今日天气 | 多云转晴 20-30℃

第六届
地球系统科学大会
THE 6TH CONFERENCE ON EARTH SYSTEM SCIENCE | 2021 上海

增刊

2021年7月9日
星期五 | 第二期

中国科学: 地球科学 2017 年 第 47 卷 第 4 期: 383 ~ 384
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
编者按 华夏山水的由来专题

华夏山水的由来

大哉我中华!
大哉我中华!
东水西山,
南石北土, 真足夸.
泰山五台固基固,
震旦水陆已萌芽.
…
——中国地质学会会歌(尹赞勋、杨钟健)

这是一首由尹赞勋、杨钟健两位地学泰斗, 在1940年作词的中国地质学会会歌, 唱的就是华夏山水及其由来. 华夏大地的锦绣山河, 从何而来? "东水西山, 南石北土"的地势, 何时形成? 回答这些问题, 既是科学, 又是文化. 地球科学在探索自然规律的同时, 也应该为社会提供丰富多彩的文化产品.

长城内外、大江南北, 在大好景色底下蕴含着许许多多地球科学的发现, 却很少为行外人知晓. 比如说, 你知道原来中国的地形曾经东高西低, 后来才是"一江春水向东流"吗? 你知道今天的江南沃土也曾经是当初的荒漠, 西北的沙漠也是后来才有的吗? 你知道六百多万年前并没有宝岛台湾, 而两万年前从上海可以步行走到东京吗? 你知道为什么会有三千里秦岭将中国分为南北, 成为华夏文明的龙脉吗?

本专题就是一次尝试, 试图由战斗在科学第一线的专家, 撰文揭开隐藏在山水背后的自然之谜, 试图通过普通的语言, 从学术角度来讨论炎黄子孙普遍关心的问题. 从长江到泰岭, 从东海、台湾到沙漠, 我们选了五大主题, 由五位专家在2016年上海的"地球系统科学大会"作专题报告, 构成了"华夏山水的由来" 专题会. 这些报告在会上激起了出乎意料的学术热潮, 大有必要将这些报告作为专题发表, 以便与广大的读者分享.

地理变迁既是科学、也是个社会命题. 梁启超在1901年曾经感叹, "吾人所最惭愧者, 英如我国无国名之一事", 因为唐宋明清都不是国名. 等到辛亥革命后才叫中国, 但是"曰中国, 曰中华, 又未免自尊自大, 贻讥旁观." 其实在古地理演变中, 全球的大陆曾经几度聚合为联合大陆, 而中国从来不在世界大陆的中央, 却是居居超级大陆与超级大洋的边缘.

可这并不见得是件坏事, 人类至今也并不聚集在大陆的中央. 今天的中国位于最大的大陆和最大的大洋之间, 从喜马拉雅山到马尼拉海沟, 四千公里的水平距离垂直落差两万米, 国此沉积物的物流最强(Wang, 2004). 几亿年来, 西太平洋边缘一直是大洋板块俯冲的终点, 3万公里长的俯冲板片埋在下面的地幔里, 好比是板块的"坟场", 国而构造上格外活跃, 世界70%的边缘海盆地都在西太平洋, 是世界上地

中文引用格式: 汪品先. 2017. 华夏山水的由来. 中国科学: 地球科学, 47: 383–384, doi: 10.1360/N072017-00053
英文引用格式: Wang P X. 2017. Origin of Chinese landscape (in Chinese). Scientia Sinica Terrae, 47: 383–384, doi: 10.1360/N072017-00053

© 2017《中国科学》杂志社 www.scichina.com

中国科学: 地球科学 2017 年 第 47 卷 第 4 期: 385 ~ 393
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
评 述 华夏山水的由来专题

长江的前世今生

郑洪波[1,2*], 魏晓椿[3], 王平[4], 何梦颖[4], 罗超[4], 杨青[1]

1. 云南大学资源环境与地球科学学院, 昆明 650091;
2. 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101;
3. 南京大学地球科学与工程学院, 南京 210023;
4. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023
* E-mail: zhenghb_yu@163.com

收稿日期: 2017-02-13; 接受日期: 2017-03-01; 网络版发表日期: 2017-03-23
中国科学院战略性先导科技专项项目(编号: XDB03020301)和中国地质调查局大陆架科学结探项目(编号: GZH201100202)资助

摘要 长江是中华民族的母亲河, 在中华文明历史进程和当代国计民生中占据独特的地位. 长江是世界第三、亚洲第一大河, 在区域宏观地理环境演化中具有标志性意义. 长江的年龄(或者起源与演化历史)作为地球科学界和大众关注的热点, 长期存在重大争议, 从45百万年(始新世)到数万年(更新世晚期)不等, 成为科学界一个著名的"世纪谜题". 对青藏高原东南缘新生代盆地开展年代学与沉积学研究, 揭示出在始新世时期区内存在大型的南流水系, 在渐新世期间(或渐新世末期)南流水系转向东流, 形成长江第一湾(也有写作"弯"). 长江中下游新生代盆地的沉积记录也显示, 长江上游物质在渐新世晚期(或者最晚在渐新世/中新世之交)就已经能够到达下游, 表明贯通东流的长江水系从此诞生. 长江是超大型河系, 其地质演化主要受到区域构造地貌控制. 在新生代, 青藏高原地区岩石圈加厚, 地表隆升; 亚洲东部岩石圈持续伸展减薄, 西太平洋边缘海扩张, 导致中国西高东低的宏观地形格局逐渐建立, 长江的发育与演化正是孕育在这样的宏观构造地貌背景之下.

