

文章编号: 1000-0550(2009) 04-0674-10

长江口区晚新生代沉积物粒度特征和沉积地貌环境演变¹

战庆¹ 王张华² 王昕¹ 李晓³

(¹华东师范大学地理系 上海 200062 ²华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062; ³上海市地质调查研究院 上海 200072)

摘要 对长江河口区的三个晚新生代钻孔作了地层对比和粒度分析, 据此探讨晚新生代长江河口的沉积地貌环境演变过程。结果表明, SG6和 J18A 孔上新世厚层含砾砂质沉积物粒度特征, 反映了洪积扇和冲积扇相沉积环境, 沉积物搬运距离短; 而 SG13孔缺失上新世沉积, 反映古地势较高, 以剥蚀为主。因此上新世长江三角洲地区古地势高差较大, 侵蚀区和沉积区共存。早更新世, 本区继承了上新世的冲、洪积扇沉积环境, 但 SG6孔泥质沉积明显变厚, J18A 孔此时则以厚层含砾砂沉积为主, SG13孔也开始接受泥质沉积, 反映在构造沉降作用下, 冲、洪积扇体向西、南部迁移, 沉积盆地范围扩大。中更新世, 沉积物普遍变细且以悬浮沉积为主, 显示了曲流河或曲流河冲积平原的沉积环境。晚更新世初, 本区又发育含砾砂层, 特别是 SG13孔出现厚层含砾砂, 但是粒径显著小于上新世和早更新世沉积物, 反映本区再次发生显著构造沉积, 河流地貌广泛发育。晚更新世中晚期和全新世沉积物以粘土和粉砂质粘土为主, 悬浮沉积占优, 说明本区已演变为滨、浅海沉积环境。因此在构造沉降、剥蚀和沉积的共同作用下, 本区的地貌演变经历了自上新世至中更新世和自晚更新世至全新世的两次准平原化过程。

关键词 粒度分析 沉积地貌 长江口 晚新生代

第一作者简介 战庆 男 1983年出生 硕士研究生 自然地理学

通讯作者 王张华 E-mail: zhwang@geo.ecnu.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

沉积物的粒度组成除受原岩控制外, 主要是机械沉积作用形成的。在不同的沉积环境下, 地形不同, 搬运介质不同, 介质的密度、流速、流动方向以及它们的稳定状况等水动力条件不同, 沉积物相应地会以不同方式搬运和沉积下来, 所以沉积物的粒度特征是判断自然地理环境和水动力的良好标志之一, 从而十分有助于沉积环境的判别。

长江河口地区晚新生代沉积物的分布、来源及其与沉积环境演变的相互关系, 一直是该区第四纪研究的重要内容。长期以来, 前人对长江河口地区的晚新生代地层和沉积环境作了大量的研究工作, 利用孢粉、微体古生物、元素地球化学等手段重建了上新世以来的沉积环境演变和海侵海退过程^[1~7]。近年来, 利用河口沉积物中的标志性物源分析何时长江贯通入海的研究不断涌现, 例如范代读等利用独居石年龄谱系推测早更新世长江上游物质已经到达现河口区^[8]; 陈静等利用重矿物组合认为上游物质至晚更

新世才到达现河口区^[9]; 王张华等通过磁性矿物的类型发现晚更新世晚期长江上游物质明显加入本区^[10]。作者认为, 长江物质何时到达本区, 和本区的沉积地貌环境演变有密切联系。据前人研究^[5], 上新世本区古地势较高, 自西南向东北倾斜, 高差可在 200 m 以上(图 1)。此时沉积中心位于苏北盆地, 本区和苏北盆地的高差可达 1 000 m 以上^[5]。在新构造运动下, 本区持续沉降, 直至演变为现今的三角洲平原。因此只有当本区古地势下降到相当的程度、如接近海平面的平原环境时, 才是长江物质可能到达本区的时间。本文试图利用长江河口地区三个钻遇基岩的钻孔, 对晚新生代沉积物进行沉积物粒度分析, 以推断其搬运介质、搬运方式的变化, 进而解释沉积分异作用, 判别沉积环境, 从而反映本区古地貌的演变过程。

地质构造资料揭示, 渐新世末—早更新世初, 在新构造运动作用下, 中国陆域东部华北新构造区出现一系列北东—南西走向的大型沉积盆地, 苏北—南黄海盆地就在此时开始形成, 之后接受了约 1 000 m 厚的

¹ 国土资源部与上海市人民政府合作项目“上海市三维城市地质调查”(基[2004] 011-02), 国家海洋局海洋生态与生物地球化学重点实验室开放基金(JMEB200708)资助。

收稿日期: 2008-02-22 收修日期: 2008-06-27

第三—第四纪沉积物^[5], 现长江三角洲则位于勿南沙隆起, 新生代沉积物以第四纪为主, 一般仅厚 200~400 m^[6]。随着大陆东部沉降带的持续发展, 苏北—南黄海盆地的范围向东南扩张, 勿南沙隆起也逐渐沉降为沉积盆地。前人研究还认为, 早更新世中晚期, 新的一期新构造运动加强了我国原有的地壳升降变化和地貌分异, 使现长江三角洲地区转入了全面沉降^[11]。

1 样品来源及工作方法

本文三个晚新生代钻孔来源于国土资源部及上海市政府资助的“三维城市地质”项目: SG6 孔(崇明岛)、J18A 孔(上海市上钢五厂)、SG13 孔(青浦)(图 1)。三孔分别深 420 m、308 m、218 m, 均钻遇基岩。对钻孔沉积物进行了岩性描述, 并对三孔沉积物取古地磁测年样, 取样间隔 1~1.5m, 对于含砾层, 只在岩心完整段采取全样, 对松散段则未采样。古地磁分析在南京地质矿产研究所古地磁实验室完成, 选用了美国 Schonstedt 仪器公司生产的 DSM 220 型数字旋转磁力仪、GSD250 交变退磁仪, 以及 HKB210 高精度磁化率仪等设备进行古地磁测年, 全部样品均进行了从 5~90mT(毫特斯拉)交变磁场的逐步退磁。根据样

品的退磁曲线分析, 样品的退磁值多数选在 10~50 mT 之间, 少数样品选在 60~90 mT。根据古地磁测年结果对三孔进行年代地层划分, 并在此基础上对各层段沉积物采样, 共采得样品 280 个。其中对 SG6 孔作了较为高密度的采样, 共采得样品 140 个。

粒度分析采用了筛析法和激光粒度仪法。其中含砾石的砂质样品采用了筛析法, 获得质量百分比, 在估算其密度后换算成体积百分比。细颗粒样品利用 Ls13320 型激光粒度仪进行测试, 最后统计了所有样品中粘土、粉砂、砂和砾所占的百分比 (> 2 mm、2~0.063 mm、0.063~0.004 mm、< 0.004 mm; 即 < -1φ、-1~4φ、4~8φ、> 8φ), 同时统计了反映基本粒度特征的其他粒度参数, 包括平均粒径、中值粒径、分选系数、偏度、峰度等。

