

文章编号: 1000-0550(2008) 02-0179-07

# 珠江口盆地的沉积充填与珠江的形成演变<sup>①</sup>

邵磊<sup>1</sup> 庞雄<sup>2</sup> 乔培军<sup>1</sup> 陈长民<sup>2</sup> 李前裕<sup>1</sup> 苗工良<sup>1</sup>

(1 同济大学海洋地质国家重点实验室 上海 200092; 2 中国海洋石油总公司深圳分公司 广州 510240)

**摘要** 沉积物元素地球化学分析表明,南海北部地区沉积物渐新统与中新统明显不同,两者之间存在物源突变事件。这一沉积地质事件在时间上与南海扩张轴发生跳跃、滇西高原以及东喜马拉雅构造结的快速隆升等一系列地质构造事件十分吻合,是珠江以及珠江口盆地搬运—沉积—充填演化史上一次重大的转变。 $Ca/Si$   $Cl/Al$  以及  $Al_2O_3$  等参数变化显示,珠江侵蚀区极有可能由渐新世近源硅酸盐为主的华南沿海地区拓展为中新世远达青藏高原东麓的云贵高原碳酸盐为主的地区,流域范围突然扩大。同时伴随沉积物供给增大,造成珠江口盆地从渐新世富砂为主的沉积堆积体系转变为中新世以来以泥为主的沉积堆积体系,显示出珠江的发育演化以及中新世以来的青藏高原隆升在南海北部的沉积充填演变中扮演了重要角色,对南海北部地区油气藏的形成影响深远。

**关键词** 南海 珠江口盆地 白云凹陷 沉积学 物源分析

**第一作者简介** 邵磊 男 1960 年出生 教授 博士生导师 沉积岩石学及地球化学 E-mail: laishao@online.sh.cn  
**中图分类号** P512.2 P595 文献标识码 A

珠江口盆地是我国石油工业,特别是海洋石油快速发展的原油生产基地之一。自 1983 年以来已发现油气储量 6 亿多吨,建成投产了一批油气田,从 1996 年起全油区石油年产量已连续多年超过千万立方米<sup>[1]</sup>。就其勘探开发效率而言,珠江口盆地在我国,乃至世界石油工业领域都具有不容忽视的重要地位。然而,在取得成绩的同时,也发现了一系列亟待解决的地质认识问题,如目前已开发的砂岩油田和含油构造其规模都在数百万吨至数千万吨的中小油田之间,为什么没有发现大的砂岩油田?其主要控制因素是哪些?盆地在新生代以来的堆积厚度达万米以上,其物源随时间的演变特征如何并不清楚。特别是 1999 年在南海北部开展的 ODP184 航次研究工作,为南海北部地区提供了 32.8 Ma 以来高精度时间地层序列,同时发现南海北部地区沉积物源存在多期改变的现象<sup>[2-4]</sup>。尤其是在 23.8 Ma 的新近纪与古近纪界线处沉积物源存在重大突变,这一物源突变事件不仅在 ODP1148 站沉积物中被发现,在珠江口盆地沉积物中同样存在<sup>[4,5]</sup>。同时,伴随沉积物源的突变,珠江口盆地的盆地性质以及沉积充填类型均发生明显改变<sup>[5,6]</sup>。在这种环境演变中,珠江的发育演化以及中新世以来青藏高原的隆升对珠江口盆地的沉积充填起到哪些控制作用是问题的关键,也是地学界关注的

热点<sup>[7-9]</sup>。

## 1 材料和方法

珠江口盆地位于南海北部陆缘,盆地的基底是华南板块在南海的延伸部分<sup>[10]</sup>。盆地呈北东向展布,由北向南可划分出三个二级构造单元:北部坳陷带(由珠 I、珠 II 坳陷组成)、中央隆起带(由东沙隆起、番禺低隆起和神狐暗沙隆起组成)和南部坳陷带(由珠 II 和潮汕坳陷组成)。大量研究工作表明,盆地的发展与南海演化密切相关,经历了早期断陷,晚期拗陷的发展历程<sup>[1,5,10]</sup>。本文主要采用沉积物元素地球化学方法对珠江口盆地 XJ33 井、PY33 井以及 ODP1148 站进行对比性研究,探讨它们之间在沉积物源演变上的关联性,以期寻找出珠江的发育演化对珠江口盆地以及南海北部沉积充填所起控制作用的相关证据,加深对问题的理解和认识。

