

长江三角洲顶部冰后期地层的沉积特征*

魏乃颐,杨献忠,于俊杰,蒋仁,赵玲,张宗言,马雪,劳金秀

(南京地质矿产研究所,江苏南京 210016)

摘要:钻探证实,镇江市谏壁镇长江北岸高桥镇北部埋藏硬粘土层,之上为冰后期松散沉积物。沉积物主要为粉砂、粘土质粉砂、砂泥互层,中部局部夹含细砾中细砂,顶部见淤泥质粘土,夹数十层植物炭屑层,以水平纹理为主,局部见小型交错层理、波状层理。表明冰后期以来该地处于水动力较弱的河湖环境,为多期湖沼相沉积夹汉道河流相沉积,局部有海相沉积物加入。根据碳化植物碎屑¹⁴C年龄,推测冰后期底界年龄约13 000 aBP,海侵到达该地的时间约为9 000 aBP,海侵最高位时间约为6 500 aBP。冰后期平均沉积速率约为4.9 m/ka,湖沼相3.4~6 m/ka,河流相10~15 m/ka。对全新统的底界年龄和海相层的埋藏深度进行了讨论。

关键词:长江三角洲;冰后期地层;全新世;松散沉积层;¹⁴C年龄;镇江市

中图分类号:P534.63

文献标识码:A

1 前言

晚更新世末(玉木冰期),气候寒冷,全球性海面下降,最低海面时东海大陆架约有500~600 km露出水面,长江约在现在-150 m处注入大陆坡,即海岸线退至今天陆架外缘水深150 m处^[1~6]。冰后期通常指最后一次冰川(玉木冰期)开始退缩以来的时期,它的标志之一就是世界海平面的上升。冰后期海侵大约始于距今15 000年^[1],从而在东部沿海地区开始堆积了冰后期沉积层。冰后期的海进海退过程在三角洲地区是极为普遍的现象,必然反映在整个三角洲的地层层序上^[2~4]。出于不同的研究目的和需要,目前长江三角洲江阴以下河口段及其两侧钻孔资料、测年数据较多,因此研究程度也相对较高,并建立了较为准确的地层年代格架。顶部的镇江—扬州—泰州河段仅有少量依据工程地质钻探资料的岩石地层总结及少量¹⁴C测年数据^[7,8],不但难以全面建立三角洲顶部全新世以来年代地层标尺,也难以全面描绘其沉积相细节、古地理地貌乃至新构造运动的特征。

基于正在开展的中国地质调查项目钻孔资料,本文拟就长江三角洲顶部镇江地区长江北岸钻孔岩芯及生物和¹⁴C测年资料,分析讨论冰后期沉积层的沉积特征。

* 收稿日期:2009-09-03

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(项目编号:1212010781020)资助。

第一作者简介:魏乃颐(1952~),男,教授级高工,主要从事沉积学及第四纪地质研究。

2 钻孔特征

2.1 岩性特征

在开展中国地质调查局“江苏1：5万扬中市、江都县、谏壁镇、泰州市幅区调”项目过程中,为探讨末次盛冰期以来长江河口的沉积特征及古河谷的地层层序、查明地表工程地质特性,项目组在镇江市谏壁镇长江北岸布置了数个地质及工程地质钻孔,其中C24孔位于镇江市谏壁镇丹徒区高桥镇北部的京江村(图1)。该孔孔口海拔高程3.3 m,终孔深度66 m,并于64.7 m处钻遇硬质粘土层。