2 研究结果

2.1 地层简述

主要参照国际第四纪古地磁地层分层原则^[12], 并依据长江三角洲地区第四纪磁性地层特征, 对本文的三个钻孔进行了地层划分。SG6 孔古地磁测量显示松山—高斯界面 (2.46Ma) 位于孔深约 268m, 布

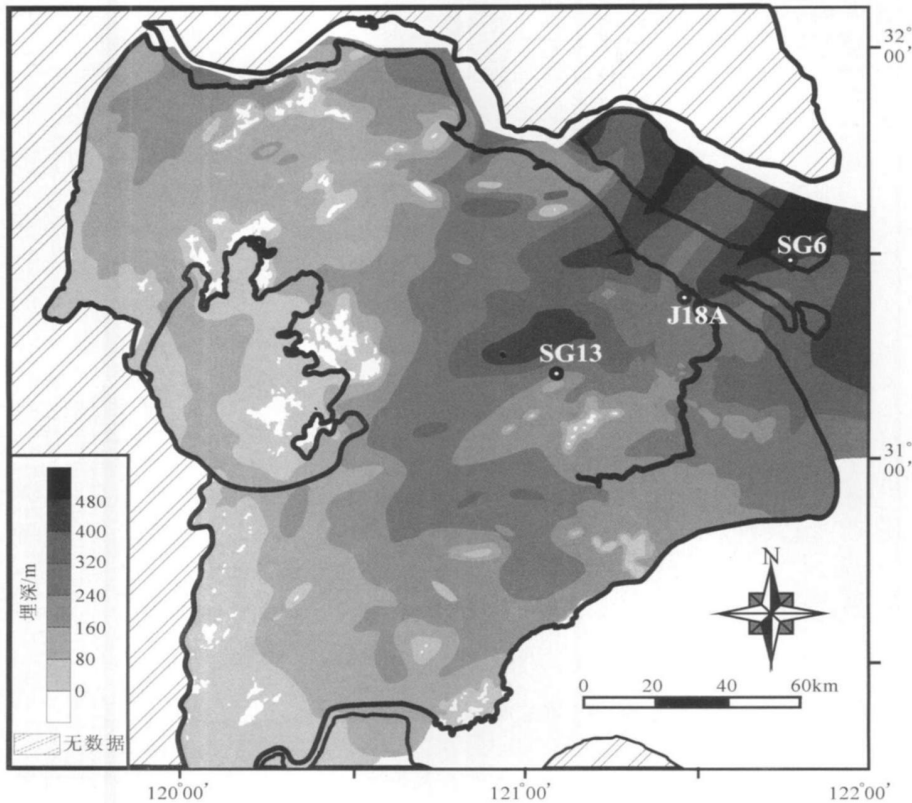


图 1 本研究钻孔分布和长江三角洲南部平原基岩埋深等厚度线

Fig 1 Location of boreholes and burial depth of bedrock in the southern Changjiang delta area

容—松山界面 (0.78 Ma) 位于孔深约 160 m。J18A 孔松山—高斯界面位于孔深约 234 m, 布容—松山界面位于孔深约 144 m。SG13 孔松山—高斯界面位于孔深约 210 m, 布容—松山界面位于孔深约 138 m, 全新世和晚更新世以本区第一硬土层顶为界面, 在第一

硬土层缺少的 SG6 孔, 依据 OSL 测年结果, 即孔深 51.95~52.00 m 测年结果为 11.80 ± 0.71 kaBP, 孔深 52.10~52.13 m 测年结果为 12.00 ± 1.01 kaBP, 因此判定在孔深约 52 m。以下以 SG6 孔为例, 简述上新世以来的地层特征 (图 2)。

