于研究震例的特征及发震构造等。

地震定位和检测是地震学中的基本问题，但是高精度的地震定位和微地震的检测工作是极其重要而又十分具有挑战性的工作。对双差地震定位法（double-difference location）以及匹配定位（Match and Locate，简称 M&L 方法）原理进行阐述，并将方法应用于经典地震案例进行分析。

S43-P-13S

联合 GNSS 观测与地震目录数据的海原断裂带凹凸体分布确定

刘虎 [1]，温扬茂 [1,2,3]*，王晓航 [1]，许才军 [1,2,3]

1 武汉大学测绘学院，武汉 430079
2 地球空间环境与大地测量教育部重点实验室，武汉 430079
3 自然资源部地球物理大地测量重点实验室，武汉 430079
* ymwen@sgg.whu.edu.cn

凹凸体模型作为解释地震破裂模式的一种重要模型，对研究断层应力积累和地震起裂位置有着重要作用。低 b 值区域与高滑动亏损速率区域都是潜在凹凸体存在区域。合适的b值阈值和滑动亏损速率阈值可以作

为划分凹凸体的依据。在剔除强震干扰的前提下，两种方法获到的凹凸体在空间位置上高度重合。但由于这两种方法无法独立准确边界阈值，会导致凹凸体划分的结果不准确。

本文结合b值法和大地测量滑动亏损速率法，提出一种融合多源观测数据的精确凹凸体边界确定方法——双阈值搜索法。该方法融合地震目录数据和GNSS速度场，以b值法和滑动亏损速率法分别确定的对应凹凸体边界最相符为准则，通过区间搜索获得b值和震间滑动亏损速率的最优阈值组合，进而提取出凹凸体与其周围断层面的边界。以海原断裂带为例，基于1920年海原地震后的M>2.0级地震目录数据和1998-2018年的GNSS数据，采用双阈值搜索法确定了其凹凸体的现今分布特征，结果显示断裂带存在两个凹凸体：托莱山—冷龙岭断裂凹凸体和金强河—老虎山断裂凹凸体。其中，托莱山—冷龙岭断裂凹凸体深度为0-5.6 km，长度为111.5 km，几乎完全闭锁；金强河-老虎山断裂凹凸体深度为0-12.2 km，长度108.1 km，闭锁程度高（闭锁系数>0.8）。

S43-P-14S

Cerro Azul 火山的 InSAR 时间序列长期地表监测

郭倩*

1 武汉大学测绘学院，武汉 430079

* littleqian@whu.edu.cn

地表形变的观测对模拟火山活动形变源、推测内部岩浆动态具有重要意义，而在地面观测站缺乏的情况下，SAR卫星的大面积空间观测数据对于构建连续地表形变场具有极高价值。南美洲Galápagos群岛中的Cerro Azul火山在过去20余年中发生过3次大规模的火山喷发和形变活动，其活动具有一定的周期性。使用Sentinel-1A卫星长期观测SAR影像恢复的火山周边二维位移场时间序列进行大地测量建模，反演成果表明Cerro Azul火山口下方约5km处长期存在着扁平状上下开裂的矩形平台岩浆源，在储蓄释放岩浆、驱动火山内部活动并导致大面积的火山地表形变中起到主导作用，进一步的形变源张裂格网模型揭示了火山深部岩浆侵入的分布。平台状的形变源于火山活动间期从火山深层岩浆系统中接收缓慢匀速上涌的岩浆并储存，当火山进入活动期，内部压力增大，致使岩浆脱离该形变源，通过岩脉裂隙寻找更接近地表的岩浆囊继而从火山口喷出，或涌入大致同等深度的岩浆囊，碍于其深度并未喷出,而是引发地表的抬升活动。Cerro Azul火山过去两次大规模喷发和形变活动中，使用空间大地测量恢复的地表形变场推测形变源位置与形态均符合以上过程。

S43-P-15S

高频 GPS 用于分析 2015 年智利 Illapel Mw 8.3 地震震后早期形变

刘凯[1]*，温扬茂[2]，耿江辉[1]，潘元欣[1]

1 武汉大学，卫星导航定位技术研究中心，武汉 430079

2 武汉大学，测绘学院，武汉 430079

* whu_lk@whu.edu.cn

通常在大地震发生后的最初几个小时内会发生明显的震后变形，但是这种现象很难通过传统的大地测量技术（例如，静态GPS，InSAR等）来捕获。我们使用高频GPS分析了2015年Illapel Mw8.3地震事件发生后前三天地表的形变特征：显著的地表形变会在震后迅速发生，前两个小时的最大地表形变量达到2-3 cm，主震后6小时，12小时和24小时的最大累积位移分别为4.7 cm，6.1 cm和7.4 cm。在最初的12个小时内的总形变中，超过60％的位移发生在最初的4个小时内，而这在静态GPS时间序列很难体现出来。我们反演获得了在最初的几十个小时中，不断演变的余滑分布以及余震分布。高频GPS时间序列反演的余滑表明，在震

后早期，余滑迅速出现于震中附近，然后沿走向形成了三个主要余滑带，在空间上与同震滑动区相互补，同时两者的边界部分重叠。而余滑的时空演变与余震的发生位置高度吻合，表明早期余震可能是余震的主要驱动力，它控制了小规模的余震集中行为。

S43-P-16S

红河断裂带现今活动性分析

王君毅[1]，许才军[1,2]*，温扬茂[1,2]

1 武汉大学测绘学院，武汉 430079

2 武汉大学地球空间环境与大地测量教育部重点实验室，武汉 430079

* cjxu@sgg.whu.edu.cn

红河断裂带是川滇地区的重要活动边界断裂，了解其现今活动性对理解青藏高原东南缘的运动特征有着重要意义。本文利用最新 GPS 速度场，对研究区域进行块体划分以及断裂带的段落划分，再结合三维弹性块体模型对红河断裂带进行建模分析。本文在进行建模分析时，还考虑了红河断裂带近场断裂带的作用，包括无量山断裂带、楚雄—建水断裂带、小江断裂带和丽江—小金河断裂带。并对建模断层进行了分辨率检测，最终得到当前数据下的最佳模型，从而反演得到研究区域内各个块体的欧拉参数、内部永久应变量以及建模断裂带的活动参数。最后，结合反演结果，对现今红河断裂带不同段落的活动特性展开讨论，并得出结论：红河断裂带不再单独作为滇中块体的西南边界，而是与其左右两侧的无量山断裂带和楚雄—建水断裂带共同承担了边界断裂的作用。

S44-O-01

南海北部珠江口盆地第四纪海底滑坡特征及其触发海啸评估

孙启良[1]*，Joe Cartwright[2]，Tiago Alves[3]，王庆[1]，解习农[1]，鲁向阳[1]

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074

2. Department of Earth Sciences, University of Oxford, Oxford OX1 3AN, England, UK;

3. 3D Seismic Lab, School of Earth and Ocean Sciences, Cardiff University, Cardiff, UK;

* sunqiliang@cug.edu.cn

根据对大量的 2D/3D 地震资料、多波束资料和 ODP/IODP 钻井的整合解释，发现在南海北部珠江口盆地发育着一系列的海底滑坡（Mass transport deposits）。这些海底滑坡覆盖总面积约 11000 km^2，滑坡体的体积至少达 1035 km^3，从而使它们进入世界上大型海底滑坡行列。与别的大型海底滑坡不同，珠江口盆地的海底滑坡并不是直接起源于陆架区的三角洲沉积区。另外，更为特殊的是整个珠江口盆地是一个大型碎屑流沉积物通道。沉积物在整个陆坡被掏空（体积亏损），而在较深的洋盆地区沉积成碎屑流扇体。掏空区和沉积区仅通过一宽度约 13 km 的狭长通道相连。在陆坡区，根据滑坡的侵蚀底界面和滑坡内部的地震反射特征，可以划分出四期海底滑动；而在洋盆地区可以划分出两期海底滑坡。根据体积的相似性以及滑坡发生的年龄，洋盆区两期海底滑坡对应于陆坡区两次较新的海底滑坡。南海北部海底滑坡的发生主要受控于沉积建构以及游离气体的充注等。从老到新，珠江口盆地的海底滑坡呈现出退积式发育特征。本研究第一次系统的研究了该区域海底滑坡的形成期次、几何参数、敏感性参数以及重建了它们的形成过程。

在海底滑坡形成过程重建以及海底滑坡体积精确计算基础上，利用沉积和古水深数据，对海底滑坡发生时的古地貌进行了恢复并在此条件下模拟了海底滑坡触发的海啸。在海底滑坡发生时（约 0.59 Ma），古海岸线大概位于现今陆架波折带位置，即距离现今海岸线约 180-580 千米。虽然海底滑坡发生时，水深仍然较大（大于 1000 米）；

但是，快速的物质滑动以及巨大的滑动体积，仍然在古海岸线附近造成约23米高的海啸。并且，从海底滑坡发生到海啸传播至最近古海岸线所需的时间仅为5分钟。因此，类似海底滑坡（本研究中海底滑坡）所触发的海啸（在未来）一旦发生，必将会对海洋工程设施以及海岸带人民的生命和财产安全带来严重的威胁。

S44-O-02

西沙群岛宣德环礁东南部海底滑坡分布和沉积特征

刘刚[1]，王大伟[2]*，韩孝辉[1]，王微微[3]，吴时国[2]，龙根元[1]

1 海南省海洋地质资源与环境重点实验室，海南省海洋地质调查研究院，海口 570206
2 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000
3 中国石油大学（华东），青岛 266580
* wangdawei@sidsse.ac.com

利用地震沉积学与海底地貌学结合的分析方法，通过多道地震剖面和多波束水深数据，在西沙群岛宣德环礁东南部的海底，识别了总面积约200 km^{2}的海底滑坡群。滑坡Ⅰ，面积约151.8 km^2，形成了岛礁边缘到三沙海底峡谷的碎屑物质输运通道，大部分滑坡物质进入三沙海底峡谷，并流向深海盆地。滑坡Ⅱ，面积约14.9 km^2，碎屑物质主要沉积在深海平原上，没有进入三沙海底峡谷。海底滑坡的头部较陡，滑坡I坡度最大可达59.2°，滑坡II坡度最大可达45.5°；体部平缓，坡度0°-10°，滑坡II坡度相对滑坡I陡，局部台阶可达15°；滑坡Ⅰ直接汇入海底峡谷中，不发育趾部，这个特征与典型的海底滑坡结构特征有所不同；滑坡Ⅱ，存在趾部挤压特征。柱状岩芯的粒度分析和测年结果显示，滑坡Ⅱ的最新滑坡时间约为20 ky。宣德环礁东南部海底滑坡样式，有助于揭示岛礁周缘的海底斜坡失稳过程，为岛礁合理开发提供理论基础。

S44-O-03

南海宣德环礁东南斜坡区地质灾害类型及分布特征

陈梅[1,2,3]*，夏真[1,2,3]，刘文涛[1,2,3]，何健[1,2,3],马胜中[1,2,3]

1 广州海洋地质调查局，广州 510760
2 自然资源部海底矿产资源重点实验室，广州海洋地质调查局，广州 510075
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
* chenmei111@yeah.net

宣德环礁作为我国南海诸岛礁开发利用程度最高的岛屿之一，其周围海域地质灾害对岛礁基础工程建设及人类活动具有重大危害。为适应南海岛礁可持续发展的需要，本文采用广州海洋地质调查局2018年采集的单道地震数据，对宣德环礁东南部斜坡区120 km^{2}面积区域灾害地质因素进行综合解释和分析。结果表明研究区主要发育海底滑坡、海底陡坎、侵蚀沟谷和断层四类地质灾害。海底滑坡数量多、规模大小不一，是研究区主要灾害地质因素，断层、海底陡坎、侵蚀沟谷多为海底滑坡的伴生灾害。海底陡坎根据成因可分为礁体陡坎、滑坡陡坎和侵蚀陡坎三种类型，礁体陡坎为主要类型，延伸方向为北北东向。研究区构造环境相对稳定，陡峭地形、侵蚀作用及海平面变化是研究区地质灾害发育的主控因素。这些地质灾害对海洋工程建设及管线铺设均有不利的影响，应尽量避开。本文结果可以为宣德环礁及其东部海域的基础工程建设、灾害主动防御和经济可持续发展提供基础地质服务。

S44-O-04

巨型海底麻坑对流体活动及海底失稳研究的指示意义

鲁银涛*，许小勇，范国章，邵大力，杨涛涛，杨志力

1 中国石油杭州地质研究院，杭州 310023
* luyt_hz@petrochina.com.cn

天然气水合物的分解对气候变化十分敏感，释放的甲烷会产生强烈的温室效应，且比二氧化碳温室效应强二十多倍，是成为当前应对全球变暖的重大问题之一。只要温度上升或者压力减小，海底的天然气水合物都能分解释放甲烷。所以，研究地层流体活动，特别是与水合物相关的流体活动非常重要。但是，原位观测流体活动目前存在较大难度。首先需要选准观测靶区，期次需要大量的时间，再则对数据处理的要求较大，所以，目前对海底流体活动的原位观测比较局限。因此，间接研究地下流体活动显得尤为重要，特别是针对长期存在流体活动的地区，在海底寻找相关证据，对指示流体活动至关重要。

南海西北部深水区平均水深约 1200 m，在该深水区广泛发育巨型海底麻坑，在海底呈圆形、椭圆形和新月形，呈现复杂海底形态。这些圆形、椭圆形麻坑的直径可超过 6000 m，个别麻坑直径可达 7.5 km，长度可超过 8000 m；长条形的麻坑长轴长度范围在 1.5 km 至 12.8 km 之间。这些巨型麻坑的面积在 1 km^2 至 31.7 km^2 之间，比世界上其他地区发育的麻坑规模要大很多，且往往呈群簇状。这些麻坑造成了海底负地形，麻坑底部比周围海底低约 100 m，最深处达 223 m。

根据这些麻坑的形态和流体来源，可将这些麻坑分为点源型和线源型两类。点源型麻坑表现为圆形、椭圆形，其形成过程与下部地层中的点状流体来源有关，往往与火山有关；线源型表现为拉长形，其形成过程与下部地层中的断裂有关。这两类麻坑均发育复杂的内部结构，与全球发现的典型麻坑不同，普遍发育 2 个麻坑口，分别为中央麻坑口和次生麻坑口。基于其内部结构，分析其演化阶段可分为初始、成熟和休眠阶段。在海平面上升或者全球气候变化等因素变化时，水合物或者油气储层内的孔隙压力与静水压力之间的平衡被打破，导致水合物分解或油气储层内的流体溢出，形成海底麻坑。这些流体包括生物甲烷气和热成因甲烷气。长时间、多期次的流体溢出导致了麻坑内复杂的内部结构，也导致了这些麻坑往往发育 2 个及以上的麻坑口。

研究区内的巨型麻坑对研究甲烷排放具有重要意义，可通过麻坑来研究海底甲烷气体的逸散情况对周围环境的影响，而且可以根据麻坑的活动期次来判断地质时期内主要的水合物分解和甲烷气溢出事件，对研究全球气候变化和碳排放事件具有重大意义。而且麻坑通常发育在海底松散的细粒沉积物区，并伴随有较强的底流或潮流活动，容易诱发海底滑坡等地质灾害。分析麻坑的形成与演化，将有助于分析海底沉积物的稳定性，划分地质灾害风险区域；同时，了解垂向流体活动的触发机制，将有助于分析地下流体溢出的优势通道和优势区域，为进行温室气体溢出预警提供理论支持。

S44-O-05

Internal Solitary Waves Induced Deep-water Nepheloid Layers and Seafloor Geomorphic Changes on the Continental Slope of the Northern South China Sea

Zhuangcai Tian[1,2], Yonggang Jia[1,3]*, Jiangxin Chen[3,4], J. Paul Liu[5], Shaotong Zhang[1,3], Chunsheng Ji[1,3], Xiaolei Liu[1,3], Hongxian Shan[1,3], Xuefa Shi[3,6], Jiwei Tian[3,7]

1 Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Environment and Geological Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100

2 State Key Laboratory for Geomechanics and Deep Underground Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116

3 Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061

4 The Key Laboratory of Gas Hydrate, Ministry of Natural Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, 266071
5 Department of Marine, Earth and Atmospheric Sciences, North Carolina State University, Raleigh, NC, 27695, USA
6 Key Laboratory of Marine Sedimentology and Environmental Geology, First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong, 266061
7 Physical Oceanography Laboratory/CIMST, Ocean University of China, Qingdao 266100
* yonggang@ouc.edu.cn

Internal solitary waves (ISWs) can cause strong seafloor sediment resuspension and induce nepheloid layers in both shallow and deep-water environments. However, the roles of ISWs on the >1000 m deep sea sediment resuspension and seafloor geomorphic changes are still unclear. To answer the above question, in the Dongsha area of the northern South China Sea, we measured suspended particulate matter along with a section covering the entire continental slope between 300 and 2000 m water depths, together with high-resolution multibeam bathymetric data for examining geomorphic changes. The results indicate that, on the upper slope with water depth < 700 m, seafloor sediment was heavily disturbed and resuspended. We find ISWs could suspend seabed sediments and shape bedform at water depths < ~ 1000 m. The maximum water depth of sediment resuspension by ISWs is measured is found as deep as 1500 m. The distribution pattern of the seafloor surface sediments on the east of Dongsha continental slope (fine and silty sand in < 700 m water depth, clayey silt between 700-1500m, and silty clay >1500 m) also indicate they are mainly controlled and impacted by ISWs. The wave refraction theory could be applied to the upper slope, but sediment resuspension is related to the seabed topography on the lower slope. Our study show that the suspension and transport of sediment induced by episodic ISWs on the Dongsha slope of the northern South China Sea could shape the bedform and affect the sedimentary seabed geomorphology. This research will help to explain the impacts of the ISWs on the deep-water sediment resuspension and seafloor geopmorphic changes along with the continental slope in the margin sea.

S44-O-06

南海西部陆架海底滑坡及其海啸灾害评估

潘晓仪[1]，李琳琳[1,2]*，Nguyen Hong Phuong[3,4,5]，王大伟[6]

1 中山大学地球科学与工程学院，广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室，广州 510275
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519082
3 Institute of Geophysics, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet street, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam
4 Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology
5 IRD, Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, Unité Mixte Internationale de Modélisation Mathématique
6 中国科学院，深海科学与工程研究所，三亚 572000
* lilinlin3@mail.sysu.edu.cn

南海西缘断裂位于南海西部，形成于约65 Ma 的神狐运动，经历了两次构造事件：晚始新世的西卫运动和晚中新世的东沙运动，与红河—哀牢山断裂相连。红河断裂带的三个连续变形阶段包括：从开始到~38 Ma 的左旋运动；在 35.4~15.4 Ma 期间，滑动转为右行走滑；在 10.4~5.5 Ma 之后又变为左行运动，从 5.2 Ma 开始变为弱右行走滑。红河剪切带穿过整个莺歌海盆地沿着越南东

部边缘连续不断地向海延伸，其相邻的中建南盆地经历了三个构造演化阶段：走滑拉分—隆升—沉降，造成了与越南东部陆架近1000 m 的海底地形差异，形成平均坡度约10°的陡峭的大陆坡。与此同时，越南的东部海岸位于热带季风区，从高耸的腹地流入南海的山地河流众多。其中 Thu Bon 河口近海陆架上的全新世沉积速率非常高（10.1~124.5 cm/ka），为越南沿海陡峭陆架上的海底滑坡的形成提供了基本条件。

地震数据表明，在南海西部陡峭的大陆坡上发育了许多海底滑坡。在本研究中，我们根据当地的地质背景和沉积环境分析了这些滑坡潜在的触发机制，并评估了越南中南部（SCV）沿海地区的潜在海啸灾害。根据前人资料分析，我们认为海底滑坡触发机制可能有以下几点：在 SCV 沿海地区的地震活动、火山活动、陆坡上的气体溢出以及该地区的相对海平面变化。其中地震活动和火山活动与晚中新世的东沙运动有关，说明了构造运动对南海西部海底滑坡的形成具有一定的影响。

为了评估南海西部陆架海底滑坡潜在的海啸灾害影响，我们挑选了南海西缘断裂上的 4 个代表性的滑坡（体积范围 1-4 km^3，水深范围 300 m-1000 m），使用了 NHWAVE 和 FUNWAVE-TVD 两个数值模型来模拟海啸生成和传播过程，通过模拟其可变形滑动和刚性滑塌，对其进行海啸灾害评估。结果显示，海底滑坡在刚性滑塌的情况下形成的海啸波在源区最高可达到 20 m，但是其传播到越南东部沿海地区的速度比在可变形滑动的情况下较慢。在最坏情况下，海啸波在海底滑坡发生后约 25 分钟可传播至越南沿海人口密集城市，如 Quy Nhon(109.3°E,13.77°N)，Tuy Hoa(109.37°E, 13.08°N)和 Vung Ro Bay(109.43°E,12.86°N)，并且到达的海啸波可高达 5 m；约 10 h 后可传播至中国华南地区沿岸、菲律宾、马来西亚等地区。其值得关注的是，在所有模拟情况下，Vung Ro Bay 都会受到海啸波的袭击；同时由于海啸波传播的方向性，在最糟糕情况下到达菲律宾的海啸波波高可达到约 2.3 m，将会使菲律宾地区成为除了越南中部地区外受海啸威胁最严重的区域。本次研究我们通过量化海底滑坡的特征（体积、水深和滑坡体材料）并对其进行海啸波传播模拟，提出近岸海底地形对海啸波传播的影响，并将最终导致南海周源沿岸地区受到不同程度的海啸灾害威胁。

S44-O-07

低温环境下海底滑坡冲击管线模拟及评估

年廷凯[1]*，郭兴森[1]，郑德凤[2]，贾永刚[3]

1 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室，大连 116024

2 辽宁师范大学自然地理与空间信息科学重点实验室，大连 116029

3 中国海洋大学山东省海洋环境地质工程重点实验室，青岛 266100

* tknian@dlut.edu.cn

作为一种最常见的海洋地质灾害，海底滑坡已对国内外大量海底管缆系统等重要海洋工程设施造成了严重破坏，亟待深入开展海底滑坡—管线相互作用研究，尤其是考虑海底真实温度环境与天然海底滑坡体试样的流变特性。

首先，通过对南海北部陆坡区开展科学考察，在海底滑坡易发区获取了海底表层沉积物试样，开展低温环境下不同含水量海底滑坡体试样的流变学测试，基于 Herschel-Bulkley 模型，提出了海底滑坡低温—含水量耦合流变模型。

然后，基于雷诺相似准则，建立了一种满足海底滑坡流变模型适用范围的海底滑坡-管线相互作用模型尺寸与海底滑坡冲击速度确定方法，给出了海底滑坡—管线相互作用 CFD 模型的优化设计方案。

最后，基于海底滑坡低温—含水量耦合流变模型与 CFD 模型设计方法，发展了海底滑坡—管线相互作用 CFD 数值模型，揭示了低温环境影响下海底管线受滑坡冲击

的力学机制，建立了复杂条件下冲击力的评估公式，为深海管线工程的设计与防灾减灾提供参考依据。

S44-O-08

深海工程地质环境原位长期监测设备研发与应用

孙志文[1,2]，贾永刚[1,2]*，范智涵[1,2]，陈天[1,2]，孙中强[1,2]，李凯[1,2]

1 中国海洋大学环境科学与工程学院，青岛 266100

2 中国海洋大学山东省海洋环境地质工程重点实验室，青岛 266100

* yonggang@ouc.edu.cn

为避免深海海底地质灾害对海底工程造成危害，解决深海海底地质灾害监测预警的难题，我们研发了一套复杂深海工程地质原位长期监测系统。该系统通过监测深海海底沉积物的物理力学性质的变化，来实现对深海海底地质灾害的监测和预警。该系统主要包括通讯系统、控制系统、贯入系统、监测系统、供电系统。其中监测系统主要通过原位长期监测海底沉积物的电阻率、声学、孔压等的变化来获取海底沉积物的物理力学性质变化。其中通讯控制系统可以实现海底到海面，再到陆地的双向通讯和数据传输。其中供电系统通过独特设计的海水电池工艺，可以满足该系统在海底长期工作一年的电量需求。复杂深海工程地质原位长期监测系统已搭载“海洋地质六号”、“东方红三号”等科考船在南海进行了多次海试，获取了丰富的实测数据。复杂深海工程地质原位长期监测系统的成功研制将显著提升目前海洋工程地质原位长期观测的技术能力，解决复杂深海工程地质评价及地质灾害监测预警的技术难题。

S44-O-09

天然气水合物降压开采时海床沉降量及其影响因素

孙金*，吴时国

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000

* sunjin@idsse.ac.cn

为了计算天然气水合物降压开采过程中的海床沉降量，考虑了天然气水合物开采时水合物分解、气水两相渗流、多孔介质导热和传质传热、沉积物变形等多个物理场的耦合作用，采用考虑有效围压以及水合物饱和度影响的非线性 Duncan-Chang 模型描述水合物层的变形破坏特征，建立了天然气水合物降压开采过程中的渗流场—温度场—变形场三场耦合模型，并基于有限元法对水合物开采过程中的海床沉降量进行了计算，结果表明：水合物直井降压开采时的海床沉降主要是由水合物分解导致的水合物层模量和强度减弱以及水合物层的孔隙压力降低导致的，地层最大沉降位于开采井附近水合物层与上覆地层的界面处，而海床面处的沉降最大值则位于开采井处，井底压力为 7 MPa 时，开采 1500 天后的最大沉降量可达 0.590 m，随着开采时间的增加，海床沉降量及沉降区域也逐渐增大；海床沉降大小与井底压力、水合物层渗透率、初始切线弹性模量、水合物层厚度等因素有关，井底压力越小、水合物层厚度越大，海床沉降量越大；水合物层渗透率越高，地层孔隙压力耗散越快，同一开采时间内海床的沉降越明显；水合物层初始切线弹性模量越大，抗变形能力越强，海床沉降量越小。

S44-O-10

海底沉积物孔隙压力原位监测系统

陈天[1]，贾永刚[1,2]*，刘涛[1,2]

1 中国海洋大学山东省海洋环境地质工程重点实验室，青岛 266100
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061
* yonggang@ouc.edu.cn

海底沉积物的孔隙压力变化是深海地质灾害发育过程的关键参量，是国际深海科学与工程领域共同关心的热点与难点。海洋岩土工程中最突出的问题是海洋工程结构物处于远比陆地更严峻、更复杂、变化更迅速的环境荷载作用下，这种环境荷载作用会引起海底沉积物孔隙压力的响应，孔隙压力的不断累积会导致海床强度的降低，严重影响海洋工程结构物的稳定。本文开发了一种基于光纤光栅的海底沉积物孔隙压力原位长期监测系统，用于测量海洋动力作用引起的海床孔隙压力响应以及评估海床稳定性的变化过程。该系统是光纤传感技术在海底孔隙压力测量领域的首次应用，可在超过3500 m 的海水压力下工作，并已在青岛鳌山湾的近海区域和南海天然气水合物试采区等地点使用。本文描述了该系统的结构组成及其测量过程，并介绍了系统的实际应用和现场数据。该系统的开发不仅具有重要的科学价值，对于我国海底地质灾害监测预警和海洋工程建设的安全运行也具有重要意义。

S44-O-11

1918 南澳地震海啸模拟及其警示

李发淳[1]，李琳琳[1,2]*，邱强[3]，李志刚[1,2]

1 中山大学地球科学与工程学院，广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室，珠海 519082
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519082
3 中国科学院南海海洋研究所，广州 510301
* lilinlin3@mail.sysu.edu.cn

1918 年 2 月 13 日发生华南沿海南澳岛附近的 M 7.5 级地震是南海北部少数几个伴有海啸发生的地震之一，也是 20 世纪中国南海近海唯一伴有海啸发生的地震。历史文献中明确记载了地震发生后福建和广东省沿海出现的一些海啸现象，例如在潮汕与闽南地区的海岸线出现海潮退而复涨，渔船搁浅的异常现象。本研究基于历史文献资料、震后调查和对该地震发生区域最新的地球物理探测，约束震源构造滨海断裂带的参数（走向、倾角等），应用 COMCOT 模型对该地震事件引发的海啸影响进行复演。由于断层几何参数仍存在较大不确定性，我们通过系列数值模拟实验，对不同的断层走向（55 ℃70 °）和断层倾角（45 ℃60 ℃75 ℃85 °）进行敏感性分析。模拟结果发现，在断层走向为 70 °，倾角为 75 ℃的情况下，海啸波在 30 min 以内即可传播到南澳岛及汕头沿海，产生的最大波高分别为 2.6 m 和 1 m 左右，到达香港和福建泉州沿海的时间分别为 5.5 小时和 6 小时左右。此外，滨海断裂带震源的走向和倾角参数对海啸波的到达时间及最大波波高具有明显的影响，其中随着倾角的增大，到达南澳岛的时间和最大波波高都会随之增大，变化范围为 20-30 min 和 1.3-2.8 m 左右，而走向对海啸波影响范围有较大影响。在所有的计算工况中，最大海啸波均分布在南澳岛东部和南部。大陆沿海地区福建省漳州市沿海受海啸影响最严重，而地处南澳岛后方的潮州虽震感较强但受海啸影响较小。基于以上分析，结合华南沿海滨海断裂带的地质构造背景和历史地震信息，我们认为滨海断裂带具备触发局地海啸的潜力，而地震断层参数对其触发海啸能力影响较大。因此亟需对滨海断裂带活动断层精细结构进行系统探测，为科学评估地震和海啸灾害提供数据约束。

S44-O-12

深水陆坡区海底峡谷地质灾害特征—以荔湾 3-1 气田管道路由区为例

孙悦[1,2]，王大伟[1,2,3]*，曾凡长[1,2]，吴时国[1,2,3]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，三亚 572000
2 中国科学院大学，北京 100049
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519000
* wangdawei@idsse.ac.cn

深水海底峡谷是海洋地质灾害的高发区域，其内部在重力流事件的主导下，产生复杂多样的微地貌，成为海底地质灾害的潜在因素。为探究荔湾 3-1 气田管道路由区潜在地质灾害特征。基于自主式水下航行器（Autonomous Underwater Vehicle, AUV）采集的高分辨率多波束和浅地层剖面数据，对该区域峡谷内部的多种微地貌特征进行分析，识别可能危害海底管道的地质灾害类型，探讨其成因机制。结果表明，峡谷上游主要发育滑坡和侧翼垮塌，以侵蚀作用为主，产生深切水道等微地貌；下游以块体搬运沉积和浊流沉积为主，沉积作用占主导地位，发育有冲坑和冲沟。沿峡谷中泓线，7 个浊流底形的波长和不对称性逐渐变大，主要归因于坡度下降引发的浊流流速减缓和沉积物沉降。峡谷中部，地形局限效应丧失使浊流底形平面形态从小变大，并在峡谷尾部产生平行冲沟。研究结果不仅对该区域地质灾害问题的调查具有实际应用价值，还对峡谷微地貌研究具有一定的科学意义。

S44-P-01S

琼东南盆地海底峡谷内部冲沟刻画及成因机制探讨

曾凡长[1,2]，王大伟[1,2,3]*，孙悦[1,2]，吴时国[1,2,3]，朱友生[4]

1 中国科学院大学，北京 100049
2 中国科学院深海科学与工程研究所深海地球物理与资源研究室，三亚 572000
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519000
4 中国油田服务有限公司，天津 300459
* wangdawei@idsse.ac.cn

海底冲沟是重力流形成的一种常见海底地貌，广泛分布于大陆坡、碳酸盐台地等高陡地形边缘。在长期的大陆边缘演化中，冲沟起着关键作用，是沉积物搬运的最小尺度通道，可以称为深水沉积系统的“毛细血管”。本研究基于 AUV 采集的高精度多波束数据。采用水文分析方法，刻画了琼东南盆地海底峡谷内部冲沟网络，分析了海底峡谷内部冲沟的分布特征，讨论了重力流对海底峡谷内部冲沟网络演化的影响。结果表明，在研究区共发育了 2975 条冲沟，根据 Strahler（1957）的支流分级方法将冲沟网络分为 6 个流级。冲沟主要分布在坡度较大的区域，根据冲沟的平面形态划分，将冲沟分为树枝状“边缘沟”和羽毛状“趾沟”。琼东南盆地峡谷内部冲沟的发育演化主要受重力流演化控制，同时受地形因素、海平面变化、洋流活动、气候变化等因素制约。本研究结果有助于进一步提高对琼东南盆地海底峡谷内部重力流沉积规律的认识，以及对海底峡谷内部地质灾害评估与海洋工程风险规避具有一定的现实意义。

S44-P-02

福建外海域滨海断裂带地质构造特征

杜文波*，黄文凯，蔡观强

1 广州海洋地质调查局，广州 510760
* 328994037@qq.com

南海北部陆缘滨海断裂带大致与华南海岸线平行，沿水深线 30～50 m 展布，是一条规模巨大特征明显的断裂带。断裂带北起福建东引岛和海坛岛外，呈 NE-SW 向贯穿台湾海峡，继续向西南经广东的南澎列岛，

延伸至海南岛东部海域，长达上千公里。前人研究结果表明，滨海断裂带在不同区段（福建外海段、汕头外海段、汕尾段、珠江口段和阳江段）表现出差异性构造特征，确切位置尚不明确，其基本地质构造特征仍需进一步的研究。本文通过广州海洋地质调查局最新采集的重力、磁力和高分辨率单道地震资料对福建外海域滨海断裂带地质构造特征进行精细的描述，揭示了福建外海域滨海断裂带的详细位置、平面展布和基本构造特征，对该地区开展防震减灾工作和了解南海北部的构造演化具有重要意义。

1 重、磁异常特征

通过福建海域东部的重磁异常研究发现，在滨海断裂带以东，布格重力异常为正，变化幅度不大，大于 40×10-5 ms^{-2} 或小于 30×10-5 ms^{-2} 的异常形成了闭合圈，呈串珠状分布，走向基本为北东，与滨海断裂带大体吻合。在滨海断裂带以西的福建东南沿海地区，布格重力异常为负，并形成负异常的梯度带，均呈 NE 向展布，与大陆海岸带走向一致。滨海断裂带东、西两侧重力异常的正、负变化，表明两侧地壳厚度存在明显差异。而在磁异常方面，沿滨海断裂带是一些线性磁异常带或串珠状异常带，磁异常带宽数千米到十余千米，延伸数百千米，贯穿整个台湾海峡，断裂两侧的磁场特征明显不同。断裂西侧为正负异常交替的波状磁异常区，波长短、梯度大，估计是前中生代的弱磁性变质岩或中生代的弱磁性火山岩的反映。断裂东侧为宽缓变化的磁场区，磁异常波长较大，形状简单，以单调、平缓为主要特征，具有大型中、新生代盆地的磁场特征。

2 地震剖面特征

根据研究区地震剖面显示，滨海断裂带向 SE 缓倾，其 NW 侧（断裂下盘）为基底高（隆起）部位，SE 侧（断裂下盘）为基底低（坳陷）部位，为一条正断层。地震剖面上断距较大，垂直断距约 25 ms（双程走时），水平断距约 200 m。断裂向下错断了新生代沉积基底（Rg），向上错断了晚更新统的顶界（R2）。滨海断裂带局部发育走滑构造。构造样式为小规模的花状构造，地震剖面揭示，该花状构造由一组凹面朝上的分支正断层组成，为负花状构造。该花状构造由 4 条分支断层组成，其中向 NW 倾 2 条，向 SE 倾 2 条。该花状构造两侧分支正断层凹面朝上，因此为负花状构造。该花状构造 NW 侧部位为主断层，产状较陡，其分支断层均发育在相对较浅的层位。该花状构造大部分正断层向下错断较深地层，向上均至 R2 地震反射界面终止错段，说明其形成时间较晚。分支断层间距小，断距小；断层上缓下陡，由于地震穿透较浅，主断层向下的产状不清楚。

在不同的 NW 向单道地震剖面上，滨海断裂带断层面倾角略有差异，有时还表现为两组或多组断裂的组合样式，或者表现为地堑构造样式。值得注意的是，这些地堑构造的边界断裂大多是沿早期岩浆上涌通道的边缘形成的。这可能意味着在这些岩浆活动停止之后该区仍然有伸展运动的发生，而岩浆活动的上涌通道或许为早期的断裂之所在。

3 平面展布特征

根据这些地震剖面，通过平面上的构造组合和综合解释研究，我们获得了研究区滨海断裂带的平面展布特征。整体上，滨海断裂带在研究区内仍为平行海岸的 NE 走向，在中部依次被 NW 走向的仙游沧溪—湄洲岛活动断裂、永安—晋江断裂、九龙江下游断裂带及其东延段，错动距离可达数千米。此外，从 NE、NW 向的上述剖面上不难看出，这些断裂系主要受基底构造的控制，大多断距较小，穿透深度较浅，但未能切穿海底，表明这些断裂近期未发生活动。考虑到研究区在大地构造位置上处于板块挤压边界的后缘，滨海断裂带可能只在早期陆缘伸张张裂阶段活动；而在晚中新世末期至上新世初期，菲律宾海板块上的吕宋岛弧与华南陆缘发生碰撞，导致该区应力场由伸展转为挤压，这些张性断层停止活动。

S44-P-03

南海北部天然气水合物形成分解与海底滑坡时序关系研究

吴学敏[1,2]*

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，广州 510740
2 中国地质调查局天然气水合物工程技术中心，广州 510740
* wxm9211@163.com

在我国南海北部陆坡区蕴含丰富的天然气水合物资源，而作为灾害地质因素之一，天然气水合物受温度、压力及构造条件变化的影响，其赋存状态将发生改变，可能导致地层承载力的不均匀，引发海底滑坡。根据天然气水合物与海底滑坡之间的时序关系，可划分出水合物前滑坡、水合物后滑坡和同水合物滑坡三类。①水合物前滑坡在剖面上显示水合物可能发育于具有封堵作用的滑移面处，也可能发育于快速堆积的滑塌体内部，为天然气水合物的形成提供了良好的气源以及温压条件。②水合物后滑坡产生的直接原因即为水合物的分解，在地震剖面上能显示出水合物的残存特征，即似海底反射层（BSR）沿滑移面断续分布。③同水合物滑坡是指水合物形成过程与滑坡的发生过程是同期的，即海底滑坡的发生为水合物成藏提供了有利条件，此类滑坡如果不再活动，水合物矿藏将得到保存，若后期活动，则可能造成破坏。

天然气水合物与海底滑坡一直处于一个动态的发展过程中。古海底滑坡结束之后，气源在断层或者气烟囱的垂直运移以及不整合面等的横向运移作用下，在合适的温压条件下达到水合物的稳定初始状态，形成BSR。在新构造运动影响下，会导致新一期的滑坡或者水合物的分解，而新一期的滑坡也会破坏水合物的温压条件致使水合物分解，滑坡结束以后，水合物又再次发育。

S44-P-04S

不同环境因素控制下的海岸沙丘高程研究

何岩雨[1]，蔡锋[2]，刘建辉[2]*，戚洪帅[2]，李柏良[3]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100
2 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361005
3 西交利物浦大学，苏州 215024
* liujianhui@tio.org.cn

海岸沙丘是抵御海岸侵蚀的天然防线，尤其在全球海平面上升和极端风暴事件频发背景下，海岸前缘沙丘对海岸带的柔性防护作用成效显著。由于自然和人为因素干扰，多数沙丘呈退化甚至灭失状态，亟需开展修复和养护措施。高程是沙丘修复的关键参数，目前尚缺乏针对性的参考依据或规范。本文从地貌形态学角度出发，通过福建沿岸自然海岸沙丘-海滩地貌调查，结合区域物源供给以及风况、波况、潮汐等动力数据，分析不同背景环境下的海岸沙丘高程分布特征，厘清沙丘高程与地貌因子（海滩类型、宽度、坡度与沉积物粒度等）、动力因子（风况、波况、潮汐等）间的统计学关系，探讨不同背景环境下的沙丘高程确定依据，进而为海岸沙丘修复工程提供参考和借鉴。

S44-P-05

南海中建南盆地岩浆侵入相关的海底圆丘研究

耿明会[1,2]*，宋海斌[3]，关永贤[1,2]，陈江欣[4,5]，张如伟[1,2]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，广州 510760
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
3 同济大学海洋和地球科学学院，上海 200092
4 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071
5 青岛国家海洋科学与技术实验室，青岛 266071

* gengminghui5591788@163.com

岩浆活动在南海沉积盆地内广泛分布。广州海洋地质调查局近年来在南海西部采集的地震和多波束数据显示，中建南盆地东北部发育 42 个侵入岩浆相关的大型圆丘。这些圆丘位于 2312 m 到 2870 m 水深之间，主要分布在盆地中央坳陷边界附近，通常和岩浆火山以及大型海山伴生。圆丘一般呈圆形或拉长形，也有极个别呈不规则形状，周长在3~26 km之间，高仅数十米到一百多米，因此侧壁倾角较小，仅 1.46°~7.73°。地震剖面显示，圆丘下方和强迫褶皱、岩床等结构特征相连，揭示了这些大型圆丘的形成同地层内的岩浆侵入活动相关。岩浆侵入到盆地中央坳陷有机质丰富的沉积地层中，加热围岩，释放出碳氢化合物，连同岩浆蒸汽一起聚集、导致上方地层隆起，形成强迫褶皱，在海底表面表现为大型圆丘。这种岩床—褶皱—圆丘构造一方面对了解侵入岩浆引起的地形特征具有重要意义，同时也为中建南盆地油气资源提供了指示性意义。

S44-P-06S

海底沉积物孔隙压力原位长期观测技术回顾和展望

陈天[1]，贾永刚[1,2]*，刘涛[1,2]

1 中国海洋大学山东省海洋环境地质工程重点实验室，青岛 266100

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

* yonggang@ouc.edu.cn

我国在海底探测、监测技术领域起步较晚，在海底沉积物孔隙压力原位长期观测技术方面几乎空白，严重制约我国认识海洋、探测海洋、开发海洋的进程。国际上海底沉积物孔隙压力观测技术从上世纪 60 年代开始逐渐发展，现已形成了系列核心技术和成熟的商业化产品，已被应用于密西西比三角洲、尼日尔三角洲、马德拉群岛等多地展开科学研究调查和海洋工程应用，取得了丰硕的成果。而国内同类技术当前还处于起步阶段，发展很不成熟，并且无国产商业化产品在售，观测设备以进口为主，严重制约了我国海洋工程产业发展的步伐。准确获取海底沉积物孔隙压力的动态变化，事关国家深海资源开发、科学研究及军事安全。本文回顾国际上针对海底沉积物孔隙压力原位长期观测技术的发展情况以及取得的主要进展，介绍我国在该领域开展的研究工作以及孔隙压力原位长期观测系统的研发情况，并展望未来在国家重大海洋工程建设的前沿科学问题牵引下，我国自主研发海底沉积物孔隙压力原位长期观测技术的发展方向。

S44-P-07S

深海水合物开采诱发的区域工程地质稳定性研究

宋晓帅[1]，孙志文[1]，单红仙[1,2]，贾永刚[1,2]*

1 中国海洋大学，山东省海洋环境地质工程重点实验室，青岛 266100

2 海洋国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

* yonggang@ouc.edu.cn

深海天然气水合物储量大、污染少、能量效率高，具有大规模开发潜力和广阔应用前景。随着天然气水合物试验性开采活动的日益增多，包括深海海底滑坡在内的区域工程地质稳定性问题受到越来越多的关注。研究发现，天然气水合物的开采活动会影响约 300 公里范围的工程地质稳定性。早在 8200 年前，挪威西海岸就发生过震惊世界的 Storegga 海底滑坡，该滑坡影响面积约 95000 km^2，滑坡体积约 3500 km^3，滑移距离约 810 km，引发海啸爬高 80 m，海啸涌入冰岛 80 km，而其平均坡度仅为 0.6-0.7°。曾有多名学者对该滑坡进行了研究，其触发因素极有可能是天然气水合物的长期分解作用所致。

针对我国南海天然气水合物开采是否会诱发区域性滑坡体失稳，是值得深入研究的课题。我们拟采用现场原位调查及观测、室内物理模型试验和数值计算的研究方法，以天然气水合物试采区为中心，对其区域地壳稳定性、深海斜坡体失稳破坏、海洋水体生态环境灾害等三个方面进行研究，其重点聚焦如下：1）通过高分辨率海底浅层地震探测、多波束海底三维地形测量等，分析活断层和地震等内动力地质作用的发育规律，对区域地壳稳定性进行分区评价；2）通过海底沉积物原位测试、深海沉积物取样的室内土工试验，分析海底沉积物的物理、力学性质，对深海底斜坡体进行失稳破坏预测研究；3）通过海底水文生态要素观测与各项分析，结合数值模拟方法，揭示深海水合物开采诱发的海洋生态环境变化，及海底地震、滑坡诱发的浊流、海啸过程及其演变规律。并在以上研究基础上，探讨天然气水合物开采影响范围内的区域工程地质稳定性及生态环境效应研究。

S46-O-01

内陆架泥区动态及其资源环境生态效应：东海海底观测网数据采集需求

高抒*

1 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210023

* shugao@nju.edu.cn

东海是典型的宽广陆架，且长江输入的细颗粒沉积物在内陆架水域形成了大规模泥质沉积区。内陆架泥区为海洋浮游植物提供了丰富的营养物质，所形成的生态系统支撑了长江口三个渔场的渔业资源。另一方面，藻类暴发也造成低氧现象，它具有多种环境和生态效应，如低氧对于鱼类和底栖动物可有负面影响，低氧区的规模、形成周期和空间位置稳定性是氧碳循环的影响因素，而底部缺氧提高颗粒态有机质堆积、进而形成据开发价值的天然气资源。为了弄清泥区-低氧-生物生产-氧碳循环关系，亟需长周期、高分辨率的底部水层营养物、悬沙、温盐度、溶解氧、水流湍动数据。泥区对于风暴浪能量耗散过程可能有着超越底部摩擦效应的作用，它可与硬质海堤、海岸盐沼湿地和生物礁一起构建未来海岸防护的屏障，而泥区消浪过程的研究需要近底部边界层的连续观测数据。东海立体综合科学观测系统需在这些方面构建和提升数据采集能力。

S46-O-02

亚洲大陆边缘海底峡谷的形态展布及控制因素

韩喜彬[1,2]*，王雁冰[1,2,3]，胡智龙[1,2,3]，赵宁[1,2,3]

1 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

3 山东科技大学测绘科学与工程学院，青岛 266590

* hanxibin@sio.org.cn

海底峡谷是亚洲大陆边缘最为显著的地貌单元之一。为进一步了解亚洲大陆边缘海底峡谷的展布特征及控制因素，基于其周边海域的 SRTM15_Plus 水深数据，利用水文分析方法，共识别出 531 条海底峡谷，其中 239 条直线型海底峡谷，217 条树枝型海底峡谷，75 条蛇曲型海底峡谷。对亚洲大陆边缘分三个海域进行研究，其中在东北海域识别出245条海底峡谷，形态以直线型为主，以近 W-E 与 SEE-NWW 走向为主；在东南海域识别出 235 条海底峡谷，形态以树枝型为主，在南海以近 NW-SE 走向为主，在苏门答腊岛附近以 NNE-SSW 走向为主；在西南海域识别出 51 条海底峡谷，形态以直线型为主，走向近 NE-SW。结合区域地质构造资料分析，影响直线型海底峡谷分布和形成的主要因素为断裂活动，影响蛇曲型海底峡谷分布和形成的主要因素为褶皱构造，影响树枝型海底峡谷分布和形成的主要因素为

地震与火山活动影响下的浊流侵蚀作用。构造活动与海底流侵蚀沉积作用，单一或共同作用于峡谷自身的演化，且由断裂活动形成的直线型峡谷在褶皱等构造作用与浊流侵蚀作用下，按直-蛇-树或直-树的形态进行演化。

S46-O-03

大陆岛入海沉积物通量的估算研究

李高聪 [1,2]*，蔡廷禄 [3]，李志强 [1,2]，高抒 [4]

1 广东海洋大学海洋技术系，湛江 524088
2 广东省海洋遥感与信息技术工程技术中心，湛江 524088
3 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
4 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200062
* gcli@gdou.edu.cn

大陆岛入海沉积物通量（Qs）信息对于精确解译大陆架沉积记录的研究是个重要补充。针对如何估算大陆岛 Qs 的科学问题，本文以中国东南部海域的 8227 个大陆岛为例，提出了一种基于邻近大陆中小型河流 Qs 的经验公式计算大陆岛 Qs 的解决方案。该方案在实施时需设置两个假定，即大陆岛的 Qs 法则遵循邻近大陆中小河流的 Qs 法则和可将 1 个大陆岛当作 1 个河流流域计算其 Qs。结果表明：（1）经验公式计算的大陆岛 Qs 为其最小估计值；如考虑大陆岛流域的具体情况，实际的 Qs 值会轻微提高，但其增幅不超过 n0.13（n 为流域数量）；（2）经验公式能获取大陆岛 Qs 的大致数量级信息；大陆岛的总面积为 4418.49 km2，对应 Qs 的数量级为 106 t/yr，与邻近大陆 1 条中小型河流的数量级相当；（3）在大河河口湾充填阶段完成以前，大陆岛沉积物是内陆架泥质沉积体的主要物源之一。因此，大陆岛入海沉积物会对大陆架沉积体系的形成和演化造成一定程度的影响，需引起研究人员的高度重视。

S46-O-04

Hypoxic effects on the Radiocarbon in DIC of the ECS subsurface water

范代读 [1]*，王兴麟 [2]，黄尉人 [3]，吴伊婧 [1]，苏建锋 [1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 台湾大学地球科学系，台北
3 台湾中山大学海洋系，高雄 200092
* ddfan@tongji.edu.cn

The East China Sea (ECS) features the largest continental shelf in the northwest Pacific Ocean, receiving 924 km^3 freshwater annually from the Changjiang (Yangtze) River (CR), which accounts for 90% of the total freshwater input to the ECS. Thus, the Changjiang dilute water (salinity less than 31 psu) exerts a great effect on the physical and chemical structure of the ECS shelf. The Kuroshio Current (KC), the largest warm current in the northwestern Pacific, also plays an important role in hypoxic development at the ECS inner shelf. The upwelling of KC subsurface water off northeastern Taiwan is constant throughout the winter, but it also occurs during the summer when the path of typhoon provides favorable wind directions. While the KC branches out at the shelf break, the Kuroshio Branch Currents (KBC) then intrudes into the ECS, and the path of KBC bottom water can be traced near the ECS inner shelf, and even up to 32℃N enhanced by typhoons. The KBC exhibits lower temperature and higher salinity and establishes water stratification quickly when it meets with the Changjiang dilute water. In addition, it also brings large amount of nutrients from the main KC subsurface water onto the ECS shelf and significantly influences the primary

productions in the ECS. Thus, the northward movement of the KBC subsurface water on the ECS shelf is likely the anchoring factor for the location of the hypoxia off the Changjiang Estuary.

