

doi: 10.12029/gc20220605001

姜月华, 陈立德, 向芳, 朱锦旗, 郭盛乔, 龚绪龙, 黄恒旭, 由文智, 周权平, 倪化勇, 王东辉, 刘广宁, 马腾, 苏晶文, 程和琴, 杨海, 刘林, 金阳, 张鸿, 杨辉, 梅世嘉, 齐秋菊, 吕劲松, 侯莉莉. 2023. 长江演化及其对洪涝灾害防治的启示[J]. 中国地质, 50(4): 0975–1003.

Jiang Yuehua, Chen Lide, Xiang Fang, Zhu Jinqi, Guo Shengqiao, Gong Xulong, Huang Hengxu, You Wenzhi, Zhou Quanping, Ni Huayong, Wang Donghui, Liu Guangning, Ma Teng, Su Jingwen, Cheng Heqin, Yang Hai, Liu Lin, Jin Yang, Zhang Hong, Yang Hui, Mei Shijia, Qi Qiuju, Lu Jinsong, Hou Lili. 2023. Evolution of the Yangtze River and its implications for prevention and control to flood disaster[J]. Geology in China, 50(4): 0975–1003(in Chinese with English abstract).

长江演化及其对洪涝灾害防治的启示

姜月华^{1,2}, 陈立德³, 向芳⁴, 朱锦旗⁵, 郭盛乔⁵, 龚绪龙⁵, 黄恒旭⁴, 由文智⁴,
周权平^{1,2}, 倪化勇⁶, 王东辉⁷, 刘广宁³, 马腾⁸, 苏晶文^{1,2}, 程和琴⁹, 杨海^{1,2}, 刘林^{1,2},
金阳^{1,2}, 张鸿^{1,2}, 杨辉^{1,2}, 梅世嘉^{1,2}, 齐秋菊^{1,2}, 吕劲松^{1,2}, 侯莉莉^{1,2}

(1. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016; 2. 自然资源部流域生态地质过程重点实验室, 江苏 南京 210016;
3. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205; 4. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 5. 江苏省地质调查研究院,
江苏 南京 210018; 6. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734; 7. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都
610081; 8. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074; 9. 华东师范大学, 上海 200241)

提要:【研究目的】长江的形成和演化以及长江中下游地区周而复始的洪涝灾害, 是亟待学术界破解的关键科学问题。【研究方法】通过采用冲积扇成因理论、联合沉积相剖面对比法、岩相古地理分析、高精度定年技术和遥感等方法, 从流域视角剖析了长江中下游沿江砾石层成因、岩相古地理特征、长江上游三峡夷平面和阶地特征以及云南石鼓长江大拐弯成因。【研究结果】提出了早中更新世之交(距今 75 万年)长江东西贯通时限和长江中游地区全新世“一江(长江)四湖(云梦泽、彭蠡泽、洞庭湖和鄱阳湖)”江湖演化格局的认识, 分析了在自然和人为作用下近代长江中下游地区洪涝灾害现状和影响因素, 并结合长江演化规律及其对洪涝灾害防治启示, 提出了“再造云梦泽、扩张洞庭湖和鄱阳湖”、“采砂扩湖、清淤改田”长江中下游洪涝灾害防治对策和下一步相关地质工作建议。【结论】早中更新世地质环境的重大调整是造成长江东西全线贯通的重要原因, 长江中游地区洪涝灾害防治应充分考虑江湖演化规律, 该研究成果可为长江经济带/长江流域国土空间规划、地质灾害防治和生态环境保护与修复提供基础支撑和理论依据。

关键词: 长江; 长江演化; 江湖演化; 洪涝灾害; 生态环境; 长江经济带; 长江流域; 水文地质调查工程

创新点: (1) 提出长江东西全线贯通时限和长江中游地区全新世江湖演化格局新认识; (2) 结合江湖演变规律, 提出了长江中下游洪涝灾害防治地学新建议。

中图分类号: TV882.2 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2023)04–0975–29

Evolution of the Yangtze River and its implications for prevention and control to flood disaster

收稿日期: 2022–06–05; 改回日期: 2022–08–20

基金项目: 中国地质调查局长江经济带地质环境综合调查工程(工批 2015–03–02, 0531, 0820)、长江经济带地质资源环境综合评价项目(DD20190260)、长三角南京—上海—温州城镇规划区 1:5 万环境地质调查项目(DD20160246)、长江经济带暨长三角一体化发展区资源环境承载力监测评价(DD20221728)及国家自然科学基金项目(41972101, 41572093)联合资助。

作者简介: 姜月华, 男, 1963 年生, 博士, 研究员, 主要从事环境地质和水文地质工作; E-mail: 316664105@qq.com。

JIANG Yuehua^{1,2}, CHEN Lide³, XIANG Fang⁴, ZHU Jinqi⁵, GUO Shengqiao⁵, GONG Xulong⁵, HUANG Hengxu⁴, YOU Wenzhi⁴, ZHOU Quanping^{1,2}, NI Huayong⁶, WANG Donghui⁷, LIU Guangning³, MA Teng⁸, SU Jingwen^{1,2}, CHENG Heqin⁹, YANG Hai^{1,2}, LIU Lin^{1,2}, JIN Yang^{1,2}, ZHANG Hong^{1,2}, YANG Hui^{1,2}, MEI Shijia^{1,2}, QI Qiuju^{1,2}, LÜ Jinsong^{1,2}, HOU Lili^{1,2}

(1. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China; 2. Key Laboratory of Watershed Eco-Geological Processes, Ministry of Natural Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China; 3. Wuhan Center, China Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China; 4. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 5. Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, Jiangsu, China; 6. The Institute of Exploration Technology, Chinese Academy of Geological Sciences, Chengdu 611734, Sichuan, China; 7. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 8. China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China; 9. East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: This paper is the result of hydrogeological survey engineering.

[Objective] The formation and evolution of the Yangtze River and the recurrent flood disasters in the middle and lower reaches of the Yangtze River are the key scientific problems to be solved urgently. **[Methods]** By using alluvial fan genetic theory, combined sedimentary facies profile correlation method, lithofacies paleogeographic analysis, high-precision dating technology, remote sensing method and so on, from the perspective of the basin, the genesis of gravel layers and lithofacies paleogeographic characteristics along the middle and lower reaches of the Yangtze River, planation surface and terrace characteristics of the Three Gorges and the genesis of the great turn of Yangtze River in Shigu, Yunnan in the upper reaches of the Yangtze River are analyzed. **[Results]** The understandings of the east-west transconnection time of the Yangtze River at the turn of early-Middle Pleistocene (750,000 years ago) and the Holocene river lake evolution pattern of "one River (Yangtze River) and four lakes (Yunmengze, Penglize, Dongting lake and Poyang Lake)" in the middle reaches of the Yangtze River are put forward. The present situation and influencing factors of flood disaster in the middle and lower reaches of the Yangtze River in modern times under the natural and man-made effects were analyzed, and the evolution law of the Yangtze River and its enlightenment to flood disaster prevention and control were combined. The prevention and control measures of flood disaster in the middle and lower reaches of the Yangtze River including "rebuilding Yunmengze, expanding Dongting Lake and Poyang Lake", "Sand exploiting expansion lake, removing silt and turned into farmland" and relevant geological suggestions for the next step were put forward. **[Conclusions]** The major adjustment of geological environment in the early and middle Pleistocene was an important reason for the connection of the east and west lines of the Yangtze River. The flood disaster prevention and control in the middle reaches of the Yangtze River should fully consider the evolution law of rivers and lakes. The research results can provide basic support and theoretical basis for the territorial space planning, geological disaster prevention and ecological environment protection and restoration of the Yangtze River Economic Belt/Yangtze River Basin.

Key words: the Yangtze river; evolution of Yangtze river; river and lake evolution; flood disaster; ecological environment; Yangtze river economic belt; Yangtze river basin; hydrogeological survey engineering

Highlights: (1) The understandings of the transconnection time of the east-west Yangtze River and the Holocene evolution pattern of the river's lake in the middle reaches of the Yangtze River were put forward; (2) Combined with the evolution law of rivers and lakes, new geological suggestions on flood disaster prevention and control in the middle and lower reaches of the Yangtze River were put forward.

About the first author: JIANG Yuehua, male, born in 1963, doctor, professor, engaged in environmental geology and hydrogeology; E-mail: 316664105@qq.com.

Fund support: Supported by the projects of China Geological Survey (GP 2015-03-02, No.0531, No.0802, No.DD20190260, No.DD20160246, No.DD20221728) and the National Natural Science Foundation of China (No. 41972101, No.41572093).

1 引言

长江的形成和演化备受学术界和大众关注,它不仅是开展青藏高原构造隆升及环境效应研究的重要切入点,是认识新生代亚洲重大构造和气候事件相互作用纽带,也是破解近现代长江沿岸,特别是中下游地区洪涝灾害、岸滩河槽冲蚀引起崩岸灾害等环境地质问题的关键所在。长江演化史研究始于1907年(Wills et al., 1907),之后百余年来,众多中外科学家开展了大量研究,取得丰硕成果,但对“长江何时东流”这一关键科学问题却一直存在重大争议,众说纷纭,有前古近纪(陈丕基, 1979)、古近纪(郑月蓉和李勇, 2009; Richardson et al., 2010)、中新世或渐新世/中新世之交(Clark et al., 2004; Clift et al., 2006; 贾军涛等, 2010a; 郑洪波等, 2014, 2017; Zheng et al., 2021)、晚上新世—早更新世(范代读和李从先, 2007)、更新世(任美镠等, 1959; 杨怀仁等, 1997; 杨达源, 2006; 张玉芬等, 2008; 魏传义等, 2020)、早更新世(孔屏, 2009; 李华勇和明庆忠, 2011; 苏怀等, 2013; 杨建等, 2014)、早更新世晚期(程捷等, 2001)、中更新世(向芳等, 2005, 2006, 2011; 明庆忠等, 2007; 由文智等, 2021)、中更新世晚期(张信宝等, 2018)等多种观点,是亟待学术界破解的“百年谜题”。

纵观百年长江演化研究史,地理学和地貌学家多侧重从河谷地貌演化(沈玉昌等, 1965; Li et al., 2001)来推断长江形成过程;地质学家多关注构造演化(李四光, 1924; 叶良辅等和谢家荣, 1925; 李春昱, 1933; Lee, 1934; Barbour, 1936; 李承三, 1956; 许仲路和李行健, 1982; 吴根耀, 1992; 陶亚玲和常宏, 2017; Zhang et al., 2020; Wu et al., 2020)、沉积相变(赵希涛等, 2008; 郭盛乔等, 2013a, 2013b; 陈立德和邵长生, 2014, 2015; 陈立德, 2019; 姜月华等, 2019, 2021a; 张信宝等, 2020; 胡春生等, 2021)等来揭示长江发育史。可以看出,因受研究区域、资料或理论方法限制,不同学者对长江成因的认识不尽相同。

近年中国地质调查局部署实施了“长江经济带地质环境综合调查工程(2014—2021年)”,沿长江最新完成1:5万地质调查241个国家标准图幅、上千个地质钻孔、河流阶地与沉积物中重矿物分析等,积累了大量第一手调查、监测与测试数据。其

中,对长江的形成和演化及在自然和人为作用下的洪涝灾害成因等核心科学问题设置了专题进行研究,从流域视角进行了剖析,进而提出有关长江贯通时限认识以及长江中下游地区洪涝灾害防治地质学建议,旨在为长江经济带/长江流域国土空间规划、地质灾害防治和生态环境保护修复提供基础支撑和理论依据。

2 研究方法

本次研究主要采用冲积扇成因理论、联合沉积相剖面对比法、岩相古地理分析、夷平面和河流阶地分析、高精度定年技术、阴极发光、电子探针、扫描电镜和遥感等方法。其中,通过系统收集研究区域可利用第四纪地质钻孔,并运用高精度钻孔联合沉积相剖面对比法和冲积扇成因理论,建立了研究区岩石地层、年代地层、生物地层框架,进行区域第四系各组地层划分对比、第四纪钻孔联合剖面 and 岩相古地理研究,分析长江中下游地区第四系沉积结构、展布特征和江湖演变规律。运用LA-ICP MS、阴极发光、电子探针、扫描电镜和能谱仪对三峡地区及湖北宜昌地区第四纪沉积物中的碎屑锆石的U-Pb年龄和铁质重矿物进行化学特征和形貌分析,并与可能的物源区样品进行对比,来分析物源演化过程及判定长江三峡的贯通时限。铁质重矿物的阴极发光分析使用的是Mono CL3+型阴极发光装置,电子探针仪型号为JXA-8800M型,背散射图形和能谱测试使用的仪器为Quanta 250 FEG+Inca X-max20型号的场发射扫描电镜。碎屑锆石U-Pb定年采用Agilent HP7500a型电感耦合等离子体质谱仪和213 nm波长的激光剥蚀器(Merchantek/New Wave Research)。¹⁴C测年使用的是加速器质谱(AMS),主要用于检测5万年以内的样品,对于距今20万年以来的沉积物,测年主要是采用光释光测年法,对于老于20万年的沉积物,主要采用电子自旋共振法(ESR)。

3 研究结果和讨论

3.1 长江贯通时限讨论

3.1.1 砾石层成因

砾石层是长江中下游地区晚新生代地质环境变迁和古长江形成、演化的重要信息载体(张祥云

等,2013;苗巧银等,2017,2019)。在长江中下游地区沿江两岸的宜昌猯亭、武汉阳逻、黄石、九江、安庆和南京狭长地带,广泛分布着一套砂砾石层,分别称之为宜昌砾石层、阳逻砾石层、临澧白沙井砾石层、黄州砾石层、九江砾石层、安庆砾石层和南京雨花台砾石层等。目前,这套砾石层的时代大多被证明为早更新世(梅慧等,2009;张勇等,2009),以南京雨花台砾石层为例,夏树芳和康育义(1981)认为将雨花台组归于早更新世也似合理,陈希祥和林仲秋(1986)、于振江等(2006)和韩志勇等(2009)通过研究认为雨花台砾石层上部地层时代为早更新世,张玉芬等(2012)对南京雨花台和菊花台一带的砾石层中的砂层进行ESR测年,样品年龄在90~120万年,时代为早更新世。也有一些学者(范代读和李从先,2007;郑洪波等,2017;Zheng et al.,2021)通过研究曾认为这套砾石层的时代为中全新世—上新世或者更老时代。现在来看,部分地区的砾石层有多套,如南京、安庆等地分布的,应是跨时代的,砾石堆积至少可以延续至早更新世,这一点没有问题。这些砾石层沿江分布在当地高级阶地上,往往被认为与长江的发育有关。杨怀仁等(1997)曾指出,这套砾石层指示了长江历史演化中的一个重要事件,形象地称之为“长江的成砾时代”,此外,很多学者也认为这些砾石层代表了长江形成或贯通的证据,甚至被认为是长江贯通、长江水量骤然增大引起的。

