维普资讯 http://www.cqvip.com

2004 年 11 月
第 24 卷 第 4 期
海洋地质与第四纪地质
MARINE GEOLOGY & QUATERNARY GEOLOGY
Vol. 24, No. 4
Nov., 2004

长江三角洲南部地区晚更新世年代地层和海水进退

王张华[1]，丘金波[2]，冉莉华[3]，严学新[2]，李　晓[2]
（1 华东师范大学 河口海岸国家重点实验室，上海 200062；2 上海市地质调查研究院，上海 200072；
3 华东师范大学 地理信息科学教育部重点实验室，上海 200062）

摘要：根据长江三角洲晚第四纪 4 个钻孔详细的测年和微体古生物分析结果，对该区约 110 kaBP 来的地层进行了年代学划分，并且重建了晚更新世海侵海退过程。研究发现，形成于 120～110 kaBP 的蓝灰色硬土是本区晚更新世底界的标志，而晚更新世顶界的标志是形成于 17～10 kaBP 的暗绿色或棕黄色硬土。晚更新世早期 110～60 kaBP 间，本区主要发育河流相的含砾砂，但其中 100～80 kaBP 间发生一次较弱海侵，以溺谷相沉积为主。晚更新世中期 60～22 kaBP，沉积物经历粗－细－粗 3 个阶段，分别是 60～40、40～34 和 34～22 kaBP。其中第 2 阶段在西部地区出现硬土层，而中东部地区 60～22 kaBP 期间海侵层连续，且在 43～40 和 34～22 kaBP 出现两次较高海面。

关键词：年代地层；海侵；晚更新世；长江三角洲
中图分类号：P736.21　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0256-1492(2004)04-0001-08

长江三角洲东部地区由于近年来经济和城市化的迅速发展，越来越需要区域地质环境的详细信息，尤其是晚更新世以来（～120 m 以浅）的地质环境演变和地层发育是重点需要掌握的对象。前人对长江三角洲地区的晚第四纪沉积环境演变已经做了大量的工作[1-3]，其中 Li 等[3]根据 600 多个钻孔进行了晚第四纪地层对比和沉积相的划分。但由于受测年手段和钻孔深度的限制，过去的工作重点都集中在末次冰盛期以来，对该区晚更新世的年代地层和海水进退控制下的沉积环境演变和地层发育还缺乏深入认识。

本文利用最近实施的 4 个晚第四纪钻孔，对本区晚更新世沉积物进行了^{14}C、光释光（OSL）和 ESR 测年，结合微体古生物分析鉴定结果，试图阐述该区晚更新世的年代地层划分和海侵、海退过程，并初步探讨与构造、气候变化及物源供应的关系。

1　研究方法

2003 年实施晚第四纪钻孔 4 个，分别是 MFC 孔，位于上海市区火车站附近，井深 112 m；青浦镇北 FX 孔，井深 102 m；浦东 PA 孔，井深 133 m；崇明岛 MZ 孔，井深 147 m（图 1）。4 孔都以钻遇蓝灰色硬土层为终止深度。

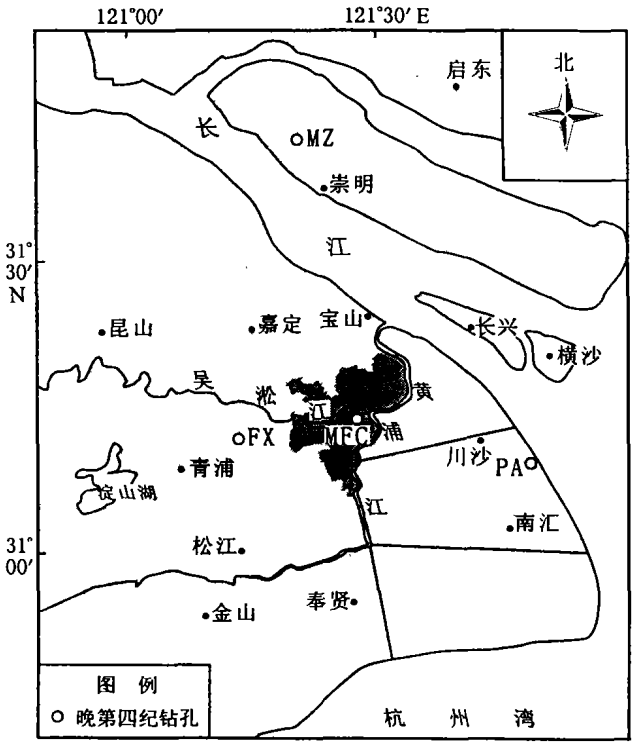


图 1　研究区地理位置及钻孔分布
Fig. 1　Location of the study area and distribution of boreholes

对 4 个钻孔都进行了岩性描述和测年。其中，MFC 孔采样 5 个进行 ^{14}C 测年，采样 8 个进行 OSL 测年；FX 孔采样 3 个进行 ^{14}C 测年，采样 9 个进行 OSL 测年；PA 孔采样 5 个进行 ESR 测年；MZ 孔采样 8 个进行 OSL 测年。^{14}C 和 ESR 测年在中国地

