

P-1

穿凿地球系统的时间隧道

汪品先*

同济大学, 上海 200092

*pxwang@tongji.edu.cn

地球科学中大量的基础理论, 实际上是物理学、化学、生物学等学科在地球科学中应用的结果。作为一个多尺度系统, 地球科学本身所面临的挑战在于时空域里跨尺度的整合。许多年来, 地球系统科学的重要进展在于拓宽了视野, 在空间域里向更深、更宏观和更微观的领域推进, 加深了对圈层间相互作用的理解。但由于固体与流体地球科学发展的起点在时间尺度上并不相同, 也由于在时间上穿越能力的限制, 地球系统科学的发展, 在时间域里遇到的障碍比空间域里还要大。然而要想探索地球系统的运行机制, 只有穿越不同的时间尺度才能成功。

随着地球系统运行机制探索的深入, 时间尺度上的问题将会变得更加突出。我们研究的地球系统里, 既有宇宙大爆炸留下 136 亿年前的残余微波, 又有每 10 分钟繁殖一次的海洋细菌, 是一个跨度极大的复杂系统。沟通不同尺度的“时间隧道”, 恐怕需要几代人的努力才能“穿凿”打通。由于地球系统过于复杂, 不大可能用牛顿定律或者门德列也夫周期表这样简明的基础理论加以概括, 但是必然会找到地球系统运行、演变的自身规律。随着全球性数据和高分辨率技术的出现, 揭穿这种规律的时机正在成熟。可以推断, 地球系统运行机制的研究中, 下一步的突破口将会是时间尺度上的穿越。

P-2

发展板块构造理论: 从洋壳俯冲到陆壳碰撞

郑永飞*

过去二十年中, 地球科学领域最重要的研究进展之一就是在世界上 22 条大陆俯冲 / 碰撞带的变质表壳岩石中发现并确认柯石英和金刚石。柯石英和金刚石的发现, 证明它们所赋存的岩石曾经俯冲到至少 80 km 的大陆岩石圈地幔深度而发生了超高压变质作用。传统的板块构造理论认为, 大陆地壳由于密度较低, 因此不可能俯冲到地幔深度。大陆俯冲带中超高压变质岩石的发现, 给板块构造理论带来了革命性的变化。在板块构造假说提出不久, 就出现了著名的威尔逊旋回模型, 以下列四个阶段来描述大洋盆地的产生和消亡: (1) 一个大陆地壳的裂陷; (2) 大陆漂移和海底扩张, 形成大洋盆地; (3) 大洋岩石圈俯冲, 大洋盆地逐渐关闭; (4) 大陆碰撞, 大洋盆地最终关闭。

根据板块构造理论, 大陆地壳的形成和演化可以概括为下列六个阶段: (1) 洋壳俯冲和岛弧岩浆作用, 引起新生地壳生长; (2) 弧—弧碰撞, 形成大陆核; (3) 弧—陆碰撞导致大陆增生, 伴有地壳再造; (4) 陆—(弧)—陆碰撞和大陆俯冲, 形成超级大陆; (5) 造山带大陆岩石圈裂陷, 引起超级大陆裂解; (6) 大陆漂移和海底扩张, 导致新一轮俯冲。在板块汇聚速率或运动方向上的变化有可能导致大洋与大陆俯冲带之间在地壳再造(变质作用和岩浆活动)性质和程度上的各种差别。一方面, 大洋板块俯冲到大洋板块之下产生大洋弧, 引起通常定义的新生地壳生长。另一方面, 大洋板块俯冲到大陆板块之下产生大陆弧, 对应于大陆岩石圈的再造。此外, 新生岛弧地壳在增生到大陆边缘之前还不是大陆地壳的一部分。在应用地球化学指标恢复地壳属性时, 必须综合考虑主要元素、微量元素和放射成因同位素组成特点, 否则会犯低级错误。例如, 地幔超镁铁岩部分熔融不可能产生花岗质岩浆, 镁铁质岩石可以由古老或新生岩石圈地幔部分熔融形成, 大陆

地壳的弧型微量元素分布特点可以从源区继承而来等等。

板块构造理论已经得到半个世纪的发展,其中第一阶段为大陆深俯冲和超高压变质岩的确定。事实上,俯冲带变质作用存在很大差异,包括地质产状、矿物组合和峰期变质条件等。根据俯冲地壳的性质,可以将俯冲带分成太平洋型和阿尔卑斯型两种类型。太平洋型洋壳俯冲带以出现与蛇绿岩相关的低温/高压蓝片岩相和榴辉岩变质岩为主要特征,而阿尔卑斯型陆壳俯冲以出现中温/超高压榴辉岩相变质岩为主要特征。板块在相对较低的地温梯度下俯冲,将镁铁质和长英质岩石携带到30~120 km甚至更大的地幔深度,分别产生了太平洋型高压变质带和阿尔卑斯型超高压变质带。典型的太平洋型俯冲与数千公里的大洋岩石圈侧向流动有关,在玄武质地壳覆盖的大洋板块之上出现以岛弧火山岩为特征的同俯冲岩浆作用,形成新生镁铁质地壳。相反,阿尔卑斯型俯冲可能与弧后盆地闭合、弧-陆和陆-弧-陆碰撞有关,最终引起大陆地壳俯冲,但是在花岗质地壳覆盖的大陆板块之上盖层之上既没有同俯冲岩浆岩也缺乏新生地壳。因此,阿尔卑斯型碰撞再造先存的地体,即引起先存地壳再造而不是新生地壳生长。

虽然这两种类型的板块汇聚作用可以通过大地构造学观察予以区分,但是二者之间还有很多过渡类型。同样根据俯冲地壳性质,可将大陆碰撞带进一步分成两种类型(1)喜马拉雅山-青藏型,由阿尔卑斯型弧-陆碰撞带发展而来,伴有同碰撞变质作用和岩浆活动。这类碰撞带最终演化为陆-弧-陆碰撞造山带,发育或不发育高压/超高压变质作用,导致了宽阔的陆间造山带和新生地壳的再造;(2)大别-苏鲁型,由花岗质地壳覆盖的大陆板块俯冲到另外一大陆板块之下形成,陆-陆碰撞引起了超高压变质作用,在碰撞陆块之间没有新生岛弧出现。这导致了一个狭窄的陆间造山带和相对古老地壳的再造。由于大陆岩石圈地幔深度条件下长英质陆壳的浮力作用,一般假设深俯冲陆壳在

大陆一大洋岩石圈过渡带发生板片断离之后而折返上来,往往伴有同折返脱水熔融。

许多弧-陆和陆-陆碰撞造山带含有高压乃至超高压变质岩,在形成之后经历了构造拉张/跨塌乃至部分熔融,形成碰撞后变形、变质和岩浆作用,出现古老或新生地壳的再造。因此,理解大陆碰撞造山带的垮塌/熔融和陆内再造,是板块构造理论发展的第二阶段,也是解决板块构造“登陆”问题的关键所在。在研究陆内造山带岩石再造与壳幔相互作用时,必须明确定义地幔端员性质(软流圈地幔还是岩石圈地幔)和地壳端员性质(新生地壳还是古老地壳)。软流圈地幔既可以提供热源也可以提供物质;岩石圈地幔是相对难熔的,因此需要给它提供高的热能才能引起部分熔融。即使地壳端员是沉积岩,也需要区分陆源沉积物、远洋沉积物和岛弧风化沉积物等。即使对于海洋沉积碳酸盐,也要区分是大陆架、边缘海与大洋沉积环境以及单个元素在海水/洋水中的居留时间,否则在应用许多元素和同位素地球化学示踪时会得出相互矛盾乃至错误的结果。

P-3

俯冲工厂与成矿

孙卫东*, 凌明星, 丁兴, 周继彬, 刘玉龙

中国科学院广州地球化学研究所

*weidongsun@gig.ac.cn

板块俯冲是在全球尺度上导致物质运移、元素分异的最重要的过程之一,被形象地称为“俯冲工厂”(Subduction factory)。自美国自然科学基金会(NSF)的 Margins 重大研究计划提出俯冲工厂的概念以来,很多科学家开始从事相关研究(Hacker et al., 2003a; Hacker et al., 2003b; Sun, 2003)。简单说来,在板块俯冲过程中,俯冲板片的温度随俯冲深度的增大而逐渐升高,俯冲下去的洋壳物质以及蛇纹石化的岩石圈地幔等会发生一系列变质反应,出现脱水乃至部分熔融,从而导致俯冲板块发生明显的地球化学

分异。这一地球化学分异作用不仅通过流体—岩浆活动影响地幔楔和大陆地壳的化学组成，而且通过俯冲地壳物质的再循环影响着地幔的组成和演化，导致地幔的化学不均一性（Barth et al., 2000; Bennett et al., 2002; Hauri and Hart, 1997; McDonough, 1991）。此外，板块俯冲过程中的大规模物质运移和元素分异作用伴随着大规模成矿作用。研究表明，汇聚板块边缘往往与铜、金、铁、铀、银、铅、锌、钼、锡、钨、铌、钽、硫、氟等重要矿产资源有密切关系（Kesler, 1997; Mlynarczyk and Williams-Jones, 2005; Moss and Scott, 2001; Mungall, 2002; Neubauer et al., 2005; Sillitoe, 1997; Sun et al., 2004; Wagner et al., 2005）。因此，研究板块俯冲的化学过程对于解决大陆地壳的形成、地幔演化、地幔柱的成因和重要矿产资源的形成规律等重大地球科学问题具有重要的意义。

中国东部毗邻西太平洋，自中生代以来，西太平洋板块俯冲对中国东部大陆岩石圈的演化有重要影响。其中，在~125-180 Ma 之间，太平洋板块是向南西俯冲的，其俯冲形式可能与现今马来西亚—泰国—缅甸的安达曼俯冲带类似，该俯冲形成了华南侏罗纪到早白垩的大规模岩浆活动与成矿；140-150 Ma 期间，太平洋板块和依泽纳吉板块之间的中脊在长江中下游附近发生俯冲形成了大规模成矿（Ling et al., 2009; Sun et al., 2010）；~125Ma 时太平洋漂移方向发生了约 80 度的转向，由南西改为北西，对中国东部产生了重大影响，形成了胶东金矿等造山型金矿床（Sun et al., 2007）。

P-4

深海前沿科学及新技术 (International progress in deep-sea research and cutting-edge technology)

林间 (Jian Lin)

美国伍兹霍尔海洋研究所资深研究员，亨利-比奇洛
讲座教授

Senior Scientist & Henry B. Bigelow Chair for
Excellence in Oceanography

Department of Geology & Geophysics, Woods Hole
Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543
USA

*jlin@whoi.edu

More than two third of the Earth's surface is covered by oceans, which have a mean depth of about 3,682 m. Much of the most active geological processes of the Earth occur in the deep oceans, including mid-ocean ridges, subduction trenches, oceanic transform faults, and seamounts and oceanic plateaus. The deep-sea geological processes are responsible for creating the largest earthquakes and the associated tsunamis, while the deep oceans and seabed host diverse life under extreme conditions. Our overall knowledge of the deep oceans and seabed is still extremely poor, and thus the deep sea remains the last frontier of human exploration of our dynamic planet. This presentation highlights the recent international progress in deep-sea research and breakthroughs in deep-ocean vehicles and technology, drawing special examples from mid-ocean ridge exploration.

The 60,000-km-long mid-ocean ridge volcanic mountain range is the longest geological feature on Earth and the solar system. It plays an essential role in the renewal of the surface of our planet, recycling of oceanic lithosphere, and release of heat and chemicals from Earth's interior to oceans. Geological processes at ocean ridges determine the shape of ocean basins and the geochemical compositions of oceanic crust and lithosphere. About 75% of Earth's total heat flux occurs through oceanic crust, much of it at ocean ridges through complex hydrothermal interactions between the lithosphere and oceans. Since deep-sea hydrothermal vents were first discovered at the Galapagos Spreading Center

in 1977 by submersible *Alvin*, active hydrothermal vents have now been found along ocean ridges beneath all major oceans, although a significant length of the ridge system, especially those in high-latitude regions, is still little explored. Hydrothermal vents are areas of focused and rapid outflow of seawater through permeable oceanic crust, heated by high-temperature magma sources beneath ocean ridges. At typical depths of 2,000-4,000 m beneath the ocean surface, sunlight is not available for life through photosynthesis. However, life is thriving at hydrothermal vents and is supported instead by chemosynthesis, in which the interaction of seawater with chemical elements emitted from hydrothermal vents and with seafloor rocks plays an essential role. Thus studying deep-sea chemosynthetic processes and their complex interactions with ocean ridge hydrothermal and volcanic systems has direct implications on understanding the origin of life on Earth and other planetary bodies. Furthermore, metal-rich hydrothermal sulfide deposits offer prospect of potential industrial deep-sea mining at a time of rising demands for industrial use of metals by growing economies.

International cooperation is essential in ocean ridge research. It is recognized that most ocean ridges are located in international waters, the scientific objectives and interests of researchers transcend national boundaries, and the scope of ocean ridge science is so large that it can never be covered fully by the resources of any single nation. InterRidge is an international program to coordinate and promote international, multi-disciplinary research of the global ocean ridges, reaching more than 2,500 individual researchers and science managers in 60 countries and regions. InterRidge working groups promote and coordinate international collaboration on active research areas of global interest, currently

focusing on eight themes: 1) Long-range exploration of ridges by autonomous underwater vehicles; 2) seafloor mineralization processes; 3) hydrothermal energy and ocean carbon cycles; 4) hydrothermal vent ecology; 5) mantle imaging; 6) real-time ridge monitoring and observatories; 7) deep Earth sampling; and 8) ultra-slow spreading ridges. The presentation will highlight increasing contributions by Asian countries to deep-sea research and exploration and discuss exciting new opportunities for Asian science community to lead and contribute to the multi-disciplinary investigation and exploration of the geological, hydrothermal, and biological processes of the mid-ocean ridges through strong international collaborations.

P-5

The role of ocean margins in global carbon cycle

蔡卫君*

美国佐治亚大学

*wcai@uga.edu

I will first discuss the history of global carbon (C) cycle and then move to the role of ocean margins in global ocean C cycle with regard to glacial-interglacial time scale. In particular, I will discuss the sizes of various C reservoirs and their respective dynamic time scales in the context of interpreting glacial-interglacial atmospheric CO₂ record. Then, I will overview the changing global C budget since the industry revolution, and how global changes have manifested in coastal zones and the feedbacks of coastal oceans to the global C cycles. Finally, I will discuss two current and future global change issues related to ocean CO₂ systems: Arctic climate change and ocean acidification.

P-6

论热液的三个基本 pH 数值——挑战深海科学与技术的难题

K. Ding^{1*}, W. E. Seyfried¹, Jr., N. Pester¹, E. Seyfried²

¹ Department of Geology and Geophysics, University of Minnesota, Mpls, MN 55455, USA

² US EPA, 1200 Sixth Ave., Suite 900, Seattle, WA 98101

* mlcd@umn.edu

A new approach was developed to predict the $pH_{(P,T)}$ for fluid in subseafloor hydrothermal reaction zones at mid-ocean ridges. This approach involves three steps: (1) obtaining the pH value at the seafloor vent orifice using *in-situ* pH sensor; (2) determining the P-T conditions at the reaction zone from constraints imposed by quartz solubility and phase equilibria in NaCl-H₂O system; and, (3) applying a corresponding theoretical calculation based on the pH value and P-T conditions from step 1 and 2 to estimate $pH_{(P,T)}$ at the depth. Adiabatic cooling is assumed, as is also for conservation of acidity. Thus, using this approach at P-vent (EPR 9N) indicates a subseafloor (reaction zone) $pH_{(P,T)}$ of 6.4, in comparison with a lower value (5.1) that was measured *in-situ* at the seafloor with a YSZ-pH sensor deployed using the submersible *Alvin*. The predicted $pH_{(P,T)}$ indicates that the fluid is still relatively acidic compared to the neutrality. pH is a critical parameter, which is needed to constrain a wide range of mass-transfer processes in subseafloor reaction zones. Our study shows *in-situ* pH measured at the vent site offers a better opportunity to constrain the deep processes.

P-7

生物演化及其对人类的启示

殷鸿福*

中国地质大学(武汉)

*hfyin@cug.edu.cn

一. 生物演化的规律

(一) 由低级到高级, 由简单到复杂的进步性演化

从化学演化到生物学演化(35 亿年)

从原核生物到真核生物(20 亿年)

从无性生殖到有性生殖(7 亿年)

后生生物辐射演化(6.3—5.3 亿年)

动植物躯体结构的多样化复杂化(5.4 亿年以来)

克隆技术的可能影响

(二) 与地球演化同步的协调演化(co-evolution)

地球是有生物圈的特殊星球, 生命历史(35 亿年)占地球历史(46 亿年)的 3/4, 地球历史是生命与地球长期相互作用、协调进化的历史。地球当今适合生物圈存在的特殊状态是这种协调进化的结果(例如, 地球早期大气圈中 CO₂, 甲烷和氧气的两次明显的阶段性跳跃与生命演化有直接关系), 并且靠生物圈与其它圈层的相互作用来维持和调控。如果没有生物圈的调控。地球表层就会回复到月球或火星的状态: 缺氧的大气, 没有液态水圈, 以及裸露无生命的岩石和粉尘。

为什么讲人与自然的协调发展。

(三) 突变与渐变相交替的间断平衡式演化

间断平衡论(punctuated equilibria)强调生物的演化是短期的辐射(突变)—长期的渐变—短期的绝灭(突变)交互, 即间断(突变)—平衡(渐变)—间断—平衡。突变构成演化量的主体

即构成了全部演化量(性状变化总量)的大部分。

生物演化突变的实例: 地球历史上的大绝灭(mass extinction)。显生宙以来的五次大绝灭: 奥陶纪—志留纪之交; 晚泥盆世法

门期—法拉期之交；古生代—中生代之交或二叠纪—三叠纪之交；三叠纪—侏罗纪之交；中生代—新生代之交或白垩纪—第三纪之交。引起大绝灭的外因：生物与地球的不协调演化—环境恶化；引起大绝灭的内因——生物特化：统治性生物一时得天时地利而繁衍滋长，而同时其适应性和抗灾变能力则不断减弱，这就是特化。特化是衰亡的前兆。一旦环境有突变，它们便走向绝灭。

现代人类存在着特化现象，人类应当自觉避免自身的特化。

（四）生物在时间中起源、发展，也将在时间中衰退、消亡

包括人类在内的任何生物，都要经历发生—发展—消亡的过程。生物界的消亡历来有两种可能，一种是通过全面进化而演变为新的更高的物种，而原来的物种即不复存在（假绝灭）。另一种可能，特别是对于统治性生物十分普遍的可能，则是未能留下后代而绝灭。

生物炸弹—绝灭—首先炸谁？生物圈对环境变化有高灵敏性的反应，但同时它又是高度有序的，可以通过适应来调节自身。这就使生物界危机有一积聚、滞后和爆发（定时炸弹）的过程。通常在危机积累过程中，生物界，尤其是统治生物，由于其高度有序性而维持稳态，滞后响应，而在超过阈值后，又由于其强响应能力而导致大规模绝灭。生物演化史说明：各地史时期的统治生物，常常在危机中全部绝灭，而被其压制的弱小的新门类则取而代之，辐射演化，成为危机后的主导门类。中生代末，恐龙绝灭，而被其压制的哺乳类祖先（当时只有老鼠大小，以昆虫为食）迅速辐射，成为新生代的统治门类。

绝灭—生物炸弹—会不会炸人类？人类造成当代的绝灭，人类应当起来挽救这一次绝灭。特化是绝灭的前兆，人类应当避免特化。人类是当代的统治生物，如果做不到前两点，那么，大规模绝灭这个生物炸弹首先炸的是统治生物。

（三）争取人类演化的光明未来

物质文明是一把双刃剑，精神文明是那仗剑的人。科技是力量，人文是方向。我们有许多事情可做：普及科学知识，坚持精神文明；节约资源，保护环境；与自然协调发展，保护生物多样性；善待我们的家园——地球。让我们共同努力，为人类的可持续发展而奋斗！

P-8

微型生物碳泵与海洋储碳——海洋对气候调节的微观过程与宏观效应

焦念志*

厦门大学，海洋环境国家重点实验室

*jiao@xmu.edu.cn

海洋总体上是大气 CO₂ 的汇，海洋吸收 CO₂ 的主要机制是“生物泵”（Biological Pump, BP）和“溶解度泵”（Solubility Pump, SP）。然而，这些已知机制的观测值与海洋实际储碳能力并不吻合。究其原因，与海洋碳循环密切相关的许多微型生物生态功能尚未被考虑，例如，由细菌承担的“不产氧光合作用”是被遗漏的能流、微型生物对有机碳的转化是被忽视的碳流……对这些问题的深入研究使我们认识到海洋储碳的一个新机制——“海洋微型生物碳泵”（Microbial Carbon Pump, MCP）（Jiao et al., Research Trends in biological Oceanography, 2008）。与 BP 的颗粒有机碳（POC）沉降机制不同，MCP 基于溶解有机碳（DOC）的转化，即，微型生物将活性 DOC 转化为惰性 DOC，从而长期（4000—6000 年）保存的海洋中。与 SP 相比，MCP 不会导致海洋酸化。MCP 改变了海洋碳循环的传统观念，导致了一系列新认识（Jiao et al., Nature Review, 2010）：

在河口，MCP 使河口成为“碳汇”加工厂

在外海，MCP 使贫营养海区这个“固碳沙漠”成为“储碳绿洲”

在表层, MCP 改变了“碳必须输送到深海才能长期保存”的观念

在深海, MCP 构成海洋“长久”储碳的重要驱动机制

在海底, MCP 是不容忽略的“永久”储碳机制, 可望成为古今的连接点

海洋微生物的新发现导致一个新学科的崛起海洋微生物个体虽小, 但生物量极大, 是海洋生态系统生物量和能流的主要承担者。近些年来微生物方面的新发现(原绿球藻、好氧不产氧光合异养菌 AAPB、含视紫质细菌、固碳古菌、浮游病毒等)大大改变了以往对海洋生态系统结构和功能的认识, 并形成了一系列新概念、新理论, 正在推动着学科迅速向前发展。2007 年 Nature Review 发表了微生物研究专辑, 同年, 美国 Oceanography 也出版了微生物海洋学专辑。2008 年 Science 评述微生物海洋学进展; 2009 年 Nature Insight 又出了微生物海洋学专辑, 标志着这个学科的迅速崛起。

微生物在海洋碳循环中的扮演着无可替代的角色微生物研究迅速发展的原因就在于微生物与资源环境、尤其是海洋碳循环及全球变化密切相关。微生物功能的新认识, 把生命过程与地球环境密切地联接在一起。海洋中 90% 以上的生物量由微生物构成, 海洋中 90% 以上的有机碳是 DOC; 海洋 DOC 碳库与大气碳库相当, 避免海洋 DOC 迅速氧化成 CO_2 对于缓解全球变化至关重要。在海洋上层, AAPB 等功能细菌的光养作用减少了 DOC 向 CO_2 的转化; 贯穿水柱的“微生物碳泵”把活性 DOC 转化为惰性 DOC, 延长了碳在海洋中的滞留时间; 而海底以下的巨大微生物碳库以及由病毒驱动的碳循环不容忽视。

“海洋微生物碳泵”是学科交叉、古今链接的一座桥梁。在微生物的作用下, CO_2 、POC、DOC 可以相互转化。 CO_2 、POC、DOC 分别进入不同的碳循环途径和循环周期。POC 的沉降可以形成地质记录; “微生物碳泵”形成的惰性 DOC, 可以起到长期储碳作用; 而 CO_2 吸收和再生绝不仅仅是一个简单的循环。 CaCO_3 的生成和沉积也绝不

仅仅是一个理化过程, 而是由生物主导的过程。生物主导也不仅仅限于人们熟知的钙化生物、所有的自养、异养、原核、真核微生物都参与其中, 因为所有的生物都呼吸, 生物控制的钙化作用的还在于细胞的跨膜离子交换钙调机制。事实上, 微生物在 N、S 的循环中具有同理的机制。微观而言, 微生物是活着的化石。微生物在现代海洋的动态规律在一定程度上与其进化而来的古代环境有关。比如, 在海洋的“沙漠”——大洋贫营养海区, 原绿球藻成为地球上已知的数量最多的自养生物。原绿球藻具有迄今发现的所有自养生物所不具有的一类色素, 可在极弱的光照条件下进行高效的光合作用, 其生产力占总量的比例在大洋真光层深处达总量的 90%。宏观而论, 当地球系统的平衡被打破, 气候就发生变化。海洋有机碳库在地球气候变化中扮演着一个类似“缓冲—调节”的角色。伴随着“地质事件”随之而来的是“生物演变”, 前者是剧变、后者是缓变; 前者造就了地球系统构架, 后者对这个构架不断改造和修饰, 足够的改造修饰可以改变整个地球系统的面貌。海洋微生物是碳循环的主要承担者和地球系统的主要修饰者。从微生物入手, 通过学科交叉, 联系古今, 将可找到认识有机碳库的产生、积累、转化及其与气候变化关系的一把钥匙。可以推测: 缺氧的条件下, 动物会灭绝, 但微生物碳泵仍然工作。而富氧条件下也并不意味着 DOC 碳库就可以都被氧化, “微生物碳泵”可以维持一个相对稳定的 DOC 碳库, 这就是其妙处。

“海洋微生物碳泵”已被国际海洋科学研究委员会(SCOR)设立专门的科学工作组(WG134 on " Microbial Carbon Pump in the Ocean "), 由中、美、英、法、德、加、荷、西、丹、捷、印、韩等 12 个国家组成, 正在开展工作。(SCOR WG134 Website: <http://mme.xmu.edu.cn/mcp/eindex.asp>)。

P-9

从最高之处到最低之处:南海边缘一个河—海输运系统的介绍 (From the Highest to the Deepest: A River-Sea Dispersal System on the Edge of South China Sea)

刘祖乾(James T. Liu)*

台湾中山大学海洋地质及化学研究所, 高雄 80424

*james@mail.nsysu.edu.tw

Gaoping River (GPR) is a small mountainous river whose source area is located in the southern part of the Central Mountain Range of Taiwan having the elevation higher than 3900 m. It has an average gradient of 1:150. Both the chemical and physical weathering rates for GPR basin are higher than the world average. GPR annually discharges 35 Mt of sediment into the sea. Approximately 1 km seaward from the mouth of GPR is the head of the Gaoping Submarine Canyon (GPSC).

The GPSC owes its existence to tectonic processes related to the collision of arc and continent where the Philippine Plate collides with the Eurasia Plate. The canyon extends from the mouth of GPR, cutting through the Gaoping shelf and slope, and merges into the northeastern Manila Trench over a distance of about 260 km in water depth over 3000 m. It is a major conduit for the transport of terrestrial sediment to the South China Sea (SCS) and the landward transport of particles of marine origin in the SCS.

This presentation gives an overview of the entire river-sea dispersal system from the Source-to-Sink perspective. Emphasis is given to the importance of the family of gravity flows in GPSC, including typhoon-induced turbidity currents and earthquake-induced debris flows in the transport of terrestrial sediment and carbon to the deeper part of the SCS basin.

In the benthic nepheloid layer in the GRSC the normal transport of suspended sediment associated with tidal propagation from offshore are up-canyon yet episodic sediment transports associated with gravity flows are down-canyon. We hypothesize that the frequency of occurrence and magnitude of these episodic transport events determine whether the upper portion of the Gaoping Submarine Canyon is filling up, down-cutting, or is just a conduit for sediment by-pass in the course of eustatic sea-level rise.

P-10

我国深海探测技术发展现状及展望

刘保华*

国家海洋局第一海洋研究所

*bhliu@fio.org.cn

分析了我国深海资源勘探开发所面临的形势以及对深海探测技术的需求; 重点介绍了近十年来, 在国家 863 计划和中国大洋协会支持下, 经过自主研发, 我国深海探测技术研发取得的主要成果、技术特点和存在问题, 以及这些技术的应用情况。对今后五年我国深海探测技术的发展趋势进行了展望。

S1-O-1

南极冰盖物质平衡与全球变化

温家洪*, 杨帆

上海师范大学地理系, 上海 200234

*jhwen@shnu.edu.cn

南极冰盖物质平衡及其对海平面变化的贡献是极地科学中最重要的科学问题之一。尽管当今各种观测技术(特别是遥感技术)和方法都取得了重大突破, 但南极冰盖物质

平衡变化对海平面的贡献仍然难以确定。南极冰盖是一个复杂的冰流系统，处于系统内部的冰下水系存在着快速变化。目前对冰盖的物质平衡计算主要有三种方法，所得结果不尽相同，同一方法由于计算方法不同，结果差异也较大。最新研究表明，整个南极处于负平衡状态，并在近十年来冰量呈现显著减少趋势。西南极整体在减薄，尤其是西南极靠近 Bellingshausen 和 Amundsen 海湾的冰盖物质损失加剧。到 2006 年，该区域物质损失速率达 $132 \pm 60 \text{ Gt/a}$ ，冰盖边缘大部分地区还呈现动态变薄趋势。西南极冰盖总体物质损失的速率可能足以使海平面每年上升近 0.2 mm 。东南极冰盖的物质处于平衡状态，或存在少量的正平衡或少量负平衡。此外，南极半岛的物质损失速率也达到了 $60 \pm 46 \text{ Gt/a}$ 。冰架的缓冲作用、冰盖的不稳定和冰盖的底部融水作用等是影响模拟物质平衡过程的不确定因素。冰盖对变暖的动力响应将是影响下个世纪海平面上升的最大不确定因素。由于冰盖融化不仅导致海平面上升，同时降低海水盐度，可能对全球海洋温盐环流产生重大影响。随着未来观测技术和模型模拟能力的不断提高，冰盖物质平衡的估算及其不确定因素有望得到更深的认识，从而为预测海平面的上升范围提供更加可靠的技术和方法支撑。

S1-O-2

南极冰盖的起源与演化

孙波^{*}，崔祥斌，唐学远，李鑫，郭井学，张栋

中国极地研究中心

^{*}sunbo@pric.gov.cn

在南极冰盖生成演化过程中，形成多个穹隆状地貌特征的冰穹区域，其中，位于南极高原的中央地带冰穹 A（Dome Argus）是冰盖的最高区域。依托中国南极内陆冰盖考察雪地车队的支撑条件，成功运用车载冰雷达探测手段在冰穹 A 地区完成了冰下甘布尔采夫山脉（Gamburtsevmountains）地形的详

细勘测和分析，在国际上率先取得揭示南极冰盖起源、早期扩张过程和气候历史情景的研究成果。研究表明，距今 3400 万年前，南极开始出现冰川，伴随地球轨道周期变化气候变冷，冰川覆盖区域渐次扩张。南极冰穹 A 下方的甘布尔采夫山脉成为南极冰盖的一个关键起源地；在 3400 万年~1400 万年间，该山脉经历了冰川运动强烈侵蚀作用，冰川动力模式计算表明，当时东南极中心区域夏季温度至少不低于 3°C ；自过去 1400 万年以来，因冰盖规模快速扩张，山脉被冰层完全覆盖封存，冰层冻结在基岩上，冰穹 A 冰下地貌特征得以保存至今，冰盖表现出超强的稳定性。该研究结果为研究南极冰盖演变、大气二氧化碳浓度及其温室效应与全球气候变化、海平面升降的关系提供了重要的研究依据和基础。

S1-O-3

关于新元古代全球冰川作用的驱动问题

张启锐^{*}

中国科学院地质与地球物理研究所

qrzhang@mail.igcas.ac.cn

关于地史上冰川作用的研究已经十分久远，但是，目前人们对它的认识还是比较粗浅的，无论是冰川作用的现今状态还是地史上保留下来的冰川记录，都还有待进一步的深入研究。关于新元古代全球冰川作用的研究也有上百年的历史，其基本事实有：（1）所有已知的古大陆上都有海相冰川记录；（2）绝大多数海相冰川岩石记录的古纬度研究结果都是中低纬度，而不是高纬度的；（3）冰川地层和碳酸盐岩地层广泛共生。近年来在全球冰川理论探讨的基础上出现了一个新的理论，即“雪球地球”假说。它的支持者和反对者都不少。大量的数字模拟结果表明，雪球地球状态是可能的，至少出现过全球冰期时代。

是什么条件使得全球冰川成为可能呢？根据目前的研究表明，产生全球冰川作用的特定条件有：

1. 一个强度较弱的年轻太阳。这是产生全球冰川的一个重要因素；

2. 全球古大陆均分布在中低纬度。这是诱发全球冰川的另一个重要因素；

3. 全球冰川作用与地球演化有着密切的联系。就新元古代而言，它是 Rodinia 超大陆旋回一个特定阶段的产物，与超大陆的裂解有着紧密的联系。大陆的裂解使得陆地的风化作用加强，消耗了大气中的 CO_2 。

4. 超大陆裂解的一个重要机制是出现超级地幔柱，产生大量新生地壳物质，包括大面积的溢流玄武岩；这些新生地壳物质和所处中低纬度的温湿气候条件，诱发了强烈化学风化作用，进一步加强了大气中 CO_2 消耗，形成强烈的冰室效应。

5. 当冰线自高纬地区向低纬地区推进到大约纬度 30° 左右的时候，由于大面积冰雪的强烈日照反射，出现冰雪反射率失控（runaway ice-albedo），其结果就是冰线在极短（可能不用一年）的时间就推进到赤道，形成所谓的“雪球地球”或全球冰川。

雪球地球环境的一个最突出的效果，就是气温达到约 -50°C 。对生命来说这是一个极端严酷的生存环境，但是它的结束却迎来了生命的春天，出现了地史上最早的动物化石；雪球地球的出现促使大量海水转化成冰雪，堆积到陆地上，其结果是导致海平面大幅度下降、海洋面积大幅度缩小、海水盐度大幅度提高；巨厚的冰盖运动对地表产生强烈的剥蚀夷平作用，同时给海洋带来了大量陆源碎屑物质，而且在海面上还可能形成巨厚的冰盖，大面积的海洋被封闭，这些都要快速地改变海洋的物理化学性质；消失了约 10 亿年的条带状铁矿层（BIF）之所以重现就是一个证明；另外。与新元古代全球冰川作用几乎同时出现的，是大气氧水平的快速上升，它是因还是果有待研究。

当前存在问题不少，其中的一个重大问题是这些冰川地层的年龄问题：不同地区的冰川地层是全球同时的还是穿时的？我国扬

子地区的为什么会出现厚度不大的大塘坡组？它是否是间冰期？这些都有待进一步探讨。

S1-O-4

新生代冰盖形成期的古海洋变化

田军*

同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

*tianjun@tongji.edu.cn

全球自新生代以来逐渐变冷，其中最显著的事件是南北两极冰盖的形成。新生代以来的变冷和冰盖扩张都记录在全球底栖有孔虫的 $\delta^{18}\text{O}$ 中。在始新世与渐新世之交，约 34Ma 前，全球底栖有孔虫的 $\delta^{18}\text{O}$ 开始阶段性的变重，到大约 33.6Ma， $\delta^{18}\text{O}$ 已变重 1‰，这次变冷事件俗称 Oi-1 事件，标志着新生代以来冰盖开始在东南极出现，地球单极有冰的状态形成。南极冰盖的第二次快速扩张发生在中中新世，约 13.9Ma，这次的冰盖增长更加迅速，导致全球底栖有孔虫的 $\delta^{18}\text{O}$ 在不到 10 万年的时间里急剧变重 1‰。北极冰盖在约 8Ma 前的初现标志着地球进入两极有冰的状态，但是北极冰盖真正快速扩大到可与今天的规模相比较的程度却发生在 2.7Ma 以前，以北大西洋高纬深海沉积物中大量冰筏沉积物的出现为标记，全球底栖有孔虫的 $\delta^{18}\text{O}$ 从 3.3Ma 开始，在 80 万年的时间内逐渐变重约 1.2‰。晚更新世以来俗称的冰河世纪，全球冰盖变化的幅度急剧增加，冰期和间冰期的冰盖增长和消融导致的全球海平面升降幅度可达 140 米，以典型的 10 万年周期为特点。

冰盖的增长和消融对古海洋的变化影响巨大。约 33.6Ma，南极冰盖出现，此时太平洋的深海碳酸盐补偿深度下降约 1000 米，这一剧烈的变化影响到大洋的碳储库和大气二氧化碳的浓度。东南极冰盖在约 13.9Ma 的最终形成导致了南大洋的一次显著的中层水团和深层水团的重组，影响甚至波及到北半球

的太平洋和南海。北极冰盖在 2.7Ma 的急剧扩张导致了北太平洋生产力的降低，也直接影响到大洋碳储库的变化，与大气二氧化碳浓度的变化相关。晚更新世以来的冰盖增长与消融似乎是大多数古海洋学变化的地内直接驱动力，因为大多数的古海洋学替代性指标均显示出与冰盖变化一致的冰期、间冰期旋回规律，区别在于不同的气候指标与冰盖变化之间的相位关系不同。

最近的研究表明，冰盖的扩增直接影响到大洋碳储库的 40 万年长偏心率周期，13.9Ma 东南极冰盖的扩增和 1.6Ma 北极冰盖的增长都使大洋碳储库的长偏心率周期受到模糊化的影响。模拟的结果表明，这可能与低纬地区受季风控制的风化作用和河流输送到海洋的营养物质的变化有关。

S1-O-5

两极冰盖演化对亚洲季风环境的影响

郭正堂*

中国科学院地质与地球物理研究所

*ztguo@mail.iggcas.ac.cn

米兰科维奇理论把北半球高纬夏季日照量的变化作为第四纪冰期—间冰期旋回的根本原因。然而，近年来的海洋和陆地记录研究显示，两极冰盖的演化在一定程度上具有相对独立性，二者组配方式的变化势必对全球的气候子系统产生不同的影响，而反映全球冰量的深海底栖有孔虫氧同位素记录并不能区分南极和北极冰盖的信号，需要通过其它记录来鉴别。

我国的黄土—古土壤序列记录了亚洲季风气候的变化历史。其中，搬运粉尘的冬季风环流源于北半球高纬地区，而搬运水汽的夏季风环流来自低纬海洋；这使高、低纬过程的相互作用在亚洲季风区的体现格外强烈。已有研究表明，北极冰盖的演化对亚洲冬季风环流的强度具有重要影响；而南极冰

盖的变化对低纬海洋有明显的作用，势必在亚洲夏季风环流的演化历史中留有印迹。

本文将上新世以来我国的黄土—古土壤序列与深海氧同位素记录、南极 EPICA 中更新世以来的冰芯记录进行对比。结果显示，上新世晚期以来全球冰量的一些阶段性扩张对冰期时的亚洲冬季风强度影响较大，而对间冰期的冬季风强度影响较小；其中南极冰芯显示的“中布容事件（Mid-Brunhes Event, 约 430 ka）”在我国的间冰期记录中几乎没有表现，在北半球其它地区的记录中也不明显。部分冰期内的间冰阶期间（如 MIS-16、MIS-14 和 MIS-12），亚洲冬季风的强度接近于间冰期水平，而另一些冰期（如 MIS-22）时的冬季风强度异常强盛，但在反映全球冰量的深海氧同位素记录中均没有明确反映。MIS-13 是全球冰量较大的间冰期之一，但亚洲夏季风是整个第四纪最为强盛的时期，冬季风强度却大幅度减弱。

我们认为，上述全球冰量—亚洲季风环境、南—北半球气候之间的“脱耦”现象与两极冰盖的不对称演化有密切关系，且这种不对称演化可能通过影响季风而放大了地球轨道偏心率 100-ka 周期在气候系统中的信号。

S1-O-6

现代热带太平洋和印度洋海气相互作用在全球气候变化中的作用：观测和数值模拟

俞永强*

中国科学院大气物理研究所 LASG

*yu.yongqiang8@gmail.com

热带海洋和大气的特征运动时间和空间尺度相近，因此在月以上时间尺度，热带大气和海洋之间能够存在显著的相互作用，不仅在各自洋盆内部产生显著的气候变率模态（如 ENSO 等），而且还能对全球气候异常产生重要影响。本文主要围绕热带太平洋和印度洋的海气相互作用，结合观测数据和数

值模拟结果,介绍近年来一些主要研究进展。其中包括:(1)热带太平洋 ENSO 机制、可预报性及其对全球气候异常的影响(2)热带印度洋偶极子模态和海盆模态的机制及其对全球气候的影响;(3)热带太平洋和印度洋年代际变化特征及其对季风的影响(4)全球变暖背景下,热带太平洋和印度洋海温变化特征。

S1-O-7

垂向混合与大洋深海热盐环流

管玉平^{1*}, 沈阳², 梁楚进³

1 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境动力重点实验室

2 辽宁工业大学数理科学系

3 卫星海洋环境动力学国家重点实验室

*guan@scsio.ac.cn

大洋经向翻转流是全球气候的一个重要调节因素。我们通过采用混合边界条件下的三箱模型,借助稳定性分析理论,同时以外界机械能驱动经向翻转流为出发点,探讨了垂向混合对经向翻转流强度的影响。由于外界为垂向混合提供的机械能为常量时,经向翻转流强度与垂向混合系数的三分之一成正比;所以,当垂向混合系数相同时,外界为垂向混合提供的机械能越多,经向翻转流越强。如果把外界为垂向混合提供的机械能看作是受气候条件影响的变量,同时垂向混合系数也随之改变。

在机械能约束下,三箱模型结果则显示海洋经向翻转环流存在多重平衡态解:一个稳定热型解,两个盐型解(其中一个稳定,另一个不稳定)。经向温度差、盐度差的稳定热型解和盐型解都随垂向混合能量的增强而减小,经向密度差的稳定盐型解确随垂向混合能量的增强而减小,而稳定热型解却随垂向混合能量的增强而增大。稳定的热型解和盐型解都显示经向翻转流强度随垂向混合能量扩散率的增强而增强。另外,当外界为

垂向混合提供的机械能增强时,导致盐型向热型转化的淡水通量最小值增大,即减小淡水通量导致热盐崩溃现象发生的可能性增大;而导致盐型向热型转化的风生环流强度最大值减小,即增强风生环流导致热盐崩溃现象发生的可能性增大。这有助于我们认识因大洋热盐环流改变的古气候环境。

S1-O-8

气候演变的冰盖驱动和热带驱动

翦知潜*, 汪品先等

同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*jian@tongji.edu.cn

南海大洋钻探和随后开展的深海 973 项目研究首次提出了气候演变的冰盖驱动和热带驱动的“双重驱动”假说(汪品先等, 2006)。传统的气候演变的轨道驱动理论强调北大西洋高纬地区的作用:现在由低纬区流入的表层暖水在此降温结冰,剩下咸而冷的海水因比重大而下沉,在深层向其他洋区扩散。冰期时该区被冰盖封住,不能形成下沉的深层水,致使“传送带”中断,地球表层由“间冰期”转入“冰期”状态。即使北极冰盖的局部崩解,也可以使此区表层水因海冰扩散而降低盐度,减少下沉水量而削弱“传送带”,导致全球性的气候变冷事件(Broecker, 1991)。因此,北大西洋高纬区被认为是地球表层气候系统变化的源泉,决定着全球的气候变迁。

然而,近年来随着对厄尔尼诺和低纬季风气候的注意,发现低纬度海区在现代全球的气候系统中起着关键作用。其中,多年平均表层水温超过 28℃的“西太平洋暖池”区,是世界大洋海水加热最强、因而向大气输送辐射热和通过蒸发输送潜热最强的海区。由此区上升辐散的气流所形成的三大环流圈,通过季风和厄尔尼诺控制着地球上大面积的气候,是向高纬度输送能量的热源和气候系统的“引擎”,一旦暖池区海水上层结构

和表层水温变化, 就会影响全球的气候系统 (Webster, 1994)。北大西洋高纬区固然重要, 但也只相当于地气候系统的“开关”。特别是, 热带太平洋深海高分辨率沉积记录中发现的气候突变 (Stott et al., 2004)、冰消期热带气候变化相对于冰盖的超前 (Lea et al., 2000; Visser et al., 2003)、以及独立于冰盖消长的碳循环事件的发现等 (Wang et al., 2004; Pälike et al., 2006), 说明热带过程和碳循环是在传统理论中所缺乏的重要环节。

近年来, 我们在赤道西太平洋取得了暖池区迄今时间分辨率最高的晚第四纪古海洋学序列, 揭示出热带海区超级 ENSO 的半岁差周期和末次冰期以来短期气候事件从冰期的千年尺度到全新世的百年尺度变化特征; 发现热带海区次表层海水与南大洋高纬区存在密切的古气候联系, 在气候演变中比表层海水更为活跃, 有力地说明了气候系统中热带驱动的重要性和特殊性; 进一步揭示了大洋碳同位素的偏心率长周期及其受到两极冰盖形成以后的干扰, 特别是距今 1.6Ma 前的长周期节律失效。在此基础上, 提出低纬热带辐合带 (ITCZ) 的变动和高纬极地冰盖的变动是全球气候系统响应太阳辐射驱动的两个端元, 全球季风是影响气候系统包括大洋碳储库长周期变化的主要低纬过程。从而, 为气候演变的热带驱动假说提供了重要依据。

气候系统的双重驱动假说, 作为气候环境演变中一种新机制的发现, 已逐渐获得国内外学术界的初步认识。地球轨道周期的气候表现在暖室期和冰室期并不相同。无冰盖的地球, 大洋碳储库的偏心率长周期曾经是地球气候系统的“心跳”脉搏, 气候旋回的驱动主要来自低纬, 水循环和碳循环的长周期相当一致; 冰盖的形成使得气候周期复杂化, 北极冰盖出现后高纬驱动突出、气候变幅大增, 但低纬的热带驱动仍然通过碳循环产生影响, 两者的结合决定冰期旋回的变幅和长度。地球气候系统的变化, 是多种因素相互作用、几个周期相互叠加的结果, 不能只靠某一种驱动或循环得到解释。

S1-P-1

西秦岭山间晚新近纪风尘堆积的磁性地层及其构造、气候指示意义

葛俊逸, 郭正堂*

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

*ztguo@mail.iggcas.ac.cn

秦岭是我国的重要南北地理、气候界线, 其形成和发育与青藏高原隆升关系密切, 其相关沉积是构造、气候和环境相互作用的重要信息库。保存于秦岭山间的风尘堆积同时记录着大气环流变化和秦岭构造活动的历史, 对于研究该区构造和气候的演化具有重要意义。

近年来, 我们对西秦岭山间的新近纪风尘沉积进行了系统调查, 发现其在山间盆地边缘的高地上广泛分布。我们选取位于长江上游流域西和盆地的 NL-VI 剖面开展了磁性地层、沉积学等方面的系统研究, 并与前人研究的 QA-I 和董湾剖面进行粒度的空间对比, 以探讨 1) 剖面的地层时代; 2) 晚新近纪粒度的空间变化特征; 3) 西秦岭晚新近纪构造演化历史。

NL-VI 剖面分别位于 QA-I、董湾剖面以南 120 km 和 112 km, 厚 150.2 m, 包含 188 层古土壤层。其中, 剖面上部 0~65.2 m 和下部 98.2~150.2 m 为典型的黄土—古土壤序列, 而中部 65.2~98.2 m 之间, 受坡面侵蚀的影响, 形成含砾石碎屑的黄土 / 古土壤层。在野外, 我们对剖面进行了系统的描述, 按 20 cm 和 10 cm 间距分别采集了古地磁定向样品和散样。同时由上至下对剖面进行了小哺乳动物化石的发掘。

全部古地磁样品进行了系统热退磁和剩磁测量, 退磁采用 MMTD-80 型全自动热退磁仪, 退磁温度范围为 150℃~630℃, 加热步骤为 10~50℃, 共 13 步, 剩磁测量采用 2G 三轴低温超导磁力仪, 上述实验均在中国科学院地质与地球物理研究所古地磁实验室

完成。特征剩磁分析使用主成分分析法。此外，分别使用 Bartington 磁化率仪和 Mastersizer 2000 激光粒度仪测量了 10 cm 间距样品的磁化率和 50 cm 间距样品的粒度。

退磁结果表明，多数样品在 350~550℃ 显示稳定的特征剩磁方向，少数样品的特征剩磁可保持到 600℃ 以上。在全部 715 块样品中，680 块记录了可靠的特征剩磁方向。根据特征剩磁测量结果，NL-VI 剖面共定义出 17 个正极性带和 17 个负极性带。根据剖面的小哺乳动物化石组合结果，剖面的大致地层时代为晚中新世—上新世，因此可以将 NL-VI 剖面的磁性地层结果与标准极性柱准确地进行对比。结果显示，NL-VI 剖面完整记录了 C2Ar 和 C5n.2n 间的各极性带（亚带），利用线性沉积速率外推，其顶、底界年龄分别为 4.1 和 10.4 Ma，受坡面侵蚀影响的段落年代为 6.9~8.3 Ma。

NL-VI 剖面与董湾剖面的磁性地层及土壤地层等可较好地对比，表明我国西部晚新近纪风尘堆积地层具有较好的连续性。同时，NL-VI 剖面的发现表明我国北方风尘堆积南界在~10.4 Ma 前后已达长江流域地区，与第四纪黄土相近，进一步证明中新世风尘堆积具有较广泛分布的特点。

NL-VI 剖面与董湾、秦安剖面同时期地层的粒度对比表明，三者至少在构造尺度上可对比，并具有北粗南细的特点，指示着新近纪粉尘的主要搬运动力为偏北向环流，即类似于现在的冬季风系统在晚中新世业已建立，同时也反映了西北地区大面积干旱区的存在。

此外，NL-VI 风尘堆积剖面也揭示出：至少在~10.4 Ma 西秦岭地区已经隆升形成类似今天的盆—山结构，从而能够提供粉尘堆积和保存的地貌条件；在 8.3~6.9 Ma，该区构造不稳定性增强，导致坡面侵蚀加强，是对青藏高原该时期向东北缘扩展隆升的响应；4.1 Ma 之后该区发生明显的侵蚀，可能与 3~4 Ma 时期的高原隆升具有密切联系。

S1-P-2

22 Ma 以来我国北方风尘沉积中的赤铁矿和针铁矿变化：磁学和漫反射光谱证据

郝青振^{1,2*}, Frank Oldfield², Jan Bloemendal², Jose Torrent³, 郭正堂¹

¹ 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

² Department of Geography, University of Liverpool, Liverpool, L69 7ZT, UK

³ Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales, Universidad de Córdoba Edificio C4, Campus de Rabanales, 14071 Córdoba, Spain

*haoqz@mail.iggcas.ac.cn

土壤中铁的氧化物（氢氧化物）的种类和含量对气候变化非常敏感，环境磁学提供了这些矿物的快捷研究手段，在过去第四纪黄土古气候重建中一直发挥着重要的作用。从含铁硅酸盐的风化产物来看，赤铁矿和针铁矿（均为反铁磁性矿物）是主要的矿物存在形式。但是赤铁矿和针铁矿均为弱磁性矿物，其磁学信号比亚铁磁性矿物低 2—3 个数量级，如何对这两种矿物开展定量研究，一直是沉积物环境磁学研究的难点。这些弱磁性矿物研究的相对薄弱，也使我们无法对成壤过程中铁的氧化物形成、转化规律获得系统的认识。因此，开展该方面的研究对黄土古气候学、土壤磁学解释和土壤磁性矿物形成理论具有重要的意义。

本文将漫反射光谱（DRS）和高场等温剩磁（HIRM）实验两种方法相结合对黄土高原风尘沉积中的赤铁矿和针铁矿进行了系统的研究。DRS 方法是近年来新发展起来的赤铁矿和针铁矿测量方法。HIRM 实验采用传统等温剩磁获得实验和交变退磁结合的方法，即，每一步样品在设定磁场中获得剩磁后，用峰值为 200mT 的交变退磁进行“清洗”，清除亚铁磁性矿物的信号，“剩余”的剩磁为高矫顽力矿物（赤铁矿和针铁矿）的信号。本研究中用 HIRM1.5T 和 HIRM7-4T(HIRM7T - HIRM4T) 分别推测赤铁矿和针铁矿的含量。我们选择中新世 QA-I 剖面、晚中新世董湾剖面 and 晚上新世—更新世西峰

三个剖面构成黄土高原 22Ma 以来风尘沉积的完整序列,根据磁性矿物演化阶段的划分,选择 53 块全岩样品、以及其中的 26 个样品的粘粒(8 μm ,代表碎屑组分,依据参见 Hao et al, *Geology*, 2008, 36(9), 727 - 730) 组分进行漫反射光测量,并对这 26 个样品的全岩、及其粘粒和碎屑组分高场等温剩磁(最高为 7 T) 性质测量。

通过系统的研究分析,发现以下有意义的结果:(1) 漫反射光谱方法主要反映成壤成因的赤铁矿含量;碎屑成因的针铁矿对全岩样品贡献较大。(2) 漫反射光谱和高场等温剩磁指标之间没有或缺乏固定的相关关系,表明当沉积物样品磁性矿物“磁粒度”分布范围较大或沉积物年代跨度太长时,高场等温剩磁指标在反映反铁磁性矿物含量时具有局限性。(3) 漫反射光谱和高场等温剩磁指标之间呈现阶段性正相关关系,可能指示成壤成因的反铁磁性矿物在 9.4 - 13.1 Ma 前后、碎屑成因的矿物在 15 - 13.1 Ma、9.4 - 7.6 Ma 前后发生变化,其对气候或源区过程的指示意义有待深入研究。(4) 22 Ma 以来风尘沉积全岩样品的赤铁矿矫顽力逐渐降低,呈现与深海氧同位素近似平行的变化。全岩样品和粒度组分的对比分析表明该趋势主要由碎屑矿物引起,但其矿物学解释有待进一步开展工作。(5) 22 Ma 以来风尘沉积赤铁矿含量与频率磁化率呈阶段性正相关关系,一方面支持 Torrent 等提出的磁性矿物“协同”形成转化(水铁矿 $\rightarrow$ 磁赤铁矿 $\rightarrow$ 赤铁矿)理论,而与 Maher 等人的磁铁矿和赤铁矿形成于不同气候条件的理论明显矛盾;另一方面可能指示不同时期黄土高原气候状况的阶段性变化。

上述研究为风尘沉积中高矫顽力矿物的信号解释奠定了基础,同时为土壤磁性矿物的形成理论提供了关键证据,所采用的分粒级研究方法在沉积物环境磁学研究上具有借鉴意义。

S1-P-3

晚新生代东亚季风演化历史及其与全球冰量变化的关联

刘连文*, 郑洪波

南京大学地球科学与工程学院

*liulw@nju.edu.cn

南海 ODP1148 孔的 Rb/Zr 比值反映了物源区的化学风化强度,记录了 24Ma 来亚洲夏季风演化历史。高分辨率的记录表明,过去 24Ma 亚洲夏季风变化可划分为 4 个阶段:24-17Ma, 季风较强,期间有多次弱季风事件,与深海氧同位素极重期相对应;17-14Ma, 季风最强时期,并呈现显著的 40 万年偏心率长周期;14-4Ma, 季风逐渐减弱;4Ma 至今, 季风逐渐增强。期间存在四次显著季风强化阶段,分别发生在 24-22Ma, 17-15Ma, 8-6Ma 和 4Ma 以来,与黄土高原和北太平洋粉尘堆积速率增大的时期一致,反映了青藏高原在这些时期存在隆升作用。对比 20Ma 来 1148 孔的 Rb/Zr 比值与反映全球风化的海洋 Ca-Li-Sr 等同位素记录显示,24Ma 来亚洲夏季风变化对全球化学风化通量有重要作用,从而对全球碳循环有重要影响, Rb/Zr 比值与深海碳同位素曲线的高度一致性也证明了这一点。对比 24Ma 来 ODP1148 孔的 Rb/Zr 比值与同一孔的深海氧同位素曲线,发现在 4Ma 前两者在构造和轨道尺度上呈反相关关系,而在 4Ma 后,两者在构造尺度上呈正相关关系,即亚洲季风增强与北极冰盖扩张完全同步。我们认为,北极冰盖的形成与扩张与该时期青藏高原隆升引起的亚洲季风增强有关。

S1-P-4

青藏高原隆升气候环境效应特征讨论

邵兆刚^{1*}, 孟宪刚¹, 朱大岗¹, 杨朝斌², 雷伟志¹, 王津¹, 韩建恩¹, 余佳¹, 孟庆伟¹, 吕荣平¹, 钱程¹, 贺承广¹

1 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081

本文根据气温递减规律原理及相关数值计算, 对青藏高原的环境特征进行了探讨, 分析表明青藏高原隆升并不能使高原表面产生随海拔升高的温度递减现象, 随着高原整体海拔的不断升高, 高原表面逐渐形成以高日温差为特征的强烈的气候波动环境。将有利于高原面将所吸收的太阳辐射快速释放回太空, 而不参与地球气候系统循环, 由于太阳输入能量总体保持不变, 高原隆升将直接导致全球气候系统降温, 而地球大气随海拔高程呈指数衰减的性质, 使高原的降温作用在高原隆升初期就非常强烈。

S1-P-5S

西北太平洋黑潮源区浮游有孔虫的 $\delta^{13}\text{C}$ 宽幅低值事件

陈双喜^{1,2*}, 李铁刚¹, 南青云¹, 唐正^{1,2}, 仇晓华^{1,2}

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 中国科学院研究生院, 北京 100049

*chenshuangxi@ms.qdio.ac.cn

源自南极底层水上涌的末次冰消期 $\delta^{13}\text{C}$ 宽幅低值事件普遍存在于南半球和低纬热带各大洋沉积记录以及南极冰芯中的大气记录中。在位于西北太平洋黑潮源区的 MD06-3054 孔 (14° 30.2816' N, 124° 19.2400' E; 水深: 2021 m; 柱长: 15.74 m) 的浮游有孔虫表层种 *G. ruber* 和次表层种 *P. obliquiloculata* 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值末次冰消期以来的记录中也发现了这一事件。黑潮源区记录的浮游有孔虫宽幅低值事件在时间和分布特征上与各大洋的记录一致。通过对该孔沉积有机碳 (Total Organic Carbon, TOC) 和有机碳同位素指示的沉积有机质含量的变化和来源, 浮游有孔虫 *G. bulloides* 和 *N. dutertrei* 的百分含量指示的下伏水体的上涌和上层水

体的营养盐状况, 以及同热带太平洋表层水体的末次冰消期以来的 $\delta^{13}\text{C}$ 记录对比分析, 认为这一事件的成因也是源自末次冰消期南极底层水的上涌。研究区的表层水在冰消期不仅受源于南大洋的中层水对流和大气平衡作用的影响, 在 11 ka BP 以前, 表层和次表层水体均明显受到陆源有机质输入的影响; 11 ka BP 以来, 表层水受到下伏水体的上涌, 以及表层生产力等多重因素的影响, 而次表层除受表层生产力的影响外, 主要受到 $\delta^{13}\text{C}$ 值较低的下伏水体的影响。

表层种 *G. ruber* 的 $\delta^{13}\text{C}$ 记录的变化趋势表现为冰期时较冰后期低, 与成层化海区的记录一致; 而次表层种 *P. obliquiloculata* 的 $\delta^{13}\text{C}$ 记录的变化趋势却表现为冰期时较冰后期高, 与南极水团的记录一致。根据 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化趋势, 以及浮游有孔虫 *G. bulloides* 的百分含量变化指示的下伏水体的上涌情况, 研究认为 11 ka BP 以来影响该区域表层次表层水体的可能是 $\delta^{13}\text{C}$ 值较低的南极中层水。通过同冲绳海槽的记录对比发现, 末次冰消期以来冲绳海槽的表层水和次表层水的 $\delta^{13}\text{C}$ 记录在冰期和冰后期的变化趋势都同研究区表层种 *G. ruber* 的记录一致而与次表层种 *P. obliquiloculata* 的记录不一致, 也支持了位于北半球中纬度海区的冲绳海槽记录到的这一事件是受到热带太平洋表层水影响的推论。

S1-P-6S

西菲律宾海 150ka BP 以来的有孔虫稳定同位素记录及其古环境意义

仇晓华^{1,2}, 李铁刚^{1*}

1 中国科学院海洋研究所

2 中国科学院研究生院

*tgli@ms.qdio.ac.cn

本文研究了位于西菲律宾海 Bicol shelf 的 MD06-3052 孔 (经纬度 14° 48.6042 N, 123° 29.3983' E; 长 19.48 m, 水深 732 m), 以

4 cm 间隔取样, 对该孔 486 个样品的浮游有孔虫表层种 *Globigerinoides ruber* 的稳定同位素进行了测定。得到的氧同位素结果与 LR04 标准曲线对比, 并以 *Globigerinoides ruber* (pink) 的末现面为时间控制点, 初步划定了氧同位素期次, 建立了 MD06-3052 的大致年龄框架。该孔的底部年龄约为 150ka BP (氧同位素 6 期内), 比较完整的记录了末次间冰期以来的沉积, 分辨率约达到 300 年/样。柱状样中可见数层火山灰层, 其中有 75Ka BP Toba 火山爆发而沉积的火山灰层。通过观察岩性变化和粗组份含量变化, 可判定柱状样中存在至少 3 层浊积层, 分别发生在氧同位素 2 期、3 期末和 5e 期。末次间冰期以来, MD06-3052 孔浮游有孔虫 *G. ruber* 氧同位素冰期-间冰期的变幅约 1.8‰, 通过与附近海域的记录对比发现, 表层种 *G. ruber* 的氧同位素变化趋势与 Sulu 海 ODP769 孔 150ka BP 以来的 *G. ruber* 氧同位素变化具有良好的可对比性, 但冰期-间冰期变幅比 ODP769 (约 1.3‰) 大。在 MIS3 期中, 两者的氧同位素变化均表现出与 Huon 半岛珊瑚礁台地指示的海平面变化趋势相一致。另外, 氧同位素 2 期的浊流事件对应着 Huon 半岛珊瑚礁台地指示的海平面低值期, 而 5e 期的浊流事件也对应着海平面发生变动的阶段, 因此, MD06-3052 孔为西菲律宾海 150ka BP 以来海平面波动提供了依据。

S1-P-7

赤道西太平洋 MD98-2182 岩芯末次冰期以来的季风和厄尔尼诺事件记录

丁旋*, 方念乔

中国地质大学(北京)海洋学院

*dingx@cugb.edu.cn

厄尔尼诺是指赤道中、东太平洋海水表面温度大范围异常偏暖 0.5℃ 以上、持续时间达到 6 个月或以上的现象。ENSO (El Niño South Oscillation) 是热带海气相互作用的强

信号, 对全球气候异常有着重要的影响, 已成为许多国家长期天气预测考虑的首要因素。近年来, 我国极端气候灾害频发, 其出现常与太平洋海温异常息息相关。研究表明, 西太平洋暖池处于异常暖的状态与热带太平洋海面附近有较大的西风异常是厄尔尼诺发生必不可少的条件, 厄尔尼诺事件主要是由于西太平洋暖池向东扩展导致的。西太平洋暖池次表层海温异常及其东传对 ENSO 的发生起着十分重要的作用, 而次表层水温的年际变化则与东亚季风异常有密切关系。古海洋和古气候学家们曾对地史时期暖池热状况、东亚季风活动做过大量的研究, 认识到它们与米兰科维奇轨道参数周期性变化密切相关, 因此, ENSO 循环也可能随之出现同步变化。

本次研究通过对赤道西太平洋暖池核心区 MD98-2182 岩芯 (3.18°N, 132.06°E, 水深 3574 m) 末次冰期以来的氧碳稳定同位素、古水温、古盐度、古生产力、沉积物粒度等方面的研究, 提取 ENSO 和东亚季风活动、暖池热状况的信号, 分析它们演化的规律及相互关系, 为了解 ENSO 的循环机理与变化规律, 并对其进行准确的预测提供科学依据。

MD98-2182 岩芯总体表现为受海平面变化影响, 冰期时海平面下降, 沉积物粒度变粗, 粗粒粉砂质沉积物含量增加, 冰消期融水脉动 1A (meltwater pulse 1A, 简称 MWP-1A, ~14.5ka B.P.) 之后以及全新世则相反。浮游有孔虫高生产力种、蛋白石含量、有孔虫壳体碳同位素显示冰期时古生产力高, MWP-1A 之后及全新世古生产力明显下降。但在此背景下, 仍能观察到岁差周期引起的东亚夏季风活动的影响, 特别是浮游有孔虫上升流种 *Globigerina bulloides* 丰度表现出与 30°N 夏季日照率一致的变化规律。

MD98-2182 岩芯浮游有孔虫转换函数估算的古温跃层深度却并不受冰期间冰期海平面变化的影响。东太平洋 NINO3 区 (150°~90°W, 5°S~5°N) 500 年平均海表温度距平显示, 大约 35~19ka BP, 11~3ka BP 期间 La Niña 现象强烈, 西太平洋表层暖水强烈堆聚,

MD98-2182 岩芯古温跃层深度、浮游有孔虫浅层水种/深层水种比值都显示这两个阶段温跃层变深, 且浮游有孔虫转换函数估算的表层海水温度上升, 据浮游有孔虫壳体推算的表层海水盐度下降, 尤以全新世更为明显。19~11ka BP 期间 El Niño 现象强烈, 西太平洋表层暖水向东移动, MD98-2182 岩芯温跃层变浅, 表层水温度下降, 盐度上升。

位于帝汶海区的 MD98-2172 岩芯 (8.3122 S, 128.954 E, 水深 1768 m) 显示, 自冰消期 MWP-1A 之后, 研究区开始出现强烈的表层穿越流 (Indonesian Throughflow) 活动, 早于 La Niña 现象增强的时间, 显示 ITF 更多地受北半球夏季日射率增强引起的东南季风活动的影响, 同时也与冰消期海平面迅速上升, 望加锡海峡和龙目海峡通道变宽有关, La Niña 现象叠加在之上, 增加了 ITF 活动的时间和强度。

S1-P-8

鄂霍次克海南部倒数第二冰期时强劲水动力

葛淑兰^{1*}, 刘青松², 石学法¹, 吴永华¹, 邹建军¹

1 国家海洋局第一海洋研究所

2 中国科学院地质与地球物理研究所

*shulange@fio.org.cn

在鄂霍次克海南部科学院海隆上的岩心 (水深 975 m) 中发现, 冰期时的磁性矿物普遍比较多且颗粒粗, 表现为剩磁比值 (Mrs/Ms) 和饱和等温剩磁 (Ms) 的增加。岩心的年龄标尺是依据相对地磁场强度和氧同位素变化。同时, 在倒数第二冰期粘土沉积物中发育两套倾斜的粉砂层, 而且两组粉砂层的倾向相反, 粉砂层的相反倾向排除了取样扰动的可能性。这些粉砂层和颗粒粗和含量多的磁性矿物层位能一一对应, 并且成层分布的粉砂层表明它并非来自零星的冰筏碎屑贡献, 揭示了此时在科学院海隆地区强烈的水动力条件和增强的搬运能力。

通常认为中布容期以来 (~400ka) 鄂霍次克海冰期时的垂直环流要比间冰期弱, 反映在生物沉积上则表现为含量的降低。而本文钻孔却显示冰期时中下层水流 (~900-1000 m) 强度要大于间冰期, 我们推测这种强烈的水动力可能是由于在海冰覆盖情况下鄂霍次克海和太平洋之间水平流交换的加强, 本孔生物沉积 (碳酸钙和有机碳) 的低值也说明此时垂直环流仍然较弱。这给我们描绘了鄂霍次克海倒数第二冰期时比较独特的海流发育模式, 即海冰的覆盖 (风和库页岛的潮流作用减弱) 使得水体的垂直交换被抑制, 而同时中下层水体的水平交换得到增强。

S1-P-9

气候周期性与东海陆架第四系地层层序

顾兆峰*

青岛海洋地质研究所

*gzf8.1@163.com

第四纪气候周期性变化是东海陆架第四系地层沉积方式的主导因素, 形成了东海陆架海陆相地层交互发育的模式, 其中东海陆架东部形成了海相地层发育、陆相地层不发育或间断发育的格架。陆架东部交互发育的海陆相地层为地层层序划分提供了可靠依据, 根据高分辨率单道地震记录的海陆相地层交互发育特征将东海陆架东部第四系地层初步划分出了十四个四级 (个别为五级) 地层层序, 其中下更新统划分为五个四级地层层序, 中更新世以来的地层可划分出九个四级 (个别为五级) 地层层序。

高分辨率浅地层剖面和单道地震剖面对比发现: 单道地震记录的个别浅部地层层序还可分为两个次级 (应为五级) 层序。而且由单道地震记录反映的部分地区早更新统陆相地层间断发育、同一层位上海相与陆相地层间断或相邻发育表明, 该地区早更新世地层具有海侵与海退频繁发生且规模相对较小、海陆相地层交互发育频繁的特点。因此

在东海陆架东部第四纪时期应发育了远远超过十四个以上的五级地层层序。

与第四纪气候变化周期对比认为：1. 东海陆架东部中更新世以来的地层层序基本反映了与氧同位素周期变化一致的气候周期性变化；2. 早更新世的五个四级地层层序代表了早更新世五个较长期的气候变化周期组合，每个地层层序应该包括多个代表气候周期性变化发育的五级地层层序。因此，东海陆架东部第四系地层层序较完整的反映了第四纪的气候周期性变化。

S1-P-10

MD05-2904 $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* ——季风型氧同位素曲线

贺娟*, 汪品先, 田军, 李前裕, 葛黄敏

同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*hj08@tongji.edu.cn

MD05-2904 (19° 27.32' N, 116° 15.15' E, 水深 2066 m, 柱长 4498 cm) 位于南海北部陆坡, 取自 2005 年中法合作南海 “Marco Polo”, 柱长 44.98 m。高分辨率的微体化石, 有机地球化学分析等资料提供了 260 ka 以来的浮游有孔虫氧同位素、表层海水温度、海洋生产力等记录, 平均分辨率为~500k/cm, 最高可达 120 年。

MD05-2904 UK'37 表层海水温度和浮游有孔虫 (*Globigerinoides Ruber*) 氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* 记录都有明显的岁差周期, 体现了低纬特点。MD05-2904 的 $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* 曲线与深海氧同位素曲线 LR04 (Lisiecki and Raymo, 2005) 在形态上有明显差异: MD05-2904 $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* 的 MIS 5.5 期偏重, 与 MIS 5.1 和 5.3 峰值接近, 而 MIS 6.5 和 MIS 3 初偏轻——这些特征与季风区的石笋 $\delta^{18}\text{O}$ (Wang et al., 2008) 和南极冰芯气泡 $\delta^{18}\text{O}$ 记录 (Petit et al., 2001) 相似。而 UK'37 表层海水温度记录在形态上与 LR04 曲线更为相似。完整的温度记录和岩心描述排除了

MD05-2904 因部分地层缺失而造成氧同位素记录差异的可能。

MD05-2904 $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* 这一现象在南海较为普遍, 但也存在着差异。主要表现在 MIS 5.5 期记录——MIS 5.5 $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* 大多偏重, 但也有个别记录偏轻。在南海外的其他季风区, 如 Gulf of Guinea 的 MD03-2707, 澳大利亚的 ODP 819 和 Cariaco Basin 的 ODP 1002 等地也有类似记录。全球季风区的数据资料收集、分析工作仍在进行中。

我们将 MD05-2904 $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* 这一类型的氧同位素记录暂称为“季风型”氧同位素曲线。

目前认为, 浮游有孔虫氧同位素变化的主要受控因素是: 结壳时海水的温度、盐度和冰盖。然而对于“季风型” $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* 现象, 用海水盐度变化并不能很好做出解释。以 MD05-2904 为例, 以海水剩余氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ residue 作为海水盐度变化指标 ($\delta^{18}\text{O}$ residue = (SST (°C) - 16.5 + 4.8 × $\delta^{18}\text{O}$) / 4.8 + 0.27 - $\delta^{18}\text{O}$ ice)。Termination II 时, 表层海水温度变化约 4.8°C, 造成约 1‰ 的 $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* 变轻 ($\delta^{18}\text{O}$ calcite 0.22 /°C, Bemis, 1998 估算), 冰盖造成约 1.5‰ 的变轻 (ODP 1145 $\delta^{18}\text{O}$ benthic 数据估算), 而同期的 MD05-2904 的 $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* 变轻约 2‰。若海水盐度为这一偏差的主要原因, 那么它需变成约 1 psu, 从而承担 $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* 约 0.5‰ 的变重。参考该站位现代表层海水盐度, 年变化为 34.3~33.6 psu (World Ocean Atlas 2005), Termination II 时 1psu 的海水盐度变化有些过大。同时和 Gulf of Guinea MD03-2707 相对独立的海水盐度参数 Ba/Ca 相比, 两个站位 MIS 5.5 期的海水盐度记录是几乎相反的。而用 MD03-2707 的海水盐度、海水温度等数据反算其浮游有孔虫氧同位素值, 得出的结果要比实测浮游有孔虫氧同位素值结果偏轻约 1‰。

无论是 MD05-2904 本身的海水盐度估算, 还是和更为独立的海水盐度记录 (MD03-2707 的 Ba/Ca 参数) 对比, 其结果都显示海水盐度变化无法解释“季风型” $\delta^{18}\text{O}$

现象。而 MD03-2707 反算与实测有孔虫氧同位素结果之间的差异也足以引起我们的重视。对 MD05-2904 $\delta^{18}\text{O}$ *G.ruber* 这种“季风型”氧同位素曲线的分布范围和变化原因,目前还无法做出很好的解释。但它们很可能提示:在考虑浮游有孔 $\delta^{18}\text{O}$ 变化时,我们忽略了其他重要影响因素,如雨水氧同位素的变化, Dole 效应的影响等。

S1-P-11S

南海西部晚第四纪 (MD05-2899 孔) XRF 岩芯 元素扫描结果的初步分析

贺子丁*, 刘志飞, 李建如, 谢昕

同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*heziding@hotmail.com

MD05-2899 孔(水深 2393 m, $13^{\circ}47.394' \text{N}$; $112^{\circ}11.034' \text{E}$)位于南海西部越南岸外上升流区,将其高分辨率碳酸盐含量测试结果与 LR04 全球底栖有孔虫氧同位素曲线进行对比,初步建立 MD05-2899 孔年龄框架,判定其底部年龄超过 533ka,进入氧同位素 14 期。本项研究利用 XRF 岩芯元素扫描取得的元素地球化学数据(测量分辨率 1 cm)建立了该区晚第四纪古环境变化的指标。结果显示, K/Ti 可用于指示陆源物质在上升流区的输入, Ba/Ti 则为该区生产力的指标。总的来说,生产力从 MIS14 期以来呈升高的趋势,并且与陆源物质的输入有较大关系;当陆源物质输入高峰时,生产力也出现相应的高值。同时,将 Ba/Ti 与轨道参数对比发现其具有较强的 4 万年斜率周期,具体机制和结论还有待进一步研究讨论后得出。但有一种可能的推测是北极冰盖驱动东亚冬季风对该区域造成影响的结果。

S1-P-12

深海氧同位素 3 期南海西部 上层水体结构变化

黄宝琦*, 杜江辉

北京大学地球与空间科学学院造山带与地壳演化教育部重点实验室

*bqhuang@pku.edu.cn

太阳号 17954 站位于南海西部越南岸外夏季上升流区,沉积物记录了东亚夏季风的演化过程。本次研究在 AMS 14C 测年基础上建立了严格的年龄框架,利用浮游有孔虫 *Globigerinoides ruber*(white s. s.)的 Mg/Ca —古海水温度计,对 17954 柱状样氧同位素三期(MIS3)表层海水古温度和盐度进行估算,并结合已有的温跃层、有孔虫初级生产力,以及上部水体结构的变化,探讨东亚夏季风在 MIS3 期的变化。研究结果表明,17954 站柱状样浮游有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 记录显现出明显的千年尺度的波动,通过与 NGRIP 冰芯氧同位素和葫芦洞石笋氧同位素曲线的对比可以识别出 H2~H6 以及 D-O 旋回的 IS3~17。总的来看,17954 站浮游有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线更与葫芦洞的氧同位素曲线接近,这表明南海西部古气候变化不仅包含北半球高纬地区气候变化信息,低纬地区环境变化的影响,如东亚夏季风带来的降水变化,更为重要;17954 站 MIS3 期的 SST 和 SSS 都显示明显的千年尺度波动,并具有间冰阶(冰阶)与低(高) SST 和 SSS 对应的现象;MIS3 期 17954 站温跃层有 5 个明显的变浅期 S1~S5,其中与暖事件同时发生的 S1~S4,均伴随着 SST 降低、生产力升高的现象,显示这些时期内具有明显的上升流。SSS 的降低则指示东亚夏季风带来降水的增加,这两者共同表明在这些时期内东亚夏季风有明显的增强。

S1-P-13

南海南部 4Ma 高分辨率古温 度变化及其古气候意义

李丽^{1*}, 王慧¹, 汪品先¹, 赵美训^{1,2}, 田军¹

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 中国海洋大学化学化工学院

*lilitju@tongji.edu.cn

以长链烯酮不饱和度 (Uk'_{37}) 方法重建了热带西太平洋表层海水温度演变历史, 得到该区域迄今为止时间最长的高分辨率温度剖面。研究结果显示 4Ma 以来该海域的表层水温变化范围在 25°C-29°C, 在 2.7Ma 前平均温度为 29°C, 波动<0.5°C; 在 0.9—2.7Ma, 暖期温度变化不大, ~29°C; 冷期温度从 28.3°C 降到 26°C, 约 1.4°C/Ma; 0.9Ma 至今表现为强烈的冰期 / 间冰期变化模式, 变化范围 29—25.5°C, 幅度可达 4.5°C。与赤道东太平洋的温度对比说明 4Ma 至今, 东西太平洋海水表层温度梯度不断加大, 并且在冰期的温差高于间冰期, 表明上新世以来, 特别是冰期时期横向的 Walker 环流增强, El Niño 频率减弱, 周期变长。频谱分析的结果显示温度演变存在强烈周期特征, 分别对应于地球轨道的偏心率 (400kyr, 40kyr), 斜率 (100kyr) 和岁差 (20kyr) 周期, 显示地球温度变化受控于地球轨道参数的变化。

S1-P-14

南海北部晚更新世以来的古海洋环境演化特征

李小艳^{1,2*}, 石学法¹, 翦知潜², 程振波¹, 陈志华¹, 李朝新¹, 吴永华¹, 石丰登¹

1 国家海洋局第一海洋研究所

2 同济大学海洋地质国家重点实验室

*lxyan310@fio.org.cn

对南海北部 N-31 柱状样沉积物进行了浮游有孔虫定量分析鉴定、氧碳同位素、碳酸盐含量和粒度测试以及 AMS14C 测年, 并采用古生态转换函数计算了表层海水古温度和温跃层深度, 揭示了该海区约 55ka 以来的古海洋环境特征。转换函数计算的表层海水古温度结果表明, 夏季温度的变化范围为 27.0—29.6°C, 变化幅度为 2.6°C, 冬季温度变化范围为 18.2—27.0°C, 变化幅度为 8.8°C。与南海南部转换函数温度对比表明, 南海南

部的温度比南海北部要高, 这种差异在冬季时表现更为突出。温跃层转换函数计算的温跃层深度结果表明, MIS3—MIS2 期时温跃层深度没有大的变化, 而从冰期向冰后期过渡时, 温跃层深度逐渐增大。

S1-P-15

南海晚第四纪颗石藻化石记录与古海洋学意义

刘传联*, 苏翔

同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*clliu@tongji.edu.cn

选取中法合作 Marco-Polo 航次 (IMAGES XII) 南海西部 MD05-2901 孔和南海北部 MD05-2904 孔沉积柱状样为研究材料, 采用颗石藻自动鉴定系统 SYRACO (Système de Reconnaissance Automatique de Cocolithes), 对全部 2303 个样品进行颗石藻属种统计分析, 揭示了晚第四纪以来南海高分辨率 (约 2 百年) 的颗石藻主要属种变化历史, 展示了海水营养跃层深度及表层海水初级生产力在冰期-间冰期及长时间尺度上的变化。通过与这两个孔其他研究资料以及南海南部 ODP1143 站颗石藻化石记录的对比, 探讨了南海颗石藻群落和初级生产力变化的可能影响因素, 并尝试讨论颗石藻与大洋碳储库变化的关系。

