

文章编号 1001-8166(2004)04-0539-06

南海渐新世以来构造演化的沉积记录^{*}

——ODP 1148 站深海沉积物中的证据

邵磊¹ 李献华² 汪品先¹ 翦知愷¹ 韦刚健² 庞雄³ 刘颖²

(1 同济大学海洋地质教育部重点实验室,上海 200092 ;2 中国科学院广州地球化学研究所,广东 广州 510640 ;3 中海石油研究中心南海东部研究院,广东 广州 510240)

摘要 南海 ODP1148 站井深 859 m、时间跨度 32.8 Ma,是南海大洋钻探中取芯最长、年代最老的站位,详细记录了渐新世以来南海北部的演变历史。该站位深海沉积物地球化学分析结果显示,自早渐新世以来南海经历了复杂的沉积、构造演变过程。在 32 Ma、30 Ma、28.5 Ma、25 Ma、23.5 Ma 和 16 Ma 以及 10 Ma、8 Ma 和 3 Ma 沉积物成分存在明显的突变或不连续面。特别是在晚渐新世沉积物成分发生剧烈改变,并伴有沉积间断和滑塌作用,代表着南海以及我国东部地区一次重大构造运动,该构造运动对我国近代地理格局的形成以及我国东部地区众多陆相盆地由断陷型转为坳陷型起到了极为关键的作用。

关键词 南海 构造 深海沉积 地球化学 渐新世
中图分类号 P736 文献标识码 A

南海是西太平洋面积最大的边缘海,属于西太平洋边缘沟—弧—盆体系的一部分,其形成演化过程较为复杂。几乎一切类型的构造运动、沉积作用、岩浆活动、变质作用和成矿作用在南海都有一定的发生、发展和演化过程^[1]。对于南海的构造演化存在各种不同的见解和假说^[1-7]。然而,由于在中国海区长期来缺乏深海钻孔,许多问题只能通过地球物理资料来研究,遗留了一大堆有争议的问题。因此,从深海沉积角度阐明南海构造演化历史作用过程,对认识南海大陆边缘沉积盆地的性质及演化特征有重要意义。南海 ODP184 航次 1148 站为系统研究南海深海盆的形成、演化提供了珍贵的研究素材。

在南海研究中,1973 年就已经发现南海存在线性磁异常,并提出南海的扩张模式和时间^[2]。1983 年 Taylor 等^[3]在总结前人用弧后扩张理论研究南海形成演化的基础上,根据对地磁场新老资料的分

析和对比,曾鉴别出呈 NEE 和近 EW 向的磁条带 5D ~11 序列,并在南海盆地辨别出一种对称的海底扩张模式,认为南海海底扩张的时间为早渐新世—早中新世。根据磁条带对比研究资料^[7],南海海底扩张在 30 ~25 Ma BP 时线性磁异常方向近于 EW 向,南海海盆以南北向扩张为主。在磁异常条带 7 期即 25 Ma 南海扩张轴发生跳跃,转为 NEE-SSW 方向,海盆以北北西—南南东向扩张为主,到 16.7 Ma 南海扩张结束^[8,9]。故可以认为,南海真正打开、出现洋壳的时间应在 30Ma 左右。ODP 184 航次并没有在海盆基底取样的任务,因而不能直接检验南海扩张裂的地球物理假说,但 1148 站位于南海北部陆坡的外缘,接近陆壳和洋壳的边界,是通过沉积记录追踪海盆扩张历史的理想地点。本文根据 ODP 1148 站的研究结果对这一问题进行探讨,一方面从深海沉积记录中对南海构造演化模型进行检验,另一方

* 收稿日期:2004-05-20;修回日期:2004-06-14。

* 基金项目:国家自然科学基金重大项目“东亚古季风的海洋记录”(编号:49999560)、国家自然科学基金重点项目“南海深水扇系统及油气资源”(编号:40238060)、国家重点基础研究发展规划项目“地球圈层相互作用中的深海过程和深海记录”(编号:2000078500)资助。

