

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2023.03.006

引用格式:王毅,郭炳跃,郭东峰,等. 长江安庆段河谷区第四系沉积特征与古河道演化[J]. 华东地质, 2023, 44(3): 300-312.  
(WANG Y, GUO B Y, GUO D F, et al. Quaternary sedimentary characteristics and paleochannel evolution in the Anqing valley of the Yangtze River[J]. East China Geology, 2023, 44(3): 300-312.)

# 长江安庆段河谷区第四系沉积特征与古河道演化

王毅<sup>1</sup>, 郭炳跃<sup>1</sup>, 郭东峰<sup>1</sup>, 张斌<sup>1</sup>, 苏晶文<sup>2</sup>, 戴俊成<sup>1</sup>

(1. 江苏省地质勘查技术院, 江苏 南京 210049; 2. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 长江安庆段 NE 向河谷中发育河流相与山麓相两套沉积体系。文章基于实测第四系钻孔资料, 通过构建 NW 向、NNE 向钻孔对比剖面, 揭示了该区长江冲积平原、岗地等地质地貌单元地层组合特征; 结合区域新构造运动特征、气候变化等资料分析, 探讨了长江河谷古河道演化历程。研究表明: 长江安庆段河谷区发育了至少 2 个由含砾粗砂到含粉砂黏土的河流沉积旋回, 两侧岗地同期沉积了下蜀组及戚家咀组山麓相地层; 第四系沉积物由河流冲积、风成堆积等多种成因类型组成, 经历了早中更新世冲洪积, 中晚更新世风成堆积、河流下切侵蚀与充填等地质过程; 新构造运动、冰期-间冰期气候旋回波动、海平面升降等因素共同影响了长江安庆段古河道演化历程。

**关键词:** 沉积特征; 沉积相; 长江河谷; 第四系; 安庆地区

**中图分类号:** P597.3; P588.122

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2023)03-300-13

长江河谷沉积特征与演化是我国地学界研究热点<sup>[1-5]</sup>, 不仅对揭示我国长江流域第四纪以来的环境变迁具有十分重要的科学意义, 同时也控制着沿岸城镇水文地质与工程地质条件, 对沿江重大工程建设与生态环境保护具有十分重要的现实意义。长江演化史的研究最早可追溯至 1907 年<sup>[1]</sup>, 其后的百余年间, 人们对长江贯通时限<sup>[2-6]</sup>、砾石层成因<sup>[2,7-9]</sup>、河谷沉积特征与演化<sup>[10-19]</sup>等问题开展了大量研究工作。其中, 关于长江河谷沉积特征与演化, 学者对长江三峡<sup>[10,11,13]</sup>、江汉平原<sup>[14]</sup>、长江三角洲<sup>[12,15-19]</sup>等地区讨论较多, 例如: 苗巧银等<sup>[17]</sup>、杨献忠等<sup>[18]</sup>、陈希祥<sup>[19]</sup>讨论了镇江以下河段的长江河谷沉积演化特征; 邵长生等<sup>[14]</sup>系统论述了江汉—洞庭盆地的第四纪地层特征; 杨坤美等<sup>[10]</sup>认为构造抬升和气候变化是控制三峡地区长江下切与阶地形成的主要因素; 林春明等<sup>[15]</sup>认为南通地区长江河谷下切与充填主要受控于海平面升降。

长江安庆段是长江中游向下游转变的重要区段, 第四系厚度薄, 地层接触关系复杂, 当前的研究主要集中在分层划分对比<sup>[20]</sup>、地层组合特征<sup>[21]</sup>等

方面。较之上游三峡、江汉平原, 下游长江三角洲等地区, 人们对本区长江河谷沉积序列特征与演化历程的研究还相对较少。本文依托区内开展的 1:5 万环境地质调查项目, 基于实测钻孔资料, 系统总结长江安庆段河谷沉积特征, 并结合区域资料对河谷演化过程及控制因素进行讨论。研究成果对重现第四纪以来长江安庆段岩相古地理格局、探讨长江形成演化过程、服务沿江工程地质和水文地质条件研究具有十分重要的科学意义和应用价值。

## 1 研究区概况

长江安庆段位于安徽省西南部, 包括安庆市、东至县等行政区, 发育有河谷平原、岗地、丘陵等地貌类型<sup>[22]</sup>。长江河谷宽 20~30 km, 两侧为基岩山地, 中间为长江河谷冲积平原与岗地。

研究区构造上属下扬子前陆褶冲带, 长江断裂带(头坡断裂)呈 NE 向横穿本区; 地层区划上属于扬子地层区, 前第四纪地层发育较为齐全, 自下而上发育了古生界志留系—中生界中三叠统海相—

\* 收稿日期: 2023-02-16 修订日期: 2023-04-29 责任编辑: 袁静

基金项目: 中国地质调查局“皖江经济带安庆—马鞍山沿江段 1:5 万环境地质调查(编号: DD20160247)”项目资助。

第一作者简介: 王毅, 1990 年生, 男, 工程师, 硕士, 主要从事水工环地质调查和第四纪地质研究工作。Email: 670363358@qq.com。

海陆过渡相碎屑岩沉积、碳酸盐岩沉积,中生界上三叠统一新生界新近系陆相碎屑岩沉积;其中新近系仅见上新世安庆组,岩性以灰黄色、紫红色砾石层

和含砾中粗砂为主,胶结程度差,属于河流相成因。岩浆岩主要分布于安庆市北侧大龙山地区,以燕山期中酸性花岗闪长岩和花岗岩为主<sup>[23-24]</sup>(图1)。