In this study, we use the radiocarbon content in dissolved inorganic carbon (DIC) to trace the movement of the Changjiang dilute water and the KBC subsurface water and their interactions off the Changjiang Estuary. Here we report the oceanographic data during the survey in July 2017 and measurements of total DIC concentration and the dual carbon isotopic compositions ($\Delta^{14}C$ vs. $\delta^{13}C$) of DIC in water samples from selected nine stations. In addition to sources identification and currents movements, factors affecting $\Delta^{14}C$ and $\delta^{13}C$, such as physical mixing processes and biological activities, in the ECS shelf waters are also discussed.

The $\Delta^{14}C$ values (28.8 ‰ - 35.3 ‰) from the ECS mid-shelf water were comparable to the reported value from the Kuroshio Current (KC) at the continental slope (34.4±7.4‰), but $\Delta^{14}C$ values in the CR (-173.6‰ & -162.3‰) were substantially lower than observations made in 2014. We also found that the $\Delta^{14}C$ of DIC in the bottom waters along the inner shelf, including hypoxic area, decreased from 25.0‰ to 18.5‰, from south to north. Water masses mixing between the CR and the ECS mid-shelf waters with and without organic carbon degradation can be identified in plots of $\Delta^{14}C$ vs. DIC^{-1}. With simple mixing calculations, we show that the northward decreasing $\Delta^{14}C$ of inner shelf bottom water is caused by downward transport of DIC with low $\Delta^{14}C$ value mediated by biological process from the surface, as opposed to simple physical mixing.

S46-O-05

现代黄河三角洲前缘重力沉积叠覆体演化及其对海底观测的启示

刘世昊[1]*，丰爱平[2,3]，高抒[1]，汪亚平[1]，贾建军[1]，于永贵[2]

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241

2 自然资源部第一海洋研究所，青岛 266061

3 自然资源部海岛研究中心，平潭 350400

* shliu@sklec.ecnu.edu.cn

陆架重力流是沉积物与有机质重要的跨陆架输运机制，在三角洲与陆架斜坡的演化进程中扮演重要角色。在海底观测科学飞速发展的同时，三角洲前缘重力沉积体的高时-空分辨率演化观测（相比于海底峡谷）却相对匮乏。现代黄河水下三角洲是研究三角洲前缘重力流沉积演化的天然实验室：一方面，高浓度入海水体导致异重流频发；另一方面，潮流切变锋阻碍了沉积物向外扩散，催生了陡峭的水下斜坡，亦促使三角洲前缘再悬浮与滑塌导致的浊流频发。前人研究多认为上述过程发生于 1976 年以来的最新叶瓣上。通过高覆盖浅地层剖面资料，结合历史水深资料限制地层年代框架，我们发现上述过程亦广泛发育于水下三角洲的其他区域。具体而言，我们识别了两套覆盖于早期（1964 前）S 型三角洲斜坡体底积层之上的额外的地震单元；通过与地形变化对比，我们发现下部单元形成于叶瓣活跃期（1964-1976），是水下三角洲整体进积的产物，上部单元则形成于叶瓣废弃期（1976 以来），是水下三角洲侵顶淤底的产物；两者可能分别由异重流堆积和再悬浮或滑塌引导的浊积主导。地震地貌学显示两者广泛发育于三角洲前缘且共同构成了平行海岸的狭长楔形体，几何形态高度类似于深水扇。该楔形体占早期水下三角洲斜坡体约 1/3 体积，相当于重力流促成了水下三角洲高达 25 km 的额外海向生长。在重力流楔形体的陆缘，发育大量长约 5 至 10 km、宽 1 km 以内的水

下沟谷，是三角洲前缘重力流现实向海物质输运的通道，也是辅助重力流堆积解译的关键证据。该重力流楔形体呈沿海岸狭长的几何形态广泛发育于三角洲前缘各个区域，且沿海岸方向未见叶瓣堆叠结构，相反侧向表现为平行-亚平行层理，指示舌型体，均表明该重力流楔形体的演化可不受尾闾位置与异重流的控制（后者常被认定为三角洲前缘重力堆积主要来源）；相反，沿岸潮余流输运与沉积物再分配可能是相应的控制因素。此研究细化了三角洲前缘重力异重流、浊流堆叠的演化机制，但多止步于定性描述，高时-空分辨率的海底观测将是定量研究的重要补充。

S46-O-06

台风条件下浮泥形成过程

唐杰平*

1 广东海洋大学电子与信息工程学院，湛江 524088

* jieping_tang@hotmail.com

台风及其产生的强浪对浅海区域沉积物运输、底床泥沙起动具有十分显著的影响。通过在长江水下三角洲前缘海域开展近底部水动力观测，成功捕捉到台风过程中，近海底浮泥层的形成过程。分析发现，浮泥在憩流期间出现，厚度约 20cm，而在涨落急期间，浮泥层则会消失。当浮泥消失时候，浮泥上部水体中的悬沙浓度明显增加，分析认为浮泥在湍流作用下被卷夹至上水体，导致悬沙浓度增加。波浪是浮泥形成的重要驱动因素，期间近底部波轨速度达到 0.2.-0.59m/s。

S46-O-07

斯里兰卡风和波浪观测数据集

王东晓[1]*，罗耀[2]，Gamage, T. P.[3]，周峰华[2]，Widanage, C. M.[3]，Taiwei Liu[4]

1 中山大学海洋科学学院，广州 510301

2 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室，广州 510301

3 University of Ruhuna, Matara 810000, Sri Lanka

4 China Harbour Engineering Company Ltd., Beijing 100027, China

* dxwang@mail.sysu.edu.cn

本文在斯里兰卡南部海域获取了 2012 年以来 2 年多的时间序列水文数据，建立斯里兰卡南部风和浪数据集。数据集包括水深分别是 10 和 20 米的两个单点波浪数据，以及同步的风和潮位的数据。文章通过实测资料揭示了北印度洋近岸波浪季节特性，并量化低频波浪占主导的比例分布；斯里兰卡南部海域位于季风核心区域，通过实测数据分析该区域风速和风向的全年变化情况，为季风和海洋防灾减灾提供研究基础数据。斯里兰卡南部海域是世界上最繁忙和战略意义最重要的航线经过区域，该区域水文气象数据对船舶航行、重要港口设施安全和护航保障有重要意义，作为青藏高原南北水汽通道最南端，也为研究泛三极地区水汽输送提供宝贵实测数据支撑。

S46-O-08

长江口拦门沙对纵向环流模式和内波激发的影响

汪亚平[1,2]*，张丽芬[1]，王建兴[2]，杨作升[3]，高抒[2]

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241

2 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210093

3 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266071

* ypwang@nju.edu.cn

经典河口环流理论认为河口纵向上存在表层向海、底层向陆的单环流，但该理论中并未包含对地形因素的考虑。本文于 2018 年洪、枯季（7、12 月）在长江口南槽开展现场调查，通过锚系剖面和座底三脚架观测

获得了从陆向海 3 个站位的同步流速、温盐剖面等数据，对河口拦门沙地形对纵向余环流的影响展开了探讨。分析结果显示，长江口南槽拦门沙海域存在着两种河口纵向余环流模式：在洪季形成于拦门沙外坡的经典单环流，但在枯季形成由拦门沙内、外坡环流构成的双环流。基于表征河口混合的 Simpson 数、M 值和盐度剖面结构，揭示拦门沙海域纵向余环流形成的主导因素是斜压作用；双环流模式与拦门沙地形对枯季盐水入侵的作用有关；外坡环流亦可能受口外上升流的影响。拦门沙海域双环流结构可显著影响河口滞流点及最大浑浊带悬沙的时空分布，流域和河口人类活动对拦门沙地貌条件的改变进而又间接影响双环流发生的频率与规模。内波在海洋中广泛存在，并在混合中发挥着重要作用。我们通过分析长江河口小潮落潮期间海流速度和密度的垂向时间变化，发现了一些由内波引起的等密面振荡，它与拦门沙海域的层化水体输运有关；内波产生垂向输运作用，对垂向水体交换、海底沉积物再悬浮产生较大影响。

S46-O-09

海底压强与海底加速度的理论关系与可能应用

安超[1]*，邓涵[1]，蔡晨[2]，郑勇[3]

1 上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院，上海 200240

2 中山大学地球科学与工程学院，珠海 519082

3 中国地质大学（武汉）地球物理与空间信息学院，武汉 430074

* anchao@sjtu.edu.cn

在广阔的海洋中，海底压强计是重要的观测工具之一。海底压强观测的一个重要应用是海啸波观测及预警。海啸浮标的记录仪器即为海底压强计，被广泛安装在深水海底。当海啸波经过时，压强计上方的水柱高度改变，从而引起海底压强改变。通过压强记录和静水压公式即可计算海啸波的波高。海底压强记录的信号除了海水表面的水波（如海啸波）外，还包含海底震动（如地震信号）。目前海底压强计记录的地震信号基本没有定量的应用，如果能够定量使用这些地震信号，可有望提高全球地震观测在海洋中的覆盖率。

针对海底压强计记录的地震信号，假设流体不可压缩，本研究通过求解势流体的边值问题，得到了海底压强和海底垂直加速度之间的理论关系。根据这个理论关系，海底压强可以转化为海底的垂直加速度，因此海底压强计可以作为单分量地震仪使用，例如可以使用海啸浮标记录的地震波研究 2011 年日本地震的震源。在高频段，海水的可压缩性不可忽略，本研究通过分析固液界面地震波的反透射问题得到了海底压强与海底垂直加速度的理论关系。该理论关系依赖于入射波的射线参数，据此可开发出一种新的地下结构反演方法，相关的研究工作在持续进行中。另外，本研究也对海底压强计记录的噪声数据进行了分析，发现了海底压强噪声由海表水波和海底震动两种力学机制引起，分别适用于低频和高频区间，其中低频的噪声数据可用于移除海底地震仪的噪声，高频数据有望用于反演地下结构。

海底压强计记录记录的海啸波已被广泛使用，在本研究中，我们将定量阐述了海底压强计记录的地震波波形的应用方法，该方法使得海啸浮标等可以作为单分量地震仪使用，提高全球地震观测在海洋中的覆盖范围。另外，对海底压强计的噪声进行了分析，为海底压强噪声的使用提供理论基础。

S46-O-10

Carbon and nutrient export from intertidal sandy systems elucidated by $^{224}Ra/^{228}Th$ disequilibria

蔡平河[1]*，魏琳[1]，Walter Geibert[2], Dennis Koehler[2]，叶莺[2]，刘伟[1]，史向明[1]

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361000
2 Alfred-Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bremerhaven 27570, Germany
* Caiph@xmu.edu.cn

We propose an alternative scheme for the use of $^{224}Ra/^{228}Th$ disequilibria to investigate carbon and nutrient export from permeable sandy seabeds. Sediment profiles of dissolved ^{224}Ra, total ^{224}Ra and ^{228}Th were determined at a variety of intertidal sand systems. Dramatic deficit of total ^{224}Ra relative to ^{228}Th was identified in the upper 20 or 30 cm sand layer over the sand systems. We construct a simple two-dimensional advective cycling model to simulate interfacial fluid transport in a sand system that is subject to periodic tidal inundation and swash actions. Based on the $^{224}Ra/^{228}Th$ disequilibria in the sediment, the model gives estimates of 35-4000 L m^{-2} d^{-1} for water exchange flux at the sandy beaches under study. We found that the production of dissolved inorganic carbon (DIC) in porewater is the rate-limiting step for DIC export from the sandy beach into the sea, and can be reasonably simulated as a first-order kinetic reaction. The pattern of interfacial fluid transport over the beaches facilitates a horizontal zonation of redox condition in the sediment, which evolves progressively from a fully oxic state at the high tide position to a suboxic state at the low tide position. There is clear evidence of nitrogen loss via denitrification in the suboxic status, and we estimate a nitrogen removal rate of 0.4-87 mmolN $m^{-2}d^{-1}$ at the beaches. In contrast, DIC export fluxes range from 20 to 490 mmolC $m^{-2}d^{-1}$, comparable in magnitude to fluxes determined in organic rich estuarine sediments. Overall, this study suggests that the role of sandy sediments in the biogeochemical cycling of carbon and nutrients needs to be revisited.

S46-O-11

近海河口区碳源碳汇转换的生物地球化学——以长江口为例

翟惟东[1]*，熊天琦[1]，刘鹏飞[2]

1 山东大学海洋研究院，青岛 266237
2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
* wdzhai@sdu.edu.cn

大河河口区呈现淡水端向大气释放CO_2，而海水端从大气吸收CO_2的分布格局，与之相伴的是藻华和陆源输送无机碳、营养盐的生物去除，以及生源颗粒物沉降、底层水耗氧、沉积物碳埋藏等生物地球化学过程与现象。本研究以长江口为例，汇总过去15年的调查数据，假设Redfield关系为生物活动所适宜的化学计量关系，分析陆源碳、氮生源要素随着河流冲淡水输送入海之后在河口混合区发生生物地球化学变造的普遍现象，提出“陆源入海生源要素到底能走多远”的普遍问题，探讨其对陆海统筹促进碳中和的认识论意义。以前的“陆海统筹”多关注陆源输入对近海环境影响的方面，本研究认为今后应该多关注环流改变对沿海营养盐环境及碳源碳汇的影响。进而，本研究对东海海底观测网建设与完善有一定启示作用。

S46-O-12

长江口-东海陆架浮游生物原位观测初探——挑战与未来

王锐[1]*，刘承莹[1]，高航[2]

1 同济大学长江水环境教育部重点实验室，上海 200092
2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
* wangr@tongji.edu.cn

长江口及东海邻近水域在长江沿江城镇及长三角城市群高强度人为活动影响下，正面临严峻的生态环境问题。长江口水域咸淡水混合剧烈，在入海泥沙及营养盐输入影响下呈现出近岸高浊度、离岸高生产力特征。长江口及邻近水域的浮游生物分布特征与东海生态环境问题紧密相关，如赤潮频发、夏季缺氧区扩大、污染生态风险上升等。因而，浮游生物原位观测作为东海海底观测网的重要组成部分，将助力于未来东海生态环境问题的研究。

基于长江口-东海陆架典型断面的海洋观测和浮游生物采样分析，我们发现在长江入海泥沙、营养盐及长江口咸淡水混合的影响下，从长江淡水端至东海陆架海水端，浮游生物分布呈现出显著物种差异及离岸高生物量特点。针对东海海底观测网浮游生物观测的建设需求和实际应用挑战，我们对浮游生物暗场成像仪（CPICs）在东海的适用性进行了实验室参数优化研究，并首次将CPICs应用于东海海域的浮游生物原位观测，获得了代表性浮游生物的原位影像资料。进而，通过对比浮游生物的原位观测数据与同步采样后的实验室分析结果，我们评估了CPICs在东海海域开展浮游生物原位观测的适用性，及在长期观测应用中面临的挑战。最后，我们结合长江口及东海生态环境问题，就东海浮游生物原位观测相关的科学问题和未来应用前景提出了一些思考和建议。

S46-O-13

基于高光谱激光雷达的深海矿石目标分类方法研究

田汶鑫[1,3]*，唐伶俐[1]，陈育伟[2]，贺文静[1]，吴昊昊[1]，陈林生[1]

1 中国科学院空天信息创新研究院 定量遥感信息技术重点实验室，北京 100094
2 芬兰地理空间研究所遥感和摄影测量部，基尔科努米，芬兰 FI-02430
3 中国科学院大学，北京 100049
4 赫尔辛基大学，芬兰 FI-00014
* tianwenxin@aoe.ac.cn

激光雷达作为一种主动式探测的现代光学遥感技术，结合了传统雷达技术与现代激光技术，成为对地观测领域的新技术发展方向。传统的激光雷达系统一般为单波长，在目标属性信息获取方面受到了单一波长的限制，激光后向散射强度数据中的光谱信息相对不足，导致其对地物类别的探测能力有限。高光谱激光雷达作为近年来一种新型遥感探测手段，兼具高空间探测能力与地物物理属性探测能力，可记录目标在多个波长下的后向散射强度从而联合反演目标特性，极大弥补了传统激光雷达在地物属性辨别方面的劣势。激光在不同波长的后向散射强度与三维坐标信息呈精确的一一对应关系，具有像素级融合的条件，无需配准，避免了传统激光雷达和高光谱遥感成像数据的融合和配准带来的额外复杂数据处理过程，也为高光谱遥感成像数据中难以挖掘高精度三维信息的问题指明了一条可行的道路。

借助高光谱激光雷达同时获取测距信息和光谱信息的优势，可以获取典型海底矿产资源的空间几何结构属性和光谱属性信息。通过对空间几何数据与高光谱数据的联合处理，可大大提高探测精度，实现三维成像与高光谱一体化对地观测，并定量化提取地物目标参数。我国近海及国际海底区域蕴藏着丰富的战略矿产资源，研究成果可应用于海底目标的全波形属性、空间属性及光谱属性的一体化定量探测分析研究，进而开展典型矿产资源的组成成分、丰度及分布情况的研究。

实验室已有一套自行研制的基于声光可调谐滤波器（AOTF）的可调谐高光谱激光雷达原理样机，AOTF 提供了更快的调谐速度（微秒）和覆盖更宽的波长范围，通过

时间域上的信号调谐选择不同波长来完成激光回波信息采集，系统样机工作波长为650nm 至 1100nm，光谱通道数可达 91 个，光谱分辨率为 5nm，系统主要包括激光发射单元、激光接收单元、扫描单元等。为了研究高光谱激光雷达对深海矿石目标分类的可行性，本文进行了实验研究。用可调谐高光谱激光雷达系统在实验室条件下对5种矿石进行数据采集与实验，基于 36 个激光波长（650～1000nm）每隔 10nm 进行一次采样，记录了连续光源对不同矿石样品的后向散射强度。基于系统的定标系数，进而获得目标的光谱反射率。

本文研究了在实验室环境下，采用支持向量机（SVM）分类方法，在可见光（VIS）-短波红外（SWIR）光谱范围内使用高光谱激光雷达的 36 个光谱通道进行矿石目标分类应用的可行性。用高光谱激光雷达测量了 5 种矿石样品的光谱剖面和距离信息，选取其中 50 个矿石样本（每个矿石 10 个样本）作为训练数据集，其他样本作为测试数据集。通过测试集数据的验证，经过参数优化之后的支持向量机模型可以很好地对各种矿石目标进行分类识别，而且都到了预期效果，这一结果可为海底矿石分类和鉴定提供技术基础。

S46-O-14

中国周边海域海底地理实体命名研究

赵荻能*，吴自银

1 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

* zhaodineng@sio.org.cn

海底地理实体命名指的是将海底划分为可测量、可划分边界的地貌单元，即海底地理实体，并赋予其标准名称的行为，可用于航海制图、海洋科学研究和海洋管理等。中国周边海域位于亚洲大陆东缘，包括“四海一洋”，既有平缓的海底平原、海底高地，还有连绵起伏的海岭、高耸的海山和蜿蜒曲折的海底峡谷等，海底地理实体类型十分丰富。在中国地名委员会海底地名分委会的支持下，由自然资源部第二海洋研究所、国家海洋信息中心和广州海洋地质调查局等单位科学家组成的项目组，收集了自 1996 年以来我国在周边海域实施的大规模海底地形地貌调查获取的高精度多波束地形数据资料，同时收集和整理了国内外有关调查研究资料和数据；对这些不同项目、不同年代和不同设备的实测多波束数据，项目组研发多种先进的后处理技术和方法进行了统一处理，并采用人工智能自动判别等手段识别并圈定海底地理实体 700 余项；按照这些地理实体形态、规模大小和主从关系，项目组采用先宏观后微观、先群体后个体的原则对其进行了分级与分类，并依据国际命名规则、结合中国文化特色，对这些海底地理实体进行了系统的命名。本次在中国周边海域开展的大规模海底地理实体命名研究，将有利于提高我国在该领域的话语权和国际影响力，同时也将有力地维护国家海洋权益。

S46-O-15

河流淡水对东海环流及陆架水交换的影响

吴瑞明[1,2]，吴辉[1,2]*，王一鹤[1,2]

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241

2 华东师范大学海洋科学学院，上海 200241

* hwu@sklec.ecnu.edu.cn

东亚边缘海是一个连续的海域，包含了长江、黄河、珠江等多条大河，这些河流的冲淡水会受到陆架环流系统的强烈影响。尽管已经有大量研究说明陆架环流如何决定河流物质的命运，但却很少有人回答相反的过程，即河流淡水如何影响大陆架环流。这些河流排放的大量淡水应当会调节海洋的密度结构和动力高度，从而影响陆架环流。在本研究中，我们基于区域海洋模式（ROMS）开发了一个覆盖东亚边缘海的数

值模型，以评估河流淡水对陆架环流的影响。由于东海接收大量河流淡水又拥有强大而复杂的陆架环流，所以本研究将东海作为研究区域。前人对于中国近海区域的研究主要集中在各单独海域，对东海的研究也往往不考虑外部淡水，数值模型研究也倾向于使用仅仅包含东海的网格，本研究认为使用大范围的模型能够确保一部分重要的物理过程存在。

模型结果表明，东海的本地河流淡水(如长江)和外地河流淡水(如珠江)在调节陆架环流方面都具有重要作用。总体而言，河流淡水抬升了近海海平面（~0.1 m），调整了密度场，削弱了台湾暖流（~0.1 m/s），增强了浙闽沿岸流（~0.1 m/s），甚至扰动了黑潮。在垂直方向上，由于河流淡水的影响，台湾暖流由表层强化向底部强化转变，解释了流核为何出现在中下层。在跨陆架方向，由于底部 Ekman 输运的增强，使得跨陆架交换增强，黑潮次表层水更容易侵入，跨 100 米和 200 米等深线的入侵水分别增加了~5%和~20%。这些影响的基本机制是河流淡水的正压和斜压调整，而这也可以认为是河口环流的大陆架版本。因为河流淡水与陆架环流之间的相互作用与经典的河口两层环流有点相似，但受地球自转即科氏力的调节。

S46-O-16

冬季风暴驱动下北黄海的物质跨锋面输运

石勇，高建华*

1 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210023

* jhgao@nju.edu.cn

跨锋面输运在近海地区相邻水团间物质和能量的交换发挥着重要作用，该过程在全球气候变化下会出现怎样的变化，是一个值得探讨的问题。为此，本研究以北黄海的跨锋面输运事件为研究对象，探索它的动力驱动机制及其主控因子，进而探讨 2002-2019 年间该事件发生频率的变化。通过对不同风场条件下环山东半岛的海表悬沙浓度、海表温度及流场变化的分析，我们发现冬季风暴是引起北黄海物质跨锋面过程的触发机制。山东半岛北岸的沿岸流在冬季风暴下得到显著增强，增强的鲁北沿岸流可刺穿近岸水体与黄海暖流间的锋面，从而引起近岸高浊度水体的向外扩散，其中 0.36-0.73 Mt yr^{-1} 的沉积物最终可扩散至辽东半岛沿岸。除了冬季风暴，锋面的强度对于跨锋面过程也起到控制作用：锋面越强，跨锋面输运事件越易受冬季风暴触发。在冬季风暴和黄海暖流的共同作用下，山东半岛沿岸的跨锋面事件在过去的 18 年间呈先逐渐增多后保持相对稳定的变化。但是，对于气候变化下，对跨锋面过程引起的物质扩散通量变化的评估还存在挑战，今后也应结合多学科手段对该问题开展研究。

S46-O-17

风场对夏季长江口低氧发育的影响研究

吴伊婧[1]*，Taavi Liblik[2]，王兴麟[3]，范代读[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海

3 塔林理工大学，爱沙尼亚

2 台湾大学地质科学系，台北

* 33yijingwu@tongji.edu.cn

海洋动力过程作用下的水团相互作用是控制长江口外季节性低氧受到径流、潮汐、风场和区域环流等共同影响，呈现复杂的年际变化。综合利用航次、浮标和卫星观测等方法，结合数值模拟分析，研究了 2015 和 2017 夏季低氧程度和空间分布特征，认为风场对低氧的年际变化起重要作用。2015 年夏季风偏弱，在航次观测之前一段时间以北向风为主，导致长江口羽状流南偏、黑潮次表层水分支北上减弱和近岸发育下沉流等，不利于低氧发育，低氧主要集中于水下深槽区以南的近底层水体。2017 年夏季风较强，南向风驱使长江口羽状流东北偏、黑潮次表层

水北上强劲和近岸发育上升流等，有利于低氧发育，在长江口外北部形成大范围低氧区，底层水体含氧量最低值达 0.6 mg/L，且低氧水体上界可抬升至离表层 5 米左右，对河口生态影响更加显著。

S46-O-18

长江及其河口三角洲对流域水沙变化和风暴事件响应过程的探讨

杨海飞*，杨世伦，黄远光，汪亚平

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241

* hfyang@sklec.ecnu.edu.cn

长江流域及其河口三角洲城市群经济发达、人力资源聚集，土地资源的支撑对其可持续发展十分关键。近几十年来，流域人类活动和气候变化显著改变了长江及其河口三角洲的演变过程。

1）流域内，建坝和水土保持等工程之后，长江干流各水文站的泥沙通量均减少 75%以上，甚至达到 99%，原有的空间分布特征均出现了不同程度的反转。向家坝至寸滩站河段年冲刷 25 Mt，宜昌至汉口河段年冲刷量约 50 Mt，大坝下游河床和悬沙均出现粗化现象。

2）在河口三角洲，相较于 1982 年，长江水下三角洲的沉积物在 2012 年明显粗化，主要归因于水下三角洲的冲淤转换过程，同时长江流域来沙粗化也有一定贡献。长江口的沉积物总体来说颗粒较细、含水量较高，这导致沉积物的临界剪切应力较低；而长江口又是一个喇叭状的开敞型的中强潮河口，波流联合剪切应力相对较大。结合柱状样数据，长江口上层约 2m 厚的沉积物与表层同质，基本均处于可被侵蚀状态。

3）风暴潮时间段，波流联合剪切应力变化范围是 0.73 到 4.79 N/m^2，并且平均值可达 2.56 N/m^2，这个数值是正常天气下的 4.5 倍。风暴期间因观测难度较大，其对河口三角洲沉积物再悬浮和输送等过程的研究尚无明确定论。

综上，长江及其河口三角洲对流域水沙减少的响应研究已有一定进展，但对极端灾害天气的响应尚缺乏机理性研究。相关研究可丰富河口海岸沉积动力学的研究内容，为相邻学科提供借鉴，并为相关的灾害预警研究提供参考。

S46-O-19

中国东部海岸台风活动的“2-ka 转变”

杨阳 [1,2]*，David J.W. Piper[2], Alexandre Normandeau[2]，周亮 [3]，贾建军 [4]，汪亚平 [4,5]，高抒 [5]

1 南京师范大学海洋科学与工程学院，南京 200046

2 Natural Resources Canada, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, B2Y 4A2

3 江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院，徐州 221116

4 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241

5 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210093

* yyang@njnu.edu.cn

海岸带面临多种自然灾害风险，其中台风灾害发生频率最高、影响最严重，受到科学界的广泛关注。由于台风器测年限太短，气候和海面变化因素未能充分考虑，对长时间尺度台风活动规律及其气候驱动机制认识不足，亟需延长台风资料的时间序列。以江苏中部潮滩沉积记录为研究对象，通过研究常态潮汐沉积与台风沉积的差异特征，建立了潮滩台风记录识别的有效替代指标，重建了中国东海岸近 5.5 kyr 的台风记录。集成西北太平洋台风记录，初步建立了中国东南沿海千年尺度的台风活动变异指数（CTV-Index），即台风活动频发期集中在~ 4750±170, 3500±220, 1500±480 和 250±170 yr BP。此外，研究结果还表明，中国东南沿

海的台风频率模式在 2 ka 发生转态转换，即与 5.5-2 ka 相比，台风活动频率显著增强。结合气候关键因子，揭示了大西洋经向翻转环流的持续减弱及相应的 ENSO 幅度增强导致了台风活动的这个“2-ka 转变”。这些认识对于理解全球变化下我国海岸台风活动变化趋势具有重要的指导意义。

S46-O-20

洪水驱动下长江陆源颗粒有机碳由陆向海输送的生物地球化学过程及其制约机制

孙学诗[1]*，郭志刚[1]，范德江[2]，胡利民[2]，杨作升[2]

1 复旦大学环境科学与工程学院，上海 200441

2 中国海洋大学地球科学学院，青岛 266100

* xueshisun@163.com

全球气候变化引发的突发性、密集型洪水事件增多，影响陆地有机质向海洋的输送，并在河口关键带的碳循环中发挥重要的作用。本研究依据极端洪水事件中长江河道-河口-陆架体系的水柱颗粒和表层沉积物的地球化学分析数据，发现长江洪水陆源颗粒态有机碳主要表现为 $\Delta^{14}C$ 和$\delta^{13}C$ 偏负、富$\delta^{15}N$、高 N/C 比值，其主要被吸附在细粒颗粒上。运用贝叶斯模拟模型揭示出洪水携带有机碳主要由现代生物碳、陈化土壤和化石碳组成。在沉积颗粒物向海输送时，沉积动力分选作用导致了有机碳的组成分异。与粗颗粒物关联的化石碳和植物碎屑可优先聚集在近端三角洲，而吸附在细粒颗粒上的土壤源有机碳碳可沿沉积物扩散体系向近海输送。约 74±18%最初存在于水柱中的颗粒有机碳向海输送过程中在水柱-海床界面被氧化，有可能成为大气二氧化碳的源。相反，与有机质铝硅酸盐矿物组合的稳定形态有机碳则控制着河口-近海沉积有机碳的保存。研究表明，频繁的洪水事件有可能增加陆源有机碳向海洋沉积物的输送通量，可提高陆架边缘海中化石碳的埋藏效率，但有可能显著加速生物质有机碳的氧化和 CO_2 释放，从而对全球变暖产生正反馈作用。

S46-O-21

长江口水体混合过程中锂同位素行为

杨承帆[1,2]，Nathalie Vigier[2]，连尔刚[1]，赖正[1]，杨守业[1]*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 Oceanography Laboratory of Villefranche (LOV), Sorbonne University, 06230 Villefranche-sur-Mer, France

* syyang@tongji.com

化学风化是地球各圈层相互作用的纽带，在地表物质循环以及全球气候变化过程中发挥着重要的作用，大陆风化如何驱动地球系统气候变化以及该过程中的负反馈机制一直是地学研究的前沿热点。近年来，锂同位素被用来示踪地质历史时期大陆风化过程，以及研究不同时间尺度上风化与气候间的相互关系，相关研究借助边缘海或深海沉积记录广泛开展。这些研究大部分都假设在物质由陆向海输运的过程中，特别是在河口地区，溶解态或颗粒态所携带的陆源风化信号并未被改变，但是河口地区锂同位素研究较少，部分小流域研究结果不一致，由于大河流域研究结果一般具有全球代表性，因此我们选择在长江河口研究水体混合过程中溶解态和颗粒态锂同位素行为，进而探讨边缘海或深海沉积记录能否真实可靠地用来反演地质历史时期大陆风化过程。

研究结果显示长江口溶解态锂含量随盐度的增加线性增加，锂同位素组成也表现出两端元混合的趋势，表明在河水与海水混合过程中溶解态锂及其同位素行为保守，及时风化信号（Li 和 δ^7Li）能够没有改变的传递到海洋；同时，溶解态锂同位素组成与盐度变化非线性相关，理论计算显示 1%的海水输入可导致长江河水锂同位素值升高

~3‰，今后利用河口水体估算入海河流锂同位素平均组成时需慎重，以免海水污染导致估算结果偏高；河口地区悬浮物锂同位素地球化学行为除了受到水动力分选效应的影响外，还受到颗粒絮凝和再悬浮过程的影响，随着悬浮物向外海输运，粘土矿物含量下降，而细颗粒原生矿物含量升高，悬浮物锂同位素组成逐渐均一化，接近上地壳锂同位素平均值，在边缘海地区利用钻孔沉积物锂同位素组成示踪地质历史时期大陆风化过程需要慎重，相对于水动力分选过程，絮凝以及再悬浮导致的锂同位素变化难以校正。

S46-O-22

海岸带陆海多要素地质环境监测系统构建及应用

印萍[1]*，曹珂[1]，田元[1]，刘晓凤[2,1]

1 青岛海洋地质研究所，青岛 266071

2 中国海洋大学，青岛 266100

* 1419685757r@qq.com

海岸带区域是地球系统中多圈层多要素交互最强烈的区域之一，随着海岸带经济社会的发展，海岸带开发与生态环境保护修复的矛盾日益突出，新发展阶段和新发展理念对海岸带地质工作提出新的要求，开展海岸带多要素地质环境监测，准确把握陆海生态与环境系统的整体性、系统性和联动性，开展陆海协同环境整治和生态修复，提升海岸带生态环境质量是生态文明建设的重要举措。

我国沿海海湾地区开发利用强度大，海湾生态环境受沿岸和流域的各类自然和人为要素的影响，长期以来是营养盐和重金属等污染最严重的的区域，开展陆海联动的协同整治是提升海湾生态环境治理科学系系统性和长效性的必然选择。近年来我国开展的“污染防治攻坚战”、“蓝色海湾行动”等系列生态治理工作取得了重要成效，全国海湾生态环境总体向好，但是海湾营养化问题依然严峻，对海岸带多要素生态环境监测系统构建的需求日益迫切。

本文介绍了在浙江三门湾海岸带建立的多要素生态环境监测体系和初步监测成果，通过构建陆海联动的监测体系和长期观测，系统结析了海湾污染源和生态环境响应，通过连续观测和历史数据分析，研判了影响污染物时空分布的环境要素和人为因素，提出了陆海联动污染防控和生态修复方案。

S46-O-23

《中国海海洋地质系列图》研编

吴自银[1]*，温珍河[2]

1 自然资源部第二海洋研究所&海底科学重点实验室，杭州 310012

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，青岛 266071

* zywu@vip.163.com

在科技基础性工作专项重点项目“中国海海洋地质系列图编研”的资助下，通过近8年的工作，我们牵头编制了《中国海海洋地质系列图》，包括：海底地形图、海底地貌图、海底沉积物类型图、空间重力异常图、布格重力异常图、磁力异常（ΔT）图、海底资源分布图、地质构造图8个种类的专题图，每个专题图又分为中国东部海域和中国南部海域上、下两幅，基本比例尺为1:300万。该系列图系统总结了中国海海洋地质与地球物理调查研究的最新资料和成果，强调了原始数据的真实表达和综合研究，是一套反映中国海海洋地质与地球物理的基础性、综合性的专题图系。

同时，还撰写了配套的学术专著成果—《中国近海海洋地质》。该专著共8章90万字，主要内容包括中国海及邻近海域的自然地理特征、海底地形地貌特征与成因、沉积物类型与分布、重力与磁力等地球物理特征及地壳构造、海底矿产资源分布特征与成因、海域地质构造演化等多个方面。该专著以编

制的《中国海海洋地质系列图》和原始数据为基本依据，结合收集的大量国内外历史文献资料，进行综合分析和深入研究并编纂完成。专著较为全面地展示了中国海海洋地质的基本特征，特别强调原始数据的真实表达和详细刻画，并较为系统地总结了中国海海洋地质演变的基本规律，是数十年来我国海洋调查新资料的集中体现。

《中国海海洋地质系列图》与配套了学术专著—《中国近海海洋地质》，共同构成中国近海海洋地质学研-编结合的新典范。不仅实现了中国海海洋地质基础图系的更新换代，也为涉海相关行业提供可靠的科技基础资料，可为海洋资源开发、海洋权益维护、海洋环境保护和海洋科学研究等提供重要参考。

S46-O-24

海底地下水排放在红树林-海湾系统中的地球化学影响

王桂芝[1,2,3]*，姜卫振[2]，孙亚飞[2]

1 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361102

2 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361102

3 厦门大学东山太古海洋观测站，漳州 363400

* gzhwang@xmu.edu.cn

海底地下水排放（submarine groundwater discharge, SGD）影响着近岸系统碳和营养盐的结构和收支。在福建漳江红树林-东山湾两个关联的系统中，利用天然放射性镭同位素和氡作为 SGD 的示踪剂，我们估算了海底地下水排放的通量及其携带的碳通量和营养盐通量，评估了海底地下水排放在红树林系统碳的释放中的作用，探讨了海底地下水排放对小型海湾系统营养盐的关系。我们的研究结果表明，海底地下水排放增加了红树林系统中潮沟内碳的浓度，使得潮沟体系成为大气二氧化碳的源，丰水期携带的溶解无机碳和溶解有机碳的通量相对枯水期略低，在互花米草扩张区域，海底地下水排放的速率要强于红树林区域；而地下水主控着东山湾营养盐的分布，我们推测上游大坝的截流、红树林的吸收等造成河流径流在该海湾营养盐的分布中影响甚微。在未来建坝增加的情景下，推测将有更多的小型河口海湾系统地下水的重要性将更加凸显或者出现类似的主控现象。

S46-O-25

珠江流域及南海北部沉积环境中 ^{239,240}Pu、^{237}Np、^{241}Am 的分布迁移特征

刘志勇*，韩笑笑

1 苏州大学医学部放射医学与防护学院，苏州 215123

* liuzy@suda.edu.cn

近年来我国核电产业发展迅速，随着沿海核电站数量的增长和运行时间的延长，发生核事故的概率也会随之增加。日本福岛核电站事故距今已有10年，其核电站的解体、大量放射性污染水的排放、周边环境中放射性污染的去除等问题依然堆积如山，引发了国际社会广泛关注。全球环境中的放射性核素(^{239,240}Pu、^{237}Np、^{241}Am 等)主要通过大气沉降和洋流输入，河流-海岸系统是陆地与海洋进行物质循环的重要通道，放射性核素容易在河口及海岸线附近汇积，导致陆海交互作用区域放射性污染程度加剧。珠江口海域是我国经济活动频繁、人类活动和自然因素交汇冲突集中的大河口海域之一，该区域建有阳江、大亚湾等多座核电站，生态环境极为敏感，不仅大量接纳了北赤道暖流、黑潮等洋流携带而来的海洋污染物，还接收通过各径流搬运入海的陆源污染物。因此，为构建中国海岸带放射性特征数据库，通过珠江源汇体系对该区域放射性基础水平的分析和评价极为重要。

目前已通过对 Pu 同位素的分析对中国不同地域进行了放射性核素溯源、时空分布和地球化学行为研究，但对于同样重要的

^{237}Np、^{241}Am 的相关研究还较少。^{241}Am 是由 ^{239}Pu 捕获中子形成的 ^{241}Pu 经 β 衰变而成。由于 ^{241}Pu 的半衰期比 ^{241}Am 短，因此时至今日环境中^{241}Am的比活度仍在不断增长。^{241}Am 通过 α 衰变生成 ^{237}Np 是环境中 Np 的一个重要来源。Np 有“被忽视的锕系元素”之称，其核素 ^{237}Np 在环境中累计浓度较低，但半衰期长，生物毒性大，迁移速率高，在核试验场、核反应堆、核废料中广泛分布，日后将成为主要的核污染物之一。

为构建珠江口海域放射性特征数据库，诠释 ^{239,240}Pu、^{237}Np、^{241}Am 在珠江源汇体系中的特征分布及环境行为，对珠江流域，珠江口及南海北部表层沉积物进行了分析。结果显示，珠江流域的 ^{239,240}Pu、^{237}Np、^{241}Am 主要来源于全球大气沉降，^{237}Np 由于较高的迁移速率，呈现较为明显的空间分布不均匀性；放射性核素随珠江流域的泥沙裹挟在下游及河口地区汇集，呈现由上游到下游，放射性核素比活度逐渐增大的趋势；南海北部区域，^{239,240}Pu、^{237}Np、^{241}Am 比活度均呈现离岸减小的趋势，表明大量放射性核素在沿岸 50m 等深线以内堆积；河口区域由于独特的水动力交换条件及颗粒物性质等因素影响，对 ^{239,240}Pu、^{237}Np、^{241}Am 的廓清及保存不同，^{239,240}Pu 的比活度较低而 ^{241}Am 比活度较高；通过对研究区域的 Pu 源鉴定得知，PPG 来源的 Pu 在河口及南海北部的贡献率分别达 49-69%和 60-71%，陆源输入贡献率约为 13±5%。本研究可为未来评估珠江口及南海北部放射性水平提供基础背景值和用于辐射环境的应急模拟分析。

S46-O-26

闽江口-台湾海峡北部物质输运的季节性变化

王爱军[1]*，陶舒琴[1]，叶翔[1]，顾海峰[2]，罗肇河[2]，谢津剑[1,3]

