

# 南海北部渐新世末的构造事件

邵磊<sup>1</sup>, 庞雄<sup>2</sup>, 张功成<sup>3</sup>, 乔培军<sup>1</sup>, 李前裕<sup>1</sup>, 韦刚健<sup>4</sup>, 吴梦霜<sup>2</sup>

1. 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

2. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东广州 510240

3. 中海石油(中国)有限公司研究中心, 北京 100027

4. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640

**摘要:** ODP1148 站以及珠江口盆地沉积物均记录了渐新世末发生的重大地质构造事件, 这一构造事件在时间上与南海扩张轴发生跳跃的时间十分吻合, 是渐新世以来南海构造演化史上最为重大的构造事件, 涉及到南海扩张、盆地类型转化、沉积物源变迁等一系列相关联的重大地质事件。伴随这一地质构造事件, 南海北部沉积物成分发生剧烈改变, 出现渐新世—中新世地球化学成分上的跳跃, 在深海沉积中发生沉积间断及滑塌事件, 并使珠江口盆地由断陷型盆地转为坳陷型盆地, 白云凹陷由渐新世晚期的浅水陆架环境转为中新世以后的深水陆坡环境。可以认为, 这次构造运动奠定了我国现代的地理格局, 也标志着我国东部陆相盆地最佳烃源岩形成期的结束, 在南海乃至东亚地区影响深远。

**关键词:** 南海; 白云凹陷; 渐新世; 海底扩张; 构造事件。

中图分类号: P736

文章编号: 1000-2383(2009)05-0717-08

收稿日期: 2009-03-01

## Late Oligocene Tectonic Event in the Northern South China Sea and Its Implications

SHAO Lei<sup>1</sup>, PANG Xiong<sup>2</sup>, ZHANG Gong-cheng<sup>3</sup>, QIAO Pei-jun<sup>1</sup>, LI Qian-yu<sup>1</sup>, WEI Gang-jian<sup>4</sup>, WU Meng-shuang<sup>2</sup>

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

2. CNOOC Ltd., Shenzhen Branch, Guangzhou 510240, China

3. Beijing Research Center of CNOOC Ltd., Beijing 100027, China

4. Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, China

**Abstract** A significant tectonic event was recorded in late Oligocene sediments from ODP Site 1148 and Pearl River Mouth Basin. This tectonic event coincided with the seafloor spreading axis jump event across the Oligocene/Miocene boundary, leading to a series of changes not only in seafloor spreading direction but also types of sedimentary basins and sediment provenances, and representing the greatest tectonic activity in the South China Sea region since the Oligocene. Sedimentation breaks and slumps as well as obvious changes in sediment composition across the Oligocene/Miocene boundary indicate the existence of the tectonic event, which transformed the Pearl River Mouth Basin from a graben basin to a down-warped basin, and the sedimentary environment in the Baiyun Sag area from continental shelf in the late Oligocene to continental slope since the early Miocene. It played a key role in the transformation of the general topographic character in continental China and ended a period of accumulation of good source rock for petroleum offshore. Therefore, this tectonic event has a profound influence on the evolution of the South China Sea and East Asia.

**Key words:** South China Sea; Baiyun Sag; Oligocene; seafloor spreading; tectonic event.

南海的海底扩张以及我国西高东低地势的形成 是新生代东亚地区影响深远的构造事件, 基于研究

资料的不同,国内外学者对这些构造事件的认知存在很大争议(Ben-Avraham and Uyeda, 1973; 冯志强和曾维军, 1982; Taylor and Hayes, 1983; 张文佑, 1986; Briais *et al.*, 1993; 姚伯初等, 1994, 2006; 姚伯初, 1996; 刘昭蜀等, 2002). 引起争议的原因之一在于长期以来南海缺乏深海钻孔, 许多问题只能通过地球物理或周边相关资料来解释, 使研究受到一定限制. 1999 年在南海开展的 ODP184 航次首次在南海北部中央海盆边缘钻取了 32.8 Ma 的沉积记录, 为系统研究渐新世以来南海深海盆地的形成演化提供了珍贵的研究素材(Wang *et al.*, 2000). 研究发现, 在南海北部 23.03 Ma 渐新世/中新世界线附近存在明显的沉积—构造不整合(Wang *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2003; 汪品先等, 2003a; Gradstein *et al.*, 2004; 唐松等, 2004; 邵磊等, 2004; 李前裕等, 2005a; Li *et al.*, 2005b), 这一不整合面不仅在 ODP1148 站深海沉积记录中存在, 在南海北部珠江口盆地沉积记录中也同样存在(邵磊等, 2005; 庞雄等, 2007), 反映出该不整合面不是因滑塌等因素形成的局部沉积间断事件, 而是一次影响深远的构造事件.

