

# 南海晚渐新世滑塌沉积指示的地质构造事件

李前裕, 郑洪波, 钟广法, 汪品先

同济大学海洋地质教育部重点实验室, 上海 200092

**摘要:** 南海北部 ODP1148 站晚渐新世至早中新世沉积以滑塌堆积和长时间沉积缺失为主要特征。由构造活动引起的沉积间断始于渐新世中期 28.5 Ma 至早中新世 23 Ma 左右结束。主间断面位于 25 Ma, 亦即滑塌沉积层的底界。4 次沉积间断总共造成至少 3 Ma 沉积记录的缺失。综合岩性、古生物年代测定、地球化学等分析结果, 表明南海晚渐新世的海底扩张模式呈多次跳跃式, 并以“25 Ma 事件”为型变高峰。这一系列构造活动是欧亚、澳大利亚、菲律宾-太平洋板块相互作用的结果, 直接导致南海向前期裂谷更发育, 红河大断裂左擦拉张更强的南部扩张的转型。1148 站的滑塌沉积为此次南海扩张转型提供了直接的证据。

**关键词:** 南海; 海底扩张; ODP1148 站; 渐新世; 板块构造; 滑塌沉积; 岩性生物地层。

中图分类号: P534.61

文章编号: 1000-2383(2005)01-0019-06

收稿日期: 2004-12-02

## Tectonic Events Indicated by Late Oligocene Slumped Deposits from the South China Sea

LI Qian-yu, ZHENG Hong-bo, ZHONG Guang-fa, WANG Pin-xian

Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

**Abstract:** The late Oligocene to earliest Miocene deposition at ODP Site 1148 from the northern South China Sea is characterized by slumps and long sedimentation breaks. Tectonic-driven hiatuses occurred from the mid-Oligocene 28 Ma to early Miocene 23 Ma, with the main hiatus falling at 25 Ma marked by the base of the slump. The four hiatuses recognized together erased at least 3 Ma of the late Oligocene sediment record. A synthesis of lithological, biostratigraphic and geochemical results indicates a stepwise seafloor spreading mode for the late Oligocene South China Sea, climaxing at the “25 Ma transitional event”. This series of tectonic events must have resulted from interactions between Eurasian, Australian and Philippine-Pacific plates, subsequently leading to a change in seafloor spreading toward the south where rifting had been more prominent and extension force was stronger, probably as a direct response to the sinistral strike-slip and extension by the Red River fault. The slumped deposits from Site 1148 provide the direct evidence of this spreading transition in the late Oligocene South China Sea.

**Key words:** South China Sea; seafloor spreading; ODP Site 1148; Oligocene; plate tectonics; slump; lithobiostratigraphy.

随着近海油气资源勘探与开采的发展,早在 20 世纪 80 年代就有人较系统地总结了南海主要构造地质与盆地演化特征(唐鑫,1980)。但是由于当时对东南亚新生代构造演化的大框架缺乏认识,许多研究往往只限于描述盆地沉积与断层类型。随后,由于青藏高原隆升引起东亚地形由西往东倾斜的假说深入人心,区域构造框架的改变所带来一系列古气候与沉积

古环境变迁纷纷引起学者们的注意。尽管对南海的生成与演化仍有许多争议,高原隆升造成印支大陆沿红河大断裂向东南挤出可能是引发南海海盆扩张的直接原因(Tapponier *et al.*, 1982; Briais *et al.*, 1993)(图 1)。据海底磁异常研究结果,南海在 32 Ma 左右开始扩张至 16 Ma 左右结束,期间经历了至少一次扩张轴改变方向事件(Briais *et al.*, 1993)。

基金项目:国家自然科学基金项目(Nos. 4999560, 40476030);国家重点基础研究发展规划项目(No. G2000078500)。

作者简介:李前裕(1956-),男,教授,从事海洋地质学的科研与教学工作。E-mail: qli01@mail.tongji.edu.cn

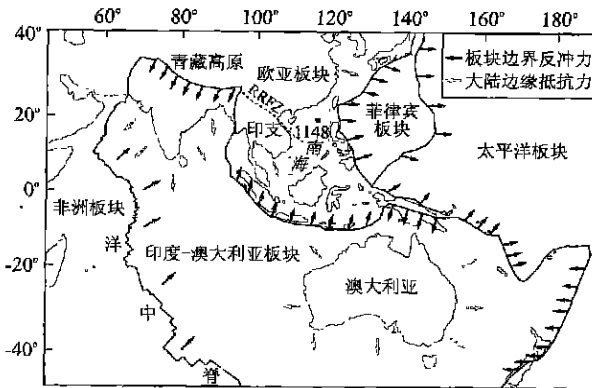


图 1 南海地区板块构造示意图(据 Coblenz *et al.*, 1995 修改)

