

长江江苏段末次盛冰期古河槽特征

曹光杰^{1,2}, 纛景波¹, 李彦彦²

(1. 临沂大学实验中心, 山东 临沂 276005; 2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210046)

摘要: 选择长江江苏段作为研究河段, 根据南京长江三桥、长江大桥、长江四桥、润扬长江大桥、扬中长江大桥、江阴长江大桥、苏通长江大桥 7 个断面的 285 个地质勘探钻孔资料及参考文献中的 8 个钻孔资料, 建立了 7 个长江古河谷地质剖面图。在拟建南京长江四桥附近、扬中长江大桥附近的 7 个钻孔进行了采样分析, 获得了 8 个¹⁴C 年代、1 个 ESR 年代数据。通过分析发现, 末次盛冰期长江古河槽镇江以上切割到基岩, 镇江以下嵌在老河床相沉积层上, 河槽在南京下关—栖霞山段形成局部深切; 南京段约-63 m 以下的河槽为末次盛冰期的古河槽, 相对狭窄陡峭, 宽深比较小, 向下游宽深比逐渐变大, 扬中以下形成分叉河道体系; 古河槽中自下而上充填了从粗到细的沉积旋回, 河床相沉积物向下游逐渐变细。

关键词: 长江江苏段; 末次盛冰期; 长江古河槽; 地质剖面

中图分类号: P512/P534 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)08-0986-07

末次冰期最低海面时, 海面下降的幅度估算为 130 m 左右^[1,2], 长江在现在约-150~-160 m 处大陆架边缘入海。由于基准面大幅度下降, 导致长江下游河床发生强烈的溯源侵蚀, 形成末次盛冰期时的长江古河槽。对于长江江苏段古河槽, 已有一些研究成果。南京长江大桥附近地质勘探时发现了四级埋藏阶地^[1,3], 一般认为南京附近末次冰期长江古河槽埋藏在数十米的松散堆积物之下^[4-6], 镶嵌在基岩中; 镇江以下末次冰期的长江古河道呈手指状向东散开, 宽度越向下游越宽, 河口段可达到 60 km^[7-9]。杨达源^[10]认为, 镇江、南京附近古河槽槽底标高在-55 m 左右, 至崇明岛一带, 晚更新世晚期以来的沉积层总厚度达 90 m 左右; 郭蓄民^[11]认为, 在今长江河口部位, 晚更新世末的深槽槽底标高在-62 m 以下; 李从先等^[12-14]认为, 南通附近末次盛冰期长江古河床的标高约-84 m。但是, 由于末次盛冰期以来江苏段长江河道中的沉积层厚度大, 古河槽宽展, 没有大量的连续钻孔, 很难恢复古河槽形态, 因此对江苏段古河槽的埋深、宽度等尚无一致的认识。加之在古河槽河床相沙砾层中取样困难, 很难找到适合于年代测量的材料, 到目前很少有深槽中直接的测年数据。本文选择江苏

段跨长江的几个大桥附近断面, 通过系列钻孔的分析及河床相沉积物样品的年代测定, 确定末次盛冰期时的古河槽并分析其特征。

1 资料与研究方法

搜集整理南京长江大桥地质勘探钻孔 23 个、三桥地质勘探钻孔 89 个、四桥地质勘探钻孔 53 个, 镇江润扬长江大桥地质勘探钻孔 63 个, 拟建扬中长江大桥地质勘探钻孔 14 个, 江阴长江大桥地质勘探钻孔 26 个, 苏通长江大桥地质勘探钻孔 17 个(均为建桥时的工程钻孔, 图 1)。整理了参考文献中的钻孔 8 个,¹⁴C 年代 5 个^[13]。在拟建长江四桥附近选择部分钻孔采集样品, 其中在 8 个钻孔采集¹⁴C 年代样品 18 个, 电子自旋共振(ESR)年代样品 5 个, ESR 样品取样时, 在暗光的情况下, 立刻用锡纸包裹, 然后装入黑色袋子中。在 4 个钻孔约-65 m 以下深度采集粒度样品 33 个; 在扬中长江大桥附近 4 个钻孔, 采集¹⁴C 年代样品 10 个。