作者简介:邵磊(1960-)男,河南巩县人,教授,主要从事沉积学及盆地分析研究。E-mail: shao@online.sh.cn

面通过 1148 站连续取样的优势条件,对南海重要的构造地质界面进行准确的年龄标定,为大量地震剖面的对比分析和利用提供可靠依据。

1 材料和方法

南海 ODP1148 站位于 $18^{\circ}50.17'N$, $116^{\circ}33.94'E$ 东沙群岛西南方(图 1),水深 3 294 m,取芯长度 859 m,为连续深海沉积物柱状样。通过微体古生物分析发现其底部年龄为 32.8 Ma,是南海大洋钻探中取芯最长、年代最老的站点^[10],详细记录了渐新世以来南海北部的沉积历史。沉积物以暗灰绿色粘土及微体生物化石为主,含有石英、方解石粉砂以及少量硅质软泥和火山灰夹层,铁的硫化物如黄铁矿等普遍存在,生物扰动强烈,但不同层段成份差异明显^[10]。1148 站在绝大多数层段取芯率高达 95% 以上,但在 476 ~ 600 m 以及 790 ~ 859 m 之间取芯率总体较低,部分层段甚至不到 5%。这些层段往往是构造活动强烈时期,特别是在 476 m 左右,所有参数均出现明显的突变和跳跃,是大的构造运动的集中表现。由于这些低取芯层段的存在,使 1148 站平均取芯率为 89.8%。

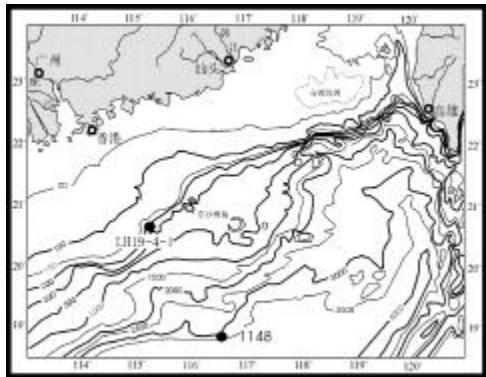


图 1 取样位置示意图

Fig. 1 Locations of the drilling samples in the Northern South China Sea

地球化学分析样品从上向下以 5.5 m 等间距的方法取样 147 个进行分析。同时,还有取自珠江口盆地 LH19-4-1 的 20 个样品进行对比性分析。样品首先在低温(−50)下烘干,压碎,并在 580 灼烧 30 分钟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 mol/L HCl 除去 $CaCO_3$,避免自生沉积物对分析结果产生的干

扰。样品用 HF + HNO₃ 混合酸分解,并用外部标准校正方法在 PE Elan 6000 型等离子质谱上测定微量元素含量^[11,12]。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。样品前处理分别在同济大学海洋地质教育部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,分析测试工作在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。粒度分析工作在同济大学海洋地质教育部重点实验室完成。

2 结果和讨论

2.1 地层沉积间断

在 1148 站 28.5 ~ 23.5 Ma(460 ~ 488 m)期间各种物理参数均出现明显的突变和间断^[9],是南海深海沉积记录中最为重大的一次构造运动。通过详细的古生物地层分析及沉积学研究发现,这次构造运动不是一次简单的运动,而是代表着一个复杂的构造活动期,中间存在几次明显的沉积间断,共计缺失大约 2.5 ~ 3 Ma 的地层^[13]。其中在 458 ~ 472 m 发育了约 14 m 厚的滑塌层段,包含较多砂级沉积物。这几次地层缺失在南海构造演化中具有重要意义,是几次大的构造运动的具体反应。根据古生物组合特征及国际地质年表,可以认为南海新、老第三纪的界线应在 23.8 Ma^[13]。

2.2 稀土元素特征

在沉积建造中,陆源碎屑岩不仅保留着源区母岩的相关信息,也直接记录了沉积盆地构造演化轨迹。但是,沉积作用影响及改变着沉积物成分,它包含一些复杂的物理、化学作用。研究表明,尽管存在沉积过程中的改造作用,物源区的地球化学成分是碎屑岩成分的主要控制因素^[14]。因此,通过分析碎屑岩的化学成分即可确定母岩性质,再造沉积盆地的构造演化历史^[15]。

一般认为,澳大利亚后太古代页岩(PAAS)的稀土元素配分模式代表了上地壳稀土元素的平均成分^[14,16]。1148 站经陨石校正的沉积物稀土元素分布,表现出富含轻稀土和重稀土含量均一、Eu 元素明显负异常的特征(图 2),分布趋势与澳大利亚后太古代页岩(PAAS)基本类似。但是,1148 站的沉积物稀土元素分布中重稀土含量较高,特别是在 32.8 ~ 30 Ma 以及 28.5 ~ 23.5 Ma 时期重稀土含量较其它时期明显偏高,Ce 为明显的正异常(图 3)。