南海西部和北部的颗石藻化石组合基本相同, 主要属种为 *Florisphaera profunda* 其次 *Gephyrocapsa oceanica* 和 *Emiliania huxleyi*, 此外 *Gephyrocapsa muelleri*, *Gephyrocapsa ericsonii*, *Umbilicosphaera sibogae*, *Umbellosphaera tenuis*, *Helicosphaera carteri*, *Syracosphaera pulchra* 和 *Syracosphaera* spp. 也比较常见。

利用 *F. profunda* 为相对百分含量重建了南海晚第四纪营养跃层的变化历史。南海西部 MD05-2901 孔海水营养跃层深度过去 45—35 万年较深, 之后开始逐渐变浅, 25 万年至今保持相对稳定, 其中深海氧同位素 4 期和 2 期 (MIS4、2) 出现较大幅度的变深过

程。北部 MD05-2904 孔营养跃层深度冰期-间冰期变化明显, 间冰期深冰期浅。频谱分析显示两个地区主要颗石藻属种变化都具有明显的斜率和岁差周期, 西部还表现出半岁差周期。

南海晚第四纪以来表层海水初级生产力过去 45—25 万年较高, 25 万年之后生产力保持稳定, MIS5 期生产力开始逐渐升高至末次冰盛期后下降。南海北部和苏禄海具有显著的冰期-间冰期旋回, 冰期生产力高, 间冰期时低, 而 MIS3 期相对较高。南海北部主要受到海平面变化和东亚冬季风的影响, 西部更主要受到海流以及东亚夏季风在此区域引起的夏季上升流影响。

南海西部距今约 45—25 万年的“中布容期” *F. profunda* 含量很低, 初级生产力高; 桥石类繁盛, 钙质生产力较高, 碳酸盐堆积速率增加。与此同时南海及世界各大洋碳酸盐溶解加强。这些变化可能与碳储库的改变有重要关系。

S1-P-16S

南海北部 DSH-1C 柱状样晚更新世以来沉积物磁性特征及其环境意义

罗伟¹, 苏新^{1*}, 陈芳², 黄永祥²

1 中国地质大学(北京)海洋学院

2 广州海洋地质调查局

*xsu@cugb.edu.cn

对取自南海北部陆坡“海洋四号沉积体” DSH-1C 柱状样, 进行了沉积学和磁学分析, 结合相关资料探讨了该柱状样沉积物磁性特征的纵向变化及其与该区沉积环境变化的关系。结果表明: DSH-1C 柱状样自上而下共划分三个岩性单元, 表层沉积物为全新世氧同位素 1 期 (MIS1) 以粘土质粉砂为主的深海-半深海沉积; 中部含数层重力流沉积夹层为晚更新世氧同位素 2 期 (MIS2) 沉积; 底部为晚更新世氧同位素 3 期 (MIS3) 粘土质粉砂。该柱状样磁化率 (χ) 值平均值为 1.72

$\times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$ 。所有样品的等温剩磁 (IRM) 均已达到饱和等温剩磁 (SIRM) 的 80% 以上, S300 的最小值为 0.605。该柱状样沉积物中的磁性矿物极少, 以低矫顽力矿物为主; 该柱状样磁性特征在陆源物质输入较多的间冰期 (MIS1 和 MIS3 期), 磁性参数值较高; 反之, 在 MIS2 磁性参数值较低, 可能与冰期该区陆源物质减少有关。此外, 该岩心柱中富含孔虫壳体或双壳碎屑的重力流层沉积物的磁性参数值低, 与这些逆磁性碳酸盐组分的增加有关。

S1-P-17

1.8-0.7Ma BP 时段南海北部周边地区植被演替

罗运利^{1*}, 翁成郁², 孙湘君^{1,2}

1 中国科学院植物研究所

2 同济大学海洋地质国家重点实验室

*lyl@ibcas.ac.cn

对南海 ODP1145 站 91.9~155.276mcd 层段 (0.67-1.8Ma BP) 300 个深海沉积物孢粉样品进行分析鉴定。由微体古生物化石年龄进行线性内插获得各个层位的年龄数据。样品分辨率为 21 cm/样, 时间分辨率约为 3.7ka/样。研究结果表明: 花粉沉积率呈现明显的周期性波动。当孢粉沉积率高值期时, 温带植被花粉百分含量高, 蕨类孢子与花粉的比值为低值; 当孢粉沉积率低值期时, 热带亚热带花粉百分含量高, 蕨类孢子与花粉的比值为高值; 二者交替变化。花粉沉积率高值代表相应的冷期气候, 对应着冬季风的强盛期; 蕨类孢子与花粉的高比值, 代表相应的暖期气候, 对应着夏季风的强盛期。1.2Ma BP 以前, 花粉沉积率波动频繁, 周期较短; 蕨类孢子与花粉比值相对较低, 多低于 50%; 1.2Ma BP 以后, 花粉沉积率波动周期变长; 蕨类孢子与花粉比值升高, 多在 50% 以上, 可能代表 1.2Ma BP 以后, 夏季风增强。对花粉沉积率以及蕨类孢子与花粉比值变化频谱

分析表明具有 200ka, 90ka, 44ka 以及 24ka (18ka) 的轨道周期。

S1-P-18

东亚地区 8.5kaB.P.以来雨带南北迁徙记录

南青云^{1*}, 李铁刚¹, 陈金霞², 于心科¹, 孙晗杰^{1,3}

1 中科院海洋研究所

2 国家海洋局第一海洋研究所

3 中国科学院研究生院

*nanqingyun@ms.qdio.ac.cn

通过高精度的 AMS14C 年代测定以及地球化学手段, 本文重建了北黄海泥质沉积区 B-Y14 孔 8.5kaB.P.以来的海水古温度、沉积速率以及有机碳含量和有机同位素组成记录。该孔十年际分辨率的记录揭示了北黄海早全新世以来海平面变化所主导的海洋环境演化的历史。

古温度记录显示 8.2ka B.P.和 7.3ka B.P.存在着明显的降温过程, 降温幅度达到 3.5°C; 降温过程中沉积速率明显减小, 陆源物质的输入同时降低。与北半球冰芯记录和太阳黑子活动记录对照显示, 早全新世这两次降温可能为全球性降温事件, 对于北黄海来说, 由于当时水深很浅, 太阳辐射量的减少所导致的海陆温差加大造成了海水较高的温度降幅; 而此时减弱的夏季风很可能是导致陆源有物质输入降低的主要原因。降温之后的温度迅速回升则和沉积速率的急剧升高可能是海平面急速上升所导致的, 这与前人在该海区的海平面研究相一致。6.3ka B.P.以后海平面变动较小, 海水温度及有机碳同位素记录存在着百年尺度的振荡, 这些百年尺度的振荡与太阳活动存在着很好的对应关系, 当太阳活动减弱的时候海水温度降低, 陆源物质的输入减少。

通过与中国东部 Dongge 洞石笋 (Wang et al., 2005) 以及冲绳海槽 MD05-2908 孔高分辨率古气候记录对比显示, 当太阳活动减

弱时, 南北记录 (MD05-2908 vs B-Y14) 在温度上均表现为下降的趋势 (幅度有所差异), 但表征降雨信息的陆源物质的输入却存在着较显著的差异: 南部 MD05-2908 孔表现为陆源物质输入增加, 北部 B-Y14 孔则显示陆源物质的降低, 而中部的 Dongge 洞石笋的记录则显示湿度的降低。

An et al. (2000) 认为受太阳辐射量变化的影响, 中国不同地区全新世最大降雨量的开始时间是不一致的, 从而导致中国不同地区全新世最佳期起止时间的不一致性。Wang et al. (2004) 认为不同区域间可对比的气候变化的主控因素是 ITCZ 的南北移动。通过取自巴西东北部高分辨率石笋记录与亚洲季风区石笋记录, Wang et al. (2004) 发现发生于南半球的冷湿事件恰好对应于东亚夏季风变弱的冷干状态, 而这些夏季风消沉的时期又与 Cariaco 盆地降水低值期间具有很好的对应性, Cariaco 盆地沉积记录的降水事件受 ITCZ 控制明显 (Peterson et al., 2000)。我们基于东亚不同纬度区域的气候记录对比研究表明, 全新世以来东亚各地的降雨特征并不一致, 造成这种不一致的因素很可能是受太阳辐射量影响的 ITCZ 及其相关雨带的南北移动及其驻留时间长短所导致的, 而特定时期雨带的长时间局部驻留也可能是导致我国不同地区文明兴衰的一个重要因素 (Zhou et al. 2004; Chen et al., 2003; Feng et al., 2006)。

S1-P-19

中全新世以来南海北部珊瑚氧同位素记录的亚洲季风气候变率演化

苏瑞侠^{1*}, 李再军²

1 中国科学院南海海洋研究所

2 兰州大学资源环境学院

*srx@scsio.ac.cn

对南海北部海南岛东岸 2 个 17 年和 36 年长的现代珊瑚和 2 个中全新世~5400 年前

40 年长和~4400 年前 54 年长的化石珊瑚高精度 $\delta^{18}\text{O}$ 亚洲季风气候变率记录研究表明, ~5400 年前珊瑚平均、最大和最小 $\delta^{18}\text{O}$ 值比现代珊瑚分别高出 0.49‰、0.69‰和 0.14‰, 而~4400 年前珊瑚平均、最大和最小 $\delta^{18}\text{O}$ 值比现代珊瑚分别高出 0.75‰、0.66‰和 0.5‰。根据这些数据, 再结合现代珊瑚 $\delta^{18}\text{O}$ 值与海水表层温度和盐度的线性相关关系以及其它有关全新世西太平洋、热带太平洋和南海已有的研究成果, 我们认为, 中全新世南海平均、夏季和冬季海水表层盐度 (SSS) 分别比现在至多高 1.5‰、1‰和 2‰, 而~5400 前海水表层温度 (SST) 平均、夏季和冬季分别比现在至少低 2.2℃、3.1℃和 0.6℃, ~4400 年前 SST 平均、夏季和冬季分别比现在至少低 3.7℃、3℃和 2.6℃。中全新世如此典型的 SST 降低和 SSS 增高, 可能与亚洲季风, 特别是冬季风的增强和沿续有关。由于冬季风加强, 南海气候变得相对干冷, 从而使降雨量减小, 海水蒸发增强而导致盐度升高。~5400 年前夏季 SST 至少低于~4400 年前 0.1℃, 而其平均和冬季 SST 至少高于~4400 年前 1.5℃和 2℃; 而~5400 前夏季 SSS 则至多高于~4400 年前 0.16‰, 其平均和冬季 SSS 则至多低于~4400 年前 0.06‰和 0.25‰。这表明, 中全新世时, 由于亚洲季风的强弱变化而导致 SST 和 SSS 发生较明显的波动。相对来说, ~5400 前夏季温度比~4400 年前稍低使其降雨量相对减小而导致海水盐度明显升高, 表明~5400 前夏季风比~4400 年前稍弱; 而~5400 年前平均和冬季温度明显偏高、盐度明显偏低低于~4400 年前, 表明~5400 年前全年季风和冬季风相对温暖湿润使降雨量增加而导致海水盐度偏低, 说明~5400 年前全年季风和冬季风明显弱于~4400 年前。

~5400 年前珊瑚 $\delta^{18}\text{O}$ 值的全年和冬季变化幅度比现在分别高~26%和~23%而其夏季变化幅度比现在则低~18%, 比~4400 年前分别高~16%和~12%而其夏季变化幅度比~4400 年前则低~32%。这就表明~5400 前的全年和冬季风变化幅度及其季节性变化比现在和~4400 年前都要大而其夏季风变化幅度

和季节性变化则相对于现在和~4400 前均较小。这表明海水表层温度和海水 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化, 特别是在冬季, 与太阳辐射的季节性变化息息相关, 太阳辐射的季节性升高控制着中全新世珊瑚 $\delta^{18}\text{O}$ 值的季节性升高。

在年际变化上, ~5400 年前珊瑚平均、最大和最小 $\delta^{18}\text{O}$ 值比~4400 年前分别升高~19%、~4%和降低~38%, 而比现在分别升高~23%、~22%和降低~24%。这说明, 在中全新世, 特别是~5400 年前, 全年季风和夏季风的年际变化比现在大, 但其冬季风的年际变化比~4400 年前和现在都小。

频谱分析结果表明, ~5400 年前、~4400 年前和现代珊瑚 $\delta^{18}\text{O}$ 值都很明显地记录了~3.2—2.6 年和~1.5 年周期的强烈变化。~2.6—3.2 年变化周期位于 2—8 年厄尔尼诺—南方涛动 (ENSO) 的变化周期内, 当地现代降雨、气温、海水表层温度和盐度都明确地记录了这一变化, 表明现代和中全新世珊瑚以及当地降雨、温度和盐度都受到 ENSO 的强烈影响; 当地现代降雨、气温以及海水表层温度和盐度也都很明显地记录了~1.5 年周期的变化, 这表明他们共同对现代珊瑚生长产生影响, 同样表明, 中全新世珊瑚生长也受到了降雨、温度和盐度的共同影响。

从长期趋势变化来看, ~5400 年前珊瑚最小、平均和最大 $\delta^{18}\text{O}$ 值的降低趋势与现在和~4400 年以前是一致的, 而现代珊瑚最小、平均和最大 $\delta^{18}\text{O}$ 值的降低趋势与南海北部降雨量和表层海温的增高趋势以及日照和表层盐度降低趋势是一致的, 说明从中全新世以来, 特别在~5400 年前、~4400 年前、和 1967—2003 这三个时间段内, $\delta^{18}\text{O}$ 值的降低趋势是温度和降雨量的逐渐增加以及日照和盐度的逐渐降低共同作用的结果。

S1-P-20S

西菲律宾海 1Ma 以来碳长周期变化

孙晗杰*, 李铁刚

1 中科院海洋所

*hanjiesun@yahoo.com.cn

本文选取位于吕宋岛以东西菲律宾海区本哈姆隆起之上的 MD06-3050 岩 (15° 57.0943' N, 124° 46.7747' E, 水深 2967 m), 该岩芯主要含钙质软泥, 有明显的火山灰层。选取岩芯 16.6m, 进行浮游有孔虫表层种 *Globigerinoides.ruber* 和 温跃层种 *Pulleniatina obliquiloculata* 分别进行氧碳稳定同位素分析以及碳酸盐百分含量测试。

通过钙质超微化石 *E.huxleyi* 的初现、*P.lacunosa* 的末现、以及中更新世微玻陨石的出现时间作为年代控制点, 与 LR04 标准氧同位素进行对比, 建立了 1Ma 以来的氧同位素地层曲线。

根据碳同位素测定结果, 发现 1Ma 以来 *P.obiquiloculata* 的 $\delta^{13}\text{C}$ 存在三次极大值事件, 分别对应于 1Ma、500ka 以及 100ka 左右。这与世界范围内的碳同位素重值事件具有一致性。而 *G.ruber* 的 $\delta^{13}\text{C}$ 周期性变化不明显, 并且存在较大程度的波动。可能与表层水体受影响因素复杂有关, 也表明, 西太暖池区的次表层水体在参与全球气候变化中具有重要的作用。

通过该岩芯的碳酸盐百分含量测试结果, 发现, 碳酸盐含量变化在 1Ma 以来也具有明显的周期性。在 MIS31 期, 出现明显的碳酸盐含量降低, 持续到 MIS25 期。恰好同中跟新世革命伊始的 $\delta^{13}\text{C}$ max 事件相对应; MIS13 期出现了 $\delta^{13}\text{C}$ max, 随后, 发生了中布容时期碳酸盐溶解事件。这也与全球范围内的中布容事件具有一致性。因此, 1Ma 以来西菲律宾海的碳具有长周期变化。与全球碳储库变化具有的一致性。

S1-P-22S

东海陆架末次间冰期以来层序地层与古环境

王中波^{1,2,3*}, 杨守业³, 张志珣^{1,2}, 李日辉^{1,2}, 蓝先洪^{1,2}

1 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室

2 青岛海洋地质研究所

3 同济大学海洋地质国家重点实验室

*my_zhongbo@163.com

东海陆架是世界上最大的大陆架之一, 从海岸带到陆架坡折带宽度超过 550 km, 陆架上的沉积物受到复杂多变的沉积作用控制, 包括西太平洋潮波系统、东海环流等。其晚第四纪沉积的物质来源主要是周边陆源河流如长江, 形成了东亚的主要陆源碎屑物的沉积汇, 因此晚第四纪的古环境变化被很好的记录在陆架地层之中。通过对比研究东海外陆架的高分辨率浅地层剖面记录的层序地层与过井地质钻孔 SFK-1 的微体古生物、粒度和 OSL 及 ^{14}C 测年, 对东海末次间冰期以来的地层演化和沉积环境进行了系统讨论, 对比前人研究成果, 提取了 LGM 在东海外陆架地层中的沉积记录, 并获取了 100 kaB.P. 以来的海平面变化与地层演化的对应关系。

S1-P-23S

赤道西太平洋晚第四纪粘土矿物记录: 翁通-爪哇海台 97321-2 孔初步研究成果

吴家望*, 刘志飞, 周超

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

*87514_wjw@tongji.edu.cn

翁通-爪哇海台 97321-2 孔晚第四纪 370 Ka 以来粘土矿物和氧同位素的分析表明, 主要粘土矿物含量表现出明显的冰期-间冰期旋回变化。蒙脱石 (62—91%) 的相对含量在冰期时增高, 间冰期下降; 而绿泥石 (4—21%)、伊利石 (4—12%) 和高岭石 (2—10%) 则与蒙脱石分别呈明显的镜像变化。

蒙脱石含量占绝大多数, 与该地区单一的地质背景相符。又因为该孔粘土矿物含量较低 (20—30%), 结合蒙脱石结晶度、长

石/石英之比等指标,表明该孔蒙脱石为陆源碎屑成因。

该站位粘土矿物含量的变化与表层/次表层洋流变化密切相关。推测冰期时,陆地暴露而剥蚀速率增大海平面下降而导致河流河口远离大陆,海水温度梯度增大而洋流增强(流经该区域的北赤道流),蒙脱石粒径相对其他粘土矿物较小,且该站位离陆地较远,以上这些都是蒙脱石含量在冰期时上升,而在间冰期下降的有利因素。此外,现代该区域的雨季为 11—4 月份,故推测冰期时 ITCZ 南移,强降雨量也会进一步导致风化增强。

S1-P-25S

近千年热带太平洋沃克环流演化及其与全球气候变化的关联

晏宏¹, 孙立广^{1*}, 柳中晖², 刘晓东¹

1 中国科学技术大学地球与空间科学学院极地环境研究室

2 香港大学, 地球科学系

*slg@ustc.edu.cn

热带太平洋沃克环流在结构上与 ENSO 系统以及季风系统密切结合,对全球气候有着非常重要的影响。因此了解太平洋沃克环流的长期变化对理解厄尔尼诺的演化以及全球气候变化有着非常重要的意义。但是,由于沃克环流是一种大尺度的大气环流系统,本身缺乏直接的度量方式,因此要恢复其长期变化存在不少困难。已有的一些研究尝试通过树轮、珊瑚等替代性指标扩展沃克环流记录,但这些扩展记录之间可重复性较差,而且大多不足 500 年;中世纪暖期是距离现代最接近的自然气候暖期,它的气候条件对于我们正确对待全球变暖下的人类生存环境有着重要的参考意义,但是对于中世纪暖期时的沃克环流变化目前依然缺乏可靠的信息。

处于沃克环流偶极子两端的西太平洋暖池和东太平洋冷舌的水文是对沃克环流变化响应最为灵敏的区域,器测资料也表明处于沃克环流上升支区域的西太平洋暖池降雨量与沃克环流强度指数(用 SOI 代替)呈显著的统计正相关,而处于沃克环流下沉支区域的冷舌地区降雨量则与沃克环流强度呈显著的负相关。近两年里,在西太平洋暖池和东太平洋冷舌区域,相继报导了一些水文记录(包括我们在南海做的工作),这些水文记录对于帮助我们将沃克环流记录扩展到中世纪暖期具有重要的意义。依据这些水文记录,运用合适的数理统计方法,我们重建了过去千年的沃克环流强度变化。结果显示,沃克环流在 1000—1400 年和 1800—2000 年偏弱,而在 1400—1800 年的小冰期则偏强。

现代气象过程中,太平洋沃克环流以及与之关联的厄尔尼诺事件是全球气候年际异常的主要影响因素,它与亚洲季风、北大西洋涛动等大气环流系统之间都存在明显的交感。对于沃克环流、亚洲季风、北大西洋涛动等古气候记录的综合分析表明,这种现代器测资料显示的交感过程在过去千年依然存在。说明太平洋的气候变化在过去千年也有可能跟现代过程一样是影响全球气候变化的主要因素。

此外,近百年的器测资料表明,太平洋沃克环流处于减弱状态,一些研究将这种减弱趋势归因于人类活动导致的全球变暖。但是从过去千年的情况来看,沃克环流强度与太阳辐射直接存在明显反相关。因此,最近百年的沃克环流减弱很有可能是同期太阳辐射增强所致,而不完全是人类活动的结果。

S1-P-26S

中尺度海—气—浪耦合模式在大时间尺度上的应用初探

杨海源*

中国海洋大学数学科学学院

*yanghaiyuan075@163.com

研究探讨第四纪气候波动的过程，有助于认识全球气候变化的区域响应，“深海973”项目研究表明热带驱动和碳循环在气候演变中起到重要作用，对其正确认识是预测气候长期演变趋势的前提。在热带驱动和碳循环研究过程中，有限的地质资料难以满足人们的研究需求，如能解决地质变化—海洋过程—气候变化三个相互联系、相互影响的子系统之间的数值耦合模型建立问题，将对利用地质资料更科学、有效的量化研究古气候变化起到重要作用。但是利用有限的地质观测资料，建立有效的数值耦合模型，困难很大。

近年来，对中尺度海—气相互作用、气—浪相互作用、陆—气相互作用的研究逐渐深入，建立了各种海—气—浪耦合模式系统，是进行沿海海洋环境预报，特别是灾害性天气过程预报的重要工具和有效手段。那么考虑把现有的中尺度海—气—浪耦合模式系统进行修正和调整，使之能适应大时间尺度的应用，从地质资料中提取的大时间尺度之前的海洋温度、盐度等参数作为该耦合模式的输入，得出当时的气候状态、气象参数等相对定量的研究结果。

这一研究方向是地质、海洋海浪、气候、数学多个学科的融合。以现代海洋与海浪研究为理论基础和原型，以数值模型和数值分析为手段，用现有的古地质资料和定性的古气候分析为验证数据，对研究较为普遍的中尺度海—气—浪耦合模式进行改进和修正，使之能够适应大时间尺度的应用，从而可以使得通过研究地质资料，利用修正的中尺度海—气—浪耦合模式，建立地质资料与定量气候分析之间的桥梁。利用该模式，可以通过古地质资料得出古气候与气象信息，也可以通过古气候信息，得出古海洋与陆地状况。能够更为有效地利用考察得到的地质与气候数据，从中获得更多、更精确的信息，为研究全球的气候、海洋与地质变化，提供了一种更为有效、定量与科学的研究手段。

该研究的现实基础是大气、海洋、海浪等因素之间的相互作用非常明显。海洋—大气相互作用主要通过发生在海洋与大气界面的

各种物理过程来实现。大气主要通过动量通量和热通量的改变来影响海洋，海洋则通过海表面温度影响大气，海气界面温差的改变常常影响海洋—大气之间的热交换，从而影响大气的运动。大气主要通过风来驱动和产生海浪，而海浪的成熟和发展将改变海洋表面的粗糙度从而影响大气，此外，海浪充分成长后将破碎并产生飞沫，这也将改变大气和海洋间的热通量和风应力。海洋和海浪之间主要是通过波—流相互作用来相互影响。海洋将流速、流向和水位提供给海浪，而海浪通过波致应力来影响海表和海底的应力。在应用建模中，中尺度海—气—浪耦合模式系统MCMS一般抽象为四个模式分量：大气模式分量，海洋模式分量，海浪模式分量和耦合器模块。耦合模式通过模式分量之间参数交换来实现的：大气模式向海洋模式输出动量和热通量，向海浪模式输出海表面风速；海洋模式则向大气模式输出海表温度，而向海浪模式输出海表面流速和水位；海浪模式向大气模式输出海表粗糙度，向海洋模式输出海表面的摩擦速度。在大时间尺度的各个时间节点上，模式分量之间参数交换所遵循的物理规律相同，数学表达会因大气、海洋中的化学成分差别而引入不同的修正量。

该研究方法创造性地提出利用现有海洋、大气、地质的研究与观测资料，把海洋、大气、地质中复杂的动力、物理、化学、生物过程利用数学方法建成数值模式，并且将该模式利用古地质资料与气候推测进行修正，使之推广到大时间尺度上进行有效应用，为研究全球的气候、海洋与地质变化，提供了有效、定量与科学的研究手段。

S1-P-27

日本海末次冰期千年尺度古环境变化的地球化学记录

姚政权*, 刘焱光, 王昆山, 石学法

国家海洋局第一海洋研究所

*yaozq@126.com

日本海末次冰期交替出现的深色纹层与浅色层沉积可能记录了格陵兰冰芯指示的 Dansgaard-Oeschger 旋回冷暖变化。本文对取自日本海南部 KCES1 岩芯纹层沉积进行了高分辨率 XRF 岩芯扫描地球化学测试,运用因子分析来判别沉积物不同组分和来源。结果显示深色纹层沉积中指示陆源碎屑来源的元素 Al, K 和 Ti 含量较高,而代表生源组分的元素 Ca 和 Sr 含量较低;浅色层沉积则呈现相反的变化趋势。这些深浅色纹层交替沉积元素含量变化指示的陆源碎屑输入波动记录了 Dansgaard-Oeschger 旋回的信号,与冷期相比,在温暖期钻孔沉积中较多的陆源碎屑输入可能是由加强的东海沿岸流带入日本海。末次冰期格陵兰和北大西洋等高纬地区气候变化导致大气环流和/或洋流系统发生改变,从而对东亚季风降水的调控可能是造成 KCES1 岩芯中元素含量变化的主要原因。

S1-P-28S

东亚季风控制的渤海南部 250 ka 以来的环境特征

易亮^{1,2*}

1 国家海洋局第一海洋研究所

2 中国科学院烟台海岸带研究所

*yi.liang82@gmail.com

本文主要针对 250 ka 以来渤海南部 Lz908 孔的沉积序列进行年代学和沉积学研究,通过年代框架的建立、环境代用指标的意义解读,并与区域和全球变化相对比,讨论了渤海南部晚中更新世以来的环境过程和驱动因素。粒度、磁化率等指标间的关系,以及区域和全球的对比表明:沉积物中细颗粒组分代表了夏季风的变化,但细颗粒含量增高时,指示了夏季风的强盛,反之则减弱;粗颗粒组分含量和磁化率与冬季风相关,粗颗粒组分含量增加、磁化率升高时,代表了冬季风的强盛,反之则弱;与黄土—古土壤序列、石笋氧同位素序列和深海氧同位素序列

在轨道尺度上对比良好;沉积序列包含 27 ka 和 126 ka 的显著周期成分,暗示了区域环境变化是由太阳辐射驱动控制的。

S1-P-29

青藏高原北部 MIS 3 以来气候与环境演变:进展、问题与思考

余俊清^{1*}, 张丽莎¹, 高春亮^{1,2}, 成艾颖^{1,2}, 刘永^{1,2}

1 中国科学院青海盐湖研究所

2 中国科学院研究生院

*junquyu@isl.ac.cn

青藏高原北部的冰芯、湖泊沉积、冰期冰碛物研究结果为重建高原气候与环境的演变过程提供了重要的环境代理记录。青海湖地震地层和沉积岩芯的研究结果揭示了东亚夏季风外部边缘区 MIS 3 以来的环境演变特征:(1) MIS 3 期间高原东北部的环境既非完全冰期也非完全间冰期,当时的湖泊面积比全新世期间小很多,即有效湿度低于全新世。(2) LGM 期间区内处于极端干冷的环境中,当时的冰川覆盖率低于 MIS 3 期间的可能性很大。(3) 区内温度和降水量大幅度上升始于全新世;晚全新世期间的有效湿度(P-E)大于早全新世。

青海湖环境代理记录与我国南海北部岩芯、日本琵琶湖的环境代理记录对比结果显示,三地在 MIS 3 期间的古环境格局总体一致,与欧洲 Stage 3 Project 的研究结果相吻合。在 LGM 全球性极端寒冷的气候背景下,我国夏季风外部边缘区干冷少雨势在必然。在这种情况下,青藏高原上受降水控制的湖泊水位在 LGM 期间高于全新世的可能性不大。南京葫芦洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 与格陵兰冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 这两个高分辨率环境代理记录呈现较好的可对比性,却与青藏高原古丽雅冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录差异明显。无论是从深究这些代理记录的环境含义的角度,或是以了解区域气候变化的异同,以及研究造成区域气候变化的动因和

机理为着眼点, 探寻这些问题的答案显得十分必要。

MIS 3 以来的环境演变与人类赖以生存的地球环境紧密关联, 它还在很大程度上控制着青藏高原上盐湖矿产资源的形成和演化, 因此应当引起我们更多的关注, 并开展更加深入的研究。

S1-P-30S

苏门答腊海区晚更新世以来的季风上升流活动记录

赵悦*, 丁旋

中国地质大学(北京)海洋学院

*pianpian0612@163.com

BAR9432 岩芯(0.409 N, 97.302 E, 水深 2760 m, 岩芯长 673 cm)取自印度尼西亚岛弧南部苏门答腊海域, 属于西太平洋暖池区。通过该岩芯的浮游有孔虫组合及其所反映的温盐变化特点, 分析研究区晚更新世以来的古季风与上升流活动特点, 探索它们与全球气候变化的关系。

将 BAR9432 岩芯氧同位素曲线与全球大洋标准氧同位素曲线比较, 识别出氧同位素事件 3.13、4.0、5.0, 根据 Martinson 的 $\delta^{18}\text{O}$ 地质年代表确定这三个事件的年龄, 将其和位于 25 cm、75 cm、115 cm、185 cm 和 275 cm 处 5 个 AMS14C 测年校正后的日历年龄作为年龄控制点, 利用沉积速率内插法, 得出岩芯底部年龄为 131.87kaBP。该岩芯 MIS2、3 期沉积速率最高, MIS5 期沉积速率最低, 大体与相对海平面高度曲线反相关, 推测末次冰期的高沉积速率是由于当时海平面降低, 该站位离岸线距离较近, 陆源物质输入增多造成的。

碳同位素、有机碳含量、浮游及底栖有孔虫沉积通量、上升流高生产力种 *Globigerina bulloides* 含量均可指示古生产力变化, BAR9432 岩芯~60kaBP 前古生产力明显较低且波动很小; 在~60kaBP 以来呈现短周期的较大幅度变化, 古生产力较高。推测

末次冰期, 由于全球冰量增加, 海平面下降, 陆源营养物质输入量增加, 造成古生产力升高; 末次间冰期及冰后期则相反。然而冰期时高生产力表现形式不同, 推测与季风活动有关。

BAR9432 岩芯浮游有孔虫组合显然受到冰期效应和季风活动的共同影响。*G.bulloides* 及广适种 *G. glutinata* 在~60kaBP 以前丰度较低, ~60kaBP 以来丰度显著上升; 低盐高生产力种 *Neogloboquadrina dutertrei* 则相反, 是受 10 万年周期影响造成的。然而~60kaBP 以来, 又能看到 2.3 万年岁差周期对其的影响, 较明显的是北纬 30° 夏季日照率高值对应高生产力种 *G. bulloides* 及 *G. glutinata* 较高丰度, 但日照率对于 *G. glutinata* 的峰值会有一些滞后, 推测应是西南夏季风增强的结果。

利用浮游有孔虫现代类比技术(MAT)恢复了表层海水古温度(SST)及盐度(SSS)。古温度大体上可呈现出冰期 SST 低, 间冰期 SST 高的冰期旋回。盐度变化较复杂, ~60kaBP 以前盐度较低, 对应低盐种 *N. dutertrei* 丰度较高, 高盐种 *Pulleniatina obliquiloculata* 丰度较低; MIS3 期早、晚期 SSS 最低, MIS2 期早期有一盐度的突出峰值, 全新世 MIS1 期 SSS 较低。利用温跃层转换函数, 对温跃层深度进行了定量估算与浮游有孔虫混合层/温跃层种比值得到的定性结果相吻合。温跃层整体深度较深, 在 174 m 左右波动, 体现堆水反应, 末次冰期以来温跃层有逐渐变浅的趋势, 在冰消期深度最浅, 平均为 163 m。得到的古温度、盐度及温跃层深度均在一定程度上符合北纬 30° 夏季日照率的变化, 说明研究区受西南夏季风活动的影响较大。特别是冰消期 14~9kaBP, 上升流种 *G. bulloides* 的含量最高, 可以忍耐低温的草食性有孔虫 *N. dutertrei* 和 *N. pachyderma* 也出现峰值, 此时温跃层深度最浅, 位于光补偿深度之上或接近光补偿深度, 明显是强烈的西南夏季风引起的上升流活动造成的结果。

另外, 在岩芯中可以识别出氧同位素 3 期以来一些短期的气候突变事件, 特别是记

录在通过浮游有孔虫组合恢复的表层海水古温度中的 Heinrich 事件。

S1-P-31

东南极冰盖 Dome A 的浅层古积累率重建

唐学远^{1,2*}, 孙波¹, 张向培¹, 崔祥斌¹, 李鑫¹, 张占海¹

1 国家海洋局极地科学重点实验室, 中国极地研究中心, 上海 200136

2 中国海洋大学海洋环境学院, 山东青岛 266100

*tangxueyuan@pric.gov.cn

冰盖内部的等时层结构和浅层积累率是数值模拟末次冰期冰盖演化的必要参数和边界条件之一。通过对 2004 / 05 年度中国 21 次南极考察队在 Dome A 获取的高频雷达数据的分析, 示踪出三条内部等时层, 利用穿越 Dome A 内部等时层与 Vostok 冰芯钻取位置的交定年, 得到层上相应的深度-年代关系。将深度-年代关系作为输入, 使用一个一维冰流模式计算了 Dome A 过去 8.46 万年以来三个不同阶段的古积累率, 揭示了 Dome A 地区在相应历史时期的古积累时间与空间变化。结果显示 Dome A 核心区域的古积累率有着一致的分布特征, 且在过去 32.6kyr, 44.6kyr, 84.6kyr 这三个晚更新世的不同时期, Dome A 核心区域的平均积累率较低, 分别为 0.020m/yr, 0.023m/yr, 0.018m/yr, 发现在距今 3.5—4.5 万年间存在一个相对较为湿润的时期; 此外, 沿着 Dome A 中心区域向其外围积累率的空间变化也被给出。

S1-P-32

西北冰洋楚科奇深海平原晚第四纪的古海洋与古气候记录

王汝建^{1*}, 肖文申², 李文宝¹, 孙烨忱¹, 陈建芳³, 高爱国⁴

1 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

2 Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven, 27517, Germany

3 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012

4 厦门大学海洋系, 厦门 361005

*rjwang@tongji.edu.cn

北冰洋是一个以气候, 水文, 沉积和生物学为特征的复杂自然系统, 其与众不同的特征在于大部分区域长期被海冰覆盖, 非常重要的大陆架和陆架沉积过程, 不同来源的水团以及各水团之间复杂的相互作用等, 从过去到现在都发生着深刻的变化, 对北冰洋及其以外地区产生了深远的影响。本项目研究的材料来自中国第二次北极科学考察在北冰洋西部楚科奇深海平原钻取的 M03 孔 (171°55'52" W, 76°32'13" N, 水深 2300 米) 沉积物样品。通过对该孔沉积物的地层学, 沉积学和地球化学等综合研究, 建立了该孔的地层年代框架, 其沉积物被划分为 MIS (氧同位素期) 7~MIS 1 的沉积序列。晚第四纪以来该区可以识别出 7 个冰筏碎屑 (IRD) 事件, 它们分别出现在 MIS 1, MIS 3, MIS 5 以及 MIS 7。它们主要被大冰块或者冰山所夹带, 通过加拿大北极群岛的麦克卢尔海峡冰流输出到波弗特海, 并被波弗特环流输送至楚科奇深海平原。由于北冰洋西部海冰和冰山的分布受波弗特环流控制, 冰期的冰封环境和减弱的波弗特环流使冰筏碎屑含量减少, 而间冰期较为开阔的海况和加强的波弗特环流可导致其含量增加。因此, 楚科奇深海平原晚第四纪的冰筏碎屑事件不仅指示了这些粗颗粒沉积物的来源和冰山的输出事件, 而且还反映了波弗特环流和北美冰盖的变化历史。发生在 MIS 1, MIS 5 和 MIS 7 的 4 次冰筏碎屑事件可追踪到加拿大北极班克斯岛冰架的垮塌事件。该孔浮游有孔虫 *Neogloboquadrina pachyderma* (s.) (Nps) 壳体的稳定氧碳同位素, 结合浮游有孔虫丰度和冰筏碎屑含量的研究显示, 楚科奇深海平原自 MIS 7 以来, Nps 的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别在 MIS 1, MIS 4 与 MIS 5 界线, MIS 5 和 MIS 6 出现 7 次 Nps $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值的明显偏

轻,可能响应于提高的海冰形成速率,导致轻同位素卤水的下沉和生产。这些偏轻的 Nps $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值与温暖的大西洋水和淡水的输入无关,因为偏轻的 Nps $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值对应于极低的浮游有孔虫丰度和冰筏碎屑含量,反映进入北冰洋的大西洋中层水减弱和楚科奇海陆架水的大量减少。在晚第四纪冰期与间冰期旋回中,楚科奇深海平原可能存在两种完全不同的环境模式。碳酸钙 (CaCO_3) 含量和浮游有孔虫丰度在间冰期的增加和冰期的降低,分别指示大西洋水输入的加强和减弱。而有机碳 (TOC) 和生源蛋白石 (Biogenic Opal) 含量的变化可能主要与输入到海底的 TOC 降解和 Opal 溶解作用与底层水中的溶解氧有关。间冰期低的 TOC 和 Opal 含量可能反映楚科奇海盆海冰覆盖减少,营养盐供给多,表层生产力增加,通气作用好,底层水富氧,降解和溶解作用增强,保存在沉积物中的 TOC 和 Opal 减少;而冰期相对高的 TOC 和 Opal 含量可能反映楚科奇海盆海冰覆盖时间较长,营养盐供给少,表层生产力较低,通气作用差,底层水少氧,降解和溶解作用减弱,保存在沉积物中的 TOC 和 Opal 增多。以上研究探讨了晚第四纪加拿大北极冰架的垮塌事件,波弗特环流,以及大西洋水和底层水团的变化,对进一步认识北极在全球气候变化中的作用具有重要的参考价值。

S1-P-33

Preliminary cyclostratigraphy results for Unit III, Hole C0011B (IODP Expedition 322) at Shikouku Basin and its implication for age model

Huaichun Wu^{1*}, Michael B Underwood², Xixi Zhao³, Saneatsu Saito⁴, Hirokuni Oda⁵, Kevin Pickering⁶, Yu'suke Kubo⁷, Shihong Zhang¹, Tianshui Yang¹, IODP Expedition 322 Shipboard Scientific Party⁸

- 1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
- 2 Department of Geological Science, University of Missouri, 101 Geology Building, Columbia, MO 65211, USA
- 3 Earth and Planetary Sciences Department, University of California, Santa Cruz, 1156 High Street, Santa Cruz, CA 95064, USA
- 4 Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka 237-0061, Japan
- 5 Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Central 7, 1-1-1 Higashi Tsukuba 305-8567, Japan
- 6 Department of Earth Sciences University College London Gower Street London WC1E 6BT United Kingdom
- 7 Center for Deep Earth Exploration, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku Yokohama 236-0001, Japan
- 8 IODP Expedition 322 Shipboard Scientific Party
*whcgeo@cugb.edu.cn

Establishment of reliable high resolution age framework is a crucial key to reconstruct paleoenvironment and paleoclimate. Paleontology and magnetostratigraphy are two basic methods to construct age models for marine sediments recovered by scientific drilling (DSDP, ODP, and IODP). However, in some circumstances such as low core recovery, age models provided by paleontology and magnetostratigraphy may have a great age uncertainty. Astrochronology, which based on deciphering the Earth's orbital-induced climate change signal in sedimentary strata, may provide a new tool for recalibrating magnetostratigraphy and enhance age resolution. Here we provide an example of this kind of research on IODP Exp. 322, Site

C0011 (32° 50' N, 136° 53' E) at Shikouku Basin, offshore the Kii Peninsula, Japan.

Five lithology units were identified from Hole C0011B. Unit III is composed of bioturbated silty claystones, lime mudstones with very thin beds of ochre-colored calcareous claystones. The core recovery is ~65%. The preliminary paleontology and magnetostrigraphy age model established by shipboard scientists indicate the age of Unit III ranges from 9.1 to 12.3 Ma. The monotonous lithology of claystones and mudstones of Unit III is suitable for cyclostratigraphy analysis with climate proxies such as gamma ray data. The gamma-ray logging data are from Hole C0011A, which is < 30 m from Hole C0011B. Based on core-log integration using natural gamma-ray data from cores (Hole C0011B) and gamma-ray logging data (Hole C0011A), we add ~3.114 m to the depth of the gamma-ray logging data of Unit III to correlate data between the two holes.

Results from sliding window spectral analysis (40 m) and the wavelet analysis of the gamma-ray logging data indicate that there is an abrupt change of the periodicity at the depth of ~547 m. We divided the gamma ray data into Subunits III-A and III-B for further analysis. The spectral analysis (MTM and B-Tukey) on Subunit III-A revealed the periods of 19.04, 4.45, 1.99, 1.08 and 0.897 m, and the ratio is about 20:5:2:1, which matches well with the Milankovitch cyclicities of 405 ka: 95 ka: 40 ka: and 20 ka (long eccentricity, short eccentricity, obliquity, precession, respectively). Supposed that the sedimentary cycle of 4.45 m was induced by short eccentricity, it will give an average sedimentary accumulation rate of 4.68 cm/ka. It is consistent with results based on the onboard primary age model. We thus consider that the sedimentary cyclicities in Subunit III-A were formed by orbital forcing. With the

same method, we can identify that sedimentary cycles of 6.27, 2.70, 1.90, 1.39 and 1.24 m in Subunit III-B were caused by the short eccentricity (95 ka), obliquity (41 ka and 28 ka) and precession (23 ka and 18.6 ka) cycles. Six Gaussian band-pass filters were designed to extract the Milankovitch cycles at Subunits III-A and -B. We counted 35 short eccentricity, 83 obliquity and 164 precession cycles from the gamma-ray logging data.

Once we determine the sedimentary cycles in Unit III are astronomically controlled, next step is to tune these cycles to astronomical target curves. Since the study area is located at middle-low latitude in northern hemisphere, we hypothesize that the short eccentricity and obliquity components maxima correspond to theoretical 95 ka eccentricity maxima and obliquity maxima, respectively. The initial match points are based on the ages given by the preliminary onboard age model. Filtered short eccentricity, obliquity and precession curves of Unit III have been slid back and forth to get the best visual match of peak locations and amplitudes with La2004 solution. Then the obliquity cycles were tuned to orbital target of La2004 solution since it was the most significant feature in the Milankovitch cycle bundles in Unit III. The tuning results indicate that the extracted 95 ka and 22 ka components can match well with those of La2004 solution, except there is a half short eccentricity offsets in Subunit III B. Also it shows that the normalized gamma ray curve is co-variant with the eccentricity of La2004.

Our tuning results provide a new time scale whose time resolution can reach to ~40 ka, and the age of upper and lower boundary are 9.375 and 12.772 Ma, respectively. There is an abrupt sedimentary rate change at the depth of 547.2 m (~10.77 Ma). The sedimentary rate ranges from 3.56 cm/ka to 6.72 cm/ka with an average of 4.87 cm/ka in Subunit III-A, while

the sedimentary rate ranges from 4.52 cm/ka to 7.74 cm/ka with an average of 6.54 cm/ka in Subunit III-B. A set of expected geomagnetic reversal boundary depths in Unit III can match very well with the observed magnetic reversal sequences measured by shipboard scientists. An improved magnetostratigraphy correlation was produced according to our astronomical time scale.

S1-P-34

Atmospheric Teleconnections of Northern Hemisphere cooling to the Southern Hemisphere midlatitudes

Shih-Yu Lee*, John Chiang

University of California, Berkeley, Berkeley, CA,

United States

*shihyu@atmos.berkeley.edu

Recent marine proxy studies show intensification of wind-driven upwelling in the Southern Ocean during Heinrich events, and suggesting the possibility of robust atmospheric teleconnections from the Northern Hemisphere affecting the Southern Hemisphere midlatitude westerlies. We explore this hypothesis using simulations of an AGCM coupled to a reduced-gravity ocean. When we simulate a Heinrich-like event in our model (by cooling the North Atlantic), we find a significant strengthening of the southern midlatitude westerlies, in particular during the austral winter (JJA), and in the South Pacific. The other pronounced climate change is a marked southward shift of the tropical rainbelt, indicating alteration of the Hadley circulation.

With regards to possible implications for southern ocean ventilation and atmospheric CO₂: we applied the wind changes we obtained in our AGCM 'Heinrich' simulation to a global

biogeochemical model and found a 20 ppm increase to the equilibrated atmospheric CO₂ concentration. In short, we find the scenario as hypothesized by Anderson et al. (2009) to be plausible. Our study elucidates and emphasizes the central role of atmospheric teleconnections in the story, in particular the importance of tropical circulation mediating the intimate coupling between the northern and southern high-latitude climate through atmospheric circulation.

S1-P-35S

末次盛冰期以来苏拉威西海区上层海水对快速气候变化的响应

褚智慧*, 翦知潜, 乔培军, 成鑫荣, 边叶萍

同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*woshichuzhihui@163.com

通过对苏拉威西海 MD98-2178 站位浮游有孔虫定量分析、表层浮游有孔虫 *G.ruber* 镁钙比值反演表层温度 (SST), 结合表层和次表层浮游有孔虫氧、碳同位素, 探讨末次盛冰期以来, 苏拉威西海区温度、盐度、生产力、温跃层深度变化以及对快速气候的响应。研究发现: 末次盛冰期以来, 苏拉威西海区, 末次盛冰期存在明显降温, 较现代海表温度下降了 2.9°C, SST 缺乏对快速气候波动明显响应, 比如 H1 变冷事件, 但是, 盐度、生产力以及温跃层深度等记录显示苏拉威西海区对千百年时间尺度的气候波动存在明显响应。在 H1、YD 等变冷事件期间, 盐度变咸、生产力下降、温跃层深度变浅, 指示东亚冬季风加强, 热带辐合带 (ITCZ) 南移以及印度尼西亚穿越流 (ITF) 减弱。末次盛冰期以来, MD98-2178 站位属种组合、生产力以及温跃层深度都在 11ka 左右存在明显的突变, 并且该变化在南海、印尼海区普遍存在, 推测可能在 11ka 左右南海、印尼海区存在明显的气候变化。

东亚季风区 40 万年来植被演化海陆记录的对比研究

周斌^{1,2,3*}, 沈承德³, 郑洪波¹, 李丽², 王慧²

1 南京大学地球科学与工程学院表生地球化学研究所, 南京 210093

2 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

3 中国科学院边缘海地质重点实验室广州地球化学研究所, 广州 510640

*zhoubinok@163.com

东亚季风区 C₃、C₄ 植被时空演化及其与气候变化的关系一直是该区域古气候环境研究中的热点问题。本项工作选取南海北部 1146 孔, 从中提取正构烷烃碳同位素记录, 并与黄土高原灵台黄土剖面的元素碳碳同位素记录进行对比, 对东亚季风区 40 万年来植被演化及其与古气候因子关系进行探讨。

ODP1146 站 1146A 孔是南海北部深海钻孔取样质量最好的岩芯 (19°27.40' N, 116°16.37' E, 水深 2092 m), 该孔时间序列是根据已有的氧同位素结果获得。采用超声冷抽提方法对该站位顶部 72.5mcd 约 40 万年以来的样品进行有机分子标记物的提取, 利用 GC-IRMS 测定正构烷烃碳同位素比值。1146 岩芯长链正构烷烃 n-C₂₇ 碳同位素值变化范围为-23.78‰~-30.13‰, 平均值为-27.88‰; 呈现冰期偏重、间冰期偏轻的旋回变化规律。根据前人研究, 选择-34‰和-19‰分别作为 C₃、C₄ 植物正构烷烃碳同位素的端元, 采用二端元法得到该区域 C₃、C₄ 植物比例变化。1146 孔正构烷烃碳同位素结果表明, 40 万年以来冰期时期 C₄ 植物明显增多, 间冰期 C₃ 植物相对较多。黄土剖面中元素碳碳同位素结果表明, 黄土高原中部植被变化无明显的冰期—间冰期旋回变化规律, 而是呈现三阶段的波动变化: S3 时期 (MIS9 时期) C₃ 植物较多; L3—L2 时期 (MIS8—MIS6 期) C₄ 植物较多, 碳同位素

偏重; S2—S0 时期 (MIS5-MIS1 时期) C₃ 植物较上一时段增多。

陆地植被中 C₃ 植物主要由乔木、灌木和喜冷的草本等组成, 多适宜于偏湿的环境; C₄ 植物主要由喜暖的草原植被组成, 更适宜于日照充足、气温较高和水分条件偏干的地区。在南海北部, 寒冷干旱的冰期时期 C₄ 植物相对增多, 温暖湿润的间冰期 C₃ 植物较多, 这表明冰期—间冰期之间的降水差异是影响植被变化的主要因素。理论上如果温度是主要控制因素, 冰期冷 C₃ 植物多, 间冰期暖 C₄ 植物应该较多。但南海北部区域即使在末次冰期旋回也未呈现与前几个冰期旋回相反的变化规律, 这是因为在末次冰期, 当地估计的平均气温约为 18℃ (温度较全新世低 4—5℃), 仍然适合 C₄ 植物的生长, 并不是 C₄ 植物的限制因素, 因此末次冰期南海北部区域因为气候干旱 C₄ 植物仍较全新世为多。黄土高原 C₃、C₄ 植物的冰期—间冰期旋回变化规律不明显, 主要在两个时段 S2 时期及 L1 时期呈现不同的变化规律。S2 时期, C₄ 植物相对较多, 根据黄土高原西峰剖面 L1-L6 层比湿变化, 认为 S2 时期的高温干旱是导致此时段 C₄ 植物较多的原因。L1 时期, 黄土高原 C₃ 植物较多, 这主要是与该区域温度过低有关。根据现代平均气候及末次冰期较全新世的温度差值估计黄土高原此时气温为 2℃, 这低于 C₄ 植物生长的阈值温度 (5—8℃), 成为 C₄ 植物的生长限制因子, 因此该时段植被以 C₃ 植物为主。

综上所述, 晚第四纪以来东亚季风区相对低纬地区 (南海北部周边) 和相对高纬地区 (黄土高原) 碳同位素记录表明东亚季风区 C₃、C₄ 植物演化并不呈现相同的变化规律, 这可能与不同地区具体时段的水热条件有关。在植被的气候控制因素上, 当温度高于适合 C₄ 植物生长的最低阈值时, 湿度对 C₃、C₄ 植物比例变化的影响较大。

S1-P-37

新生代南极冰盖演化历史: IODP 318 航次

拓守廷^{1*}, Carlota Escutia Dotti², Henk Brinkhuis³, Robert Dunbar⁴, Adam Klaus⁵, IODP 318 航次科学家团队

1 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

2 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-Univ. de Granada, Fuentenueva s/n, 18002-Granada, Spain

3 Institute of Environmental Biology, University of Utrecht, Budapestlaan 4, 3584 CD Utrecht, The Netherlands

4 Department of Geological and Environmental Sciences, Stanford University, 325 Braun Hall, Bldg. 320, Stanford, CA 94305-2115, USA,

5 Integrated Ocean Drilling program, Texas A&M Univ., 1000 Discovery Drive, College Station, TX 77845, USA

* shouting@tongji.edu.cn

新生代以来, 全球气候在持续不断地变冷, 地球由两极无冰的“温室地球”变为两极终年有冰的“冰室地球”, 经历了多次冰盖扩张的变冷事件。其中最重大的一次变冷事件发生在始新世—渐新世之交, 海洋和陆地的记录都表明, 在早渐新世初, 全球气温大幅下降, 南极大陆首次出现永久性冰盖。南极冰盖的变化对全球海平面变化、大洋环流、海洋生产力及海气交换等都具有重要影响。

2010 年 1—3 月, 国际综合大洋钻探计划(Integrated Ocean Drilling Program, IODP)第 318 航次在南极威尔克斯地岸外实施钻探。该航次的主要科学目标包括: 1) 确定东南极大陆冰盖覆盖威尔克斯地的时间; 2) 研究威尔克斯地岸外沉积物记录的东南极冰盖演化历史, 建立始新世—第四纪南极气候变化的高分辨率剖面; 3) 东南极岸外全新世年际——百年尺度的气候变化研究。

318 航次在威尔克斯地岸外陆架和深水水区水深 400~4000 m 的区域钻探 7 个站位, 共获得约 2000 m 的沉积物岩芯, 获得了中始新世—全新世的沉积记录, 为研究南极冰盖的演化提供了良好的材料。在 U1356 站底部沉积物的年龄约为 53 Ma, 船上的初步研究结

果显示中始新世时威尔克斯地尚处于亚热带气候, 具有丰富的植被覆盖, 而到了渐新世, 该地区已被冰雪覆盖。U1359 和 1361 站获得了渐新世—更新世的沉积物, 为重建该时间段高分辨率的古气候记录提供了可能。特别值得一提的是: 在 U1357 站, 全新世 10 ka 年以来的沉积物厚度达到 186 m, 沉积物主要为硅藻软泥并含有有孔虫化石, 可以开展年际尺度的超高分辨率古气候研究。

航次后研究计划包括对 1361 站更新世以来的沉积物进行粘土矿物分析, 结合陆源碎屑粒度分析和元素分析的结果建立古气候替代指标, 研究更新世南极冰盖的稳定性。此外, 还计划对 1357 站 8.4~8.0 ka 时间段进行年际尺度的有孔虫氧碳稳定同位素和 Mg/Ca 高分辨率分析, 详细研究全新世 8.2 ka 变冷事件的演变过程。

S1-P-38S

赤道西太平洋冬季活体浮游有孔虫生态分布与壳体同位素特征

万随*, 翦知湑, 成鑫荣

同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*wansuiyoumei@163.com

西太平洋暖池年平均海表温度高于 28℃, 是全球热量和大气水汽中心, 并且是大气三大环流的汇聚中心和季风作用最活跃的区域, 通过潜热的作用和温盐环流影响着高纬以至全球的气候。浮游有孔虫分析是西太平洋古气候研究的重要手段, 许多古环境重建是以浮游有孔虫的属种组合特点和壳体地球化学性质为基础的。研究现代浮游有孔虫的生态分布、壳体化学性质与海洋环境的关系探讨可以为古环境研究提供分析方法和应用上的论证。

通过对赤道西太平洋暖池区 2009 年 1 月 0—250 m 内不同深度水层中活体浮游有孔虫生态分布及壳体同位素特征进行初步探讨, 可得出以下认识:

(1) 赤道西太平洋暖池区 0—250 m 水层共鉴定出浮游有孔虫 14 种, *Globigerinoides ruber*、*Globigerinoides sacculifer*、*Pulleniatina obliquiloculata*、*Globigerinella aequilateralis*、*Globorotalia menardii* 广泛分布, *Globigerinella aequilateralis* 和 *Globigerinita glutinata* 在部分站位出现, 总的分布特征是暖水种含量高, 分布广泛, 广适应性冷水种少见, 表明调查区是以热带暖水种为特征的群落。

(2) 浮游有孔虫表层种 *G.ruber* 平均生活深度较 *G.sacculifer* 深, 可能是赤道地区强烈的太阳光、温度或食物来源差别的结果; *G.aequilateralis* 虽有藻类共生体, 却在混合层底部温跃层上部 50—150 m 水层丰度和相对含量达到高值; *N.dutertrei* 深度范围较广, 可在陆地边缘海水的表层或较深的水层中富集; *P. obliquiloculata* 在海水混合层底部 50—100 m 丰度高, 需要跨越时间和空间的局限进行进一步研究; *G.glutinata* 是广适应性属种, 在冷水团和暖水团中均可以显示出较高的丰度和相对含量; *G. menardii* 在赤道西太平洋暖池西部边缘水体中含量丰富, 中部的丰度明显下降, 随着海水深度加深, 壳体壳径增大, 壳壁变厚, 与该种在生命周期中的垂直运移相关。

(3) 在赤道西太平洋, *G.ruber* 和 *P. obliquiloculata* 壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 值受海水温度、盐度及壳体壳径的明显影响, 而 $\delta^{13}\text{C}$ 值受水团营养状况、浮游有孔虫生态习性及其壳体壳径等因素影响。为减小壳体壳径对浮游有孔虫同位素值的影响, 在进行同位素分析时应尽量挑选壳径相近的有孔虫壳体。

S2-O-1

三峡地区陡山沱组沉积物的物源限制: 一种对早期动物演化的巨大刺激

黄晶*, 储雪蕾

中国科学院地质与地球物理研究所

*jhuang@mail.igcas.ac.cn

新元古代埃迪卡拉纪的带刺疑源类生物在早期生命演化中占有很重要的地位, 其中一些疑源类被认为是最早的动物胚胎化石, 还有的被认为是早期动物的休眠阶段。在世界范围内, 疑源类生物最早出现在我国的三峡地区陡山沱组沉积物中。虽然目前关于疑源类的起源和多样化有着许多不同的解释, 但是这些理由都不能很好地说明为什么疑源类最早出现在我国的三峡地区。Bristow (2009) 研究了我国华南地区陡山沱组沉积物中的粘土矿物, 发现只有在三峡地区陡山沱组的下段含有皂石。他们认为这些皂石只可能沉积于碱性的环境, 进而指示当时三峡地区是非海相环境, 在这样的环境中疑源类更容易保存在燧石结核里。

通过研究三峡地区陡山沱组沉积物的主要元素和微量元素, 我们发现三峡地区陡山沱组沉积物主要由两个来源: 下部沉积物的主要源区是镁铁—超镁铁质火山岩; 上部沉积物的主要源区是再循环物质。镁铁—超镁铁质火山岩的风化必然为当时的三峡地区提供大量铁、镁等元素输入。铁是一种重要的生命元素, 被认为在新元古代生命演化过程中发挥了重要作用。这些风化输入的铁将极大地刺激真核生命演化, 并导致疑源类出现, 而这可能才是疑源类最早出现在三峡地区的真正原因。另一方面, 镁铁—超镁铁质火山岩的风化也提供了陡山沱组沉积物中皂石的另一种来源, 暗示三峡地区非海相环境的解释并不唯一, 其结论还值得商榷。

S2-O-2S

湖南张家界早寒武世牛蹄塘组镍钼矿层的生物标志化合物特征

黄燕*, 林丽, 张岩, 杨永军, 马莉燕, 李德亮

成都理工大学

*huangyan683@yahoo.com.cn

中国南方早寒武世广泛分布富含有机质的黑色岩系牛蹄塘组, 富集了 Ni、Mo、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Ru、Rh、Pd、Os、Ir、Pt 等多种有用的金属元素和 Cd、Se、Ti、Rb、Cs 等多种稀有、分散元素及 U 和 Th 等放射性元素, 是重要的 Ni、Mo 多金属富集层。这套含矿岩系有机碳的含量高达 15.65%, 又是重要的海相烃源岩。

通过生物标志化合物特征的分析研究, 发现该矿层含有正构烷烃、类异戊二烯烃、萜类化合物和甾类化合物, 各类化合物具有以下特征:

(1) 样品的 m/z 85 质量色谱图表明, 正构烷烃 OEP 接近 1.0, 无明显奇偶优势, 反映生物母质来源主要是藻类等水生浮游生物; $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ 比值为 0.7—10.4, 平均为 5.96, 显示轻烃组分占绝对优势, 且样品中 $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ 比值大于 1.5, 反映有机质为海相输入的特点; 类异戊二烯烃化合物中富含姥鲛烷 (Pr) 和植烷 (Ph), 推测样品中的姥鲛烷及植烷的母质来源可能是藻类, Pr/Ph 比值范围在 0.12—0.35, 比值平均为 0.24, 具有植烷优势, 显示了强还原环境, 低比值 (Pr/Ph 五环三萜烷 > 四环萜烷, 高浓度的三环萜烷表明三环萜烷可能与原始藻类有关, 说明了研究区有机质的母源为菌藻类等低等水生生物; 三环萜烷中 C_{21} 相对丰度较低, C_{23} 丰度较高, 且 C_{21} 、 C_{23} 、 C_{24} 呈倒“V”字型分布, 一般认为三环萜烷的这种分布特征与咸水环境有关, 同时也表明了菌藻类等低等生物输入的特征; C_{24} 四环萜与相邻 C_{26} 三环萜比值为 0.50, 这种 C_{24} 四环萜与相邻 C_{26} 三环萜比值分布变化不大, 表现出 C_{24} 四环萜有一定丰度, 这是微生物贡献的可靠标志, 不仅包括细菌, 也包括某些藻类; 五环三萜烷碳数分布范围为 C_{27} — C_{33} 藿烷系列, 藿烷的母源主要来自细菌和蓝绿藻, 说明样品的有机质母源是以低等生物输入为特征, 主要是细菌类微生物和蓝绿藻; $Ts/(Tm+Ts)$ 比值在 0.40—0.43 之间, 平均为 0.42, 横向变化比较小, 总体表现为这套含矿层形成于较低的 Eh 环境背景, 即较强的还原环境; γ -蜡烷指数位于 0.10—0.17,

平均值为 0.14, 表明 γ -蜡烷有一定丰度, 表明有机质沉积时水体盐度较高。

(3) 样品的 m/z 217 质量色谱图上检测出甾类化合物, 主要成分有规则甾烷 (C_{27} — C_{29}) 及重排甾烷 (C_{27} — C_{29}), 其次为孕甾烷 (C_{21})、升孕甾烷 (C_{22}) 和 4-甲基甾烷。规则甾烷呈不对称“V”字型分布, 表现为 $C_{27} > C_{29} > C_{28}$ 的分布特征, 代表了低等水生生物, 特别是藻类对有机质母质的影响; C_{27} 规则甾烷 / C_{29} 规则甾烷平均比值为 1.42 (>1), 该比值说明有机质母质为低等水生生物来源, 代表浅海生物输入。

显然, 张家界地区早寒武世镍钼多金属矿层中的有机质主要来源于浅海环境的藻类。其沉积环境为缺氧的浅海高盐度还原环境。

S2-O-3

Large sulfur isotopic perturbations and oceanic changes during the Frasnian-Famennian transition of the Late Devonian

Daizhao Chen^{1*}, Jianguo Wang¹, Grzegorz Racki², Yanan Shen^{3,5}, Hua Li⁴, Chengyuan Wang⁵, Xueping Ma⁴

1 Key Laboratory of Petroleum Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, #19 Beitucheng Xilu, Chaoyang District, Beijing 100029, China

2 Institute of Paleobiology, Polish Academy of Sciences, Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, Poland

3 CRC in Biogeochemistry, University of Quebec at Montreal, QC, Canada H3C 3P8

4 Department of Geology, Peking University, Beijing 100871, China

5 Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Science, 39 East Beijing Road, Nanjing 210008, China

*dzh-chen@mail.iggcas.ac.cn

Sulfur isotopic pairs of carbonate-associated sulfate and sulfide pyrite, derived from two sections in South China and Poland, demonstrate large isotopic fluctuations of sulfur during the Frasnian-Famennian transition of Late Devonian. These new data revealed a sharp oceanic overturn in the latest Frasnian as indicated by an apparent coupling positive isotopic shift of carbonate-associated sulfate and pyrite with a sharp increase in isotopic fractionation effect. This event was followed by a long-lasting (~300 thousand years long) photic-zone euxinic event in the earliest Famennian as demonstrated by a large coupling negative sulfur isotopic excursion. Such a severe oceanic condition was closely linked to the remarkably enhanced bioproductivity (or burial of organic carbon), which in turn was induced by increased continental fluxes. The subsequent intense bacterial sulfate reduction favoured excessive hydrogen sulfide production, buildup and oxidation in water columns due to limitation of Fe availability. Afterwards, oceanic basins were quickly ventilated, probably induced by more intensive climatic cooling and oceanic circulation. The temporal coincidences of two phases of step-down biotic extinction with the oceanic overturn and subsequent long-lasting, photic-zone euxinia suggest that these two extreme oceanic events could be the main killing drives responsible for the severe biotic crisis. Furthermore, the long-lasting photic-zone euxinia, probably working together with subsequent climatic cooling, prevented from soon biotic recovery until near the end of Devonian.

S2-O-4

White, black and red Cretaceous Oceans

Wang Chengshan^{1*}, Luba Jansa²

1 China University of Geosciences in Beijing, Beijing 100083

2 Dalhousie University, Halifax, N.S. Canada

*chshwang@cugb.edu.cn

The title is metaphorical translation of visual appearance of Cretaceous deep sea deposits laid down in western Tethys, as can be seen for example in ~Contessa Quarry in Italy, or southern Spain, or North Atlantic, where the early Cretaceous white pelagic limestones are replaced in the middle Cretaceous by black shales and those in turn during late Cretaceous by pelagic red beds. Despite that research of marine Cretaceous goes on for past 40 to 50 years, a poor understanding of the causal mechanism behind geologic, oceanographic and biological events may in part be a reflection that most of the researchers base their interpretations upon records derived from a single global reservoir, limited geographic realm, and or a single indicator such as isotopes, or are even based on a single locality. Few workers have attempted to merge available isotopic, lithologic, paleontologic, tectonic, paleogeographic data sets to evaluate interactions between different components of the Earth Systems. Ocean contains more than 50x the amount of CO₂ than the atmosphere and the heat capacity of the ocean is 1000x greater than of the atmosphere. Thus the ocean acts as climate modifier either through large scale currents, turbulence, mixing and fresh water influx into ocean and or carbon dioxide absorption being deposited in sediments. One factor or process seldom considered is that ocean is a huge fractionation machine, which is specially true about the early Cretaceous ocean, as witnessed by the deep sea sediments, which in eastern Tethys are somewhat different from the western Tethys. A challenge facing scientists today is to assess what are the major forcing

mechanisms of these changes, is it climate, global tectonics, ocean circulation, one of those factors or all of them, understanding of which can not be achieved without deep understanding of the geologic record and its complexity. White, black and red Cretaceous ocean sediments in the North Atlantic documented that western Tethys during past 200 Ma involved 3 different carbon reservoirs - during Jurassic- early Cretaceous- inorganic carbon was buried as pelagic carbonate and in extensive carbonate platforms on shelves, during middle Cretaceous - from Aptian to Turonian (125 - 95 Ma)- carbon was buried mainly as organic carbon, within so called black shale facies and from late Turonian to early Eocene (90 -55 Ma) carbon is not buried in the deep sea sediments, but stays in the solution as DIC, to be eventually deposited as both inorganic and organic carbon in extensive chalks over western European shelf and around Gulf Coast.

However this is not true for eastern Tethys where research of pelagic sediments, for example near the India-Asia suture zone in Tibet shows only presence of late Cretaceous pelagic red beds. So age of oceanic basins and their morphology play also important, and mostly completely overlooked role. Some of the results of the latter research will be presented at the talk.

S2-O-5

东特提斯洋的消亡过程：藏南地质记录

胡修棉及其课题组*

南京大学地球科学与工程学院

*huxm@nju.edu.cn

东特提斯洋是中生代新特提斯洋的重要组成部分，是一个南北宽达几千公里的大洋，

其地质记录就保留在我国西藏南部的喜马拉雅地区。目前，比较一致的看法是，东特提斯洋的消亡是由于印度大陆向北漂移并与亚洲大陆碰撞而引起的。然而，关于东特提斯洋的消亡过程，科学界仍缺乏详细厘定。基于前人和近年来本课题组在西藏南部的地质调查和研究成果，大体可以把东特提斯洋的消亡过程分为三个阶段：

阶段1 东特提斯洋消亡的启动：时间为侏罗纪末期—白垩纪中期（~150 Ma — ~105 Ma）。以印度大陆与冈瓦纳大陆裂解为特征。藏南错美大火成岩省可能对于印度与澳大利亚、南极洲的裂解起着极其重要的作用。与此同时，在印度大陆北缘，广泛存在一次早白垩世板内拉张火山活动，可能与裂解拉伸背景下的深大断裂有关。拉萨南缘开始出现俯冲大陆岛弧火山作用。

阶段2 东特提斯洋快速消亡：时间为白垩纪 Albian- Campanian 期（~105 Ma — ~73 Ma）。印度大陆北缘 Albian 晚期广泛出现的以海绿石砂岩为标志的海侵事件，可能标志着印度大陆从冈瓦纳大陆的彻底裂解。随后，印度大陆开始了快速“北漂”，广泛沉积远洋一半远洋沉积物，记录了东特提斯洋重要的白垩纪古海洋事件，如白垩纪黑色页岩与大洋缺氧事件、白垩纪大洋红层与富氧事件等。而在拉萨南缘，随着俯冲作用的加剧，出现日喀则弧前盆地。

阶段3 东特提斯洋的消失：时间为白垩纪 Campanian 末期到始新世早期（~73 Ma — ~50 Ma）。以印度大陆—欧亚板块的初始碰撞为该阶段的开始。近年来，课题组通过藏南定日—岗巴地区、萨嘎—江孜地区和仲巴—日喀则地区详细的野外工作，发现藏南存在喜马拉雅前陆盆地早期欠充填深水阶段的沉积物，据此约束初始碰撞的时间可能发生白垩纪末期（>~73 Ma）。特提斯消亡的结束以特提斯海相沉积的消失为标志。在藏南定日、岗巴、仲巴地区，由海变陆的时间大体出现在始新世早期（~50 Ma），与西喜马拉雅地区大体相当。

S2-O-6

抚顺盆地 E/O 事件的陆相响应研究

柳蓉^{1,2*}, 刘招君^{1,2}, 孟庆涛¹, 胡晓峰¹,
刘冬青¹, 杨栋¹

1 吉林大学地球科学学院

2 吉林大学东北亚生物演化与环境教育部重点实验室

*liurong@jlu.edu.cn

古新世-始新世热极限事件以及始新世-渐新世全球变冷气候在海洋沉积方面已经得到了很多肯定的研究成果, 而对于在大陆的响应研究相对较少。

抚顺盆地发育了完整的始新世地层, 并由于长期处于湖泊状态, 广泛发育了在还原条件下所形成的油页岩等暗色有机细粒沉积岩, 记录了丰富的陆相盆地古环境、古生产力和古湖泊演化等信息, 为研究始新世的气候演化提供了良好的条件。本文拟通过对抚顺盆地发育完整的始新世沉积的古湖泊、古气候的演化研究, 揭示我国东北地区始新世末期古湖泊和古气候的演化, 对始新世气候在陆地上的响应做一些补充。

抚顺盆地位于郯庐断裂带北延分支—敦密断裂带西端, 是中国东北地区新生代盆地中地层发育较全的盆地, 由古新统老虎台组和栗子沟组、始新统古城子组、计军屯组、西露天组和耿家街组组成, 缺失渐新统。其中, 耿家街组只在局部地方发育。垂向上, 自下而上发育了玄武岩夹煤层、凝灰岩夹煤层、巨厚煤层和巨厚油页岩层和巨厚绿色页岩夹泥灰岩五套明显不同的沉积体系, 尤以巨厚煤层和巨厚油页岩层闻名于世。

从野外露头到室内岩石薄片鉴定, 抚顺盆地始新统古城子组、计军屯组、西露天组沉积环境经历了从湖沼亚相—浅湖亚相—半深湖亚相—深湖亚相—半深湖亚相—浅湖亚相, 水体深度变化总体表现为由浅—深—浅的变化过程。

通过 B 元素、Sr/Ba 比值分析了抚顺盆地的古湖泊水介质条件, 研究区的沉积岩中的硼 (B) 含量介于 13.05×10^{-6} — 96.97×10^{-6}

之间。其中, 古城子组含煤段和计军屯组含油页岩段的沉积岩中的硼 (B) 含量介于 13.05×10^{-6} — 45.45×10^{-6} 之间, 全部数据都小于 60×10^{-6} ; 西露天组页岩和泥灰岩互层段的沉积岩中的硼 (B) 含量只有一个样品小于 60×10^{-6} , 其他都大于 60×10^{-6} ; 因此, 可以认为抚顺盆地经历了从古城子组、计军屯组的淡水至西露天组半咸水的水介质演化。

通过 V/V+Ni 和 Ni/Co 比值等分析了抚顺盆地的古湖泊氧化还原条件, 揭示了从古城子组含煤段、计军屯组含油页岩段到西露天组页岩和泥灰岩互层段的还原程度逐渐增强。

通过 wFe₂O₃/wFeO 比值、Mn、Ti、Co、Cr、Ni、V 等微量元素含量分析了抚顺盆地古气候条件, 揭示了抚顺盆地古城子组的气候条件为湿润的成煤气候, 计军屯组的气候条件则为有着丰富陆源元素输入的湿润气候, 西露天组的气候条件则相对于计军屯组干燥, 元素迁移能力较计军屯组时期低。

综合以上研究表明, 从始新世早期到晚期抚顺盆地始新世古气候发生了明显的变化。始新世早期主要为湿润的成煤气候, 始新世中期的计军屯组则显示了半湿润气候, 到了始新世的中晚期则出现了干燥的气候条件, 形成了半咸水—咸水的一套泥灰岩与泥页岩互层的干旱气候演化。总体有从始新世向渐新世, 气候由湿润向干燥变化的规律。

因此, 抚顺盆地的研究表明了全球的始新世向渐新世出现全球变干冷气候的规律在我国东北地区的陆相沉积有一定的响应。但在抚顺盆地西露天组表现为干燥, 还没有变化到渐新世的寒冷干燥气候。其主要原因是抚顺盆地西露天组属于始新世的中晚期, 其上还发育有耿家街组, 但该组地层只在局部地区发育。要想更完整的揭露始新世的古气候变迁, 还需要进一步的工作。

S2-O-7

中新世以来北太平洋粉尘源区 C₄ 植物逐渐减少: 受温度的控制?

