

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2008.06087

长江三角洲 DY03 孔磁性地层研究及其意义

黄湘通¹, 郑洪波¹, 杨守业¹, Mark Dekker², 谢 昕¹, 章振铨³, 方国庆³

(1 同济大学 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092; 2 Department of Earth Sciences, Faculty of Geosciences Utrecht University
Budapestlaan 17, 3584 CD Utrecht, The Netherlands; 3 上海市地震局, 上海 200062)

摘要:长江三角洲地区晚新生代以来接受了大量沉积, 长时间序列沉积地层研究对于三角洲沉积环境演化和长江变迁历史都具有重要研究意义。通过对长江三角洲 DY03 孔古地磁、磁化率以及岩性分析, 初步建立了研究钻孔较为可靠的年代地层框架。研究发现, 长江三角洲地区沉积序列中有多个具有全球对比意义的短时期磁性漂移事件, 对磁性地层定年的进一步应用具有重要意义。分析表明, 研究区晚新生代地层中普遍发育的硬黏土层不仅是晚第四纪地层对比的重要标志层, 而且对整个晚新生代以来的沉积地层对比都会发挥重要作用。长江三角洲沉积演化基本呈现出早期受构造活动控制, 后期受海平面升降和气候变化的制约。

关键词:古地磁; 地层; 晚新生代; 长江三角洲

中图分类号: P736.2

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2008)06-0087-07

作为世界大河三角洲之一, 长江三角洲无论在经济、地理、气候、环境和人文方面都具有重要的研究价值, 是探讨三角洲发育、海平面变化、长江物质源汇过程、海陆相互作用以及人地关系最理想的地区之一^[1-5]。探索构造活动、风化作用和气候(季风)之间的相互关系是过去全球变化研究的热点, 发源于青藏高原的大河及其三角洲的研究日益重要^[6-9]。作为青藏高原侵蚀物质的汇聚地之一, 长江三角洲在探索长江形成、流域化学风化和亚洲宏观环境变迁方面的作用已引起广泛重视^[10-12]。尽管长江三角洲地区已经开展了大量研究, 但研究重点在晚第四纪^[13], 对于更长时间序列的研究报道较少, 值得进一步探索研究。可靠年代地层框架的确立是研究和解释诸多地质问题的前提和基础, 古地磁测年法作为常规的定年法之一, 在第四纪沉积物定年中发挥着重要作用。虽然不少文献已对本区的磁性地层进行了报道, 但是, 针对某一钻孔的系统磁性地层分析尚不多见。此外, 主要地层界线的划分标志还不明确, 使得整个三角洲地区不同钻孔之间地层横向对比存在困难。因此, 本文试图通过 DY03 孔磁性地层与沉积特征的研究, 讨论长江三角洲地区晚新生代主要地层界线的划分对比标志, 为进一步探讨长江三角洲沉积演化、物源变化、长江水系历史等研究热点问题提供可靠的年代约束。

1 材料和方法

长江三角洲 DY03 孔位于上海市奉贤区发展村大叶公路旁(30°58'2"N, 121°25'8"E, 图 1), 于 2006 年 7 月实施打钻取样。钻孔进尺 249.15 m, 钻穿晚新生代松散沉积物地层至中生代基岩, 岩心实际长度 235.95 m, 取心率 > 80%。将岩心从正中剖开、修平和岩性描述之后, 按照 10~20 cm 的取样间距进行古地磁样品采集, 共采集样品 556 个。样品以细粒级的黏土和黏土质粉砂为主。受岩性纵向变化大的影响, 样品在部分层段采样间隔并不均匀。为避免样品分辨率过低, 磁性地层解释存在多解性, 相应采集一些黏土胶结较好的粉砂或细砂样品。

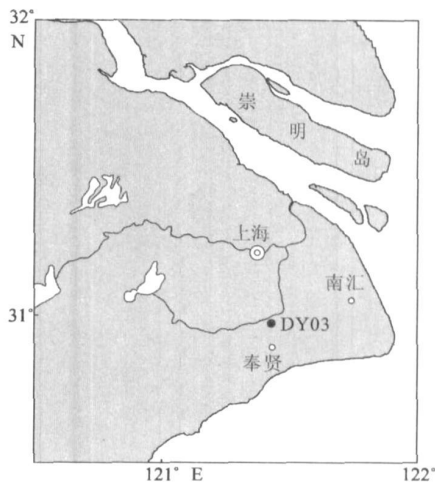


图 1 研究钻孔位置示意图

Fig. 1 Location map of the studied core DY03

基金项目: 国家自然科学基金项目(40621063, 40830107)

作者简介: 黄湘通(1977—), 男, 博士, 讲师, 主要从事海洋地质与第四纪地质研究, E-mail: xiangtong@mail.tongji.edu.cn