南海 ODP1148 站位于北纬 18°50'17",东经 116°33'33"94',东沙群岛西南方,水深 3 294 m,取芯长度 859 m,时间跨度 32.8 Ma 记录了渐新世以来南海北部的沉积历史。XJ33 井位于珠江口盆地珠 I 坳陷,水深 81 m,地层厚度达 4 880 余米,底部地层为渐新世恩平组。PY33 井位于珠江口盆地珠 II 坳陷白云凹陷北坡,水深 188 m,地层厚度 5 094 m,涉及地层达

①国家自然科学基金重点项目(批准号:40238060),国家重点基础研究发展规划项目(2007CB819501)及创新研究群体基金(40621063)资助。  
收稿日期:2007-05-30 收修稿日期:2007-07-20



图 1 南海北部研究区及井位位置示意图

Fig. 1 Location map and study areas in Northern South China Sea

渐新世恩平组(图 1)。1148 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, 以及古近纪沉积物略发生有早期成岩作用外, 整个钻孔沉积物基本上未固结成岩<sup>[11]</sup>, 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, 1148 站沉积物应与珠江口盆地同源, 受古珠江的控制<sup>[12]</sup>。XJ33 井和 PY33 井沉积物在渐新世接受了恩平—珠海组沉积, 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为特征, 反映沉积水体明显加深的过程。

XJ33 井从 360 m 深度开始, 以 60 m 左右的间距取样 79 个, PY33 井从 800 m 深度开始, 以大约 40 m 左右的间距取样 109 个, ODP1148 站从上向下以 5 m 等间距的方法取样 154 个。进行地球化学分析的样品首先在低温 (~ 50°C) 下烘干, 压碎, 并在 580°C 灼烧 30 min 以剔除有机质及沉积物内黏土矿物中的层间水, 称重并计算烧失率。然后用 0.1 M HCl 除去 CaCO<sub>3</sub>, 避免自生沉积物对分析结果产生的干扰。样品用 HF+HNO<sub>3</sub> 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) 测定元素含量<sup>[13]</sup>。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, 样品同时通过 X 衍射分析法进行了黏土矿物分析。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

在前人的研究中已经发现, ODP1148 站记录的 23.8 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<sup>[2~7]</sup>, 在该界线附近各种物理参数均出现明显的突变和间断<sup>[11]</sup>, 共计缺失大约 3 百万年的地层, 并发育了约 14 m 厚的滑塌层段<sup>[7, 16]</sup>, 是 32.8 Ma 以来南海构造演化中最为重大的构造事件。这一地质构造事件不仅在 ODP1148 站存在, 而且在珠江口盆地同样存在<sup>[4, 5]</sup>。

ODP1148 站沉积物黏土矿物分析显示, 自 23.8 Ma 进入中新世以来, 黏土矿物中蒙脱石含量随着时间逐步减少, 从渐新世的 80% 左右降为上新世的 15% 左右, 伊利石含量则从渐新世的 10% 增加到上新世的 45% 左右,  $\epsilon_{Nd}(0)$  值也发生明显突变(图 2)。然而 PY33 井沉积物黏土矿物含量则呈现另外一种变化形式, 蒙脱石含量随着埋藏深度增加逐步降低, 在 2500 m 左右突然减少, 几乎为零, 伊利石含量则基本保持平稳, XJ33 井沉积物黏土矿物含量变化情况与 PY33 井类似(图 3)。这种黏土矿物含量变化主要受沉积物成岩作用控制, 是埋藏深度的增加造成黏土矿物之间发生转换。因此, 可以认为, ODP1148 站由于埋深较浅, 沉积物基本未发生明显成岩作用, 其黏土矿物含量变化反映了沉积时的古环

境信息, 而珠江口盆地沉积物由于成岩作用的影响, 使其黏土矿物发生转化, 无法反映沉积时的环境变化信息。然而, PY33 井沉积物  $\epsilon_{Nd}(0)$  值的变化则表现出与 ODP1148 站完全相同的特点, 即  $\epsilon_{Nd}(0)$  值从渐新世的 -11 左右突然变为中新世的 -12 左右, 显示