重稀土元素含量偏高说明沉积物中来自基性火山岩的成分增多,而这两个时期正是南海扩张最为剧烈的时期,造成当时火山作用强烈;Ce 的正异常在 32.8 ~30 Ma 与该时期大量陆源物质输入有关,而在 28.5 ~23.5 Ma 时期则为全井沉积速率最低的时期(图 4) 并伴有沉积间断,表明当时海底洋流发育,造成强烈的海底氧化环境所致。同时,从图 2 ~3 中可以看出,南海沉积物中的稀土元素含量在各个时期略有不同,总体显示随时间变新而逐渐增高的趋势。

在 LH19-4-1 钻孔中对深度为 1 685 ~3 008 m 的范围内(韩江、珠江及珠海组)的样品进行了分析,结果显示位于珠二拗陷中的 LH19-4-1 孔从珠海组到韩江组沉积物中稀土元素的含量基本比较接近,总体和 1148 站的沉积物稀土元素分布特征相似,特别在晚渐新世时也出现 Ce 的正异常。与 PAAS 相比同样重稀土元素略有富集,但是,沉积物

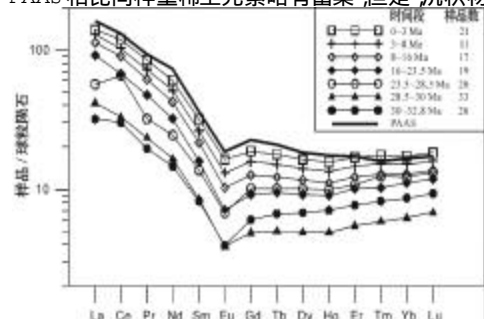


图 2 1148 站沉积物稀土元素配分模式

Fig. 2 Chondrite-normalized REE distribution for samples from ODP site 1148 compared with PAAS

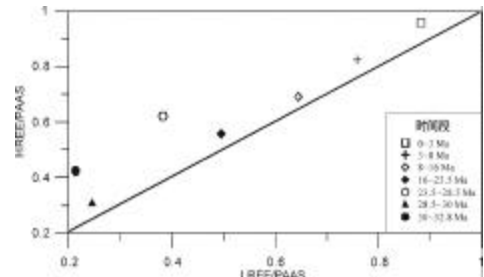


图 3 1148 站沉积物轻、重稀土元素含量与澳大利亚页岩(PAAS)比值图

Fig. 3 PAAS-normalized REE distribution for samples from ODP site 1148

显示 1148 站沉积物总体重稀土元素的含量要高于 PAAS,特别是在 32.8 ~30 Ma 以及 28.5 ~23.5 Ma 时期重稀土含量明显偏高, shows that the HREE contents of the samples are higher than those of PAAS, especially among 32.8 ~30 Ma and 28.5 ~23.5 Ma periods

稀土元素的含量始终与 PAAS 比较接近(图 4), 与其所处位置更靠近华南大陆有关。

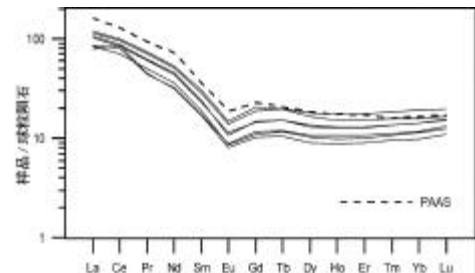


图 4 LH19-4-1 沉积物稀土元素含量分布图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE distribution for samples from LH19-4-1 compared with PAAS
与 PAAS 相比重稀土元素略有富集,但是,稀土元素的含量从珠江组到韩江组始终与 PAAS 比较接近。The curves indicate that the HREE contents of samples are little higher than those of PAAS, and absolute abundances of the REE from Zhujiang to Hanjiang Formations are almost same, near the curves of PAAS

2.3 微量元素分布特点

微量元素与稀土元素一样,总体抗风化能力较强,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。图 5 为 1148 站沉积物微量元素 Zr/Hf、Th/Sc、La/Sc、La/Sm、Nb/Ta 等元素比以及 SiO₂ 的分析结果。可以看出, Zr/Hf、Th/Sc、La/Sc、La/Sm、Nb/Ta 等元素比以及 SiO₂ 分别在 32 Ma、30 Ma、28.5 Ma、25 Ma、23.5 Ma 和 16 Ma 以及 10 Ma、8 Ma 和 3.0 Ma 存在明显的突变或不连续面。清楚地显示,南海深海沉积物地球化学成分经历了几个明显的演化阶段(图 5)。总体可以分为 5 个阶段:

(1) 32.8 ~30 Ma, 各种元素含量除在 32 Ma 时期有一次大的跳跃以外,总体变化不大,比较平稳,但这一时期是 1148 站沉积速率最高的时期,沉积物粒度变化也比较大,是南海海盆扩张初期的沉积产物。

(2) 30 ~23.5 Ma, 是各种元素含量变化最剧烈的时期,元素含量变化曲线除在 30 Ma 及 23.5 Ma 有 2 次大规模的跳跃以外,还在 28.5 Ma 和 25 Ma 有 2 次大的突变,是南海演化过程中构造活动十分活跃的时期,造成了多期次的地层缺失,并在 458 ~472 m 段发育了约 14 m 厚的滑塌层,是南海深海沉积中记录的最大的一次构造运动。

(3) 23.5 ~16 Ma, 元素含量比值变化幅度明显

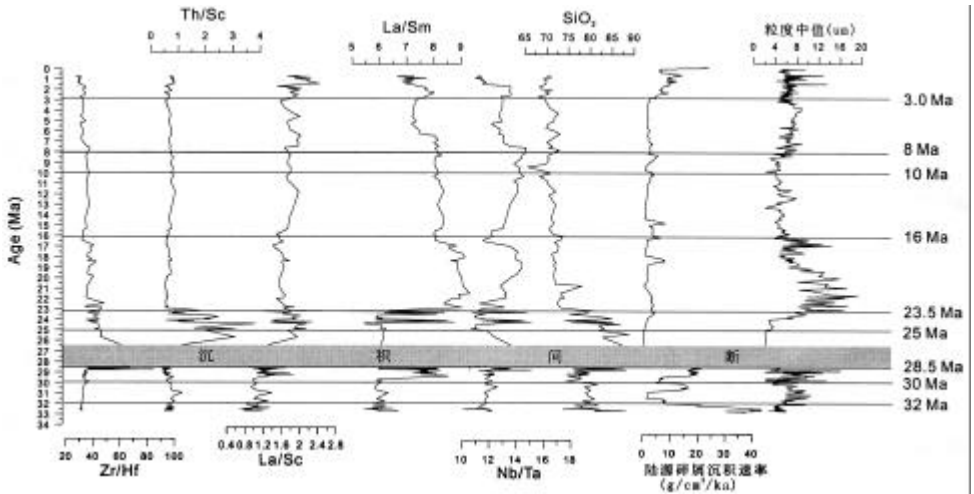


图 5 1148 站元素含量比、沉积速率以及粒度随时间变化曲线图

Fig.5 Variations of elements rates, terrigenous sedimentary rate and grain size of the samples in Site 1148 w with time

减弱,但是沉积物粒度在 23.5Ma 之后明显增大,然后逐渐变小,在 16 Ma 左右又有反复,是构造运动对沉积作用影响的具体反映。

(4) 16 ~3 Ma 是南海深海沉积物中记录的相对比较平静的发展时期,各种元素含量总体变化较小,比较平稳。但是在 10Ma 及 8Ma 还是存在一些大的跳跃或转折,说明在这些时期依然存在相对规模较小的构造运动及沉积环境突变事件。

(5) 3.0 ~0 Ma,从图 5 可以看出,这一时期沉积物中各种元素含量变化明显加大,沉积物堆积速率及沉积物粒度变化加剧,反映南海演化历史中又一个新的构造活跃期,特别在 3.0 Ma 以及 1.8Ma 存在明显的地球化学成分不连续面。而该时期正是菲律宾板块与欧亚板块碰撞后,台湾岛强烈隆升的时期。

可以认为 1148 站 32.8 Ma 以来沉积物地球化学的演变特征,正是南海洋壳扩张、构造演变的直接反映,是由于不同时期的构造运动导致沉积物源、沉积环境发生改变造成的。

2.4 南海演化历史

渐新世是南海海盆形成的一个重要时期。在经历白垩—早第三纪初期的拉张之后^[1],在 30 Ma 造成南海新洋壳的出现,形成磁条带 11 期。可以认为 1148 井底部的快速堆积夹浊流沉积,属于南海海底扩张开始之前强烈构造活动期的产物,接近扩张开始的 30 Ma (井深 600 m) 时沉积速率下降(图 5),此后沉积环境明显变化。南海渐新世已经是次