关键词 长江, 诞生, 构造地貌, 青藏高原, 新生代

1 引言

长江是中华民族的母亲河, 孕育了璀璨的中华文明. 长江是中华名族的命脉, 在当今社会经济发展和生态环境建设中具有举足轻重的战略位置.

长江发源于"世界屋脊"——青藏高原的唐古拉山, 流经11个省、自治区、直辖市, 在上海市崇明岛以东注入东海, 全长6280km, 长度居世界第三、亚洲第一.

长江连接了地球上最大的大陆/高原和最大的海洋, 流域面积约180万平方公里, 在亚洲季风气候控制下, 产生并携带巨量的水沙, 对流域生态环境和边缘海的海洋环境产生重大影响, 在全球变化中扮演了重要角色, 是众多重大国际研究计划的靶区(MARGINS Office, 2003; 郑洪波等, 2003, 2008).

长江的诞生和地质演化备受学术界和大众关注, 它不仅是地理学的核心课题, 也是开展青藏高原构造隆升及其环境效应研究的重要的切入点, 是认识新生代亚洲地区重大构造和古气候事件相互作用的纽带.

中文引用格式: 郑洪波, 魏晓椿, 王平, 何梦颖, 罗超, 杨青. 2017. 长江的前世今生. 中国科学: 地球科学, 47: 385–393, doi: 10.1360/N072017-00003
英文引用格式: Zheng H B, Wei X C, Wang P, He M Y, Luo C, Yang Q. 2017. Geological evolution of the Yangtze River (in Chinese). Scientia Sinica Terrae, 47: 385–393, doi: 10.1360/N072017-00003

© 2017《中国科学》杂志社 www.scichina.com

中国科学: 地球科学 2017 年 第 47 卷 第 4 期: 406 ~ 411
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
评 述 华夏山水的由来专题

东海的来历

李家彪[1,2*], 丁巍伟[1,2], 吴自银[1,2], 孙湫词[1]

1. 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012;
2. 国家海洋局海底科学重点实验室, 杭州 310012
* E-mail: jbli@sio.org.cn

收稿日期: 2017-02-13; 接受日期: 2017-03-01; 网络版发表日期: 2017-03-23
国家重点研发计划深地资源勘查开采重点专项项目(编号: 2016YFC0600402)、国家海洋局全球变化与海气相互作用专项项目(编号: GASI-GEOGE-01)和国家自然科学基金项目(批准号: 41676027)资助

摘要 东海是中国东部的大型边缘海, 具有复杂的陆架盆地、特殊的沉积构成、以及西太平洋陆缘典型的沟-弧-盆构造体系, 记录了大量大陆边缘演化、盆地形成和环境气候演变的信息. 研究表明, 在晚白垩世之前, 华南大陆以东并无东海, 而是古太平洋相伴. 晚白垩世之后原始的东海开始形成, 其后漫长的地质历史时期先后经历了晚白垩世至早始新世的被动陆缘阶段, 以及中始新世以来的太平洋板块和菲律宾海板块两期俯冲和弧后扩张, 奠定了现今东海西部为水深小的宽陆架, 东部为水深较大的冲绳海槽的构造格局. 现代的东海是在末次冰期(15ka BP)之后形成的, 海平面的变迁塑造了现代东海的海底地貌.

关键词 东海, 晚中生代以来, 被动陆缘, 弧后扩张, 沧海桑田

1 引言

从有文字记载开始, 东海便进入了我国先民们的视线, 如果要找寻一块中华海洋文明的发祥地, 东海当之无愧. 远古时期所谓的东海, 即陆地东边之海, 范围北起山东半岛, 南至闽浙沿海. 《庄子·外物》中记载的任公子"蹲乎会稽, 投竿东海", 会稽就是今天的浙江绍兴会稽山; 晋代葛洪的《神仙传》中曾借麻姑之口道出"已见东海三为桑田, 复到蓬莱", 蓬莱即今天的山东半岛, 可见当时的东海范围之广, 范围涵盖了现今的黄海. 其后无论是《史记》还是《汉书》, 东海都屡屡见诸于史学家笔端, 源远流长. 自南宋后黄河改道夺淮入海, 最终稳定由江苏入海的300年间, 大量泥沙汇入东海, 使这片原本湛蓝的海域渐渐变成了"黄水洋", "黄海"之名才逐渐与东海区别开来, 至20世纪初, 我国的地图上已分别使用黄海和东海的名称. 现今的东海是中国东部的大型边缘海, 分布于21°54′~33°17′N, 117°05′~131°03′E之间, 自东北向西南长约1300km, 自西向东宽约740km, 面积约770000km^2. 平均水深370m, 最大水深2322m. 东海北部以长江口北岸的启东嘴至韩国济州岛西南角的连线与黄海相连; 东北以济州岛东南端至日本福江岛及长崎半岛野母崎角的连线为界, 并经朝鲜海峡、对马海峡与日本海相通; 东及东南以日本九州岛、琉球群岛及我国台湾岛的连线与

中文引用格式: 李家彪, 丁巍伟, 吴自银, 孙湫词. 2017. 东海的来历. 中国科学: 地球科学, 47: 406–411, doi: 10.1360/N072017-00006
英文引用格式: Li J B, Ding W W, Wu Z Y, Sun Q C. 2017. Origin of the East China Sea (in Chinese). Scientia Sinica Terrae, 47: 406–411, doi: 10.1360/N072017-00006