本次工作应用冲积扇理论和机械沉积分异作用规律,重新解释了砾石层成因,为长江贯通时限和演化提供了新思路。通过系统开展长江中下游第四纪地质对比研究,建立长江中下游地区统一第四系地层格架,对区内的地层系统进行了重新厘定,也对砾石层分布状况和结构构造特征进行了详细研究。研究认为宜昌—南京段断续分布早更新世“砾石层”,其沉积形成过程与长江没有任何关系,它们均属于近源山前或者山间河流冲积成因。研究发现,各地的“砾石层”中,砂砾石物质组分差异显著,多为当地相对近源的风化剥蚀岩土成分,如南京雨花台砾石层砂砾石以石英岩为主,其次是石英、燧石、石英砂岩、硅质灰岩、火山岩、变质岩等,因含大量原生玛瑙——“雨花石”而著名,从而区别于其他“砾石层”。李立文(1999)认为雨花台

砾石层“这些砾石成分的母岩在南京附近都有分布”,其中,辉木化石砾石在镇江二叠系的发现更是佐证了其近源来源。

环江汉—洞庭盆地周缘,与宜昌砾石层、阳逻砾石层同期,尚发育有钟祥砾石层、常德砾石层、白沙井砾石层等等,且具有与宜昌砾石和阳逻砾石层相似的河流相沉积特征、发育在相同的高程,此外,在当阳、孝感、咸宁、岳阳、汨罗、宁乡、津市、松滋等地,也发育同期早更新世砾石层。这些环江汉—洞庭盆地发育的砾石层,具有河流相冲积扇发育特点,从砾石物源看,与环江汉—洞庭盆地周缘短程河流密切相关,而与长江没有直接关系,如阳逻砾石层发育与府河有关、常德砾石层则与沅江的发育有关,宁乡一带的砾石层则与沅水发育有关。江汉—洞庭盆地周缘发育的扇状堆积的卵砾石层或砂砾石层,具有向盆地中心延伸的特点(图1)(陈立德和邵长生,2014,2015,2016;陈立德,2019),而黄广—九江一带的九江砾石层、黄梅沙砾石层则向南东发育,反映了在早更新世江汉—洞庭盆地分别独立演化的特点,二者之间受黄石—广济一带低山丘陵阻隔,此时的长江尚未贯通。

皖江沿江曾是长江的一个狭窄通道,早更新世及其稍早前的地层保留相对较少,但仍然可以发现各地地质剖面上有残留。在已证明为中更新世地层之下可见早更新世卵砾石层,其中,典型地表就是安庆砾石层^{①②}。

赵希涛等(2006,2008)曾对云南丽江地区大具盆地早更新世砾石层及四川攀枝花地区昔格达组下伏砾石层(上新世中、晚期或至早更新世早期)进行过深入研究,认为均属冲、洪积成因,并发现花岗岩在昔格达组下伏砾石的成分中占据较大比例(20%以上),而花岗岩质的砾石在现代金沙江阶地的砾石层中较少见(10%以下)。这表明在金沙江攀枝花段昔格达组形成之前,其下伏砾石层沉积时,现代的河流尚未形成,物源组成与现代河流存在较大出入。研究发现,雅砻江上游的甘孜和稻城发育有大量花岗岩群(侯增谦等,2001),那些不曾出现在现代金沙江阶地,而出现在昔格达组下伏砾石层中的花岗岩砾石很可能源自于此。雅砻江物质堆积在攀枝花以西也说明在昔格达组沉积之前在攀枝花段存在西向河流,它源自雅砻江,在攀枝花转

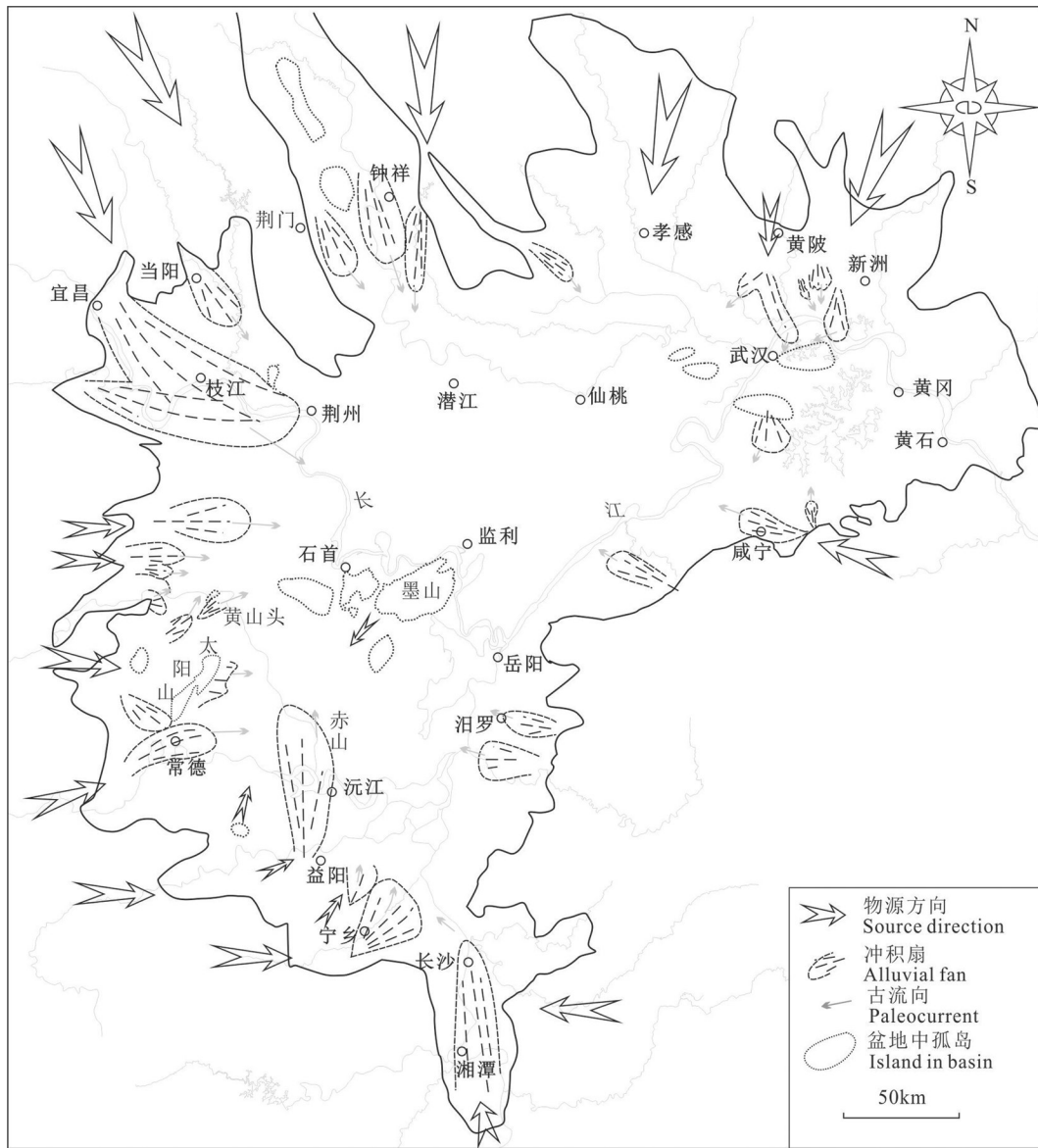


图1 长江中游地区早更新世中期扇三角洲分布图(据陈立德和邵长生,2016)

Fig.1 Distribution of fan deltas during the middle period of Early Pleistocene in the middle reaches of the Yangtze River (after Chen Lide and Shao Changsheng, 2016)

而向西。

综上所述,早更新世乃至上新世在长江沿江各地分布的砾石层均具有冲、洪积相发育特征,它们反映的均是近源冲、洪积扇沉积环境,而不能反映其是经过几百或者几千千米搬运后的大河远源沉积产物。与早更新世以冲、洪积相为主体的砾石层、沙砾石层沉积不同,中更新世开始沿江特别是江汉—洞庭盆地和长三角盆地均发育以细粒沉积物为主体的河湖相沉积,反映了早、中更新世地质环境的重大调整,是长江续接贯通的地质环境效

应。随着在长江三峡续接贯通引来上游巨量水源,使江汉—洞庭盆地迅速演变为一个统一大湖泊,在短暂时间内掘开黄石东去,而使长江全线贯通。

3.1.2 长江中下游第四纪岩相古地理研究

通过对长三角盆地、皖江沿江和江汉—洞庭盆地300余个高精度第四纪钻孔岩性研究,在长江中下游建立33条第四纪钻孔联合相剖面,并在长三角编制了10张第四纪不同时期的岩相古地理图,基本查明长江中下游地区第四系沉积结构、展布特征和沉积环境变迁规律。研究发现,早更新世晚期前,

长江尚未贯通中下游地区,但在长江下游的宁镇、浙西、皖南和皖北至河口地区发育有多条向东的河流,其中,包括“古扬子江”(图2),在长三角上游的南京—扬州地区发育冲洪积扇相的雨花台组,在长三角下游地区沉积了早更新世时期巨厚的松散沉积物。古扬子江沉积物主要分布在长江新三角洲平原沉积区,更新世早期海门组沉积层普遍粒度较粗(含砾粗砂或中粗砂),反映的是近源冲洪积扇(湿扇)沉积环境^①(郭盛乔等,2013a,b;朱锦旗,2018)(图3)。长江新三角洲平原沉积区南侧的太湖平原沉积区,更新世早期海门组同样主要是粗颗粒沉积为主的近源冲洪积扇沉积环境,沉积物主要来自浙西南天目山山系。而早更新世晚期以后,长江新三角洲平原沉积区河道相沉积层普遍粒度变细(图4),与近现代沉积层特征类似,表明与长江三峡已经续接贯通。

通过本次研究,笔者也重新厘定了长江与淮河沉积作用界线,长江沉积作用最北界位于盐城伍佑—盐城步封—大丰方强—大丰三龙一线,与构造上建湖隆起的南界吻合,该界线以南和泰州—姜堰—东台一线以北的区域为长江与淮河的沉积过渡区。此外,以第四系研究成果为依据,同时还修正了长江、淮河和沂沭泗水系地下水分区(图5)。

江汉—洞庭盆地在早更新世受若干独立的次

级断陷盆地或凹陷控制,如澧县凹陷、安乡凹陷、沅江凹陷及广兴洲凹陷等,在洞庭盆地发育早更新世华田组和汨罗组,以灰色黏土、细砂、中砂、粗砂层与杂色砂砾石互层为主,在江汉盆地发育东荆河组,以灰黑、灰黄、棕黄色泥质粉砂、黏土与灰白色砂砾石层夹灰白色砂层、中粗砂层—含泥质粉砂层为主。从沉积物的分布说明,早期江汉—江洞庭湖盆的范围相对较小,河流直接进入盆地,形成较小规模的冲积扇,中晚期冲积扇范围明显扩大至江汉洞庭盆地周缘地区,冲积扇的发育规模最大,相当于江汉洞庭盆地早更新世高水位沉积(图1),环绕江汉—洞庭盆地周缘发育了宜昌砾石层、阳逻砾石层、白沙井砾石层和常德砾石层等迄今广为分布的砾石层堆积。

中更新世时期,江汉—洞庭盆地沉积物范围达到最大,形成了厚达16~27 m乃至40 m的均质砂质黏土受后期湿热化作用成为网纹红土,组成了江汉盆地的善溪窖组/江汉组、洞庭盆地的洞庭湖组/马王堆组的重要组成部分,网纹红土的测年数据表明其时限在中更新世(来红州等,2005)。网纹红土所代表的细粒湖相或河湖过渡相沉积(陈立德和邵长生,2016;陈立德,2018,2019),是江汉洞庭盆地分布范围最广、地层最连续的堆积体,代表了江汉洞庭盆地处于湖盆发展的鼎盛时期,湖水位达到前所

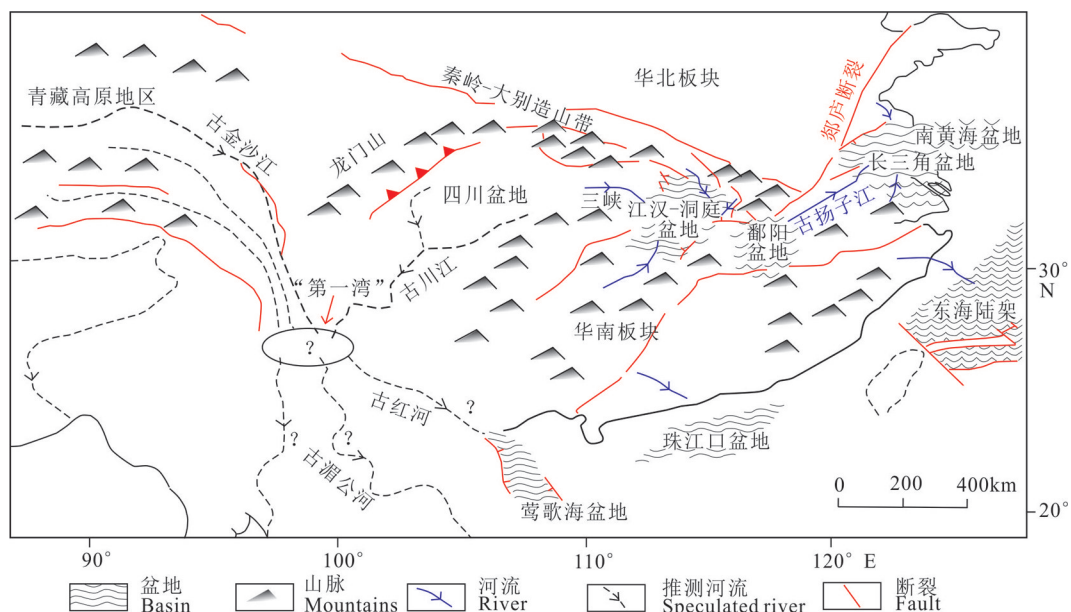


图2 早更新世晚期河流和盆地分布示意图(据郑洪波等,2017修改)