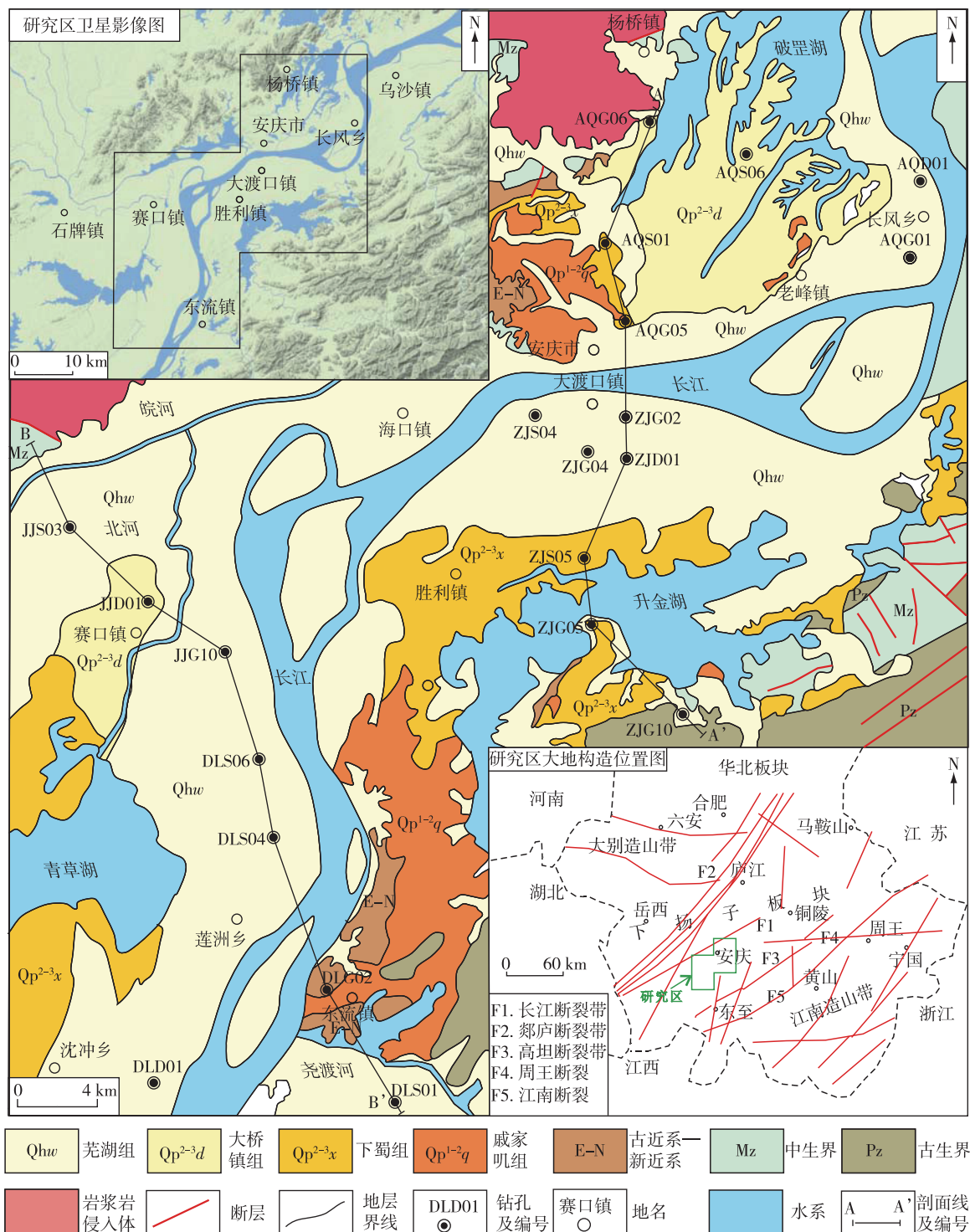


图1 研究区地质简图<sup>[20,25]</sup>

Fig. 1 Geological sketch of the study area<sup>[20,25]</sup>

研究区第四纪地层结构较为复杂,沉积物厚 0~70 m,平原区与岗地区不同地貌单元分别发育了河流相和山麓相两套沉积体系<sup>[20,25-26]</sup>。平原区以河流相水环境沉积为主,自下而上分别为中下更新

统青弋江组、中上更新统大桥镇组和全新统芜湖组。岗地区以残坡积、风成沉积等陆环境沉积为主,自下而上分别为中下更新统戚家吼组、中上更新统下蜀组和全新统近现代堆积物(表 1)。

表 1 研究区晚新生代地层简表<sup>[20,25-26]</sup>

Table 1 Brief late Cenozoic stratigraphic chart in the study area<sup>[20,25-26]</sup>

纪	世	河谷平原(水环境)		岗地(陆环境)	
		岩石地层	岩性	岩石地层	岩性
第四纪	全新世	芜湖组(Q <sub>hw</sub> )	含砾中粗砂、粉细砂、黏土等	近现代堆积物	含砾黏土等
	更新世	大桥镇组(Q <sub>p<sup>2-3</sup>d)</sub>	灰色黏土、粉细砂等	下蜀组(Q <sub>p<sup>2-3</sup>x)</sub>	棕黄色黏土质粉砂,含铁锰结核
		青弋江组(Q <sub>p<sup>1-2</sup>qy)</sub>	砂砾石、粉细砂、黏土等	戚家吼组(Q <sub>p<sup>1-2</sup>q)</sub>	棕红色含粉砂黏土,含砾黏土、黏土质砾石层
新近纪	上新世	安庆组((N <sub>2a</sub> ):浅灰色、灰黄色砾石层,棕红色粗砂,浅黄褐色、紫红色砂砾层			

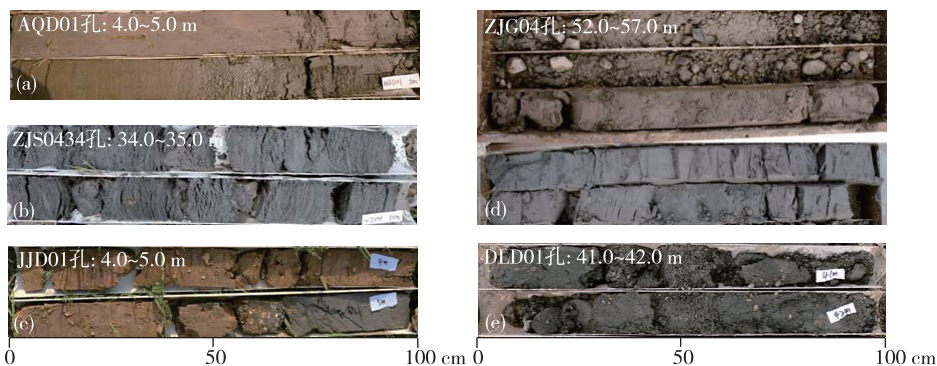
## 2 长江安庆段河谷沉积特征

### 2.1 地层结构组合与沉积序列

#### 2.1.1 河谷冲积平原

长江安庆段河谷冲积平原第四系厚 40~70 m,呈“芜湖组+大桥镇组+卵砾石层+基岩”地层组合特征。芜湖组厚 20~40 m,下段为卵砾石层、含

砾中粗砂,中段为中砂、细砂、粉砂与含粉砂黏土互层,上段为灰黄色-青灰色含粉砂黏土、粉砂质黏土夹粉砂薄层,自下而上形成完整的正粒序旋回(图 2(a),图 2(b))。下伏大桥镇组厚 10~20 m,自下而上可分为两段,下段为含砾中粗砂到含粉砂黏土的正粒序旋回(图 2(e)),上段一般缺失。大桥镇组之下常发育一层厚 5~10 m 的卵砾石层,推测形成时代为新近纪一早更新世<sup>[21]</sup>。



(a).棕黄色含粉砂黏土夹粉砂薄层,芜湖组上段;(b).粉砂与粉砂质黏土互层,芜湖组中段;(c).浅灰黄色含粉砂黏土,大桥镇组上段;(d).芜湖组底部卵砾石层与大桥镇组含粉砂黏土接触界线特征;(e).含砾中粗砂,大桥镇组下段

图 2 研究区典型岩心照片

Fig. 2 Typical cores in the study area

区内不同地理位置的河流对前期沉积物侵蚀程度不一,形成了不同时期沉积物切割、叠置的组合特征。安庆市及大渡口镇等现代河道两侧,芜湖组发育齐全,厚度较大,最大厚度超过 45 m;大桥镇

组上段受侵蚀而缺失,仅残留底部含砾中粗砂、中细砂,厚度 10~12 m(图 3, ZJG04 孔;图 4, ZJD01 孔、ZJG02 孔)。沈冲乡—赛口镇等河漫滩区域,芜湖组下段卵砾石层缺失,厚度较薄(20~30 m)。全