## 1 材料和方法

南海 ODP1148 站位于北纬  $18^{\circ}50.17'$ , 东经  $116^{\circ}33.94'$  东沙群岛西南方, 水深 3 294 m, 取心长度 859 m、时间跨度 32.8 Ma, 为连续深海沉积物柱状样, 是南海大洋钻探中取心最长、年代最老的站位, 详细记录了渐新世以来南海北部的沉积历史. PY33-1-1 井位于珠江口盆地白云凹陷北坡, 水深 188 m, 涉及地层厚度达 5 094 m, 底部地层为渐新世恩平组(图 1).

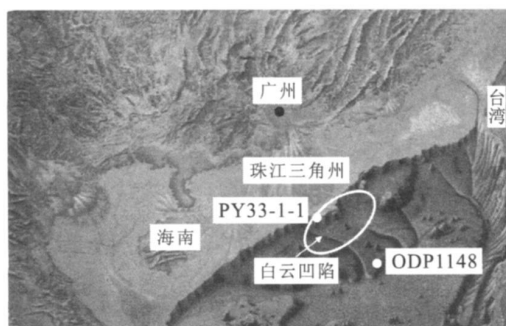


图 1 研究区及钻井位置示意

Fig. 1 Location map of the study area in the northern South China Sea

ODP1148 站沉积物主要由含钙质生物化石的黏土沉积物组成, 除因埋藏深度不同造成压实程度不同, 以及早第三纪沉积物略有发生早期成岩作用外, 整个钻孔沉积物基本上未固结成岩(Wang *et al.*, 2000), 钻孔最底部为渐新统碳酸盐岩沉积, 已经完全固结成岩. 从横切陆架—陆坡区的地震剖面图中可以看出, ODP1148 站沉积物应与珠江口盆地同源, 受古珠江的控制(Clift *et al.*, 2002). PY33-1-1 井沉积物在渐新世时接受了恩平—珠海组的沉积, 以沙泥互层和砂岩夹泥岩为特征; 到中新世以后, 沉积物主要以高含量的泥岩为特征, 反映了沉积水体明显加深.

本文主要采取沉积物元素地球化学分析方法对 ODP1148 站以及珠江口盆地 PY33-1-1 井进行对比性研究. ODP1148 站从上向下以 5.5 m 等间距的方法取样 154 个, PY33-1-1 井从 800 m 深度开始, 以大约 40 m 左右的间距取样 109 个. 样品首先在低温 ( $\sim 50^{\circ}\text{C}$ ) 下烘干、压碎, 并在  $580^{\circ}\text{C}$  灼烧 30 min, 以剔除有机质及沉积物内粘土矿物中的层间水, 称重并计算烧失率, 然后用 0.1 M HCl 除去  $\text{CaCO}_3$ , 避免自生沉积物对分析结果产生干扰. 样品用  $\text{HF} + \text{HNO}_3$  混合酸分解, 并用外部标准校正方法在等离子体光谱仪(ICP-AES)和质谱仪(ICP-MS)上测定常量及微量元素含量(刘颖等, 1996; 李献华等, 2002). 每个样品测定 6 次并由国际标样(如 GSR-1, JSD-1)、重复样品以及空白样品进行校正, 样品准确度及精确度由控制样品及重复样品监控. 样品处理及测试分别在同济大学海洋地质国家重点实验室和中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学实验室完成.

## 2 结果及讨论

ODP1148 站记录的 23.03 Ma 渐新世—中新世界线附近存在明显的沉积—构造不整合已有多篇论文进行了论述(Li *et al.*, 2003; 汪品先等, 2003a; 邵磊等, 2004; 唐松等, 2004; 李前裕等, 2005a; Li *et al.*, 2005b), 在该界线附近各种物理参数均出现明显的突变和间断(Wang *et al.*, 2000), 共计缺失大约 3 Ma 的地层, 并发育了约 14 m 厚的滑塌层段(邵磊等, 2004; 李前裕等, 2005a; Li *et al.*, 2006), 是 32.8 Ma 以来南海构造演化中最为重大的构造事件(汪品先等, 2003a; Wang *et al.*, 2003b; 邵磊等, 2004). 众所周知, 微量元素与稀土元素一样, 总体抗