Fig.2 Distribution of rivers and basins during the late period of Early Pleistocene (modified from Zheng Hongbo et al., 2017)

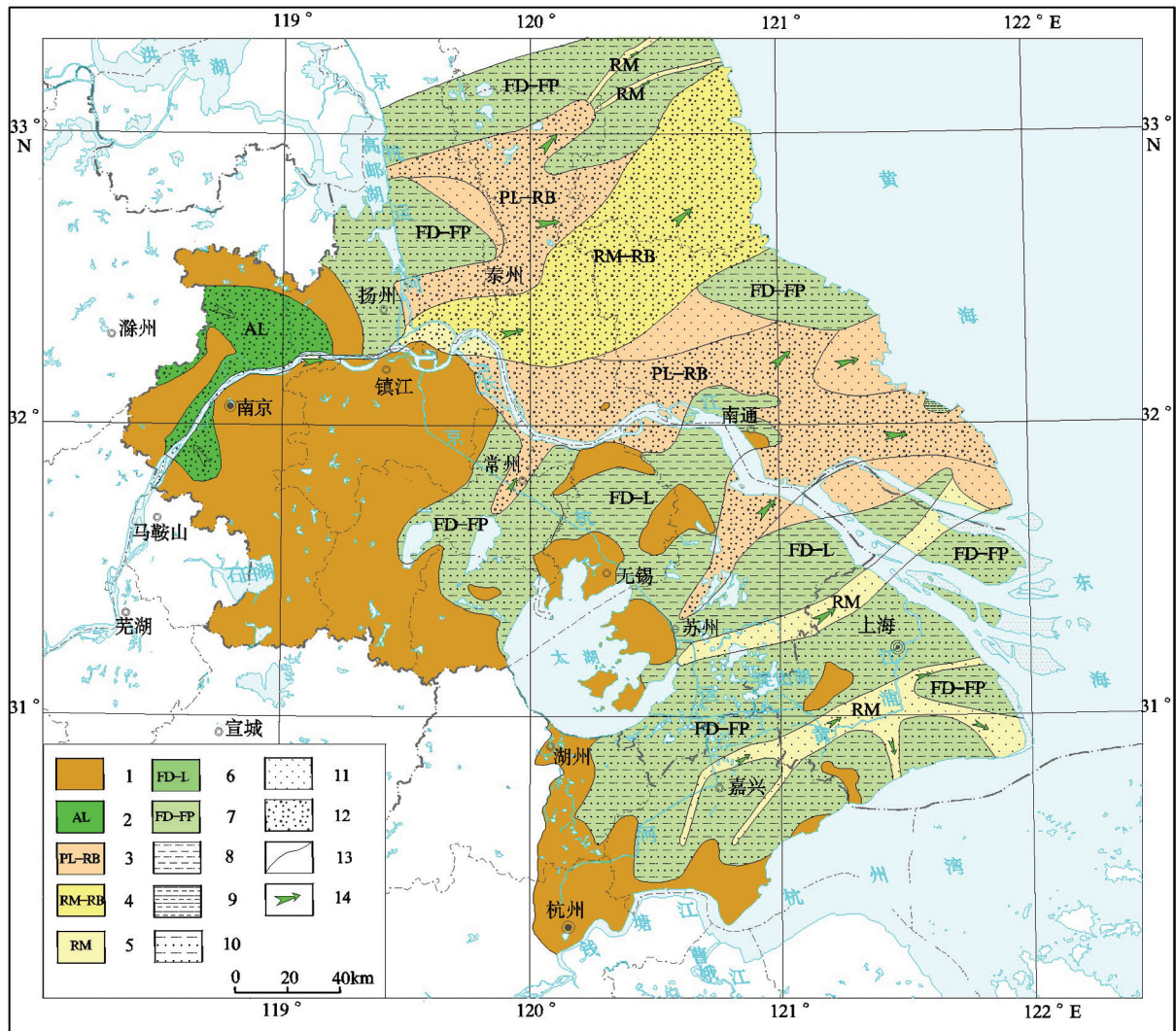


图3 长江下游地区更新世早期早时(Qp¹⁻¹)岩相古地理图

1—低山丘陵;2—沟谷平原;3—冲洪积扇平原;4—古长江冲积扇平原;5—古河道;6—泛滥—湖泊相;7—泛滥—漫滩相;8—黏土;9—粉砂质黏土;10—黏土质粉砂;11—砂;12—含砾中粗砂;13—岩相界线;14—主河道及流水方向

Fig.3 Lithofacies palaeogeography map of the early period of Early Pleistocene (Qp¹⁻¹) in the lower reaches of the Yangtze River
1—Low mountains and hills; 2—Valleys plain; 3—Alluvial-proluvial fan plain; 4—Ancient Yangtze alluvial fan plain; 5—Ancient stream channel; 6—Flood-lacustrine facies; 7—Flood-flood land facies; 8—Clay; 9—Silty clay; 10—Clayey silt; 11—Sand; 12—Gravel-bearing medium-coarse sand; 13—Lithofacies boundary; 14—Main channel and flow direction

未有的高度,江汉—洞庭盆地可能在这一时期才真正成为统一的大湖。陈渡平等(2014)认为洞庭盆地中更新世开始湖面扩大,中更新世中期更是洞庭盆地拓展最盛时期,盆地面积达17875 km²。顾延生等(2018)指出江汉盆地第四纪以来存在三大成湖期,其中之一就是Qp²/Qp¹之交。不同研究者研究结果基本相同,此时的江汉—洞庭湖盆的水域范围大大超过早更新世湖泊范围。这一重大事件表明中更新世时期,江汉—洞庭湖区具有巨大的来水量,

除气候的影响因素外,也可能暗示了长江三峡在这一时期的续接贯通,江汉—洞庭盆地接受来自长江上游的来水,使其水位快速上升,致使网纹红土超覆在之前第四纪各类松散沉积物或基岩之上。不过在江汉—洞庭盆地中心区网纹红土的上下常常分布有青灰、深黄色砂砾石层夹含砾细砂层,以及褐灰色细砂、灰绿色泥质粉砂等,这是由于河湖频变,形成河湖交替堆积,主要发育了冲积、冲湖积成因的河流相、河湖相沉积物(杨青雄等,2016),岳阳

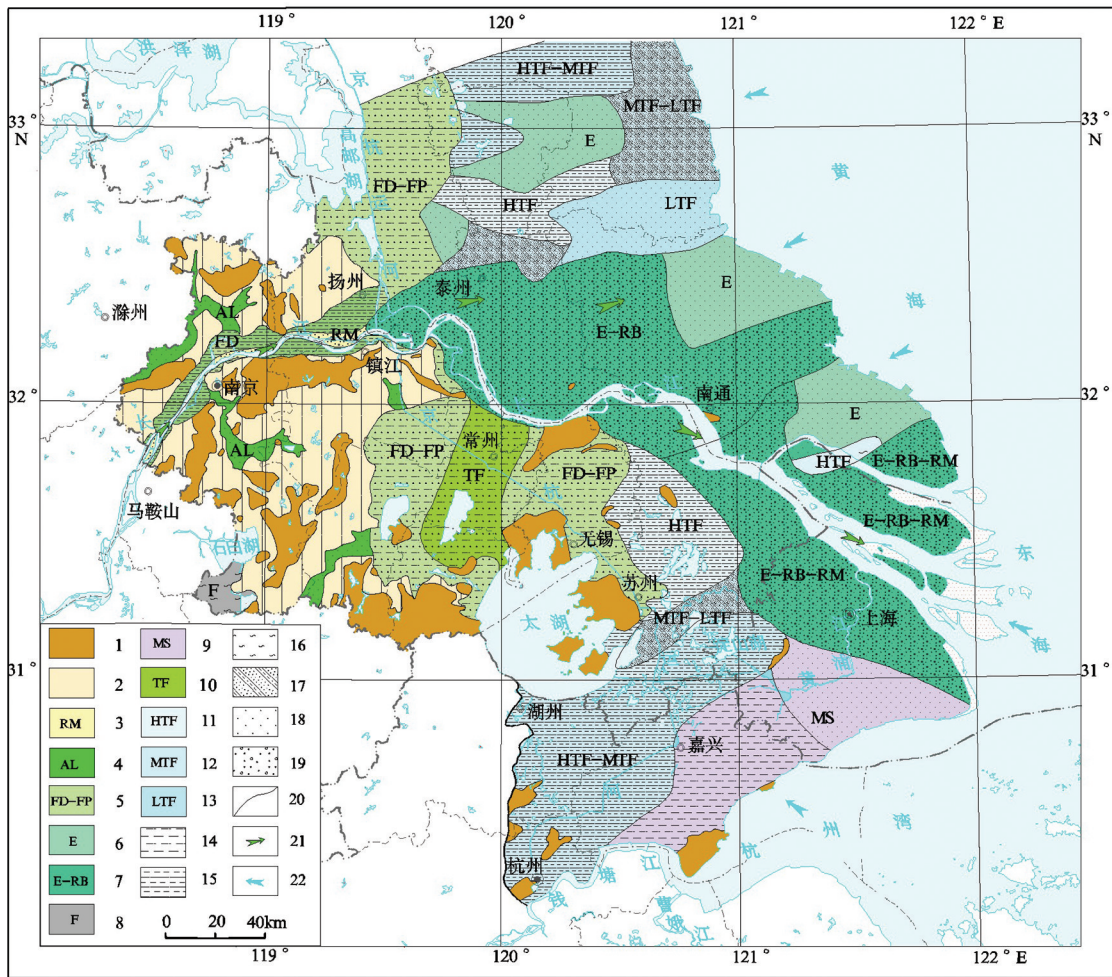


图4长江下游地区更新世中期晚时(Qp²⁻²)岩相古地理图

1—低山丘陵;2—黄土台地;3—长江冲积平原;4—河谷平原;5—泛滥—漫滩相;6—河口相;7—近河口相;8—沼泽相;9—浅海相;10—潮坪相;11—高潮坪;12—中潮坪;13—低潮坪;14—黏土;15—粉砂质黏土;16—淤泥质黏土;17—粉细砂与粉砂质黏土互层;18—砂;19—含砾中粗砂;20—岩相界线;21—主河道及流水方向;22—海侵方向

Fig.4 Lithofacies palaeogeography of the late period of Middle Pleistocene (Qp²⁻²) in the lower reaches of the Yangtze River
 1—Low mountains and hills; 2—The loess platform; 3—The alluvial plain of Yangtze River; 4—Valley plain; 5—Flood-flood land facies; 6—Estuarine facies; 7—Nearly estuarine facies; 8—Swamp facies; 9—Neritic facies; 10—Tidal flat facies; 11—High tide flat; 12—Middle tidal flat; 13—Low tidal flat; 14—Clay; 15—Silty clay; 16—Mud clay; 17—Silty fine sand interbedded with silty clay; 18—Sand; 19—Gravel-bearing medium-coarse sand; 20—Lithofacies boundary; 21—Main channel and flow direction; 22—Transgressive direction

地区缺失早中更新统(图6)。陈渡平等(2014)研究也认为,当时江汉—洞庭湖区四周湘江、资江、沅江、澧江以及汨罗江等水道系统发育,因此,冲积、湖积和冲湖积沉积发育。

中更新世晚期,由于地壳运动,湖盆抬升,湖面萎缩。洞庭湖平原晚更新世白水江组/坡头组厚度一般5~10 m,局部可达20 m。主要发育一套土黄、褐黄、灰黄、浅黄色黏土,常具白色斑块。底部局部发育砂层、砂砾层等。江汉平原晚更新世沙湖组/云梦组,底板埋深30~54 m,厚10~45 m,主要沉积物为

黄褐色黏土,夹薄层粉砂,局部发育青灰色细砂。表明江汉—洞庭湖平原,相对于中更新世时期在晚更新世发生全面的水退(杨怀仁和唐日长,1999),冲积扇向盆地内部发育(杨达源,1986),主要发育冲积平原的泛滥相沉积、湖沼洼地的湖冲积为主。
 3.1.3 三峡地区夷平面和阶地形成时间及物源特征
 夷平面的研究是地貌研究中一个必不可少的重要内容,它代表了一种稳定构造环境下,多种作用的产物,而这些作用对地貌的发育、水系的形成有着非常重要的影响和控制作用。在长江三峡的形成