© 2017《中国科学》杂志社 www.scichina.com



中华大地的锦绣河山, 从潮湿的热带到凛冽的朔方, 从温婉的水乡至苍茫的大漠, 从辽阔的平原到连亘的山脉, 大自然经历了多少精雕细琢, 方可留下如此叹为观止的壮美风光。神州山川的大好景色之下, 蕴含着众多地球科学的奥秘。

地球系统科学大会连续三届举办以华夏山水为主题的科普教育活动, 旨在立足科学, 面向文化。继第四届大会之后, 组委会将六篇相关文章刊登于《中国科学》, "南海深部过程与演变" 重大计划也在结题时对南海的演变以科普的形式刊登在《文汇报》。编辑部现刊登部分文章节选, 同时欢迎各位查阅原文, 共同探索华夏山水的由来。



中国科学: 地球科学 2017 年 第 47 卷 第 4 期: 394 ~ 405
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
评 述 华夏山水的由来专题

台湾岛的年龄

黄奇瑜[1,2,3*]

1. 同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092;
2. 中国科学院广州地球化学研究所边缘海重点实验室, 广州 510640;
3. 成功大学地球科学系, 台南 701
* E-mail: huangcy@mail.ncku.edu.tw

收稿日期: 2017-02-13; 接受日期: 2017-03-13; 网络版发表日期: 2017-03-30
国家自然科学基金项目(批准号: U1505231, 41472093, 91528301, 91128211)和广州海洋地质调查局项目(编号: 20161972)资助

摘要 台湾岛为华夏陆块东缘自中生代晚期以来的年轻活动造山带, 在东海-南海陆架地质背景上, 台湾岛具有多重特殊性: 除缺失始新世晚期层序外, 始新世-更新世间有连续陆相至浅海相层序出露; 记录"中国海"的发展及东海-南海陆架沧海桑田变迁; 快速的隆升速率及重要的海洋沉积物贡献源; 活跃的地震活动; 既有被动又有活动大陆边缘层序; 从台湾-吕宋间海域到岛上同时进行俯冲-碰撞-仰冲-张裂构造活动, 因此有完整的威尔逊构造旋回地质纪录. "台湾岛什么时候出露?"及"台湾岛怎么形成?"是大家关心台湾岛地质的基本问题. 如果把东海陆架一半水深(60m)的海水拿掉, 150km宽的台湾海峡就是台湾岛跟大陆相连的脐带; 如果把台湾岛恢复到未造山前的原始形貌, 台湾岛就是东海连结到南海间的脐带. 但是为什么在东海及南海的陆架上只有台湾岛有比较大范围的出露? 显然是有一个特定的地质作用在这个特殊的脐带位置发生, 那就是早中新世19~18Ma开始的南海俯冲及随后6.5Ma开始的北吕宋火山岛弧与俯冲的欧亚大陆发生了斜向碰撞. 台湾岛在晚中新世(~6.5Ma)时开始出露, 最早出露部位就在中央山脉. 中央山脉为中生代白垩纪的活动大陆边缘, 随后拼合为欧亚大陆一部分, 经新生代古近纪断陷构造(50~39Ma)、渐新世-中期中新世南海张裂(33~16Ma)、早中新世(19~18Ma)至今欧亚大陆-南海岩石圈沿马尼拉海沟向东俯冲于西进的花东海盆-菲律宾海板块之下, 形成中新世增生楔, 及6.5Ma至今由北向南迁移的斜向弧陆碰撞, 导致中央山脉隆升出露海平面之上, 形成原始台湾岛. 由此原始台湾岛, 台湾河流系统开始发生, 并将侵蚀物经河流向西供输到原始台湾海峡前陆盆地, 同时也向东供应到北吕宋海槽弧前盆地. 随着弧陆碰撞的持续进行, 南海东北部陆架上层序被推覆并出露在中央山脉西侧, 台湾岛出露的面积也随之变大; 1Ma的吕宋火山岛弧北段更向西俯冲, 形成海岸山脉, 拼贴在中央山脉东侧; 最后又因<1Ma冲绳海槽弧后张裂, 中央山脉东北部又发生断陷, 产生宜兰平原, 形成今日台湾岛的形貌.

关键词 台湾岛, 中央山脉增生楔, 南海俯冲, 弧陆碰撞, 台湾海峡

1 前言: 台湾岛的特殊性

关于台湾岛的由来, 一般大众总有兴趣要问一连串问题: 台湾岛是不是由大陆分离出去的? 是否与大陆相连? 什么时候出露的? 台湾岛首先出露位置在哪

中文引用格式: 黄奇瑜. 2017. 台湾岛的年龄. 中国科学: 地球科学, 47: 394–405, doi: 10.1360/N072017-00023
英文引用格式: Huang C Y. 2017. Geological ages of Taiwan stratigraphy and tectonic events (in Chinese). Scientia Sinica Terrae, 47: 394–405, doi: 10.1360/N072017-00023

© 2017《中国科学》杂志社 www.scichina.com

中国科学: 地球科学 2017 年 第 47 卷 第 4 期: 421 ~ 437
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
评 述 华夏山水的由来专题

黄土高原见证季风和荒漠的由来

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, 北京 100049
* E-mail: ztguo@mail.iggcas.ac.cn

收稿日期: 2017-02-13; 接受日期: 2017-03-06; 网络版发表日期: 2017-03-30
国家自然科学基金项目(批准号: 41430531, 41690114)资助