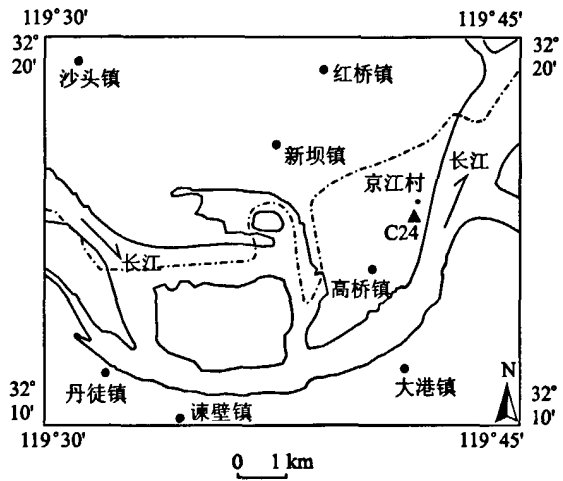


图1 C24孔位置示意图
Fig.1 Location of C24 drilling hole

2.2 地层划分

根据沉积物特征、沉积相分析及微体古生物特征和¹⁴C 年龄测定结果(表1),可以将该孔自下而上划分出上更新统太湖组和全新统如东组。

表1 C24孔岩芯碳化植物碎屑¹⁴C 测年结果

Table 1 ¹⁴C dating data of carbonized plant fragments in drill cores from C24 drilling hole

深度(m)	样品物质	测年结果(aBP) ^①
8.20—8.25	碳化植物碎屑	2387±140
24.30—24.40	碳化植物碎屑	3139±140
31.60—31.80	碳化植物碎屑	3774±175
49.80—49.90	碳化植物碎屑	6774±184
56.70—56.75	碳化植物碎屑	10454±300
60.40—60.42	碳化植物碎屑	11258±310
63.45—63.50	碳化植物碎屑	12588±310

①¹⁴C 测年由中国科学院南京地理与湖泊研究所完成。

2.2.1 上更新统太湖组(Q₃g)

64.70~66.00 m,灰绿色、向下逐步过渡为黄褐色含粉砂粘土。顶部灰绿色含粉砂粘土

较松散,可能系地下水浸泡所致,或发生短暂的风化剥蚀;未见长江侵蚀作用形成的底砾,表明该处硬粘土层形成后很快接受上覆地层的沉积。下部含灰绿色斑块,见铁锰质结核和浸染;偶见钙质结核。综合颜色、质地、岩性及成分等特征,表明该层为硬质粘土层。上覆地层 63.45~63.50 m 处碳化植物碎屑的¹⁴C 年龄为 12 588±310 aBP(表 2),因此该层属于上更新统。推测更新统与冰后期松散沉积层之间的界线约距今 13 000 aBP。该硬粘土层的存在表明,该地沉积环境属长江三角洲古河间地。

表 2 C24 孔冰后期不同时段和不同沉积相的沉积速率

Table 2 Deposition rates of different times and different sedimentary facies since postglacial age shown in C24 drilling hole

深度	测年结果	推测年龄 ^①	沉积速率 ^②		沉积速率	
m	aBP	aBP	地层	m/ka	沉积相	m/ka
3.60		1600	Q _h r ³	8~10 ^③		
8.20~8.25	2387±140				湖沼相	5.88
17.30		2600				
22.70		2900			河流相	15.33
24.30~24.40	3139±140				河流相,局部湖沼相	10.43
30.00		3600				
31.50		3700	Q _h r ²	6.97	河流相	15
31.60~31.80	3774±175				湖沼相	8
33.90		4000				
36.00		4200			河流相	10.5
49.80~49.90	6774±184					
55.20		9000				
56.70~56.75	10454±300				湖沼相,局部海相	3.42
60.40~60.42	11258±310					
63.45~63.50	12588±310		Q _h r ¹	2.5		
64.70		12800				
平均				4.90 m/ka		

①根据项目其他钻孔¹⁴C 测年数据和海侵海退时间及其相关地层划分年龄数据,作粗略估计。

②计算沉积速率时,全新统厚度按照 62.70 m 计算,未考虑顶部 2m 厚的人工填土。

③由于人类活动干扰,该数据为估算值。

2.2.2 全新统如东组(Q_hr)