整理了南京长江三桥附近深槽中 7 个钻孔-60 m 以下沉积物粒度样品 21 个、润扬大桥 7 个钻孔-60 m 以下的沉积物粒度样品 10 个、江阴大桥 5 个钻孔-60~-75 m 沉积物粒度样品 22 个、苏通大

收稿日期: 2011-07-11; **修订日期:** 2011-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871010, 41072138)、国家重点基础研究发展规划项目(2003CB415201-8)资助。

作者简介: 曹光杰(1964-), 男, 山东平邑人, 博士, 教授, 主要研究方向为晚第四纪环境演变。E-mail: Guangjiecao@163.com



图1 长江江苏段各大桥剖面位置示意图

Fig. 1 Stratigraphical cross-section of the seven bridges on the Yangtze River in Jiangsu Province

桥附近-60~-80 m沉积物粒度样品102个。

分别对各大桥附近的钻孔,在GCS-Krasovsky-1940地理坐标系统下,进行配准定位,选出在同一直线方向上的钻孔。运用ArcGIS9,计算所选钻孔之间的距离。根据钻孔的距离及深度,分别确定横比例尺、纵比例尺。根据确定的比例尺,绘制南京长江三桥、大桥、四桥附近,润扬大桥附近、拟建扬中大桥附近、江阴大桥附近、苏通大桥附近等7个长江横断面地质剖面简图,用Mapinfo软件,绘制地质剖面示意图。

采集的 ^{14}C 年代样品,在中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室,利用液体闪烁计数器,进行年代测试。采集的ESR年代样品,在国家地震局地震地质研究所,使用德国BRUKER公司的ESR谱仪进行年代测试,测试物质为石英。测试条件为室温,X波段、中心磁场348 mT、扫宽5 mT、调制幅度0.1 mT、微波功率为

2 mW、转换时间5.12 ms、时间常数40.96 ms。在测试前的石英颗粒提纯与辐照,筛取粒径200~105 μm 部分,在30% H_2O_2 中浸泡24 h,除去有机质;40% HCl 中浸泡24 h,以去除碳酸盐类物质;40% HF 处理约40 min,除去长石矿物和石英颗粒外部 α 辐射贡献的表层部分,用蒸馏水洗至中性;低温烘干后磁选,去除磁性矿物;分别用比重为2.73 g/cm^3 、2.57 g/cm^3 的多钨酸钠重液进行分离,分选出石英颗粒样品;低温烘干,红外释光检测提取样品的纯度。将石英颗粒样分成10个0.2 g样品,在北京大学钴源接受0~10 000 Gy的辐照。

对深槽中沉积物的颗粒级配进行对比分析(表1)。

2 长江江苏段各大桥附近古河槽地质剖面分析

2.1 南京长江三桥附近剖面

钻孔揭示,南京长江三桥附近在-50 m左右是埋藏的基岩阶地,在现在河床的下方存在古深槽(图2),最深处约在-80.5 m切割到基岩,深槽顶部埋藏阶地埋深约-51 m,按到达基岩的最深处计算,古河槽深度(H)约为29.5 m,深槽槽顶宽(B)约515.3 m,宽深比(\sqrt{B}/H)约0.769。古深槽中沉积物自下而上是卵砾石-砾砂-中砂。底部的卵砾石,成分与底部基岩岩性不同,且磨圆度较好,系长江搬运而来。

2.2 南京长江大桥附近剖面

钻孔资料显示,南京长江大桥附近古河谷在-60、-40 m左右有明显的埋藏阶地,在现在河床的左下方有古深槽(图3),最深处在约-94 m到达

表1 各大桥附近末次盛冰期河床沉积物颗粒级配(%)

Table 1 Particles size grading of sedimentary in the Yangtze River incised-valley at the cross-sections of Jiangsu Province