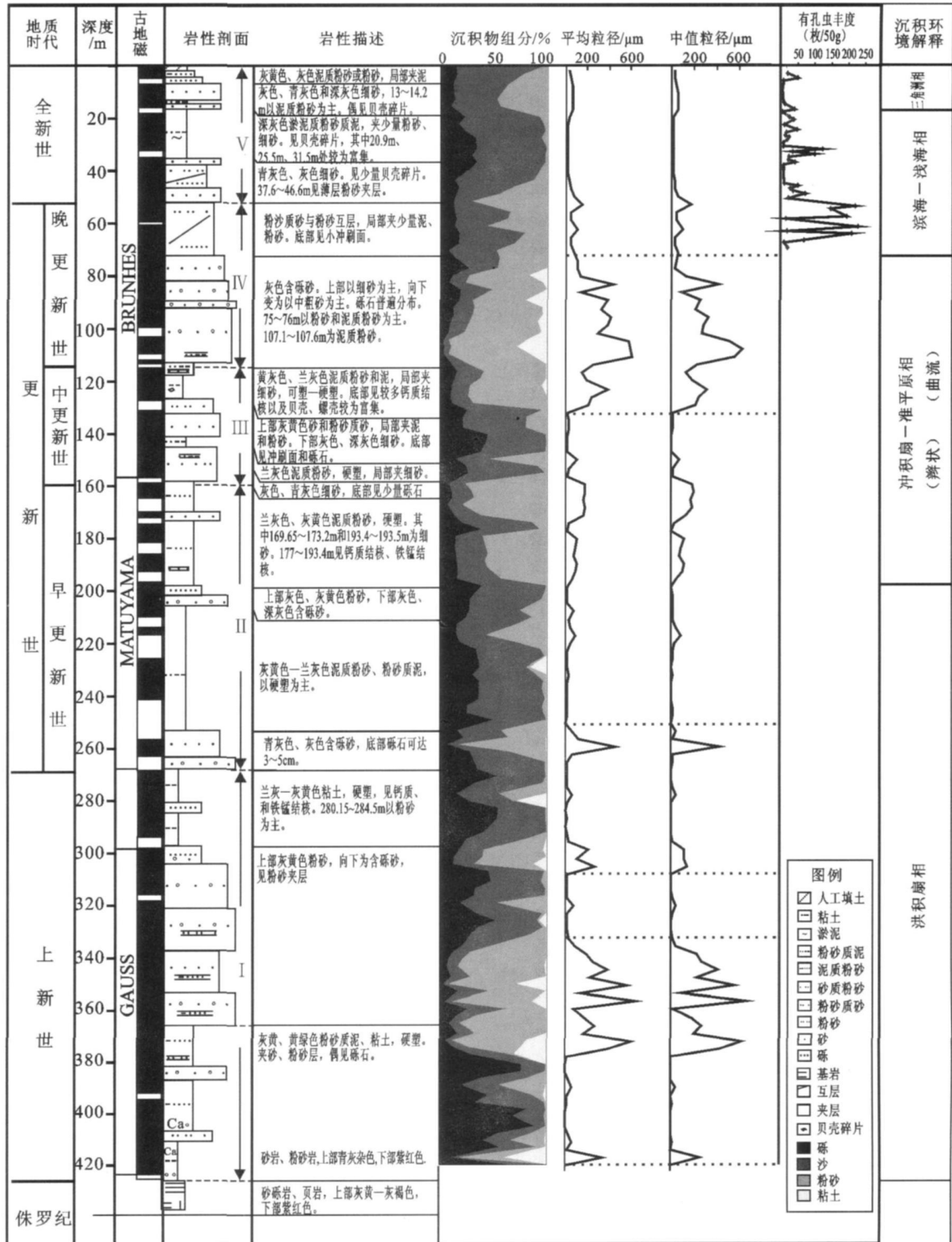


图 2 SG6 孔晚新生代地层框架综合图

Fig. 2 Late Cenozoic stratigraphy of Core SG-6

上新统 (268~420 m)。沉积厚度约 150 m, 总体表现为细—粗—细的沉积规律。下部为灰黄、黄绿色粉砂质泥、粘土, 硬塑, 夹砂、粉砂层, 偶见砾石。中部出现厚层黄色含砾砂, 砾石棱角状明显, 其间夹有几层薄的粉砂或泥质层, 单层厚度一般不超过 10 m。上部为蓝灰—灰黄色粘土夹粉砂薄层, 硬塑, 见钙质和铁锰结核。J18A 孔上新统厚 70 m, 下部出现多层含砾砂, 向上逐渐变细, 以粉砂和粘土为主。SG13 孔缺失上新统。

下更新统 (161~268 m)。沉积厚度约 100 m, 表现为 3 段粗细相间的沉积旋回。各旋回下部为薄层灰色含砾砂, 底部砾石直径可达 3~5 cm, 上部为厚层灰黄—蓝灰色泥质粉砂, 硬塑。J18A 孔和 SG13 孔分别厚约 86 m、66 m, 其中 J18A 孔以厚层含砾石砂为主, 局部还见炭化木块; SG13 孔以泥为主, 仅见薄层砂。

中更新统 (121~161 m)。沉积厚度约 38 m, 下部为灰黄色细砂、粉砂质砂, 局部夹泥和粉砂, 底部见冲刷面和砾石。上部为黄灰色—蓝灰色粉砂和泥, 局部夹细砂, 硬塑, 底部见较多钙质结核, 贝壳、螺壳较为富集。J18A 孔和 SG13 孔均厚约 42 m, J18A 孔以中粗砂为主, SG13 孔仍以泥为主。

上更新统 (52~121 m)。沉积厚度约 67 m, 下部为大套灰色含砾砂, 以中粗砂为主, 砾石普遍存在, 直径最大为 1~2 cm, 局部夹粉砂层。上部为砂质粉砂和粉砂质砂互层, 底部见小的冲刷面。J18A 孔和 SG13 孔分别厚约 37 m、80 m; J18A 孔以砂为主, SG13 孔也出现厚约 30 m 的含砾砂。

全新统 (地表~52 m)。沉积厚度约 48 m, 下部为青灰色、灰色细砂, 上部为深灰色淤泥和粉砂质粘土, 多见粗细相间的沉积韵律, 贝壳碎屑普遍存在。J18A 孔和 SG13 孔分别厚约 53 m、22 m, 也都以细颗粒沉积为主。

2.2 粒度分布特征分析

2.2.1 粒度组成、粒度频率曲线和概率累计曲线特征

首先对采样密度较高的 SG6 孔进行粒度分析。根据其地层年代和粒度数据, 可将 SG6 孔自下而上分为五个阶段 (图 2 iv~v), 并对每个阶段的不同沉积物作了粒度频率曲线图和概率累计曲线图 (图 3~5)。不同阶段的粒度特征分述如下:

阶段 iv: 孔深 268~420 m, 属上新统。此阶段沉积物可分为粗细两个类型: 细颗粒沉积物主要以粘土

为主, 平均含量为 50%; 粉砂含量也很高, 约为 40%。粒度频率曲线一般呈三个以上的峰, 高峰值都集中在粘粒组, 峰态较宽缓 (图 3-iv)。概率累计曲线显示无滚动组分, 跳跃组分含量很低, 一般仅 1% 左右, 主要以悬浮组分为主, 含量可达 90% 以上 (图 4-iv)。粗颗粒沉积物 (300~364 m) 含有两大套含砾层, 平均粒径在 129~647 μm 之间 (图 2), 砂砾含量为 71%, 部分砾石直径可达 3~5 cm, 粉砂平均含量小于 20%, 粘土平均含量约为 12%。粒度频率曲线也呈现三个以上的峰, 高峰值主要集中在中粗砂, 另外也有一定的泥质沉积 (图 5-iv-a)。概率累计曲线显示含有较高的滚动组分 ($-2\sim 0\phi$, 10%~50%); 跳跃组分达 40%~60%; 悬浮组分较少, 一般为 20% (图 5-iv-b)。

阶段 ③ 孔深 161~268 m, 属下更新统。沉积物以粉砂为主, 平均含量为 50%; 粘土含量也很高, 达 30%; 砂的平均含量不足 20%。可细分为 2 个亚段。208~268 m 段 (图 3-③-1), 泥质沉积物粒度频率曲线十分宽缓, 出现三个以上峰值, 大部分样品峰值集中在粘粒级, 少数样品峰值集中在细砂粒级, 分选性较差。概率累计曲线显示, 细颗粒沉积物的跳跃组分约占 40% (图 4-③-1)。161~208 m 段, 沉积物以细粉砂为主, 粒度频率曲线以单峰为主, 右偏, 部分样品在细砂粒级有一个小的峰值 (图 3-③-2)。跳跃组分 ($1\sim 3\phi$) 的含量为 10%~40%, 悬浮组分 ($4\sim 10\phi$) 占 20%~50%, 曲线斜率相应增加 (图 4-③-2)。另外, 在孔深 180~264 m 间出现多层含泥、砾砂层或含砾粘土层, 厚度一般较薄 (图 2), 粒度频率曲线显示颗粒十分分散, 砾石含量和粘土含量均很高, 各达 20% 以上, 概率累积曲线中有较多滚动组分 ($-2\sim 0\phi$, 10%~40%), 跳跃组分不明显 (图 5-③-a b)。

阶段 ④ 孔深 121~161 m, 属中更新统。沉积物中粘土、粉砂和砂的平均含量分别为 21%、38%、37%, 均超过 20% (图 2)。可分为 2 个亚段: 133~161 m, 多数样品峰态尖锐, 且峰值大都集中在极细砂和细砂; 121~133 m, 粒度曲线以双峰为主, 峰态宽缓, 峰值主要为粘土和粗粉砂 (图 3-④)。概率累计曲线显示 133~161 m 亚段沉积物跳跃组分 ($1\sim 3\phi$) 含量为 40%~50%, 个别样品呈现双跳跃组分, 曲线斜率大, 分选性好; 悬浮组分 ($4\sim 10\phi$) 含量为 50%~60% (图 4-④)。