(1)如东组下段(Q_hr¹):55.20~64.70 m,青灰色、褐灰色粉砂,夹少量褐灰色、棕红色粉砂质粘土条带;见大量碳化植物碎屑层;未见海相微体生物。其沉积环境为淡水湖沼相边滩—漫滩沉积,局部为牛轭湖相。56.70~56.75 m 处碳化植物碎屑的¹⁴C 年龄为 10 454±300 aBP,60.40~60.42 m 处为 11258±310 aBP,63.45~63.50 m 处为 12 588±310 aBP。因此本层归属如东组下段,推测其顶界年龄约距今 9 000 aBP。

(2)如东组中段(Q_hr²)

中段早时(Q_hr²⁻¹):33.90~55.20 m,据颜色和岩性,可分成三层:

下层 40.10~55.20 m,灰色粉砂,水平纹理发育。顶部见少量泥质斑块或条带,含少量碳化植物炭屑,为湖沼相沉积。中下部见毕克卷转虫 *Ammonia beccarii* vars. (Lineé)等广盐

性有孔虫,底部见孔缝筛九字虫 *Cribrononion polisuturalis* Ho, Hu et Wang 等低盐水体有孔虫,但数量较少,海相性程度较低,显示海水注入的时间短暂,为滨海潮坪相沉积。49.80~49.90 m 段碳化植物碎屑¹⁴C 测年为 $6\,775 \pm 184$ aBP,估计海侵在距今 6 500 aBP 左右达到最高位。

中层 36.00~40.10m,为灰色粉砂与褐灰色粘土质粉砂—粉砂质粘土互层,水平纹理发育。底部偶见软体动物碎片,为湖沼相漫滩沉积。

上层 33.90~36.00m,为黄灰色-灰黄色中细砂,中部含少量中细砾,见大量腹足类、双壳类碎片,及双壳类光滑蓝蛤 *Aloides laevis* (A. Adams) 较完整个体,为滨海河口汉道河流相沉积,局部伴随强风浪搬运沉积。

49.80~49.90 m 处碳化植物碎屑的¹⁴C 年龄为 $6\,775 \pm 184$ aBP,因此该层归属全新统如东组中段早时,推测其顶界年龄约距今 4500 aBP。根据沉积物特征分析,全新统中段早期是一套海进式滨海河口相沉积,上部被汉道河流沉积物所覆盖。

中段晚时(Q_3r^{2-2}): 3.60~33.90 m,根据颜色和岩性,又可分成两期:

早期 17.30~33.90 m,主要由两个沉积旋回构成。每一旋回的上部均为黄灰色-灰黄色细砂,局部夹少量泥质斑块,显示汉道河流相沿岸砂坝沉积;旋回下部均为青灰色粉砂-青灰色粉砂与褐灰色、棕红色粉砂质粘土互层,夹少量碳化植物碎屑。下部旋回见弯曲玻璃介 *Candona sinuosa* Huang, Hou et Yang 和布氏土星介,显示静水沉积的湖沼相环境,上部旋回见大量腹足类、双壳类碎片,显示浪基面附近存在波浪搬运作用;为滨海河口相边滩-漫滩沉积,局部受河流、海水潮汐影响。

晚期 3.60~17.30 m,主要为灰色—深灰色或青灰色粉砂,中下部夹少量棕灰色—褐红色含粉砂粘土;水平纹理发育,并见小型波状层理、交错层理;见大量碳化植物碎屑层,为湖沼相牛轭湖静水沉积环境。8.20~8.25 m 处碳化植物碎屑的¹⁴C 年龄为 $2\,387 \pm 140$ aBP, 24.30~24.40 m 处为 $3\,139 \pm 140$ aBP, 31.60~31.80 m 处为 $3\,774 \pm 175$ aBP,因此将该层归属全新统如东组中段晚时,推测其顶界年龄为 1 600 aBP。

早期两个旋回的沉积物粒度具有上粗下细特征,晚期沉积物粒度从上到下具有粗—细—粗的变化,具有典型的河口砂坝层序,表明中段晚时是一套河进海退式三角洲平原相边滩—漫滩(潮间浅滩)沉积,局部牛轭湖相沉积。