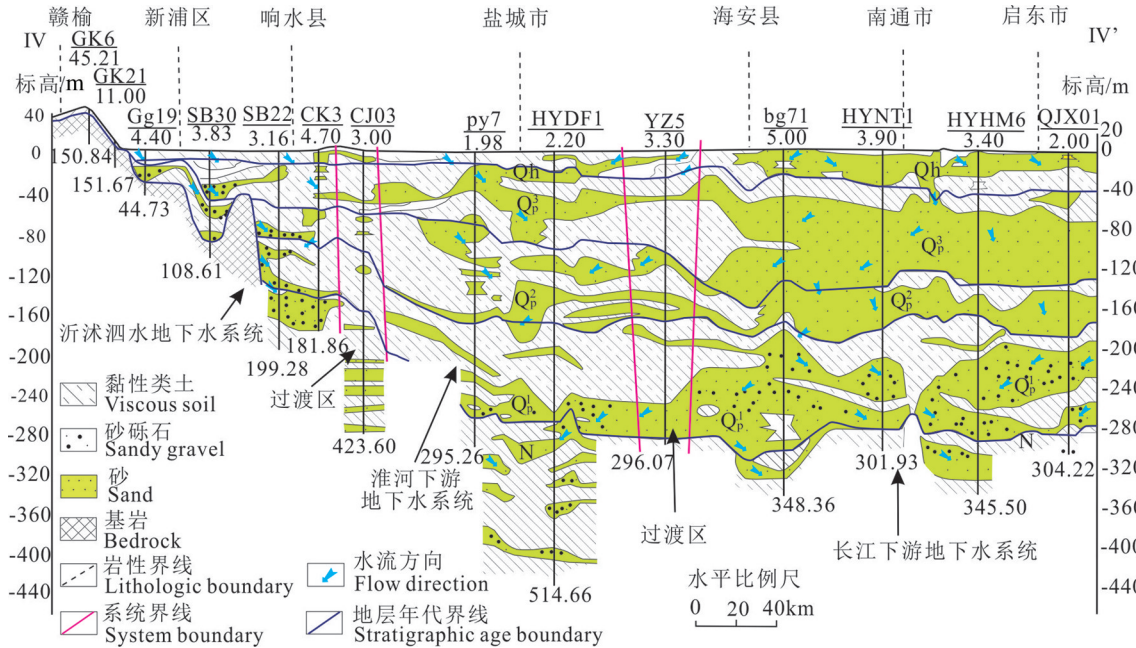


图5 长江、淮河和沂沭泗水系地下水系统边界
Fig.5 Boundary of groundwater system of Yangtze River, Huaihe River and Yishusi River systems

演化研究中,夷平面的研究常常与水系的形成和演化阶段相联系,成为水系形成时间和发育阶段的一种界定。三峡地区夷平面的研究资料较为丰富详细(叶良辅和谢家荣,1925;沈玉昌,1965;田陵君等,1996;李吉均等,2001;赵小明等,2012),主要有3期夷平面,高程在1500~2000 m的鄂西期夷平面,其形成阶段为白垩纪晚期—古近纪始新世的鄂西期夷平面;1000~800 m的山原期夷平面,上新世—早更新世初的山原期夷平面;350~600 m云梦期夷平面,其形成时代为早更新世末—中更新世。本次研究在奉节云梦期夷平面剖面上砂质沉积中采集ESR测年样,在成都理工大学测试获得其沉积年龄为0.75 Ma,与宜昌地区善溪窑组上部沉积时间相同,表明善溪窑组是与峡区夷平面形成时间相对应的沉积产物。该沉积年龄表明,云梦期夷平面解体或停止发育的时间在中更新世。

研究表明,在三峡段长江沿岸发育5级河流阶地(图7),云梦期夷平面中河流沉积物在砾石成分、玄武质砾石的稀土配分、微量元素特征、重矿物成分和组合、碎屑锆石U-Pb年龄特征方面,与长江第5级阶地和现代河流沉积物存在显著差异(向芳等,2005,2006,2011)。在五级阶地和现在河流沉积中发现具有264.2~245.3 Ma U-Pb年龄值的锆石(图

8),其特征与朱江等(2011)研究的峨眉山大火成岩省(图9)中玄武岩-流纹岩-凝灰岩岩体中的锆石年龄主要集中在265~251 Ma,具有更为相近的特征。夷平面沉积物中的样品具有来自黄陵穹窿基底片麻岩的锆石,其年龄值一般为2947~2890 Ma(赵凤清等,2006)。

通过对采集宜昌地区5个第四纪沉积阶地剖面和三斗坪黄陵花岗岩、攀枝花钒钛磁铁矿、峨眉清音电站峨眉山玄武岩中铁质重矿物的扫描电镜特征和能谱特征对比分析(图10),发现长江第5级阶地和现代河流沉积物中的铁质重矿物与云梦期夷平面同期沉积物(云池组和善溪窑组)中铁质重矿物无论是铁质重矿物组分还是矿物包裹体成分和出溶结构均存在差异显著,云池组、善溪窑组样品的母岩主要来自黄陵花岗岩,而以善溪窑组为基座的长江T5和现代沉积物样品的母岩一部分来自黄陵花岗岩,一部分来自攀枝花钒钛磁铁矿和峨眉山玄武岩。显然,在善溪窑组沉积结束以后,宜昌地区的物源发生了明显改变,出现了来自三峡西侧长江上游广泛分布的峨眉山玄武岩和攀枝花钒钛磁铁矿物质。

因此,云梦期夷平面中河流沉积物和宜昌同期云池组和善溪窑组沉积物的物源主要来自黄陵穹

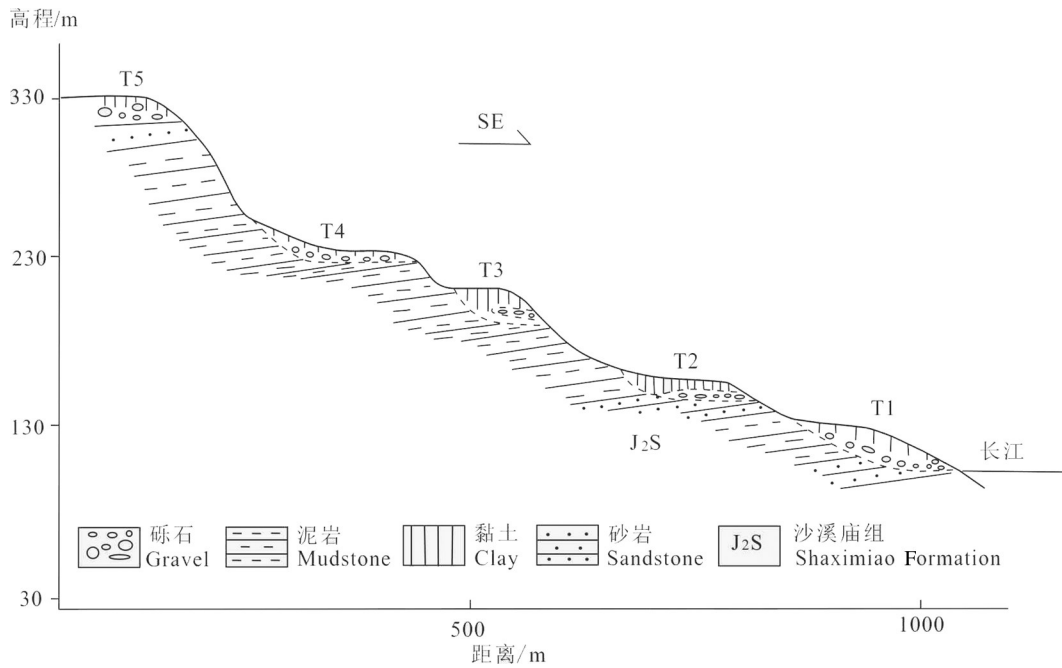


图7 奉节长江南岸河流阶地剖面示意图
Fig.7 River terrace profile of Fengjie Yangtze River south Bank

隆地区,而在长江第5级阶地沉积中才发现来自上游峨眉山大火成岩省及攀枝花钒钛磁铁矿为代表的物质,表明在黄陵穹隆以西,云梦期夷平面形成

时期曾经存在西流水系(图 11a)。云梦期夷平面解体以后,河流发生转向,形成现今的东流水系。河流发生转向的时间大致在 0.75~0.73 Ma,从而也进

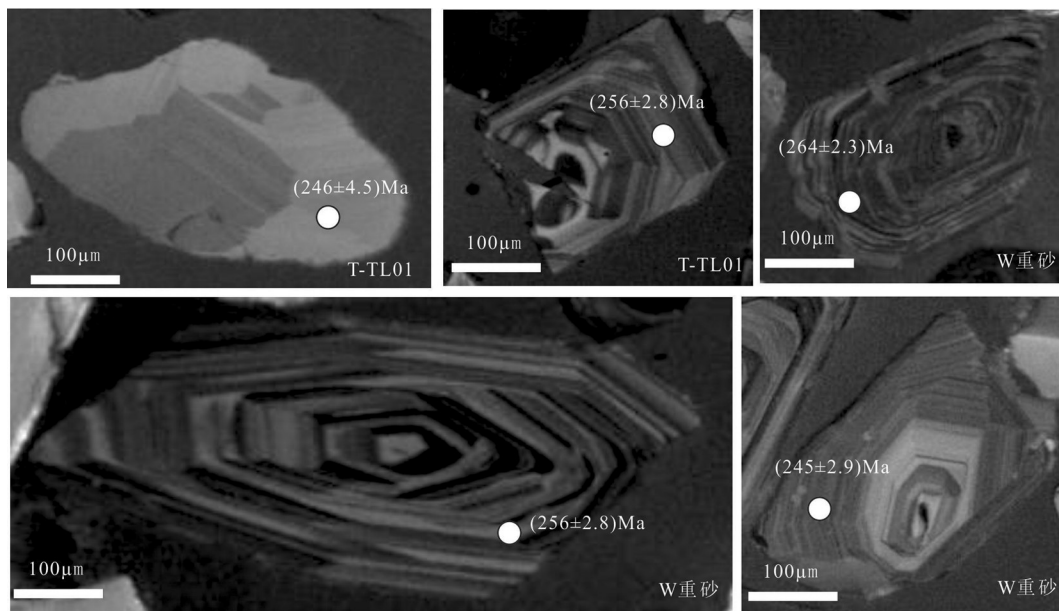


图8 长江沉积物中来自峨眉山大火成岩省的碎屑锆石阴极发光特征及U-Pb年龄值
T-TL01—长江第5级阶地中砂质沉积样品,采样位置重庆;W重砂—长江现代砂质沉积样品,采样位置万州
Fig.8 Cathodoluminescence characteristics and U-Pb age of detrital zircons from the large igneous province of Emeishan in Yangtze River sediments
T-TL01—Sand sediment samples from the 5th Terrace of Yangtze River, sampling location Chongqing; W heavy sand—modern sandy sediment samples from the Yangtze River, sampling location Wanzhou

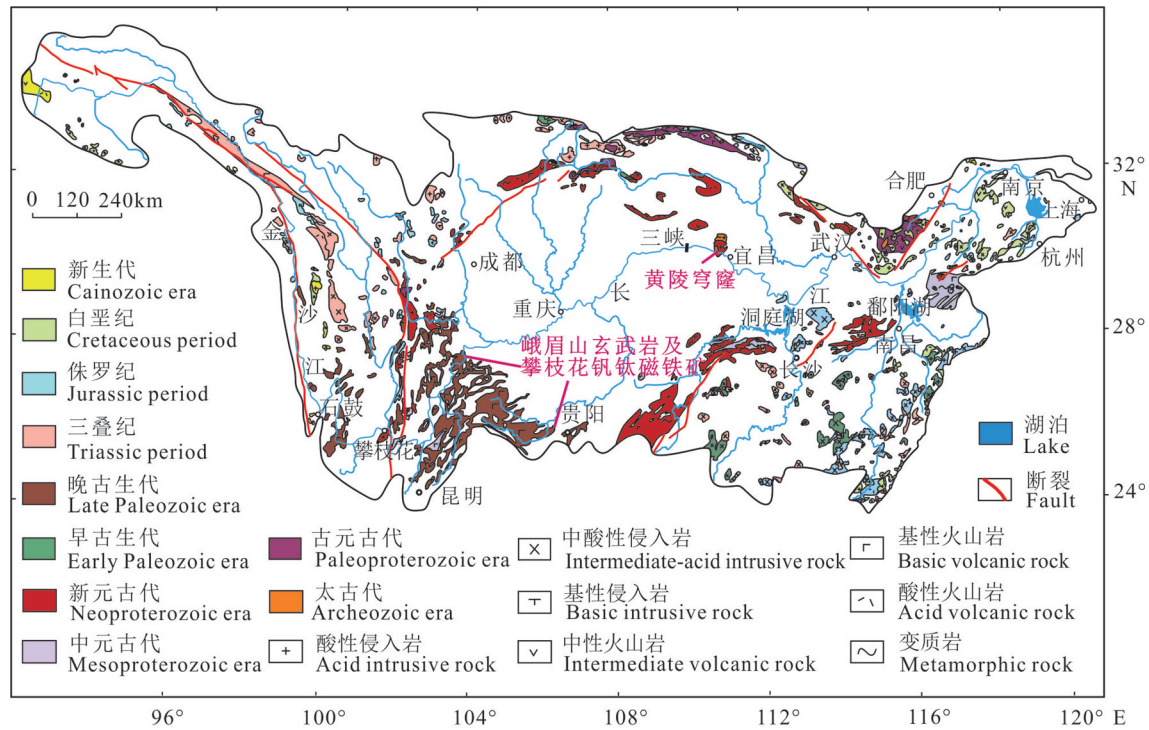


图9 长江流域太古宙—新生代(变)火成岩分布图(据贾军涛等,2010b)

Fig.9 Distribution of Archaean–Cenozoic (metamorphic) igneous rocks in the Yangtze River Basin (after Jia Juntao et al., 2010b)

一步佐证了长江三峡的贯通过程和贯通时间(图11b)。

3.1.4 石鼓长江第一湾成因

石鼓长江第一湾位于云南省西北部的丽江市石鼓镇与香格里拉县南部沙松碧村之间,海拔1850 m。万里长江从“世界屋脊”——青藏高原奔腾而下,从四川省巴塘县境内(金沙江)进入云南,与澜沧江、怒江一起在横断山脉的高山深谷中穿行形成了“三江并流”的壮丽景观。但是,金沙江在石鼓附近却突然转向东北,形成了罕见的“V”字形大湾——长江第一湾。

这一河流流向突变现象一直引起中外学者的关注,从而产生了金沙江是由河流袭夺而成还是一条先成河的长期争论(Deprat and Mansuy, 1912; Credner, 1932; 曾普胜, 2002; 杨达源, 2006; 史正涛等, 2006; 赵希涛等, 2006, 2007, 2015; 明庆忠等, 2007; Chang et al., 2016; 陶亚玲和常宏, 2017; Zheng et al., 2021)。其中,河流袭夺形成长江东流的观点以丁文江(1933)、李春昱(1933)、Barbour(1936)、任美镔等(1959)等为其代表,袭夺发生在早更新世或中更新世。持非河流袭夺观点的主要