基金项目：上海市自然科学基金资助（03ZR14025）
作者简介：王张华（1973—），女，副研究员，博士，主要从事第四纪地质研究，E-mail：zhwang@geo.ecnu.edu.cn
收稿日期：2004-03-12；**改回日期**：2004-04-28.　张光威编辑

维普资讯 http://www.cqvip.com

质调查局海洋地质实验检测中心进行，^{14}C 检测仪器为日本生产的低本底液闪谱仪，ESR 使用德国 Bruker 公司生产的 ECS106 型电子自旋共振谱仪；OSL 在中国地质科学院环境地质开放实验室进行，使用仪器为中科院自行研制的 BG1999 选频光释光断代仪。

此外，对 MFC 孔和 FX 孔还进行了粒度和微体古生物分析。粒度分析：MFC 孔采样 37 个，间距 2～3 m；FX 孔采样 29 个，间距 2～4 m；对粗的砂样和含砾样品采用筛析法，粉砂和泥样用激光粒度仪(Ls13320)分析，按 Folk(1974)标准计算砾、砂、粉砂和黏土的含量。

微体古生物分析包括有孔虫和介形虫鉴定、统计。MFC 孔分析样品 57 块，FX 孔分析样品 64 块，两孔中上部采样间距为 1～2 m，底部采样间距 2～10 m。样品分析在中国地质科学院水文地质环境地质研究所进行。具体分析方法：取干样 50 g，加少许 15%的过氧化氢(H_2O_2)溶液，使样品充分分散，然后用 0.052 mm 孔径的筛子水洗；将水洗后的样品烘干，加入密度为 1.59 的四氯化碳(CCl_4)溶液进行浮选；过滤后在双目实体显微镜下进行化石的挑选和鉴定。

2 年代地层

2.1 晚更新世早期(110～60 kaBP)

FX、MFC 孔底部蓝灰色硬土的测年分别是(129 950±4 880)和(116 400±11 250) aBP；MZ 孔蓝灰色硬土层未测年，但对该硬土层之上 10 m 处的泥质粉砂层的测年为(106 910±4 200) aBP(表 1、图 2)。上述测年结果与古地磁布莱克事件(108 kaBP)相吻合。因此，认为蓝灰色硬土层是本区晚更新世底界的标志层，大约 110 kaBP 前本区进入晚更新世早期。4 个钻孔资料显示，晚更新世早期发育了厚约 30～40 m 的灰色、灰黄色含砾中粗砂、细砂，局部夹较薄层泥质粉砂。底界埋深大约 100～145 m，顶界埋深大约 60～100 m，年代大约为 110～60 kaBP(图 2)。

2.2 晚更新世中期(60～22 kaBP)

晚更新世中期沉积物以灰色泥质粉砂或粉细砂夹泥为主。分别在 FX 孔 62 m、MFC 孔 73 m、PA 孔 100 m、MZ 孔 98 m 以上，沉积物颗粒和早期相比明显变细，泥的夹层增加，标志着本区沉积环境发生显著变化。在该边界上、下的测年结果分别是：FX 孔 62.1 m 为(72 600±7 100) aBP，59.5 m 为(50 050±2 800) aBP；MFC 孔 74.5 m 为(66 620±4 140) aBP；PA 孔 97.8 m 为(55 700±5 600) aBP；MZ 孔 102.1 m 为(72 870±4 340) aBP，90.6 m 为

表 1 长江三角洲南部地区 4 个钻孔的测年结果

Table 1. Dates of sediments from 4 boreholes in the southern Changjiang (Yangtze) delta plain