(3) 如东组上段(Q_3r^3): 0~3.60 m, 2.00~3.60 m 为深灰色—灰黑色淤泥质粘土,含少量粉砂,夹少量未碳化—半碳化植物碎屑,属近代河塘沉积,后被人工填土所填埋。根据全新统如东组中段顶界年龄,将该层归属全新统如东组上段。

2.3 沉积速率

根据¹⁴C 测年结果(表1)以及推测的年龄(表2),计算得出冰后期全新统下、中、上三段和不同沉积相之沉积速率(表2,图2)。全新统下段,由于为湖沼相沉积环境,沉积速率明显较低,仅为 2.5 m/ka;全新统中段,由于河流相、海相物质的加入以及局部的波浪搬运作用,沉积速率较高约 7 m/ka;全新统上段,由于人类活动的干扰,难以得出真实的沉积速率,估计在 8~10 m/ka 之间。总体趋势上,全新统从下到上,沉积速率逐步增大。沉积相上,湖沼相沉积速率最小在 3.4~6 m/ka 之间,全新统中段晚时,由于河流相沉积物的加入及波浪影响,局部湖沼相沉积速率较高为 8 m/ka;河流相沉积速率一般高达 15 m/ka 左右,全新统晚时早期局部受湖沼相影响而变低,为 10.5 m/ka 左右。由于该孔从下到上多为河湖相,局部

有河道河流相、海相物质的加入,因此总体上沉积速率略偏低,冰后期平均沉积速率大约为 4.9 m/ka 。

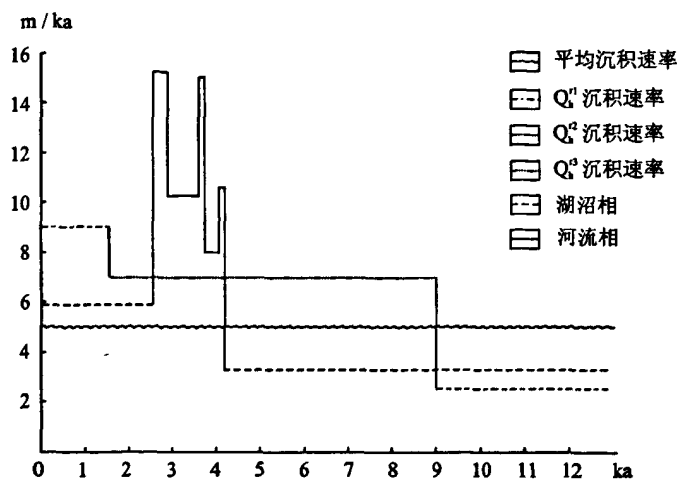


图2 C24孔冰后期松散层沉积速率

Fig. 2 Deposition rates of post glacial strata shown in C24 drilling hole

3 冰后期沉积层的形成过程

位于长江三角洲顶部镇江市谏壁镇丹徒区高桥镇南部在大理冰期低海面时,形成了一套质地坚硬的含粉砂粘土(硬土层)。冰后期,海面上升,基面抬高,导致长江古河谷及古冲沟的充填。本孔硬土层以上疏松沉积物底层碳化植物碎屑层 ^{14}C 年龄为 $12\,588 \pm 310 \text{ aBP}$ 年,因此该孔整个冰后期沉积层是距今 $12\,600 \sim 13\,000 \text{ aBP}$ 年以来的产物。