阶段 ⑤ 孔深 52~121 m, 属上更新统。此阶段沉积物明显变粗, 平均粒径和中值粒径分别在 35~617

μm , 13~ 558 μm 之间, (图 2)。粒度分布可分为粗细两个亚段: 细颗粒沉积物主要以粉砂和砂为主, 平均含量分别为 43%、39%; 粗颗粒沉积物砂砾的平均含量高达 74%, 粘土和粉砂的含量不足 20%。52~ 75 m 亚段粒度频率曲线以单峰为主, 峰值集中在细砂和中砂, 峰态总体较尖锐(图 3-⑤)。概率累计曲线显示跳跃组分含量较高, 为 40% ~ 70%, 且个别样品呈现双跳跃组分(图 4-⑤)。75~ 121 m 段主要以粗颗粒沉积物为主, 平均粒径在 130~ 597 μm 之间, 本段沉积物粒度频率曲线呈现多个峰值, 主要集中在中粗砂段, 但同时含较高组分的砾石和泥质成分(图 5-⑥a)。概率累计曲线显示滚动组分含量多 < 20%, 跳跃组分含量较高, 一般 > 60%(图 5-⑥b)。

阶段 (ii): 孔深 2~ 52 m, 属全新统。沉积物以粉砂为主, 平均含量为 62%, 粘土和粉砂的含量各为 20%、19%(图 2)。粒度频率曲线(图 3-(ii))峰值集

中在粉砂组, 单峰为主, 峰态较窄。概率累积曲线(图 4-(ii))显示跳跃组分(1~ 3 ϕ)含量在 50% 左右。

综上所述, 可以进一步总结出 SG6 孔自上新世到全新世沉积物粒度的变化特点: 1) 含砾的粗颗粒沉积物主要出现在上新世, 早更新世和晚更新世。2) 粒度频率曲线表明细颗粒沉积物自下向上由粘土和细粉砂为主逐渐变为粗粉砂和细砂; 峰态越来越尖锐, 分选变好。3) 概率累计曲线显示自下向上滚动组分明显减少, 跳跃组分有所增加。

2.2.2 So-Md 图和 C-M 图的变化特征

为了更好地反映各沉积阶段的沉积环境及水动力条件变化, 判断其沉积环境特征, 又对所有沉积物样品作了 So-Md 图和拖流沉积 C-M 图^[13]。并根据粗颗粒沉积物的特征对各个时期搬运介质动能的上限作出分析。