钻孔	取样深度/m	样品描述	测年结果/aBP	测年方法
FX	13.1～13.15	灰色淤泥	7 910±210	^{14}C
	57.6～57.7	泥炭	>32 000	^{14}C
	61.6～61.7	泥炭	>31 500	^{14}C
	2.50～2.55	灰色淤泥	1 890±170	OSL
	13.15～13.23	灰色黏土	11 180±950	OSL
	15.92～16.00	暗绿色硬黏土	17 410±880	OSL
	22.00～22.08	褐黄色粉砂	22 720±2 430	OSL
	49.1～49.2	灰色粉砂质黏土	39 200±2 930	OSL
	59.5～59.6	深灰色泥质粉砂	50 050±2 800	OSL
	62.0～62.1	灰色粉砂	72 600±7 100	OSL
	99.6～99.7	灰色含砾中细砂	113 550±11 260	OSL
	100.0～100.1	蓝灰色硬黏土	129 950±4 880	OSL
MFC	8.0～8.5	贝壳碎片	<200	^{14}C
	16.7～16.8	褐灰色淤泥	8 400±200	^{14}C
	18.5～18.7	褐灰色黏土	8 780±550	^{14}C
	23.4～23.5	褐灰色粉砂质黏土	9 150±250	^{14}C
	43.7～43.8	贝壳碎片	>34 700	^{14}C
	26.4～26.5	褐灰色粉砂质黏土	8 490±900	OSL
	26.5～26.6	暗绿色硬黏土	10 100±1 130	OSL
	30.2～30.3	褐黄色粉砂质黏土	16 230±1 560	OSL
	34.6～34.7	褐黄色粉砂	21 590±1 930	OSL
	38.9～39.0	暗灰黄色粉细砂	32 350±2 910	OSL
	54.4～54.5	灰色粉砂质黏土	43 420±2 610	OSL
	74.5～74.6	青灰色含砾中细砂	66 620±4 140	OSL
	112.3～112.4	蓝灰色硬黏土	116 400±11 250	OSL
MZ	16.6～16.7	灰色粉砂	5 460±220	OSL
	30.1～30.2	灰色粉砂	7 180±770	OSL
	50.4～50.5	深灰色粉砂质黏土	15 000±390	OSL
	66.0～66.1	浅灰色粉砂	20 340±730	OSL
	90.6～90.7	灰色中细砂	33 950±1 550	OSL
	102.0～102.1	灰色细砂	72 870±4 340	OSL
	121.0～121.2	浅灰色中细砂	96 480±5 800	OSL
	131.3～131.4	灰色泥质粉砂	106 910±4 200	OSL
PA	42.5	黄灰色粉细砂	25 500±2 500	ESR
	48.3	黄灰色粉细砂	26 900±2 700	ESR
	70.1	黄灰色泥质粉砂	33 400±3 300	ESR
	78.9	灰色粉细砂	41 900±4 200	ESR
	97.8	灰色粉砂	55 700±5 600	ESR