冰后期海面上升对河口及三角洲地区的影响,不仅表现为海水的进侵,还包括河口以上的回水及河床水面比降减缓而引起的溯源堆积等因素。海面上升初期,镇江地区沉积层底部主要是溯源堆积和回水影响的产物,是一套海进河床充填层序^[7]。镇江海侵以长江三角洲河间地逐渐被淹没为特征,自东向西,自古河谷向两侧逐渐扩展接受滨海沉积。在古河谷的低洼处,海平面上升使排水不畅,积水而成淡水沼泽,局部出现淡水湖泊沉积,明显地反映出陆相特征^[9]。镇江市谏壁镇丹徒区高桥镇南部钻孔正是在这样的海进背景下充填的产物。该孔在埋深 51.15 m 处开始出现海相微体生物,主要为含毕克卷转虫 *Ammonia beccarii* vars. (Lineé)等广盐性有孔虫和孔缝筛九字虫 *Cribronion polisuturalis* Ho, Hu et Wang 等低盐水体有孔虫,说明此时海水进侵已达这一地区,但数量较少,海相性程度不高,表明当时长江三角洲顶部镇(江)扬(州)地区是一个广阔的滨海河口湾。根据 ^{14}C 年龄和沉积率推算,海水到达此地的时间约为距今 $9\,000 \text{ aBP}$ 年,与前人的研究^[10~12]基本相吻合。因此在距今 $13\,000 \sim 9\,000 \text{ aBP}$ 期间,镇江地区冰后期沉积层为海进充填的陆相层。

但是,与其他地区沉积特征所不同的是,该孔从冰后期接受沉积以来,似乎一直处于与外界隔绝的“封闭”的湖沼环境。大约在埋深 36 m 才经受一次河流相充填并伴随风暴潮搬运,沉积了一套黄灰色-灰黄色含细砾中细砂,见大量腹足类、双壳类碎片及少量双壳类光滑蓝蛤 *Aloides laevis* (A. Adams) 较完整个体,未发现有孔虫等海相生物标志,在 $33.60 \sim$

33.70 m处见弯曲玻璃介 *Candona sinuosa* Huang, Hou et Yang 和布氏土星介, 仍然显示静水沉积环境。大约在埋深30 m, 沉积了一套青灰色粉砂, 浪基面附近存在波浪搬运作用且可能受风暴潮影响, 见大量腹足类、双壳类碎片, 也未发现有孔虫等海相生物标志, 进一步表明当时长江三角洲顶部镇(江)扬(州)地区是一个广阔的滨海河口湾, 局部为汉道河流沉积, 暗示全新统中段晚时环境的变化与动荡。全新统上段, 三角洲冲积平原形成后, 大幅度的沉积与侵蚀水动力条件已不具备, 但局部以升降为主的新构造运动及地形、微地貌的改变均影响着河谷的均衡调整。

长江北岸三角洲平原地势平坦, 入江水道密集, 季节性径流携带大量泥沙入江, 粘土、粉砂质粘土及粘土质粉砂不断叠积, 使北岸淤积速度加快, 滩地日愈拓宽, 长江主航道逐步南移, 南岸近邻镇江市谏壁镇大港地区的岗地及圆山, 地势虽起伏较大, 但入江泥沙量远少于北岸, 在落潮流强大的冲刷力作用下, 致使岸线依然向陆退缩。大约在2600 aBP后, 该地再次转入以牛轭湖相为主的沉积环境, 并见大量碳化植物碎屑层。由此可见, 冰后期以来该地处于水动力很弱的河湖环境, 主要是多期湖沼相沉积叠加夹汉道河流沉积, 高海侵时有少量海相沉积物加入。

综上所述, 长江三角洲顶部的沉积层是距今年13 000 aBP以来形成的松散沉积层, 在剖面上自下而上表现出河湖相→海陆过渡相→汉道河流相→湖沼相→牛轭湖相的变化, 反映出冰后期三角洲地区海侵海退的统一过程。