摘要 在世界地图上, 华夏大地上的季风和荒漠可谓与众不同: 第一, 南北两半球的亚热带均以干旱环境为主(包括北非的撒哈拉沙漠、南非的纳米布沙漠、澳大利亚沙漠等), 而同纬度的我国江南地区则为降水充沛的湿润季风区; 第二, 我国西北大漠与中亚干旱区连为一体, 分布的纬度比其他干旱区要高得多; 第三, 虽然地球赤道两侧均为季风区, 但其他季风主要影响南北回归线之间的低纬地区, 只有东亚季风长驱直入, 不仅影响低纬地区, 而且可影响到40°N以北. 我国几代科学家的研究发现, 就在不久前的地质历史时期, 华夏的季风和荒漠并非如此: 当时江南处于干旱气候的控制之下, 季风只影响我国最南部地区, 在环境格局上完全与世界"接轨". 今天特殊的东亚气候, 源于后来一系列复杂的经历; 而黄土高原正是其中渊源的一位可靠见证者. 华夏季风与荒漠不仅与华夏山水的其他成员(如青藏高原、长江、黄河、黄土高原、秦岭等)有着明确的"亲缘"关系, 而且依然相互作用, 影响着我们今天的生存环境.

关键词 季风, 荒漠, 黄土, 青藏高原, 地球系统

1 引言

在金庸的小说《书剑恩仇录》里, 有一首脍炙人口的诗: "携书弹剑走黄沙, 瀚海天山处处家; 大漠西风飞翠羽, 江南八月看桂花." 诗的后两句可用来描述今天华夏西北大地干旱少雨、飞沙走石, 而江南地区湿润多雨、桂花遍地的自然环境.

但我国学者的研究发现, 就在不久前的地质历史时期(古近纪, 6600~2300万年前)(Cohen等, 2015), 江南却是黄沙起, 大江涛涛向西流. 那么, 华夏大地上如此翻天覆地的气候环境变化是什么时候发生的? 为什么? 正是我国几代科学家自1970年代就开始努力破解的科学谜团; 而"携书弹剑走黄沙, 瀚海天山处处家"恰是他们科学生涯的真实写照.

谈到华夏山水, 当然不只是西北大漠和江南水乡, 还有"世界屋脊"青藏高原、沟壑纵横的黄土高原、滚滚东流的长江和黄河、二者的分水岭——秦岭山脉、一望无际的东部平原、西太平洋边缘海和祖国的宝岛台湾等(图1). 实际上, 华夏山水的这些"成员"都有严格的"亲缘"关系; 而黄土高原正是这种关系和渊源

中文引用格式: 郭正堂. 2017. 黄土高原见证季风和荒漠的由来. 中国科学: 地球科学, 47: 421–437, doi: 10.1360/N072017-00037
英文引用格式: Guo Z T. 2017. Loess Plateau attests to the onsets of monsoon and deserts (in Chinese). Scientia Sinica Terrae, 47: 421–437, doi: 10.1360/N072017-00037

© 2017《中国科学》杂志社 www.scichina.com

中国科学: 地球科学 2017 年 第 47 卷 第 4 期: 412 ~ 420
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
评 述 华夏山水的由来专题

秦岭的由来

孟庆任[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. 中国科学院大学地球科学学院, 北京 100049
* E-mail: qrmeng@mail.iggcas.ac.cn

收稿日期: 2017-02-13; 接受日期: 2017-03-01; 网络版发表日期: 2017-03-15
国家自然科学基金项目(批准号: 40830314, 91114204)资助

摘要 秦岭山脉是在新生代发生强烈隆升而形成的, 但它在古生代-中生代却经历了一个漫长的造山带演化过程. 秦岭造山带的发展涉及到大洋板块俯冲、弧后盆地扩张、不同陆块/地体分离与拼合以及造山期后强烈陆内变形. 晚中生代秦岭造山带大规模走滑变形、地体侧向挤出以及陆壳俯冲等地质过程最终奠定了秦岭造山带现今的平面几何形态和内部地质结构. 秦岭造山带演化所形成的挤压构造地貌在晚白垩世-古新世阶段被完全夷平. 秦岭山脉新生代的隆升与地壳伸展作用相关, 而非挤压构造的结果. 秦岭山脉隆升与北侧渭河盆地沉降同时发生, 两者构成了一个完整的伸展构造环境下的山-盆体系. 秦岭山脉的隆升速率在晚始新世-渐新世中期相对缓慢, 在渐新世晚期-中新世早期基本停止. 中新世中期秦岭山脉开始重新隆升, 并且在晚中新世-第四纪隆升速率明显增大. 秦岭山脉的隆升主要受其北侧断层的控制. 当秦岭北缘断裂为正断层时, 它不仅导致上盘渭河盆地强烈断陷, 而且造成下盘的秦岭山脉发生翘倾抬升. 当秦岭北缘断裂为压扭性走滑断层时, 它所引发的挤压作用则使渭河盆地发生抬升和剥蚀, 秦岭山脉也停止了翘倾抬升. 秦岭北缘断裂在10百万年左右演化为一个倒向连续的大型正断层, 从而导致秦岭山脉自晚中新世以来发生强烈快速隆升.