新世河流对早期地层侵蚀相对较弱,大桥镇组下段为含砾中粗砂、中砂及粉细砂(图 5,JJG10 孔;图 6, DLD01 孔)。

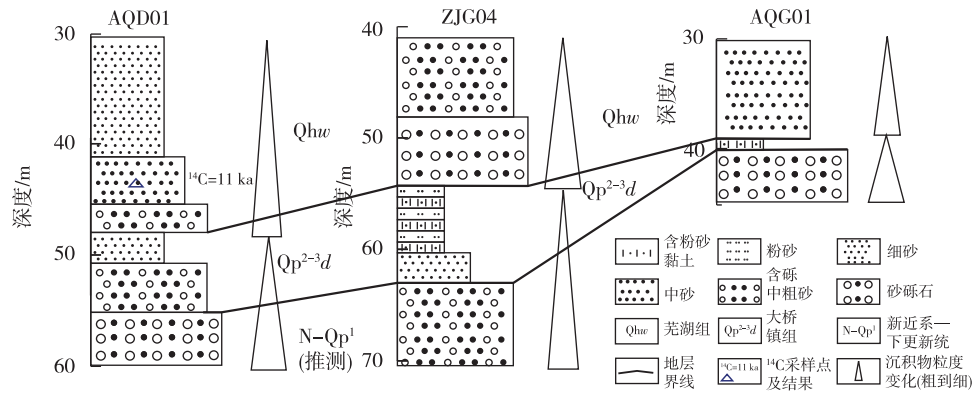


图 3 芜湖组底界岩性对比图

Fig. 3 Lithological comparison of the bottom boundary of Wuhu Formation

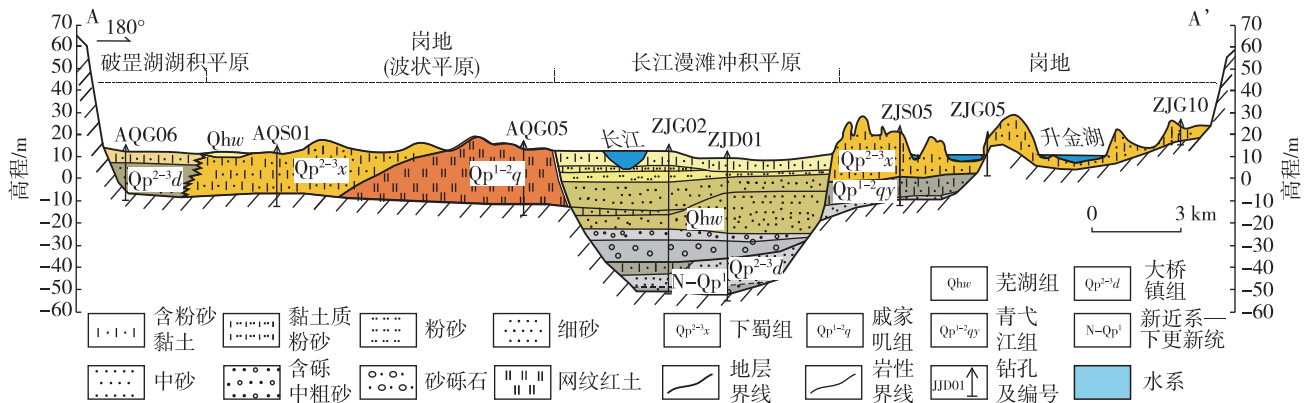


图 4 长江安庆段 A-A'第四系地质剖面图

Fig. 4 A-A' Quaternary geological profile in the Anqing section of the Yangtze River

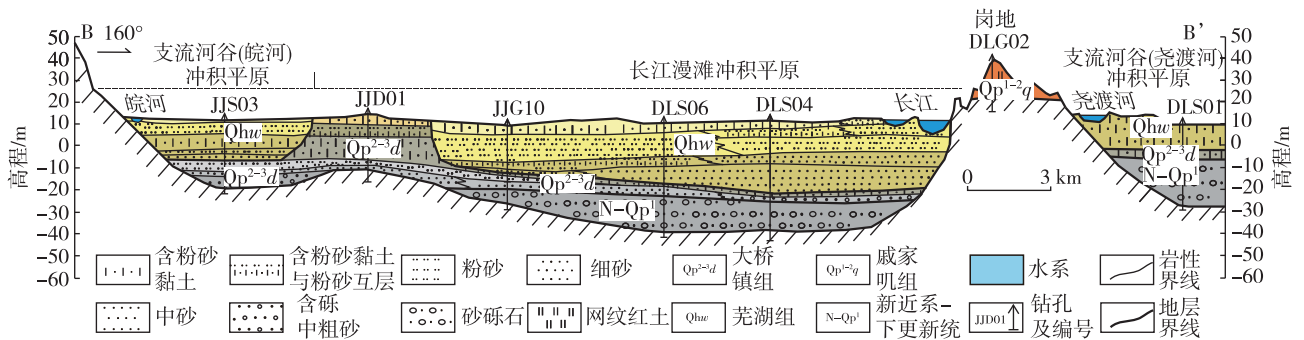


图 5 长江安庆段 B-B'第四系地质剖面图

Fig. 5 B-B' Quaternary geological profile in the Anqing section of the Yangtze River

关于河谷平原全新世河流沉积物底界,本文对区内长江漫滩 AQD01 孔、DLD01 孔采集 2 件<sup>14</sup>C

样品开展测年工作。测试采用 AMS 法,由美国 Beta 公司迈阿密实验室完成。测年结果显示,





河谷沉积区,第四系厚20~40 m,呈“大桥镇组+ (卵砾石层)+基岩”地层组合特征。大桥镇组上段地层直接出露地表,岩性为浅灰黄色-棕黄色含粉砂黏土、粉砂质黏土,结构紧密,见铁锰结核或铁锰质浸染,厚5~10 m(图2(c));下段岩性自下而上呈现“细砂-粉砂-含粉砂黏土”组合特征(图6, JJD01孔)。部分区域河谷底部见新近纪一早更新世卵砾石层。区域上大桥镇组上段硬黏土层与长江下游地区上更新统顶部硬土层表现出较高的相似性<sup>[27-29]</sup>,分析为晚更新世末次冰盛期环境下沉积的产物。

### 2.1.3 岗地区

岗地区第四系以更新世山麓相沉积物为主,地层结构呈“下蜀组/戚家咀组+基岩”、“下蜀组+戚家咀组+基岩”、“下蜀组+青弋江组+基岩”等组合形态。下蜀组以棕黄色含粉砂黏土为主,岩性结构紧密,厚5~22 m,见铁锰结核。戚家咀组上部为棕红色含粉砂黏土,常发育灰白色网纹条带,下部为棕红色含砾黏土、黏土质砾石层,结构密实,厚3~24 m。青弋江组见于升金湖北侧、沈冲乡一带波状岗地,上部为下蜀组覆盖,下部为青灰色粉细砂及卵砾石层,卵砾石层中含黏土及砂,显山麓洪积成因,地层厚度10~20 m。

### 2.1.4 山地、丘陵间沟谷

山地、丘陵间沟谷第四系以残坡积成因为主,为近现代堆积物,厚度一般<10 m,岩性复杂,有含砾黏土、碎石、黏土等。

## 2.2 不同地质单元地层对比

基于钻孔揭露成果,对长江漫滩、河漫湖泊与两侧岗地地层进行对比分析,绘制了长江安庆段河谷第四系地质剖面图(图4,图5)。

长江漫滩地形平坦开阔,基底受新构造运动和河流下切侵蚀作用的影响明显,沿长江漫滩形成深50~65 m的凹谷。基底以上沉积了新近纪一早更新世卵砾石层、中晚更新世大桥镇组和全新世芜湖组,可见2个由含砾粗砂到含粉砂黏土的沉积旋回,形成“芜湖组+大桥镇组+卵砾石层+基岩”地层组合特征(图4, ZJD01孔、ZJG02孔)。长江漫滩向两侧延伸,基岩埋深变浅,全新世堆积物厚度逐渐变薄,中晚更新世大桥镇组中上段地层受侵蚀程度逐渐变小而保存下来。至破罡湖、赛口镇等距现今河道较远的区域,大桥镇组上段硬黏土层直接出露