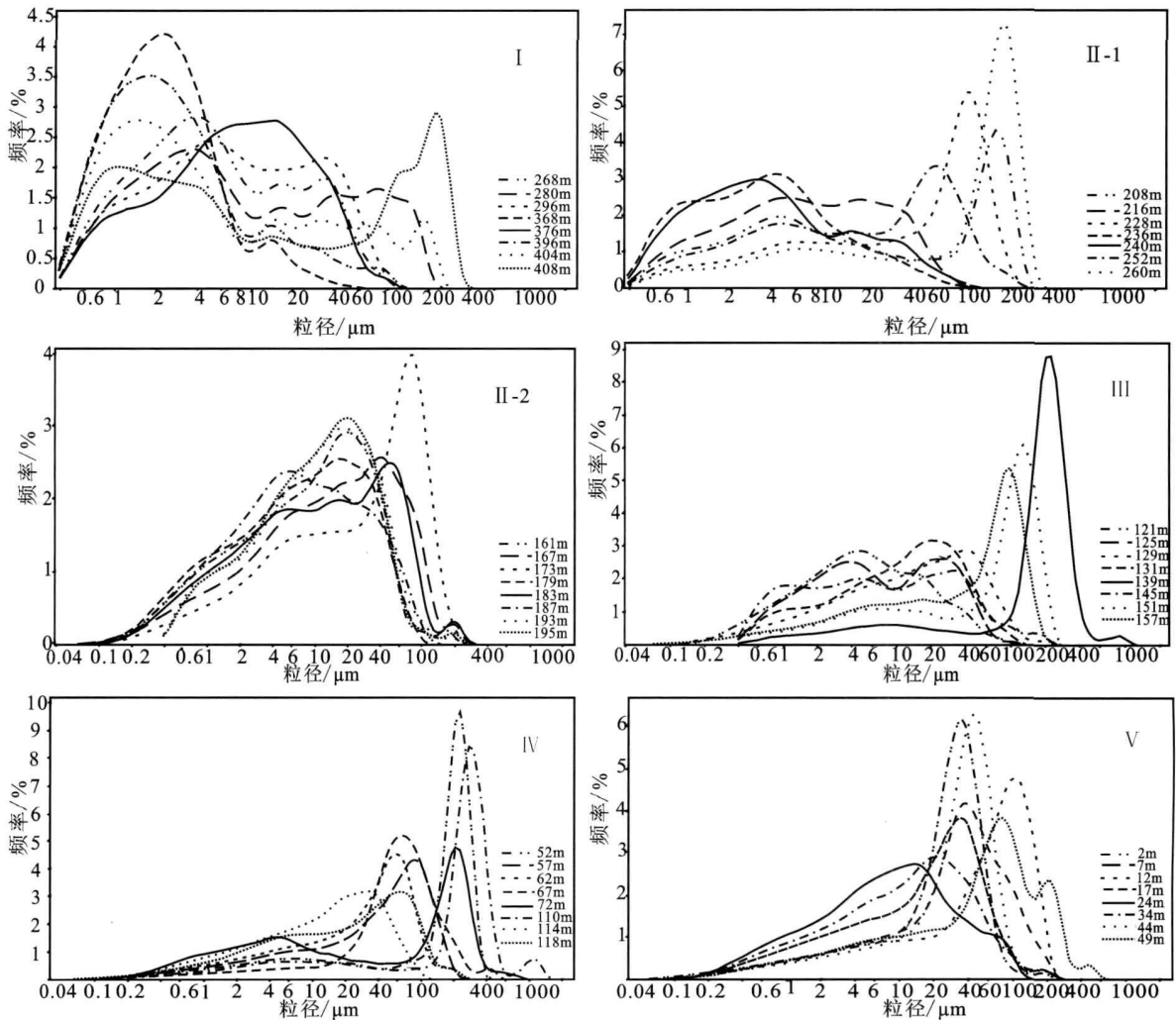


图 3 SG6 孔细颗粒沉积物粒度频率曲线

Fig. 3 Differential volume curve of fine sediments of Core SG6

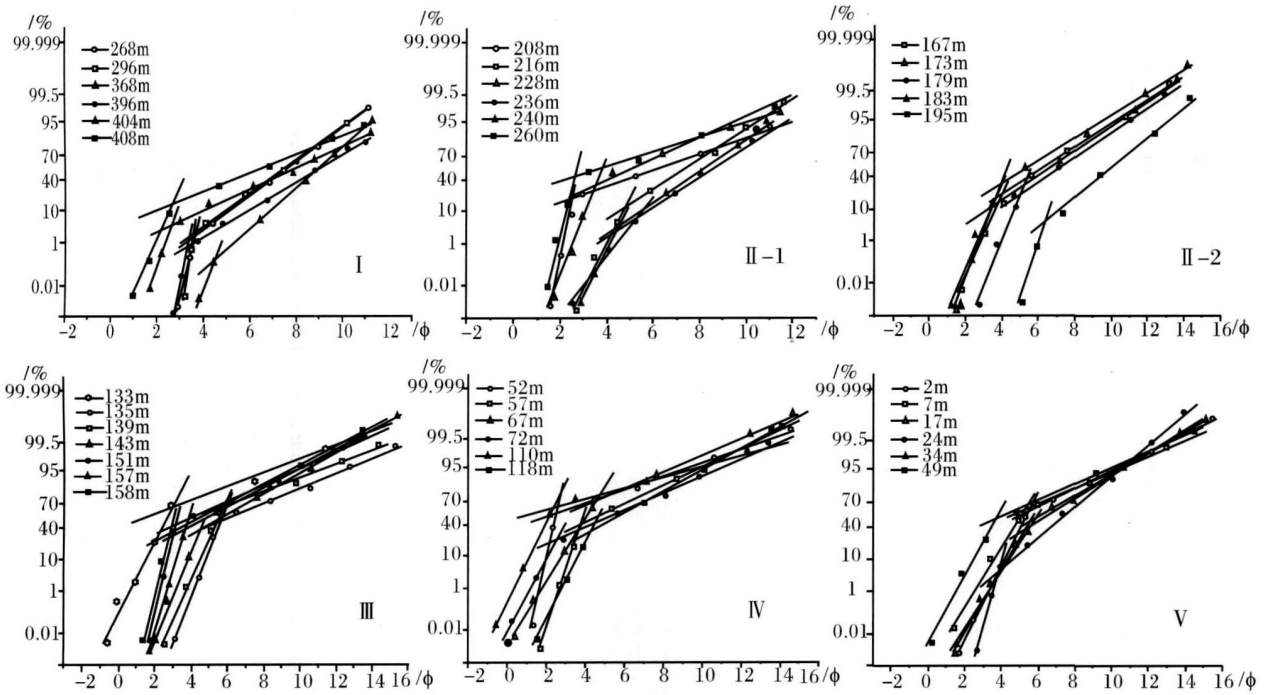


图 4 SG6 孔细颗粒沉积物概率累计曲线

Fig. 4 Cumulative volume curve of fine sediments of Core SG6

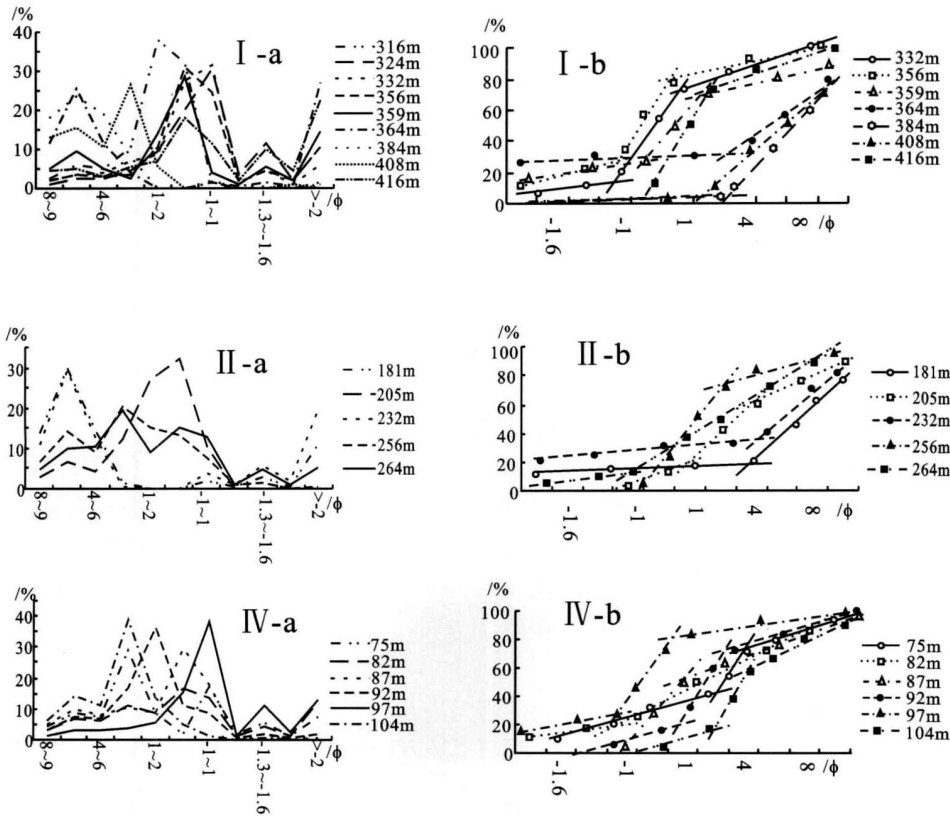
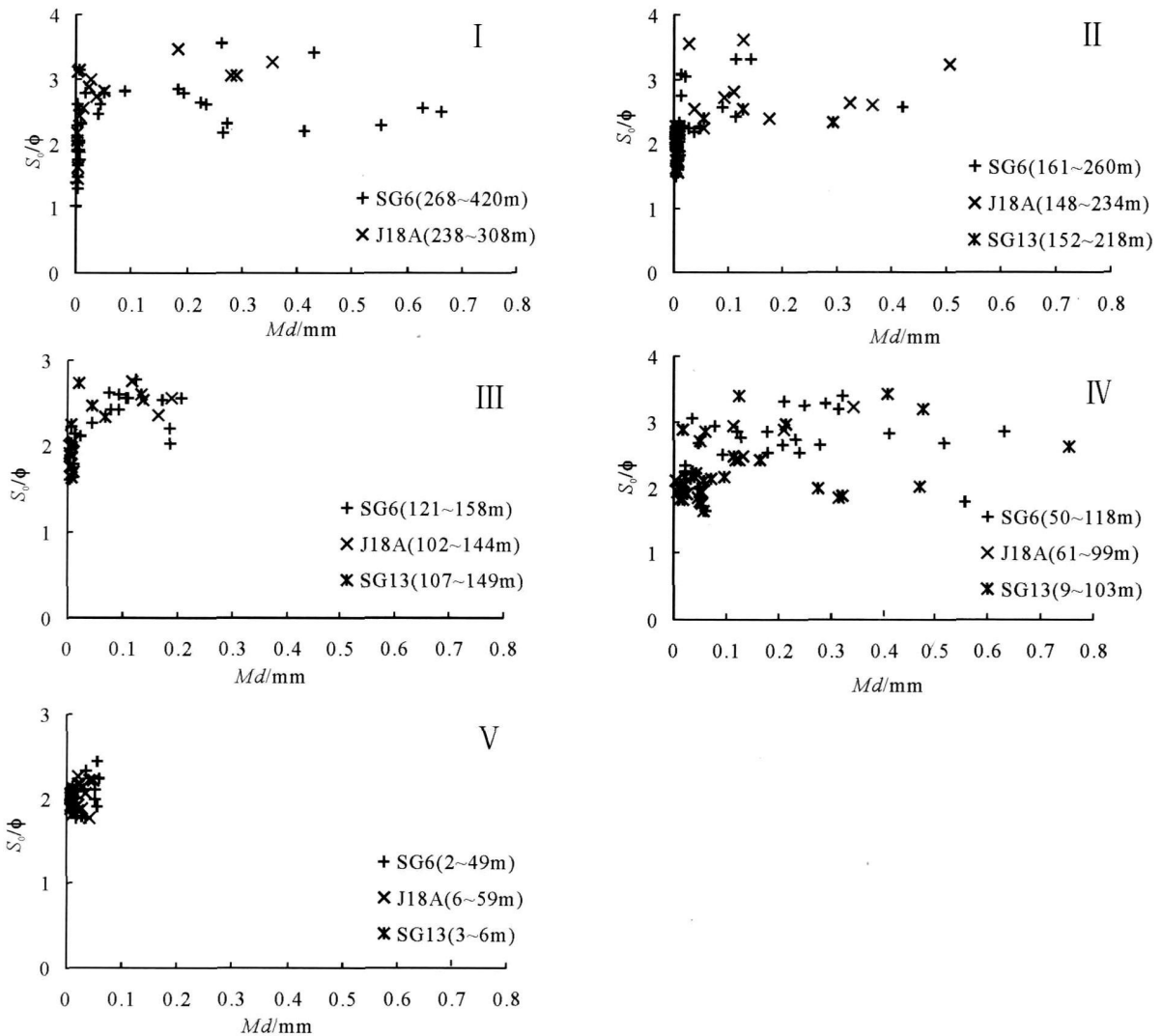