收稿日期: 2008-10-20; 改回日期: 2008-11-12. 周立君编辑

1.1 磁化率测量

磁化率不仅是指示古气候古环境演化的重要指标,而且在黄土、湖泊以及河流相沉积地层的划分中起到重要作用。利用同济大学海洋地质国家重点实验室 Bartington MS2 型磁化率仪,对 556 个古地磁样品进行低频磁化率测定,磁化率曲线如图 2B 所示。

1.2 古地磁测量

在荷兰 Utrecht 大学古地磁实验室对 280 个样品进行了古地磁测试。根据样品粒度粗细以及含砂量的不同,分别利用 DC-SQUID 磁力仪和 RF-SQUID 磁力仪对样品进行交变退磁和热退磁。交变退磁磁场强度从 0 至 100 mT,按照一定磁场强度间隔(0.5、10、15、20、25、30、40、50、60、70、80、90、100 mT)进行 14 步退磁,共测量交变样品 240 个。热退磁从 20 ℃至 580 ℃按照 20、100、150、200、250、300、350、380、420、460、520、580 ℃进行了 12 步退磁,测试样品 40

个。从退磁效果来看,热退磁的退磁效果较好,40 个样品中 35 个样品加热到 580 ℃后剩磁强度下降至初始天然剩磁强度的 5%左右,退磁曲线总体指向原点,表明退磁效果良好。交变退磁效果总体不如热退磁效果,部分样品曲线出现震荡。交变退磁样品中 140 个样品效果较好,退磁曲线基本呈线性,剩磁强度为初始天然剩磁强度的 10%左右。

2 结果

2.1 磁性地层特征

古地磁定年的基本原理是地层磁偏角和磁倾角变化特征与有绝对年龄标定的磁偏角和磁倾角变化模式相吻合^[4],对于钻孔样品而言由于北方向未知,磁性地层的确立往往仅考虑磁倾角的变化特征。从图 2 磁倾角变化来看,DY03 孔极性变化总体上呈现“正—负—正”的 3 段变化特征。第 1 段为 0 ~