地表(图5, JJD01孔),形成“大桥镇组+基岩”地层组合特征。从地貌特征分析,长江安庆段河谷冲积平原与河漫湖泊地形地势平坦,中晚更新世以来的河流堆积物共同构成长江河谷一级阶地。

河谷两侧岗地在河流沉积作用的同时接受山麓相、风成相沉积。基岩上覆早中更新世戚家咀组山麓相残坡积/洪积含砾黏土、网纹红土(图5, DLG02),中晚更新世下蜀组风成黄土(图4, ZJS05)。河谷两侧岗地地区由于古地形较高,受河流冲蚀作用影响较弱,山麓相、风成堆积相沉积物得以保存下来,形成了现今波状起伏的岗地地貌,形成长江河谷二级阶地。

## 3 长江安庆段河谷沉积环境演化

### 3.1 沉积相类型

研究区第四系主要发育河流相、风成相和山麓洪积相/残坡积相等几种类型(图6)。

#### 3.1.1 河流相

(1)河床亚相。包括河床滞留沉积、边滩沉积两种沉积微相,见于大桥镇组及芜湖组中下部层段。河床滞留沉积岩性以卵砾石层及含砾中粗砂为主,砾石层砾石含量50%~60%,砾石直径为2~3 cm,磨圆较好。边滩沉积岩性以中砂、细砂为主,部分为粉砂,为河床侧向迁移沉积物侧向加积的结果。

(2)堤岸亚相。主要为天然堤微相,分布于芜湖组及大桥镇组中部层段,岩性以粉砂及粉砂质黏土为主,垂向上常表现为粉砂及含粉砂黏土的互层状产出,见水平纹层及水平波状层理。

(3)河漫亚相。包括河漫滩、河漫湖泊两种沉积微相,广泛发育于芜湖组及大桥镇组上部层位。河漫滩微相以棕黄色、青灰色含粉砂黏土及粉砂为主,含粉砂黏土中常见薄层粉砂夹层,粉砂层水平层理发育。河漫湖泊微相以青灰色含粉砂黏土为主,岩性较为均一,一般不显层理,有时可见钙质结核及贝壳等。

#### 3.1.2 风成相

主要发育于下蜀组沉积期间,为中晚更新世寒冷干燥气候的风成沉积产物<sup>[30-31]</sup>,其粒度组分以粉砂为主,黏土矿物以伊利石为主。沉积期间研究区经历了几次较为明显的气候冷暖波动,形成了黄土层与古土壤层垂向交替的沉积序列<sup>[26]</sup>,古土壤层偏

棕色且铁锰结核大部分风化为铁锰质浸染,黄土层以浅黄色为主,铁锰结核保存较为完整。关于其沉积环境和成因前人多有讨论<sup>[32]</sup>,这里不再赘述。

### 3.1.3 山麓-洪积相/残坡积相

戚家吼组下段棕红色黏土质砾石层、含砾黏土层,砾石含量 30%~60%,砾石成分以硅质岩为主,分选性、磨圆度良好,砾径 3~8 cm,偶见擦痕。砾石间充填黏土和砂,分析可能为早更新世山麓相残坡积、冲洪积作用产物。戚家吼组上段为网纹红土,其形成包括沉积物或基岩的风化成土过程和网纹化过程,为强烈湿热、氧化环境下产物,发育盛期为中更新世<sup>[33-34]</sup>。

## 3.2 沉积环境演化

早中更新世时期长江河谷两侧高地残坡积物、冲洪积物近地堆积,形成戚家吼组下部黏土质砾石层。中更新世强烈湿热、氧化环境下,戚家吼组上部黏土层经红土化和网纹化作用形成网纹红土。

在河谷平原区松散沉积物底部残留了厚 5~10 m 卵砾石层。关于砾石层形成时代,于振江等<sup>[20]</sup>将芜湖市长江漫滩支流河谷底部卵砾石层定义为青弋江组,并将其年代限定为早更新世—中更新世。苏晶文等<sup>[21]</sup>将皖江冲积平原底部卵砾石层形成时代限定为新近纪—早更新世。由于缺乏可靠的测年证据,本文沿用了后一种观点。姜月华等<sup>[2]</sup>认为早更新世乃至上新世在长江沿江各地分布的砾石层反映的是近源冲、洪积沉积环境,中更新世开始长江续接贯通。本区长江河谷底部砾石层砾石含量超过 50%,磨圆较好,砾径 2~3 cm,砂质充填,显示河床冲积成因,推测应为上新世—早更新世古长江冲洪积作用的产物。砾石层分布范围较广,现今长江漫滩区域,升金湖北侧、沈冲乡西侧下蜀组覆盖区等区域均有分布,指示古长江河道在该时期尚未稳定,并长时间南北游荡(图 7 下)。

中更新世晚期到晚更新世,全球气温大幅下降,西部季风作用加强,大量的风成物质在长江中下游地区沉积形成下蜀组次生黄土。与此同时,在长江河谷平原区沉积了河流相地层大桥镇组。大桥镇组底部的中粗砂层叠置于早期卵砾石层之上,指示沉积初期长江河谷曾发生大范围下切侵蚀,河谷范围内早更新世—中更新世早中期沉积物被侵蚀殆尽。中更新世中期后长江河谷以充填堆积为主,至晚更新世晚期风成黄土在平原区沉积后经流

水作用改造而形成大桥镇组上部硬黏土层。

破罡湖一带出露的大桥镇组指示晚更新世长江漫滩或其分支河道在此处的存在,同时也表明此时长江河道充填沉积的顶界高度已达到现今地表高程。现今河漫滩区域分布的厚层芜湖组全新世沉积物,指示晚更新世晚期长江河谷经历了又一次的大范围下切侵蚀,致使现今长江漫滩区域的大桥镇组中上段地层剥蚀殆尽。在破罡湖、赛口镇等区域,则未受到长江下切侵蚀影响,大桥镇组上段硬黏土层直接出露地表(图 7 中)。

进入全新世,冰期结束,气候转暖,下蜀组风成沉积结束,沉积作用主要发生在长江河谷平原。芜湖组自下而上沉积了卵砾石层、含砾中粗砂、中细砂、粉细砂及含粉砂黏土,形成较为完整的河流相沉积旋回。近百年来,随着围垦筑坝等人类活动影响,长江季节性洪泛影响减弱,部分河漫湖泊被围限变为农田,逐渐形成现今的地貌景观(图 7 上)。

## 4 古河道演化控制因素讨论

地层间切割叠置是安庆地区第四系的典型特点,长江河道的下切侵蚀是形成这一现象的主要营力。基于地层沉积序列与沉积环境分析,第四纪以来研究区长江河道至少发生了两次明显的下切侵蚀-充填堆积的过程。第一次下切侵蚀发生在中更新世早期—中期,表现为早期古长江卵砾石层上部细粒沉积物被侵蚀殆尽,之后在中更新世晚期到晚更新世发生堆积,形成大桥镇组。第二次下切侵蚀发生在晚更新世晚期,导致现代长江河道及漫滩区域大桥镇组中上段地层被侵蚀殆尽,之后在全新世发生堆积形成芜湖组。引起河流下切侵蚀-堆积的因素,一般认为主要包括新构造运动、气候变化和基准面变化等<sup>[10,35]</sup>,以下作简要分析。

### 4.1 新构造运动

构造运动引起的地面抬升是河流下切作用的重要控制因素,已在大量国内外河流阶地研究中得到印证<sup>[35-36]</sup>。例如,杨坤美等<sup>[10]</sup>研究长江万州—巫山段阶地成因时指出,长江万州段 T1、T2、T3 阶地的形成响应了共和运动的构造抬升过程,T5 阶地的发育则主要受控于昆黄运动的构造抬升过程;此外,阶地的发育同时还受到了气候变化的影响。宋方敏等<sup>[37]</sup>认为长江谷地安庆—马鞍山段新构造时期以来地壳运动总体以弱隆升运动为主,古近纪—