深海相沉积,其中还含有始新世再沉积海相化石^[17],说明早第三纪早期的裂谷作用在南海已经产生了海相盆地,海底扩张开始之前已处于深海环境。同时化石群反映的水深而近岸的特点,正说明扩张初期的南海,还只是一个夹在两岸陡坡间的东西向狭长海湾^[17]。

晚渐新世—早中新世初,沉积记录显示,南海在 28.5 Ma、25 Ma 以及 23.5 Ma 有几次较大规模的构造运动,造成深海沉积物的矿物成分及地球化学成分发生了跳跃及突变。其中 28.5 Ma 是南海西北海盆停止扩张,而南海扩张轴仅在中央海盆发生开裂,到 25 Ma 南海扩张轴发生跳跃,由原来 EW 向转为 NEE-SW 形成磁条带 7 期,使南海西南海盆打开^[3,9]。至 23.5 Ma 南海出现一次大规模的构造运动,不但造成沉积物成分发生改变,更有较大规模的滑塌层出现,是全井构造活动影响最强的井段。几乎所有的录井曲线在此发生转折,短时间内连续几次沉积间断共计失去了近 3 Ma 左右的记录^[9,23],并造成许多元素的含量和比值在此发生突变(图 5)。尤其是钕同位素 ϵ_{Nd} 值,从早渐新世的 -9 ~ -11 降至中新世的 -12 ~ -13,说明当时南海的沉积源区及环境发生了较大的改变^[18]。同时,晚渐新世的构造运动还带来了成岩作用程度的不同:滑塌层段以下的有孔虫壳已经充填、重结晶,其氧同位素值强烈偏负,硅质化石向以方石英为主的蛋白石转化,鱼牙化石经过热变作用呈褐红色,与上覆地层完全不同^[19]。475 ~600 m 井段即早渐新世的晚期,出现

硅藻和放射虫的高值段^[20]。可见在 1148 井记录的南海发育过程中,这是一次最大的构造运动。这次构造运动不仅在南海,而且在西太平洋地区均具有广泛的影响^[20]造成了我国东部众多陆相盆地由断陷转为拗陷,也标志着我国东部陆相盆地最佳烃源岩形成期的结束。相邻的珠江口盆地此时也由断陷转为拗陷,沉积了巨厚的碎屑岩系^[21, 22]。

经过这一构造活动剧烈形变以后,早中新世的南海盆地变得相对平静,扩张和堆积速率均下降,南海海盆进入相对较稳定的发展阶段,至 16Ma 磁条带 5 期南海扩张结束时,造成沉积物粘土成分以及沉积物粒度均有明显反应,但在地球化学成分上反应强度不如渐新世时期强烈。在底栖有孔虫群落的变化中,可以发现 16 Ma 左右冷水组合确立,而且深海碳酸盐溶解作用强化,说明扩张的结束伴随着水深的加大。其实 1148 站中新世早期的介形虫和底栖有孔虫化石群,都反映出下陆坡的深度($> 1500\text{ m}$)海盆水深已经加大,到扩张结束时已经达到现代深度,具有与现代相近的底栖生物组合^[17]。

中新世—上新世 南海海盆结束张裂后,新洋壳逐步冷却,导致盆地发生热沉降作用,海区以垂向构造运动为主,出现大规模的海侵活动。沉积物成分中蒙脱石含量进一步减少,伊利石含量则稳步增加,说明南海北部地区沉积物源区由周边火山岩区逐步向内陆扩展^[23]。此外,在太平洋板块 NW 向的挤压作用下,吕宋岛弧由东南方向仰冲于南海洋壳之上,形成反向岛弧和马尼拉海沟,南海洋壳沿此带消减于吕宋岛弧之下。上新世之后,吕宋岛弧继续向北移动,与华南古陆碰撞,形成台湾隆起^[24-26],为南海北部提供了大量陆源碎屑物质^[27, 28],使沉积速率增高,沉积物粒度增大,沉积物成分也发生明显改变。台湾岛的隆起也造成南海进一步封闭,现代南海的构造格局基本形成。