以李承三(1956)、袁复礼(1957)、沈玉昌等(1965)、许仲路和李行健(1982)、何浩生等(1989)、吴根耀(1992)等为代表,认为石鼓附近金沙江的马蹄形大拐弯与北北西—南南东和北北东—南南西的共轭构造有关,并不是河流袭夺的结果。

曾普胜(2002)提出长江第一湾为始新世滇西北老君山地区(金沙江古河道)强烈的岩浆活动阻塞了古金沙江,导致其上游形成堰塞湖,并在玉龙雪山和哈巴雪山之间决口,在高原隆升的同时河道快速下切,形成虎跳峡。明庆忠等(2007)认为长江第一湾形成时代为中更新世以来,指出构造运动为本区构造地貌—水系发育的重大转型事件。赵希涛等(1999, 2007, 2015)认为早在上新世早中期,金沙江已经在其现今的位置上存在,上新世晚期至早更新世广泛发育的断陷活动并不影响金沙江的流动,中更新世时期,金沙江河谷不同地段可因冰川、冰水、崩塌、滑坡或泥石流等堆积物的堰塞而形成湖泊。

本文通过综合研究长江上中下游沉积物特征、构造变化等认为,早、中更新世之交的青藏高原隆升中的一次强烈构造运动——“昆仑—黄河运动”(崔之久等, 1998; 江樟焰等, 2005;)(云南本地称

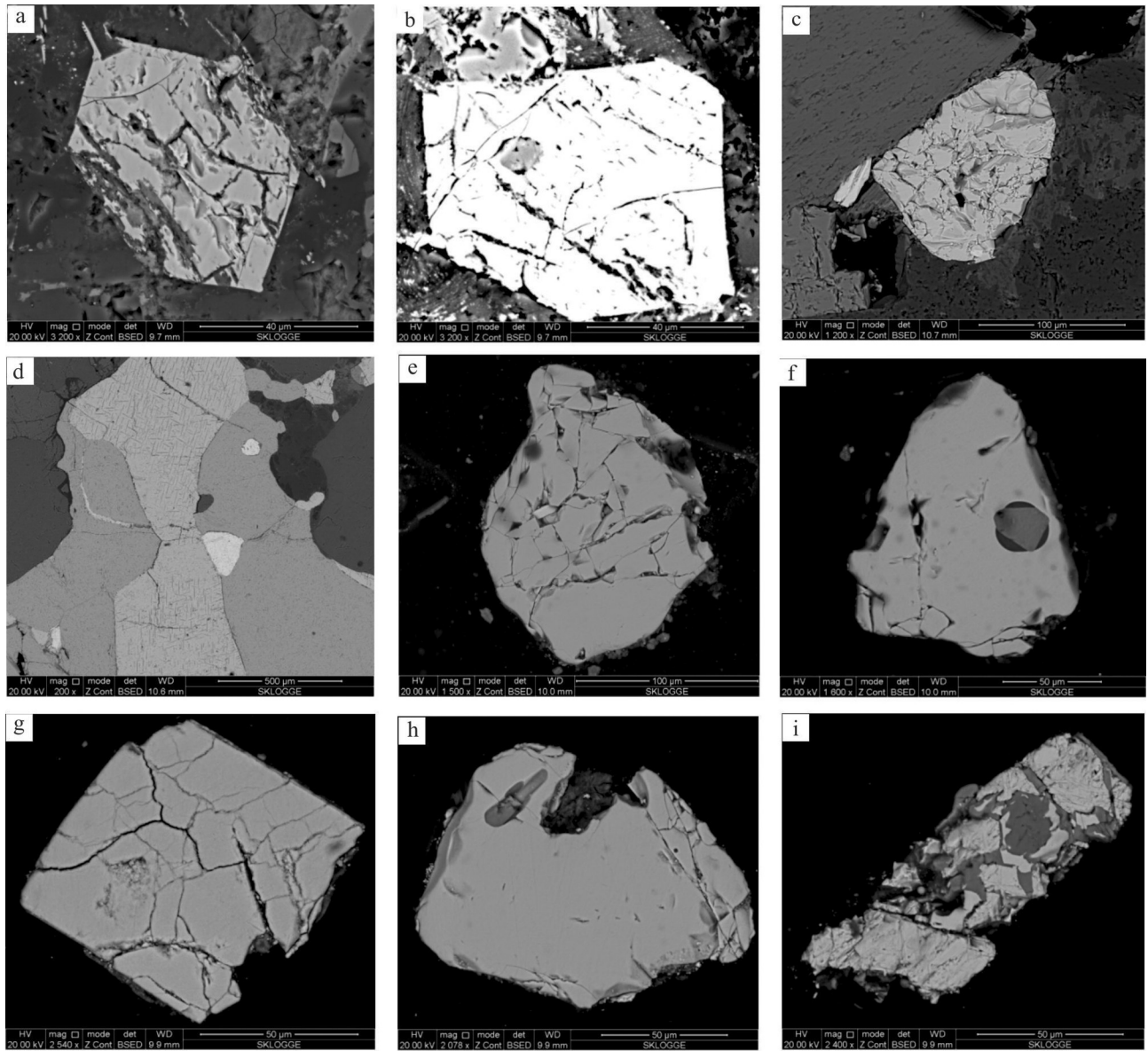


图 10 不同样品的背散射图像

a—峨眉山玄武岩中均一结构铁质矿物;b—峨眉山玄武岩中含包裹体的铁质矿物;c—黄陵花岗岩中均一结构铁质矿物;d—攀枝花钛钽磁铁矿中出溶结构铁质矿物;e—云池组样品中均一结构铁质矿物;f—云池组样品中含包裹体的铁质矿物;g—善溪窑组样品中均一结构铁质矿物;h—善溪窑组样品中含包裹体的铁质矿物;i—善溪窑组样品中出溶结构铁质矿物

Fig.10 Characteristic backscattering images of different samples

a—Even-textured iron minerals in Emeishan basalt; b—Inclusion-bearing iron minerals in Emeishan basalt; c—Even-textured iron minerals in Huangling granite; d—Exsolution textured iron minerals from Panzhihua vanadium-titanomagnetite; e—Even-textured iron minerals in Yunchi Formation samples; f—Inclusion-bearing iron minerals in Yunchi Formation samples; g—Even-textured iron minerals from Shanxiyao Formation samples; h—Inclusion-bearing iron minerals from Shanxiyao Formation samples; i—Exsolution textured iron minerals from Shanxiyao Formation samples

“元谋运动”),不仅影响到了整个青藏高原,把高原面抬升至 3000~3500 m,局部地区的山地上升到 4500~5000 m 的高度,基本形成中国自然地理的现代格局,导致青藏高原进入冰冻圈(李吉均等,

2001),而且影响大气环流型式,形成了东亚季风的现代格局。而就在云南通甸—北汉场一线早更新世末期形成石红山、白石山、老君山等近东西向排列的山脉(史正涛等,2006),成为现今金沙江水系

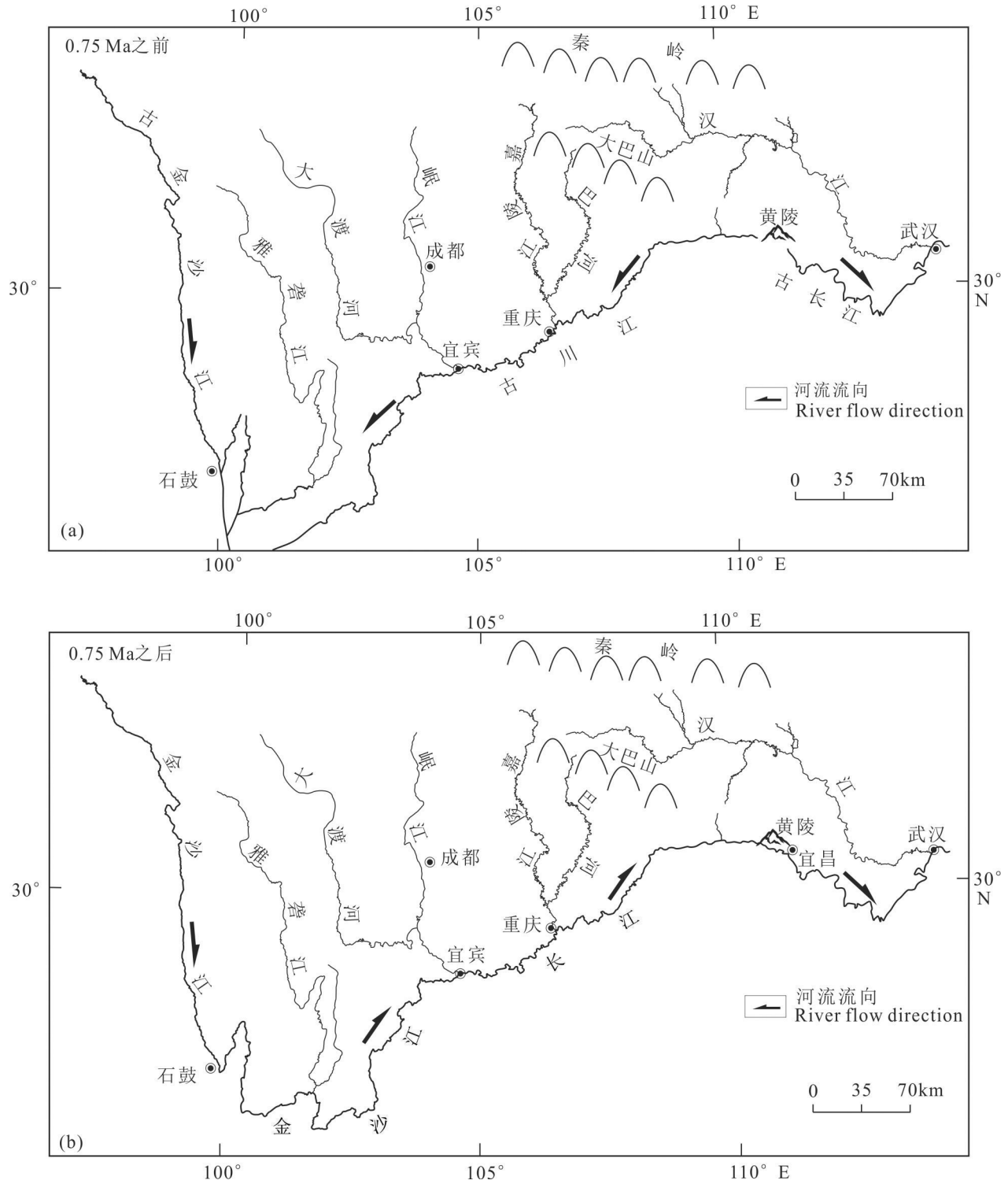


图 11 长江上游水系演化示意图
Fig.11 Schematic diagram of river system evolution in the upper reaches of the Yangtze River

和澜沧江水系的重要分水岭,这一东西向构造隆起的阻挡作用,使古金沙江向南的流路被阻断而不得不沿其支流水洛河河道反向流动,至三江口与水洛河——川江交汇,古金沙江两支流在石鼓附近汇合形成的河岔成为了“长江第一湾”。在这期后,由于阻塞作用,在“长江第一湾”段水位雍涨,导致形成中、晚更新世的石鼓古湖、大具古湖和奔子栏古湖等堰塞湖,湖相沉积出露点现今均可在其上下游发现(图12)(赵希涛等,2006;蔡耀军等,2010;Wang

et al., 2021)。Wang et al. (2021)研究认为末次冰盛期以来在石鼓地区还发生过多处堰塞、溃决洪水事件,对石鼓地区的河流演化也造成了一定影响。

3.2 全新世以来长江中游江湖演化特征

长江中游地区晚更新世深切河谷和河网纵横为全新世以来江湖演化奠定了基础。研究发现,全新世早期(距今一万年)以来,长江中游江湖演化最显著的特征就是“一江(长江)四湖(云梦泽、彭蠡泽、洞庭湖和鄱阳湖)”的演化。

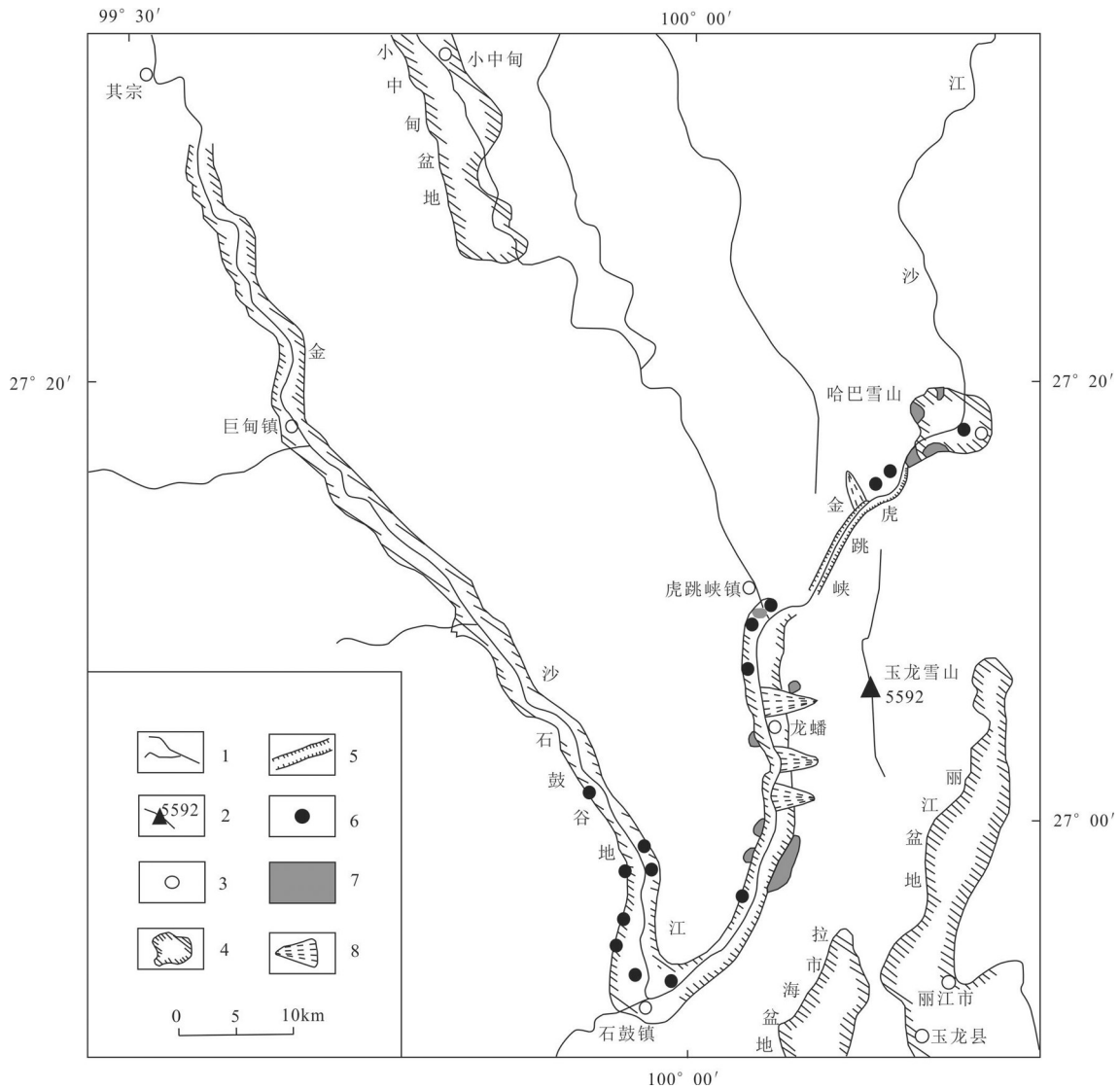


图12 金沙江石鼓附近中—晚更新世湖相沉积出露地点(据赵希涛等,2007)