维普资讯 http://www.cqvip.com

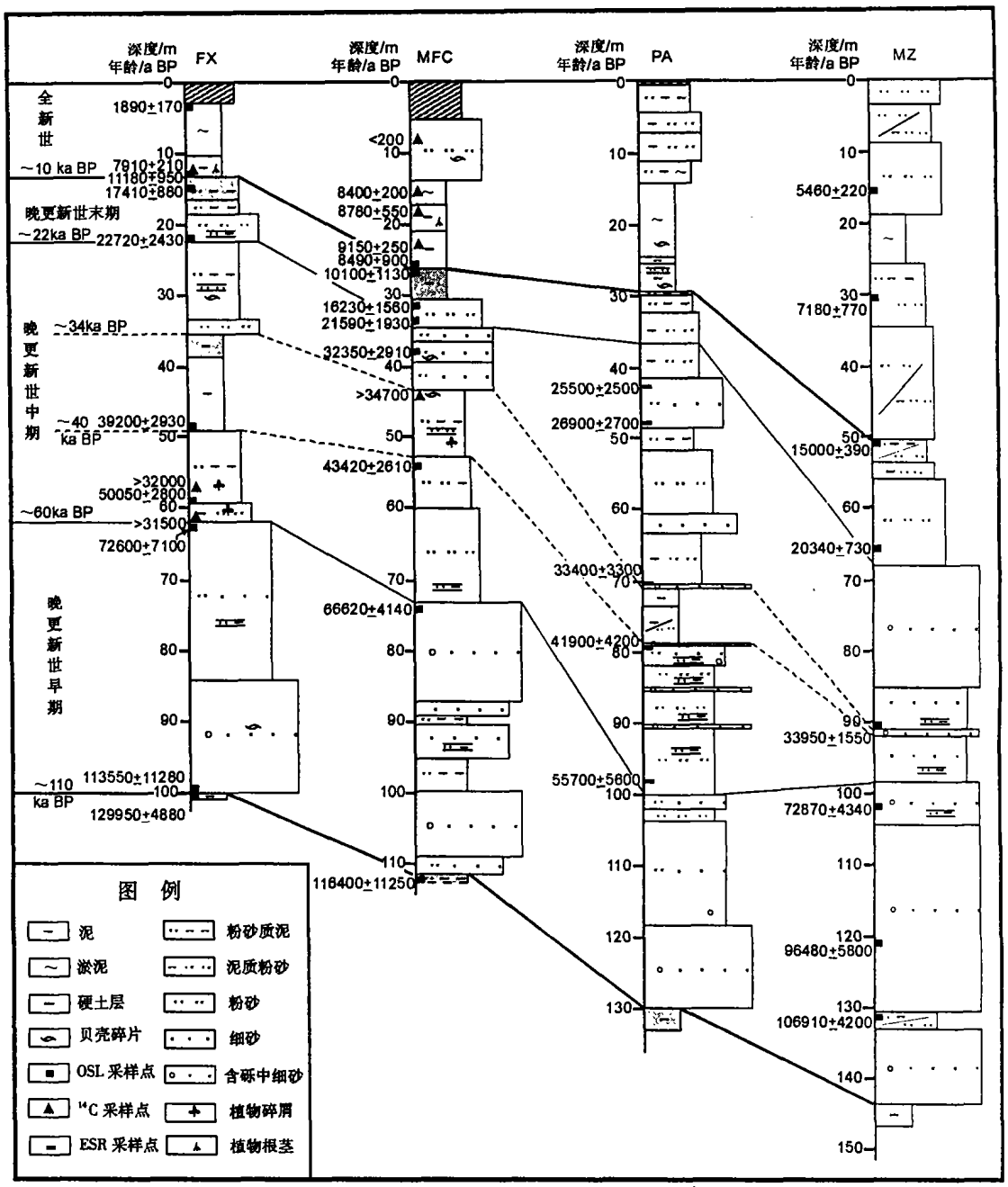


图 2　长江三角洲南部地区晚更新世以来年代地层剖面

Fig. 2　Chronostratigraphy since late Pleistocene in the southern Changjiang delta plain

(33 950±1 550) aBP。根据沉积速率推算，这次沉积环境的改变大约发生在 60 kaBP 前，从而进入晚更新世中期。

根据沉积物组成和特征，本区晚更新世中期又可以分为 3 个阶段：(1) 60～40 kaBP，FX 孔为孔深 62～49 m、MFC 孔为 73～53 m、PA 孔为 100～79 m、MZ 孔为 98～92 m。该阶段沉积物在本区西部以泥质粉砂为主，向东、向北变为粉砂、细砂，局部有较薄的含砾层；(2) 40～34 kaBP，FX 孔为 49～36 m、MFC 孔为 53～43 m、PA 孔为 79～71 m、MZ 孔为 92～91 m。该阶段除 MZ 孔为黄灰色含砾中粗砂外，另外 3 个钻孔都以灰色泥质粉砂和粉砂质泥为主，在 FX 孔还出现了硬土层；(3) 34～22 kaBP，FX 孔为孔深 36～22 m、MFC 孔为 43～34 m、PA 孔为 71～37 m、MZ 孔为 91～68 m，以灰色、青灰色粉砂和细砂为主，崇明 MZ 孔为含砾砂(图 2)。

2.3　晚更新世末期(22～10 kaBP)

在 FX 孔 22.5 m、MFC 孔 35 m、PA 孔 37 m 处，沉积物颜色再次发生显著变化，由灰色、青灰色

维普资讯 http://www.cqvip.com

变成了棕黄色。据过去大量水文地质工程地质钻孔显示(上海市地质调查研究院),这种现象在本区普遍存在;MZ孔67.8 m处沉积物也由含砾砂变成了粉砂。因此,可以确定此时本区沉积环境又发生了显著变化。该界线上、下的测年显示,FX孔深22 m处为(22 720±2 430) aBP、MFC孔34.6 m处为(21 590±1 930) aBP、PA孔42.5m处为(25 500±2 500) aBP、MZ孔66 m处为(20 340±730) aBP。因此,这次环境变化应该发生在22 kaBP前后,标志着晚更新世中期结束,本区进入晚更新世末期。

晚更新世末期沉积物从下而上依次为棕黄色粉砂、泥质粉砂/粉砂质泥,顶部普遍发育棕黄色或暗绿色硬土层。对该硬土层的测年显示为10～17 kaBP,标志着晚更新世末期结束。

本区全新统地层由西向东、向北厚度明显增加,从测年结果看,FX孔的沉积历史为7～8 ka,MFC孔为8～9 ka,MZ孔则为10 ka(图2)。

3 海侵海退过程

3.1 晚更新世早期海侵

MFC孔晚更新世早期仅在孔深100～90 m处发现极少量有孔虫化石,主要是毕克卷转虫变种(*Ammonia beccarii* vars.),其上下含砾砂层里都未发现有孔虫,但是有少量淡水相介形虫化石,主要是土星介(*Ilyocypris* aff. *errabundis*)和小玻璃介(*Candonella sulacensis*, *Candonella albicans*, *Candonella schubinae*),同时期在FX孔未发现有孔虫和介形虫化石(图3、图4)。因此,本区在晚更新世早期仅有一次弱海侵过程,海侵主要波及东部地区,形成溺谷相的沉积环境,根据测年结果和沉积速率推算,这次海侵发生于100～80 kaBP。