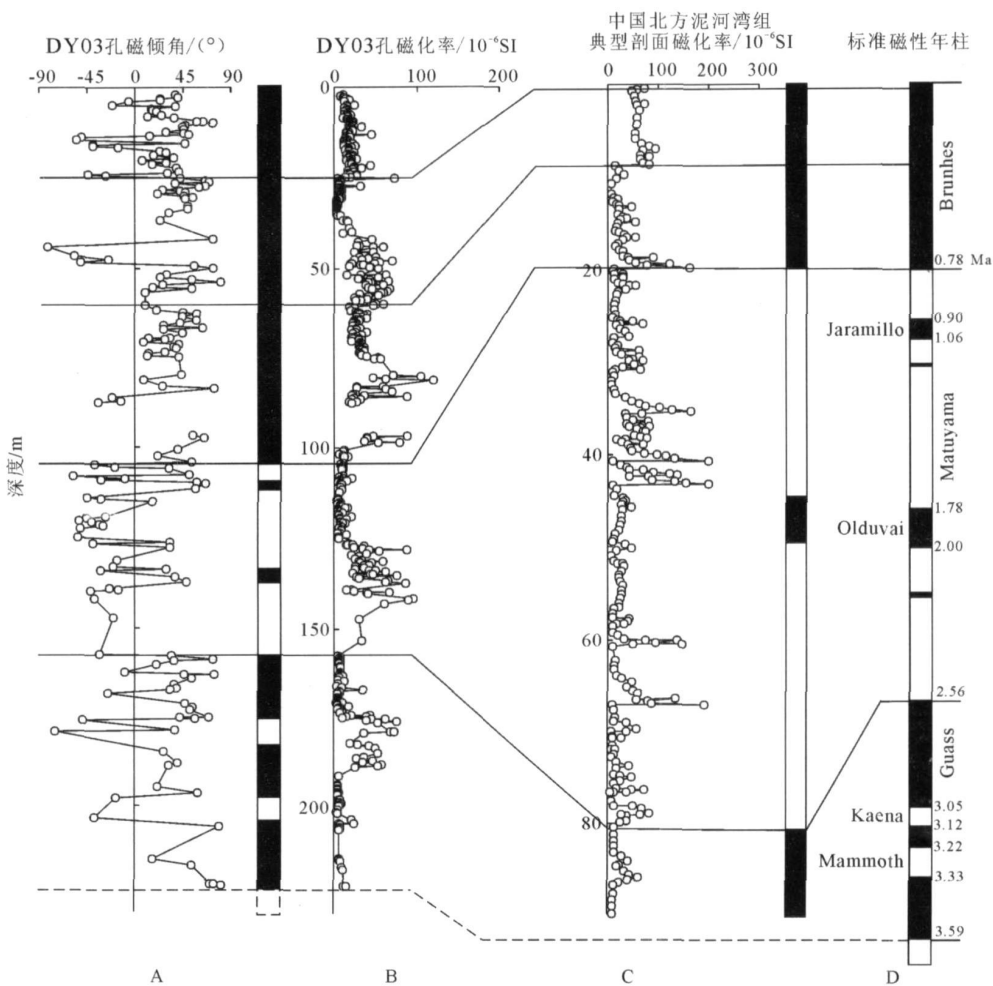


图 2 长江三角洲 DY03 孔古地磁与磁化率测量结果

Fig. 2 Results of measurements of paleomagnetism and magnetic susceptibility and their comparisons of the Yangtze River delta

103.7 m, 样品整体表现为正极性, 其中见到5次间隔较短的负极性漂移事件。从地层年龄和沉积序列上初步估计这一比较连续的正极性带为布容期, 这一点可以从DY03孔与中国北方泥河湾组典型剖面磁化率^[15]对比得到进一步验证。首先, DY03孔24.8~103.7 m磁化率变化总体趋势与泥河湾组布容期磁化率变化趋势一致; 其次, 在B/M界线处磁化率由下至上都呈现出由低到高的突变现象, 说明属于同一时期的沉积地层。第2段为103.7~157.3 m, 整体表现为负极性, 与松山负极性期相一致, 其中见到两次比较明显的正极性漂移事件, 估计分别对应于贾拉米洛亚期(110.1~111.8 m)和奥尔杜维亚期(134.3~137.7 m)。相对而言松山期地层沉积厚度较小, 磁化率特征与沉积比较连续的泥河湾组无法对比, 说明在此时期长江三角洲地区存在长时期的沉积间断或大规模的侵蚀作用。第3段为157.3 m至基底, 整体表现为正极性, 与高斯正极性期相对应。高斯正极性期内具有两个明显的负极性漂移事件, 分别为Kaena(175.2~182.5 m)和Mammoth(198.2~204.2 m)事件。假如图2中DY03孔底部正极性代表一个完整的亚极性期的话, 可以初步推断该孔底部沉积物年龄为3.59 Ma, 标志长江三角洲地区最早开始接受沉积的时间。

2.2 地层年代框架

地层年代框架根据古地磁和沉积特征共同建立, 首先与标准地磁极性年柱^[16]对比确定DY03孔地磁反转的B/M和M/G界线。B/M界线比较清楚, 在103.7 m深度处, 该界线之上为较连续的正极性期, 其下为较连续的负极性期。同时, 该界线是岩性突变面和沉积不整合面, 从下至上, 由青灰色、浅绿色致密黏土层突变为青灰色黏土与草黄色细砂互层, 底部见青灰色黏土与2 cm左右大小砾石混杂。磁化率的变化特征与布容期泥河湾组磁化率特征比较也说明B/M界线划分是比较可靠的。M/G界线位于井下157.3 m处, 该界线之上为较连续的负极性期, 之下为正极性期。该界线也为岩性变化较大的不整合面, 由下至上从青灰绿色黏土层突变为砾石粗砂互层。

大量研究表明, 长江三角洲地区第一硬黏土层和第二硬黏土层的顶界分别是更新统与全新统、中更新统与晚更新统的界线^[17-18], 因此可以参考前人的研究, 根据硬黏土层的次序来确定其余两个主要第四纪地层界线。DY03孔第一硬黏土层位于24.8~28.8 m之间, 由下至上从黄褐色硬质黏土逐渐过渡为深灰色、暗绿色硬质黏土。硬土层上下以泥质粉砂和粉砂

沉积为特征。另外, 第一硬黏土层的顶界位置与古地磁哥德堡事件位置相同。第二硬黏土层位于61.8~62.5 m之间, 以青灰色、蓝灰色硬质黏土为特征。在其顶界处磁化率有明显变化, 与泥河湾组末次冰期起始时期相对应; 另外磁倾角也呈现低值特征, 很可能与布莱克事件相一致, 说明地层界线划分比较可靠。

2.3 地层沉积特征

根据《中国地层典》关于长江三角洲地区第四系划分方案^[19], 将研究钻孔第四纪地层划分为10个组(图3), 具体地层沉积特征描述如下:

全新统:

青浦组: 埋深0~8.7 m, 下部以浅黄色、青灰色粉砂、泥质粉砂与青灰色、灰色黏土互层, 上部发育黄灰色粉砂质黏土。水平层理发育, 属湖沼—河口滨海环境。

上海组: 埋深8.74~16.4 m, 青灰色、黄褐色黏土, 见生物贝壳、黑色腐殖质, 水平层理发育, 属海湾—河口滨海沉积环境。

娄塘组: 埋深16.4~24.8 m, 下段为浅灰色、黄灰色粉细砂夹亚黏土, 上段为褐灰色、灰褐色泥质粉砂, 与下伏南汇组呈不整合接触, 属河口滨海沉积环境。

上更新统:

南汇组: 埋深24.8~51.6 m, 下段以棕黄色、浅黄色中细砂与青灰色粉砂互层, 底部中砂层中夹有5 mm左右大小的细砾; 上段为暗绿色硬黏土层。南汇组与下伏地层呈不整合接触, 沉积环境自下而上分别为滨岸浅海和湖泊相沉积。

川沙组: 埋深51.6~61.8 m, 以青灰色、浅灰色细砂与中砂互层为主, 中部夹有薄层泥质粉砂和粉砂质泥, 属河口滨海—河流相沉积。

中更新统:

嘉定组: 埋深61.8~75.0 m, 总体上以深灰色泥质粉砂与浅灰色粉砂质黏土互层, 与下伏地层整合接触, 属河漫滩—湖泊相沉积环境。

宝山组: 埋深75.0~103.7 m, 下部由灰色粉砂与中细砂构成, 底部见薄层砾石层, 砾石颗粒2 cm左右, 总体呈正粒序层理, 为河流相沉积; 中段由浅黄色、青灰色中粗砂与中细砂构成, 粗砂层中含有粒径0.5~2 cm大小的砾石颗粒, 具有较明显的逆粒序层理, 属河口沙坝相沉积; 上段岩性由青灰色、黄色中砂、细砂和粉砂构成, 具有较明显的正粒序层理, 属河流相沉积。

下更新统:

周浦组:埋深 103.7~114.0 m,岩性下部以灰黄、黄褐色细砂和粉砂为主,上部以青灰色、褐色粉砂质黏土和青灰色、暗绿色硬质黏土为主,整体属于湖泊相沉积。

洙泾组:埋深 114.0~140.2 m,岩性以青灰色、灰色粉砂、泥质粉砂以及深灰色黏土为主,属河湖相沉积。

安亭组:埋深 140.2~157.3 m,岩性由褐黄色、黄灰色含砾中细砂构成,多为泥质弱胶结,顶部见有薄层褐色、褐黄色黏土层,具有河流相正粒序沉积特征。

上新统:

崇明组:埋深 157.3~222.2 m,下部岩性以杂色砾石与泥质混杂而成,具有明显的洪积特征;中部以泥质粉砂和细砂互层为主,属河流相沉积;上部为青灰色、暗绿色硬质黏土层,属湖泊相沉积。