1 自然资源部第三海洋研究所 海洋与海岸地质实验室，厦门 361005

2 自然资源部第三海洋研究所 海洋生物与生态实验室，厦门 361005

3 福州大学土木工程学院，福州 350116

* wangaijun@tio.org.cn

台湾海峡北部泥质沉积区是浙闽沿岸泥质带的末端，其物质来源不仅受长江入海物质的影响，还受到附近闽江河流入海泥沙及台湾西海岸河流入海泥沙的影响。因此，开展台湾海峡北部泥质沉积区物质输运研究对于认识浙闽泥质带末端的物质来源与沉积环境演化具有重要的意义。观测结果显示，闽江口-台湾海峡北部海域表层水体盐度由闽江口向南逐渐增大，在闽江口南部海域出盐度最低值，同时出现叶绿素最高值，水体浊度也相对较高，表明该海域水体受闽江河流影响较为明显，但水体浊度高值区主要出现在平潭岛东南侧近岸海域；底层水体盐度在兴化湾口最低，并且由该海域向台湾海峡中部逐渐增加，闽江口向南逐渐增大，平潭岛以东海域均为高盐度水体所覆盖，而叶绿素值则非常低，表明该层位已经不受闽江河流入海物质的影响了。水体浊度高值区主要出现平潭岛周边近岸海域至兴化湾口海域。座底三脚架观测结果显示，平潭岛北侧在潮周期内水体盐度变化较大，在低平潮期间受闽江冲淡水影响较为明显，沉积物输运表现为向东南方向输运，表明闽江入海泥沙对台湾海峡北部泥质沉积区的贡献较大。

S46-O-27

悬沙层化影响下的河口湍流混合

涂俊彪[1]*，范代读[1]，刘志宇[2]，Alexis Kaminski[3], William Smyth[4]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361005

3 Department of Mechanical Engineering, University of California, Berkeley, Berkeley, California, USA

4 College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA
* jtu@tongji.edu.cn

河口水体中的高浓度悬浮泥沙会引起密度层化，进而影响湍流混合过程。现场观测资料揭示了由悬沙引起的密度跃层与潮流剪切相互作用可形成剪切不稳定结构。该不稳定结构能够增强悬浮泥沙的垂向混合和扩散。层化流体中的湍流混合效率通常有通量理查森数 R_f 表征，该参数是反映河口及海洋水体中垂向混合过程的重要参数。然而该参数的计算涉及高频密度脉动、垂向流速脉动以及湍动能耗散率，对其进行直接观测十分困难。因此，在物理海洋的研究中普遍的做法是基于一些更容易观测的数据对其进行参数化。但当前对于何种参数化方案具有普适性尚未统一定论。本研究基于现场观测数据，探索当前几种主流的参数化方案的适用性并尝试给出合理解释：即（1）浮力雷诺数 Re_b；（2）梯度理查森数 Ri；（3）紊动弗劳德数 Fr_t。结果显示基于 Fr_t 的参数化方案能够很好的预测 R_f。而另外两种方案均存在较大的局限性，如 Ri 仅能由于指示剪切流，而 Re_b 仅反映湍流的强度。

S46-O-28

缺氧对长江口沉积物-水界面铁和磷交换的影响

林忠亮 [1,2]*，蔡平河 [1,2]

1 厦门大学海洋与地球学院，厦门 361000
2 近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361000
* linzhl0532@163.com

本研究应用近年来新发展的天然放射性同位素体系——$^{224}Ra/^{228}Th$ 不平衡法定量沉积物-水界面物质（^{224}Ra、铁离子和磷酸盐）交换通量。对长江口 2019 和 2020 两个航次数据研究发现：2019 年夏季航次，沉积物-水界面磷酸盐交换通量变化范围在 0.058-0.674mmol/（m^2 • d），铁离子交换通量变化范围在 0.599-10.432mmol/（m^2 • d）；2020 年夏季航次，磷酸盐交换通量变化范围在 0.06-3.151mmol/（m^2 • d），铁离子交换通量变化范围在 0.022-2.897mmol/（m^2 • d）。数据表明：在底层水缺氧站位，沉积物水界面铁离子和磷酸盐通量呈现高值；在非缺氧站位，铁离子和磷酸盐通量具呈低值。以往研究表明：沉积物磷的释放被认为是由外部环境因素(如有机质输入和底层水体氧气)的变化所驱动的氧化铁还原变化所控制的。铁氧化物可以为许多微量金属、二氧化硅和磷(P)等对铁氧化物表面具有高亲和力的化合物提供吸附位点。沉积物氧化表层的铁氧化物可以作为孔隙水向上扩散的“陷阱（trap）”。在夏季，当海底水体缺氧，铁氧化物被还原，铁氧化物结合的磷被释放出来，强烈地增加了水体中磷的可用性。活性铁氧化物对磷的快速吸附和释放可以控制孔隙水 HPO_4^{2-} 浓度，从而直接影响沉积物-水的交换。在大陆边缘沉积物中，低晶态的四方纤铁矿（akageneite）和水铁矿（ferihydrite）是最重要的铁氧化物，这些铁相是磷结合的主要原因，通过对沉积物中的无定形铁及其吸附磷酸盐的定量分析发现：沉积物水界面铁离子和磷酸盐的释放由沉积物中有机质降解及铁结合态磷酸盐释放共同作用的结果，绝大部分有机质释放的磷酸盐被沉积物中的含铁矿物所吸附。对 2019 年和 2020 年长江口采集到的 5 个站位的研究，得到以下结论：

相对于非低氧区，长江口缺氧区内的沉积物存在更活跃的生物浸灌作用，与水体的缺氧状态共同促进了沉积物的 Fe＆P 释放，潜在地缓解了长江口水体 P(磷）限制的情况。长江口沉积物铁和磷酸盐主要来源于无定形铁氧化物和沉积物有机磷的溶解释放。

长江口水体缺磷可能导致沉积物无定形铁氧化物结合态磷酸盐磷不饱和（无定形铁/铁结合和态磷即 Fe/P 平均值=22）。

S46-O-29

长江口咸淡水界面放射成因锶同位素行为

连尔刚*，赖正，杨承帆，杨守业

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* eglian@tongji.edu.cn

河口咸淡水混合界面 Sr 元素及同位素地球化学行为的研究迄今已有 30 余年。全球尺度咸淡水界面的溶解态 Sr 浓度及 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 数据表明，Sr 元素及其同位素地球化学行为存在显著的区域性差异和季节性变化。国际上提出了诸多可能性控制机制，如发生在河口咸淡水混合界面的离子交换、原生矿物溶解、自生矿物生成、海底地下水排放以及生物利用等边界交换反应过程。然而，河口咸淡水混合界面放射成因 Sr 的同位素地球化学行为至今未被充分认识。

大河影响下的陆架边缘海被认为是发生边界交换反应的重要区域。长江口－东海陆架连接东亚大陆边缘世界性大河长江与西太平洋，巨量入海沉积物堆积在长江口和东海陆架，是研究沉积物－海水交换反应过程中 Sr 同位素地球化学行为的天然实验室。因此，本研究依托 2019 年夏季长江口－东海陆架 KECES 航次，系统开展了长江口咸淡水界面水体、悬浮物 Sr 浓度及 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 变化特征的研究。结果表明：（1）长江口溶解态 Sr 浓度和 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 随盐度变化表现为“假保守”混合行为；（2）悬浮物中不同化学相态 Sr 浓度及 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 随盐度增大存在显著性变化，表明咸淡水界面沉积物－海水反应过程中存在 Sr 的双向再分配过程，但对溶解态 Sr 浓度及 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 影响有限，造成“假保守”混合现象；（3）长江口咸淡水界面沉积物－海水反应过程中 Sr 的再分配过程很可能还受水动力条件及早期成岩过程的影响，亟待深入研究。本研究有助于深化理解入海物质在大陆边缘的源/汇转换过程，对海区风化/反风化作用以及全球海洋元素收支不平衡等国际前沿问题具有重要参考意义。

S46-O-30

Winter mixing sparks incineration of sedimentary organic carbon in the major mud wedge system of the East China Sea

Lin Wei[1,2], Pinghe Cai[1,2]*, Xiangming Shi[1,2], Weijun Cai[3], Wei Liu[1,2], Qingquan Hong[1,2,4], Tong Wu[1,2], Yan Bai[5], Peng Cheng[1,2], Zhenyu Sun[1,2], Pingping Mi, Qing Li[1,2]

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, P. R. China

2 College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, P. R. China

3 School of Marine Science and Policy, University of Delaware, Newark, DE, USA

4 School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, P.R. China

5 State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou, P. R. China

* Caiph@xmu.edu.cn

Deltaic systems are characterized by the high sedimentation rates in the ocean. Meanwhile, sedimentary organic matter therein is effectively decomposed so that … in these depositional systems deviate dramatically from the oft-quoted correlation between net sediment accumulation and preservation of organic matter. The exact mechanisms that cause such a deviation, however, remain poorly understood. In this study, we utilize a unique $^{224}Ra/^{228}Th$ disequilibrium method to examine sediment oxygen consumption and the release

of diagenetic products of organic matter along the major mud wedge system in the inner shelf of the East China Sea. Our sampling campaign was carried out in two contrasting seasons: the summer in 2017 when seasonal hypoxia was at its peak, and the winter in 2018 when the water column was well oxygenated by intense winter mixing. Unexpectedly, in the summer 2017 when organics enriched in seafloor, sediment oxygen consumption rates and benthic fluxes of ammonium (NH_4^+) were relatively low, ranging from 6 to 59 mmol O_2 m^{-2} d^{-1} and from 1.6 to 13.4 mmol N m^{-2} d^{-1}, respectively. Contractively, in the winter 2018, sediment oxygen consumption rates and benthic fluxes of NH_4^+ surged to a range of 44-685 mmol O_2 m^{-2} d^{-1} and of 22.2-57.6 mmol N m^{-2} d^{-1}, respectively. We have identified a strong exponential dependence of porewater exchange rate on oxygen concentration in the bottom water. This seasonal pattern suggests that kinetic energy dissipation in the water column not only controlled air-sea exchange and seawater mixing, but also drove porewater exchange across the sediment-water interface. Moreover, sediment oxygen consumption rates (F_{O_2}) in the mud wedge system can be well described by relating reaction rate k to the oxygen concentration in the bottom water $[O_2]_{BW}$ with a modified form of Michaelis-Menten kinetics:

$$F_{O_2} = k\delta \frac{[O_2]_{BW}}{126 + [O_2]_{BW}}$$

where δ is a dimensionless variable that denotes the degree of increase in the interfacial area for the contact of sediment and overlying seawater as compared to a hypoxic seafloor. We have further demonstrated that the transfer of dissolved oxygen and NH_4^+ in the sediment-water boundary was transport-controlled in the summer, but exhibited a tendency towards a reaction-controlled state in the winter. Overall, this study highlights intense winter mixing as the predominant mechanism that causes the most efficient decomposition of sedimentary organic matter in a deltaic system.

S46-O-31

高精度原位拉曼技术厘定中新世西北太平洋俯冲作用下软流圈来源的二氧化碳流体活动规律

王文璟，吕万军*

1 中国地质大学（武汉）海洋学院，武汉 430074

* wjlu@cug.edu.cn

地处欧亚板块、菲律宾海板块、太平洋板块和北美板块等四大板块边界地带的日本岛弧带是研究板块俯冲作用下物质能量循环最理想天然场所。由于菲律宾海板块西北向运动及其向欧亚板块的强烈俯冲，使得位于西北太平洋地区日本西南的四国-南海海槽一带成为当今世界上构造运动最激烈、流体最活跃、天然气水合物资源最富集、海洋与地质灾害最发育的地带之一；并且四国-南海海槽一带还保存了白垩纪至今不同时期俯冲增生事件作用下含碳流体时空演化的地质记录，是研究各时期俯冲作用下含碳流体的形成演化和活动规律的理想地区。

在本次工作中，我们选择流体包裹体这一记录和分析古流体性质最为可靠的工具，结合高精度显微拉曼原位观测技术和高温高压石英毛细管地质流体模拟，建立了广阔温压下 CO_2-CH_4-H_2O(NaCl)这一最常见的地质流体的 *PVTx* 拉曼定量模型。相比于前人的显微测温等方法，本研究建立的拉曼定量模型在组分-密度计算精度上有了显著的提升，使得对于地质流体的赋存状态和活动规律实现更加精细的认识。

本研究我们选取了位于日本室户半岛南端，赋存于中新世砂岩体内的次生石英脉体作为研究对象，通过系统的流体包裹体分析结合本工作中建立的 *PVTx* 拉曼定量模型，计算得出该处地质流体的组分-密度特征，并恢复了流体包裹体的形成温压。结合区域地质资料，得出了该处二氧化碳流体的形成和运移模式：在四国盆地开始扩张及菲律宾海板块发生顺时针旋转后（25Ma），菲律宾海板块的西北边界北部发生与亚欧板块的碰撞事件（21-17 Ma），随着这两个板块的进一步俯冲，软流圈物质和大量来自地幔的岩浆流体开始由深向浅运移，直至室户半岛南部辉长岩体形成（14.4Ma）。因此，本研究中的二氧化碳可能形成于 1）地幔岩浆流体和软流圈物质作为二氧化碳源，在俯冲作用下二氧化碳流体沿着分支断裂和逆冲断层运移至浅部；2）在中新世岩浆活动的高温地质背景下，菲律宾海板块的洋壳沉积物在俯冲边界上形成含碳流体并被氧化生成二氧化碳，再沿着分支断裂和逆冲断层运移至浅部，被捕获形成流体包裹体。

S46-O-32

长江口底边界层湍流拟序结构及其控制的猝发事件特征

李任之 [1]，George Voulgaris[2]，汪亚平 [1,3]*

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200062

2 School of the Earth, Ocean, and Environment, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA

3 南京大学，地理与海洋科学学院，南京 210093

* ypwang@nju.edu.cn

近底部边界层中的湍流拟序结构与动力结构密切相关，对沉积物的垂向脉动输运起到显著的控制作用。为了研究河口地区湍流拟序结构的特征及其在沉积物再悬浮事件中扮演的角色，本研究于 2019 年 7 月在长江口外进行了持续多个潮周期的锚系定点观测，获取了高频流速数据与剖面数据，分析了该区域的层化特征与近底部湍流结构。基于高频的流速数据建立了较好的湍动能平衡关系：在大部分时间内湍动能耗散率与生成率相当，二者的差异时刻主要出现在落潮阶段，此时近底部层化水平较稳定。对湍流拟序结构的分析结果指出，四个主要象限事件中 Ejection 和 Sweep 的贡献水平地位显著高于 Inward Interaction 和 Outward Interaction，并且呈现落潮时达到高值的潮周期性特点。统计分析四种象限事件控制下的显著猝发事件的主要特性，Ejection 和 Sweep 控制的猝发事件呈现发生频率高、持续时间长，具有更大的强度的特点。底边界层湍流在落潮阶段受稳定层结的抑制，显著猝发事件的雷诺应力强度随之降低。显著猝发事件的沉积物垂向脉动强度在涨落潮两个阶段分别受水动力强度与近底部悬浮沉积物浓度两种不同因素的控制。

S46-O-33

台湾浅滩多尺度沙波地貌演变的模拟研究

周洁琼 [1,2]*，吴自银 [1,2]

1 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012

2 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012

* janechou@sio.org.cn

海底沙波是区域海洋动力与沉积环境相互作用的产物，在全球分布广泛、类型多样、成因复杂。迄今，海底沙波研究依然是国际热点和难点海洋科学问题，其发育机理与致灾机理等主要科学问题尚未得到完全解决。

位于东海与南海交汇处的台湾浅滩发育了规模宏伟的海底沙波场，其面积达到 1.5×10^4 km^2，早在上世纪 70 年代就引起国际关注。在台湾浅滩巨型海底残留沙脊地貌背景下，叠加发育了波长 10^{-1} – 10^3 m 的多尺度海底沙波地貌，构成了一个残留沙脊地貌与多尺度沙波地貌共存的陆架典型动力

地貌体系，演化过程时空跨度大、机制复杂，给现代海底动力地貌体系演变研究提供了一个具有全球典型性的样本。同时，该区波高超过 10 m 的巨型沙波在中国海仅有、全球罕见，其发育、演化和成因机制等问题长期未得到解决。

结合全新世以来中国陆架海平面变化曲线，采用沙波生长的线性稳定性分析模型，本研究模拟了台湾浅滩沙波地貌自全新世以来的演变过程。模拟结果证实了：现在环境条件不足以形成波长为千米级的一级巨型沙波，其形成在早于现今、水深更深的环境条件；而次级沙波为现在环境条件的产物。

基于沙波生长模拟结果，结合钻孔与浅层剖面资料，划分了台湾浅滩多尺度沙波地貌形成的三个阶段：（i）全新世海平面上升时期由海侵砂形成一级巨型沙波；（ii）全新世高水位时期，一级巨型沙波被浅滩上新沉积的海滩砂覆盖，并受逐渐形成的现代动力环境改造；（iii）海平面降至当前高度时期，一级巨型沙波被保留并叠加发育了次级沙波、沙纹，形成与现在水动力环境相互适应的形态特征。

本研究不仅能丰富我们对动力沉积地貌形成、演化与维持机制的认识，也有助于我们进一步了解全新世海平面变化下海洋动力与沉积环境的演变。

S46-O-34

大型河口工程对长江口及邻近海域生态动力过程的调控机制

何艳茹 [1,2]，吴辉 [1,2]*，王一鹤 [1,2]

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241

2 华东师范大学海洋科学学院，上海 200241

* hwu@sklec.ecnu.edu.cn

河口及邻近海域受到径流、潮汐、波浪、陆架环流和大气强迫等复杂动力条件共同作用，这些物理过程对当地水域的生物地球化学过程起到调控作用，从而决定了水域生态系统的时空分布特征。近年来在气候变化和人类活动（包括流域和河口人类活动）的共同影响下，河口及近岸海域环境灾害日益加剧，如富营养化、有害藻华、水体缺氧、生境破碎等。上世纪以来，世界上许多河口区域都建造了大型工程，比如航道加深、围海造陆、防波堤等，但它们对周围水域环境的影响往往被忽视。特别在长江口，以往的研究大多认为流域人类活动（以三峡大坝为主）对长江入海径流及物质通量的改变是人类活动影响近海环境的主要因素。然而近期的研究发现，河口重大工程建设对河口及邻近海域的动力环境也产生了较大的影响，如深水航道和潮滩围垦工程，其影响程度甚至要超过上游工程。

本研究利用“水动力-泥沙-生态”三维数值模式（ECOM-si），探讨大型河口工程对长江口及邻近海域浮游植物生长分布的影响。模型结果显示，大型河口工程建设后，长江口东部近口门表层叶绿素 a 浓度高值区有向陆移动的趋势，而河口东南部表层叶绿素 a 浓度高值区有向海移动的趋势。长江口大型工程从本质上改变了河口水域的地貌特征和动力结构，在很大程度上阻碍了河口水体的侧向交换，导致冲淡水往东北方向的扩展减弱而往南的扩展增强，从而影响了悬浮泥沙和营养盐浓度的分布，并经由光照限制与营养盐限制的共同作用对口外浮游植物生长进行调控。

S46-O-35

高悬沙浓度河口湍流剖面观测

田静 [1]，汪亚平 [1,2]

1 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210093

2 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，上海 200241

* 738272931@qq.com

本文采用高频声学仪器的原位观测技术与船载剖面观测技术相结合的方式，对长江水下三角洲前缘地区进行水动力和沉积动力过程的连续观测，获取了高质量湍流剖面数据，弥补了早期对近岸河口与浅海陆架区域近底层观测薄弱、浅水区域的湍流剖面观测的不足。对 ADV、AD2CP 所采集的原始高频流速数据进行质量控制、噪声剔除以及分离波浪等处理后，得到可供后续湍流参数计算的高频流速数据。通过能谱法对处理后的高频流速数据进行计算，得到了关键湍流参数。结合 OBS、CTD 所反应的浊度以及温盐剖面数据，对长江水下三角洲前缘的水动力以及湍流剖面空间结构进行分析。

S46-O-36

椒江口近底层泥沙动力特性及航道回淤机制研究

李莉*，陈雪茜，姚炎明

1 浙江大学海洋学院，舟山 316021

* lilizju@zju.edu.cn

近年来，随着河口经济的不断发展，椒江口航道输运量急剧增加，需要对航道进行疏浚。作为维持航道水深方法之一，疏浚后的回淤成为航道维护的主要问题。本文基于观测数据与数值模拟结果，研究椒江口航道泥沙回淤特性及机制。根据底质资料，设置河口动力与泥沙输移数值模式下的底部摩阻，临界起动切应力等参数，优化底边界层模型，引入底部浮泥层化效应，增加细颗粒泥沙絮凝沉降过程，并考虑泥沙浓度与水体密度的双向耦合，优化提高了泥沙模型效能，并用实测资料对模型进行了校正。模型结果显示，航道疏浚改变地形，影响水动力，进而影响泥沙动力。增加疏浚深度和宽度会增加进入航道的净输沙量，前者对航道淤积厚度影响较大，而改变航道位置对泥沙淤积影响较小。回淤泥沙主要通过环流从潮滩进入航道，在航道内的分布主要受潮泵效应控制。其中垂向净环流输移对航道回淤影响较大，由于浚深后垂向水流差增大，加剧了浅滩与航道的横向输沙，导致垂向净环流输沙量增大。潮泵效应主要影响航道内的纵向悬沙通量，进而影响航道内悬沙的再分布，以致航槽两端淤积较严重，航槽中部淤积较轻。相比于风与径流，潮对航道回淤贡献最大。风主要影响平流输沙和垂向净环流输沙，径流主要影响平流输沙，潮流主要影响垂向净环流输沙导致航道淤积。这些结果可用于全球类似河口的航道管理和规划。

S46-P-01S

GNSS-IR 测量潮位的精度评估：以香港鲗鱼涌站点为例

叶脉[1]，彭冬菊[2]，李琳琳[1,3]*

1 中山大学地球科学与工程学院，广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室，珠海 519082

2 新加坡南洋理工大学，地球观测研究所，新加坡 630798

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519082

* lilinlin3@mail.sysu.edu.cn

通过对 GNSS 水面反射信号信噪比（Signal-to-Noise Ratio, SNR）数据的分析，可以间接测量水位变化。这种 GNSS 干涉反射计（GNSS-Interferometric Reflectometry, GNSS-IR）技术已被证明能够测量海平面变化（如：天文潮汐、海况以及风暴潮等）。与传统的验潮仪相比，GNSS 台站架设的位置较高，因此其具有不易被台风或海啸引起的极端海浪破坏的优点，并且 GNSS 台站能够同时记录陆地的垂直运动，从而消除陆地沉降对测量造成的影响。在这项研究中，我们利用香港鲗鱼涌附近的GNSS台站HKQT的历史观测数据，通过 GNSS 干涉反射计反演出海平面高度，并对其准确度进行评估。首先我们利用多模多频 GNSS-IR 信号获取近 5 年的水位，将动态海平面和对流层信号传播延迟考虑在内，对反演数据进行校正。然后将这5年的水位与鲗鱼涌的传统验潮仪

的数据进行对比，以评估这 5 年的反演水位的精确度。反演结果显示，GNSS 海平面测量和潮汐计记录的均方根误差小于 20cm，表明这种技术有潜力提供一种新的方法来监测风暴潮，以补充现有的测潮网络。本研究的目的是了解 GNSS-IR 在这个地点记录长期水位变化的能力。这种评估能为今后设计用于海平面监测的 GNSS 验潮仪提供有益的信息。

S46-P-02S

南海西边界流冬夏模态转换

解一 [1,2]，王强 [1,3]*，曾丽丽 [1,3]*

1 中国科学院南海海洋研究所热带海洋国家重点实验室，广州 510301
2 中国科学院大学，北京
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广州 511458
* wqiang@scsio.ac.cn, zenglili@scsio.ac.cn

在研究南海西边界流的冬夏转换时，发现地转平衡主导着这一转变。在温跃层(~100 m)上方，海表面高度压力梯度与科氏力之间的平衡主导着南海南部西边界流的转换。因此，在垂向上，温跃层上方转向时间是一致的。在温跃层以下，海表面高度压力梯度与密度压力梯度之间的竞争决定了这一层的转变。在南海南部西边界流转向之前，海表面高度压力梯度远大于密度压力梯度，维持了温跃层以下西边界流的转向。在转向过程中，海表面高度压力梯度和密度压力梯度的符号相反，大小差不多，造成了较小的压力梯度力。随着时间的推移，海表面高度压力梯度远大于密度压力梯度，然后维持了北向的西边界流。随着深度的增加，密度压力梯度逐渐增大，表面高度压力梯度要增长到远大于密度压力梯度需要更多的时间。因此，较深层的西边界流的转向时间明显滞后于较浅层西边界流的转向。南海南部海盆尺度风应力旋度的变化是表面高度压力梯度变化的主要原因。密度压力梯度的变化主要与西部陆坡区域的水变冷和内区水域的变暖有关。

S46-P-03S

长江河口南槽纵向余环流：径流、潮汐和地形耦合机制

张丽芬 [1]，杨作升 [2]，张凡 [1]，李占海 [1]，汪亚平 [1,3]，高抒 [1]

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室海洋科学学院，上海 200241
2 中国海洋大学海洋地球科学学院
3 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210023

经典河口环流理论认为河口纵向上存在表层向海、底层向陆的单环流，但该理论中并未包含对地形因素的考虑。本文于 2018 年洪、枯季（7、12 月）在长江口南槽开展现场调查，通过锚系剖面和座底三脚架观测获得了从陆向海 3 个站位的同步流速、温盐剖面等数据，对河口拦门沙地形对纵向余环流的影响展开了探讨。分析结果显示，长江口南槽拦门沙海域存在着两种河口纵向余环流模式：在洪季形成于拦门沙外坡的经典单环流，但在枯季形成由拦门沙内、外坡环流构成的双环流。基于表征河口混合的 Simpson 数、M 值和盐度剖面结构，揭示拦门沙海域纵向余环流形成的主导因素是斜压作用；双环流模式与拦门沙地形对枯季盐水入侵的作用有关；外坡环流亦可能受口外上升流的影响。拦门沙海域双环流结构可决定河口滞流点及最大浑浊带的悬沙分布，流域和河口人类活动对拦门沙地貌条件的改变进而又间接影响双环流发生的频率与规模。

S46-P-04S

长江下游—东海溶解和沉积有机质的季节性变化

韩露露 [1]，王映辉 [1]，许云平 [1,2]*，王亚松 [1]

1 上海海洋大学海洋学院上海深渊科学工程技术研究中心，上海 201306
2 上海海洋大学海洋渔业资源可持续利用教育部重点实验室，上海 201306
* ypxu@shou.edu.cn

内陆水域中约有一半的碳会进入海洋，但是在大洋中却很难检测到陆源输入信号，因此这些陆源有机碳在河口和近海是怎么消失对于碳的生物地球化学循环至关重要。长江的泥沙携带量全年并不均衡；长江-河口-东海区域处于亚热带季风气候区，全年的温度、湿度以及其他的环境因素也存在明显差异，在这一区域的碳循环研究中不能忽视随时间产生的变化。因此，在本次研究中我们选取了长江-河口-东海断面两个季节对应的河流（R 系列）和海洋（S 系列）12 个站位的沉积有机质和 5m 水层的水体样本，测定各站位表层沉积物的总有机碳（Total Organic Matter , TOC）、稳定同位素（$\delta^{13}C$）、粒径和 5m 水层的盐度数据；通过连续的不同介质提取得到了可以和水体自由交换的水提取组分（Water-Extractable Organic Matter , WEOM）和与矿物颗粒紧密结合的碱提取组分（Base-Extractable Organic Matter , BEOM），对其和过滤后的水体样本一同进行溶解有机碳（Dissolve Organic Matter , DOC）、紫外-可见光吸收光谱和三维荧光光谱（3D-EEWs）测定，并进行平行因子分析（Parallel Factor Analysis, PARAFAC），研究有机质在垂直沉降过程中的季节性差异。结果表明，根据地球化学参数将 12 个站位被分成了淡水区（R1-R4）、混合区（R5-S4）和海洋区（S5、S6）。在之前的研究中已经发现细颗粒沉降在混合区（特别是最大浊度带）是有效埋藏陆源腐殖质物质的重要机制，但这一过程在全年的变化中并不均一。本研究通过盐度的保守性估计发现在 7 月份水体迁出有机碳约 0.49 $mg*L^{-1}$，而 3 月份仅 0.01 $mg*L^{-1}$；通过提取有机碳总量发现，在 7 月份沉降有机碳约 0.016 Tg，而 3 月份仅 0.003 Tg，从两个方面来看水体陆源有机碳的迁出都应主要发生在夏季，而不是全年同等发生。此外，7 月份溶解有机质的沉降是早于 3 月份的，导致能够产生沉降的区域增加，增大沉降的有效率；同时 7 月份在海水—沉积物界面上发生 DOM 向沉积有机物（Sedimentary Organic Matter, SOM）方向转化增强，更多的溶解有机质（尤其是陆源有机质）转化为沉积有机质，使得 7 月份的陆源信号在海洋中检测不到。3 月份通过吸附沉降的有机质对于沉积物的整体性质改变有限，而 7 月份有机质（主要是腐殖酸类物质）的沉降改变了沉积物的整体性质。7 月份沉降的有机质对于长期储存在当地的碳元素有更为重要的意义。

S46-P-05

东海沉积物镁同位素地球化学特征及示踪大陆风化的潜力：基于东海航次观测

胡忠亚，杨守业*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
* syyang@tongji.edu.com

镁元素在大陆地壳和海洋中均具有较高的自然丰度，含镁粘土矿物是硅酸岩化学风化过程中的重要产物之一，其形成过程中往往记录了丰富的气候和环境变化信息。用海洋粘土沉积物镁同位素示踪关键地质历史时期大陆风化过程的深时演化成为当前剖析全球气候变化的一个新思路，并引起广泛关注。河口与浅海陆架区是海陆物质循环的关键区域，水动力、水体 pH/Eh 和盐度等环境因素变化较大，界面过程和物质循环可以显著改变入海风化物质的组成，制约流域风化信号向大洋的传输，进而影响边缘海风化沉积记录的解读。目前对河口-陆架关键断面上陆源粘土矿物镁同位素地球化学行为特征的研究不足，制约了该新指标的广泛运用。本文依托 2019-2020 东海综合科考航次，以东海河口-陆架沉积区表层和重力柱沉积物为研究对象，开展粘土矿物提取及高

精度的元素和镁同位素地球化学分析，结果显示粗粒沉积物具有与未风化上地壳相同的元素和镁同位素组成，表明其来源于岩石的物理风化，而粘土粒级沉积物与粗粒沉积物之间的镁同位素差异 $\Delta^{26}Mg_{细粒-粗粒}\approx0.3‰$，基本与上地壳风化过程中残积物与母岩之间的镁同位素分馏程度一致，表明粘土粒级沉积物镁同位素确实记录了大陆风化信号。空间对比研究结果显示，表层粘土粒级沉积物自河口向海方向上没有显著的镁同位素变化，垂向上，在 4 米长的重力柱中也没有观察到显著的沉积物镁同位素变化和早期成岩作用响应趋势。粘土粒级沉积物 $\delta^{26}Mg$ 值与 Al 含量呈现正相关关系。这些结果综合表明，河口及陆架沉积区陆源粘土粒级沉积物 $\delta^{26}Mg$ 值与沉积物所经历的大陆风化强度有关，而沉积分选和早期成岩作用不会显著影响粘土粒级沉积物镁同位素组成特征，陆源粘土粒级沉积物可以示踪大陆风化作用。

S46-P-06S

中全新世以来东亚冬季风的衰减——来自东海泥质沉积物的记录

张硕 [1,2]，高建华 [1]*

1 南京大学地理与海洋科学学院海岸与海岛开发教育部重点实验室，南京 210023

2 南京大学中国南海研究协同创新中心，南京 210023

* jhgao@nju.edu.cn

东亚季风是欧亚大陆和邻近大洋之间热量和水汽的重要传输通道，其强弱变化会区域气候特征甚至全球大气循环产生重要影响。因此了解东亚季风不同时间尺度下的变化及其驱动力对于了解全球气候变化具有重要意义。相对于东亚夏季风的研究，由于替代性指标相对不足，东亚冬季风的研究相对薄弱。为揭示中全新世以来东亚冬季风的活动规律及其对中国东部陆架区沉积体系的影响，本文以东海陆架泥质带 3 根沉积物柱样（C05、C07、C09）为研究对象，通过 ^{14}C 定年厘定柱样年代学框架，通过粘土矿物组成、Sr-Nd 同位素等手段反映沉积物物源变化，通过不同粒径组分反映浙闽沿岸流搬运能力变化，从而反推中全新世以来东亚冬季风强度的变化。结果表明，自全新世适宜期之后，北部柱样 C05 中来自长江的沉积物明显增加，较粗组分 EM2 含量升高。南部柱样 C09 沉积物来源无明显变化，细组分 EM1 含量明显上升。结合前人研究，我们认为一方面由于人类活动的影响，自 3 ka 以来长江沉积通量上升，使得北部柱样 C05 中长江来源的沉积物增加。另一方面由于东亚冬季风强度的减弱，浙闽沿岸流搬运能力减弱，只能将细组分 EM1 搬运到南部，而更多的粗组分 EM2 被滞留在北部。

S46-P-07S

广西山口红树林国家级自然保护区互花米草与红树林近 24 年变化的遥感分析

沈鸿坤 [1]，黄荣永 [1]*，余克服 [1,2]

1 广西大学 海洋学院 珊瑚礁研究中心 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁 530004

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海 519000

* rongyonghuang@163.com

互花米草根系发达且适应环境的能力很强，在与其他植物争夺空间和养分的过程中容易占据优势。其作为外来入侵物种已对我国海岸带生态系统造成严重的危害。为了探讨互花米草入侵对我国红树林的生长和扩张所造成的影响，本文选择以广西山口红树林国家级自然保护区的红树林为例，选用 1995-2019 年的 Landsat 多光谱遥感影像序列，利用深度学习、决策树和人工判读等方法，对互花米草和红树林分别进行识别，进而分析该保护区内外互花米草和红树林面积过去 24 年以来的动态变化。结果发现：

没有人工干预的情况下，山口红树林保护区的互花米草的面积持续扩大，红树林的年平均增长率不断减小，说明互花米草在与红树林的竞争中占据优势；但在存在治理措施的条件下，互花米草面积有所减少，相应地，而经过一段时间的互花米草治理之后，红树林年平均年增长率则有所上升。这说明互花米草的入侵会扼制红树林的生长与扩张，但山口红树林国家级自然保护区内的生态治理措施能够有效地削弱护花米草入侵的影响，达到红树林生态系统保护的效果。该研究成果为山口红树林国家级自然保护区互花米草治理与红树林生态系统保护效果的评估提供了定量的科学数据，并为互花米草与红树林竞争关系的分析提供了一种新的方法，对更大范围的互花米草的防治、红树林生态系统进一步保护措施的制定或其他自然生态系统的治理与评估等具有重要的参考价值。

S46-P-08S

基于改进 U-Net 和迁移学习海岸线提取方法

王蕊*，丁咚，任昕，韩慧慧

1 中国海洋大学海洋地球科学学院，青岛 266100

* 2938625797@qq.com

基于卷积神经网络（Convolutional Neural Networks, CNN）的深度学习技术在图像处理和识别领域表现出色，但其在分类、回归等模式识别问题中，存在由于时间、场景等的差异性而导致的数据集分布不同步的问题。这时就有必要重新标注新的训练数据，如果需标记数据的数据量比较大，则耗时耗力，而且无法保证其质量。迁移学习(Transfer Learning, TL) 是解决上述问题的一种机器学习理论，是指将某个领域或任务上学习到的知识或模式应用到不同但相关的领域或问题中。

本文针对高分辨遥感图像分割问题，提出一种基于U-Net改进的深度卷积神经网络和迁移学习建立遥感影像海岸线提取模型，实现了端到端的像素级语义分割。首先将 BN（Batch Normalization）算法和转置卷积加入到网络中，减少内部协变量偏移来加速网络训练，并能够缓解梯度消失的问题，有效防止模型过拟合；然后使用现有数据集上训练好的参数作为模型初始参数，分析迁移学习方法、迁移时添加 Dropout 层以及初始学习率大小对模型性能的影响；最后使用最优模型参数提取胶州湾 2018 年~2021 年海岸线并做定量分析。实验结果表明，基于改进U-Net和迁移学习可构建识别准确率高、泛化能力强、适合小样本数据集的遥感影像海岸线提取模型。

S46-P-09S

侧扫声纳与无人机摄影测量对比

贾如真*，许江，房旭东

1 自然资源部第三海洋研究所，厦门 361005

* Jiaruzhen@tio.org.cn

侧扫声纳作为传统探测技术被广泛应用于反映海底表面特征，近年来无人机摄影测量技术在我国海洋领域也得到广泛应用。以福建省某海域潮间带为例，通过侧扫声呐探测和无人机摄影测量获得同一区域海底图像，从中提取沙波、海底礁石等海底微地貌以及人工堤、海蛎柱等养殖设施图像，分析二者图像有何异同、图像变形原因及分辨率对比。研究表明：侧扫声呐图像中人工堤、海蛎柱等线状物易在垂直航向方向上发生变形，在航向上发生缩短；无人机影像清晰，分辨率高，不易发生变形，但潮间带退潮后有水区域地形不能在图像上呈现；综合利用侧扫声呐和无人机摄影测量数据，可有效提高探测精度。

S46-P-10S

陆架泥质区海底拖曳系数的观测研究

齐富康[1]，徐景平[1,2]*

1 南方科技大学 海洋科学与工程系，深圳 518055

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266061

* xujp@sustech.edu.cn

水动力和沉积物输运模型中，常用二次拖曳定律即$\tau_c = \rho C_d U^2$对底摩擦应力进行参数化，其中C_d定义为拖曳系数。在陆架浅水区域，拖曳系数的大小直接影响了动能耗散、底床侵蚀和沉积物垂向输运等动力学过程。前人研究表明拖曳系数与底床粒度、波浪、潮汐、水深、地形等多种因素相关。因泥质区粒度变化较小，模型研究中常把拖曳系数看做常数，而忽略了其在不同时空分辨率下的变化。

为了弥补对陆架泥质区拖曳系数认识的不足，本研究利用冬夏两季在山东半岛东部泥质区观测获取的波浪及底边界层高频流速数据分析了拖曳系数的变化及其影响因素。不同站位观测期间均经历有大风事件，且在冬季 S2 站的观测中捕捉到了事件性的近底沉积物浓度的分层现象。研究结果表明，除冬季 S2 站以外，不同站位拖曳系数相差不大，且随季节及涨落潮流的波动不明显，变化范围在 0.001~0.0023 之间。拖曳系数与湍流雷诺数之间有较好的拟合关系，而与波浪雷诺数的相关性较差，说明湍流是该区域拖曳系数的主要控制因素。但在大风期间，波浪与海流的非线性相互作用增强了湍动能，从而间接影响了拖曳系数。受浓度分层对湍流的抑制效应的影响，冬季 S2 站位沉积物浓度分层时拖曳系数较小，而没有浓度分层时拖曳系数可达前者的 3 倍以上。

S46-P-11S

Precise measurement of $^{226}Ra/^{230}Th$ disequilibria in ocean sediments and porewater by high-sensitivity ICP-MS

Liuting Yuan[1,2], Xinyu Jiang[1,2], Pinghe Cai[1,2]*

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005

2 College of Ocean and Earth Science, Xiamen University, Xiamen 361005

* Caiph@xmu.edu.cn

The $^{226}Ra/^{230}Th$ isotope is a potential proxy for tracing solute exchange processes in the sediment-water interface in the deep sea. In order to use this proxy, we need to measure depth profiles of $^{226}Ra/^{230}Th$ in deep-sea sediments, porewater as well as overlying water. In this paper, we focused on the pretreatment, purification and measurement of Ra samples. Dry sediment samples (~0.5g) were digested before separation of Ra from Th using an 8 ml anion exchange resin column (AG1*8, 100-200 mesh). Primary separation of Ra and Ba from other matrix ions was accomplished using an 8 ml cation exchange resin (Bio-Rad 50W*X8, 100-200 mesh), followed by a 2 ml cation column to further purify Ra and Ba. Finally, a 0.5 ml strontium-specific resin was used to isolate Ra from Ba. Measurement of ^{226}Ra was performed by high-sensitivity Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ELEMENT XR). This procedure can be applied to porewater and seawater samples, only requiring to change the digestion step to a manganese dioxide coprecipitation step. Eventually, we developed an analytical method for the precise measurement of $^{228}Ra/^{226}Ra$ ratios in samples by high-resolution Element XR, which

detected an ion intensity of >30 cps for 1 ppq (femtogram/g) Ra spike solution in ~3 minutes.

S46-P-12

潮流、波浪和筏式养殖影响下底边界层湍流变化

凡仁福[1,2]，赵亮[3]，鹿有余[4]，赵伟[1]，聂红涛[1]，魏皓[1]*，王道儒[2]

1 天津大学海洋科学与技术学院，天津 300072
2 海南省海洋与渔业科学院，海口 571126
3 天津科技大学海洋与环境学院，天津 300457
4 加拿大贝德福德海洋研究所，达特茅斯 B2Y4A2
* hao.wei@tju.edu.cn

2016 年 1 月至 2 月和 2017 年 6 月至 7 月在黄海西部的筏式海带养殖海湾（黑泥湾）利用海床基平台对潮、波浪、湍流和悬浮物浓度等进行了长时间连续高频观测。针对潮流和波浪作用下底边界层观测数据，本文应用和发展了新的方法—同步压缩小波变换和惯性副区自动识别。统计数据分析得到了惯性副区与潮流和湍流强度的关系，对利用 AD2CP 进行湍流剖面观测的参数设定提出了建议。观测结果研究表明：底边界层湍流主要由流速剪切产生，波浪对湍流雷诺应力无影响但会使湍动能耗散率增大；底边界层出现的高悬浮物浓度未抑制湍流变化；海带养殖使流速和湍流雷诺应力减小，对湍动能和湍动能耗散率影响小；潮流和波浪作用下底边界层湍动能和波浪扰动能的生成与粘性耗散处于局地平衡状态。

S46-P-13

基于集成学习的浅海沙波区单一底质精细分类研究

王明伟[1,2,3]，吴自银[2,3,4]*，王嘉翀[2,3]，赵荻能[2,3]，周洁琼[2,3]

1 山东科技大学测绘与空间信息学院，青岛 266590
2 自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
3 自然资源部海底科学重点实验室，杭州 310012
4 上海交通大学海洋学院，上海 200030
* ziyinwu@163.com

海底底质类型的分类识别是海洋科学、海洋资源探测以及海洋军事等领域的重要研究内容，快速、有效、准确地对海底底质进行识别和分类对于海洋科学研究和应用至关重要。基于传统的地质取样方法进行底质识别成本高、效率低，而多波束、侧扫声呐和浅地层剖面等海底浅表层声呐探测信号或图像中蕴含着丰富的海底底质信息，通过对上述海底探测声学信号或图像进行分类和识别，以快速揭示海底底质类型，已逐渐发展成一门前沿交叉学科。

海底沙波是一种广泛分布在沿海陆架环境的海底地貌形态。海底沙波也是海洋地质灾害和海洋沉积动力学的重要研究对象。对于浅海沙波区的底质分类研究有助于解释海底沙波的迁移规律及动力机制，也关系到海底光缆、海上石油平台等重大海洋工程设施的安全与稳定运行。

然而，在水动力作用下，浅海沙波区往往具有复杂多变的海底地形特征，发育着沙脊、巨型沙波及次生沙波等地貌形态，沙波区底质分类结果与地形存在高度依赖性。同时，浅海沙波区的底质类型较为单一，主要以砂类底质为主，伴有极少量的泥质砂，且砂类底质的粒径差别也较小，传统分类方法难以对单一底质进行精细分类。如何有效结合多波束反向散射强度特征与地形特征，从而实现浅海沙波区单一底质进一步细分，成为目前亟待解决的技术难题。

本文提出一种融合多波束反向散射强度特征与地形特征的集成分类方法，分别基于多波束测深和反向散射强度数据提取 8 维特征向量，再结合 AdaBoost 与遗传算法优化的极限学习机分类模型，对砂类底质进行精细分类。应用于台湾浅滩典型沙波区进行实验验证，将砂类底质进一步划分为粗砂、

中砂和细砂等三种底质类型。总体精度和Kappa 系数可达到 86.75%和 0.80，故该方法可实现浅海沙波区单一底质的精细分类。

S46-P-14S

Carbon transformation and export in an intertidal mudflat deciphered by $^{224}Ra/^{228}Th$ disequilibria

Yilin Cheng[1,2]*, Pinghe Cai[1,2]

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, PR China

2 College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, PR China

* yilincheng@stu.xmu.edu.cn

Silty intertidal zones play an important role in carbon transfer and export between land and ocean. In this study, we utilized a $^{224}Ra/^{228}Th$ isotope system to investigate carbon export and transfer from a permeable silty seabed near ShenHu Bay, Fujian, China. Sedimentary profiles of dissolved ^{224}Ra, total ^{224}Ra and ^{228}Th at high, middle and low tide positions in the intertidal mud flat were measured, respectively. Dramatic deficit of total ^{224}Ra relative to ^{228}Th was observed in the upper 15 cm sediment layer of the high and low tide positions. A simple two-dimensional advective cycling model was used to simulate interfacial fluid transport in such a silty system affected by tides and waves. The model shows a fairly large interfacial water exchange flux of 2200 L m^{-2} d^{-1} at the low tide position. Turnover rates of total organic carbon (TOC), dissolved organic carbon (DOC), and dissolved inorganic carbon (DIC) in sediment and pore water are calculated by assuming a first order kinetic reaction of carbon transformation. The results showed that TOC stock and TOC transformation rate in the upper 15cm sediment layer of the low tide position was 204 mol m^{-2} and 4.5 mol m^{-2} d^{-1}. DOC and DIC export fluxes were estimated to be 6.1 and 4460 mmol m^{-2} d^{-1}, respectively. We then used an one-dimensional mass balance exchange model to estimate TOC, DOC, DIC turnover rates of 0.02, 530, 17 d^{-1} based on their inventories in the upper 15 cm sediment layer. We conclude that DOC, as an intermediate for the transformation from TOC to DIC, has a very fast turnover rate in the intertidal mud flat. Therefore, the role of nearshore dissolved organic matter in biogeochemical cycles still needs to be further evaluated.