沉积物源在 23.8 Ma 界线处存在一个明显的突变 (图 2)。沉积物地球化学成分变化上的一致性表明, 从元素地球化学的角度有望揭示该地区沉积环境的演变历史。

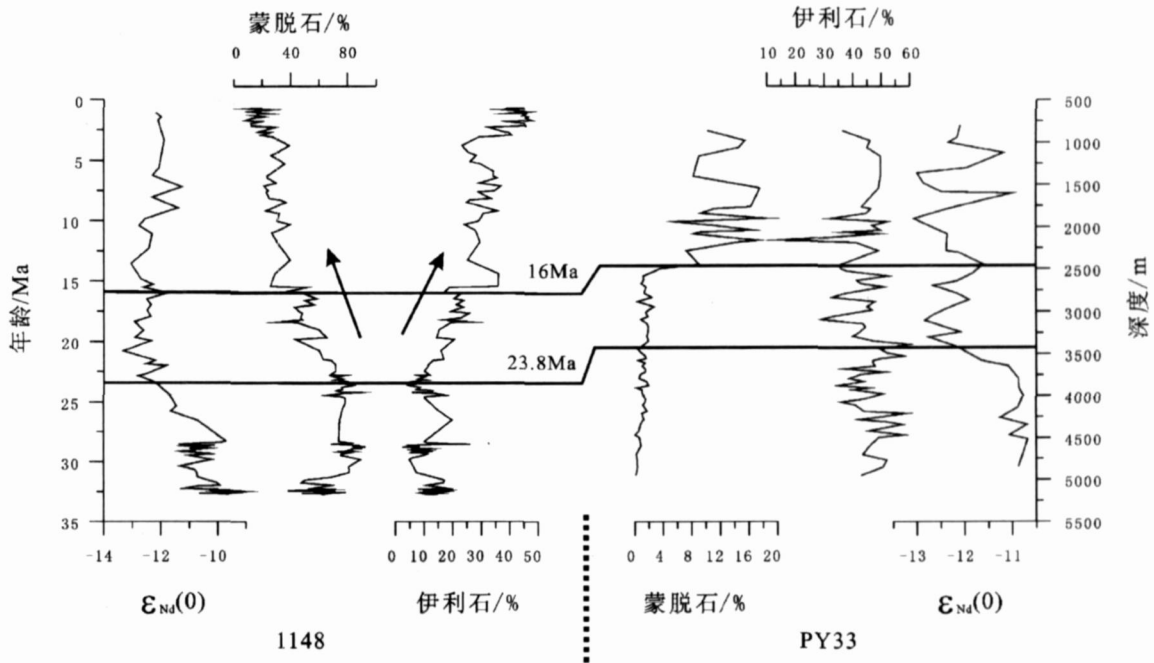


图 2 ODP1148 站和 PY33 井沉积物黏土矿物及  $\epsilon_{Nd}(0)$  含量变化曲线图

Fig. 2 Secular variations of clay mineral and isotopic Nd from Well PY33 and ODP Site 1148