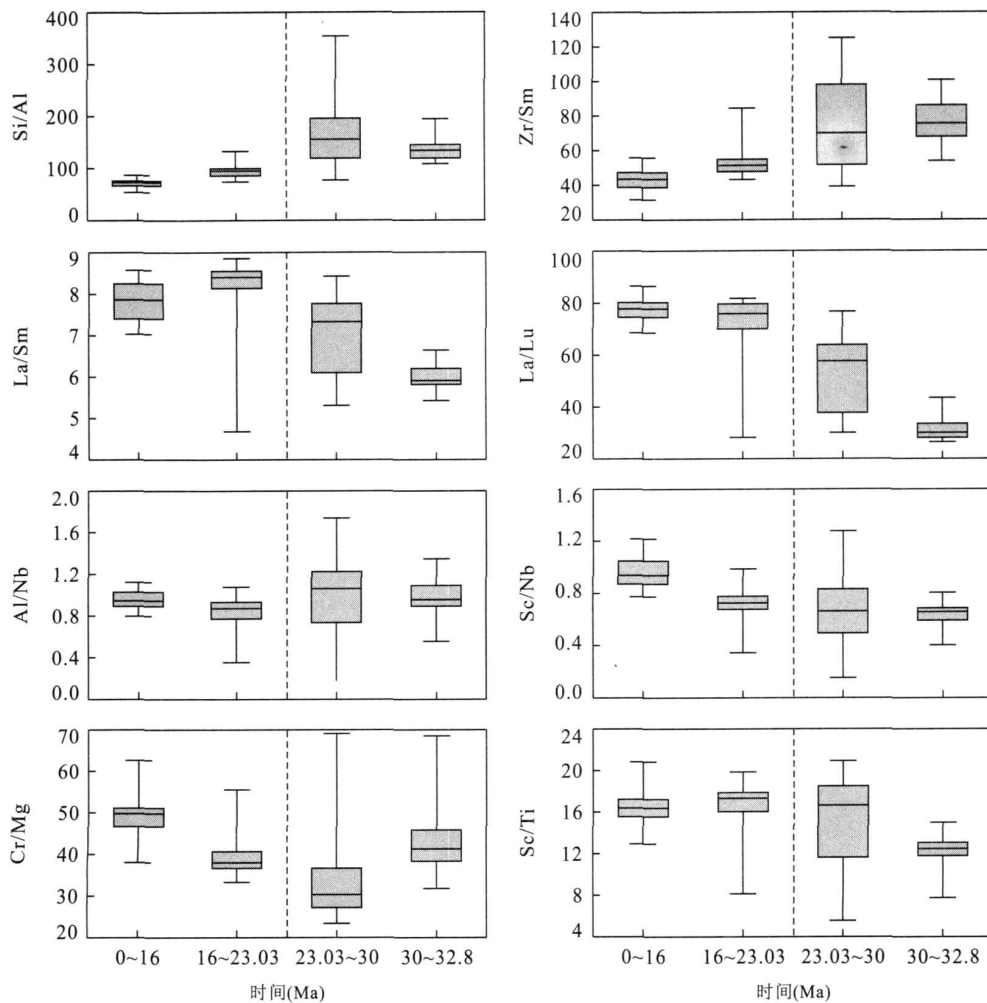


图 2 ODP1148 站沉积物元素比值箱状分析

Fig. 2 Box-and whisker plots of the elements from ODP1148

风化能力较强, 特别是一些元素的比值基本不受风化过程的影响, 主要受物源区岩石地球化学成分的控制, 在探讨盆地演化研究中具有重要意义. 研究发现, 尽管 ODP1148 站沉积物微量元素含量及比值自 32.8 Ma 以来存在多个明显的突变或不连续面 (邵磊等, 2004), 从各阶段元素变化箱式分析图中可以看出, 以 23.03 Ma 为界线, 渐新世沉积物地球化学成分比较接近, 而中新世以来沉积物成分则十分类似, 两者之间存在幅度很大的突变 (图 2). 同时, 孢粉含量曲线、有机质含量等都表现出明显的突变 (房殿勇等, 2002; 吴国璋等, 2003), 显示 23.03 Ma 渐新世—中新世界线是 ODP1148 站记录的规模最大的不整合面.

这种情况在珠江口盆地同样存在, 位于白云凹陷的 PY33-1-1 井元素分析中, Si/Al、La/Sm、Al/Nb、La/Lu、Zr/Sm、Sc/Nb、Sc/Ti 以及 Cr/Mg

等元素比在渐新世—中新世界线处均出现明显突变, 并且渐新世—中新世沉积物成分变化与 ODP1148 站情况完全相同 (图 3, 图 4). 从图 3 可以看出, 以时间为单位分为 4 组的各元素比值在 23.03 Ma 界线处存在明显转折或突变. 在图 4 中各元素比值随深度变化曲线同样显示出 23.03 Ma 界线处是沉积物地球化学成分变化最为剧烈的时期, 与 ODP1148 站沉积物地球化学成分发生改变的情况完全一致, 表明 PY33-1-1 井与 ODP1148 站沉积物在该时期受到相同因素的影响, 造成沉积物成分上的突变.