3.2 晚更新世中期海侵

晚更新世中期60～40 kaBP,MFC孔有孔虫化石丰富,以优美花朵虫(*Florilus decorus*)、大西洋花朵虫(*Florilus atlanticus*)和花朵虫未定种(*Florilus* sp.)为主,还有较多的异地希望虫(*Elphidium advenum*)。另外,还出现了滨海星轮虫(*Asterorotalia binhaiensis* sp.)。在孔深54 m、43 kaBP时,有孔虫的含量达到了全剖面最高。该期的介形虫化石主要有中华穆赛介(*Munseyella sinensis*)和翼花介(*Cytheropteron* sp.),微体古生物组合反映为水深20～50 m的浅海环境。

MFC孔晚更新世中期40～34 kaBP,有孔虫化石数量明显减少,34～22 kaBP有孔虫数量又有所上升,但有波动,出现缝裂希望虫(*Elphidium magellanicum*)和霜粒希望虫(*Elphidium nakanokawaense*)。此外,在孔深35～36 m处(年龄为22 kaBP),有孔虫含量出现峰值,主要以毕克卷转虫变种占绝对优势。该阶段的介形虫主要为中华洁面介(*Albilebris sinensis*)、丰满陈氏介(*Tanella opima*)和三角库士曼介(*Cushmanidea triangulate*)。有孔虫和介形虫组合都反映了水深小于20 m的河口环境。

FX孔晚更新世中期的下部沉积物(60～40 kaBP)中有孔虫和介形虫化石含量很少,仅在孔深47～49 m(约40 kaBP)处发现个别毕克卷转虫变种(*Ammonia beccarii* var.)和中华洁面介,反映滨海环境。晚更新世中期上部沉积物(34～22 kaBP)中微体古生物化石含量显著增加,以毕克卷转虫变种为主,另外常见缝裂希望虫和霜粒希望虫,局部层位也有少量大西洋花朵虫出现;介形虫以东台新单角介(*Neomonoceratina dontaiensis*)为主。因此,总体反映了水深小于20 m的滨浅海环境。值得注意的是在孔深22 m处(22 kaBP时),有孔虫含量也出现峰值,同样以毕克卷转虫变种占优,与MFC孔有良好的对应关系(图3、图4)。

3.3 晚更新世晚期全面海退

MFC孔和FX孔晚更新世晚期沉积物中都未发现有孔虫和介形虫化石。该时期沉积物主要呈棕黄色,并见大量锈斑,顶部普遍发育硬土层(图3、图4)。因此,可以判断22 kaBP以来海水全面退出本区。

3.4 全新世海侵

MFC孔全新世微体古生物自下而上可划分为3个组合:(1) 25～21 m处微古化石少见,有孔虫主要是孔缝筛九字虫(*Cribrononion poyisuturalis*)—霜粒希望虫,介形虫仅见苏北中华丽花介(*Sinocytheridea subeiensis*),反映滨海环境;(2) 21～13 m,有孔虫含量丰富,主要有异地希望虫和毕克卷转虫变种,另外见少量压扁卷转虫(*Ammonia compressiuscula*),介形虫主要见瞳孔穆赛介(*Munseyella pupilla*)及较多中华洁面介,反映了滨浅海沉积环境;(3) 13 m以上有孔虫数量减少,主要有毕克卷转虫和奈良小上口虫(*Epistominella naraensis*),介形虫主要有东台新单角介、中华洁面介和丰满陈氏介,反映了滨海沉积环境(图3)。