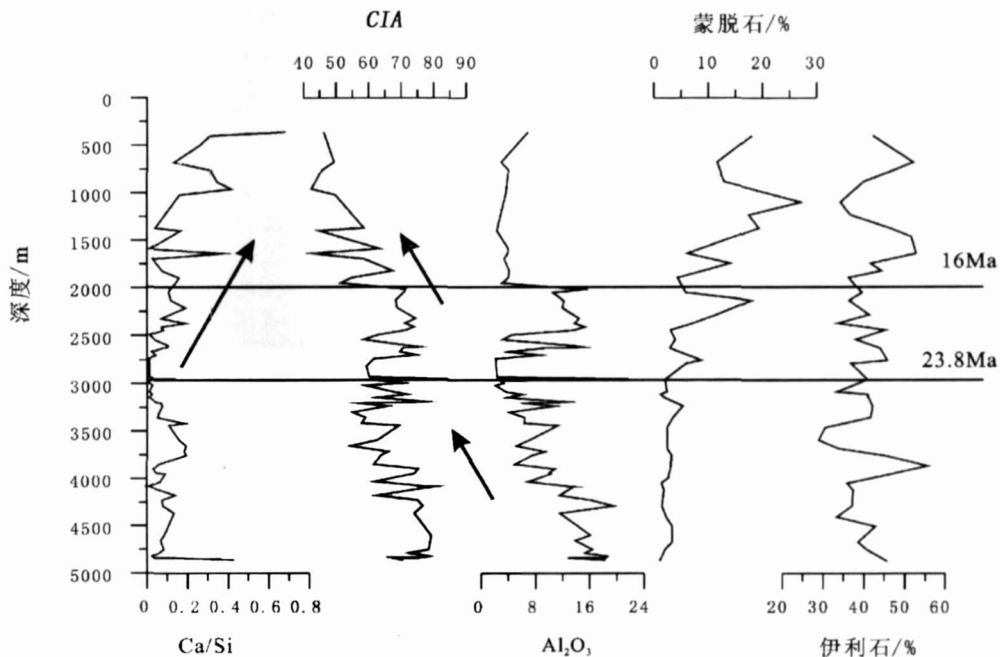


图 3 XJ33 井沉积物黏土矿物及元素含量变化曲线图

Fig. 3 Secular variations of clay mineral and elements from Well XJ33

Cifti根据渐新世以来全球氧同位素变化特征,认为由于全球气候变冷,季风增强,降雨增多,使陆源剥蚀物搬运时间变短,造成 ODP1148站黏土矿物中蒙脱石含量在 19 Ma 开始减少,到 15.5 Ma 开始快速减少<sup>[12]</sup>。通过图 2 可以明显看出,ODP1148站黏土矿物中蒙脱石含量减少、伊利石含量增加的时间与沉积物  $\epsilon_{Nd}(0)$  值的突变时间完全吻合,均是在 23.8 Ma 的渐新世/中新世界线处。众所周知,蒙脱石矿物的形成主要与母岩类型有关,而与气候关系不很明显,主要形成在火山岩发育的地区,其发生明显改变是沉积物源区母岩类型发生改变的直接反映。在 23.8 Ma 渐新世/中新世界线处沉积物  $\epsilon_{Nd}(0)$  值的突变恰恰是沉积物源区发生改变的直接证据<sup>[2,5,12]</sup>。

现在的珠江流域源自青藏东侧的云贵高原,从西向东横跨黔滇山间盆地、武陵山—南盘江隆起带、南宁—北部湾河湖盆地区以及三水盆地等不同构造单元,按主要岩石类型可以分为东南沿海中生代花岗岩区和云贵高原古生代碳酸盐岩区,岩石类型差别明显<sup>[17]</sup>。因此,本文选取岩石化学风化指数  $CA$  [ $CA = \frac{Al_2O_3}{(Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO)} \times 100$ ]、 $Ca/Si$  以及  $Al_2O_3$  三种参数来探讨 ODP1148 站以及珠江口盆地 PY33 井和 XJ33 井渐新世以来的环境变化情况。 $CA$  指数是表示岩石化学风化强度的参数, $CA$  指数越高,表明岩石经历的化学风化强度越大。但是它也与母岩类型有关,如果母岩中碳酸盐组分含

量高,其也显示较低的数值。从图 3 可以看出, XJ33 井  $Ca/Si$  比值从 23.8 Ma 开始逐步增加,反映沉积物中碳酸盐含量明显增多,硅酸盐的成分逐步下降。岩石化学风化指数  $CA$  则反映出自渐新世以来源区化学风化强度逐步降低,特别是在 23.8 Ma 以后,这种趋势更为明显。 $Al_2O_3$  含量自渐新世逐步降低,在 23.8 Ma 略有反复,从 16 Ma 以来则保持在较低水平上。PY33 井三种参数变化情况与 XJ33 井十分类似, $Ca/Si$  比值从 23.8 Ma 以后稍有增加,到 13.8 Ma 以后明显增加,变化时间上明显晚于 XJ33 井;而  $CA$  指数和  $Al_2O_3$  含量自渐新世逐步降低,特别在 23.8 Ma 出现明显突变,之后再次明显下降(图 4)。

ODP1148 站沉积物三种参数变化与珠江口盆地略有不同,主要表现为三种参数在渐新世出现剧烈变化,到 23.8 Ma 以后  $CA$  呈现逐步缓慢降低的态势,而  $Ca/Si$  比值则逐步增高,特别是从 8 Ma 以来出现明显增高,时间上又晚于 PY33 井,但  $Al_2O_3$  含量在渐新世出现剧烈变化后,自中新世以来基本保持稳定,可能与该地区自中新世以来基本为深海远洋环境<sup>[18]</sup>,珠江来源的沉积物仅有细粒黏土颗粒才能搬运到该地区有关(图 4)。

对于南海北部地区渐新世/中新世沉积物源的突变存在不同看法<sup>[2,5,12]</sup>。通过上述分析可以看出,ODP1148 站沉积物元素地球化学所反映的变化特征与珠江口盆地沉积物具有很好的可比性。吴国璋<sup>[19]</sup>