在地球化学分析中, Nd 同位素地球化学是近年来新兴起的一种研究手段. 研究发现, 岩石形成以后, 其内的 Nd 同位素组成即已确定, 在经历风化剥蚀搬运过程中, 其沉积物中 Nd 同位素值不发生明显改变, 成为沉积物源区研究的有力工具. 采自两口井沉积物的 Nd 同位素  $\epsilon_{Nd}(0)$  值 [ $\epsilon_{Nd}(0) =$

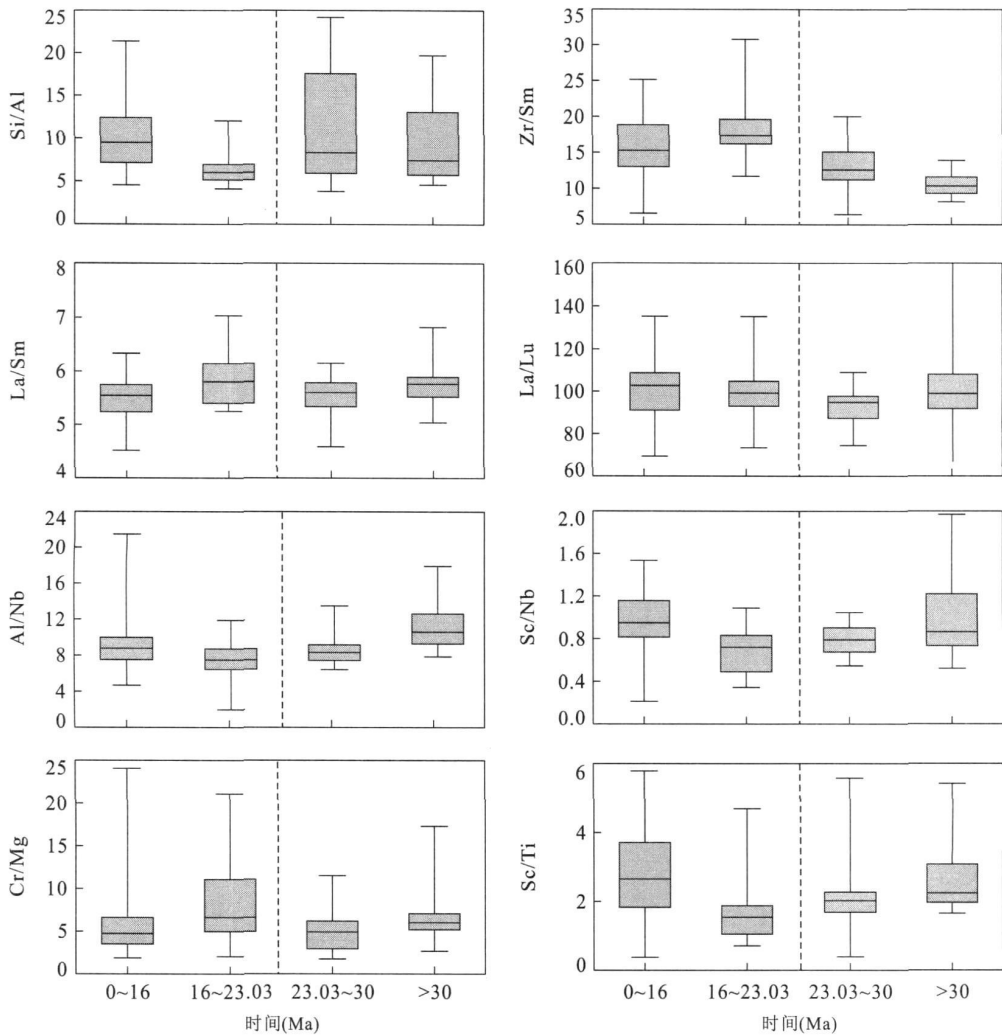


图 3 PY33-1-1 井沉积物元素比值箱状分析

Fig. 3 Box-and whisker plots of the elements from PY33-1-1

( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}/0.512638-1$ ) $\times 10000$ ] 分析结果表明(图 4), 无论在 ODP1148 站, 还是 PY33-1-1 井, Nd 同位素  $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$  值均从早渐新世的  $-9 \sim -11$  降至中新世的  $-12 \sim -13$  (庞雄等, 2007), 反映出 23.03 Ma 渐新世—中新世界线是南海构造演化过程中一次重要的构造事件, 而不是因滑塌等因素造成的局部沉积间断. 由于这次构造运动, 造成南海北部地区 PY33-1-1 井沉积物以及 ODP1148 站沉积物的物源发生改变, 使两者沉积物中各种元素比值以及 Nd 同位素  $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$  值发生突变. 研究显示, 这次构造运动不仅在南海, 而且在西太平洋地区亦有广泛的影响.

长期以来, 对于南海的形成演化始终存在不同的认识, 大多数学者认为发生过两次海底扩张, 但两次扩张的内容和时间有很大的分歧 (Ben-Avraham and Uyeda, 1973; Taylor and Hayes, 1983; 姚伯初

等, 1994, 2006; 姚伯初, 1996; 冯志强和曾维军, 1982; 张文佑, 1986; Briais *et al.*, 1993). Taylor and Hayes (1983)、Briais *et al.* (1993) 认为南海海盆新生代第一次海底扩张是 NS 方向的, 发生在晚渐新世 (32 ~ 25 Ma); 第二次海底扩张为 NW-SE 方向, 时代为早中新世至中中新世 (24 ~ 16 Ma), 形成了中央海盆中部洋壳和西南海盆洋壳, 两次扩张之间, 在 25 ~ 23 Ma 发生了扩张轴由 E-W 方向延伸转为 NE-SW 方向延伸的跳跃. ODP1148 站以及珠江口盆地沉积物中所记录的沉积间断及滑塌事件在时间与这次南海扩张轴延展方向的跳跃十分吻合, 是 32.8 Ma 以来南海构造演化史上最为重大的构造事件. 由于分析中所使用的沉积物地球化学成分主要受母源区岩石成分的控制, 可以认为, 正是该重大地质构造事件导致南海北部沉积物源、沉积环境发生剧变.