位置及取样深度		>2.0 mm	2.0~0.5 mm	0.50~0.25 mm	0.25~0.10 mm	0.10~0.05 mm	0.050~0.005 mm	<0.005 mm
南京三桥附近	样本数(个)	21	21	21	21	21	21	21
	-65~-75m 平均值	47.67	18.48	7.7	11.59	8.35	4.32	1.89
南京四桥附近	样本数(个)	33	33	33	33	33	33	33
	-65~-90m 平均值	19.41	25.31	18.70	26.61	3.59	4.77	1.61
润扬大桥附近	样本数(个)	10	10	10	10	10	10	10
	-60~-70m 平均值	20.18	17.96	15.17	28.11	16.01	1.49	1.08
江阴大桥附近	样本数(个)	22	22	22	22	22	22	22
	-60~-75m 平均值	5.34	20.23	19.12	27.24	13.08	9.9	5.09
苏通大桥附近	样本数(个)	102	102	102	102	102	102	102
	-60~-80m 平均值	10.75	19.55	9.65	41.74	12.23	4.76	1.32

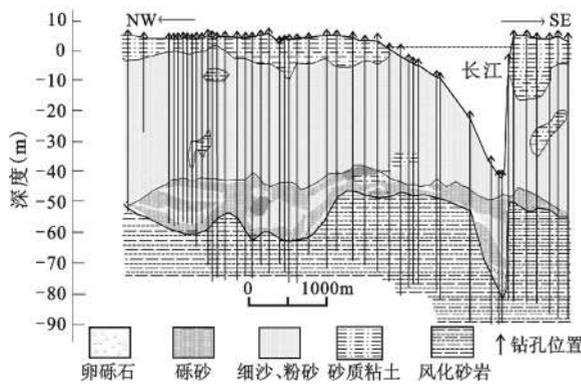


图2 南京长江三桥附近长江古河槽地质剖面
Fig.2 The stratigraphical cross-section of the Yangtze River incised-valley near the Nanjing NO.3 Bridge

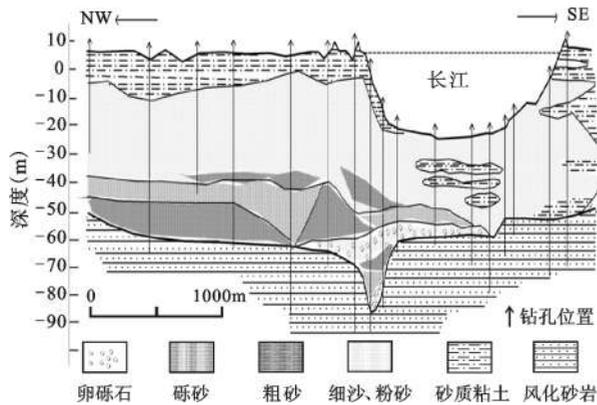


图3 南京长江大桥附近长江古河槽地质剖面
Fig.3 The stratigraphical cross-section of the Yangtze River incised-valley near the Nanjing NO.1 Bridge

基岩。根据杨怀仁等^[1]的研究,约-60 m左右的埋藏阶地形成时间约为 12 000 a B.P.。根据该埋藏阶地形成时间判断,约-63 m以下的深槽应是末次盛冰期时的长江河槽。深槽槽顶宽约 325m,按槽顶到达基岩最深处的深度计算,古河槽深约 31 m,宽深比(\sqrt{B}/H)约为 0.582。深槽中沉积物自下而上为卵、砾石层-中砂层、粗砂层,底部的卵石、砾石,粒径 10~30 mm 者占 40%~50%, 50~60 mm 者占 20%,以石英岩和石灰岩为主,成分与底部基岩不同,且磨圆度较好,系长江搬运而来。

2.3 南京长江四桥(拟建)附近剖面

钻孔揭示,南京长江四桥附近,在现在河床的北侧下方也存在古深槽,在-60 m、-40 m 左右也有埋藏阶地(图4)。图4中 ZK1 孔在约 63 m(-59.33 m)埋深上河床相沉积物样品中有机质的¹⁴C 年代测定为(14 682±110) a B. P.,该采样点位于深槽的埋藏阶地上方。ZK3 孔在-86.77 m 深度上石英的