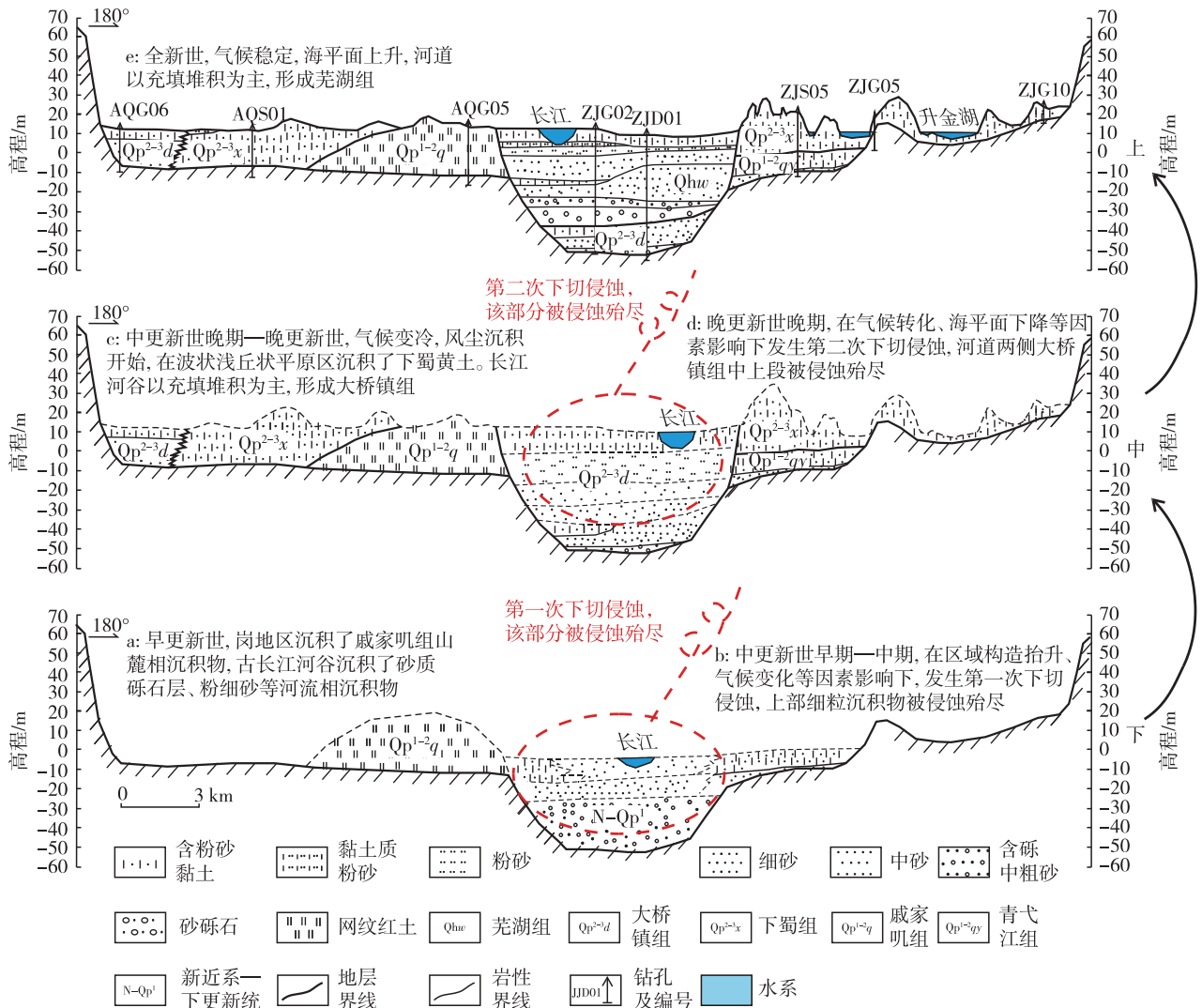


图 7 长江安庆段河谷第四纪演化模式图

Fig. 7 Quaternary evolution model in the Anqing section of the Yangtze River valley

早中更新世受 NE-NNE 向和 NW 向断裂活动的影响, 安庆地区曾有垂直差异运动。陈文彬等<sup>[38]</sup>认为皖南头坡断裂在中晚更新世以来没有活动, 断裂展布区第四纪以来(甚至新近纪以来)的构造活动十分微弱。胡春生等<sup>[39]</sup>研究了安徽南部青弋江河流发育特征, 认为早更新世晚期到中更新世早期, 昆黄运动可能在长江中下游地区产生了区域构造响应, 导致黄山北麓断层被激活而发生了较大幅度的断块抬升运动。陈忠良等<sup>[40]</sup>基于宣城水阳江地区钻孔资料分析, 认为晚更新世以来区域未发生明显的构造抬升。此外, 严庠生等<sup>[41-42]</sup>对安徽沿江地区新构造运动特征的研究结果也基本符合上述认识。

综合前人对区域新构造运动特征的认识成果,

可知研究区第四纪以来以弱隆升运动为主, 其中早更新世晚期到中更新世早期的昆黄运动可能产生了一定的区域构造响应, 研究区出现了相对快速的隆升活动; 中晚更新世以后区域断裂活动停止, 新构造运动活动强度减弱。研究区河谷沉积序列也反映了上述构造运动特征, 表现为大桥镇组底部河床相含砾粗砂覆盖于古长江早期卵砾石层之上, 古长江上部细粒沉积物被侵蚀殆尽, 分析可能为中更新世早期地面抬升引起河流下切侵蚀的结果。

#### 4.2 气候变化

第四纪冰期—间冰期旋回对河流下切侵蚀与堆积过程影响深刻, 当前人们对于河流何时下切还没有形成统一的认识。黄河、长江等河流研究<sup>[10, 43]</sup>



结果显示,河流的下切往往发生在气候由冰期向间冰期的转换时期,该时期气候不稳定性增强,雨量增加、植被恢复,入河沉积物减少,河流以下切为主<sup>[35]</sup>。杨坤美等<sup>[10]</sup>认为,在冰期由于植被退化、坡面剥蚀增强,冻融作用增强、洪水增多,从而导致大量的沉积物被携带至河流,成为河流阶地堆积的主要时期。当全球气候完全回到温暖时期,河流系统的动力条件相对减弱,此时只能形成较薄的沉积物。DOGAN U<sup>[44]</sup>则认为河流在冰期发生下切,而间冰期发生堆积。

中晚更新世,全球气候经历了多个冰期-间冰期的旋回,由于缺乏可靠且连续的测年数据,目前尚无法将大桥镇组的侵蚀与堆积过程与气候旋回阶段严格对应起来。结合前人对河谷下切堆积机制的认识,本文分析长江河谷第一次下切侵蚀过程应该同时还受到了中更新世早期到中期气候变暖的影响,但新构造运动的抬升应该是最主要的控制因素。

长江河谷的第二次下切侵蚀发生在晚更新世晚期,此时研究区已没有明显的构造抬升,芜湖组底界分布指示本次下切深度最大可能超过了 40 m。区域研究资料显示,这一时期整个长江中下游地区均发生了一定程度的深切<sup>[12]</sup>。晚更新世晚期末次冰盛期向间冰期的转换时期,气温回升,雨量增加,增加了河流的下切侵蚀作用,分析为影响区内长江河谷本次下切侵蚀的重要因素之一。