3 讨论

3.1 磁性倒转/漂移事件与地层年代

磁性倒转/漂移事件的确立是磁性地层定年的前提和基础,前人对长江三角洲地区磁性地层的总结表

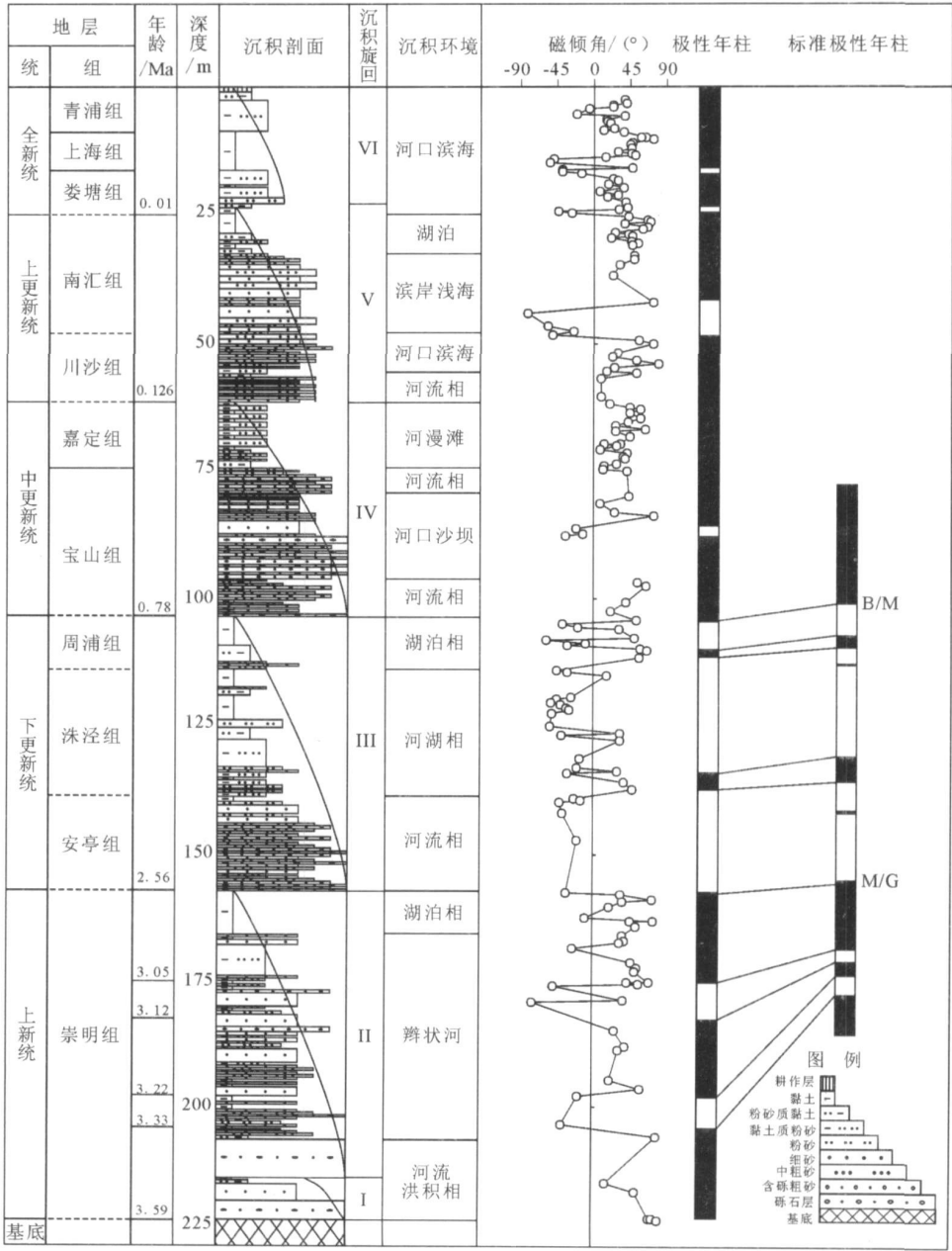


图3 长江三角洲 DY03 孔地层综合柱状图

Fig.3 Stratigraphic column of core DY03 from the Yangtze River delta

明, 在该地区具有明显的磁性倒转事件, 如 B/M 和 M/G 界线, 同时还记录了短时期的磁性漂移事件, 包括哥德堡、布莱克、贾拉米洛和奥尔杜维事件等^[20]。在本次研究中对上述事件也有发现, 同时还新发现高斯期 Kaena 和 Mammoth 两个磁性漂移事件, 能为研究长江三角洲早期形成历史提供年代约束。另外, 通过与过去 80 万年以来地磁场相对强度综合曲线的比较^[21], 在 DY03 磁倾角变化曲线中辨别出 Laschamp, Black, Pringle Falls 以及 Big Lost 等短时期快速变化磁性事件(图 4), 表明上述事件在全球记录中的普遍性, 利用磁性地层定年在长江三角洲沉积地层研究中具有应用前景。通过地层划分以及古地磁特征对比, 初步确定 DY03 孔第四系各组地层年代分别为: 南汇组 0 01~0.05 Ma、川沙组 0.05~0.126 Ma、嘉定组 0.126~0.20 Ma、宝山组 0.20~0.78 Ma、周浦组 0.78~1.35 Ma^[19]、洙泾组 1.35~2.00 Ma、安亭组 2.00~2.56 Ma。