ESR 年代为(23 000±2 000) a。因此可以判断,深槽是末次盛冰期时的长江河槽。深槽底部切割到强风化砂岩,埋深约-94 m,深槽顶部埋藏阶地埋深约-63 m。古深槽槽顶宽约 1 040 m,按到达基岩最深处计算,古河槽深约 31 m,宽深比约为 1.040。深槽中沉积物自下而上为卵砾石-粗砂-中砂-细沙层,分选性差。

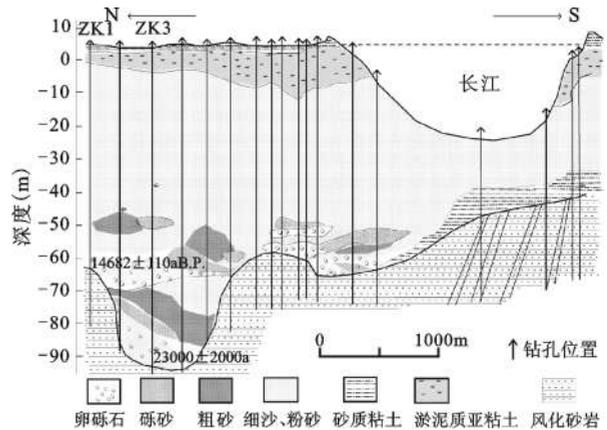


图4 南京长江四桥附近长江古河槽地质剖面
Fig.4 The stratigraphical cross-section of the Yangtze River incised-valley near the Nanjing NO.4 Bridge

2.4 镇江润扬大桥附近剖面

钻孔揭示(图5),该段古河槽最深处在-76.73 m 到达基岩,在约-60 m、-40 m 左右有埋藏阶地。通过与南京段埋藏阶地的对比,可以判断,约-60 m 以下河槽是末次盛冰期的长江古河槽。古河槽顶部宽度约 1 514 m,深度约 17 m,宽深比约为 2.288。河槽中河床相沉积物主要是砾石、粗砂、细砂等,交错分布,分选性差。底部卵石含量较多,直径 30~70 mm 不等。所含卵石石系晚更新世晚期被侵蚀冲刷后的滞留沉积物。约-60 m 以上应是盛冰期之后海面上升引起的海进沉积、最大海侵时的河口砂坝沉积及三角洲平原形成以来的沉积。

2.5 扬中长江大桥附近剖面

图6是根据扬中长江大桥(拟建)的地质勘探钻孔资料,绘制的长江古河床地质剖面图。图中 K9 孔-65.7 m 深处有机碳的¹⁴C 测年为 25 023±98 a B.P.,该采样点为砂质粘土层,其上为粗砂砾石层,与采样层呈明显的不整合接触;K14 孔-63.8 m 处泥中木片的¹⁴C 测年为(24 130±185) a B.P.,该采样点为砂质粘土层,其上也是粗砂砾石层,与采样层也呈明显的不整合接触。从沉积层序和测年结果来看,取样点上部不整合面,即是末次盛冰期时

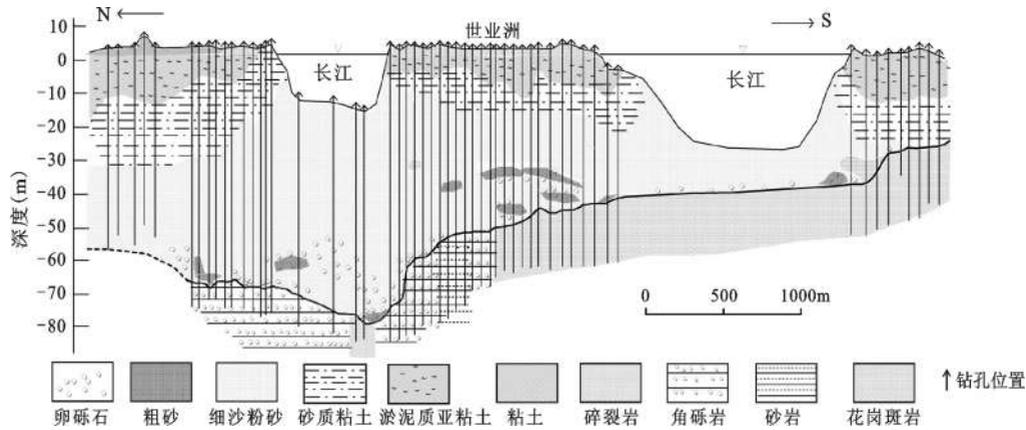


图5 润扬长江大桥附近长江古河槽地质剖面

Fig.5 The stratigraphical cross-section of the Yangtze River incised-valley near the Runyang Bridge