除河流的下切侵蚀与堆积,气候变化还控制了河流两侧岗地区山麓相戚家咀组网纹红土与下蜀组风成黄土的堆积,它们分别为中更新世中期湿热环境、中更新世晚期—晚更新世寒冷气候环境下的产物。

### 4.3 海平面变化

海平面变化同样对河流深切、充填历程有着重要影响。末次冰盛期时,全球海平面达到—130 m 低位,长江直接汇入冲绳海槽<sup>[12]</sup>。末次冰盛期海平面下降引起的河谷深切,在长江三角洲、沿海平原等区域已经进行了大量研究<sup>[45]</sup>。在长江中下游地区,这一现象亦多有发现。徐砚田<sup>[12]</sup>研究认为,末次冰盛期时古河谷的下切幅度由长江三角洲附近的一80 m 向上游逐步递减,至江汉、洞庭平原下切幅度达到—30 m;末次冰期时,海平面的不断下降引起了长江及其支流的下切,导致了末次冰盛期时

广泛分布的深切地貌。陈忠良等<sup>[40]</sup>对水阳江流域的研究认为,末次冰盛期时由于河流侵蚀基准面大幅度调整,南京地区河流纵比降约为现今的 4.5 倍,河流动力作用强劲,进而引起河流下切。

研究区位于长江中下游地区,结合前人对汉江平原、长江南京段、长江三角洲等地区末次冰盛期河流下切侵蚀认识,本次研究认为区内广泛分布的晚更新世深切河谷应同时受末次冰盛期海平面下降的影响,长江河谷的第二次下切侵蚀应为末次冰盛期时海平面下降与冰后期气候转换阶段气候变暖、雨量增加共同作用的结果。全新世时期全球海平面上升,晚更新世深切河谷快速充填堆积形成芜湖组。

## 5 结论

(1)长江安庆段河谷第四系厚 0~70 m,平原区与岗地区存在河流相与山麓相两套沉积体系,并形成了“芜湖组+大桥镇组+卵砾石层+基岩”“下蜀组+基岩”等多种地层结构组合。长江漫滩区发育 2 个沉积物粒度由粗到细的沉积旋回,并形成了 1 个岩性“粗-细-粗”的转换界面,具有一定的区域对比意义,可作为芜湖组底界划分对比标志。

(2)研究区第四系发育有河流相、风成相、山麓-洪积相、残坡积相等沉积相及河床、河漫滩等多种沉积亚相和微相,第四纪以来区内经历了山麓冲洪积、网纹红土发育、下蜀黄土风成沉积、长江河谷下切侵蚀与充填堆积等地质过程,共同形成了现今的地貌格局。

(3)中更新世以来,长江河道至少发生了 2 次明显的下切侵蚀过程,致使早期地层遭受不同程度剥蚀。中更新世早期—中期,长江下切侵蚀主要受控于区域构造抬升,同时叠加了气候变化的影响;晚更新世晚期的下切侵蚀为末次冰盛期海平面下降与冰后期气候变暖、雨量增加共同作用的结果。

## 参考文献

- [1] WILLS B, BLAEKW E, SARGENT R H. Research in China[M]. Washington: Press of Gibson Brothers,1907.
- [2] 姜月华,陈立德,向芳,等.长江演化及其对洪涝灾害防治的启示[J/OL].(2022-08-23)[2023-04-29]. [https://9.cgihub.com/detail\\_38502727e7500f264f817fd3a92b2aadaec8efdac55b5ff41921b0a3ea255101fc1cf1bb4666ae](https://9.cgihub.com/detail_38502727e7500f264f817fd3a92b2aadaec8efdac55b5ff41921b0a3ea255101fc1cf1bb4666ae)

- 60460df2b366b379dca3f5d1ccb486f08b81cea4be1c6db13883eb5358600b0a06b2fe9c4cbc96590? &apistrclassfy=0\_18\_21.
- JIANG Y H, CHEN L D, XIANG F, et al. Evolution of the Yangtze River and its implications for prevention and control to flood disaster [J/OL]. (2022-08-23) [2023-04-29]. [https://9.cglhub.com/detail\\_38502727e7500f264f817fd3a92b2aadaec8efdac55b5ff41921b0a3ea255101fc1cf1fbb4666ae60460df2b366b379dca3f5d1ccb486f08b81cea4be1c6db13883eb5358600b0a06b2fe9c4cbc96590? &apistrclassfy=0\\_18\\_21](https://9.cglhub.com/detail_38502727e7500f264f817fd3a92b2aadaec8efdac55b5ff41921b0a3ea255101fc1cf1fbb4666ae60460df2b366b379dca3f5d1ccb486f08b81cea4be1c6db13883eb5358600b0a06b2fe9c4cbc96590? &apistrclassfy=0_18_21).
- [3] 陈立德.也谈长江上游“川峡二江”续接贯通的时限和机制[J].华南地质, 2022, 38(2): 250-264.
- CHEN L D. Another discussion about the time and mechanism of the connection of “Chuan and Xia Rivers” in the upper reaches of the Changjiang River [J]. South China Geology, 2022, 38(2): 250-264.
- [4] 范代读, 李从先.长江贯通时限研究进展[J].海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(2): 121-131.
- FAN D D, LI C X. Reviews on researches of timing of the Yangtze draining the Tibetan Plateau to the East China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(2): 121-131.
- [5] 向芳.长江三峡的贯通与江汉盆地西缘及邻区的沉积响应[D].成都: 成都理工大学, 2004.
- XIANG F. Forming of the Three Gorges of the Yangtze River and sedimentary response in the west edge of Jiangnan Basin and adjacent area [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2004.
- [6] 张信宝, 刘戡, 王世杰, 等.黄河、长江的形成演化及贯通时间[J].山地学报, 2018, 36(5): 661-668.
- ZHANG X B, LI Y, WANG S J, et al. On the chronology of the Yellow Rivers and the Yangtze Rivers [J]. Mountain Research, 2018, 36(5): 661-668.
- [7] 陈立德, 邵长生.宜昌地区更新世砾石层研究[J].地层学杂志, 2015, 39(3): 255-266.
- CHEN L D, SHAO C S. Research on the Pleistocene Yichang gravel bed[J]. Journal of Stratigraphy, 2015, 39(3): 255-266.
- [8] 陈立德, 邵长生.江汉—洞庭盆地更新统地层划分与对比——“白沙井砾石层”再研究[J].地层学杂志, 2014, 38(2): 208-219.
- CHEN L D, SHAO C S. The subdivision and correlation of the Pleistocene in the Jiangnan—Dongting Basin: restudy on the “Baishajing” gravel layer [J]. Journal of Stratigraphy, 2014, 38(2): 208-219.
- [9] 张祥云, 刘志平, 范迪富, 等.南京—仪征地区新近纪砂砾层层序及古长江的形成与演化[J].江苏地质, 2003, 27(3): 140-147.
- ZHANG X Y, LIU Z P, FAN D F, et al. Sandy gravel sequence in Neogene in Nanjing and Yizheng area and genesis and evolution of the old Yangtze River [J]. Jiangsu Geology, 2003, 27(3): 140-147.
- [10] 杨坤美, 向芳, 由文智, 等.长江万州—巫山阶段地成因[J].成都理工大学学报(自然科学版), 2021, 48(4): 415-423.
- YANG K M, XIANG F, YOU W Z, et al. Genesis of valley terrace in Wanzhou—Wushan section of the Yangtze River, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2021, 48(4): 415-423.
- [11] 向芳, 罗来, 林良彪, 等.重庆—宜昌地区长江阶地和相关沉积研究及其对三峡研究的意义[J].成都理工大学学报(自然科学版), 2009, 36(5): 475-479.
- XIANG F, LUO L, LIN L B, et al. Research on Yangtze terrace and relative sediments from Chongqing to Yichang and its significance for the origin of the Yangtze Three Gorges, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2009, 36(5): 475-479.
- [12] 徐砚田.海平面变化驱动的长江中下游湖泊的形成[D].武汉: 中国地质大学(武汉), 2019.
- XU Y T. Sea-level change determined lake formation in the Yangtze Plain [D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan), 2019.
- [13] 杨达源.长江三峡阶地的成因机制[J].地理学报, 1988, 43(2): 120-126.
- YANG D Y. Genetic mechanism of the alluvial terraces along the Three-Gorges course of the Changjiang River [J]. Acta Geographica Sinica, 1988, 43(2): 120-126.
- [14] 邵长生, 陈立德.江汉—洞庭盆地第四系划分与对比[M].武汉: 中国地质大学出版社, 2016.
- SHAO C S, CHEN L D. Division and comparison of the Quaternary System in the Jiangnan—Dongting Basin [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2016.
- [15] 林春明, 张霞, 邓程文, 等.江苏南通地区晚第四纪下切河谷沉积与环境演变[J].沉积学报, 2016, 34(2): 268-280.
- LIN C M, ZHANG X, DENG C W, et al. Sedimentary characteristics and environmental evolution of the Late Quaternary incised-valley fills in the Nantong area of Jiangsu Province, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2016, 34(2): 268-280.
- [16] 苏建锋, 范代读, 冷伟, 等.冰后期以来长江水下三角洲