贾国东*

中科院广州地球化学研究所

*jiagd@gig.ac.cn

地球大气中的风尘物质主要分布在北半球，主要发源于三大地区：北非、西亚、和东亚的内陆干旱半干旱地区。其中，源于东亚内陆的风尘颗粒在进入高空西风带后可被西风激流在一周左右迅速横跨北太平洋搬运至北美大陆上空。位于该源区下风向的我国陆地中纬度黄土堆积是众所周知的风成沉积，可实际上这一风成沉积并未止于陆地而是继续向东进入西北太平洋，广布于海洋沉积物中。黄土高原堆积了世界上少有的晚新生代陆相连续风尘沉积，对其中古环境沉积记录的研究享誉国际学术界。北太平洋风尘沉积在连续性上并不逊色于黄土高原，而且其沉积记录可上溯至更遥远的早新生代甚至白垩纪。

除无机矿物和元素分析外，大气风尘中有机质的研究也愈来愈受重视，因为有机质被发现是风尘物质的一个重要组成，可占风尘物质的 1/4 强甚至大半。在北太平洋风尘物质中已发现丰富的陆源有机物质，暗示了它们在远洋沉积物中也应该有可观的埋藏，但目前针对沉积物的有关分析研究结果极少。我们从 ODP198 航次 1208 站位中新世以来的沉积物中成功提取出了陆地高等植物来源的长链正构烷烃化合物，在测试出其含量和稳定碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 数据基础上探讨了粉尘输入和粉尘源区植被同位素变化的全球变化意义。

正构烷烃的堆积速率可分为三个大的变化阶段，从 18—8Ma 到 8—4Ma 再到 4—0Ma，其堆积速率呈显著增大的趋势，这与已有研究中关于晚新生代北太平洋风尘输入的历史变化基本一致，反映了北半球持续变冷所导致的西风带加强的变化趋势。

正构烷烃 $\delta^{13}\text{C}$ 可以反映陆地植被生态系统中 C_3 、 C_4 植物的构成情况。目前已知，在热带深海晚新生代沉积（南海、印度洋）中反映陆地植被 $\delta^{13}\text{C}$ 的记录是持续变重的，反映了随着干旱化气候和季风气候的加强， C_4

植物出现和扩张的历史。然而，我们的结果恰恰与上述结果相反，正构烷烃 $\delta^{13}\text{C}$ 从中中新世开始的平均-29‰，逐渐偏轻至晚第四纪的约-31‰，反映的是 C_4 植物从中中新世逐渐减少，乃至消失的历史（我国西北地区现今的 C_4 植物对生态系统的贡献也确实是微不足道的）。

由于 C_4 植物适于生长在温度和干旱度较高的环境条件下，而东亚内陆粉尘源区的干旱气候自早新生代起就已存在，其后的干旱气候并未缓解而是有所加剧，因此我们的烷烃 $\delta^{13}\text{C}$ 记录表明，历史上，特别是中中新世，较高温度曾经促使了东亚内陆干旱区 C_4 植物的广泛存在，其后的逐渐减少和消失反映的乃是晚新生代全球变冷的大趋势。这一结果也表明，在不同区域（如，热带 vs 温带）控制 C_4 植物贡献量变化的因素应该是不一样的：低纬度地区降水可能是主控因素，而温带寒带地区温度可能是主控因素。

S2-O-8

关于东亚早期人类进化的生态背景

黄慰文*

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所，北京

100044

*huangweiwen@ivpp.ac.cn

1857 年，达尔文（Charles Darwin）在回应一位朋友对他即将出版的《物种起源》（On the Origin of Species）一书的提问时写道：“你问我是否要谈‘人类’。我想我应该回避一切有关‘人’的话题，因为关于它有着这么多的偏见。尽管我公开承认它对博物学家来说是最重要也是最有趣的问题。”然而，仅仅 14 年之后达尔文的态度却发生了 180° 的转变。他在介绍《人类的由来》（The Descent of Man）一书时直截了当地说起：“大家都经常自信地说人类的起源永远是个未知数。但是，…总以为科学永远无法解决这样或那

样问题的偏偏是那些什么都不懂的人，而不是那些有知识的人。”

达尔文毫无疑问是一位伟大的科学家，一位积极向上的进化论者。他坚信人类起源问题总有一天会大白于天下。然而，在他正式提出从猿到人理论已经过去 139 年的今天，我们还不得不面对一个颇为尴尬的局面：围绕人类进化的基本问题几乎无一有清晰和肯定的答案。至少，我们现在仍处于“瞎子摸象”的窘境之中。到底是什么令人类学家显得如此为难而无助呢？我想，除了涉及本专业知识和、特别是化石材料的欠缺以外，恐怕在很大程度上还与人们对新生代环境、特别是人类进化与环境变化的复杂关系了解不多有关。

S2-P-1

中国南北纵谷带及其古人类生存环境

曾荣树*, 袁宝印

中国科学院地质与地球物理研究所

*rszen@mail.igcas.ac.cn

中国新生代构造演化过程中，出现了两条纵贯南北的巨大绵长谷地，西面一条北部为汾渭裂谷，南部为康滇纵谷带（西昌—元谋—昆明），两者之间由汉中盆地和龙门山断裂形成的谷地所连接，南北绵延数千公里。东面一条为松辽平原经渤海向南至郯庐断裂带形成的南北向纵长裂陷盆地。两条纵谷带都是新生代地幔物质运动所形成，沿纵谷带有一系列玄武岩喷发。第四纪时期是两条纵谷带比较活跃的时期，沿纵谷带出现了一系列古湖，沉积了“泥河湾层”、“昔格达层”等。东部纵谷带除渤海的海相沉积外，平原区发育了厚层河湖相地层。

两条南北纵谷带南部为亚热带，北部为暖温带，纵谷带地貌为盆地、平原或低地，湖泊发育，河流纵横，生物多样性很高，适于早期古人类生存。我国主要的古人类化石都发现于两条纵谷带内，说明板块构造运动

形成的特殊地貌条件和古水文环境是古人类能在此发展演化的基本条件，使之成为东亚古人类演化中心，具有重要的研究价值。

S2-P-2

中国早期人类技术圈层辐射的时空响应

侯亚梅^{1,2*}, 刘扬^{1,2,3}, 杨石霞^{1,3}

1 中国科学院古脊椎动物预估人类研究所

2 中国科学院人类演化与科技考古联合实验室

3 中国科学院研究生院

*houyamei@ivpp.ac.cn

关于中国古人类活动踪迹的探寻已走过 80 多年的历程。这门由欧洲传及并开启的科学从中国西北一隅零星地点的发现到举世瞩目的周口店北京人遗址的大规模揭露，东方力量的展露告一段落之后便是非洲、欧洲一系列重大发现支撑背后西方理论主导的强势登场。经历 60、70 年代直至 80、90 年代以中国为代表的东方逐步蓄势待发，从各地区发现众多不同阶段的人类化石材料到从早到晚的旧石器文化遗址遍布大江南北的东部平原与中西南部的高原。同时中国第四纪地质区域构造的多样性预示了中国古人类生存环境的复杂性及其中游移于标准化之外因素的影响，倚靠现成的简单理论评价中国古人类及其旧石器文化地位的做法已不能阐释现实的多重进展。国际话语权的长期缺失与弱势在客观上拖沓着学科前进的动力，对自身认识的不足更是羁绊了应有的发展，突破重围的新思路亟待产生。以全然的西方角度看待东方的思维认识难免落于主观意愿的窠臼，与事实相行渐远。扎根于自身的材料，下足功夫摸索东方本土文化材料孕生的规律，特别是掌握现象背后发挥推动作用的容纳性指标是激活并扭转中国古人类旧石器研究思路的关键。在中国宽泛的地域和宽泛的时段间出现的旧石器时代技术环节的演变代表了中国早期人类技术圈层辐射的时空响应和巨大张力。在地球巨系统观念指导下，从方式和

方法上寻求中国旧石器考古学研究的客观表达、开创新的适时理论是当前应当努力的方向。

S2-P-3

新生代天文地质事件对地球系统和生物演化的影响

袁宝印*

中国科学院地质与地球物理研究所

*yby16888@sina.com

地球新生代的开始从 6500 万年前小行星撞击地球这个天文地质事件开始,随之发生两个重大的生物进化事件。一是恐龙绝灭和哺乳动物繁盛,二是古人类的诞生。天文地质事件与生物演化之间的联系是以地球系统发生剧烈变化为推动力的,两者之间关系密切。

宇宙间事物遵循从简单到复杂、从低级到高级的发展规律,地球系统的演化也应如此。白垩纪时期中国东北地区为湿热的暖温带,恐龙可以生活在北极圈附近。作为冷血动物的大型恐龙只能生活在没有冬季的气候带,因此推测白垩纪时期地球赤道面与黄道面一致,没有四季变化。地球除两极外,任何一点全年昼夜长度相等,气候带极大向北推移。只要夜间温度稍高于零度的纬度以南地区(北半球),大型恐龙都可以生存。如果当时有四季,生活于温带地区的大型恐龙将无法度过严冬,而这样的地区现在有大量恐龙化石发现。

6500 万年前小行星撞击地球,除烟尘使地球气候变冷外,撞击力还使地轴发生倾斜,出现赤黄交角。这一过程是缓慢的,但从此地球出现了四季,而且越来越明显,季风也是在这个条件下越来越加强。

随着四季的出现,大型恐龙绝灭,温血的哺乳动物适应具有四季变化的地球环境,开始普遍繁盛,温血的鸟类也得到极大的发展。鸟类和哺乳类的洄游路线也随四季变化的明显而距离加长。我国内蒙及以南地区发

现多种中新世猿类化石,其中有的与南方古猿类似,从中演化出东亚古人类也不是不可能的。因此,东亚有可能是古人类另一个演化中心,这是新生代哺乳动物大发展的结果。

6500 万年前小行星撞击地球事件后,地球板块运动进入一个新的活跃时期,欧亚板块的拼合、印度板块与欧亚板块的碰撞、阿尔卑斯山和喜马拉雅山形成、两极冰盖出现,使地球环境系统更加复杂化。新生代地球气候旋回发生几次转型事件,转型的机制至今尚不明了,可能与天文地质事件有关,以此,天文地质事件对地球系统的影响,应是地球系统科学今后需要加强的研究领域。

S2-P-4S

新元古代陡山沱组碳同位素负偏成因初探——以三峡泗溪剖面陡山沱组碳氧稳定同位素为例

胡军^{1,2}, 王家生^{1*}, 王舟^{1,2}, 谢蕾^{1,2}, 陈洪仁^{1,2}, 李清^{1,2}

1 生物地质与环境地质教育部重点实验室

2 中国地质大学(武汉)地球科学学院

*js-wang@cug.edu.cn

大量的研究表明(Jiang et al., 2007, 2008; Wang et al., 2009; Ader et al., 2009),新元古代埃迪卡拉时期的古海洋 $\delta^{13}\text{C}$ 在时间和空间上存在显著差异,认为陡山沱时期的古海洋从陆架—盆地存在一个巨大的 $\delta^{13}\text{C}$ 梯度,反映了古海洋区域上 $\delta^{13}\text{C}$ 的差异。近年来,国内外学者对于三峡地区陡山沱组的高分辨率碳、氧稳定同位素研究主要源自九龙湾剖面。本文选取黄陵背斜南翼的泗溪剖面进行了高分辨率碳、氧稳定同位素研究,共采集 104 块样品,初步研究表明该剖面 $\delta^{13}\text{C}$ 变化特征与九龙湾剖面 $\delta^{13}\text{C}$ 变化特征具有可比性,但存在显著差异。

三峡泗溪陡山沱组的碳、氧稳定同位素结果显示,在相似的古地理背景下古海洋氧化界面的间歇性波动会在局部环境内形

成 $\delta^{13}\text{C}$ 梯度变化。前人对九龙湾剖面研究显示, 陡山沱组 $\delta^{13}\text{C}$ 波动包括三次明显的负偏 (EN1—EN3) 和两次正偏 (EP1 和 EP2)

(Jiang et al., 2007; McFadden et al., 2008), 本文研究的泗溪剖面 $\delta^{13}\text{C}$ 变化中的两次正偏 (EP1 和 EP2) 和一次负偏 (EN1) 与九龙湾的变化趋势一致, 但泗溪剖面的 EN2 表现出“多幕次”变化特征。EN3 在九龙湾剖面中表现明显, 认为是一次全球性的事件, 被广泛运用于埃迪卡拉时期的全球碳同位素地层对比, 然而该负偏在相距仅 15 km 处的泗溪剖面中缺失。有学者分析了 EN3 和“Shuram-Wonoka”负偏中碳、氧同位素的相关性, 认为该负偏为后期成岩改造所致, 不能代表原始表层海水的碳同位素组成。在泗溪剖面中, EN3 对应的 $\delta^{18}\text{O}$ 值大多在 -5‰ PDB 左右, $\delta^{13}\text{C}$ 值在 0‰ PDB 附近, 碳、氧同位素的相关性不明显, 表明其受后期成岩作用改造较小。九龙湾和泗溪剖面的陡山沱组的岩性和厚度特征等均指示二者的沉积环境相似, 但 EN2 和 EN3 对应 $\delta^{13}\text{C}$ 差异明显。EN2 被认为与 580Ma 处的 Gaskier 冰期大致相当 (Condon et al., 2005), 代表一次大规模的负偏事件, 而在泗溪剖面中 EN2 表现出多幕次的 $\delta^{13}\text{C}$ 负偏轨迹, 说明 $\delta^{13}\text{C}$ 值可能受到了局部环境的强烈影响, 推测与古海洋氧化界面的间歇性波动有关。泗溪剖面中与 EN3 对应的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在零附近, 明显不同于九龙湾剖面 EN3 变化特征, 可能代表了氧化界面之上的表层海水 $\delta^{13}\text{C}$ 值。因此, 利用 EN2 和 EN3 或者“Shuram-Wonoka”负偏所反映的全球性碳同位素事件作为埃迪卡拉系内部地层划分标志, 值得商榷。

S2-P-6S

张家界天门山地区寒武系镍钼矿床地质地球化学特征及成因探讨

马莉燕^{1*}, 林丽¹, 庞艳春¹, 李德亮², 杨永军¹

1 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059

2 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042

*forseetower99@163.com

以构造成矿学、矿床学及矿床地球化学为理论指导, 在研究构造背景的基础上, 开展矿床地质特征及矿床地球化学特征的研究, 以此分析湖南张家界寒武系底部镍钼矿床的成因。结果显示: (1) 中元古代, 扬子地台的结晶基底是由海底火山喷发及岩浆向上侵位作用形成的基性火山岩。在 850Ma-540Ma 间, 分别沉积了板溪群的含凝灰质复理石的碎屑岩、莲沱期含砾砂泥岩、南沱期的冰碛砾岩、含磷白云岩及碳质页岩、灯影组的白云岩和早寒武世沉积的黑色岩系。(2) 矿床呈层状及似层状展布; 矿石构造主要为浸染状、碎屑条带状; 矿石结构以碎屑结构、半自形构造、他形结构为主, 另外可见似交代结构。矿石矿物主要为黄铁矿、镍的硫化物、“碳硫钼矿”集合体、闪锌矿、黄铜矿, 透明矿物主要为磷酸盐矿物集合、重晶石、石英及方解石。镍与钼在矿石中具有不同的赋存形式, 其中镍以硫化物的形式存在, 如针镍矿、辉砷镍矿及二硫镍矿; 而钼主要以“碳硫钼矿”集合体的形式存在。常见钼矿物集合体包裹镍硫化物及黄铁矿。

(3) 与镍硫化物空间上共生的 6 个黄铁矿 $n(\text{S})/n(\text{Fe})$ 比值均小于 2。(4) 测试张家界三岔村含矿剖面中的 Ni、Mo、V 及 P_2O_5 的含量发现, 其中 Ni 含量为 0.0082%—0.36%, 在矿层处的含量为 0.36%, 该值达到矿床开采的最低品位 0.3%。Mo 的含量为 0.033%到 0.67%, 在矿层处含量为 0.67%, 远大于工业开采的平均品位 0.06%。V 的含量在 0.019%—0.19%之间, 它的含量在矿层处为 0.19%, 也最为富集, 大于工业矿床伴生组分的可采品位 0.02%。 P_2O_5 的含量则为 0.03%到 23%, 矿层处含量达到 23%。镍钼矿石中 Ni、Mo、V、 P_2O_5 富集程度均明显高于围岩, 也高于下部灯影组白云岩的元素丰度。(5) 富集元素组合在矿石与上覆地层的黑色页岩中存在明显地差异, 矿石中富集元素为 Ni、Mo、V、U、Cu、Pb、Zn、Cd、Tl、Ba 等亲硫元素与过渡元素, 相比之下, 矿层之上的黑色

页岩中亲硫元素与过渡元素明显降低,而可以代表陆源碎屑来源的高场强与大离子亲石元素含量则明显增高;(6) 镍钼矿石稀土元素特征:球粒陨石标准化的矿石的 $Eu/Eu^*=1.24-1.69$; $Ce/Ce^*=0.53-2.75$,多数分布在 $0.5-0.7$ 之间; Y/Ho 比值为 $48.5-58.77$; ΣREE 含量变化也很大,从 $3.63 \times 10^{-6}-251.81 \times 10^{-6}$,多为 10×10^{-6} 左右。寒武系底部同类型镍钼矿区中磷块岩的 $LREE/HREE=4.48-6.95$,为轻稀土富集;其 $Eu/Eu^*=0.73-1.59$; $Ce/Ce^*=0.32-0.60$,表现为负 Ce 异常; Y/Ho 比值为 $46.40-54.41$; ΣREE 含量变化不大,属于同一数量级,为 $156.69 \times 10^{-6}-273.85 \times 10^{-6}$ 。矿石围岩中的页岩也具有明显的轻稀土富集特征, $LREE/HREE=2.60-9.25$; $Eu/Eu^*=0.03-0.34$,比值均 1 的特征,REE 总值也等稀土元素特征与现代热液喷口的相似。(7) 提出以下海底热液成矿模式:在被动大陆边缘的一侧,随着大陆不断拉张,至早寒武世,由于侧缘岭脊依然留存,导致汇水盆地与外界隔离。封闭的汇水盆地内部生物开始繁盛。与此同时,淋滤了中元古代结晶基底的铁,镍和钼的热卤水,沿着张性断裂(同生断裂)进入到汇水盆地中,在碱性的海水条件下,热卤水中的铁和镍与细菌作用产生的还原硫结合形成黄铁矿及镍硫化物。它们作为“质点”被生物围绕表面生长。质点表面在生物或者化学作用下吸附进入到海水中的钼,最终形成包裹硫化物的钼矿物集合体。

S2-P-7S

贵州纳雍地区寒武系牛蹄塘组黑色岩系的生物标志物特征及意义

王琛*, 林丽, 张岩, 李德亮, 杨永军, 马莉燕, 黄燕

成都理工大学沉积地质研究院

*381287479@qq.com

贵州纳雍寒武系牛蹄塘组广泛分布一套黑色岩系,其中 TOC 的含量高达 12.35%(29 个样品,平均 5.53%),是早古生代重要的海相烃源岩。该区在有机地球化学方面没有做工作。本文通过对牛蹄塘组黑色岩系中生物标志物特征的分析,推断黑色岩系的中有机质的生物母源和形成沉积环境。

以贵州纳雍地区寒武系牛蹄塘组的黑色页岩为研究对象,利用 GC-MS 分析其中的生物标志化合物,结果表明:

(1) 正构烷烃和类异戊二烯烷烃:纳雍牛蹄塘组黑色页岩抽提物的正构烷烃色谱碳数分布范围在 $C_{14}-C_{32}$ 之间,在页岩抽提物中的 OEP 值在 $0.959-1.09$ 之间,平均值为 1.08,接近平均值 1.0,无明显奇偶优势。样品中 $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ 之比变化范围较大,在 $1.61-3.29$ 之间,均值为 2.31,表明有机质为海相输入。样品中 Pr/Ph 值的变化范围为 $0.29-0.3$,均值 0.29,植烷优势明显,显示了强还原环境。

(2) 萜烷:萜烷相对丰度五环三萜烷>三环萜烷>四环萜烷,藿烷的母源主要来自细菌和蓝绿藻,样品中碳数分布为 $C_{27}-C_{34}$,说明样品的有机质母源是以低等生物输入为特征,主要是细菌类微生物和蓝绿藻。三环萜烷碳数范围较宽,从 $C_{19}-C_{29}$,近来研究也同样表明,三环萜烷的前生物为微生物和藻类,表明了研究区有机质的母源为菌藻类等低等水生生物。四环萜烷也有一定的丰度,表明了原核生物和细菌的贡献。

样品的 $Ts/(Ts+Tm)$ 平均值为 0.43,表明了较强的还原环境,这与 Pr/Ph<1 所反映的还原环境一致。纳雍地区黑色岩系有机质 $C_{31}22S\%$ 比值在 $0.57-0.6$ 之间,平均值为 0.59,表明有机质已经达到成熟、过成熟演化阶段。黑色岩系有机质的 $\beta\alpha$ -莫烷/ $\alpha\beta$ -藿烷比值范围为 $0.1-0.14$,平均值为 0.124,表明有机质均已达到成熟阶段。

(3) 甾烷: C_{29} 甾烷既可来源于藻类,也可来源于高等植物, $\Sigma C_{27}/\Sigma C_{29}$ 的均值为 1.41,大于 1,代表浅海输入,该比值说明有机质母质为低等水生生物来源。研究区有机质 C_{29} 甾烷的 $20S/(20S+20R)$ 平均值为 0.39,

$\beta\alpha\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 平均值为 0.41, 已经接近平衡值, 表明纳雍地区黑色岩系中的有机质均接近或达到成熟阶段。

综上可推断该区域早寒武世牛蹄塘组黑色岩系形成于浅海还原环境, 有机质热演化程度较高, 其母质主要来源于细菌和藻类等低等水生物。

S2-P-8S

四川广元二叠纪栖霞组碳酸盐结核形成环境与成岩过程

王金祥^{1*}, 阮小燕^{*1}, 金承胜¹, 赵强², 谢树成²

1 中国地质大学(武汉)资源学院, 430074

2 中国地质大学(武汉)过程地质与矿产资源国家重点实验室, 43074

*Wjx505@126.com

四川广元栖霞组碳酸盐结核与围岩海泡石的岩石学特征表明结核为同生结核。碳酸盐结核的生物标志化合物研究可以揭示结核形成环境与微生物在结核形成过程中发挥的作用。栖霞组结核与围岩中均以低碳数正构烷烃为主峰, 表明菌藻类为有机质的主要贡献者。另外, 结核与围岩中均发现 2-甲基藿烷、3-甲基藿烷、单甲基支链烷烃, 表明蓝细菌和类型 1 嗜甲烷菌对有机质也有一定的贡献, 其次, 结核中噻吩系列化合物占优势, 而在结核中没有此现象, 可能与硫酸盐还原菌有关, 推测结核形成于硫酸盐还原区。结核与围岩的姥姣烷/植烷均小于 0.6, 表明结核与围岩均形成于还原的环境, 结核中二苯并噻吩/菲比值远大于围岩, 表明结核形成于更加还原的环境。伽玛蜡烷指数在结核与围岩中分别为 0.097、0.074, 表明结核与围岩形成于淡水的沉积环境, 而结核较围岩的盐度高。栖霞组结核与围岩中生物标志化合物及其参数表现出不一致, 表明结核形成于相对封闭的体系, 可为早期成岩研究提供帮助。

S2-P-9S

峡东新元古代“盖帽”碳酸盐岩中多期次甲烷渗漏事件的碳稳定同位素新证据

王舟^{1,2}, 王家生^{1*}, 胡军^{1,2}, 谢蕾^{1,2}, 陈洪仁^{1,2}, 李清^{1,2}

1 生物地质与环境地质教育部重点实验室

2 中国地质大学(武汉)地球科学学院

*js-wang@cug.edu.cn

新元古代全球性冰期事件结束之后的古海洋(埃迪卡拉纪)经历了阶段性氧化、巨大溶解有机碳(DOC)的存在和转化, 以及海洋底层水体富铁和硫酸盐浓度增加等事件。古生物学证据表明该阶段是寒武纪生命大爆发前的后生动物分化和早期地球生物圈物种辐射的重要时期。

全球范围内广泛分布的“盖帽”碳酸盐岩直接覆于新元古代 Marinoan 冰碛物之上, 发育有帐篷状构造(Tepee-like structure)等较典型的沉积构造, 碳稳定同位素表现为普遍的负偏移($\delta^{13}\text{C}$ -5%左右)。Jiang 等(2003)在华南峡东地区黄陵岩体南缘的花鸡坡剖面报道了厚约 5 米的“盖帽”白云岩中段-41% $\delta^{13}\text{C}$ 值的记录, 并系统地总结了 C1、C2、C3 三个岩性段沉积序列。之后, Wang 等(2008)报道了花鸡坡附近九龙湾剖面和长阳王子石剖面中“盖帽”的 $\delta^{13}\text{C}$ -44%和-48%的记录, 并且九龙湾“盖帽”上部还存在-5%~-17%的负偏记录。近来, 我们在王子石附近习家坳剖面“盖帽”碳酸盐岩中, 通过毫米级高分辨率全岩碳稳定同位素测试, 发现了-27%的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 变化于-10%至-27%之间, 层位大致相当于 C2 段, $\delta^{13}\text{C}$ 值同位素相关性分析表明成岩改造作用对原始碳同位素组成的影响较小。

雪球事件后古海洋无机碳库中海底热液(幔源碳, $\delta^{13}\text{C}$ 约为-5%)、大气 CO_2 碳源($\delta^{13}\text{C}$ 约为-10%)、生物成因有机质的碳源($\delta^{13}\text{C}$ 为>-25%)等均不能单独导致峡东上述 4 个剖面“盖帽”中极负的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 因而这些极负的 $\delta^{13}\text{C}$ 值被解释为古海洋甲烷渗漏事件的重要证据(Jiang et al., 2003; Wang et

al., 2008)。习家坳剖面的碳同位素数据丰富了新元古代冰期后的古甲烷渗漏事件的直接证据,一定程度上支持了峡东地区黄陵岩体周缘存在多个陡山沱早期古冷泉喷口的推断。并且以上 4 个剖面的古地理位置彼此邻近,古海洋环境类同,可以认为“盖帽”沉积过程为等时发生。“盖帽”中不同层段(C1、C2、C3)的 $\delta^{13}\text{C}$ 普遍极负偏,可能暗示“盖帽”形成期间存在多个期次的甲烷渗漏事件。根据 Huang 等(2009)九龙湾剖面“盖帽”的微量元素地球化学所揭示的氧化还原敏感元素含量的多期富集特征,以及可能对应于甲烷释放氧化作用造成的阶段性海水缺氧事件的推测,本研究新提供的习家坳剖面-27%的 $\delta^{13}\text{C}$ 值可能与甲烷厌氧氧化作用(AOM)和溶解有机碳(DOC)的厌氧氧化作用有关,该数值主要继承了 AOM 过程的甲烷源的碳同位素组成特征,并叠加了 DOC 的厌氧氧化效应。其成因类似于现代海洋冷泉环境下自生碳酸盐类矿物形成的地球生物学过程。

结合 Condon 等(2005)“盖帽”的年龄约束以及古地磁磁极反转证据,表明“盖帽”沉积持续时间较长,并推测上述不连续、多期次、多喷口的甲烷渗漏事件持续了长达 106 年。因此,初步认为新元古代“雪球地球”后的古海洋甲烷(水合物)渗漏事件造成了陡山沱期古海洋的特殊地球生物学环境,可能与埃迪卡拉纪后生动物的出现有一定关系。

S2-P-10

华南早寒武世牛蹄塘组中热液/热水沉积的元素地球化学特征

林丽*, 庞艳春, 马莉燕

成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059

*linli@cdu.cn

中国南方广泛分布了一套以黑色岩系为特征的牛蹄塘组,是早寒武世早期沉积的重要地层,这不仅在于是证实寒武纪生命大爆发化石存在的层位,而且也是 Ni、Mo、V、

铂族、金等元素富集的层位。有关多金属硫化物矿层的成因,归纳起来主要有几种观点:1)与正常海水沉积有关,即这些金属元素是在还原环境中缓慢从海水中沉淀出来或是由上升洋流作用的结果,2)与热液或喷流沉积有关,即这些金属元素的富集与海底热水喷流沉积作用有关,有些元素是由海底热液活动所提供的。3)与地外或生物作用有关的。

Ni-Mo 硫化物多金属层中的微量元素地球化学分析表明,该层除了富集 Ni、Mo、V、Au、PGE 等元素外,还含有 Co、Cr、Cu、Pb、Zn、Ba、Sb 和 Ag 等元素。其中 Sb、Ba 和 Ag 元素的富集代表了热液沉积的特点。其次,其 Sr/Ba 比值小于 1,与海相热水沉积岩或沉积物的比值特征相似。在 Fe/Ti 比值、(Fe+Mn)/Ti 比值和 Al/(Al+Fe+Mn)比值表明,研究区沉积岩样品与热水沉积物具有相似性。在 Zn-Ni-Co 三角图和 Fe-Mn-(Co+Ni+Cu)×10 三角图上投点显示,矿石样品均投在热液沉积物区或海底热水沉积区。矿石的 U/Th 比值>1,代表了热水沉积物的特点。在不同沉积物的 lgU/lgTh 关系图中,样品的投点均分布在东太平洋中脊热水沉积物的分布区中。其次,贵州瓮安的重晶石和贵州遵义和湖南张家界的镍钼矿石样品的稀土元素的配分模式上 Eu 表现为正异常,表明了热液作用的参与。黄铁矿中 Y/Ho 的比值大于 30,与 Bau 提到的白烟囱的值(>30)相近。

显然,华南早寒武世牛蹄塘组底部镍钼矿石的元素地球化学特征均表现了有热液活动的参与。这说明早寒武世在华南沿着扬子地台的南缘有热液/热水活动,它们对镍钼矿床的形成起了重要的作用。

S2-P-11

华南早寒武世镍钼矿层热液/热水沉积特征的矿物学标志

林丽*, 庞艳春, 马莉燕

成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059

*linli@cdu.cn

寒武纪早期是重要的地质和生物突变时期,在此时期不仅出现了多门类的带骨骼的后生动物,同时形成了重要的磷矿、Ni-Mo多金属矿产和烃源岩。中国南方在早寒武世就沉积了一套以黑色岩系为特征的牛蹄塘组,是古生代重要的烃源岩。其底部为富含Ni、Mo、V、铂族、金等多种元素的多金属富集黑色页岩层,分布广泛,东西延伸近1600 km。有关多金属硫化物矿层的成因,归纳起来主要有几种观点:1)与正常海水沉积有关,即这些金属元素是在还原环境中缓慢从海水中沉淀出来或是由上升洋流作用的结果。2)与热液或喷流沉积有关,即这些金属元素的富集与海底热水喷流沉积作用有关,有些元素是由海底热液活动所提供的。3)与地外或生物作用有关的。

在贵州瓮安、遵义、纳雍、天柱和湖南的张家界寒武系,牛蹄塘组的底部由下往上的岩性为硅质岩、磷块岩、角砾状粉砂岩、重晶石岩、多金属矿层和黑色页岩。在多金属层中常见有透镜状的重晶石,它们在华南出现在贵州的瓮安、纳雍、天柱和湖南张家界。这些透镜状的重晶石岩由大的重晶石斑晶和小的斑晶所构成。从岩石学特征上表明了喷流沉积的特点。另外在多金属层中,矿物的X射线粉晶衍射分析表明含矿的页岩中含有重晶石的矿物。在显微镜下可以观察到微细粒的重晶石矿物成微层状分布。在下伏的磷块岩中有重晶石的脉穿过,并且在磷块岩中有裂缝被黄铁矿脉所充填。这些宏观上和微观上的矿物特征都表明了牛蹄塘组底部有热液活动和喷流作用的表现。

其次,在贵州和湖南 Ni-Mo 硫化物多金属矿层的矿石矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿(有些闪锌矿中含有乳浊状结构的黄铜矿)、方铅矿、针镍矿、硫钼矿、锑硫镍矿、方硫镍矿、方硫铁镍矿、辉砷镍矿、砷黝铜矿和辉铁镍矿。并有黄铁矿—闪锌矿—黄铜矿的自然连生组合,反映了它们是在相同物化条件下形成。其次,在矿石的胶状黄铁矿中见有黄铜矿的脉穿插于其中。这些矿物组合及其特征代表了热液活动的结果。

显然,华南早寒武世牛蹄塘组底部镍钼硫化物多金属层中出现的重晶石矿物及硫化物的矿物组合均表现了有热液活动或热水沉积的参与。说明多金属矿层的形成与热液/热水沉积有关,同样也说明在寒武纪生命大爆发前,有热液/热水活动。

S3-O-1

Marginal Sea/Ocean Carbon Cycle and Climate Change

Minhan Dai*

State Key Lab of Marine Environmental Science,
Xiamen University
*mdai@xmu.edu.cn

The ocean component of the global carbon cycle is a key component of the climate system, regulating on annual to millennial time-scales the uptake, storage, and release to the atmosphere of CO₂ and other climate relevant chemical species. Currently about 30% of the anthropogenic carbon emitted to the atmosphere by fossil-fuel burning is removed by oceanic uptake.

However, there remain uncertainties in this ocean component of global carbon cycle. One of these points to the future behavior of the oceanic carbon sink because of the potential climate change impacts on ocean circulation, biogeochemical cycling, and ecosystem dynamics. Other examples include the role of the ocean margin in this global carbon cycle, which has been very often neglected especially in the global carbon modeling practice.

There is growing evidence suggesting that the marginal sea systems play a vitally important role in the global carbon cycle. Despite of its relatively small surface area (7% of the surface of the ocean), ocean margin contributes 15-30% of the oceanic primary

production and about 50% of the marine calcification. On the other hand, ocean margins are the most heterogeneous areas of the world's oceans with potentially very different magnitudes of physical and biogeochemical mechanisms. Up to date, we are still at a stage of uncertainty about the magnitude of air-sea CO₂ exchange due to both the heterogeneous nature of ocean margins and the lack of spatial and temporal coverage of pCO₂ data.

This presentation will start with a brief overview of our current understanding of the change of the earth climate system, and its potential linkage with the ocean carbon cycling. Emphasis will be given to the oceanic component of the carbon cycle, its variability and controls in both time and space.

S3-O-2

表层海水 pH 的变化与海洋酸化

韦刚健^{1*}, 谢露华¹, 邓文峰¹, 吴伟中¹,
Malcolm McCulloch²

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 西澳大利亚大学地球环境学院)

*gjwei@gig.ac.cn

pH 值是海水酸度的指标,也是海水 CO₂ 体系的重要表征。工业革命以来大气 CO₂ 含量持续迅猛升高,有可能引发全球表层海水 pH 降低,即海洋酸化的后果。模型计算显示,过去 100 年大气 CO₂ 含量升高的量已经导致全球表层海水平均 pH 降低了 0.1,在太平洋百慕大海域持续 20 多年的观测也表明该区表层海水中的 pCO₂ 呈持续升高趋势。然而对于全球绝大多数海域,表层海水 pH 的变化历史及控制机制几乎是一无所知。我们在此综合了在海南岛南岸珊瑚的持续观测结果,利用澳大利亚大堡礁和南海北部三亚珊瑚 $\delta^{11}\text{B}$ 重建的 pH 记录,以及综述前人的长时间尺度的 pH 记录,对表层海水 pH 在不

同时间尺度的变化特征及其主要的控制机理进行简单评述,希望能对日益变热的海洋酸化研究提供一些参考。

大气 CO₂ 含量升高往往被认为是引起表层海水 pH 降低的重要因素,也是解释长时间尺度的表层海水 pH 变化记录时的普遍观点,例如始新世气候大暖期表层海水较晚更新世低 0.6-0.8,冰期表层海水 pH 往往较间冰期高等基本被认为与大气 CO₂ 含量的变化有关。然而,能引起表层海水 pH 降低的因素不仅仅是海气界面上 CO₂ 溶解的增加,深层海水的上涌、表层海水生产力的降低,某些特定区域甚至陆源输入的变化都会引起表层海水 pH 的降低,因此在不同海域不同时间尺度,海水 pH 的变化并不一定仅仅与大气 CO₂ 含量变化有关。

在澳大利亚东部离岸的珊瑚海 Flinders 礁和近岸的大堡礁中部 Arlington 礁的珊瑚 $\delta^{11}\text{B}$ 重建的 pH 记录是目前仅有的两个 5 年一年分辨的工业化革命以来的表层海水 pH 记录。这两个记录均显示出非常强的 50 年、22 年和 10 年变化周期,意味着该区表层海水 pH 主要受太平洋年代际海洋—大气波动 (IPO 或者 PDO 控制)。南海北部三亚湾珊瑚的 $\delta^{11}\text{B}$ 记录同样显示出约 10 年的周期变化,可能意味着热带太平洋的海气波动是西太平洋地区表层海水 pH 变化的共同控制因素。在澳大利亚东部海域,虽然近岸的 Arlington 礁记录自 1940 年以来呈现酸化趋势,但离岸的 Flinder 礁记录却没有显示任何明显的酸化趋势。

海南岛南岸三亚湾珊瑚礁海水的现场观测结果表明,礁区表层海水呈现幅度非常大的日周期变化,根据季节的不同,日变化幅度从 0.3—0.4 到 0.6—0.7。海水 pH 的日变化在除冬季外大多与 SST 呈正相关;与潮位高程变化非常相似,高潮位对应于较高的 pH,但存在约 2 小时的时间差;与海水的溶解氧变化非常同步,高溶解氧对应于高的 pH。这些结果意味着 CO₂ 的溶解度(与 SST 有关)、高盐度海水与低盐度近岸水体的交换(与潮位有关)以及生产力(与溶解氧有关)均为重要的控制因素,其中在日变化的时间尺度

内, 生产力变化可能是最重要的控制因素。另外, 礁区表层海水的 pH 还存在很好的年周期变化。

虽然仍无法清楚展示表层海水 pH 变化的特征及其控制机理, 但现在的资料至少表明在特定海域表层海水 pH 变化是受多种因素共同决定的, 人类排放引起的大气 CO₂ 含量升高并不是唯一的重要因素, 甚至在某些时间尺度或者某些特定海域可能并不是主要因素。

S3-O-3

Bacterial activities in relation to carbon cycling in the coastal waters near the Pearl River estuary

袁翔城*

热带海洋环境动力学重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所

*xcyuan@scsio.ac.cn

Long term DO data in recent 10 years showed that DO was generally undersaturated in Hong Kong coastal waters, and negatively correlated with $p\text{CO}_2$ during 2005-6. The degree of DO undersaturation in the waters near sewage discharge site was more than the Pearl River influenced waters throughout the year, suggesting the anthropogenic influence. In the winter dry season, net community production (NCP) was low ($-100 \pm 50 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in all three areas, and reached up to $600\text{-}1000 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in the summer wet season. Highly positive NCP corresponded to a CO₂ source and O₂ sink, which likely due to that the influences of southwest monsoon-induced upwelling which bringing cold, low DO and high DIC water to the surface in the wet season, and hence the subtropical Hong Kong coastal waters generally maintained as a CO₂ source in the

both dry and wet season. Besides physical factors (e.g. strong vertical and horizontal mixing), high bacterial respiration play an important role in regulating DO and CO₂. Bacteria accounted for 50-80% of total dark community respiration (DCR) and ~50% of the gaseous CO₂ flux in coastal/oceanic waters with less eutrophic inputs, but increased to >90% of DCR in more eutrophic waters near the sewage discharge site.

Many factors could affect bacterial growth and consequently modulate carbon cycling. Both field and experimental results appeared to show that the high N:P ratio influenced by the Pearl River estuary might result in potential limitation of inorganic phosphorus for the respiration of bacteria and larger plankton, and phosphorus addition increased bacterial production and respiration by ~50 and 20% respectively in the wet season. In addition, the degree of heterotrophy in coastal waters may decrease due to strong ultraviolet radiation, as evidenced by our incubation experiments in the South China Sea which showed that phytoplankton was less inhibited than bacteria when exposed to strong ultraviolet radiation in short term.

S3-O-4

热带西太平洋硅藻席“碳汇”角色评价

熊志方^{1,2}, 李铁刚^{1*}

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 中国科学院研究生院, 北京 100049

*tgli@qdio.ac.cn

硅藻席是巨型或“树荫种”硅藻(如 *Ethmodiscus rex*, *Rhizosolenia* spp. 和 *Thalassiothrix* spp) 勃发形成“藻席”迅速埋藏并造成由单种组成的纹层沉积。这类用常

规海洋调查手段无法获取的大个体硅藻, 将巨量的有机碳和生物硅输出到海底, 提高生物泵效率, 可引起大气 CO_2 分压 (PCO_2) 的变化, 最终调节全球气候, 其在全球碳、硅循环中的作用最近才予以重视。本文利用东菲律宾海帕里西维拉海盆的含 *Ethmodiscus rex* 硅藻席 (LDM) 代表性岩心 WPD-03, 通过生源组分、总有机碳同位素和 *Ethmodiscus rex* 碳同位素的分析, 试图从两个方面评价热带西太平洋硅藻席的“碳汇”角色: 一是 *Ethmodiscus rex* 勃发导致的生产力变化; 二是 *Ethmodiscus rex* 勃发引起的(次)表层水中溶解 CO_2 ($\text{CO}_2(\text{aq})$) 和局部 PCO_2 的变化。

生源组分、总有机碳同位素和 *Ethmodiscus rex* 碳同位素表明古生产力从远洋粘土 (PC) 沉积期→硅藻质粘土 (DC) 沉积期→LDM 下部沉积期明显增加, 而在 LDM 中、上部沉积期维持高稳定状态。LDM 沉积期, *Ethmodiscus rex* 勃发而初级生产的有机质从输出到深部大洋到最后埋藏到海底的过程中, 降解比例极高, 平均可达 98%; 估计的初级生产力、有机碳雨率 (Rain rates) 和埋藏生产力平均分别为 248.42 g/m² yr、61.93 g/m² yr 和 5.27 g/m² yr, 其初级生产力与现代高生产力的上涌海区可比。

两种不同尺寸组分的 *Ethmodiscus rex* 碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$ *Ethmodiscus* (>154 μm) 和 $\delta^{13}\text{C}$ *Ethmodiscus* (63–154 μm)) 在 DC-LDM 过渡处显著的正漂移表明, LGM 时 *Ethmodiscus rex* 勃发消耗了大量的 $\text{CO}_2(\text{aq})$, 暗示了硅藻席的“碳汇”角色。定量估算进一步表明 LGM 时, *Ethmodiscus rex* 勃发引起 $\text{CO}_2(\text{aq})$ 在 DC-LDM 过渡处从 15.4 $\mu\text{mol/L}$ 锐减到 6.5 $\mu\text{mol/L}$, 局部 PCO_2 也相应地从 545 ppmv 急减到 231 ppmv。LDM 沉积期局部 PCO_2 平均为 220 ppmv, 明显低于 DC 沉积期的局部 PCO_2 (平均为 440 ppmv), 但略高于 LGM 时全球 180~200 ppmv 的 PCO_2 。然而, 局部 PCO_2 总体上逐渐减小, 在 LDM 上部 (0~125 cm) 沉积期明显低于 LGM 时全球 PCO_2 。综合表明硅藻席确实扮演“碳汇”角色, 最终使研究区 (东菲律宾海帕里西维拉海盆) 逐渐演化成 CO_2 的汇。

S3-O-5

关于台风, 浮游植物与海洋碳循环的思考

唐丹玲*

中国科学院南海海洋研究所

*lingzistdl@126.com

台风 (在太平洋称为台风, typhoon, 在大西洋称为飓风, hurricane) 是发生在热带洋面上的一种强烈的气旋性风暴, 它伴有狂风、暴雨、巨浪和海潮, 往往带来严重灾害。台风也有不可忽略的生态效应。台风经过时海面时可引起混合层加深, 数百公里范围内下层海水涌升, 给贫瘠的上层热带海洋带来丰富的营养盐, 引起浮游植物繁殖加快, 增加海洋初级生产力。

本文探讨台风的生态效应和相关研究的最新进展, 重点讨论有关台风, 浮游植物与海洋碳循环的思考, 并介绍卫星遥感在这一研究中的应用。

S3-P-1

藏南火成碳酸岩: 新生代全球深部碳循环研究的一个实例

刘焰^{1*}, 陈珍宝², 赵斌³

1 中国地质科学院地质所, 北京 100037

2 福建省地质调查院, 福州

3 中科院广州地球化学研究所, 广州 510640

*yanliu0315@yahoo.com.cn

自工业革命以来, 大气圈中 CO_2 等温室气体含量不断增加, 导致了人们对未来全球变暖可能产生的全球灾难性后果的忧虑。深入开展地球历史时期大气圈 CO_2 含量及与古温度关系的研究, 充分认识地球历史时期不同圈层的碳储库性质及不同储库之间碳元素循环过程对于提升人们关于现今大气圈中 CO_2 等温室气体含量及其循环规律的认识至关重要, 但是, 当前人们却对地球内部碳储

库、碳元素在深部与浅部储库之间循环等问题的认识尚不深入，分歧比较大。

火成碳酸岩是指主要由碳酸盐矿物组成的火成岩，是地球内部碳元素含量最高的岩石。深入探讨此类岩石的起源与演化过程有助于认识碳元素在岩石圈与水圈、大气圈之间循环等相关问题。尽管早在 1921 年就提出了火成碳酸岩的观点，认为它们系由沉积的碳酸盐岩或大理岩发生部分熔融所形成的岩石，但当时无实验岩石学证据的支持，在上个世纪六十年代以前，火成碳酸岩的概念并不被多数人所接受。由于发明了塔特尔仪，人们可以在实验室里合成碳酸岩浆，更由于在东非大裂谷中发现了正在喷出的碳酸岩浆，火成碳酸岩的概念才被公认。由于当时所发现的火成碳酸岩常与碱性、超碱性的基性、超基性岩共生，其地球化学特征与典型的沉积型的碳酸盐岩截然不同，而与地幔岩相似，于是人们摒弃了沉积碳酸盐岩部分熔融形成火成碳酸岩的成因观点，转而认为所有的火成碳酸岩均起源于地幔，因此火成碳酸岩应该常与碱性岩共生，富集稀土、稀有元素，碳、氧、锶、钕等同位素特征应该与地幔岩一致等等；反之，若不具备这些特征，就认为是沉积岩或大理岩，即幔源火成碳酸岩与沉积的碳酸盐岩之间没有其它类型的碳酸岩产出（Le Bas et al., 2002）。自十余年前在东喜马拉雅构造结发现火成碳酸岩（刘焰，1997）以来，人们开始重新思考火成碳酸岩的成因，经过长达近十年的讨论与辩论，现在人们接受了“大理岩也可以发生部分熔融作用形成火成碳酸岩”的观点，即在地幔火成碳酸岩与沉积的碳酸盐岩之间可以有过渡的壳源火成碳酸岩的产出（Liu et al., 2006）。

近年在藏南多处地区发现了火成碳酸岩体，其中以罗布莎北侧出露的碳酸岩体规模较大，该岩体侵位于冈底斯花岗岩基之中，大体呈东西展布，地表出露面积达 5 平方公里。在藏东波密县西侧也发现了众多的碳酸岩脉，侵位于麻粒岩相变质杂岩之中。岩石常量、微量元素分析、全岩碳、氧、锶、钕同位素比值的测定、岩石中流体/熔融包裹体的分析与测试充分反映这些碳酸岩多系大理

岩部分熔融的结果。这些观察充分说明了在东起波密、西至泽当，长达 800 公里的藏南厚地壳中存在着一个富碳酸岩浆的层位，这表明藏南高原内部确实可以吸纳大量源自地表附近的碳，并以碳酸岩浆的形式圈闭起来。我们进一步推测这些地表附近的碳是在新特提斯洋壳闭合、印度陆块向下插入欧亚陆块期间被带入青藏高原内部，再经历了部分熔融作用。我们的观测有助于理解白垩纪以来全球变冷的过程。

S3-P-2S

史前土地利用碳循环模型构建及应用——以伊洛河流域为例

于严严*, 吴海斌, 郭正堂

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

*yyy@mail.iggcas.ac.cn

学术界对全新世 CO_2 浓度在 8kaBP 后逐步回升的原因有诸多看法。合理估算全新世人类土地利用对陆地生态系统碳储量的影响，是理解上述问题的主要途径之一。然而，史前土地利用面积的估算和空间分布常因数据缺乏而成为研究的难点。本文基于前人的半定量考古遗址预测模型，建立了一个估算史前土地利用碳循环的模型。它以遗址的环境和古文化参数作为输入数据，实现土地利用面积和空间分布的恢复，进而获得人类土地利用导致的陆地生态系统碳储量的时空变化。利用现代土地利用数据的检验模拟表明，模型具有较好的空间模拟能力。将该模型应用于我国旱作农业起源中心之一的伊洛河流域，揭示出仰韶文化前期（7~6kaBP.）该流域内约 7% 的土地被人类开发利用，主要分布于下游河流两岸坡度较缓的低地；该过程导致流域碳储量损失了约 15 TgC（1 Tg = 1012 g），占流域总碳库的 3%。因此，人类活动在史前时期已较明显改变了地表景观，

并对陆地生态系统碳循环产生了一定的影响。

S3-P-3S

南海北部海域表层水浮游植物特征生物标志物

刘杰*, 李丽, 王慧, 贺娟

同济大学 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*liujie000005@163.com

本研究以分子有机物为手段, 通过对海水颗粒物脂类标志物的分析研究, 了解现代南海浮游植物的分布规律, 研究结果将为南海海洋生态学研究, 特别是古海洋学研究提供基础数据和科学依据。通过收集 2008 年、2009 年夏季 18°N 以北南海北部海域典型断面表层海水 (-5~-10m) 悬浮颗粒物, 对不同断面菜籽甾醇(硅藻生物标志物)、甲藻甾醇(沟鞭藻生物标志物)、C₃₀ 烷基二醇(黄绿藻生物标志物)、长链烯酮(颗石藻生物标志物)的四种浮游植物生物标志物的含量和分布进行了分析检测, 结果表明: 所研究海域中菜籽甾醇含量最高, 平均约占四类浮游植物总量的 65%, 甲藻甾醇和烷基二醇, 次之, 分别约占 20%和 10%, 长链烯酮含量最低, 仅 5%, 表明硅藻是该区域的优势种群, 其次为甲藻, 而黄绿藻、颗石藻类生物量都比较低。不同海域的浮游植物总量和比例变化较大, 近岸和陆架海域生物量较高, 硅藻和沟鞭藻所占比例大; 大洋海区生物量较低, 颗石藻所占比例有所增加。营养盐是影响浮游植物生物量和群落结构变化的主要因素, 浮游植物生物量的高值区和群落结构的变化反映了不同种类生物对营养物质需求的差异, 此外季风影响下南海表层洋流方向对浮游植物生物量及群落结构分布也有一定的影响。

S3-P-4

论 CCD 界面升降对沉积物-海水-大气之间碳循环的影响

匡耀求*, 黄宁生, 欧阳婷萍, 王德辉, 李超

中国科学院广州地球化学研究所

*yaoqiuk@gig.ac.cn

二氧化碳, 作为一种在大气和海洋之间交换的酸性气体, 不仅影响到大气的温室效应, 而且还影响到海水的 pH 值。决定二氧化碳在大气和海洋之间转移的机制通常认为有两种: 即有机泵(Bio-Pump)和碳酸盐泵(Carbonate Pump), 前人认为“有机泵是大气二氧化碳的汇, 而碳酸盐泵在短的时间尺度上是大气二氧化碳的源”。笔者对海洋碳的地球化学的深入研究表明, 不仅有有机泵是大气二氧化碳的汇, 碳酸盐泵也是大气二氧化碳的汇。而海洋释放到大气中的二氧化碳则与海洋深部过程有关, 是碳酸盐补偿深度的变化和富氧南极底流的作用使得海底沉积物中的碳被分解或氧化而形成二氧化碳气泡上冒, 从而成为大气二氧化碳的源, 同时伴随洋流的上涌。

碳酸盐补偿深度(CCD)是指海洋碳酸盐和动物钙质骨骼溶解的速度大于或等于堆积速度时的海水深度。在海水成分不变的情况下, 通常随着海水温度的降低和水深的增加, CaCO₃ 溶解度增大。在温度一定的情况下, 随着水深和压力的增大, CO₂ 在海水中的溶解度增大, 碳酸钙会溶解于海水中。CCD 是深海沉积环境的一个重要界面, 在 CCD 以下, 下沉到海底的碳酸盐骨骼会被海水溶解而增加水中 CO₂ 的浓度, 进一步增强海水的溶解能力, 不仅有机碳不能在海底堆积, 海底沉积物主要为硅质软泥和深海粘土, 而且原来沉积在海底的 CaCO₃ 也会被海水溶解而使 CO₂ 释放到海水中; 而在 CCD 以上, 下沉到海底的碳酸盐骨骼和生物碎屑被海水分解的速率小于堆积速率, 从而使得生物碎屑能够逐步在海底堆积形成碳酸盐沉积, 使 CO₂ 从海水中逐步向海底沉积物中转移。

对赤道太平洋附近大量海底沉积物地球化学分析数据的数理统计分析表明碳酸盐补

偿深度 (CCD) 是经常波动的。海底地热活动强弱的变化和深海水温的高低会影响 CCD 的升降。

对一个位于 CCD 附近的沉积环境 (即海水深度与 CCD 界面接近) 来说, CCD 的升降变化意味着沉积环境的重大改变, 并改变 CO_2 在水圈和沉积圈之间迁移的方向。如果 CCD 下降到海底高程以下, 碳酸钙可以在海底沉积, 随着含碳沉积物在海底的不断堆积, CO_2 从水圈逐步向沉积圈转移; 如果 CCD 上升到海底高程以上, 碳酸钙不能在海底沉积, 海底沉积物中的碳酸盐也会溶解进入海水中, 出现 CO_2 从沉积圈向水圈转移。

如果 CCD 由海底以下升高到海底以上, 则沉积环境由碳酸盐不断堆积转变为碳酸盐逐步溶解, 结果会增强海水的溶解能力, 也使海水中营养物质增加, 同时, 深层海水中 CO_2 浓度升高意味着深层海水 CO_2 分压的增大, 导致 CO_2 气泡上冒, 结果会引起深层富营养物质的冷海水上涌。根据这一原理, 配合深海沉积物分布图, 我们成功地揭开了 ENSO 之迷。

在此基础上, 根据对赤道太平洋海域地热活动的分析, 2006 年 5 月预测 8 月底 9 月初将进入 El Nino 状态; 2009 年 6 月判断当时已经开始进入 El Nino 状态, 将持续 5 个月以上。根据赤道太平洋海域海面温度分布格局对东亚大气环流的影响, 于 2007 年 3 月预测 2007 年底-2008 年初的冬季欧亚大陆将出现冷冬。这些预测均已得到事实证明。

S3-P-5

粘土矿物的属性对有机质保存的影响与碳循环的意义

蔡进功^{1*}, 季俊峰², 卢龙飞¹, 蔡元峰²

1 同济大学地质国家重点实验室

2 南京大学成矿作用研究国家重点实验室

*jgcai@tongji.edu.cn

粘土矿物对有机质的吸附保护作用越来越得到关注, 而不同类型的粘土矿物吸附有

机质的量和方式都存在差异。为此, 选取海洋沉积物中普遍存在的蒙脱石和伊利石, 分别与阳性、阴性和中性等有机化合物进行人工合成, 探讨不同粘土矿物吸附有机质的量、稳定性和赋存结构等特征以及在碳循环中演化历程的差异性。

将蒙脱石和伊利石与有机物合成后发现, 二种矿物吸附有机物的碳量均为 5—20%, 其中蒙脱石吸附有机物的碳量高于伊利石; 并且同一种矿物吸附阳性有机物的碳量高于阴性和中性有机物。在室温条件下放置 6 个月后发现, 蒙脱石吸附有机物的碳量略有减少 (5—20%), 而伊利石吸附有机物的碳量急剧下降至 2% 以下。在升温实验中发现, 蒙脱石吸附有机物的碳量在 300℃ 时降到 7%, 直到才 500℃ 降至 2% 以下; 而伊利石吸附有机物的碳量当升温至 100℃ 就降至 2% 以下, 这些特征表明不同粘土矿物吸附有机质的量和稳定性都存在巨大差异。通过 XRD 和 IR 分析发现, 蒙脱石吸附有机物在 XRD 曲线上的 d001 反射峰和 IR 曲线上的甲基和水振动峰都发生变化, 表明蒙脱石吸附有机物除了赋存于微孔隙中和矿物表面外, 还有一部分进入到了蒙脱石的层间域; 伊利石吸附有机物在 XRD 曲线上的 d001 反射峰不变, 在 IR 曲线上的甲基和水振动峰发生微弱的变化, 表明伊利石吸附的有机物赋存于微孔隙中和矿物表面。这种差异出现与蒙脱石和伊利石的结构、电荷、比表面和阳离子交换能力的不同密切相关。

在碳循环过程中, 蒙脱石吸附有机质的数量巨大, 且进入到蒙脱石的层间域, 稳定性好, 滞持时间长, 可以进入到较长周期的碳循环中; 而伊利石吸附有机质的数量少, 赋存于伊利石的微孔隙和矿物表面, 稳定性差, 滞持时间短, 只能进入到短周期的碳循环中; 也就是说粘土矿物吸附有机质的赋存方式, 决定了有机质在碳的循环中的命运, 这将在碳循环的研究中具有重要的意义。

S3-P-6S

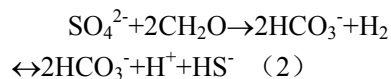
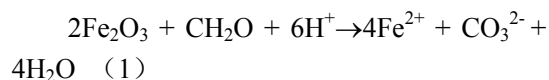
铁元素对浅水碳酸盐沉积物保存的影响

刘喜停, 颜佳新*

中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室

*jxyan@cug.edu.cn

在近年的研究中, 铁含量对碳酸盐沉积物早期成岩作用的极大影响逐渐成为人们关注的重点。在 Fe^{3+} 较为丰富的碳酸盐沉积物中, 铁(氢)氧化物还原可以抑制或取代硫酸盐还原, 使得(硫酸盐还原早期)原本不饱和的孔隙水, 通过缓冲硫化物或者消耗氢离子的方式达到碳酸盐超饱和而出现碳酸盐胶结(反应 1), 这种现象在受到陆源物质影响的现代碳酸盐沉积物中得到了证实(Perry and Taylor, 2006; Reuning et al., 2006; Best et al., 2007; Meyers, 2007; Taylor et al., 2007; Best, 2008)。当碳酸盐沉积贫 Fe^{3+} 时, 细菌硫酸盐还原(BSR)成为厌氧呼吸的重要方式(反应 2)。当硫酸根离子浓度小于 3 mM 时, 反应产生的酸可以导致文石颗粒溶解; 但是, 当硫酸根离子浓度大于 3 mM 时, 反应产生的碳酸氢根离子足以使得文石过饱和。因此单独的硫酸盐还原对于碳酸盐沉积物的溶解时很有限的(Walter and Burton, 1990)。但是当氧气进入厌氧的硫化物环境或者硫酸盐还原产生的硫化物被传送到常氧的沉积物中, 硫化物可以被氧化产生酸(反应 3), 导致碳酸盐沉积物的溶解(Walter and Burton, 1990; Canfield et al., 1992; Raiswell and Canfield, 1998; Poulton et al., 2004; Hu and Burdige, 2008)。因此碳酸盐沉积物内铁含量的变化, 可以产生碳酸盐沉积物早期成岩作用的巨大差(溶蚀/胶结)。



但是目前关于铁对浅水碳酸盐沉积早期成岩作用研究还只是开始, 研究实例主要为

相对“富铁”的碳酸盐沉积, 如含陆源碎屑、不纯的碳酸盐沉积(Ku and Walter, 2003; Kidwell et al., 2005; Best et al., 2007; Ku et al., 2008)、人类活动污染的碳酸盐沉积(Perry and Taylor, 2006; Taylor et al., 2007)。对产生浅水碳酸盐沉积早期成岩作用过程中、碳酸盐溶解或者胶结的铁含量边界条件, 仍不得而知, 亟待开展相关研究以查明同沉积溶解/胶结相互转换发生的临界条件及其影响因素, 探索铁(陆源碎屑物质)对碳酸盐沉积早期成岩作用影响的规律和识别特征。

S3-P-7S

南海今生颗石藻分布研究

安佰正*

中科院海洋研究所

*an_baizheng@126.com

使用偏光显微镜对南海今生颗石藻群落进行了分析, 共鉴定出今生颗石藻 21 种。夏季, 今生颗石藻的细胞丰度平均值为 3.30×10^3 cells/L, 主要优势种为赫氏艾密里藻、大洋桥石藻、深水花球藻、纤细伞球藻、艾氏桥石藻和美丽条结藻。其中, 赫氏艾密里藻和大洋桥石藻所占相对细胞丰度最大, 分别为 36.14% 和 35.53%, 且均具有较高的出现频率。冬季, 今生颗石藻的细胞丰度平均值为 3.13×10^3 cells/L, 主要优势种为赫氏艾密里藻、大洋桥石藻、深水花球藻、纤细伞球藻、美丽条结藻和粗壮环翼球藻。其中, 赫氏艾密里藻和大洋桥石藻所占相对细胞丰度最大, 分别为 55.29% 和 24.98%。基于 Young 的理论方法对南海海域水体中今生颗石藻颗粒无机碳进行了估算。夏季南海海域 200 米以浅水体中的今生颗石藻颗粒无机碳存量在 0.18~39.78 mg C/m² 之间, 平均值为 11.74 mg C/m², 其高值区出现在研究海域的北部。冬季南海 200 米以浅水体中的今生颗石藻颗粒无机碳的现存量在 0.19~23.51 mg C/m² 之间, 平均值为 8.93 mg C/m²。冬夏两季今生颗石藻颗粒无机碳均以大洋桥石藻贡献最高。夏季南海的颗石藻细胞有机碳

存量在 0.46~156.45 mg C/m² 之间, 平均值为 54.59 mg C/m², 高值区出现在调查海域的西北部区域和南部区域。冬季南海的颗石藻细胞有机碳存量在 0.88~107.51 mg C/m² 之间, 平均值为 34.96 mg C/m², 高值区出现在断面 2 和断面 3 附近海域。颗石藻细胞有机碳也表现为冬季比夏季低。

S3-P-8

A Coupled Two-dimensional Hydrodynamic and Terrigenous Input Model to Simulate CO₂ Diffusive Emissions from Lake Systems

Haibin Wu^{1,*}, Changhui Peng², Marc Lucotte^{2,3}, Nicolas Soumis^{2,3}, Yves Gélinas⁴, Éric Duchemin^{2,3}, Jean-Baptiste Plouhinec^{2,3}, Alexandre Ouellet⁴, Zhengtang Guo¹

1 Key Laboratory of Cenozoic Geology and Environment, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, P.O. Box 9825, Beijing 100029, China

2 Institut des sciences de l' environnement, Université du Québec à Montréal, Montréal, QC, H3C 3P8, Canada

3 GEOTOP, University of Québec, PO Box 8888, Montreal H3C 3P8, Canada

4 Department of Chemistry and Biochemistry, Concordia University, Montréal, QC, H4B 1R6, Canada

*Haibin-wu@mail.igcas.ac.cn

Most lakes worldwide are supersaturated with carbon dioxide (CO₂) and consequently act as atmospheric net sources. Since CO₂ is a major greenhouse gas (GHG), the accurate estimation of CO₂ exchanges at air/water interfaces of aquatic ecosystems is vital in quantifying the carbon budget of aquatic ecosystems overall. To date, lacustrine CO₂

emissions are poorly understood, and lake carbon source proportions remain controversial largely due to a lack of integration between aquatic and terrestrial ecosystems. In this paper a new process-based model (TRIPLEX-Aquatic) is introduced incorporating both terrigenous inputs and aquatic biogeochemical processes to estimate diffusive emissions of CO₂ from lake systems. The model was built from a two-dimensional hydrological and water quality model (CE-QUAL-W2) coupled with a new lacustrine CO₂ diffusive flux model. For calibration and validation purposes, two years of data collected in the field from two small boreal lakes located in Québec (Canada) were used to parameterize and test the model by comparing simulations with observations for both hydrodynamic and carbon process accuracy. Model simulations were accordant with field measurements in both calibration and verification. Consequently, the TRIPLEX-Aquatic model was used to estimate the annual mean CO₂ diffusive flux and predict terrigenous dissolved organic carbon (DOC) impacts on the CO₂ budget for both lakes. Results show a significant fraction of the CO₂ diffusive flux (~30-40%) from lakes is primarily attributable to the input and mineralization of terrigenous DOC, indicating terrigenous organic matter is the key player in the diffusive flux of CO₂ from lake systems in Québec, Canada.

S3-P-9S

西太平洋表层海水中浮游植物分布的区域特征——分子有机地球化学初步研究

董良*, 李丽, 王慧, 贺娟, 魏玉利

同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*dongliangtony@126.com

于 2008 年 12 月 15 日至 2009 年 1 月 19 日, 在西太平洋地区对表层海水颗粒物进行了过滤收集, 研究西太平洋海区表层浮游动植物生物量和群落组成特征。利用气相色谱, 气相色谱—质谱联用仪进行了海洋浮游藻类: 硅藻、甲藻、黄绿藻、颗石藻的生物标志化合物: 24-甲基-5 α -胆甾-5,22E-二烯-3 β -醇 (Brassicasterol); (8E) 15E,22E- (三) 二烯-三十七烷-2-酮-甲基烯酮 (C₃₇-Alkenone); 4 α , 23, 24-三甲基-5 α -胆甾-22-烯-3 β -醇 (Dinosterol); 1,15-三十烷-二醇 (1, 15-C₃₀-Diol) 的分离、鉴定及定量分析。研究结果表明靠近大陆一侧的海域中, 由于河流以及地表径流带入海洋较多颗粒物质, 颗粒物浓度甚至高达 18 mg/L, 而其它海域颗粒物的浓度主要集中在 1.5—4mg/L 之间, 无论是远洋还是近岸, 硅藻都具有较高丰度, 是明显的优势种, 相对于硅藻, 除个别地方, 甲藻分布也较广泛, 颗石藻, 在远洋且靠近岛屿的海域分布较多, 尤以巴士海峡, 马鲁古海峡附近海域最为丰富。

S3-P-10S

颗石藻记录对大洋碳同位素低值事件的响应

苏翔*, 刘传联

同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*Chad1984@126.com

热带碳循环涉及多种时间尺度, 除了世界各大洋发现的碳储库 40—50 万年长周期, 还有各种短周期事件, 其中最明显的是 20 万年以来的“碳同位素低值事件”, 共发生了三次, 而且在印度洋、太平洋、南大洋和中国南海的记录中都普遍存在。由于碳同位素受到生物地球化学过程控制, 大气 CO₂ 浓度, 陆地植被及海洋生产力等多种因素都对其产生影响, 因而各海区都有不同的特点, 在较短尺度上的对比和解释仍较为薄弱。颗石藻作为大洋生物泵的重要组成部分, 对大洋碳酸盐和碳储库产生重要影响, 在大洋碳

循环中扮演极为重要的角色。本文通过对南海北部 MD05-2904 柱状样和南海西部 MD05-2901 柱状样颗石藻属种鉴定发现颗石藻主要属种 *Florisphaera profunda*, *Gephyrocapsa oceanica* 和 *Emiliania huxleyi* 相对百分含量与浮游有孔虫碳同位素变化具有很好的一致性。总体趋势上 $\delta^{13}\text{C}$ 值逐渐变重, 颗石藻 *G. oceanica* 和 *E. huxleyi* 含量升高, 下透光带种 *F. profunda* 含量逐渐降低。对应三次碳同位素低值, 颗石藻都不同程度出现峰 (谷) 值。同时, 三次 $\delta^{13}\text{C}$ 最低值都发生在冰消期, 而此时海水初级生产力也出现三次最高值并超前 $\delta^{13}\text{C}$ 变化约 4Ka, 可以说明大洋碳储库在冰期旋回中的变化以及其与浮游植物生产力的对应关系。20 万年以来 $\delta^{13}\text{C}$ 逐渐变重可能是由于浮游植物生产力增强, 光合作用优先吸收 ¹²C, 造成海水中富含 ¹³C, 导致海水 $\delta^{13}\text{C}$ 变重。而碳同位素轻值事件可能是由于海水初级生产力升高, 埋藏增多, 到冰消期温盐环流增强, 大洋深层长期固储的 ¹²C 上升、扩散, 导致海水碳同位素变轻, 出现 $\delta^{13}\text{C}$ 最低值。

S3-P-11

全新世南海珊瑚礁碳酸盐生产的周期性与碳循环

余克服*

中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301

*kefuyu@scsio.ac.cn

分布于热带海洋的珊瑚礁长期以来被认为在全球碳循环中发挥着重要作用, 如著名的“珊瑚礁假说”即把 14 ka 前由冰期向间冰期过度期间大气 CO₂ 的突然上升 (~80 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) 归之于珊瑚礁 CaCO₃ 沉积速率的变化 (Berger, 1982)。从机理上看, 珊瑚礁参与碳循环可分有机代谢和无机代谢 2 个方面, 其中有机代谢对珊瑚礁碳循环的贡献很小, 无机代谢中钙化作用在珊瑚礁碳循环中起着最主要作用, 现代每年珊瑚礁 CaCO₃ 的产量占到全球 CaCO₃ 年产量的 7-15%

(Suzuki et al, 2004)。近年来一些研究通过直接观测珊瑚礁区水、气 CO_2 分压 (P_{CO_2}) 变化来研究珊瑚礁对大气 CO_2 的实际贡献, 多数认为珊瑚礁是大气 CO_2 的源, 也有不少认为珊瑚礁是大气 CO_2 的汇。

南海珊瑚礁分布广泛, 从近赤道的曾母暗沙 ($\sim 4^\circ \text{N}$), 一直到南海北部雷州半岛、涠洲岛 ($\sim 20-21^\circ \text{N}$) 以及台湾南岸恒春半岛 ($\sim 24^\circ \text{N}$) 都有分布, 主要为环礁、岛礁和岸礁等 3 种类型。初步估计南海现代珊瑚礁的面积(不包括越南和菲律宾沿岸)约 7974 km^2 (Yu and Zhao, 2009), 年 CaCO_3 的产量为 $2.14 \times 10^{10} \text{ kg}$, 约相当于全球珊瑚礁碳酸盐产量的 1.6—3.3%, 但很可能这二者(南海珊瑚礁的面积与 CaCO_3 年产量)都只是最低估计, 实际数据也许会高得多。现代监测资料表明, 春季西沙永兴岛珊瑚礁是大气 CO_2 的弱源 (Dai et al, 2009), 夏季南沙群岛、西沙群岛和海南岛的珊瑚礁是大气 CO_2 的源 (严宏强等, 2010), 这些资料表明南海珊瑚礁对大气 CO_2 及碳循环有实际贡献。

对南沙群岛、西沙群岛、海南岛和雷州半岛珊瑚礁的发育历史(包括纵向堆积与横向扩展)及其记录的气候特征研究表明, 全新世珊瑚礁的发育及其碳酸盐产量具有明显的千年、百年与年代际尺度的周期性, 且与这一时期南海的气候和海平面变化具有明显的对应关系, 其中中全新世高温期 ($\sim 7.5-6 \text{ cal. ka BP}$, 年平均 SST 比现在高约 $0.5-0.9^\circ \text{C}$) 是珊瑚礁发育最快、碳酸盐产量最高的时期。结合现代珊瑚礁发育向大气释放 CO_2 这一特征, 估计全新世每一个珊瑚礁的发育时期也是向大气中释放 CO_2 的时期, 但珊瑚礁所释放的 CO_2 对气候变化的实际贡献究竟怎样还需深入研究。

S4-O-1

GeoChip: A High Throughput Metagenomics Technology for Characterizing Microbial

Functional Community Structure

Jizhong Zhou*

Institute for Environmental Genomics and Department
of Botany and Microbiology, University of
Oklahoma, Norman, OK

*jzhou@ou.edu

Due to their vast diversity and as-yet uncultivated status, detecting, characterizing and quantifying microorganisms in natural settings are of grand challenge, and understanding the mechanistic linkages between microbial diversity and ecosystem functioning and their feedback responses to human activities and climate change is even more difficult. Large-scale genome sequencing and associated metagenomic technologies have revolutionized the study of microbial communities. The GeoChip is a high throughput metagenomics technology for linking microbial community structure to functions, allowing researchers to address scientific questions which could not be approached previously. Based on the second generations of GeoChip, a new generation of functional gene arrays (GeoChip 3.0) has been developed, with 27,812 probes covering 56,990 gene variants from 292 functional gene families involved in carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur cycles, energy metabolism, antibiotic resistance, metal resistance, and organic contaminant degradation. Those probes were derived from 2,744, 140, and 262 species for bacteria, archaea, and fungi, respectively. GeoChip 3.0 has several other distinct features, such as a common oligo reference standard (CORS) for data normalization and comparison, a software package for data management and future updating, and the *thyA* gene for phylogenetic analysis. Our computational evaluation of

probe specificity indicated that all designed probes had a high specificity to their corresponding targets. Also, experimental analysis with synthesized oligonucleotides and genomic DNAs showed that only 0.0036%-0.025% false positive rates were observed, suggesting that the designed probes are highly specific under the experimental conditions examined. In addition, a software package has been developed to facilitate the management of such a complicated array, especially for data analysis and future update. GeoChips were successfully used to analyze microbial functional structure from a variety of environments such as wastewater treatment, microbial fuel cells from hydrogen production, hydrothermal vents, uranium-contaminated groundwater, the distribution of microbial functional communities across different oil fields, and grassland microbial communities in response to elevated CO₂ and soil warming. New insights and implications in these systems were obtained. The results also indicated GeoChip is a novel, powerful high throughput, quantitative genomics technology for characterizing microbial functional community structure from a variety of natural habitats.

S4-O-2

Molecular insights of N fixation in the deep sea

Senjie Lin^{1, 2*}

¹ LMB and LED, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510301

² Department of Marine Sciences, Department of Marine Sciences, University of Connecticut, Groton, CT 06340, USA)

*senjie.lin@uconn.edu

Biological nitrogen fixation converts N₂ to NH₃ and is the major source of N-nutrient input in the ocean. Ironically, while N₂ fixers is supposed to thrive in N-nutrient limited environments, the open ocean is in the most part nutrient limited. Nitrogen fixation seems to be limited by other nutrients and, as conventionally believed, temperature. For a long time, nitrogen fixation is attributed to the filamentous cyanobacteria *Trichodesmium* and its close relatives that live in the tropical and subtropical regions where nutrients are limited. To make the situation worse, the N₂-fixing enzyme nitrogenase is extremely sensitive to O₂, posing a dilemma between the need for energy and avoiding O₂ generated by photosynthesis. Molecular studies along with microscopic examinations have helped to address how N₂ fixation is segregated from photosynthesis separation. In essence, N₂ fixation is restricted to a fraction of the cell population (heterocysts, which are more prevalent in freshwater, or diazocyte, which are dominant in the ocean) or a fraction of day night cycle. Among the other few groups of diazotrophic marine cyanobacteria, the most important lineage recognized perhaps is *Richelia*, an endosymbiont of diatoms, which sometimes enables the host diatoms to bloom. It has been an unsolved puzzle why nitrogen fixation is so limited. Nitrogen budget analysis shows that nitrogen input to the ocean should be higher. In the last decade, the molecular analysis has continued to reveal new types of N₂ fixer. Unicellular cyanobacteria able to fix N₂ seem to be quite common in the world's ocean and are active in fixing N₂. Interestingly, some of these separate the N₂ fixation from photosynthesis temporally as do the filamentous counterparts, while others, as genome sequencing analysis shows, lack capability to photosynthesize altogether and likely utilizing organic compounds as source of

carbon and energy. There seems to be a diverse flora capable of N₂ fixation using different life strategies. With the advance of genomics and transcriptomics, more exciting discoveries are anticipated in the years to come that will further shape our understanding of nitrogen input to the ocean as well as other pathways of nitrogen cycle in the deep sea.

S4-O-3

Ocean carbon cycling and Novel Diversity of marine Mycoplankton

Guangyi Wang*

Department of Oceanography, University of Hawaii at
Manoa, Honolulu, HI 96822, USA.

*guangyi@hawaii.edu

The assimilation and mineralization of particulate organic matter and dissolved particulate organic carbon (DOC) by heterotrophic microbes is a major process in the ocean carbon cycle. Recent advances in molecular techniques and environmental genomics have greatly advanced our understanding of processes mediated by bacteria and archaea in ocean carbon cycles. Large populations of heterotrophic eukaryotes are well documented in the oceans and yet, their diversity and function in the ocean carbon cycles remain largely unknown. Mycoplankton are a large group of marine microbial eukaryotes, including planktonic fungi and fungoid protists (*Labyrinthulomycetes*). Several lines of evidence indicate that mycoplankton can use dissolved organic carbon and contribute significantly to secondary production in the marine microbial food web. Particularly, thraustochytrids are ubiquitously present in the oceans and their biomass can exceed that of

backteroplankton. This talk will focus our recent discoveries of the novel diversity and carbon cycling of mycoplankton communities in the Western Pacific Warm Pool (WP2) and Hawaiian coastal waters with brief discussion of potential importance of mycoplankton in microbial food web in the world ocean.

S4-O-4

深海适冷细菌的多样性、重要生命过程的生理与生化机制与生态适应

张玉忠*

山东大学微生物技术国家重点实验室, 济南 250100

*zhangyz@sdu.edu.cn

近年来, 我们在海洋深海适冷细菌的生理与生物化学研究方面开展了系统的研究, 取得系列有重要影响的研究结果:

(1) 揭示了参与深海有机氮降解的细菌及蛋白酶多样性, 鉴定了系列细菌新种、新属, 发现了一系列具有新的结构或功能的蛋白酶; (2) 提出了深海细菌的适应深海环境的生活模式, 从基因组水平, 揭示了深海细菌对深海环境适应的遗传学基础; (3) 阐明了深海细菌蛋白酶对胶原蛋白和弹性蛋白等难降解高分子有机氮的降解过程与分子机制; (4) 揭示了 M4 家族金属蛋白酶适冷进化的分子机制。上述研究结果对于揭示深海适冷细菌的生命特征及适冷机制提供了依据, 具有重要的理论意义。

S4-O-5

The Role of Piezophiles in Global Ocean Carbon Cycle

Jiasong Fang^{1*}, Li Zhang², Chiaki Kato³,
Douglas H. Bartlett⁴

1 Hawaii Pacific University

2 China University of Geosciences

3 Japan Agency for Marine-Earth Science and
Technology

4 Scripps Institution of Oceanography

*jfang@hpu.edu

The deep-sea piezosphere encompasses the volume of the deep sea at the depth of 1,000 m and greater, with hydrostatic pressures of over 100 atmospheres or 10 megapascal. The temperature of the piezosphere for the most part is cold (2 – 3 °C) but can be very hot (up to 400 °C or higher) near hydrothermal vents. The deep sea accounts for about 75% of the total ocean volume and hosts ~62% of the global biosphere. Therefore, the deep-sea piezosphere represents a large biotope, possibly the largest, of the Earth.

Piezophiles are pressure-loving microorganisms, which reproduce preferentially or exclusively at pressures greater than atmospheric pressure. The majority of the piezophilic bacteria reported thus far are gram-negative, facultative anaerobic species that belong to the domain Bacteria. Many of the cultured piezophiles are also psychophilic and are thus psychropiezotolerant, -piezophilic, or -hyperpiezophilic. These organisms belong to the class Gammaproteobacteria and species of one of five main genera: *Shewanella*, *Photobacterium*, *Colwellia*, *Moritella*, and *Psychromonas*.

The most abundant lipids detected in piezophilic bacteria are n-alkyl, acetogenic lipids (i.e., fatty acids). Some of the fatty acids biosynthesized by piezophilic bacteria are also commonly found in surface bacteria: C12-19 saturated, monounsaturated, terminal methyl-branched, -hydroxyl, and cyclopropane fatty acids. However, piezophilic bacteria are unique and distinctive in fatty acid biosynthesis in two ways: (1) that they synthesize abundant long-chain

polyunsaturated fatty acids (PUFA), i.e., EPA (20:5 3) and DHA (22:6 3), and (2) that the abundance of unsaturated fatty acids is high and can comprise up to 70% or more of the total fatty acids.

Carbon fractionation in lipid biosynthesis of piezophilic bacteria is pressure dependent. Fatty acids became progressively more depleted in ^{13}C with growth pressure. There is a strong linear correlation between carbon isotopic fractionation and hydrostatic pressure. Overall, piezophilic bacteria fractionate carbon isotopes significantly (14-18 ‰) more than surface heterotrophic bacteria. Thus, the recycling and resynthesis of fatty acids by piezophilic bacteria utilizing organic matter originating from primary production will greatly alter the carbon isotope signature of both short chain bacterial and long-chain planktonic fatty acids in oceanic environments and marine sediments. Further, PUFA had much more negative $\delta^{13}\text{C}$ values than other short-chain saturated and monounsaturated fatty acids. This can be attributed to the operation of two different fatty acid biosynthetic systems in piezophilic bacteria: the FAS (fatty acid synthase)- and PKS (polyketide synthases)-based pathways.

It appears that autotrophic piezophilic Archaea fractionate carbon isotope differently than piezophilic bacteria. A recently reported study on hyperthermopiezophilic archaeon *Methanopyrus kandleri* strain 116 showed that, in contrast to heterotrophic bacteria, carbon isotope fractionation in this autotroph decreases with growth pressure in cell biomass and methanogenesis. It seems that carbon isotope fractionation by autotrophic piezophilic Archaea at elevated pressures is more an environment-dependent kinetic process, rather than an organism type-specific biological process.

Piezophilic microorganisms influence the surface of the Earth by changing the chemistry of the ocean and by affecting the rate of marine organic matter degradation and organic carbon burial, with consequences for both the marine carbon cycle and global climate. Continued international interest in exploring the deep ocean provides impetus to increase our understanding of the deep-sea piezosphere and of the influence of piezophilic microbial communities on the global ocean environment and on biogeochemical cycling occurring in the deep sea.

S4-O-6

深海冷泉区甲烷循环与氮循环关系的探讨

王风平*

上海交通大学生命科学技术学院

*fengpingw@sjtu.edu.cn

海洋中的甲烷来源有很大一部分是生物来源的, 根据目前的碳同位素鉴定结果, 多数的天然气水合物是由甲烷产生菌通过降解埋藏在无氧海洋沉积物中的有机物形成大量的甲烷储存库而形成的。通常从海洋中释放到大气中的甲烷仅占大气甲烷含量的 10%—20%, 海洋中 80% 以上的甲烷在到达有氧水体前就已经被消耗。40 年来对甲烷产生菌、甲烷氧化菌和海洋生态系统中甲烷生物地球化学过程研究不断深入, 近期更是采用环境基因组技术和同位素标记技术证实甲烷氧化菌通过甲烷产生反应的逆过程厌氧氧化甲烷。目前已经发现有三大类古菌 ANME1, 2, 3 参与甲烷氧化, 但到目前为止, 厌氧甲烷氧化菌 (ANME) 还没有能够在实验室得到培养, 对于 ANME 参与的甲烷演化的控制机制, 甲烷循环与其它重要物质循环特别是 N 循环的关系还知之甚少。我们对高度富集的 ANME2a-DSR 菌群进行了细致的群体基因组和转录组的分析, 发现在高度特异化的厌

氧甲烷氧化-硫酸盐还原群体中除了已经报道的完整的甲烷氧化途径 (包括在 ANME1 中缺少的 Mer 基因) 和硫酸盐还原途径, 还保留有少量好氧化细菌和好氧化完整的代谢途径, 甲基氧化菌和完整的反硝化途径, 并且这些基因处于表达状态。特别引人关注的是在这一活跃的厌氧甲烷氧化微生物群体中发现了所有参与 N 的固定, 反硝化途径的关键酶基因, 表明甲烷氧化与 N 循环密切偶联。

S4-O-7

16S rRNA and hzo genes analyses reveal a high diversity of *Candidatus Scalindua anammox* bacterial community in the deep-ocean subsurface sediment of South China Sea

Yiguo Hong², Meng Li¹, Huiluo Cao¹, Ji-Dong Gu^{1, 3*}

1 School of Biological Sciences, The University of Hong Kong

2 South China Sea Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences

3 Swire Institute of Marine Science, The University of Hong Kong

*jdgu@hkucc.hku.hk

Anaerobic oxidation of ammonium (anammox) is an important process for global nitrogen cycle. In this study, the occurrence and diversity of this group of microorganisms in the deep-ocean subsurface sediment of South China Sea (SCS) were investigated. Our results showed that anammox bacteria, all closely related to *Candidatus Scalindua* genus, were recovered from this habit by amplifying 16S rRNA and hzo genes. Moreover, a greater diversity of *Candidatus Scalindua* bacteria in

the deep-ocean subsurface sediments than previously thought was observed. A total of 96 clones from 346 clones grouped into 5 subclusters: Scalindua 1 and 2 belonged to the previously identified brodae and arabica subcluster, but Scalindua 3, 4 and 5 showed only $\leq 97\%$ nucleotide sequence identity to other known Candidatus Scalindua species. At the same time, a total of 88 hzo gene sequences from the sediment also formed five distant subclusters within Hzo cluster 1c, which is compatible to the phylogeny of 16S rRNA gene. Based on the phylogenies of 16S rRNA and hzo genes and their geographic distributions, we proposed that the anammox bacteria of Scalindua 3, 4 and 5 of this study represent novel anammox bacteria phylotypes, namely southchina-I, -II and -III. Additional statistical analysis showed a correlation between the diversity and abundance of anammox bacteria and ammonium and nitrate concentrations, indicating the potential impacts from anammox substrates on selection of the specific species. Combining all the results obtained, we propose that the anammox bacteria with a high diversity may be involved in the nitrogen cycle of deep-ocean subsurface biosphere.