维普资讯 http://www.cqvip.com

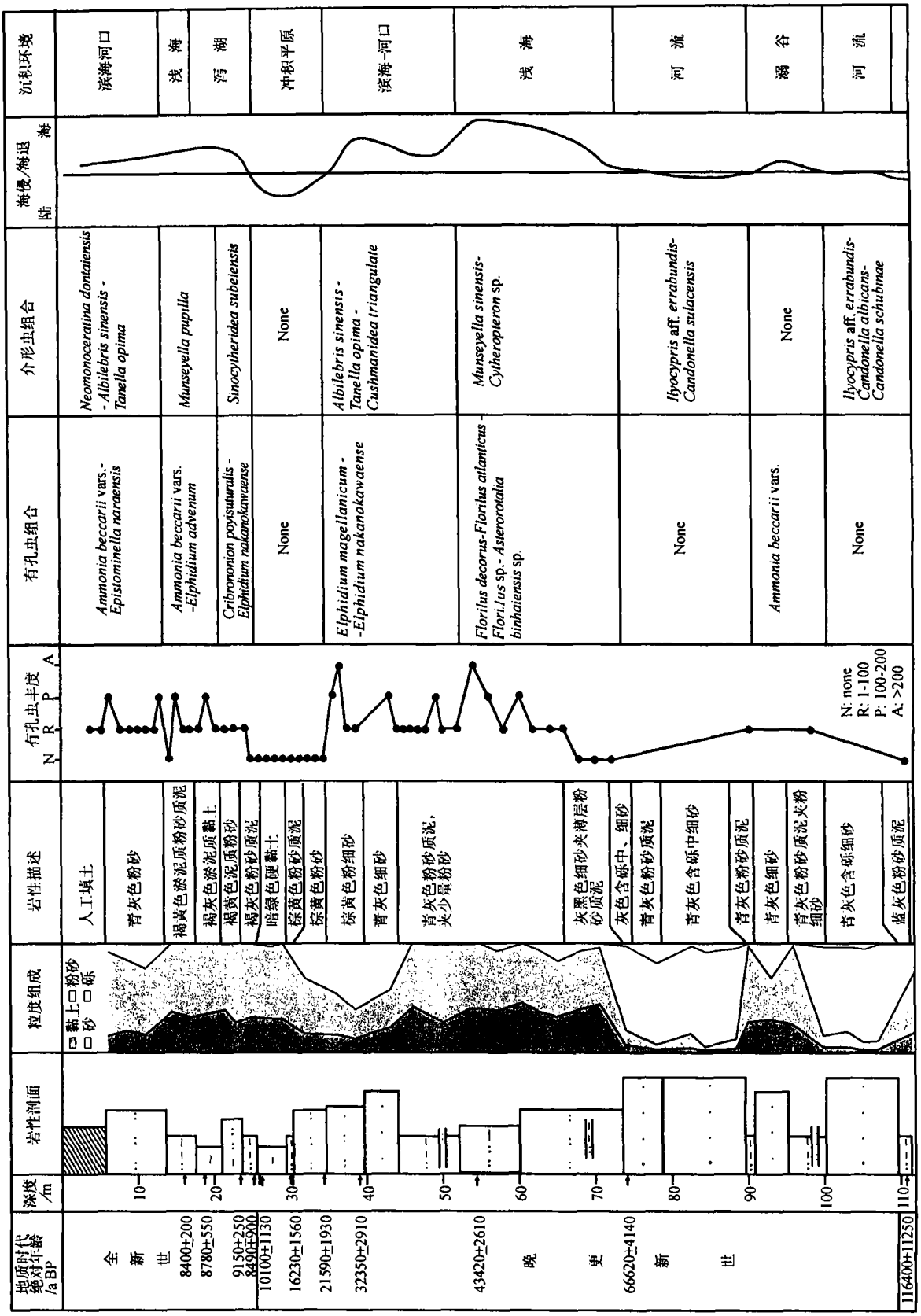


图 3　长江三角洲南部 MFC 孔综合剖面

Fig. 3　Composite profile of borehole MFC in the southern Changjiang delta plain

维普资讯 http://www.cqvip.com

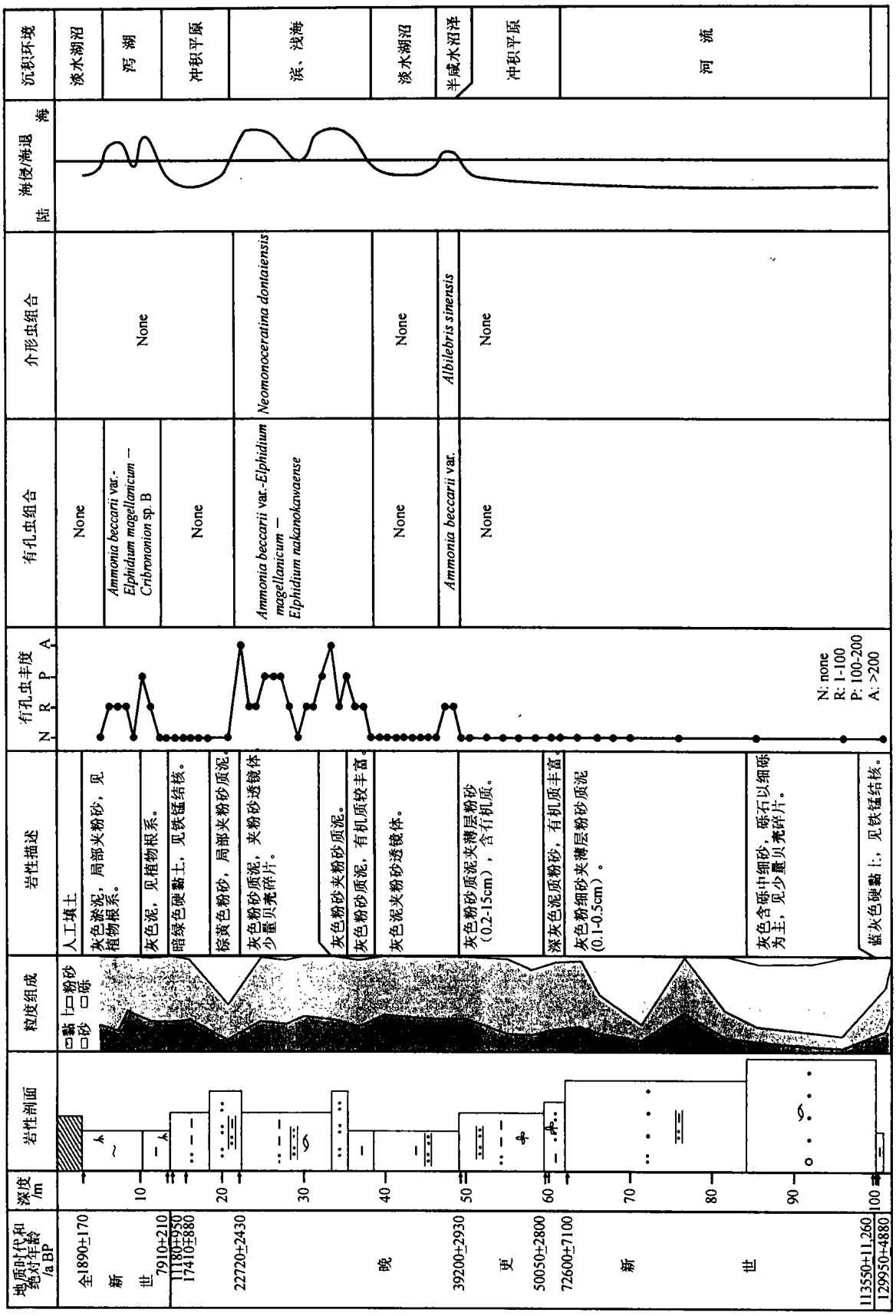


图 4 长江三角洲南部 FX 孔综合剖面

Fig. 4 Composite profile of borehole FX in the southern Changjiang delta plain

维普资讯 http://www.cqvip.com

FX 孔全新世沉积物中有孔虫含量较少，主要出现在中部，以毕克卷转虫变种为主，另外见筛九字虫 B 种(*Cribrononion* sp. B)和缝裂希望虫，反映了泻湖相沉积环境(图 4)。

4　讨论与结论

从上述年代地层和微体古生物的分析结果看，本区晚更新世(约 110 kaBP)以来，经历了 3 次主要海侵事件，它们分别是：(1) 100～80 kaBP 的晚更新世早期海侵；(2) 60～22 kaBP 的晚更新世中期海侵，其中以 43～40 和 34～22 kaBP 海侵强度最大；(3) 10 kaBP 以来的全新世海侵。这 3 次海侵与全球气候变化相吻合，受冰期－间冰期控制，在中国东部尤其是渤海、黄海和东海及沿海平原都有发现[4—6]；同时，也与本区第四纪以来持续的构造沉降有关[7]。前人研究发现，更新世早、中期本区古地势较高，以冲积扇和河流堆积为主[8]，海水很少到达本区。但由于剥蚀作用和长期构造沉降，晚更新世以来本区极易受海平面波动影响而屡遭海侵。