3 结论

南海大洋钻探 184 航次 1148 站深海沉积物完整记录了 32.8 Ma 以来南海的构造及沉积环境演化历史。总体沉积物稀土元素分布,表现出富含轻稀土和重稀土含量均一、Eu 元素明显负异常的特点。但是,显示出重稀土含量较高,特别是在 32.8~30 Ma 以及 28.5~23.5 Ma 时期重稀土含量较其它时期明显偏高,与这两个时期南海洋壳剧烈扩张相吻合。同时,发现沉积物中的稀土元素含量在各个时期略有不同,总体显示随时间变新而逐渐增高的趋势,反映南海沉

积物母岩区有随时间逐渐扩大的趋势。

微量元素含量及其比值以及陆源沉积物堆积速率和粒度中值均显示,1148 站深海沉积物在 32 Ma、30 Ma、28.5 Ma、25 Ma、23.5 Ma 和 16 Ma 以及 10 Ma、8 Ma 和 3.0 Ma 存在明显的突变或不连续面,表明南海深海沉积物成分经历了 5 个明显的演化阶段。特别是在 30~23.5 Ma 期间,沉积物成分发生剧烈改变,除在 30 Ma 及 23.5 Ma 有 2 次大规模的跳跃以外,还在 28.5 Ma 和 25 Ma 有 2 次大的突变,是南海渐新世以来演化过程中构造活动最为活跃的时期,造成了多期次的地层缺失以及滑塌层的出现,是南海深海沉积中记录的最大的一次构造运动,其在东亚地区影响广泛。可以认为,1148 站 32.8 Ma 以来沉积物地球化学的演变特征,正是南海洋壳扩张、构造演变的直接反映,是由于不同时期的构造运动导致沉积物源、沉积环境发生改变造成的。

参考文献(References):

- [1] Liu Zhao-shu (刘昭蜀), Zhao Huan-ting (赵焕庭), Fan Shi-qing (范时清), et al. Geology of the South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 2002. 494-501 (in Chinese).
- [2] Ben-Avraham E., Vryeda S. The evolution of the China Basin and the Mesozoic Paleogeography of Borneo [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1973, 18 (1-4): 365-376.
- [3] Taylor B., Hayes D. E. 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 [M]. Washington: Geophysical Monograph 27, AGU, 1983, 23-56.
- [4] Yao Bo-chu (姚伯初). Tectonic evolution of the South China Sea in Cenozoic [J]. Marine Geology & Quaternary Geology (海洋地质与第四纪地质), 1996, 16(2): 1-13 (in Chinese).
- [5] Yao Bo-shu (姚伯初), Zeng Wei-jun (曾维军), Hayes D., et al. The Geological Memoir of South China Sea Surveyed Jointly by China & USA [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1994. 1-204 (in Chinese).
- [6] Feng Zhi-qiang (冯志强), Zeng Wei-jun (曾维军). Tectonic evolution of Pearl River Mouth Basin and the formation of the South China Sea [J]. Acta Geologica Sinica (地质学报), 1982, 56(3): 212-222 (in Chinese).
- [7] Zhang Wen-you (张文佑). Tectonics of China and Adjacent Areas [M]. Beijing: Science Press, 1986. 344-356 (in Chinese).
- [8] Berggren W. A., Kent D. V., Swisher III C. C., et al. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy [A]. In: Berggren W. A., et al. eds. Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation [C]. SEPM Special Publication 54, 1995. 129-212.
- [9] Briaud A., Patriat P., Tapponnier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia [J]. Journal of Geophysical Research, 1993, 98(B4): 6299-6328.
- [10] Wang P. X., Prell W. L., Blum P., et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports South China Sea, Volume 184, College Station TX (Ocean Drilling Program) [M]. 2000. 25-38.
- [11] Liu Ying (刘颖), Liu Hai-chen (刘海臣), Li Xian-hua (李献华).