S4-O-8

埃迪卡拉期海洋化学结构的独特性及其在早期动物演化中的角色

Chao Li^{1*}, Gordon D. Love¹, Timothy W. Lyons¹, David A. Fike², Alex L. Sessions³, Xuelei Chu⁴

¹ Department of Earth Sciences, University of California, Riverside, CA 92521, USA

² Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University in St Louis, MO 63130, USA

³ Department of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, USA

⁴ State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

*chaoli@ucr.edu

埃迪卡拉期（635—542 百万年以前）是地球历史时期中表层环境与生命演化发生关键变化的一个阶段。其中突出的代表是动物在地球上的首次出现。鉴定早期动物所赖以生存的海洋环境的化学结构是了解这一时期环境变化与生命演化之间耦合关系的关键。广泛分布于我国华南新元古代南华海相盆地中的陡山沱组（沉积于 635—551 百万年之间）以其良好的地层保存与出露、清楚的古海洋沉积相分布和丰富的地质与古生物背景资料为此研究提供了独一无二的机会。运用最新的铁化学组分分析技术和硫同位素分析技术，通过对陡山沱组时间与空间地球化学记录的研究，我们发现埃迪卡拉期海洋化学结构远比以前想像得复杂，并由此提出一个全新的埃迪卡拉期海洋化学模型。模型的核心是在表层氧化混合水体下，一个由海水硫酸盐含量动态控制的硫化带寄居在陆架之上，但同时被富含 Fe(II) 的深部水体所包裹。这一独特的海洋化学结构为早期动物生命的发生及演化提供了一个全新的环境背景。运用这一模型可以很好解释这一时期所获得的看似矛盾的地球化学记录以及不连续的早期动物化石记录。由此，我们的研究将海洋化学演化模型带入一个三维差异与动态维持为特征的新时代。由于导致这一独特海洋化学结构的关键因素是新元古代陆地分化来源的硫酸盐对海洋输入的持续下降和广泛冰期过程中黄铁矿过度沉积对海洋中硫化物的清除——所有这些因素都是全球范围内的，因此我们预测这一独特海洋化学结构在埃迪卡拉期全球范围内应广泛存在。

S4-P-1

元古宙古海洋碳、硫循环的几个问题

储雪蕾*

中国科学院地质与地球物理研究所

*xlchu@mail.iggcas.ac.cn

地质历史上古海洋的碳同位素变化由沉积的海相碳酸盐岩所记录,各个时代沉积的海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 随年代变化实际上反映了海水的无机碳的碳同位素变化。有趣的是,地质历史上频繁的、大幅度的碳酸盐岩的碳同位素变化出现在古元古代(大约24—20亿年前)和新元古代(大约8—5亿年前)期间,与前寒武纪的两个“雪球地球”和大气圈氧升高的时期基本吻合。一个简单的碳循环模式(同位素质量守恒)告诉我们,海洋碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 高于0‰,意味着生物产率增加且有机碳埋藏增加;而碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 低于0‰,则指示有机碳埋藏减少。因此,我们可以推断发生在新元古代“雪球地球”前后海洋无机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 的高幅频繁变化反映了古气候(green house-ice house)和古生产力的剧烈变化。

对华南的埃迪卡拉纪(635Ma—542Ma)碳酸盐岩的同位素研究(McFadden et al., 2008),证实 Marinoan 冰期(我国称南沱冰期)之后的台地相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 曾经历至少四次大的负漂移,并且可以大致对比。但是,如果从台地到斜坡、盆地,就会发现深水沉积的碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般都是负值,低于台地碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,且变化不明显。这表明“雪球地球”结束之后的海水是长期分层的,深水碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 比浅水低可能是长期“生物泵”的结果。不过,它们之间的差远不止2—3‰,不同于现代海洋的“生物泵”。另外,有机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 也随深度变化,并且与无机碳的变化解耦,很难用稳态模式解释。采用我们的氧化还原分层模型(Li et al., 2010)和 Rothman 等(2003)的模式(假定海洋除无机碳库外还存在一个大的有机碳,即 DOC 库)能够很好地解释上述现象。

中元古代曾经存在一个长达10亿年的硫化(euxinic 或 sulfidic)海洋时期(约1.8Ga~0.8Ga)。Johnston 等(2009)认为那一时期海洋主要是不产氧(anoxigenic)的光养生物贡献了初级生产力,因此这既不制造 O_2 又通过 H_2S 作为电子供者产生有机质其结果生物地球化学循环的正反馈维持了硫化的海洋,也使那一时期大气氧不持续增加。他们认为只有到新元古代硫化海洋结束和富 Fe^{2+} 海洋出现,才消除真核生物多样化的障碍,海洋才实现完全的产氧光合作用,大气氧含量才会又一次升高。其实,大气氧含量升高与不产氧光合作用无直接关系,而与有机质埋藏密切相关。一般来讲,有机质埋藏增加,大气氧含量会升高,无论这有机质是通过何种光合作用产生。由此,我们可以得出要不在这长达10亿年的硫化海洋统治时期大气氧含量随有机质埋藏仍会持续增加,要不就是不产氧的光合作用过程中通过不产氧的光养生物作用参与的地球化学循环使氮、磷被氧化。这种碳循环的结果没有使碳库变化,而改变了海洋的氮、磷库,使它们氧化的比例增加,这对到新元古代富 Fe^{2+} 海洋的出现和真核生物多样化同样具有重要意义。

S4-P-2S

非硫化环境中成岩黄铁矿粒径分布特征及其对水体氧化还原条件的指示意义:中上扬子区鄂西台间盆地栖霞组下部(二叠系)暗色碳酸盐沉积黄铁矿的研究

韦恒叶^{1,2*}, 陈代钊¹, 汪建国¹

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 中国科学院研究生院

*weihengye@yahoo.com.cn

由细菌硫酸盐还原作用形成的黄铁矿草萁粒径分布可以反映水体的氧化还原条件

(Wilkin, 1996)。Wilkin (1996, 1997, 2001) 与 Wignall (1998) 等人在这方面做了大量的研究。研究的内容都是集中在利用黄铁矿草莓粒径分布特征来区分同沉积黄铁矿(形成于硫化水体中)和成岩黄铁矿(形成于氧化-贫氧水体下部沉积物中)。而有关成岩黄铁矿中黄铁矿草莓粒径分布与水体氧化还原程度的关系的研究目前尚未有报道, 其中的机理也没有人明确的提出。因此本文以此为切入点, 详细研究成岩黄铁矿草莓粒径对氧化还原环境的指示意义。

中上扬子区在栖霞早期(中二叠纪)在鄂西北部发育一个东西向的坳陷, 即所谓的鄂西台间盆地。在周围均为浅海相碳酸盐台地环境下从老到新分别沉积石炭-二叠系古风化壳粘土岩、煤、深灰色至黑色泥质灰岩/黑色钙质页岩、以及灰色石灰岩。研究的目的层为深灰色至黑色泥质灰岩(marlstone)/黑色钙质页岩。其中以深灰色富含有机质的泥质灰岩为主, 偶尔夹有薄层石灰岩/白云岩、中厚层白云岩以及黑色钙质页岩。野外露头剖面位于湖北省西部恩施市南郊 5 公里处环城公路边, 露头新鲜、栖霞组下部地层连续。

沉积黄铁矿较为发育, 平均含量为 0.3%, 肉眼能看见亮黄色的颗粒。反光镜下见有大片的自形黄铁矿以及分散或集中分布的黄铁矿草莓小圆点。扫描电镜分析发现, 自形黄铁矿除了单晶或连片分布的晶体以外, 还有草莓黄铁矿向自形黄铁矿过渡的形态。黄铁矿草莓既有分散的单体草莓又有草莓串(framboids cluster)。黄铁矿草莓普遍见到重结晶现象, 草莓之间经常连接成片, 单体草莓最外围也常被后期自形黄铁矿包围。黄铁矿中, 草莓状黄铁矿的比例为 10%至 72%之间。黄铁矿的这些形态特征表明黄铁矿草莓形成于早期成岩阶段沉积物中而不是水体中。

虽然黄铁矿草莓普遍受到重结晶的影响, 但草莓直径大小仍然能较好的保存下来。在扫描电镜观察过程中, 我们选取那些保存较好的黄铁矿草莓在屏幕上读取其直径大小, 进行统计分析, 每个样品一般统计 100

个草莓以上, 作出盒须分布图(box-and-whisker plots)。结果表明, 对比现在硫化黑海黄铁矿草莓直径, 恩施沉积物中的草莓直径较大, 粒径分布范围较宽。盒须图呈锯齿状分布。这些特征表明恩施沉积物中黄铁矿草莓是在氧化-贫氧水体下部沉积物中形成。而且盒须图中齿状突出的样品对应着反映氧化水体条件的灰色石灰岩以及单偏光镜下见到丰富底栖动物的泥岩灰岩样品; 而盒须图中“凹槽”状分布的样品对应着颜色较深的暗色泥质灰岩或层纹状钙质页岩。这些暗色泥质灰岩或层纹状钙质页岩底栖生物较少, 这些生物相一般对应着贫氧环境(Wignall, 1998)。因此, 在成岩黄铁矿中, 草莓的粒径分布同样与水体的氧化还原条件有关。水体就越氧化, 其黄铁矿草莓直径越大, 粒径变化越宽。经过研究, 得出以下关于成岩黄铁矿粒径大小与水体氧化还原条件呈正比的原因。黄铁矿草莓的大小主要受停留在氧化还原界线附近的时间长短有关(Wilkin, 1996)。氧化-贫氧水体环境中其氧化-还原界线位于沉积物下部某一深度。沉积物-水界面与氧化还原界线之间的沉积物中普遍发育有还原的微环境(Jørgensen, 1997)。这个微环境可以形成黄铁矿草莓。而当这个微环境由于被埋藏逐渐接近氧化还原界线并最终进入细菌硫酸盐还原带以后, 同样有利于黄铁矿的形成。也就是说微环境中形成的黄铁矿比只在氧化还原界线稍靠下方的硫酸盐还原带中形成的黄铁矿, 其晶体成长时间要长, 形成的黄铁矿草莓直径也就较大。这也是为什么成岩黄铁矿草莓粒径分布中出现较多的大颗粒草莓的原因。当水体含氧量越高, 沉积物中的氧化还原界线就会越深, 一部分微环境到达氧化还原界线的时间就越长。也就是说一部分微环境中的黄铁矿草莓生长时间随着上覆水体的氧化程度的增加而增加, 因此形成的黄铁矿草莓直径也就越大。

S4-P-3

深海冷泉碳-氮耦合生物地球化学循环微生物过程

党宏月*

中国石油大学(华东)

*danghy20042000@yahoo.com.cn

深海冷泉往往和海底天然气水合物(可燃冰)矿藏等的分布密切相关,由于储量巨大,能量密度高,清洁无污染,天然气水合物是公认的“后石油时代”首选替代能源。同时天然气水合物中的甲烷是一种作用非常强烈的温室气体,因此,冷泉及天然汽水合物的研究成为海洋碳循环研究的重点内容。在海洋沉积物中微生物是甲烷生成、转化及冷泉生态系统发育的最关键生物类群,因此,冷泉环境微生物的碳循环研究长期以来一直是海洋生态与环境研究的热点。在海底冷泉环境中,由于存在大量的甲烷和硫酸盐,微生物生长代谢所需的碳和硫组分非常丰富,碳和硫循环在该环境中通量大、速度快,为繁盛的冷泉生态系统发育提供了物质和能量基础。但是,繁盛的冷泉生态系统的高生物量和生物生产率同时要求有丰富的氮营养盐的输入和快速周转,快速高通量的碳、硫循环同时意味着快速高通量的氮循环。我们对深海冷泉环境中的氮素生物地球化学循环微生物进行了分子生态学研究,发现氮循环的一些过程在该环境下发挥着极其重要的生态作用。并且,最近的一些研究成果表明,碳、氮生物地球化学循环过程可能存在密切偶联,微生物介导的氮生物地球化学循环速率和规模可能直接或间接控制了碳循环的速率和通量,氮循环研究在深海冷泉碳循环研究中非常重要,应得到足够重视。

S4-P-4

墨西哥湾北陆坡 AC 区冷泉碳酸盐岩中生物标志化合物及碳同位素特征

管红香^{1,2,3*}, 吴能友^{1,2}, 陈多福^{1,2}

1 中国科学院广州能源研究所

2 中国科学院广州地球化学研究所

3 中国科学院研究生院

*gvanhx@ms.giecc.ac.cn

甲烷厌氧氧化是海底甲烷渗漏活动过程中最重要的生物地球化学过程,是甲烷氧化古菌(Anaerobic methane-oxidizing Archaea, MOA)和硫酸盐还原菌(sulfate reducing bacteria, SRB)共同作用的结果,甲烷厌氧氧化活动导致其周围环境碱度的增加并促进自生碳酸盐岩的沉积。在现代冷泉渗漏系统中,酯类生物标志化合物和他们的碳同位素组成将详细记录与冷泉渗漏相关的各种微生物活动信息。目前,与冷泉渗漏相关的各类生物标志化合物(如:具有极低的碳同位素值的藏花烷, PMI, 甘油二烷基甘油四醚, 二烷基甘油二醚, 奇碳数异构(i-)/反异构(ai-)脂肪酸等)都有大量并详尽的研究。但由于采样困难,对 2000 m 以下的深海冷泉渗漏区的自生碳酸盐岩的生物标志化合物研究较少。本文对墨西哥湾北部水深 2200 m 的 Alaminos Canyon 645 区块(AC 645 区)的冷泉碳酸盐岩的生物标志化合物及其碳同位素组成进行了研究。

实验方法:样品磨碎至 200 目干燥,用二氯甲烷/甲醇混合溶剂索氏抽提 72h。抽提后的残渣自然晾干,用 10% 的盐酸缓慢溶解,为避免脂交换反应,待样品溶解 80% 后停止加入盐酸,用二氯甲烷萃取有机质,并与抽提得到的有机质合并。用硅胶-氧化铝柱进行族组分分离,获得饱和烃、芳烃和极性组分。将酸解获得的 HCl 不溶物冷冻干燥,得到的酸解残渣和非烃分别用 6% KOH-甲醇溶液皂化,平衡 12h 后,用正己烷萃取其中的有机质,萃取出的有机质进行硅胶/氧化铝柱层析,依次得酮和脂肪醇。余下的溶液进行反萃取获得脂肪酸组分。将脂肪酸进行甲酯化,然后将脂肪酸组分进行 GC-MS、GC/IRM 分析。

结果:在墨西哥湾下陆坡深水区的冷泉碳酸盐岩样品 AC-E 中检测到 30 多种脂肪酸化合物,主要由正构脂肪酸、异构(i-)和反

异构 (ai-) 脂肪酸组成,以低碳数 ($< C_{20}$) 为主,并有少量的高碳数脂肪酸.AC-E 样品中正构脂肪酸碳数分布范围为 C_{12} - C_{28} ,且检测到正构不饱和脂肪酸 $C_{14:1\Delta 7}$ 、 $C_{16:1\Delta 7}$ 、 $C_{18:1\Delta 9}$ 和 $C_{18:2}$.样品中丰度最高的脂肪酸为 $n-C_{16:0}$,其次为 $C_{18:1\Delta 9}$ 、 $n-C_{14:0}$ 和 $n-C_{18:0}$.正构饱和脂肪酸 $\delta^{13}C$ 值为 -32.4% ~ -27.6% ,正构不饱和脂肪酸 $C_{16:1\Delta 7}$ 为 -20.0% , $C_{18:1\Delta 9}$ 和 $n-C_{18:2}$ 的 $\delta^{13}C$ 值均为 -25.5% .除正构脂肪酸外,样品中还检测到支链的奇碳数脂肪酸 (iso/anteiso- $C_{15:0}$),其 $\delta^{13}C$ 值分别为 -64.0% 和 -50.5% .

讨论: 样品中共检测到 30 多种脂肪酸化合物,主要由正构脂肪酸、不饱和脂肪酸和异构 (i-) / 反异构 (ai-) 脂肪酸组成,以低碳数脂肪酸为主并含有少量高碳数脂肪酸。主要来源于细菌和低等藻类.其中具有偏低的碳同位素的异构饱和脂肪酸 $i-C_{14:0}$ 和正构饱和脂肪酸 $n-C_{14:0}$ 很有可能来源于冷泉区与细菌共生的大生物体,这些生物的共生体很有可能利用了热成因甲烷作为它们的能量来源; 单不饱和脂肪酸 $C_{16:1\Delta 7}$ 、 $C_{18:1\Delta 9}$ 和多不饱和脂肪酸 $C_{18:2}$ 相对于 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ 较富集碳同位素, $C_{16:1\Delta 7}$ 、 $C_{18:1\Delta 9}$ 和 $C_{18:2}$ 很有可能来源于管状蠕虫,并且这些管状蠕虫将溶解无机碳作为它们的碳源; 而具有极负 $\delta^{13}C$ 值的支链奇碳数脂肪酸(Ig. iso/anteiso- $C_{15:0}$) 代表了来源于甲烷厌氧氧化过程中的硫酸盐还原菌的生物标志化合物,其极低的碳同位素值说明参与甲烷厌氧氧化过程的甲烷是生物来源的。

S4-P-5

Impacts of Environmental Change and Human Activity on Microbial Ecosystems on the Tibetan Plateau, NW China

Hailiang Dong*

Department of Geology, Miami Univ, Oxford, OH
45056

*dongh@muohio.edu

Microorganisms play important roles in maintaining ecosystem functions. It is poorly known, however, how microbial ecosystems respond to environmental changes and human activities. The purpose of this paper is to demonstrate that the microbial record in lake sediments and ice cores contains a wealth of paleoenvironmental and paleoclimatic information. Saline lakes on the Tibetan Plateau exhibit multiple environmental gradients and have accumulated thick sequences of sediments through time. Microbial abundance and species diversity vary considerably along environmental gradients across the plateau. Studies of lake sediments reveal that wet and warm climates are correlated with high bacterial abundance and diversity, whereas cold and dry climates result in low abundance and diversity. Recent human activities have enhanced sulfate reduction in lake sediments. Ice cores from the plateau reveal that bacterial abundance and diversity are positively correlated with dust particle concentration and temperature.

S4-P-6

常温异养古菌 MCG 的生理遗传特征

孟君^{1,2}, 郑燕萍^{1,2}, 秦丹², 唐晓敏^{1,2}, 徐俊³, 肖湘³, 王风平^{3*}

1 厦门大学

2 国家海洋局第三海洋研究所

3 上海交通大学

*fengpingw@sjtu.edu.cn

MCG 古菌是自然界含量最大,分布最为广泛的一类未培养古菌。MCG 古菌不仅含量丰富,同时代谢活跃,因此此类古菌在生物地球循环中的作用日益引起人们的关注。近年来,随着大洋 ODP 计划的发展,底部生物

圈中发现了非常丰富的 MCG 古菌,大家对异养古菌的热度不断升温。MCG 的适应性非常强,能够在多种环境中存在,其广适性的生物学特点也与众不同。由于 MCG 古菌尚未获得纯培养,因此对其的研究还处在分子调查的阶段。我们通过构建大片段宏基因组文库的方法,筛选和分析 MCG 古菌基因组片段上的遗传和生理特征。研究发现, MCG 古菌基因组上含有与环境适应性相关的 Na/H 反转运系统,动力敏感通道相关的基因。除此之外,我们还发现了与趋化性相关的甲基受体蛋白,以及与芳香族化合物降解有关的蛋白。这是 MCG 古菌的异养生命过程第一次在基因组上的描述。

为了进一步验证其降解有机质(原儿茶酸)的能力,我们设计了原位富集实验,通过 mRNA 表达验证表明:在原儿茶酸诱导的情况下,与其代谢相关的基因发生了基因表达上调。因此,通过表达实验,我们首次获得了 MCG 古菌可能参与有机质降解的证据。

S4-P-7

赤道太平洋东部水体中重晶石颗粒特征、垂向分布及成因探讨

孙晓霞^{1,2*}, 杨作升^{1,2}, 范德江^{1,2}

1 中国海洋大学海洋地球科学学院

2 中国海洋大学海底资源与探测技术重点实验室

*xiaoxias@ouc.edu.cn

2005 年“大洋一号”在赤道太平洋东部水深 5000 m 的 WS0504 (简称 WS 站)站和 ES0504 站(简称 ES 站)各取得 9 个不同水深层位的悬浮体颗粒物样品。利用扫描电子显微镜(SEM)结合 X 射线能谱仪(GENESIS)及背散射成像系统(BSE)分析方法,对这些层位悬浮体中的重晶石颗粒进行了系统的观察研究,研究了该区悬浮体中重晶石颗粒形态特征,粒度及其垂向分布特征,并对其成因进行了探讨。

在所有层位的悬浮颗粒物中均发现微米级级(micron-sized)的重晶石颗粒,用 X 射线能谱仪对重晶石颗粒进行成分的半定量分析发现大部分的重晶石颗粒成分为较纯的 BaSO₄,只有个别层位含少量的 Na、Ca 等杂质。大部分重晶石以单颗粒形式出现,粒度大小在 0.5—3 μm 之间;少部分重晶石以更加细小的亚晶粒(submicron-sized crystals)集合体的形式出现,个别层位发现多个重晶石以聚集成团的形式出现。重晶石颗粒可被有机质、碳酸钙或钛的氧化物(或氢氧化物)等胶质基底包裹。

重晶石形态丰富多样。单个颗粒的形态大致可以分为四类:1)具有圆滑边缘、边缘完整的颗粒,常呈卵形、长方-椭圆形等;2)具有较好晶体形态,边缘清晰完整,棱角尖锐的颗粒,主要有菱形、长方形、六边形、箭头形及其他不规则形状的颗粒;3)局部出现空隙、显示生物微结构特征的不规则颗粒;4)边缘模糊的不规则形状颗粒。亚晶粒集合体中单个颗粒<0.5 μm,某些颗粒边缘模糊,整个微晶集合体长径在 2—5 μm 之间,短径在 1—3 μm 之间。

对每个层位 100 幅电镜图像(放大 1200 倍)中重晶石的个数进行了统计,得出了其数量分布特征。发现重晶石在水体中的垂向分布表现出如下特点:WS 站表层至 100 m 水深水体中重晶石的数量较低,均不超过 20 个,至 200 m 处则急剧增加至 67 个,200 m 向下为震荡性变化,但基本保持在 40 个以上,至底层水体重晶石数量大幅增加,达到 145 个的最高值。ES 站重晶石的个数在表层至 100m 水深水体中数量同样较低,均不超过 15 个,至 200 m 处则急剧增加至 111 个,达到本站各水层重晶石个数的最大值。并在 800 m 水深基本保持不变,800 m 向下直至最底层水体中重晶石个数呈递减趋势,最底层水体中重晶石个数为 35 个。显示两站重晶石数量在垂向上的分布差异较大。

粒度分析表明,重晶石颗粒随水深波动式增大,至底层达到最大。ES 站重晶石粒度比 WS 站要粗。

调查站位重晶石形态独特、结构多样。初步分析认为主要受生物作用的制约，部分颗粒可能具有微生物结构的形态，支持它的生物成因分析。自形晶、亚晶集合体可能与生物化学过程有关，而其结晶程度、晶体大小和形状则受结晶学机理制约。部分重晶石颗粒边缘模糊或不规则形状，可能与部分溶解有关。太平洋重晶石饱和深度在 2000—3500 米，在 3500 米以下为不饱和深度，但本研究结果表明，WS 站 3500 米以下重晶石的含量和粒度都显著增加，其原因尚待进一步探讨。

S4-P-8

Phylogenomic analysis reveals widespread horizontal gene transfer in marine *Roseobacter* and its consequences in relation to phytoplankton

Kai Tang^{1*}, Hongzhan Huang², Cathy H Wu², Winona C Barker², Nianzhi Jiao¹

1 National Key Laboratory of Marine Environmental Sciences, Xiamen University

2 Protein Information Resource (PIR), Georgetown University

*tangkai@xmu.edu.cn

Members of the *Roseobacter* clade which play a key role in the biogeochemical cycles of the ocean are diverse and abundant, comprising 10-25% of the bacterioplankton in most marine surface waters. The rapid accumulation of whole-genome sequence data for the *Roseobacter* clade allows us to obtain a clearer picture of its evolution.

Methodology/Principal Findings In this study about 1,200 likely orthologous protein families were identified from 17 *Roseobacter* bacteria genomes. Functional annotations for these genes are provided by iProClass.

Phylogenetic trees were constructed for each gene using maximum likelihood (ML) and neighbor joining (NJ). Putative organismal phylogenetic trees were built with phylogenomic methods. These trees were compared and analyzed using principal coordinates analysis (PCoA), approximately unbiased (AU) and Shimodaira – Hasegawa (SH) tests. A core set of 694 genes with mainly vertical descent signal that are resistant to horizontal gene transfer (HGT) are used to reconstruct a robust organismal phylogeny. In addition, we also discovered the most likely 109 HGT genes. The core set contains genes that encode ribosomal apparatus, ABC transporters and chaperones often found in the environmental ‘omic’ data. These genes in the core set are spread out uniformly among the various functional classes and processes. Here we report phylogenetic evidence for the transfer of eleven genes involved in vitamin B12 synthesis as well as dimethylsulfoniopropionate (DMSP) degradation genes among the *Roseobacter* clade bacteria, and these genes are essential for bacteria and their eukaryotic partners’ growth.

S4-P-9

南海深海沉积物古菌群落调查

王鹏^{1*}, 李涛¹, 胡安谊², 张传伦^{1,3}

1 海洋地质国家重点实验室，同济大学

2 近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门大学

3 海洋科学系，佐治亚大学

*pengwang@tongji.edu.cn

采用古菌 16S rDNA 通用引物调查了南海南北两个位点（MD05-2896，南部；MD05-2902，北部）的古菌群落结构。结果表明广古菌在两个位点占优势，其含量分别是 61.4%（MD05-2896）和 56.2%

(MD05-2902)。在两个位点的广古菌群落中, Marine Benthic Group D (MBGD), Terrestrial Miscellaneous Euryarchaeotal Group (TMEG) 和 South African Goldmine Euryarchaeotal Group (SAGMEG); 泉古菌群中, Marine Benthic Group B (MBGB), Marine Group I (MGI), pSL12 和 C3 的含量比较高。统计分析表明, 古菌群落结构在两个位点的垂向上没有显著变化, 表明在南海深部沉积物中古菌无明显分层现象。但是两个位点之间的古菌群落结构有明显差异, RDA 分析表明这种差别很有可能与地理位置差异有关。

S4-P-10S

Archaeal Diversity Associated with Methane-Rich Sediments in the South China Sea

Yuli Wei¹, Peng Wang¹, Zhanfei Liu², Meixun Zhao^{1,3}, Chuanlun Zhang^{1,4*}

1 State Key Lab of Marine Geology, Tongji University

2 Department of Marine Science, The University of Texas

3 Institute of Marine Organic Geochemistry, Ocean University of China

4 Department of Marine Sciences, University of Georgia, Athens

*archaea.zhang@gmail.com

Archaea are widespread and play an important role in the global carbon and nitrogen cycles. However, we still have limited knowledge about archaeal diversity and their function in the natural environment. The purpose of this study was to examine the diversity, distribution and abundance of archaea associated with methane-rich sediments in the South China Sea. Chemical analysis indicated that the core was rich in methane and had low TOC/TN ratios (< 8), which indicated a marine source of the organic

matter. Total amino acids ranged between 2.72 μ mol/g and 8.75 μ mol/g. Phylogenetic analysis revealed that archaeal community structures were dramatically different and Crenarchaeota dominate over Euryarchaeota among the surface, middle and bottom sediments of the core. Especially, statistical analysis shows that MCG and MBGD increase in phytotypes with increasing depth of the core, which indicates MCG and MBGD may play an important role in the methane-rich environments. The archaeal lipids (GDGTs) show an increase in abundance with depth, which may correspond to climate change from the last glacial maximum (LGM) to post-glacial period.

S4-P-11

The first obligate piezophilic hyperthermophilic archaea *Pyrococcus yayanossi* CH1: A living fossil of early life?

Xiang Xiao*

School of Life Science and Biotechnology, Shanghai

Jiao Tong University, P R China

*xoxiang@sjtu.edu.cn

Throughout geologic time, a strong feedback has existed between the geosphere and biosphere. Microbial genomes provide information about molecular clues to the events leading to the evolution of these genes in the geological past. Given likely early Earth conditions, deep sea hydrothermal vents may host some living microorganisms which mimic early life.

In collaborating with French colleagues, we isolated anaerobic heterotrophic microorganisms under high-temperature and high-hydrostatic pressure conditions, using chimney samples collected from the site

‘Ashadze’ which is the deepest vent field known so far (depth 4100 m). Strain CH1 was successfully isolated and assigned to the genus *Pyrococcus*. Growth was recorded within a temperature range of 80 to 120 °C and a pressure range of 20 to 150 Mpa. No growth was observed under atmospheric pressures for temperatures ranging from 60 to 110 °C. *Pyrococcus yayanossi* CH1 represents the first obligate piezophilic hyperthermophilic microorganism known so far and shows clear that it originates and could just live in deep subsphere which may keep stable for billions of years. We are trying to deduce the endogenous networks of CH1 from its genomic sequence and its evolutionary position by comparative genomic analysis. These data will also be used to infer the geochemical parameters of early biosphere.

S4-P-12

Ecological and Geochemical Functions of Archaea in Space and Time

Chuanlun Zhang^{1,2*}

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University

2 Department of Marine Sciences, University of Georgia

*archaea.zhang@gmail.com

The last two decades have seen several important discoveries in the domain Archaea, which include but are not limited to: 1) the wide occurrence of nothernophilic archaea in the open ocean, soil, deep subsurface sediments, and many other low temperature environments, 2) the chemolithoautotrophic oxidation of amminia by crenarchaeota across a wide range of temperature and pH, 3) the anaerobic oxidation of methane by

euryarchaeota, 4) the archaeal lipid biomarker proxies for paleotemperatures and ancient gas hydrates, and 5) the genomic evolution of archaea. I will summarize recent advances in genomics, ecology, biogeochemistry, and paleoclimate studies of archaea from diverse natural settings on Earth and discuss possible roles these archaea play in carbon and nitrogen cycles, particularly in the deep subsurface marine sediments.

S4-P-13

深海细菌、古菌的代谢活性及对碳储库的贡献

张瑶*, 焦念志

厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室

*yaozhang@xmu.edu.cn

南中国海此起彼伏的中尺度反气旋冷涡引起了深层海水的上涌, 并将营养盐带入上层海洋, 从而导致真光层初级生产力和生物泵效率的快速提高。深层海水的上涌同时也带来了深海溶解有机质, 从而导致冷涡内外有机质组份的差异。针对冷涡导致的水团运动及营养盐、有机质的变化对原核生物群落组成和活性的影响进行研究, 发现尽管原核生物总丰度和总活性随深度逐渐下降, 但原核生物群落对 D 型天冬氨酸 (D-Asp, 惰性 RDOC) 和 L 型天冬氨酸 (L-Asp, 活性 LDOC) 的吸收活性比例随深度逐渐增高, 这表明深海原核生物对惰性溶解有机碳的利用能力较强。而在原核生物群落中, 细菌在总丰度和总活性细胞中所占的比例随深度逐渐下降, 但海洋泉古菌类群则呈相反趋势。这表明海洋泉古菌是深海对惰性有机碳利用的主要贡献者。比较冷涡中心站位和冷涡外站位发现, 原核生物群落对 D-Asp:L-Asp 的吸收比例, 及泉古菌对 D-Asp 吸收利用的贡献, 在冷涡站位要显著高于冷涡外站位, 尤其是在中层至上层海洋。经过对各种因子的比较分析发现, 造成原核生物类群这种冷涡内外差异的关键因子是有机碳组分上的差异。发荧光的

有机质（腐殖质有机质）作为一类惰性有机碳组分被分析，发现由于反气旋冷涡造成的深层海水上涌，导致惰性有机碳组分在冷涡站位比冷涡外站位显著增多，从而使得上涌带来的深海泉古菌类群在冷涡中心的上层水体中分布较多，且活性较高。这一研究成果第一次提供了深海原核生物类群（主要为泉古菌）的分布及活性与腐殖质这类惰性溶解有机质组份紧密相关的证据。

S4-P-14S

好氧不产氧光合细菌光合超操作子和硫氧化基因簇的结构分析

郑强，张锐，焦念志*

厦门大学海洋环境科学国家重点实验室

*jiao@xmu.edu.cn

好氧不产氧光合异常细菌（AAPB）是海洋中一个重要的功能生态类群。现已知的海洋 AAPB 分为三个类群，Roseobacter 进化分枝，Eryth-Citro 和 NOR5/OM60 进化分枝。它们的光合基因超操作子有个保守的亚结构组成：bchFNBHLM-LhaA-puhABC 和 crtF-bchCXYZ。根据光合基因的组成和排列，我们发现了光合细菌中四种光合基因超操作子的排列方式。此外，大部分 AAPB 基因组中含有硫氧化基因簇，这说明它们与海洋硫氧化有着密切的关系。

S4-P-15S

Phototrophy and Carbon Metabolic Profile of Marine Roseobacter

Rui Zong*, Kai Tang, Nianzhi Jiao

State Key Laboratory of Marine Environmental Sciences, Xiamen University

*zongrui@xmu.edu.cn

Members of marine Roseobacter which play a key role in the biogeochemical cycles of the ocean are diverse and abundant, comprising 10-25% of the bacterioplankton in most marine surface waters. Some of them are aerobic anoxygenic photosynthetic bacteria (AAPB) which have the capacity of phototroph and CO₂ fixation. Here we report the characteristic of photosynthetic apparatus, carbon fixation and carbohydrate metabolic pathways for marine Roseobacter by the methods of atomic force microscope (AFM) and liquid chromatography coupled online to an LTQ mass spectrometer (LC/MS/MS).

S4-P-16

DIVERSITY OF PETROLEUM HYDROCARBON-DEGRADING BACTERIA IN OPEN SEA

Zongze Shao*, Chunming Dong, Qiliang Lai, Liping Wang, Wanpeng Wang

Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005

*shaoyz@163.com

Hydrocarbons are ubiquitous in marine environments. Both aliphatic and aromatic hydrocarbons can be generated by vent activity in deep sea. However, the diversity of hydrocarbon-degrading bacteria in open sea has been less exploited. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in water column can be adsorbed to marine snows and falling to the sediments. On the other hand, these hydrocarbons can be saved as a carbon and energy source in the oligotrophic environments of open sea for microorganisms. In respect of the special conditions of deep sea, unique

microbes feeding on hydrocarbons are expected to exist. Using culture-dependent and independent methods, we surveyed these bacteria in open oceans. As a result, various bacteria assimilating hydrocarbons were found, some found for the first time as a novel alkane or PAH degraders. In the case of PAHs, bacteria of genus *Cycloclasticus* were found in deep sea sediments as degraders, while bacteria of genus *Novosphingobium* were found as one of the key PAH degrader in deep-sea water columns of Indian ocean. Similarly, in the case of alkane, some special groups of degrading bacteria were found in addition to *Alcanivorax* which has been proved to be most ubiquitous in marine environments. Analyses based on genome is undergoing to decipher the mechanisms of both novel alkane and PAH degrading bacteria.

S5-O-1

Cenozoic Tectonic evolution of Taiwan from Paleogene continental rifting to Neogene subduction, collision and exhumation

Chi-Yue Huang*

Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University

*huangcy@mail.ncku.edu.tw

The Taiwan Island, 400 km long and 200 km wide, situates in a plate convergent zone between the Eurasian Plate and the Philippine Sea Plate. The Island has experienced two main orogenic phases: the Paleogene continental rifting and the Neogene plate convergence. These orogenic processes are well recorded in the Cenozoic stratigraphic

sequences in both active and passive margins of Taiwan.

During the early Tertiary, rifting on the passive Chinese continental margin developed several rifting basins in the Taiwan Strait, Coastal Plain, Western Foothills, Hsüehshan Range and Central Range unconformably on the Chinese Paleozoic-Mesozoic basement. These Paleogene rifting basins were bounded by boundary normal faults and were separated from each other by horsts. The gulf-like Paleogene grabens were filled with fluvial-lacustrine-coastal- shallow marine siliciclastics. Neogene post-rifting strata overlie unconformably on the Paleogene syn-rifting sequences. The Paleogene rifting resulted in an opening of the South China Sea oceanic crust in the Oligocene-Middle Miocene, which was subsequently subducted eastward beneath the NW-moving Philippine Sea Plate along the Manila Trench, now appeared as the Lishan-Laolung fault onland Taiwan, since the Middle Miocene. The Manila subduction system trending in N-S direction stretches more than 1000 km in length from Western Luzon to Taiwan, and formation of the Hengchun Ridge accretionary prism, the North Luzon Trough forearc basin and the North Luzon Arc parallel to the Manila Trench axis. The accretionary prism now exposed in the Hengchun Peninsula and the Western Central Range, while part of the North Luzon Trough forearc basin and the volcanic islands of the North Luzon Arc were accreted westward onto the exposed accretionary prism as the Coastal Range in eastern Taiwan. In the frontal accretionary prism there is the Late Miocene Kenting M é lange, an intensively sheared trench sediments with ophiolitic blocks originated from the South China Sea. The subduction further resulted in an underplating of the Miocene slope sediments into the deeper

part of the accretionary wedge to become slates now exposed in the western Central Range.

The intra-oceanic subduction ended in the latest Miocene, the event marked by the youngest deep-sea continent-derived sediments in the accretionary prism, when the Philippine Sea oceanic crust started to ride over the subducting Eurasian continent. The collision made an uplifting and exposures of the accretionary prism above sea-level and developed the earliest drainage system onland Taiwan through which the accretionary prism sediments were shed eastward to the North Luzon Trough forearc basin in active margin and also transported westward to the foreland basin unconformably on the Miocene post-rifting sequences in the passive margin of western Taiwan. Intra-oceanic subduction was followed immediately by the incipient arc-continent collision starting from the Latest Miocene. The incipient arc-continent collision was marked by a series of geological events, like the last volcanism, developing of fringing reefs on the dormant volcanoes, sedimentation in the forearc basin unconformably overlying the volcanic basement and deposition of slope basin sequence unconformably above the deformed accretionary prism, formation of pull-apart intra-arc basins, eastward back-thrusting of forearc basin in rear accretionary prism and clock-wise rotation of forearc strata. The northern most forearc basin and the nearby volcanic island were westward thrusting onto the exhumed Eurasian basement in eastern Taiwan during the advanced stage of the arc-continent collision in the last 1.5 Ma.

The Lichi Mélange in the Coastal Range represents the intensively sheared forearc sediments by two stages of thrusting: firstly eastward thrusting during the initial arc-continent collision in 3.5~3.7 Ma followed by westward thrusting during the advanced arc-continent collision in the last 1.5 Ma. The

early eastward thrusting of the western forearc basin resulted in a formation of the N-S-trending deep-sea mountain like the present Huatung Ridge in the North Luzon Trough. Formation of this deep-sea forearc mountain also controls the basic basin architecture of the three remnant forearc basins now exposed in the Coastal Range.

Continuous westward moving of the Philippine Sea Plate against the subducted Eurasian continent resulted in an exhumation of the metamorphic basement, Paleogene rifting basin sequence and the overlying accretionary prism slates in the Central Range. In addition, northward subduction of the northern Coastal Range-Huatung Basin of the Philippine Sea Plate along the Ryukyu Trench off NE Taiwan and the opening of the Okinawa Trough back-arc basin in the last 1 Ma further resulted in mountain collapse and changes the drainage pattern in northern Taiwan.

S5-O-2

南海岩石圈厚度及其构造意义

姚伯初*

广州海洋地质调查局

*bcyao@163.net

南海岩石圈结构有下列特征：第一，在印支半岛之下，地壳厚 30km，岩石圈厚 80 km；向东进入西沙—中沙台地，地壳厚度逐步减薄；进如西南海盆，莫霍面深度 11km；但到 1150E 处，洋壳层 3 厚度从西南海盆向中央海盆变薄，反映西南海盆的年龄应比中央海盆老；岩石圈厚度 90—100km；在岩石圈下部 60—80 km 深度上存在一高速层，速度为 8.2—8.3km/s。第二，南海莫霍面等深线呈北东向分布；而岩石圈底界面等深线则呈北西向分布；即所谓“立交桥”式结构。第三，目前扩残留扩张中心位于 15°N 处，32Ma 前

刚开始扩张时中心应位于 20°N 处,即扩张中心在扩张过程中向南移动了 5° , 第四,从今日地震层析资料看,南海下部不存在地幔柱。

从上述说明,南海在新生代海底扩张,生成洋壳及岩石圈上地幔的物质从那里来? 一个推测是:当中生代末至新生代早期,古南海北部大陆岩石圈发生张裂,上地幔压力减小,基性岩石熔融,海底扩张时这些基性岩浆向上运移,产生新洋壳,而岩石圈上地幔仍是老的。计算表明,只要岩石圈上地幔有 10% 的熔融,就足够产生平均 5 km 的洋壳。岩石圈上地幔减少了基性物质,只存在超基性岩石,高速层便出现了。

上述假说需要大陆岩石圈之莫霍面或下地壳能产生流动,已有证据表明,下地壳在张裂环境下,其物理性质为柔性,是可以流动的。

如果这一推测被证实,那么,像南海这样的边缘海小洋盆,海底扩张只产生新洋壳,而岩石圈上地幔是老的,这便出现一种新的海底扩张模式!

S5-O-3

The petrogenesis of boninite and high Mg adakite

Yibing Li^{1*}, Akira Ishiwatari³, Shiki Machida², Teruaki Ishii⁴, Jun-Ichi Kimura⁴, Hua-Ning Qiu⁵, Tsuyoshi Ishikawa⁵, Mayumi Otsuki², Naoto Takahata²)

1 Tokyo Inst. of Technology

2 The Univ. of Tokyo

3 Tohoku Univ.

4 JAMSTEC 5Guangzhou Inst. of Geochemistry

*yibing007@gmail.com

The most representative volcanisms of Paleo-Izu-Bonin-Mariana Ridge were subduction zone-related boninitic magmatisms (49 - 46 Ma). During KT04-28 cruises, adakitic high Mg andesites-dacites (Ar-Ar age: 43.46 ± 3.29 Ma, in this study) were firstly recovered from Bonin Ridge forearc seamounts. Adakitic

high Mg andesites contain extremely high Sr contents respect to low Y contents, and they show strongly enriched in LREE respect to MREE, and much depleted in HREE, like to typical adakitic rocks; however, the marked positive anomaly in Zr and Hf relative to Sm is much similar to boninites. In adakitic high Mg andesites, we firstly found the presence of the chromian diopside xenocrysts. Based on geochemical modeling calculation, these were chromian diopsides in residual peridotite which had been extracted 10 wt % melt from the original fertile mantle of the Philippine Sea Plate. In the core of chromian diopside xenocrysts, bronzite and pargasite lamellae were crystallized accompanying with Si-rich glass inclusions. By EPMA and SIMS analysis, these Si-rich glass inclusions are dacitic glass inclusions (average: 65.33 wt % SiO_2 , 0.4 wt % MgO , 2.83 wt % of total alkali) characterized by adakitic-boninitic features (average trace elements compositions: $(\text{La}/\text{Sm})_n = 6.12$, $(\text{Eu}/\text{Tm})_n = 9.6$, $(\text{Hf}/\text{Sm})_n = 2.4$). The co-existing feature of bronzite-pargasite exsolution lamellae and adakitic glass inclusions in chromian diopside xenocrysts is the most direct evidence which showed the chemical reaction between the slab-related adakitic melt and depleted mantle peridotite. These glass inclusions were the primary melts derived from this reaction event.

The most important result about petrological studies mentioned above is that the boninites and adakitic high Mg andesites could be produced by the partial melting of the depleted residual mantles which had been reacted with slab melt. According to the slab thermal structure (Iwamori, 2006), the phase diagrams of MORB + H_2O and peridotite + H_2O system (Maruyama and Okamoto, 2006), the slab melt only can be generated by the partial melting of subducted a young oceanic crust (< 5 Ma). Although now that the tectonic

evolution of the Western Pacific during the Eocene is not clear yet, the boninites and adakitic high Mg andesites are the best evidences to demonstrate the existence of an active ridge which was subducting beneath the West Philippine Sea Plate around 50-45 Ma.

S5-O-4

大洋地壳深俯冲超高压变质作用及其研究意义

张立飞^{1,2*}, 吕增^{1,2}, 张贵宾^{1,2}, 宋述光^{1,2}

1 造山带与地壳演化教育部重点实验室

2 北京大学地球与空间科学学院

*lfzhang@pku.edu.cn

大洋地壳深俯冲超高压变质作用是近年来超高压变质作用研究取得的终于进展之一。大洋地壳深俯冲形成的超高压变质岩石的基本特征是具有典型的洋壳组合的原岩建造, 其变质作用峰期温度较低属于低温榴辉岩相范围, 在递进和退变过程中出现蓝片岩相变质过程, 具有低的、冷俯冲带的地热梯度, 并且在岩石组合方面常常与蛇绿岩带伴生。大洋型超高压变质带的研究对于建立冷俯冲带变质反应系列, 探讨俯冲带的水流体是如何被带到地幔深处以及地幔流体演化都具有重要意义。深俯冲超高压变质洋壳岩石抬升、折返机制的研究是目前超高压变质作用研究最具挑战性的问题之一, 其深入研究对于探讨超高压变质作用发生机理、建立更加广泛的超高压变质岩石抬升、折返机制具有重要意义; 洋壳深俯冲超高压变质岩作为俯冲到地幔深度又折返到地表的岩石, 见证了俯冲与折返的全过程, 是研究俯冲变质带中元素地球化学行为及其物质循环的最理想的天然实验室; 由洋壳俯冲到陆壳俯冲一碰撞是俯冲碰撞造山带形成演化的基本方式, 也是目前板块构造理论研究的前沿方向。

S5-O-5

地球物理反演分析日本南海海槽俯冲带深部结构

李春峰*

同济大学海洋地质国家重点实验室

*cfl@tongji.edu.cn

We investigate large-scale deep crustal structures of the Nankai subduction zone and neighboring region using regional magnetic and gravity anomalies, heat flow measurements, and earthquake hypocenters. We find that ages, dip angles, and geothermal states of the subducting slab have direct influences on mantle wedge serpentinization. The weakest serpentinization observed in the Nankai forearc region is due to the youngest downgoing plate of the Shikoku Basin. Application of the Parker-Oldenburg algorithm to Bouguer gravity anomalies yields a 3D Moho topography. Reducing the magnetic anomalies to the pole helps relocate magnetic sources and their boundaries, and allows us to more easily interpret them. Curie-point depths are then further estimated using a windowed wavenumber-domain algorithm. We find that window sizes have little effects on the average Curie-point depths other than lowering lateral resolutions. A wide zone of deep Curie depths is identified in southwest Japan, relating to strong influence from the subduction of the young and warm Shikoku Basin plate. Curie depths so obtained can be correlated well with heat flow measurements, which cluster around a theoretical curve when the average thermal conductivity is about 3.0 W/(m °C). Using constraints from both Curie depths and heat flow, we also model the shallow geothermal field of the subduction zone. Earthquake hypocenters plotted against Moho and Curie depths and geothermal fields on three transects confirm early studies that downdip limits of seismogenic zones along the Nankai plate

boundary do not extend down to the island arc Moho and their temperatures are more or less close to 350 °C.

S5-O-6

南海北部陆缘下地壳高速层的识别及研究意义

赵明辉^{1*}, 卫小冬^{1,3}, 朱俊江¹, 丘学林¹, 阮爱国², 敖威^{1,3}, 夏少红¹, 黄海波^{1,3}

1 中国科学院边缘海地质重点实验室, 南海海洋研究所, 广州 510301

2 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012

3 中国科学院研究生院, 北京 100049

*mhzhao@scsio.ac.cn

南海北部下地壳高速层的认识对于研究南海北部大陆边缘的构造属性和大陆边缘盆地形成演化具有重要意义。下地壳高速层是指与正常地壳结构相比, 其纵波速度达到 7.1—7.5 km/s 或更高速度的反射层 (Nissen, et al., 1995), 一般介于减薄的陆壳和海底扩张形成的初始洋壳之间的洋陆过渡带 (OCT)

(Whitmarsh, et al., 1995; Mjelde, et al., 2007)。一般火山型大陆边缘表现为大量喷发与侵入岩浆活动特征, 向海倾斜的反射层系列 (SDRs) 解释为溢流玄武岩 (Eldholm, et al., 1986), 而洋陆过渡带几公里厚的下地壳高速层 (7.2—7.6 km/s) 解释为岩浆底侵或侵入作用引起, 如: 格陵兰边缘 (Korenaga, et al., 2000), Vøring 边缘 (Mutter, et al., 1984)。而非火山型大陆边缘一般岩浆喷出和侵入活动有限, 缺乏向海倾斜反射层; 岩石圈以拉伸作用为主, 陆壳向海逐渐变薄, 具有较高的拉张因子; 洋陆过渡带 (OCT) 下部存在的下地壳高速层 (7.2—7.7 km/s), 一般解释为上地幔橄榄岩的蛇纹石化 (Afilhado et al., 2008)。但是现在的研究也发现非火山型的大陆边缘, 蛇纹石化带也有少量的岩浆喷出和侵入活动 (Keen, et al., 1995), 这使得大陆边缘下地壳高速层的成因研究变得复杂。

南海北部大陆边缘地壳结构主要通过深地震探测获得。前人的研究都指出下地壳高速层的存在, 中美合作的双船扩展剖面探测 (ESP-E、ESP-C、ESP-W) 结果发现有下地壳高速层的存在 (Nissen et al., 1995; 姚伯初等, 1998)。ESP-E 地壳结构中, 下地壳高速层的纵波速度为 7.1 km/s—7.4 km/s, 厚度在 4.8—12km 之间 (姚伯初等, 1994)。而位于珠江口盆地西部的 ESP-W 剖面中下地壳高速层分布非常有限。位于西沙海槽的中德合作剖面 OBH1996-4 地壳结构显示, 西沙海槽南北两侧地壳结构相似, 呈对称分布, 下地壳未见有明显的高速层 (丘学林等, 2000; Qiu et al., 2001)。中日合作位于南海北部陆缘的海底地震仪探测 OBS1993 剖面, 提出下地壳存在厚度 3—5 km、P 波速度 7.1—7.5 km 的高速层。位于南海东北部 OBS2001 测线, 是中科院南海海洋研究所和台湾海洋大学合作开展的深部地震调查, 在下地壳底部发现厚度为 0—5km, 纵波速度为 7.0—7.5km/s 的高速层 (Wang, et al., 2006; Zhao et al., 2010)。2006 年在南海中北部进行的 OBS2006-3 剖面探测结果显示, 在地壳下部存在厚度 4 km 左右, 纵波速度在 7.2—7.25km/s 的高速层。

90 年代执行的三分量海底地震仪探测 (OBS1993, OBS2001, OBS2006-3), 不仅可以记录纵波信息, 还记录了来自深部的横波信息。我们重点对南海北部海底地震仪测线 OBS2001 和 OBS2006-3 的地震数据进行了纵横波联合研究, 利用 RayInvr 软件对 P 波与 S 波射线追踪和理论模型试算。根据来自莫霍面的反射震相 PmP、PmS 及速度梯度特征, 有效地识别了南海北部陆缘下地壳高速层。高速层和正常地壳的地震波速度梯度不同, 正常地壳具有高的速度梯度, 而在高速层内速度梯度低 (Whitmarsh, et al., 2001)。OBS2001 地震剖面中, 在高速层以上的正常地壳中, 速度梯度为约 0.8 s^{-1} , 而高速层处的速度梯度约为 0.1 s^{-1} ; OBS2006-3 地震剖面中, 在高速层以上的正常地壳中, 速度梯度约 0.7 s^{-1} , 而高速层内速度梯度小于 0.1 s^{-1} 。高速层与上覆层之间的界面是一速度跳

跃面，存在较大的速度梯度，可形成很好的地震波反射界面，观测到和高速层的反射震相确定了高速层的顶界面；在综合地震记录剖面中识别的 PmP 震相和 PmS 震相确定了 Moho 面的位置，同时也界定了高速层底界面的位置。并根据 OBS2001 和 OBS2006-3 地震剖面的 P 波与 S 波联合正反演模拟结果，得到了 V_p 、 V_s 以及泊松比与岩性的关系，推断下地壳高速层为基性岩组成，其形成原因可能是由上地幔岩浆底侵作用形成，而非上地幔橄榄石的蛇纹石化。

S5-O-7

源端地震层析成像方法及其在吕宋岛深部结构成像中的应用

杨挺*

海洋地质国家重点实验室（同济大学）

*tyang@tongji.edu.cn

因为受到东西相反方向的双重俯冲，南海东缘的吕宋岛在地质构造上异常的独特和复杂。同时，由于菲律宾海板块向西北方向的高速运动，使得马尼拉俯冲带表现出被“仰冲”的构造特征，此外还有南海海盆中黄岩火山链对俯冲作用的影响等等。该区域异常活跃的地震活动性，复杂的火山岩分布规律等均是这些特殊的动力学过程的地质表现。然而，由于缺少可以利用的地震资料，这一区域的深部岩石圈结构只能依靠大尺度的区域性层析成像的结果，致使难以将地震活动规律和地表的岩浆活动与其复杂的俯冲板块结构和动力学过程建立起确定的联系。本研究应用新的地震学手段——源端地震层析成像，来研究这一地区的地下结构。这一方法通过将传统地震层析方法中地震和台站的角色互换，利用研究区域众多的地震和分布于全球的地震台站来反演震源端的深部结构。在全球的许多区域是无法布置密集的地震台站的，例如，大洋海底，极端气候及地表特征的区域，政治敏感性区域等等。如果这些

区域存在活跃的地震活动（如存在俯冲板块），利用源端地震层析成像方法对这些区域的结构进行反演就具有独特的优势。与传统的区域性层析成像方法相比，源端地震层析方法需要在对结构进行成像的同时，准确确定震源的参数（位置和发震时刻）。因此，除了直达震相以外，应该要使用多种震相，尤其是深度震相（pP, sP, sS 等）来有效的确定震源参数。本研究选取了在吕宋岛及邻近俯冲带内在 2000 年到 2007 年间所发生的震级大于 5.5 且分布均匀的 250 个地震，利用 EHB 地震目录中的约 60000 个震相到时，来反演这一区域的 P 波速度结构。初步的结果显示，在台湾岛南端与吕宋岛之间马尼拉俯冲带因为受到东边俯冲带的反作用，致使其近乎垂直俯冲，并有非常倒转的迹象；在吕宋岛南边的剖面上，显示出了来自菲律宾海板块的俯冲角度和俯冲深度。

S5-O-8

中国大地构造与块体构造学说

张训华*, 温珍河, 郭兴伟, 侯方辉

青岛海洋地质研究所

*xunhuazh@vip.sina.com

中国的海洋地质工作自上世纪中叶开始，虽然历经六十余年的海洋地质调查和研究已经取得很大成绩，对中国海域的基本地质情况有了一个概略性的了解。但是，直到目前无论是地球物理调查与研究成果，还是地质调查与研究成果，均存在海陆不接的实际情况。已经出版的各种地质与地球物理图件也是海陆各自按照海洋和陆地的调查研究成果成图，而对整个中国海陆地质构造特点的考虑不足。

在充分收集整理我国海域重力和磁力资料基础上，以“九·五”调查研究成果为主，补充“十·五”、“十一·五”调查研究成果，编制中国海陆地质地球物理系列图。系列图比例尺为 1:500 万，包括空间重力异常

图、布格重力异常图、磁力 (ΔT) 异常图、莫霍面深度图、层析成像图、地质图、宏观大地构造格架图和宏观大地构造格架演化图。这套系列图是自“七·五”期间刘光鼎院士主编并出版 1: 500 万中国海区及邻域地质地球物理系列图之后又将公开出版的又一重要成果。该系列图的编制由中国地质调查局主持, 刘光鼎牵头, 青岛海洋地质研究所负责。

刘光鼎院士经过六十多年的实践与探索, 不断总结, 逐渐形成了自己的思想体系, 即“块体构造理论”。其地质理论基础为以活动论为内涵的全球构造理论; 综合研究的方法论概括为“一、二、三、多”; 地质规律的认识论总结为“区域约束局部, 深层制约浅层”; 中国海陆大地构造格架归纳为“三横、两竖、两个三角”, 宏观构造演化概要为“翘翘板”过程, 大地构造演化过程简述为: “一个分界、两条锋线、三次变格、四条转换断层、五幕演化史”。“块体构造理论”的成熟与发展, 为解决中国地质地球物理海陆不接问题, 整体反映海陆大地构造宏观格架, 客观展现海陆大地构造的演化过程, 编制海陆地学系列图奠定了理论基础。

S5-P-1

地震成因理论与地震要素概念的不一致问题及其研究意义

陈志耕^{1*}, 陈墨²

1 河北地质学院, 石家庄 050031

2 北京科技大学, 北京 100083

*chenzg2006@163.com

地震预测(预报)是一个公认的世界性难题。由于不能预报巨大的灾害性地震, 给人类带来了极大的生命与财产损失。地震预测在很大程度上取决于地震成因的认识。因此, 地震成因是地震预测难题的关键之一。截止目前, 人们并没有怀疑过现有构造地震成因理论的正确性。然而, 仔细分析不难发

现, 现有构造地震的成因理论还存在着一些与震源机制、地震要素概念等不一致甚至矛盾之处。

在最早且基本沿用至今的地震分类(R.Hoernes, 1878)中, 占地震总数 90%以上且破坏性最大的“构造地震”成因的理论解释(A.Mekey, 1902; H.F.Reid, 1910)是: 由地下岩石突然发生错断及其弹性回跳引起地震。因此, 这类地震又被称为断裂地震。具体来说, 构造地震就是由于地壳在应力作用下变形, 当岩石内部的应力积累达到了岩石不可承受的强度时, 岩石发生断裂, 断裂的表现就是地震(陈运泰, 2008)。近年还有进一步的研究认识(S.Jonsson, 2003)。

但是, 这种构造地震的成因理论, 与实测震源机制的对应以及地震要素概念本身, 都有一定程度的不一致问题。

首先, 关于震源。按照构造地震成因的断层理论解释, 断层在从地面指向地心的方向上, 一般应当是一个有凹凸起伏但大致为一个有倾向、倾角等断层要素的层面——断层面。因此, 如果构造地震是断层破裂以及随后的断层错动而产生的话, 那么, 在这种机制下发生地震的“震源”应当是一个沿断层面错动的“震源面”, 或者要么是一条水平或者近水平(正断层和逆断层时)的“震源线”, 要么就是一条垂直或者近垂直(平移断层时)的“震源线”。但是, 从现有关于震源深度的测定与给出来看, “震源”却既不是沿断层错动面产生地震所应当形成的“震源面”, 又不是应当形成的“震源线”, 而是“震源点”。

其次, 关于震中。按照构造地震的前述成因理论, 以往地震要素中的“震中”, 也不应当是现在测定给出的一个“点”。因为, 除了纯粹的平移断层其与地面近于垂直的“震源线”在地表的投影可以形成一个名副其实的“点”式“震中”之外, 其他非理想的平移断层, 至少在拉张的正断层和挤压的逆冲断层所引起的构造地震中, 其“震中”也应当呈“线状”, 是一条“震中线”。

第三, 关于震源深度。同样按照构造地震的成因理论, 以往所说地震要素中的“震

源深度”，也不应当是一个有确切深度的“震源点”。在由非理想的平移断层以及由拉张的正断层和挤压的逆冲断层所引起的三种类型的构造地震中，“震源深度”就应当是那“震源线”所处位置的等深线的深度。特别地，当“震源线”不为水平线时，其“震源深度”不仅不是一个“等深线”，而且还是一个深度不确定的斜线，是由这个非水平“震源线”所在位置决定、近于连续、非等深的“震源深度斜线”。特别地，由纯粹的平移断层引发的构造地震，其“震源深度”应当是该平移断层的最大深度到地表之间、近于垂直和连续的一条直线——“震源深度线”。

至此，不论地震要素是否有概念性的误导，还是构造地震成因等自身规律的尚不清楚，在震源、震中、深度、烈度等地震要素中，就有三个要素与构造地震成因理论产生了不一致。

笔者认为，这并不仅仅是地震成因理论或者地震要素概念简单化的误导问题，很可能是地震的成因本身还不清楚，现有地震成因理论可能有问题。因此，深究地震成因的理论、震源机制和地震要素的不一致问题，可能是发展、完善地震成因理论，进而破解地震预测（预报）难题的切入点。

地震预测除了包括上述地震成因理论的研究之外，以地下水、天气、声光电乃至动物行为等异常的科学观测与科学解释，也是必不可少的！

S5-P-2

10 万年以来南海海槽重力流沉积特征及其对大地震活动频率的制约

姜涛^{1,2*}，李盛华³，李波³，李春峰⁴，解习农^{1,2}，苏新⁵

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 香港大学地球科学系，香港

4 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

5 中国地质大学（北京）海洋学院，北京 100083

*taojiang@cug.edu.cn

为了深入研究地震发生机理及其形成过程，综合大洋钻探计划于 2007 年 9 月起在全球大地震（震级大于 8.0）最为频发的菲律宾海西北部南海海槽执行了科学钻探史上第一个多阶段多航次的复合钻探项目——南海海槽发震带试验项目。本研究基于 IODP316 航次钻探所获取的岩芯、随钻测井和前期采集的三维地震资料，综合分析了该地区所钻遇的大量重力流的沉积特征和沉积模式，并探讨了这些重力流沉积的形成机理及控制因素，认为这些重力流沉积事件的发生时间、频度及规模都与大地震活动息息相关。进而应用光释光测年技术，初步阐明了主要重力流沉积时间，探讨了该地区 10 万年以来大地震的活动频度和菲律宾海板块俯冲速率。

S5-P-3

深海地壳结构探测在南海西北次海盆的应用

吴振利*，李家彪，阮爱国，牛雄伟，李细兵，刘宏扬

国家海洋局第二海洋研究所 国家海洋局海底科学重点实验室

*zhenli318@vip.sina.com

利用海底地震仪（OBS）进行剖面调查，是揭示深海地壳深部结构的有效手段。20 世纪 90 年代，在南海北部陆缘已完成多条广角地震或深地震调查测线，但进入海盆部分一般较短。

南海西北次海盆东接东部次海盆，南靠中沙群岛，西临西沙海槽，北依南海北部陆坡，水深 3000 米—3900 米，是真正意义的深海。作为南海三个次海盆中面积最小的一个海盆，西北次海盆其位置独特，构造演化复杂，是南海的一个重要地质构造单元。记录了从大陆张裂到海盆扩张的丰富信息。由于西北次海盆尺度小，南北陆缘距离近，成

为研究大陆边缘初始张裂过程、共轭属性和区域重要地质事件的有利地区。

2006 年国家海洋局第二海洋研究所在南海西北次海盆获得了一条海底广角地震剖面,该剖面始于珠江口盆地,NW-SE 纵向穿越南海西北次海盆,经中沙群岛东部,终止于南海东部次海盆,总长 484 km,共投放 14 台 OBS。剖面完整揭示了南海西北次海盆及其两侧大陆边缘的地壳结构。数据反演分析表明,地壳厚度从陆坡的 21 km 减薄至 14 km,到西北次海盆为 7.7 km,莫霍面埋深从 21 km 上升到 11 km。西北次海盆和东部次海盆的地壳速度结构相似并为大洋地壳,不同的是层 1 (沉积层)增厚,层 2 减薄,该特点在东部次海盆尤其明显。西北次海盆及其两侧边缘构造形态和速度结构对称分布,存在共轭关系,其陆缘张裂机制属纯剪切模式。研究发现,西北次海盆北侧陆缘下地壳不存在高速层,为南海北部陆缘西部非火山型地壳性质提供了新的证据。此外,由于西北次海盆扩张阶段时间较短,洋壳层 2 经历了玄武岩岩浆的不对称溢流,导致西北次海盆磁条带异常的模糊化。

S5-P-4

日本南海海槽地震活动及区域地球深部过程

徐纪人^{1*}, 赵志新¹, 河野芳辉², 木下肇³

1 中国地质科学院地质研究所

2 日本金沢大学

3 日本海洋科学技术中心

*xujiren1125@yahoo.cn.com

为了研究海沟型巨大地震发生机制及其构造动力学特征,详细研究了地震活动与震源机制结果,根据地震俯冲带几何形状及其内应力场区域特征,南海海槽下的俯冲带可划分为两段:东部的四国—纪伊半岛段和西部的九州段。东部的菲律宾海板块地震俯冲带呈现出低角度俯冲($10^{\circ}\sim 22^{\circ}$),且俯冲深度相当浅(60~85 km)的特征;而西部九

州段的俯冲带为高角度俯冲(40°),且俯冲深度较深(160 km)。东、西部俯冲带内部应力场也截然不同。东部的四国大部分地区 and 纪伊半岛的俯冲带内表现为俯冲压缩型应力场,而西部的九州段则为明显的俯冲拉张型应力场。本文在综合分析了重力异常、GPS、热流量等地球物理观测结果后指出,南海海槽东部,即四国—纪伊半岛以南的海槽区域,具有与智利海沟极其相似的地震发生板块构造动力学背景和高应力积累等特征,属于年轻活动俯冲带的高应力型俯冲。而西部的九州段,虽然也是海沟型地震活动区,但不具有大地震发生的构造动力学背景和高应力积累,不属于年轻活动俯冲带的高应力型俯冲,俯冲带年龄的不同很可能是造成南海海槽东、西段板块构造动力学以及应力场不同的根本原因之一。

S5-P-6S

南海周边新生代火山岩铂族元素地球化学:硅酸盐分异和硫化物熔离作用

杨阳^{1,2,3}, 赵太平^{1*}, 周美夫⁴, 漆亮⁵, 杨胜洪⁴

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室

3 中国科学院研究生院

4 香港大学

5 中国科学院地球化学研究所

*tpzhao@gig.ac.cn

南海周边新生代火成岩铂族元素(PGE)原始地幔标准化配分模式呈 PGE 亏损型,样品基本都投在 MORB 区域。雷琼玄武岩的哈克图解及 Ni/Cu 与 Pd/Ir 图解指示岩浆曾分离结晶出橄榄石和铬铁矿。三水玄武岩呈现微弱的 Ru 和 Rh 的负异常,少数样品还有 Pt 负异常,说明岩浆早期曾结晶分异出带有硫钉矿及 Pt-Fe 合金包裹体的铬铁矿。PGE 亏损的配分模式、低 Cu/Zr,高 Cu/Pd 以及 Cu/Zr 与 Cu 图解中的正相关趋势表明南海周边新

生代火山岩在岩浆演化过程中发生过硫化物的饱和熔离作用。本文用 Cu/Pd 与 Pd 的图解来定量模拟硫化物熔离作用, 模拟结果显示雷琼、三水及连平三地的火成岩在岩浆演化过程中分别熔离出了 0.013%、0.009% 和 0.010% 的硫化物, 比 MORB 中熔离出的量要少很多 (0.012%—0.084%)。本文首次发现玄武岩及安山岩中 Pt 相对于其他强亲铁元素的负异常。雷琼及连平火山岩中明显的 Pt 负异常不可能是由分离结晶或者硫化物熔离作用造成的, 而是反映了地幔源区的性质。具有 Pt 负异常的地幔源区为流体或熔体交代地幔, 样品中的 Pd/Ir 比的变化 (三水玄武岩最高, 连平安山岩最低) 也反映了这一点。而且连平安山岩的稀土特征与岛弧岩浆类似, 雷琼玄武岩的同位素结果显示源区地幔为 EMII 与 DMM 的混合也说明交代地幔是连平及雷琼火成岩的一个源区端员。

S5-P-7S

南海北部陆缘珠江口盆地地壳拉张特征的模拟研究

张云帆^{1,2*}, 孙珍¹, 徐子英^{1,2}

1 中国科学院边缘海地质重点实验室, 南海海洋研究所, 广州 510301

2 中国科学院研究生院, 北京 100039

*geoyf@yahoo.com.cn

南海北部珠江口盆地是新生代被动陆缘张裂型盆地, 随着深水油气勘探和深水盆地研究的推进, 珠江口盆地上下地壳伸展存在不均一性、陆坡在张裂样式上表现出明显不同于陆架地区、陆架坡折在张裂结束后曾发生快速跃迁等一系列地质现象和地质问题呈现在我们眼前。这些问题的解决对被动大陆边缘演化过程的认识具有重要的推动作用。本文依据中国海洋石油总公司 (CNOOC) 提供的地震地球物理数据, 计算出南海北部地壳的拉张因子 (β) 分布。选取白云凹陷内 14 条精确解释的长地震剖面, 分别计算出沿剖面的上下地壳拉张因子, 获得拉张因子的

平面分布, 揭示上下地壳在拉张过程中的不同贡献。运用构造物理模拟实验分析热地壳、向洋减薄地壳和有岩浆影响的向洋减薄地壳上发育的裂陷结构特征, 检验数值模拟取得的关于流变结构和变形规律的认识是否支持相应的变形过程, 是否与实际的变形规律相吻合。结果显示: 南海北部地壳拉张因子由西北向东南逐渐变大, 反映了地壳由陆向洋减薄的特征。白云凹陷拉张因子最大值为 4, 表明白云凹陷经历强烈的拉张作用。上地壳拉张因子较小, 而下地壳比上地壳的拉张贡献大。表明白云凹陷新生代变形受脆性伸展作用控制不大, 而主要受韧性伸展作用控制, 上地壳拉张减薄区与凹陷的沉积范围一致, 但变化趋势相差较大。数值模拟计算结果表明白云凹陷初始地壳应为一个热减薄地壳。下地壳拉张因子由北部向南海深海盆边缘逐渐增大, 并出现两个拉张中心, 分别对应于白云凹陷和荔湾洼陷。在 23.8Ma、13.8Ma 这两个时期, 陆架坡折带形态都与下地壳拉张因子等值圈闭的外缘走向近似, 且都处于下地壳强烈变化的地区, 推测由下地壳伸展和下地壳流动引起的盆地沉降沉积作用是控制陆架坡折带发育位置的一个重要因素。构造物理模拟试验的方法证明了地壳具有不同初始流变结构条件下, 产生的裂陷结构不同, 对比白云凹陷的实际断裂规模, 实验证明白云凹陷在变形前应为热减薄型地壳。推测与白云凹陷在晚中生代处于俯冲带的前缘, 在新生代变形期间位于构造转换带上有关。

S5-P-8

海南岛 1605 年 7.5 级地震的深部构造环境和成因探讨

赵文俊*

海南省地震局, 海口 570203

1605 年 7.5 级地震发生在海南岛东北部, 琼州海峡南岸东段的铺前湾西侧。这个地震以造成大面积“陆陷沉海”, 形成“海底村庄”而著称。地震发生在近东西向的马袅—

铺前断裂（道堂—铺前段）与北北西向的铺前一清澜断裂（西边一支）的交会处。但对哪条是发震构造、哪条是控震构造？地质学家尚无一致看法；断裂分段的错动性质也说法不一。

本文根据南海深部资料和分析琼东北地区所做的人工地震测深剖面、重力三维正反演计算及大地电磁测深剖面等资料，认为：

1. 琼东北地区位于从北部湾到南海一个北向西的上地幔隆起带上。

2. 在马袅—铺前断裂带（道堂—铺前段）南侧、长流—仙沟和铺前一清澜断裂两个北西向断裂带之间，是以“云龙凸起”为代表的上地幔局部隆起区。地震就发生在该局部隆起区的东北斜坡上。

3. 琼东北地区的地壳垂直形变资料表明，以“云龙凸起”为代表的上地幔局部隆起区仍处于上隆运动中。由此推测，1605年7.5级地震的动力，来自伴随上地幔隆起的地幔柱上涌，是由上地幔局部隆起运动产生的以垂向差异运动为主的倾滑型地震，水平走滑错动较小。局部地点的水平走滑错动性质，由局部地点的地质条件决定，难有一致的取向。

S5-P-9

台湾海峡地区岩石圈三维结构层析成像研究

郑洪伟^{1*}，陈晓非²，高锐¹，贺日政¹，李秋生¹

1 中国地质科学院地质所，北京 100037

2 中国科技大学，合肥 230026

*zhenghongwei004@sina.com

台湾海峡及其邻区位于一个重要的地壳构造带——欧亚大陆板块和太平洋菲律宾海板块的接合地带，是我国东部大陆边缘裂陷的一部分。海峡南北长 380 km，东西平均宽度 190 km，水深大多在 100 m 以内，平均水深小于 50 m。海峡的长轴方向、地形轮廓、地层展布等深线方向和主要构造线方向均为

北东向。但是海峡既不是弧后盆地、边缘盆地，也不是一个裂谷。在东亚大陆边缘和菲律宾海板块之间的碰撞作用机理不同于台湾北部和南部。海峡西部的基底是古大陆，它包括早、中元古代低构造层和震旦纪、早古生代构造层，这两个构造层曾经历过剧烈的变质作用和同等强度的褶皱。

台湾的弧—陆碰撞现象是现代板块运动理论揭示的经典构造现象之一，是板块构造一种最为重要的运动类型，属于西太平洋边缘海独特地质构造奇观，在全球板块构造理论研究中处于特殊位置。由于台湾岛的形成及弧陆碰撞的历史极为复杂尚正在进行中，且后期研究受沉积地层结晶变质条件和环境的制约，因此出现非常多的研究认识，提出非常多的成因模式和构造运动样式，说明仍然有必要对台湾弧陆碰撞及其主要构造事件进行研究。

方法使用了日本东北大学赵大鹏教授的层析成像方法。本项目从福建沿海布的 20 个台站，福建省 29 个固定台网，国家台网的 1 个台以及台湾省内的 15 个台站记录的波形数据中挑取出了 635 个满足条件的远震事件。

反演时采用的格点分布在研究区域内 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，而周缘采用 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 格点设置。一维初始速度模型参考了 Rau and Wu (1995)。

层析成像反演获得的结果如下：

1) 从 10 km，25 km，60 km，100 km，150 km 和 200 km 不同深度的平面切片图上可以看出，在台湾的东南及其正东方向的高速异常体为菲律宾洋板块。而台湾岛的西北部也存在一个稳定的高速体，它是正在向东俯冲的欧亚板块的岩石圈部分。

2) 台湾岛东部的琉球海沟在 100 km～250 km 深度切片上显示为明显的南部高速与北部低速的分界线。体现了稳定的大洋板块岩石圈与活动的岛弧、海槽构造的界线。

3) 在沿东西向 23° N 做的剖面 AB 中可以清晰看到从 116° E 到 122° E 的地表存在一个厚约 80 km 的高速体，自西向东在越过 122° E 以后，即越过台湾到以后，大角

度向下俯冲,到达约 300 km 深度。我们推测它是东向俯冲的欧亚板块前缘。另外,在剖面的东端,大约 100 km 深度处存在一个向西微倾的高速体,厚约 60 km。我们认为它是菲律宾大洋板块。此剖面图显示了在台湾岛南部地区之下的欧亚板块向菲律宾大洋板块之下俯冲的图像。

4) 南北向 123° E 剖面 CD 显示在 100 km 深度附近,从 21° N 到 25° N 有一个向北缓倾的高速体,俯冲前缘终止于深部震源分布密集区。从其所在深度和位置,推测其为向北俯冲的菲律宾大洋板块。

S5-P-10S

南海北部陆缘珠江口盆地裂后异常沉降的数值模拟

廖杰^{1,2*}, 周蒂¹, 赵中贤^{1,2}, 张云帆^{1,2}, 徐子英^{1,2}

1 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

2 中国科学院研究生院

*liaojie@scsio.ac.cn

目前世界上很多盆地均发现了裂后异常沉降的存在,即实测的裂后沉降远大于应用理论模型计算的裂后沉降。裂后异常沉降的分布特点和成因机制成为研究的热点。白云凹陷是珠江口盆地最大最深的凹陷,位于珠江口盆地的陆坡区,中心处沉积物厚度达 12.5 km 以上,其中 30Ma 破裂不整合面以上厚度达 6.5 km 以上。白云凹陷裂后期的实测沉降量是否大于应用理论模型计算的热沉降量,即是否存在裂后异常沉降?白云凹陷位于珠江口盆地的陆坡区,那陆架区是否存在异常沉降?为了回答这一问题,需要将实测与理论裂后沉降量进行对比。实测裂后沉降可通过回剥去除沉积物荷载等因素引起的沉降而得到,但理论热沉降的计算则需要知道盆地的岩石圈伸展系数,后岩石圈伸展系数是未知的。

本文以穿过珠江口盆地北部陆架和南部陆坡的 1530 剖面为研究对象,分别应用二维正反演和一维正反演两种数值模拟方法来解决岩石圈伸展系数的获取这一问题。在二维模拟中,第一步是张裂过程的二维正演:设计了综合考虑岩石圈挠曲强度、张裂过程的多期性和裂后开始时间的正演模型来模拟白云凹陷的张裂过程,通过不断调试伸展量、断层倾角等参数直到与回剥反演得到的张裂期剖面达到较好拟合,便获得岩石圈的伸展系数。第二步是根据裂后热沉降随时间的变化与岩石圈伸展系数的关系公式计算出理论的裂后热沉降,并与回剥得到的实测裂后沉降量进行对比。一维应变速率正反演的第一步是根据回剥实测的沉降曲线来迭代拟合张裂过程中的应变速率,由应变速率计算岩石圈的伸展系数;第二步是根据 McKenzie 一维热沉降公式计算盆地的理论热沉降,并与实测沉降对比。

两种方法的模拟结果都表明白云凹陷及其北部陆架区的确存在裂后异常沉降,并得到了异常沉降沿剖面的变化:白云凹陷中心和其南部的异常沉降较高,达 2 km 以上;南陷的北侧直至陆架区异常沉降逐渐降低,约 1—1.5 km。岩石圈伸展系数在凹陷中心最高,达 3.5 (二维方法)和 2.6 (一维方法),向两侧逐渐降低。二维方法计算的岩石圈伸展系数和裂后异常沉降量普遍大于一维计算结果,究其原因,可能是一维方法忽略了岩石圈的挠曲强度,使岩石圈更容易变形之故。通过模拟还得出裂后异常沉降随时间的变化,发现 23.8-13.8Ma 为异常沉降速率最高时期。

根据裂后异常沉降的时空分布特征定性讨论了引起白云凹陷及北部陆架裂后异常沉降的几种机制,初步认为东亚季风增强导致的沉积物供给量增加以及由此导致的下地壳流动可能是主要原因。

S5-P-11

Petrogenesis of Piemont-Ligurian Oceanic

Plagiogranites (albitites), Western Alps: Geological Evidence for partial melting of Oceanic crust during detachments

Changqian Ma^{1*}, François Guillot², Ling Chen¹

¹ Faculty of Earth Sciences, State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

² Université Lille 1 - Géosystèmes FRE 3298
CNRS-Lille 1, SN5, F-59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

*cqma2002@sina.com

The European Alps recorded the closure history of several ocean basins during the convergence between African Plate and European Plate and it is classically proposed that the Alps are the products of two orogenies, a Cretaceous one followed by a Tertiary one. The former is related to the closure of an embayment of the Meliata ocean into Apulia, while the latter is due to the closure of the Alpine Tethys between Apulia and Europe (Schmid et al, 2004). Here we report recent field research on the ophiolite suite located between Montgenèvre (SE France) and Serra del Parco (NW Italy), across the France/Italy border. Using the available data, the petrogenesis of the albitites (oceanic plagiogranites) in the ophiolite suite is discussed in this paper.

The Montgenèvre-Serra del Parco ophiolite originated as an oceanic crust fragment of Piemont-Ligurian ocean (a segment of the Mesozoic Tethys ocean), and due to the subduction and ophiolite obduction in Late Cretaceous and Early Tertiary, the ocean basin became gradually smaller. This ophiolite suite was exposed to surface before

the Alpine orogeny or during its earliest stage, as testified by fission-track ages (Schwartz et al, 2007) on zircon (118 ± 1 Ma) and on apatite (67 ± 9 Ma). Unlike most other ophiolites in the Alps, Montgenèvre-Serra del Parco rocks didn't undergo strong ductile deformation and metamorphism during the Tertiary Alpine orogeny. This ophiolite comprises serpentinized peridotite, gabbro and pillow lavas, and was intruded by diorite and albitite veins and dikes. This rock assemblage is not consistent with the typical mid-ocean ridge extension model, since neither a continuous and thick basaltic layer nor a true sheeted-dike complex ever existed (Lemoine et al, 1987). This phenomenon has been attributed to the asymmetric development of a dipping detachment fault which resulted in mantle denudation. The gabbro has the petrological and geochemical characters of modern mid-ocean ridge rocks, and also presents evidence of an intra-oceanic deformation under amphibolite facies metamorphic conditions before the Alpine tectono-metamorphic event.