1—河流; 2—山脊、山峰及其高程; 3—城镇; 4—盆地/谷地; 5—峡谷; 6—湖相沉积露头; 7—玉龙冰期冰碛物; 8—丽江冰期冰水沉积
 Fig.12 Outcropping site of Middle–Late Pleistocene lacustrine sediments near Shigu, Jinsha River (after Zhao Xitao et al., 2007)

1—Rivers; 2—Ridges, peaks and their elevations; 3—Town; 4—Basin/valley; 5—Valley; 6—Lacustrine sedimentary outcrops;
 7—Glacial moraines during the Yulong glacial period; 8—Glacial ice water deposits during the Lijiang glacial period

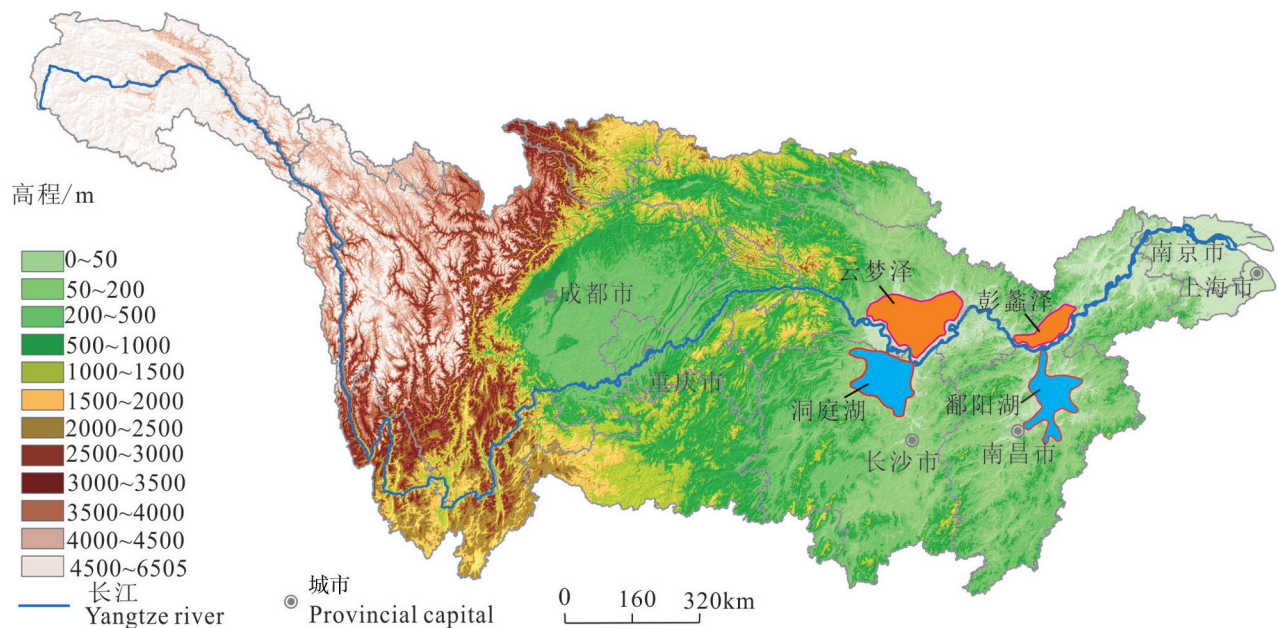


图13 长江流域地貌和“一江四湖”分布示意图

Fig.13 Geomorphology and distribution of "one River and four lakes" in the Yangtze River Basin

早全新世,长江中游江汉盆地持续拗陷沉降,并受全球海平面上升的影响,江汉地区长江干支流水位上升,低洼地区积水成湖,在长江以北形成“云梦泽”和“彭蠡泽”两个通江湖泊(图13),并一度扩张(谭其骧,1980;张修桂,1980;周风琴,1994;周宏伟,2012),距今约7000~5000年期间发育至鼎盛,河流沉积主要呈东西向条带状分布。在现今东洞庭湖一带存在小范围的过流型湖泊。江汉平原大致由西北微向东南倾斜的地势,它控制了江汉平原“云梦泽”和“彭蠡泽”等湖泊群的发育,因泥沙沉积差异,也塑造出了不同地貌带,如堤外沿河滩地带、沙堤带、沿河平原带和内部洼地带。其中,沿河平原带和内部洼地带是组成江汉平原的基本部分,总体呈近东西向分布,在沿河平原带中发育有地势较低的平原低地——河间洼地。

中晚全新世长江中游江汉—洞庭盆地继续拗陷沉降,沉积范围扩大,同时盆地内有丘陵存在。盆地中大部分河流密布,主要为河流泛滥平原和湖泊沉积环境。大约在距今3000年左右“云梦泽”和“彭蠡泽”因泥沙沉积而逐渐淤填、分裂、收缩以至消亡,而在原来位置仅残留下长湖、三湖、白露湖、洪湖、龙感湖、大官湖等孤立小湖泊。不过,随着“云梦泽”和“彭蠡泽”的逐渐消亡,大量水砂向南倾

注,在距今约3000~2000年(春秋战国时期),在长江以南形成洞庭湖和鄱阳湖两个通江大湖。距今1400~1000年(唐宋时期),洞庭湖和鄱阳湖发育至鼎盛时期,两湖面积分别达6000 km²和5200 km²。其后,由于自然和人为作用的影响,洞庭湖和鄱阳湖面积总体呈现急剧萎缩状态。

显然,全新世期间长江中游地区江湖演化主要是以“一江四湖”的演化为特征。此外,不同的学者基于不同的学科角度以及长江与江汉、洞庭的江湖演化关系,也对江汉湖群和洞庭湖的进一步发展趋势进行了研究,提出了相关认识。如官子和和蔡述明(1986)认为,从湖泊演化和泥沙淤积的发展趋势分析,洞庭湖最后是要走向消亡的。龚树毅和陈国金(1997)基于“长江中游地区河湖演变及其对环境的影响”的研究,认为由于人工系统与自然系统的非和谐性作用,区内地质环境逐渐恶化,今后还将朝着恶化的方向继续发展,随着荆江洪水位与荆北地面高差的加大,长江向荆北自然分流的趋势越来越明显,如果抛开人类工程的影响,现今的河湖关系应该是长江与江汉湖群的关系。童潜明(2004)基于长江与江汉湖群与洞庭湖的自然演化规律,认为“洞庭湖的今天就是云梦泽的明天”。随着洞庭湖的萎缩,则江汉湖群将与洞庭湖易位而成为长江

中游洪水调蓄场所而再次重现“云梦大泽”,或许不是不可能的。

3.3 长江中游洪涝灾害现状和影响因素

3.3.1 长江中游洪涝灾害现状

研究认为长江中游地区汛情多发,洪涝灾害损失巨大,防洪形势越来越严峻,需要引起高度关注。资料显示,长江中游地区20世纪大洪水年有1905年、1913年、1937年、1954年、1981年、1991年、1995年、1996年、1998年、1999年、2016年、2017年、2020年,大洪水周而复始,发生的频率越来越高,造成直接经济损失越来越大。以2020年为例,南方梅雨季降水量达759.2 mm,持续时间62天,为1961年以来历史第一位,长江中游洞庭湖和鄱阳湖区均超保证水位。据国家防汛抗旱总指挥部和应急管理部统计数据(国务院新闻办公室,2020)(截至当年8月13日),江淮流域洪涝灾害造成6346万人次受灾、因灾死亡失踪219人,倒塌房屋5.4万间,直接经济损失1789.6亿元,已超过1998年罕见特大洪涝灾害损失1666亿元(长江水利委员会,2016)。洪涝期间,溃堤事件频繁发生,防洪形势十分严峻。如2020年7月8日湖北黄梅县濯港镇出现漫堤溃坝,溃口70 m,淹没稻田20 ha;7月9日江西鄱阳县中洲圩溃堤,溃堤长度170 m,淹没耕地14.74 ha;7月12日安徽安庆怀宁大圩溃堤,淹没耕地1.2 ha;7月14日江西永修县三角联圩溃堤,决口长度约200 m,淹没耕地33.6 ha,2.6万群众受到威胁。

3.3.2 长江中游洪涝灾害影响因素

研究表明,导致长江中游地区洪涝灾害频发的原因有自然淤积和人为筑堤束水、围湖造田等两大因素,但是,近代人为因素逐渐占主导。长江中游江汉平原原本曾是云梦泽大湖,后因大量长江泥沙淤积而逐渐抬高消失,只剩下洪湖等不连续小湖泊。东晋以来长江干堤的修筑并连成一体,切断了长江与江汉平原的联系,造成荆江河道淤积。明清时期长江与江汉湖群和洞庭湖的关系演变为四口分流入洞庭的局面。湘、资、沅、澧等入湖河流和长江四口携沙淤积,造成洞庭湖和鄱阳湖不断淤积抬升,蓄滞洪水的空间遭受严重挤占,进一步抬高洪水水位。

云梦泽、洞庭湖和鄱阳湖等做为长江中游调蓄洪水的天然场所,是长江与长江中游地区河湖协同

演化的客观规律。长江及支流携沙淤积、蓄滞洪水的空间遭受挤占,必然造成水体迁移,沿湖地区洪水肆掠,并进一步抬高洪水水位,或者造成特大洪水爆发的频次。江汉—洞庭平原等的古人类遗址发掘和近2000年来湖区的发展,记录了近5000年以来洪水上涨(周凤琴,1986)和人类逐水而居不断迁移的过程,湖泊面积变化与特大洪水水位及频次密切相关(图14)。

资料显示,1949年长江中下游通江湖泊总面积有17198 km²,如今只剩下洞庭湖和鄱阳湖仍与长江相通,水域总面积约5500 km²。近40多年来,洞庭湖因淤积围垦减少面积1600 km²,减少容量100多亿m³。洞庭湖在唐宋时期号称“八百里洞庭”,水域面积近6000 km²,但是,从19世纪50年代至现在,是洞庭湖在整个历史时期演变最为剧烈、迅速的一个阶段,到20世纪60年代前后面积为4300 km²,至2000年2600 km²,湖泊容积在170亿m³左右,枯季时可低至700~1145 km²的湖面,城陵矶水位在20~27 m,湖泊容积仅在3.4~57亿m³。其根本原因在于藕池、松滋两口的形成,使由荆江排入洞庭湖的泥沙急剧成倍增长,围湖造田则进一步加速了这一湖泊萎缩进程(图15)。

鄱阳湖与洞庭湖类似,建国后鄱阳湖水面面积曾维持在5050 km²,在经历了多次大规模围垦活动后,迄今基本稳定在3425 km²,湖泊容积在350亿m³左右(雷声等,2010;朱鹤等,2019),但是,在最低水位时,湖泊呈“河态”,容积可低至仅2~10亿m³(图16)。2020年7月8日汛期卫星监测显示,鄱阳湖水域面积一度达4403 km²,为近10年最大,比2020年5月27日增大2196 km²(图17),变化十分惊人。

筑堤束水割裂了长江与江汉平原水、沙联系,迟滞了江汉平原的淤积,加速了荆江河床淤积、抬升了荆江洪水水位,使荆江防洪形势日益凶险。大规模围湖造田、阻断通江湖泊天然联系,使洞庭湖和鄱阳湖面积急剧萎缩,极大地减小了长江中游地区洪水调蓄空间。

长江中游地区湖泊萎缩,使绝大多数湖泊失去了与江河的天然水力联系,江(河)湖关系渐呈不和谐状态,湖泊蓄洪能力急剧下降,直接导致洪涝灾害越来越多,洪水水位也越来越高,堤防投入之大也越来越难以承受,引起“洪水一大片,枯水几条线”、