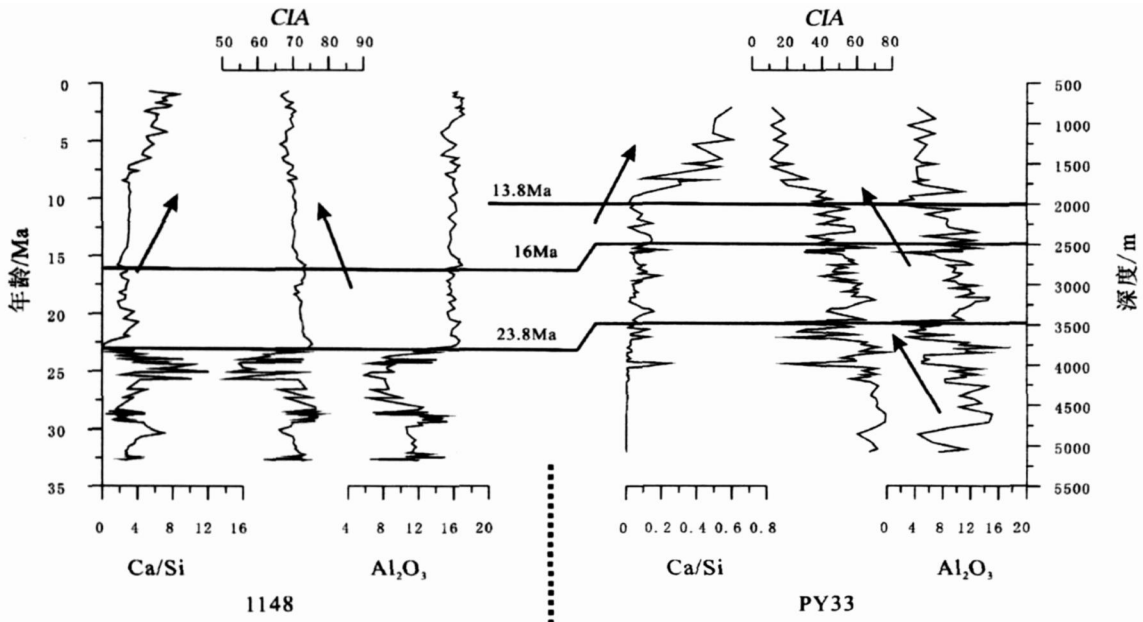


图 4 ODP1148 站和 PY33 井沉积物元素含量变化曲线图

Fig. 4 Secular variations of elements from Well PY33 and ODP Site 1148

通过孢粉研究也同样发现, ODP1148 站沉积物渐新世时期的孢粉组合特征与其北部珠江口盆地的孢粉变化特征完全相同, 两者完全可以进行对比。特别是对珠江口盆地沉积物的钕同位素分析发现,  $\epsilon_{Nd}(0)$  值在渐新世中新世界线处同样存在明显突变<sup>[5]</sup>。通过测定珠江口盆地基底岩石以及总结南海北部周边地区钕同位素分析数据<sup>[20~23]</sup>, 可以看出, ODP1148 站和 PY33 井沉积物  $\epsilon_{Nd}(0)$  值渐新世时期与华南沿海地区花岗岩相同, 而到中新世以后则和滇西以及青藏东麓地区花岗岩相同 (图 5)。可以认为, 包括 ODP1148 站在内的南海北部地区渐新世时期沉积物主要以华南沿海地区为主要源区, 而到中新世以后沉积物源区向华南古陆内部扩展, 极有可能达到青藏高原东麓地带。

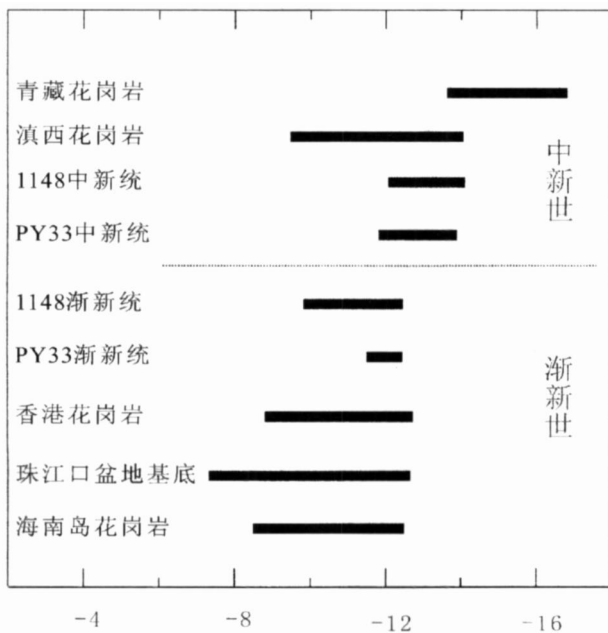


图 5 ODP1148 站和 PY33 井以及南海北部周边地区钕同位素分布

Fig 5 Comparison of the  $\epsilon_{Nd}(0)$  values of sediments from Well PY33 and ODP Site 1148 with possible sources surrounding the South China Sea