The diorite veins mainly occur in the sheared gabbros which are in the higher parts of the ophiolite. Unlike the diorite veins, the albitite veins always cut through serpentinized lherzolite and mylonitized gabbro, as lenticular bodies. The albitite outcrops range from a few centimeters wide to 500 m² in area. The albitite shows no ductile deformation, has a fine-grained texture, and its main minerals are albite (90%), hornblende (mostly altered to tremolite - actinolite), minor quartz, and accessory minerals are allanite, apatite and zircon. The rocks are rich in silica ($\text{SiO}_2 > 62\%$), aluminium ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 16\%$) and sodium ($\sim 9\%$), with high abundance of Sr (> 1200 ppm) and Ba (> 120 ppm). Costa and Caby (2001) dated the albitites in the Montgenèvre ophiolite using the magmatic zircons U-Pb system, and obtained a crystallization age of 148 ± 2 Ma.

The petrogenesis and geological significance of albitites are highly controversial. Some believe that they originate from differentiation of mantle-derived tholeiitic magmas, while others deem that they are residual liquid derivatives of diorite magma. Based on the following reasons, we reckon that these albitites or oceanic plagiogranites represent partial melts of gabbros and diorites during oceanic crust detachment: (1) compared with the extensive ductile deformation of serpentinized peridotite, gabbro and diorite, the albitite has typical magmatic crystallization texture preserved from ductile deformation; (2) the albitite cuts through the mylonitized gabbros, and the small albitite dikes do also occur in the ductile gabbros. (3) the zircon U-Pb age ($148 \pm 2\text{Ma}$) of the albitites is younger than the diorite crystallization age (zircon U-Pb age, $156 \pm 3\text{Ma}$) and than the age of gabbroic melt intruded into the mantle peridotites (whole rock Sm-Nd isochron age, $198 \pm 22\text{Ma}$) (Costa and Caby 2001); (4) According to the $\text{Al}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ vs. $\text{Ca}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ discrimination diagram (Altherr et al, 2000: fig. 7c), the albitite in the ophiolite suite has similar features with products of partial melting of mafic rocks. Experiment also demonstrates that during the slow spreading of ocean ridge, partial melting generates melts with components similar to this albitite during shearing at high-temperature of hydrous mafic rocks (Kopeke et al, 2004). This data indicate that the albititic melt is formed after the emplacement of the ophiolite suite and detachments in Oceanic lithosphere. It is suggested that we should be prudent when employing the age of oceanic plagiogranite or albitite as ophiolite emplacement age or oceanic crust age.

S5-P-12

西金乌兰-金沙江缝合带板块俯冲时限研究

陈文¹, 张彦^{1*}, 刘新宇¹, 孙敬博¹, 纪宏伟², 李洁²

1 中国地质科学院地质研究所

2 中国地质大学(北京)

*yzhang737@sina.com

西金乌兰-金沙江缝合带西起西金乌兰湖, 向东经苟鲁山克错、多彩、结隆至玉树、直门达, 呈近北西-南东向, 此段为缝合带的中-西段。在玉树、直门达以东转为近南北向进入云南境内, 此为西金乌兰-金沙江缝合带东段。在很多研究工作中所谓的金沙江缝合带即是指东段。在西金乌兰-金沙江缝合带东段, 前人在构造地质、岩石学、地球化学、同位素年代学等方面已经做了很详细的研究。但在西金乌兰-金沙江缝合带中-西段(玉树以西), 不论是构造地质、岩石学研究, 还是地球化学、同位素年代学研究程度都较低, 甚至对该缝合带西延到何处长期都在争论。在同位素年代学研究方面, 七十年代以前就有同位素年龄出现, 主要是为了配合区调项目在花岗岩和火山岩中测试了一些 K-Ar 同位素年龄数据。从八十年代开始, 陆续开展了中-英、中-法、中-美青藏高原地质科学考察活动, 才真正取得了一批有意义的同位素年代学数据, 但公开发表的并不多。在缝合带西段及其周边, 不同的研究者测得了大量的新生代火山岩年龄, 但这些年龄值多反映的是印亚板块碰撞作用的远程效应, 对古特提斯洋壳伸展、碰撞造山等构造事件没有时间约束力。此外, 结合花岗岩类岩石成因判别的同位素年代学研究则几乎是空白。这些制约了对西金乌兰-金沙江缝合带板块活动历史的完整认识, 也妨碍了对整个青藏高原地质演化历史的深入研究。

研究表明, 西金乌兰-金沙江缝合带经历了完整的威尔逊旋回, 并在洋壳扩张、洋壳俯冲消减、碰撞造山等每一阶段都产生了岩浆活动。沿西金乌兰-金沙江缝合带分布

的岩浆岩岩石种类齐全,仅花岗岩类就存在 IAG 型、CCG 型、POG 型、OP 型等多种成因的岩体。由于这些花岗岩类含有众多可用于同位素测年的矿物(锆石、角闪石、云母、长石等),它们的同位素时钟记录了相应的构造事件时代。因此,对上述不同成因的花岗岩类开展系统的同位素年代学研究,可以限定沿西金乌兰—金沙江缝合带发生的板块俯冲、缝合、碰撞造山等多期地质事件的时限。

位于青海省玉树县哈秀乡一带的哈秀黑云母石英闪长岩,出露的构造位置属于西金乌兰—金沙江缝合带西段,对其进行成因和侵位时代研究可以对沿西金乌兰—金沙江缝合带发生的板块俯冲、碰撞事件提供同位素年代制约。首先利用花岗岩类的主元素化学成分,使用 Maniar (1989) 判别法判定它为造山花岗岩类(IAG 型),证明其形成于板块俯冲阶段。对其中的角闪石进行 $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ 测年分析, 400°C — 1400°C 共 11 个温度阶段组成一个受到较强扰动的年龄谱,其中 1000°C — 1400°C 的 5 个高温阶段组成一个平坦的年龄坪,坪年龄为 $216.4 \pm 1.7\text{Ma}$, 相应的等时线年龄为 $215.8 \pm 2.4\text{Ma}$, $40\text{Ar}/36\text{Ar}$ 初始比值为 298.4 ± 2.6 。 $216.4 \pm 1.7\text{Ma}$ 的坪年龄被解释为角闪石的形成年龄,也是岩浆冷却穿过 550°C (角闪石的 Ar 同位素封闭温度) 左右温度点的年龄。

由于已经判定哈秀岩体形成于板块俯冲阶段,属 IAG 型花岗岩,其角闪石 216.4Ma 的 $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ 高温坪年龄对沿金沙江缝合带发生的构造事件可以给出如下时间约束:至晚三叠世末期,至少到 216Ma 时,沿金沙江缝合带,板块碰撞作用仍然没有开始,洋壳的俯冲作用仍在继续。

S5-P-13

The Triassic age for oceanic eclogites in the Dabie orogen: Entrainment of oceanic

fragments in the continental subduction

Cheng, H.^{1*}, DuFrane S.A.², Vervoort, J.D.², Nakamura, E.³, Li, Q.L.⁴ & Zhou, Z.Y.¹

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

2 School of Earth and Environmental Sciences, Washington State University, Pullman, Washington 99164, USA

3 Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University, Tottori 682-0193, Japan

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

*oahgnehc@gmail.com

Low-temperature and high-pressure eclogites with an oceanic affinity in the western part of the Dabie orogen have been investigated with combined Lu–Hf and U–Pb geochronology. These eclogites formed over a range of temperatures (482 – 565°C and 1.9 – 2.2 GPa). Three eclogites, which were sampled from the Gaoqiao country, yield Lu–Hf ages of $240.7 \pm 1.2\text{ Ma}$, $243.3 \pm 4.1\text{ Ma}$ and $238.3 \pm 1.2\text{ Ma}$, with a corresponding lower-intercept U–Pb zircon age of $232 \pm 26\text{ Ma}$. Despite the well-preserved prograde major- and trace-element zoning in garnets, these Lu–Hf ages mostly reflect the high-pressure eclogite-facies metamorphism instead of representing the early phase of garnet growth due to the occurrence of omphacite inclusions from core to rim and the shell effect. An upper-intercept zircon U–Pb age of $765 \pm 24\text{ Ma}$ is defined for the Gaoqiao eclogite, which is consistent with the weighted mean age of $768 \pm 21\text{ Ma}$ for the country gneiss. However, the gneiss has not been subjected to successive high-pressure metamorphism. The new Triassic ages are likely an estimate of the involvement

of oceanic fragments in the continental subduction.

S6-O-2

西南印度洋超慢速扩张洋脊玄武岩的地球化学特征及其对地幔源区性质和岩浆演化过程的制约

赵太平^{1*}, 杨阳¹, Mei-Fu Zhou², 漆亮³, 邓希光⁴, 杨群慧⁵

1 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

2 香港大学地球科学系, 香港

3 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002

4 广州海洋地质调查局, 广州 510760

5 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*tpzhao@gig.ac.cn

超慢速扩张洋脊具特殊的热结构和流变学性质, 周期性的岩浆和构造活动使其内部结构和大量幔源岩石剥露于海底, 是研究地幔成份不均一性和大洋中脊动力学过程的最佳场所。由于分析技术和采样条件的制约, 目前国际上对洋中脊火成岩的铂族元素(PGE)和铼-锇(Re-Os)同位素的研究还很少。我们通过研究西南印度洋超慢速扩张洋中脊(49°E—69°E)玄武岩样品的PGE组成, 并结合其主量、微量和Sr-Nd-Pb同位素特征, 探讨其地幔源区性质、部分熔融条件和岩浆结晶历史。

从7个站位拖网所获得的50件玄武岩(及玄武质玻璃)样品均为枕状玄武岩或玄武岩席状体的碎块。岩石具玻质或无斑隐晶质结构, 显微镜下常见橄榄石、辉石和斜长石斑晶及各种过冷结构。岩相学和主量元素特征显示它们均为拉斑质玄武岩, 从西到东SiO₂、TiO₂、Na₂O逐渐升高, PGE含量逐渐降低, 基本符合从西到东部分熔融程度逐渐降低, 洋壳厚度减薄、海水逐渐加深的趋势。REE虽然平均含量由西到东逐渐升高, 但其配分模式有较大变化, 体现了源区不均一性。Sr、Nd、Pb同位素组成也和主微量元素特征

一样显示出洋脊从西到东一致性的变化规律。所有样品的PGE含量均显示岩浆历经橄榄石和铬铁矿的结晶分异以及硫化物的熔离(均<0.01%)。

从49°E到69°E, 玄武岩的地球化学特征在50°E及64°E附近均表现出较大不同。~49.65°E及50.93°E—51.72°E洋脊段玄武岩大都具有较高的PGE及REE含量, 而夹在两段中间的50.28°E—50.47°E洋脊段玄武岩具有很低的PGE含量, 而且该处的REE含量是目前西南印度洋脊玄武岩中最低的, 尤其亏损HREE。因为PGE含量随着部分熔融程度的增加而增加, 而REE则相反, 所以50°E附近部分玄武岩极度亏损的地球化学特征并不是由于部分熔融程度的差异造成的, 而是反映了源区极大的不均一性。因此, 我们认为亏损REE和PGE的玄武岩的地幔源区曾经历过早期较高程度部分熔融的熔体提取作用使得该区源区PGE和REE强烈亏损, 主量元素差异(低SiO₂、低TiO₂及低CaO/Al₂O₃)也符合这一推断。

64°E左侧的玄武岩PGE较低、HREE较高, 而右侧的玄武岩PGE较高, HREE较低。Ti与CaO/Al₂O₃图解也显示, 64°E左侧的玄武岩与50°E附近正常的玄武岩具有很好的相关性, 而64°E右侧的玄武岩与50°E附近极度亏损的玄武岩具有很好的相关性, 但是64°E右侧玄武岩的PGE、LREE及Na₂O含量较高, 因此我们认为64°E右侧玄武岩同样来自于极度亏损的源区, 但该源区与一个相对较富集源区部分熔融形成的熔体发生相互作用, 使得地幔源区富集LREE及Na₂O等, 而又由于熔体交代的地幔源区发生部分熔融时PGE更易进入熔体中, 从而使熔体中PGE含量升高。

因此, 我们认为西南印度洋脊49°E—69°E地幔源区具有极大的不均一性, 至少包含三种地幔源区端员, 分别为普通的亏损地幔、曾经历过早期较高程度部分熔体提取作用的极度亏损的源区、极度亏损源区经历熔体再富集作用后形成的源区。

S6-O-3

东太平洋海隆下部的岩浆形成和演化: 铀系同位素和熔体包裹体制约

张国良^{1*}, 曾志刚¹, Beier Christoph², Turner Simon²

1 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071

2 麦考瑞大学, 悉尼, 2109, 澳大利亚

*tswc_zgl@163.com

本研究对东太平洋海隆海隆的玄武岩进行了铀系同位素分析和熔体包裹体分析。分析结果显示:²²⁶Ra 过剩与²³⁰Th 过剩负相关;²²⁶Ra 与 Mg#和 Sm/Nd 正相关, 并与 La/Sm 和 Fe8 负相关;²³⁰Th 与 La/Sm 和 FeO 正相关, 与 Mg#和 Sm/Nd 负相关。这些相关关系的解释对理解岩浆过程极为关键。目前有两种模型(动力学模型, 双孔隙度模型)解释以上相关关系。然而, 这些模型中的一些关键参数并不清楚。

我们基于密度控制提出了一个新岩浆形成和演化模型, 以解释铀系同位素组成。无论对于均一地幔或非均一地幔结构, FeO_T 含量、²³⁰Th 过剩和 La/Sm 随着压力增加而增加, 而 Sm/Nd 则减小。深源熔体相对浅部熔体具有较高的密度和低的 Mg#, 前者对应于较长的滞留时间, 较长的滞留时间明显可以降低岩浆的²²⁶Ra 过剩值。这个模型的强有力证据是: 高 FeO 和高密度的玄武岩具有低的²²⁶Ra 过剩值和高的²³⁰Th 过剩值。²²⁶Ra 过剩和岩浆液相线的正相关的事实表明, 由于浅部熔体较低的密度和低的液相线温度, 其降温程度较低。斜长石熔体包裹体中 FeO、TiO 和 CaO/Al₂O₃ 的关系表明, 这些熔体包裹体的确来自不同的熔融程度和深度。²²⁶Ra 过剩与熔体包裹体化学组成多样性指标(SFeO、STiO 等)间的负相关性与密度控制的岩浆房滞留时间一致。岩浆密度的变化控制了岩浆的滞留时间和铀系同位素组成。

S6-O-4

全球 DUPAL 与 NHRL 同位素体系判析及其重要理论与现实意义

朱炳泉^{1,2*}

1 中国科学院同位素年代学与地球化学重点实验室

2 矿床地球化学国家重点实验室

*bqzhu@gig.ac.cn

随着全球大洋 DSDP 与 ODP 资料的大量取得, 全球同位素体系填图已变得更加完善, 对 DUPAL 异常与 NHRL 的关系也愈来愈更加清楚。DUPAL 异常也称南半球异常和特提斯同位素信息; 即在具有相同 206Pb/204Pb 比值时, DUPAL 异常具较高 208Pb/204Pb, 207Pb/204Pb, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 和 较低的 143Nd/144Nd, 其同位素组成位于北半球参考线(NHRL, 或称太平洋参考线更好)以上(Hart, 1984)。

大量的同位素证据以及铅同位素 8/4 填图和等值线处理表明 DUPAL 异常存在以下的明显边界: (1) 位于南极与澳洲之间近于东经 126°E 的南北向边界(AAD); (2) 位于太平洋与菲律宾洋之间小笠原-马利亚纳弧的南北向边界(BMD); (3) 位于南大西洋近于南纬 20°S 左右的東西向边界(SAD); (4) 位于地中海西部撒丁岛附近的南北向边界(SDD); (5) 位于太平洋东南部 NE 向边界(EPD); (6) 位于北美西部和东太平洋之间的边界(ESPD)。因此 DUPAL 异常域应包括从东亚边缘海(菲律宾洋、南海、苏拉威西海和苏禄海)、印度洋、大西洋南部、地中海中东部至太平洋东南部。

形成 DUPAL 与 NHRL 同位素体系差异的机理有以下几种判析: (1) 大洋板块俯冲带入的地壳物资不同: NHRL 区地幔带入了大量远洋沉积物(贫 Th, Rb, HREE), 而 DUPAL 区地幔带入了大量陆壳或近海沉积物(富 Th, Rb, HREE)。但同位素与微量元素证据难于相互匹配。(2) 洋脊扩张速率的差异所至: NHRL 区洋脊扩张速率大, 地幔产生岩浆的部分熔融程度较高, 地幔亏损程度较高; 而 DUPAL 区则相反。但主元素

与微量元素证据难于相互匹配。(3)地幔柱的影响: NHRL 区岩浆来自亏损上地幔, 而 DUPAL 区岩浆由于地幔柱的影响加入了较多的下地幔物资, 夏威夷群岛 Kea 和 Loa 同位素体系的差异是较好的例证。但难于解释印度洋 MORB。(4)双行星撞击结合地球模型的假说: 一个碳质球粒陨石型行星与一个类同月球的普通球粒陨石型行星的结合。

DUPAL 和 NHRL 域之间在一些区域存在急剧过渡, 形成明显的边界。但在有些地区形成宽阔平缓的过渡带和区域。一个以陆域为主、陆海过渡, 呈扭曲喇叭型的过渡带分布于新西伯利亚-中东-地中海-北非-西非-南大西洋近南纬 25°S-南美洲东北部-墨西哥湾-北美洲西部。这个喇叭型的过渡带也是油气资源密集分布的走廊带(占全球近 96%的原油和 90%的天然气); 包刮 16 个油气资源大国, 按地理顺序包括俄罗斯、哈萨克斯坦、伊朗、伊拉克、科威特、阿联酋、卡塔尔、沙特阿拉伯、利比亚、阿尔及利亚、尼日利亚、巴西、委内瑞拉、墨西哥、美国(和加拿大)。一个碳质球粒陨石型行星与一个富氢月球型行星的撞击结合可能是形成油气的重要条件, 也是孕育生命起源的基础。

S6-O-5

TOWARDS UNDERSTANDING THE GEOLOGIC ANOMALIES IN MID-CRETACEOUS--CLUES FROM PALEOMAGNETIC INVESTIGATIONS OF SUBMARINE LARGE IGNEOUS PROVINCES

Xixi Zhao*

Center for Study of Imaging and Dynamics of the
Earth, Institute of Geophysics and Planetary Physics,
University of California, Santa Cruz, California
95064, USA

*xzhaio@ucsc.edu

The mid-Cretaceous (124 - 84 Ma) was a period of unrest in geologic history. In the mid-Cretaceous, the breakup of the supercontinent Gondwana into separate continents was still under way. Geological evidence points toward an unusually high rate of volcanic activity in the mid-Cretaceous. Crustal-growth events termed "large igneous provinces" (LIPs) made very important contributions to the lithosphere during the mid-Cretaceous. Several large LIPs in the world such as the Ontong Java Plateau (120 Ma), the main portion of the Kerguelen Plateau (115 - 80 Ma), the Madagascar LIP (84 - 91 Ma), the High Arctic LIP (85 - 95 Ma), and the Caribbean LIP (87 - 90 Ma) were formed during this time. This global magmatism is marked as well by increases in sea floor spreading rate and production of oceanic plateaus and seamount chains, such as the Newfoundland Seamounts (97.7 Ma). The volcanic carbon dioxide emissions released by the Cretaceous LIPs may have helped cause the unusual global warmth and triggered two to seven oceanic anoxic events (OAEs) during the mid-Cretaceous. A key piece in this mid-Cretaceous geologic puzzle is the Cretaceous Normal Superchron (CNS), a period during which Earth's magnetic field was so uncharacteristically steady that it did not switch from normal to reversed polarity for ~40 million years (Aptian - Santonian, 124 - 84 Ma on the geologic timescale of Gradstein et al., 2004).

Here we present results from paleomagnetic measurements on Ocean Drilling Program Legs 149, 173, 183, 192, and 210 igneous cores from the Atlantic, Pacific, and south Indian oceans. For each case, stable components of magnetization are determined from well dated mid-Cretaceous basalt and other igneous rocks that are related to hotspot

locations. The paleolatitude results from Leg 210 sites indicate that the Newfoundland Basin was some 1800 km south of its current position in the mid-Cretaceous, consistent with the possibility that the drill sites may have passed over the Canary and Madeira hotspots that formed the Newfoundland Seamounts in the mid-Cretaceous. Because North America apparent polar wander path is stationary during mid-Cretaceous, the motion of the Atlantic hotspots would reflect a rotating mantle rather than true polar wander (TPW). The Pacific (Louisville) and south Indian Ocean (Kerguelen) hotspots also show significant mid-Cretaceous latitudinal motions. Thus, the paleomagnetic data support the suggestion of large-scale relative motion between the Pacific and Atlantic hotspot groups. The pulse of rapid hotspot motion coincides with the formation of Ontang Java and Kerguelen LIPs in the Pacific and Indian oceans, respectively, and may reflect a change in the mode of lower-mantle convection during the mid-Cretaceous. We also found a pink-colored gabbro in the Atlantic (with Ar/Ar age of 119 ± 0.7 Ma) has a reversed magnetization. The reversed magnetization is at odds with the age of the rock, suggesting that short reversed events might be present within the CNS. Such short events were also found in continental sections of Mexico, Europe, and Asia, and would be highly valuable for the geomagnetic field behavior during the CNS. It is clear that if we are to understand the link between the Earth's magnetic field in mid-Cretaceous and the mechanisms for generating the mid-Cretaceous pulse, we must assemble more detailed paleomagnetic and tectonic records from scientific ocean drilling.

S6-P-1

岩浆供应量控制了超慢速洋中脊裂谷的发育:以西南印度洋 9-25 度为例

孙珍^{1*}, 林间²

1 中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室

2 美国伍兹霍尔海洋研究所地质与地球物理系

*zhensun@scsio.ac.cn

超慢速扩张脊因其代表了全球扩张系统的极端类型而成为地质学家们研究扩张速率与岩浆供应关系、扩张脊裂谷结构与发育机制, 超深水热液成矿模式的天然实验室。我们对西南印度洋超慢速扩张脊东经 9-25° 范围内不同构造段断裂特征、重磁特征作了精细研究和计算。结果发现岩浆的供应量控制了断裂的发育。沿着斜向扩张段(如 11°40' 到 14°10'E), 裂谷宽度较大, 达 20—30 公里, 水深达 3300—4700 米, 裂谷边界断层与扩张方向交角为 44°—62°。相反, 沿着邻接的正向扩张段(Narrowgate 区, 14°10'—14°50'E), 扩张脊处裂谷较窄, 仅 10—12 公里, 水深为 2900—3600 米, 裂谷边界断裂与扩张方向近正交(73—80°)。对全区地形分析发现, 随着岩浆供应量的增加(主要反映在裂谷水深变浅与剩余布格异常变的更负), 扩张脊和扩张方向之间的夹角逐渐由斜向扩张变大至接近 90 度。我们推测, 对于岩浆供应量非常少的扩张脊(如斜向扩张区), 扩张脊裂谷主要由厚岩石圈地幔的正断作用造成, 此处先存软弱带的走向决定了扩张脊裂谷的走向。对于岩浆供应量充足的地区(如 Narrowgate 区), 张裂样式主要由薄脆性地壳正断造成, 正断层的走向近垂直于扩张方向, 这是因为上涌至裂谷中的岩墙(dike)对应力方向很敏感, 常选择沿垂直伸展方向上涌。随着上涌岩浆量的减少, 伸展变形受到类似斜向裂谷特征的控制。这一认识与沿着西南印度洋扩张脊的 11°40'—14°10'E 范围内, 拖网主要为地幔橄榄岩(Dick, Lin, Schouten, Nature, 2003)一致。由此可见, 岩浆的供应量控制了断裂的发育,

推测岩浆供应量与裂谷样式的相应关系认识也可以加深并拓展至我们对大陆裂谷变形机制与火山过程的认识。

S6-P-2

西北太平洋 Shatsky 海隆节理特征及其意义—IODP 324 航次构造成果

李三忠^{1,2*}, 吴婷婷^{1,2}, 庞洁红^{1,2}, 戴黎明^{1,2}, 王健^{1,2}, IODP Expedition 324 Scientific Party³

1 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 山东青岛 266100

2 中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东青岛 266100

3 Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.

*sanzhong@ouc.edu.cn

太平洋板块西北部的 Shatsky (沙茨基) 海隆是一个洋底高原, 位于日本以东大约 1500 km 的西北太平洋。Shatsky 海隆宽约 500 km, 向西南方向延伸约 1500 km。该隆起包括北部 Shirshov、中部 Ori 和南部 TAMU 地块, 形成于 140—100 Ma 之间的早白垩世, 高出西北太平洋盆地的底部以上 2—3 km。位于西北太平洋的 Shatsky 海隆是综合大洋钻探计划 324 航次的重点研究区域, 2009 年 9—11 月在该区钻探了 5 口井。通过对该航次五口井岩芯的构造分析, 揭示出 Shatsky 海隆的节理组成是非常复杂的, 从近水平节理中充填的垂直节理壁的脉体为主的生长特征分析, 可以得出, 最大主应力以水平为主, 这不太可能是与地幔柱有关系。其中, 根据 U1347A、U1348 A、U1349 A 三口钻井中的 FMS 成像测井资料的处理及结果, 我们开展了相应地质构造的解释、产状恢复, 进行了构造应力场的复原。初步得出结论是, 在 Shatsky 海隆的 TAMU 地块的形成比较符合大洋中脊扩张学说。

但是, 也不能完全否定地幔柱的存在, 因为我们还发现一些近于垂直的节理中, 脉体生长也垂直节理壁, 说明也存在最大主应力是垂直的可能, 而且, 而对偏离洋中脊的 Ori 地块的 FMS 节理回复和应力场分析则显示, Ori 地块也较符合地幔柱头假说。从这两组构造相关的节理的交切关系观察结果, 通常是水平节理切割垂直节理, 所以构造过程也有可能是地幔柱作用在前, 随后还是以洋中脊正常扩张为主, 这还需要对脉体定年做进一步的佐证, 所以, 综合结果是在 Shatsky 海隆可以看到系统的磁条带, 而特异于其它海台和海隆。

S6-P-4

地球膨胀动力与地幔上涌和高原玄武岩形成

孙广丽^{1*}, 李朝阳², 王立武¹

1 石家庄经济学院, 石家庄 050031

2 石家庄学院, 石家庄 050035

*guanglitsg@sjzue.edu.cn

1. 近年地球膨胀研究提供的一些事实依据

自从 1996 年以王鸿祯、孙枢、王仁、马宗晋等为首发起召开第 52 次香山科学会议正式研讨地球膨胀演化问题至今十多年来, 加上 2001 年《科学通报》开展地球有限膨胀演化问题的公开讨论, 引起了国内地球科学工作者的关注, 吸引了更多学者进行地球有限膨胀演化相关问题的研究, 也取得了一些重要研究成果。这些成果丰富了地球膨胀演化研究的基础, 特别是提供了一些较为可靠的事实依据。这些成果主要是:

傅容珊等 (1998) 根据相对于热点参考架的地质—地球物理板块绝对运动模型 (US2-NUVEL1), 计算全球 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 、 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的网格板块运动, 得到近 300Ma 内地球半径增长率为 $0.13 \sim 0.27\text{mm/a}$ (中间值为 0.20mm/a)。

魏东平(2003)根据相对于热点参考架的地质—地球物理板块绝对运动模型(US2-NUVEL1)计算得到,近300Ma内地球半径增长率为0.29mm/a(中间值为0.20mm/a)。

陈志耕(2003)根据马宗晋等(2001)依据板块的地质—地球物理绝对运动模型(US2-NUVEL1)计算得到的最近300Ma内南、北纬中纬圈的线长变化率,推算出地球半径增长率为0.22~0.90mm/a(中间值为0.56mm/a)。他还根据孙付平等(1999)依据空间大地测量技术所得20年内地球南、北中纬圈的线长变化率,推算出地球半径的增长率为0.22~0.68mm/a(中间值0.45mm/a)。

申文斌等(2007)通过全球分布的重力台站与重力卫星联合解算建立高精度、精细时间分辨率的时变重力场,根据所得地球惯性矩的年增加量计算了地球1996~2006年间的半径变化,得出10年间地球半径增长率为0.58mm/a的研究结果。

申文斌等(2008)采用GPS、VLBI等多种高精度空间探测技术,综合解算得到的国际地球参考框架(ITRF)、ITRF2000站坐标和速度,用Delaunay算法生成三角网逼近计算地球的体积变化,得到近10a内地球半径增长率为0.54mm/a。

曹帅等(2009)根据地质—地球物理板块绝对运动模型(US2-NUVEL1)中板块边界段的两两板块间的相对运动速度,计算一定时间内板块边界段的面积变化,得到最近100Ma内地球半径的增长率为0.14~0.25mm/a的结果。

短短十几年内,上述学者以不同的手段与方法进行的地球膨胀半径增长率研究成果,初步证明了第52次香山科学会议提出“研讨地球膨胀的可能性及可能的膨胀率,从而提出具有我国特色的地球动力学及演化的总体见解,力争在国际地学研究上占有一席之地。”重要建议的科学远见。

2.近年来有关地球有限膨胀理论的研究

在上述地球膨胀事实依据研究大致同一时期内,还有学者进行了地球有限膨胀的理论探索。如地球有限膨胀的非线性演化模型

研究(陈志耕,1999)、地球地球膨胀原因的探索(陈志耕,2002)、地球深部物质状态及其量子地球动力和地球基本磁场成因等问题的探讨(陈志耕,2002;刘植凤、杜国强等,2005、2007、2009)、具有非线性破裂特征的全球板块分形分布所携带的膨胀地球初始破裂信息研究(陈志耕等,2000)、地球内热与重力场耦合的地球膨胀数值模拟研究(陈志耕,2003)等。

3.地球膨胀过程中的物质调整与地幔上涌

源于地球核部原因的地球膨胀,必然对其地核以上的地球深部物质产生向上的推挤,而受到推挤的地幔物质必然要产生一定的物质流动。这种深部物质受到核部膨胀推挤产生的调整,既可能是地幔物质上涌形成的“热柱”,也可以是某个区域内的物质“流动”(如对流、紊流等)。

4.地球膨胀过程的拉张破裂与高原玄武岩

源于地球核部的地球膨胀,对地球深部物质的向上推挤,在地球内部来说,应主要形成被称为“地幔上涌”的物质运动,而当地球的岩石圈因膨胀拉张破裂时,地幔上涌的物质便出露地表形成溢流玄武岩,上涌物质不断溢出地表便形成玄武岩高原。因此,地幔上涌与高原玄武岩,是地球膨胀推挤造成地幔物质调整同一个问题中相互关联的两个方面。

S6-P-5S

岩浆活动对反转构造发育控制作用的物理模拟

徐子英^{1,2}, 孙珍^{1*}, 张云帆^{1,2}, 周蒂^{1,2},
孙龙涛¹, 赵中贤^{1,2}, 廖杰^{1,2}

1 中国科学院边缘海地质重点实验室, 南海海洋研究所, 广州

2 中国科学院研究生院, 北京

*zhensun@scsio.ac.cn

为了研究岩浆活动对反转构造发育的控制作用,利用物理模拟的方法,在纯挤压应力场下,设置了6组实验模型,观察岩浆体不同的面积大小和铺设位置及其所受构造应力性质对构造变形的影响;在此认识基础上,在先伸展后挤压构造应力场中,设置了4组实验模型,探讨岩浆体如何控制反转构造变形发育;最后利用模拟结果讨论了岩浆体对琼东南盆地反转构造发育的影响。结果表明:无论伸展还是挤压,反转变形都更容易向有岩浆的区域集中。伸展和挤压时,在有岩浆的区域首先出现裂陷或隆起,随着伸展和挤压作用的进行,无岩浆区也开始裂陷或隆起,岩浆区整个裂陷或隆起的宽度大于无岩浆区裂陷或隆起的宽度,岩浆区的沉降量大于无岩浆区的沉降量,两主隆起间距在有岩浆区大于无岩浆区,且有岩浆区裂陷或褶皱变形都更强烈。岩浆体的面积、所处构造位置及其所受应力性质都对反转构造变形起到重要的控制作用。琼东南盆地的反转构造与模型10实验结果具有很好的相似性,即岩浆体远离速度不连续带分布,所受构造应力场为先正向伸展后斜向挤压。

S6-P-6

Experimental Attempts to Simulate Large-scale Continental Dynamics (模拟大陆板块动力学的试验尝试)

张骏*

纽约大学物理系数学系

*jun@cims.nyu.edu

Thermal convection has come to be regarded as one of the most important archetype systems of dynamical systems. It has been extensively studied over the past 3 decades or so. An experimental system often consists of a fluid confined within a rigid box that is heated at the bottom and cooled at the top. Our experimental studies explore the

intriguing phenomena when its rigid boundary is partly replaced either by a freely moving, thermally opaque (which reduces local heat loss) "floater" or by a collection of free-rolling spheres.

We identify from our table-top experiments several dynamical states, ranging from oscillation to localization and to intermittency. A phenomenological, low-dimensional model seems to reproduce most of the experimental results.

Our on-going experiments are inspired by the geophysical process of continental drift, where the mantle is regarded as the convective fluid and the continents as mobile "thermal-blankets."

S7-O-1

太平洋与南海深层水体交换及未来南海深层环流观测

田纪伟*

中国海洋大学物理海洋实验室, 青岛 266071

*tianjw@ouc.edu.cn

吕宋海峡是实现太平洋与南海深层交换的唯一通道,而该处的水体通量的大小和变异不但对南海深层环流具有重要作用,而且对海南中层上层都具有重要影响。通过观测和分析,我们首次给出了吕宋海峡深水瀑布空间结构、水体通量及路径,并发现南海深层混合率比临近太平洋混合率高两个数量级,并由此得到了南海混合过程控制吕宋海峡深层流动,进而也影响着太平洋层结结构。同时利用长期观测资料,发现吕宋“深层瀑布”具有30天的振荡,最大通量达到2 Sv,而最下几乎处于关闭状态(仅有0.1 Sv)。最后,我们介绍了南海深层环流观测设想。

S7-O-2

中国地层记录中内波、内潮汐沉积的研究现状与展望

高振中, 何幼斌*, 李向东

长江大学地球科学学院

*heyoubin@yangtzeu.edu.cn

内波、内潮汐沉积是深水沉积研究中的一个非常年轻的研究领域,自1990年高振中在美国阿巴拉契亚山脉中段奥陶系中首次识别出古代地层中的内波、内潮汐沉积(1991)以来,中国学者在地层记录中的内波、内潮汐沉积研究方面做了积极的工作,取得了一些重要成果和认识。1993年在浙江桐庐一带上奥陶统堰口组发现了中国的第一例内波、内潮汐沉积,并进行了系统的研究。在此后的十几年时间里,先后发现并进行研究的内波、内潮汐沉积共有9处,大大丰富了我们在该领域的知识和研究经验。本文总结了内波、内潮汐的沉积特征、垂向序列和沉积模式,并将内波理论应用于对大型沉积物波的解释,同时还对内波、内潮汐沉积的储集物性进行探讨,认为其可能成为潜在的油气良好储层。

1. 沉积构造与岩相类型

内波、内潮汐沉积最为典型的特征性沉积构造是深水环境中形成的双向交错层理和纹层倾向水道(或区域斜坡)上方的单向交错层理。此外还有不同岩性组成的复合层理,如韵律性砂泥岩薄互层和脉状、波状、透镜状层理。近年来又相继发现了内波、内潮汐形成的浪成波纹层理,而且类型丰富,包括束状透镜体叠加的交错纹理、复杂交织的交错纹理和浪成波痕,以及波状纹层交错层理、束状纹层交错层理和交错纹层透镜体。这与内波、内潮汐的水动力学特征有关,即①由内波、内潮汐引起的双向交替流动形成双向交错层理;②由长周期内波与内潮汐叠加引起的单向优势流动形成单向交错层理,其中纹层倾向水道或斜坡上方的可作为内波、内潮汐沉积的鉴别标志;③由内波、内潮汐在波动底界面附近与海底地形相互作用而产生的深水振荡流形成的浪成波纹层理。而韵律

性砂泥岩薄互层和脉状、波状、透镜状层理等复合层理则和内波、内潮汐的周期性有关。

以沉积构造为基础,可将内波、内潮汐沉积的岩相类型划分为以下几类:双向交错纹理砂岩相、羽状交错纹理粉砂岩相、单向交错层理和交错纹理砂岩相(或粉砂岩相)、束状透镜体叠加的交错纹理粉砂岩相、复杂交织的交错纹理粉砂岩相、浪成波痕细砂岩相、波状纹层钙质粉砂岩相(或粉砂质石灰岩相)、交错层理透镜体钙质粉砂岩相(或粉砂质石灰岩相)、韵律性砂泥岩薄互层相、脉状、波状、透镜状层理有孔虫灰岩相(或细砂岩相、粉砂岩相)。

2. 垂向沉积序列

已发现的内波、内潮汐沉积主要有4种基本沉积层序,分别是向上变粗再变细层序(双向递变层序)、向上变细层序(单向递变层序)、砂泥岩对偶层向上变粗再变细层序(对偶层双向递变层序)、泥岩—鲕粒灰岩—泥岩层序。

向上变粗再变细层序的基本特征是主要由砂级颗粒组成,层序中部粒度最粗,向上向下均逐渐变细,反映水动力条件的弱—强—弱变化。而水动力的弱—强—弱变化是内波、内潮汐周期性的一种表现。这是一种典型的反映内波、内潮汐周期性的垂向序列。

向上变细层序的特征是主要由砂级颗粒组成,层序下部粒度最粗,向上变细,与上覆泥岩呈逐渐过渡;与下伏泥岩突变接触,分界线明显。按照沉积构造特点还可分为2种亚类。这是内波、内潮汐活动由弱至强的变化速度很快,以致先期形成的细粒沉积被其后的强烈流动所侵蚀,因而使得只保留由强至弱时期的沉积,即其垂向序列仅为正递变。这是一种与内波、内潮汐剥蚀作用有关的沉积序列。

对偶层构成的向上变粗再变细层序是在平缓开阔地带内波、内潮汐作用引起的双向流动的流速通常较水道环境小,而水流倒向时的相对静止期较长。在这“平潮期”内,泥质悬浮物质可以沉积下来,与“涨潮”或“落潮”期形成的砂质沉积构造频繁互层。而由于更大周期的控制,这种频繁互层又会

显示对偶层双向递变。这是一种受双重周期控制的垂向序列。

泥岩—鲕粒灰岩—泥岩层序主要发现于塔里木盆地塔中地区中上奥陶统碎屑岩段中，由鲕粒灰岩或砂质鲕粒灰岩组成，鲕粒灰岩上下均与暗色泥岩直接接触，多为突变接触，其顶界也可以呈渐变过渡。这种鲕粒灰岩不具亮晶胶结，而含泥基质，并混有陆源砂，显然系再搬运、再沉积作用的产物。该垂向序列可能与内波、内潮汐的剥蚀性和阵发性有关。

3. 沉积模式

目前已建立了3种内波、内潮汐沉积模式，分别是水道型内波、内潮汐沉积模式、陆坡非水道环境内潮汐沉积模式和海台内潮汐沉积模式。

在水道发育的斜坡环境中，低海平面时期，以发育粗碎屑重力流沉积为特征，此时内潮汐和内波作用的能量不足以改造砂砾级碎屑重力流沉积，故此时难以形成可鉴别的内潮汐和内波沉积。随海平面上升，物源区逐渐远离沉积区，粗碎屑的注入受到抑制，这时内潮汐和内波得以改造细粒重力流沉积物。该环境中形成的沉积主要为双向交错纹理砂岩相和单向交错层理和交错纹理砂岩相（或粉砂岩相）。

在不发育海底水道的陆坡环境条件下，内潮汐流通常不像水道环境中那样强，而是流速较低。在这种情况下，产生典型的床沙载荷和悬浮载荷的交替沉积，即形成砂岩（或颗粒灰岩）与泥岩的薄互层。深海、半深海中广阔的海底平台上也是内潮汐发育的较有利场所。由于海台上地形平坦，阻力较小，内潮汐流可在较大范围内保持一定的流速，从而可搬运细粒沉积物并形成内潮汐沉积。

4. 今后研究方向

1) 应及时地将海洋物理学的相关研究成果应用在内波、内潮汐沉积的研究中，并进而利用地层记录中内波、内潮汐的沉积特征反演内波、内潮汐的物理特征。

2) 应及时地在现代沉积、古代岩石和水槽实验三个领域中展开对内波、内潮汐沉积

的研究，并使之相互印证、相互约束、相互促进。

3) 加强对内波、内潮汐沉积形成发育的控制因素、形成条件、大地构造背景的研究，并加强对内波、内潮汐沉积的成岩作用特征及其含油气性的研究。

4) 努力发现内波、内潮汐沉积新的实例，并进行深入研究，不断总结完善内波、内潮汐沉积的基本特征、鉴别标志和识别方法。

地层记录中的内波、内潮汐沉积，主要由我们中国的沉积学工作者最先鉴别出来并开始进行研究。至今在该领域内，我国学者的成果，仍然处于领先地位。我国已在浙江、江西、湖南、陕西、甘肃、宁夏、新疆等省区发现内波、内潮汐沉积并进行了深入研究，在该领域独树一帜。只要我国的沉积学工作者和广大地质学家共同努力，一定能够在该领域为全人类做出更大贡献。

S7-O-3

南海细粒陆源碎屑沉积物的源区和搬运及其古环境意义

刘志飞^{1*}, C. Colin², 李夏晶¹, 赵玉龙¹, 拓守廷¹, 王浩¹, 吴琼¹, 陈忠³, 刘祖乾⁴, 黄奇瑜⁵, 游镇烽⁵, K.P. Le⁶, F.P. Siringan⁷, E. Sathiamurthy⁸, W.S. Hantoro⁹

1 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

2 Laboratoire IDES, UMR 8148 CNRS, Université de Paris XI, Orsay 91405, France

3 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301

4 台湾中山大学海洋地质与化学研究所, 高雄 80424

5 台湾成功大学地球科学系, 台南 70101

6 Department of Geophysics, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

7 Marine Science Institute, University of the Philippines, Diliman, Quezon City 1101, Philippines

8 Institute of Oceanography, University Malaysia Terengganu, Kuala Terengganu 21030, Malaysia

9 Research Center for Geotechnology, Indonesian Institute of Sciences, Bandung 40135, Indonesia

海洋陆源碎屑沉积物是链接陆地和海洋演化的高质量连续信息载体, 其从陆地到海洋的搬运和沉积作用涉及到物源区供给、表层和底层洋流搬运、多个源区物质的混合、以及海底沉积等复杂过程, 鉴别这些过程是海洋陆源碎屑沉积物应用于陆地构造活动和环境变化解释的前提。南海作为西太平洋地区最大的边缘海, 北邻亚洲大陆和台湾岛, 西部紧靠中南半岛, 南部连接马来半岛、婆罗洲和苏门答腊岛, 东部是菲律宾的吕宋岛和巴拉望岛, 每年接收大量邻近陆地河流细粒碎屑沉积物。这些碎屑沉积物在地质历史时期往往可以形成高沉积速率堆积体等多种形式深水沉积, 从而使其成为开展东南亚地区构造活动和气候变化研究的关键材料。但是, 由于南海周边供给碎屑沉积物的源区众多, 沉积物进入海洋后又涉及表层和底层搬运, 海底沉积过程复杂, 给陆源碎屑沉积物的应用造成很大困难。

本项研究以 IOC/WESTPAC “南海河流沉积物” 研究计划为基础, 系统调查南海周边几乎全部流域表层沉积物的粘土矿物组成, 并配以南海表层沉积物和 ODP/IMAGES 航次岩芯材料, 研究以粘土矿物为主的陆源碎屑沉积物的源区和搬运过程及其古环境解释。以南海东北部海区为例, 包括华南的珠江、台湾西南部和菲律宾吕宋岛这三个主要陆源区的粘土矿物组合有其各自的端元成份, 发现运用粘土矿物含量能够有效地半定量估算珠江、台湾和吕宋岛这三个主要物源区对南海的相对贡献量。粘土矿物的洋流搬运过程研究显示, 伊利石和绿泥石的高含量值沿深水区从台湾向西南延伸, 与现今推测的南海深水洋流的路径基本吻合, 显示其可能主要受深水洋流搬运; 而蒙脱石的高含量值仅分布在吕宋岛周边海区, 在南海北部陆架和东沙以西陆坡也有较高含量值分布, 显示可能受南海表层洋流搬运控制, 这种推测与南海现今无论是夏季还是冬季的表层洋流分布型式基本一致; 高岭石的高含量值从珠江口入海后迅速向南和西南方面降低, 表明

珠江对南海东北部细粒陆源碎屑的贡献十分有限。

研究认为, 南海粘土矿物主要受控于物源区供给和洋流搬运作用, 粘土矿物本身不具同时期气候条件特征。以南海北部为例, 珠江、台湾和吕宋岛这三个主要物源区无论是冰期还是间冰期都提供相同的粘土矿物组合, 这些粘土矿物在输入到南海后分别受到不同洋流的搬运。因此, 南海晚第四纪粘土矿物组合用于指示东亚季风演化历史的应用是通过洋流的搬运作用来实现的, 在不同海区的应用效果不同。

S7-O-4

大陆坡折变迁对深水重力流沉积类型与其展布的控制作用——以珠江口盆地白云凹陷荔湾 3—1 地区为例

于兴河*, 李胜利, 刘玉梅

中国地质大学(北京)

*billyu@cugb.edu.cn

深水领域沉积体系是目前沉积学与油气勘探的研究热点。虽然有关深水沉积的研究实例日益增多, 模式也较多。由于海域深水沉积与大陆坡折密切相关, 因此其中一个关键问题就是大陆坡折变迁如何控制深水重力流沉积类型与其展布。本文通过对珠江口盆地白云凹陷荔湾 3-1 地区深水储层沉积特征的研究, 结合 Reading 和 Richards (1994) 的 12 种深水沉积分类方案, 提出了以三角洲为供源的两种富砂型深水重力流沉积模式, 即多源与线源为主的水道加朵体型深水扇与滑塌碎屑流深水扇。本区深水重力流的类型与展布规律受该区大陆坡折的类型与变迁规律控制, 坡折向陆迁移导致水体加深与可容纳空间变大, 三角洲退积为主, 坡折带及其下部发育深水水道加朵体类型的重力流沉积; 而当坡折向盆迁移时, 三角洲前积作用明显, 坡折带之下易发育滑塌碎屑流深水扇。在对深水重力流沉积特征解剖的基础上, 本

文提出了一个较系统的深水扇沉积微相划分方案,该方案把深水扇划分为上扇、中扇及外扇三个亚相带,而储层的沉积微相在各亚相带中的类型不同,上扇发育以下切型低弯度碎屑流主水道;中扇发育较高弯度碎屑流水道复合体、天然堤、决口扇、冲溢扇等微相;而外扇储层以分支水道、前端扇/朵体、滑塌体等为主。深水重力流/扇体的展布与碎屑流水道发育程度受坡折变化影响较大,在坡折线离盆较远,水深较大的 I、IV 砂组是深水碎屑流水道加朵体型深水扇体的主要发育时期,其中坡折之下基本都为深水重力流沉积,而坡折之上以三角洲前缘沉积为主,三角洲前缘是坡折之下重力流沉积的物质来源;而 II 与 III 砂组由于坡折线向陆迁移,导致研究区以三角洲沉积为主体,在坡折之下发育滑塌碎屑流深水扇沉积。本区 I、IV 砂组深水重力流的主体沉积微相是碎屑流水道沉积,在弯曲度较高的水道两侧会出现决口沉积,在 I 砂组东部地区与 IV 砂组相部地区可见弯曲度较大且决口发育的碎屑流水道;而在碎屑流水道前端多发育扇端朵体。因此,研究区深水重力流沉积的总体特点决定了今后勘探开发的重点在刻画碎屑流水道的空间展布及其非均质性。

S7-O-5

南海北部陆坡深水油气勘探潜力

钟广见*, 冯常茂, 涂广红

广州海洋地质调查局, 广州 510760

*guangjianz@21cn.com

深水油气勘探是当今油气勘探的主要方向,是世界油气增长主要来源区。南海北部陆坡发育一系列深水被动陆缘盆地,这些盆地发育有巨厚的中、新生代沉积地层。勘探表明盆地油气地质条件好,发育有中、新生界的多套烃源岩,包括湖相泥岩、海陆过渡相泥岩和海相泥岩。圈闭类型以大型构造和岩性圈闭为主,储层以第三系深水扇体类型

的高孔高渗储层为主,油气类型以油为主。深水区发育有大量油源断层、多个不整合面和大面积连通砂体,从而构成了良好的油气输导体系。中新世晚期的构造运动,使得构造形成期、断裂活动期与排烃高峰期匹配良好,据盆地模拟结果,深水区有两个排烃高峰期与构造形成期相匹配,而晚期断裂活动晚于构造形成期,因此有利于油气沿断层垂向运移至较浅部位的圈闭聚集成藏。南海北部陆坡深水区具有良好的油气勘探潜力。

S7-O-6

南海北部白云深水区油气勘探之基础地质

庞雄*

中海石油(中国)有限公司深圳分公司

*pangxiong@cnooc.com.cn

白云深水区以复杂的地质条件突显其特殊性:位于中生代俯冲带的构造“软弱带”和新生代盆地的构造“转换带”以及减薄的洋陆过渡地壳之上,具有特殊的构造演化背景;经历了“断陷—断拗—拗陷”三层盆地结构和沉积充填演化历史;渐新世以来受到南海扩张的影响而持续沉降,具有与全球海平面变化相反的台阶式海侵型海平面变化和退积加积型沉积充填特征,总体形成下粗上细的沉积充填序列。白云凹陷渐新世为浅海陆架环境,发育三角洲沉积,渐新世末(23.8Ma)发生重大地质事件(白云运动),白云凹陷自此成为深水陆坡环境,持续发育大型的珠江深水扇系统沉积;位于珠江大河三角洲沉积体系下方的白云凹陷深水陆坡环境以重力流沉积为主,深水沉积储层遵循重力流的沉积规律,构成了储层/圈闭和勘探目标的特殊样式;深水沉积以泥质为主,且重力流沉积具有局限分布的特点导致了地层压实脱水的复杂性,使得地层具有复杂的电性和物性,从而导致利用地震属性预测岩性和含油气性带来诸多的不确定性。这些地质条件无疑将控制和影响白云深水区的构造演

变、沉积充填、油气成藏等，正确认识白云深水区的基础地质将有利于指导深水油气勘探。

S7-O-7

琼东南盆地中央峡谷体系沉积构成及其演化特征

解习农^{1*}, 苏明¹, 王振峰², 李绪深², 李俊良²

1 中国地质大学(武汉)资源学院

2 中国海洋石油总公司湛江分公司

*xnxie@cug.edu.cn

深海峡谷是大陆向深海输入物质的重要通道，常出现在活动和被动大陆边缘以及岛弧附近。在南海北部大陆边缘黄流组和莺歌海组沉积时期发育一条近东西向延伸的大型峡谷体系，西起莺歌海盆地东缘，向东穿过琼东南盆地中央坳陷带，向东进入西沙海槽。中央峡谷总长 425 km，宽度最大处为 48.5 km。中央峡谷在莺歌海盆地-琼东南盆地沉积区，平面形态表现为“S”型 NE 向展布，西起莺歌海盆地中央凹陷带，经乐东凹陷、陵水凹陷、松涛凹陷、宝岛凹陷、长昌凹陷，向东延伸进入西沙海槽。其在空间分布上具有分带性，共分成 5 个区段，自西向东依次为：乐东—陵水段、松南段、宝岛段、长昌西段和长昌东南段。中央峡谷呈 NE 向展布，其中有 2 个近东西向延伸的峡谷段，该峡谷段与区域性构造转换带完全吻合。在琼东南盆地东部中央峡谷分布位置与现今最大水深线一致，而在西部中央峡谷分布位置与现今最大水深线有偏移，即现今最大水深线明显南移。

中央峡谷自西向东，下切深度越来越大，下切层位越来越老。构造作用特别是深部隆起的存在为黄流组中央峡谷的形成提供了“遮挡和限制”的作用，并且为后期中央峡谷的发育提供了“限制性通道”。中央峡谷的充填与其各个时期的下切能力密切相关，具体可体现在其表面形态上。黄流组和莺歌海组 II -yg2c 层序峡谷的下切能力最强，表现

为“V”型，西部下切能力弱，表现为“U”型。峡谷内部的充填较为复杂。黄流组和莺歌海组 II -yg2c 层序发育单一峡谷，而 II -yg2b 层序峡谷表现出“多分支性”，而且每个层序中峡谷的充填都表现出“多期次性”，且垂向上也存在着明显的期次性。中央峡谷发育时间与黄流组陆坡形成的时间几乎一致，随后陆坡不断向西迁移，中央峡谷向西上溯至莺歌海盆地中央凹陷带。

S7-O-8

南海东北部陆坡及邻区中生界分布的综合地球物理研究

吴健生^{1*}, 张新兵¹, 张献涛², 陈冰¹, 吴湘杰²

1 同济大学

2 中海石油(中国)有限公司深圳分公司

*wujiansh@tongji.edu.cn

自上一世纪 60 年代以来在南海北部开展了一系列的地球物理调查工作，也对南海北部中生界开展了研究。较多学者认为南海北部陆架区中生界的地质特征与广东沿海地区出露的中生代地层的地质特征相似，是裂谷早期产物(金庆焕, 1999 等)。近期在南海潮汕坳陷地区的科探井钻遇了中生代地层，自下而上分别为：燕山期花岗岩和花岗闪长岩侵入体、中晚侏罗世浅海半深海相沉积、晚侏罗世至早白垩世深海沉积、晚白垩世河流—湖泊沉积(邵磊, 2007)。首次证实了南海北部中生界海相地层的存在，也奠定了南海北部中生界作为油气勘探新领域的地位。作为正在探索的油气勘探新领域，迫切需要从区域上来认识南海东北部中生界的分布。

早期地震资料的采集，无论是采集时间还是采集参数的设置，多是针对新生代地层展开，在一些剖面上可以识别出中生界(郝沪军, 2004)。但大多数地震剖面很难对中生代地层有很好的反映。陈冰等(2004)利用地震资料约束重力反演的处理手段得到潮

汕坳陷小区块的中生代沉积厚度图,对南海北部中生界的研究具有积极的作用。1996年以来,中国海洋石油总公司在南海东北部陆坡及邻区(包括潮汕坳陷地区,潮一台地区,白云凹陷南部)开展了包括重力、磁力、地震测量等大比例尺的地球物理调查工作。获得这一地区具有更高精度的地球物理基础数据。本文依据这些基础资料,在品质好的地震剖面揭示的中生界底界面的约束下,利用重磁联合反演手段来揭示南海东北部陆坡及邻区中生界的厚度分布。其中,基底磁界面是在对磁异常进行了低磁纬度变倾角化极处理和小波分解的基础上,通过提取三阶细节场反演获得。在常规处理基础上,本文从重力异常中消除了水层、新生代地层(密度随着深度的加深而逐渐变大)以及莫霍面产生的重力影响,对剩余重力异常进行了小波分解并提取三阶逼近反演获得重力基底。在潮汕坳陷区,反演获得的重力基底与地震资料解释揭示的中生界底界面具有良好的一致性,从而把反演获得的重力基底解释为中生界底界面。

利用地震资料揭示的新生界深度,制作了研究区新生界深度图,将反演获得的重力基底深度减去新生界深度,就得到研究区中生界的厚度分布。由图可见,研究区中生界厚度展布与中生界底界面深度分布有着较大的不同。研究区东北部中生界底界面深度浅,相应的中生界厚度薄;在珠江口盆地的主体部位,包括中部的番禺低隆起及南部的白云凹陷,虽然都有着较深的中生界底界面,但中生界的厚度却非常薄,计算结果表示西江凹陷、番禺低隆起以及白云凹陷的大部,其中生界的厚度几乎接近于零值,说明该区域中生代与新生代的地层分布并不具备继承性。在中央隆起带,由西向东,表现出厚—薄—厚的趋势,厚度值大约在2.0—4.0km。备受关注的潮汕坳陷,存在着相当厚的中生代地层,地层大体是北部薄南部厚,厚度值在3—6km之间。通过分析中生界厚度分布和场的特征,确定了影响中生界厚度分布的深层断裂,它与已有的利用地震资料确定的断裂分布具有明显不同,尤为突出的是出现

近南北向展布的断裂。对比重力基底与磁性基底,发现在某些部位处它们具有很高的—致性,而有些地方则对应性较差。根据研究区的岩石物性和基底结构特点,我们认为当中生界底既为结晶基底时,两层界面重合;当其下部仍具有基础层时,通过双层界面重磁联合反演(江凡等,2008)可得到中生界底以及前中生界底界面的信息。进一步,通过重点剖面的联合反演,发现潮汕坳陷处中生界的分布往南可一直延伸进入海盆。在这里,中生界下覆在具有磁性的极薄的地壳上。

S7-P-1

宁夏香山群徐家圈组内波、内潮汐沉积

何幼斌*, 李向东, 罗进雄, 高振中

长江大学地球科学学院

*heyoubin@yangtzeu.edu.cn

香山群主要出露于宁夏贺兰山南段、香山、米钵山等地区,自下而上分为徐家圈组、狼嘴子组和磨盘井组。研究区位于宁夏中南部中卫、中宁、同心之间的香山、米钵山地区。该区香山群出露完整,各组在垂向显示了退积型的沉积序列。在大地构造上,该区处于鄂尔多斯地块、阿拉善地块、秦岭-祁连造山系的构造连接部位,其早古生代构造活动与秦-祁-昆大洋演化和北祁连岛弧的形成密切相关,可能为弧后拉张环境,晚期演变为弧后前陆盆地。中奥陶世时,区域斜坡方向应大致为从西北向东南。

徐家圈组连续沉积在米钵山组之上,可分为三个岩性段。第一段岩性为灰绿色中-厚层轻变质中-细粒长石石英砂岩夹黄绿—灰绿色页岩、粉砂质页岩。砂岩底面发育槽模、沟模,正粒序层发育,构成向上变薄变细序列,可见鲍玛序列Ta-e和Tb-e段。为深水浊积扇中扇沉积。第二段下部岩性为灰绿色中—厚层轻变质细粒长石石英砂岩夹黄绿-灰绿色页岩、粉砂质页岩,上覆黄绿—灰绿色页岩、粉砂质页岩,两者组成多个旋回;

上部岩性为黄绿-灰绿色页岩、粉砂质页岩和灰绿色中-厚层轻变质细粒长石石英砂岩砂等厚互层,夹灰绿色中-薄层轻变质钙质粉砂岩和粉砂质石灰岩,其中钙质粉砂岩和粉砂质石灰岩中发育交错层理和双向交错层理,总体砂页岩比约为 0.81。为深水浊积扇下扇浊流沉积,上覆的粉砂质页岩偶夹中层砂岩层段则可能为扇缘深海悬浮与浊流沉积。第三段岩性为灰绿色页岩与深灰色泥晶石灰岩互层,夹有少量灰绿色中层细粒钙质长石石英砂岩。石灰岩厚度最小为 1cm~2cm,最厚为 15cm~18cm,一般为 3cm~8cm,底面凹凸不平,横向上呈长透镜状展布,发育交错层理、羽状交错层理、双向交错层理。石灰岩中的泥岩夹层一般为 1cm~3cm,互层的页岩厚度一般为 30cm~50cm。第三段总体上反映出了深海平原的沉积特征,悬浮沉积较为发育。总之,香山群徐家圈组主要为浊积扇中、下扇沉积,且水体持续加深,扇体展布大致从北到南,属盆地边缘相。

香山群徐家圈组中可见丰富的指向沉积构造,主要有双向交错层理、单向交错层理、波痕、槽模和沟模。通过野外测量,共获得 365 个交错层理古水流数据和 36 个槽模古水流数据。将野外测量数据在吴氏网上校正,用校正后的古水流数据制作玫瑰花图。从图中可以看出,槽模所指的古水流方向基本一致,为 SSW 向,代表了沉积时浊流的方向与古斜坡方向;交错层理纹层倾向比较散乱,几乎各个方向均有,但优势倾向却非常明确,主要集中于三个个方向,即 NNE 向、SE-SSW 向和 NWW 向。其中 SE-SSW 向与区域斜坡方向基本一致,NNE 向则和区域斜坡方向近于相反,而 NWW 向则和区域斜坡方向有较大夹角,这说明沉积时的水流方向是多向的。

徐家圈组双向交错层理主要发育在中-薄层钙质粉-细砂岩、粉砂质石灰岩和粉砂质页岩中,一般由两个或多个层系构成,其纹层既有呈平行状的,也有呈弯曲状的。双向交错层理的纹层倾向既有沿斜坡向上的,也有沿斜坡向下的。在深水斜坡环境中,它们不应是等深流沉积或浊流沉积,而应是在具

有双向水流存在的情况下形成的,在深水斜坡环境中形成这种双向交错层理的只有内波、内潮汐引起的双向流动。其中由小型丘状交错层理到双向交错层理的沉积构造序列反映了流体强度的由大变小,可能与浊流的由强变弱有关,但总体上浊流作用强度应很弱;双向交错层理—平行层理—双向交错层理的叠置顺序则反映了流体强度的小—大—小的波动周期变化,可能与内波、内潮汐有周期性变化有关;倾向相反的两个层系之间存在的薄层泥质沉积物则说明沉积时水动力条件较弱,存在着深海悬浮沉积与内波、内潮汐沉积的交替;虽然古水流玫瑰花图中双向交错层理所显示的古水流优势方向明显,但也存在着古水流方向的过渡现象和古水流方向的分散现象。

香山群徐家圈组的内波、内潮汐沉积显示了总体上水动力条件相对较弱、浊流强度减小、内波作用明显和古水流方向受到的限制较小等特点,这些特征则说明该组的内波、内潮汐沉积和陆坡非水道型比较接近,没有形成脉状和透镜状层理可能是沉积时浊流本身所含的泥质较少,水体较清所致。

S7-P-2S

南海末次冰盛期以来深水洋流演化:Fe-Mn 氧化物分析的初步成果

吴琼^{1*}, 刘志飞¹, 游镇烽²

1 同济大学海洋地质国家重点实验室,上海 200092

2 台湾成功大学地球科学系,台南 70101

*wuqiong06@gmail.com

通过选取南海南部 MD05-2894 (07°2.25'N, 111°33.11'E, 水深 1982 m) 和北部 MD05-2904 (19°27.32' 116°15.15', 水深 2066 m) 岩芯沉积物,分析其 Fe-Mn 氧化物中的 Nd 同位素组成,开展末次冰盛期以来深水洋流演化研究。研究发现,两个站位的岩芯顶端样品记录的海水 ϵ_{Nd} 都为 -6~-7,与西北太平洋 2000 m 左右水深的 ϵ

Nd 较为接近,可能是受到太平洋亚北极 500—1000 m 的中层水 (ϵNd 为-4) 和环南极深层水 (ϵNd 为-8~-9) 的共同影响,说明南海深层水主要来源为太平洋亚北极中层水和环南极深层水。全新世 6,000 yr BP 左右,两个站位的海水 ϵNd 都为-6 左右,显示那时的南海深层水与现代深层水来源基本相似。但是在冰消期的 12,000 yr BP 左右,北部站位的海水 ϵNd 变为-8 左右,趋向环南极深层水 ϵNd ; 而南部站位的 ϵNd 没有变化,仍为-7 左右。末次冰盛期 19000 yr BP 左右,北部站位海水 ϵNd 为-9 左右,与环南极深层水 ϵNd 接近,而南部海水 ϵNd 仍然未变,为-7 左右。结果表明,南海深层水主要来自太平洋亚北极中层水和环南极深层水。末次冰盛期时,南海北部受到环南极深层水的影响更强,并持续至冰消期,而南海南部自末次冰盛期以来都受到太平洋亚北极和环南极深层水的大致相同影响。

S7-P-3

深海沉积物输运与沉积作用研究进展

范代读*, 火苗

同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*ddfan@tongji.edu.cn

约占地球表面积 2/3 的海洋,不仅海底几乎全部为沉积物所覆盖,而且是现代沉积作用非常活跃的场所。海洋沉积物源复杂,包括河流或冰筏输送的陆源沉积物、粉尘、火山灰和生物体等,但以河流输入为主。河流沉积物入海后主要堆积在河口和陆架地区,发生在那里的沉积物输运与沉积机制已研究较详,但对于水深超过 200 m 的深海沉积,到目前为止仍知之甚少。尽管深海沉积速率缓慢,但其面积占地球表面积的 65%,沉积总量巨大,是全球物质循环的重要汇集区;随着陆上和浅水油气资源的深度开采、快速消耗,深水资源勘探已经成为热点。

深海沉积的早期研究可以追溯到十九世纪七十年代《挑战者》号的环球考察,自此已采集了大量深海沉积表层样品和重力柱状样品,对海底沉积物成分、类型和分布有了比较全面的认识。尤其是 1968 年“格罗玛·挑战者”号开始执行深海钻探计划 (DSDP, 1968—1983), 以及之后的大洋钻探计划 (ODP, 1985-2003), 和正在执行的综合大洋钻探计划 (IODP, 2003—2013), 在世界上各大洋取得的众多岩芯,为研究深海沉积提供了宝贵的资料。

深海沉积动力学研究却远远滞后于深海沉积物岩芯的研究,以致于产生诸多误解。如认为深海环境非常平静的、沉积物以“深海雨” (Pelagic Rain) 缓慢垂直沉降方式进行的;泥岩 / 页岩是深海环境的相标志,而砾岩和砂岩则是浅水和大陆环境的特征产物,由此推断复理石序列中砂岩、页岩互层是垂直的构造振荡运动造成;浊流沉积就是鲍马层序等。误解产生的根源在于许多认识都是来自于对深海沉积物 / 岩的研究推测,以及少量的水槽实验结果,缺乏对深海沉积物输运和沉积过程的现场观测。

近几十年来,随着深海观测技术的发展,已经较大提升了对深海沉积过程与机制的认识。从上个世纪 50—60 年代以来,由于海底摄影技术和回声测深技术的发展与应用,促进了对深海底床形态和内部构造的研究,认识到洋底并非宁静的、平坦的,而是明显具有水流作用改造的沉积特征。深海底床之上水流可以直接用流速仪测定,沉积物输运可以利用光学或声学方法测定浊度来实现,如光学手段的光透式浊度计、光学后散射传感器等,声学的后散射传感器、声学多普勒流速剖面仪等。利用三脚支架或锚系法等将仪器布放在深海水柱的不同层位,如高能底边界层试验 (HEBBLE)、陆架与陆坡沉积物输运过程观测 (STRESS)、边缘海地层形成试验 (STRATAFORM)、源—汇系统研究计划 (S2S) 等,对热点海域沉积物输运过程与机制取得了许多重要认识 (Stow et al., 2002; Wright and Friedrichs, 2006; Nittouer et al., 2007)。除了在一些海底峡谷首次实测到

浊流的流速、温盐和浊度剖面之外 (Johnson et al., 2001; Khripounoff et al., 2003; Paull et al., 2003; Xu et al., 2004), 在陆架、陆坡和海底峡谷观测到广泛存在的波 (流) 致沉积物重力流、内潮、浮泥层和层间雾状层等。在深海大洋观测到缓慢流动的底层流, 流速多为 5-20 cm/s, 核心部分可达 32 cm/s 以上, 足于对底质产生侵蚀, 搬运粉砂、细砂颗粒沉积物, 沉积生成波痕等构造特征, 以及底层流的再悬浮作用形成的底部雾状层等 (Stow et al., 2002; Wright and Friedrichs, 2006; Nittouer et al., 2007)。现场观测和水槽实验等也证实, 深海细颗粒沉积物以絮凝体方式沉降, 絮凝颗粒在水流作用下可形成波痕和显微交错层理等构造特征 (Schieber et al., 2007; Schieber and Yawar, 2009)。越来越多的深海观测数据不断地更新传统对深海沉积的认识, 有的是颠覆性的。随着将“实验室建在海底”思潮的兴起, 发达国家纷纷筹划和组建海底观测网 (汪品先, 2006), 先进的海洋观测新技术与不间断的组网实时监测相结合, 无疑是深海海洋科学的一场革命, 也将进一步推动深海沉积学的发展。

S7-P-5

南海西南海域表层沉积物中微量元素 Ba 的地球化学特征

蔡观强^{1*}, 邱燕¹, 彭学超¹, 张玉兰², 钟和贤¹

1 广州海洋地质调查局, 广州 510760

2 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*caiguanqiang@sina.com

海洋表层水体中的浮游生物通过光合作用和沉降作用, 将碳从海洋有光带“泵”入深海, 从而把海洋生产力、海水化学、大气 CO₂ 浓度与全球气候四个环节联系起来, 确定了海洋生产力在气候演变中的突出地位。因此, 了解过去和现代海洋生产力的演化, 对理解全球碳循环及其在地球气候变迁中的作用十分重要。作为海洋生物活动的直接产

物, 有机碳、生物碳酸盐、生物硅等一直是衡量海洋生物生产力的重要指标。然而, 近年来的研究逐渐发现, 在不同海域受沉积环境的影响, 这些产物发生降解作用和溶解作用等, 使它们保留的生产力信息与实际生产力之间存在偏差。所以, 寻求反映古海洋生产力变化的指标是古海洋学研究的重要内容。近年来, 海洋沉积物中的微量元素 Ba 引起了许多学者的关注, 发现其中的生物成因钡 (Babio) 可以作为反演古海洋生产力的指标。Babio 通量与生物生产力有着惊人的相关性, 在早期降解作用中固定下来, 大部分的 Babio (大约 40%) 保存于沉积物中, 明显高于传统的生产力指标; 而且, 在开阔的大洋和部分边缘海区域, 用 Babio 指标重建海洋古生产力已被证实是行之有效的方法。

本文分析了南海西南海域下陆坡及深海区 (水深范围为 1000~4500 米) 表层沉积物中微量元素 Ba 的地球化学特征, 并探讨了生物成因 Ba 的分布及其与表层海水生产力的关系。南海西南海域表层沉积物 Ba 总量的变化范围为 398 $\mu\text{g/g}$ ~1270 $\mu\text{g/g}$, 平均值为 851 $\mu\text{g/g}$, 从上陆坡到下陆坡, 沉积物中的 Ba 含量逐渐增加; 微量元素 Ba 主要赋存于陆源碎屑相和生物成因相中, 且明显受到沉积环境水深和陆源物质输入的影响。尽管研究区表层沉积物中 Al、Ti 成分为典型的陆源碎屑组分, 但是, 利用大陆上地壳 Ba/Al 比值和陆坡区沉积物回归分析获得的 Ba/Al 比值进行生物成因 Ba 的计算, 过高估算了沉积物中陆源 Ba 的含量; 而采用页岩 Ba/Ti 比值来估算陆坡区表层沉积物中的生物成因 Ba 含量显得相对可靠。在深海区, 利用经验的 Ba/Al 或 Ba/Ti 比值均不能获得有效的生物成因 Ba 值。因此, 本次研究采用元素 Ti 扣除陆坡区沉积物中的陆源 Ba 来获得生物成因 Ba 含量, 深海区的陆源 Ba 则通过陆坡区 (水深小于 3000 米) 总 Ba 含量的一元线性回归分析来计算。生物成因 Ba 含量的变化范围为 30.6 $\mu\text{g/g}$ ~938 $\mu\text{g/g}$, 陆坡区和深海区平均值分别为 495 $\mu\text{g/g}$ 、349 $\mu\text{g/g}$, 占沉积物 Ba 总量的 54%和 51%, 总体上与

沉积物 Ba 总量具有相对一致分布特征。在空间分布上, 东南部南沙岛礁区和靠近岛礁的大部分下陆坡区 Babio 含量较高 ($>500 \mu\text{g/g}$), 指示该区表层海水的初级生产力较高; 而东北部西南海盆地区 Babio 含量较低 (普遍小于 $300 \mu\text{g/g}$), 指示该区表层海水的初级生产力较低。水深较大海域, 海底相对低氧的还原条件一定程度上降低了生物重晶石 Ba 的保存率; 在西南上陆坡区, 沉积物中的 Babio 含量较低, 小于 $100 \mu\text{g/g}$, 主要由于近岸地区表层沉积物的堆积速率相对较高, 稀释了沉积物中的 Babio 含量, 使得该指标反映的表层海水生产力有效性降低。

S7-P-6

The Deep-Water Deposition in Northwest South China Sea

Li Xiangquan*

Faculty of Marine Science and Engineering, Resource Institute, China University of Geoscience, Wuhan, 430074

*lxq@cug.edu.cn

The understanding to deep-water Deposition in Northwest South China Sea is put forward by the hydrocarbon industry and scientific community especially in recent few years. The sequence stratigraphy architecture and continental margin slope development model had been set up, the control factors including sediment supply, tectonic movement, eustasy, and so on, was analyzed (Percy Chen et.al., 1993; Xie, et.al., 2008). The large scale incised middle canyon is thought to be the work of gravity flow in Qiongdongnan basin, its shape, distribution, lithologic characteristic, tectonic activity, evolution model, and so on, have been described (Lin, et.al., 2001; Yuan, et.al., 2008; Su, et.al., 2009). Sediment wave field was discovered and its genesis, related characters, regional distribution and material

composition had been discussed (Damuth, et.al., 1982; Wang, et.al., 2007; Wang, et.al., 2008). The contourite drifts and seismic reflection characteristics was also studied, the palaeo-climate, the palaeo-current model was mentioned. All above researches have made us understand the deep-water deposition more better in Northwest South China Sea, and further study is essential to set up the palaeo-climate, the palaeo-current and favor the progress of hydrocarbon industry.