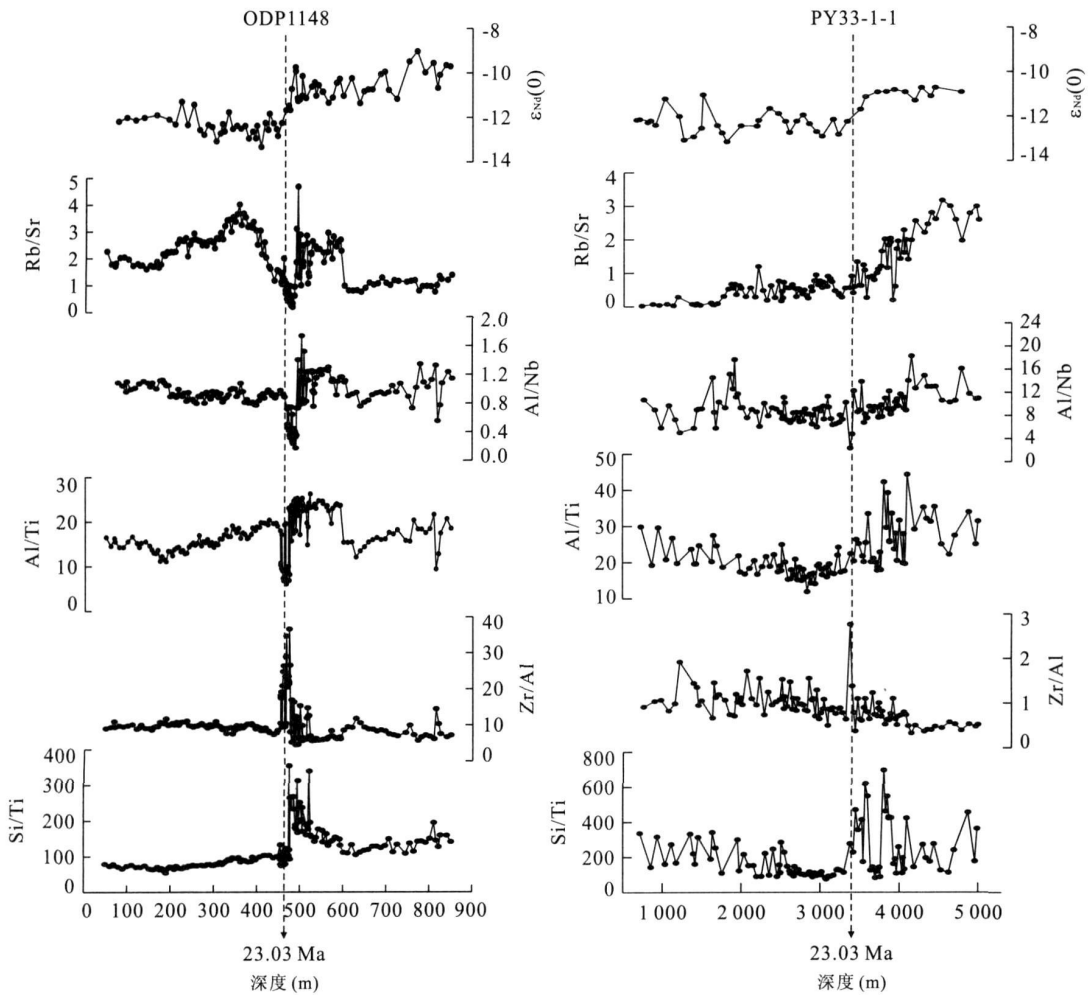


图 4 ODP1148 站及 PY33-1-1 井沉积物元素比值及  $\epsilon_{Nd}(0)$  值变化曲线图

Fig. 4 Secular variation of selected element ratios and  $\epsilon_{Nd}(0)$  values of sediments at ODP1148 and PY33-1-1

古环境研究发现, 南海北部东沙群岛附近在晚侏罗世为俯冲带, 白垩纪时则转为陆相环境 (邵磊等, 2007), 当时亚洲东部的古地理环境总体具有东高西低的特点. 这种地貌形态何时演变为现今大江东流、西高东低的特征一直是人们关注的焦点. 也许答案能够从珠江口盆地的沉积充填演变中找到. 研究证实, 珠江口盆地在渐新世以前为断陷盆地, 主要接受了陆相环境下的砂—泥岩沉积, 以富砂为特征, 砂泥比为 62.3 : 37.7, 沉积物源区分析显示该时期珠江口盆地主要以近源的花岗岩区为母岩, 所接受的湖相泥岩沉积是珠江口盆地的主力烃源岩, 是盆地烃源岩的主要形成时期 (陈长民等, 2003); 23.03 Ma 渐新世—中新世界线之后, 珠江口盆地转为凹陷盆地, 接受了沉积面积巨大、以泥为主的沉积堆积 (庞雄等, 2005; 邵磊等, 2005), 砂泥比转变为 35.3 : 64.7.