关键词 秦岭山脉, 秦岭造山带, 渭河盆地, 新生代

1 引言

横亘于中国中部高耸险峻的秦岭山脉是中国南、北方地理、气候和动植物的天然分界线. 秦岭山脉西起甘肃的迭山, 穿越陕西中部, 东至河南的伏牛山, 东西长约800km. 秦岭北侧为渭河盆地, 南以汉江为界(图1). 秦岭山脉主要山峰海拔在2000~2500m, 主峰太白山海拔达3771m. 秦岭山脉在先秦时代被称为"南山"或"终南山". 中国最早记录秦岭或"南山"的文字出现在《山海经》和《禹贡》. 《山海经》中的《南山经》清楚地描述了"南山"的地理概况. 编于春秋时代我国第一部诗歌总集《诗经》中也有描写与秦岭相关的诗歌, 如《小雅·南山有台》等. 先秦时期为什么将秦岭称为"南山"的原因并不清楚. 一种可能性是秦岭这座巨大山脉位于渭河流域之南, 所以当时生活在那里的人们便把那座山称为"南山". 与"南山"相对应,

中文引用格式: 孟庆任. 2017. 秦岭的由来. 中国科学: 地球科学, 47: 412–420, doi: 10.1360/N072016-00422
英文引用格式: Meng Q R. 2017. Origin of the Qinling Mountains (in Chinese). Scientia Sinica Terrae, 47: 412–420, doi: 10.1360/N072016-00422

© 2017《中国科学》杂志社 www.scichina.com

南海演义

汪品先

碧波万顷的南海深海盆是地球故事的记录者。解开它形成与发展的奥秘，不仅对了解我国的蓝色国土意义重大，而且作为世界上最大的边缘海，南海的故事也为同类海盆研究开了先河。

2011年，我国启动“南海深海过程演变”重大研究计划（简称“南海深部计划”），前后共700多位科学家经过三个半航次的大洋钻探、四个深潜航次的艰苦努力，通过对南海进行的系统观测和分析，得出了新的认识，对国际传统主流观点提出了挑战。

2019年，“南海深部计划”交出了一份答卷。作为该计划指导专家组组长，中国科学院院士、同济大学教授汪品先在成果报告会上采用章回体小说的形式，向公众讲述了南海的前世今生。本刊特此摘编了这篇荡气回肠的成果报告，以飨读者。

——编者



第一回 大洋板块俯冲生变 东亚边缘海盆丛生

话说天下大陆分久必合，合久必分。大陆分裂，出现海盆；大陆碰撞，海盆关闭。此话说来简单，其实箇中道理，看官不见得明白。

人类自封“万物之灵”，可惜最多活个百把来岁，何曾见过移山倒海，怎能感受到岩石圈漂移，岂知道今天的五大洲、三大洋，都不过是大陆分解的结果。

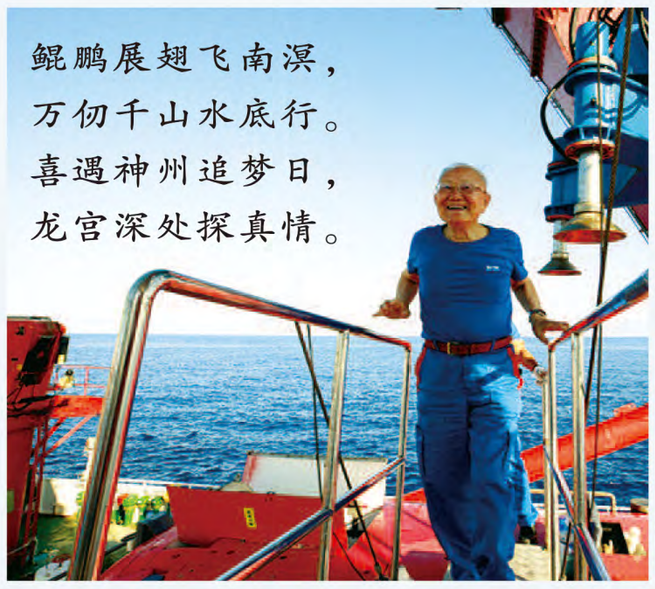
远的不说，单讲距今二三亿年前，那时候世界大陆连成一片，一个“超级大陆”对一个“超级大洋”，倒也相安无事。不料一亿二千万年前变数突现，超级大陆中央破裂，遂而生出大洋地壳，东边为欧洲与非洲，西边是南北美洲。那中间新出现的大洋，则逐渐向两边扩张，以致东西相距二三千千米，人称大西洋。

花开两朵，各表一枝。先说那原先的超级大洋，虽然唤作太平洋，其实洋底之下又何尝太平，其周遭火山密布，基底板块几经更替。在距今一亿六千万年前，正当陆上恐龙猖獗、海里鱼龙翻滚之际，太平洋中央出现了新生板块，直向四周扩张，西行到亚洲大陆便向地壳深处俯冲下去，隐没在东亚大陆之下。

斗转星移，日月流光。这大洋板块俯冲亿万年之后，倾角变陡、板片脱落，引发出大量岩浆升起，从而造就了大片花岗岩区，分布在我国华南方圆20多万平方千米之内。如今看官所见的那些岭南山水、闽浙山景，便是那时的遗迹。

再说那太平洋板块斜向俯冲在亚洲之下，久而久之又引得地球深处生变——亚洲东边的岩石圈陆续破裂。从距今五千万年光景开始，那里先后形成一连串海盆，大的如日本海、南海、鄂霍茨克海，小的如苏禄海、苏拉威西海。此类海盆皆有玄武岩为底，外侧则有岛弧为界，论深度可与大西洋相比，只是面积和寿命都要小上一个量级。这类边缘海中最大的一个，便是南海。欲知南海如何产生，且看下文分解。

南海八年探索确实硕果累累。如今新一轮的探索已经开始筹备，更多的发现值得期待。有诗为证：



汪品先院士从“深海勇士”号载人舱走向母船。新华社发

向原有“共识”提出挑战

汪品先

对南海身世的研究，从立项算起总共八年，加上2019年的补充、集成，从60个研究项目汇聚为板缘张裂、低纬驱动等突破性成果，终于进入了丰收季节。若问这八年科研长跑的核心收获何在，那就是两点：一是向原有的“共识”提出挑战，二是把分散的知识交织成篇。