S46-P-15

台湾浅滩沙波特征及迁移规律分析

杨宇平[1]，刘猛[1]，胥维坤[2]，徐景平[1,3,4]*

1 南方科技大学 海洋科学与工程系，深圳 518055

2 国家深海基地管理中心，青岛 266237

3 南方海洋科学与工程广东省实验室，广州 523936

4 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室，青岛 266000

* xujp@sustech.edu.cn

海底沙波是一种在全球广泛分布、类型多样、成因复杂的海底地貌形态，是海洋沉积动力学和海洋灾害地质学的重要研究对象，也是海洋工程建设和海岸保护管理考虑的潜在目标。台湾浅滩发育有大量不同尺度的海底沙波地貌，其在潮流、风浪、台风等动力环境下的快速迁移会造成海底管道、光缆等海上重要工程设施的悬跨或掩埋，甚至会导致海底光缆和管道的断裂从而引发安全事故。本研究利用长约 159km，水平分辨率为 1.2m 的高精度多波束单一测线数据和

ADCP 走航流速观测数据，对水深范围为20～60m 的台湾浅滩沙波区进行分析。根据Ashley (1990)的沙波分类体系，通过滤波的方法将所获得的沙波数据分成三种类型：巨型沙波（波长 88~867m, 波高 5~20.8m）、中型沙波（波长 5~77m，波高 0.40~4.98m）和小型沙波（波长 2~7m，波高 0.08~0.40m）。通过计算沙波剖面的不对称性指数，发现大多数沙波的迁移方向为 NE 方向，同时结合 Rubin（1982）沙波迁移公式对沙波迁移速率进行估算，计算结果表明，在常规条件状态下，巨型沙波迁移的速率为 0.02~0.09m/yr，中型沙波迁移的速率为 0.09~1.16m/yr，小型沙波迁移的速率为 1.16 ~5.82m/yr。使用参数化计算沙波迁移速率可以为该地区的沙波动态特征研究和海底工程实施提供一定的参考。

S46-P-16

福建三沙湾网箱养殖对水动力条件的影响

姜鑫涛[1,2]*，涂俊彪[1,2]，范代读[1,2]

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200082

2 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 1931647@tongji.edu.cn

近年来快速发展的大规模、高密度的养殖活动极大影响了流场结构、水体交换能力、营养盐循环等，加上残饵、粪便、生物残骸等含有大量有机物质的产生，使得养殖区很容易出现富营养化、赤潮和低氧等问题，制约养殖业的可持续发展，加剧海水环境的恶化。

三沙湾由于其优越的自然条件而成为我国主要的箱式养殖区，但是高强度的养殖规模已严重阻碍海水的交换，湾内水质已发生明显下降。因此我们于 2009 年夏季在三沙湾网箱养殖密集的东安岛附近开展了大面站调查和连续点包括布放三脚架观测等，利用养殖区内外两站位的流速及温盐数据对比研究来探究网箱养殖对流场结构及水体交换的影响。结果表明，网箱养殖的存在严重阻碍了水体的流动，致使水平流速垂向上出现“双边界层”结构，表层和底层的流速较小，最大值出现在中下部，表层流速被减小了近 70%，影响深度可达 10m。另外网箱养殖对流速的影响在涨潮和落潮期间也有一定的差别，在涨潮期间网箱养殖对流速的阻碍较为稳定且较大，最大流速与表层流速比值的平方都在 10 左右；而在落潮期间网箱养殖对流速的阻碍作用与流速的大小成正比，比值随流速的变化在 1-10 之间变化，这主要与网箱的分布排列有关。通过计算底部与表面的密度差发现两个站位都存在明显的分层现象，在涨潮结束时密度差最大，约为 2.5 kg m^{-3}，而在落潮结束时密度差最小，仅为 0.5 kg m^{-3} 左右。对流速进行旋转后发现，该区域存在较强的侧向环流，而侧向环流可能也是导致这两个站位在垂向上出现明显分层的原因。但是我们通过计算梯度理查德森数、浮力频率及速度剪切等参数发现，网箱养殖的存在增强了次表层水体（5-10m）的混合（Ri<0.25），在网箱养殖区内次表层水体的速度剪切在 10^{-3} 数量级，是网箱养殖区外的 10 倍，所以次表层水体的混合可能是由于在网箱养殖的底端由于阻力作用引起了速度的切变进而产生了局部的湍流增强混合。虽然养殖活动的存在会增强局部水体的垂向混合，但是由于横向流速的减小使得水体在横向上的交换周期增加，会加剧三沙湾水体的恶化，因此研究流场的结构变化从而合理规划网箱的分布对于三沙湾海水养殖的可持续发展及环境的保护至关重要。

S46-P-17S

复杂环流背景下水团分析及混合比例定量计算：事件性水团入侵的识别

王朔[1]，连尔刚[1]*，Lise Artigue[2]，杨守业[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 University of Toulouse, Toulouse 31400
* eglian@tongji.edu.cn

水团划分是研究现代海洋生物地球化学循环过程的基石。迄今为止，水团的划分一直沿用经典的 T-S 点聚图法，然而 T-S 点聚图法仅能够满足稳态条件下四个不同端元的混合比例计算。随着海洋化学的快速发展，诸多示踪剂如放射性 Ra 同位素、I 同位素、溶解碘、溶解态重稀土、氢氧同位素等被引入水团起源、运移路径示踪以及多个水团混合比例计算。然而，水团的划分及水团边界的确定具有相对性，且水团的混合比例计算均采用多元一次方程求解，缺少不确定度的检验。对于大洋尺度的研究工作，如 GEOTRACES 航次断面，水团划分和混合比例计算可以近似为稳态；而对于受径流、地形、风场等因素影响显著的河口-陆架区域，如何定量解析高频变化的水团结构、计算水团混合比例至今存在诸多挑战。

长江口-东海陆架区域受长江径流、东亚季风、复杂地形、强烈潮汐作用以及西边界流黑潮入侵的影响，区域环流结构复杂多变。过去的水团分析工作均基于稳态的假设进行水团划分和混合比例计算，然而水团的演化（包括形成、滞留与退化）对进一步的生物地球化学循环研究至关重要，却鲜见报道。因此，本研究基于 2013 年冬季长江口多参数（温度、盐度、密度、氢氧同位素、营养盐等）的主成分分析（PCA）、聚类分析以及最优多参数分析（OMP），结合 MODIS（中分辨率成像光谱仪）海表温度资料与 CMEMS（哥白尼海洋环境监测服务）再分析流场资料，发现冬季长江口存在事件性的黄海沿岸流分支入侵长江口，并基本沿着 10-30m 等深线之间朝南流动汇入浙闽沿岸流，其朝南影响范围至少可达 29.5℃。然而，仅通过航次调查的水文资料和传统水团划分方案无法得到该结论。此外，OMP 计算结果表明台湾暖流在长江口水下河谷顶端存在跨等深线向陆输送并伴随着上升流现象。综上，基于多参数的多数学方法联立的水团分析，可以清晰刻画河口-陆架区域高频变化的水团结构及定量计算不同端元混合比例，这对河口-陆架区域营养盐收支、物质输运及生物地球化学循环具有重要参考意义。

S46-P-18

基于 FVCOM 的近期长江口北支水动力和泥沙动力变化分析

张奇[1,*]，范代读[1]，吴永胜[2]，冯韬[2]，涂俊彪[1]，孙飞翔[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 Ocean and Ecosystem Sciences Division, Bedford Institute of Oceanography，Nova Scotia B2Y 4A2, Canada
* zhangqi_@tongji.edu.cn

河口三角洲是河流与海洋交汇的地方，是世界文明发源的摇篮，是世界上经济最发达、人口分布最集中的地区之一。经济发展和人口增长使得河口三角洲地区受到越来越多人类活动的影响，包括海堤修建、航道整治、滩涂围垦、地下水和化石能源开采等。本研究利用近 20 年来长江口北支及邻近水域的实测水文和地形资料，从垂向水流、悬浮泥沙运动和地貌演变的基本方程和理论出发，使用 FVCOM 模型系统建立覆盖整个长江河口的动力-泥沙模型，考虑径流、潮汐、风场和波浪的动力边界条件模拟实际的水沙过程，并用实测资料对模型的可靠性进行了验证，通过对 2000 年以来北支围垦前后水动力泥沙分析，结果显示，滩涂的圈围使得北支岸线发生缩窄，径流作用减弱，潮流作用增强。围垦后涨潮流流速有不同的减小，而落潮流总体表现为增大，北支涨潮流占主要优势的河槽性质没有发生根本性变化，但是围垦后由于涨潮流流速的减小，落潮流流速的增大，涨落潮流动力的差距有所减缓。

本研究探讨滩涂围垦导致北支河槽冲淤变化的机制，将为今后河口地区滩涂科学的围垦和北支今后的整治提供科学依据，具有重要的实用意义。

S46-P-19

沉积物物源指标的不同示踪意义：我国东南沿海小河流研究案例

李亚龙，黄湘通，Nguyen Thi Hiep，连尔刚，杨守业*

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* syyang@tongji.edu.cn

我国东南沿海发育特色山溪性中小河流系统，而它们具有不同的构造地貌和气候背景，流域风化剥蚀与沉积物从源到汇过程也差异显著，为研究和验证不同沉积地球化学指标的示踪意义提供了理想对象。本研究选择福建的典型山地小河流木兰溪，分析其沉积物的碎屑锆石的 U-Pb 年代学和元素和 Nd 同位素组成，探讨它们对沉积物来源的指示。木兰溪中上游非潮汐河段和下游-河口受潮汐影响显著河段沉积物中碎屑锆石（63-125 μm）的 U-Pb 年龄近似且很均一，均为流域中生代基岩剥蚀产物，明显不同于长江和东海内陆架的碎屑锆石年代。多元统计 MDS 和 PDP 分析显示它们之间没有源-汇之间的联系；而沉积物全样的 Sc/Th，Cr/Th 和 Nd 同位素组成揭示出木兰溪感潮河段的细粒沉积物具有混合源，包括东海内陆架和木兰溪流域，而上游非潮汐河段相对粗粒的沉积物则来自流域。显然，Nd 同位素和 Sc/Th，Cr/Th 比受水动力分选的影响较小，在沉积物源判别中更可靠和敏感。沉积物中碎屑锆石含量非常低，其年龄组成具有强烈源岩继承性以及受复杂沉积旋回影响，特定粒级组份的碎屑锆石 U-Pb 年龄对物源变化不敏感，不能代表全样沉积物组成和指示其物源变化。因此，在沉积动力环境复杂的山溪性小河流河口以及大陆边缘地区，开展碎屑沉积物源判别需要慎重考虑不同的物源指标特征及其示踪意义。

S46-P-20

波流作用下临港潮滩的沉积动力特征研究

孟令鹏*，涂俊彪，范代读

1 同济大学 海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* 2010867@tongji.edu.cn

临港潮滩地处长江口和杭州湾的交汇带，是长江口近岸泥沙与杭州湾交换的重要通道。由于受到长江入海水沙、波浪、潮汐、沿岸流和人类社会经济活动的共同影响，水体与底质的泥沙交换过程活跃，地形地貌演化具有复杂性。并且在当下全球气候变化导致海平面上升，极端气象事件频发以及人类活动加剧的大背景下，临港潮滩的沉积动力过程呈现出新的演变趋势，因此开展临港潮滩的沉积动力过程观测具有重要的意义。虽然短时间尺度的原位定点水动力观测有一定的局限性，但是通过对仪器记录的数据的处理分析，能够很好的帮助我们理解和刻画潮滩长期的动力过程与地形地貌演变规律。本文于 2014 年 5 月 31 日-6 月 2 日在临港潮滩的低潮滩上进行了连续同步水动力观测，现场观测仪器包括：声学多普勒流速仪一台（ADV：Acoustic Doppler Velocimetry,挪威 Nortek 公司生产），输出频率设置为 32Hz，流速探头距底高度分别为 30cm；光学后向散射浊度计一台（OBS：Optical Back Scatter, 美国 Campbell 公司生产），采样间隔设置为 10s，探头距底高度分别为 15cm。最后获得了潮流、波浪、浊度等高精度数据，并进一步分析了临港潮滩的沉积动力特征。结果表明：受不规则半日潮的影响，临港潮滩存在明显的潮汐不对称现象以及潮汐日不等现象;潮流呈现明显的往复流特征，潮流流速介于 0.10~0.78m/s 之间，流向介于 51°~327°

之间；全潮悬浮泥沙浓度的均值为1.40kg/m3,悬浮泥沙浓度的最大值为 2.26 kg/m3;利用 ADV 记录的高频压力数据进行反演计算得到的结果显示，观测期间的有效波高为 0.01~0.75m，波浪轨道流速为 0.17~0.48m/s，平均周期为 2.82~4.64s，潮周期内波高与水深变化呈现正相关。

S47-O-02

黄河中游的演化

潘保田*, 胡振波

1 兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室，兰州 730000

* panbt@lzu.edu.cn

黄河是中华民族的摇篮和母亲河，其形成发育过程不仅被学术界广泛关注，也是每一个炎黄子孙希望了解的问题。另一方面，探求构造-气候相互作用下河流的发育过程还是深入理解河流系统响应外部环境变化机制的基础，成为当前国际地学研究中备受关注的重大科学问题。黄河中上游串联了世界上最高的青藏高原、正在堆积的黄土高原和人口最密集的华北平原，流域内构造运动活跃、气候变化显著，不仅是探索上述科学问题的理想窗口，还是“黄河流域生态保护和高质量发展”国家战略中亟需解决的现实基础科学问题。从地貌学的视角出发开展黄河中上游层状地貌面（夷平面、河流阶地等）对比工作，在此基础上通过沉积特征、物源信息和年代序列关联分析，是重建黄河形成发育过程的重要途径。

根据黄河中上游陇西盆地、晋陕峡谷地区和豫西地区“唐县期”夷平面上覆红黏土-黄土的磁性地层学和古土壤地层学的研究，并结合该面上河流相沉积物的重矿物、化学元素、砾石成分及组构等物源示踪分析，确定“唐县期”夷平面形成于 3.7 Ma 前，当时保德以北的晋陕峡谷北段水系北流进入河套盆地，南段水系流入汾渭盆地，豫西地区也仅发育短小的河流。此时的河流系统与现代黄河水系格局显著不同。根据黄河最高级阶地的河流沉积物宇生核素埋藏测年、上覆黄土磁性地层学和古土壤地层学、ESR、OSL(TL)和 14C 测年，我们确定了若尔盖、共和、贵德、循化、临夏、兰州、黑山峡、青铜峡、晋陕峡谷、汾渭盆地、三门峡和豫西峡谷等主要河段黄河的形成年代，发现兰州至青铜峡段黄河出现最早，为 1.8 Ma 前后；上游的循化盆地段、中游的晋陕峡谷、汾渭盆地和豫西峡谷段黄河形成于 1.2 Ma 前后;共和盆地段黄河出现于 0.1 Ma 前后；若尔盖盆地段黄河最为年轻，仅为 0.01 Ma 前。

在上述年代框架的限定下，我们重建了整个黄河中上游的形成发育过程。上新世早期黄河流域分布众多断陷盆地，当时构造相对稳定，地表处于侵蚀夷平状态；至 3.7 Ma 前形成了比较平坦的夷平面，当时的水系以分散的内流河湖系统为主。3.7 Ma 开始，黄河流域强烈抬升，导致夷平面解体，水系开始重新组织。至 1.8 Ma 前后，兰州至青铜峡段黄河最先形成，其归宿可能为内蒙地区的河套古湖。与此同时，晋陕峡谷南段以及豫西地区的短小河流开始溯源袭夺河套古湖和占据汾渭盆地的三门古湖，最终于 1.2 Ma 前后将河套盆地、汾渭盆地和华北平原的水系串联，形成了黄河东流入海的水系格局，其上游此时已延伸至积石峡以上。大约 0.1 Ma 前后，黄河上游已进入共和盆地；最近 0.01 Ma 前，若尔盖以上的水系才被纳入黄河流域，形成了现代的水系格局。

S47-O-03

长江三角洲的演变

范代读[1]*，苏建锋[1]，郭兴杰[2]，刘演[3]，范思齐[1]，张奇[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 上海地质调查研究院，上海 200072

3 华东师范大学河口海岸国家重点实验室，上海 200241

* ddfan@tongji.edu.cn

长江三角洲开始形成于 7500 年前，当时海平面上升达到最大后趋于稳定，长江入海泥沙在河口大量堆积导致海岸线不断前展，进入三角洲建设期，形成广袤的三角洲平原，面积达 2.3 万多平方公里。长江三角洲平原分为南、北两翼，北翼由多个期大型河口沙坝/岛并陆而成，其中红桥期、黄桥期、金桥期和海门期沙岛分别形成于 7.5-6.0 ka（千年）、6.5-4.0 ka、4.5-2.0 ka 和 2.5-1.2 ka，均已并岸成陆；崇明期沙岛在并陆过程中，如果没有人工干预将在本世纪后期并岸成陆；目前在河口处在发展阶段的还有长兴-横沙期和九段沙期沙岛/洲。南翼为贝壳沙堤平原，在上海西部从北（方太-马陆）向南（漕泾-柘林）分布着 3-5 列贝壳沙堤（当地称冈身），形成于 6.5-4.0 ka 之间；之后南翼岸线前展较快，又发育多道不连续的沙堤，但两千年以来的古岸线以人工修建的海塘为显著标志。

三角洲发育主要受流域来沙量的控制。据估算，7.5-2.0 ka 期间长江入海泥沙为 1.92 亿吨/年；尽管当时入海沙量较低，但因早期（7.5-4.0 ka）河口捕沙率高导致三角洲淤涨较快；而 4.0-2.0 ka 因河口动力环境变化导致三角洲淤涨减缓。2.0 ka 以来因流域人口快速增加导致植被破坏、水土流失加剧，入海泥沙量逐步提高，至 1950-60 年代到达最大值约 5.0 亿/年，该阶段三角洲淤涨速率也是最大。1960 年代末因流域开始大量建设水库和 1980 年代中后期开始实施水土保持工程等，共同导致入海泥沙大幅减少；三峡大坝蓄水以来，长江入海泥沙已降为 1.32 亿吨/年（2003-2019），并导致长江口水下三角洲出现净冲刷。但在潮控河口涨潮优势沙作用下，口外悬沙被带到口内潮滩等处淤积，以及人工促淤工程作用下，陆上三角洲面积仍因潮滩淤涨而不断增加，但这一趋势可能在今后的几十年里发生由淤转冲的变化。

三角洲是人类文明的诞生地之一，早在长江三角洲形成初期便开始蕴育了马家浜文化，之后经历了崧泽文化、良渚文化和马桥文化等，尽管先人可以充分利用有利的三角洲环境繁衍生息，但极易受到自然灾害影响甚至出现数次文化断层，直到两千年前人类开始修建比较完整的、连续的海塘之前，三角洲人地关系一直处于被动适应自然的状态。尽管修筑海塘的技术水平在不断提高，但从 2.0 ka 至 1990 年代初期修建海塘基本方式和目的变化不大，可统一归为主动适应阶段。1990 年代中后期至 2010 年代中期因社会经济快速发展需要，海塘修建方式已由原来的高滩筑土堤为主转为低滩甚至潮下带建石块和混凝土结合的大堤为主，并由防潮灾转为围垦加防灾结合的用途，该阶段归为过度开发利用期。近五年随着生态文明建设成为国策并落实之后，潮滩已由原来比较单一视为潜在土地资源转为重要的湿地生态资源，进入以保护为主的阶段。在崇明岛的演变过程中，还存在着上海与江苏因北支沙岛成陆后的土地归属问题之争，今天的崇明岛上有两个镇一级的江苏省辖地。

S47-O-04

西沙群岛的由来

吴时国*

1 中国科学院深海科学与工程研究所 深海资源与探测省重点实验室，三亚 572000

* swu@idsse.ac.cn

西沙群岛海区发育众多的新生代碳酸盐生物礁。这些生物礁台地演化是南海演化的重要组成部分，对深水油气成藏、全球碳循环和南海成因演化研究具有重大的意义。西沙碳酸盐生物礁起源于早中新世，至中中新世达到鼎盛，再到晚中新世大量台地被淹没而逐渐消亡。从其生命演化上来看，这些生物礁台地生命从几个百万年，到两千万年，长命的台地可发育至今，形成现今的西沙群岛。从其堆积速率上，中中新统速率最大。尽管控制这些台地的诞生、发育演化和消亡的因素十分复杂，我们仍然可以推断构造活动、相对海平面的变化、陆源碎屑物质输入

变化、古海洋环境变化是极其重要的控制因素。

S47-O-05

七彩云南的前世今生

郑洪波*

1 云南大学地球系统科学研究中心，昆明 650091

* zhenghb@ynu.edu.cn

“彩云之南”是云南省的昵称。在我国浩如烟海的地名中，不乏山川湖海，东南西北，但没有多少个比得上“云”和“南”动听，尤其是它们的组合，竟能造化出如此富有曼妙诗意的名字。

《云南通志》载：“汉武年间，彩云见于南中，谴吏迹之，云南之名始于此。”《南诏野史》亦载：“彩云现于龙兴和乡，显在云之南，故名云南。”这个以“彩云南”冠名的县就是如今的祥云县云南驿，从汉元封二年（公元前 109 年）汉武帝设云南县至今已有 2100 多年。

“云南”不论以什么级别的行政区划的名称出现，“云之南”、“彩云之南”、“七彩云南”都是她的诗意别称。正是这些别称，生动形象地刻画出云南的美丽、神奇、多彩，让“云南”如此走心。

“七彩”就是“多姿多彩”，用专业术语（地理学、地质学）表达，就是“多样性”。在地球科学领域，云南几乎囊括了所有对“多样性”的描述：多样性的地貌，多样性的气候，多样性的土壤，多样性的生物，多样性的资源，多样性的民族，多样性的文化……。

七彩云南有怎样的前世？又是何时获得今生？那曾经是怎样的天地玄黄，宇宙洪荒？这一切又该源于怎样的巧夺造化，鬼斧神工？

云南位于青藏高原的东南缘，是青藏高原的自然延伸。青藏高原在新生代的隆升，塑造了现今的宏观地貌格局，季风开始，河流改组，现代自然环境格局建立，多样性的生态系统逐渐形成。

S47-P-01S

Artgeology, nature appreciation and scientific illustration

Hewei Duan*

1 School of Humanities, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074 China

* hewei.duan@foxmail.com

Environmental problems have become one of the major challenges in our society. The politics, economics, and academic communities have already begun to take action to face the challenges. In arts and humanities, an emerging topic is how art can help us protect the environment. One of the solutions is to find out how to appropriately, aesthetically appreciate nature. It is the core of environmental aesthetics because there is an important relationship between how we aesthetically appreciate the environment and how we should treat it.

Some artists have already integrated scientific knowledge into artistic creation. Geology, one of the most popular sciences, not only changed scientists’ and artists’ perception about nature but also changed their artworks. For example, in the 19th century, British artists were influenced by geology and gradually developed a new landscape painting tendency “phenomenism”, which influenced British paintings in the whole century. At the same time, in the United States, the interaction between painting and geology had a more profound impact: they shaped together with the attitude of the entire American society to the natural environment. In the 20th century,

Baoshi Fu, an Asia artist of the 20th century, has introduced geology into Chinese landscape painting and has developed a landscape painting style known as "Bao Shi Cun". He also referred to the works of Takashima Beihai and others, tried to integrate geology into traditional landscape painting, and corrected the lack of science in landscape painting.

"Artgeology" that has been developed in the 1990s by Yuyi Kang (1937-2019), a Professor of geologist and artist from Nanjing University to analyze how he used Earth science knowledge to creating Chinese landscape paintings. Trained as a geologist, he was able to have a deeper understanding of the landscape compared with other artists who have little geological knowledge. Moreover, his artworks demonstrate novel aesthetic characteristics.

Based on previous researches, I focused on the interaction of "artgeology and painting" in this study. Scientific illustration is one of the key researches. Excellent illustrations could not only arouse readers' interest and attention to geology but also help to arouse senses and metaphysical thinking. Scientific illustration involves three disciplines mentioned above: geology, environmental aesthetics, and visual arts. My illustrations are discussed as examples to analyze the relationship between these three disciplines.

S47-P-02

中国西部盆山原壳幔结构、深部动力学过程及其对地貌资源环境的制约

赵俊猛[1,2,3]*，张培震[4]，Xiaohui Yuan[5]，甘卫军[6]，孙继敏[7]，邓涛[8]，Robert van der Hilstg[9]*，康[10]，刘宏兵[1]，杨小平[6]，颜茂都[1,2,3]，徐强[1,2]，张衡[1,2]，邓攻[1]，琚长辉[1]，林吉炎[10]，滕吉文[7]

1 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统科学国家重点实验室，北京 100101

2 中国科学院地球科学卓越创新中心，北京 100101

3 中国科学院大学，北京 100049

4 中山大学，广州 510275

5 Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam14473, Germany

6 中国地震局地质研究所，北京 100029

7 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029

8 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所，北京 100044

9 Massachusetts Institute of Technology, Cambridge02139, United States of America

10 中国地震局地球物理勘探中心，郑州 450002

* zhaojm@itpcas.ac.cn, hilst@mit.edu

板块构造控制着古气候变化和生物演化。中国西部塔里木盆地的干旱化和沙漠化与青藏高原隆升和海水退却有直接关系。塔里木盆地通常被认为是一个坚硬的构造块体，它抵抗着与印度板块持续向北运动有关的青藏高原的向北扩张。然而，从地震学研究中推断出的构造边界与相邻单元的结构复杂性表明，这种南北挤压下静态块体的简单观点需要修正。

作为羚羊计划的研究结果之一，穿过塔里木盆地及其周缘造山带的沙雅-布尔津剖面、库尔勒-富蕴剖面、拜城-大柴旦剖面、羚羊-I 以及穿过中国西北部盆山体系的三条国际地学断面系统地揭示了塔里木板块发生了顺时针旋转；利用中国西部 GPS 观测资料，改变传统参考框架，得到了塔里木板块相对于周缘造山带顺时针旋转的欧拉极(39.2°±0.27°N, 82.0°±0.34°E)与角速度(0.461°/Myr)；在高原西部印度板块与塔里木板块的西南缘直接碰撞，是塔里木板块顺时针旋转的动力源；在高原中部与东部由于先期碰撞在印度板块与塔里木板块之间发育高温、低速、因而较软的巨型破碎区，因内部变形而造成应力西向传递。羚羊-V（喜马拉雅西构造结）的研究揭示，帕米尔

高原北部搭载在塔里木板块的基底之上，塔里木板块的顺时针旋转加速了西部水汽通道关闭的进程，使中国西北地区的干旱沙漠化提前。该结论得到了来自古生物学证据的支持。羚羊计划研究建立了印度大陆碰撞-西藏巨型破碎区发育-塔里木板块顺时针旋转-西部水汽通道关闭加速-中国西北部干旱化提前这一地球深部构造对地表地形起伏和资源环境变化的制约关系。

S47-P-03

现今长江形成于晚中新世-来自中国东部海域盆地碎屑锆石的证据

付晓伟[1]，朱伟林[1]，杨守业[1]*，耿建华[1]，钟锴[1]，黄湘通[1]，张路遥[1]，徐曦[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
2 中国自然资源部航空物探遥感中心，北京 100083
* syyang@tongji.edu.cn

长江起源于青藏高原，并向东海地区输送了巨量的碎屑物质。然而，长江的形成方式和形成时间依旧存在很大争议。本研究对中国东部新生代海域盆地（南黄海盆地和东海盆地）进行了大量的碎屑锆石分析，结果表明南黄海盆地新生代物源存在较大的时空差异，而东海盆地表现出明显地阶段性，晚中新世前后物源发生明显的改变。通过与华南、华北及朝鲜等地一系列现今河流的对比发现晚中新世开始物源年龄特征与现今长江基本一致，并持续至第四纪，在此之前，物源主要来自华北和朝鲜半岛，因此，与现今规模和流域侵蚀型式类似的长江应形成于晚中新世。这与青藏东缘晚中新世以来的强烈河流下切起始和持续时间基本一致。考虑到中新世之前江汉盆地湖泊相为主导的沉积特征，始新世至中中新世东海盆地持续且稳定的物源特征表明该时期长江可能并未到达青藏东缘。本研究为长江的演化提供了新的视角。考虑到长江复杂的源-汇过程及构造、气候等对流域的影响，还需更多证据来分析长江的形成和演化。

S48-O-01

从星象到物候：欧亚大陆农民历的出现

陈巍*

1 中国科学院自然科学史研究所 100190
* chenwei@ihns.ac.cn

指示农时是古代历法的重要社会功能，各早期文明所用历法多以天文现象的周期性变化为计时依据。自公元前 2 千纪末起，随着政权对物候现象观察的积累，农民历中物候因素逐渐增多，对天文现象的依赖程度逐渐降低。本报告尝试结合中国和地中海沿岸这位于古丝路东西两端主要文明，探讨农民历从星象历到物候历演变过程中的同步性，以及各自出现独特历法传统的知识史背景。

S48-O-02

一带一路专题数据库建设与数据挖掘分析平台

白江涛[1]*，杨慧慧[2]

1 陕西师范大学西安地图出版社，西安 710000
2 黑龙江工业学院西安地图出版社，哈尔滨 150000

古丝绸之路是亚欧大陆人民数千年来探索开拓出的连接亚欧非三大洲几大文明的贸易和人文交流通路，在推动人类文明进步，促进沿线各国繁荣发展方面起到了重要的纽带作用，是东西方交流合作的象征，是世界各国人民共有的历史文化遗产。

进入 21 世纪后，面对复苏乏力的全球经济形势，纷繁复杂的国际和地区局势，中国国家主席习近平在 2013 年 9 月和 10 月出

访中亚和东南亚国家期间，先后提出了共建“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”的重大倡议，得到了国际社会的高度关注以及沿线国家的积极响应。“一带一路”建设已成为我国新时期重要的发展战略。

为积极响应国家这一发展战略，面向国内外各个群体推广、宣传“一带一路”。西安地图出版社组织有关专家学者，编著了《图解丝绸之路经济带》大型图集。该图集按照科学编制原则，运用普通地图和专题地图相结合的展示方式，集地图、图片、图表和文字于一体，由序图、丝路历史、现状要览、愿景展望四部分组成。以图文并茂的形成、比较系统、生动、直观的展示了丝绸之路的起源于演变，丝绸之路经济带在世界格局中的地位作用，丝绸之路经济带三个主要方向沿线国家的历史沿革、政治、经济、文化等基本国情，以及丝绸之路经济带建设战略实施的时代背景，建设原则、框架思路、合作重点、合作机制，中国各地方的开放形势与引动以及国际响应。《图解丝绸之路经济带》一书，为服务党和国家“一带一路”建设的战略构想，总体设计思路清晰，技术路线合理，形式灵活多样，资料详实新颖，为读者了解丝绸之路经济带的昨天、今天和明天，提供了新的视野与方式，为政府，相关企业及单位，科研机构以及社会公众进行决咨，研究乃至出行游览提供了可信的参考，在促进我国与丝绸之路经济带相关国家和组织的贸易交往、经济投资、人文交流与合作方面可起到重要作用。

西安地图出版社为了使《图解丝绸之路经济带》成为一部集科学性、实用性、可读性于一体的文化精品，在项目启动前多次聘请高等学校、科研机构和政府相关部门的专家学者研讨论证，精心策划，几易编写方案而成。

白江涛，男，工程师，现任西安地图出版社数字运营部主任。曾担任编务、编辑部主任、编辑出版中心主任兼数字出版中心主任、市场营销中心主任兼数字运营部主任等职。2016 年起，担任西安地图出版社党支部组织委员、西安地图出版社科技创新工作委员会副主任。2012 年以来，获裴秀地图作品奖五次，陕西省优秀测绘工程将 2 次，陕西测绘地理信息局优秀党员三次。

2013 年至今，参与或组织策划、申报国家和省级出版基金 30 多项，获批 10 多项，均已结项；由白江涛同志策划或组织申报的国家级文产项目、数字出版转型升级项目等国家级项目 20 多项，获批 6 项。其中，4 项已经结项。2 项完成了软件著作权登记。策划申报国家或陕西省“十三五”“十四五”规划重点项目十多项，获批 2 项。

已经结项的成果中，中央文化企业国有资本经营预算项目《幻影地理》《全媒体数字地图第一辑 • 历史文化数字地图》《一带一路专题数据挖掘与数据库建设》和陕西省文化产业项目《大西安历史文化地理信息平台》目都是历史文化与 GIS 的融合创新项目。具有较强的市场应用前景和可扩展性。

S48-O-03

河西走廊地区史前人类生业模式及人与环境相互作用研究成果动画科普展示

李若[1]，董广辉[1]*，杨谊时[2]，任乐乐[3]，马敏敏[1]

1 兰州大学资源环境学院，兰州 730000
2 甘肃省文物考古研究所，兰州 730000
3 兰州大学历史文化学院，兰州 730000
* ghdong@lzu.edu.cn

人与环境相互作用是多领域关注的前沿热点问题，生业模式转换是史前人类与环境相互作用的重要方式，受气候变化与文化交流等因素影响。河西走廊地处丝绸之路关键区域，生态环境脆弱，是史前东西方文化交流以及人与环境相互作用研究的热点区域，相关研究在近些年取得了长足进展。已发表成果通过动植物考古、骨骼同位素分析以及碳十四测年等研究方法，结合环境与考古资料，描绘出了河西走廊史前人类生业模

式转换过程以及人与环境相互作用模式变化的大致轮廓。我们基于以上工作基础，对河西走廊新石器晚期至铁器时代早期古人类生业模式与环境变迁，以及人与环境相互作用模式进行汇总分析与通俗化表达，以动画形式复原古人类不同时期生活场景，尝试将环境考古领域的科学研究成果对领域外人士进行普及与宣传。

S48-O-04

黄土塬——千沟万壑之中的平坦之地

金钊*

1 中国科学院地球环境研究所　黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 7100612.

2 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心，西安 710061

* jinzhao@ieecas.cn

黄土塬是过去260万年由西北风携带的沙尘在古盆地或古湖盆上堆积而成的平坦土地，而现今新华字典对“塬”字的解译是有误的，需要更正。整个黄土高原地区，黄土塬的面积约为6.5万平方公里，占黄土高原总面积的10%左右，根据其面积大小和破碎程度，可分为大塬、台塬、墚塬和残塬四种不同类型。黄土塬是黄土高原最为宝贵的宜耕、宜农、宜居的土地资源，有比墚峁区更为优越的生产和生活条件。当前，黄土塬面临的最大问题是沟道侵蚀剧烈导致塬面破碎化和分解问题。以董志塬为例，由于自然因素和人类活动影响，过去1300多年间，董志塬被蚕食面积达 90 多万亩，年平均蚕食约690亩；洛川老县城也因沟道溯源侵蚀而在1768年搬迁到现今的位置。建国以来，国内从事水土保持工作的专家、学者和政府工作人员为黄土塬区的水土保持工作做出了巨大的贡献和努力。近年来，课题组一直关注“固沟保塬”工作，已在董志塬取得了系列成果：（1）发现黄土结构孔隙中存在的孔隙集中带和垂直管状通道，是黄土边坡垂直节理形成和易发生侵蚀破坏的微细观结构基础；（2）首次提出塬面快速的城镇化和交通路网扩张是现时期董志塬沟道侵蚀剧烈和塬面破碎化的主要原因；（3）揭示了地表水的不合理疏导和地下水位的上升是影响董志塬固沟保塬工程稳定性的两个最主要问题；（4）结合大量的理论和实践成果，提出了董志塬固沟保塬“拦-蓄-排-固”的系统治理思路和“埂、地、池(湖)、管(沟)、井、坝”6字防治体系。

S48-O-05

吐鲁番晋唐时期的植物利用与文化交流

蒋洪恩*

1 中国科学院大学人文学院考古学与人类学系，北京 100049

* jianghongen@ucas.ac.cn

吐鲁番地区气候干燥，环境艰苦。汉代以前的土著居民因地制宜，经营着半农半牧的生活。汉晋以来，内地文化对吐鲁番产生了巨大的影响；并且，为数众多的移民带来了先进的理念与农业生产技术。吐鲁番高昌故城以北晋唐时期的阿斯塔那—哈拉和卓墓地及其附近的巴达木、木纳尔墓地等出土的谷物、果品及其加工产品，生动地再现了当时的农业活动及食品加工方式。通过研究，吐鲁番晋唐时期的谷物为小麦、大麦、青稞、粟、黍、大麻、豆类及少量水稻；纤维植物为大麻、棉花等，油料作物为大麻、芝麻等；果品有梨属、苹果属、杏、胡桃、桃、葡萄等。除此之外，吐鲁番晋唐墓地还出土了加工食品如面条、粥、馕等。这些谷物、果品及期加工品与吐鲁番出土纸质文书互为补充，交叉印证，见证了丝路开通对吐鲁番盆地居民生活的影响。吐鲁番晋唐时期墓地出土的植物遗存及纸质文书，完美地再现了吐鲁番晋唐时期先民的农业活动与植物利用，以及其中蕴含的东西方文化交流。

S48-O-06

影响丝路文明演化的重大干旱事件

董广辉[1]*，谭亮成[2]，李若[1]，张山佳[1]，康树刚[2]，王蕾彬[3]，李腾[3]，陈发虎[4]

1 兰州大学资源环境学院，兰州 730000
2 中国科学院地球环境研究所，西安 710061
3 广州大学地理科学学院，广州 510006
4 中国科学院青藏高原研究所，北京 100101
* ghdong@lzu.edu.cn

气候突变事件，尤其是持续数十年至数百年的重大干旱事件，被认为是导致美索不达米亚、印度和玛雅等古文明衰亡的关键因素，丝绸之路上的古文明（如：楼兰古国）的消失也与重大干旱事件有密切关联。在丝路文明演化的历史进程中，有哪些重大干旱事件对其产生了深远的影响呢？我们在古丝绸之路不同关键节点地区，基于石笋和风成沉积剖面年代学和古气候环境指标的分析，发现了中晚全新世发生数次重大干旱事件。距今约 5800-5200 年前，在中亚干旱区发生了一次持续达 600 年的超级大旱事件，阻碍了沿绿洲路线上的跨欧亚大陆文化交流，导致北方欧亚草原路线在距今约 4500 年前首先出现东西方文化的碰撞。在距今约 4500-4000 年前，以及公元 1450 年左右，在河西走廊地区都出现了重大干旱事件，沙漠化问题对东西方交流和丝路文明演化产生了重要影响。我们通过在丝路关键节点古气候环境与考古记录的对比研究，构建了刻画“气候-水文-绿洲-文明”演化机理的概念模型，尝试去探索气候环境变化影响丝路文明演化的机制。

S48-O-07

欧亚草原东段古代人地关系初步研究

贾鑫[1,2]*，Harry.F Lee[3]，赵志军[4]，弋双文[2]，孙永刚[5]，黄文博[6]，胡晓农[7]，鹿化煜[2]

1 南京师范大学地理科学学院，南京 210023
2 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210023
3 香港中文大学地理与资源管理系，香港 SAR
4 中国社会科学院考古研究所，北京 100710
5 赤峰学院历史文化学院，赤峰 024000
6 赤峰市博物馆，赤峰 024000
7 乌兰察布博物馆，乌兰察布 012000
* jiaxin@njnu.edu.cn

欧亚草原东段包括大兴安岭周边以锡林郭勒草原和科尔沁草原为主的东北地区和蒙古高原地区。在文化系统上包括锡林郭勒草原的裕民-蒙元文化系统，科尔沁草原的兴隆洼-红山-契丹辽文化系统，呼伦贝尔草原的哈克-鲜卑文化系统，长白山地区的新开流-金-清文化系统。各地区文化自成系统又相互交流，是中华文明的重要起源地之一。同时，该地区位于我国北方农牧交错带北段，受气候变化影响明显。西辽河流域是其中最重要的文化系统。他是北方旱作农业起源地之一（兴隆沟遗址），6000 年前后出现了大量的精美玉器（红山文化），是契丹辽帝国的发源地和兴盛地。以西辽河流域为例，我们剖析了气候变化与人类活动的关系。研究认为，该地区的人类活动与气候变化密切相关，每一次文明的消亡都对应于气候的冷干化，每一次文明的兴盛都对应于气候暖湿化的开始。此外，生业模式对人类活动的影响显著，同样的气候冷干化，以采集狩猎和农业为主的生产方式导致了文明的衰落和倒退（小河沿文化），而后期牧业化的发展反而促进了文明的进一步发展（夏家店上层文化）。

S48-O-08

伊朗东北部 Borj 遗址出土铜石并用-青铜时代植物遗存分析

孙炳桂[1]，杨苗苗[1]，杨玉璋[1]*，Omran Garazhian[2]，罗武宏[1]，石云里[1]，张居中[1]

1 中国科学技术大学科技史与科技考古系，合肥 230026

2 University of Neyshabur，Neyshabur, Iran

* sbg18@mail.ustc.edu.cn

为了解伊朗东北部史前时期人类植物资源利用与农业发展状况，本文利用炭化植物遗存分析和植硅体分析方法，结合AMS^{14}C 年代测定，对伊朗东北部呼罗珊省 Borj 遗址 2019 的夏季发掘所获铜石并用-青铜时代植物遗存进行了研究。年代测定结果表明，发掘区地层堆积形成时间约为 6500-5000cal.BP，浮选发现的炭化植物遗存包括谷物类大麦、小麦和燕麦以及朴属、豆科、莎草科、藜科、飘拂草、禾本科杂草和一些未知植物种子，结果统计表明，谷物类种子数量占植物种子总数的 36.96%，出土概率达到 30.11%，其中，又以大麦的数量最多。非谷物植物种子中，以朴属种子数量最多，占全部炭化种子的 29.18%，出土概率达到 27.96%。植硅体分析共提取到 15 种植硅体类型，包括芦苇扇型、芦竹亚科扇型、垂直排列哑铃型、扇型、哑铃型、长方型、方型、长鞍型、短鞍型、尖型、帽型、齿型、光滑棒型、刺棒型、硅藻等，未发现来自农作物的植硅体。总体而言，尖型、棒型、齿形等反映相对干旱气候特征的植硅体较温暖湿润环境下主要发育的哑铃型、长鞍型、长方型等出现的频率占据优势。植硅体统计组合显示 Borj 遗址所在伊朗东北部地区在 6500-5000BP 期间，整体环境较为干燥，但实验结果中也发现有部分芦苇扇型、海绵骨针和硅藻植硅体，表明当地同时也存在适宜水生植物生长的水环境条件。综合上述分析结果并结合遗址发掘过程中出土丰富羊骨的现象推测，以 Borj 为代表的伊朗东北部地区在距今 6500-5000 年的铜石并用-青铜时代，自然环境较为干燥，人类的生业方式应是以畜牧为主，同时兼有少量农业种植。

S48-O-09

气候变化对古丝绸之路中段交通路线变迁的可能影响

王海鹏[1]*，陈建徽[2]，董广辉[2]，史志林[3]，陈发虎[4]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈科学国家重点实验室，兰州 730000

2 兰州大学西部环境教育部重点实验室，兰州 730000

3 兰州大学历史文化学院，兰州 730000

4 中国科学院青藏高原研究所高寒生态重点实验室，北京 100101

* wanghp17@lzb.ac.cn

丝绸之路在东西方经济文化交流方面发挥了极为重要的作用。根据历史文献记载，隋唐时期（约公元 580-850 年）古丝绸之路中段南线（即沿塔里木盆地南缘向西）逐渐被新北道（即沿天山北麓向西）所替代。然而，交通路线变迁的原因并没有被记录下来。为了探究可能的影响因素，我们分别从气候变化代用资料开发、历史文献资料收集和考古调查三方面入手，试图寻找古丝绸之路中段交通路线变迁背后的真正原因。

本研究选择阿勒泰南麓山间湖泊双湖为研究对象，利用摇蚊重建了过去 2000 年温度变化序列；通过和我国东部地区，青藏高原地区温度变化重建资料对比，发现过去 2000 年温度变化具有较好一致性，尤其在隋唐时期，温度普遍较高；此时，我国华北和青藏高原地区降水均显著增加。一个合理的假设由此产生：温暖湿润的气候条件促使唐王朝和吐蕃王朝快速崛起，两个强大的政权在古丝绸之路的沿线发生了激烈的争夺，最终导致古丝绸之路中段交通路线由南往北迁移。历史文献资料收集和遗址测年的结果较好地验证了该假设：此时期发生在古丝绸之路南线上的战争次数明显高于其他时期，导致丝路南线交通受阻（以公主堡和石头城的废弃为代表），而新北道（以唐朝墩和磨

河古城的兴起为代表）则成为唐朝经营丝路的新选择。

S48-O-10

青藏高原早期交流路线的重建及演变研究

侯光良[1,2]，兰措卓玛[1*]