如前所述, ODP1148 站 23.03 Ma 渐新世—中新世界线上无论无论是沉积速率还是各种岩石地球化学分析、孢粉含量曲线、有机质含量等都表现出明显的突变 (房殿勇等, 2002; 吴国瑄等, 2003; 邵磊等, 2004). 特别是沉积速率的变化, 23.03 Ma 以前有较高的沉积速率, 属距离物源较近的上陆坡环境; 23.03 Ma 之后沉积速率急剧降低, 代表了离物源较远的下陆坡环境 (Zhao, 2005). 与 ODP1148 站相邻的白云凹陷在晚渐新世为浅水陆架环境, 距 ODP1148 站北部约 120 km 的 LW3-1-1 钻井揭示, 23.03 Ma 以前该区接受了浅水三角洲沉积. 但到 23.03 Ma 之后的中新世, 该区域突变为深水低位扇沉积, 反映了该界线上沉积环境的剧变, 与 ODP1148 站揭示的环境突变完全吻合. 可以认为, 随着南海扩张轴向南跃迁, 使得南海北部的陆架坡折带由 23.03 Ma 以前位于白云凹陷南侧突变式地

跳跃到凹陷的北侧,使白云凹陷由渐新世晚期的浅水陆架环境转为陆坡深水环境(庞雄等,2007),接受了大量深水低位扇堆积(庞雄等,2006;王存武等,2007),而 ODP1148 站所处区域的沉积环境则和现今深海大洋环境无异(Zhao, 2005)。因此,由于这次构造运动奠定了我国现代西高东低的地理格局,造成了珠江口盆地由断陷转为凹陷,从渐新世近源以砂为主的沉积堆积转变为中新世远源以泥为主的沉积堆积,也标志着我国东部陆相盆地最佳烃源岩形成期的结束。

因此,南海北部沉积物记录的 23.03 Ma 重要地质构造事件涉及到南海扩张、盆地类型转化、沉积物源变迁乃至青藏高原隆升等一系列相关联的重大地质事件,从根本上影响和改变了南海北部河流流域的格局、南海扩张作用、南海北部沉积物的组成、沉积充填和油气成藏特点等,是南海乃至东亚地区一次意义重大、影响广泛的构造运动。

### 3 结论

南海北部沉积物中记录了渐新世末(23.03 Ma)发生的重大地质构造事件。地球化学分析显示,南海北部沉积物地球化学成分以这一构造时间界面分为两大部分,渐新世为一个组,成分相近;中新世以来沉积物构成另一个组,两者之间存在突变。这一构造事件在时间上与南海扩张轴由 E-W 方向延伸转为 NE-SW 方向延伸发生跳跃的时间十分吻合,是渐新世以来南海构造演化史上最为重大的构造事件。伴随这一地质构造事件,南海北部沉积物成分发生剧烈改变,出现渐新世—中新世地球化学成分上的跳跃,并在深海沉积中发生沉积间断及滑塌事件。

这次构造运动意义广泛,它使珠江口盆地由断陷型转为凹陷型,使白云凹陷由渐新世晚期的浅水陆架环境转为中新世以后的深水陆坡环境,使珠江口盆地从渐新世近源富砂为主的沉积堆积体系转变为中新世以来远源以泥为主的沉积堆积体系,显示南海北部供水体系流域范围的明显扩大,表明古珠江流域范围向西溯源侵蚀加剧。可以认为,由于这次构造运动奠定了我国现代西高东低的地理格局,也标志着我国东部陆相盆地最佳烃源岩形成期的结束。

### References

Ben-Avraham, Z., Uyeda, S., 1973. The evolution of the China basin and the Mesozoic paleogeography of Borneo.

*Earth and Planetary Science Letters*, 18(2): 365–376.

Briaux, A., Patriat, P., Tapponnier, P., 1993. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea; Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia. *Journal of Geophysical Research*, 98(B4): 6299–6328.

Chen, C. M., Shi, H. S., Xu, S. C., et al., 2003. Forming conditions of oil reservoirs in Tertiary of the Pearl River Mouth basin. Science Press Beijing, 1–266 (in Chinese).

Clift, P., Lee, J. L., Clark, M., et al., 2002. Erosional response of South China to arc rifting and monsoonal strengthening: a record from the South China Sea. *Marine Geology*, 184(3–4): 207–226.