S7-P-7S

南海北部末次冰期旋回以来高分辨率粘土矿物组合及其搬运沉积作用

李夏晶^{1*}, 刘志飞¹, Christophe Colin², 葛黄敏¹

1 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

2 Laboratoire IDES, UMR 8148 CNRS, Université de Paris XI, France

* adeline9705@gmail.com

我们对位于南海北部陆坡的 MD05-2904 孔开展了高分辨率粘土矿物研究, 结果显示末次冰期旋回以来, 该孔的粘土矿物组合以伊利石 (26%~50%) 和蒙脱石 (含混层矿物) (13%~54%) 为主, 含有部分绿泥石 (13%~28%) 和少量高岭石 (5%~14%)。通过物源分析, 认为该孔粘土矿物几乎全部为陆源碎屑物质, 风尘输入或火山喷发作用可以忽略。其中, 蒙脱石几乎全由吕宋岛弧提供, 高岭石完全源自珠江流域, 而台湾和珠江都可以为南海北部提供伊利石和绿泥石。我们以三个主要物源区现代沉积物中的粘土矿物组成为基础, 利用珠江和台湾伊利石结晶度的显著差异, 采用线性分离的方法区分出 MD05-2904 站位伊利石和绿泥石的物源区贡献量, 并进一步探讨了三个主要物源区对研究站位末次冰期旋回以来相对贡献含量的变化。结果表明, 台湾贡献量在 MIS 1

期、5 期呈现高值 (~40%)，末次冰期 (MIS 2~4) 时降低 (~32%)，全新世时再次增加 (~54%)；珠江贡献量比台湾小，但呈大致相反的变化趋势，并在末次冰盛期时达到最大值 (21%)；以蒙脱石含量代表的吕宋岛弧贡献量没有显示明显的冰期/间冰期差异 (21%~47%)。自末次冰期旋回以来，台湾、吕宋和珠江流域的贡献量在 MIS5 期时差异较大，MIS5 期末逐渐减小，末次冰期时三者大致相当并呈现频繁的波动，进入全新世以来，差异再次增加甚至超过 MIS5 期时。频谱分析结果显示，台湾的粘土矿物贡献量变化具有强烈的岁差周期，表明陆源物质输入受到季风/降雨的强烈影响；珠江贡献量则主要受到相对海平面变化控制，低海平面时期珠江贡献量显著增加；蒙脱石含量代表的吕宋岛弧贡献量，可能反映了表层/次表层洋流的搬运作用变化。MD05-2904 站位的粘土矿物组合及其反应的各物源区贡献量的变化，是研究区季风降雨、海平面变化、洋流搬运能力综合作用的结果。

S7-P-8S

马来半岛、苏门答腊岛和婆罗洲河流表层沉积物的粘土矿物和元素地球化学记录

王浩^{1*}，刘志飞¹，Wahyoe S. Hantoro²，Edlic Sathiamurthy³，Christophe Colin⁴，李建如¹，赵玉龙^{1,4}

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 Research Center for Geotechnology, Indonesian Institute of Sciences, Indonesia

3 Institute of Oceanography, Universiti Malaysia Terengganu, Malaysia

4 Laboratoire IDES, Bât. 504, UMR 8148 CNRS, Université de Paris XI, Orsay 91405, France

*wang.hao1986@hotmail.com

硅酸盐岩的风化产物通常可以有效地用于研究陆地表面发生的化学风化作用及其控制因素。本文选择对于认识全球地表风化作

用及其气候影响具有重要作用的东南亚热带地区的马来半岛、苏门答腊岛、婆罗洲，通过分析其主要流域(28 条河)表层沉积物(69 个样品)的粘土矿物和主要元素地球化学组成，开展热带地区化学风化及其控制因素的现代过程研究。

结果显示，马来半岛河流表层沉积物的粘土矿物组合以高岭石(平均 80%)为主，其次为伊利石，基本不含绿泥石和蒙脱石。苏门答腊岛的高岭石平均含量为 66%，其次为蒙脱石(19%)，少量伊利石和绿泥石。婆罗洲北部则是以伊利石和绿泥石为主，两者的平均含量之和高达 80%，其次为高岭石，基本不含蒙脱石。而婆罗洲南部的高岭石平均含量为 53%，其次为伊利石和绿泥石，且含有少量的蒙脱石(9%)。全岩和粘土粒级颗粒主要元素地球化学的结果指示其都呈现强烈的化学风化状态，且粘土粒级颗粒经历了比全岩更强的风化作用；相对而言，从婆罗洲北部、南部，再到苏门答腊岛、马来半岛，化学风化强度依次持续加强，且苏门答腊岛、马来半岛都已达到极其强烈的化学风化状态。

通过分析认为热带温暖如一的气温和东亚季风降雨等气候条件是控制化学风化作用的一级因素，形成遍布热带地区的强烈化学风化作用；构造活动和母岩性质是影响化学风化作用的次级因素，但仍然对风化产物的产生重要影响，形成东南亚热带地区完全不同的粘土矿物组合。

S7-P-9

苏北与南黄海盆地上白垩统—下第三系沉积体系演化对比研究

傅强^{1*}，张敏强²，刘玉瑞³，马文睿¹，冯冲¹，付晓伟¹，郭涛¹

1 同济大学海洋与地球科学学院，上海 200092

2 中海石油上海分公司，上海 200030

3 中国石化江苏油田分公司地质科学研究院，扬州 225009

苏北—南黄海盆地位于郯庐断裂东侧,为中国东部陆上和近海的叠合含油气盆地,其中陆上部分苏北盆地面积约 $3.5 \times 10^4 \text{ Km}^2$,海上部分南黄海盆地面积约 $5.3 \times 10^4 \text{ Km}^2$ 。盆地发育古、中、新三套巨厚的沉积岩,构成多套生储盖组合和多个叠合含油气系统,油气资源量十分可观,潜力巨大,是一个具有勘探前景的含油气盆地。

黄海盆地与陆上苏北盆地相连,构造演化与沉积地层相似。苏北盆地盐城凹陷中—新生界获得工业油流和气流双突破,反映邻近盐城凹陷,基本地质与构造演化特征又较相似的海上部分南黄海盆地应当具有较好的油气勘探前景。通过岩心观察、测井资料及地震资料综合分析,并结合古构造—古地貌背景分析,开展苏北与南黄海盆地上白垩统—第三系沉积体系对比研究;得出南黄海盆地在泰州—阜宁期构造活动相对平稳,总体为一填平补齐和湖侵不断扩大的演化过程。早期河流平原占主导地位,晚期大型湖泊发育。

苏北盆地泰州组沉积时沉积相带具有由西向东演变的特征,金湖凹陷与洪泽凹陷主要为泛滥平原沉积;高邮凹陷主要为辫状三角洲前缘以及滨浅湖相沉积并逐步向盐城凹陷过渡为浅湖沉积;海安凹陷以及向海方向发育半深湖沉积。而在南黄海盆地泰州组沉积范围有限,南部坳陷各小凹陷主要发育冲积平原与浅湖沉积;而北部坳陷除靠近千里岩隆起以及中部隆起发育少量三角洲或扇三角洲外,主要是泛滥平原以及浅湖沉积,在北坳的中部发育有范围较小的半深湖相沉积。

苏北盆地阜宁组沉积以湖相沉积为特征,在坳陷边缘发育三角洲沉积。深湖—半深湖发育面积大而广泛。而南黄海盆地阜宁组沉积时南部坳陷也主要发育浅湖—半深湖沉积,在坳陷边缘发育小型三角洲沉积;北部坳陷以滨浅湖相沉积为特征,水体较南部坳陷以及苏北盆地浅,北凹局部发育范围很小的半深湖沉积。

苏北与南黄海盆地戴南组沉积时水体变浅,主要是河流三角洲沉积,苏北盆地各个小凹陷相互分割,形成独立的沉积单元。南黄海盆地南北坳陷戴南组沉积也是以滨浅湖及泛滥平原沉积为主,南部坳陷靠近隆起的部位发育扇三角洲或三角洲相沉积。

S7-P-10

南海北部白云陆坡深水区单向迁移深水水道的样式及侵蚀-充填过程

龚承林^{1,2*}, 王英民^{1,2}, 徐强³, 袁圣强⁴, 吴嘉鹏^{1,2}, 孙启良⁵

- 1 中国石油大学地球科学学院, 北京 102249
- 2 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
- 3 中国海洋石油研究中心, 北京 100027
- 4 提高石油采收率国家重点实验室(中国石油勘探开发研究院), 北京 100083
- 5 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071

*chenglingong@qq.com

南海北部白云陆坡深水区发育一种十分奇特的深水水道,其东陡西缓,堤坝不发育,水道充填从晚中新世以来持续向东迁移、叠加,形成了近千米厚的水道沉积复合体,其侵蚀-充填过程难以用当前流行的深水沉积学理论来解释。本文利用白云深水区内的分辨率3D地震资料和钻井资料,通过3D可视化、相干切片、RMS切片和古生物定年等多种手段对研究区内典型的单向迁移深水水道的样式进行了精细刻画。认为单向迁移深水水道经历了侵蚀期,侧向迁移期和废弃期;自水道的基底而上发育底部滞留、滑塌/碎屑流、水道轴部充填迁移沉积和深海披覆泥,其中的底部滞留和水道轴部充填迁移沉积形成优质储层。在此基础上,从海底坡度和地形、海平面升降、潮汐底流、可容空间变化对重力流发育的控制等角度探讨了单向迁移水道的侵蚀—充填过程。

S7-P-12

珠江口盆地荔湾地区珠江组深水扇沉积特征

王昌勇^{1*}, 郑荣才¹, 高博禹², 朱国金², 胡晓庆², 李云¹

1 成都理工大学沉积地质研究院

2 中国海洋石油研究中心开发设计院

*qisiwoye_2001@163.com

珠江口盆地白云凹陷荔湾深水区为油气勘探的有利区域, 通过对岩石学特征、沉积构造和古生物组合特征的详细研究, 认为该深水区珠江组属于深水相沉积, 其下部发育典型的深水扇, 扇体中发育富含抱球虫及颗石藻化石的泥岩, 泥岩中抱球虫化石保存完好, 但颗石已部分遭受溶蚀, 指示相对较深的水体深度。深水扇沉积可分为早期发育的盆地扇和晚期发育的斜坡扇两种类型, 两期深水扇具有不同的沉积和古生物特征: 盆地扇沉积中含有较多的抱球虫化石, 水道砂岩中普遍含硅质小砾石; 斜坡扇沉积中主要含颗石藻化石, 水道砂岩中以含有炭泥屑为典型特征。两期深水扇扇体都以重力流沉积为主, 主要发育颗粒流、砂质碎屑流及低密度浊流, 同时夹有少量等深流及远洋风暴流沉积, 可见少量砂岩液化变形及碟状构造。砂质碎屑流沉积为水道砂岩的主要沉积类型, 自下而上依次发育逆粒序、正粒序、平行层理及水平层理, 粒序层内可见生物逃逸迹, 有时可见槽状交错层理, 而平行层理及水平纹层段可见较多的生物钻孔或生物扰动现象, 这一垂向序列在所有钻井取芯段的砂质碎屑流沉积物中普遍存在。同时, 不同类型的重力流沉积分布特征具有明显的规律性: 自陆架向盆地方向, 随沉积物浓度逐渐降低, 沉积物重力流由颗粒流逐渐向碎屑流、低密度浊流单向演化。

S7-P-14S

南海北部神狐-东沙海域柱状样沉积物中自生矿物初步研究--以自生黄铁矿和石膏为例

谢蕾^{1,2}, 王家生^{1*}, 李清^{1,2}, 王舟^{1,2}, 胡军^{1,2}, 陈洪仁^{1,2}, 闫普晴², 林杞²

1 生物地质与环境地质教育部重点实验室

2 中国地质大学(武汉)地球科学学院

*js-wang@cug.edu.cn

南海是我国海洋天然气水合物成矿条件和找矿前景最好的地区之一, 近十年来陆续在南海北部发现了水合物存在的特征标识, 并于 2007 年在神狐海域成功采集到水合物样品(Zhang et al, 2007)。本研究样品于 2009 年 5-6 月搭载广州海洋地质调查局“海洋四号”综合考察船, 在东沙群岛西南活动冷泉区和 2007 年神狐海域水合物钻探区, 利用大型重力活塞取样和重力取样等手段取得。Site5B、site6A(神狐海域)、site4B(东沙西南海域)位于 115°—117°E 和 19°—20°N 附近, 水深从 970—1400m, 柱状样的长度 3—7.7 m。

上述三个站位产出的沉积物为灰色—灰黄色粉砂质黏土~中细砂。通过近 620 个沉积物样品的分离、鉴定和统计处理, 大于 65 μ m 沉积物组分中除了石英、长石和大量有孔虫之外, 自生矿物主要有碳酸盐岩和黄铁矿, 还有少量石膏。沉积物的干湿比、粒度及其自生矿物含量存在明显变化规律: Site4B 约 1 米处存在明显分界, 自生黄铁矿主要产于界线以下, 碳酸盐类则产于之上; Site6A 约 3.5 米和 5.5 米处存在明显分界, 期间沉积物粒度变粗; Site5B 变化则比较复杂。

黄铁矿普遍存在于各个站位中, 在 site4B 中黄铁矿与石膏“共生”产出。体视镜下黄铁矿呈铜黄色—红褐色, 其形态多种, 主要有孔虫壳体充填型、短柱型、球粒结块状和虫管状等。Site4B 中黄铁矿的扫描电镜(SEM)显示出良好的四八面体, 表面光滑。石膏呈半透明-透明的长柱状单晶体, 见燕尾

双晶, 晶面清晰, 集合体呈放射状。黄铁矿和石膏是海相沉积物中常见的自生矿物, 黄铁矿和石膏的“共生”现象仅在南海南沙海槽、东北太平洋、西南大西洋等海域有所报道。Sassen 等(2004)认为大量管状、莓球状黄铁矿的出现是甲烷发生强烈厌氧氧化(AOM)的结果, AOM 作用的产物 HS 与孔隙水中 Fe^{2+} 形成 FeS, 并转变为黄铁矿; 王家生等(2003)将自生石膏视为水合物产出背景密切相关的矿物相; 陈忠等(2007)则将黄铁矿和石膏作为寻找潜在天然气水合物的识别标志。本研究发现, 石膏晶体穿插在黄铁矿集合体中, 两者呈“共生”产出, 不同于以往报道的南沙海槽(陈忠等, 2007)和东北太平洋中(王家生等, 2003)产出的石膏和黄铁矿, 而与西南大西洋生长产状相似(Muza et al, 1983)。这种“共生”产出现象暗示, 在水合物成藏背景下经 AOM 引起的黄铁矿的形成同时, 沉积物孔隙水中 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 的局部过饱和也可以形成石膏矿物。其中的 Ca^{2+} 主要可能与水合物的形成和演化有关。八面体黄铁矿的出现说明环境硫通量大, 物质供应充分且温度变化不大(陈光远, 1987)。具有燕尾双晶的石膏则指示相对较弱的介质动力背景(王家生, 2003)。因此, 黄铁矿与石膏的紧密“共生”的现象可能与 AOM 有关, 可以将自生黄铁矿和石膏的共生作为天然气水合物一种识别标识, 指导水合物的找矿勘探。

综上所述, 南海北部神狐—东沙海域 3 个站位的沉积物粒度变化、多种自生矿物的出现和黄铁矿-石膏的“共生”现象可能与水合物的形成与演化、多期次 AOM 作用和甲烷释放事件有关, 可作为南海北部水合物找矿勘探的标志之一。

S7-P-16

晚第四纪冲绳海槽沉积演化与陆海相互作用

杨守业^{1*}, 窦衍光¹, 刘振夏², 余华², 石学法²

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 国家海洋局第一海洋研究所

*syang@tongji.edu.cn

东海是西太平洋一个特征的边缘海, 作为浅海陆架与深海大洋的过渡地带, 冲绳海槽因其晚第四纪连续沉积和较高的地层分辨率成为研究东亚古环境演化和海陆相互作用的关键区域。台湾和大陆丰富的陆源物质供应使得冲绳海槽南部水深大于 1000 m 陆坡处沉积速率异常高, 而北部接纳了大量火山物质, 东侧陆坡和槽底则火山、热液活动频繁; 关于海槽区域沉积物物源和晚第四纪沉积对海平面、季风气候和海洋环流演化的响应研究虽有三十多年历史, 但迄今一直存在一些争论。如来自中国大陆和台湾东部河流被认为是海槽区主要物源, 但也有学者认为东海内陆架为海槽的重要物源区, 而对火山或热液物质对整个海槽沉积影响的认识也还不全面。本研究在前人工作的基础上, 通过对海槽北部、中部和南部几个岩心的沉积学与沉积地球化学组成的研究, 探讨近 30 ka 以来冲绳海槽沉积物来源, 揭示晚第四纪海槽区陆海相互作用特点, 及对气候环境演化的响应。

S7-P-18

深水扇相控储层建模研究——以白云凹陷荔湾地区为例

李胜利*, 于兴河, 晋剑利

中国地质大学(北京), 北京, 100083

*slli@cugb.edu.cn

近年来, 深水领域的研究与油气勘探日益受到关注, 这其中有关深水扇的成因机制与储层特征也越来越受到重视。但由于深水扇实际钻井资料通常较少, 导致人们对该类储层空间分布及相关性特征认识上存在较大的不确定性。怎样合理结合地质模式、钻井资料及地震信息进行储层建模是解决这一问题的办法。而目前在深水扇领域储层建模

的难点主要是如何最大程度地降低由于井数过少而引起的不确定性。本文以地质模式为指导,并将其转化为量化条件,来约束指导储层建模,即采用相控储层地质建模的策略,对白云凹陷荔湾地区在进行微相建模。首先,对离散变量,提取地质相图中各微相的相带边界(polygon);其次,生成约束各微相平面展布的趋势面(surface trend),然后,采用序贯指示方法(SIS)建立沉积微相模型;对于钻井未钻遇的沉积微相或亚相,采用Assign Values方法建立确定性模型,并根据沉积平面图对先前的随机模型进行局部的整合,形成最终的沉积微相模型,很好地解决了因井少变差函数无法计算而造成的不确定性。在完成沉积相模型之后,根据沉积相区分砂泥,结合地震反演数据进一步建立砂体模型。在模型建立过程中需要对深水扇体主要沉积微相进行整合,模拟五种主要的沉积微相,即滑塌体、碎屑水道、扇端朵体、近源天然堤和决口扇,其中碎屑水道、近源天然堤和扇端朵体是该砂组主要的沉积微相类型。对连续变量选用序贯高斯算法,以沉积相模型为约束条件,协同地震反演数据控制趋势,建立孔隙度模型;随后,再用相同算法,计算沉积微相平面图控制趋势,建立孔隙度模型;进而优选这两种趋势控制的孔隙度模型,整合在一起得到最终的孔隙度模型;最后,用优选的孔隙度模型进行协同模拟,得到渗透率模型。本文相控储层建模思路是充分利用钻井硬数据的控制作用、地震软数据的预测作用,并结合地质专家认识(沉积相模式或沉积相图),从而减少较少钻井情况下储层地质建的不确定性。

S7-P-19S

珠江口盆地白云凹陷荔湾3-1气田珠江组深水扇岩相分析

李云^{1*}, 郑荣才¹, 朱国金², 胡晓庆², 王昌勇¹

1 成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室

2 中海石油研究中心

*liyun_cdut@yahoo.cn

我国目前关于深水沉积的研究程度较低,对珠江组深水扇进行深入系统的研究具有重要的理论和实践意义。根据已有井的取芯和测井资料,白云凹陷荔湾地区珠江组深水扇由厚306~403m的砂岩、泥岩、粉砂岩和深水灰岩组成,共识别出10种岩相类型。

(1)厚层块状砂岩相,厚度>1m的巨厚层块状砂岩表现为异常厚、无原生沉积构造、发育泄水构造、轻微的合并面和撕裂的泥屑、含较多定向排列的化石和泥砾等,为砂质碎屑流沉积。层厚在0.10—1.00m之间的厚层块状砂岩有两种成因,或者为顶部发育漂浮泥屑或者坠石的砂质碎屑流整体冻结沉积,或为发育于平行层理下部相当于鲍玛序列Ta段的浊流沉积。(2)厚层正粒序砂岩相最为常见,是浊流的可靠标志。(3)厚层逆粒序砂岩相包括逆—正粒序相,为砂质碎屑流成因。(4)平行—低角度板状斜层理砂岩相等同于鲍马序列Tb段,为浊流沉积,值得注意的是,平行层理也可能为潮汐底流沉积的双泥岩层。(5)滑塌变形砂岩相较少见,为砂体密度梯度重力上不稳定产生砂岩层内的液化作用造成的。(6)薄层砂岩夹层相,相当于鲍马序列Ta段或Tb段,为浊流沉积或者为浓密度流沉积。(7)薄层粉砂岩与泥岩互层相,相当于鲍玛序列Td-e段,为远源低密度浊流沉积,出现在深水扇分流水道间、外扇和盆地沉积环境。(8)厚层粉砂岩相,为外扇或盆地相沉积和等深流沉积。(9)厚层泥岩相,远洋沉积或等深流沉积或泥质碎屑流沉积。(10)层状深水灰岩相,等深流沉积或代表了外扇或盆地相环境。各种岩相,特别是深水灰岩中含有大量的超微化石和有孔虫。通过对已钻井取芯层段的详细岩相和剖面结构分析,在上面描述的10种岩相中,可划分为以砂岩为主的段、以泥岩为主的段、粉砂岩与泥岩互层、粉砂岩相组合以及层状灰岩相5个岩相组合。其中以砂为主的段主要为深水扇沉积体系中的水道微相,以泥为主的段常见于水道间和外扇等,粉砂岩与泥

岩互层一般见于水道间微相,粉砂岩组合和层状灰岩相组合见于外扇或盆地微相。

依据岩石相及岩石相组合特征,从研究区珠江组深水扇沉积体系中识别出水道沉积(内扇水道和中扇分支水道)、水道间(中扇)、天然堤—溢岸、外扇和盆地沉积以及叶状体等沉积单元。研究区深水扇水道系统非常发育,主要发育于珠江组下部,内扇水道沉积普遍发育块状砂岩相、厚层正粒序砂岩相和厚层逆粒序砂岩相三种以砂岩为主的岩相类型。分支水道沉积普遍发育正粒序砂岩相和薄层砂岩与泥岩互层相,砂体厚度明显减薄。垂生物源方向内扇水道砂体的发育特征有明显差异,发育有两套砂体,证明荔湾地区深水扇沉积体系中存在盆地扇与斜坡扇组合。水道间岩性为深灰色、暗色泥岩,偶夹粉砂岩纹层。天然堤—溢岸岩性主要为细粒的薄层粉砂岩、砂岩与泥岩互层组合,总体上仍表现为以泥岩为主的岩相组合,厚度较薄。外扇及盆地沉积以厚层的深灰色泥岩沉积为主,包括厚层粉砂岩相、薄层(粉)砂岩与泥岩互层相、厚层泥岩相和层状深水灰岩相,是以泥岩为主岩相组合、粉砂岩和泥岩互层相以及深水灰岩相为主的相对较低能沉积环境,被等深海底流改造。整个深水扇本身呈叶状体形态。

盆地扇形成于相对海平面快速下降期,为大量沉积物以重力流的方式搬运到盆地堆积而成,随后相对海平面上升,扇体逐渐退积,于斜坡上堆积成斜坡扇,一起构成珠江组下部独具特色的低位体系域。最后,海侵体系开始,相对海平面快速上升,远洋沉积取代了深水扇沉积。

S7-P-20

南海北部珠江口盆地白云深水区沉积充填及油气勘探意义

柳保军*, 庞雄, 颜承志, 连世勇, 刘军

中海石油(中国)有限公司深圳分公司

*liubj2@cnooc.com.cn

综合分析认为构造演化、气候、物源供给、古地理和海平面变化等因素控制了白云凹陷的沉积充填演化。白云凹陷从老到新经历了裂前、裂谷断陷、断拗、热沉降凹陷、断块沉降等五个构造演化阶段,相应的发育了新生代基底;裂谷断陷期的神狐组、文昌组多个半地堑陆相沉积层序和断拗期的恩平组大型断拗盆地充填沉积,发育巨厚的湖相沉积,成为白云凹陷的主力烃源岩;从断拗向热沉降拗陷过渡的珠海组海相浅水陆架~陆坡沉积组合序列;以及 23.8Ma (T6) 之后的拗陷期海相陆坡内盆地的深水沉积组合。白云凹陷形成了独特的断陷—断拗—拗陷的三层盆地结构,自老到新由陆相断陷沉积—陆相断拗沉积—海陆过渡—到浅海陆架—深水陆坡,由粗到细的沉积层序组合,成就了白云凹陷有利的生储盖组合条件。

受构造演化、气候、物源供给、古地理和海平面变化等多种因素的控制,白云凹陷深水区形成了独特的盆地充填格局,具体沉积特征和演化总结如下:

(1) 白云凹陷位于减薄的过渡地壳上,发育了中生代沉积岩及火成岩基底,是珠江口盆地沉降和沉积中心,白云凹陷文昌期为分割的半地堑;恩平期受沉降作用形成大型断拗;白云凹陷古近系属减薄地壳拉张背景下形成的断拗盆地;23.8Ma 之后白云凹陷强烈沉降,沉积厚达 6 km,成为拗陷期沉积。

(2) 多种重大构造事件导致新生代白云凹陷经历了古近纪断陷-断拗陆相湖盆沉积、渐新世断拗-拗陷过渡的浅海陆架-深水陆坡沉积体系、新近纪到现今的斜坡内盆地半深水-深水的沉积充填演化阶段,形成白云深水区独特的弧前盆地—断陷盆地—断拗盆地—陆坡内盆地等多个盆地叠置的充填模式。白云凹陷形成了独特的断陷—断拗—拗陷的三层盆地结构,由老到新的由陆相断陷沉积—陆相断拗沉积—海陆过渡—到浅海陆架—到深水陆坡,由粗到细的沉积层序组合,成就了白云凹陷有利的生储盖组合条件。

(3) 对珠江口盆地白云凹陷珠海组沉积和控制因素的分析导致了陆架浅海三角洲沉

积的发现及珠海组沉积型陆架坡折带的发育。珠海组沉积时的物源都来自于白云凹陷西北方向的古珠江水系，白云凹陷当时为浅水陆架环境，同时，陆架坡折位于 BY7-1-1 和南部隆起带之间、典型三角洲前积地震相与北部各井的旋回沉积以及 ODP1148 的滑塌带的陆坡沉积相呼应，综合分析认为三角洲沉积已经覆盖了白云凹陷的大部分区域，该三角洲为迅速向南部隆起带前积的大型河控高建设性三角洲沉积组合。这一发现表明白云凹陷存在良好的浅水储盖组合条件，而在陆架坡折带附近向海一侧发育陆架边缘三角洲及深水扇储盖组合。

(4) 白云凹陷深水区发育三套有利储盖组合，一是 23.8Ma 以上的珠江组—韩江组海相陆架边缘三角洲—深水扇沉积组合，这套组合主要分布在白云凹陷沉降形成的陆架坡折带附近至陆坡内盆地内；二是珠海组的浅水陆架三角洲 / 滨岸—深水陆坡沉积组合，在珠海组陆架坡折带以北的陆架区发育河控型三角洲砂泥组合，在陆架坡折带附近及其以南的荔湾凹陷区发育陆架边缘三角洲—深水盆底扇砂泥沉积；三是断坳期恩平组河湖—三角洲体系。

S7-P-21

西沙周缘深水沉积盆地演化及油气勘探潜力

鲁银涛*, 王彬, 杨涛涛

杭州地质研究院

*yintaolu@126.com

南海是西太平洋最大的边缘海之一，随着石油勘探的深入工作，南海已发现多个大中型油气田，具有良好的油气勘探前景。西沙海区位于南海西北部，整体位于水深大于 500 m 的范围，其中西北部水深范围为 500~1500 m，东部水深范围为 1500~3000 m，南部水深范围为 2000~4000 m。

新生代以来，南海西沙周缘主要经历了三期演化阶段：古新世—渐新世的陆内/陆缘

裂离、晚渐新世—中新世的海底扩张、中新世—至今的热沉降。与这三期演化阶段相对应的三次构造运动分别被称作神狐运动、南海运动、东沙运动。

神狐运动表现为华南大陆陆内/陆缘裂离，南海北部陆缘开始断陷，发育了一系列 NE 向地堑—半地堑，形成初始的隆坳相间格局。晚期由于地壳拉张减薄作用，南海开始出现 NE 向海底扩张脊，南海发生第一期海底扩张，西沙周缘开始进入海陆过渡相沉积。

南海运动表现为南海东部开始出现近 EW 向海底扩张脊，南海进入第二次海底扩张阶段。南海产生了区域性抬升、剥蚀，并伴有 NEE—EW 向张性断裂和强烈的基性、中酸性岩浆活动，形成了最终的隆坳格局。之后，伴随着区域性热沉降，整个南海盆地由断陷转变为坳陷，开始进入坳陷沉积阶段。

东沙运动表现为南海海底扩张停止，并伴随大规模的岩浆喷发活动。南海北部盆地在沉降过程中发生断块升降、隆起剥蚀、褶皱、断裂和频繁的岩浆活动，自东向西其运动强度和构造变形逐渐减弱。东沙运动后，南海盆地进入坳陷晚期沉积阶段。

所以，受南海新生代构造运动控制，西沙周缘盆地新生代经历了断陷期和坳陷期两个沉积演化阶段，自下而上充填了一套由陆相逐渐过渡到海相的沉积序列，即冲积河湖相（始新统）—海陆交替相（渐新统）—滨浅海台地相（中—下中新统）—浅海、半深海相（上新统一第四系）沉积序列。这套新生代充填地层厚度十分巨大，在琼东南盆地可达 8200 m。

断陷期沉积由陆相逐渐过渡为海陆过渡相，这套断陷期沉积在琼东南盆地厚度可达 4000 m。其中始新统沉积的陆相河流—三角洲—湖泊沉积和下渐新统崖城组海陆过渡相三角洲—滨岸沼泽—浅海沉积是区内烃源岩发育层系；上渐新统陵水组沉积环境过渡为海相沉积，该套地层以三角洲—滨浅海—半深海沉积为特征，是储层发育的重要层位。

坳陷期沉积由海陆过渡相过渡到海相，琼东南盆地内沉积厚度可达 4200 m。其中三亚组发育滨海相—浅海—半深海相沉积地

层, 是重要的储层发育层位; 中中新统梅山组发育大规模碳酸盐台地和生物礁, 是储层发育的重要层位; 上中新统黄流组一第四系发育半深海—深海相沉积地层, 也是盖层发育层位。

综上所述, 通过研究, 南海西沙周缘特别是琼东南盆地沉积有巨厚的新生代地层, 具有很好的生烃潜力和储集空间, 并且有很好的厚层海相泥岩盖层条件。与南海西沙周缘相邻的珠江口盆地、莺歌海盆地都已发现多个油气田, 与这些油气田毗邻的南海西沙周缘也会具有发育大中型油气田的潜力。

S7-P-22S

琼东南盆地裂后期 S40 界面特征及其地质意义

苏明^{1,2*}, 解习农^{1,2}, 姜涛², 田姗姗², 李俊良³, 张成², 何云龙²

1 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室

2 中国地质大学资源学院海洋系

3 中海石油(中国)有限公司湛江分公司技术部

*woshisuming_1983@163.com

琼东南盆地位于欧亚板块、印-澳板块和菲律宾海板块的交汇部位, 因此其形成演化分别受控于这些板块的运动。基于对琼东南盆地大量二维测线的精细解释, 在新近系裂后期充填序列中识别出一条区域性不整合界面 S40, 该界面为梅山组和黄流组的分界面, 具有区域性海平面大规模下降的特征, 显示对下伏地层强烈的削蚀特征。从不同部位的沉降特征可以看出琼东南盆地裂后期演化总体经历了热沉降和加速沉降两个阶段, 这与区域构造演化是一致的。研究认为, S40 界面即为分隔裂后热沉降期充填和裂后加速沉降期充填的重要不整合界面, 该界面在琼东南盆地内主要表现出两个主要特征: ①盆地北部浅水区和南部隆起暴露区, 多表现为角度不整合, 削截下伏地层特征, 局部地区整个梅山组一段地层都被削蚀; ②盆地东部半深水-深水区域, S40 界面上下差异性非常明

显, 之上为一组连续性中等振幅较强同相轴, 界面之下地震反射多表现出强振幅、中等连续一丘状反射的特征, 甚至局部有前积反射特征。这种特征说明在 S40 界面处发生了相的突变和跃迁, 进一步指示了琼东南盆地由早期水体“东浅西深”突变为现今“东深西浅”的特征。这种突变一方面与该时期的全球海平面下降有关外, 也说明在该地区也叠加了构造运动的影响。S40 界面发育的时代为晚中新世末期(10.5Ma), 虽然此时南海第二次扩张已经停止, 但受菲律宾海板块向欧亚板块俯冲产生向西挤压的影响, 导致琼东南盆地南部的大规模沉降。因此, S40 界面的识别及其地质意义的重新认识有可能为中国南海新生代盆地形成演化及其动力学背景研究提供新的信息。

S7-P-23

中国南海深水盆地油气勘探碳酸盐岩储层研究及特征

许红^{1*}, 王振峰², 夏斌³, 孙志鹏², 张莉⁴, 蔡瑛¹, 曹飞¹, 施秋华³, 赵强¹

1 国土资源部海洋油气与环境重点实验室, 国土资源部海洋油气与环境重点实验室, 青岛海洋地质研究所

2 中海石油(中国)有限公司湛江分公司

3 中山大学海洋学院

4 广州海洋地质调查局

*qdxhong@163.com

通过回顾 30 多年来南海各国深水盆地生物礁—碳酸盐岩油气勘探发现与研究的现状, 指出国外相关南海南部新近系生物礁—碳酸盐岩油气储层的研究已经具有达到五级层序研究水平的成果。

当前中国深水油气勘探面临的不单单只是油气地质研究的课题和技术体系的探索, 同时还面临突破传统思维定式, 在深水生物礁—碳酸盐岩形成、分布及非均质性预测研究, 进而实现突破性发现的难题。

进一步分析了我国三大国有油气公司和国土资源部系统十余年来在南海南部、西北部多年研究积累的成果与存在的问题；指出南海生物礁—碳酸盐岩储层研究将是未来相关海域深水油气勘探的重中之重，也是重要的热点和前沿领域，具有巨大的机会，勘探目标明确，前景现实而且十分光明。

S7-P-24

南海北部深水勘探遇到的挑战与应对的物探方法

颜承志*

中海石油（中国）有限公司深圳分公司

*yanchzh@cnooc.com.cn

深水已经成为当今国际油气勘探开发的新领域，深水勘探有别于浅水，高风险与高投入是基本的特点，从地震采集、处理、解释，钻井，测井，测试以及到最后的开发，都有很大的特殊性。珠江口盆地白云凹陷深水地区已经有二十多年的勘探研究历程，期间的道路是艰难又崎岖的，近年的勘探实践证实了其具备成为大型油气勘探区的石油地质条件。随着白云北坡、特别是 LW3-1 后一系列天然气钻探成功，一方面白云凹陷巨大的生烃能力获得证实，也证实了其具备成为大型油气勘探区的石油地质条件，该地区也成为中国深水勘探的热点地区。另一方面随着近年的勘探实践的继续，白云深水地区特殊性和复杂性逐步浮现，在地球物理方法研究和作业方式上具备诸多的特点。随着研究工作的深化，我们对白云凹陷的勘探潜力的认识也有了进一步的提高。

迄今，经多轮资评，目前认为白云深水地区的资源为 56.7×10^8 t 油当量，按 1t 转化为 1200 m^3 天然气，天然气的资源量为 $6.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，可采资源量为 $1.2037 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。而白云凹陷已发现三级储量约 2200 亿，探明天然气可采储量约 960 亿方。探明率只达到 7.9%。

白云尚未找到的这部分气在哪？白云凹陷有没有油？油又在哪里呢？即使在天然气

已获得多个发现，即使在已获得了巨大的成功后这连串问题仍一直困扰我们。进一步探索油气勘探的地球物理方法仍然是我们不断向前努力的方向。

独特的海底地貌和沉积特点使得深水地区实施勘探非常困难，水深急剧变化，峡谷纵横，水道复杂，形成了海底非常崎岖的地形地貌，白云凹陷北部陆坡切割得支离破碎、丘谷林立、高差悬殊、地势复杂。水深急剧变化、海底崎岖严重影响了下覆地层的地震成像，同时造成了构造形态的严重畸变，并对下覆深水储层的识别及圈闭的界定造成了很大的困难，从而影响了勘探目标评价的精度，增加了勘探风险。如何消除深水崎岖海底对油气勘探的影响，这本身就是一个难题，并没有一个成熟、有效的方法解决这个问题，近年来，针对崎岖海底采用多种手段，并获得了重大的突破和大量的认识。

储层发育的多样性和复杂性，深水沉积砂岩储层发育与区域的构造和古地貌有很大的关系，深水目标多具有构造+岩性的特点，这使得精确描述储层的物性、含油气性、空间展布特征及其规模成为目标评价和钻后储量分布和计算中的重要工作。白云深水地区对地球物理技术更高的要求，地震属性反演技术及三维可视化技术已经成为白云深水地区岩性及复合型圈闭储层识别和描述的关键手段，并得到广泛应用。

深水地区的勘探总结出一套精细且行之有效的目标评价方法，以求降低勘探风险，提高钻探的成功率。而 AVO 叠前反演技术是勘探目标评价中储层预测和烃类检测的必要手段。AVO 常规属性只能对含气性进行定性的判断，对储层质量和含气丰度没有很好的判别能力。利用近年来珠江口盆地白云深水地区钻探的近 10 口深水井进行了细致地测井岩石物理分析，认为波阻抗只能在中浅层对岩性有识别能力。在中深层由于砂岩的压实作用，砂泥岩波阻抗值基本重叠在一起，很难对储层进行识别。而密度与泥岩有较好的对应关系，从浅层到深层，砂岩的密度都低于泥岩。所以，密度能很好地识别储层。由于砂岩含气后，纵波速度急剧降低，横波速

度稍微升高,导致纵横波速度比或泊松比降低。所以,纵横波速度比能很好地识别气砂。经过以上的岩石物理分析,得到本区对储层和含气性敏感的属性或属性组合。利用工区内经过保真保幅处理的三维叠前 CRP 道集资料,进行地震波形分析、振幅异常分析、AVO 类型分析、流体替换分析以及最终的叠前反演。结合岩石物理分析得到的认识,利用叠前反演得到的纵横波速度比、密度、纵横波阻抗、拉梅系数等各种岩石物理弹性参数对本区的储层和含气性进行判别。勘探实践证明,这套储层预测和烃类检测方法适合深水区独特的沉积环境,并在目标评价中发挥了巨大的作用,同时也降低了勘探风险。

深水区随海底地形及水深变化,沉积的地层的压实、成岩作用会产生较大的差异,表现出地层速度和密度等弹性参数上较大的变化,在进行储层预测和时深转换等涉及相关的弹性参数时不得不考虑由此引起的深水速度结构变化的因素,此外地层不同程度的流体充注、含钙、钙质胶结、底辟或火山侵入形成的浅深层异常体等都是引起速度结构变化的重要因素,深水的勘探需要面对和解决此类速度问题并加以深入研究。

在白云深水区,储层发育具有多样性和复杂性,深水沉积砂岩储层发育与区域的构造和古地貌有很大的关系,深水目标都带有地层岩性圈闭的特点,多为构造-地层复合型圈闭,这使得精确描述储层的物性、含油性、空间展布特征及其规模成为目标评价和钻后储量分布和计算中的重要工作。白云深水区乃至世界范围的深水勘探对地球物理技术更高的要求也加速了地震勘探技术的发展,地震属性反演技术及三维可视化技术已经成为地层岩性及复合型圈闭储层识别和描述的关键手段。针对白云深水区钻井稀少但有大量三维数据的现状,我们引入了基于地震的稀疏脉冲约束波阻抗反演技术与三维可视化技术,对储层精细雕刻,刻画出气藏的顶底界面,对其厚度和物性的空间分布和变化特征作出预测,预测荚果在随后的钻探实践中得到检验。特别是通过反演提高资料的分辨能力之后,使得利用测井约束地震反

演识别深水扇储层的内幕结构成为可能。地震反演和三维可视化技术的综合应用,实现了识别深水储层,定性和半定量地描述储层,提供了有效的地球物理技术支持,取得了较好的效果

以上各项技术的以正确运用并发挥正确预测的作用,同时在深水区开展精细的层序地层研究都要依赖深水区保幅保真的高分辨率三维地震资料,这就为深水地震资料的采集和处理上提出了极高的要求,在采集方案的优化和采集参数的设计上反复试验,处理流程和参数的确定也采用了当前业界最新的一些方法和理念。大面积的 PSDM 在深水勘探中得到广泛使用,对提高成像质量和准确的深度预测效果明显。

通过这些工作,我们为白云深水地区提供了有效的地球物理技术支持和分析手段,取得了较好的效果。各项技术的综合应用逐步形成和完善白云深水区勘探评价技术组合。

S7-P-25

温度变化下南海海底沉积物的二种声速类型

邹大鹏^{1,2*}, 卢博¹, 吴百海²

1 中国科学院南海海洋研究所

2 广东工业大学

*anthonyzou@126.com

基于温度变化控制研究,测量了南海海底沉积物的原状样品和重塑样品的声速,得出了温度对沉积物声速影响有二种类型:声速温度正增长型和声速温度负增长型。它们比较普遍地存在于南海深水海底沉积物中,其中,第一种类型与 Rafael Carbó 的研究结论相符合,而后两种类型鲜有报道。通过分析,得出温度与正增长型和负增长型的声速具有较好的线性关系;通过声学物理参数的比较和分析,得到声速温度负增长型样品的声速最高;二种类型的主要物理参数差异不大,不足以解释二类样品的温度-声速性质

的不同；结合 Hamilton 和 Lu 的沉积物结构多样性分析得出海底沉积物的温度-声速性质与沉积物的结构有关，指出 TCFCMCM 模型可以揭示第一种类型的原理和趋势，而后一种类型的机理有待于结构的深入研究加以解释。

S7-P-26

扬子盆地中二叠世深水碳酸盐沉积与油气资源

李双应*

合肥工业大学，安徽合肥 230009

*lsysteven@126.com

碳酸盐斜坡位于碳酸盐陆棚边缘至深水盆地之间的过渡地带。其上限在正常波基面附近，向下延伸到坡度变缓与盆地平原接壤地带，属于深水沉积环境 (Tucker et al., 1990; Philips et al., 2008)。

发育于斜坡上的异地成因碳酸盐岩粗粒沉积物是孔隙流体潜在的运输管道，对碳氢化合物从细粒盆地源岩迁移到碳酸盐台地储集岩中有重要意义，而且由于它本身的多孔性也可以作为良好的储集层，因此它和相邻的碳酸盐台地以及礁体一样，可以作为油气资源的勘探目标 (Mullins et al., 1986; Philips et al., 2008)；此外，斜坡沉积物提供了相邻碳酸盐台地的诸多信息，保持着海平面相对变化的敏感记录。因此，碳酸盐斜坡沉积对于碳酸盐台地和深水盆地沉积物的地层对比以及古地理的恢复具有重要意义。

如果将碳酸盐斜坡作为礁体或者碳酸盐台地一样作为勘探目标，按照勘探学家的标准，目前对于碳酸盐斜坡和盆地沉积物的描述过于粗糙，需要进行精细的鉴定、描述和分类，需要精炼存在的沉积模型 (Philips et al., 2008)。

位于华北板块和华夏板块之间的扬子盆地，属于东古特提斯洋中的一部分 (殷鸿福等, 1999)，沉积-构造发展受古特提斯发展阶段控制。因此，二叠纪的沉积作用，记

录了盆地构造动力学的演变，而且也记录了古特提斯洋的演化历史。

扬子板块中二叠世地层分布广泛，海相碳酸盐岩发育，其次为硅质岩。它不仅被认识是华南古生代最重要的烃源岩层位之一，而且也是沿江铜等多金属成矿带最主要的赋矿层位之一。中二叠统也称为阳新统，它包括下部的栖霞亚统和上部的茅口亚统。主要由栖霞组和茅口组碳酸盐岩其次是孤峰组硅质岩类组成，厚几百米，富含生物化石。

碳酸盐斜坡主要发育在栖霞组和茅口组地层中以及茅口组和孤峰组的过渡区。主要岩石类型有碎块灰岩、砾状灰岩、砂屑-粉屑泥灰岩和生物碎屑粒泥岩等，以及硅质岩和硅质泥岩等。其中，砾状灰岩又进一步分为无泥的砾状灰岩、含泥的砾状灰岩和泥支撑的砾状灰岩。

扬子盆地中二叠世碳酸盐斜坡可以进一步分为斜坡顶部、斜坡上部、斜坡中部、斜坡下部和盆地边缘一盆地相。

斜坡顶部常由碎块灰岩以及礁、滩组成。碎块灰岩由灰色生物碎屑灰岩破碎构成，碎块之间有明显的界面，但是碎块本身并没有明显的位移，属于碳酸盐台地边缘的产物。

斜坡上部：主要由无泥的砾状灰岩、角砾状灰岩组成，地形一般较陡。砾石来自于台地边缘，它们被搬运到斜坡上部沉积形成石灰砾岩。

斜坡中部：主要为含泥的砾状灰岩、“眼球状灰岩”组成，颗粒支撑。常常间夹砂屑-粉屑泥灰岩和生物碎屑粒泥灰岩，或者由生物碎屑灰岩夹硅质岩层组成。砾状灰岩或者呈层状，或者缺乏成层性。砾石主要由碳酸盐碎屑流成因，基质既有来自于台地和斜坡上部的细粒磨蚀物，也有来自等深流沉积物。均属于异地成因碳酸盐岩。

斜坡下部：主要由深灰色-黑色砂屑、粉屑泥灰岩，含基质支撑的砾状灰岩组成，发育动藻迹 *Zoophocus*。

盆地边缘一盆地：主要由页岩，薄层硅质岩，硅质泥岩等组成，含放射虫、海绵骨针等化石，发育动藻迹 *Zoophocus*。

世界上碳酸盐岩中的油气田占全世界油气总产量的 40—60% (Flügel, 2004), 在碳酸盐斜坡这类储层中也有大量的储量被发现 (Philips et al., 2008)。以中国华南地区为例, 人们甚至认为在中国南方海相碳酸盐岩中找油, 碳酸盐斜坡相似乎比台地相更重要 (张秀莲, 2005)。因此, 对扬子盆地中二叠世碳酸盐斜坡沉积环境的再认识, 将有助于华南地区油气资源的勘探。

S7-P-27

裂谷盆地地幔热液对成岩与油气生成的控制——以三塘湖盆地石炭—二叠系为例

柳益群*, 郑朝阳, 李红, 周小虎, 樊婷婷

西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系西安 710069

*liu-yiqun@263.net

石炭纪—二叠纪是中国新疆北部地区构造转换、海陆变迁的重要变革时期。

岩石同位素地球化学与锆石 U-Pb 定年资料表明, 晚石炭世时期北疆地区发育多个呈近东西向分布的陆内裂谷, 仍有残余海相沉积。其中的巴塔玛依内山组 (或哈尔加乌组) 发育大量基性、酸性及中性火山岩, 为该区近年来发现的裂缝型火山岩油气储集层。在三塘湖盆地, 发育受正断层控制的陆内裂谷相火山岩、暗色泥岩、凝灰岩等组合, 在其中的含油井的火山岩和凝灰岩岩心中, 可见到大量密集的垂直裂缝和网状裂缝, 岩石强烈破碎, 由碳酸盐、沸石、黄铁矿、重晶石、石膏胶结的角砾岩和变形构造十分普遍, 显示地幔热液活动的迹象。

中二叠世芦草沟组时期, 北疆地区进入裂谷期后拗陷盆地阶段, 形成多个半深湖, 是北疆地区重要的含油层系, 但是其分布明显受正断层控制的断陷所控制, 沉积相变较快。在三塘湖盆地内, 首次发现纹层状白云岩和方沸石岩, 该白云岩以铁白云石、藻类、有机质互层呈纹层状为特征; 方沸石岩以均

匀分布的球粒状、云朵状方沸石呈细—中粒的薄互层为特征, 其胶结物为呈互层状的铁白云石、微晶石英和伊利石, 荧光显示有沿裂缝分布的烃类和分布在方沸石表面呈浸染状的烃类。初步分析认为它们是与岩浆作用、深部热液相关的喷流型湖相热水沉积岩, 具有“点式”分布特点。

初步研究认为地幔热液参与了三塘湖盆地石炭纪—二叠纪的成岩作用过程与油气生成过程。盆地热演化研究表明, 两套生油岩均是在二叠纪前进入成熟阶段的, 因此来自地幔的热液可能促进了下石炭统姜巴斯套组和中二叠世芦草沟组生油岩的成熟。25 个油样的碳同位素分析表明, 三塘湖盆地的姜巴斯套组和芦草沟组烃源岩的形成环境显示较大差异, 前者显示海相生油特征, 且 δC^{13} 均大于 -30‰, 可能有地幔无机烃组分的加入; 后者显示陆相生油特征, δC^{13} 多数小于 -30‰, 多为偏轻组分。两套烃源岩的区别还在于: 早石炭世时期烃源岩分布范围广, 岩浆活动和地幔热液上升范围较大, 火山岩呈现强烈的破碎变形, 网状、树枝状裂缝发育, 油气分布与之对应; 中二叠世时期半深湖相湖盆小, 火山活动较局限, 热液喷口仅限于几个点上, 因此生油范围较小, 分布不均匀, 也为钻井所证实。

S7-P-28

松辽盆地大庆长垣地区嫩江组二段滑塌扇的发现及其石油地质意义

张顺*, 付秀丽, 张晨晨

黑龙江省大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 大庆 163712

*zhshun@petrochina.com.cn

应用三维地震及测井地质剖面, 在松辽盆地大庆长垣地区嫩江组二段发现三套滑塌扇体, 北部 LMD 扇体由 5 个单体组成, 垂向呈前积式交叉叠置, 总体呈前缘外凸的铲状, 近东西走向, 最大面积约 95 km², 最大

厚度 62 m; 南部 MX 扇体由 7 个单体组成, 垂向交叉叠置, 平面镶嵌连片, 总体具北北东走向, 总波及面积约 61.5 km², 最大厚度 55 m; 中部的 SET 为独立扇体, 呈半园形, 近东西走向, 面积约 24 km², 最大厚度 92 m; 三套扇体均具有根部厚、前端薄的发育特征, 而且前端以发育泥岩为主, 中部及根部发育 2—4 层粉砂岩, 厚度在 0.8—7.0 m; 三套扇体及其单体表面均具有弧形地震反射波纹, 波纹密度分布在 4—10 条/km; 推测三套扇体最小古坡度在 5—12%, 最小古水深 30—70 m, 滑移距离在 2—10 km; 这一发现为在大型陆相拗陷湖盆中研究滑塌浊积扇体的沉积学特征提供了有利的证据, 同时南部 MX 扇体已经发现工业油流, 因此, 这一发现也为在拗陷盆地湖相泥岩中寻找油藏提供了新的思路。

S7-P-29

中国下古生界海相油气地球化学特征及其油藏成因研究——以塔里木盆地塔河油田为例

郑朝阳^{1*}, 柳益群¹, 段毅², 吴保祥²

1 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质系 西安 710069

2 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心, 兰州 730000

*zzyhe@163.com

塔河油田是我国迄今为止发现的下古生界最大的海相碳酸盐岩型油气田, 其油气地球化学特征及成因备受关注, 但目前仍然存在诸多争议。本文通过系统采样和高精度 GC-MS 分析, 精细研究了塔河油田原油的生物标记化合物分布特征, 进行了油源对比并探讨了其成因。研究表明: 塔河油田原油其具有相似的成因类型, 其母质类型为菌藻类; 浮游绿藻和宏体褐藻对原油的生成有重要贡献; 原油为成熟-高成熟原油形成于海相还原环境; 中上奥陶统烃源岩为塔河油田的主力

烃源岩, 下奥陶统和寒武系烃源岩也对塔河原油的形成做出了重要贡献; 原油具有多期成藏的特征, 且早期油藏遭受了一定程度的生物降解。这些研究结果为同类油气田的评价、勘探、开发提供了科学依据。

S7-P-30S

孔隙结构动力学及其在优质储层研究中的应用 The application of pore structure dynamics in study of high quality reservoir

於文辉*, 朱伟, 卞爱飞, 曲赞

中国地质大学(武汉)

*wenhuiy59@163.com

对油气成藏体系物质因素、能量因素、动态成藏过程等三大问题进行岩石力学抽象, 其本质就是孔隙结构动力学问题。因此, 建立孔隙结构动力学理论及其在优质储层研究中的应用是勘探地震走向油藏地震的核心。我们从赫拉克利特“万物皆流”的生成哲学思想和曼德尔布罗的孔隙与正在生长物体是统一整体的思想出发, 基于中介逻辑和中介原则出发, 提出自然界第三力学性质——弱化性。在应变等效原理基础上, 建立起损伤孔隙弹性模型。通过物理试验与数值模拟, 建立起反映孔隙结构动力学二个侧面的孔隙、孔隙形状与孔隙连通性、孔喉半径之间的有机联系与理论体系。经对前人天然多孔介质及人工多孔介质实测超声波数据与数值岩心模拟数据验证, 证明谱分维与孔隙结构的扭曲度具相关特性。谱分维越大, 损伤因子越大。利用川东北 YB 地区两口探井的录井、测井资料计算须家河储层的扭曲度和损伤因子曲线; 采用叠前全波形井震联合反演, 得该区三维地层空间扭曲度、损伤因子等多种优质油气藏属性数据体, 综合分析该区优质油气藏特征。

S7-P-31

基于西太平洋麦哲伦海山区的富钴结壳初步成矿模型

朱克超^{1*}, 张富元², 沈承德³

1 广州海洋地质调查局, 广州 510760

2 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012

3 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

*kczhu2006@yahoo.com.cn

根据西太平洋麦哲伦海山区的地质构造背景、海山地层、海山富钴结壳的分布特征、富钴结壳的地球化学演化等综合分析研究, 初步建立了麦哲伦海山区富钴结壳的成矿模型。已有的研究表明麦哲伦海山为热点成因形成的火山岛, 在白垩纪形成于南太平洋热异常区, 随着海山下伏的太平洋板块的运移被推移到现今的位置。火山岛形成后, 经历了早期下沉、剥蚀、发育珊瑚礁、再下沉发育远洋碳酸盐沉积物等过程, 最终成为平顶海山。麦哲伦海山的海山基底玄武岩为洋岛碱性玄武岩, 海山地层主要分为三个单元, 底层为玄武岩和火山碎屑岩, 中间层为礁灰岩, 上层为远洋碳酸盐沉积物, 富钴结壳覆盖于玄武岩、火山碎屑岩, 和礁灰岩之上, 厚层富钴结壳主要分布于海山斜坡及海山平顶与斜坡转折处。根据厚层富钴结壳的地球化学演化特征并结合海山运移轨迹, 富钴结壳成矿可分为早期成矿和晚期成矿两个主要阶段, 早期成矿阶段, 成矿时段为 60Ma~20Ma, 结壳发育了老世代壳层, 并受到了明显的磷酸盐化作用, 使成矿元素产生了贫化和稀释作用, 此时海山从南太平洋运移经过赤道带, 结壳的磷酸盐化作用可能与赤道高的生物生产力有关。晚期成矿阶段, 成矿时段为 20Ma 至今, 结壳发育了年轻世代壳层, 并受到了碎屑物质的侵入作用, 使成矿元素产生了稀释作用, 此时海山运移经赤道以北到现今的西太平洋海域, 结壳的碎屑物质的侵入作用可能与亚洲内陆来源的风成物质有关。

S7-P-32S

下刚果盆地多边形断层研究及其油气意义

李士涛*, 王振奇, 张笑

湖北省荆州市长江大学地球科学学院

*lstgushou@126.com

在利用高精度的 3 维地震资料的基础上, 在下刚果盆地上新统一更新统识别出一种多边形断层系统。这种多边形断层在地震剖面上为微小断距的张性断层。利用相干技术, 显示其平面特征为多边形形状, 其方向是各向同性的, 这指示该断层系统为非构造成因断层。其主要发育在深水、半深水沉积环境, 以细粒的泥质沉积为主。多边形断层的成因机制是由于在早期埋藏阶段细粒沉积物在超压的作用下压实脱水、体积收缩形成的, 其发育成度主要取决于颗粒的大小和矿物成分。多边形断层在对油气的运移起着疏导作用, 作为油气运移的通道, 使油气在上覆泥岩中形成很好的超压封闭盖层。

S7-P-33

高精度 3D 地震层析成像与海底资源勘探

赵志新*, 徐纪人

中国地质科学院地质研究所

*zhaozx1010@yahoo.com.cn

地震波走时层析成像方法问世以来。由于该方法能够导出完全不均匀介质的三维地下结构, 同时进行界面和结构反演的方法。除天然地震方法应用于地球内部研究和地壳结构研究外。高精度人工爆破地震层析成像也被应用于地球内部研究和海洋地壳结构研究几海底资源调查。地震波走时层析成像结果揭示了在隐伏断层的几何形态, 埋藏深度, 有利于研究其力学性质。调查结果定量显示出类似凹兜, 直立错断结构等复杂异常地质

体的几何形状及埋藏深度。显示了三维人工地震层析成像探测深部技术的有效性。

浅层地质构造与结构的探查目前更是有着积极的理论与社会意义。复杂区域中的高可靠性精细结构研究是国内外十分关注的前沿课题。精细刻画地球内部的复杂结构形态,对于准确揭示地球内部运动过程有着积极的理论意义。油气、矿藏、地震灾害防御工程中 S 波速度为 4 km/s 以浅的速度结构调查研究及其它环境地质工程探查都涉及浅层地震波速度结构调查问题。已涌现出许多与浅层地壳结构相关的研究方法和研究结果。而且可以推进油气、金属矿藏的探测评估研究,具有积极的社会效益。在高分辨率的地球内部介质的调查研究,简单的层状模式可能导出不切确的结论。多维地震波层析成像探查方法是能够反映横向不均匀性的定量的高精度勘探方法。它的探查精度仅依于震源和接受器设置测量精度及地震波走时的测量精度等。由于地震波层析成像探查方法中射线追踪是震源和接受点的三维空间坐标的数字化运算,因此对施工地面的平展程度无任何要求。特别适用于在山地、海岸等任何复杂地形地区开展探测工作。地震层析成像方法,是一种经济、高效的三维精细深部浅部的复杂结构与构造探测方法。该方法信号比非地震法强,且畸变小,提高了探测的分辨率及可靠性。较其它地震方法更加适应地质结构激烈变化的山地矿区勘探。

现在主要介绍层析成像方法分析研究了 300 km 长大人工地震资料的 Moho 面以上的地壳结构研究几矿物探查。实例资料分析和地下结构速度成像实例运算。其结果期望为满足浅层地质结构与构造研究,发展对灾害防御,资源矿藏勘测技术发展需要,为国民经济建设作贡献。另一高精度三维人工爆破地震波层析成像方法探查近海海域浅层构造为使用层析成像方法探讨海中约 300 m 的浅层地质构造和结构研究。观测中进行了 15 次人工爆破,结果表明,成像中的速度等值线图可以很好地显示近海域地下结构或者地质构造特征。如任意斜向的凹凸形状,或类似直立,逆冲错断结构,同时显示出了这些复

杂几何体的埋藏深度。它表明类似复杂,微小的地下速度结构异常体,诸如断层形状,资源矿藏储舱结构的复杂几何形状,都期望在描述的层析成像技术的勘探能力之内。三维走时成像方法结果,可能对于地下结构研究,油气、矿产资源探查,工程环境地质研究以及基础地球科学研究都有重要现实意义。

S7-P-34

基于磁性特征的长江泥沙示踪研究

张卫国^{1*}, 贾铁飞², 陈满荣³, 陈曦¹, 柳思敏¹, 罗艺¹, 俞立中¹

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室

2 上海师范大学旅游学院

3 扬州大学环境学院

*wgzhang@sklec.ecnu.edu.cn

长江作为我国第一大河,其上游产出巨量泥沙向中、下游输送,对中、下游河床演变、湖泊淤积、河口三角洲发育,乃至中国海岸发育、东海陆架沉积以及全球物质通量等,都有着极为重要的影响,是东亚季风演变和陆海相互作用所重点关注的问题,对现代长江泥沙的来源加以认识和表征,显得尤为关键。本文讨论了长江三大支流金沙江、嘉陵江、汉江泥沙性质的差异,并通过河流和河口悬沙以及东海陆架表层沉积物的磁性特征研究,探讨了长江泥沙在向海输送过程中的组成变化。研究结果表明,金沙江泥沙相比其他支流,富含磁铁矿,因而磁性最强,但河口悬沙和陆架沉积物磁性要显著弱于金沙江泥沙,反映了泥沙自陆向海搬运过程中的泥沙分选和混合作用。基于现代长江泥沙组成的认识,地质历史时期由于不同支流输沙数量的变化,因而长江入海泥沙组成可能存在较大的变化。

S7-P-35

南海北部陆坡大型沉积物波的发现

吴昌荣*, 彭大钧, 黄先律

成都理工大学能源学院

*wucr@cdut.edu.cn

南海北部陆坡是我国海洋沉积学研究的天然实验室, 目前也是我国深水油气勘探的主战场。在南海北部陆坡的油气勘探中, 人们早已在地震资料上注意到了浅层 (SQ13.8Ma 以上) 大型“水道侧向迁移”现象, 学界至今对此尚无合理的解释。本文对这种大型“水道侧向迁移”现象进行了深入分析, 首先排除地震资料处理的影响, 然后从定向洋流、水道内侧向侵蚀与加积、地球自转科氏力、等深流、内波与内潮汐等几种可能的地质成因进行了全面讨论, 最终对比发现: 它与 Normark 等总结的全球深海调查中 30 个大型沉积物波发育区的地震反射特征具有很大的相似性, 据此解释认为: 它不是所谓的“水道侧向迁移”, 而是大型沉积物波。

近年来众多学者普遍认为南海北部陆坡主要以重力流沉积为主, 而大型沉积物波的发现表明该区也曾大量存在深水牵引流, 这种不同的地质认识将给我国这片深水油气勘探热点区的海洋沉积学研究带来全新的思考。关于这些大型沉积物波的具体沉积特征, 尚待今后利用该区珍贵的钻井资料做进一步的研究, 从而为该区的油气勘探决策提供可靠依据。

S7-P-36

ODP1144 孔区深水沉积物波的特征及成因探讨

钟广法^{1*}, 李前裕¹, 施和生², 郝沪军²

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 中国海洋石油总公司深圳分公司

*gfzhong@tongji.edu.cn

1994 年德国太阳号 95 航次采集的地震资料揭示了南海北部东沙陆坡区高速沉积物堆积体的存在; 1999 年 ODP184 航次 1144 站针对该堆积体实施的钻探, 证实其平均沉积速率高达 49 cm/ka。此后, 部分学者对该堆积体的特征及成因进行了分析。区域反射地震剖面表明, 该沉积物堆积体由一系列沉积物波组成。本文根据中国海洋石油总公司新近采集的地震资料, 结合 ODP1144 孔地质及地球物理资料, 对该沉积物波的特征进行分析, 并对其成因进行探讨。

地震资料表明, ODP1144 孔区深水沉积物波的波长从数百米到 3 km 不等, 波高一般在 10~80 m 之间; 横切面上, 沉积物波的波形多不对称, 逆坡侧较陡窄, 顺坡侧相对宽缓; 波脊总体逆陆坡朝上倾方向迁移, 波脊连线与坡向一致; 沉积物波内部发育有多个地震反射不连续面, 部分沉积物波的脊线存在明显的横向迁移和跳转现象, 表明沉积物波的发育具有阶段性特点。此外, 部分沉积物波与下凹状 U 型水道共生, 分布于水道两翼的侧坡上。1144 孔合成记录标定表明, 沉积物波的发育大致始于中更新世 1.05 Ma 以前。

1144 孔岩芯资料表明, 组成沉积物波的岩性较均一, 主要由含石英粉砂和钙质超微化石的粘土组成, 占沉积物总量的 90% 以上。其它岩性包括含石英粉砂和海绵骨针的粘土、含石英粉砂和硅藻的粘土、含粉砂粘土、粉砂质粘土及粘土等。岩芯分析及常规测井资料表明, 沉积物的体积密度介于 1.6~2.0 g/cm³ 之间, 孔隙率高达 50~80%, 表明沉积物的压实和固结程度很低。

1144 孔 FMS 成像测井资料分析表明, 沉积物波内部主要发育有平行纹层、块状和斑状等三种成像测井相类型。平行纹层相的特点是, 纹理发育, 且纹理面相互平行, 单个纹层的厚度多在 5 mm~3 cm 之间, 纹层颜色较均一, 局部深浅交互。块状相的特点是, 图像颜色较均一, 缺乏纹理或其它内部构造特征。斑状相的特点是, 图像颜色不均一, 呈斑块状, 斑块颜色较浅, 背景基质颜色相对较深, 斑块大小 10~20 cm。经岩芯

标定, 平行纹层相反映了未受扰动的正常半深海沉积; 块状相与强烈生物扰动作用导致地层的均匀化有关; 斑状相的成因主要与差异压实或含浅层气引起的沉积物扰动变形等有关, 部分斑状相分布于井径不规则段(包括缩径和扩径段), 推测与钻井过程引起的沉积物人为扰动有关。岩芯及成像测井图像分析排除了沉积物波由陆坡跨塌或滑坡形成的可能。

国际上主流的观点认为, 深水沉积物波的成因主要有浊流和底流两大基本类型, 其形成机制主要有背流波、逆行沙丘、内波及斜坡失稳等模式。关于 ODP1144 孔沉积物波的成因, 目前尚存在分歧, 主要有等深流、上升流、浊流等观点。其确切的形成机制及其古海洋、古环境意义尚有待进一步的深入研究予以揭示。

S7-P-37

世界河流入海沉积物的宿命以及物理、生物地球化学指示意义

刘敬圃 (Paul Liu) *

Dept. of Marine, Earth and Atmospheric Sciences,
North Carolina State University, Raleigh, NC 27695
USA
*jpliu@ncsu.edu

Rivers are the major carriers for delivering large amounts of land-derived freshwater, sediment, and natural elements to the global ocean. Collectively, the global rivers annually discharge about 35,000 km³ of fresh waters and $22-22 \times 10^9$ tons of solid and dissolved sediment to the ocean. Among them, approximately 70% has been delivered from Asian large rivers (e.g. Yellow, Yangtze, Pearl, Red, Mekong, and Ganges-Brahmaputra, etc) and numerous small mountainous rivers (e.g. rivers in Taiwan, Indonesia, and Papua New Guinea, etc) into the Western Pacific marginal seas, e.g. Yellow Sea, East China Sea, and

South China Sea. As a result, Asian rivers, especially those large rivers, play important roles in not only controlling the physical and biogeochemical features of the Asian estuaries and Western Pacific ocean margins, but also in impacting on the evolution and culture development of Asian society.

Field studies show nearly 50% of worldwide large river-derived sediments has been deposited in the lower reach of the river mouth, forming many extensively distributed subaerial delta plain, and rest of them discharges into the adjacent ocean. Among those being discharging into the ocean, nearly half of them has been found to be longshore-transported several hundreds kilometers from the river mouth. There is very little or few percent of the total sediment discharge has been found to be across-shelf transported into the deep ocean.

The driving and controlling forces for the strong longshore transport of the large river derived plume and sediment include the sea level variation, coastal current, downwelling and upwelling circulations, etc. Together with the thick sediment deposits in the inner shelves, there is some evidence for existence of biogenic shallow gas in the deltaic sediment, which strongly relate to the organic carbon transport and bury processes.

In contrast, sediment from small rivers has a very different fate. Some major small mountainous rivers in active margins (e.g. Eel, Kaoping, Choshui, Lanyang, etc), usually do not form deltas and are mainly controlled by episodic events, contribute more than 50% of global terrigenous sediments to the sea. However, more than 80% of their sediment discharges are transported directly to the shelves or deep canyons mainly via gravity/turbidity or hyperpycnal flows, which are distinctly different from the above large

rivers that discharge to passive margins or shallow marginal seas.

S7-P-38

末次盛冰期的海平面大幅度下降和陆架出露使全球海岸带大部分区域沉积记录缺失

郑卓*

中山大学

*eeszzhuo@mail.sysu.edu.cn

末次盛冰期的海平面大幅度下降和陆架出露使全球海岸带大部分区域沉积记录缺失。然而冲绳海槽无论是冰期或间冰期一直处于水下环境，第四纪保持连续沉积，不仅保存了古海洋环境演化和海槽发育的历史，同时也成为中国东部陆地、东海陆架与大洋对比研究的重要纽带，成为古海洋学和第四纪环境变化研究的最佳材料，受到中外学者的广泛关注。

本研究对海槽中部 MD-982194 和 DGKS-9602 等两个钻孔岩心进行了高分辨率孢粉分析，根据测年数据和氧同位素曲线的对比显示，钻孔的年代至少覆盖了氧同位素 1~4 阶段，年代可追溯至 70—90 ka BP。通过对孢粉谱的有序聚类，划分出五个孢粉组合带。结果表明，孢粉带与氧同位素阶段有较好的对应关系，其中松属花粉与蒿属花粉比值 (P/A) 与海平面变化曲线相互吻合。应用非相似性类比法将钻孔孢粉样品与陆地表土孢粉样品进行欧氏距离计算，从而获得陆源物质来源的可能区域，进而分析海平面波动下导致陆源区发生的可能变化。结果证明，在 MIS4 阶段，孢粉物质来源可能主体来自于海槽北部地区，此时北部陆源区以针叶林为主。MIS3 阶段海平面也相对较高，中国东部（长江中下游）和日本九州成为该时期的主要物源区，此时该区山地针叶植被发育伴有少量的阔叶树种。MIS2 阶段，海平面急剧下降，孢粉中的松属与蒿属的比值急剧下降至<1，类比结果显示该段陆源物质很可

能来自于近源的大陆架平原地区，且以草地环境的物源为主，孢粉的物源搬运距离较短，其中 MD-982194 钻孔还显示出近源的湿地沼泽莎草科花粉的高含量。全新世的孢粉沉积由于物源距离远，显示出孢粉来源分散的特点，总体上可能的物源区包括中国的长江、黄河以及黑潮等带来的热带植物花粉。

S8-O-1

块状硫化物矿床古今对比研究

侯增谦*

中国地质科学院地质研究所

*houzengqian@126.com

现代海底热液硫化物成矿活动的发现极大地促进了对古代块状硫化物矿床的研究，而对古代不同类型块状硫化物的深入研究又在很大程度上补充完善了硫化物的成矿作用体系。本报告将通过对古今两大类块状硫化物矿床成矿作用的对比，探索建立块状硫化物的成矿系统及其历史演化。

S8-O-2

华南寒武纪早期的海底热液活动与大洋缺氧事件

蒋少涌^{1*}，皮道会¹，凌洪飞¹，杨競红¹，陈永权^{1,2}，朱碧¹

1 南京大学地球科学系内生金属成矿机制研究国家重点实验室

2 中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院，库尔勒 841000

*shyjiang@nju.edu.cn

华南早寒武纪时期广泛分布一套黑色岩系，代表了当时的一次海洋缺氧事件，这套黑色岩系超常富集多种金属元素，尤其是在其底部赋存有一层 Ni-Mo-PGE 多金属硫化物矿层，该硫化物矿层虽然厚度不大（一般几至几十 cm），但层位十分稳定，在贵州遵

义和湖南张家界等地分布较集中,并被地方开采利用。研究表明,这套富多金属元素的黑色岩系明显是一种缺氧事件的产物,但对于其中的多金属富集层的成因却有不同的认识,争论主要集中在是正常海洋沉积作用形成?(Mao JW et al., 2002; Lehmann et al., 2007,2008; Wille et al., 2008)还是有海底热液参与成矿作用?(Coveney et al., 1992; Murowchick et al., 1994; Lott et al., 1999; 李胜荣和高振敏, 2000; 吴朝东等, 2001; Steiner et al., 2001; Pan JY et al., 2004; 陈益平等, 2007; Orberger et al., 2007; Jiang SY et al., 2006, 2007, 2008, 2009; Chen DZ et al., 2009)。

2008年, Wille 等人在 Nature 著文认为, 该次海洋缺氧事件发生在前寒武纪/寒武纪之交, 是一次全球性的大洋缺氧事件, 当时由于海水中大量的有毒气体 H₂S 的上涌, 造成了前寒武纪 Ediacaran 生物群的绝灭, 并且由此造成的海洋环境的变迁又促发了寒武纪生命的大爆发。

我们的研究成果表明 (Jiang et al., Nature, 2009, vol. 459, E5-E6), 华南早寒武纪的海洋缺氧事件和多金属硫化物矿化事件发生的时限为 $532.3 \pm 0.7\text{Ma}$, 它比前寒武纪/寒武纪界线年龄 ($542.0 \pm 0.3\text{Ma}$) 要晚大约 10Ma, 同时从华南多个地层剖面的研究表明, 在前寒武/寒武界线处至含多金属硫化物层的黑色页岩之间普遍存在地层缺失现象, 从而否定了 Wille 等人的模型。

我们的研究成果还指出, 华南寒武纪早期黑色岩系中这一多金属硫化物矿化事件与海底热液活动有关。我们近年来在《Mineralium Deposita》、《Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology》、《Chemical Geology》、《Geology》、《Chemie der Erde Geochemistry》和《Progress in Natural Science》、《矿物岩石学杂志》等刊物上发表了多篇论文, 来探讨这一重要科学问题。

S8-O-3

西南印度洋超慢速扩张洋中脊 49°-53°E 段的海底热液活动

陶春辉^{1*}, 李怀明¹, 武光海¹, 苏新², 邓显明¹, 中国大洋 20 航次科考队

1 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012

2 中国地质大学(北京), 北京 100083

1979年“ALVIN”号深潜器在加拉帕戈斯扩张中心海底第一次观测到海底热液喷发, 开始了重视海底热液活动的研究。在此后的 30 多年中, 现代海底热液活动以其重要的科学研究意义成为海洋地质、海洋环境和生物学等学科领域研究的热点。大洋中脊是发育海底热液活动的重要场所, 也是地球上最长最复杂的构造体系, 在洋壳生成和板块活动过程中扮演着重要角色。迄今全球所发现的 170 多处海底热液区超过 60% 分布在大洋中脊地区。直到上世纪末, 绝大部分针对洋中脊地区海底热液活动的调查研究集中在太平洋和大西洋海区的快速和中慢速扩张洋中脊, 使得人们对于海底热液系统的了解和认识主要来源于快速和中慢速洋中脊地区。超慢速扩张洋中脊(例如西南印度洋洋中脊, 即 Southwest Indian Ridge, 简称 SWIR)海底热液活动的研究仍十分薄弱, 是当前大洋中脊热液活动研究的重中之重。

尽管国际上前期在 SWIR 进行了大量的调查研究工作, 但是 2007 年之前在 SWIR 只发现了 1 个非活动热液区(Mt. Jourdanne 热液区)、1 个超基性岩基底的热液矿化点和多处热液异常。超慢速扩张洋中脊构造地质环境特殊, 超基性岩或者基性岩/超基性岩混杂出露的基底较为普遍, 超基性岩的蛇纹石化可能是驱动热液循环的重要热源。这造成超慢速扩张洋中脊的热液系统不同于快速和中慢速扩张洋中脊, 具有其独特性。2007 年中国大洋 19 航次在 SWIR 49.6°E 附近发现了第一个活动的热液区。2008—2009 年的中国大洋 20 航次期间, 我国科学家在 49.6°E 热液区附近又发现了 3 个独立的喷口区, 拓展了原热液区的范围。另外还在 50.5°E、51°E、

51.7°E、53.2°E、63.5°E 和 63.9°E 发现了 6 个热液区。其中在 SWIR 49°—53°E 这段长约 400 km 的洋中脊地区就相继发现了 5 个热液区，热液沉积类型多样，充分表明了 SWIR 热液活动的多样性和复杂性。

1. 49.6°E 热液活动区位于 Indomed 和 Gallieni 转换断层之间，洋脊第 28 段的西部边缘，水深约 2755 m，区内缺乏现代沉积物。该段洋中脊的轴部近东西向，水深变化范围为 1500—2800 m，轴部北侧水深较深，南侧较浅，地形高低起伏不平，有大量陡峭的山坡。在该区获得的多金属硫化物烟囱体的主要矿物为黄铁矿、白铁矿和黄铜矿，初步测试结果显示 Cu、Fe、Au、Ag 的平均含量分别为 2.83%、31.9%、2.0 ppm、70.2 ppm。

2. 50.5°E 非活动热液区的摄像和采样资料表明该热液区从下向上依次发育了多金属硫化物烟囱体和块状硫化物、多金属沉积物、蛋白石烟囱的热液沉积序列。这样一个由高温多金属硫化物沉积到低温硅质沉积变化的热液区有助于了解 SWIR 区热液演化特征。

3. 在 51°E 发现了大范围出露的碳酸盐岩。该区距离洋中脊扩张中心约 10 km，水深范围 1800m -2800m，区内发育大量的碳酸盐岩烟囱，初步探测基底岩石为玄武岩。

S8-O-4

胡安·德夫卡洋脊海底热液活动研究进展

周怀阳*

同济大学 国家海洋地质重点实验室

*zhouhy@tongji.edu.cn

胡安·德夫卡洋脊的海底热液活动是世界上现代海底热液活动研究最详细的几个区域之一，至今在国际学术刊物上发表的与该区域热液活动相关的地球物理、地质、地球化学、生物学或物理海洋学文献总计达 1500 多篇，极大地深化了人们对热液活动的热源、水岩作用、硫化物烟囱生长和深部生物圈等方面的认识。

本文将结合我们最近几年对该区域热液硫化物的研究成果，概要性地介绍胡安·德夫卡洋脊海底热液活动研究的主要进展和存在问题，为多学科之间的交叉研究提供借鉴。

S8-O-5

南海北部陆坡神狐海域天然气水合物成藏系统研究

陈志豪^{1,2}，吴能友^{1,2,4*}，卢振权³，梁金强⁴，王宏斌⁴，邬黛黛^{1,2}，苏正^{1,2}，管红香^{1,2}，杨睿^{1,2}

1 中国科学院广州能源研究所，中国科学院可再生
能源与天然气水合物重点实验室

2 中国科学院广州天然气水合物研究中心

3 中国地质科学院矿产资源研究所

4 广州海洋地质调查局

*wuny@ms.giec.ac.cn

天然气水合物成藏系统研究将其成藏过程看作一个有机的整体，主要研究气体供应、气体运移和气体聚集之间的内在联系。我国科学家早已开始注意到天然气水合物成藏系统的重要性，并指出天然气水合物成藏系统至少应该包括烃类生成体系（如烃类气体供应问题）、流体运移体系（如断裂通道运移及烃类运移问题）、成藏就位体系（如岩层和构造对天然气水合物产状与分布的影响与控制问题），反映了天然气水合物从形成到保存的地质作用过程及地质要素的组合。

神狐海域大型重力活塞沉积物岩芯和钻探岩芯沉积物孔隙水 SO_4^{2-} 浓度和 CH_4 变化趋势计算表明研究区硫酸盐-甲烷作用界面（SMI）深度为海底之下 10—27m，说明其形成天然气水合物的甲烷气体的垂向通量较小，其来源主要是生物成因甲烷，但也不排除混有深部的热解气。研究区大型重力活塞沉积物岩芯顶空气甲烷 $^{13}\text{CCH}_4$ 值为 -74.3‰ ~ -46.2‰ PDB，大多小于 -55‰。钻探岩芯如 SH2 站 位 沉 积 物 中，甲 烷 含 量 为 96.10~99.82%，而甲烷和丙烷的含量非常低，在 195mbsf 以上，C1/C2 大于 1205。根据

Bernard et al. (1978) 研究, 微生物成因甲烷一般来说具有较低的 $^{13}\text{CCH}_4$ 值, 为 $-90\% \sim -55\%$ PDB, C1/C2 大于 1000, 而热解成因甲烷的 $^{13}\text{CCH}_4$ 值一般大于 -55% PDB, C1/C2 小于 100。这进一步说明神狐海域形成天然气水合物的甲烷气体主来源生物成因气, 但也混有部分深部热解气。因此, 以浅部生物成因甲烷为主, 深部热解成因甲烷为辅的烃类气体及其供应量构成了神狐海域水合物烃类生成体系。

研究区存在晚中新世活动的 NW 向和上新世以来活动的 NNE 向的断层组合。NW 向断层为深部流体向高位运移提供了通道, 气体(流体)沿断层和不整合面由下部气源高压区向上部低压区侧向运移或垂向与侧向联合运移而形成上升流, 且浅部分布着的广泛、数量众多的 NE 向小断层又成为流体继续向上运移的主要通道。研究区底辟构造广泛发育, 产生的气体渗漏作用十分强烈。大规模地震反射模糊区(带)的出现, 表明区内曾经发生过强烈泄压作用。泄压作用必然伴随流体运移, 流体在上部沉积层中聚集, 然后通过浅部断裂系统或以渗流的形式运移至水合物稳定域内, 形成水合物。事实上, 上新世以来活动的断层与底辟构造具有密切的关系。大量地震资料显示, 底辟构造从新近纪早期开始, 至今仍处于活动状态。并且底辟构造的发育在不同深度形成了上覆拱张背斜, 随着底辟拱张, 上覆地层产生了高角度的断裂和垂向裂隙系统。因此, 神狐海域广泛发育的底辟构造、高角度的断裂和垂向裂隙系统, 构成流体运移的主要通道, 也就成为天然气水合物成藏的主要流体运移体系。

要形成天然气水合物藏还受到天然气水合物稳定带本身特性的制约。除温压条件外, 构造条件和岩性特征是控制天然气水合物形成分布的两种主要因素。神狐海域构造上位于珠江口盆地珠二坳陷白云凹陷, 新生代沉积厚度达 1000—7000 m, 沉积速率大, 有机碳含量 0.46—1.9%。中中新世以来, 研究区整体进入构造沉降阶段, 沉积了以海相沉积为主导的区域性沉积层, 形成了良好的天然气水合物成藏地质条件。神狐海域含水合物

的沉积物岩性主要为有孔虫泥质粉砂, 有孔虫含量非常高, 分析推测有孔虫壳体可能在天然气水合物赋存就位中起到了重要作用, 为水合物成藏提供了良好的孔隙空间。现场温度测井和原位温度测量表明, 取到水合物样品的三个站位 SH2、SH3 和 SH7 的地温梯度分别为 $43^\circ\text{C}/\text{km}$ 、 $46^\circ\text{C}/\text{km}$ 和 $49.6^\circ\text{C}/\text{km}$, 而没有取到水合物样品的二个站位 SH1 和 SH5 的地温梯度分别为 $45^\circ\text{C}/\text{km}$ 和 $67.7^\circ\text{C}/\text{km}$ 。SH5 站位的地温梯度显然过高, 对天然气水合物稳定带特性具有重要影响, 而 SH1 站位位于水合物分布区的边缘, 刚好具有断裂经过该站位, 一定程度上对甲烷流体的扩散作用具有破坏作用。由此可见, 构造和岩性是天然气水合物产出的两个最主要影响因素, 它们和天然气水合物形成的基本温压条件共同构成了神狐海域天然气水合物成藏系统的成藏就位体系。

S8-O-6

南海神狐海域及祁连山冻土区天然气水合物样品基本特征

刘昌岭^{1,2*}, 业渝光^{1,2}, 孟庆国², 贺行良²

1 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室

2 青岛海洋地质研究所

*qqliuchangling@163.com

天然气水合物是在低温高压条件下由水和天然气形成的笼型化合物, 它广泛分布于大陆边缘海底和冻土带沉积物中, 是一种新型的潜在能源。我国十分重视天然气水合物的调查与研究, 自 1999 年起先后启动和部署了海域天然气水合物及陆域永久冻土区天然气水合物的资源调查及相关研究工作, 并于 2007 年 5 月在南海神狐海域成功钻获了天然气水合物实物样品。随后, 又在青海省祁连山南缘永久冻土区钻获到天然气水合物实物样品, 这是我国首次在陆域钻获到天然气水合物, 也是世界上首次在中低纬度高山冻土区发现的天然气水合物, 这也使我国同时拥

有了海域与陆域的天然气水合物实物样品。这两种天然气水合物形态不同,各具特色。南海神狐海域钻获了天然气水合物样品,水合物主要以分散或胶结的形式存在于沉积物岩心的孔隙中,肉眼不可见,但放入水中,有大量气泡产生。而祁连山冻土区钻获的天然气水合物样品,水合物主要呈薄层状、团块状,赋存于泥质粉砂岩、细砂岩、泥岩的裂隙面上,这些含水合物的岩心样品现场被迅速放入液氮(-196℃)中保存,并及时地送到了我们水合物实验室进行了分析测试。

本文利用我们水合物实验室先进的实验仪器于设备,对上述两种天然的水合物样品进行分析测试研究,以揭示其结构类型、含气量以及其气体组分等基本特征。

采用激光拉曼光谱仪对这两种天然气水合物样品进行了详细的研究,探讨了其笼型结构特征,结果表明,南海神狐海域天然气水合物样品是典型的 I 型结构(sI)水合物,大笼甲烷占有率大于 99%,小笼占有率为 86%,水合指数为 5.99。而祁连山冻土区天然气水合物气体组分相对复杂,其拉曼谱图也十分复杂,结合文献资料初步判断其为 II 型结构(sII)水合物,小、大笼甲烷占有率的比值($\theta S/\theta L$)为 26.38,远远大于神狐海域水合物的 0.87,这主要是由于祁连山水合物气体组分中的大分子,如乙烷、丙烷及丁烷等优先占据水合物的大笼,大大减少了大笼中甲烷的量,而小笼中甲烷占有率则基本没变,从而使两者的比率大大增加。。

对两种水合物进行了真空条件下的分解动力学研究,结果表明,分解压力增长速率呈现“快—慢—快”的特点,水合物“自保护效应”明显。

两种水合物分解后的气体经气相色谱初步分析,结果表明:南海神狐海域天然气水合物的客体组分主要是甲烷,占 99%以上;而祁连山冻土区天然气水合物甲烷~70%,乙烷~11%,丙烷~14%,丁烷~4%,还有少量的戊烷及二氧化碳等,这说明,祁连山冻土区水合物气体组成十分复杂,与以往发现的天然气水合物有很大的不同。