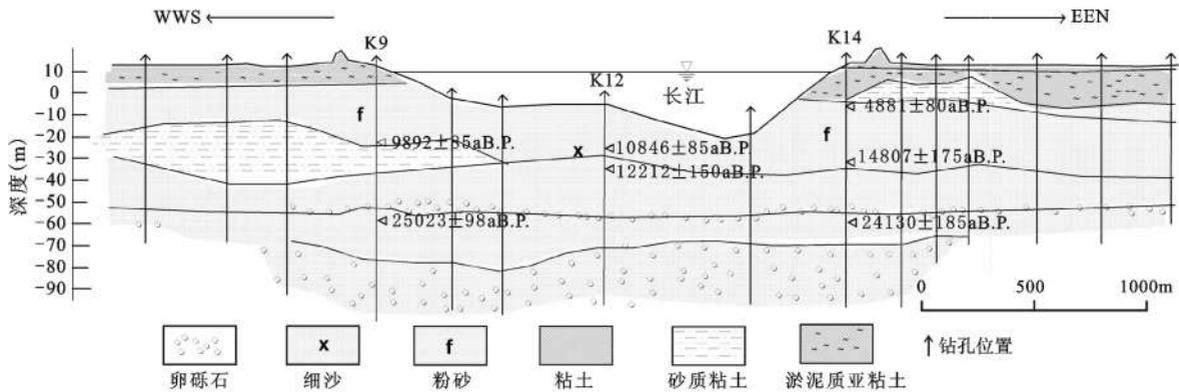


图6 扬中长江大桥附近长江古河槽地质剖面

Fig.6 The stratigraphical cross-section of the Yangtze River incised-valley near the Yangzhong Bridge

的侵蚀面,该侵蚀面以上为末次盛冰期以来的沉积。K12孔在-45.7m深度细沙中有机碳的¹⁴C年代为12 212±150 a B.P.,K14孔在-42.3 m处粘土中有机碳¹⁴C年代为14 807±175 a B.P.,据此判断,约-46 m以下到-62 m左右,是末次盛冰期河床沉积。

2.6 江阴长江大桥附近剖面

图7是根据江阴大桥地质勘探钻孔资料及参考文献中的钻孔资料,绘制的江阴至黄桥附近长江古河谷地质剖面示意图。ZKC19孔在-76.21 m处含砾细砂中碳化木,经国家地震局地震地质研究所¹⁴C测年为(31 760±430) a B.P.,该细砂层之上是含砾石灰色亚粘土,在-66.55 m以上是含砾石中粗砂。-66.55 m处存在明显的侵蚀间断,据此判断在-66.55 m以上应该是末次盛冰期以来的沉积。其他钻孔也以该沉积间断面为对比依据,绘出末次盛冰期以来的沉积界线(图7)。

在长江三角洲的南北两翼,钻孔显示在20 m左右深度内存在暗绿色硬粘土层^[12-14],该硬粘土层

经历了较强的成土作用,系古土壤层。古土壤的发育代表该层确曾暴露于地表,存在较长时间的沉积间断。在三角洲的主体区,埋深20 m左右的范围内缺失硬粘土层,将缺失硬粘土层的钻孔连起来,则构成完整的长江古河谷。图7中,南侧靠近西山,切割到基岩,北部K5孔在-14 m左右是硬粘土层,在该孔附近应该是古长江河间地,往南一直到现在长江南岸是长江古河谷体系。