4 讨论

4.1 关于海相层埋深

对长江三角洲而言, 玉木冰期最盛时, 海平面低于现今海面约130 m, 东海陆架当时为一广阔的平原。距今15 000 aBP前, 海面开始上升, 直到距今11 000 aBP前海平面已上升到现代海面-60 m处, 形成一道古海滨砂体, 其 ^{14}C 年龄为 $11\,340 \pm 550$ aBP。以后, 随着海面的上升, 海水同时沿喇叭形的长江古河谷上溯。海相层则继续由东向西扩展。在长江三角洲东部启东地区, 埋深28~31.5 m处的贝壳砂堤 ^{14}C 年龄为 $10\,100 \pm 160$ aBP年^[13], 在长江三角洲顶部南岸镇江市丹徒区距长江约南岸2 km处, 在埋深13.5 m以上才出现海相生物, 海侵到达的时间为8 900 aBP年左右^[7]。虽然在长江古河谷地区自东向西冰后期海侵到达的时间有先后之分, 海相层的埋深也不同, 即东部地区海相层开始堆积的时间较早, 其埋深较大, 西部地区则形成时间较晚、埋深也浅。但是, 对于本孔而言, 在埋深55.15 m处就已经出现海相生物, 推测的海侵到达时间大约距今9 000 aBP。同为镇江丹徒地区, 一个在长江南岸(距离长江约2 km), 本孔在长江北岸, 在海侵达到时间基本相同的情况下, 为什么海侵层的埋深会有如此大的差距? 而且, 该孔所见硬粘土层的埋深在64.7 m, 较东部长江两侧第一硬粘土层埋深于25 m以浅^[14]要深得多。这些现象是暗示该地处于持续的构造下沉环境, 还是与南部长江断裂带活动有关? 值得进一步深入研究。

4.2 全新统底界年龄

冰后期的标志之一就是全球海平面的上升, 其海侵时间大约始于距今15 000 aBP^[1]。我国东部沿海地区也在这一时期开始堆积冰后期沉积层。目前, 全新统的底界年龄一般为距今12 000~10 000 aBP^[15], 但这一年龄与本文推测的该孔冰后期沉积层的底层13 000 aBP略有差异。本孔硬粘土层顶部较为松散, 其上覆松散层主要为处于还原沉积环境的灰色-褐灰

色、含大量碳化植物碎屑层并夹少量粘土质的粉砂,未见河流相砂砾滞留沉积。因此,硬粘土层之上松散沉积物均为冰后期沉积,其中15 000~12 000 aBP大致为冰消期沉积,但本孔缺失15 000~13 000 aBP沉积物,可能在硬粘土层顶部存在短时间的沉积间断。

由于我国东部沿海地区冰后期海相层受离岸远近以及原始地貌的控制构成一个不等时面,即冰后期海侵层的形成过程中存在着时间上的差异,因此今后的研究应综合考虑同位素年龄、沉积旋回、气候、生物等多种因素,才能达到较合理、较准确划分和对比东部沿海地区第四纪晚期地层特别是冰后期沉积层的目的^[16]。

5 结论

(1)钻探证实,镇江市谏壁镇长江北岸高桥镇北部,埋藏硬粘土层之上为冰后期松散沉积物。沉积物主要为粉砂、粘土质粉砂、砂泥互层,中部局部夹中细砂,顶部见淤泥质粘土,夹数十层植物炭屑层;以水平纹理为主,局部见小型交错层理、波状层理。表明冰后期以来该地处于水动力较弱的河湖环境,为多期湖沼相沉积夹河道河流相沉积,局部有海相沉积物加入。

(2)根据钻孔岩芯特征、生物特征、碳化植物碎屑¹⁴C年龄,推测该地冰后期底界年龄约距今13 000 aBP,海侵达到该地的时间约距今9 000 aBP,最大海侵约距今6 500 aBP。推测冰后期平均沉积速率约为4.9 m/ka,湖沼相3.4~6 m/ka,河流相10~15 m/ka。

(3)在海侵时间基本相同的条件下,该地海侵层埋深较已有报道存在着较大差异,表明该处长期处于断陷盆地内,为边沉积、边沉降的沉积环境。是否属于长江断裂带一部分,值得进一步研究。