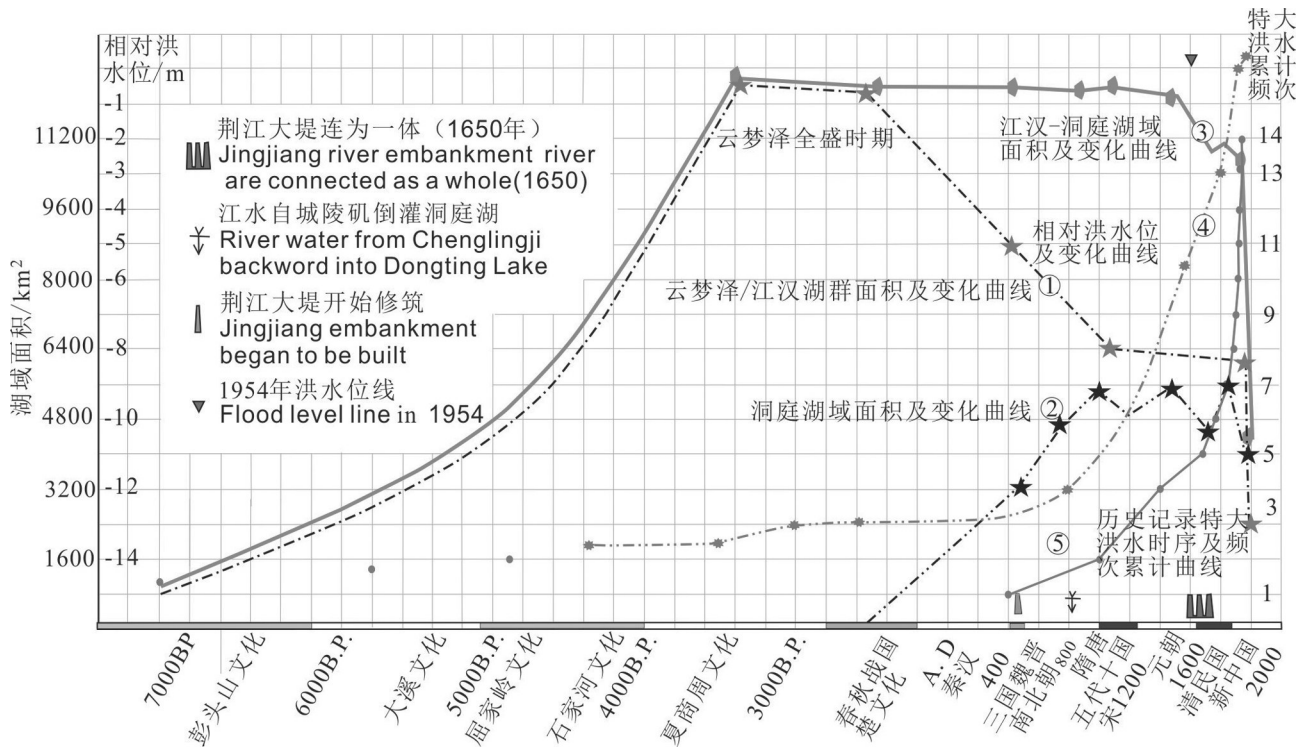


图 14 长江中游江汉-洞庭地区湖泊面积变化与特大洪水水位曲线图(据陈立德,2018 修改)

①—云梦泽/江汉湖群面积及变化曲线;②—洞庭湖面积及变化曲线;③—江汉-洞庭湖面积及变化曲线;④—相对洪水水位及变化曲线;⑤—历史记录特大洪水时序及频次累计曲线;⑥—云梦泽全盛时期

Fig.14 Variation of lake area and extreme flood level in Jiangnan-Dongting area of the middle Reaches of the Yangtze River (modified from Chen Lide, 2018)

①—Area and change curve of Yunmengze/Jiangnan Lake group;②—Area and change curve of Dongting Lake;③—Area and change curve of Jiangnan-Dongting Lake;④—Relative flood level and change curve;⑤—Time series and cumulative frequency curves of historical records of major floods;⑥—Yunmengze in its heyday

“小水大灾,大水更大灾”的被动局面。虽然通过三峡枢纽实行了拦洪、削峰和错峰等措施发挥了极其重要的作用,但是,在复杂多变的气候条件下长江中游地区旱涝灾害形势依旧。

3.4 江湖演化对洪涝灾害防治对策

如何破解周而复始的大洪水灾害?需要采取何种方法或方案才能有效遏制?东晋—明清时期,前人采取的筑堤束水、围湖造田、开穴分流等虽然可以得一时防洪之利,但是却失去整体演化之便,并使防洪形势日益凶险。近年来,不同专家学者提出了防洪和水资源配置(钱正英,1998;李长安等,1999;王浩等,2004;杨桂山,2012;张建云等,2017;姜月华等,2017,2021a,b;Jiang et al.,2018,2021;徐力刚等,2019;夏军和陈进,2021;曹宇贤等,2022)、筑堤修坝或建闸(张双虎等,2011;胡春宏和王延贵,2014;刘易庄等,2020)、不建闸(姜加虎,2017)

等一系列建议和方案,是否有效均有待时间和实践检验。

本次通过对长江演化特别是全新世以来在自然和人为作用下“一江四湖”演变的研究,得到的启示是应对洪涝灾害,必须尊重江湖协同自然演化规律和发展趋势,人给水以出路,水才能给人以生路。因此,在对已有防洪措施反思的基础上,同时基于“洪水和泥沙资源化”的考虑,提出了长江中游地区“再造云梦泽、扩张洞庭湖和鄱阳湖”、“深挖湖沙、清淤改田”洪涝灾害防治的地质建议(图18)。长江中游地区江汉湖群(云梦泽)、洞庭湖和鄱阳湖是长江中游泥沙淤落、洪水调蓄的天然场所,而“再造云梦泽、扩张洞庭湖和鄱阳湖”是尊重长江中游江湖协同演化的自然规律,因势利导,实施主动防洪的最佳选择,也是在现有工程技术条件下的可行方案。

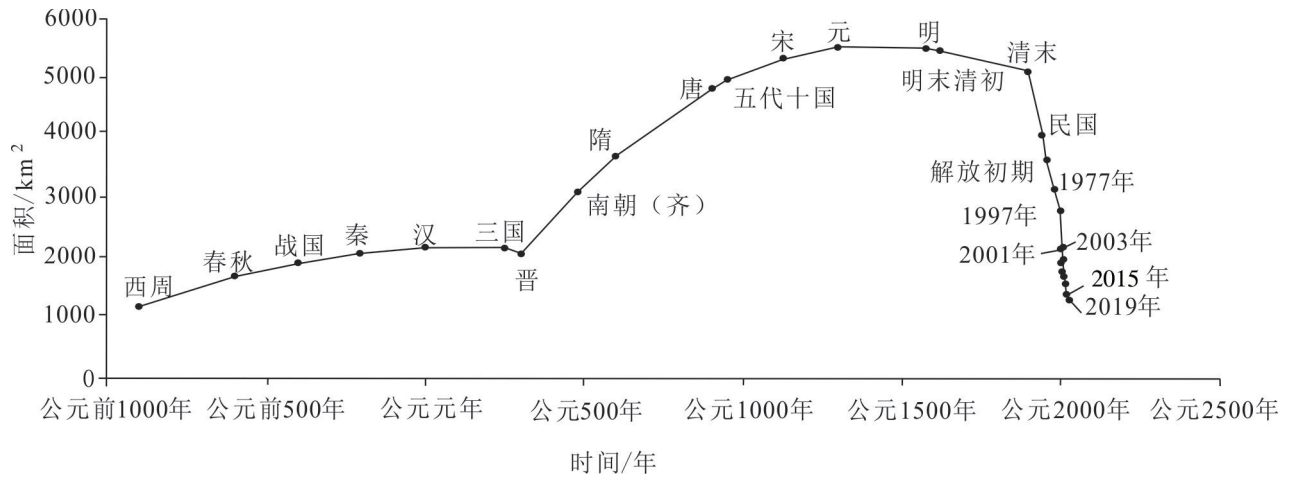


图15 洞庭湖区不同时期水面面积变化曲线图

Fig.15 Variation curves of water surface area in Dongting Lake area in different periods

“再造云梦泽、扩张洞庭湖”。就是在江汉平原“荆州—长湖—监利”即“四湖流域”一线采挖泥沙，形成一个深10~20 m，阔2000 km²的“现代云梦泽”；在东洞庭湖以西、南洞庭湖一带及松虎平原下游，采沙扩湖，增加东洞庭湖和西洞庭湖的面积，加大洞庭湖水深，增加水域面积至4300 km²（陈立德，

2018）。这将使江汉—洞庭平原的面貌为之改观，除增大正常的水域面积之外，可新增蓄滞洪水空间200~400亿m³，将有效地减轻荆江和江汉—洞庭平原防洪压力，武汉、长沙的防洪形势也必将为之改观。“平垸行洪”也因此得以实施，在低洼地区恢复湖泊的本来面貌，湖区周缘的平原经淤高、排水，冷

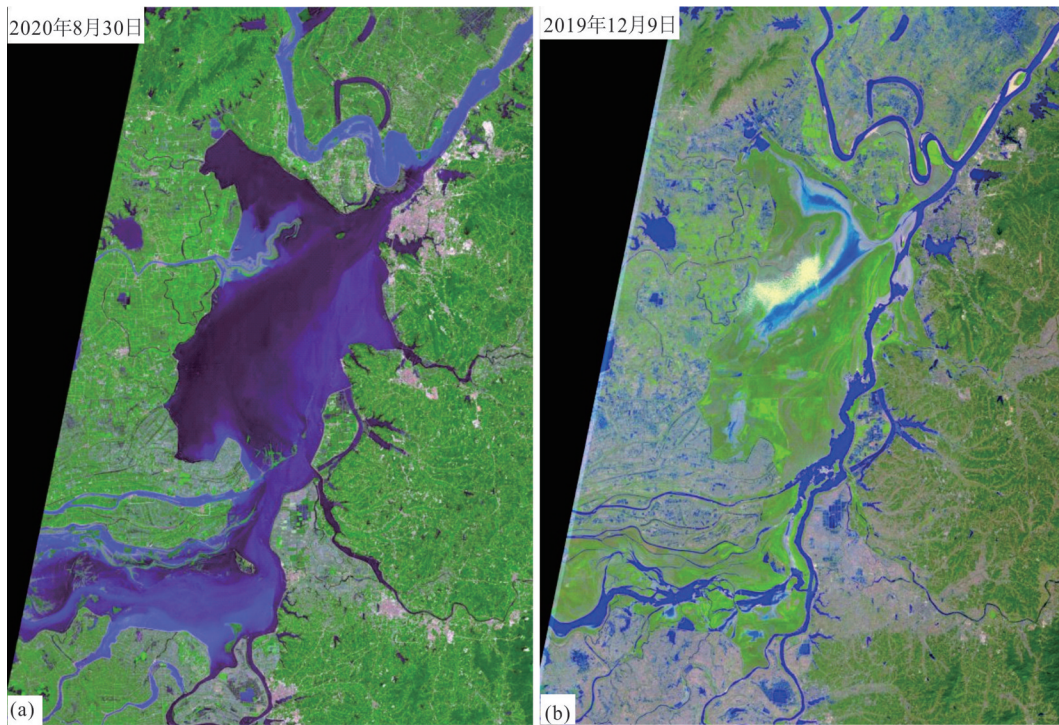


图16 2020年8月3日汛期(a)与2019年12月9日枯水期(b)洞庭湖卫星影像对比(据东风永健, 2020)

Fig.16 Comparison of satellite images of Dongting Lake on August 3, 2020 (flood season, a) and December 9, 2019 (dry season, b) (after Dongfeng Yongjian, 2020)

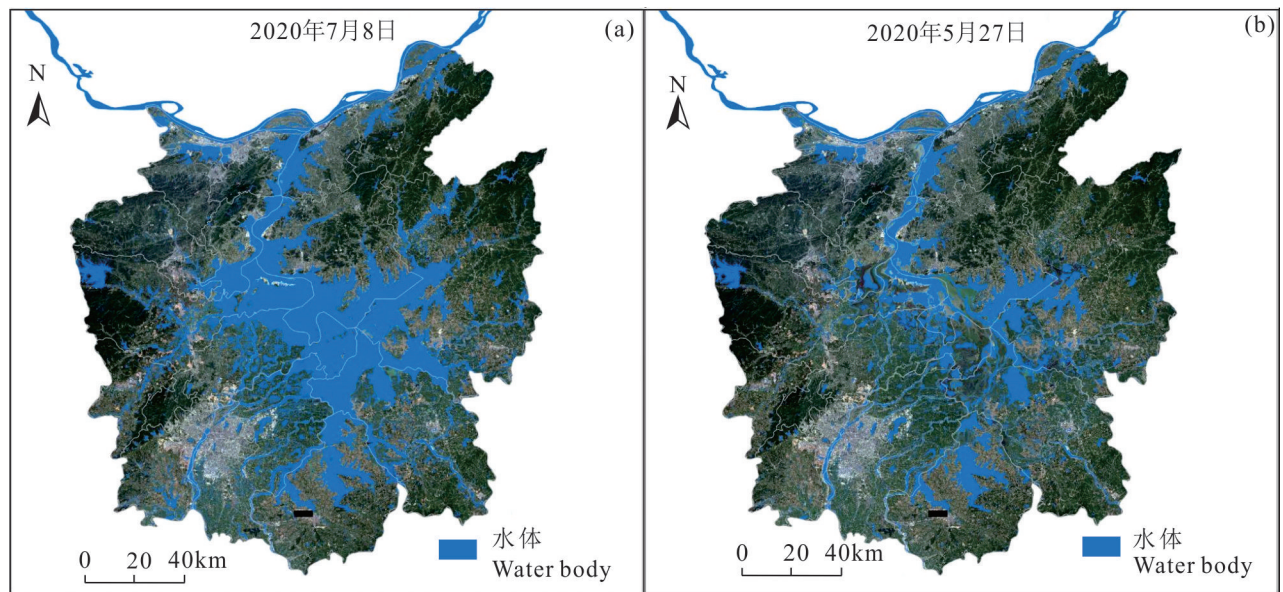


图 17 2020 年鄱阳湖洪涝前(b)后(a)水体面积变化遥感监测对比图(据高吉喜等, 2020)

Fig.17 Comparison of changes in Water area of Poyang Lake before (b) and after (a) flood by remote sensing monitoring in 2020 (after Gao Jixi et al., 2020)

浸田得以改良,人居环境得以极大改善。在江西鄱阳湖地区建议在湖泊中心采砂,深挖第四纪以来松散砂砾石堆积层,增加湖容;在湖泊边滩、心滩浅挖采砂,扩大湿地面积,修复湿地洲滩环境,为湖区生物多样性提供可持续生境空间,恢复湿地功能;在河流入湖口尾间区,适当开采上游河流带入湖区的砂石,疏通行洪,增加湖区上游来水来砂。这样可新增鄱阳湖蓄水空间 100~200 亿 m^3 。