Fig. 1 Tectonic map of the South China Sea region  
ODP1148 站位于南海北部,RRFZ: 红河大断裂

究竟南海的形成在多大程度上与青藏高原隆升有关联呢?为什么南海扩张过程会改变其轴向?欧亚板块与澳大利亚板块在印尼群岛一带的相撞导致印尼海道的变窄肯定对南海扩张造成影响,但这种影响究竟有多大?类似的科学问题需要通过测定多区域地质构造事件的准确年代进行长距离对比来讨论,而完整的长地层剖面的取得则是研究南海构造活动历史的第一步.本文利用南海 ODP184 航次 1148 站的深海岩心,综合测井、岩性、地层等资料对南海渐新世构造事件进行探讨.

## 1 1148 站材料分析

ODP184 航次在南海南北部 6 个深水站位 (1143—1148) 共钻取 17 个钻孔,取得高质量岩心总计 5 500 m (Wang *et al.*, 2000). 这些岩心记录了南海海底张裂以来 30 多 Ma 的地质历史,也为研究东亚和西太平洋地区的长期古环境演变提供了极其宝贵的材料 (汪品先等, 2003a). 1148 站位于北纬 18°50.17' N, 东经 116°33.94' E, 水深 3 294 m, 如图 1 所示. 在该站钻进 2 口井, 取得岩心 853 m. 其底部 390 m 为渐新统地层, 主要为下渐新统灰色-橄榄色富含石英、有机物等陆源碎屑组成的粘土. 上渐新统包括 473~480 mcd (合成深度) 处的超微化石白垩薄层和 458~472 mcd 区段的滑塌沉积. 早中新世沉积物主要为绿色-灰色超微化石混杂粘土, 碳酸盐含量可达 40%, 厚度约 130 m (324~458 mcd). 滑塌沉积层不但指示异常沉积环境, 而且往往伴随有较长时间跨度的沉积间断. 滑塌沉积在

1148 站的出现确实使人感到意外,因为它标志着通过深水钻孔寻求完整长地层剖面的计划会落空.但是,这一沉积记录可能恰恰是南海海盆演化关键阶段难得的唯一证据 (汪品先等, 2003b).

供本文讨论的主体材料来源于 1148 站实测测井资料和岩性资料 (Wang *et al.*, 2001)、航次后地层古生物分析结果 (Li *et al.*, 2004) 和地球化学分析结果 (Li *et al.*, 2003). 本文讨论的重点是 1148 站滑塌沉积层的岩性特征、地层年龄、沉积间断跨度, 以及所反映的晚渐新世地质构造事件的时间与强度.

## 2 滑塌沉积的岩性地层特征

### 2.1 滑塌堆积的岩性与分段

位于 1148 站 458~472 mcd 的滑塌堆积层总体表现为浅色白垩与深灰-深绿色粘土的杂乱混合体 (图 2). 其粘土成分与 485~500 mcd 处的沉积物相似, 富含陆源石英粉砂和有机物以及各种微体化石. 白垩成分则与 473~480 mcd 处的白垩一致, 主要为暖水超微浮游生物的骨骼. 据沉积构造和沉积物排列的杂乱程度, 可将该堆积层以 460 mcd 为界分为上下两段: 上段 (458~460 m), 高混杂, 多塑状形变体, 几乎没有微断层结构; 下段 (460~472 m), 低混杂, 微层理清楚, 少塑状形变体, 但微断层发育. 据岩心实测观察, 下段沉积层具有滑塌加浊流作用的特点, 尽管某些层理受到后生微断层的影响. 而上段则为典型的滑塌堆积, 并非由原地浊流沉积体受挤压