- 层序地层特征及沉积环境演化[J]. 古地学报, 2017, 19(3):541-556.
- SU J F, FAN D D, LENG W, et al. Postglacial sequence stratigraphy and sedimentary environment evolution of the Yangtze River subaqueous delta [J]. Journal of Palaeogeography, 2017, 19(3):541-556.
- [17] 苗巧银, 朱志国, 陈火根, 等. 镇江地区长江南北两岸第四纪地层结构划分与沉积特征对比[J]. 华东地质, 2017, 38(3):175-183.
- MIAO Q Y, ZHU Z G, CHEN H G, et al. Classification of Quaternary stratigraphic structures and comparison of sedimentary characteristics on both sides of the Yangtze River in the Zhenjiang area[J]. East China Geology, 2017, 38(3):175-183.
- [18] 杨献忠, 魏乃颐, 王强, 等. 长江三角洲镇江—江都河段古河谷沉积特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(5):11-18.
- YANG X Z, WEI N Y, WANG Q, et al. Sedimentary characteristics of an ancient river in Zhenjiang—Jiangdu segment of Yangtze River delta[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2010, 30(5):11-18.
- [19] 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.
- CHEN X X. Evolutionary characteristics of the Quaternary sedimentary in the Yangtze valley between Yangzhou and Zhenjiang[J]. Journal of Stratigraphy, 2001, 25(1):51-54.
- [20] 于振江, 彭玉怀. 安徽省第四纪岩石地层序列[J]. 地质学报, 2008, 82(2):254-261.
- YU Z J, PENG Y H. Quaternary lithostratigraphic sequence in Anhui Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(2):254-261.
- [21] 苏晶文, 龚建师, 李运怀, 等. 基于地层结构组合的第四纪地质单元划分研究——以皖江经济带沿江丘陵平原区为例[J]. 中国地质调查, 2019, 6(5):28-35.
- SU J W, GONG J S, LI Y H, et al. Division of Quaternary geological units based on stratigraphic architecture combination: a case study in Wanjiang River economic zone[J]. Geological Survey of China, 2019, 6(5):28-35.
- [22] 郭炳跃, 王毅, 戴俊成, 等. 沿江丘陵平原工程地质分区研究——以安庆地区为例[J]. 地质学刊, 2021, 45(3):327-334.
- GUO B Y, WANG Y, DAI J C, et al. Study on engineering geological division of geomorphologic units with the character of hilly plain along the river, taking Anqing area as an example[J]. Journal of Geology, 2021, 45(3):327-334.
- [23] 江苏省地质勘查技术院. 安庆地区 1:50 000 安庆市 (H50E009013)、章家村 (H50E010013)、江家咀 (H50E010012)、东流县 (H50E011012) 幅环境地质调查成果报告[R]. 南京: 江苏省地质勘查技术院, 2018: 45-56.
- Geological Exploration Technology Institute of Jiangsu. 1:50 000 Environmental geological survey results report for Anqing City (H50E009013), Zhangjia Village (H50E01013), Jiangjiazui (H50E01012), and Dongliu County (H50E01012) [R]. Nanjing: Geological Exploration Technology Institute of Jiangsu, 2018:45-56.
- [24] 安徽省地质调查院. 1:250 000 安庆市幅区域地质调查报告[R]. 合肥: 安徽省地质调查院, 2005:7-85.
- Geological Survey of Anhui Province. 1:250 000 Regional geological survey report of Anqing City[R]. Hefei: Geological Survey of Anhui Province, 2005:7-85.
- [25] 安徽省地质调查院. 安徽省区域地质志[R]. 合肥: 安徽省地质调查院, 2014:267-279.
- Geological Survey of Anhui Province. Regional geological records of Anhui Province[R]. Hefei: Geological Survey of Anhui Province, 2014:267-279.
- [26] 郭炳跃, 王毅, 张斌, 等. 安徽池州地区下蜀组沉积环境及成因探讨[J]. 华东地质, 2020, 41(1):18-26.
- GUO B Y, WANG Y, ZHANG B, et al. The sedimentary environment and genesis discussion of Xiashu formation in Chizhou area, Anhui Province[J]. East China Geology, 2020, 41(1):18-26.
- [27] 玄晓娜. 长江三角洲南翼晚更新世硬黏土理化特征及其古环境意义[D]. 上海: 华东师范大学, 2018.
- XUAN X N. Physical and chemical characteristics of Late Pleistocene hard clay in the southern wing of the Yangtze River delta and its paleoenvironmental significance[D]. Shanghai: East China Normal University, 2018.
- [28] 陈中原, 许世远. 尼罗河与长江三角洲晚更新世末期硬土层特征及其成因对比研究[J]. 第四纪研究, 1996(2):168-175.
- CHEN Z Y, XU S Y. Comparative study of the late Pleistocene Nile and Yangtze stiff muds: sediment and origin[J]. Quaternary Sciences, 1996(2):168-175.
- [29] 朱锦旗, 龚绪龙, 苟富刚, 等. 长江三角洲北翼第一硬土层理化特征及其地质成因[J/OL]. (2023-01-16) [2023-04-29]. [https://9.cglhub.com/detail\\_38502727e7500f264f817fd3a92b2aad8b1f49ab3bce8e11921b0a3ea255101fc1cf1fbb4666ae698e7357c29b869f76ee90d](https://9.cglhub.com/detail_38502727e7500f264f817fd3a92b2aad8b1f49ab3bce8e11921b0a3ea255101fc1cf1fbb4666ae698e7357c29b869f76ee90d)