现代自然科学起源于欧洲，地球科学先天带有某种程度的欧洲烙印。就拿深海研究的透彻程度来说，当数北大西洋最高，因此一系列学术标准和模式也从那里引出。故而，近二三十年来，国际学术界主流观点认为南海的形成属于北大西洋“非火山型”的翻版，只是规模小、年代短而已。

不过，按照这种模式，南海的大洋和大陆地壳连接带，应该是长期削蚀的地幔岩。但这几年，南海钻探的结果却出乎意料：钻井取上来的是玄武岩，这就否定了原先主流观点假想的模式。

后续研究发现，大西洋和南海的岩石圈有着本质区别：虽然两者都是岩石圈破裂形成的深海盆，却属于板块不同部位在不同演化阶段的产物。进一步研究发现，南海打开的动力来源在东边，而不是以前认为的西边或者南边。此外，在气候演变方面，历来认为北大西洋决定着全球气候变化，南海的记录却并不符合这种流行观点，中国科学家由此提出了“低纬驱动”的新假说。

如今，南海已成为世界深海研究程度最高的大型边缘海。尽管南海的新发现目前还不够成熟，但其重要意义在于向国际流行观点提出了挑战。当前，中国的自然科学正处于转型的关键期，需要从“原料输出”转向“材料深加工”，并且进一步争取形成中国自己的学派。

南海深部八年研究，横跨学科、穿越时空，把南海当作一只麻雀来解剖——海盆构造是麻雀的骨架，沉积地层和海水是麻雀的肉和血——在构造与岩浆活动、古海洋学与沉积，以及生物地球化学三方面的研究基础上，将三者结合起来探索南海的演变。研究结果表明，南海宛如一个骨肉相连的血肉之躯，它的发育过程就是一部边缘海的演变历史。

这部活生生的南海史不该埋没在学术界的小圈子里。为此，我们不揣浅陋，试着借用传统形式，将南海的前生今世向大众做个交代，姑且称为“南海演义”。

第二回 断层复活南海张开 裂谷拓展西向推进

却说南海虽然有300多万方千米面积，但只有在中央超过3500米的深水区，以玄武岩为底的那40多万平方千米洋底，才是大洋地壳。

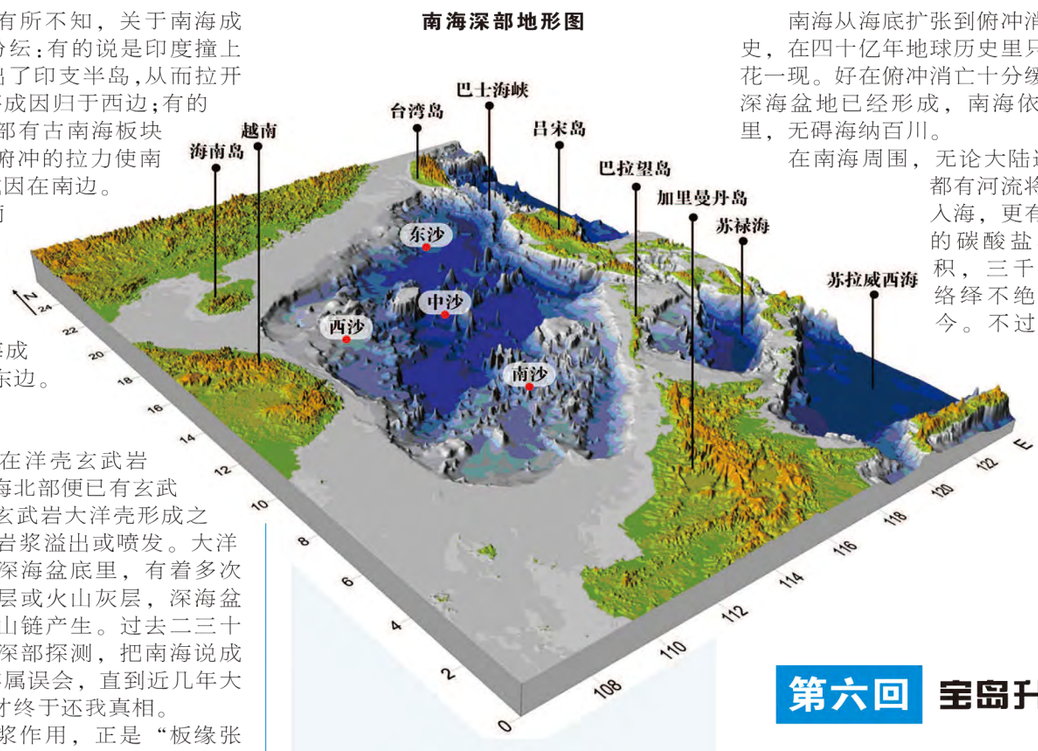
这地壳分为两类：大陆壳是花岗岩类基底，比重2.7；而大洋壳是玄武岩类基底，比重2.9。正因为玄武岩比重大，向下沉，才形成了深海盆。所谓南海的形成，说的便是中央的玄武岩洋壳如何产生；至于南海的演变历史，其根子也在深海盆。

要探究这深海底部玄武岩洋壳的由来，必须取样分析，而取样的最佳途径莫过于大洋钻探。

从钻探结果探知，南海中央海盆被一断层切成东西两部分，东部海盆形成于距今3200万到1600万年之间，西盆形成于距今2400万到1500万年之间——东部形成比西部早，海盆形状也是东宽西窄，尤其是西南端的尖角，指明了海盆由东向西分段推进的形成过程。