图7中显示,古长江的侵蚀不整合面埋深不同,现在河床下方及K4孔,埋深约-78 m,应是末次盛冰期时长江河槽。现在河床北侧及K2、K3孔埋深约-55~-60 m是末次盛冰期时的埋藏阶地。古长江在该段应是分叉河型。

2.7 苏通长江大桥附近剖面

图8是根据苏通大桥地质勘探钻孔资料及参考文献中的钻孔资料,绘制的苏通大桥至西亭附近长江古河谷地质剖面示意图。Z18孔在埋深54.6 m处黑泥有机质的¹⁴C年代为(14 640±640) a B.P.,在

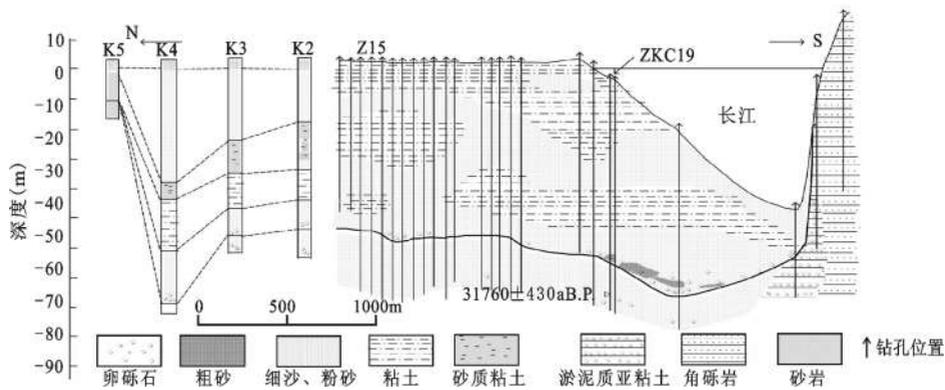


图7 江阴长江大桥附近长江古河槽地质剖面

Fig.7 The stratigraphical cross-section of the Yangtze River incised-valley near the Jiangyin Bridge

约-70~-84 m处为灰色粗砂,分选性较差,含砾石及少量卵石,砾石直径2~20 mm,卵石直径20~40 mm。-84 m以下为深灰色细沙,分选性较好。在-84 m处呈明显的侵蚀不整合接触。该侵蚀面以上应是末次盛冰期以来的沉积。根据钻孔剖面特征及各层沉积物的颗粒级配、微体古生物化石的含量等,把末次盛冰期以来的沉积物自上而下划分为河口砂坝亚相与汉道河床亚相粉砂、细砂层、浅海相沉积层、河漫滩相亚粘土与粉砂互层、河床相砂砾层。末次盛冰期,河流携带的较粗颗粒泥沙和砾石在古河床上滞留沉积。冰后期海面上升,海水沿古河谷侵入,由于下游基面抬升,产生溯源堆积。滞留沉积与溯源堆积,形成了厚层的河床相砂砾层。末次盛冰期河床相砂砾层的沉积厚度约20~25 m。根据长江三角洲南北两侧硬粘土层存在的情况,该处古河谷体系的宽度约48 km。Z19孔揭示,在约-60 m处是末次盛冰期时的埋藏阶地。

降,导致长江下游河床侵蚀下切,形成末次盛冰期时的长江古河槽。钻孔揭示,长江古河槽底部深度在南京长江三桥附近约-80.5 m、大桥附近约-94 m、四桥附近也在-90 m以下、镇扬河段约-77 m、扬中段约-62 m、江阴段约-78 m、南通段约-80~-84 m。

古河槽在南京长江大桥至四桥附近形成局部深切,主要因为:第一,该段长江沿断裂带发育,抗冲刷能力偏弱,容易侵蚀;第二,古长江在长江大桥附近束狭转弯,过水断面小,流速加快,水流侵蚀力增强;第三,古长江从三桥到大桥附近,水面纵比降达7.4/10 000 m,动力作用强劲,引起强烈下切。另外,古秦淮河在长江大桥附近的西南侧注入长江,当时古秦淮河谷与长江古深槽有较大的落差,尽管水量不大,但形成了很大的冲刷力。