S8-O-7

海洋天然气水合物地质系统沉积物中自生矿物及其“将今论古”应用

王家生^{1*}, 谢蕾^{1,2}, 李清², 徐怀宁², 胡军^{1,2}, 陈洪仁^{1,2}, 王舟^{1,2}

1 生物地质与环境地质教育部重点实验室

2 中国地质大学(武汉)地球科学学院

*js-wang@cug.edu.cn

海洋天然气水合物地质系统是一个动态稳定的地质系统,随着沉积作用的进行和环境条件的改变(例如,全球温度和海平面变化、构造事件和岩浆作用等),天然气水合物会发生失稳和甲烷异常渗漏,促使沉积物中形成一些特征性自生矿物。常见的自生矿物类型主要有碳酸盐类矿物(文石、方解石、白云石)、硫酸盐类矿物(重晶石、石膏)和硫化物类矿物(黄铁矿)等,其形成与甲烷厌氧氧化作用(AOM)有关。在甲烷厌氧氧化菌和硫酸盐还原菌的作用下,水合物地质系统失稳释放的甲烷(CH_4)可与海水或孔隙水中硫酸根离子(SO_4^{2-})发生 AOM 反应,形成重碳酸氢根(HCO_3^-)和硫化氢根(HS^-)等。其中重碳酸氢根可与孔隙水中的钙、镁等离子结合,在局部微地球化学环境下形成碳酸盐类自生矿物;硫化氢根可与铁等金属离子结合形成硫化物类自生矿物;残余的硫酸根离子可与钡、钙等离子结合形成硫酸盐类自生矿物。现代海洋沉积物及其孔隙水成份研究表明,这个 AOM 反应主要发生在沉积物中硫酸盐与甲烷转化带(SMI),其深度从近海底表面至海底下数十米不等,取决于上涌的甲烷能量、下渗的硫酸盐速度和沉积速率等因素。

水合物地质系统沉积物中形成的自生矿物形态多样,通常具有特征性碳、硫等稳定同位素值。文石和方解石通常呈针状、放射状和团块状等产出;重晶石和石膏通常呈花瓣状、纤维状、放射状和团块状等产出;黄铁矿通常呈草莓状、四八面体、立方体和棍

棒状、树枝状及团块状等产出。碳酸盐类矿物中碳离子继承了甲烷的碳同位素特征，通常表现出强烈的碳同位素负值（ $\delta^{13}\text{C}$ 40‰ CDT）。在海洋沉积物的早期成岩阶段，这种 AOM 反应和碳、硫稳定同位素的分馏作用可在局部微地球化学环境下反复发生，使得自生矿物记录的同位素分馏现象更加明显。大规模的海底甲烷释放可消耗掉海水或孔隙水中大量的硫酸根离子和海水中的游离氧气，导致海水分层、酸化和缺氧。

根据“将今论古”原理，地史时期的古海洋中也应存在天然气水合物地质系统，环境条件的突变可促使水合物失稳释放出异常数量的甲烷，自生矿物是记录地史时期古水合物地质系统演化的重要载体。研究表明，在第四纪晚期、古新世与始新世之交、早白垩世、早侏罗世、二叠纪与三叠纪之交、中一晚泥盆世、奥陶纪和新元古代晚期等时期均记录有大规模的天然气水合物失稳事件，自生矿物及其稳定同位素证据是上述事件发生的重要记录。例如，华南新元古代晚期“雪球地球”（南沱组冰碛层）结束后的“盖帽”碳酸盐岩（陡山沱组底部），保存了古甲烷水合物失稳的重要证据。“盖帽”内普遍发育帐篷构造、平顶晶洞、层间裂隙和草莓状黄铁矿、重晶石等类似于现代海洋冷泉喷口的沉积构造和自生矿物。

S8-O-8

南海北部陆坡晚更新世以来冷泉双壳群落

苏新^{1*}，陈芳²，吴能有³，韩喜球⁴

1 中国地质大学（北京）

2 广州海洋地质调查局

3 中国科学院广州再生能源研究所

4 国家海洋局杭州海洋二所

*xsu@cugb.edu.cn

本研究借助 2004 年中德合作“太阳号”177 航次在南海北部天然气水合物调查区首次获得的大量冷泉双壳等样品和资料，进

行深入的冷泉双壳群落的分类学、生态学和埋藏学等基础性研究和探索。成果如下所列：

（1）开展了南海北坡九龙甲烷礁区和海洋四号地区海洋冷泉双壳类系统分类学工作，识别出 5 个科 17 个属的 19 个种，并进行了系统分类和描述。其中，至少可能有 10 个种为研究区独有类别或可能的新类型。

（2）识别出了 3 个不同时代和具有不同特征的冷泉双壳类群落，从老到新依次为：九龙甲烷礁晚更新世 *Akebiconcha kawamurai* 群落（12-16 kyr），九龙甲烷礁晚更新世—全新世早期（？）*Phreagena?* sp. 群落，海洋四号地区全新世（近代）*Vesicomidae* 分子占优势的群落（ $1640 \pm 120\text{BP}$ ）。据国外文献报道，这 3 个群落的优势分子是世界许多海域现代和古代的典型冷泉分子。

（3）这 3 个群落代表性属种壳体的主要矿物成分是文石。利用双壳壳体氧同位素分析恢复海底古水温的尝试结果表明，晚更新世“九龙甲烷礁区”的双壳生活时周围海底海水的温度平均约为 9.4°C ，与国外有关文献推算的囊螂科双壳生活时周围海水平均温度接近；而“海洋四号”地区样品的氧温度计公式还有待于进一步探索。

（4）展开了与冷泉双壳共保存的自生碳酸盐岩矿物学和地球化学、冷泉沉积物沉积学、和沉积物中微生物丰度和甲烷浓度变化的研究，这些分析对理解和解释南海北部陆坡不同时代冷泉双壳生物的生活环境提供了有关流体活动、营养方式以及冰期和间冰期交替变化的影响等多方面的佐证。

（5）研究区所发现的 *Vesicomidae*，*Mytilidae*，*Solemyidae*，*Thysiridae* 以及 *Lucinidae* 科均具有在冷泉生态环境下进行化学自养细菌生存的类型；另外，也存在既可在热泉也可以在冷泉生活的类别，为了解研究区冷泉双壳类的生态提供了丰富的认识。

（6）展开了与国外几个著名冷泉区现代和古代双壳群落组成特征的比较，发现研究区冷泉双壳类的分异度或多样性明显较大，指示了南海北部陆坡冷泉双壳群落结构的特殊性，推测其受到南海北部构造、流体、沉

积环境等条件的综合控制,同时也揭示了研究区冷泉双壳类生态控制因素的复杂性。

7)对研究区3个双壳群落生活环境的综合分析表明,九龙甲烷礁晚更新世 *Akebiconcha kawamurai* 群落(12-16 kyr)中的多数类别壳体最厚且壳体最大,分布面积大,与大面积自生碳酸盐礁共生,推测与南海末次冰盛期海平面下降(约120 m)导致的大量天然气水合物分解导致大量甲烷喷溢有关。相比之下,九龙甲烷礁晚更新世—全新世早期(?) *Phreagena?* sp. 群落壳体稍薄且壳体较小,可能受到该区由末次冰期向冰后期过渡时期,海平面逐渐上升,导致甲烷喷溢减弱,冷泉流体活动衰减的影响。海洋四号地区全新世(近代) *Vesicomidae* 分子占优势的群落(1640±120BP),各属种的壳体薄且小,在海底呈小面积斑状分布。

S8-P-1S

冷泉碳酸盐岩形成的氧化还原条件的变化:来自稀土元素的证据

卞友艳^{1,2}, 黄花谷^{1,2}, 冯东¹, 陈多福^{1*}

1 中国科学院广州地球化学研究所边缘海地质重点实验室

2 中国科学院研究生院

*cdf@gig.ac.cn

在海底冷泉活动区渗漏甲烷被细菌氧化形成冷泉碳酸盐岩。甲烷氧化使得沉积物孔隙水里的硫酸根离子消耗,从而改变了沉积的氧化还原环境。本文分析了墨西哥湾和刚古扇的现代冷泉碳酸盐岩、Hollard Mound(中泥盆世)和 Marmorito(中新世)的古冷泉碳酸盐岩的泥微晶和亮晶碳酸盐矿物的稀土元素,研究发现冷泉碳酸盐岩的稀土元素总量变化范围大(REE: 0.33—43.66 ppm),泥微晶部分的稀土元素总量最高,其次是稍晚形成的胶结物,而底栖生物壳含量最低,表明稀土元素含量的变化可能受成岩作用的影响。冷泉碳酸盐岩的稀土元素页岩标准化

配分模式具有不同的 Ce 异常,即使在同一地点采取的样品也表现出不同的 Ce 异常特征,这说明冷泉碳酸盐岩五项形成的氧化还原条件是多变的。总之研究结果表明了在海底冷泉环境中,除了一般认识到的存在缺氧环境外,也存在氧化环境,至少也有短暂性氧化环境的出现,可能与流体流动的突然(急剧)变化有关。

S8-P-2S

海底冷泉渗漏区流体通量与水合物成藏关系

曹运诚^{1,2}, 苏正³, 陈多福^{1*}

1 中国科学院广州地球化学研究所边缘海地质重点实验室

2 中国科学院研究生院

3 中国科学院广州能源研究所

*cdf@gig.ac.cn

海底冷泉活动区天然气从深部油气藏或储层以游离态形式沿断层等通道向海底渗漏,在水合物稳定带内的天然气以游离态气泡形式迁移,部分沉淀为水合物,部分被冷泉微生物氧化转变为自生碳酸盐岩沉淀,而剩余部分天然气渗漏喷溢进入上覆水体。天然气向海底渗漏不仅供给了水合物形成所必需的天然气,同时孔隙水的对流活动可使地层温度升高,并可以减弱天然气生成水合物引起的排盐效应。由于温度和盐度是控制天然气水合物形成的热力学因素,因此流体流量将影响体系的温度和盐度,从而影响天然气水合物的成藏。

水合物脊南部高地海底正在发生天然气的渗漏活动,地震资料显示水合物稳定带底界120 m,天然气从150 mbsf向海底渗漏。本文以水合物脊南部高地的温度、盐度等为模拟参数,结合海底流体流量观测数据,根据天然气(Q_g)和孔隙水(Q_w)进入水合物稳定带内的通量不同,探讨水合物可能的成藏特征。

1)进入水合物稳定带内的天然气和孔隙水缓慢渗漏 ($Q_g = 6 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$, $Q_w = 0 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$), 天然气水合物将快速生成, 水合物成藏体系的盐度和温度上升显著, 其中温度最大可增加 2.5°C , 水合物稳定带底界逐渐上升, 并稳定在 90 mbsf。天然气在海底的渗漏通量为 $0.3\text{--}4 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$, 经历约 500 年可沉淀水合物 104 kg/m^2 。

2)进入水合物稳定带内孔隙水缓慢对流 ($Q_w = 0 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$), 而天然气快速渗漏 ($Q_g = 500 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$), 由于天然气携带底部热量, 温度上升最大可达 3.0°C , 水合物稳定带底界逐渐上升, 并稳定在 40 mbsf, 海底表面天然气通量约为 $493\text{--}499 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$, 孔隙水基本为 0。500 年只能沉淀 7000 kg/m^2 水合物。

3)进入水合物稳定带内天然气缓慢对流 ($Q_g = 6 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$), 而孔隙水快速对流 ($Q_w = 500 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$), 温度上升最高可达 4°C , 盐度基本保持接近海水盐度, 水合物稳定带底界逐渐上升, 并稳定在约 20 mbsf。天然气在海底的渗漏通量为约 $0.3\text{--}5 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$, 孔隙水约为 $500 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$ 。500 年可沉淀 5300 kg/m^2 水合物。

4)进入水合物稳定带内天然气和孔隙水均为快速渗漏 ($Q_g = 500 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$, $Q_w = 500 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$), 温度上升更显著, 最大可增加 4.5°C , 盐度基本保持为海水盐度值, 水合物稳定带底界逐渐上升到 15 mbsf, 并保持稳定。海底的天然气渗漏通量约 $493\text{--}499 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$, 海底孔隙水的渗漏通量约 $500 \text{ kg/m}^2\text{-yr}$ 。经历 500 年可生成 4000 kg/m^2 水合物。

模拟结果表明在天然气流量一定时, 孔隙水流量越大, 温度上升越大, 尽管同时也抑制了排盐效应, 然而总体表现水合物成藏资源量降低。同时在孔隙水流量一定时, 游离天然气流量越大, 从底部携带底部热量越大, 地层温度升高越显著, 对水合物的生成起抑制作用。因而在冷泉渗漏区, 海底流体通量比较低的区域, 水合物往往生成更快, 水合物厚度也大, 形成的水合物资源量大。

S8-P-3

海底可燃冰及海底油气资源的非生物成因、来源与储量

陈志耕*, 牛树银, 孙爱群, 王立武

河北地质学院, 石家庄 050031

*chenzg2006@163.com

油气与可燃冰(天然气水合物)的成因研究是能否找到油气与可燃冰等能源资源的关键。最近十多年来, 油气资源非生物成因理论的证据越来越多。研究表明: ①烃类是太阳系的主要含碳分子, 在行星形成阶段, 地球从原始太阳星云获得大量原始烃类物质; ②碳质球粒陨石是太阳系最原始的天体物质, 在地球的吸积阶段, 地幔获得的碳质球粒陨石物质可达 40%; ③由于地球的特殊条件, 这部分烃类物质赋存在地球内部; ④采用无机合成的方式已经在实验室生成了石油的碳氢化合物; ⑤已经找到了非生物成因的石油和天然气; ⑥地球深部高压条件不仅有抑制烃类热分解的作用, 而且还促进烃类的环化作用、聚合作用等; ⑦地球化学证据表明, 地幔中大量烃类气体沿深大断裂运移至地壳上部; ⑧在地壳上部和上地幔, 高压和低氧逸度都能使 CH_4 趋于稳定; ⑨烃类沿地壳薄弱带向上运移, 在适合成藏的条件下, 形成具有工业价值的油气藏。

1. 非生物成因烃类与岩浆、火山活动以及与洋中脊的联系

Gold (1980) 在瑞典一个花岗岩体的陨石坑钻探至 3 km 以下发现了烃类(甲烷等)气囊。王先彬等(1982)和郭占谦等(1994, 2001), 对松辽盆地天然气碳同位素研究表明, 近 20 口井天然气显示非生物成因甲烷碳同位素组 $\delta^{13}\text{C}_1 > \delta^{13}\text{C}_2 > \delta^{13}\text{C}_3$ 反序排列。王先彬等还在大陆板块边界火山温泉气中获得地球原始甲烷的值为 $-16.6\text{--}-22.4\%$, 并指出原始甲烷与区域火山活动、岩浆活动相关。Craig 等人在大洋中脊热流体中发现了非生物成因的地球原始甲烷, 其特征的值为 $-15\text{--}-18\%$, 同时伴有来自地幔的 He 组分。张景廉等(1999)用等离子质谱方法分析了辽河断陷 6 个原油的微量元素含量, 发现了反映源区

为亏损型地幔特征的 V/Ni 比值 0.02~0.04, 海 13~39 原油样品的稀土配分曲线呈水平分布, 同样具洋中脊玄武岩的特征。

2. 海底可燃冰及油气资源的成因及烃类物质来源

根据烃类物质的非生物成因证据和地球原始甲烷与地幔物质、火山活动、岩浆活动的相关性证据, 依据海底可燃冰广泛分布、总量巨大等事实, 本文认为: 海底可燃冰及油气是大洋中脊裂谷系统的深部物质在上涌过程中的带出物质之一; 由类似于碳质球粒陨石物质形成的地幔上部物质中所含的烃类物质, 是海底可燃冰的根本来源; 岩石圈内以拉张为主的深大断裂—大洋中脊裂谷系统、海陆板块接触部位等深断裂, 是深部非生物成因的烃类物质, 向上运移至海底的主要通道; 地幔物质沿洋中脊的上涌, 是深部烃类物质经洋脊裂谷通道进入海底的上移动力; 洋中脊扩张是深部运移到海底的烃类物质, 向适宜环境运移、积聚的平移动力; 与洋中脊联通的海底平移断层等断裂, 是烃类物质运移的通道; 温度、压力、稳定性适宜的大洋盆地、大陆边缘盆地等, 是经海底扩张、断裂等形式平移并积聚深部烃类物质形成可燃冰和油气藏的场所。

3. 海底可燃冰及油气资源的储量估算

澳大利亚 Murchison 碳质球粒陨石中, 可溶性有机质烷烃和芳香烃的含量可达 27~63 ppm, 我国吉林陨石中含有烷烃、芳香烃等类石油成分的全部有机化合物, 吉林 IV 号陨石正构烷烃占总烷烃的 0.6%, 折算总烃约为 60~70 mg/g (张恺, 1997)。

据上述资料, 若以有地震层析成像探测证据支持的洋脊、热点之下深 150 km 的最热层位以上的地幔上层物质的质量和地球吸积阶段地幔物质中碳质球粒陨石物质占 40% 的比例, 按照代表上地幔成分的吉林陨石中的 60~70 mg/g 总烃含量计算, 在深度为 150 km 以浅的地幔上层物质中, 非生物成因的烃类物质总量约为 5.88×10^{13} 亿吨。

参照地表生物成因的油气资源量约占生物成因有机质总量的万分之一 (B.Durand, 1980) 的比例计算, 地幔上层物质中宇宙成

因的烃类物质总量, 全部形成海底可燃冰和海底油气资源的总量约为 5.88×10^9 亿吨。

S8-P-4S

海底冷泉渗漏区沉积物孔隙水 S、Ca 浓度特征变化及控制因素

邸鹏飞^{1,3}, 黄华谷^{1,3}, 冯东¹, 陈多福^{1,2*}

1 广州地球化学研究所

2 中国科学院广州天然气水合物研究中心

3 中国科学院 研究生院

*cdf@gig.ac.cn

全球大陆边缘海底广泛发生着以甲烷气体为主的冷泉流体渗漏活动, 每年释放 0.4 - 12.2 Tg 甲烷等烃类气体, 是重要的大气甲烷自然源之一。冷泉渗漏的甲烷气体在沿着裂隙或断层向海底渗漏过程中, 其中多达 85% 的甲烷在穿过沉积物中被海底微生物所消耗, 同时也改变沉积孔隙流体中离子的浓度, 如 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 。

本文通过对 Tryon 等 (2001; 2004) 和 Torres 等 (2002) 在墨西哥湾布什山和卡斯卡迪亚水合物脊的冷泉渗漏区原位冷泉流体流量和流体化学组成在线测量结果的分析, 探讨海底冷泉渗漏系统流体活动特征、流体中总 S 和总 Ca 浓度变化的可能控制因素。水合物区海底冷泉渗漏活动存在以下几种情况: 1) 孔隙流体总 S 和总 Ca 浓度比正常海水值低, 约是海水浓度的 50—70%; 2) 流体中总 S 和总 Ca 浓度随时间基本呈同步变化, 孔隙流体总 S 和总 Ca 浓度降低和升高分别对应于流体流动频率变化快与慢; 3) 渗漏区存在周期性向下扩散的下降流表明渗漏孔隙流体是向上的流体与向下扩散到浅部沉积物中海水的混合物。

造成孔隙流体总 S 和总 Ca 浓度变化的原因主要有: 1) 向上渗漏的 CH_4 在甲烷氧化古细菌和硫酸盐还原细菌氧化为 HCO_3^- , 与 Ca^{2+} 结合沉淀为冷泉碳酸盐岩, 同时孔隙水中的 SO_4^{2-} 被还原为 HS^- , 与 Fe^{2+} 结合形成

黄铁矿,从而导致渗漏流体总 S 和总 Ca 浓度的降低;2) 水合物分解形成甲烷气体和纯水,沿着裂隙向上渗漏,混合并稀释了沉积物中的孔隙水,从而降低了沉积孔隙水流体总 S 和总 Ca 浓度;3) 深部沉积物中粘土矿物发生去水反应,释放出流体沿着海底断层和裂隙向上渗漏,与向下扩散的海水混合并稀释沉积孔隙水 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 浓度;4) 油气藏超压推动油气藏中的水沿着不同于原油、烃类气体的运移通道向上运移,且原油和烃类气体向上运移后会使得油气藏中压力降低,空间增大,沿水流通道引起海水回流,从而影响渗漏流体的总 S 和总 Ca 浓度。

因此,海底冷泉活动区发育的甲烷微生物缺氧氧化作用在全球碳循环及甲烷循环中扮演着重要角色,部分渗漏甲烷在海底沉积层缺氧带被微生物氧化转变为碳酸盐岩。冷泉活动区海底渗漏流体是向上的流体与向下扩散到浅部沉积物中海水的混合物,流体总 S 和总 Ca 浓度比正常海水值低,并且渗漏流体总 S 和总 Ca 的浓度随时间变化趋势比较一致,均是发生在流体渗漏流量速率高频变化周期内。随时间变化而降低流体总 S 和总 Ca 的浓度主要受甲烷微生物缺氧氧化所控制,但海底的其他流体来源如水合物分解、粘土矿物去水作用和深部油气藏破坏等也可能通过稀释孔隙水中 S、Ca 的浓度来降低流体总 S 和总 Ca 浓度。

S8-P-5S

含水合物松散沉积物的声学特性模拟实验研究

胡高伟^{1,2*}, 业渝光¹, 张剑¹, 刁少波¹, 刘昌岭¹, 王家生²

1 青岛海洋地质研究所

2 中国地质大学 地球科学学院

*hgw-623@163.com

地球物理勘探仍是水合物勘探和资源评价的重要手段。了解水合物饱和度与弹性波速度之间的关系,是利用地震波参数准确预

测水合物资源量的基础。本文模拟海底真实的温度、压力条件,在粒径为 0.09~0.125 mm 的天然砂中进行了甲烷水合物的合成和分解实验。在此过程中,采用新型弯曲元超声技术和时域反射技术(TDR)分别测量了沉积物的声学参数和水合物饱和度。结果表明,利用弯曲元技术可以灵敏探测松散沉积物中甲烷水合物的生成和分解情况,由纵、横波速度测得的水合物生成和分解的时间点与温压法和 TDR 法测量结果一致。

含水合物松散沉积物的声学特性研究表明,随着水合物饱和度的增加, V_p 和 V_s 逐渐增大;然而,在同一饱和度下,水合物生成过程中测得的纵横波速度值高于其分解过程中的测量值。用两过程中获取的纵横波速度的平均值作为实测值与水合物饱和度建立了关系。结果表明,当 Sh 小于 25% 时,纵横波速度增长较快;25%—60% 期间声速增长较为缓慢;随后声速随着水合物饱和度增加又快速增长。这一结果表明,水合物在 0.09~0.125 mm 天然砂中生成时,可能先胶结沉积物颗粒,随后与沉积物颗粒呈接触关系或继续胶结沉积物颗粒生成。

S8-P-6S

海洋天然气水合物赋存区自生石膏成因及意义

刘晨晖^{1*}, 蒋少涌¹, 苏新², 黄奇瑜³

1 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 210093

2 中国地质大学(北京)海洋学院,北京 100083

3 台湾成功大学地球科学系,台南 701

*cliu8304@gmail.com

自生石膏作为一种指相矿物,通常作为蒸发作用的标志性矿物出现(Reading, 1996, p295)。到目前为止,只有为数不多的关于深水海洋沉积物中自生石膏的报道(Arrhenius, 1963; Criddle, 1974; Siesser and Rogers, 1976; Briskin and Schreiber, 1978; Xavier and Klemm, 1979; 黄惠玉,王慧中,

1994; 颜文等, 2000; 王家生等, 2003; Sassen et al., 2004; 陈忠等, 2007), 这些自生石膏均形成于沉积环境中钙离子(Ca^{2+})和硫酸根离子(SO_4^{2-})的离子积超过石膏溶度积而产生的自发沉淀作用。但是, 在不同的海洋沉积环境中, 形成自生石膏的 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 的来源各不相同。值得关注的是, 除王家生等(2003)和陈忠等(2007)以外, 上述这些自生石膏的产出都与天然气水合物和/或甲烷无关。

本研究选取东太平洋水合物海岭南部(大洋钻探计划(ODP)第204航次1245和1252站位)和中国南海台西南海域(海研1号(ORI)第860航次14-P、23-P和25-P站位)沉积物中的自生石膏作为研究对象, 结合前人研究成果的基础上, 总结和探讨水合物海岭和中国南海(台西南海域和南沙海槽)自生石膏的成因及其与天然气水合物和/或甲烷之间的关系, 为未来对赋存天然气水合物的特殊海洋沉积环境演化的研究提供一些参考和依据。

X射线粉晶衍射(XRD)和能谱(EDS)分析结果均为石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。在扫描电子显微镜(SEM)下, 这些石膏均具有片、层状生长结构, 但组成的集合体形态复杂多样。在水合物海岭, 岩芯中自生石膏集合体形态主要为片状和玫瑰花瓣状, 自形程度较低, 并出现包裹自生黄铁矿莓球的现象; 台西南海域表层沉积物中自生石膏则主要以片状的透石膏产出, 自形程度较高。然而, 南沙海槽表层沉积物中的自生石膏集合体形态不同于台西南海域(cf.陈忠等, 2007), 而与水合物海岭的自生石膏集合体形态相似(cf.王家生等, 2003; 本研究)。

这些自生石膏均产出于天然气水合物赋存区和/或甲烷渗漏区, 但是其形成机制却大相径庭。中国南海的自生石膏样品均来自沉积物表层, 明显位于硫酸盐-甲烷分界面(SMI)之上。甲烷厌氧氧化作用(AMO: $\text{SO}_4^{2-} + \text{CH}_4 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{HS}^- + \text{H}_2\text{O}$; Borowski et al., 2000; Borowski, 2006)会在SMI附近产生石膏形成所需的碱性环境(Krumbein and Garrels, 1952)。其中, 自生石膏形成所

需的硫来源于海水向沉积物中扩散的 SO_4^{2-} , 钙来源于沉积物中钙质生物壳体等碳酸盐溶解释放的 Ca^{2+} 。在局部微环境下, AMO产物硫化氢与活性铁结合产生的 H^+ 将导致碳酸盐发生溶解(陈忠等, 2007)。另外, 在冷泉沉积物表层, 还原性烃类、硫化氢和有机质的需氧氧化同样会导致局部微环境pH的降低(Cai et al., 2006)。水合物海岭的表层沉积物中自生石膏含量很低, 可能与中国南海的自生石膏成因相似(cf.王家生等, 2003)。但是, 在深部沉积物中, 自生石膏在各层位分布不均匀, 最高含量可达0.13% S dry wt. 不同于南沙海槽(cf.陈忠等, 2007), 这些自生石膏与同层位的自生黄铁矿有近似的稳定硫同位素组成, 表明这些自生石膏可能原位形成于沉积物深部, 该过程包括: (1)局部微环境下细菌参与的自生黄铁矿厌氧氧化作用($\text{FeS}_2 + 14\text{Fe}^{3+} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 15\text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$; Bottrell et al., 2000)产生的 H^+ 促进碳酸盐溶解并释放出 Ca^{2+} ; (2)天然气水合物稳定带(GHSZ)内具备自生石膏形成所需的碱性环境(Rodriguez et al., 2000; Shipboard Scientific Party, 2003a,b); (3)天然气水合物的结晶过程导致局部微环境中的 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 发生浓缩(Ussler III and Paull, 1995, 2001)并达到石膏的溶度积。

因此, 在天然气水合物赋存区的沉积物表层, 自生石膏的出现与甲烷渗漏过程有关, 可以作为寻找潜在天然气水合物的矿物识别标志。与此同时, 自生石膏在沉积物深部某层位的大量产出可以作为天然气水合物在该层位的结晶记录, 在一定意义上指示沉积物深部天然气水合物的赋存历史。

S8-P-7

浅表层天然气水合物基本特征与水合物的上界面

栾锡武*

中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室

*xluan@ms.qdio.ac.cn

自从上世纪 60 年代前苏联科学家在西伯利亚梅索亚哈气田发现了天然状态存在的水合物以后, 世界各国已陆续在海域活动大陆边缘和被动大陆边缘、陆域的永冻土带等获得了天然气水合物样品, 并估计天然气水合物在地球上的储量相当巨大。随着世界经济的持续发展, 各国对石油的需求越来越大, 油气供应持续紧张, 天然气水合物因其广泛的分布和丰富的甲烷储量而倍受重视, 并将其列为未来油气替代资源进行前期的研究与勘探。

实验室合成实验表明, 天然气水合物的形成需满足低温、高压的外部条件。由于温度、压力条件的限制, 在自然界中水合物只存在于一个由温度、压力条件构成的水合物稳定带内。在海洋环境中, 随着海水深度的增大, 温度降低、压力升高。当到达一定深度时, 温度、压力满足水合物的形成条件, 开始进入水合物的稳定带内。通常, 水合物稳定带的上界面位于海水层中。海底以下, 随着深度增大, 压力增大、温度升高。当到达一定深度时, 温度、压力不再满足水合物的稳定赋存条件, 从而越过水合物稳定带的下界面。在这个界面以下, 天然气不再以固体水合物的形式存在, 而是以气体的形式存在, 从而在界面上下形成较大的波阻抗。固体和气体之间较大的波阻抗在地震剖面上表现为明显的似海底反射 (BSR)。目前, BSR 已被公认为水合物稳定带的下界面, 同时 BSR 也和水合物矿带的下界面相吻合。由于水合物稳定带的上界面通常位于海水层中, 一般地, 人们会把海底默认为水合物矿带的上界面。

本文定义了海域天然气水合物成矿带的上界面。指出, 在地球深部存在最原始的、从根本上不依靠光合作用来生存的生命系统。根据对 ODP 岩芯样品中微生物数量的统计, 海底以下沉积层中的生物数量可能占据全球原核生物总量的 70%, 其生物总碳量和地球表面所有植物的碳总量相当。地球内部如此巨大的生物总量应该在地壳中的气体分布等方面起着重要作用。甲烷在地壳层中广泛存在, 并主要是微生物成因的。微生物产

甲烷的途径主要有两个, 一是二氧化碳还原, 另一个是醋酸盐发酵。相应地, 参与产甲烷的微生物菌群主要由产甲烷菌和食醋酸盐菌。甲烷在沉积层中的厌氧氧化是一个不争的事实。该过程发生在海底以下一个非常局限的区带, 称为硫酸盐还原—甲烷厌氧氧化区带。通常, 这个区带很窄, 仅为一个面, 所以, 硫酸盐还原—甲烷厌氧氧化区带又称硫酸盐还原—甲烷厌氧氧化界面。这是一个基本的生物地球化学界面。在功能上它起到屏蔽甲烷向海底和大气逸散的作用, 是一个巨大的甲烷汇。甲烷的厌氧氧化同样是一个由微生物介导的过程, 参与此过程的微生物主要是食甲烷古菌和硫酸盐还原菌。硫酸盐还原—甲烷厌氧氧化界面在海洋沉积层中一般深可达海底以下上百米, 浅可至海底。此界面为天然气水合物的上界面, 该界面以上没有甲烷水合物存在。

S8-P-9S

微生物在天然气水合物形成和分解过程中的作用

杨阳¹, 吕晓霞^{1, 2*}

1 中国地质大学 (武汉)

2 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室

*luxiaox@163.com

随着全球资源需求的增加和气候的日益恶劣, 天然气水合物作为一种未来新型清洁能源在国际上备受关注。其对全球气候变化和碳循环的潜在影响, 使得其形成和分解的过程越来越受关注。目前在世界海域发现的天然气水合物绝大多数为有机成因 (包括微生物成因、热成因以及二者的混合成因), 其中微生物成因又占绝大多数。生物成因的气水合物通常以甲烷气 (CH_4) 为主 (> 99%), 约 90% 的海洋甲烷循环过程发生在深海沉积物中, 微生物在深海甲烷的形成与消耗过程中起着非常重要的作用。

甲烷的产生是甲烷产生菌（主要为产甲烷古菌）将 CO_2 等无机碳转换为有机碳，其作用于厌氧微生物分解有机质的最后环节，依赖于其他微生物将复杂的沉积有机质转变为简单化合物，也有少数甲烷菌通过醋酸根发酵产甲烷，然后在适合的温压下形成天然气水合物。且深海沉积物中还存在大量的其它微生物，通过这些微生物活动可以产生阴离子表面活性剂来促进天然气水合物的形成。

分布在大陆坡深海区的天然气水合物，一旦海底升温或者降压它就会释放出大量甲烷，甲烷营养菌的活动是消耗这些甲烷的主要途径。甲烷厌氧氧化古细菌氧化甲烷： $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$ ，产生的 H_2 又进一步被硫酸盐还原菌所利用生成 HS^- 和 H_2O ： $\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{HS}^- + 4\text{H}_2\text{O}$ ，这些生物化学反应为化能自养生物提供了碳源和能量。伴随着以上反应，沉积环境的碱度增加，反应所产生的 CO_2 和 HS^- 与孔隙水中的 Ca^{2+} 和 Fe^{2+} 结合形成自生碳酸盐岩。

S8-P-10

沉积物中纯扩散型水合物生成过程研究

臧小亚^{1,2,3}，梁德青^{1,3*}，吴能友^{1,3}

1 中国科学院广州能源研究所

2 中国科学院研究生院

3 中科院可再生能源与天然气水合物重点实验室

*liangdq@ms.giec.ac.cn

天然气水合物是一种海洋中开发潜力极大的新型能源矿产。它是由水分子和碳氢气体分子（如 CH_4 等）组成的结晶状固态简单化合物。世界各大洋中天然气水合物的总量相当于全世界已知煤炭、石油和天然气等能源总储量的两倍。我国南海北部陆坡是水合物的良好发育场所，对南海水合物的开发与利用关系到我国未来的能源局势，对国计民生有举足轻重的作用。

本实验主要是在自制实验装置上进行，装置主要由管路、气瓶、增压装置、真空泵、恒温水浴和反应釜组成。反应釜为自制不锈钢反应釜，体积 330 ml。实验采用甲烷和混合气体作为气源，研究不同的温度和压力条件下，纯扩散型水合物在不同粒径沉积物中的生成过程。实验过程是首先将南海北部陆坡钻探所得沉积物烘干，进行人工筛分，得到粒径分布介于 40 目到 60 目和 60 目到 100 目之间的沉积物，测定孔隙率；然后配置盐度为 3.4% 的盐水，取一定量的沉积物和盐水，使盐水均匀分布于沉积物孔隙内；最后往反应系统内注入气体，保持一定的温压条件，观测扩散型水合物的生成过程。

实验结果表明，（1）气体组分的不同对水合物生成过程有很大的影响。在沉积物+盐水体系里，混合气生成水合物的诱导时间非常短，反应体系达到水合物生成条件时，沉积物内便开始有水合物生成，而且初始阶段的水合物生成速率比较大，随着反应的进行水合物生成速率逐渐趋于平稳。甲烷气体生成水合物则相对比较困难，需要一定的诱导时间。（2）不同的温度和压力条件对扩散型水合物的饱和度都有一定的影响。实验中，压力为 5 MPa 和 6.5 MPa 时，各种温度下生成的扩散型水合物的饱和度都要比 7.5 MPa 时生成的水合物饱和度大。同一压力条件下，温度的不同也能影响水合物的饱和度。在本实验中，初始压力为 5 MPa 时，2℃、4℃和 6℃时生成水合物的饱和度分别为 57.34%、45.08%和 52.76%；初始压力为 6.5 MPa 时，2℃、4℃和 6℃时生成水合物的转化率为 57.73%、49.16%和 54.89%；初始压力为 7.5 MPa 时，2℃、4℃和 6℃时生成水合物的转化率分别为 8.54%、45.64%和 23.55%，其中 2℃时水合物生成量大大降低。温度的降低或者压力的增高并非一定能使水合物的饱和度呈线性增加，而是存在一个最佳的温压点使水合物饱和度最高。（3）沉积物粒径对扩散型水合物饱和度的影响不大，40 目-60 目的沉积物中生成的扩散型水合物饱和度与 60 目-100 目的沉积物中扩散型水合物的饱和度相差不多。

S8-P-11

Methane profiles in marine sediments observed in situ differ greatly from recovered cores

Xin Zhang^{1*}, Keith C. Hester², William Ussler², Peter M. Walz², Edward T. Peltzer², William J. Kirkwood², Peter G. Brewer²

¹ Key Lab of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, P R China.

² Monterey Bay Aquarium Research Institute, 7700 Sandholdt Road, Moss Landing, CA 95039, USA
*xzhang@qdio.ac.cn

The flux of methane through continental margin sediments is of importance in marine geochemistry due to its role in massive hydrate formation with enigmatic climate consequences, and for the huge and complex microbial assemblage it supports. Yet the actual dissolved methane concentration driving this flux is poorly known since strong degassing during sample recovery from depth is commonplace so that pore waters from high CH₄ environments typically show values clustered around the one-atmosphere equilibrium value of 1-2 mM, erasing the original pore water profile and frustrating model calculations. Here we show that accurate quantitative measurement of pore water profiles of dissolved CH₄, SO₄, and H₂S can be made rapidly in situ using a Raman-based probe. Results from Hydrate Ridge, Oregon clearly show coherent profiles of all three species in this high flux environment, and while in situ Raman and conventional analyses of SO₄ in recovered cores agree well, very large differences in CH₄ are found. The in situ CH₄ results show up to 35 mM in the upper 30 cm inversely correlated with SO₄. This is

below the methane hydrate saturation value, yet disturbing the sediments clearly released hydrate fragments suggesting that true saturation values may exist only in the hydrate molecular boundary layer, and that lower values may typically characterize the bulk pore fluid of hydrate hosting sediments.

S8-P-12

南海白云凹陷泥火山发育区碳酸盐岩成因——新型冷泉标志?

陈忠*, 颜文, 陈多福

中国科学院边缘海地质重点实验室, 广州 510301
*chzhsouth@scsio.ac.cn

在南海已发现大量天然气水合物存在的地球物理、地球化学证据, 钻取到扩散型天然气水合物实物样品, 然而尚未观测和发现沿断裂带在海底富集、品位更高、更易于勘探和开采的渗漏型天然气水合物。

白云凹陷是我国深海油气和天然气水合物的重点研究区域, 发育大量的海底滑塌沉积构造, 活动断裂、泥底辟/泥火山广泛分布。在白云凹陷的泥火山发育区的 5 个站位 (08CF10、08CF12、08CF14A、08CF14B 和 08E604) 采集到了碳酸盐岩及相关的生物碎块。对采获的碳酸盐岩、双壳类、螃蟹及珊瑚碎屑等进行了微形貌、矿物组成、化学元素、碳氧同位素等测试和分析。结果表明, 碳酸盐岩为生物胶结结构, 含有较多的大型有孔虫, 其形成年龄较老, 双壳类、螃蟹分为成岩型和活体两类, 珊瑚也有死亡和正在发育两种类型。碳酸盐岩, 双壳类、螃蟹以及珊瑚的矿物主要为文石或白云石, 但碳氧同位素组成明显不同。根据成岩顺序、碳氧同位素差异并结合该海域海底富含 CO₂ 气体和存在油气资源等地质资料, 提出碳酸盐岩形成可能是: 由于构造活动或储藏环境变化, 受压力驱动, 海底沉积物中的 CO₂ 和 CH₄ 向上运移至海底, CO₂ 形成碳酸盐岩, 而甲烷

发生厌氧氧化反应, 维系冷泉生态系统, 由于贝壳、螃蟹活动范围广并与海水接触, 它们的碳同位素组成表现出正常海水特征, 而珊瑚虫活动范围有限并可能主要集中在冷泉喷口附近, 表现出与海水相似或较海水负的碳同位素组成。因此, 推测在白云凹陷海区海底下可能存在 CH_4 和 CO_2 冷泉渗漏, 但其气源和机理需要进一步深入研究。

S8-P-13

Fluid flow, methane transport, pore water anomalies and hydrate distribution in massive seafloor hydrate-bearing sediments at Shenhu area, the north slope of South China Sea

Guan Jinan^{1,2*}, Liang Deqing¹, Wu Nengyou¹

1 Guangzhou Institute of Energy Conversion, Key Laboratory of Renewable Energy and Gas Hydrate, CAS

2 CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry

*guanjan@ms.giec.ac.cn

Massive hydrate-bearing coring samples had been collected during GMGS-1(Guangzhou Marine Geological Survey) field drilling expedition at Shenhu Area, the north slope of South China Sea. In this research region the hydrate-bearing sediments ranged from 28-34m just located above the bottom of hydrate stability zone(HSZ). The saturations of methane hydrate(MH) in porous pore generally held 25%(at site SH2, SH3,SH7), and especially occupied 48% of the pore volume at the maxium at site SH2. MH even and decentralized distributed in seafloor fine-grained matrixes. As a result of salts exclusion during MH formation, the associated

pore water showed a highly elevated chloride concentration of 300mM in hydrate distribution zone(HDZ), and the average baseline value was 520-570mM.

MH dissolution denoted the transition from crastallization to precipitation, and associated with some pore water isotope anomalies at site SH2 such as SO_4^{2-} . A flow-transport-reaction model coupled intrinsic kinetic characteristic of MH formation had been build to evolve hydrate congregation and distribution in HDZ of deep HSZ, and invstigated and quantified the processes of anaerobic methane oxdation(AMO) and sulfate-methane interface(SMI) in shollow seafloor HSZ. It showed for continuous supply and deplete methane flux below HSZ could reached $\sim 10^2 \mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ in order to sustain the high MH saturation. But in shollow seafloor sediments it mingt only be $\sim 10^{-2} \mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ to accord with the SMI. It would be inferred that maybe some thermogenic methane from nether sediments had entered the HSZ and taken part in the formation of MH. And part of methane might most likely had been transported by ascending free bubbles rathane than only by dissolved methane in water. Therefore it revealed that maybe in this area the hydrate reserviors had still been in growth.

S8-P-14

冻土带天然气水合物钻井液低温特性与井壁稳定作用机理研究

郝树青^{1,2*}

1 中国矿业大学 资源与地球科学学院

2 中国矿业大学 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室

*jdhsq@163.com

天然气价格的上涨和面临的能源长期供应问题,迫使各国不得不寻求新的能源来缓解危机。天然气水合物是当代地球科学和能源工业发展的一大热点,对其进行研究涉及到新一代能源的探查开发、温室效应、全球碳循环和气候变化、古海洋、海洋地质灾害、天然气运输、油气管道堵塞、船艇能源更新和军事防御等,并有可能对地质学、环境科学和能源工业的发展产生深刻的影响。

天然气水合物是一种储量巨大的新型能源,首先必须通过钻探取样获得实物样品才能进行下一步的开发工作。因此研究适应于低温冻土环境工作的钻井液,研究天然气水合物钻探过程中冻土井壁坍塌机理受钻井液温度影响特性,对于天然气水合物钻采工作推进具有重要的意义。

迄今为止的研究中,已经对天然气水合物低温钻井液做了一些研究,煤油和柴油燃料的钻井液,乙醇水溶液钻井液,卵磷脂试剂在阿拉斯加北极地区东南边缘的永冻土层 K-13 等井的使用中获得了成功。以乙二醇及其衍生物作为抗低温处理剂,以盐类作为防冻剂的水基钻井液,对天然气水合物的抑制性较好。然而从钻井液对天然气水合物钻进过程中对井壁稳定性的分析尚未进行。钻探工作是目前研究天然气水合物的一个重要环节,在国内外都有很大的研究空间,关于钻井液温度对井壁稳定性的作用机理尚未做出研究,而这样的研究对于进一步深入天然气水合物的钻探取心取样,推进水合物大规模钻采工作,具有极其重要的意义。

文章进行了关于天然气水合物钻进井壁失稳与钻井液温度之间关系的讨论。首先从渗流及热化学理论上分析了所选材料对于天然气水合物赋存地层的防塌性及相溶性。利用优化设计方法,对抗低温特性钻井液组分及加量进行优化,分析测试了抗低温能力及流变性、失水性和防塌能力。所取得的研究结果可为冻土带天然气水合物钻采提供理论及技术帮助。

S8-P-15

Numerical Investigation of Gas Production Potential from Shenhu Hydrate Deposits and Assessment on the Production Methods

Zheng Su^{1,2*}, Keni Zhang³, George J. Moridis³, Nengyou Wu^{1,2}

1 Key Laboratory of Renewable Energy and Gas

Hydrate, Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2 Guangzhou Center for Gas Hydrate Research,

Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

3. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA

*suzheng@ms.giec.ac.cn

Gas hydrates are solid crystalline compounds in which gas molecules are absorbed within the water lattices stabilized by the chemical bonds. Natural gas hydrates have been found widely around the world from the sediment buried below seafloor where the temperature and pressure meet the gas hydrates forming conditions. Geological, geophysical and geochemical surveys in the past decade suggest that there is a significant potential for gas hydrate occurrence in the South China Sea (SCS). Shenhu area, located within the Pearl Rive Mouth Basin, is considered as one of the most promising fields on the north continental slope of the SCS. Drilling and sampling in 2007 has proved the methane hydrate with high saturations in silty clay sediments. But the hydrate zone does not have boundaries and is overlain and underlain by permeable zones of mobile water.

In this study we assess by means of numerical simulation the production potential of hydrate accumulations in the Shenhu area.

We simulate the hydrate dissociation and the corresponding gas production induced by depressurization at a single vertical well. We also test the gas production potential by alternately producing fluid and injecting hot water at the well. We also compare the gas production of the reference with that of bounded hydrate deposits to explain how much gas released from the hydrates loss through permeable overburden. The study provides an insight of the Shenhu hydrate accumulations and the production potential by the production schemes.

We also construct simplified models of hydrate production to evaluate the production methods. Depressurization and thermal stimulation are considered as the two primary means for producing gas from hydrate deposits by changing the phase stability of the hydrate system. But the researches indicated that depressurization is the only hopeful method. In this study, we modeled gas production in idealized patterns and also simplified ways to investigate productivity and maximum radius influenced by the production operations. Analysis on the production cost and economic evaluation of each production methods is given. The scientific research presents a overview of the feasibility of the gas production methods.

S8-P-16

南海神狐海域地温场特征与天然气

王力峰*, 梁金强, 陆敬安, 沙志彬, 罗贤虎

广州海洋地质调查局, 广州 510760

*charles.wlf@gmail.com

2007 年我国在南海北部陆坡神狐海域成功钻获天然气水合物样品, 标志着我国在此领域获得新的突破。天然气水合物作为一种未来新型能源形式, 它的成藏模式与常规

油气田不同。天然气水合物需要在特定的沉积作用、构造背景、烃类富集和温压条件等因素下才能形成和赋存, 尤其适宜的温压环境是其能够持久稳定的主要因素。本文首先应用钻探区及其附近两批次地热数据描述该区地温场特征, 然后结合钻获天然气水合物实物的钻位的热流特征, 浅析热流场对水合物聚集的控制作用。结果显示: 获得天然气水合物实物样品的 SH2、SH3 和 SH7 钻位全部分布在该区热流值相对较低区域, 但热流值仍介于 $66\sim 75\text{ mW/m}^2$, 与卡斯卡地亚增生楔和日本南海海槽相近, 皆属于高热流背景。神狐钻探区地层泥底辟活跃, 裂隙通道发育较多, 为天然气水合物的结晶成藏创造了重要条件。

S8-P-17

Gas hydrate occurrence, saturations and geophysical signatures associated with fluid flow in silt-dominated reservoirs, in the northern of South China Sea

Wang Xiujuan^{1*}, Wu Shiguo¹, Yang Shengxiong², Guo Yiqun²

¹ Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences

² Guangzhou Marine Geological Survey

*wangxiujuan@qdio.ac.cn

Gas hydrate was identified in fine-grained foraminiferous sediments in the Shenhu area, northern of South China Sea during the gas hydrate program expedition Guangzhou Marine Geological Survey-1 (GMGS-1). Gas hydrate saturations estimated from resistivity, chloride and P-wave velocity range from 10 to 35% of the pore space in the depth of meter below seafloor (mbsf) from 155 to 221, with the maximum value at SH 2 coming to 45%

above the gas hydrate stability zone (GHSZ). Gas hydrate saturations were also estimated by P-wave velocity obtained during wireline logging by combining a simplified three-phase equation (STPE) and effective medium modeling (EMT) models. Gas hydrate saturations obtained from EMT velocity model are higher than those calculated with STPE velocity model. Results from the three methods show nearly identical trends in gas hydrate saturations in the 190 to 221 mbsf depth range. The sediments were predominantly clay, with a variable amount of slit-size particles, and biogenic components from the core sediments showed that abundant foraminifera and calcareous nannofossils were identified in the higher gas hydrate-bearing sediments. Seismic anomalies with chaotic, low-amplitude reflections, acoustic turbidity and pull-down, low-frequency and low P-wave velocity indicate the presence of gas and fluid in the sediments. Fractures, diapir and gas chimneys act as major pathways for vertical gas migration and sandstones deposited on migrated canyon was the preferred conduits for lateral gas migration in the gas hydrate-bearing zone. The presence of carbonate and foram in the clay silt fine-grained sediments make the larger porosity of clay sediments, which supply the enough space for the formation of gas hydrate in fine-grained sediments.

S8-P-18

东沙海域 SMI 与甲烷通量的相互关系及对下伏水合物赋存的指示

邬黛黛*, 吴能友, 杨睿

中国科学院广州能源研究所

*wudd@ms.giec.ac.cn

天然气水合物作为一种未来新能源在国际上备受关注。究其原因, 一是由于天然气水合物能量密度高, 资源量巨大。据估算, 全球天然气水合物蕴藏的天然气资源总量约为 $2.1 \times 10^{16} \text{ m}^3$, 相当于全球已探明传统化石燃料碳总量的两倍。二是天然气水合物分解是全球气候变化和海底地质灾害的潜在诱发因素, 对海洋生态环境也会产生重大影响。因此深入研究我国南海北部陆坡天然气水合物潜在分布, 预测我国海域天然气水合物资源, 提升海洋天然气水合物的理论研究水平, 具有十分重要的战略意义。

东沙海域位于南海东北部陆坡, 区内发育台西南盆地。中生代末—新生代早期受西太平洋板块构造作用的影响, 该区陆缘基底拉张, 形成一系列 NE—NNE 向断裂和断陷。新生代中晚期由于南海海盆扩张, 断裂和断陷转化为断拗和拗陷, 甚至局部形成逆冲构造。该区断裂构造发育, 有些断裂自基底断至海底, 这有利于烃类气体向上远距离输送; 而晚中新世以来长期平静的构造特征又有利于天然气水合物保存。东沙海域具有水深、沉积厚度大、有机质丰富等特点, 有利于天然气水合物形成与赋存。多年调查研究已在东沙海域获得了天然气水合物存在的多种证据。广州海洋地质调查局近年在南海北部陆坡进行了天然气水合物地球物理和多学科综合调查, 在东沙海域地震剖面上发现了大量 BSR, 圈出了 BSR 分布区块。2004 年, 广州地质调查局与德国 IFM-GEOMAR 合作实施 SO-177 航次, 在该区域进行了天然气水合物调查研究, 揭示该区具有丰富的天然气水合物资源。2007 年我国在神狐海域实施钻探获取了水合物沉积物, 但东沙海域至今尚未采集到天然气水合物实物样品。因此, 加强对该区沉积物的 SMI 空间分布规律及其界面上、下孔隙水中的硫酸盐与甲烷含量变化特征的研究, 可为今后开展南海北部天然气水合物钻探调查提供科学依据。

硫酸根甲烷界面 (SMI) 是识别海洋沉积物中天然气水合物赋存 (甲烷通量) 的一个重要生物地球化学标志。本文通过对南海北部陆坡东沙海域 37 个站位浅表层沉积物

中孔隙水的 SO_4^{2-} 和 H_2S 含量变化和沉积物顶空气甲烷含量的变化等地球化学特性进行分析,研究南海北部东沙海域 SMI 的分布情况,通过硫酸根变化梯度对甲烷通量进行估算,探讨东沙海域 SMI、甲烷通量及其对下伏水合物赋存的指示意义。

研究结果显示,南海北部陆坡东沙海域浅表层沉积物孔隙水中 SO_4^{2-} 、 H_2S 和沉积物顶空气中甲烷含量的急剧变化表明,东沙海域存在深水区“海洋四号”沉积体和浅水区九龙甲烷礁两个水合物有利区域。SMI 埋深普遍较浅,甲烷通量较高 ($3.8\sim 5.9\times 10^{-3}\text{ mmol}/(\text{cm}^2\cdot\text{a})$)。高甲烷通量说明取样站位以下有丰富的气源,赋存水合物的可能性非常大,指示着该区海底以下一定范围内可能赋存有天然气水合物沉积层。

深水区“海洋四号”沉积体天然气水合物赋存区研究结果显示,SMI 埋深较浅,分布在沉积物中约 10 m 的范围,顶空气中甲烷含量在 SMI 埋深以下急剧增加,估算其甲烷通量略高于布莱克海台和南海北部神狐海域,指示该海域之下存在丰富的甲烷气源。

浅水区九龙甲烷礁冷泉区地球化学分析结果显示, SO_4^{2-} 、 H_2S 和 CH_4 等含量异常即硫酸盐还原带存在于沉积物表层,甲烷渗漏导致底层海水的甲烷含量异常,说明该区 SMI 埋深较浅,在海底以下 5 m 范围内,该区为有利的天然气水合物赋存区。

S8-P-20S

南海北部神狐海域天然气水合物赋存带深度预测

杨睿^{1,2,3}, 吴能友^{1,2,4*}, 雷新华³, 梁金强⁴, 沙志彬⁴

1 中国科学院广州能源研究所, 可再生能源与天然气水合物重点实验室, 广东广州 510640

2 中国科学院广州天然气水合物研究中心, 广东广州 510640

3 中国地质大学(北京)软件学院, 北京 100083

4 广州海洋地质调查局, 广东广州 510075

*wuny@ms.giec.ac.cn

水合物稳定带表征了水合物形成的最大可能范围;空白带是水合物存在的地球物理标志之一。水合物赋存带是指地下连续的、含有水合物的地层或区域。水合物赋存带的确定有助于定量地研究水合物成藏系统,同时也为勘探开发提供更为准确的参考数据。本文选取了南海北部神狐海域作为研究区,尝试了以速度为主要判别依据,以波阻抗反演数据为佐证的方法,勾勒了水合物赋存带的边界,并以叠加速度谱为基础数据预测了水合物赋存深度、厚度,取得了可信度较高的结果,经实地钻井证实,与钻探结果基本吻合。

1. 勘探目标确定

神狐海域位于南海北部陆坡珠江口盆地珠二坳陷白云凹陷。钻探前,通过对目标海域地质、构造及地震勘探等资料的综合分析,我们首先优选了测线 A 作为最有利目标之一。

以 1 s 为时窗,对测线 A 的地震剖面进行了扫描,在 CDP 1200 至 CDP 2600、双程旅行时 1400 ms 至 2200 ms 这个区域内,存在一个明显的强反射层,初步判断为 BSR;强反射层上部,有明显的振幅空白反射区,考虑为空白带。在层速度反演剖面上,可以看到 CDP 1255 至 CDP 2755、双程走时 1500 ms 至 2100 ms 这个区域内存在一个明显的高速层,这与沉积物中有水合物赋存的特征吻合,进一步考察波阻抗剖面,在上述区域内,可见一个明显的高波阻抗体,这也再一次印证了水合物的赋存。在 AVO 属性剖面、三瞬属性剖面上,同样识别出相应位置具有最为可靠的水合物赋存特征,在综合考虑水合物赋存带位置及海底地质条件的基础上,将预选井位确定在了上述区域内。

2. 赋存带深度预测

针对水合物赋存带没有明确的地球物理识别标志这一难点,我们采用了波阻抗与速度相互印证的方法,较细致的勾勒了水合物赋存带的顶底界。在波阻抗剖面上可以看到,预选井位所在的水合物赋存带存在于 1600 ms 到 2000 ms 之间,然后,在“时间-叠加

速度”序列上,沿时间递增的方向扫描,发现速度具有如下变化阶段:

(1) 在了 1780 ms 处,出现了一个速度由低到高的突变点,从约 1500 m/s 跃迁到 1750 m/s 以上;

(2) 接着,进入一个速度缓慢增加的区域,从约 1750 m/s 增加到 1900 m/s 左右;

(3) 在 1830 ms 处,出现了第二次速度突变,由 1900 m/s 左右跃迁至 2100 m/s 左右;

(4) 随后,在 1900 ms 左右,速度均匀增加至 2200 m/s 左右,而在剖面上,我们可以看到,1900 ms 处对应的是 BSR。

据此,我们预测水合物赋存带可能的顶界,出现在 1780 ms 处,而底界则可能位于 1830 ms 处,在这个区间内,波阻抗值也都在 $4300 \text{ g/cm}^3 \cdot \text{m/s}$ 以上。

在没有测井的条件下,我们利用根据 DIX 公式把速度谱转换为层速度,然后内插得到层速度数据体,继而转换为平均速度体,据此计算得:水合物赋存带顶界位于海底以下约 180 m 处,底界位于海底以下 253.5 m 左右,赋存带的厚度为 73.5 m。

3. 结果和讨论

2007 年,广州海洋地质调查局在神狐海域实施钻探,综合分析测井、钻孔沉积物取芯和现场孔隙水地球化学测试结果表明,SH2 站位含天然气水合物的沉积物层厚度约为 40 m,深度为海底之下 188 m—228 m,而前述预测中,该站位含天然气水合物沉积层的深度为海底之下 180 m—253.5 m,厚度约为 73.5 m。尽管预测和钻探结果在水合物赋存带的深度上比较接近,但两者厚度差异较大。究其原因,可能以下几个方面:

(1) 赋存带顶、底界缺乏明确的地球物理识别标志;

(2) 采用了以速度为主要判断依据的识别方法,缺乏其他佐证;

(3) 在没有测井数据的情况下,建立的速度模型存在一定的误差;

(4) 底界深度的预测精度更低,这主要是由于表征顶界面的速度跃迁更为明显。

S8-P-20S

南海北部陆坡神狐海域 HS-373 岩心表层沉积物古菌 多样性

张勇¹, 苏新^{1*}, 陈芳², 蒋宏忱¹, 陆红峰², 周洋², 王媛媛¹

1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室地质微生物实验室

2 广州海洋地质调查局实验中心

*xsu@cugb.edu.cn

用荧光染色方法计数南海北部神狐海域天然气水合物潜力区 HS-373PC 岩心表层沉积物微生物丰度,利用分子生物学技术分析表层沉积物中古菌多样性。从表层沉积物中提取总 DNA,扩增古菌 16S rRNA 基因序列,对克隆文库进行系统发育分析。系统发育分析表明该沉积物岩心中微生物资源丰富,微生物多样性较高。结果显示所有古菌序列均属于泉古菌 (Crenarchaeota) 和广古菌 (Euryarchaeota) 两大门类。其中泉古菌以 C₃ 为主要类群,另有少量序列属于 Marine Benthic Group (MBG)-B, MBG-C、Marine Crenarchaeotic Group I (MGI)、Marine Hydrothermal Vent Group (MHVG) 和 Novel Group of Crenarchaea (NGC); 广古菌以 MBG-D 为主要类群,其它序列分别属于 Unclassified Euryarchaeotic Clusters-1/2 (UEC-1/2)。HS-373PC 岩心的表层沉积物中古菌多样性较高,从序列分析得到类别来说,大部分所在的类群在其它海区沉积物中都有发现。尤其是大多数序列与南海其它地区沉积物中所报道的古菌类群具有很高的相似性,但在群落组成结构等方面比较起来还是有所不同。

S8-P-21

BY3 孔含水合物层底栖有孔 虫同位素组成与群落结构特征

周洋^{1*}, 陈芳¹, 苏新², 陆红峰¹, 庄畅¹

1 广州海洋地质调查局

2 中国地质大学

*xtpuzy@yahoo.com.cn

对南海东北部神狐海域钻获水合物的钻孔 BY3 进行底栖有孔虫稳定同位素和群落结构分析,旨在探讨富甲烷环境对底栖有孔虫群落结构的影响。碳同位素分析结果表明,含水合物层底栖有孔虫碳同位素值出现比较明显的负偏移, *Uvigerina* spp.、*Cibicides* spp. 和 *Oridorsalis* spp. 在含水合物层中的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值分别为 -1.61‰、-0.79‰ 和 -1.80‰, 其变化范围分别为 -1.42‰ ~ -1.83‰、-0.75‰ ~ -1.00‰ 和 -1.36‰ ~ -2.29‰, 在不含水合物层其 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值分别为 -0.88‰、-0.27‰ 和 -1.04‰, 其变化范围分别为 -0.03‰ ~ -1.71‰、0.05‰ ~ -1.11‰ 和 -0.99‰ ~ -1.08‰。相比而言, 含水合物层底栖有孔虫壳体碳同位素明显偏负; 底栖有孔虫群落结构分析表明, 含水合物层中所出现的属种在其上下不含水合物层均有出现, 未发现特定地方种的存在, 但水合物层底栖有孔虫丰度、分异度下降、群落中以内生种占绝对优势, 有孔虫黄铁矿化明显, 破壳率急剧增加。以上特征表明在底栖有孔虫的生长和埋藏过程中均可能受到沉积物中甲烷水合物形成和演化的影响, 推测底栖有孔虫壳体碳同位素值的异常偏负和群落结构的差异是适应高甲烷含量的结果, 底栖有孔虫对甲烷水合物的响应通过群落结构和同位素值的差异表现出来。

S8-P-22

Seep carbonates from mussel and tubeworm environments at Atwater Valley, northern Gulf of Mexico

Dong Feng^{1, 2*}, Harry H. Roberts², Duofu Chen¹

¹ CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

² Coastal Studies Institute, Department of

Oceanography and Coastal Sciences, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA

*fd@gig.ac.cn

Chemosymbiotic macrofauna (such as mussels and tubeworms) and authigenic carbonates are typical of many cold seeps. To address whether mussels and tubeworms could impact the sediment geochemistry of their habitat where authigenic carbonates are precipitated, a comparative study of petrographic and geochemical features of the authigenic carbonates from mussel and tubeworm environments at cold seeps in Atwater Valley lease area block 340 (AT340) of the Gulf of Mexico was undertaken. Both mussel and tubeworm carbonates are dominated by high-Mg calcite and aragonite, and two tubeworm carbonate samples have minor amounts of dolomite. The stable carbon isotopic values of all carbonates are low, ranging from -60.8 to -35.5‰ PDB. Although there is much overlap, surprisingly the stable carbon isotopic values of mussel carbonates are generally higher than those of tubeworm carbonates (-51.8‰ vs. -54.8‰ for an average of over 60 subsamples). It is suggested that (1) carbon isotopic vital effect of seep mussels and tubeworms, (2) fluid physical pumping of mussels, and (3) release of sulfate by tubeworm roots may be responsible for the relatively lower stable carbon isotopic values of tubeworm carbonates. It has been suggested that the heterogeneities in mineralogy and stable carbon isotope geochemistry of the seep carbonates may be attributed to the activity of macrofauna (mussels and tubeworms) and associated microbes. Our observation also suggests that at AT 340 the geochemical evolution of seep macrofauna is from a mussel-dominated environment to a mixed mussel-tubeworm environment, and eventually

to a mostly tubeworm-dominated environment. This evolution is controlled mainly by the habitat, e.g., hydrocarbon seep flux.

S8-P-23

东太平洋海隆 13°N 附近热液硫化物中的元素、同位素组成及其变化

曾志刚^{1*}, 陈代庚^{1,2}, 殷学博¹, 王晓媛¹, 张国良^{1,2}, 汪小妹^{1,2}

1 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室

2 中国科学院研究生院

*zgzheng@ms.qdio.ac.cn

测定了东太平洋海隆 13°N 附近 1 个站位 (103° 54.48'W, 12° 42.30' N, 水深 2655 m) 热液硫化物的矿物、元素和同位素组成。热液硫化物主要由闪锌矿、黄铜矿和黄铁矿等组成, 且在 ep-s-1 层含有次生氧化形成的针铁矿, 为富 Zn 型硫化物, 其稀有元素 Li (0.15×10^{-6} - 0.30×10^{-6})、Be (0.01×10^{-6} - 0.05×10^{-6})、Zr (73.8×10^{-9} - 1344×10^{-9})、Nb (8.14×10^{-9} - 64.7×10^{-9})、Hf (2.54×10^{-9} - 28.0×10^{-9}) 和 Ta (0.203×10^{-9} - 1.21×10^{-9}) 含量远低于洋壳, 具有相对高 Au 含量, 低 Co、Ni、Sr、Cs、Ba、Bi 和 U 含量的特点。热液硫化物中 Zn-Cr, Cd-Ga, Cu-P, 和 P-In 之间均存在显著的正相关关系 ($R^2 > 0.8$), 而 Zn-Fe 和 Cu-Ba 之间均存在显著的负相关关系 ($R^2 > 0.8$)。从低温矿物组合到高温矿物组合, 热液硫化物中的分散和稀有元素 (In、Li、Cs 等) 含量在空间上的分布也发生了相应的变化, 且热液硫化物中锌、铁和铜硫化物分别控制了 Cd、Cs 和 P 等元素含量的变化。由于海底风化作用, 使得含次生氧化矿物的红褐色硫化物氧化层中 V、Mn 和 REE 等元素相对富集, 使 ep-s-1 层具有与海水一致的 REE 配分模式, 并对热液硫化物中元素比值之间的相关性产生明显的影响。同时, 从高温矿物组合到低温矿物组合, 热

液硫化物中 Fe 含量和 $\delta^{34}\text{S}$ 值逐渐增加, Zn 含量和铅同位素比值逐渐减小, 反映出海水对热液硫化物形成过程中的元素和硫、铅同位素组成的影响逐渐增加。

S8-P-24

大洋第 21 航次第 7 航段西南印度洋脊调查成果介绍

韩喜球^{1,2*}

1 国家海洋局第二海洋研究所, 国家海洋局海底科学重点实验室, 杭州 310012

2 中国大洋勘查技术与深海科学研究开发基地, 杭州 310012

*xqhan@mail.hz.zj.cn

DY115-21 航次第七航段 2010 年 3 月 7 日从毛里求斯路易港登船, 2010 年 4 月 18 日离船, 历时 41 天, 海上实际作业 29 天。对西南印度洋脊 45° E—56° E 之间进行了地质地球物理综合调查, 取得了以下调查成果:

(1) 根据地质构造特征分析以及初步的热液异常探测和地质取样结果表明, 调查区西段主要受岩浆作用控制, 岩浆作用比较强烈, 以出露玄武岩为主。东段主要受构造作用控制, 下洋壳辉长岩和地幔岩较常见。

(2) 在调查区西段 49.2° E 附近, 新发现一处金属硫化物丘“玉皇山”。这是迄今为止西南印度洋脊上最西端的硫化物区, 赋存水深浅 (~1500 m), 富含铜蓝、黄铜矿、闪锌矿、纤维锌矿和黄铁矿。甲烷和浊度异常探测表明该硫化物丘附近 5 km 范围内至少存在 2 处热液喷口群, 海底可视系统在多处观察到色彩斑斓的热液蚀变区和硫化物烟囱体, 认为所调查的洋脊段极有可能蕴藏有大型的金属硫化物矿床。

(3) 在调查区内共探测到 26 处热液异常, 经初步研究, 认为调查区内至少存在 10 处热液羽状流。这些新发现的热液活动区为今后进一步发现有中国“命名权”和“发现权”的新热液喷口和硫化物资源指明了方向。

(4) 在调查区东段 55.6°E 附近观察到沿超基性岩断裂分布的白色建造体, 判断为低温热液成因的碳酸盐岩, 很可能为迄今为止除了大西洋 Lost City 以外在超基性岩系里发育的又一处低温热液区, 建议后续航次进一步取样验证。

(5) 沿洋中脊全面获取了调查区的地形、重力和磁力资料, 并在重要地质构造上进行取样, 获得了丰富的来自上洋壳、下洋壳和地幔的地质和生物样品, 这些地球物理资料和样品对研究超慢速扩张的西南印度洋脊构造地质背景和热液成矿环境、地球深部的动力机制以及生态有重要的意义。

S8-P-25

Preliminary review on the inorganic geochemistry of the hydrothermal activities in and near the ocean ridge

Yunchao Hao*

Xijing University, 1 Xijing Road, Chang' an district,
Xi' an

*haoyunchaostar@hotmail.com

Hydrothermal activities in the ocean ridge and in the ridge flank area play an important role in the marine geochemical cycles of the Rare-earth elements (REE), major elements and trace elements through the water-rock reaction.

The sampling of hydrothermal vent waters from the East Pacific Rise (EPR) is REE-enriched, while uranium, like magnesium, is quantitatively taken up from the seawater during the hydrothermal process¹. Shale-normalized distribution patterns in the suspended particle samples collected from the TAG hydrothermal vent field on the Mid-Atlantic Ridge show positive europium anomalies, indicating that the rare-earth elements in these hydrothermal precipitates

partly come from hydrothermal vent fluid. Hydrothermal systems must act as a net sink in the global ocean budget of the rare-earth elements, while high-temperature vent fluids escaping from the sea floor are typically enriched 10 - 10,000 times in rare-earth elements relative to sea water. The maximum rare-earth/Fe ratios observed for suspended particles are ~10 times lower than previously reported values for hydrothermal sediments. The higher Lan/Smn is the effective indicator of hydrothermal source in the sediments too.

The studies of the samples collected by the deep submersible "Alvin" on the crest of the Galapagos spreading ridge show that the ridge crest hydrothermal activities may balance the river input for Mg and SO₄, for Li and Rb they may exceed it by factors of between five and ten, Calcium is supplied at a rate equivalent to that of non-carbonate Ca from the continents, The additions of K, Ba and Si are between one third and two thirds of the river load, There are large positive and negative anomalies for Cl and Na indicating that substantial amounts of Cl may be taken up by the newly formed crust and transported deep into the subduction zones.

At the eastern flank of the Juan de Fuca Ridge, the basement hydrothermal system is a source of NH₄, SiO₂(aq), and Ca, and a sink of SO₄, PO₄, and alkalinity. Reaction within the sediment column increases the hydrothermal sources of NH₄ and SiO₂(aq), increases the hydrothermal sinks of SO₄ and PO₄, and decreases the hydrothermal source of Ca.

Whole rock 87Sr/86Sr and $\delta^{18}\text{O}$ analyses of basalts from across the eastern flank of the JdFR reinforce petrological observations, with 87Sr/86Sr and $\delta^{18}\text{O}$ values slightly elevated above accepted pristine MORB values for this region, which indicates an increase in the amount of fluid - rock interaction with time.

Depositional regimes are best resolved using the REE ratio of Lan/Cen, with continental margin cherts recording Lan/Cen $\approx$ 1, pelagic cherts Lan/Cen $\approx$ 2 to 3, and ridge cherts Lan/Cen $\geq$ ~ 3.5. Plotting the variation of Lan/Cen against the major element ratio Al₂O₃/(Al₂O₃+Fe₂O₃) leads to further resolution of the respective environments.

The sedimentary environments and the sources of the sediments can be elucidated using the Lan/Cen and the major element composition in the corresponding samples. The hydrothermal influence on the sediments and rocks can be determinate by the REE composition in them. The reactions of the major elements, such as Mg and Ca, exist in the hydrothermal system. The research results of the REE, major element, trace element and stable Pb isotopic compositions in the sediments and rocks will help the researchers to determine how fluid pathways are distributed within an active hydrothermal system and establish linkages between fluid circulation and alteration.

S8-P-26S

劳盆地热液羽状流颗粒物微区特征分析及指示意义

雷吉江^{1,2,3}, 于晓果^{2,3*}, 初凤友^{2,3}, 李老虎^{2,3}, 陶春辉^{2,3}, 杨克红^{2,3}

1 中国地质大学研究生院, 武汉 310074

2 国家海洋局海底科学重点实验室, 杭州 310012

3 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012

*yuxiaoguo@sio.org.cn

2007年“大洋一号”船在西南太平洋劳盆地(Lau Basin)热液活动区附近利用甲烷传感器(METS)、自容式水体浊度探测仪(MARPS)、CTD等设备对近底水体(海底面500 m高度以下的水层)进行了热液异常探测,发现显著的热液异常,并采用美国

海鸟公司Seabird911型CTD采水器对热液异常区进行了水样采集。本文以劳盆地热液羽状流水体为研究对象,对6个不同深度水层(海底以上50—500 m)的悬浮颗粒物进行了扫描电镜观察和X射线能谱面扫描分析。通过微形貌特征将颗粒物分为:生物碎屑、微生物成因颗粒、无定形颗粒、自形颗粒等类型。微生物成因颗粒包括丝状体和簇状体等形态,自形颗粒主要为黄铁矿和闪锌矿晶体,根据颗粒组分特征将无定形颗粒分为S-Zn-Ba-Ca、Fe氧化物+少量Ba-Zn-Ca、Fe-Mn-Ca-Ba+少量的Zn、硫化物颗粒及多金属颗粒等五种不同类型,这些颗粒的分布。大量与热液活动有关的颗粒类型的出现以及无定形颗粒的尺寸分布特征反映了研究站位位于热液羽状流的早期发育阶段,推测在附近几百米范围内存在活动的热液喷口区。

S8-P-27

西南印度洋中脊49.2° E热液羽状流甲烷异常

邱中炎^{1,2*}, 王叶剑^{1,2}, 韩喜球¹

1 国家海洋局第二海洋研究所, 国家海洋局海底科学重点实验室, 浙江杭州 310012

2 浙江大学地球科学系, 浙江杭州 310027

*earthwormilove@163.com

2010年3—4月DY115-21航次第七航段热液羽状流甲烷异常调查在西南印度洋脊45°E—56°E间展开。调查设备为德国产的甲烷探测系统(METS),一般将其投放于距海底50—100 m深度,通过定点或拖曳的方式原位探测海底水体甲烷,探测结果如下:在调查区内共探测到5站位的显著甲烷异常,它们位于49.2°E洋脊附近,所探测到的热液羽状流水深范围多集中在1400—1700 m和2500—2650 m,可以推断该区至少存在两个热液源,甲烷异常浓度分别达48.0 nmol/L和64.8 nmol/L,分别处于浅水区和深水区。在浅水区热液异常点附近1547 m水深处利用电视抓斗已经发现了硫化物,并成功

取到了硫化物烟囱样品,证实了浅水区热液源的存在。深水区的甲烷异常浓度更大,可以推断深水区的热液活动更为强烈,值得后续航次的进一步探查。

S8-P-28

深海原位电化学传感器在热液活动区探测中的应用

武光海^{1*}, 叶瑛², 秦华伟³, 李雪富¹

1 国家海洋局第二海洋研究所

2 浙江大学

3 杭州电子科技大学

*wugh6866@yahoo.com.cn

多参数高精度化学原位电化学传感器(以下简称化学传感器)是由浙江大学、国家海洋局第二海洋研究所和杭州电子科技大学合作研究的国家 863 计划和国家自然科学基金重点项目联合资助的高技术设备。该设备在中国大洋科学考察 DY115-20 航次第 3 航段中开始投入现场试用,试用情况良好,并在 20 航次的第 5、6、7 航段中继续现场使用,成为我国热液硫化物调查的主要设备之一。运用该化学传感器对热液活动进行调查,取得的 H₂S 浓度、Eh 数据和 pH 数据,结合压力、温度、浊度等资料可以准确判断热液异常,其中在东太平洋 11 条测线中,有 5 条测线探测得到明显的热液异常;在西南印度洋的 50 条测线中,获得 47 条有效数据,其中在 7 条测线探测到明显的热液异常。这些热液异常都在我们本航次所发现的 11 个活动热液区范围内,且多已得到了进一步的验证(有的与 MAPR 和 METS 所探测的异常有很好的对应,有的得到了采样或视像资料的直接验证);特别是在几个不活动热液活动区的发现过程中,由于不存在明显的浊度和温度异常,本传感器所探测到的 Eh 和 H₂S 异常却提供了确凿的异常指示,为热液活动区的发现做出了突出贡献。

S8-P-29S

印度洋北部海底热流测量

杨小秋^{1,2*}, 施小斌¹, 赵俊峰¹

1 中国科学院边缘海地质重点实验室,南海海洋研究所

2 中国科学院研究生院

*yxq2081@scsio.ac.cn

印度洋东北部的安达曼群岛—尼科巴群岛—苏门答腊岛的西侧正是大洋板块俯冲消减带,其西侧存在两个基本平行的南北向 85°E-Ridge 和 90°E-Ridge。虽有学者研究表明 90°E-Ridge 是热点成因,但还存在不少争议。在 2010 年 4 月至 5 月中国科学院南海海洋研究所印度洋航次中,我们利用 Ewing 型海底热流探针在安达曼群岛西侧北纬 10°N 剖面(87°E ~91°E)上成功地进行了 7 个站位的海底热流测量。这些热流站位正好位于 90°E-Ridge 北端,水深在 3300~3500 m。由于所取沉积物样品的热导率有待测试,故暂时只获得地温梯度。地温梯度结果表明:90°E-Ridge 北端中央隆起处地温梯度值高达 85 °C/km,而两侧相对较低,其范围在 48.0~67.0 °C/km,这为揭示 90°E-Ridge 地热特征及其成因提供了基础数据。同时,我们还发现 10°N 剖面海底底水温度在 1.335~1.491 °C,而该区域海水温度随水深增大而一直降低的趋势,与我国南海西沙-东沙海域的水温分布有较大不同,南海西沙—东沙海域 2500 m 以下的海水就基本处于恒温。这一现象的成因也有待进一步分析、研究。

S8-P-30S

西南印度洋中脊 49.6 度热液区:热点影响后的拆离断层?