- Simultaneous and precise determination of 40 trace elements in rock samples using ICP-MS[J]. *Geochimica(地球化学)*, 1996, 25(6): 552-558(in Chinese).
- [12] Li Xianhua(李献华), Liu Ying(刘颖), Tu Xianglin(涂湘林), et al. 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[J]. *Geochimica(地球化学)*, 2002, 31(3): 289-294(in Chinese).
- [13] Li Q, Jan Z, Su X, et al. Late Oligocene rapid transformations in the South China Sea[J]. *Marine Micropaleontology*, 2004(in press).
- [14] Rollinson H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation[M]. Longman Scientific, Technical, 1993. 1-352.
- [15] McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes[A]. In: Lipin B R, et al. ed. *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*[C]. Washington DC: The Mineralogical Society of America, 1989, 169-200.
- [16] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks[M]. Oxford London: Blackwell Scientific Publication, 1985. 1-301.
- [17] Zhao Q. Late Cainozoic ostracod faunas and paleoenvironmental changes at ODP site 1148, South China Sea[J]. *Marine Micropaleontology* 2004(in press).
- [18] Li X, Weig, Shao L. Geochemical and Nd isotopic variations in sediments of the South China Sea: A response to Cenozoic tectonism in SE Asia[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003, 211(3-4): 207-220.
- [19] Fang Dianyong(房殿勇), Wang Rujian(王汝建), Shao Lei(邵磊), et al. Silica diagenesis of deep-sea Oligocene at ODP site 1148, the South China Sea[J]. *Marine geology & quaternary geology(海洋地质与第四纪地质)*, 2002, 22(2): 75-79(in Chinese).
- [20] Wang Rujian, Fang Dianyong, Shao Lei, et al. Oligocene biogenic siliceous deposits on the slope of the northern South China Sea[J]. *Science in China(Series D)*, 2001, 44(10): 912-918.
- [21] Gong Zaisheng(龚再升), Li Shian(李思田). Continental Margin Basin Analysis and Hydrocarbon Accumulation of the Northern South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1997. 127-192(in Chinese).
- [22] Zhu Weilin(朱伟林), Li Mingbi(黎明碧). Sequence Stratigraphy of Zhu3 Sag, Pearl River Mouth Basin[M]. Beijing: Petroleum University Press, 1995. 143-146(in Chinese).
- [23] Tang Song(唐松), Shao Lei(邵磊), Zhao Quanhong(赵泉鸿). Characteristics of clay mineral in South China Sea since Oligocene and its significance[J]. *Acta Sedimentologica Sinica(沉积学报)*, 2004, 22(2): 337-342(in Chinese).
- [24] Jilivel L, Huchon P, Rangin C. Tectonic setting of western Pacific marginal basins[J]. *Tectonophysics*, 1989, 160(1): 23-47.
- [25] Feng T H, Li Y H, Wu F T. Tectonic Uplift Rates of the Taiwan Island Since the Early Holocene[J]. *Memoir of the Geological Society of China*, 1977, 2: 57-69.
- [26] Chenenda A I, Yang R K, Hsieh C H, et al. Evolutionary model for the Taiwan collision based on physical modeling[J]. *Tectonophysics*, 1997, 274(1-3): 253-274.
- [27] Shao Lei, Li Xianhua, Wei Gangjian. Provenance of a prominent sediment drift on the northern slope of the South China Sea[J]. *Science in China(Series D)*, 2001, 44(10): 919-925.
- [28] Yu H S. Structure, stratigraphy and basin subsidence of Tertiary basins along the Chinese southeastern continental margin[J]. *Tectonophysics*, 1994, 235(1-2): 63-67.

SEDIMENTARY RECORD OF THE TECTONIC EVOLUTION OF THE SOUTH CHINA SEA SINCE THE OLILOCENE —Evidence from deep sea sediments of ODP Site 1148

SHAO Lei¹, LI Xian-hua², WANG Pin-xian¹,

JIAN Zhi-min¹, WEI Gang-jian², PANG Xiong³, LIU Yin²

(1. Key Laboratory of Marine Geology, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, China;

3. Nanhai East Institute, CNOOC Research Center, Guangzhou 510240, China)

Abstract: ODP Leg 184 Site 1148 recovered up to 859 m deep-sea sediments spanning the last 32.8 Ma from the northern South China Sea (SCS), which is the longest record known so far in recording the detail evolutionary history of the SCS since the Oligocene. Geochemical analysis reveal that the SCS has undergone complicated sedimentary and tectonic evolutionary processes. The composition of the sediments had obvious changes or discontinuities at 32 Ma, 30 Ma, 28.5 Ma, 25 Ma, 23.5 Ma, 16 Ma, 10 Ma, 8 Ma and 3 Ma, respectively, reflecting tectonic or environmental turning points. Especially, the great discontinuous change in the sediment composition at the Oligocene/Miocene boundary with slumps and sedimentation breaks indicates a period of important tectonic activities in the SCS and Eastern China areas. This tectonic event played a key role in the transforming of many sediments basins in the Eastern China from graben basins to down-warped basins, as well as in the formation of the general topographic character in the region.

Key words: South China sea, Tectonics; Marine sediment, Geochemistry, Oligocene.