晚更新世早期海侵在渤海和黄海都有显著表现，在渤海被称为沧州海侵[9]，海侵层的厚度很大。本次钻孔揭示，长江三角洲东部地区晚更新世早期沉积物以含砾砂为主，普遍发育溺谷相，海侵层较薄，厚约 10 m。反映了此时长江三角洲地区古地势仍较高，物源供应较丰富，海水主要沿古河谷入侵，海侵规模较小。

晚更新世中期海侵明显加剧，MFC 孔海侵层厚近 40 m，FX 孔海侵层厚也近 20 m。这次海侵早期 60～34 aBP 的沉积物以黏土和泥质粉砂为主，结合微体古生物判断属于浅海－滨海环境。反映了海平面上升迅速，物源供应相对匮乏，也标志着本区仅存台地和剥蚀残丘，古地势和晚更新世早期相比已显著降低。34 kaBP 后，本区又普遍遭受海侵，前人在太湖平原广泛发现这次海侵[6, 10]，直至 22 kaBP 后海面再次急剧下降。同时，沉积物颗粒明显变粗，以细砂和粉砂为主，沉积物的颜色也由青灰色变为棕黄色。从沉积物特征和微体古生物推测，本区该阶段气候暖湿，沉积物供应充分，以滨海相堆积为主。施雅风等[6]也认为太湖流域 34～22 kaBP 的海侵事件和全球气候变暖、极地冰盖消融以及东亚地区夏季风加强有关。

晚更新世晚期，在末次冰盛期作用下，海水退出本区。各钻孔均揭示了沉积物从棕黄色粉砂、泥质粉砂到暗绿色硬黏土的演变过程，反应气候变冷，物源供应减少。

参考文献(References)

[1] LI C, CHEN Q, ZHANG J, et al. Stratigraphy and paleoenvironmental changes in the Yangtze Delta during the Late Quaternary [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18: 453—469.