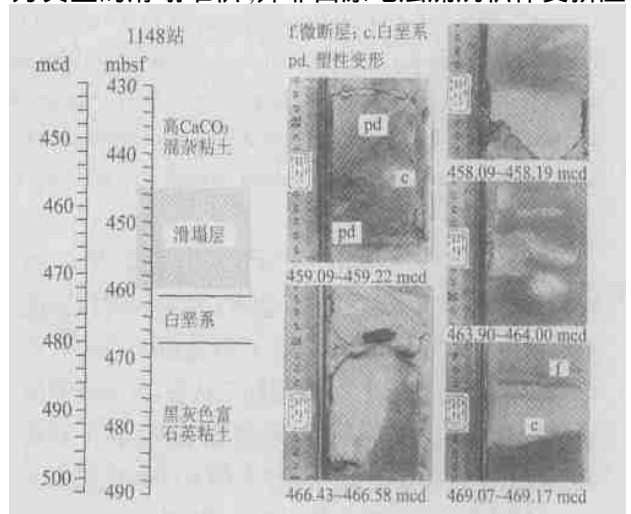


图 2 1148 站滑塌层沉积结构

Fig. 2 Core photographs of Site 1148 slumped deposits showing sediment and depositional structure details

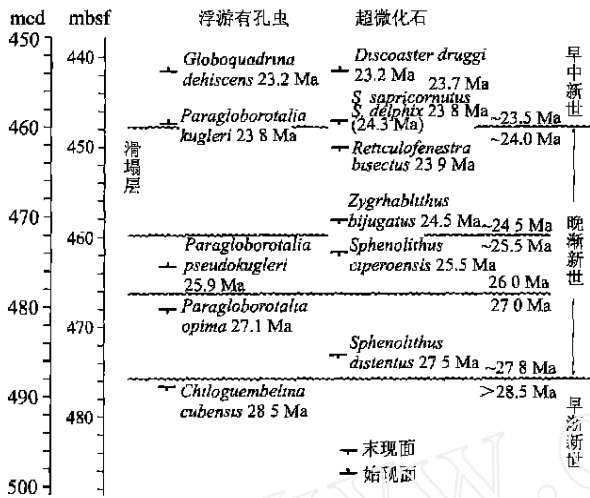


图 3 1148 站浮游有孔虫和超微化石生物地层年龄与沉积间断测定 (Li et al., 2004)

Fig. 3 Age determination of Site 1148 sediments and unconformities based on planktonic foraminifer and nannofossil biostratigraphy

变形所致 (图 2)。

### 2.2 生物地层年代

图 3 列出 1148 站 450 ~ 520 mcd 段浮游有孔虫

和钙质超微化石分析的综合结果,详细资料请参阅文献 Li et al. (2004). 各指标种初现面或未现面的年龄均参照国际生物地层年代标准 (Berggren et al., 1995). 可以看出,滑塌堆积的底界 (472 mcd) 为 24.5 ~ 25.5 Ma, 顶界 (458 mcd) 为 23.5 ~ 24 Ma. 如果没有考虑沉积间断,整个滑塌层可认为是 23.5 ~ 25.5 Ma 期间的产物,换句话说,滑塌事件发生在晚渐新世晚期至中新世早期大约 2 Ma 的时间段,而堆积层上段可能仅是中新世初期一短时间的崩塌堆积. 值得一提的是,滑塌沉积层下段含有许多中、早渐新世微体化石,估计是因再沉积所致 (Li et al., 2004).

### 2.3 沉积间断

生物地层结果表明,1148 站滑塌沉积层附近有 4 个主要沉积间断面: 488, 478, 472 和 458 ~ 460 mcd (图 3). 每个间断面代表大约有 0.5 ~ 1 Ma 的沉积缺失. 具体说来,488 mcd 处的沉积间断为 ~ 27.8 - > 28.5 Ma, 478 mcd 为 26 ~ 27 Ma, 472 mcd 为 24.5 ~ 25.5 Ma, 458 ~ 460 mcd 为 23.5 ~ 24 Ma. 更准确的年龄或因滑塌 (472 ~ 458 mcd) 或因低岩心采心率 (478 ~ 488 mcd) 所限而无法获得. 四大沉积间断相加总计缺失至少 3 Ma 的沉积记录. 这一事