研究显示, 珠江三角洲在渐新世就已经存在, 发育规模较小<sup>[1]</sup>。到晚渐新世珠江口盆地由断陷型转为拗陷型, 珠江来源沉积物突然增多, 沉积物越过珠江 I 拗陷在目前位于珠江三角洲前缘深水陆坡区的珠江 II 拗陷内形成大量低位扇<sup>[1,6]</sup>。位于珠江流域西端的东喜马拉雅构造结最初在 25~17 Ma 发生快速隆升<sup>[24]</sup>, 滇西高原则在 23~19 Ma 开始初始隆升<sup>[25]</sup>,

包括莺—琼盆地在内的西部大片地区在渐新世末期也发生区域性上升隆起受到侵蚀<sup>[26]</sup>, 这一系列地质事件在时间上与珠江口盆地物源突变完全吻合。结合珠江口盆地沉积物三种参数显示 23.8 Ma 以来沉积物源区中碳酸盐组分明增多, 硅酸盐组相应减少, 说明作为珠江口盆地物源主要供给源的珠江存在流域区母岩类型突然改变的事件, 极有可能源区由渐新世华南沿海硅酸盐为主的源区突然改变为中新世远达青藏高原东麓的云贵高原碳酸盐为主的源区, 显示出珠江的发育演化以及中新世以来的青藏高原隆升在南海北部的沉积充填演变中扮演了重要角色。由于流域面积的增加, 使珠江口盆地沉积物从渐新世以前主要以富砂为特征 (砂泥比为 62.3:37.7) 转为中新世以来以泥为主的沉积堆积 (砂泥比转变为 35.3:64.7)<sup>[27]</sup>, 同时也使沉积物中蒙脱石含量明显降低。

### 3 结论

通过对比 ODP1148 站以及珠江口盆地 XJ33 井和 PY33 井沉积物成分特征可以看出, 南海北部地区沉积物成分在渐新世与中新世明显不同, 两者之间存在物源突变事件。自 23.8 Ma 以来 ODP1148 站沉积物黏土矿物中蒙脱石含量逐步减少, 伊利石含量逐步增多, Ca/Si 比值逐步增高, 特别是从 8 Ma 以来出现明显增高, 而 CIA 呈现逐步缓慢降低的态势,  $Al_2O_3$  含量自中新世以来基本保持稳定; XJ33 井和 PY33 井沉积物黏土矿物成分由于成岩作用的影响无法反映沉积时的环境变化信息。但两者的 Ca/Si 比值、CIA 指数以及  $Al_2O_3$  含量自 23.8 Ma 以来表现出相同的变化特征。

沉积物元素地球化学分析结果显示, 在渐新世南海北部沉积物源区以硅酸盐区为主, 到中新世则转为碳酸盐区起主导作用。这一沉积地质事件在时间上与南海扩张轴发生跳跃、滇西高原以及东喜马拉雅构造结的快速隆升等一系列地质构造事件十分吻合, 是珠江以及珠江口盆地搬运—沉积—充填演化史上一次重大的转变, 极有可能代表珠江由渐新世近源硅酸盐为主的源区拓展为中新世远达青藏高原东麓的云贵高原碳酸盐为主的源区, 流域范围突然扩大、向西溯源侵蚀加剧, 沉积物供给增大, 造成珠江口盆地从渐新世富砂为主的沉积堆积体系转变为中新世以来以泥为主的沉积堆积体系, 显示出珠江的发育演化以及中新世以来的青藏高原隆升在南海北部的沉积充