图 5 SG6 孔粗颗粒沉积物粒度频率曲线及概率累计曲线

Fig. 5 Differential and cumulative volume curves of coarse sediments of Core SG6

图 6 SC6, J18A, SG13 孔 S_o-M_d 图Fig. 6 S_o-M_d plot of SG6, J18A and Core SG13

阶段 iv: 分选系数 S_o 位于 $1 \sim 3.5\phi$ 之间, M_d 位于 $0.01 \sim 0.7\text{mm}$ 之间。其中埋深 $304 \sim 368\text{m}$ 为高值段, 分选系数 S_o 位于 $2 \sim 3.5\phi$ 之间, M_d 位于 $0.2 \sim 0.7\text{mm}$ 之间, 分选性差, 反映了较强水动力下的快速堆积 (图 6-iv)。C-M 图显示, 有大量点分布于 NP 段即 $C(800 \sim 2000\mu\text{m})$ 与 $M(200 \sim 700\mu\text{m})$ 的交错区, 反映滚动搬运显著 (图 7-iv)。

阶段 ⑤: 分选系数 S_o 位于 $2 \sim 3\phi$ 之间, M_d 位于 $0.01 \sim 0.5\text{mm}$ 之间 (图 6-⑤)。C-M 图显示, 有少部分点落入 $C(800 \sim 1600\mu\text{m})$ 与 $M(300 \sim 500\mu\text{m})$ 的交错区域, 即 NP 段 (滚动搬运阶段), 还有部分点分布于 $C(100 \sim 1000\mu\text{m})$ 与 $M(80 \sim 200\mu\text{m})$ 的交错区, 相当于 C-M 图中的 PR 段, 为递变悬浮沉积过程。反映了搬运介质的动能较上段有所减小

(图 7-⑤)。

阶段 ④ 分选系数 S_o 位于 $1.5 \sim 3\phi$ 之间, M_d 位于 $0.01 \sim 0.2\text{mm}$ 之间 (图 6-④)。C-M 图显示 PR 段有较多点分布; 表明此段以悬浮搬运为主, 但有少量滚动搬运的组分。反映了水动力较上段明显减弱。

阶段 ⑥ 分选系数 $S_o(1.5 \sim 3\phi)$ 与 $M_d(0.01 \sim 0.1\text{mm})$ 交错区域和 $S_o(2.5 \sim 3.5\phi)$ 与 $M_d(0.1 \sim 0.7\text{mm})$ 交错区域为样品较集中分布的两个区域 (图 6-⑥)。其中后者反映了较强的水动力条件。C-M 图上的点分布相对分散, 但有大量点落入 $C(1000 \sim 1400\mu\text{m})$ 与 $M(200 \sim 400\mu\text{m})$ 的交错区域 (NP 段) 反映了搬运介质的动能显著增强 (图 7-⑥)。

阶段 ⑦: 分选系数 S_o 位于 $1.5 \sim 2.5\phi$ 之间, M_d

位于 0.01~0.06 mm 之间(图 6-*h*)。C-M 图显示, 分散点主要集中在 C (50~250 μm) 与 M (10~60 μm) 的交错区域, 为对应递变悬浮 (PR) 段和均匀悬浮 (RS) 段(图 7-*h*)。反映了水动力显著减弱。

通过对 SG6 孔 So-Md 图和 C-M 图的分析可以看出, 1) 从上新世到中更新世滚动组分逐渐减少, 悬浮组分逐渐增加, 反映从强水动力向静水沉积的演变过程。2) 晚更新世滚动搬运沉积显著增多, 反映水动力明显增强。3) 全新世水动力明显减弱, 以均匀悬浮沉积为主。

此外, 本文对 J18A, SG13 两孔的沉积物也作了

So-Md 图和 C-M 图分析(图 6-7), 结果显示和 SG6 孔相似的变化规律, 但 SG13 孔早中更新世水动力条件较其他两孔明显弱, 至晚更新世才显示出水动力的显著加强。