钻探还发现，南海早在玄武岩洋壳之前，已经有过深海环境，也有过岩浆活动。可见南海地区早先地质运动已经十分活跃，南海东边沿着台湾岛–吕宋岛弧，也早就有断层活动。种种迹象指向一点：南海深海盆是从东边打开，趁着原有断层的复活，从东向西逐段推进。

列位看官有所不知，关于南海成因，早已众说纷纭：有的说是印度撞上亚洲大陆，挤出了印支半岛，从而拉开了南海盆地，将成因归于西边；有的说是婆罗洲北部有古南海板块俯冲带，向南俯冲的拉力使南海破裂，因而成因在南边。但现在看来，南海大洋地壳张裂由东向西，东边原有的断层才是破裂的主要途径，南海成因的关键在其东边。



多次反复。早在洋壳玄武岩形成之前，南海北部便已有玄武岩出现；而在玄武岩大洋壳形成之后，还有多次岩浆溢出或喷发。大洋钻探发现，在深海盆底里，有着多次堆起的玄武岩层或火山灰层，深海盆里又有大批海山链产生。过去二三十年，因为缺乏深部探测，把南海说成“非火山型”实属误会，直到近几年大洋钻探结果，才终于还我真相。

活跃的岩浆作用，正是“板缘张裂”的特色。产生在超级大洋和超级大陆边缘的南海，底下的地幔是几亿年板块俯冲的“板片坟场”，岩浆活动曾经如此活跃，虽属意料之外，却又在情理之中。

第三回 大陆破裂岩浆活跃 深海盆内海山成链

如此说来，南海的形成，已是三千万年到一千多万年前的旷古旧事。等到人类出现来到南海，只见浩瀚海水，平波万顷。

可叹的是，人类的凡胎肉眼，至今依然看不到深海底下的危峰峻峭。除非能将南海海水抽干，方可见其海底地形之惊心动魄：原来深海盆里，竟然有着峭壁林立的海山世界。

千百万年来，这些岩浆上涌形成的海山高耸海底，矮者千米，高者逾三千米，而且往往排列成行，是为“海山链”。其中，黄岩礁向西分布的珍贝–黄岩海山链最为突出。它们大都形成在玄武岩洋壳产生之后，距今已有七八百万年。

这些都是地球深处大量岩浆上涌的结果，据南海北部45座海山的统计，其岩浆总量居然逼近50座泰山。相比之下，当今南海的火山活动并不活跃，地层里火山踪迹亦不多见。那么，究竟南海岩浆活动是在何时活跃，又在何时休止的？且请听在下细细道来。

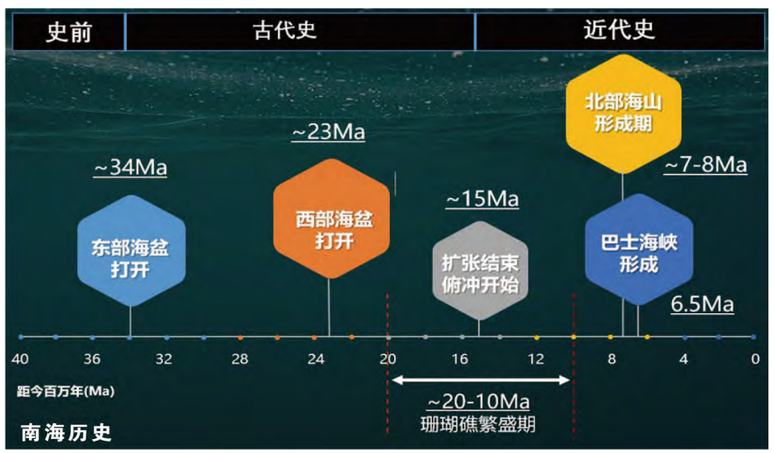
南海岩浆活动的历史，确实有过话说那南海三千多万年前开始海底扩张，形成洋壳之后，便进入了风华正茂的大好青春。孰料好景不长，距今1500万年前，随着印度–澳大利亚板块的北上和菲律宾海板块的旋转，南海遭到相邻板块的挤压，不仅海底扩张被迫结束，而且南海板块本身也向东俯冲，开始沿马尼拉海沟向菲律宾岛弧下的地幔深处隐没，进入板块消亡期。

掐指算来，从产生到消亡，南海洋壳只不过1600万年历史，这便是“板缘张裂”的短处。相比之下，大西洋板块从开始形成以来，1.2亿年一直在扩张增大，至今毫无休止之意，显示出“板内张裂”的优越。须知大西洋在张裂之前，经过了上亿年的长期筹备，不像南海张裂那样的草率。

有道是，海洋如人生，有的鹤算松龄，叶茂根深；有的来去匆匆，转瞬而逝。南海扩张方才春风得意，却匆匆步入暮年：自从1500万年前南海板块开始俯冲以来，相当一部分已潜没入地幔。根据地球物理方法的推断，南海洋壳已经有将近一半的面积俯冲消失。遥想南海鼎盛期时，面积较现在几乎要大出一倍。

第四回 海底扩张英年“早逝”板片俯冲海盆消亡

南海史上轰轰烈烈的岩浆活动，暂且按下不表。单说今天南海最大的水深，是其东北角马尼拉海沟的5140米。看官或许会问，为何这边海水独深？请看世界大洋：因是太平洋板块俯冲的入口，马里亚纳海沟成为地球上海水最深之所在，约有11000米。同理可知，马尼拉海沟则是南海海底向东俯冲的入口，自然也就成了南海最深处。