[2] Hori K, Saito Y, ZHAO Q, et al. Sedimentary facies of the tide-dominated paleo-Changjiang (Yangtze) estuary during the last transgression [J]. Marine Geology, 2001, 177: 331—351.

[3] LI C, WANG P, SUN H, et al. Late Quaternary incised-valley fill of the Yangtze delta (China): its stratigraphic framework and evolution [J]. Sedimentary Geology, 2002, 152: 133—158.

[4] 汪品先. 海洋微体古生物论文集[C]. 北京：海洋出版社，1980. 204. [WANG Pin-xian. Collection of Papers on Marine Microfossil[C]. Beijing: China Ocean Press, 1980. 204.]

[5] 秦蕴珊，赵一阳，陈丽蓉，等. 东海地质[M]. 北京：科学出版社，1987. 119—136. [QIN Yun-shan, ZHAO Yi-yang, CHEN Li-rong, et al. Geology of the East China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1987. 119—136.]

[6] 施雅风，于 革. 40～30 kaBP 中国暖湿气候和海侵的特征与成因探讨[J]. 第四纪研究，2003，23(1)：1—11. [SHI Ya-feng, YU Ge. Warm-humid climate and transgressions during 40～30 kaBP and their potential mechanism [J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(1): 1—11.]

[7] CHEN Z, Stanley D J. Quaternary subsidence and river channel migration in the Yangtze Delta Plain, Eastern China[J]. Journal of Coastal Research, 1995, 11: 927—945.

[8] 陈中原，杨文达. 长江河口地区第四纪古地理古环境变迁[J]. 地理学报，1991，46(4)：436—447. [CHEN Zhong-yuan, YANG Wen-da. Quaternary paleogeography and paleoenvironmental change in Changjiang River mouth [J]. Acta Geographica Sinica, 1991, 46(4): 436—447.]

[9] 赵松龄，秦蕴珊. 中国东部沿海近三十万年以来的海侵与海面变动[J]. 中国第四纪研究，1985，6(2)：97—103. [ZHAO Song-ling, QIN Yun-shan. Transgressions and sea level changes since 300 kaBP in eastern China coast [J]. China Quaternary Research, 1985, 6(2): 97—103.]

[10] 王靖泰，汪品先. 中国东部晚更新世以来海面升降与气候变化关系[J]. 地理学报，1980，35(4)：298—312. [WANG Jing-tai, WANG Pin-xian. Sea level and climate changes since late Pleistocene in eastern China [J]. Acta Geographica Sinica, 1980, 35(4): 298—312.]

维普资讯 http://www.cqvip.com

CHRONOSTRATIGRAPHY AND TRANSGRESSION/REGRESSION DURING LATE PLEISTOCENE IN THE SOUTHERN CHANGJIANG (YANGTZE) RIVER DELTA PLAIN

WANG Zhang-hua[1], QIU Jin-bo[2], RAN Li-hua[3], YAN Xue-xin[2], LI Xiao[2]

(1 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China;
2 Institute of Shanghai Geological Survey, Shanghai 200072, China;
3 MOE Key Laboratory of Geographical Information Science, Shanghai 200062, China)

Abstract: Dating and microfossil analysis was conducted on four boreholes of late Quaternary deposit in the southern Changjiang(Yangtze)River delta plain to characterize the chronology and sea-level changes during the late Pleistocene. Our work shows that the blueish gray stiff mud at core depth of 100～145 m was deposited from ～110 to 120 kaBP, serving as the symbol of the end of the mid Pleistocene. The dark green or brownish yellow stiff mud at core depth of 15～30 m was deposited from 10 to 17 kaBP, serving as the end of the late Pleistocene. Fluvial gravelly sand prevailed in the study area during 110～60 kaBP, and a weak transgression occurred during 100～80 kaBP, forming a drowned valley. Three sedimentary sequences (coarse-fine-coarse) appeared from 60 to 40 kaBP, from 40 to 34 kaBP, and from 34 to 22 kaBP respectively. Stiff mud was found in the west part of the study area during 40～34 kaBP. Continuous transgressive deposits of 60～22 kaBP were found in borehole MFC. Two strongest sea-level changes were discovered at 43～40 kaBP and 34～22 kaBP respectively.

Key words: chronology; sea-level changes; late Pleistocene; Changjiang River delta plain