参考文献

- [1] 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的关系[J].地理学报,1980,35(4):299-312.
- [2] 耿秀山.中国东部晚更新世以来的海水进退[J].海洋学报,1981,3(1):114-128.
- [3] 中国科学院地理研究所,长江水利水电科学研究院.长江中下游河道特性及其演变[M].北京:科学出版社,1985.
- [4] 严镜海.长江河口段水文特征、泥沙运动及河道演变[A].见:严钦尚,许世远.长江三角洲现代沉积研究[C].上海:华东师范大学出版社,1987.
- [5] Wang Pinxian, Sun Xiangjun. Last glacial maximum in China: Comparison between land and sea [J]. Catena, 1994, (23): 341-353.
- [6] 杨怀仁,徐馨,杨达源,等.长江中下游环境变迁与地生态系统[M].南京:河海大学出版社,1997.
- [7] 李萍,陈刚.长江三角洲顶部冰后期地层的沉积特征与划分[J].海洋通报,1983,2(4):67-71.
- [8] 陈希祥.镇江——扬州长江河谷第四系沉积演变特征[J].地层学杂志,2001,25(1):51-54.
- [9] 吴燕开,刘松玉,洪振舜.苏北与长江三角洲沉积环境及其土体物理性质关系探讨[J].水文地质工程地质,2005,(2):49-53.
- [10] 同济大学海洋地质系.全新世长江三角洲的形成和发育[J].科学通报,1978,23(6):310-313.
- [11] 吴标云,李从先.长江三角洲第四纪地质[M].北京:海洋出版社,1987.
- [12] 李从先,张桂甲.晚第四纪长江和钱塘江河口三角洲地区的层序界面和沉积间断[J].自然科学进展(国家重点实验室通讯),1996,6(4):461-469.
- [13] 孙顺才.长江三角洲全新世沉积特征[J].海洋学报,1981,3(1):97-112.

- [14] 陈庆强,李从先. 长江三角洲地区晚更新世硬粘土层成因研究[J]. 地理科学,1998,18(1):53-58.
- [15] 陈报章,李从先,业治铮. 长江三角洲北翼全新统底界和“硬粘土层”的讨论[J]. 海洋地质与第四纪地质,1991,11(2):37-46.
- [16] 王国庆,石学法,李从先. 长江三角洲晚第四纪沉积地质学研究述评[J]. 海洋地质与第四纪地质,2006,26(6):131-137.

Sedimentary features of postglacial strata at the top of Changjiang River Delta

WEI Nai-yi, YANG Xian-zhong, YU Jun-jie, JIANG Ren

ZHAO Ling, ZHANG Zong-yan, MA Xue, LAO Jin-xiu

(*Nanjing institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing, 210016, China*)

Abstract

It is confirmed by borehole data that the sediments above the buried hard clay layer in northern Gaoqiao town, Zhenjiang city, north bank of Yangtze River, are postglacial loose sediments. Sediments are mainly silt, clayey silt and sand intercalated with mud (sand-mud); the medium-fine sand with fine gravel is found in the middle part and the puddly clay at the top. There are tens of carbonized plant fragment interbeds in sediments. The lamination types of postglacial strata are primarily horizontal lamination and locally small-scale cross lamination and wave lamination, indicating weak hydrodynamic fluviolacustrine deposition environment since postglacial period and sedimentary facies dominated by multi-phase lake basin bog facies intercalated with limnetic facies and branch fluvial facies locally with marine sediments added in early stage. According to ^{14}C ages of carbonized plant fragments, it is inferred that the boundary age between Pleistocene and postglacial strata is about 13 000 aBP, the transgression arrived at 9 000 aBP and the highest transgression position appeared at about 6 500 aBP. The deposition rate of postglacial strata is about 4.9 m/ka, that of limnetic facies about 3.4~6 m/ka and that of fluvial facies about 10~15 m/ka. The boundary age of Holocene and the buried depth of marine layer are also discussed.

Key words: Changjiang River Delta, postglacial strata, Holocene, loose sediment layer, ^{14}C age, hard clay layer, Zhenjiang city