填演变中扮演了重要角色。

### 参考文献 (References)

- 1 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003 1-121 [Chen Changmin Shi Hesheng Xu Shice, *et al*. The Conditions of Hydrocarbon Accumulation of the Tertiary Petroleum System in the Pearl River Mouth Basin [M]. Beijing: Science Press, 2003 1-121]
- 2 Li X, Wei G, Shao L, *et al*. Geochemical and Nd isotopic variations in sediments of the South China Sea—a response to Cenozoic tectonic in SE Asia [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003, 211: 207-220
- 3 邵磊, 李献华, 汪品先, 等. 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 [J]. *地球科学进展*, 2004, 19(4): 539-544 [Shao Lei Li Xianhua Wang Pinxian, *et al*. Sedimentary record of the tectonic evolution of the South China Sea since the Oligocene: Evidence from deep sea sediments of ODP Site 1148 [J]. *Advances in Earth Sciences*, 2004, 19(4): 539-544]
- 4 邵磊, 雷永昌, 庞雄, 等. 珠江口盆地构造演化及对沉积环境的控制作用 [J]. *同济大学学报*, 2005, 33(9): 1177-1181 [Shao Lei Lei Yongchang Pang Xiong, *et al*. Tectonic evolution and its controlling for sedimentary environment in Pearl River Mouth Basin [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2005, 33(9): 1177-1181]
- 5 庞雄, 陈长民, 邵磊, 等. 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 [J]. *地质论评*, 2007, 53(2): 145-151 [Pang Xiong Chen Changmin Shao Lei, *et al*. Baiyun Movement—a great tectonic event on the Oligocene-Miocene Boundary in the northern South China Sea and its implications [J]. *Geological Review*, 2007, 53(2): 145-151]
- 6 庞雄, 陈长民, 吴梦霜, 等. 珠江深水扇与周边重要地质事件 [J]. *地球科学进展*, 2006, 21(8): 7-14 [Pang Xiong Chen Changmin Wu Mengshuang, *et al*. The Pearl River deep water fan systems and significant geological events [J]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(8): 23-29]
- 7 Li Q, Jian Z, Su X, *et al*. Late Oligocene rapid transformations in the South China Sea [J]. *Marine Micropaleontology*, 2005, 54: 5-25
- 8 Mtivier F, Gaudemer Y, Tapponnier P, *et al*. Mass accumulation rates in Asia during the Cenozoic [J]. *Geophysical Journal International*, 1999, 137: 280-318
- 9 Clift P D, Clark M K, Royden L H, *et al*. Evolving sedimentary pro- venance in the marginal basins of South and East Asia [M]. *EOS Abstr*, 2000, 81: WP200
- 10 姚伯初. 南海海盆新生代的演化史 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1996, 16(2): 1-13 [Yao Bochu. Tectonic evolution of the South China in Cenozoic [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1996, 16(2): 1-13]
- 11 Wang P X, Prell W L, Blum P, *et al*. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports South China Sea [J]. College Station TX (Ocean Drilling Program), 2000, 184: 25-38
- 12 Clift P, Lee J I, Clark M, *et al*. Erosional response of South China to arc rifting and monsoonal strengthening—a record from the South China Sea [J]. *Marine Geology*, 2002, 184: 207-226
- 13 李献华, 刘颖, 涂湘林, 等. 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 [J]. *地球化学*, 2002, 31(3): 289-294 [Li Xianhua Liu Ying Tu Xianglin, *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*, 2002, 32(3): 289-294]
- 14 唐松, 邵磊, 赵泉鸿. 南海渐新世以来黏土矿物的演变特征及意义 [J]. *沉积学报*, 2004, 22(2): 337-342 [Tang Song Shao Lei Zhao Quanhong. Characteristics of clay mineral in South China Sea since Oligocene and its significance [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(2): 337-342]
- 15 汪品先, 赵泉鸿, 翦知湑, 等. 南海三千万年的深海记录 [J]. *科学通报*, 2003, 48(21): 2206-2215 [Wang Pinxian Zhao Quanhong Jian Zhi Xu, *et al*. The deep sea record in South China Sea since 30 Ma [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(21): 2206-2215]
- 16 李前裕, 郑洪波, 钟广法, 等. 南海晚渐新世滑塌沉积指示的地质构造事件 [J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2005, 30(1): 19-24 [Li Qianyu Zheng Hongbo Zhong Guangfa, *et al*. Tectonic events indicated by Late Oligocene slumped deposits from the South China Sea [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2005, 30(1): 19-24]
- 17 马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气地质 [M]. 北京: 地质出版社, 2004: 112-116 [Ma Li Chen Huanjiang Gan Kewen, *et al*. *Geotectonics and Petroleum Geology of Marine Sedimentary Rocks in Southern China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 112-116]
- 18 Zhao Q. Late Cenozoic ostracod faunas and paleoenvironmental changes at ODP site 1148, South China Sea [J]. *Marine Micropaleontology*, 2005, 54: 27-47
- 19 吴国璋, 覃军干, 茅绍智. 南海深海相渐新统孢粉记录 [J]. *科学通报*, 2003, 48(17): 1868-1871 [Wu Guoxuan Qin Jungan Mao Shaozhi. Deep-water Oligocene pollen record from South China Sea [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(22): 2511-2515]
- 20 Catherine Deniel, Philippe Vidal, Angel Fernandez, *et al*. Isotopic study of the Manask granite: inferences on the age and source of Himalayan leucogranites [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987, 96: 78-92
- 21 陈福坤, 李秋立, 王秀丽, 等. 滇西地区腾冲地块东侧混合岩锆石年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素组成 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(2): 439-448 [Chen Fukun, Li Qiuli Wang Xiuli, *et al*. Zircon age and Sr-Nd-Hf isotopic composition of migmatite in the eastern Tengchong block, western Yunnan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(2): 439-448]
- 22 Darbyshire D P F, Sewell R J. Nd and Sr isotope geochemistry of plutonic rocks from Hong Kong: implications for granite petrogenesis, regional structure and crustal evolution [J]. *Chemical Geology*, 1997,