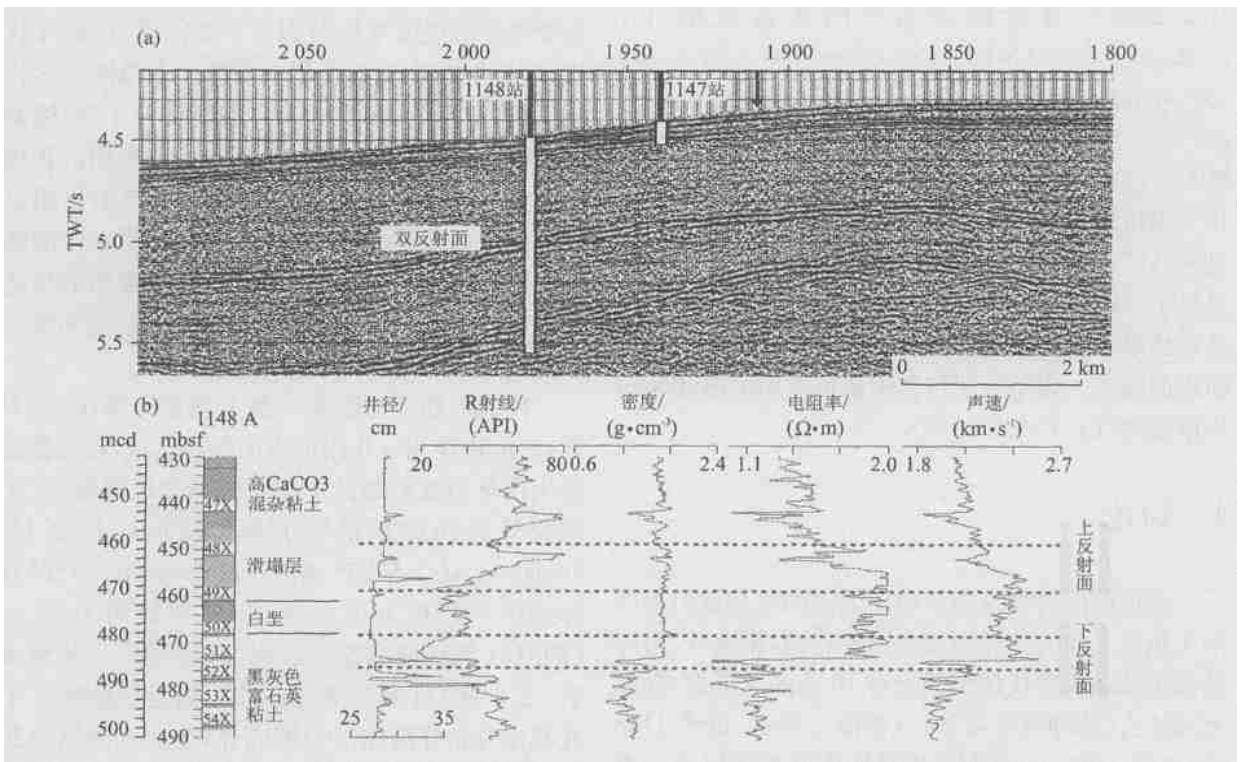


图 4 (a) 地震剖面上的双反射面; (b) 440 ~ 500 mcd 井段的录井曲线 (Wang et al., 2000)

Fig. 4 Seismic profile showing the double reflector (a); Various log records showing dramatic changes between 440 - 500 mcd (b) mcd. 合成深度 (m); mbsf. 海底深度 (m); 47X ~ 54X 为延伸式取心井段序号; 灰色区为钻井取心

实表明,晚渐新世至中新世初期,1148 站地区沉积环境极端不稳定,而这种不稳定环境以 25 Ma 左右发生的滑塌堆积达到最高峰(图 3)。

### 3 滑塌层的地球物理与地球化学特征

地震剖面显示,1148 站位于 5.0 s 处有一双反射面(图 4)。经计算,这一双反射面至少在跨度上包含了渐新世的滑塌层(Wang *et al.*, 2000)。如图 4 所示,上述的 472 mcd 和 460 mcd 间断面很可能组成双反射面的上部,而 478 mcd 和 488 mcd 间断面则为双反射面的下部。不论这种对比是否 100% 准确,双反射面的远距离延伸于剖面图之外本身就说明滑塌层属大范围沉积。

各项录井曲线包括 R 射线、密度、电阻率、声速等,在滑塌堆积井段附近均表现出强烈的波动(图 4)。例如,R 射线从 472 mcd 处只有 20 API 的低值攀升到 464 mcd 处 80 API 的高度值,而电阻率在 488~466 mcd 段几乎一直保持约 2.0  $\Omega \cdot m$  的高值。