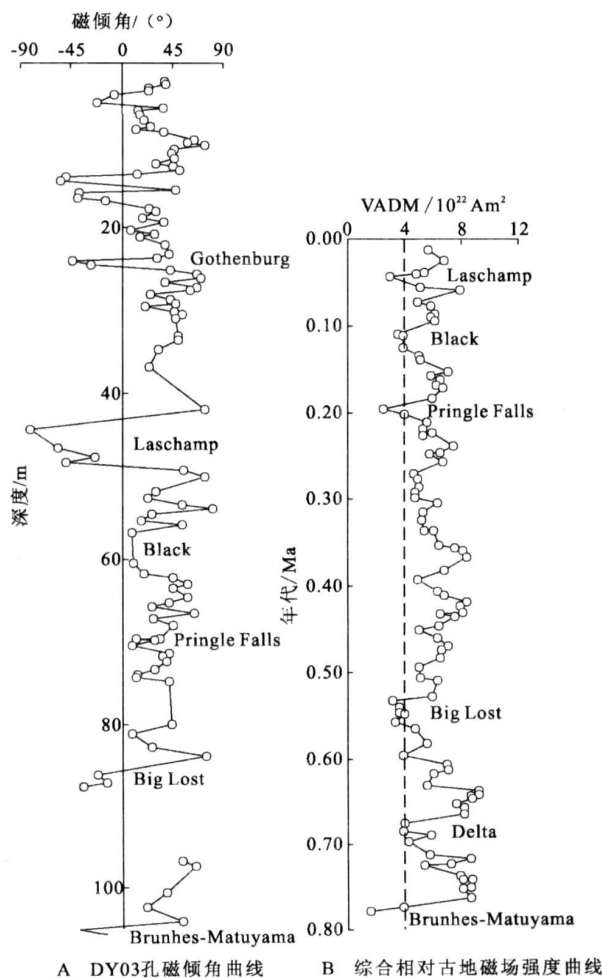


图 4 长江三角洲 DY03 孔布容极性期以来极性漂移事件对比
Fig. 4 Correlations of excursion events of core DY03 since the Brunhes in the Yangtze River delta

3.2 地层对比标志层

过去几十年对长江三角洲地区的大量研究表明, 晚第四纪地层中发育良好的暗绿色、黄褐色硬质黏土层是地层对比的良好标志层^[17-18], 例如, 第一硬黏土层顶界普遍作为全新统的开始, 第二硬黏土层的顶界年龄接近于末次冰期起始的时间, 即可作为上更新统和中更新统地层时代的分界线。DY03 孔古地磁的研究也揭示出相同的认识, 例如, 第一硬土层的顶界与哥德堡事件相对应, 而第二硬土层顶界位置与布莱克事件开始的时间基本一致(图 3)。另外, 进一步的观察研究发现, 在第二硬黏土层之下还发育 3 层较明显的硬质黏土层, 分别命名为第三、第四和第五硬黏土层。古地磁 B/M 和 M/G 界线恰好分别位于第三、第五硬质黏土层与砂质层过渡的界线上, 说明长江三角洲地区普遍发育的硬质黏土层不仅是晚第四纪地层对比的标志层, 很可能在整个第四纪地层对比中都会发挥重要作用。

3.3 沉积演化过程及物源讨论

通过对 DY03 孔岩性及其组合特征的分析, 参考前人研究对沉积相的划分^[19], 总体上可将 DY03 孔沉积物形成环境分为三类, 包括河流、河口和湖泊沉积环境。如图 3 所示, 长江三角洲地区接受沉积以来, 沉积环境经历了多次由河流-河口相向湖泊相演化的历史。根据沉积相演化, 可划分出 6 次明显的沉积旋回。该旋回期次可与其他钻孔的沉积旋回期次相对应^[22], 说明该旋回在长江三角洲地区具有普遍性, 反映受相同控制因素的影响。

沉积演化受构造活动、气候条件、海平面变化以及物源供应的共同影响。在三角洲演化早期(沉积旋回 I 时期和沉积旋回 II 早期)沉积物以洪积物为主, 反映区域构造活动强烈, 沉积物物源较近, 海平面较低, 可容空间小, 沉积物保存程度较差。沉积旋回 II 早期之后, 辫状河沉积发育, 表明构造活动减缓、海平面相对上升, 沉积物物源范围扩大。元素地球化学和独居石年龄谱的研究表明在 M/G 界线 2.58 Ma 左右已有长江上游青藏高原物质供应, 表明长江此时已经贯通三峡^[10-11]。沉积旋回 III 时期, 河流沉积由辫状沉积向曲流沉积转化, 表明构造活动进一步稳定, 但沉积地层厚度较小, 说明沉积物供应不足或存在沉积侵蚀/间断。笔者认为这两种情形都有可能, 因为, 前人研究认为在松山期古长江很可能于镇江以东, 经黄桥-海安-李堡一线, 向东偏北经苏北浅滩注入古黄海^[23-24], 说明现代长江三角

洲地区在松山期之前沉积物供应仅有部分沉积物来源于古长江。另外,在周浦组、洙泾组、安亭组之间存在明显的沉积不整合,表明存在沉积侵蚀间断^[20],这很可能与第四纪海平面的快速下降有关,海平面快速下降,沉积地层暴露地表经历侵蚀。旋回 IV-VI 时期,河口、湖泊沉积逐渐占主导,表明沉积演化主要受第四纪海平面波动变化的影响,沉积物质供应较充足,物源变化不大,长江沉积物沿现代长江口地区注入东海的基本格局形成。

4 结论

(1)通过长江三角洲地区 DY03 孔磁性地层的研究,建立了可靠的地层年代框架,为进一步长时间序列研究提供年代约束。研究表明,研究区第四系年代分别为南汇组 0.01~0.05 Ma、川沙组 0.05~0.126 Ma、嘉定组 0.126~0.20 Ma、宝山组 0.20~0.78 Ma、周浦组 0.78~1.35 Ma、洙泾组 1.35~2.00 Ma、安亭组 2.00~2.56 Ma。