1 青海师范大学地理科学学院，西宁 810008

2 高原科学与可持续发展研究院，西宁 810008

* Lczm1980@163.com

欧亚大陆史前跨大陆的物质传播和文化交流是当前国际学术界关注的前沿科学问题，尤其“一带一路”的倡议提出后，对沿线区域间交流路线的研究愈发显得重要。青藏高原是欧亚文明交汇的重要区域，也是“一带一路”的核心区，同时青藏高原特殊的地理环境，又是人类对高原环境适应的典型区域，研究这一区域早期交流路线的形成与演变对了解青藏高原的早期交流历史，以及人类在极端环境下的适应和模式变化具有重要意义。然而，目前对青藏高原早期交流路线的研究均为考古证据和文献资料的概念化路线，尚缺少精细化和具体化研究，导致对高原早期人类互动交流的详细演进过程认识十分有限。

鉴于此，本研究采用自然因子包括海拔、坡度、植被、河流作为成本数据，与旧石器-历史时期遗址点数据共同构成研究的数据源，以图作为理论基础，使用 GIS 工具，将青藏高原早期交流路线的重建抽象成带权图（网络）上的路径搜索问题，并基于成本最小原则，使用最优路径重建旧石器-历史时期的交流路线。具体操作是使用 Arc GIS（ESRI）软件中的本地 Python 地理处理工具执行脚本计算，使用考古遗址点、聚落点构成的节点集，使用节点间加权联通模型，重建新石器-青铜-历史时期路线；最后，结合古气候、考古证据、文献记载等多项证据从人类适应性角度分析其发展演变及驱动因素。主要得到以下结论：

（1）末次冰盛期高原极端气候促进了技术革新，细石器技术的盛行使高原人类对动物的利用率增强，形成的路线呈现随机-分散是人类为适应高原狩猎活动行为的产物。新石器时期适宜的环境背景下，仰韶文化的粟黍农业种植技术在适宜该农业发展的区域传播扩散，长距离的单条廊道型路线是在定居农业的基础上形成的；青铜时期受制于恶劣的气候条件，粟作农业的种植受到挑战，但跨大陆麦类作物、驯化羊、马的传入，拓展了人类向高海拔种植农业和发展牧业的空间，导致重建路线向高海拔地区延伸；历史时期农业产品的多元化和生产技术的进一步提高，人口数量增加，形成稳定的聚落，功能齐全且稳定的聚落为复杂路网的形成提供了关键动因，伴随着聚落间复杂的政治、贸易、文化互动，重建路线呈现复杂网络型。

（2）重建路线完整呈现了青藏高原旧石器-历史时期人类复杂的互动交流，反映出人类自身、生业模式以及互动交流能力对高原的逐步适应过程。从人类自身来看，青藏高原的地形、海拔、坡度、植被和氧气含量是影响路线形成的约束因素，为了适应逐步升高的海拔从而控制走路的成本，早期人类会选择高原河谷作为通道，河谷内坡度较缓、海拔相对较低，植被相对较好，河流的补给充足，相对含氧量较高，这是人类为适应高原自然环境做出的生物适应性行为。

（3）从生业模式的角度来看，高原的生业模式经历了旧石器时期的狩猎采集经济-新石器时期农业+狩猎采集经济并存-青铜时期农业+牧业经济全面发展-历史时期农牧业经济+商贸、政治、文化等互动交流不断深入的发展过程；这与旧石器时期人类表现出对高原资源的简单索取-发展至新石器时期对高原农业区域的主动占据-青铜时期对高海拔区域的开拓-历史时期对高原全面开发利用的交流行为模式相对应；而生业和交流行为模式的发展演变直接影响路线形成的模式，这一模式表现出新石器时期农业定居区首先形成稳定的路线-青铜时期农、

牧业混合交界带形成稳定路线-历史时期稳定的路线在聚落间形成的发展模式。

（4）从交流强度来看，新石器时期的交流互动是仰韶文化通过高原南部边缘与南亚的互动交流，发展至青铜时期高原北部中亚-沿新疆-河西走廊至高原北缘的互动交流加强，历史时期则是南、北边缘的交流不断强化，并伴随着人类对高原的全面开发，尤其是贸易网络深入高原的结果。所以，青藏高原从新石器时期开始就是中-西文化交流的中转站和集散地，青铜时期、历史时期是交流互动不断强化的过程，而这样的交流互动是高原形成独特文明样态的基础，是高原文化融入中华文明体系的联系和纽带。

S48-O-11

“丝路遗珠”——光与水如何影响柴达木盆地文明演化

董广辉[1,2]*，李腾[3]，张山佳[1]，任乐乐[4]，李若[1]，李国强[1]，肖永明[5]，王忠信[5]，陈发虎[2]

1 兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室，兰州 730000
2 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心，北京 100101
3 广州大学地理科学与遥感学院，广州 510006
4 兰州大学历史文化学院，兰州 730000
5 青海省文物考古研究所，西宁 810007
* ghdong@lzu.edu.cn

降水变化是影响世界古代文明发展的关键因素。诺木洪文化（约距今 3400－2450 年）和吐谷浑王国（313－663 年）是柴达木盆地东部发展起来的独特的中国古代文明。但是，人们对太阳活动和高山-盆地的降水变化如何影响这两个古代文明的兴衰尚不清楚。通过分析柴达木盆地东部风沙沉积序列的粒度，磁化率，Rb/Sr 比，烧失量和光释光测年等指标，重建了全新世晚期柴达木盆地的干湿变化。结果表明柴达木东部盆地的气候在约距今 2500－2300 年和距今 1600－1400 年期间相对干燥，而在约距今 2300－1600 年期间相对湿润，柴达木东部盆地气候整体表现出“干-湿-干”的特征。结合湖泊沉积记录发现在诺木洪和吐谷浑文化繁荣期盆地气候较干，而在诺木洪和吐谷浑文化间隔期盆地气候相对较湿。结合青藏高原东北部基于树轮的降水数据，进一步分析发现诺木洪和吐谷浑的繁荣期与周围山区的高降水量同步，周围山区的高降水量滋养了绿洲的扩张，进而促进了诺木洪和吐谷浑的繁荣。全新世晚期柴达木高山-盆地系统降水的时空差异性可能受到太阳活动的影响，可以通过抬升-沉降气流机制可以得到合理解释：即在较强的太阳活动下，高原气流上升导致高山降水增多，而气流补偿下降导致盆地降水减少。最后我们提供了一个“气候-水文-绿洲-文明”概念模型来解释太阳活动如何影响柴达木东部高山-盆地降水的时空变化，进而影响全新世晚期的人类定居和文明演化。

S48-O-12

汶川堰塞湖促进了中华文明由黄河上游向长江上游的迁移

范念念[1]，程雪峰[1]，杨兴国[1]*，李兰[2]，刘维明[3]，刘兴年[1]

1 四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室 水利水电学院，成都 610065
2 四川大学 历史文化学院（旅游学院），成都 610065
3 中国科学院、水利部 成都山地灾害与环境研究所，成都 610041
* 89022251@163.com

黄河和长江都孕育了史前文明，然而黄河流域比长江流域相对发达。黄河文明如何迁移或影响到长江文明，特别对于地形险峻、生存条件恶劣的上游地区，仍缺乏充分研究。我们的研究指出 14 ka 前汶川境内一次滑坡堵塞了长江支流岷江，形成堰塞湖。该堰塞

湖稳定存在近万年，为古人类提供了良好的定居环境，来自黄河上游的马家窑人迁移至此，与当地人融合，在堰塞湖周边发展成为营盘山文明。而距今 4.7±0.1 ka 时，一次地震导致堰塞湖突然溃决消失，促使营盘山人沿岷江河谷向下游迁移，至长江流域腹地的成都平原，发展成为宝墩文明。

S48-P-01

新疆博斯腾湖全新世水动力强度变化及其对早期人类定居的影响

谢海超 [1]*，梁洁 [1]，陈圣乾 [2]，郭梦京 [3]，王鑫 [2]，黄小忠 [2]，陈发虎 [1,2]

1 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统科学国家重点实验室，北京 100101
2 兰州大学资源环境学院, 西部环境教育部重点实验室，兰州 730000
3 西安理工大学水利水电学院，西安 710000
* hcxie@itpcas.ac.cn

亚洲中部干旱区（ACA）气候极为干燥，持续的水源供给是限制该地区早期人类定居的重要因素之一。因此，理解区域水文波动历史对于了解该地区人类与环境之间的相互关系至关重要。本研究利用粒度分解模型对新疆博斯腾湖全新世以来的湖泊沉积物粒度数据进行分析，结合现代过程研究提取出了对湖泊水动力变化敏感的组分，并据此重建了新疆博斯腾湖全新世以来水动力变化历史。结果表明，在早全新世（12.0-8.2 ka）湖泊的水动力强度较弱，中、晚全新世水动力相对较强，在 4.7-3.7 ka 和 1.2-0.5 ka 期间出现了两个百年际-千年尺度的弱水动力事件。值得注意的是，8.2-6.0 ka 期间湖泊水动力相对较强，而该区域夏季降水较低，我们认为该时期初夏高温导致了该流域山区的冰雪融水增加，造成了该时段博斯腾湖高湖泊水位的形成。因此，我们认为博斯腾湖全新世水动力强度的变化在不同时期分别主要受控于温度或降水。通过与其下游楼兰等考古遗址的存在时间进行对比发现，公元720年前后博斯腾湖水动力快速减弱引发的楼兰遗址地区水量供应减少可能是导致楼兰文明衰落的主要原因。

S48-P-02

丝绸之路西段泥炭记录的全新世降水演化历史

陈圣乾 [1]*，陈建徽 [1]，侯居峙 [2]，丁国强 [1]，陈发虎 [1,2]

1 兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室，兰州 730000
2 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统科学国家重点实验室，北京 100101
* chenshq12@lzu.edu.cn

西亚地区地处丝绸之路西段、亚欧大陆的核心位置，在史前和历史时期都是东-西方文化交流的核心之一。然而，过去全新世降水变化的研究主要集中于亚洲季风区和亚洲中部干旱区的东部，西亚地区的研究相对较少。目前已有的研究显示西亚地区全新世降水演化存在显著的争议，聚焦在全新世最湿润期究竟出现在何时：伊朗高原西部和东地中海的石笋氧同位素指示早全新世最湿润，之后趋于干旱；扎格罗斯山多个湖泊孢粉记录显示早全新世森林稀疏、直到中全新世才开始大规模扩张，提出早全新世干旱、中全新世最湿润的观点。

西亚地区全新世降水演化争议问题的解答既需要有可靠现代过程的古降水重建，也要求明确之前研究所用的代用指标的气候指示意义。本研究以伊朗高原西北部 Almalou 泥炭为探究对象，通过和近百年区域降水量变化的对比，发现 Almalou 泥炭脂肪酸链长指标具有明确的降水指示意义。该指标揭示区域中全新世（7-3 ka）降水最高、晚全新世趋于干旱，最湿润的时期与泥炭水生孢粉含量、西亚地区森林开始扩张的时间（~7 ka）基本契合。另外，依据泥炭陆生植物叶蜡氢同位素记录，发现该区域的叶蜡氢

同位素受水汽源变化、降水季节性变化的显著影响，限制了其对降水量的指示意义，应当谨慎对待该区域基于早全新世氢/氧同位素最偏负而得到的早全新世最湿润的推论。

S48-P-03S

欧亚草原-丝绸之路 10500–2200 BP 动物资源利用策略的时空变化

杜琳垚，董广辉*

1 兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室，兰州 730000

* ghdong@lzu.edu.cn

对动物资源的开发利用是人类生业的重要部分。新石器时代以来，欧亚大陆农业和畜牧业生产技术的革新促使人类对动物资源的开发利用方式呈现出明显的时空差异。基于目前已发表的动物考古资料，系统梳理了 10500–2200 BP 欧亚草原-丝绸之路地区的动物组合时空变化。

10500–6000 BP，丝绸之路西端逐步确立了以饲养牛、羊为主，猪为辅的畜牧模式；而丝绸之路东端，狩猎野生动物和饲养家猪同是人们获取动物资源的重要方式。6000–4000 BP，欧亚草原地区出现了驯化的马，牛羊也传播至此；猪狗等杂食动物的饲养在丝绸之路东段地区不断深化，并成为最重要的动物资源来源。4000–2200 BP，丝绸之路西段以牛、羊为基础的畜牧业结构并未发生明显改变；欧亚草原和丝绸之路中段除牛羊之外，也将马作为重要的动物资源；而丝绸之路东段出现了猪、牛、羊并重的动物群结构。

农业人群扩散和跨大陆交流可能是新石器时代以来丝绸之路-欧亚草原地区动物资源利用模式发生时空变化的主要原因，同时动物群的组合也受自然环境、气候变化和文化背景等因素影响。

S48-P-04

黄土高原西部新石器至历史时期人类对主要农作物的利用策略研究

黎海明[1,2]，董广辉[2]*，刘歆益[3]

1 南京农业大学，人文与社会发展学院，南京 210095

2 兰州大学，资源环境学院，兰州 730000

3 圣路易斯华盛顿大学，人类学系，美国密苏里州圣路易斯 63112

* ghdong@lzu.edu.cn

农业起源与扩散的历史，及其与人类社会发展的关系，是国际学术界关注的前沿科学问题。黄土高原西部是中国北方旱作农业起源中心之一，具有悠久的新石器文化历史和完备的历史文化发展序列，分布着大量的新石器和历史时期文化遗址，是研究早期作物起源和驯化历史及其利用策略的理想区域。然而，已开展的研究主要集中在史前时期，对历史时期的关注不够，也缺乏对新石器至历史时期整个长时段内农业的发展和变迁研究。本文以黄土高原西部为研究区，以大地湾遗址和庄浪县考古遗址中出土的炭化植物遗存为研究对象，综合黄土高原西部已发表植物考古结果，重建了黄土高原西部距今 8000 年以来的农业发展历史，并分析了其背后的影响因素。结果发现黄土高原西部新石器至历史时期人类对主要农作物利用历史可分为四个阶段：第一，大地湾文化一期至仰韶文化早期，主要种植黍，次要种植粟；第二，仰韶文化中期至齐家文化时期，主要种植粟，次要种植黍；第三，寺洼文化时期至唐代，主要种植粟和黍，次要种植小麦和大麦；第四，宋代至清代，主要种植小麦和大麦，次要种植粟、黍、燕麦、荞麦、大豆等作物。气候和人口数量变化是影响黄土高原西部人类利用农作物资源策略变化的主要因素。本文为旱作农业历史研究提供了关键的证据，为认识和理解黄土高原西部新石器至历史时期人类对主要农作物

的利用历史及其利用行为等问题提供了重要的研究案例和新的视角。

S48-P-05

小麦在中国北方的传播和利用

马敏敏*，卢敏霞

1 兰州大学资源环境学院，兰州 730000

* mamm@lzu.edu.cn

小麦是中国乃至世界最重要的农作物之一，其驯化可以追溯到大约 10000 年前的西南亚。在距今第五个千年末期传入中国。在随后的几个世纪里，小麦这种外来作物迅速成为了中国西北地区的主食。相比之下，中原地区直到汉代（公元前 202 年-公元 220 年）才将小麦作为主食。这一差异的产生主要与生存环境、人口和食品加工技术的创新有关。

Abdul Ghaffar 226
Adam D.Switzer..... 446
Adi Torfstein 271
Aijun Wang 519
Aiping Feng 451
Ajcharaporn Piumsomboon..... 519
Alaa Salem 300
Albert Galy..... 208
Albrecht W. Hofmann 789
Aleksandar I. Goranov 627
Alex Pullen..... 243
Alexander M. Piotrowski 332
Alexandre Normandeau 903
Alexis Kaminski..... 907
Alicia Bryan 627
Amber Johnson 187
Amriddin Khodzhiev..... 253, 254
André Berger..... 182, 261
Andrea J. M. Hanna 636
Andreas Teske 594
Andrew Carter..... 241
Andrew Knudsen 217
Andrew P. Roberts 348, 388
Andy Baker 288
Andy Montgomery..... 594
Anil K. Gupta..... 255
Anja M. Schleicher 555
Ann Holbourn 387
Ann McNichol 565
Annie Michard 328
Antje Wegwerth 555
ANTON EISENHAUER..... 404
Antonio Simonetti 724
Ashish Sinha.....169, 173, 255, 274
Augusto S. Auler 255, 274
Azamdzhon Murodov.....254
B. Nagender Nath 158
Baijuan Yang.....637
Bangqi Hu.....272, 455
Ben I. Moat.....150, 398
Benjamin Kneller.....320
Benjamin Mills 574
Bin Fu 827
Bin Wen 212
Bin Zhao 617
Bin Zhou.....373
Binbin Pan 597
Bing Shen 212, 217
Bing Song 310, 311
Bingbing Wei.....609
Bob Bolton.....412
Bob Busey 412
Bowen Song.....246
Breitenbach, S.F.M. 270
Brian E. Tucholke.....719
Brian Finlayson 295
Brian Tinsley 407
Bryan Riel.....751
Bui Van Vuong.....466
C. H. Langmuir.....718
C. R. Scotese.....175
Caihua Yao.....309
Caijun Xu.....868
Camille Risi 396

Carlos Pérez-Mejías 262, 274
Carlos Zarikian..... 319
Chang Liu..... 155
Changsheng Chen 666
Chaoran Lin 566
Chaoyong Hu 260
Charles H. Langmuir..... 725
Chen He 580, 585, 612
Chen Hu 577
Chen Zhao..... 612
Chen-Feng You 518
Cheng Zhao..... 258
Cheng-long Li 541
Chengpeng Sun 299
Chen-Tung Arthur Chen..... 830
Chenxi Xu 172
Chien-Lu Ping..... 636
Christelle Not 399
Christian Betzler 158
Christoph Korte..... 193
Christoph Spötl 255
Christoph Spötl 169, 274
Christoph Völker..... 383
Christophe Colin 327, 346, 445, 518, 532
Christophe Dumas..... 152
Christopher D. Charles..... 379
Chu Guoqiang 651
Chuan-Chou Shen 271, 273, 276
Chuanlun Zhang..... 586, 601, 652
CHUANLUN ZHANG 584
Chuanming Zhou 212
Chui Pin Leaw..... 519
Chun-Feng Li 683
ChunMei Ma 373
Chunsheng Ji..... 885
Chuxin Li 258
Claudia Wienberg 353
Clement Bataille..... 193
Cong Wang..... 526
Cuimei Xia 564, 565
D. N. C. Lin..... 756
D.S. van Maren 453
Dake Chen..... 527
Dali Kong.....764
Dali Shao 429
Dalin shi.....545
Dan Breecker.....206
Daniel B. Montluçon 608
Daniel Birgel 679
Daniel E. Inarra 223
Daniel Sauter 766
Daolai Zhang 624
Dapeng Xu.....577
David A Yuen.....875
David A. Hutchins 569
David B. Kemp.....217, 226, 229, 293
David J. Wilson 209, 405
David J.W. Piper.....903
David Madsen.....255, 261
David Selby 840
David Taylor 373
David W. Jolley 226
David W. Lea.....148
Dawei Li 272
Debora Duarte 317
Deborah K. Smith.....719
Deju Lin.....564
Deming Kong 698
Dennis Koehler.....898
Dennis V. Kent.....726
Di Qi.....541
Di Zhang.....569
Di Zhou.....698
Dick Henry 715
Dierk Hebbeln 353
Dieter Garbe-Schönberg.....830
Dileap Bandara 336
Dileep Herath.....354
Ding He 612
Dirhamsyah.....515
Dirk Nürnberg 365
Dirk Nürnberg.....530
Dominik Fleitmann.....277
Donald E Canfield 570
Donald Penman 217
Dong Feng 603

Dongdong Dong 711
Dongdong Yan 757
Dorrik A.V. Stow 433
Dorrik Stow 659
Duowen Zhu 726
Edlic Sathiamurthy 518, 765
Edwards, R.L. 270
Eelco J. Rohling 633
Emily Klein 719
Enno Schefuß 609
Enqing Huang 389
Enyuan He 683
Eric C. Ferré 347
Erwin Appel 261
Exp 379T 船上科学家 379
Eystein Jansen 152
F. Javier Hernandez-Molina 317
Fajin Chen 648
Fan Zhang 299
Fang Chen 676
Fang Han 246
Fangbing Li 217
Farid Chemale Jr. 241
Faure Michel 780
Fei Han 726
Feifei Wang 455
Feng He 187
Feng Jiang 299
Feng Zhao 617
Fengfeng Zheng 652
Fenghao Liu 389
Fengming Chang 405
Fernando P. Siringan 518, 562
Fiona Whitaker 807
Foong Swee Yeok 394
Francisco W. Cruz 255, 274
Francois Primeau 573
Fucheng Li 698
Fuliang Lv 429
Gamage, T. P 897
Gang Li 569
Ganqing Jiang 215
Gaojing Fan 637
Gareth Izon 636
Gayan Bandara 336
Gayatri Kathayat 169, 173, 255, 274
Genshun Yao 429
George Voulgaris 911
Gerhard J. Herndl 579
GERHARD KUHN 404
Gert J. de Lange 328
Gert, J. de Lange 562
Gesine Mollenhauer 609
Gianreto Manatschal 766
Gilles Ramstein 152
Guang Gao 569
Guangchao Zhuang 594
Guangxu Zhang 711
Guangxue Li 564
Guangyi Wei 217
Guangzhen Jin 529
Guillaume Dupont-Nivet 236
Guodong Jia 609, 629, 650
Guoqiang Li 243
Gwenn Péron-Pinvidic 766
H.M. Zakir Hossain 252
Hai Cheng 262, 274, 276, 408
Haibin Wu 258
Haibo Hu 258
Haifeng Gu 519
Haifeng Zhang 637
Hailiang Dong 676
HaiLin Yan 668
Hailong Lu 668
Haiqiang Guo 617
Haishan Chen 258
Haiwei Zhang 262, 274
Haiyan Jin 637
Haiyan Li 351
Han Zhang 527
Handan Zhang 455
Hanni Vigderovich 606
Hanning Wu 387
Hans Schouten 719
Hanying Li 262, 274
Hanzhe Chen 567

Hanzhi Zhang 243
Hao Wei 534
Hao Zhao 724
Haobo Zhang 243
Haodong Liu 586
Haoran Ma 212
Haowen Dang 356, 387
Harald Strauss 657
Harry H. Roberts 679
Harry.F Lee 931
Harunur Rashid 335, 341
He Zhiwei 207
Helen C. Bostock 332
Helena V. Pryer 202
Helge W. Arz 555
Hendrik Grotheer 609
Henry B.J. Dick 736
Henry Dick 735
Hewei Duan 926
Hiazheng Hong 545
Hoang Van Long 518
Hong Yan 272, 387
Hongcai Shi 698
Hong-Chun Li 276
Honglin Yuan 190
Hongmei Gong 722
Hong-mei Lin 541
Hongpeng Cui 676
Hongrui Zhang 628
Hongwei Ke 543
Hongwei Yao 580
Hongxia Ai 652
Hongxian Shan 885
Hongzhou Xu 423
Hoshina Kazuki 314
Houjie Wang 460
Hsun-Ming Hu 273
Huaichun Wu 351
Huamao Yuan 630
Huanye Wang 386
Huapei Wang 726
Huayu Lu 238, 258
Hugh Macintyre 577
Hui Xie 698
Huichang Jiang 423
Huiling Zhang 499
Huixiang Xie 534, 625
Ian Thomas 300
In-Sik Kang 521
Isabela A. 150
Isabela A. Le Bras 398
Ismail Ladigbolua 330
J. Paul Liu 885
Jack A. Hutchings 636
Jacques Schott 189
James Bendle 630
James C. Zachos 226
James D. Wright 379
James G. Ogg 293
James R. Hein 388
James ward 202
Jasper. A. Wassenburg 277
Jean-Baptiste Ladant 152
Jef Vandenberghe 238, 261
Jeff Gee 726
Jeff Nittrouer 453
Jeffrey G. Ryan 716
Jemma L. Wadham 202
Jens Hefter 609
Jeroen Groeneveld 156, 337
Jiabo Liu 555
Jiacheng Lv 534
Jiakai Wang 405
Jian Lin 742
Jian Liu 257
Jian Lu 460
Jian Xu 387
Jian Zhang 276
Jiancheng Yu 423
Jianchun Yu 578
Jianfang Chen 637
Jianfang Hu 299
Jiang Jiawei 651
Jiang Qingfeng 651
Jiang Sun 540
Jianghu Lan 271, 272

Jiangnan Shi 629
Jiangong Wei 672
Jiangxin Chen 885
Jianheng Guo 757
Jianing He 335
Jian-Jun Yin 408
Jianming Pan 637
Jianqiang Wu 578, 628
Jiantao Cao 629
Jianxin Zhao 477, 772
Jianyu Hu 536
Jianzhong Ge 460
Jiao Xue 258
Jiaqi Wu 637
Jiawei Gao 647, 648
JiaWei Jiang 373
Jiayuan Jia 650
Jia-Zhen Sun 569
Jicheng Cao 449
Jie Lian 585
Jihua Liu 577
Jing Zhang 648
Jing Zhao 601
Jinghe Cao 698
Jingjing Wang 258
Jingong Cai 554
Jingrui Li 672
Jingtao Zhao 272, 455
Jinguo Dong 273
Jingyao Zhao 262
Jingyu Liu 564, 565
JINGZHUO ZHOU 584
Jinlong Du 389
Jinming Song 630
Jinpeng Zhang 310
Jinqiang Guo 630
Jinqiang Liang 676
Jin-Sheng He 561
Jin-Young Lee 310, 311
Jiquan Chen 617
Jishang Xu 564
Jisheng Chen 540
Jiwei Tian 885
Joe Cartwright 660, 883
John Batt 577
John Wakabayashi 164
Jonathan Baker 169
Jonathan BAKER 255
Jonathan L. Baker 276
Jonh W. Olsen 176
Jonny Wu 742
JORG LIPPOLD 404
Jörn Peckmann 675, 679
Josefine Axelsson 277
Joseph A Resing 828
Joseph G. Meert 239
Juan He 629, 650
Juan Jia 561
Juan Wang 554
Julian P. Sachs 368, 568
Jun Cheng 258
Jun Du 451
Jun Hu 277
Jun Ma 617
Jun Shen 217
Jun Tian 389
Jun Yang 763
Jun Zhao 637
Junjie Wu 243
Junjie Zhang 722
Junsheng Nie 243, 290
Junwen Wu 540
Junxi Feng 601, 672
Junxiang Miao 726
Jörgen Titschack 353
Kangjun Huang 217
Kang-Jun Huang 190
Karl Stattegger 518
Kate Tierney Cramer 193
Katharina Pahnke 328
Katharine R. Hendry 202
Katharine W. Huntington 806
Ke Liu 624
Ke Zhang 386
Kefan Chen 257
Kefu Yu 497, 499

Keke Ai 246
Kelin Wang 866
Kelly H. Liu 691
Kelly Liu 713
Kevin T. Pickering 241
Kexin Zhang 246
Khanh Phon Le 518
Khanittha Uthaipan 537
Kiyoaki Niida 801
Kumudu Liyanaarachchi 336
Kunshan Gao 569
L. R. Edwards 276
Laura F. Robinson 202
Laurel B. Childress 379
Laurent Geoffroy 716
Lawrence R. Edwards 283
Leanne Powers 577
Lee Kump 290
Lei Han 541
Leilei Jiang 499
Leonid Polyak 399, 400
Lester Lembke-Jene 530
Li Li 624, 629
Li Xu 565, 567
Lianbao Zhang 577
Liang Dong 272
Liang Ning 257
Liang Yi 272
Liangcheng Tan 271
Liangyong Zhou 309
Liheng Sun 772
Lijun Zhu 741
Limi Mao 310
Lin Wei 909
Linan Huang 652
Linda A. Hinnov 216
Linda Hinnov 290
Lingxiao Zhao 726
Linlin Shi 597
Linlong Yang 451
Liqin Duan 630
Lise Artigue 921
LIU Jian 263
Liu Wen 262
Liu Yu 423
LIU Zhengyu 263
Liu Zhonghui 651
Liulin Wang 258
Liuting Yuan 918
Liviu Giosan 156, 337
Li-wen Zheng 541
Long Ma 190
Longbin Sha 310
Longhai Zhu 566
Longtao Sun 772
Lukas Wacker 561, 608
Lulu Han 578, 628
Lulu Qiao 462
Luo Chuanxiu 336
Lupeng Yu 261
M. Femke de Jong 150, 398
M. Gavrilov 181
M. Susan Lozier 150, 398
Mahyar Mohtadi 148, 359
Makoto Yamano 739
Manuel Vieira 226
Maqsood Ur Rahman 328
Marco Fonnesu 456
MARCUS GUTJAHR 404
Mark Schmidt 830
Marković Slobodan B 180
Marta E. Torres 549
Martin G Wiesner 330
Martin G. Wiesner 329
Martin Wiesner 330
Martino Foschi 660
Masaki Sano 172
Mathew Salzman 193
Matthias Delescluse 690
Meinan Shi 351
Meixun Zhao 561, 608, 624, 647, 648
Melanie Holland 676
Meng Bowen 651
Meng Duan 722
Meng Wei 729
Meng Yu 608

Mengfan Chu 565
Mengyu Wei 763
Mengyuan Wang 386
Meredith G. Hastings 401
Mi Yan 257
Mian Liu 543
Miao Yu 258
Miaolei Ya 567
Michael C. Meyer 408
Michael E Meadows 452
Michael Gonsior 577
Michael Mann 290
Michael R. Shields 636
Michael Storozum 188
Mikhail Kanevskiy 636
Milivoj B. Gavrilov 180
Min Xu 449
Min Zeng 341
Minggang Cai 543
Minghui Zhao 683
Mingqi Li 172
Mingyu Zhao 217
Ming-Zhen Yu 830
Minoru Ikehara 332
Muhammad Sarim 746
N. Kornkanitnan 358
N. Penny Holliday 150, 398
Naishuang Bi 460
Nan Chen 683
Nan Wang 564, 565, 566
Nan Zheng 534
Narumol Kornkanitnan 445
Nathalie Vigier 904
Nathan Bangs 742
Negar Haghipour 561, 608, 636
Negar Hagpipour 562
Ngo Xuan Thanh 518
Nguyen Hong Phuong 886
Nguyen Thi Hiep 923
Nianzhi Jiao 577, 580, 585
Nicholas Rawlinson 695
Nicolás M. Strikis 255
Nicolás M. Stríkis 274
Nina S. N. Lam 301
Ning Li 630
NING Liang 263
Ning Tan 172
Noah Planavsky 217
Norbert R. Nowaczyk 555
Odd Helge Otterå 163
ohn Beardall 569
Olaf Lenz 223
Omer Yorshansky 606
Omran Garazhian 931
Orit Sivan 606
Osamu Ishizuka 793
P. Michael 718
PARTRICK BLASER 404
Patrick G. Hatcher 627
Paul Bachem 152
Pavel Tarasov 382
Pei-Hsuan Yao 271
Pei-Sun Loh 830
Peng Cheng 909
Peng Gu 258
Peng Huang 543
Peng Liu 462
Peng Zhang 387
Pengfei Hou 608
Pengyan Du 554
Pengyuan Guo 722
Penjai Sompongchaiyakul 346, 518
Peter D. Clift 241, 344
Petra M. Langebroek 163
Pham Nhu Sang 348
Philip A. Vetter 423
Philip A.E. Pogge von Strandmann 209
Philipp Böning 328
Philippe Massicotte 534, 625
Pibo Su 676
Ping Zhuang 617
Pinghe Cai 909, 918, 920
Pingping Mi, Qing 909
Po Teen Lim 519
Porntep Punnarak 519
Praderm Uttayarnmanee 519

Pu Sun 722
Qi Quan 529
Qian Qian Lu 341
Qiang Shi 577
Qiang Xie 423
Qianyong Liang 601
Qianyu Li 629
Qin Li 258
Qing Li 272, 455
Qing Liu 449, 554
Qingmei Li 603
Qingquan Hong 909
Qingsong Liu 555
Qingyun Nan 405
Qinya Zhang 537
Qiong Zhang 277
Qiuhong Zhu 637
Quan Shi 580, 585, 612
Quanlong Li 534
R Marković 181
R. Lawrence Edwards169, 265, 274, 281, 287
R.L Edwards 275
Ralf Tiedemann 530
Ramstein Gilles 163, 357
Remco C. Hin 719
Renata M. Wentzcovitch 795
Renjie Pei 387
Richard J. Arculus 793
Richard W. Jordan 314
Robert J. Newton 229
Robert van der Hilstg 927
Roland Bürgmann 866
Rong Bi 647, 648
Rong Xiang 336
Rongman Yan 586
Ronnie Glud 325
Ross Mitchell 164
Ross Parnell-Turner 719
Ruanhong Cai 580, 585
Rui Bao 564, 565, 566
Rui Zhang 577
Ruimin Wang 212
Ruiping Huang 569
Ruixiang Zhai 359
Rusheng Wang 402, 407
S. Khokiattiwong 358
S. L. Goldstein 718
S. Marković 180
S.V. Hohl 563
Sabine Kasten 675
Sakonvan Chawchai 271
Samantha C. Bova 379
Samantha Joye 594
Samuel L. Jaccard 455
Sandra Passchier 405
Sangheon Yi 310, 311
Sanzhong Li 724
Sara Satolli 347
Sebastian Beil 387
Selvaraj Kandasamy 456, 562
Senjie Lin 526, 572
Sergey Gorbarenko 333, 468
Sergey Krivonogov 651
Sergio Zlotnik 770
Sha Li 246
Shaochen Hu 726
Shaotong Zhang 885
Shengxiong Yang 676
Shichen Tao 499
Shichun Huang 717
Shigenobu Takeda 648
Shihao Liu 451
Shihong Zhang 351
Shijun Jiang 351
Shixian Zou 337
Shuai Cong 460
Shuang Lü 261
Shuang Zhang 217
Shuangwen Yi 238
Shuh-Ji Kao 534
Shuo Chen 722
Sikai Wang 617
Simon M. Hutchinson 294
Simone Pilia 695
Siqi Ouyang 455

Siqing Liu..... 683
Slobodan B. Marković 160
Snezhana Zhilich..... 651
Soben Kim 518
Sohey Nihashi 637
Som Dutt 255
Somkiat Khokiattiwong 445
Songze Chen 601
Sophie Warny..... 155
Stefan Liess..... 372
Stephan Steinke..... 156, 337, 359
Stephanie Kusch..... 609
Stephen E. Grasby..... 228
Stephen Gao 713
Stephen S. Gao..... 691
Stephen Vavrus..... 187
Steven A. Kuehl 294
Steven McNulty 617
Stuart A. Cunningham..... 150, 398
Su Wang..... 756
Susan Waldron 560
Sven Petersen 827
Taavi Liblik..... 902
Taiwei Liu 897
Takeshi Nakatsuka 172
Tao Han..... 499
Tao Wang..... 276
Tao Yang 726
Tao Zhang 261
Tatiana Blyakharchuk 276
Terry Isson 217
Thanawat Jarupongsakul 765
Thimo Klotzbuecher 615
Thomas Bianchi 607
Thomas Linley 421
Thomas M. Blattmann..... 550, 562
Thomas S. Bianchi 607, 636
Thomas Stevens 255
Tiago Alves 883
Tianli Wang..... 271
Tianshui Yang..... 351
Tiegang Li 387, 405
Tifeng Wang..... 569
Tim Elliott.....719
Tim I. Eglinton 329
Timothy I. Eglinton550, 561, 562, 565, 608, 636
Ting Ma 382
Tinglu Yang 246
Tingting Zhang 601, 617
Ting-Yong Li.....276
Tommy J. Phelps.....601
Tong Wu 909
Tonghua Wu.....412
Tristram R Kidder.....188
Tsai-Luen Yu.....271, 276, 479
Tyler Kukla 223
Vasquez AC 207
Vidusanka Thilakanayaka.....336
Vincent Godard.....197
Vincent J. Clementi.....379
Wahyoe S. Hantoro.....518
Walter Geibert.....609, 898
Wang Yi 273
Wei Fan.....534
Wei Feng.....451
Wei Guo.....650
Wei He.....652
WEI HE 584
Wei Huang 273, 612
Wei Jiang 497
Wei Liu 909
Weicheng Luo.....589
Weidong Sun.....711
Wei-dong Zhai 541
Weifeng Wu 564
Weiguo Hou.....676
Weiguo Liu 386
Weijun Cai 909
Wei-Li Hong 549
Weimin Wang 543
Weiyi Sun 258
Wenai Hou 683
Wenbin Peng.....243
Wen-Hui Sung 271
Wenjie Xiao 597, 628

Wenjing Xue 462
Wenli Li..... 603
Wen-Li Xie 276
Wenling An 172
Wentao Ma 389
Wenting Shi..... 449
Wenxia Han..... 261
WENYONG YAO..... 584
Widanage, C. M 897
William E. Johns 150, 398
William J. Foster 293
William Smyth 907
Wolfgang Kuhnt..... 387
Wook-Hyun Nahm 310, 311
Wout Krijgsman 405
Xi Xiao..... 601
Xi Zhang 597
Xianfeng Wang..... 255, 274, 518
Xiangdong Yang..... 311
Xiangjun Liu 243
Xiangkun Zhu 217
Xianglei Li 262, 274
Xiangli Wang 217
Xiangming Shi 909
Xiangqi Yi..... 569
Xianguo Lang..... 212
Xianyan Wang..... 238
Xiao Wu 460
Xiaocun Zhuo..... 580, 585
Xiaodong Miao 238
Xiaodong Wu 412
Xiaohang Wang..... 868
Xiaohong Liu 172
Xiaohong Wang..... 722
Xiaohua Teng 261
Xiaohua Wang..... 536
Xiaohui Xie..... 527
Xiaohui Yuan..... 927
Xiaojuan Feng..... 561
Xiaolei Liu 885
Xiaoli Qu..... 262
Xiaoli Wan 683
Xiaolin Ma 389
Xiaomin Fang 261
Xiao-Ming Liu.....193
Xiaoming Miao.....672
Xiaoqiang Yang 386
Xiaoshuang Zhao.....299
Xiaotong Xiao 624
Xiaowei Chen 577
Xiaowen Zhang 636
Xiaoxi Zhu 772
Xiaoxuan Zheng 580, 585
Xiaozhong Hu.....226
Xilin Xiao 577
Xin Liu 569
Xin Su.....351, 676
Xing-Gong Kong 276
Xingmin Liu 462
Xingyan Shen 272
Xinhong Wang.....567
Xinxin L.....299
Xinyu Jiang.....918
Xinyu Lv.....402, 407
Xiting Liu 672
Xiuli Feng.....672
Xiuyu Chen.....764
Xixi Zhao.....351
Xu Jian 746
Xu Zhang.....274
Xu-chen Wang 541
Xue Ding 272
Xuefa Shi.....885
Xue-Gang Chen 830
Xuegang Li 630
Xuejun Zhang 554
Xuekun Shang 423
Xuelin Qiu 683
Xuemei Shao 172
Xueping Yang 156
XUERONG ZOU 584
Xufeng Zheng.....272
Xuhai Xu 271
Xuyang Wang 569
Y. Cai 718
Ya Ping Wang 451

Yadong Xu 246
Yair Rosenthal..... 148, 377, 379
Yan Bai..... 909
Yan Liu..... 299
YAN Mi..... 263
Yan Yang 262
Yancheng Zhang..... 386
Yang Ding 608, 624
Yang Pang 373
Yang Shouye 207
Yang Wang 335
Yang Yu..... 238
Yang Zhang 564
Yangkai Zhou..... 652
Yangli Che..... 564, 566
Yanjun Cai[1], Youfeng Ning..... 274
Yanmin Qin..... 257
Yanming Ruan..... 629
Yanna Wang 299
Yao Wu..... 276
Yao Zhang 577
Yaoling Niu..... 722
Yaoming Song..... 258
Yaoyao Wang..... 647, 648
Yasong Wang..... 578
Yassine Ait-Brahim 262
Ya-Wei Luo 589
Yazhou Ran..... 387
Yi Zhong 462, 555
Yibo Yang..... 261
Yifei Zhao 449
Yiliang Lv 726
Yilin Cheng..... 920
Yiming Luo..... 455
Ying Huang..... 617
Ying Peng..... 868
Ying Ye..... 830
Yinghui Wang..... 578
Yingli Zhou..... 603
Yingxia Wang..... 630
Yintao Lu 429
Yiquan Li 238
Yixiao Zhang..... 763
Yonaton Goldsmith.....264
Yong Wang 603
Yongbo Peng.....212
Yongfei Deng.....537
Yonggang Jia 885
Yonggui Yu 451
Yongqiang Zong 386
Yongsheng Liu.....578, 628
Yongxiang Han.....261
Yongyu Li.....567
Yoshiki Saito.....309, 452
Yoshiko Kondo.....648
Youbin Sun 190
Youfeng Ning.....408
Youting Ye 545
Yu Gao.....258, 617
Yu Lu 683
Yuanping Li 698
Yue Wang.....356
Yue Yao.....272
YueHan Lu.....373
Yueli Huang.....156
Yuexing Feng.....477
Yuhang Chen 429
Yuhui Liu 260
Yujia Liu.....668
YuKai Tang 668
Yuling Wu 567
Yunhai Li 460
Yunping Xu.....578, 597, 628
Yuntao Wang.....612
Yunying Zhang 772
Yuping Zhou 612
Yutao Liu 683
Z. Chen 718
Zhan Liu 629
Zhangdong Jin 190
Zhao Jin 190
Zhaofeng Gu.....309
Zhaoming Gao.....603
Zhe Zhang.....343, 772
Zhen Sun.....343, 772
Zheng Bing Wang.....453, 666

Zheng Tang 405
Zhengbing Han..... 637
Zhengtang Guo..... 172
Zhengxu Fu 519
Zhengyi Zhang 711
Zhengyu Liu..... 169, 255, 257, 258, 633
Zhenyu Sun 909
Zhian Bao..... 190
Zhibing Li 536, 537
Zhifang Xiong..... 387, 405
Zhifei Liu 348
Zhigang Peng 741
Zhiguo Liu 597
Zhijun Wang..... 408
Zhimin Jian 156, 356
Zhiqi Zhao..... 190
Zhiqiang Liu..... 529, 536, 537
Zhiwei Wu..... 243
Zhixin Zhu 386
Zhiyuan Liu..... 246
Zhonghui Liu 386, 633
Zhongxian Zhao 772
Zhongya Cai..... 529
Zhongyan Qiu 830
Zhongyong Yang..... 310, 311
Zhongyuan Chen..... 299
ZHU Xinguo 263
Zhuangcai Tian..... 885
Zhuo Zheng..... 382, 386
Zhuohui Xiao 868
Zichao Deng..... 569
Zicheng Yu..... 633
Zijie Yang 336
Zixuan Huang..... 537
Zongguang Liu..... 561
Zongheng Chen..... 601
Zong-Pei Jiang 534
Zunyu Hu 260
Zutao Ouyang..... 617
安超 898
安东尼娜 A 朱可夫斯卡娅..... 198
安宇 195
安芷生 169, 230, 270, 633, 640
巴旗.....448, 469
白凤龙.....470
白江涛.....928
白明坤.....244
白起鹏.....878
白晓静.....254
白亚之.....606, 622, 652, 654
白艳.....239, 253, 254
白旸.....286
白洋.....858
班凤梅.....288
包更生.....419
包秀娟.....225
鲍红艳.....612, 637
鲍衍君.....865
毕东杰.....814, 816, 822, 823
毕磊.....204, 465
毕乃双.....448, 458, 468, 469
边伟伟.....172
卞雄飞.....198
邴晓瑾.....369
蔡晨.....898
蔡春芳.....839, 850, 852
蔡峰.....333, 338, 436, 463, 670
蔡锋.....295, 296, 307, 309, 892
蔡观强.....442, 498, 721, 890
蔡鸿泰.....486
蔡进功.....546, 553
蔡平河.....898, 908
蔡阮鸿.....581, 587
蔡廷禄.....895
蔡卫君.....396, 508
蔡雯沁.....361
蔡演军.....169, 173, 183, 255, 270
蔡煜琦.....843
蔡占虎.....350
蔡钊.....821
蔡哲.....866
蔡振家.....860
蔡中亚.....523
操应长.....840
曹超.....295, 296, 307
曹晨阳.....275, 281

曹程 193
曹昉 204
曹寒冰 340
曹红 832
曹建玲 876
曹建涛 367, 632
曹凯君 302
曹珂 458, 905
曹立 339
曹立成 430, 516, 707
曹令敏 706
曹民强 844
曹鹏 445
曹全斌 434
曹运诚 677
曹知勉 542, 544
岑越 659
曾程辉 768, 773
曾登 743
曾凡长 890
曾芳 576
曾罡 789, 794
曾乐田 439
曾丽丽 914
曾琳 159
曾强 551
曾提 498, 499
曾湘 595
曾耀萱 763
曾芝郁 632
曾治惟 364, 530
查玥颖 472
常超 218
常成 863
常凤鸣 308, 342
常静怡 673
常鑫 308
晁储志 440
陈贝贝 209
陈彬 485, 515
陈粲 659
陈昌亮 697
陈朝军 287
陈晨 208
陈炽皓 239, 253, 254
陈崇敏 669
陈传绪 419, 422
陈代钊 506
陈端新 482
陈多福425, 549, 656, 665, 666, 668, 672, 675, 677, 679
陈发虎152, 255, 265, 277, 931, 932, 934, 935
陈法锦 634
陈芳 302, 674
陈锋 288
陈国生 350, 396
陈果 755, 761
陈汉林 786, 808
陈瀚 421
陈弘 674
陈宏骏 825
陈泓君 266
陈洪梅 571, 627
陈华勇 811
陈慧 316, 433
陈积权 224
陈吉涛 216, 219
陈纪新 294
陈家乐 744
陈家胜 224
陈嘉晋 409
陈建芳 329, 330, 349, 352, 355, 396, 512
陈建宏 804
陈建徽 932, 935
陈建文 803, 809
陈江欣 669, 892
陈杰 567
陈金妮 500
陈锦 294
陈晶 625
陈敬安 619
陈静 295, 300, 457
陈玖斌 189
陈举 528
陈俊 419