常量和微量元素的含量也呈现巨大变化(Li *et al.*, 2003)。含量显著上升的元素包括 Ti: ( $< 2\ 000 \sim 7\ 000$ )  $\times 10^{-6}$ , Sr: ( $40 \sim 500$ )  $\times 10^{-6}$ , Zr: ( $50 \sim 200$ )  $\times 10^{-6}$ , Ce: ( $10 \sim 50$ )  $\times 10^{-6}$ , Nb: ( $10 \sim 30$ )  $\times 10^{-6}$  和 Th: ( $5 \sim 20$ )  $\times 10^{-6}$ 。含量减少的元素有 Ga: ( $5 \sim 20$ )  $\times 10^{-6}$ , 而 Rb: ( $100 \sim 50 \sim > 150$ )  $\times 10^{-6}$  则出现先降后升的变化趋势。先降后升变化还见于 Al/Ti, Rb/Sr, La/Lu 等元素比值,而先升后降只见于 Th/La 和 Th/Cr 以及 Nd 同位素值(图 5)。这些结果表明陆源物质来源的改变,从渐新世源自西南的印支-巽他陆架转到中新世时期南海北面的华南陆棚(Li *et al.*, 2003)。

### 4 讨论

强地震反射面常指示由于低海面或构造引起不同沉积层之间的分界面或者不整合面。据统计,南海陆架至陆坡新生代地层至少有 10 条强反射面,标志地层缺失(蒋仲雄等,1994),如图 6 所示。由于 1148 站(水深 3 294 m)自渐新世早期南海扩张以来就一直处于外陆坡的深水区,层序分界在地震剖面上大多不明显,但 5.0 s 处的双反射层却非常显著。异常的滑塌沉积以及沉积间断引起沉积物成分的物理

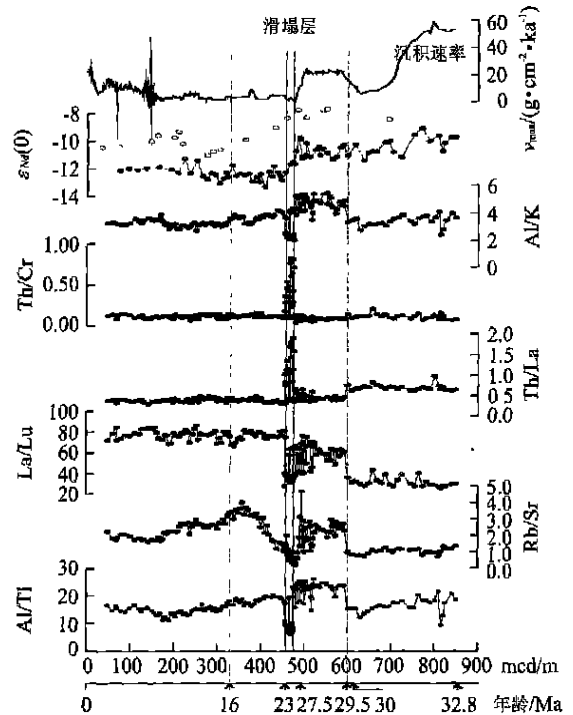


图 5 微量元素比值和 Nd 同位素变化(Li *et al.*, 2003)

Fig. 5 Downcore variations of selected trace element ratios, Nd isotope and accumulation rate

反差应该是造成该双反射面的主要因素。根据年代对比,1148 站的双反射面集中反映了南海陆架区代表渐新世/中新世界面的  $T_6$  反射面和位于早/晚渐新世界面的  $T_7$  反射面(图 6),而且由于滑塌沉积使其地震信号异常大大增强。浅海区地震反射面很可能是低海平面造成的层序不整合面,但深水区的强反射面则很难用低海平面影响来解释。强烈的构造活动应该是造成 1148 站地区滑塌沉积、地层间断以及独特的双反射面的主要因素。

南海的原型为欧亚-澳大利亚-菲律宾(太平洋)三大板块相互作用形成的裂谷盆地,自三叠纪至新生代早期基本都保持裂谷充填盆地的特征。早期研究认为南海扩张始于早渐新世磁异常 11 带(Brais *et al.*, 1993),据 Berggren *et al.* (1995),国际地层年代标准磁异常 11 带年龄约为 30 Ma。ODP184 航次研究结果表明,1148 站底部年龄至少有 32.8 Ma(汪品先等,2003b)。因为该站的 2 个钻孔都没有钻穿海相沉积层底界,无法判断南海北部最早深水沉积物的准确年龄,但估计可能为 33~34 Ma 或磁异常 12 带,接近始新世/渐新世分界。早渐新世的沉积特点是浅水与深水化石混杂、多陆源成分和高堆