(2)硬黏土层的磁性地层分析表明,第三、第五硬黏土层顶界恰好分别与 B/M、M/G 界线相吻合,说明硬黏土层不仅在晚第四纪地层对比中具有重要作用,而且可能对长江三角洲地区整个晚新生代以来的沉积地层对比都有应用价值。

(3)沉积演化过程分析表明,长江三角洲的形成演化受构造活动、海平面变化、气候波动以及沉积物物源供应的共同影响,基本呈现出早期受构造活动控制,后期受海平面变化和气候波动因素的制约。

参考文献(References)

[1] Hori K, Saito Y, Zhao Q H, et al. Sedimentary facies and Holocene progradation rates of the Changjiang (Yangtze) delta, China[J]. *Geomorphology*, 2001, 41: 233-248.

[2] 陈中原. 尼罗河三角洲全新世海平面变动及其对环境的影响—与长江三角洲的对比[J]. *海洋学报*, 2002, 24(2): 77-82. [CHEN Zhong-yuan. Holocene Nile Delta sea level fluctuations and its impact on environment-with special reference to the Changjiang River Delta [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2002, 24(2): 77-82.]

[3] 李保华, 李从先, 沈焕庭. 冰后期长江三角洲沉积通量的初步研究[J]. *中国科学 D 辑*, 2002, 32: 776-782. [LI Bao-hua, LI Cong-xian, SHEN Huan-ting. A preliminary study on sediment flux in the Changjiang Delta during the postglacial period [J]. *Science in China Series D-Earth Sciences*, 2002, 32: 776-782.]

[4] 朱诚, 张强, 张芸等. 长江三角洲长江以北地区全新世以

来入地关系的环境考古研究[J]. *地理科学*, 2003, 23(6): 705-712. [ZHU Cheng, ZHANG Qiang, ZHANG Yun, et al. Relationship between human and nature in the north part of the Yangtze Delta since the Holocene[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 23(6): 705-712.]

[5] 曹光杰, 王建. 长江三角洲全新世环境演变与入地关系研究综述[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(7): 757-764. [CAO Guang-jie, WANG Jian. An overview of the research on the environmental evolution and human-environment relationship in Holocene epoch of the Yangtze Delta [J]. *Advance in Earth Science*, 2005, 20(7): 757-764.]

[6] Brookfield M E. The evolution of the great river systems of southern Asia during the Cenozoic India-Asia collision: rivers draining southwards [J]. *Geomorphology*, 1998, 22: 285-312.

[7] Métiévier F, Gaudemer Y, Tapponnier P, et al. Mass accumulation rates in Asia during the Cenozoic [J]. *Geophys. J. Int.*, 1999, 137: 280-318.

[8] Wang P X. Cenozoic deformation and the history of sea-land interactions in Asia [C]//*Geophysical Monograph Series* 149 "Continent-Ocean Interactions within the East Asian Marginal Seas". American Geophysical Union, 2004: 1-22.

[9] Clift P D, Blusztajn J. Reorganization of the western Himalayan river system after five million years ago [J]. *Nature*, 2005, 438: 1 001-1 003.

[10] Fan D D, Li C X, Kazumi Y, et al. Monazite age spectra in the Late Cenozoic strata of the Changjiang delta and its implication on the Changjiang run-through time [J]. *Science in China Series D-Earth Sciences*, 2005, 48(10): 1 718-1 727.

[11] Yang S Y, Li C X, Cai J G. Geochemical compositions of core sediments in eastern China: Implication for Late Cenozoic palaeoenvironmental changes [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, 229: 287-302.

[12] 杨守业, 韦刚健, 夏小平, 等. 长江口晚新生代沉积物的物源研究: REE 和 Nd 同位素制约 [J]. *第四纪研究*, 2007, 27(3): 339-346. [YANG Shou-ye, WEI Gang-jian, XIA Xiao-ping, et al. Provenance study of the Late Cenozoic sediments in the Changjiang Delta: REE and Nd isotope constraints [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(3): 339-346.]

[13] 李从先, 汪品先. 长江晚第四纪河口地层学研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 114-172. [LI Cong-xian, WANG Pin-xian. Research of the Late Quaternary Stratigraphy of the Changjiang Estuary [M]. Beijing: Science Press, 1998: 114-172.]

[14] Robert F Butler. Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Times [M]. Boston: Blackwell Scientific Publications, 1992.

[15] 王红强, 邓成龙. 泥河湾层磁性地层学研究回顾 [J]. *地球物理学进展*, 2004, 19(1): 26-35. [WANG Hong-qiang, DENG Cheng-long. A review of magnetostratigraphic studies on the Nihewan formation [J]. *Progress in Geophysics*, 2004, 19(1): 26-35.]