- be57febd3a5e3625f64c84409fe7d4c54a364b16208677ccea37547ce0? &-apistrclassfy=0\_14\_.
- ZHU J Q, GONG X L, GOU F G, et al. Physico-chemical characteristics and geological formation of the first hard soil layer of the north wing of the Yangtze River delta [J/OL]. (2023-01-16) [2023-04-29]. [https://9.cgihub.com/detail\\_38502727e7500f264f817fd3a92b2aad8b1f49ab3bce8e11921b0a3ea255101fc1cf1fbb4666ae698e7357c29b869f76ee90dbe57febd3a5e3625f64c84409fe7d4c54a364b16208677ccea37547ce0? &-apistrclassfy=0\\_14\\_](https://9.cgihub.com/detail_38502727e7500f264f817fd3a92b2aad8b1f49ab3bce8e11921b0a3ea255101fc1cf1fbb4666ae698e7357c29b869f76ee90dbe57febd3a5e3625f64c84409fe7d4c54a364b16208677ccea37547ce0? &-apistrclassfy=0_14_).
- [30] 管后春,李运怀,刘道彬,等.合肥盆地蜀黄土年龄及物源探讨[J].中国地质,2015,42(2):664-675.
- GUAN H C, LI Y H, LIU D B, et al. A tentative discussion on the age and provenance of the Xiashu Loess in the Hefei Basin, Anhui Province[J]. Geology in China, 2015, 42(2): 664-675.
- [31] 宋为娟.合肥下蜀组的年代学研究[D].北京:中国地质大学(北京),2014.
- SONG W J. Research on the chronology of Xiashu formation in Hefei[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.
- [32] 郑乐平,胡雪峰,方小敏.长江中下游地区下蜀黄土成因研究的回顾[J].矿物岩石地球化学通报,2002,21(1):54-57.
- ZHENG L P, HU X F, FANG X M. A review of the study on the origin of Xiashu Loess in the middle and lower reaches of Yangtze River[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2002, 21(1): 54-57.
- [33] 王芳,周尚哲,康建成,等.中国网纹红土研究进展[J].烟台师范学院学报(自然科学版),2006,22(1):63-68.
- WANG F, ZHOU S Z, KANG J C, et al. Research advance of vermiculated red soil in China[J]. Yantai Normal University Journal (Natural Science), 2006, 22(1):63-68.
- [34] 李凤全,叶玮,朱丽东,等.第四纪网纹红土的类型与网纹化作用[J].沉积学报,2010,28(2):346-355.
- LI F Q, YE W, ZHU L D, et al. The types and formation of Quaternary plinthitic red earth[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(2):346-355.
- [35] 胡春生.河流阶地研究进展综述[J].地球环境学报,2014,5(5):353-362.
- HU C S. Progress in research on river terraces[J]. Journal of Earth Environment, 2014, 5(5):353-362.
- [36] 潘家伟,李海兵,孙知明,等.青藏高原西北部晚第四纪以来的隆升作用——来自西昆仑阿什库勒多级河流阶地的证据[J].岩石学报,2013,29(6):2199-2210.
- PAN J W, LI H B, SUN Z M, et al. Late Quaternary uplift of the northwestern Tibetan Plateau: evidences from river terraces in the Ashikule area, West Kunlun Mountain[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(6): 2199-2210.
- [37] 宋方敏,邓志辉,马晓静,等.长江谷地安庆—马鞍山段新构造和断裂活动特征[J].地震地质,2008,30(1):99-110.
- SONG F M, DENG Z H, MA X J, et al. Neotectonics and fault activity in the Anqing—Ma'an shan section of the Changjiang River valley[J]. Seismology and Geology, 2008, 30(1): 99-110.
- [38] 陈文彬,李小军,宋毅,等.安徽南部头坡断裂的活动性研究[J].地震地质,2005,27(3):353-360.
- CHEN W B, LI X J, SONG Y, et al. On the activity of the Toupou fault in the southern Anhui Province[J]. Seismology and Geology, 2005, 27(3): 353-360.
- [39] 胡春生,田景梅,何成邦,等.黄山北麓青弋江发育原因及其与长江贯通的关系[J].地理科学,2021,41(10):1862-1872.
- HU C S, TIAN J M, HE C B, et al. Development causes of the Qingyijiang River on the northern piedmont of the Huangshan Mountain and its relationship with the channelization of the Yangtze River [J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(10):1862-1872.
- [40] 陈忠良,张晋喆,沈仕豪,等.长江中下游水阳江流域BZK0402孔多重地层划分及其冰后期海平面变化的沉积响应[J].中国地质,2022,49(2):655-666.
- CHEN Z L, ZHANG J Z, SHEN S H, et al. Multi-stratigraphic study and response to sea-level fluctuations since the last deglaciation detected from BZK0402 core in the Shuiyang River basin, Yangtze River[J]. Geology in China, 2022, 49(2): 655-666.
- [41] 严庠生,杨达源.安徽沿江地带的新构造运动与地震活动[J].地震学刊,1991(1):101-107.
- YAN X S, YANG D Y. On neotectonic movement and earthquakes along the Yangtze River region in Anhui Province[J]. Journal of Seismology, 1991(1):101-107.
- [42] 严庠生.皖南青弋江、水阳江地区地貌与新构造运动[J].南京师范专科学校学报,1999(4):118-124.
- YAN X S. The landforms of the area along the Qingyi River and Shuiyang River and the new crustal movement[J]. Journal of Nanjing Teachers College, 1999(4):118-124.
- [43] PAN B T, SU H, HU Z B. Evaluating the role of climate and tectonics during non-steady incision of the

- Yellow River; evidence from a 1.24 Ma terrace record near Lanzhou, China[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2009, 28(27/28):3281-3290.
- [44] DOGAN U. Climate-controlled river terrace formation in the Kizil Irmak Valley, Cappadocia section, Turkey: Inferred from Ar-Ar dating of Quaternary basalts and terraces stratigraphy[J]. *Geomorphology*, 2011, 126(1/2):66-81.
- [45] 林春明, 张霞, 黄舒雅. 晚第四纪下切河谷体系研究综述[J]. *地质论评*, 2022, 68(2):627-647.
- LIN C M, ZHANG X, HUANG S Y. Review of Late Quaternary incised valley system [J]. *Geological Review*, 2022, 68(2):627-647.

## Quaternary sedimentary characteristics and paleochannel evolution in the Anqing valley of the Yangtze River

WANG Yi<sup>1</sup>, GUO Bingyue<sup>1</sup>, GUO Dongfeng<sup>1</sup>, ZHANG Bin<sup>1</sup>, SU Jingwen<sup>2</sup>, DAI Juncheng<sup>1</sup>

(1. *Geological Exploration Technology Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210049, Jiangsu, China*;

2. *Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China*)

**Abstract:** Two sets of sedimentary systems, fluvial facies and piedmont facies, are developed in the NE trending valley of the Anqing section of the Yangtze River. Based on the measured Quaternary boreholes, through comparing cross sections of the NW and NNE directional boreholes, this paper revealed the stratigraphic combination characteristics of geological and geomorphic units, such as the alluvial plain and hill-ock of the Yangtze River. Then, we discussed the evolution process of the paleochannel in the Yangtze River valley in combination with the regional neotectonics characteristics, climate change and other information. The results show that there are at least two river sedimentary cycles developed in the Anqing valley along the Yangtze River, ranging from gravelly coarse sand to silty clay. The Xiashu Formation and Qijiaji Formation were deposited simultaneously on both sides of the hilly land. Quaternary sediments are composed of river alluvium, aeolian sediments and other genetic types, and have experienced geological processes such as early-middle Pleistocene alluvial-proluvial process, middle-late Pleistocene aeolian accumulation, river undercutting erosion and filling. Neotectonics, climate changes during the glacial to the interglacial, sea level eustasy and other factors jointly affect the evolution of the ancient channel in the Anqing section of the Yangtze River.

**Key words:** sedimentary characteristics; sedimentary facies; Yangtze valley; Quaternary; Anqing area