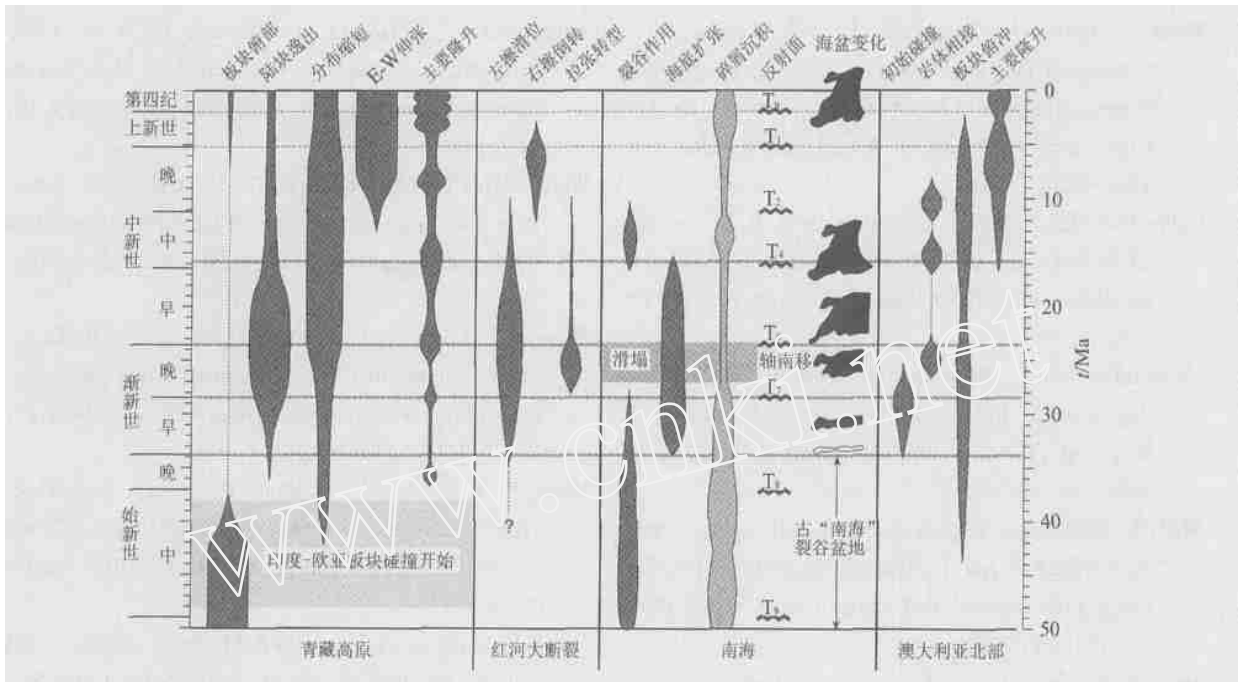


图 6 南海与邻区新生代主要构造事件比较

Fig. 6 Comparison of major tectonic events between the South China Sea and adjacent areas

资料来源于 Pigram and Davies (1987)、Briais *et al.* (1993)、蒋仲雄等(1994)、Copeland (1997) 和 Hall (2002)

积速率(平均 60 mm/ ka),说明扩张初期的南海还只是一条夹在陡坡间自东向西延伸的狭长海峡(图 6)(汪品先等,2003b)。

1148 站晚渐新世滑塌沉积是南海扩张构造形变的记录,除外没有其他更适当的解释来说明为什么沉积结构、岩性、元素地化、古生物在 458 ~ 472 mcd滑塌层井段的骤然变化和沉积间断。问题是,什么构造事件造成这些沉积变化和间断?是因为扩张轴南移(Briais *et al.*, 1993)还是另有其因?那引起扩张轴移动的因素是什么?南海开裂于北部,为什么不继续向北而向南扩张呢?