3 讨论和结论

本文通过对三个钻孔 (SG6, J18A, SG13) 晚新生代沉积物粒度分布特征的研究分析, 揭示了在新构造运动和古气候作用下的长江河口地区沉积地貌演变过程。

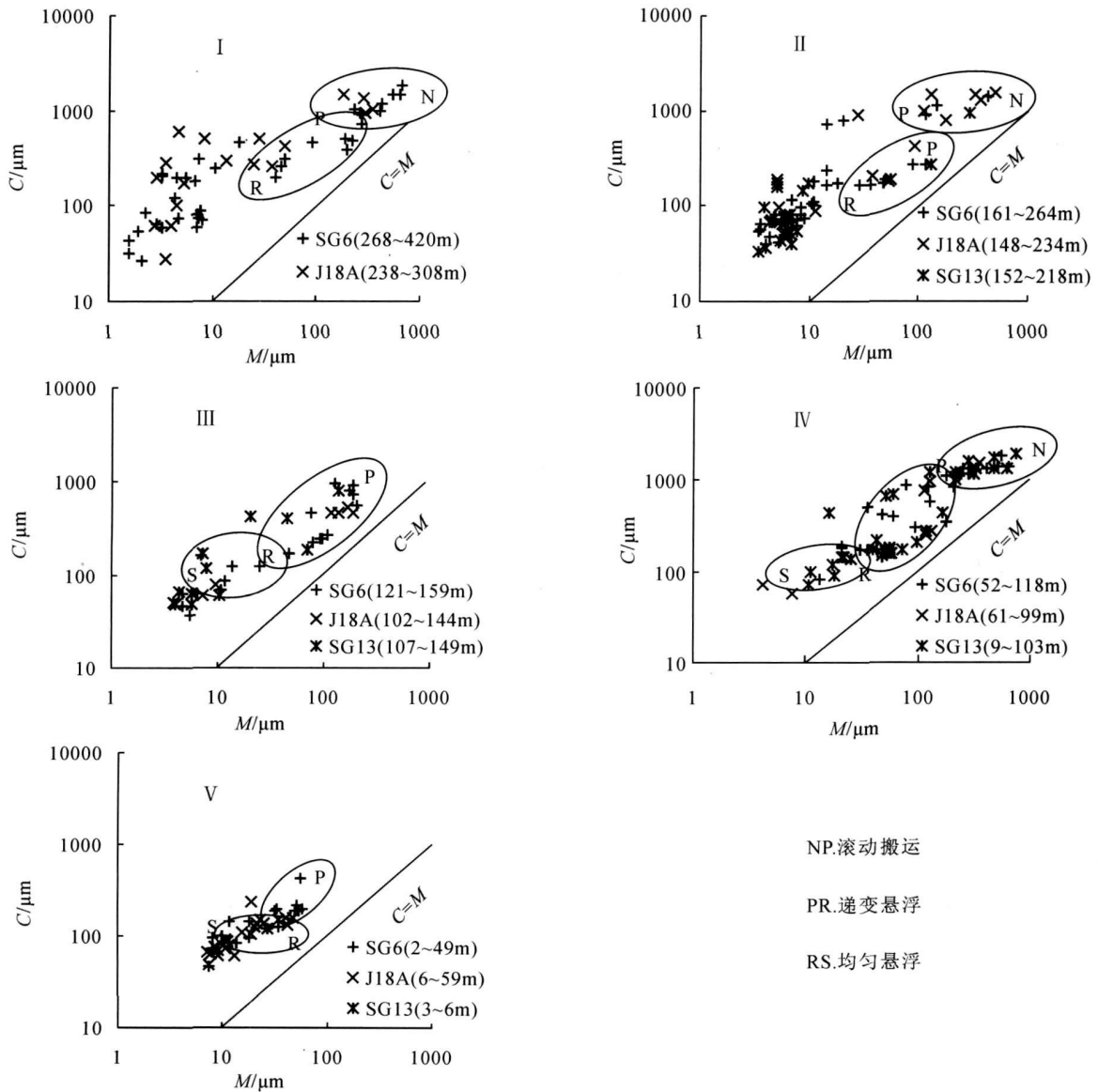


图 7 SG6, J18A, SG13 孔 C-M 图
Fig 7 C-M plot of Core SG6, J18A and SG13

上新世的厚层含砾石砂质沉积物粒度特征显示洪积扇和冲积扇环境中的快速堆积,粉砂质粘土或粘土质粉砂沉积往往薄(图2孔深300~380m),反映了短暂的湖泊或河漫滩沉积环境,同时也反映河漫滩的规模小,或河流切割作用强烈,属于山区河流特征。由上可推测此时本研究区地形坡度较大,沉积物的搬运距离短,物源多来源于就近山地。前人研究^[14,15]显示,本区基岩西部和南部埋深浅,一般小于200m,东部和北部埋深大,一般大于300m,最大可超过500m(图1)。前人研究显示第三纪的沉积中心在苏北平原,本区以丘陵高地为主^[5]。沉积物的特征也反映上新世本区继承这种古地形,沉积主要发生在古沟谷的出口,形成洪积扇,如SG6和J18A孔即位于这样的洪积扇体。而西部和南部的古高地仍以剥蚀为主,如SG13孔缺失上新世沉积即是证据。

早更新世,SG6孔的泥质沉积明显变厚,而J18A孔则以含砾砂沉积为主,且沉积厚度大,SG13孔也开始接受沉积,反映冲、洪积扇体向西部、南部迁移,推测是本区发生明显构造沉降所致。前人研究认为,从上新世到早更新世,由于青藏高原发生数次强烈抬升,我国东部和陆架区也相应发生数次明显的构造沉降^[16],因此本区原先的基岩剥蚀地区也逐渐转变为沉积盆地的边缘,沉积盆地的范围明显扩大。中更新世本区沉积物普遍变细,以悬浮沉积为主,显示曲流河或曲流河冲积平原的沉积环境^[17]。因此我们认为自上新世到中更新世,在构造沉降和盆地充填的共同作用下,本区的地貌于中更新世进入准平原化阶段。

晚更新世本区又普遍发育含砾石砂层,沉积物显著粗化,表现最显著的是前期一直以细颗粒沉积为主的SG13孔此时也出现了厚层含砾砂(图2图6,7)。各孔沉积物的So-Md图和C-M图也显示此时的搬运运动能较中更新世显著增强(图6,7),说明本区再次广泛发育河流。但此时的砾石直径明显变小,泥质含量也显著降低(图5),反映沉积物的搬运距离增加、分选变好。前人在长江三角洲地区的浅地震剖面也显示中更新世末—晚更新世初本区发生断层活动^[18,19]。我们推测断层活动使本区地形高差加大,从而导致河流的再次广泛发育,甚至勿南沙隆起在此时可能显著沉降,导致沉积中心从苏北向南迁移到现长江口区。

晚更新世中、晚期及全新世都为细颗粒沉积,且全新世沉积物进一步细化,以均匀悬浮沉积为主(图6,7),这既反映了在构造沉降作用下,本区已演变为

滨、浅海沉积环境,又反映了物源的远距离搬运。

参考文献 (References)