[16] Ogg J G, Smith A G. The geomagnetic polarity time scale

[C]//A Geologic Time Scale. Cambridge University Press, 2004: 63-86.

[17] 覃军干, 吴国瑄, 郑洪波, 等. 从孢粉、藻类化石组合看长江三角洲第一硬质黏土层的成因及其古环境意义[J]. 第四纪研究, 2004, 24(5): 546-554. [QIN Jun-gan, WU Guo-xuan, ZHENG Hong-bo, et al. Palynomorph assemblages, origin and paleoenvironmental of the upper most hard clay in the deltaic area of the Changjiang River[J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(5): 546-554.]

[18] 王张华, 丘金波, 冉莉华, 等. 长江三角洲南部地区晚更新世年代地层和海水进退[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(4): 1-8. [WANG Zhang-hua, QIU Jin-bo, RAN Li-hua, et al. Chronostratigraphy and transgression/regression during late Pleistocene in the southern Changjiang (Yangtze) River Delta Plain[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2004, 24(4): 1-8.]

[19] 《中国地层典》编委会. 中国地层典 第四系[M]. 北京: 地质出版社, 2000. [Editorial Committee of Stratigraphical Lexicon of China. Stratigraphical Lexicon of China, Quaternary[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.]

[20] 王润华, 郭坤一, 于振江, 等. 长江三角洲地区第四纪磁性地层学研究[J]. 地层学杂志, 2005, 29 (增刊): 612-617. [WANG Run-hua, GUO Kun-yi, YU Zhen-jiang, et al. Quaternary magnetostratigraphy of the Yangtze Delta area [J]. Journal of Stratigraphy, 2005, 29(Supp.): 612-617.]

[21] Yohan G, Jean-Pierre V. Global Changes in intensity of the Earth' s magnetic field during the past 800 kyr[J]. Nature, 1999, 399: 249-252.

[22] 王张峤, 陈中原, 魏子新, 等. 长江口第四纪沉积物中构造与气候耦合作用的探讨[J]. 科学通报, 2005, 50(14): 1 503-1 511. [WANG Zhang-qiao, CHEN Zhong-yuan, WEI Zi-xin, et al. Coupling controls of neotectonism and paleoclimate on the Quaternary sediments of the Yangtze (Changjiang) coast [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(14): 1 503-1 511.]

[23] 杨怀仁, 韩同春, 杨达源. 第四纪气候变化与海面升降[J]. 南京大学学报自然科学版, 1983, 2: 9-19. [YANG Huai-ren, HAN Tong-chun, YANG Da-yuan. Climate changes and sea level fluctuations during Quaternary [J]. Journal of Nanjing University(nature science version), 1983, 2: 9-19.]

[24] 杨子庚. 晚松山时南黄海的古长江三角洲[J]. 第四纪研究, 1994, 14(1): 13-23. [YANG Zi-geng. Paleo-Yangtze River Delta in the South Yellow Sea during late Matuyama Chron [J]. Quaternary Research, 1994, 14(1): 13-23.]

MAGNETOSTRATIGRAPHY AND ITS IMPLICATIONS OF
CORE DY03 IN THE YANGTZE RIVER DELTA

HUANG Xiang-tong¹, ZHENG Hong-bo¹, YANG Shou-ye¹,
Mark Dekker², XIE Xin¹, ZHANG Zhen-quan³, FANG Guo-qing³
(1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2 Department of Earth Sciences, Faculty of Geosciences Utrecht University Budapestlaan 17, 3584 CD Utrecht, The Netherlands;
3 Earthquake Administration of Shanghai Municipality, Shanghai 200062, China)

Abstract: A large amount of sediment has been deposited in the Yangtze River delta area since the late Cenozoic, which has important implications for long-term research of sedimentary environmental evolution and changes of the Yangtze River. With methods of paleomagnetism, magnetic susceptibility and lithological analysis, a reliable chronostratigraphic framework of core DY03 in the Yangtze River delta was established. It is found that there are several short term magnetic excursion events which have global significance recorded in the sedimentary sequences, and are useful for the further application to the magnetostratigraphic dating in this area. It is indicated by the analyzed results that hard-clay layers which developed universally in the Cenozoic strata in this area play an important role in the stratigraphic correlation, not only in the late Quaternary but also in the whole late Cenozoic. The sedimentary evolution of the Yangtze River delta, which was controlled by tectonic activities in the early period of formation, has been mainly affected by sea-level fluctuations and climate changes in the followed period.

Key words: paleomagnetism; stratigraphy; the late Cenozoic; the Yangtze River delta