如果青藏高原隆升挤出印支次大陆而造成南海海底扩张的假说成立(Tapponnier *et al.*, 1982; Briais *et al.*, 1993),晚渐新世 1148 站滑塌沉积所记录的大范围构造事件应该是青藏高原一次强烈隆升所致。Copeland(1997)证实高原隆升在 25 Ma 左右确实增强,红河大断裂在 28 ~ 24 Ma 期间由转换挤压向拉张转型(Wang *et al.*, 2001),印支次大陆向东南位移达 150 km(Briais *et al.*, 1993)。与此同时,东南亚构造重组也非常明显(Hall, 2002 及所列文献),新几内亚岩层首次与澳大利亚稳定地块相接(Pigram and Davies, 1987)(图 6)。所有这些事件都发生在晚渐新世 25 Ma 左右,与 1148 站的滑塌层年

龄一致,说明南海和周边地区构造活动非常强烈。这一系列事件应当都是三大板块相互碰撞的结果。南海扩张轴南移可能是因为:(1)南部由于红河大断裂左擦拉张强度高。(2)南部早期裂谷发育易于扩张。(3)稳定的华南地块加上菲律宾板块受太平洋板块向西挤压阻止了南海向北部扩张(图 1)。

### 5 结论

南海 ODP1148 站滑塌堆积层记录了晚渐新世 25 Ma 南海扩张向南转型的重大构造事件,这一构造事件是欧亚 - 澳大利亚 - 菲律宾(太平洋)板块共同作用的结果,标志着南海向前期裂谷发育、拉张强度高的南部扩张的一次构造大转型。

致谢:分析研究的样品及资料由国际大洋钻探计划提供。

### References

Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C., et al., 1995. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In: Berggren, W. A., Kent, D. V., Aubry, M. P., et al., eds., *Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation*. *SEPM Spec. Publ.*, 54:129 - 212.

- Briais, 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. *J. Geophys. Res.*, 98: 6299 - 6328.
- Coblentz, D. D., Sandiford, M., Richardson, R. M., et al., 1995. The origin of the intraplate stress field in continental Australia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 133: 299 - 309.
- Copeland, P., 1997. The when and where of the growth of the Himalaya and the Tibetan plateau. In: Ruddiman, W. F., ed., *Tectonic uplift and climate change*. Plenum, New York, 19 - 40.
- Hall, R., 2002. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer-based reconstructions, model and animations. *J. Asian Earth Sci.*, 20: 353 - 431.
- Jiang, Z. X., Zeng, L., Li, M. X., et al., 1994. Tertiary in petroliferous regions of China, . The north continental shelf region of South China Sea. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Li, Q., Jian, Z., Su, X., 2004. Late Oligocene rapid transformations in the South China Sea. *Mar. Micropaleontol.*, (in press).
- Li, X., Wei, G., 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 Planet. Sci. Lett.*, 211: 207 - 220.
- Pigram, C. J., Davies, H. L., 1987. Terranes and the accretion history of the New Guinea orogen. *BMR J. Aust. Geol. Geophys.*, 10: 193 - 212.
- Tang, X., 1980. The origin and plate tectonic framework of the South China Sea. *Pet. Explor. Develop.*, 1: 1 - 15 (in Chinese).
- Tapponnier, P., Peltzer, G., Le Dain, A. Y., et al., 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, 10: 611 - 616.
- Wang J. H., Yin, A., Harrison, T. M., et al., 2001. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 188: 123 - 133.
- 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*, 23: 2549 - 2561 (in Chinese).
- Wang, P. X., Prell, W. L., Blum, P., et al., 2000. Proc. ODP, Init. Repts. 184. Ocean Drilling Program, Texas A & M University, College Station TX 77845 - 9547, USA.
- 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*, 23: 2524 - 2535 (in Chinese).
- Wu J., 1994. Evaluation and models of Cenozoic sedimentation in the South China Sea. *Tectonophysics*, 235: 77 - 98.

### 附中文参考文献

- 蒋仲雄, 曾麟, 李明兴, 等, 1994. 中国油气区第三系, 南海北部大陆架油气区分册. 北京: 石油工业出版社.
- 唐鑫, 1980. 南海板块构造格局及其成因. 石油勘探与开发, 1: 1 - 15.
- 汪品先, 翦知巖, 赵泉鸿, 等, 2003b. 南海演变与季风历史的深海证据. 科学通报, 21: 2228 - 2239.
- 汪品先, 赵泉鸿, 翦知巖, 等, 2003a. 南海三千万年的深海记录. 科学通报, 21: 2206 - 2215.