陈俊飞 448, 465
陈俊锦 437
陈骏 198, 199, 556
陈开运 794
陈凯 596
陈康林 328
陈立辉 715, 789, 794
陈立雷 620
陈林 .237, 249, 284, 783, 784, 785, 786, 787
陈林生 900
陈霖 623
陈灵 788
陈凌轩 693, 714
陈龙 780
陈梅 767, 884
陈淼 600
陈名雄 512
陈明明 525, 598
陈能汪 635
陈鹏 232, 433, 440
陈棋福 737
陈启志 869
陈清虎 239
陈圣乾 152, 284, 935
陈仕涛 265, 285
陈淑玲 615
陈树旺 198
陈顺 423, 424, 599
陈硕 719
陈思思 457
陈天 888, 893
陈天然 477
陈天宇 199, 450
陈甜甜 754
陈婷婷 657
陈巍 928
陈文汉 226, 229
陈文煌 241
陈曦 149
陈宪 825
陈香玉 507
陈小宇 776
陈晓非 729, 873
陈晓辉 436, 463
陈欣迪 645
陈学萍 579
陈雪霏 478, 491, 498, 499
陈雪茜 913
陈雅婷 399
陈燕燕 439, 846
陈瑶 595
陈伊楠 678
陈漪馨 393
陈宜龙 587
陈莹 313
陈莹璐 294
陈永权 504
陈永胜 269
陈永欣 635
陈宇 486
陈宇航 434
陈育伟 900
陈远远 862
陈云如 558
陈泽 546
陈占营 747
陈长霖 531
陈镇东 679
陈正华 492
陈志华 412, 415
陈中原 295, 296, 300
陈忠 339, 480, 530
陈卓奇 406
陈梓勋 641
谌微微 516, 692
谌永强 713
成沁梓 294
成星 269, 270
程海169, 173, 183, 184, 255, 264, 265, 270, 275, 277, 280, 281, 283, 285, 287, 633
程宏岗 441
程锦辉 696, 709
程玖兵 854
程军 167, 168, 633
程猛 213
程鹏 635

程夏雯 341, 353
程晓 399, 406
程晓东 176
程雪峰 934
程章宇 635
程志国 749
程子华 743
程子烨 754
迟光希 352
迟振卿 176
仇建东 458
初凤友 723, 833
储国强 367
楚港志 580
褚润健 225
褚杨 780
丛帅 447
崔灏 498
崔贺旗 438
崔佳辉 280
崔琳琳 640
崔巧玉 157
崔汝勇 282, 833
崔晓娜 784, 786, 787
崔行骞 607
崔迎春 812
崔莹 379
崔颖颖 235
崔宇驰 317, 516, 707, 781
达佳伟 157
达硕强 176
戴奥娜 227
戴高文 163
戴紧根 727
戴黎明 781
戴璐 381, 394
戴民汉 526, 569
戴荣波 533
戴鑫烽 515
戴志军 301
单红仙 893
单新 456, 654
单业华 241
党皓文 148, 364, 530
党牛 728, 731
党少华 479
党院 818
邓成龙 160, 165, 175, 176, 180, 507
邓攻 927
邓冠宇 548
邓广超 499
邓涵 898
邓丽 208
邓涛 927
邓炜 663
邓文峰 478, 491, 496, 498, 499
邓贤泽 821
邓忻 795
邓永康 768
邓玉玲 802
狄丞 316
狄会哲 726
翟滨 832
翟俪娜 356
翟梦月 579, 649
翟惟东 899
翟杨 446
刁晓平 490
丁咚 917
丁国强 176, 935
丁航航 751
丁竑瑞 553
丁虎 560
丁康乐 842
丁抗 149
丁磊 154, 575
丁立丰 870
丁梁波 428
丁敏 179
丁平兴 453, 666
丁茜 506, 508, 841, 849
丁睿彬 521
丁巍伟 321, 680, 684, 693, 700, 701, 707, 708, 710, 743, 745, 751, 765
丁伟华 642
丁兴 829

丁旋 306, 378, 391, 414, 659, 825
丁雪 282, 331, 833
丁杨 305
丁奕凡 390
东思嘉 556
董曹沂 185
董冬冬 705, 782
董刚 506, 508, 509, 670
董广辉 929, 931, 932, 934, 936
董海良 147
董昊 781
董吉宝 257
董江 367, 454
董进 176
董进国 282
董良 384, 558, 600, 602, 656
董良国 854
董林森 399, 400
董淼 703, 772
董若雯 712
董惟妙 284
董西洋 604
董西瑀 255
董彦辉 714
董玉 734, 788, 801
董智 332, 333
豆汝席 333
窦衍光 333, 436, 463
窦银科 409
杜德文 812
杜峰 696
杜佳宗 546
杜建国 485, 515
杜江涛 598
杜金花 257
杜金龙 362, 363, 383, 385
杜金洲 270
杜琳垚 936
杜梦然 149, 424, 599
杜荣青 324
杜恕环 456
杜文波 322, 744, 804, 890
杜文静 169, 255
杜岩 384
段安民 186
段丽琴 639
段武辉 264, 288
段小勇 620
段晓勇 458, 466
段正贤 493
段知非 448, 466
凡仁福 919
樊加恩 414, 415, 416
樊嘉琛 655
樊隽轩 214, 215, 216
范保硕 176
范彩伟 434
范朝焰 689, 696
范代读278, 295, 895, 902, 907, 921, 922, 923, 924
范德江 372, 652, 904
范国章 428, 884
范佳慧 463
范建柯 701, 705, 737
范念念 195, 934
范思齐 924
范天来 478, 495
范文豪 397, 531, 538, 539
范兴利 703
范智涵 888
方草 494, 495
方家松 325, 425, 592
方克艳 366, 372
方琳浩 221
方习生 445, 822
方小敏195, 236, 238, 239, 242, 247, 248, 250, 251, 253, 254
方鑫定 857, 860
方引 608
方悦 370
方允鑫 433
方子遥 171
房强 215, 216, 225, 291, 293
房旭东 917
丰爱平 896
冯东 656, 660, 665, 672, 675, 679

冯华 380, 390
冯俊熙 663, 673
冯凯龙 316
冯玲 558
冯铄 346
冯韬 922
冯威 311
冯伟家 350, 396
冯蔚 876
冯小平 633
冯晓娟 610
冯晓远 598
冯旭光 367
冯振天 780
符力耘 857
符亚洲 811
付博烨 865
付和平 507, 508, 509
付红杨 798
付淑清 307
付晓伟 316, 808, 928
付奕霖 865
付宇 824
付玉 180
傅崐成 514
傅亮 495
傅平青 611
盖聪聪 348, 692
甘剑平 523
甘淑钗 575
甘卫军 927
高彪 219
高超 630, 646
高成成 294
高飞 458
高桂在 279
高航 899
高红方 771
高红芳 674, 681, 744
高佳 691
高建华 460, 902, 916
高金尉 687, 742
高金耀 748
高鹏 788
高秦 195
高抒 894, 895, 896, 897, 903, 914
高树基 474, 526, 530, 656
高翔 739, 740
高虓 554
高新勃 160, 175, 180, 248
高远 219, 223, 224
戈道瑶 439
葛灿 294
葛成隆 244
葛建忠 301, 447, 453, 666
葛俊逸 176
葛全胜 259, 268
葛瑞琪 488
葛绍仓 409
葛文春 734
葛翔 798, 840
葛玉奎 240
耿豪鹏 233
耿建华 854, 860, 862, 928
耿江辉 882
耿珺琰 168
耿明会 892
耿威 832
耿夏童 848
宫尚贵 668
宫尚桂 660, 679
宫伟 245
宫文斐 708
宫勋 356, 384, 527
龚斌 754
龚承林 431, 432, 439
龚林锋 642
龚瑞雪 313
龚晓雪 523
龚屹 397, 538, 539, 662
龚政 645
巩法慧 626
苟龙飞 192, 203, 208
古利娟 819
谷阳光 379
谷玉 308

顾海峰 907
顾家豪 590
顾理想 762
顾雪 228, 806
关成国 605
关成尧 702
关冲 253
关凤晨 758
关慧心 716
关进安 810
关永贤 531, 538, 662, 892
管红香 658, 671
桂州 739
郭聪聪 583
郭华东 145
郭华明 626
郭佳琦 161, 221, 567
郭建卫 282, 331
郭景腾 418
郭来银 690, 876
郭丽华 266
郭梦京 935
郭鹏然 575
郭鹏远 719
郭启良 870
郭倩 882
郭强 853
郭瑞龙 761
郭若玉 515
郭兴杰 924
郭兴森 887
郭炀锐 679
郭依群 428, 540
郭玉龙 204, 206, 448, 466
郭增光 251
郭桢 682
郭震 703
郭正堂157, 158, 160, 162, 167, 168, 175, 180, 181, 182, 186, 187, 292, 507
郭志刚 904
韩冰 804
韩闯 858
韩春明 164
韩德华 860
韩东亮 154
韩慧慧 917
韩家懋 640
韩晶 161, 221
韩龙 160, 180
韩露露 914
韩民伟 476, 491, 500
韩韬 479, 480
韩同刚 669
韩喜彬 403, 894
韩喜球 731, 827, 834, 839
韩孝辉 884
韩笑笑 906
韩昱 581
韩月卿 505
韩志勇 236
韩中鹏 413
韩壮 424
韩宗珠 462
韩作振 513, 547, 551, 554
郝强 467
郝青振 160, 175, 178, 179, 180, 248, 292
郝尚钦 721
郝天珧 684, 703, 706
郝彤 409
郝秀东 270
郝宇琦 166, 234
郝志新 259, 268, 279, 281
何兵寿 669
何晨 581, 583, 610
何丁 425
何高文 821
何健 884
何江衡 739
何精科 430
何静 235
何铠 596
何况 335
何天辰 229
何伟 626
何小波 706
何鑫 492

何岩雨 307, 892
何艳茹 912
何宇 714
何玉林 663
何钰滢 301
何毓新 377
何云龙 322, 324
何志 360
何治 849
何治亮 506
贺超 747
贺恩远 419, 422, 687
贺静 509
贺娟 653
贺丽生 149
贺鹏丽 730, 731
贺文静 900
贺行良 620
贺志霖 175
贺治国 452, 457, 472, 834
洪海征 533, 541, 546
洪汉烈 615
侯读杰 841
侯光良 933
侯佳林 524, 586, 606
侯居峙 935
侯蕾 579
侯梦阳 179
侯明才 211, 848
侯明强 714
侯圣伟 587
侯彦冬 256
侯永胜 797
胡盎 619
胡邦琦 282, 331, 341, 384, 443
胡栟铙 403
胡才博 869
胡超涌 160, 267, 286, 371, 556, 649
胡钢 241
胡航 730, 731
胡昊 695
胡家荣 515
胡克 269, 304
胡利民332, 443, 469, 606, 622, 651, 652, 654, 904
胡楠楠 558
胡鹏 435, 457
胡清扬 714
胡镕 154, 332
胡世文 552
胡寿村 754
胡斯宇 693
胡廷苍 425, 668
胡宪敏 410
胡小飞 233
胡晓农 931
胡新平 508
胡修棉 379
胡岩 866
胡洋铭 860
胡亦潘 328
胡永云161, 173, 221, 223, 225, 231, 363, 364, 375, 567, 762
胡钰 665, 675
胡哲 338, 343, 345, 376
胡振波 924
胡智龙 837, 894
胡忠亚 915
胡竹君 300
胡尊语 371
户盼盼 712
扈永杰 839
黄柏寿 699
黄邦钦 533
黄宝琦 193, 315, 338, 340, 343, 345, 376
黄昌春 616
黄成敏 220
黄春菊 217, 226, 229, 269, 289, 290, 293
黄德坤 612, 637
黄恩清 359, 360, 361, 364, 365, 391, 395
黄光庆 307
黄国芳 562
黄海燕 583
黄捍东 434
黄何 219, 223, 224
黄华珍 532

黄璜 404
黄晖 474
黄慧文 679
黄家潍 466
黄建平 154, 575, 857
黄建中 475
黄杰 305
黄俊华 287
黄康俊 193, 211, 218, 656
黄蝌 428
黄理力 502, 504
黄林军 853
黄牧 813, 814, 816, 822, 823
黄南 835, 836
黄奇瑜 241, 317, 516, 686, 692, 769
黄荣永 493, 916
黄少华 844
黄少英 504
黄守毅 169
黄涛 616
黄天正 193
黄威 833
黄伟 282, 663, 669, 677
黄尉人 895
黄文博 931
黄文凯 690, 744, 804, 890
黄雯 473, 489, 490
黄咸雨 370
黄湘通 204, 364, 467, 923, 928
黄小龙 680, 693, 702, 723, 730, 731, 794
黄小忠 935
黄晓伟 807, 845
黄鑫泉 854
黄星煜 595
黄学勇 491, 495, 500
黄洋阳 287
黄毅彬 533
黄永建 222, 229, 230
黄永松 633
黄远光 903
黄云 358
黄昭权 294, 297, 635
黄振东 284
惠洁 732
及可能成因 264
吉琛 732
吉冈祥一 743
纪伟强 174
纪友亮 432
纪政 734, 801
季富嘉 841
季峻峰 157, 201, 204, 556
季文婷 177
季颖锋 743
贾国东 367, 384, 395, 604, 632, 634, 641, 644, 656
贾昊凝 828
贾佳源 653
贾建军 896, 903
贾科 869
贾奇 351, 355, 365
贾如真 917
贾鑫 931
贾雪 255
贾雪雪 169
贾永刚 372, 887, 888, 893
贾云霞 174, 507
贾子策 666
简星 444
翦知湣 148, 379, 530, 569
蹇华哗 424
江会常 522
江蕾蕾 480
江鹏 571
江奇达 178, 248
江毓武 294
姜大膀 162, 357
姜锋 295
姜金钟 737
姜磊 847, 848
姜丽晶 592
姜若桐 533, 541
姜仕军 314, 344, 379
姜涛 328, 430
姜伟 478, 480, 485, 497, 847
姜卫振 906

姜雯琪 507
姜效典 245
姜鑫涛 921
姜一晴 376
蒋诚飞 312
蒋承孜 761
蒋洪恩 930
蒋璟鑫 379
蒋明镜 758
蒋诗威 158, 368
蒋晓东 388, 395
蒋子文 850
焦念志 525, 535, 569, 579, 581, 587, 598
焦养泉 844
解朝娣 743
解习农316, 322, 323, 324, 431, 513, 660, 680, 796, 883
解小宁 208, 230, 362
解一 914
介冬梅 279
金秉福 462
金昌柱 176
金晨阳 208
金承胜 213
金德荣 714
金光荣 579
金海燕 319, 396
金丽娜 456
金路 400
金梅兵 396
金梦 656
金思敏 226, 229
金天杰 806
金翔龙 833
金霄 841
金晓波 312, 313, 656
金晓辉 505
金晓慧 371
金章东 192, 196, 208
金钊 930
金之钧 228, 804, 807, 845, 846
晋升 755, 760
靳华龙 344
靳佳澎 663
靳锡波 873
靳永斌 481
荆红梅 149, 424
景妍 734
靖云阁 656
琚长辉 927
鞠鹏程 211
康慧凌 491, 499
康健 253
康曼玉 634, 656
康佩虹 545, 613
康树刚 257, 268, 931
康亚茹 476, 500
可菲 392
孔大力 753, 761
孔德明 350, 396, 634
孔凡圣 700, 708, 710, 713
孔乐 364, 391
孔丽茹 671
孔维亮 749
孔兴功 283
寇英鑫 378
蒯宇 453
匡增桂 433
邝芸艳 397, 531, 538, 539
来志庆 462
赖文 154, 204
赖正 904, 909
赖忠平 471
兰措卓玛 933
蓝佳雯静 161, 221, 364
蓝江湖 264, 268
蓝军南 503
郎咸国 150, 211, 573
郎赟超 268, 560
劳妙姬 856
乐秀琴 507
雷超 431, 766
雷昉 154, 159
雷刚 296, 307, 309
雷建设 796
雷婧 230

雷天柱 546
雷亚平 433
雷艳 155
雷振宇 317, 510, 699
冷浩 590
黎伯孟 512, 686, 697
黎刚 464, 482
黎海明 936
黎庆繁 512
黎晏彰 553
黎永杰 187
黎有为 183, 255
黎远金 501
李安春 342, 344, 356, 367, 454
李昂 670
李柏良 892
李保华 312, 313, 319, 330
李保生 149
李兵 818, 870
李昶豫 154, 575
李超 .193, 213, 302, 303, 448, 465, 466, 574
李超伦 596
李超正 846
李朝鹏 166, 234
李朝阳 245, 441
李琛 379
李传顺 817, 818
李春峰 680, 768, 770
李聪颖 777
李大伟 568
李丹 547
李德晖 279
李德勇 245, 441, 748
李登峰 824
李东伟 431, 432
李东泽 835
李冬玲 330
李栋 622
李发淳 889
李法坤 781
李芳柏 552
李芳亮 206
李非栗 150, 398
李凤 620
李福元 766, 767
李付成 685, 694
李刚 750, 768
李高聪 895
李高杰 350
李高军 198, 199, 200, 201, 202, 203
李高仁 858
李根 556
李国君 409
李国敏 177
李国强 255, 934
李海兵 244, 872
李海威 305
李海燕 172, 291
李瀚瑛 173, 183, 255, 277
李昊远 758
李浩 426
李贺 792, 793
李宏亮 329, 330, 349, 352, 355, 396, 512
李洪博 773, 856
李洪林 731, 827
李洪颜 716, 720, 790, 797
李欢佳 662
李辉 434, 820
李绘 313
李季伟 149, 420, 424, 596, 599, 631
李佳 758, 814, 816
李家彪 680, 700, 701, 707, 708, 713
李建鸿 274
李建如 530
李建忠 846
李江海 744, 745, 752, 834, 864
李江涛 151, 599
李杰 188, 423, 663
李洁 723
李金华 145
李晶 596
李景瑞 445
李娟 778
李军 220, 333, 384, 436, 463, 476
李俊鲁 523
李俊云 287

李凯 888
李康 623
李珂迪 768
李科 315, 374, 376
李奎平 517
李来峰 202
李兰 934
李乐 200, 201
李立娟 255
李丽 646, 655
李莉 305, 472, 473, 913
李良波 208
李琳琳 886, 889, 913
李灵波 309
李玲 420
李留洋 594
李茂田 295, 296
李美俊 433
李濛 626
李梦婷 625
李敏纯 639
李明 473
李明松 226, 290, 291, 293
李谋 839
李娜 213
李楠 160
李楠楠 279, 302, 303
李牛 672, 673
李沛轩 582
李鹏 804, 851
李芊 524, 574
李前裕 325
李琴 168, 174
李青苗 412
李清 384, 661, 670
李秋环 732
李秋玲 464
李泉 157
李任之 911
李日辉 470
李荣兴 409
李若 929, 931, 934
李三忠 766, 781
李珊珊 324
李世云 825
李淑 477
李帅 661
李帅东 616
李帅丽 381
李顺 442
李顺至 249
李思亮 191, 209, 252, 560, 561, 611
李拓宇 188
李太思 596, 631
李涛 199, 203, 288, 327
李腾 931, 934
李天觉 737
李铁刚 308, 342, 351, 355, 365, 393, 418
李铁钢 415
李廷勇 287
李薇 457
李伟 151
李伟英 349
李文朋 638
李文巧 234
李曦 595
李霞 197
李祥 229, 230
李祥忠 275, 281
李翔 720
李响 817
李想 161, 221, 223
李向磊 183, 277, 288
李骁麟 571
李潇濛 302
李小虎 723, 833
李小强 370
李小艳 445
李芯芯 325, 638
李新周 158, 227, 230, 260
李鑫 832
李秀保 475
李旭 553
李绪深 506, 507, 508, 509
李学杰 327, 681, 771
李雅婷 542

李亚林 806
李亚龙 923
李琰 269, 304
李彦祯 269
李艳 553, 828
李艳丽 204, 313
李燕芬 409
李杨 733
李仰状 239
李一兰 409
李依婵 286
李奕志 741
李毅兵 801
李银强 478, 486
李颖丽 546
李永斌 411
李有利 235
李宇 779
李雨泽 204
李院生 401
李月丛 176
李阅 435
李越 370
李云海 358, 447
李云霞 265
李泽慧 567
李占海 914
李昭颖 453
李喆 409
李珍 620
李振春 857
李震 409
李正祥 781
李志刚 889
李志康 768
李志强 895
李志勇 424
李智博 231
李智敏 234
李忠海 712, 781, 791
李子波 556
李子璇 473
李子颖 843
李子正 421
厉子龙 195
连尔刚 904, 909, 921, 923
连悦辰 181
梁超 433
梁栋 655
梁甲元 487, 488, 500
梁杰 809, 865
梁洁 935
梁金强 433, 663, 673, 677
梁锦 833
梁乐文 524, 586, 606
梁明强 287
梁前勇 656, 660, 665, 675
梁生康 544
梁新平 228, 804, 851
梁雪娇 581
梁怡佳 283, 285
梁泳嘉 824
梁宇钊 330
梁钰 376
梁琛 157
廖宝林 503
廖建基 485
廖健林 825
廖时理 825, 831, 832, 835
林宝治 252, 346, 530, 550, 562
林畅松 426, 502
林吉炎 927
林间 680, 683, 685, 686, 690, 692, 695, 704, 719, 729, 741, 743, 747, 876
林江南 688
林明晴 486
林琪凡 161, 221, 231
林施泉 421
林巍 145
林伟 780, 785
林玮 542
林文芳 533
林武辉 465, 494
林喜铮 599
林晓 825
林秀斌 786

林学楷 874
林音铮 735, 736
林羽馨 523
林云鹏 358
林哲锐 286
林珍 699
林志鹏 413
林志勇 657, 809
林智轩 433
林忠亮 908
凌晨 313, 331, 530, 535
凌光久 300
凌子龙 733
刘奥博 399, 406
刘宝敏 545
刘斌 300
刘冰瑾 361
刘秉翔 749
刘伯奇 519
刘畅 344
刘成林 248
刘承莹 899
刘崇炫 552, 615
刘传联 312, 313
刘传周 735, 736
刘丛强 191, 209, 560
刘大卫 839
刘代喜 584
刘东艳 459
刘冬 548, 571
刘冬洋 293
刘栋梁 244
刘方 500
刘飞 366, 368
刘锋 305
刘刚 884
刘高飞 589
刘高政 155, 245, 247
刘根 295, 296, 307
刘海龄 696
刘翰林 215
刘红玲 714
刘红旭 843
刘宏兵 927
刘虎 881
刘欢 802
刘慧 185
刘慧根 764
刘吉文 616
刘纪化 584
刘季花 814, 818
刘佳 752
刘佳宜 807, 841, 845, 851
刘建宝 152, 277
刘建峰 487, 501
刘建国 358, 456
刘建辉 296, 307
刘建辉 [2] 892
刘建军 518
刘建良 443
刘建平 436, 440
刘建强 789
刘健 458, 620
刘洁 545, 804
刘金庆 462
刘金召 640
刘金钟 845
刘锦 152, 714
刘晶晶 376
刘景彦 434
刘静 197, 240, 251
刘军 318
刘君龙 432
刘俊来 776
刘珺 393
刘凯 882
刘恺 777
刘可禹 443, 513
刘丽华 389, 579, 649, 658, 671, 816, 820
刘丽军 778
刘连文 201
刘亮 702
刘琳 517, 518
刘隆 837
刘露诗 835
刘美彤 828

刘猛 349, 920
刘鹏飞 899
刘平 457
刘濮毓 432
刘青松280, 348, 384, 388, 392, 395, 690, 692
刘全有 228, 804, 807, 841, 845, 846, 851
刘如龙 592, 598
刘润超 234, 807
刘姗 317, 433
刘升发 358, 445, 514
刘圣涛 303
刘世昊 311, 896
刘澍 199, 200
刘思炜 603
刘松峰 442
刘素美 621
刘素贞 175
刘涛 888, 893
刘婷 610
刘通 735, 736
刘同旭 552
刘威 167, 186
刘维晶 443
刘维明 934
刘伟 690, 898
刘卫国 275, 633
刘卫红 844
刘文虎 528, 531
刘文汇 846
刘文涛 884
刘文潇 768
刘武生 843
刘希军 822, 823
刘熙 498
刘曦 792
刘喜停 308, 367, 454, 618
刘相波 475
刘小康 265, 277
刘晓东 182, 230, 362
刘晓凤 905
刘晓静 224
刘晓明 239
刘晓岳 154, 575
刘孝艳 158
刘新宇 506, 507, 508, 509, 511
刘歆益 936
刘兴年 195, 934
刘秀铭 181, 383
刘学义 854
刘延亮 517
刘岩 842
刘演 295, 300, 924
刘焱光333, 348, 384, 399, 400, 415, 443, 468, 606, 651
刘杨 334
刘洋 259, 268, 281
刘耀亮 157
刘羿 590
刘毅杰 203
刘寅 853
刘永岗161, 209, 210, 218, 221, 231, 250, 363, 375, 414, 762
刘雨薇 553
刘玉东 251
刘玉书 239
刘玉柱 854
刘浴辉 371
刘渊 682
刘媛媛 848
刘再华 613
刘占飞 571
刘张聚 708
刘章月 843
刘正宏 750
刘正华 325
刘志飞204, 252, 315, 331, 345, 346, 347, 405, 512, 518, 529, 530, 532, 535, 550, 562, 667, 765, 794
刘志强 349, 523
刘志学 378
刘志勇 906
刘志宇 907
刘忠方 396, 407
刘子菁 587
刘宗广 610

刘祖乾 278
柳保军 318, 681
柳畅 879
柳晨 864
柳加波 384
柳蓉 589
柳思聪 758
柳云龙 829
柳中晖 376, 377
龙飞江 403
龙根元 884
龙盼盼 403
龙欣雨 799
龙雅婷 478
龙芝如 471
隆浩 256, 633
楼达 781
楼亚颖 301
楼映中 834
卢海龙 593, 603, 673, 819
卢佳仪 147
卢丽娟 530
卢敏霞 937
卢少康 786, 787
卢绍平 701
卢文芳 524
卢亚敏 338, 343, 345
卢艳芳 813, 822, 830
卢阳阳 512
芦佳玉 169
芦阳 657, 809
鲁安怀 553
鲁鹏 188
鲁向阳 660, 883
鲁毅 318
鲁银涛 428, 434, 884
陆春蓉 486
陆斗定 515
陆浩 248
陆钧 331
陆鹿 732
陆永强 492
陆哲哲 768
陆正遥 279, 367, 384
鹿博 421
鹿化煜 154, 159, 167, 204, 235, 236, 931
鹿有余 410, 919
路晶芳 833
栾锡武 513, 804
罗晨星 795
罗传秀 354
罗纲 863, 871, 873, 874, 878
罗根明 194, 210, 643
罗坤文 433
罗敏 325, 425, 549, 668, 671
罗盼 323
罗情勇 841
罗卫 301
罗武宏 368, 931
罗晓凡 397, 410, 417, 580
罗亚威 582, 588, 628
罗燕秋 473
罗耀 897
罗怡鸣 680, 729
罗云 482
罗肇河 907
罗中原 604
骆迪 670
骆舒蕾 409
骆帅兵 510
骆迎峰 424
吕川川 706
吕丹妮 529
吕福亮 434
吕恒志 154, 204, 235
吕红华 235
吕雷 758
吕士辉 825
吕书丛 614
吕万军 820, 910
吕晓霞 646
吕欣雨 402, 407
吕璇 530
吕彦 778
吕晔 452
马昌明 752

马晨 796
马春梅 300
马芳芳 781
马红梅 409
马红艳 227
马宏霞 428
马金龙 188
马乐 270
马凌宇 545
马敏敏 929, 937
马鹏飞 315, 347, 530, 765
马强 791
马瑞罡 313
马胜中 884
马松阳 466
马腾飞 548
马婷婷 191
马通 399
马万伟 730
马文涛 572
马骁 507, 508, 509
马小林 315, 364, 374
马晓晨 659
马晓理 649
马星宇 194
马一方 478
马知途 686
马志邦 264
满凯 414
满文敏 373
满怡 642
毛河光 145, 714
毛立文 714
毛瑞雪 270
毛治国 225
毛子强 236
茅晟懿 649
梅康 679
梅廉夫 681
梅西 470, 471
蒙林庆 489, 490
蒙泽坤 211
孟令鹏 923
孟苗苗 663
孟启承 521
孟庆强 807, 841, 845, 846, 851
孟庆泉 236
孟庆任 775, 783, 785
孟秋 869
孟宪博 317
孟宪伟 462, 620
孟兴伟 833
苗运法 155
莫多闻 188
莫敏婷 465, 494
慕鑫茹 857
娜米尔 180, 248
倪建宇 825
倪金龙 776
倪四道 873, 877, 878
年廷凯 887
年小美 294
聂红涛 417, 919
聂绩 161, 221
聂军胜 236
聂森艳 403
聂鑫 322, 442, 744, 804
聂云峰 304, 347
宁有丰 169, 183, 184, 275, 277, 281, 287
宁志铭 494, 495
甯檬 193
牛丽丽 284, 567
牛明扬 602
牛明杨 524, 586
牛文蕾 446
牛晓雯 184
牛雄伟 700, 701, 707, 708
牛耀龄 719
牛振川 560
欧阳盛辉 200
欧阳绪红 270
欧阳志山 176
欧泳良 848
潘保田 233, 924
潘家伟 244
潘树新 853

潘文庆 502, 504
潘晓仪 886
潘永信 145, 335
潘元欣 882
潘遵友 278
庞建章 166, 234
庞晓雷 378
庞雄 318, 681, 766, 773
庞雄奇 866
逄立臣 235
裴宏业 557, 642
裴继影 488
裴健翔 431
裴学政 281
彭博 381, 394, 457
彭冬菊 913
彭淑贞 160, 178, 179, 180, 292
彭树聪 748
彭文骁 172
彭晓彤149, 326, 420, 423, 424, 596, 599, 631
彭学超 322
彭旸 431
彭永波 675
彭友兵 173
蒲俊兵 274
戚洪帅 295, 296, 307, 309, 892
戚羽霖 611
齐富康 918
齐昆 439
齐雯 635
祁第 396
钱芳 342
钱进 663
钱培元 600
钱星 699
钱一雄 506
钱韵衣 873
强小科 257
乔刚 409
乔璐璐 310
乔培军 313, 317, 325, 516, 707, 781
乔淑卿443, 445, 456, 464, 514, 606, 652, 654
乔彦松 160, 178
秦秉斌 355, 365, 415
秦春 184
秦锋 157
秦华峰 335
秦礼萍 171, 752
秦琳 344
秦明宽 843, 844, 853
秦小光 175
秦绪文 767
秦玄 860
秦亚超 815
秦永鹏 323, 426, 437, 442
秦智鹏 749
丘学林 419, 421, 422, 684, 696, 706
邱冬华 595
邱海英 287
邱隆伟 510, 511
邱宁 680
邱强 740, 747, 889
邱若原 221
邱书婷 485
邱燕 266, 322, 690, 804
邱镛康 880
邱振 215
邱志莆 556, 649
邱中炎 827, 839
邱卓雅 331, 341
区相文 389, 816
曲华祥 376
曲堂栋 522
曲晓丽 364
瞿睿 743
冉丽华 330
冉莉华 329, 330, 512
冉伟民 804
冉有华 633
饶欣婷 542
饶志国 255, 265, 277, 632
任传真 291
任建业 431, 681, 766
任健 330

任江波 821, 824
任金锋 664
任晋珂 302
任俊童 457
任乐乐 929, 934
任向文 440, 813
任小林 188
任昕 917
任亚平 324
任瑜潇 475
任自强 713
荣辉 844
阮爱国 684, 695, 707, 708
阮小燕 630, 635, 646
沙丽娟 277
沙莹莹 230
尚久靖 669, 673
尚世龙 819
尚正涛 697
邵大力 428, 434, 884
邵磊 .317, 318, 325, 511, 516, 692, 707, 781
邵庆丰 176, 283
邵智博 628
邵宗泽 592, 595
申宏 518
申苗苗 247
沈冰 193, 573
沈程程 421
沈川洲 277, 282, 286, 479
沈传波 798, 840
沈鸿坤 916
沈吉 633
沈嘉明 525
沈江远 507, 508, 509
沈洁 727
沈琼雯 486
沈树忠 215, 216
沈延安 368
沈渊 610
盛华夏 474
盛辉 459
施江南 365
施小斌 713
石安宁 758
石端平 413
石丰登 812
石梦秋 679
石敏锐 640, 641
石炜 574
石学法158, 332, 333, 334, 344, 356, 367, 384, 400, 443, 445, 456, 464, 468, 514, 606, 622, 651, 652, 654, 688, 783, 812, 813, 814, 816, 817, 818, 822, 823
石彦强 461
石耀霖 875, 876, 877
石勇 902
石宇翔 350
石云里 931
石振清 552
石正国 173, 230, 260
时美楠 302, 347, 692
时梦临 322, 323, 324
时硕 305
史大林 533, 541, 546
史德锋 511
史锋 167, 184, 186, 372
史贵涛 401, 402, 409
史江峰 167
史权 581, 583, 587, 610
史向明 898
史志东 733
史志林 932
舒威 315, 346
舒业强 528
舒卓 460
司伟民 377
宋备 825
宋朝阳 356
宋春晖 236, 248
宋贵生 534, 625
宋桂雪 583
宋海斌 397, 417, 531, 538, 539, 662, 892
宋海军 193
宋濠男 403
宋金明 639
宋珏琛 834

宋丽娜 279
宋苗 184
宋茜薇 415
宋庆磊 812
宋文恺 691
宋晓帅 893
宋扬 180
宋友桂 257
宋毓 598
宋云平 284
宋召军 440, 816
宋照亮 614
宋子隽 721
宋子龙 739
苏琛 807
苏成龙 568
苏大鹏 506, 508, 509
苏奋振 493
苏宏飞 486
苏虹 314, 379
苏建锋 895, 924
苏克凡 338, 343, 345
苏明 317, 433, 436
苏妮 190
苏新 825
苏正 658, 671
孙爱芝 174
孙炳桂 931
孙晨阳 799
孙呈慧 436
孙闯 868
孙丹丹 457
孙栋 421
孙飞翔 922
孙富生 550
孙晗杰 308, 342
孙辉 428
孙继敏 927
孙剑 209
孙金 888
孙麟 330
孙龙涛 319, 774
孙鲁一 663
孙美静 744
孙敏 722
孙普 719
孙启良 320, 338, 660, 661, 796, 883
孙千里 294, 295, 300
孙瑞 313
孙若愚 590
孙赛军 777
孙守亮 223
孙爽 304
孙卫东 777, 792, 793, 829
孙晓明 657, 678, 809, 824, 825
孙晓双 633
孙兴全 445
孙学诗 904
孙亚飞 906
孙烨忱 410
孙一方 440
孙一楠 485
孙懿 814, 816, 823
孙永刚 931
孙咏 163, 168, 357
孙玉军 867
孙元林 193
孙悦 890
孙云强 863, 878
孙运宝 670
孙珍319, 680, 685, 694, 722, 765, 766, 768, 773, 774
孙志文 888, 893
孙治雷 658, 832, 833
孙中强 888
孙中宇 323
孙宗元 214
他开文 424, 599
覃茂刚 620
覃业曼 478
谭超 305
谭程鹏 175, 248
谭惠文 740
谭建财 434
谭结 228
谭亮成 264, 268, 269, 275, 281, 931

谭茂金 858
谭明 264
谭宁 152, 162
谭平川 707, 710
汤继周 861
汤凯 581, 598
汤乐 857
汤智逸 322, 323, 324
唐朝生 556
唐春安 754
唐鸿 409
唐嘉萱 785, 786, 787
唐杰 790, 799
唐杰平 897
唐凯 753
唐立梅 788
唐伶俐 900
唐铭 794
唐鹏程 434
唐锐枰 176
唐甜甜 545, 613
唐伟 274
唐银宁 394
唐永杰 596, 631
唐友军 842
唐长燕 147
唐正 415
陶春辉 825, 829, 831, 832, 835, 837
陶建昌 587
陶军 658, 662, 665
陶莎 875, 877
陶士臣 479, 480
陶舒琴 635, 907
陶小晚 846
陶鑫 761
滕吉文 927
滕尚纯 761
滕晓华 232
田凡凡 796
田港华 302
田纪伟 521, 522, 598, 632
田晋雨 686
田静 912
田军315, 359, 360, 362, 363, 374, 376, 380, 383, 385, 390, 391
田康志 350
田兰香 145
田立军 507
田丽艳 693, 714
田茜 239
田荣恒 232, 440
田汶鑫 900
田小波 249
田小川 692
田兴 223, 224
田野 169, 277
田一翔 409
田雨杭 339
田元 458, 905
田芝平 357
田梓辰 522
童春富 452
童小华 758
童政毅 745
涂公平 821
涂华 471
涂俊彪 907, 921, 922, 923
涂路遥 368
涂艳 411
万博 167, 783
万世明 312, 327, 344, 356, 367, 445, 454
万志峰 661, 669, 721
汪进 196
汪俊 744, 771
汪品先 769
汪思敏 305
汪卫国 334, 400
汪亚平311, 459, 896, 897, 903, 911, 912, 914
汪颖钊 371
汪永进 265, 283, 285
汪祯杰 708
汪镇 360, 380
汪志文 349
汪智军 274
王爱军 907
王爱美 447

王安琪 208, 468
王拔秀 865
王保铎 469
王毕文 540
王灿发 147, 630
王策 433, 438, 439
王超 758
王晨 750
王晨羽 466
王成善149, 195, 219, 222, 223, 224, 228, 229, 230, 231, 236, 250, 413, 806
王春连 232
王春生 421
王春阳 745
王大伟 884, 886, 890
王丹赫 409
王道儒 919
王道伟 839
王德利 679
王东晓 528, 897
王敦繁 392
王躲 257
王菲 321
王风平524, 558, 586, 594, 595, 602, 606, 656
王枫 779, 788, 790, 792, 798
王峰 294
王广华 487
王桂华 528, 531
王桂芝 906
王国安 640, 641
王海鹏 932
王含章 415
王翰林 154
王豪壮 353
王昊 596
王浩 479
王红梅 646
王红平 428
王红岩 215
王宏 269
王宏斌 661, 662, 672, 675
王后金 766, 767
王厚杰447, 448, 453, 454, 458, 468, 469, 618
王虎 828
王华建 289, 570, 576
王华伟 456
王辉 188
王辉武 517, 518
王继龙 381, 394, 457
王佳 342, 640, 641
王家生 659
王嘉翀 919
王建 695
王建军 619
王建新 870
王建兴 897
王健 183, 184, 419, 870
王江林 184
王静雅 813, 824
王菊英 347
王军 301
王均平 195
王君毅 883
王俊辉 322, 440
王俊喆 468, 469
王可欣 154, 204, 235
王克林 739, 740
王昆山 468
王蕾彬 931
王立胜 264
王立英 619
王丽 592, 633
王利杰 694, 767
王亮 358, 798
王亮亮 781
王嘹亮 428, 540
王龙 595
王璐 807
王萌 265, 285
王蒙 290
王盟楠 745
王敏晓 596
王明伟 919
王明文 863

王明霄 372
王茉 402
王默林 391
王娜 376
王楠 652
王宁 257
王培锋 729
王培杰 468, 469
王鹏斌 515
王平 244
王萍 241
王强 914
王强强 298
王钦贤 666
王庆 661, 883
王权 283
王嵘 400
王如生 402, 407
王汝建399, 400, 403, 405, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416
王蕊 917
王锐 899
王瑞 478, 484
王瑞芳 515
王瑞敏 573
王莎莎 592
王少鹏 479, 480
王世广 244
王世雄 448
王帅 717
王朔 921
王硕 447
王锁 172
王涛 312, 432
王腾腾 613
王天骄 418
王天月 239
王天云 432
王婉好 764
王万合 234
王微微 884
王伟 197, 234, 240, 251, 605, 707
王伟涛 234
王为磊 573
王文璟 910
王文鑫 197
王文秀 587
王文义 748
王文宇 440
王文忠 721
王锡津 372
王先锋 277, 287
王先彦 235, 236
王祥春 860
王翔 550
王小谷 421
王小华 861
王小均 715, 789
王晓 322, 323, 324
王晓峰 409
王晓航 881
王晓梅 289, 570, 576
王晓婷 301
王晓雪 530, 569
王孝聪 583
王欣 486
王欣欣 170
王新 610, 737
王新如 440
王新洋 352, 688
王鑫 935
王星星 320, 338, 670
王星月 696, 709
王兴麟 895, 902
王秀娟 663
王旭晨 623
王旭东 665, 675
王旭龙 257, 264
王选策 693
王学锋 264
王雪 730, 731
王雪松 339, 480
王雪淞 755
王亚 562
王亚东 244
王亚松 914

王亚苏 314, 379
王妍妍 582
王彦林 481, 690
王艳娜 295, 296
王雁冰 894
王洋 521, 860
王珧 204
王叶剑 827, 833
王一鹤 901, 912
王一舟 166, 234
王轶婕 530
王逸超 154, 204
王翊宇 409
王寅炤 524, 586, 594, 595
王英 166
王英辉 476, 500
王英民 320, 431, 432
王迎 744, 864
王莹 838
王颖钊 267
王映辉 914
王永 176
王永渤 655
王永刚 489, 490
王宇喆 510, 511
王雨楠 416
王雨薇 532
王玉满 215
王誉棋 369
王元 176, 419, 422, 684
王远 841
王跃 148
王跃云 421
王赟 860
王云强 203
王张华 305, 446, 447, 452
王哲 681, 771
王真军 285
王振朝 749
王振飞 211, 218
王振乾 169
王震 434
王志兵 188
王治强 149
王治祥 179, 217, 269
王智刚 510
王智娜 319
王中波 470, 471
王忠信 934
王舟 659
王子昂 836
王子晨 847
王子成 568
王自颖 857
旺罗 179, 292
望畅 796
韦芬 494
韦刚健 188, 478, 491, 496, 498, 499
韦露 495
韦武 736
韦展鹏 488
卫平生 426
卫小冬 707, 710
卫晓锋 197
蔚泽然 409
魏博雯 749
魏海涛 255
魏海珍 159
魏皓 312, 397, 410, 417, 418, 580, 919
魏琳 898
魏梦宇 363
魏硕 417
魏思华 362, 385
魏天媛 852
魏稳 301
魏新元 804
魏星 592, 598
魏修平 858
魏雪芹 579, 649
魏颖 730
魏勇 369
魏韵 154
魏忠旺 396
温汉捷 824
温联星 880
温廷宇 405

温扬茂 872, 881, 882, 883
温永林 768
温珍河 905
温作柱 533, 541, 546
文华国 848
文星跃 220
文一雄 806
闻学泽 876
邬黛黛 389, 816, 820
邬光辉 504
毋润民 288
吴斌 652, 654
吴婵 699
吴东 400
吴铎 284, 567
吴福莉 254
吴福元 174, 735
吴广美 402, 409
吴海斌163, 167, 168, 174, 185, 187, 357, 507
吴昊昊 900
吴怀春172, 193, 215, 216, 225, 291, 293, 302, 347, 379, 649, 692
吴辉 901, 912
吴会胜 493
吴佳琪 643
吴家望 328, 345, 667
吴嘉 635, 841
吴建平 301
吴婧 619
吴兰军 464
吴立群 844
吴路路 798
吴南 427, 437
吴能友 389, 658, 670, 816
吴千然 232
吴瑞明 901
吴时国323, 426, 437, 442, 811, 856, 884, 888, 890, 925
吴士存 512
吴淑玉 809
吴淑壮 530
吴涛 837
吴婷婷 856
吴伟 518
吴晓 447, 448, 458, 468, 469
吴晓丹 654
吴星媛 497
吴秀芹 425
吴学敏 892
吴雅玲 286
吴阳 798
吴尧 287
吴一帆 671
吴一凡 761
吴伊婧 895, 902
吴义 842
吴莹 621
吴永华 332, 333, 468
吴永胜 922
吴月琴 298
吴招才 775, 837
吴哲 681, 856
吴振利 707
吴正超 574
吴志鹏 182
吴智平 864
吴忠庆 721, 795, 801
吴仲玮 825
吴舟扬 190
吴自军 599
吴自银 901, 905, 911, 919
伍家成 218
伍峻琦 828
武宏亮 858
武力 313, 328, 403, 405, 410, 411, 414
武茜 473
武雪超 180
武则州 329
夏敦胜 255
夏国清 350
夏景全 475
夏磊 269
夏鹏 620
夏荣林 494, 495
夏少红 680, 688, 689

夏少攀 614
夏涛 515
夏天 294
夏逸 622
夏真 266, 884
夏志颖 330
鲜本忠 232, 322, 433, 434, 436, 440
向明星 155
向荣 331, 354, 358, 456
向宵 786, 787
肖宝华 503
肖承文 858
肖国桥 186
肖杭芳 496
肖劲根 418
肖菁 853
肖龙 754
肖舜 284
肖思雅 287
肖文交 164, 237, 777
肖文杰 325, 426, 632, 642
肖文申399, 400, 403, 405, 410, 411, 412, 413, 415, 416
肖曦 675
肖霞云 167
肖湘 424, 590, 594, 600
肖鑫 522
肖永明 934
肖哲宇 307
效存德 186
谢风华 372
谢海超 935
谢欢 409, 758
谢津剑 907
谢乐 588
谢烈文 789
谢凌璐 593
谢敏睿 475
谢强 522, 528
谢琴 224
谢瑞 389, 816
谢世亮 867
谢树成 147, 557, 569, 630, 642, 643, 655
谢思荣 847
谢伟 420, 425, 576, 599, 626, 639
谢小训 182
谢宇龙 254
谢子强 503
邢凤存 848
邢恺晨 792
邢淑晓 436
熊海仙 307
熊建国 188
熊俊琰 757
熊帅 788, 792, 798
熊天琦 899
熊晓虎 562
熊熊 783
熊怡俊 229
熊志方 351, 355, 365, 393, 415, 418
修鹏 572
胥维坤 920
徐超 533
徐翠玲 658, 832
徐丹 559
徐方建 282
徐刚 620
徐光坤 526
徐海 268, 284, 285
徐海轩 864
徐昊 867
徐皓 296
徐洪周 149, 522
徐华宁 669
徐慧茹 177
徐佳洋 472
徐建 392, 393
徐晶尧 388
徐景平 349, 358, 458, 468, 918, 920
徐娟 190, 313
徐敏 449, 686, 716, 726, 729, 873
徐强 927
徐沁 655
徐仁辉 411
徐森 252
徐胜 240, 560, 561