第五回 河系更替沉积犹在 珊瑚盛世地层作证

南海从海底扩张到俯冲消亡的发育史，在四十亿年地球历史里只能说是昙花一现。好在俯冲消亡十分缓慢，好在深海盆地已经形成，南海依然碧波千里，无碍海纳百川。

在南海周围，无论大陆还是岛屿，都有河流将泥沙输运入海，更有生物产生的碳酸盐在海盆堆积，三千多万年来络绎不绝，绵延至今。不过，这两者却生性相克：河流泥沙多了，对珊瑚礁生长不利。所幸在南海北部，两三千万年前虽有“昆–莺–琼河”从印支半岛东流入海，但好在沉积不多，为珊瑚礁生长开创了条件。

故而，等到两千多万年前，水温上升、泥沙减少的时候，珊瑚发育也就进入了黄金期。放眼我国如今的南海珊瑚礁群，从西沙群岛到南沙群岛，主要都是两千多万年以来珊瑚、苔藓虫、钙藻等底栖生物构筑的礁体。随着地壳向下沉降，礁体向上生张，积千万年的底栖生物骨骼而形成碳酸盐台地，造就了今天南海深海盆中珍珠般的珊瑚礁体。

地层资料表明，距今两千万年前，南海珊瑚礁的分布比现在广泛得多。到距今一千万年前，礁群逐渐没落。五六百万年前，珠江水系流量大增，输入南海的泥沙量也随之增加，许多礁体被泥沙沉积掩埋。时至今日，南海北部的珊瑚礁群虽然仍相当可观，但与昔日相比，已是风光不再了。

第六回 宝岛升起海峡成型 瀑布几海水流强劲

如果把南海的洋壳形成算作古代史，俯冲开始算近代史，那么台湾岛的隆升就是近代史里最重要的事件。

南海向东俯冲的板块汇聚，引起造山运动。在距今650万年前，台湾岛开始隆升。同时，台湾岛和吕宋岛之间的巴士海峡，也成为南海与太平洋之间唯一的深水通道。巴士海峡2600米深的海底犹如一道门槛，成为太平洋深水进入南海必须跨越的关口。正因为巴士海峡“一夫当关”，使得南海成为半封闭海盆，从而改变了南海深水的性质。

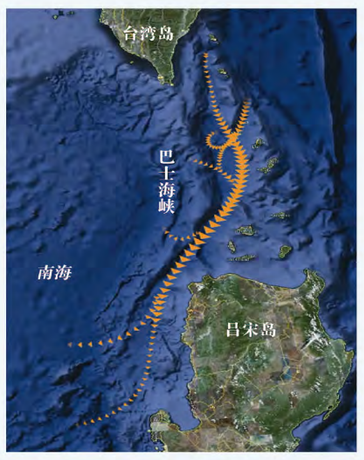
我们习惯了陆地上的大江东流，但是海流却常常呈绕着圈子走的涡流状。为了观测南海深部水流，科学家先后将数百串传感器投入南海深处，终于揭示出了南海深层水的流向：南海的深层水来自太平洋，翻越过巴士海峡两千多米深的“海槛”进入南海，以相当于20多条长江的巨大水量，形成“深海瀑布”，朝西南方向流去，并到达西边形成边界流。

深海底里的水归根到底来自海面，若说太平洋底层的海水，是从海面下沉逾千年的“古水”，那南海底下却是经上下混合、下沉不过几十年的“新水”和“活水”。南海海水先有巴士海峡的翻越，后有海山丛里的碰撞，这使得南海深部的水流强烈搅动，更替迅速。

看官见惯了海面的巨涛骇浪，殊不知海洋内部也有波浪。海水的密度差可在海水内部掀起波浪，叫做内波。海水流经巴士海峡激起的内波举世闻名，可以有五十层楼高，能在海底堆起十多米高的沙丘。

南海深处如此强烈的水流，都是台湾岛升起、巴士海峡“海槛”形成之后的现象。如今的南海深层水仍十分活跃，还会把台湾岛的河流输出的泥沙、太平洋海水中的溶解碳，一道向西送入南海内部，从而改变南海深部的生命世界。

巴士海峡的深海瀑布



却说那南海海面阳光灿烂，蔚蓝色海面上白浪翻滚，鱼跃鸟翔，可到了千丈深渊处，却是一团漆黑。南海海底自形成以来，经历了三千多万年的黑暗，这里很容易被误会为一个死寂世界。直到近年，人类采用高新技术探索深海，方才发现海底不仅有海山、深沟，还有流体喷出造成的麻坑、泥火山。

近年来，华夏振兴，“蛟龙号”“深海勇士号”深潜器先后问世。人类亲身下潜到深水海底，随着科学探索灯光的照射，深海奥秘逐一揭开。

第七回 海山喜见铁锰结核 深海惊现珊瑚成林

首先是铁锰结核。科学家先在海山上发现了这种太平洋著名深海矿产的踪迹，后又在三千多米的蛟龙海山、一千多米的玳瑁海山上发现了它，其分布密度甚至超过太平洋矿区。

还有可燃冰。它不但是南海重要的深海资源，其矿藏的甲烷析出处，还有冷泉生物群的奇观：堆积如山的贻贝、密密麻麻的管状蠕虫，都是独见于深海的景色。

然而，要比深海景色，当然首推冷水珊瑚林。如同陆地上的园林一般，那些高大的竹珊瑚像乔木，低矮的扇珊瑚像灌木，而贴在海底的海绵之类相当于草本植物，还有栖息在珊瑚上的鱿鱼、鱼虾等海洋动物，犹如鸟兽归林一般，将这里当作了栖居地。