Fang, D. Y., Wang, R. J., Shao, L., et al., 2002. Silica diagenesis of deep-sea Oligocene at ODP Site 1148, the South China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 22(2): 75–79 (in Chinese with English abstract).

Fang, N. Q., Yao, B. C., Wang, L., et al., 2007. The velocity structure of the lithosphere and the origin of sedimentary basins in the South China and northern margin of the South China Sea. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(2): 147–154 (in Chinese with English abstract).

Feng, Z. Q., Zeng, W. J., 1982. Tectonic evolution of Zhujiangkou (Pearl-River-Mouth) basin and origin of South China Sea. *Acta Geologica Sinica*, 56(3): 212–222 (in Chinese with English abstract).

Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Smith, A. G., 2004. A geologic time scale 2004. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Li, Q. Y., Wang, P. X., Zhao, Q. H., et al., 2006. A 33 Ma lithostratigraphic record of tectonic and paleoceanographic evolution of the South China Sea. *Marine Geology*, 230(3–4): 217–235.

Li, Q. Y., Zheng, H. B., Zhong, G. F., et al., 2005a. Tectonic events indicated by late Oligocene slumped deposits from the South China Sea. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(1): 19–24 (in Chinese with English abstract).

Li, Q. Y., Jian, Z. M., Su, X., 2005b. Late Oligocene rapid transformations in the South China Sea. *Marine Micropaleontology*, 54(1–2): 5–25.

Li, X. H., Liu, Y., Tu, X. L., et al., 2002. Precise determination of chemical compositions in silicate rocks using ICP-AES and ICP-MS: A comparative study of sample digestion techniques of alkali fusion and acid dissolution. *Geochimica*, 31(3): 289–294 (in Chinese with English abstract).

Li, X. H., Wei, G. J., Shao, L., et al., 2003. Geochemical and

- Nd isotopic variations in sediments of the South China Sea: A response to Cenozoic tectonism in SE Asia. *Earth and Planetary Science Letters*, 211 (3—4): 207—220.
- Liu Y., Liu H. C., Li X. H., 1996. Simultaneous and precise determination of 40 trace elements in rock samples using ICP-MS. *Geochimica*, 25(6): 552—558 (in Chinese with English abstract).
- Liu Z. S., Zhao H. T., Fan S. Q., et al., 2002. Geology of the South China Sea. Science Press, Beijing, 494—501 (in Chinese).
- Pang X., Chen C. M., Shao L., et al., 2007. Baiyun movement, a great tectonic event on the Oligocene-Miocene boundary in the northern South China Sea and its implications. *Geological Review*, 53(2): 145—151 (in Chinese with English abstract).
- Pang X., Chen C. M., Shi H. S., et al., 2005. Response between relative sea-level change and the Pearl River deep-water fan system in the South China Sea. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 167—177 (in Chinese with English abstract).
- Pang X., Chen C. M., Wu M. S., et al., 2006. The Pearl River deep-water fan systems and significant geological events. *Advances in Earth Science*, 21(8): 793—799 (in Chinese with English abstract).
- Shao L., Lei Y. C., Pang X., et al., 2005. Tectonic evolution and its controlling for sedimentary environment in Pearl River Mouth basin. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 33(9): 1177—1181 (in Chinese with English abstract).
- Shao L., Li X. H., Wang P. X., et al., 2004. Sedimentary record of the tectonic evolution of the South China Sea since the Oligocene—Evidence from deep sea sediments of ODP Site 1148. *Advances in Earth Science*, 19(4): 539—544 (in Chinese with English abstract).
- Shao L., You H. Q., Hao H. J., et al., 2007. Petrology and depositional environments of Mesozoic strata in the northeastern South China Sea. *Geological Review*, 53 (2): 164—169 (in Chinese with English abstract).
- Tang S., Shao L., Zhao Q. H., 2004. Characteristics of clay mineral in South China Sea since Oligocene and its significance. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(2): 337—342 (in Chinese with English abstract).
- Taylor B., Hayes D. E., 1983. The tectonic evolution of the South China basin. In: Hayes D. E., ed., *The tectonic and geologic evolution of Southeast Asian seas and islands*, part 2. Geophysical Monograph 27, AGU, Washington, 23—56.
- Wang, C. W., Chen, H. H., Chen, C. M., et al., 2007. Characteristics of the Baiyun deep-water fan and main accumulation controlling factors in Pearl River Mouth basin, South China Sea. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(2): 247—252, 266 (in Chinese with English abstract).
- Wang, P. X., Jian, Z. M., Zhao, Q. H., et al., 2003b. Evolution of the South China Sea and monsoon history revealed in deep-sea records. *Chinese Science Bulletin*, 48 (23): 2549—2561.
- Wang, P. X., Prell W., Blum, P., et al., 2000. Proceedings of ocean drilling program, initial reports. Volume 184. College Station: Ocean Drilling Program, 25—38.
- Wang, P. X., Zhao, Q. H., Jian, Z. M., et al., 2003a. Thirty million year deep-sea records in the South China Sea. *Chinese Science Bulletin*, 48(23): 2524—2535.
- Wu G. X., Qin, J. G., Mao, S. Z., 2003. Deep-water Oligocene pollen record from South China Sea. *Chinese Science Bulletin*, 48(22): 2511—2515.
- Yao B. C., 1996. Tectonic evolution of the South China Sea in Cenozoic. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 16(2): 1—13 (in Chinese with English abstract).
- Yao B. C., Wan L., 2006. Evolution and 3D structure of the lithosphere of the South China Sea. Geological Publishing House, Beijing, 180—201 (in Chinese).
- Yao B. C., Zeng W. J., Hayes, D., et al., 1994. The geological memoir of South China Sea surveyed jointly by China & USA. Geological Publishing House, Beijing, 1—204 (in Chinese).
- Zhang W. Y., 1986. Tectonics of China and its adjacent regions. Science Press, Beijing, 344—356 (in Chinese).
- Zhao, Q. H., 2005. Late Cainozoic ostracod faunas and paleo-environmental changes at ODP Site 1148, South China Sea. *Marine Micropaleontology*, 54(1—2): 27—47.