徐淑娟 441
徐文跃 677
徐锡伟 796
徐曦 786, 808, 928
徐星 835, 836
徐行 772
徐学远 748
徐亚 695
徐妍妍 880
徐阳 208
徐义刚 680, 693, 702, 716, 791, 794, 795
徐颖 600
徐玉珍 287
徐岳仁 234
徐哲文 203
徐振华 520, 521
徐仲元 750
徐子英 681, 694, 696, 771
许鲍昕 472
许才军 872, 873, 874, 880, 881, 883
许晨曦 167, 369, 372
许恒超 424, 599
许红 501, 506, 507, 508, 509, 510, 511
许鸿翔 439
许厚泽 783
许欢 155, 245, 247
许汇源 841
许江 917
许俊杰 188
许俊闪 870
许兰芳 658, 671
许明辉 860, 862
许鹏 421
许清海 265
许慎栋 478, 479
许文良 779, 788, 790, 792, 798, 799, 801
许小勇 428, 884
许心宁 467
许绪成 731
许学伟 621
许瑶 255
许一 474
许勇前 487
许岳 688
许云平 325, 425, 426, 668, 914
许泽昊 544
许长海 802, 856
宣基亮 521
薛刚 270
薛惠鸿 186
薛进庄 193
薛景彦 362
薛梅 512, 682, 786
薛书雨 287
荀鲁盈 584
鄢全树 688, 700, 783, 800, 823
鄢伟 505, 510, 699
闫大伟 832
闫桂京 506, 508, 509, 670
闫华晓 547, 551, 554
闫巧洋 828
闫如玉 743
闫施帅 800
闫仕娟 812, 813, 817
闫天龙 633
闫义 241, 686
闫琢玉 507, 508, 509
严海波 829
严俊 591
严立龙 732
严张磊 853
阎贫 481, 690, 697
颜辉 875
颜茂都 238, 247, 248, 927
颜文 339, 482, 507, 530, 644
颜智勇 783, 786, 787
晏宏 367, 377, 393, 633
晏维金 614
燕青 163
羊向东 633
阳恩广 473, 489, 490
杨宝菊 818
杨保 184
杨斌 494
杨策 364
杨承帆 204, 205, 465, 904, 909

杨承志 433
杨楚鹏 694
杨帆 693, 702, 731, 794
杨昉明 534
杨风丽 712
杨凤丽 812
杨刚 652, 812, 814, 822
杨光 518
杨海飞 903
杨浩 616, 734
杨和 255
杨宏峰 685
杨欢 370, 557, 635, 642, 646, 655
杨会会 280
杨会丽 240
杨慧慧 928
杨积忠 854
杨继超 421
杨建斌 623
杨建锋 170
杨江海 153, 457
杨进宇 526
杨九元 873
杨军 161, 221, 363, 364, 757, 763
杨凯 727
杨侃 320
杨克明 432
杨莉 250
杨梦莲 864
杨梦雯 409
杨苗苗 931
杨青 300
杨群慧 645, 835
杨如意 415
杨瑞 567
杨瑞钰 199, 200
杨少华 285, 872
杨生超 214
杨胜雄 673
杨世伦 903
杨守业190, 204, 205, 206, 333, 448, 465, 466, 467, 470, 904, 909, 915, 921, 923, 928
杨树 583
杨树锋 808
杨顺 397, 417, 539
杨崧 517
杨涛涛 884
杨天水 172, 291
杨婷寒 490
杨挺 512, 697
杨伟 312
杨文莉 216
杨小平 927
杨小强 298, 470, 633
杨晓东 738
杨鑫 678
杨兴国 934
杨旋 699
杨燕子 811
杨阳 718, 725, 903
杨洋 483
杨一博 195, 242, 251
杨义 630, 646
杨艺 590
杨艺萍 358
杨谊时 929
杨逸凯 516
杨毅 591
杨莹 359
杨永恒 155
杨宇平 920
杨玉璋 931
杨喆 807
杨振宇 165
杨志力 884
杨子杰 354
杨子翔 613
杨作升 458, 623, 897, 904, 914
尧中华 761
姚程 598
姚根顺 434
姚翰威 149, 228
姚华建 699
姚丽洁 154
姚鹏 607, 622, 623
姚文倩 240, 251

姚秀南 281
姚炎明 913
姚永坚681, 694, 696, 721, 742, 767, 771, 772
姚远 633
姚政权 158, 332, 468, 651
叶程程 251
叶聪 149
叶欢 553
叶君 606, 622
叶俊 817
叶黎明 400
叶脉 913
叶圣彬 410
叶涛 579
叶玮 255
叶文星 445
叶翔 907
叶延英 149
叶莺 383, 898
叶云涛 570, 576
伊帆 350
伊海生 350
弋双文 159, 931
易亮 173, 183, 269, 282, 384, 507
易治宇 239
殷建军 274
殷鉴 298, 470
殷杰 301
殷克东 425, 639
殷艺天 806
殷志强 197
尹宝树 521
尹洪洋 475
尹力 871
尹美玲 639
尹秋珍 167, 182, 187
尹润生 228
尹希杰 358
印萍 306, 458, 466, 905
游镇烽 562
于传海 419, 873
于俊辉 481, 690, 697
于俊杰 381, 394, 457
于淼 813, 814, 816, 822, 823
于名扬 252
于珊 593, 603
于胜尧 781
于世永 633
于涛 637
于卫东 517
于晓果 400, 646
于严严 168, 174, 187
于洋 730
于溢 572
于永贵 896
于有强 512, 691
于兆杰 327, 367, 445
于志刚 607, 622, 623
于志腾 707
余昌训 614
余晨旻 231
余凤玲 279, 294, 297, 302, 303, 635
余光辉 550
余骄洋 488
余锦萍 355
余娟 579
余珂 587
余克服465, 473, 475, 476, 478, 479, 480, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 500, 501, 916
余梦明 317, 686, 769
余其彪 614
余茜倩 548, 558
余锡平 645
余笑航 322, 323, 324
余星 715, 728, 730, 731
余珍珍 842
於俊宇 831, 832
俞建成 524
俞晶星 166, 234
俞小鹏 475
俞晓磊 474
俞恂 405, 530, 667, 789, 794
俞宙菲 330
郁金勇 646

郁科科 268
袁超 722
袁道先 274, 287
袁东亮 513
袁合民 860
袁杰 165
袁洁琼 306
袁晶晶 590
袁龙 700
袁龙辉 761
袁鹏 548, 571
袁帅 375
袁伟 692
袁玮 189
袁野 687
袁勇 803, 809
袁兆德 251
袁子杰 567
袁子能 568
远光辉 840
岳梅 748
咎金波 247, 253
咎念民 840
咎思璠 548
臧翀 877
詹林森 819
詹涛 158
战明君 717
张爱敏 241
张宝金 767
张毕辉 155, 245, 247
张斌 480
张灿 633
张策 870
张超谟 856
张驰 467
张传伦 587, 632, 639, 653
张春霞 174, 507
张翠梅 766
张大权 198
张大文 247, 248
张道军 506, 507, 508, 509, 511
张东声 421
张东阳 749
张恩楼 167, 633
张帆 184, 581, 680, 727, 729, 743, 747
张凡 914
张飞 196
张丰收 860, 861
张功成 313, 516, 707
张光学 505
张广旭 482, 782
张国栋 440
张国良 715, 717, 732, 770
张国庆 594
张海滨 149
张海龙 305, 568, 623
张海涛 858
张海伟 169, 173, 183, 184, 255, 270, 277
张海霞 255
张汉羽 693
张瀚之 154, 204, 235, 236
张航 879
张浩 516
张浩宇 421
张皓天 291
张衡 767, 927
张红艳 154
张宏斌 147, 287
张欢 567
张峘 596
张浣荻 175, 180, 248
张辉 158, 445
张慧敏 649
张伙带 428
张吉 717, 732
张继恩 164, 237
张继峰 152
张佳政 421, 684, 687, 696, 709
张家岭 775, 837
张建 233
张健 161, 221, 250, 703, 772
张键 287
张江勇 327
张洁 707
张金 285

张金锋 661, 669
张金鹏 266
张金玉 240, 251, 645
张进江 777
张经 474
张晶 618, 876
张晶晶 488
张靖雯 331, 530, 535
张静静 329, 330, 349, 352, 355, 512
张静渊 415
张居中 368, 931
张军涛 505, 506
张俊 620
张俊文 191
张开均 732
张楷 312
张坤 589
张锟 397, 417, 538, 539, 662
张来明 228, 231, 806
张兰兰 331, 341, 353
张磊夫 215
张丽芬 897, 914
张丽丽 856
张丽鹏 777, 792
张莉 436, 505, 510, 699
张莉佳 642
张连宝 525
张亮 268, 279, 407
张路遥 928
张曼莉 426
张茂超 220
张茂传 726
张美良 276
张勐 864
张猛龙 556, 559
张明宇 308, 618
张南 753, 758
张培震 927
张朋朋 237
张鹏 392, 393
张鹏辉 865
张普 183, 184, 275, 281
张奇 922, 924
张琦 486, 871
张谦 859
张琴 215
张青青 443
张庆云 394
张全勇 596
张冉 162, 163
张如伟 767, 892
张锐 569, 588, 595, 600
张瑞 228, 851
张瑞杰 476, 491, 500
张睿妍 421
张润宇 619
张山佳 931, 934
张少华 174
张诗然 469
张世红 172, 215, 216, 291, 692
张栓 881
张水昌 289, 570, 576
张硕 916
张思文 792
张覃谊 816, 820
张涛 .236, 238, 239, 247, 250, 521, 727, 733
张陶 274
张天付 502
张亭亭 675
张婷 477
张同伟 335
张琬 653
张万峰 693
张维骐 735, 736
张伟 160, 179, 181, 661, 663, 669, 677
张伟林 236, 238, 239, 247, 251
张卫国 294, 301
张文超 168, 174, 187
张文淼 232, 322
张文桐 446
张晰蒙 434
张曦 426
张喜林 832
张先康 927
张向涛 707, 856
张霄宇 813, 822, 824, 830

张晓栋 331, 347, 529, 530, 535
张晓华 616, 623
张肖剑 255, 266
张新昌 241
张旭 169, 173, 383, 384, 865
张旭博 692, 771
张学雷 515
张学珍 281
张亚南 395
张亚运 873
张彦成 377
张艳 816, 822, 823
张艳伟 331, 347, 529, 530, 535
张尧 462, 620
张瑶 525, 579, 581, 598
张一歌 646
张一诺 727
张艺昊 678
张懿卓 753
张银国 809
张永莉 410, 417
张永雨 587
张泳聪 403
张詠斌 278
张宇 590
张彧瑞 375
张钰莹 332, 622, 651
张媛媛 496
张玥 424
张运迎 722
张泽 179, 217
张长宽 645
张招崇 749
张兆丰 193
张兆祺 814, 816, 822, 823
张哲轩 596, 631
张振 176, 736
张振球 283, 285
张振宇 736
张正锋 875
张正一 782
张志 619
张志平 152
张治锋 222, 229
张忠涛 318, 681
张仲石 162, 163, 175, 185, 187, 368, 372
章露露 768, 770
章陶亮 399, 400, 413
章伟艳 400
章文博 758
章馨元 544
章雨 864
赵宝成 297
赵彬 283, 607, 622, 623
赵波 176
赵晨 275, 281, 521
赵成 167, 633
赵大鹏 705, 737, 796
赵德博 356
赵获能 901, 919
赵国春 702
赵宏超 345
赵辉 547, 551, 554
赵家驹 284, 633
赵洁 659
赵京涛 333, 384, 436, 463
赵景耀 169, 173, 183, 255, 280
赵玖强 530
赵俊猛 927
赵侃 283
赵俐红 733
赵连锋 778
赵良 556, 559
赵亮 170, 277, 706, 919
赵峦啸 858, 860, 862
赵荦 446
赵蔓 365, 395
赵美霞 481, 482
赵美训 305, 568, 623
赵蒙维 334
赵明辉 684, 687, 695, 696, 706, 709
赵宁 894
赵鹏 713
赵千 239
赵茜 409
赵强 507

赵秋月 179
赵仁杰 783
赵瑞鹏 716
赵绍华 295, 296, 307, 310
赵思佳 496
赵思宇 725
赵嵩 400
赵太平 725
赵维殳 590, 600
赵伟 397, 410, 417, 580, 919
赵伟强 612
赵玮 522
赵文涛 874
赵西西 516, 692
赵翔 335
赵翔宇 335
赵小双 295, 300
赵小小 602
赵昕 638
赵新福 844
赵雄 872
赵旋琪 294
赵亚婕 801
赵亚青 459
赵延洋 547, 551, 554
赵琰喆 703
赵艳 157
赵阳慧 707, 751, 765
赵一飞 449
赵玉龙252, 331, 345, 347, 365, 518, 529, 530, 535, 550
赵志军 931
赵志琦 191
赵中贤 747, 774
赵洲峤 218, 762
赵子福 780
赵子豪 579
郑畅 825
郑德凤 887
郑德文 166, 234, 693
郑峰峰 632, 653
郑洪波 155, 245, 247, 300, 926
郑金云 318, 681, 773
郑景云 259, 281
郑世雯 372
郑婷婷 719, 873
郑伟鹏 255
郑祥民 235
郑旭峰 339, 377, 530
郑雅欣 626
郑艳芬 616
郑永飞 780
郑勇 244, 898
郑子涵 677
郑字佳 397, 417, 580
钟大康 807
钟大星 319
钟广法 326, 427, 428, 540, 765, 769
钟浩辉 616
钟君 191, 209, 252, 561
钟锴 928
钟立峰 715, 721
钟宁宁 841
钟思玲 661
钟辛易 712
钟英 875
钟源 715
钟兆山 596
仲秋 741, 873
仲义 384, 395
周爱锋 284, 567
周保春 319, 416
周传明 605
周春 522
周从艳 328
周多 768
周非飞 370
周峰华 897
周锋 521
周浩 371
周怀阳 531, 828
周吉林 663
周济林 764
周建平 837
周洁琼 911, 919
周靖皓 232

周昆 595, 600
周磊 521
周力平 364, 640
周立旻 407
周亮 903
周茂阳 293
周木平 528, 531
周朋 260, 268
周晴晴 582
周尚蓉 368
周少贤 786
周声芳 383
周天成 814, 823
周天军 373
周卫健 260, 559, 560
周晓理 377
周新郢 264, 370
周鑫 158, 368, 377
周学琴 285
周亚东 421
周亚利 235
周迎春 621
周勇 729, 873
周祐民 280, 388
周韫韬 526
周在扬 453
周郑鹏 416
周志远 680, 683, 704, 707, 727, 741, 747
朱爱美 334, 822
朱百粟 312
朱本铎 428
朱伯靖 875, 877
朱辰 556
朱晨光 250
朱弟成 735
朱东 849
朱东亚 506, 807, 841, 846, 851
朱二雄 610
朱光有 193
朱继浩 833
朱津琬 858
朱君 307
朱铠 295
朱孔阳 813, 822, 830
朱丽亚 304
朱林奇 811, 856
朱铭 475
朱日祥 733
朱荣伟 696, 772
朱如凯 225
朱瑞 452
朱守彪 867
朱伟 862
朱伟林 316, 513, 516, 781, 808, 928
朱伟龄 743
朱文君 234
朱文涛 475
朱祥峰 798
朱小畏 644
朱晓燕 276
朱晓雨 201
朱筱曦 768, 774
朱一杰 439
朱友生 890
朱志伟 812
朱卓毅 621
祝从文 517, 519
祝佳琪 828
祝圣贤 211
祝嵩 681
祝文君 470, 471
庄广胜 254
庄燕培 396
庄自贤 294
卓海腾 319, 322, 774
禚笑村 587
宗宝云 183
宗保云 184, 255
宗永强 294, 307, 635
邹波波 474
邹才能 215
邹建军 333, 334, 468
邹晓春 358
邹欣庆 333, 400
邹耀遥 798
左浩悦 209

左萌 373
左小军 504
左秀玲 493

展商信息

参展商相关安排与展会制度请阅读《第六届地球系统科学大会展商手册》。

展位	公司、机构名称	展位	公司、机构名称
N1	上海续波 IONPLUS AG	S6	北京天诺基业科技有限公司
N2	BETA 实验室	S7	北京易科泰生态技术有限公司
N3	北京赛迪海洋技术中心	S8	北京超级云计算中心
N4	杭州腾海科技有限公司	S9	弗尔德(上海)仪器设备有限公司
N5	上海凯来仪器有限公司	S10	蔡司显微镜
N6	上海泽泉科技股份有限公司	S11	北京德严科技有限公司
N7	江苏中海达海洋信息技术有限公司	S12	全国地质资料馆
N8	武汉上谱分析科技有限责任公司		
N9	科荟测试 Createch Testing	S13	《第四纪研究》
N10	赛默飞世尔科技(中国)有限公司	S14	科学出版社地质分社
S1	RBR 中国-青岛亚必锐海洋仪器设备有限公司	S15	《中国科学》杂志社
S2	青岛领海海洋仪器有限公司	S16	《海洋学报》 Acta Oceanologica Sinica
S3	南京滨正红仪器有限公司	S17	《地球科学进展》
S4	上海海奕环境科技有限公司	S18	Wiley-AGU
S5	Isotopx 英国同位素质谱公司	S19	The Innovation 编辑部

AGU期刊编辑讲座：
如何发表高水平学术论文

时间: 2021年7月8日12: 20 -13: 50

地点: 第六届地球系统科学大会分会场2 二楼悦贵厅2号

讲座内容：

- 漫谈学术发表

  主讲人：戴民汉院士，化学海洋学家，中国科学院院士，厦门大学讲席教授、近海海洋环境科学国家重点实验室主任。主要从事海洋生源要素、放射性核素的生物地球化学研究。现任Global Biogeochemical Cycles Associate Editor。

- 如何撰写一篇学术论文

  主讲人：刘志飞教授，同济大学海洋与地球科学学院教授，主要从事海洋沉积学、古海洋与古环境、海底过程与观测研究。曾任Paleoceanography and Paleoclimatology Associate Editor,现任Acta Oceanologica Sinica Assistant Editor-in-Chief，Sedimentology Associate Editor,《沉积学报》编委等。

- 英文学术论文撰写中的常见问题

  主讲人：刘静教授，天津大学地球系统科学学院教授，主要从事活动构造、地表侵蚀与构造地貌研究。现任JGR Solid Earth Associate Editor，《地质通报》、《科学通报》、《Tectonophysics》、《中国科学》、《地震地质》和《中国地震》等刊物编委。

- 学术发表中的同行评审

  主讲人：周磊研究员，上海交通大学海洋学院研究员，主要研究方向为热带海气相互作用，海洋大气动力学，季节内振荡。现任JGR Oceans Editor，《海洋学报》编委。

AGU ADVANCING EARTH AND SPACE SCIENCE

WILEY

Wiley地球及环境科学

67
种顶级期刊

42
种学协会合作出版期刊

60
种期刊拥有影响因子

22
种期刊在所属学科类别中排名前25%

部分合作伙伴

古生物学协会
The Palaeontological Association

国际地质分析协会
International Association of Geoanalysts

国际沉积学家协会
International Association of Sedimentologists

欧洲地质学家和工程师协会
European Association of Geoscientists & Engineers

皇家气象学会
Royal Meteorological Society

湖沼与海洋科学协会
Association for the Sciences of Limnologyand Oceanography

地球与环境科学部分重要期刊

IF 1.595

Geological Journal
《地质期刊》
2019JCR排名：137/200 地质学和交叉学科

IF 3.06

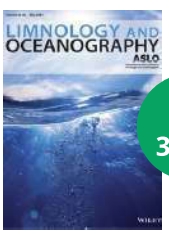
Palaeontology
《古生物学》
2019 JCR排名：2/55 古生物学

IF 3.405

Sedimentology
《沉积学》
2019 JCR排名：5/47 地质学

IF 6.099

Wires Climate Change
《Wiley 跨学科评论：气候变化》
2019 JCR排名：9/123环境研究；
5/93 气象与大气



IF 3.778

Limnology and Oceanography
《湖沼学与海洋学》
2019 JCR排名：3/22 湖沼学；
6/67 海洋学

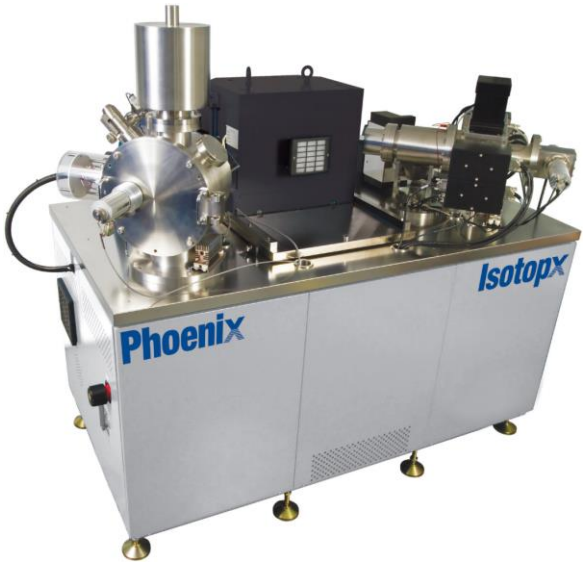
IF 3.694

Earth Surface Processes and Landforms
《地球表面变化过程与地形》
2019 JCR排名：13/50 地理、物理；
34/200 多学科地球科学

Isotopx

Excellence in mass spectrometry

英国 Isotopx 同位素质谱公司



Phoenix 系列热电离质谱仪

- 高精度地质年代学应用之首选
- 法拉第杯配备 ATONA 专利放大器，全面领先于传统高阻放大器（ATONA 噪音更低，更宽线性范围，回归基线更快）
- 所有法拉第杯和 MIC 型离子计数器均可独立移动，配备 WARP 型能量过滤器、ETP 型离子计数器、轴向法拉第杯配备 ZEPTONA 放大器（线性范围±100V，噪音值低至 10cps）
- 磁场变焦专利技术，静态全接收 Li、Ca、UO_2 等，为非传统同位素分析应用提供技术基础
- Daly 检测器和法拉第杯提供十年超长质保

NGX 系列稀有气体质谱仪

- 用于分析所有惰性气体同位素
- 配备 ATONA 专利放大器，对 He、Xe 等丰度值差别大的同位素分析提供更精准的检测数据
- 用户可根据实际需求定制检测器配置，可选 12 个检测器（法拉第杯或离子计数器）
- 磁场变焦专利技术支持全接收 Xe
- 法拉第杯十年超长质保
- 低容积设计，配备全自动气动阀门，气体纯化系统可根据用户需求定制

www.isotopx.com　Isotopx 中国办事处 wang.yu@isotopx.com　+86 18311381002

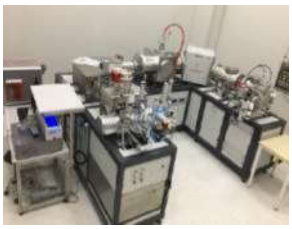
上海续波光电技术有限公司
T: 86 21 50477207 E: info@cwopto.com
F: 86 21 50477207 W: www.cwopto.com
High-Tech Bridge to China Market
CWOPTO

Ionplus Scientific Instruments for Radiocarbon Dating and Accelerator Mass Spectrometry

上海续波光电技术有限公司提供瑞士 Ionplus AG 生产的小型加速器质谱放射性核素制样及测量解决方案，其技术源于瑞士苏黎世联邦理工学院 (ETH Zurich)，目前产品包括 50kV 及 200kV 碳十四专用小型加速器质谱仪，300kV 多核素小型加速器质谱仪，以及石墨靶制备和二氧化碳气体进样附属仪器。

200kV 碳十四专用小型加速器质谱仪 (MICADAS)

MICADAS 具有占地小($9m^2$)、轻量化(4.5 吨)、低功耗(2.5kW)、易操作、易维护、全自动、高精度、高效率、可测量微量气体样品等特点，在全球有 30 多个用户，包括南京大学、中国海洋大学、中科院地球环境研究所、兰州大学、河南大学、郑州文物考古研究院以及英国牛津大学、 美国伍兹霍尔海洋研究所、英国布里斯托大学、法国气候变化与环境研究所、 德国 AWI 极地与海洋研究中心等国外机构。



标准样品精度测试：石墨靶 $^{14}C/^{12}C$ 比值精度优于 0.2%，气体靶 $^{14}C/^{12}C$ 比值精度优于 0.8%

本底测试：空白样品石墨靶本底 $^{14}C/^{12}C<2x10^{-15}$ (5 万年)，仪器本底 $^{14}C/^{12}C<5x10^{-16}$ (6.2 万年)

300kV 多核素低能量小型加速器质谱 (MILEA)

300kV 多核素小型加速器质谱仪(MILEA)，具有占地小(7m×3.5m×2m)、轻量化(15 吨)、低功耗、易操作、少维护、全自动、高效率、高精度、可测量微量气体样品等特点，支持 ^{10}Be,^{14}C, ^{26}Al,^{41}Ca, ^{129}I 及 U, Pu, Np, Am, Cm, Cf 等核素分析，可用于考古学、环境科学、海洋科学、材料科学、生物医学等领域研究，可以进行冰川侵蚀、剥蚀速率等地质科学研究，还可以进行辐射安全、退役核电站、核废料存储等核科学领域研究。参考用户：中国辐射防护研究院、捷克科学院核物理研究所、英国兰卡斯特大学。

$^{14}C/^{12}C$ 石墨精度≤0.2%, $^{14}C/^{12}C$ 气体精度≤0.8%, $^{14}C/^{12}C$ 石墨本底≤2.0×10^{-15}, $^{14}C/^{12}C$ 仪器本底≤5.0×10^{-16}

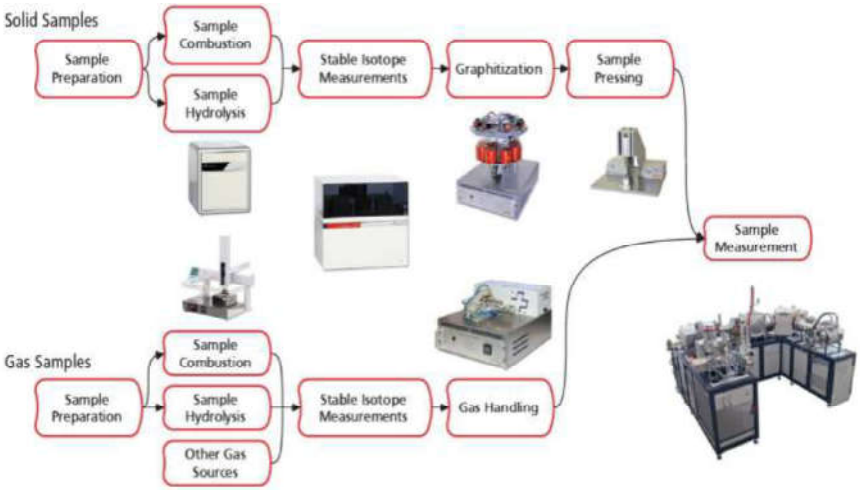
$^{10}Be/^{9}Be$ 本底≤ 2.0×10^{-15}, $^{10}Be/^{9}Be$ 精度≤ 2.0% ； $^{26}Al/^{27}Al$ 本底≤ 5.0×10^{-15}, $^{26}Al/^{27}Al$ 精度≤ 2.0%

$^{129}I/^{127}I$ 本底≤2.0×10^{-13}, $^{129}I/^{127}I$ 精度≤2.0%(可选)；$^{239}U/^{238}U$ 灵敏度≤1.0×10^{-12}, $^{236}U/^{238}U$ 精度≤3.0%(可选)

加速器质谱系统碳十四制样及测量流水线解决方案

石墨靶制备及高精度测量解决方案: [EA 元素分析仪 / CHS2 碳酸盐处理系统 + *IRMS 同位素比质谱仪* + FED 铁粉分配器 + AGE3 全自动石墨化装置 + PSP 气动压样装置 + MICADAS / MILEA 加速器质谱仪

微量气体样品制备及全自动在线测量解决方案: [EA 元素分析仪器 / CHS2 碳酸盐处理系统 + *IRMS 同位素比质谱仪* + GIS 气体接口系统]+ MICADAS / MILEA 加速器质谱仪



RBR中国分公司：

青岛亚必锐海洋仪器设备有限公司

直接负责中国区域的销售、技术支持与售后服务

RBR

SENSORS | LOGGERS | SYSTEMS | OEM

电话：0532-8099 9695

邮箱：info@rbr.cn

网址：rbr.cn

传感器

业界领先的传感器

微型测量仪

小体积，大容量

单双参数，波潮可选

标准型测量仪

更多测量参数

温盐深+其他组合

锚定/单点或剖面测量

超高精度压力

数字石英压力传感器

10ppb超高分辨率

观测系统

WireWalker

波浪动力剖面测量系统

MLM-1000感应耦合系统

OEM产品

Argo CTD

Glider CTD

放射性碳测年和同位素测试

BETA实验室可提供多种精准、快速的测试服务，包括放射性碳测年、稳定同位素测试等。Isobar Science是BETA实验室的子公司，可提供高精度的同位素测试服务，使用的仪器为激光烧蚀多接收电感耦合等离子体质谱((LA)MC-ICP-MS)。

放射性碳测年，稳定同位素测试

- 骨头和牙齿
- 木头
- 贝壳和其他碳酸盐
- 沉积物
- 植物和种子
- 水

地质年代学，地球化学指纹，环境来源追踪

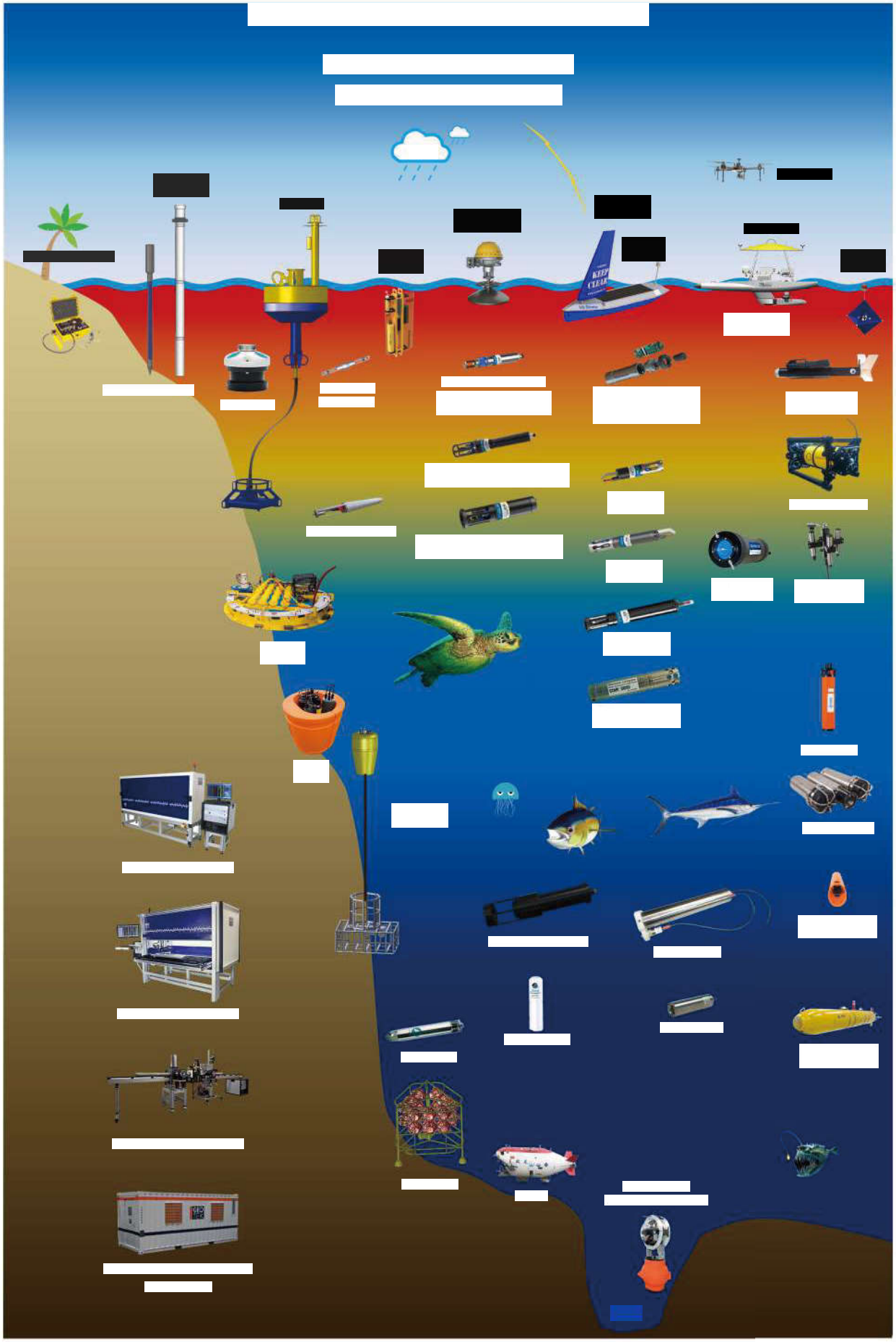
- Sr 锶同位素比值
- B 硼同位素比值
- U-Th 铀-钍测年
- Pb 铅同位素比值
- Sr-Nd-Hf 锶-钕-铪同位素比值

扫码赢取免费测试

BETA实验室地质摄影大赛
1张照片就有机会获得大疆无人机

扫码报名,就有机会获得
Isobar Science 免费的U-Th测年 机会

www.radiocarbon.cn | www.isobarscience.com



青岛领海海洋仪器有限公司(LinkOcean Technologies Ltd.) 地址:266061,青岛市秦岭路18号国展财富中心1-314室

电话:0532-80999236、7、8、9 传真:80999238 www.linkocean.cn info@linkocean.cn

北京赛迪海洋技术中心是一家从事各类海洋仪器销售、系统集成、技术支持和售后服务的企业。自 2002 年成立以来，近 20 年中先后与国内近百家从事物理海洋、地质勘探、水文调查和水文气象等领域的公司及科研机构保持亲密合作，并得到了良好的赞誉。

我们拥有海流计、释放器、玻璃浮球、多波束系统、测扫声纳、浅地层剖面仪、水下光学设备、水下机器人、水听器、各类 CTD 传感器、水文气象浮标、声速剖面仪和其它多种水下科研设备。

公 司 简 介

我厂是专业生产、研发、销售高科技痕量分析实验室器皿的厂家，填补了国内空白，产品质量可与国外品牌相媲美，我们诚挚感谢各位的支持及协助，并为我们的合作深感荣幸。

PFA、FEP 系列耗材

PFA 层析柱

PFA 试剂瓶

PFA 容量瓶

黄金搭档产品

PFA 溶样罐、溶样瓶

多孔加热支架

防腐加热板

滨海县正红塑料仪器厂　　南京滨正红仪器有限公司

025-8555 7400 、025-8555 9297

025-8322 4668 、025-8322 3500 、 025-8322 3307

Ocean Exploration, Ocean protection

探索海洋 保护海洋

腾海科技
TENGHAI TECHNOLOGY

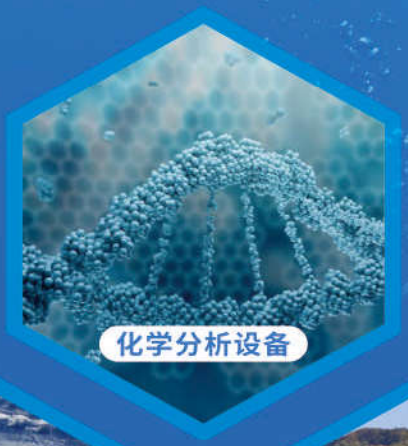
我们一直致力于海洋、水文领域的研究

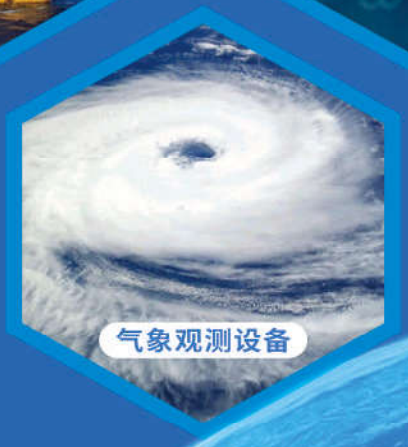
我们一直致力于为客户提供优质的前端产品

我们一直致力于客户的可持续性发展

为此我们孜孜不倦、矢志腾飞!

www.soarocean.com





合作品牌

TELEDYNE MARINE RD INSTRUMENTS Everywhereyoulook
LinkQuest Inc.
ThOS
SASTEA
AXYS
SEA-BIRD SCIENTIFIC
develogic
VALEPORT
R·sensors
JFE
KELLER
VAISALA

海奕环境科技
Oceanen Environmental Sci.& Tech.

上海海奕环境科技有限公司致力于海洋及水环境领域内仪器的引进及技术开发与咨询，公司荣获上海市高新技术企业称号。主营产品有海洋监测仪器、水生生物仪器、水文勘测仪器、水体采样等设备。经过多年发展，目前已是国外品牌仪器（美国 General Oceanics 公司、法国 Technicap 公司、意大利 Idronaut 公司、美国 Battelle 公司）等公司在中国区的总代理和技术服务中心。

法国 Technicap 公司
沉积物捕获器

美国 Battelle 公司全自动 CO_2 在线监测系统

美国 General Oceanics 公司
走航式 CO_2 检测系统

意大利 Idronaut 公司
CTD 温盐深仪

美国 General Oceanics 公司
单通道/多通道采水器

美国 Teledyne Benthos 公司声学应答释放器

地址：上海市松江区茸兴路时亦商务大厦6号楼202　　电话：021-54047221
网址：www.oceanen-tech.com　　邮箱：info@oceanen-tech.com

无机元素及同位素分析前处理整体解决方案

Total Solution Of Sample Preparation Techniques for Element & Isotope Analysis

激光微区及成像解决方案

新品发布！ **TV3双模式双体积样品池**

速度最快、精度最高的样品池，兼容所有NWR平台！

小杯绝对固定
- 配置两种小体积杯，切换仅需5min
- Imaging Mode超快速成像模 & Analytic Mode高精度分析模式

纳米级高精度移动平台
- 空间位置重现性<1.5%
- XYZ三轴移动，步进分辨率10nm
- 样品表面到小杯间距可调，优化最佳实验条件

NWR193HE
高能量激光剥蚀系统
- COMPex 102经典型号
- 20Hz/100Hz可选
- 出口能量240mJ，样品表面50J/cm2

NWRFemto
分馏效应的终极解决方案！
- 多波长可选，探索更深紫外区！
- 标配深紫外257nm
- 可选206nm和1030nm
- 两套独立的光路系统，软件切换

新品发布！ **EXUM MASSBOX**

- **激光剥蚀激光电离飞行时间质谱**
- 超低基体效应，非基体匹配
- 低至1um的空间分辨率
- 低至ppb级的元素检出限
- 便携式(28'' × 24'' × 24'')

- **TOFWEAK飞行时间质谱**
- 同时分析全谱元素
- 每秒33000次TOF提取
- 精确的同位素比值
- 多元素快速成像

- **AtomTrace LIBS**
- 带聚焦功能的激光输入模块
- 样品预览和观测模块
- 压力调节模块，可以调节腔内模块
- 气体吹扫和抽气模块

稳定同位素解决方案

MicroMill^2 微区取样仪

新品发布！

- 第二代微钻，全新升级！
- ActiveView2操作软件
- 22.5° 斜角钻取

MIR10^2 CO2激光熔融加热系统

新品发布！

- MIR10-55W 高功率型号，全新升级！
- ActiveView2操作软件
- XYZ高精度移动平台，步进分辨率<1μm

Laser-Fluorination-IRMS
激光串联反应富集系统

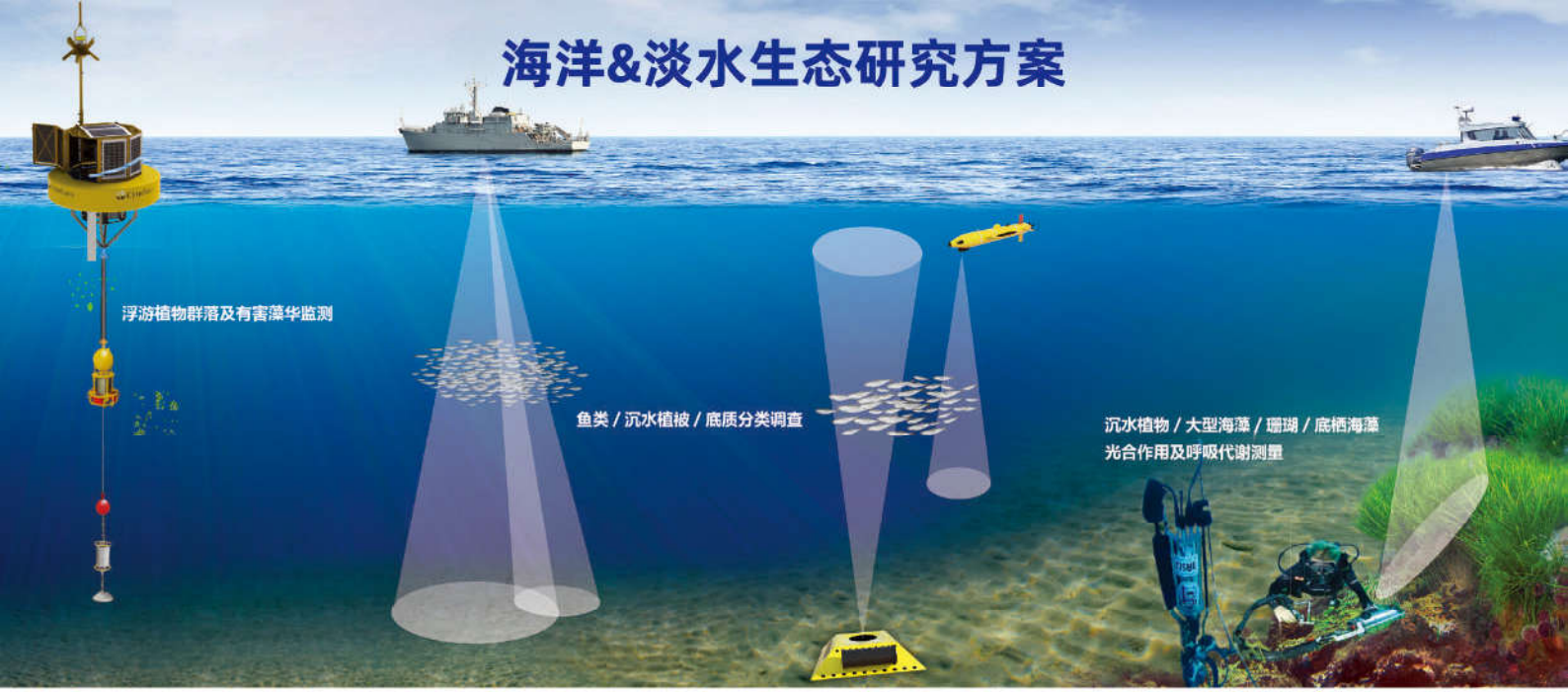
- 更微区
- 原位剥蚀在线同位素分析
- 更高空间分辨率， <100 μm

Elemental Scientific LASERS

凯来 ChemLab

上海凯来仪器有限公司
地址：上海市浦东新区海基六路218弄海立方科技园11号楼4-5层
电话：400-033-5217，021-58955731
邮箱：webmaster@chemlabcorp.com
网址：www.chemlabcorp.com

海洋&淡水生态研究方案



多功能回声探测仪（鱼探仪）

- 探测鱼类等水生动物的空间分布、数量、目标强度和分布密度
- 探测沉水植物的分布、冠层高度和覆盖度
- 测量水深
- 研究水体底质的生态分类（软泥、沙子、岩石等）和空间分布

CytoBuoy 系列藻类群落结构分析系统

- 从最全粒级、最大浓度范围、形状、光学特性、机械特性等方面对藻类/颗粒进行原位分析
- 近岸、巡航及深海浮游植物群落结构的研究
- 有害藻华、赤潮监测预警（实时、高频监测）
- 水产养殖藻类监测
- 压舱水监测

浮游植物分类荧光仪 PhytoPAM II

- 可提供5种波长的脉冲调制测量光和光化光
- 独创板载LED阵列芯片技术
- 可实时进行四种藻的分类
- 可进行标准PAM 测量及不同波长强光化光诱导的毫秒级荧光上升动力学分析
- 可测定光系统II功能性捕光截面积
- 内置自动测量程序，易操作

水下调制荧光仪 Diving-PAM-II

- 原位测量珊瑚、大型海藻、潮间带藻类、沉水植物的生理活性
- 全防水设计，耐受水压 50m
- 可测荧光诱导曲线并进行淬灭分析
- 可测光响应曲线和快速光曲线（RLC）