张涛^{1,2*}, 高金耀^{1,2}, 林间³, 吴招才^{1,2}, 吴学文^{1,2}, 谭勇华¹, 杨勇^{1,2}, 韩喜球^{1,2}

1 国家海洋局第二海洋研究所

2 国家海洋局海底科学重点实验室

3 美国伍兹霍尔海洋研究所地质地球物理系

*zhangtaosio@gmail.com

西南印度洋为研究超慢速、斜向扩张洋中脊及其与热点的交互作用提供了一个独特的环境。2007 年我国在西南印度洋中脊 (SWIR) 发现的第一个活动热液场区 (37°47' S, 49°39' E, 以下简称 A 区) 更是为此区域赋予了重要的资源意义。利用最新的地球物理资料, 我们计算了 SWIR Indomed 转换断层 (经度 46° E) 至 Gallieni 转换断层 (经度 52° E) 之间的剩余地幔布格重力异常 (RMBA)、熔融异常、剩余地形异常以及磁性体厚度。其中 RMBA 是在从空间重力异常 (数据源于 Sandwell 和 Smith 18.1 版本空间重力异常数据) 中扣除了沉积物、海底地形、平均地壳厚度以及岩石圈正常热模型的重力效应后得到的, 反映了地壳厚度或者地幔温度的变化。剩余地形异常是在观测水深值中扣除岩石圈正常沉降模型值后, 又扣除了 Moho 面变化对应的理论地形值后得到的, 反映了未被均衡补偿部分的地形。

水深资料显示, 46° E-52° E 区域在 11—8 Ma 期间存在一次强烈的岩浆供给。从 RMBA 及相应熔融异常上看, 这可能是 SWIR 和 Crozet 热点交互作用的结果。在 A 区, 扩张脊两侧非对称的地形和地壳厚度、热液区突起的剩余地形异常以及减薄至接近缺失的磁性体厚度一起, 表明 A 区为热点作用影响后新形成的转换断层内角, 其下可能是正在活动的拆离断层。

我们使用的地形数据来源于法国 Gallieni 航次 (2001 年) 以及我国大洋历年航次 (DY17A、DY19) 的多波束数据, 网格间距为 0.1 km。与其它洋中脊-热点交互作用的区域 (如大西洋洋中脊-冰岛) 地形相似, 46° E—52° E 之间的洋中脊段表现出明显的“V”字形隆起 (隆起幅度超过 1 km)。此“V”字形由西向东逐步变窄, 并最终终止于第 27 中脊段。随着洋中脊扩张分裂, “V”字形西端, 残留高地形以 SWIR 为中轴对称分布。“V”字形东端, 目前岩浆活动依然相对强烈的第 27 段是 SWIR 少数缺失中央裂谷的中脊段, 其地球物理特征和慢速扩张的大西洋洋中脊类似。“V”字形地形对应着

约 40 mGal 的负 RMBA 以及 1.7 km 的相应地壳增厚。大尺度上的 RMBA 显示, Crozet 热点至 Indomed 转换断层间存在着一个与周边区域差值约为 50 mGal 的低值带, 对应最大超过 2 km 的增厚地壳。这条低值带也与层析成像数据 (数据源于 Debayle 等 2005 年 $1^{\circ} \times 1^{\circ} \times 20$ km 的模型) 显示的岩石圈底部的低速区域相对应。我们推断这个 RMBA 低值带是 SWIR 与 Crozet 热点交互作用中的物质 (热或化学) 通道。由于 Indomed 转换断层位于整个区域的西侧, 因此其熔融异常的传播导致了由西向东呈现的“V”字形地形。

A 区热液场位于第 28 中脊段的西端南侧。此区域为第 28 中脊段与第 29 中脊段之间洋中脊不连续带的内角。在地壳年龄为 0—2.6 Ma 的区域, 洋中脊两侧的地形、地壳厚度和磁性体厚度均呈现明显的非对称性。相对洋中脊北侧, A 区热液场所在的南侧地形要高出 0.45 km, 但是对应的地壳厚度却减薄了 1.5 km, 导致南侧 0.5 km 的剩余地形异常。在整个 SWIR 上, 如此强烈的不平衡状态只有在已知的转换断层内角 (如 Atlantis Bank) 才会出现。我们利用船测磁力数据 (数据源于 DY20、DY21 航次) 正演的磁性体厚度表明, 南侧地形最高的区域对应着极度减薄甚至消失的磁性体厚度 (小于 0.1 km)。我们推断这种磁性体厚度的减薄应该是岩浆活动减少和拆离断层构造减薄共同作用的结果。从地形上看, 高地形区域的南侧发育一个与其面积相近的盆地, 这也与大西洋中脊 13° N 观测到的大量拆离断层的发育模式相近。多条垂直洋中脊的磁力剖面及 RMBA 表明, 此拆离断层沿扩张脊方向的范围约为 15 km。

S8-P-32

古深海热水沉积铀矿基本类型、识别标志及找矿意义

方适宜*

核工业部 230 研究所

*fsy_230@163.com

近几十年来,国内外学者对深海热水沉积成矿理论进行了广泛深入的研究,如红海阿特兰蒂斯II号含矿铜锌热卤水池的发现,东太平洋隆20°N发现正在喷溢的热水柱(黑烟囱和白烟囱)等,这些成果说明热水沉积成矿理论研究已取得重大突破。本文以深海热水沉积矿床理论为基础,从野外详细观察着手,辅以遥感地质解释,结合矿床学、构造岩石学、岩相学、地球化学及稳定同位素研究,对鄂西北海底热水沉积铀矿的基本类型、识别标志及找矿意义进行了探讨。

参照薄壳板块构造理论及威尔逊旋回,本区地壳演化可划分两个时期:即元古宙裂谷系和内硅铝造山期及显生宙现代体制地洼运动期。根据地层、岩浆活动、构造演化及沉积建造、生物群落存在的明显差异、结合同位素资料,初步认为晚元古末期自裂谷带扩张,逐渐形成显生宙秦岭洋-一级海盆。至早志留世本区又发生一次重要的大陆边缘裂陷作用,在东秦岭海槽堆积了巨厚的被动大陆边缘沉积(二级海盆),其总体形态是由南往北,水体逐渐加深,并形成了陆棚—陆坡—陆隆的古地理格局,加里东期末,扬子板块前缘向华北板块下俯冲,从而改变了陆缘地区的沉积—构造面貌,直至印支期两板块发生碰撞,转入地洼活动阶段位置,边缘海盆的沉积可分两个构造层:即下古生界与上古生界—中生界构造层,其间出现一个沉积间断,缺失上志留统或下泥盆统,时限大约在4亿年左右。因此下古生界构造层形成于被动大陆边缘的相对稳定时期,沉积环境为障壁型海盆,具还原、滞流特征,岩相为硅质岩—黑色页岩—碳酸盐岩组合,区域上见有较多超基性—碱性杂岩。随着一系列同生断裂(如竹山断裂、溢水断裂、田家坝断裂、曾家坡—洪椿坝断裂等)的发生发展,在裂陷作用下形成了三级(四级)成矿盆地和热液通道,其热水沉积铀矿可分两个基本类型,并具有各自特征的识别标志和找矿意义。

1. 海底喷气型

以203铀矿为代表,属直接沉积在海底上的喷气岩,与火山岩关系密切,其主要标志为:

(1)成矿环境处在大陆边缘过渡带及高热流带,热状态在时间和空间上都有极大变化,在稳定阶段受到沉积物厚度及裂陷作用影响,在活动阶段受到深部上地幔热点“漂移”的影响,其直接标志为火山—深成组合。

(2)喷流成矿产于裂陷作用发生之时,因而含矿层本身或上下都有一同生砾岩层,角砾成份混杂、大小不均,具“填隙”结构,与围岩呈整合产出,层状分布,沿走向延伸稳定,倾向变化大。

(3)碱性粗面岩与梅子垭组巨厚沉积岩不是侵入接触,而是喷发沉积,接触面上可见同生角砾及水下冲刷构造。

(4)各种火山岩系分布明显,赋矿角砾岩边部的角砾的基性熔接集块岩气孔发育,定向排列,孔径外小内大,集块大小混杂、滚圆,具分选性(下粗上细),并层状分布。

(5)矿化主岩为含碳含黄铁矿强硅化粗面质凝灰角砾岩,矿带位于岩屑凝灰岩和角砾岩带中,后者含有较粗的碎屑岩,表明其接近火山口。

(6)对矿石进行硫同位素分析表明: δS_{34} 值从-18.57~21.29‰,贫重硫; S_{32}/S_{34} 均在22左右,离差小,组成均匀。说明矿石硫主要来自海水硫酸盐及深海盆还原环境沉积区。

(7)矿石富碳、富硫化物,F、B等易挥发组分及Ba、Mn、Cu等微量元素含量高,同生热液蚀变以强硅化为主。

2. 沉积—喷流型

以香水洞富铀矿为代表,沉积—喷流通道以同生断裂及网脉、开放裂隙脉为主,其地质及矿化特征主要为:

(1)在陆缘裂陷作用下,早震旦世本区主要沉积了细碎屑岩、碳酸盐岩组合,生物化石稀少,水平纹层发育,矿化岩石炭质异常富集,为水体相对较深,水动力较弱的封闭滞流海盆(相当于三级或四级成矿盆地),有利矿质聚集。

(2) 构造上位于古陆隆起边缘, 大规模地动力作用, 形成一套以压性断裂为特征的活动性海盆, 其地质构造环境不利于火山喷发, 只能在深处形成一些热点或热区。从矿化区内中基性岩脉的广泛分布、一系列同生断层的多次活动以及岩石中深变质作用, 说明本区早志留世为一高热流区。

(3) 作为同生热液通道, 大陆边缘早期的正断层及后期发展的逆冲走向滑动带, 特别是竹山、溢水、田家坝等同生陆缘走滑断裂带延伸远, 发育深, 有足够的规模(深度)及温度、压力梯度到达热液对流房, 含矿热液沿网脉状或开放裂隙脉的通道上升, 在海底次级洼地沉淀。

(4) 具有突发性非造山构造事件标志: 主要容矿层之下的岩系中, 有一区域性沉积间断—出现局部的似不整合和层位缺失, 造成武当群与下志留统硅灰岩系直接接触, 但未见明显的角度不整合。

(5) 近矿层地板或含矿层的底部(如田家坝堰沟等地)出现同生砾岩—碎屑流层序。

(6) 含矿层与上下层位对比, 横向上的相变十分剧烈, 矿化沿倾向较走向稳定, 富铀矿石(3.55%)呈透镜状产于硅灰岩及生物碎屑灰岩中。

(7) 含矿层或上下部常有一套在矿物成分结构上与正常沉积相异, 而成因上与沉积喷流作用直接相关的岩石, 其外貌类似硅质岩, 灰白色, 致密、坚硬, 与凝灰岩相伴, 沿走向延伸稳定。岩石薄片观察, 矿物成分以微晶石英为主, 次为碳酸盐矿物, 并含一定的泥炭质、生物碎屑及金属硫化物。因此, 硅质岩可能属热卤水成因, 为沉积成岩期产物, 伴随喷流—沉积型铀矿产出, 可作为重要的找矿标志。

(8) 具有特殊的矿物组合, 含闪锌矿、方铅矿及重晶石等, 新鲜块状矿石经放射性照相, 可见沥青铀矿与方解石构成脉体, 沿岩石微层理分布, 但热液蚀变微弱, 成矿温度较低。

(9) 矿石伴生元素 Ni、Zn、Pb、Co、Cu、Mo、Ba 等含量高, 特别是 Ni、Zn、V 等元素常可达工业富集品位。

(10) 氧、碳同位素组成表明: 铀矿石中的 δC_{13} 值在-7 左右, 因此其中的碳来自地壳深部, 氧同位素说明成矿流体为含 U、Ni、Zn 的高矿化度热卤水。用方解石碳同位素平衡交换体系中的分馏方程(博适加, 1969)进行计算, 获得 C_{13} (CO_2 -方解石)平衡温度为 $60^\circ \sim 70^\circ$ 左右。

(11) 矿石中的石英、方解石等矿物包裹体直径绝大部分 $< 2\mu$, 并以中低温(I—1)型和纯液相(V)型包裹体为主, 具同生沉积特征。

(12) 矿质来源: 根据矿石、围岩及基底地层的铀及伴生元素组合特征, 可以设想, 喷流成矿热液中的金属矿质主要来源于区域基底和亚基底岩石, 即来自下伏老地层和早期先成盆地沉积物。

3. 找矿意义

喷气型与沉积喷流型铀矿为海底热水沉积成因, 前者为直接在海底上的喷气岩, 后者主要成矿作用发生于下伏基底或早期先成盆地深部循环热卤水沿同生断裂及网脉、开放裂隙上升, 喷流进入海底, 在次级洼地内沉积成矿。后期构造及变质作用虽使矿层局部形态、矿石结构构造及品位遭到一定改造, 但并没有使沉积期已基本定位的矿体在质和量上发生多大变化。这种特殊的成矿作用拥有三方面的找矿意义: ①直接成矿, 并且可能成大矿; ②作矿源层; ③多元素伴生富集成矿。

S8-P-33

太平洋 CC 区及周边多金属 结核分布及资源量预测

刘永刚^{1, 2*}, 杜德文^{1, 2}, 李钟山³, 闫仕娟^{1, 2}, 杨刚^{1, 2}, 朱志伟^{1, 2}, 王春娟^{1, 2}

1 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东青岛 266061

2 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室, 山东青岛 266061

3 国土资源部矿产勘探基金管理中心, 北京 100083

*liuyg@fio.org.cn

选取了太平洋克拉里昂—克利帕顿断裂带(简称 CC 区)以及邻近海域作为研究区,对该区多金属结核的分布和资源量进行了估计。运用数学地质方法和 GIS 空间分析技术,将已勘探区作为训练区,建立资源目标信息和区域证据图层之间的关系模型;将该模型用于未勘探区,得到整个 CC 区及周边海区的多金属结核的空间分布和潜在资源量。预测结果和勘探结果对比表明,预测结果具有一定的可靠性,所选方法对研究区多金属结核资源估计具有可行性。该评价方法或结果为将来未调查区多金属结核勘探工作提供了技术或参考靶区。

S8-P-34

基于 STELLA 的富钴结壳 Mn 元素沉积的系统动力学模型初探

任向文, 石学法*, 杨刚

海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室, 国家海洋局第一海洋研究所, 山东青岛 26606

*xfshi@fio.org.cn

基于系统动力学建模软件包 STELLA, 建立了富钴结壳中 Mn 元素沉积的系统动力学模型, 该模型包含的控矿要素有海山沉降和海水溶解氧含量、海水 pH 和海水中的 Mn^{2+} 含量等, 并假定 Mn 元素沉降的水深范围是最小含氧带核心到富钴结壳样品产出水深。该系统动力学模型的模拟结果显示, 上述假定是合理的, 即富钴结壳中的 Mn 元素是最小含氧带核心到富钴结壳样品产出水深的深度范围内, 水柱中 Mn^{2+} 氧化、清扫、积累的结果, 因此, 在研究富钴结壳中 Mn 元素的控矿要素时, Nd 同位素所记录的局部的控矿要素是不全面的。此外, 模拟结果还显示, 富钴结壳中 Mn 元素的沉积通量对于富钴结壳产出水深的变化是敏感的, 因此由最小含氧带移动, 或者由海山沉降导致的 Mn 元素沉降水深的深度范围的变化, 可以对富

钴结壳 Mn 的成矿产生重要影响, 水深是不容忽视的控矿要素。

S8-P-35

印度洋海岭热液区块状硫化物贵金属元素地球化学

孙晓明^{1,2,3*}, 吴仲玮^{1,2,3}, 石贵勇^{1,3}, 徐莉^{1,3}, 戴瑛知²

1 中山大学海洋学院, 广州 510275

2 中山大学地球科学系, 广州 510275

3 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室, 广州 510275

*cessxm@mail.sysu.edu.cn

采用 ICP-MS 对主要采自印度洋中脊海底多金属硫化物与热液沉积物样品进行了铂族元素(PGE)和 Au 含量分析, 并测定其 Os 同位素组成。结果显示: PGE 总量普遍较低(1.33~12.41 ppb), 平均值约为 5.78 ppb; Au、Ag 相对富集, 分别可高达 3.6 ppm 和 107.0 ppm。样品中 Pd 与 Cu 含量之间呈较明显的正相关性, 表明 Pd 的分异可能与黄铜矿从高温热液流体中沉淀、结晶的过程有关。多金属硫化物的 PGE 配分模式属于 PPGE 富集而 IPGE 亏损的左倾型, 除块状硫酸盐与热液沉积物外, 矿石样品普遍表现出不同程度的 Pt、Ru 负异常和 Rh 正异常, 与海水、典型的基性-超基性岩以及火山成因块状硫化物矿床基本一致; 其 Pt/Pd、Pd/Ir 和 Pt/Pt* 比值指示幔源组分的物质贡献所占比例较大, 表明印度洋中脊热液硫化物中的 PGE 和 Au 等成矿物源主要与海水对洋壳玄武岩/超镁铁质岩的热液蚀变、淋滤作用有关, 不排除有陆壳来源物质加入海底热液系统。除个别样品的 Os 同位素组成特征较为异常外, 大部分多金属硫化物具有与现代海水相近的 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比值(0.82~1.13), 反映出海水的混合作用对各大洋中脊热液硫化物的 Os 含量及其同位素比值影响较为显著; 样品中的 Os 主要来源于海水与蚀变洋壳。

此外, 研究显示位于中印度洋中速扩张洋脊的 Edmond 热液区块状硫化物矿石样品主要分为以黄铁矿-黄铜矿为主的富 Fe 块状硫化物、热水沉积成因的富含硅质块状矿石和以硬石膏为主的硫酸盐矿石等三种不同类型。通过扫描电镜观察, 在硫酸盐矿石和富 Fe 块状硫化物中首次发现了金矿物, 最大粒径可达 20 μm 左右, 主要呈不规则粒状或板状与硬石膏、闪锌矿等硫化物颗粒紧密共生, 少量以次显微金形式沉淀在自形黄铁矿晶体表面。能谱分析表明其含金量介于 38.18~58.98 wt.% 之间; 通过 XPS 分析其 Au 的化学状态, 证实该金矿物即为自然金。电子探针分析结果显示, 晚期形成于中低温条件下的贫 Fe 闪锌矿中 Au 富集程度普遍较高(平均含量约为 6700 ppm), Au 可能以纳米级或固溶体形式产出; Ag 主要以类质同象形式赋存于与闪锌矿、黄铜矿伴生的硫盐矿物中(5.0~6.7 wt.% Ag)。这表明贵金属元素的富集成矿作用与海底热液活动晚期的中低温成矿阶段有关。推断 Au 在该研究区以高温、酸性和氯度较高为特征的热液流体中主要呈 AuCl_2^- 或 AuHSO 形式迁移。而海水与热液流体混合、喷口流体发生相分离以及传导冷却作用, 被认为是导致 Au 有效沉淀的重要控制因素。

S8-P-36S

中印度洋脊 Kairei 热液区重晶石内的流体包裹体初步研究

王叶剑^{1,2*}, 韩喜球^{2,3}, 邱中炎^{1,2,3}

1 浙江大学地球科学系, 杭州 310027

2 国家海洋局海底科学重点实验室, 杭州 310012

3 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012

*wangyejian.zju@gmail.com

脉石矿物重晶石、硬石膏是海底热液硫化物矿床流体包裹体研究的常见对象, 通过对这些透明矿物中的包裹体研究可以有助于了解矿物形成时的物理化学条件及成矿流体

性质与演化过程。本研究首次对中印度洋脊 Kairei 热液区重晶石中进行详细的流体包裹体岩相学和测温研究, 以便得出其均一温度、盐度等资料, 与本区实测的热液物理化学参数进行对比, 并探讨本区成矿热液流体特征与来源。

Kairei 热液区在位于中印度洋脊的 S1 段北端, 即罗德里格斯三联点(RTJ)以北约 27 km 处, 经纬度 25°19.23' S/70°02.42' E (Hashimoto et al., 2001; Gamo et al., 2001)。该区水深 2420~2460 m, 离裂谷底部 1800 m, 离裂谷中轴约 8 km, 表明该热液区具有古老基岩。高温(306~365 °C)喷口区至少由 7 个活动喷口组成, 每个烟囱高达 10 m (Van Dover et al., 2001)。

样品来源于中国大洋 19 航次第三航段, 使用电视抓斗捕获。选择 Kairei 热液区富闪锌矿-黄铁矿样品进行显微测温学研究。由于多数硫化物颜色过暗不能直接用来进行显微测温研究, 故本研究主要选择透明矿物重晶石作为研究对象。重晶石中的流体包裹体多数见于晶体的微小缺陷中, 属原生包裹体, 少数呈鸡骨状属假次生包裹体。原生包裹体分为两类, 一类为气液两相包裹体, 为主, 大小在 3~10 μm 之间, 多数为 5 μm , 气液体积比在 3~10 % 之间, 多数为 5 %; 另一类为液相包裹体, 较少, 室温下大小在 3~5 μm 。均一温度、冰点温度的测定结果显示: Kairei 区重晶石包裹体的均一温度是从 163~260.5 °C (n=44), 多数集中在 180~200 °C 内, 平均 194 °C。均一温度分布范围较宽, 某种程度上反应了多孔样品内海水与热液混合程度的大小。经压力(244MPa)校正 (Zhang and Frantz, 1987) 算得包裹体捕获温度为 183~283 °C (n=44), 平均 217 °C, 低于热液流体实测温度(306~365 °C), 表明重晶石形成于热液成矿中后期阶段。包裹体盐度分布范围为 2.6~8.5 wt.%, 平均 6.0 wt.% (n=44), 是海水(3.2 wt.%) 的 0.8~2.7 倍, 表明成矿流体属中温低盐度流体。

S8-P-37

特定海底热液活动区表层含金属沉积物中类脂生物标志物的特征

杨群慧¹, 杨伟芳², 胡建芳², 季福武¹, 王虎¹, 周怀阳^{1*}

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 中国科学院广州地球化学研究所

*zhouhy@tongji.edu.cn

海底热液场中含金属沉积物的形成主要来源于三个过程: (1) 热液硫化物块体的坍塌和风化, (2) 热液羽流的形成、扩散和降落, (3) 低温热液流体的流动和矿化作用。这三个过程的相对重要性控制了热液作用对当地沉积环境的影响。对大西洋洋中脊 Logatchev 热液场和劳盆地东劳扩张中心热液场的表层含金属沉积物样品的研究表明, 采自热液场不同位置的样品其矿物组成是不同的, 有的样品富含黄铜矿、黄铁矿、重晶石等来自热液硫化物块体的坍塌和风化产物, 有的样品富含蛋白石、水羟锰矿和二线水铁矿等低温热液的矿化产物, 有的样品含有辉石、蛇纹石、滑石等基岩的风化产物以及皂石和高岭石等矿物, 揭示研究区含金属沉积物的来源是复杂多样的。

对研究区含金属沉积物样品中烷烃和脂肪酸等类脂生物标志物的研究则表明, 正构烷烃的碳数分布范围为 nC_{11} - nC_{33} , 其中低碳数正构烷烃的百分含量相对较高, 主峰碳多为 nC_{16} , 并呈现偶数碳优势。绝大多数样品中脂肪酸的含量呈现出饱和脂肪酸>单不饱和脂肪酸>支链脂肪酸>多不饱和脂肪酸的特征, 其碳数主要分布在 $C_{9:0}$ - $C_{28:0}$ 。 $C_{16:0}$ 是最主要的饱和脂肪酸; 单不饱和脂肪酸则以藻类和细菌来源的 $C_{18:1\omega9}$ 为主, 其含量可高达总脂肪酸含量的 37%, 明显高于正常海洋环境中单不饱和脂肪酸的相对含量; 部分样品中还检测到可能与硫酸化菌相关的 $C_{18:1\omega7}$ 和 $C_{16:1\omega7}$, 与硫酸盐还原菌等厌氧细菌相关的 $isoC_{15:0}$ 、 $anteisoC_{15:0}$ 、 $isoC_{17:0}$ 、 $anteisoC_{17:0}$ 等支链脂肪酸。

正构烷烃和脂肪酸的 L/H 比值均远远大于 1, 揭示研究区有机质以海洋有机质来源为主, 陆源输入的贡献非常小。但是, ΣTFA 与 TOC 之间则呈现出一定的负相关性, 明显有别于正常海洋沉积物中呈现出的 TOC 与 ΣTFA 之间具有弱正相关性的特征, 并以低的 TOC 含量和相对较高的 $\Sigma TFA/TOC$ 比值为特征, 尤其是在 TOC 含量较低、富含蛋白石和水羟锰矿以及二线水铁矿等低温热液矿化产物的样品中, ΣTFA 的含量较高, 揭示研究区可能存在较高的原位化能合成生物生产力的贡献。此外, 在富含金属硫化物的样品中, TOC 含量相对较高而 ΣTFA 的含量却较低, 并检测出细菌来源的藿烷和藿烯, $Pr/Ph>1$, UCM 在高碳数范围内出现, 揭示样品中的有机质可能受到了热液蚀变作用的影响。

S8-P-38

EPR 9-10°N L 喷口黑烟囱体硬石膏锶同位素和稀土元素地球化学特征

姚会强^{1,3*}, 周怀阳^{2,3}, 彭晓彤^{2,3}

1 广州海洋地质调查局 广州 510760

2 同济大学海洋地质国家重点实验室 上海 200092

3 中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640

*hqyao@163.com

硬石膏是海底热液矿床中的一个特殊的矿物, 在对海底热液系统的研究中, 倍受研究者的关注。相关研究表明, 硬石膏不仅仅在构建海底热液矿床或者矿化点过程中发挥着重要的作用, 同时硬石膏壁的形成还为热液黑烟囱体生长提供必要的条件。本文对东太平洋隆 9-10°N L 喷口黑烟囱体上垂直于热液流体通道的横截面进行高分辨率采样 (直径不足 10 cm)。采样线穿过三个热液流体通道, 共 16 个采样点, 分别挑选硬石膏单矿物, 用于分析其锶同位素组成和稀土元素地球化学特征。

锶同位素分析结果表明：（1）锶同位素组成在 0.70551—0.70761 之间（均值 0.70669）变化，落在玄武岩的 0.70258 与海水的 0.70916 之间，证实了硬石膏是热液流体与海水混合的产物，这与对海底 TAG 岩丘、Grimsey 热液场、ODP 504B 钻孔及古代热液矿床（日本的 Kuroko 块状硫化物-硫酸盐矿床）的研究结果相一致；（2）在横截面上，锶同位素组成与位置不存在明显的关系，说明在黑烟囱体形成过程中热液流体与海水混合是一个复杂的过程，尤其是具有多个热液流体通道复合烟囱体（如本次研究样品，具有三个热液流体通道）。

稀土元素分析结果表明：（1）硬石膏总稀土含量在 1.7~5.9 ppm 之间变化，平均值为 3.4 ppm，要略小于 TAG 硬石膏的平均值 4.8 ppm。经过球粒陨石标准化之后的稀土元素配分模式均具有 LREE 富集和正 Eu 异常的特征。轻重稀土比在 4.6~5.9 之间变化（均值为 5.4），LaN/YbN 值在 7.2~16.5 之间变化（均值为 11.0）。该模式与 TAG 岩丘表层及内部硬石膏稀土元素配分模式相同，但是与 Pacmanus 热液场海底之下硬石膏却存在明显的不同。对比不同热液系统硬石膏稀土配分模式可以发现，本次研究硬石膏的配分模式与 TAG 热液系统硬石膏 REE 模式相同，而与 Pacmaus 海底热液系统及陆地 Kuroko 热液成因矿床硬石膏稀土配分模式存在明显的不同。Humphris and Bach(2005)指出 TAG 硬石膏中一致的 REE 模式主要受到 Cl⁻和 OH⁻络合物的控制，其中以 Cl⁻的络合物为主；而 Pacmanus 硬石膏高度变化的 REE 模式主要受到 REE 与岩浆挥发性组分络合的影响，如 F 和 SO₂。因此我们认为形成本次硬石膏 REE 的行为可能同 TAG 一样，主要受到络合作用的影响。（2）经过端元热液稀土标准化之后的硬石膏稀土配分模式具有负 Eu 异常，LREE 亏损和 HREE 富集的特征。这是由于在高温、低 pH 的热液流体中，稀土元素通常与 Cl⁻离子络合，并且在恒定压力下，这些络合物的稳定性也随着温度增加而增加。此外，LREE 与 HREE 相比，在温度和压力均恒定的情况下，LREE 络合物要比

HREE 络合物更加稳定，这就引起 LREE 与 HREE 发生分馏。对 Eu 而言，尽管 Eu²⁺和 Ca²⁺之间价态的匹配，但是 Eu²⁺的离子半径要大于 Ca²⁺的离子半径且热液流体中 Eu²⁺与 Cl⁻的强烈络合，以致随着硬石膏的沉淀，混合流体中的 REE 含量减小，而正 Eu 异常和 LaN/YbN 却存在增大的趋势。

在过去的研究中，硬石膏锶同位素组成通常用于计算端元热液流体与海水的混合比例。然而对海底热液系统热液流体的研究表明，热液流体组成不是稳定不变的，而是变化的，如受到火山活动及构造活动的影响。如 Von Damm 等人在 EPR 区域 F 喷口观察到热液流体从蒸汽相到卤水相的转化。因此，对一个喷口而言，由于端元热液流体组成的变化，无疑在利用锶同位素组成计算各自比例的时候要特别小心。基于以上原因，在端元热液流体未知的情况下，本文没能按照通常的作法，计算各个端元的比例。然而值得肯定的是：硬石膏锶同位素组成在很大程度上仍代表了热液流体与海水的混合比例。将锶同位素组成与总 REE 含量进行对比，可以发现两者之间存在负相关关系：随着海水在混合流体中的比例增大，总 REE 含量减小。因此，硬石膏中 REE 含量主要受到热液流体与海水混合比例的影响。

通过对 L 喷口热液黑烟囱体硬石膏的研究，形成如下认识：（1）热液黑烟囱体硬石膏是热液流体与海水混合的产物；（2）热液流体与海水的混合程度是控制硬石膏稀土含量的主要因素；（3）球粒陨石标准化之后的，硬石膏稀土配分模式具有一致的模式：LREE 富集和正 Eu 异常，而端元热液流体标准化之后的稀土配分模式具有 HREE 富集和负 Eu 异常的特

S8-P-39

洋中脊构造应力场精细分析 及其对海底块状硫化物矿床 调查的意义

於文辉^{1*}，陶春辉²，曲赞¹，张世晖¹，周建平²，方东东¹

1 中国地质大学(武汉)

2 国家海洋局第二海洋研究所

*wenhuiy59@163.com

洋中脊环境是目前世界海底发现热水活动和金属硫化物矿床最多和最重要的环境,也是我国大洋资源调查主要目标。因洋中脊区海水深度大,给使用现有地球物理勘探方法调查带来困难。海洋磁测是海洋矿床地球物理调查的主要技术手段之一。大洋海底磁异常条带序列是研究海底板块扩张速度和洋中脊断裂分布的重要途径。海洋磁力仪已经由质子磁力仪发展到光泵磁力仪,测量方式已经发展到梯度测量和多分量测量, GPS 技术的发展也大大提高了海洋磁测定位和测量精度。采用高精度海洋磁测方法虽然有助于提高火成岩侵入体、泥底辟构造、多金属矿床等特殊地质体的辨别能力,由于特殊的海洋调查环境,使勘探成本极其高昂。针对洋中脊块状硫化物矿床成矿因素,探索适合海洋特点、简单易行、低成本勘探方法是我们近年来的主要研究内容。

大规模多金属硫矿的远景区是赋存在沿洋中脊隆起带的轴部以及延伸性的火山弧地区,断裂深谷发育,火山运动强烈,有大量岩浆溢出,深水高温热液作用明显。这些特征说明海底热液活动区与现代构造活动有关,热液活动与岩浆作用以及浅层岩浆房密切相关。在太平洋和大西洋地区,大规模的硫化矿石聚集在洋中脊的平缓部位,多金属硫化物矿石与平缓中脊及隆起区轴部的岩浆体有关系,并受到断裂控制。用于研究热液活动区浅地壳结构的多道地震反射剖面显示,热液活动区下方的低速异常体可能是浅地层岩浆房或者温度较高的岩浆侵入体。热液活动区下方地震活动频繁,大量的断裂和构造裂隙成为热液活动的通道。对扩张洋脊的长度、扩张速率和已经发现的现代海底热液活动区的数目统计,发现现代海底热液活动和洋脊扩张之间存在一定的联系。洋脊的扩张速率越高,其上发育的热液活动区的数目就越多。前人研究说明海底热液硫化物矿床主要受构造活动控制,构造活动及模式是其成矿的主

要因素,那么,利用洋中脊构造应力场精细分析,根据大比例尺构造应力场的精细分析,并与海底地形相结合,不同地区的洋中脊扩张应力场特点,以及断裂特征和火山口的分布规律,可以预测不同洋脊上现代海底热液活动区的数量,推断尚未发现的热液活动区与硫化物矿床。

S8-P-40

南海西北部莺歌海盆地泥底辟热流体活动与天然气运聚关系

何家雄^{1*}, 祝有海², 陈胜红³, 翁荣南⁴, 龚晓峰¹

1 中国科学院边缘海地质重点实验室, 广东广州 510640;

2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3 中海石油有限公司深圳分公司研究院, 广东广州 510240;

4 台湾中国石油股份有限公司探采事业部, 台北 11010

*hejx@gig.ac.cn

莺歌海盆地属南海北部被动大陆边缘西北部的新生代高热含油气盆地,其是在红河断裂带大规模走滑运动与地幔岩石圈大幅度伸展减薄之双重作用机制下形成的非常特殊的走滑拉分型盆地,经历了早期渐新世的左旋走滑运动向晚期上新世右旋走滑活动转变等复杂的成盆演化过程。快速沉降和高速沉积的区域地质充填背景、莫霍面埋藏浅地壳薄、高温超压巨厚海相坳陷沉积体系、泥底辟热流体上侵活动频繁、下断上拗以拗为主的双层盆地结构、天然气及 CO₂ 资源丰富(尤其是壳源型非生物 CO₂ 丰富),是该盆地最主要、最具特色、最突出的构造地质及油气地质特征与油气资源分布特点。研究表明,该区高地温场及高大地热流与异常超压,均主要集中于盆地中部莺歌海拗陷泥底辟构造带,且与泥底辟发育演化及烃类气和非烃气形成乃至分布富集等密切相关。目前该区油

气勘探发现的大量烃类气及非烃气气藏亦主要展布于泥底辟带浅层,且受控于泥底辟发育演化及热流体上侵活动,亦即泥底辟热流体活动控制了该区天然气及CO₂运聚成藏及分布富集规律。同时,由于泥底辟热流体活动具有分区分块与分层的局部性侵入特点,故导致了壳源型非生物CO₂及烃类气运聚成藏的差异性以及分区分块与分层的局部性富集特征。总之,泥底辟热流体上侵活动严格控制了天然气及CO₂运聚系统及成藏动力学过程。因此,根据泥底辟发育演化特点与CO₂及烃类气地质地化特征和运聚成藏规律与控制因素的深入剖析,可以分析预测其运聚规律,为油气勘探部署及钻探目标优选提供决策依据。

须强调指出的是,泥底辟热流体上侵活动不仅促进了烃类气生成和非烃气的形成,且控制了其运聚成藏与富集规律,进而导致这种“泥底辟类型”的烃类气及非烃气资源非常丰富。总之,通过莺歌海盆地泥底辟发育演化及伴生热流体上侵活动与天然气运聚关系的深入分析研究,可以总结概括出如下几点结论与认识:

(1)异常发育的泥底辟是揭示深部地壳构造运动及盆地发育演化的窗口,亦是指示存在油气资源潜力的重要标志和证据;

(2)泥底辟的泥源层均为中新世及上新世海相坳陷沉积的巨厚欠压实泥页岩,本身即为烃源岩,其发育演化及成熟生烃和成气作用与油气生运聚成藏过程密切相关;

(3)泥底辟形成过程中发生的强烈底辟作用及侵入上拱活动,为油气及其它流体运移和渗漏开辟了高速运聚通道,亦即提供了油气源供给的运聚通道等有利条件,而当与其它油气成藏地质条件良好配置时,则在其附近即可形成油气藏以及非常规资源——“他源渗漏型”天然气水合物。

(4)泥底辟发育演化所孕育的高温高压潜能不仅是油气及其它流体运聚的驱动力,而且亦提供了促进和加速烃源岩成熟生烃演化和气源岩形成非烃气的热动力学条件,进而导致了大量油气及非烃气的形成;

(5)泥底辟发育演化形成的隆起或凸起构造带及其伴生构造,是油气运聚及富集成藏的最佳圈闭聚集场所,因此,这种泥底辟隆起(凸起)构造带及其伴生局部构造圈闭,是油气运聚成藏的“近水楼台”之最佳富集场所,应是重要的油气勘探目标。

S8-P-41

西南印度洋中脊(SWIR)超慢速扩张区参与铁循环微生物的研究

姜丽晶^{1*}, 于丽波¹, 秦丹¹, 朱建明²

1 国家海洋局第三海洋研究所海洋生物遗传资源重点实验室

2 中国科学院地球化学研究所

*jianglijing_0@163.com

近年来,深海热液环境中矿物与微生物相互作用研究一直是洋中脊无机环境和有机生命相互作用研究领域的重要内容。目前研究已发现在海底热液系统,特别是喷口环境中,微生物参与的矿化活动,含铁质沉淀是非常普遍的。大量的形态学方面(SEM、TEM等)证据表明在深海环境中参与铁循环微生物的广泛存在,但却一直缺乏系统的微生物学方面的证据。本研究选取西南印度洋中脊(SWIR)超慢速扩张区热液环境为研究对象。采用2008年12月“大洋一号”船DY15-20航次在该区域成功获得的大量热液喷口环境样品。选取22个样品(含有大量红棕色铁氧化物)分别进行了铁氧化,铁还原细菌的分离培养。目前,通过分离纯化,获得一株纯培养物 Strain 20V17,细菌16S rRNA序列BLAST比对,该培养物与Rhodobacter azotoformans有最高的同源性,为95.67%。系统进化分析表明菌株 Strain 20V17可能属于Rhodobacteraceae科中的一个新属,对其理化性质进行初步研究发现,该菌严格好氧,化能异养,最适培养温度为30℃,活细胞光吸收谱检测证明该菌为非光合细菌。目前对该菌的其他理化特性正在研

究中。此外,采用细菌 16S rRNA 基因引物对该位点环境样品微生物进行了多样性分析。通过构建克隆文库,随机挑选 111 的克隆子测序,分析结果表明该文库覆盖率为 72%,细菌多样性非常丰富。系统进化分析表明在该环境中 Proteobacteria 是优势类群,约占整个克隆文库的 82.88%,其中 delta-protobacteria 占 49.55%, gamma-protobacteria 占 16.22%, epsilon-protobacteria 占 12.61%, alpha-protobacteria 占 4.5%。大部分序列与不可培养的环境序列有最高的同源性,在 91%-98%之间。这些环境序列主要是来自劳盆地低温热液含铁氧化物沉积区,铁氧化物结核区,海底火山铁氧化物菌席等。结合 T-RFLP 分析结果表明,分离的菌株 Strain 20V17 在该环境中的含量比较低(<0.1%)。同时,采用 XRD 分析对该样品进行矿物成分分析,发现其组成主要是磁黄铁矿。对于铁还原菌的分离培养,在 28℃下共有 10 个位点获得富集,在 60℃下有 5 个位点获得富集。目前正在采用滚管技术对这些富集产物进行分离纯化。

S8-P-42

深海热液成矿与生命起源

莫杰*

国土资源部青岛海洋地质研究所, 青岛 266071

*hdmoj@163.com

本文综述了自 20 世纪 60 年代以来,海洋科学调查研究发现海底热液活动。70 年代初—中期,美国科学家确认大西洋中脊有热液活动和东太平洋加拉帕戈斯断裂带发现海底喷溢口,特别是 1978 年美法“Cyana”号在 21° N 的东太平洋海隆首次发现热液硫化物——“黑烟囱”及奇异的生物群落。

海底现代成矿作用表明,在由海底扩张而产生的新洋壳同时,在洋中脊两侧一些断裂地带海底多金属硫化物矿床也随之形成。此后,各国的调查研究成果证明,此类矿床在国际矿物学界属最新研究领域,在成矿理

论、矿床类型、资源潜力和开发利用上都具有重要的科学意义和商业开采价值。

本文概述了海底热活动及黑烟囱的发现、分布及类型;世界主要海域热液硫化物的金属含量;迄今全球海底已发现的热液活动及硫化物矿点;中国在三大洋底调查的发现和研究成果;热液成矿过程与深海极端环境的生物群落;探索生命起源的“地下生物圈”假说。

S8-P-43

白云坳陷海底滑坡内部沉积亚相的时空配置

郭依群*, 吴庐山, 梁劲

广州海洋地质调查局, 广州, 510760)

*guo1180@163.com

白云凹陷是珠江口盆地沉降和沉积中心,沉积厚度巨大,经历了断陷、断坳和坳陷 3 个交替发育构造演化阶段,形成了三隆两坳的构造格局。区内重力流、底流侵蚀发育,峡谷纵横,水道复杂,地形急剧变化,坡度陡,具有重力负荷触发滑坡的地质条件。根据广州海洋地质调查局的高分辨率地震资料,在白云坳陷发现了大型海底滑坡。

地震资料显示白云坳陷的大型海底滑坡不是一次形成的,而是由多期滑塌共同叠置而成。通过地震资料的综合解释,认为海底滑坡沉积体可细分为三个亚相:斜坡上部的滑塌扇体,中部的滑塌块体和坡脚的滑塌前缘。滑塌扇在地震剖面上表现为中频、弱振幅,断续—杂乱反射,内部以杂乱反射结构为主,丘状外形;滑塌块体在地震剖面上表现为中—弱振幅反射,连续性好,以平行或波状反射结构为主,内部滑脱断层发育;滑塌前缘表现为中—高频、中振幅反射,连续性极好,内部以平行—波状反射结构为主,外形呈波状或丘状。

研究表明,海底滑坡与天然气水合物成矿具有密切的关系。在白云坳陷海底滑坡内部也发现了大量水合物存在的证据—BSR,

但在滑塌体内部的分布是不均匀的。从地震反射剖面来看,BSR 下部滑塌扇沉积,上部为滑塌块体沉积,BSR 主要发育于滑塌块体和滑塌扇的结合部位,正好是二类亚相的分界面。根据地震速度分析:滑塌扇的含砂率和孔隙度相对于滑塌块体要高。当气体向上运移时,在二类亚相叠至处就会产生“瓶颈”效应,致使气体在接触面附近(即 BSR 处)大量聚集,当气体通量达到一定值,在合适的温压条件下即可形成水合物。

S8-P-44

南海北部陆坡晚中新世以来的沉积与水合物成藏

陈芳^{1*}, 苏新², 陆红锋¹, 周洋¹

1 广州海洋地质调查局

2 中国地质大学(北京)

*zhchenfang66@21cn.com

对广州海洋地质调查局近 10 年来在南海北部陆坡开展水合物调查和水合物钻探期间所获取的一系列重力活塞柱状样和钻孔样沉积物进行地层学、矿物学、沉积学等研究,旨在探讨有利于水合物成藏的沉积条件。样品分析项目涉及全样涂片、碎屑矿物鉴定、微体古生物鉴定、粒度分析、粘土矿物分析、碳酸钙测定、有机碳测定、沉积物全岩 X 射线衍射成分分析、沉积物物性(孔隙率、密度)测定和沉积物全岩碳氧同位素测试、有孔虫碳氧同位素测试和 AMS14C 测年等。弄清了南海北部陆坡区晚中新世以来的沉积物岩性、组分和沉积特征等。识别出末次冰期以来若干个沉积速率高值区、含砂量高值区、陆源物质含量高值区和异常沉积堆积体,发现其与 BSR 区有较好的对应关系。获取水合物的神狐钻探区同时为沉积速率高值区、含砂量高值区、黄铁矿含量异常区和异常沉积堆积体,说明它们更有利于水合物成藏。

对神狐水合物钻探区钻孔尤其是含水合物层沉积物进行重点研究,探讨岩性和组分与水合物成藏的关系。发现水合物赋存在上

中新统一上新统未固结的含有孔虫和超微化石的粘土质粉砂和粉砂中,该沉积物是晚中新世一早上新世海平面下降和上升初期的产物,较其上覆的沉积物要粗,以陆源物质为主。该海域晚中新世以来的沉积作用主要受海平面升降的影响。含水合物层中有孔虫颗粒的增加与水合物饱和度的增大同步。相对实心的陆源碎屑矿物而言,有孔虫独特的壳体结构为水合物的形成提供更多的孔隙空间。推测该海域水合物的产状(分散状)与组分中的有孔虫有关,水合物可能主要形成于有孔虫壳体本身的孔隙中。此外,还开展南海与布莱克海台两海域含水合物层沉积速率等的对比研究。

S8-P-45

深部含咸水地层:一种极具潜力的新资源

周蒂*, 孙珍

中国科学院南海海洋研究所边缘海地质开放室

*zhoudiscs@scsio.ac.cn

本文呼吁大家重视深部含咸水地层的研究,因为它是由应对全球气候变化的迫切需求而产生的一种新型资源,在海域尤其潜力巨大。

目前应对全球气候变化的措施可归纳为四类:节能增效、低碳能源、植被碳汇、CO₂ 捕集和封存。CO₂ 捕集和封存(CO₂ Capture and Storage, 简称 CCS)指将排放的 CO₂ 捕集起来并封存到与大气隔绝,封存中重要的是地质封存,即将 CO₂ 深埋到地层中去。

深部含咸水地层(简称咸水层,即 saline formation)指在~800 m 以下深部、孔隙水盐度>1000 ppm 的地层,当它具有良好的物性(高孔隙度、渗透率、封闭性等)和一定规模时,可作为 CO₂ 的永久(数千年)封存地。

国外的模拟研究表明,为了控制大气中温室气体浓度,需要各种 CO₂ 减排措施共同作用,其中 CCS 的贡献率随时间而增大,可达 17~25%。特别重要的是,CCS 是唯一能

在继续使用化石能源的同时也实现 CO₂ 减排的唯一技术；而全球（包括中国）在今后相当长时期内仍不能改变以化石能源为主的状况。

目前实施 CCS 的最大挑战是其捕集时的高成本和高能耗，需要通过技术更新来改进，同时通过对捕集的 CO₂ 进行再利用（CCUS），如向油气田注入 CO₂ 来提高采收率（即 CO₂-EOR），也能部分抵消其成本甚至实现盈利。

我国已启动了 973、863 等项目、并参加多项国际合作项目对 CCS 进行研究，工业界也采取了积极参与的态度，但总的来说社会的关注和参与度还有待提高。

本文将简要介绍国内 CCS 的研发进展，以及对我国近海沉积盆地 CO₂ 封存潜力研究和封存资源保护的一些建议。

S9-O-1

Distributed network of environmental monitoring in the South China Sea and its technical outline

Dongxiao Wang*, Rongyu Chen, Weiwen Wang, Huabin Mao

Key Laboratory of Tropical Marine Environmental Dynamics, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academic of Sciences, Guangzhou 510301

*dxwang@scsio.ac.cn

From observation to prediction in the 21st century is the main theme of the 2010 Ocean Science Meeting. Since 2006, the Northern South China Sea Open Cruise (NSCSOC) was set up firstly by the South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academic of Science to assemble the advantage of multiple institutes' collaboration, strengthen the accumulation of long-term in situ data over the repeated transects at the research domain, and promote the long-term observed research of

marine environment changes and its' ecological effect of the Northern South China Sea (NSCS) dynamic processes. For example, the vertical fine structure with the salinity front of Pear River plume is derived by a newly-developed towed method, i.e. moving vessel profiler (MVP). From these cruises, we survey the spatial distribution of marine Atmospheric Boundary Layer (ABL) in the NSCS by four times per day GPS soundings. The observations also indicate some typical physical processes in the NSCS, such as the characteristics of water mass, the structure of seasonal thermocline, the formation of the barrier layer, are largely influenced by some other physical phenomena, some of them include the mass exchange between the northwestern Pacific and SCS by Luzon Strait (by the integrated subsurface moorings), the topography wind around the basin (by in situ, ship-borne Automatic Weather Station, and remote sensing tools), Pearl River discharge and precipitation. In addition, the local array consisted of marine meteorological mooring, subsurface mooring and island monitoring was developed in the northwestern SCS since 2008. In general, the distributed network of environmental monitoring in the South China Sea open up a new situation to shared oceanographic observation in this domain.

S9-O-2

地震海洋学——深海研究的前沿科学与技术

宋海斌^{1*}, 董崇志^{1,2}, 黄兴辉^{1,2}, 拜阳^{1,2}

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 中国科学院油气资源研究重点实验室

2 中国科学院研究生院

*hbsong@mail.iggcas.ac.cn

海洋反射地震通常用于调查、研究海底地质构造,勘探油气与天然气水合物资源。近期研究表明多道反射地震方法也可以对水柱的热盐细结构成像。中尺度涡与内波是重要的物理海洋现象,但是常规的物理海洋调查是在间隔几公里的离散测站上进行的,横向分辨率较低,因此对中尺度涡的结构与内波的横向分布了解较差。本文利用在大西洋东部、南海采集的地震数据给出了低频反射地震可以对中尺度涡与内波清晰成像的新的证据。此外,本文介绍国际上地震海洋学的迅猛发展的现状以及我们在地震海洋学研究方面的其他成果。这些研究表明:反射地震方法较传统海洋观测手段,具有明显的优势,主要体现在高的水平分辨率和短时间内对整个海水剖面进行成像。从地震剖面上,能够清楚地观测到中尺度涡、内波造成的反射特征变化,有助于改进我们对海洋能量在不同尺度传递过程的认识。地震海洋学正在成为深海研究的一项重要的高新技术,正作为一门新兴的交叉学科(地震学与物理海洋学科的交叉学科)在海洋科学领域中兴起。地震海洋学也将提供海量的海洋数据用于海洋学研究。

S9-O-3

海洋生物地球化学原位探测技术研究进展

杨群慧*, 周怀阳, 王虎, 季福武

同济大学海洋地质国家重点实验室

*yangqh@tongji.edu.cn

海洋中发生的生物地球化学过程是极其复杂的,除了由风暴、潮汐等物理事件驱动的生物地球化学过程外,研究者更为关注的生物地球化学过程是光合作用和化能合成作用产生的初级生产力过程和利用氧气和选择性电子受体(NO_3^- , MnO_2 , FeOOH , SO_4^{2-})产生的次级生产力过程。海洋生物地球化学过程具有时空多变性,尤其是在热液和冷泉发育的极端环境区,物质具有较陡的时空变

化梯度。已有研究表明,传统的采样后在船上或者岸上实验室进行分析测试的方法难以真实完整地揭示生物地球化学过程的本质特征。

1961 年原位盐度计的应用开创了海洋学研究的现代纪元,其后海洋生物地球化学原位探测技术得到迅猛发展。原位探测技术的应用可有效避免环境变化对样品分析和储存的影响,可实现数月 to 数年的连续观测,为深入认识海洋生物地球化学过程提供了新的视野和研究手段。当前海洋生物地球化学原位探测技术主要有:(1)以电化学传感器为主的微电极技术,这一技术迄今已得到了广泛应用,如 Clark 溶解氧电极、玻璃 pH 电极、电导率盐度计、 H_2S 传感器等;(2)光纤化学传感器技术,如溶解氧光纤传感器、pH 光纤传感器和 CO_2 光纤传感器,与微电极技术相比,光纤化学传感器具有使用寿命较长、易操作、耐腐蚀等优点;(3)化学分析仪器技术,近十年来开始发展,基于光学原理的水下化学分析仪主要有水下紫外分光光度计、红外光谱仪和 Raman 光谱仪,此外得到较好运用的还有水下质谱仪、流动注射分析仪等;(4)水下实验室技术,使实验室中运用的生物地球化学研究方法和实验仪器实现水下化,是当前海洋生物地球化学原位探测技术发展的新趋势,应用较为成熟的有环境样品处理器技术(ESP 技术)。如何有效提高传感器和化学分析仪的检测限?如何有效实现多种化学物质的同时检测?如何在极端环境下有效提高传感器和化学分析仪的响应时间?如何有效降低传感器和化学分析仪的能耗?如何有效提高传感器和化学分析仪的环境适应性?是当前海洋生物地球化学原位探测技术发展面临的问题。而微电子机械系统(MEMS)技术和纳米材料技术的发展及其在化学分析测量领域的应用,将照亮海洋生物地球化学原位探测技术的未来发展之路。

S9-O-4

海水温盐结构反演的地震海洋学研究

董崇志^{1,2}, 宋海斌^{1*}, 黄兴辉^{1,2}, 拜阳^{1,2}

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 中国科学院
油气资源研究重点实验室

2 中国科学院研究生院

*hbsong@mail.igcas.ac.cn

地震海洋学是一门地球物理学和物理海洋学的新兴交叉学科, 他利用传统的反射地震方法研究海水的温盐细结构和与之相关的海洋动力学过程. 地震海洋学突破了传统测量方法在时空分辨率上的限制, 有可能成为破解海水内部细结构的强有力的可视化工具. 深入开展揭示海水层温盐结构的反射地震技术研究, 对拓宽海洋地球物理与反射地震学研究领域, 以及发展地震海洋学新学科, 具有重要的研究意义.

正确认识海水物性参数对反射系数的相对贡献, 是解释地震剖面所表征的海洋学现象以及利用反射波振幅定量提取海水物性参数的基础. “Sharon”剖面的计算结果显示速度、密度差异(温度、盐度差异)的相对贡献平均值约为 91%、9% (82%、18%), 并且盐度差异的贡献在剖面局部区域不能忽视. 南海东北部 CTD 资料计算显示, 浅层海水的相对贡献平均值还受到季节变化的影响. 对于非法向入射的情况, 速度和温度差异(密度和盐度差异)的相对贡献绝对值随着入射角的增加而增大(减小).

在分析海水层 AVO 特性的基础上, 发现两种海水双扩散边界类型(盐指和对流扩散)在反射系数随入射角变化趋势上存在不同, 为区分和识别两种边界增添了新的证据. 建立了基于 AVO 技术的水层物性差异探测技术, 并且在考虑动校正拉伸对反射波振幅的影响下, 首次对南海东北部海水的物性差异进行了 AVO 反演. 结果发现水深 244m、434m 和 510m 的水层存在着-1.29℃、-2.18℃和-3.42℃的温度差异.

提出整合直达波和反射波走时信息以及历史温盐深资料的初始速度模型构建方法.

与建立的共轭梯度方法的 1D 全波形反演技术相结合, 有效地减小了全局反演的计算成本. 对南海东北部地震资料进行反演获得了 3 个 CMP 位置海水层的 1D 速度结构.

2D 温盐结构反演对定量研究海洋的动力学过程具有重要意义. 我们提出和建立了基于叠前叠后地震资料混合反演方法的海水 2D 温盐结构探测技术, 解决了大量历史遗留地震资料缺少同时调查的温盐深资料进行约束的问题, 且较易在实际地震资料中实现. 结合海区的历史温盐关系, 对南海东北部一段地震剖面进行反演得到了海水的 2D 温盐剖面, 为进一步研究海水混合和内波破碎等重要的物理海洋学过程奠定了基础.

S9-O-5

海床面蚀积过程原位实时监测系统

贾永刚^{1,2*}, 刘晓磊², 夏欣², 郭磊², 郑杰文², 李红磊²

1 教育部海洋环境与生态重点实验室

2 中国海洋大学环境岩土工程研究所

*yonggang@ouc.edu.cn

海床侵蚀淤积过程的原位实时监测具有重要的科学意义与实际应用价值, 目前缺乏有效的监测手段. 在国家 863 项目的资助下, 我们研制了一套基于电阻率测量的贯入式海床侵蚀淤积动态过程原位实时监测系统, 同步实现了海水泥沙浓度、海水—沉积物界面位置、沉积物物理性质指标的动态变化过程的实时自动监测.

由于空气、海水、沉积物的电阻率差异显著, 通过对探杆电极环间电导率的实时采集, 可以实时监测海水面与海床界面位置的动态变化. 整个系统包括电导率探杆、主控部分、监测数据自动远程传输, 及上位机数据处理软件. 探杆直径为 7 cm, 表面均布 200 个电极环, 电极环间距 5 mm; 主控部分采样频率为 64 次/s, 采样间隔为 8 s; 监测数据通过 GPRS 传输至远程服务器, 也可以自容存

储, 定期读取; 被授权用户可随时登陆服务器, 查询数据与分析结果。当监测数据超出预警值时, 系统将会自动向用户发送手机短讯进行报警。上位机数据处理软件系统包括参数设置模块、数据处理模块和曲线拟合分析模块。整个系统采用分级电极开关转换结构控制, 体积小, 静态电阻率测试精度达到 $0.012 \Omega \cdot m$ 。

该系统已成功在青岛海滨及黄河口地区测试应用, 系统运行良好, 目前可应用于河口海岸地区的海床蚀积过程原位监测。下一步将把该套系统改进后, 应用于较深水域的海底面变化自动实时原位监测。

S9-P-1S

南海东北部海洋内波的反射地震研究

拜阳^{1,2}, 董崇志^{1,2}, 宋海斌^{1*}, 宋洋^{1,2}

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 中国科学院油气资源研究重点实验室

2 中国科学院研究生院

*hbsong@mail.iggcas.ac.cn

南海东北部具有复杂的地形和潮流分布, 内波非常发育, 被国际公认为优良的自然内波试验场。本文利用反射地震的方法对南海东北部内波的空间结构进行了成像, 通过地震剖面提取内波的垂直位移的基础上, 估算了内波的水平波数谱。结果显示, 南海东北部内波的水平波数谱总体上与 GK91 模型一致。通过对比不同海域的内波谱发现, 内波能级受到海底深度以及粗糙程度的影响。除了水平波数谱, 我们还可以利用反射地震方法对内波的垂直波数谱进行估计, 结果表明, 在某些波数段南海东北部内波的能量可达 GK91 模型的 10 倍。

为了进一步研究内波的形态特征, 我们利用经验模态分解 (EMD) 方法对南海东北部内波的垂直位移分布数据进行了分解, 获得了一些有新意的结果。分解结果表明, 南海东北部海盆上方区域的内波包含波长约

1.2、2.5、4、12.5 km 的组成成分, 其中波长约 1.2、2.5 km 的内波在 200~1050 m 的深度范围内上、下各层的波动基本耦合; 波长约 4 km 与 12.5 km 的内波以 600~700 m 的水层为分界, 其上、下部分的内波相位差 90° , 指示低波数内波能量的斜向传播。

综上所述, 利用反射地震方法研究海水内波的结构及特征有着良好的应用前景, 为我们进一步研究内波的产生、分布和耗散机制提供了新的途径。

S9-P-2S

南海涡旋的地震海洋学初探

黄兴辉^{1,2}, 宋海斌^{1*}, 董崇志^{1,2}, 拜阳^{1,2}

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 中国科学院油气资源研究重点实验室

2 中国科学院研究生院

*hbsong@mail.iggcas.ac.cn

中尺度涡是重要的物理海洋现象, 对它的观测有助于理解海水混合、能量传输等海洋学过程。由于传统的物理海洋学观测手段横向分辨率较低、观测时间间隔较大, 因此, 很难得到涡旋同一时刻的剖面。地震海洋学弥补了以上不足, 使短时间内对整个海洋剖面成像成为可能。通过对南海地震数据的重新处理, 我们首次在地震剖面上清晰地观测到了南海涡旋的一部分, 为进一步研究提供了基础。地震剖面上的透镜状结构位于南海西南次海盆的上方, 中心深度约 600 ms, 视厚度约 450 ms。该区域是南海中尺度涡旋频发区。

迄今为止, 地震海洋学研究很少注意到海水中的反射同相轴与地层中的反射同相轴不同, 表现在它的位置是随时间变化的, 并且其变化速率与观测速率在一个数量级上, 因此, 对观测结果造成的影响不能忽略。模型的正演地震数据表明: 海水反射体的移动对反射地震记录同相轴造成的影响具体表现为: 当船与反射体同向运动的时候, 观测到的反射体同相轴的波数较真实值变小, 反之则变大。数值试验还表明, 相对运动不仅可

以改变同相轴的波数，还会造成同相轴形状畸变。如果在地震资料处理的过程中忽略这种影响，会给处理结果带来很大的误差。反之，如果在数据处理的过程中考虑到了这种影响，利用特定的处理手段还可以从中获取海洋内波移动的相速度。地震数据常规处理中的叠加操作假定 CMP 道集和 CDP 道集是等价的，但是，海水同相轴的运动导致它们不等价，这是造成观测同相轴变化的主要原因。因此，理论上利用叠前地震数据计算海水反射同相轴运动的速度是可行的，这将对物理海洋学的研究产生深远的影响。利用地震资料计算海水内波移动的相速度是地震海洋学发展的一个很重要的方向。

S9-P-3

光释光测年技术在第四纪海洋沉积物研究领域的应用

李波^{1*}，李盛华¹，姜涛^{2,3}

1 香港大学地球科学系，香港

2 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

3 中国地质大学（武汉）资源学院，武汉 430074
*boli@hku.hk

光释光技术可准确测量沉积物中的矿物颗粒至最后一次见光以来的埋藏年龄。由于光释光测年技术可揭示沉积物的沉积历史及其与全球气候变化关系的研究，该测年方法在将来的海岸演化、气候变化及海平面变化相关的全球性问题研究中具有广阔的发展前景。近年来，光释光测年技术在第四纪年代学领域的获得了飞速发展，该技术已经广泛应用于各类陆相沉积物以及滨海相沉积物的测年研究，并取得了丰硕的研究成果。随着该技术在海岸变化以及第四纪古气候古环境研究领域不断渗透和发展，国外学者已经开始将该技术应用到海洋沉积物测年研究领域。本文以对 IODP316 航次钻探所获取的岩芯进行光释光测年为例，介绍了光释光技术的基本原理以及近年来该技术在海洋沉积物

测年研究领域的进展和应用前景。结果显示光释光测年技术可以成功应用在第四纪海洋沉积物测年领域。

S9-P-4S

Acoustic velocity measurements during methane hydrate formation in the sediment

Fengguang Li*, Qin Zhang, Guangjin Chen, Changyu Sun, Xuqiang Guo, Xiaoxiang Liu

The Faculty of Chemical Science and Engineering,
China University of Petroleum, Beijing 102249
*sdlfg@163.com

Natural gas hydrate is regarded as a potential energy resource in future for its enormous amounts of methane gas trapped in and under hydrates formed naturally in the sediments on continental margins and beneath shallow seas. There are experts that suggest that global hydrate store twice the carbon found in the fossil fuel reserves. The study of properties of hydrate-bearing sediment is a hot top recently for its huge energy value. The accurate estimate of the natural gas hydrate reserves is a rough approximation because estimating hydrate saturations in the natural environment required for lack of accurate seismic velocity data.

With the aim to further understand the acoustic properties of pore-filling hydrate sandy sediment, an experimental apparatus was set up to measure the P-wave velocity (V_p) of the sample containing gas hydrate, which was formed laboratory from brine (aqueous solution of 3.35wt% NaCl, 30% of pore volume) and free methane gas in 40-60 mesh sandy sediment and clay (10% of pore volume). V_p was recorded online during hydrate synthesis.

The variation of V_p is extremely remarkable with elapsed time and varies from 1295 m/s to 2496 m/s. We calculated the hydrate concentration to be 13.5% and 24.7% of the pore volume, respectively. The compressional wave velocity increases with the increase of hydrate concentration in the pore space and achieves a constant value. The amplitude of first wave signal has the same trend with V_p in the preceding period. Then it decreases apparently for the exist of free gas.

The distribution of gas hydrate has a great effect on elastic properties based on whether hydrate forms to be a load-bearing member of the sediment skeleton or cements sediment grains.

S9-P-5S

海底沉积物原位热导率测量 探头结构与数据处理方法

杨小秋^{1,2*}, 施小斌¹, 许鹤华¹

1 中国科学院边缘海地质重点实验室, 南海海洋研究

2 中国科学院研究生院

*yxq2081@scsio.ac.cn

为了寻求更适用于海底沉积物原位热导率测量的探针结构及数据处理方法。我们从海上实际作业的安全性、高效性及便捷性考虑, 设计了更合适于海底原位热流探测的微型探头, 制作了实验室样针, 对海底沉积物进行测试试验, 并基于有限元数值模型, 结合全局最优化算法, 对热导率进行数值反演研究。结果表明: (1) 所设计并制作的微型探头样针, 可用于深海沉积物样品热物性测试; (2) 验证了网格加密搜索法反演求解原位热导率的可行性、实用性及正确性, 从而摆脱了热传导方程解析解的局限性, 为海底热流探测技术达到一个更新、更高的技术层面奠定了坚实的理论基础; (3) 微型探头开

始脉冲加热后, 只需测量 100 s 的 T-t 数据, 就可满足沉积物热物性参数反演, 且其反演结果与 TK04 热导仪的测试结果的相对误差在 2.0% 以内。因此, 研制更适用于海底沉积物原位热导率探测的微型探头, 将有利于降低对沉积物的破坏、缩短海底探测时间、降低海上操作风险及提高热流探测效率, 同时可保证热导率的测量精度。

S9-P-6

东海近岸底边界层不同时间 尺度内的动力变化特征

张艳伟*, 许惠平, 范代读

同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

*ywzhang@tongji.edu.cn

利用东海海底观测网小衢山试验站获取的长期、高分辨率 ADCP 和 CTD 等水文、气象资料, 估算了不同时间尺度内的东海近岸底边界层拖曳系数、剪切应力以及沉积物输运速率, 分析了各物理量的日变化过程及大小潮周期变化规律。结果表明: (1) 底边界层拖曳系数 C_d 的变化范围是 $2.8e^{-3} \sim 3.6e^{-3}$, 小潮期间的平均值大于大潮期间的值, 受底边界层处的层结和剪切效应共同作用的影响, 当表征水体剪切是否稳定的参数 $Ri > 0.001$ 时, C_d 的值处于较大值且保持不变, 当 $Ri < 0.001$ 时, C_d 成指数减小;

(2) 底边界层应力和沉积物净通量 E 变化趋势一致, 也具有大小潮周期变化, 底边界层应力小时平均的结果范围是 $0.5 \sim 3.0 \text{ Nm}^{-2}$, 日平均结果范围是 $0.5 \sim 1.5 \text{ Nm}^{-2}$, 大潮期间的沉积物的平均输运速率 ($0.007 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) 比在小潮期间的平均输运速率 ($0.005 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) 增大 40%; (3) 底边界层拖曳系数, 底应力和沉积物输运速率具有显著的日变化过程, 在落潮过程中保持较大值, 在涨潮过程中先减小后增大; 而输运速率在落潮过程中, 先由低值增加到高值, 又降低到低值, 在涨潮过程中保持低值。本工作并讨论了强风条件

对不同潮汐过程中个物理量变化过程的影响。

Adam Klaus	34	Gordon D. Love	63
Akira Ishiwatari	75	Grzegorz Racki.....	37
Alex L. Sessions	63	Guan Jinan.....	137
Alexandre Ouellet	56	Guangjin Chen.....	164
Beier Christoph	89	Guangyi Wang.....	60
C. Colin	97	Guo Yiqun.....	140
Carlota Escutia Dotti	34	Haibin Wu	56
Cathy H Wu	69	Hailiang Dong.....	67
Changhui Peng	56	Harry H. Roberts.....	144
Changqian Ma.....	85	Henk Brinkhuis	34
Changyu Sun	164	Hirokuni Oda	30
Chao Li	63	Hongzhan Huang.....	69
Cheng, H.	88	Hua Li	37
Chengyuan Wang.....	37	Huabin Mao	160
Chiaki Kato	60	Huaichun Wu.....	30
Chi-Yue Huang.....	73	Hua-Ning Qiu.....	75
Christophe Colin	105, 106	Huiluo Cao.....	62
Chuanlun Zhang.....	70, 71	IODP 318 航次科学家团队	34
Chunming Dong	73	IODP Expedition 322 Shipboard Scientific Party.....	30
Daizhao Chen.....	37	IODP Expedition 324 Scientific Party	92
David A. Fike	63	Jan Bloemendal.....	13
Dong Feng.....	144	Jean-Baptiste Plouhinec.....	56
Dongxiao Wang.....	160	Jianguo Wang.....	37
Douglas H. Bartlett.....	60	Jiasong Fang	60
DuFrane S.A.	88	Ji-Dong Gu	62
Duofu Chen	144	Jizhong Zhou	58
E. Sathiamurthy	97	John Chiang.....	32
E. Seyfried	3	Jose Torrent.....	13
Edlic Sathiamurthy	106	Jr., N. Pester.....	3
Edward T. Peltzer.....	136	Jun-Ichi Kimura	75
Éric Duchemin.....	56	K. ding	3
F.P. Siringan	97	K.P. Le	97
Fengguang Li	164	Kai Tang	69, 72
François Guillot	85	Keith C. Hester	136
Frank Oldfield	13	Keni Zhang.....	139
George J. Moridis	139		

Kevin Pickering	30	Tsuyoshi Ishikawa	75
Li Xiangquan	105	Turner Simon	89
Li Zhang	60	Vervoort, J.D.	88
Li, Q.L.....	88	W. E. Seyfried.....	3
Liang Deqing.....	137	W.S. Hantoro.....	97
Ling Chen.....	85	Wahyoe S. Hantoro.....	106
Liping Wang.....	73	Wang Chengshan.....	38
Luba Jansa	38	Wang Xiujuan	140
Malcolm McCulloch.....	49	Wanpeng Wang.....	73
Marc Lucotte	56	Weiwen Wang	160
Mayumi Otsuki	75	William J. Kirkwood.....	136
Mei-Fu Zhou	88	William Ussler	136
Meixun Zhao	70	Winona C Barker	69
Meng Li.....	62	Wu Nengyou.....	137
Michael B Underwood	30	Wu Shiguo	140
Minhan Dai.....	48	Xiang Xiao	71
Nakamura, E.	88	Xiaoxiang Liu.....	165
Naoto Takahata	75	Xin Zhang.....	136
Nengyou Wu.....	139	Xixi Zhao	30, 91
Nianzhi Jiao	69, 72	Xuelel Chu.....	63
Nicolas Soumis	56	Xueping Ma	37
Peng Wang	70	Xuqiang Guo	164
Peter G. Brewer	136	Yanan Shen	37
Peter M. Walz.....	136	Yang Shengxiong.....	140
Qiliang Lai	73	Yibing Li	75
Qin Zhang	164	Yiguo Hong	62
Robert Dunbar.....	34	Yu' suke Kubo	30
Rongyu Chen	160	Yuli Wei.....	70
Rui Zong.....	72	Yunchao Hao.....	146
Saneatsu Saito	30	Yves G��linas.....	56
Senjie Lin	59	Zhanfei Liu	70
Shihong Zhang.....	30	Zheng Su	139
Shih-Yu Lee	32	Zhengtang Guo	56
Shiki Machida	75	Zhou, Z.Y.....	88
Teruaki Ishii	75	Zongze Shao	73
Tianshui Yang	30	�����	55
Timothy W. Lyons	63	����	77

拜阳	161, 162, 163	仇晓华	15
边叶萍	33	初凤友	147
卞爱飞	118	储雪蕾	35, 64
卞友艳	129	褚智慧	33
蔡观强	104	崔祥斌	8, 29
蔡进功	54	戴黎明	92
蔡卫君	3	戴瑛知	152
蔡瑛	113	党宏月	66
蔡元峰	54	邓文峰	49
曹飞	113	邓希光	88
曹运诚	130	邓显明	124
曾荣树	41	邸鹏飞	132
曾志刚	89, 144	刁少波	132
陈冰	100	丁兴	2
陈代庚	144	丁旋	16, 28
陈代钊	64	董崇志	161, 162, 163
陈多福	66, 129, 130, 132, 137	董良	56
陈芳	21, 128, 143, 159	窦衍光	109
陈洪仁	43, 46, 108, 128	杜德文	151
陈建芳	29	杜江辉	19
陈金霞	22	段毅	118
陈满荣	120	樊婷婷	117
陈墨	79	范代读	103, 166
陈胜红	156	范德江	68
陈双喜	15	方东东	156
陈文	87	方念乔	16
陈曦	120	方适宜	149
陈晓非	83	冯常茂	99
陈永权	124	冯冲	106
陈珍宝	51	冯东	129, 132
陈志耕	79, 131	付晓伟	106
陈志豪	126	付秀丽	118
陈志华	20	傅强	106
陈忠	97, 137	高爱国	29
成艾颖	27	高博禹	108
成鑫荣	33, 35	高春亮	27
程振波	20	高金耀	148

高锐	83	胡晓峰.....	39
高振中.....	95, 101	胡晓庆.....	108, 110
葛黄敏.....	18, 105	胡修棉及其课题组.....	39
葛俊逸.....	12	黄宝琦.....	19
葛淑兰.....	17	黄海波.....	77
龚承林.....	107	黄花谷.....	129
龚晓峰.....	156	黄华谷.....	132
顾兆峰.....	17	黄晶.....	35
管红香.....	66, 126	黄宁生.....	53
管玉平.....	10	黄奇瑜.....	97, 133
郭井学.....	8	黄慰文.....	41
郭磊	162	黄先律.....	121
郭涛	106	黄兴辉.....	161, 162, 163
郭兴伟.....	79	黄燕.....	36, 45
郭依群.....	158	黄永样.....	21
郭正堂.....	9, 12, 13, 52	火苗.....	103
韩建恩.....	14	纪宏伟.....	87
韩喜球.....	128, 145, 147, 148, 153	季福武.....	154, 161
郝沪军.....	121	季俊峰.....	54
郝青振.....	13	贾国东.....	40
郝树青.....	138	贾铁飞.....	120
何家雄.....	156	贾永刚.....	162
何幼斌.....	95, 101	翦知潜.....	11, 20, 33, 35
何云龙.....	113	姜丽晶.....	157
河野芳辉.....	81	姜涛.....	80, 113, 164
贺承广.....	14	蒋宏忱.....	143
贺行良.....	127	蒋少涌.....	124, 133
贺娟	18, 52, 56	焦念志.....	5, 71, 72
贺日政.....	83	解习农.....	80, 99, 113
贺子丁.....	19	金承胜.....	45
侯方辉.....	79	晋剑利.....	109
侯亚梅.....	42	匡耀求.....	53
侯增谦.....	124	蓝先洪.....	24
胡安谊.....	70	雷吉江.....	147
胡高伟.....	132	雷伟志.....	14
胡建芳.....	154	雷新华.....	142
胡军	43, 46, 108, 128	李波.....	80, 164

李超	53	梁楚进	10
李朝新	20	梁德青	135
李朝阳	93	梁金强	126, 140, 142
李春峰	76, 80	梁劲	158
李德亮	36, 44, 45	廖杰	84, 94
李红	117	林间	92, 148
李红磊	162	林丽	36, 44, 45, 47
李怀明	124	林杞	108
李家彪	81	凌洪飞	124
李建如	19, 106	凌明星	2
李洁	87	刘保华	7
李俊良	99, 113	刘昌岭	127, 132
李丽	19, 33, 52, 56	刘晨晖	133
李前裕	18, 121	刘传联	20, 57
李清	43, 46, 108, 128	刘冬青	39
李秋生	83	刘宏扬	81
李日辉	24	刘杰	52
李三忠	92	刘敬圃	122
李胜利	98, 109	刘军	111
李盛华	80, 164	刘连文	14
李士涛	119	刘青松	17
李双应	116	刘喜停	54
李涛	70	刘晓东	25
李铁刚	15, 22, 24, 50	刘晓磊	162
李文宝	29	刘新宇	87
李细兵	81	刘焰	51
李夏晶	97, 105	刘焱光	27
李向东	95, 101	刘扬	42
李小虎	147	刘永	27
李小艳	20	刘永刚	151
李鑫	8, 29	刘玉龙	2
李绪深	99	刘玉梅	98
李雪富	148	刘玉瑞	106
李云	108, 110	刘招君	39
李再军	22	刘振夏	109
李钟山	151	刘志飞	19, 24, 97, 102, 105, 106
连世勇	111	刘祖乾	6, 97

柳保军.....	111	彭大钧.....	121
柳蓉	39	彭晓彤.....	154
柳思敏.....	121	彭学超.....	104
柳益群.....	117, 118	皮道会.....	124
柳中晖.....	25	漆亮.....	82, 88
卢博	115	钱程.....	14
卢龙飞.....	54	乔培军.....	33
卢振权.....	126	秦丹.....	67, 157
鲁银涛.....	112	秦华伟.....	148
陆红峰.....	143	丘学林.....	77
陆红锋.....	159	邱燕.....	104
陆敬安.....	140	邱中炎.....	147, 153
栾锡武.....	134	曲赞.....	118, 156
罗进雄.....	101	任向文.....	152
罗贤虎.....	140	阮爱国.....	77, 81
罗祎	21	阮小燕.....	45
罗艺	121	沙志彬.....	140, 142
罗运利.....	21	邵兆刚.....	14
吕荣平.....	14	沈承德.....	33, 119
吕晓霞.....	135	沈阳.....	10
吕增	76	施和生.....	121
马莉燕.....	36, 44, 45, 47	施秋华.....	113
马文睿.....	106	施小斌.....	148, 165
孟君	67	石丰登.....	20
孟庆国.....	127	石贵勇.....	152
孟庆涛.....	39	石学法.....	17, 20, 27, 109, 152
孟庆伟.....	14	宋海斌.....	161, 162, 163
孟宪刚.....	14	宋述光.....	76
莫杰	158	宋洋.....	163
木下肇.....	81	苏明.....	99, 113
南青云.....	15, 22	苏瑞侠.....	22
牛树银.....	131	苏翔.....	20, 57
牛雄伟.....	81	苏新.....	21, 80, 124, 128, 133, 143, 159
欧阳婷萍.....	53	苏正.....	126, 130
庞洁红.....	92	孙爱群.....	131
庞雄	99, 111	孙波.....	8, 29
庞艳春.....	44, 47	孙广丽.....	93

孙晗杰	22, 24
孙敬博	87
孙立广	25
孙龙涛	94
孙启良	107
孙卫东	2
孙湘君	21
孙晓明	152
孙晓霞	68
孙烨忱	29
孙珍	82, 92, 94, 159
孙志鹏	113
谭勇华	148
唐丹玲	51
唐晓敏	67
唐学远	8, 29
唐正	15
陶春辉	124, 147, 156
田纪伟	95
田军	9, 18, 19
田姗姗	113
涂广红	99
拓守廷	34, 97
万随	35
汪建国	64
汪品先	1, 11, 18, 19
汪小妹	145
王彬	112
王昌勇	108, 110
王琛	45
王春娟	151
王德辉	53
王风平	62, 67
王浩	97, 106
王宏斌	126
王虎	154, 161
王慧	19, 33, 52, 56

王家生	43, 46, 108, 128, 132
王健	92
王金祥	45
王津	14
王昆山	27
王力峰	140
王立武	93, 131
王鹏	70
王汝建	29
王晓媛	145
王叶剑	147, 153
王英民	107
王媛媛	143
王振峰	99, 113
王振奇	119
王中波	24
王舟	43, 46, 108, 128
韦刚健	49
韦恒叶	64
卫小冬	77
魏玉利	56
温家洪	7
温珍河	79
翁成郁	21
翁荣南	156
邬黛黛	126, 141
吴百海	115
吴保祥	118
吴昌荣	121
吴海斌	52
吴家望	24
吴嘉鹏	107
吴健生	100
吴庐山	158
吴能友	66, 126, 135, 141, 142
吴能有	128
吴琼	97, 102

吴婷婷.....	92	杨刚.....	151, 152
吴伟中.....	49	杨海源.....	26
吴湘杰.....	100	杨競红.....	124
吴学文.....	148	杨克红.....	147
吴永华.....	17, 20	杨群慧.....	88, 154, 161
吴招才.....	148	杨睿.....	126, 141, 142
吴振利.....	81	杨胜洪.....	82
吴仲玮.....	152	杨石霞.....	42
武光海.....	124, 148	杨守业.....	24, 109
夏斌.....	113	杨涛涛.....	112
夏少红.....	77	杨挺.....	78
夏欣.....	162	杨伟芳.....	154
肖文申.....	29	杨小秋.....	148, 165
肖湘.....	67	杨阳.....	82, 88, 135
谢蕾.....	43, 46, 108, 128	杨永军.....	36, 44, 45
谢露华.....	49	杨勇.....	148
谢树成.....	45	杨作升.....	68
谢昕.....	19	姚伯初.....	75
熊志方.....	50	姚会强.....	154
徐怀宁.....	128	姚政权.....	27
徐纪人.....	81, 120	业渝光.....	127, 132
徐俊.....	67	叶瑛.....	148
徐莉.....	152	易亮.....	27
徐强.....	107	殷鸿福.....	4
徐子英.....	82, 84, 94	殷学博.....	144
许鹤华.....	165	游镇烽.....	97, 102
许红.....	113	於文辉.....	118, 156
许惠平.....	166	于丽波.....	157
闫普晴.....	108	于晓果.....	147
闫仕娟.....	151	于心科.....	22
颜承志.....	111, 114	于兴河.....	98, 109
颜佳新.....	54	于严严.....	52
颜文.....	137	余华.....	109
晏宏.....	25	余佳.....	14
杨朝斌.....	14	余俊清.....	27
杨栋.....	39	余克服.....	57
杨帆.....	7	俞立中.....	121

俞永强	10	张占海	29
袁宝印	41, 42	张志珣	24
袁圣强	107	赵斌	51
袁翔城	50	赵俊峰	148
臧小亚	135	赵美训	19
张晨晨	118	赵明辉	77
张成	113	赵强	45, 113
张传伦	70	赵太平	82, 88
张栋	8	赵文俊	83
张富元	119	赵玉龙	97, 106
张贵宾	76	赵悦	28
张国良	89, 145	赵志新	81, 120
张剑	132	赵中贤	84, 94
张骏	95	郑朝阳	117, 118
张立飞	76	郑洪波	14, 33
张丽莎	27	郑洪伟	83
张莉	113	郑杰文	162
张敏强	106	郑强	72
张启锐	8	郑荣才	108, 110
张锐	72	郑燕萍	67
张世晖	156	郑永飞	1
张顺	118	郑卓	123
张涛	148	中国大洋 20 航次科考队	124
张卫国	120	钟广法	121
张献涛	100	钟广见	99
张向培	29	钟和贤	104
张笑	119	周斌	33
张新兵	100	周超	24
张训华	79	周蒂	84, 94, 159
张岩	36, 45	周怀阳	125, 154, 161
张彦	87	周继彬	2
张艳伟	166	周建平	156
张瑶	71	周美夫	82
张勇	143	周小虎	117
张玉兰	104	周洋	143, 159
张玉忠	60	朱碧	124
张云帆	82, 84, 94	朱炳泉	90

朱大岗.....	14	朱志伟.....	151
朱国金.....	108, 110	祝有海.....	156
朱建明.....	157	庄畅.....	143
朱俊江.....	77	邹大鹏.....	115
朱克超.....	119	邹建军.....	17
朱伟	118		