- 1 王张华,赵宝成,陈静,等.长江三角洲地区晚第四纪年代地层框架及两次海侵问题的初步探讨[J].地理学报,2008,10(1):99-110[Wang Zhanghua Zhao Baocheng Chen Jing *et al.* Chronostratigraphy and two transgressions during the Late Quaternary in Changjiang delta area[J]. Journal of Paleogeography 2008 10(1):99-110]
- 2 韦桃源,陈中原,魏子新,等.长江河口区第四纪沉积物中的地球化学元素分布特征及其古环境意义[J].第四纪研究,2006,26(3):397-405[Wei Taoyuan, Chen Zhongyuan, Wei Zixin, *et al.* The distribution of geochemical trace elements in the Quaternary sediments of the Changjiang River mouth and the paleoenvironmental implications[J]. Quaternary Sciences 2006 26(3):397-405]
- 3 杨守业,李从先.长江三角洲晚新生代沉积物有机碳、总氮和碳酸盐组成及古环境意义[J].地球化学,2003,35(3):249-256[Yang Shouye Li Congxian Compositions of organic elements and carbonate in the late Cenozoic sediments of the Changjiang Delta: Implication for paleoenvironmental changes[J]. Geochimica 2003, 35(3):249-256]
- 4 Wang Zhanghua, Chen Zhongyuan, Gu Jiawei *et al.* Occurrence and environmental implications of magnetic iron sulfides in stiff muds from the continental shelf of the East China Sea[J]. Geo-Marine Letters 2005, 25(5):300-305
- 5 Chen Zhongyuan, Stanley D J Quaternary subsidence and river channel migration in the Yangtze delta plain, eastern China[J]. Journal of Coastal Research 1995 11(3):927-945
- 6 邱金波,李晓.上海市第四纪地层与沉积环境[M].上海:上海科学技术出版社,2007 1-229 [Qiu Jinbo Li Xiaoxiao The Quaternary Strata and Depositional Environment in Shanghai[M]. Shanghai Scientific & Technical Publishers 2007 1-229]
- 7 段凌云,王张华,李茂田,等.长江口沉积物²¹⁰Pb分布及沉积环境解释[J].沉积学报,2005,23(3):514-522[Duan Lingyun, Wang Zhanghua Li Maotian *et al.* ²¹⁰Pb distribution of the Changjiang estuarine sediment and the implications to sedimentary environment[J]. Acta Sedimentologica Sinica 2005 23(3):514-522]
- 8 范代读,李从先, Yokoyama K,等.长江三角洲晚新生代地层独居石年龄与长江贯通时间研究[J].中国科学: D辑,2004 34(11):1015-1022[Fan Daidu Li Congxian Yokoyama K, *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, 2004, 48(10):1718-1727]
- 9 陈静,王哲,王张华,等.长江三角洲东西部晚新生代地层中的重矿物差异及其物源意义[J].第四纪研究,2007,27(5):700-708[Chen Jing Wang Zhe Wang Zhanghua *et al.* Heavy mineral distribution and its provenance implication in late Cenozoic sediments in western and eastern area of the Changjiang River delta[J]. Quaternary Sciences 2007, 27(5):700-708]
- 10 王张华,张丹,李晓,等.长江三角洲晚新生代沉积物磁性特征和

- 磁性矿物及其指示意义 [J]. 中国地质, 2009(待刊) [Wang Zhanhua, Zhang Dan, Li Xiaojiao et al. Magnetic properties and relevant minerals of late Cenozoic sediments Changjiang delta area and implications [J]. Chinese Geology, 2009(in press)]
- 11 Chen Zhongyuan, John Rybczyk. Coastal Subsidence [C]// Maurice L. Schwartz. Encyclopedia of coastal Science. Springer Netherlands, 2005: 302-304
 - 12 Lowe J J, Walker M J C. Reconstructing Quaternary Environments [J]. London and New York: Longman Group Limited, 1984: 1-446
 - 13 成都地质学院陕西队. 沉积岩 (物) 粒度分析及其应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1978: 1-147 [Shannxi Team in Chengdu College of Geology. Analysis and Applications of Sedimentary Rocks (sediments) Grain Size [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978: 1-147]
 - 14 张家强, 张桂甲, 李从先. 长江三角洲晚第四纪地层层序特征 [J]. 同济大学学报, 1998, 26(4): 438-442 [Zhang Jiaqiang, Zhang Guijia, Li Congxian. Characteristics of the Late Quaternary stratigraphic sequence in the Changjiang River Delta Area [J]. Journal of Tongji University, 1998, 26(4): 438-442]
 - 15 李从先, 汪品先. 长江三角洲晚第四纪地层的特征 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-222 [Li Congxian, Wang Pinxian. Study on the Late Quaternary Stratigraphic Sequence in the Changjiang River Delta Area [M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-222]
 - 16 郭玉贵, 李延成, 许东禹, 等. 黄东海大陆架及邻域大地构造演化史 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(1): 1-11 [Guo Yugu, Li Yancheng, Xu Dongyu et al. Tectonic evolution of Yellow Sea, East China Sea and continental shelf and adjacent areas [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1997, 17(1): 1-11]
 - 17 王张桥, 陈中原, 魏子新, 等. 长江口第四纪沉积物中构造与古气候耦合作用的探讨 [J]. 科学通报, 2005, 50(14): 1503-1551 [Wang Zhangqiao, Chen Zhongyuan, Wei Zixin et al. Coupling controls of neotectonism and paleoclimate on the Quaternary sediments of the Yangtze coast [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(14): 1503-1551]
 - 18 章振铨, 刘昌森, 王锋. 上海地区断裂活动性与地震关系初析 [J]. 中国地震, 2004, 20(2): 143-151 [Zhang Zhenquan, Liu Changsen, Wang Feng. Preliminary study on relation of fault activity and seismicity in the Shanghai Region [J]. Earthquake Research in China, 2004, 20(2): 143-151]
 - 19 胡连英, 徐学思. 江苏溧阳地震孕育和发生的地质因素剖析 [J]. 江苏地质, 2001, 25(1): 11-16 [Hu Lianying, Xu Xuesi. An analysis of geological factors for the occurrence and gestation in Liyang earthquake [J]. Jiangsu Geology, 2001, 25(1): 11-16]

Grain-size Characteristics and Geomorphology Evolution in Late Cenozoic Era Sediments, Changjiang Estuary

ZHAN Qing¹ WANG Zhang-hua² WANG Xin¹ LIXiao³

(1 Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062;

2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062;

3 Institute of Shanghai Geological Survey, Shanghai 200072)

Abstract On the basis of grain size analysis of the samples from three boreholes in Changjiang Estuary, the present study discusses the sedimentary and morphologic environmental evolution throughout the late Cenozoic era. Results demonstrate that thick layers of sand and gravelly sand dominate in the borehole sediments of Core SG6 and J18A in Pliocene, indicating quick deposition of alluvial fan system. The lack of Pliocene sedimentation in the borehole of Core SG13 indicates higher topography. Therefore obvious relief occurred in the study area with both depositional and erosion areas during Pliocene. In early Pleistocene the sedimentary environment remained as alluvial fans. But the sedimentary basin extended westward and southward due to tectonic subsidence, as evidenced by the thick layers of gravelly sand in Core J18A and initiation of deposition in Core SG13. In middle Pleistocene fine sediments accumulated generally, revealing the sedimentary environment of alluvial plain dominated by meandering river. In early late Pleistocene thick layers of sand and gravelly sand dominate in the region again, but the grain size become finer as compared with Pliocene and early Pleistocene. It reveals that rivers developed again in the region because of local tectonic subsidence. In late Pleistocene and Holocene silt and clay accumulated from still water dominate in the boreholes sediments, indicating the sedimentary environment of coastal plain and shallow sea. Hence two processes of denudation occurred in the region due to the tectonic subsidence, deposition and erosion since Pliocene to middle Pleistocene and late Pleistocene to Holocene.

Key words grain size analysis, sedimentary geomorphology, Changjiang Estuary, late Cenozoic era