所绘典型剖面显示,古河槽在扬中附近深度最浅(约-62 m)。主要是因为古长江在镇江以上切割到基岩,镇江以下流经晚更新世松散沉积层上,古长江出镇江后,类似于山区河流流出山口后,河道展宽,水流搬运能力大为减弱,携带的泥沙物质大量堆积。扬中以下,古长江显示出一定的

3 讨论

1) 末次盛冰期时,由于侵蚀基准面大幅度下

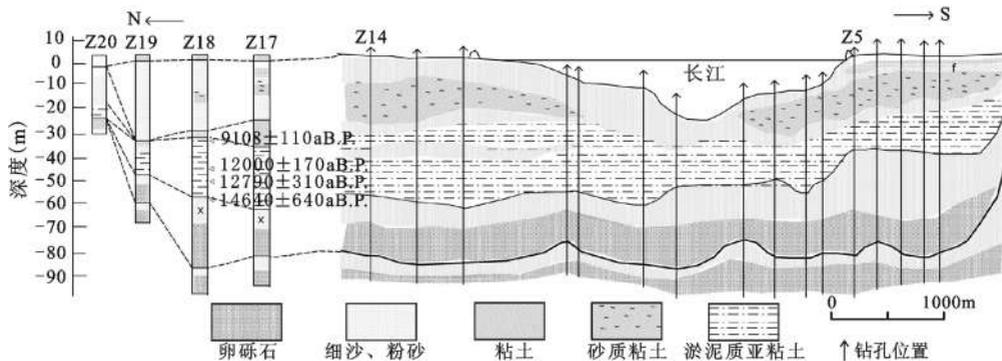


图8 苏通长江大桥附近长江古河槽地质剖面

Fig.8 The stratigraphical cross-section of the Yangtze River incised-valley near the Sutong Bridge

纵比降。由于流经平原地区,河道分叉,河流体系宽阔。

末次盛冰期,由于气候干冷,长江水量虽较现在小的多,但纵比降较大,流速较快,因此河槽底部沉积物颗粒较粗,主要是卵砾石、粗砂等。古深槽中自下而上充填了从粗到细的沉积旋回。

2) 盛冰期后,海面在波动中上升,古河槽沉积充填,河流侧蚀,形成埋藏阶地。气候变化—海面升降对河流河口地貌发育的影响,不仅引起侵蚀和堆积的交替,河流纵剖面塑造的调整和气候阶地的形成,而且导致河流河口段河道平面位置的变化。就镇江以东长江干流的平面位置而论,末次盛冰期以来,海面上升时期,它的位置偏北,海面下降时,它的位置偏南。末次盛冰期最低海面出现在18 ka B.P.,此后在16.5~15.5 ka B.P.时海面上升,15 ka B.P.时海面再次下降,18~15 ka B.P.间海面平均上升速率为3.3 mm/a。晚冰期(15~10 ka B.P.)时,海面平均上升速率为18.2 mm/a,其间经历了几次海面的波动^[15]。海面在-50~-60 m时(相当于12 000 a B.P.)停留时间较久,是长江下游埋藏河谷古地貌形成的时代^[1]。正是由于末次盛冰期以来海面的数次波动,导致长江干流南北位置的几次摆动,形成宽大的古河谷。以缺失硬粘土层的宽度来计算,古河谷的宽度从数千米到数十千米。

4 结 论

末次盛冰期长江古河槽镇江以上切割到基岩,镇江以下嵌在老河床相沉积层上;南京下关—栖霞山段约-63 m以下的深槽是末次盛冰期时的长江河槽,形成局部深切;古河槽南京段相对狭窄陡峭,河槽宽深比向下游逐渐变大,镇江以下形成分叉河道体系。古河槽中自下而上充填了从粗到细的沉积旋回,河床相沉积物向下游逐渐变细。

参考文献:

- [1] 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,1995.
- [2] 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.
- [3] 顾锡和.略论中国东部更新世晚期以来的海面升降对南京地区长江河谷地貌发育与沉积作用的影响[J].南京大学学报(地理学),1985,70~78.
- [4] Fang Jin-qi.Simulation modelling of the impacts of sea-level rise since the lateglacial period on the Changjiang (Yangtze) River,China[J].Science in China,Ser.B.1991,(10):1258-1269.
- [5] 曹光杰,王 建,张学勤,等.末次盛冰期长江南京段河槽特征及古流量[J].地理学报,2009,64(3):331~338.
- [6] Cao Guangjie,Wang Jian,Wang Lingjun ,et al. Characteristics and runoff volume of the Yangtze River's Paleovalley at Nanjing reach in the Last Glacial Maximum[J].Journal of Geographical Sciences, 2010,20(3):431-440.
- [7] 沈国俊.长江古河道的发现.第四纪冰川与第四纪地质论文集(第五集)[C].北京:地质出版社,1988:203~206.
- [8] Zhongyuan Chen,Zhenglou Chen.Quaternary stratigraphy and trace-Element indices of the Yangtze Delta,Eastern China, with special reference to marine transgressions[J]. Quaternary research,1997,47:181-191.
- [9] Li C X,Wang P,Sun H P,et al.Late Quaternary incised-valley fill of the Yangtze Delta (China): Its stratigraphic framework and evolution[J]. Sedimentary Geology,2002,152:133-158.
- [10] 杨达源.晚更新世冰期最盛时长江中下游地区的古环境[J].地理学报,1986,41(4):302~310.
- [11] 郭蓄民.长江河口地区晚更新世晚期以来沉积环境的变迁[J].地质科学,1983,(4):402~408.
- [12] 李从先,陈庆强,范代读,等.末次盛冰期以来长江三角洲地区的沉积相和古地理[J].古地理学报,1999,1(4):12~25.
- [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.
- [14] 李从先,范代读,张家强.长江三角洲地区晚第四纪地层及潜在环境问题[J].海洋地质与第四纪地质,2000,20(3):1~7.
- [15] 杨怀仁,谢志仁.中国东部20000年来的气候波动与海面升降运动[J].海洋与湖沼,1984,15(1):1~13.

Characteristics of the Yangtze River Paleo-valley in Jiangsu Province in the Last Glacial Maximum

CAO Guang-jie^{1,2}, CUAN Jing-bo¹, LI Yan-yan²

(1.Experiment Center, Linyi University, Linyi, Shandong 276005, China; 2.School of Geography Science,
Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210097, China)

Abstract: The section of Yangtze River in Jiangsu Province was selected as the research reach. Seven cross-sections of paleo-valley depositional sequences were established with 285 bore datum and 8 documents from the references, which were the NO.3, NO.1, NO.4 Nanjing Yangtze River Bridges, the Runyang Yangtze River Bridge, the Yangzhong Yangtze River Bridge, the Jiangyin Yangtze River Bridge and the Sutong Yangtze River Bridge. 8 age results of ¹⁴C and 1 age results of ESR were obtained through analysis of seven drilling cores samples near the Nanjing NO.4 Bridge and the Yangzhong Bridge. The results indicate that, in the Last Glacial Maximum (LGM), the incised-valley was cut down into bedrocks at the upper reach of Zhenjiang Province, and the paleo-channel of Yangtze River flows through old riverbed sedimentary facies at the down reach of Zhenjiang Province, and the paleo-valley formed partly deep cut in the Xiaguan-Qixia Mountain. The deep incised-valley at the depth of -63 m to -94 m was the Yangtze River valley during the LGM, the deep incised-valley channel was narrow and the river flowed swiftly at Nanjing reach. The width to depth ratio (\sqrt{B}/H) at Nanjing reach was small than that at Zhenjiang reach, which gradually increased along downstream. The bifurcation paleo-valley system of the Yangtze River were formed below Yangzhong. It is also found that the sediments of the paleo-valley in Jiangsu reach consist of an obvious rhythm from graver and coarse sand to fine sand from bottom to top and the sedimentation was gradually fined along downstream.

Key words: the Yangtze River in Jiangsu Province; the Last Glacial Maximum; the paleo-valley of the Yangtze River; stratigraphical section