- 143: 81-93
- 23 葛小月. 海南岛中生代岩浆作用及其构造意义——年代学、地球化学及 Sr-Nd 同位素证据 [D]. 中国科学院广州地球化学研究所, 2003: 29 [Ge Xiaoyue Mesozoic Magmatism in Hainan Island (SE China) and Its Tectonic Significance. Geochronology, Geochemistry and Sr-Nd Isotope Evidences [D]. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science. Dissertation for PhD, 2003: 29]
- 24 钟大赉, 丁林. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨 [J]. 中国科学 (D 辑), 1996, 26(4): 289-295 [Zhong Dalai Ding Lin Rising process of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and its mechanism [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(4): 35-45]
- 25 王国芝, 王成善, 曾允孚, 等. 滇西高原的隆升与莺歌海盆地的沉积响应 [J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 234-240 [Wang Guozhi Wang Chengshan, Zeng Yunfu et al. The uplift of the Western Yunnan Plateau and the sedimentary response of the Yinggehai Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 234-240]
- 26 张启明, 张泉兴. 莺歌海盆地深部地压气 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1992, 12(1): 1-8 [Zhang Qiming Zhang Quanxing Deep geopressured gas in the Yinggehai Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1992, 12(1): 1-8]
- 27 庞雄, 陈长民, 施和生, 等. 相对海平面变化与南海珠江深水扇系统的响应 [J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 167-177 [Pang Xiong Chen Changmin, Shi Hesheng et al. Response between relative sea-level change and the Pearl River deep-water fan system in the South China Sea [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 167-177]

## Sedimentary Filling of the Pearl River Mouth Basin and Its Response to the Evolution of the Pearl River

SHAO Lei<sup>1</sup> PANG Xiong<sup>2</sup> QIAO Peijun<sup>1</sup> CHEN Changmin<sup>2</sup>  
LI Qianyu<sup>1</sup> MAO Weilang<sup>1</sup>

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

2. Shenzhen Ltd CNOOC, Guangzhou 510240)

**Abstract** The sediment geochemical composition between Oligocene and Miocene was different in the northern South China Sea, indicating a significant provenance change. This abrupt change coincided with a series of events including a seafloor spreading axis jump in the South China Sea and uplift of the Western Yunnan Plateau and Eastern Tibet Plateau, leading to obvious changes in drainage areas of the Pearl River and the sediment geochemical composition. The variations in Ca/Si, CIA and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reflect that the erosion areas of the Pearl River transformed from close-to-source neighboring areas in the Oligocene to the Western Yunnan Plateau and Eastern Tibet Plateau since the early Miocene, and the provenance rock types changed from silicate to carbonate, as well as the main sediment composition changed from sand-dominated to mud-dominated material. Therefore, the evolution of the Pearl River and the uplift of the Tibet Plateau played a key role in the sedimentary transformation and accumulation in the Pearl River Mouth Basin. This abrupt change event has a profound influence on the evolution of petroleum offshore in the northern South China Sea.

**Key words** South China Sea, Pearl River Mouth Basin, Baiyun Sag, sedimentology, provenance analysis