### 附中文参考文献

- 陈长民, 施和生, 许仕策, 等, 2003. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件. 北京: 科学出版社, 1—266.
- 房殿勇, 王汝建, 邵磊, 等, 2002. 南海ODP1148站深海相渐新统硅质成岩作用. *海洋地质与第四纪地质*, 22(2): 75—79.
- 方念乔, 姚伯初, 万玲, 等, 2007. 华南和南海北部陆缘岩石圈速度结构特征与沉积盆地成因. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(2): 147—154.
- 冯志强, 曾维军, 1982. 珠江口盆地的构造演化与南海之形成. *地质学报*, 56(3): 212—222.
- 李前裕, 郑洪波, 钟广法, 等, 2005a. 南海晚渐新世滑塌沉积指示的地质构造事件. *地球科学——中国地质大学学报*

- 报, 30(1): 19—24.
- 李献华, 刘颖, 涂湘林, 等, 2002. 硅酸盐岩石化学组成的 ICP-AES 和 ICP-MS 准确测定: 酸溶与碱熔分解样品方法的对比. 地球化学, 31(3): 289—294.
- 刘颖, 刘海臣, 李献华, 1996. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素. 地球化学, 25(6): 552—558.
- 刘昭蜀, 赵焕庭, 范时清, 等, 2002. 南海地质. 北京: 科学出版社, 494—501.
- 庞雄, 陈长民, 邵磊, 等, 2007. 白云运动: 南海北部渐新统一中新统重大地质事件及其意义. 地质论评, 53(2): 145—151.
- 庞雄, 陈长民, 施和生, 等, 2005. 相对海平面变化与南海珠江深水扇系统的响应. 地学前缘, 12(3): 167—177.
- 庞雄, 陈长民, 吴梦霖, 等, 2006. 珠江深水扇系统沉积和周边重要地质事件. 地球科学进展, 21(8): 793—799.
- 邵磊, 雷永昌, 庞雄, 等, 2005. 珠江口盆地构造演化及对沉积环境的控制作用. 同济大学学报(自然科学版), 33(9): 1177—1181.
- 邵磊, 李献华, 汪品先, 等, 2004. 南海渐新世以来构造演化的沉积记录——ODP1148 站深海沉积物中的证据. 地球科学进展, 19(4): 539—544.
- 邵磊, 尤洪庆, 郝沪军, 等, 2007. 南海东北部中生界岩石学特征及沉积环境. 地质论评, 53(2): 164—169.
- 唐松, 邵磊, 赵泉鸿, 2004. 南海渐新世以来粘土矿物的演变特征及意义. 沉积学报, 22(2): 337—342.
- 王存武, 陈红汉, 陈长民, 等, 2007. 珠江口盆地白云深水扇特征及油气成藏主控因素. 地球科学——中国地质大学学报, 32(2): 247—252, 266.
- 汪品先, 赵泉鸿, 翦知湔, 等, 2003a. 南海三千万年的深海记录. 科学通报, 48(21): 2206—2215.
- 吴国璋, 覃军干, 茅绍智, 2003. 南海深海相渐新统孢粉记录. 科学通报, 48(17): 1868—1871.
- 姚伯初, 1996. 南海海盆新生代的构造演化史. 海洋地质与第四纪地质, 16(2): 1—13.
- 姚伯初, 万玲, 2006. 中国南海海域岩石圈三维结构及演化. 北京: 地质出版社, 180—201.
- 姚伯初, 曾维军, Hayes, D., 等, 1994. 中美合作调研南海地质专报 GMSCS. 北京: 地质出版社, 1—204.
- 张文佑, 1986. 中国及邻区海陆大地构造. 北京: 科学出版社, 344—356.