便携式水下呼吸代谢测量仪 CISME

- 野外条件下原位测量珊瑚的代谢速率
- 海洋酸化、珊瑚钙化率研究
- 也可测量珊瑚藻，钙化藻，底栖海藻、其他低幅度底栖生物或基质，微生物膜和沉积物，海绵，无脊椎动物等

多参数水质测量仪ProDSS

- 用于种类水体中水质的定点测量和剖面测量
- 可以测量pH、氧化还原电位、溶解氧、电导、浊度、温度、深度及更多参数

GreenEyes 系列原位营养盐分析仪

- 湿化学方法原位在线分析氨氮、（亚）硝酸盐、磷酸盐、硅酸盐

泽泉 Zealquest 上海泽泉科技股份有限公司
Zealquest Scientific Technology Co., Ltd.

http://www.zealquest.com sales@zealquest.com

乾菲诺	奉贤区叶庄公路888号（上海农科院庄行综合试验站）	021-32555118	转8023分机
上海总部	金沙江路1038号华东师大科技园2号楼8楼	021-32555118	021-32555117
北京分公司	海淀区北三环西路43号青云当代大厦1804室	010-88824075/76/77	转828分机
广州代表处	天河区潭村路348号马赛国际商务中心2206室	020-85645707	020-85645359
成都代表处	锦江区人民南路1段97号现代之窗1018室	028-86722096，86719836	028-86721922
武汉代表处	武昌区中南路7号中商广场写字楼A座	18627071855	

泽泉科技二维码　　客户询价登记

北京天诺基业科技有限公司
BEIJING TECHNO SOLUTIONS LIMITED

CPEC310闭路涡动相关通量系统

系统简介

CPEC310闭路涡动通量观测系统是一款高性能、高可靠性的科研及闭路涡动通量观测系统，可用于大气与生态系统之间二氧化碳、水汽、热量和动量交换的长期监测。

一套完整的CPEC310闭路涡动通量观测系统由一套EC155闭路气体分析仪、CSAT3A三维超声风传感器和数据采集器以及其他配件和配套软件组成，系统高度集成，包含了使用中所必须的各种仪器及配件没能够为用户提供“交钥匙”系统，极大地方便了用户的使用。

CPEC310是专为涡动相关通量观测设计的闭路气体分析仪，可同时测量二氧花坛和水汽的绝对密度，采样气室内的温度和压力，其采用5.9ml的小采样气室设计，大大减少了采样停留时间（50ms，7LPM时），这使系统的功耗大幅降低到12W，并拥有优异的频率响应性能（4.3Hz，半功率带宽），结合CSAT3B三维超声风传感器即可同步测量三维风速、空气温度和超声虚温。

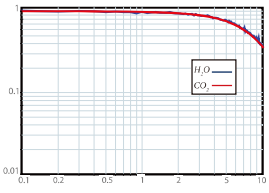
作为系统控制核心的CR6数据采集器保障了整套系统的高速、稳定运行，其可将采集到的测量数据存储到CF存储卡中（最大支持16GB），亦可有线或无线方式，通过局域网、Internet、卫星等多种途径实现数据的远距离传输，支持4G、GPRS、WiFi、微波电台等多种通讯模式。

系统特点

系统集成度高，包含所需各种仪器及配件；
频率响应性能优异；（见图CPEC310频率响应）
低功耗，支持多种供电方式；

易于操作安装

- 数据测控运储器的程序仅需要简单的人为操作。
- 系统程序自动控制流量，订正零基点和测幅。
- 在严酷天气条件下能持续运行。
- 通过对采样管路加热，避免气样在管路壁面冷凝。



CPEC310 频率响应

系统组成

完整系统包括：

- 闭路红外CO2/H2O分析仪(EC155)
- 三维超声风速仪 (CSAT3A)
- 数据测控运储器 (CR6)
- 电子控制系统 (CPEC310 测控箱)
- 汽泵装置
- 安装硬件,气体传输管,连接电缆。

EC155气体分析仪与CSAT3A超声风速仪

可选附件

- 高压标准气罐气体阀门调控器，为零基点和测幅的自动订正用。
- 2G或更大存储容量的小型闪存卡（2G可存储每秒10次观数据至40天）。
- 有线采集：Ethernet, RS-232, 电话modem, 有线电话*
- 无线采集：散谱近距（100km以内）通讯，经无线电话通讯*,经卫星电话通讯*）

涡动相关质能通量的传感器

EC155闭路红外CO2/H2O分析仪测定二氧化碳和水汽的摩尔浓度。CSAT3A三维超声风速仪测定三维风速。

CPEC310 系统控制箱

》 体积：54 cm x 44.5 cm x 29.7 cm 》 重量：16.24 kg
数据测控运储器 (CR6)
数据储存外设（非标准配置）
标准气体罐的调节阀门（非标准配置）气泵系统的电子硬件界面。
CPEC310 系统控制箱可安装在CM106三角架的主干或分腿上，也可安装在固定坚固粗杆儿上。

CPEC310 汽泵系统

汽泵是CPEC310系统的标准配置。由一个无刷直流电机驱动两个小型薄膜结构泵体。安装在玻璃纤维箱内。由一个集成电缆连接到CPEC310的系统控制箱。由系统控制箱提供电源并测量控制其温度，压力和泵速。

阀门调控器(非标准配置)

坎贝尔有两种阀门调控器供选择。基本的三阀器能使CPEC310系统自动执行零基点，一个CO2测幅和一个H2O测幅订正。高等级的六阀器比三阀器可多连三个标准CO2气瓶，从而可多三个测幅订正。阀门调控器安装CPEC310的系统控制箱中。出口集中于一个流量可控阀门，通过这一阀门实现对流量的控制。

TECHNO SOLUTIONS

官网 微信公众号

www.technosolutions.cn
全国免费服务电话 4008759866
商务中心：北京市海淀区长春桥路5号新起点嘉园10号楼305室
技术中心：江苏省无锡市新吴区干城路6号中关村软件园D3栋
北京商务中心 无锡技术中心 南京办事处 重庆办事处

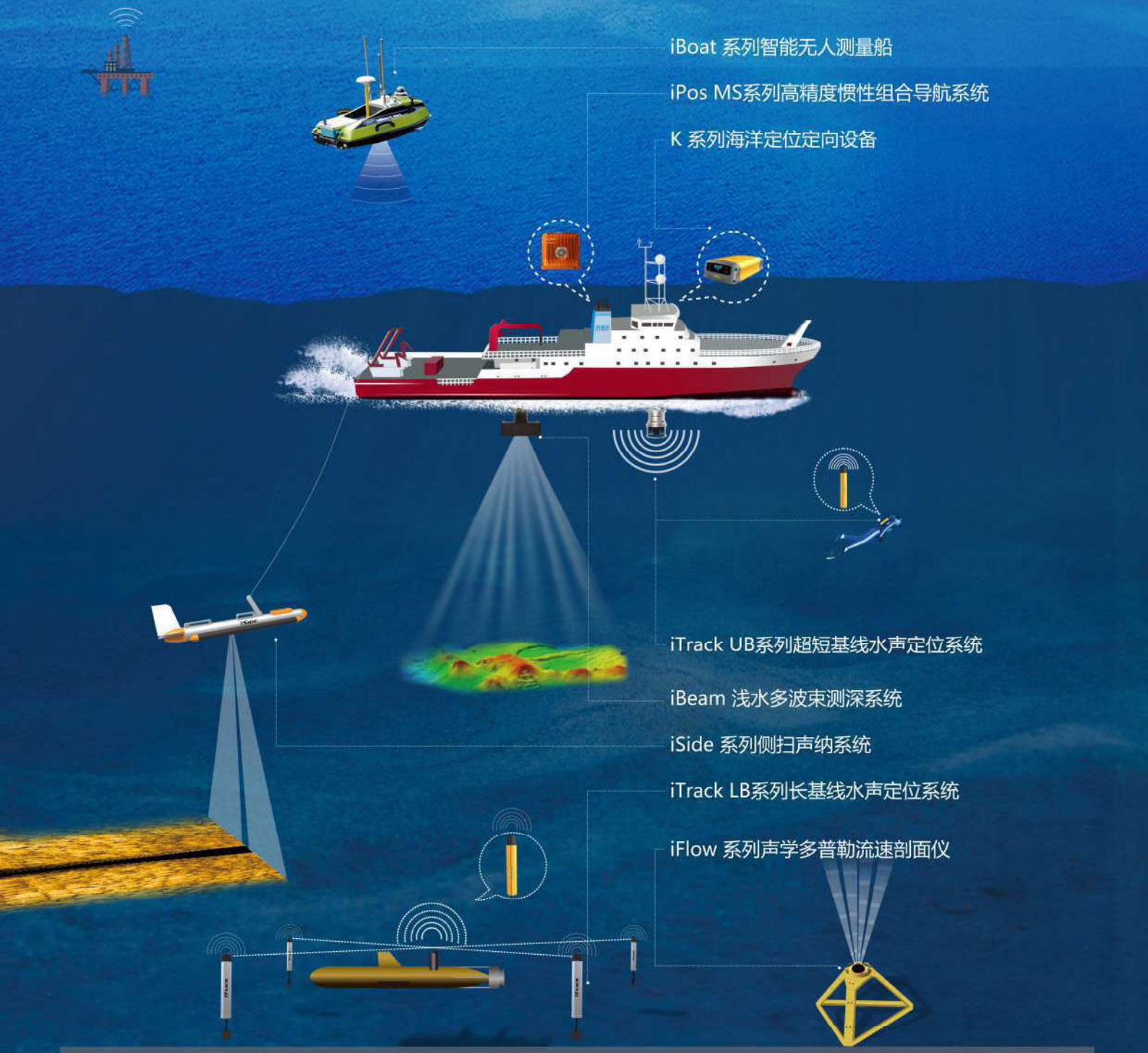
中海达
HI·TARGET
股票代码：300177

官方微信

江苏中海达海洋信息技术有限公司2014年成立于南京，是中海达集团（股票代码300177）控股子公司。专注于海洋探测领域，是一家集研发、生产、销售、服务于一体的高新技术企业。公司以掌握核心技术，推动中国海洋装备产业国际化为企业使命。

目前自主研发的设备包括多波束、无人船、侧扫声纳、水下定位系统、ADCP、惯导和单波束等。公司产品主要服务于海洋测绘、海洋环境监测、海洋工程、海洋地球物理勘察、海洋生物、海洋可再生能源、水下考古打捞、内河航运、水利工程、水文监测、海事海监等领域。

公司始终秉持专注、创新、坚韧的企业精神，致力于成为领先全球的海洋探测技术方案提供商。

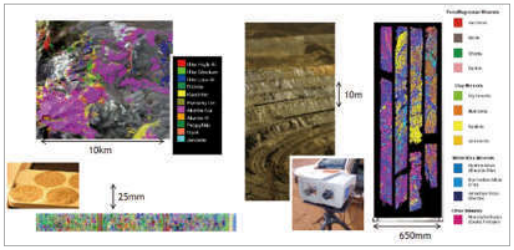


中海达 HI·TARGET | 江苏中海达海洋信息技术有限公司 | 网址：http://www.hi-marine.com.cn 热线：025-66683500

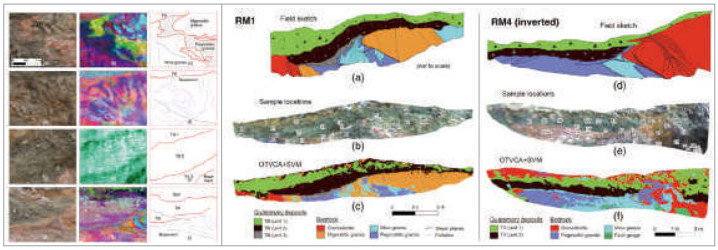
北京易科泰生态技术公司致力于地球–海洋科学、农业科学、生态科学、地质地貌研究等国际先进技术的方案推广、技术集成与应用技服务，下设Ecolab®实验室、青岛分公司，并在西安设立有易科泰光谱成像与无人机遥感研究中心。

易科泰在地球科学领域如样芯密度扫描与元素分析、LIBS元素分析、海洋藻类测量与监测、土壤呼吸与碳通量监测等方面具有先进的技术、丰富的经验，自主研发GeoDrone®专业无人机遥感平台，SpectraScan高通量高光谱扫描系统，为地球科学研究提供全面的解决方案。

1. 高光谱在地球科学中的应用

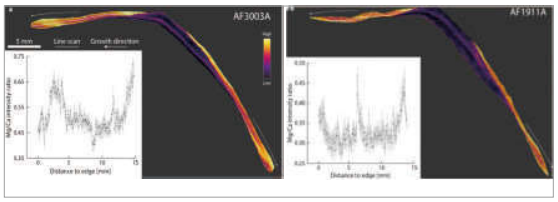


不同尺度下的地球地质测量



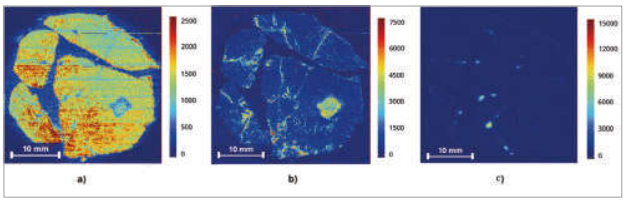
古地震地质地貌研究

2. LIBS应用于古环境、古生物学研究



对P. caerulea贝壳进行LIBS元素成像分析，几乎所有样品的Mg/Ca值都呈条带状分布，与实际气候变化相吻合。

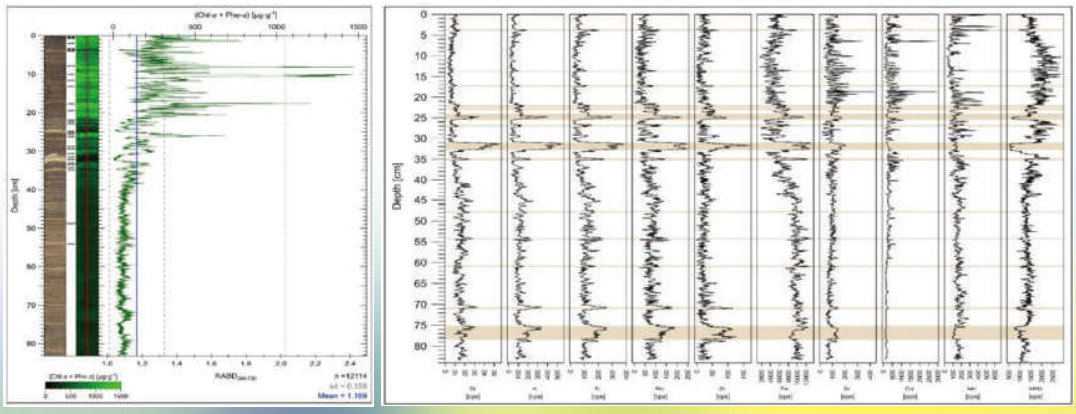
3、岩矿分析



黄铜矿的 a)Cu、b)Ni、c)Pb分布(Jozef Kaiser团队，2017)

4. 湖泊沉积物样芯分析

利用高光谱成像和XRF技术高通量、非损伤绘制湖底沉积物chl–a和phe–a分布特征图，进而推断湖泊富营养化历史变化



地址:北京市海淀区高里掌路3号院6号楼1单元101B (100095)
电话: 010– 82611269/1572
传真: 010–62465844
网址: http: //www.eco–tech.com.cn
邮件: sales@eco–tech.com.cn　info@eco–tech.com.cn

上谱分析
SampleSolution

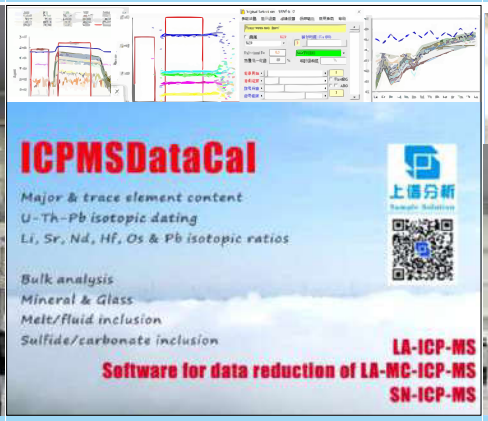
手机：18164055108　18186495107
电话：027-87581808　QQ:2704055108
Email:samplesolution@vip.126.com
网址：www.samplesolution.cn
地址：湖北省武汉市高新大道北斗路6号
未来智汇城A11栋

碎样、挑样、磨片、制靶

阴极发光、二次电子、背散射

U-Pb测年、激光微区原位元素分析

LA-MC-ICP-MS激光微区原位同位素分析



数据处理

ICP-MS全岩微量元素分析

全岩Sr-Nd-Pb-Hf-Ca-Cu-Zn同位素分析

XRF全岩主量元素分析

电子探针

北京超级云计算中心
BEIJING SUPER CLOUD COMPUTING CENTER

构建云上科研工作环境

荣获2020 HPC TOP100榜单

中国超算TOP3

通用CPU算力第一

▶ 资源丰富

27万CPU核心

- AMD最新EPYC二代罗马处理器
- Intel最新至强铂金处理器

10PFlops通用CPU算力

▶ 计算不排队

计算资源随需动态上线

应用云调度全国超算资源

▶ 一对一服务

响应及时，保障有力

扫码免费试算

开通试算 即送2000核时计算资源

即开即用，VIP服务体验，省时省心，您的计算服务最佳选择

联系方式：400-660-2011　官方网址：http://www.blsc.cn

科荟测试

Createch Testing Creating Solutions

公司介绍 Company Introduction

科荟测试成立于2016年，是一家通过计量认证和质量认证的第三方检测机构,实验室主要开展面向岩矿地质、矿产资源、环境生态及食品与健康科学等领域的公共检测服务和测试技术研发。公司秉承“设备齐全、技术先进、数据准确、服务规范”的方针，致力于建设国际一流的检测技术服务企业、为客户提供优质的分析测试解决方案。

公司于2020年10月在天津武清区建立起俞1000平米的高标准、高质量、高水平的实验中心。实验室从样品处理到测试，设施完备；各类仪器按运行要求，实现仪器间独立控温控湿等条件；三大超净实验室，全局纯水供应系统，大幅削减了样品处理的本底，保证各类样品处理的优环境、高品质。

实验室检测技术实力雄厚，与国内外高校、科研院所和企业建立了良好的合作关系。目前已建立起气体稳定同位素、元素/同位素地球化学、原位微区元素/同位素等分析方法，实验室测试数据已发表数百篇于各类期刊。

测试项目 Testing Items

气体稳定同位素测试

C Isotope　H Isotope　O Isotope　N Isotope　S Isotope　Si Isotope

激光原位测试

Sr Isotope　Nd Isotope　Hf Isotope　S Isotope　Li Isotope　U-Pb Age　原位微量 Element

同位素地球化学

Sr Isotope　Nd Isotope　Pb Isotope　Hf Isotope　Li Isotope　Fe Isotope　Cu Isotope　Zn Isotope　Mg Isotope　Si Isotope

元素地球化学

主量 Element　微量稀土 Element

特色项目之硅酸盐硅、氧同位素

基于定制硅酸盐制样台的石英、硅酸盐全岩、氧化物的Si、O同位素测试方法。设备再升级,新定制硅酸盐制样台，加标样可同时进行10个样品的制备，加上第一代的制样台的5个，效率提升至300%。

北京科荟测试技术有限公司 ‖ 科荟测试（天津）科技有限公司

网站：www.kh-test.com　手机：15611119781　Q Q：1302086051

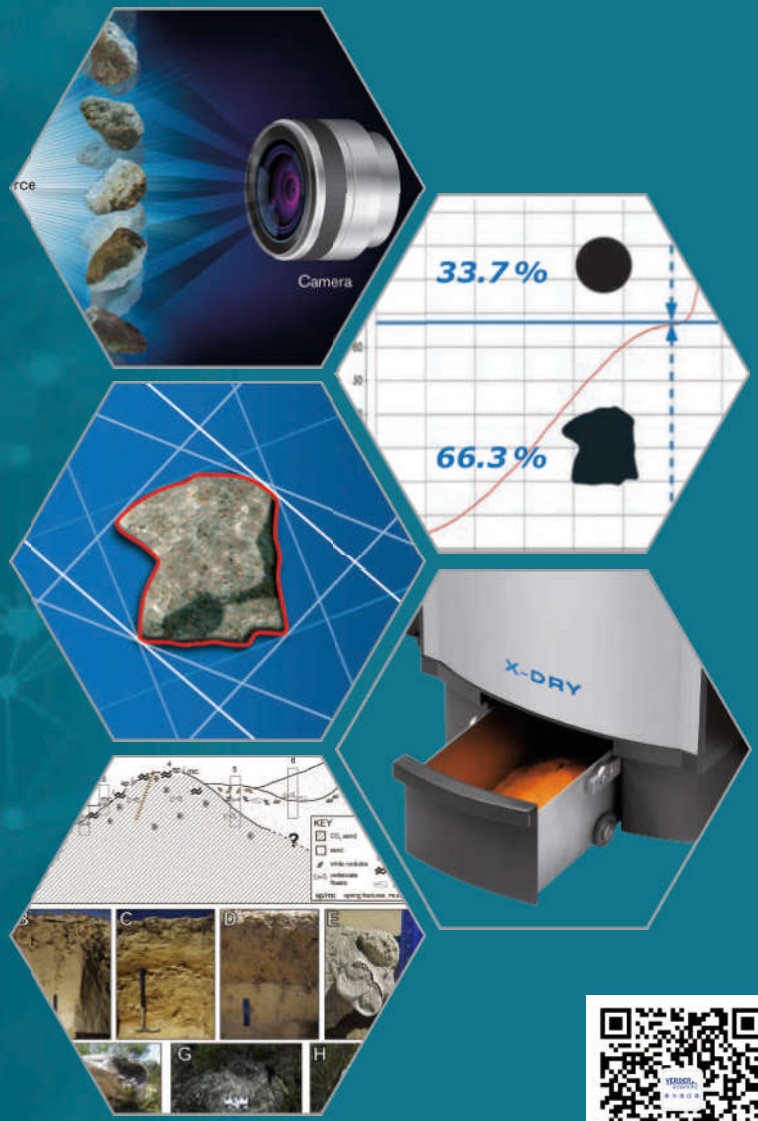
邮箱：kehuiceshi@126.com　手机：13691512045　Q Q：624980650

MICROTRAC MRB
PARTICLE CHARACTERIZATION
麦 奇 克 莱 驰

干湿两用多功能粒径及粒形分析仪

CAMSIZER X2

dual camera technology



应用范围：海洋沉积、增材制造、材料科学、石油催化等。

part of VERDER scientific

弗尔德(上海)仪器设备有限公司
Verder Shanghai Instruments and Equipment Co., Ltd

thermo scientific

Illuminating the edge of discovery

Technology that transforms your science

Neoma Multicollector ICP-MS

Just when you thought it couldn't be done, the new Thermo Scientific™ Neoma™ Multicollector ICP-MS raises the bar. Building on the strength of our multicollector technology, this next-generation system delivers all the advantages of high-precision isotope ratio analysis, but none of the limitations. Now you can extract information from even the smallest samples with unrivaled sensitivity, low noise and flexibility to switch between multiple applications quickly and easily. Add in the time-saving benefits of new software, and you've got all you need to take productivity sky high.

Learn more at **thermofisher.com/neoma**

© 2020 Thermo Fisher Scientific Inc. All rights reserved. All trademarks are the property of Thermo Fisher Scientific and its subsidiaries unless otherwise specified. **AD30599-EN 0420S**

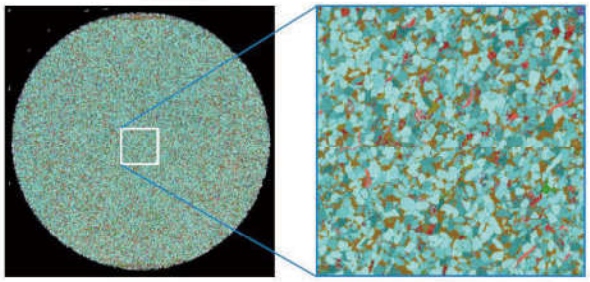
ThermoFisher SCIENTIFIC

ZEISS Axioscan 7

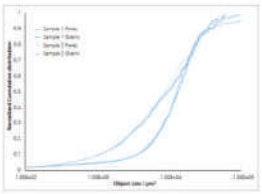
蔡司全自动数字薄片扫描系统，可实现样品高通量多通道成像

产品技术特点：

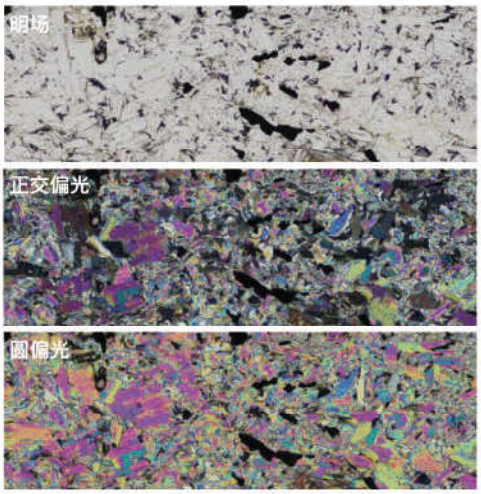
- 一次性放置高达 100 片地质薄片。
- 可获取明场，多角度偏光，圆偏光，荧光图像。
- 结合蔡司机器学习 Intellesis 实现自动化矿物分类和分析。
- 与扫描电镜结合，实现定量地球化学与矿物学相关联。



阶段	样品 1	样品 2
孔隙	19.81	18.38
石英	69.96	72.36
云母	8.43	7.59
方解石	0.33	0.34
高突起矿物	0.57	0.5
不透明	0.89	0.83



定量图像分析展现孔隙，矿物和晶粒大小分布



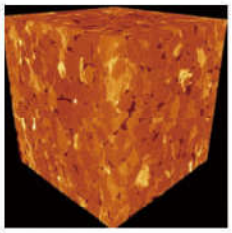
地质样品多通道采集图像

ZEISS X 射线显微镜无损三维成像

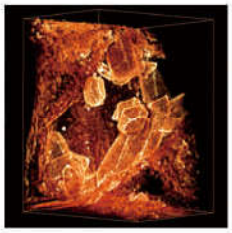
蔡司 X 射线显微镜可为油气领域研究提供无损三维高分辨率成像，帮助科研人员分析岩石内部孔隙和矿物的三维分布，从而进行油气成藏、开采等研究。通过三维数据建模可对孔隙率、孔隙连通性、渗透性等物理参数进行计算和分析。

产品技术特点：

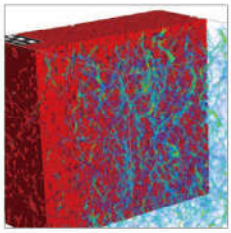
- 采用光学 + 几何两级放大的成像架构，可实现大样品局部高分辨率 3D 成像。
- 可实现 500 nm 的真实空间分辨率。
- 闪烁体和光学物镜耦合专利探测器技术，可实现高衬度成像。
- 借助大样品高分辨率成像的技术优势，可拓展实现原位力学、油气驱替 4D 原位实验。



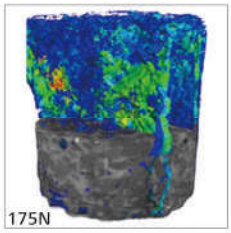
常规砂岩



致密砂岩



岩石渗透性模拟



岩石原位压缩实验

Carl Zeiss Microscopy GmbH
07745 Jena, Germany
microscopy@zeiss.com
www.zeiss.com

卡尔蔡司（上海）管理有限公司
200131 上海，中国
E-mail：info.microscopy.cn@zeiss.com
全国免费服务热线：400 680 0720

上 海 办：（021）2082 1188
北 京 办：（010）8517 4188
广 州 办：（020）3719 7558
成 都 办：（028）6272 6777

ZEISS

Seeing beyond

[redacted]

- 水深支持0-67米
- 采样深度可达9米
- 电力驱动，安全环保，高效率
- 每分钟5000 - 7000次高频率振动
- 设备重量轻，性能强劲，钻进速度快
- 50mm-100mm口径兼容性强选择多
- SDI VC-D深水型 / SDI VC-Mini浅水型 不同需求不同选择

[redacted]

- 世界领先的声波共振钻探技术
- 钻进速度快，每分钟进尺可达1.5米
- 样品保真度好，环境污染少
- 分体式设计便于运输
- 水深支持30米，采样深度可达20米
- 支持一次性快速采样
- 每分钟7000-12000次超高频率声波震动

北京德严科技有限公司
400-668-9937
www.deyankeji.com

科学出版社·地质分社

祝第六届地球系统科学大会圆满成功

作者：汪品先

作者：朱光等

作者：朱日祥等

图书专场（当当）

作者：吴自银等

作者：吴自银等

作者：朱日祥等

图书专场（京东）

作者：何宜军等

作者：阮爱国等

作者：张荣华等

《中国古生物志》(1951~2018) 典藏版

始创于 20 世纪 20 年代的《中国古生物志》目前已出版到第 201 册。科学出版社 1951 年到 2018 年出版的“中国古生物志”丛书的典藏版，包括总号第 134 册到总号第 200 册共计 68 册图书。

中国古生物地层知识库
China Palaeontology Stratigraphy Library

本知识库基于《中国古生物志》等大量权威古生物学与地层学著作开发，旨在为地球科学专业人士提供古生物物种检索、地层知识信息、在线图表制作、地图可视化应用等知识服务。欢迎扫码试用。

扫码试用

扫描了解详情

科学出版社地质分社出版范围包括基础地质、古生物地层、地球物理、地质资源与地质工程、矿业工程、石油与天然气、大气科学、海洋科学、地质信息科学等相关专著、基础理论和教材以及专业地图集，出版了大批享誉学术界的优秀地学著作。

欢迎洽谈出版业务！

电话：010-64034012　13520433179（微信）
E-mail：hanpeng@mail.sciencep.com
地址：北京市东城区东黄城根北街 16 号

扫码业务咨询

● 学科栏目丰富　● 审稿发表快速　● 媒体推介广泛

Wechat ID

An Oriental Express of Science to the World

半月刊

主编: 王恩哥

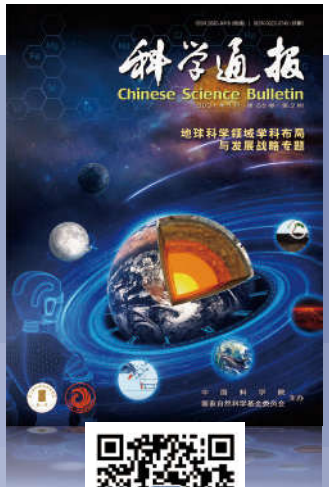
执行主编: 陈发虎 (地球科学)

- JCR综合类期刊Q1区
- 中科院文献情报中心期刊分区表Q1区
- 中国科技期刊卓越行动计划领军期刊
- SCI影响因子和载文量持续上涨
- 国际显示度不断提升

11.78 IMPACT FACTOR | Q1

栏目: Review, Article, Short Communication, Perspective, Commentary, News & Views, Research Highlight

http://www.scibull.com



Wechat ID

旬刊

主编: 高福

副主编: 王会军 (地球科学)

- 自然科学综合性学术期刊
- 入选中国科技期刊卓越行动计划
- 连续3届荣获中国出版政府奖期刊奖
- 百种中国杰出学术期刊
- 中国百强报刊
- 中国最具国际影响力学术期刊

收录: EI、Scopus、ESCI、中国科学引文数据库、中国科技论文与引文数据库、中文核心期刊要目总览等

栏目: 进展、评述、快讯、论文、观点、科学访谈、亮点述评、科技前沿、悦读科学

http://csb.scichina.com

《科学通报》编辑部

电话: 010-64036120 (英文版), 010-64012686 (中文版)
地址: 北京东黄城根北街16号 (100717)

主管单位
中国科学院

主办单位
中国科学院
国家自然科学基金委员会

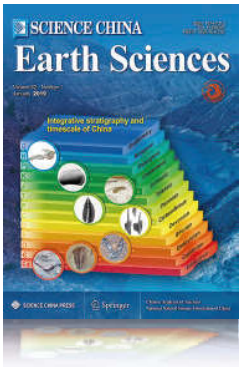
出版单位
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
ELSEVIER

中国科学：地球科学
SCIENCE CHINA Earth Sciences

主　编：郑永飞

副主编：陈发虎、傅绥燕、郭正堂、焦念志、穆穆、杨顶辉、朱茂炎

2020
IMPACT FACTOR
4.368
Q1

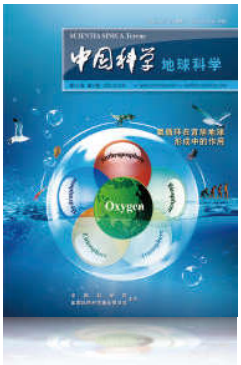


SCIENCE CHINA
Earth Sciences

Abstracted/indexed by SCI, EI, SCOPUS, Google Scholar, etc.

SCIENCE CHINA Earth Sciences is committed to publishing high-quality, original results in both basic and applied research.

Categories of articles: Research Paper, Review, Progress, News Focus, Discussion, Forum, etc.



中国科学：地球科学

收录： 中国科学引文数据库、中国科技论文与引文数据库、中国期刊全文数据库、中文核心期刊要目总览等

内容： 力求及时报道地球科学基础研究与应用研究方面具有创新性和重要科学意义的最新研究成果

栏目： 论文、综述、评述、进展、动态、点评、讨论、论坛等

- 1950年创刊
- 中国科学院学部平台办刊
- 中英文双语出版
- 编委会严格把关学术质量

earth.scichina.com

WeChat ID: 中国科学地球科学

主办单位：中国科学院（CAS）国家自然科学基金委员会（NSFC）

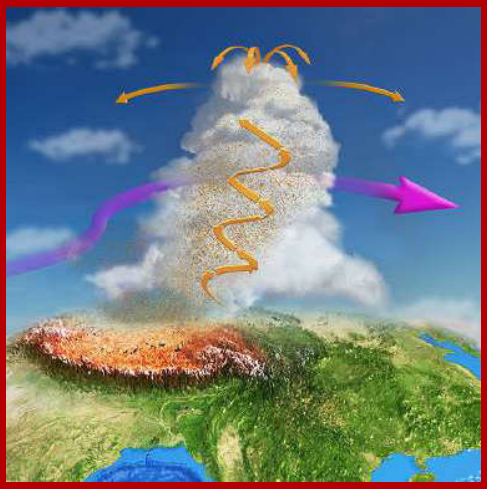
出版单位：《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS　Springer

NSR

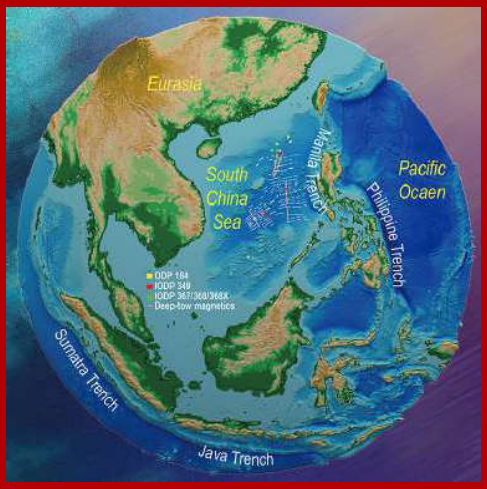
国家科学评论
National Science Review

IMPACT FACTOR
17.275

Key Problems of the Deep Earth
Volume 8, Issue 4, 2021



Land-Atmosphere Interaction of the Tibetan Plateau
Volume 7, Issue 3, 2020



The South China Sea Ocean Drilling
Volume 6, Issue 5, 2019

Advances in El Niño Research
Volume 5, Issue 6, 2018

Marine Carbon Sequestration and Climate Change
Volume 5, Issue 4, 2018

Air Pollution and Control
Volume 4, Issue 6, 2017

Reporting global advances in science

academic.oup.com/nsr

主办单位： 中国科学院地质与地球物理研究所
中国第四纪科学研究会
主　　编： 郭正堂
创刊时间： 1958年
出版周期： 双月刊

第四纪研究
QUATERNARY SCIENCES

办刊宗旨： 涵盖第四纪有关的地球科学、环境科学和人文科学各分支学科。其宗旨是贯彻“双百”方针，开展学术讨论，提高第四纪研究的基础和应用水平

收录情况： 地学领域中具有代表性的期刊之一，被国内外知名的数据库收录
Scopus数据库
中国科技论文与引文数据库（CJCR）（中信所）
中国科学引文数据库(CSCD)（中科院）
北大中文核心期刊（北京大学图书馆）
中国学术期刊综合评价数据库（CAJCED)（知网）

获奖情况：
中国精品科技期刊（连续两次获得：2020~2022年、2017~2019年）
2020年有6篇文章进入精品期刊顶尖论文平台领跑者5000（F5000）
2020年获得中国科学院中文期刊择优支持项目资助
中国最具国际影响力学术期刊和中国国际影响力优秀学术期刊
2017年期刊论文入选《第二届科协优秀论文遴选计划》，获优秀论文奖

影响因子和排名： 影响因子和总被引频次保持较高的水平，连续在地质学期刊中位居前列，近4年影响因子（2016年、2017年、2018年和2019年）分别为第1名（2.585）、第4名（1.972）、第2名（2.234）和第3名（2.119）（据CJCR）
2020年，中国地学领域高质量科技期刊分级T1区
2019年，WAJCI Q1区地质学中总排名第21，在中国地质学类期刊中排名第5
2019年，谷歌学术指标(GSM)位列中国期刊27位

投稿方式： 官方网站投稿：www.dsjyj.com.cn
或者直接发送至编辑部邮箱：
dsj@mail.iggcas.ac.cn或者dsjs@mail.iggcas.ac.cn

联系我们： 杨美芳（010-82998119）
赵淑君（010-82998122）

刊号：ISSN 1001-7410; CN 11-2708/P

地球科学进展

主编：傅伯杰 院士

历程：1986 年创刊

定位：地球科学领域综合性学术期刊

宗旨：评述国内外地球科学研究现状及未来发展趋势；报道地球科学领域跨学科性重大研究；揭示新兴、边缘、交叉学科和领域研究动态

主要栏目

综述与评述；研究论文；院士论坛；发展战略论坛；科技重大计划进展；IODP ■■；■■■■与■■；■■与争鸣；全球变化研究；可持续发展研究；生态学研究；新学科·新技术·新发现；■■■■■■■■■■■■.

业界影响

- 中国科学院出版基金中文科技期刊择优支持（2020）
- 中国地学领域高质量科技分级目录 T1 区（2020）
- 第三届全国“百强报刊”（2017）
- 第四届中国精品科技期刊（2017）
- 首届甘肃省“十佳期刊”（2016）
- 中国科学院科学出版基金择优支持（2015-2019）
- 地球科学综合类期刊核心总被引频次和综合评价排名前三（2020 版 CSTPCD（核心版）统计）
- 中文核心期刊要目总览、中国科学引文数据库、中国科技核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊（A）
- ……

网址：http://www.adearth.ac.cn　　邮箱：adearth@lzb.ac.cn

电话：0931-8762293　　QQ 群：114723517

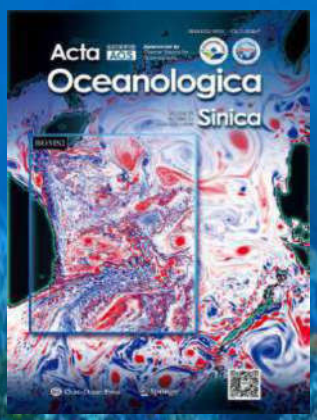
微信号　视频号　QQ 群

《海洋学报》

《海洋学报》为中文核心期刊，现为月刊创，刊于[illegible]。[illegible]国科学技术协会主管、中国海洋学会主办、海洋出[illegible]洋科学技术综合性学术期刊。主要刊登物理海洋、[illegible]洋物理、海洋化学、海洋地质、海洋生物、海洋工程、海洋信息科学、海洋技术等基础研究和应用基础研究方面的原创文章。被Scopus、CA、CSCD、北大中文核心等国内外多家数据库收录。总被引次数和影响因子等指标一直在同类期刊中名列前茅。曾入选“百种中国杰出学术期刊”，连续多年被评为“中国国际影响力优秀学术期刊”，连续受到“中国科协精品科技期刊工程项目”“中国科技期刊卓越行动计划项目”等资助。

投稿网址：www.hyxbocean.cn
联系电话：010-62179976
联系邮箱：admin@hyxb.org.cn
ocean@hyxb.org.cn
联系地址：北京市海淀区大慧寺路8号海洋出版社701室

扫码关注公众号
获取更多期刊信息



Acta Oceanologica Sinica (AOS), an SCI indexed journal, publishes the most recent scientific achievements and results as well as papers in the field of ocean sciences, which includes physical oceanography, marine physics, marine chemistry, marine geology, marine biology, marine meteorology, ocean engineering, marine remote sensing, and marine environment sciences, etc. Progress reports on research projects are also included.

Impact Faction of JRC:
1.146
JRC Ranking:
Oceanography Q3
CAS Ranking:
Geoscience Q2
Oceanography Q2

Online Submission: www.aosocean.com
E-mail: ocean2@hyxb.org.cn
ocean4@hyxb.org.cn
TEL: 010-62179976
Address: No.8 Dahuisi Road, Haidian District, Beijing 100081, China

Scan the QR code
for more information

全国地质资料馆
NATIONAL GEOLOGICAL ARCHIVES OF CHINA
NGA

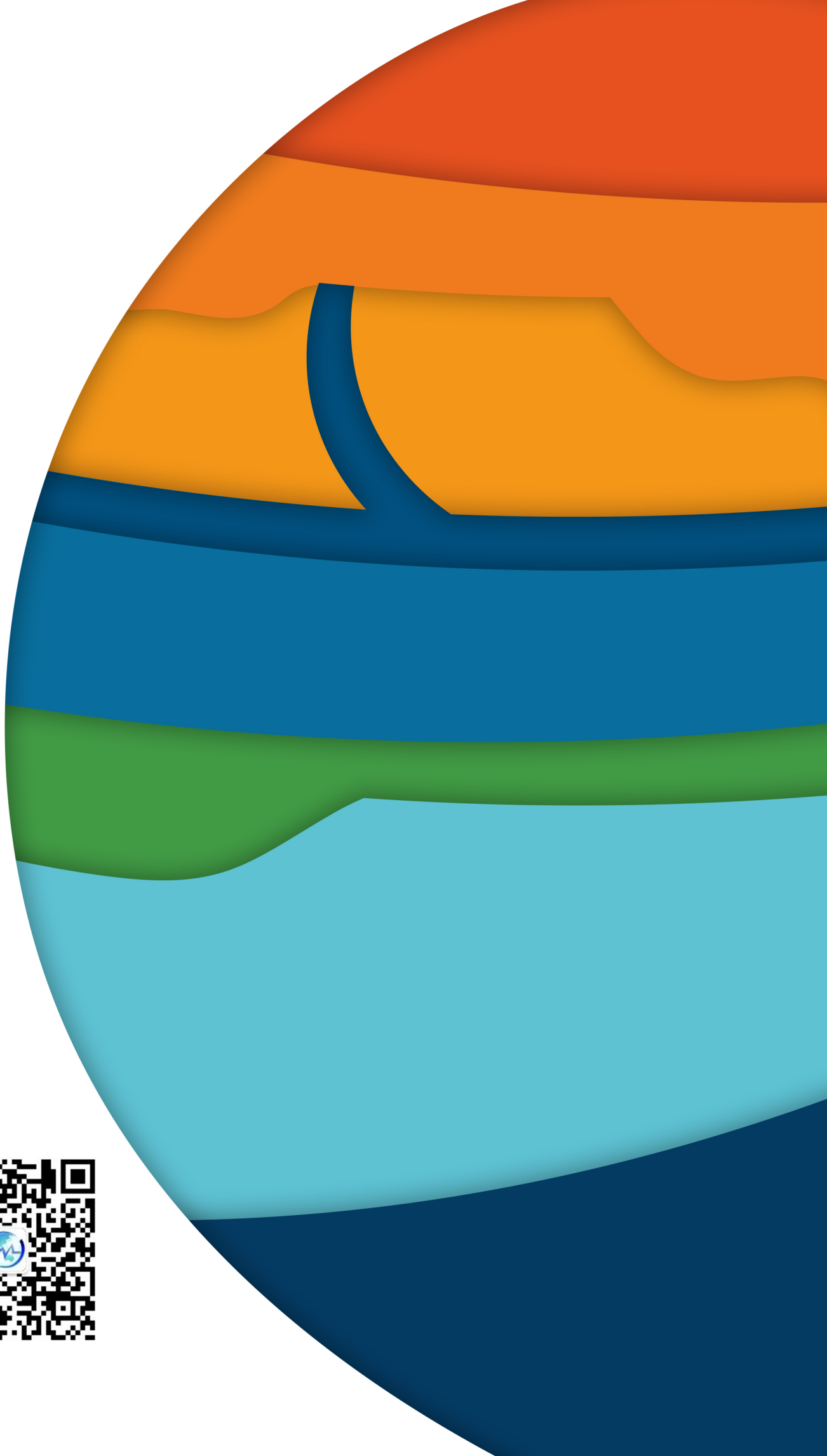
全国地质资料馆

健全国家自然资源资产管理体制，统一行使全民所有自然资源资产所有者职责。

——《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》

全国地质资料馆始建于1952年，传承了我国近现代一百多年的地质资料档案，是我国馆藏数量最多、内容最全的国家级地质资料馆藏机构。

本馆收藏了自二十世纪初以来我国各省（市、区）所开展地质工作形成的地质资料，涉及地质、煤炭、冶金、有色、化工、建材、石油、核工业、环境等不同领域和专业。

INNOVATION

www.the-innovation.org
www.cell.com/the-innovation
office@the-innovation.org