“深挖湖沙、清淤改田”。在采沙的过程中,将沙、粉砂和黏土泵送到堤后附近或规划好的地区,使现有的低洼地、冷浸田、堤垸或规划建设用地淤高 5 m 以上,并逐步扩大清淤改田范围,再造良田,甚至在湖区平原发展旱作农业,提高血防工作效果。淤高的土地或建设现代化农业产业基地,或村镇建设用地,使之免受洪涝威胁,造福湖区。所采部分河沙也可用于建筑材料,可以缓解中国建筑用砂石料市场供需矛盾,实现泥沙资源化,有助于遏制非法采沙,部分解决禁渔带来的 30 万人就业问题。“清淤改田”除利用采沙清淤改田外,也可以考虑洞庭湖四水流域、丹江口下游汉江支流洪水期间,实施堤后放淤,也可以在三峡水库、丹江口水库泄洪排沙时择机使用。

综上所述,“采沙扩湖、清淤改田”是将长江中

游地区洪涝灾害防治纳入人工干预下的江湖演变体系,使原有在堤防干预下的江汉—洞庭—鄱阳湖系统,利用现代科技和工程技术手段,在人工干预下达到新的平衡状态。这是一个漫长过程,甚至可以说是“百年大计、千年大计”,但与现今大堤岁修和防洪、排涝的巨大投入以及重大洪涝灾害造成的经济、社会损失相比,效益非常可观(陈立德, 2018)。同时可以避免在鄱阳湖和洞庭湖湖口兴建水利大坝,可以更好地适应自然并保护生态环境(姜月华等, 2021c; 修连存等, 2021; 周权平等, 2021)。

4 结 论

(1)通过采用冲积扇成因理论、联合沉积相剖面对比法、岩相古地理、夷平面和河流阶地分析、高精度定年技术、阴极发光、电子探针、扫描电镜和遥感等方法,从流域视角剖析了长江中下游沿江砾石层成因、岩相古地理、长江上游三峡夷平面、阶地特征以及云南石鼓大拐弯成因,提出长江续接贯通时间是在距今 75 万年的早、中更新世之交的新认识。指出在早更新世及其以前在沿江及其周缘发育的砾石层具有河流相发育特点,反映的是近源冲积扇沉积环境,不能反映其是经过几千千米搬运后的大

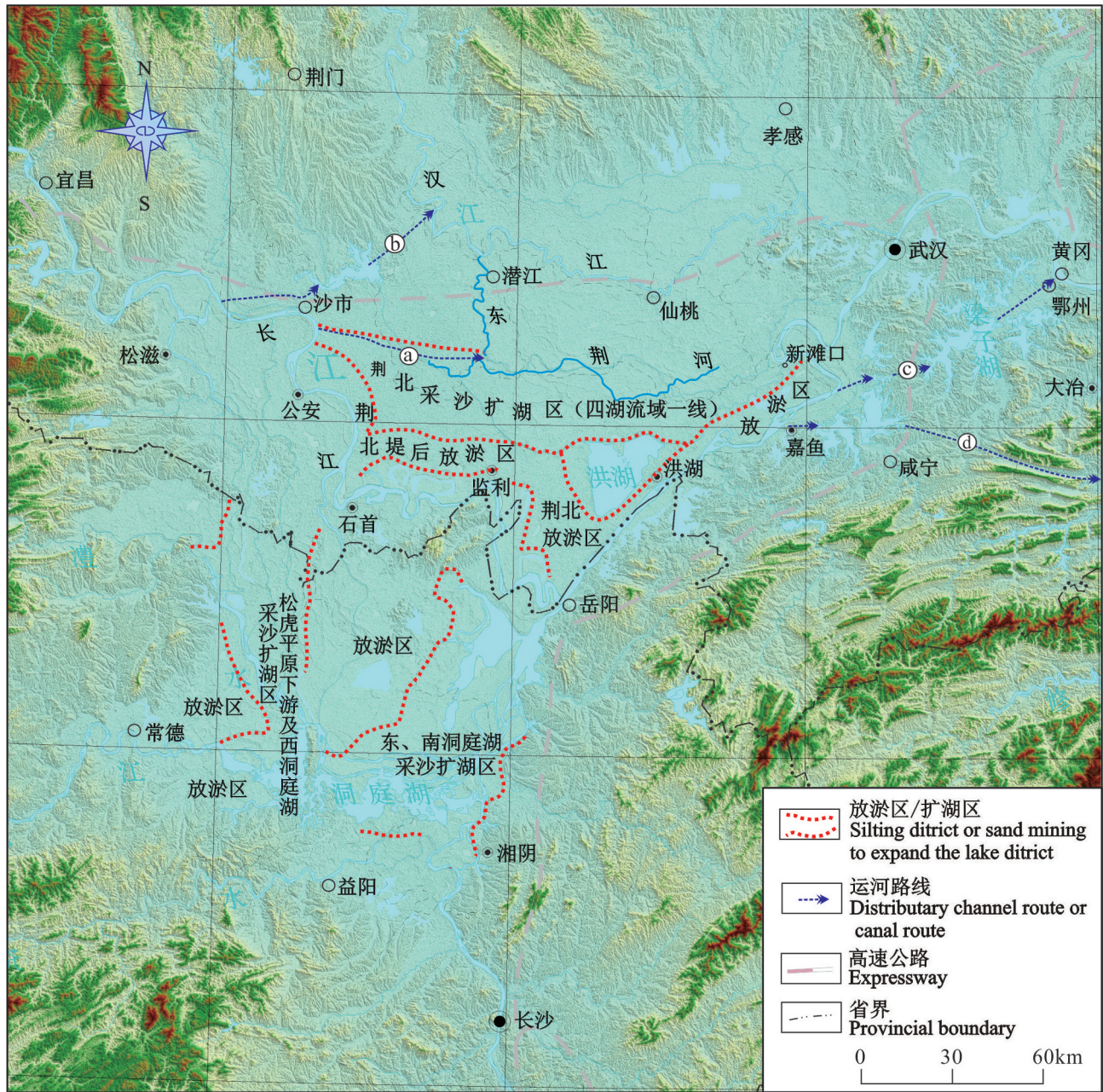


图18 江汉—洞庭平原暨武汉防洪对策建议图

a—荆北分流河道路线; b—双沙运河路线; c—嘉鄂运河线路; d—嘉阳运河线路

Fig.18 Jianghan-Dongting Plain and Wuhan flood control countermeasures

a—Jingbei distributary channel route; b—Shuangsha Canal route; c—Jiae Canal route; d—Jiyang Canal route

河远源沉积产物,中更新世开始发育以细粒沉积物为主体的河湖相沉积,这种状况反映了长江流域早中更新世地质环境的重大调整。

(2)全新世期间,长江中游地区江湖演化最显著的特征就是“一江(长江)四湖(云梦泽、彭蠡泽、洞庭湖和鄱阳湖)”的演化。距今1万年左右,在长

江以北形成“云梦泽”(现江汉平原位置)和“彭蠡泽”(现九江—宿松—望江—彭泽—一线位置)两个大湖,距今7000~5000年期间,两湖发育至鼎盛,此后“云梦泽”逐渐萎缩至目前的洪湖等不连续小湖,“彭蠡泽”萎缩为龙感湖、大官湖和泊湖3个湖泊。距今3000~2000年(西周至春秋战国时期),在长江

以南形成洞庭湖和鄱阳湖两个通江大湖,距今1400~1000年(唐宋时期),洞庭湖和鄱阳湖发育至鼎盛时期,其后,由于自然和人为作用的影响,洞庭湖和鄱阳湖面积总体呈现急剧萎缩状态。

(3)通过对近现代长江中游地区洪涝灾害现状和影响因素的分析,认为长江中游地区汛情多发,洪涝灾害损失巨大,防洪形势越来越严峻,需要引起高度关注。并结合长江演化规律及其对洪涝灾害防治启示,将长江中游地区洪涝灾害防治纳入人工干预下的江湖演变体系,提出了“再造云梦泽、扩张洞庭湖和鄱阳湖”、“采砂扩湖、清淤改田”长江中下游洪涝灾害防治对策建议,研究成果可为长江经济带/长江流域国土空间规划、地质灾害防治和生态环境保护与修复提供基础支撑和理论依据。

(4)提出了下一步相关地质工作建议:一是加强长江中游地区江汉—洞庭—鄱阳湖地区生态地质调查与监测示范。二是进一步加强江湖演化规律研究。三是进一步明确再造“现代云梦泽”、“扩张洞庭湖和鄱阳湖”的区域和采砂(或开挖)范围与深度,制定详细方案进行科学论证,以便更好支撑服务长江中游地区防洪减灾和生态环境保护修复。

注释

①孙健,黄多成,周明全,魏永霞,李志刚. 2010. 安徽省安庆市城市环境地质调查评价报告[R]. 合肥:安徽省地质环境监测总站.

②苏晶文,蔡磊,杨洋,史洪峰,王睿,赵晓丹,赵牧华,董长春,朱春芳. 2020. 皖江城市群综合地质调查报告[R]. 南京:中国地质调查局南京地质调查中心.

③朱锦旗,于军,龚绪龙,姜月华,张岩,梅芹芹,张平,杨磊,刘明遥,毛磊. 2018. 江苏沿海地区综合地质调查报告[R]. 南京:江苏省地质调查研究院.

References

Barbour G B. 1936. Physiographic history of the Yangtze [J]. *The Geographical Journal*, 87(1): 17–32.

Cai Yaojun, Wang Junhuai, Zhu Yunfa, Li Shu. 2010. Study on revolution history and formation environment of the Shigu–Hutiaoxia Section of Jinsha River[J]. *Resources Environment & Engineering*, 24(3): 283–286(in Chinese with English abstract).

Cao Yuxian, Xu Ligang, Fan Hongxiang, Mao Zhiyu, Cheng Junxiang, Wang Dianchang, Wu Yakun. 2022. Impact of climate change and human activities on the changes of ecological flow indicators in the Lake Poyang Basin since 1960s[J]. *Journal of Lake Science*, 34(1): 232–246(in Chinese with English abstract).

Chang H, Li L Y, Molnar P, Niemi N A. 2016. Activation of a Minor Graben and Pull–Apart Basin Just East of Bukadaban during the 2001 Kunlun Earthquake (Mw 7.8) [J]. *Bulletin of Seismological Society of America*, 106 (6): 2922–2926.

Chen Duping, Li Chang'an, Bai Daoyuan, He Yu, Jiang Qisheng, Chen Shuaiqi. 2014. Preliminary discussion on the Quaternary stratigraphic framework of Dongting Basin[J]. *Geological Science and Technology Information*, 33(1): 67–73(in Chinese with English abstract).

Chen Lide, Shao Changsheng. 2014. The subdivision and correlation of the Pleistocene in the Jianghan–Dongting basin: Restudy on the “Baishajing gravel layer” [J]. *Journal of Stratigraphy*, 38(2): 208–219(in Chinese with English abstract).

Chen Lide, Shao Changsheng. 2015. Research on the Pleistocene Yichang gravel bed [J]. *Journal of Stratigraphy*, 39(3): 255–266(in Chinese with English abstract).

Chen Lide, Shao Changsheng. 2016. The Subdivision and Correlation of the Quaternary in the Jianghan–Dongting Basin [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese with English abstract).

Chen Lide. 2018. Flood control strategies of Jingjiang and Jianghan–Dongting areas in the middle reaches of the Yangtze river [J]. *Science and Technology Review*, 36(15): 85–92(in Chinese with English abstract).

Chen Lide. 2019. Division and comparison of the Pleistocene in the Jianghan–Dongting area and Huangguang–Jiujiang area [J]. *Geological Survey of China*, 6(5): 21–27(in Chinese with English abstract).

Chen Peiji. 1979. An outline of palaeogeography during the Jurassic and Cretaceous periods of China—with a discussion on the origin of Yangtze river[J]. *Journal of Peking University*, 15(3): 90–109(in Chinese with English abstract).

Chen Xixiang, Lin Zhongqiu. 1986. Discussion on Yuhuatai formation era[J]. *Journal of Xuzhou Normal University (Natural Science Edition)*, (2):45–50(in Chinese).

Cheng Jie, Liu Xueqing, Gao Zhengji, Tang Dexiang, Yue Jianwei. 2001. Effect of the Tibetan plateau uplifting on geological environment of the Yunnan plateau[J]. *Modern Geology*, 15(3): 290–296(in Chinese with English abstract).

Clark M K, Schoenbohm L M, Royden L H, Whipple K X, Burchfiel B C, Zhang X, Tang W, Wang E, Chen L. 2004. Surface uplift, tectonics, and erosion of eastern Tibet from large–scale drainage patterns [J]. *Tectonics*, 23(TC1006): 1–20.

Clift P D, Blusztajn J, Nguyen A D. 2006. Large–scale drainage capture and surface uplift in eastern Tibet–SW China before 24 Ma inferred from sediments of the Hanoi Basin, Vietnam [J]. *Geophysical Research Letters*, 33(19): L19403.

Credner W. 1932. Observation on Geology and Morphology of Yunnan[M]. Geology Survey of Kwangtung and Kwangshi, Special

- Publications, 10: 1–53.
- Cui Zhijiu, Wu Yongqiu, Liu Gennian, Ge Daokai, Pang Qiqing, Xu Qinghai. 1998. About "Kunlun– Yellow River Movement"[J]. *Science in China (Series D)*, 28 (1): 53–59(in Chinese).
- Deprat J, Mansuy H. 1912. Etude Geologique du Yun– nan Oriental[J]. *Memoires Du Service Geologique De Lindochine*, 1(1): 319–352.
- Ding Wenjiang. 1933. The roaming notes (Twentieth) [J]. *Independent Review*, (83): 117–140(in Chinese).
- Dongfengyongjian. 2020. Satellite image data of Dongting Lake [EB/OL]. https://weibo.com/1481589195/J7d2p599C? type = comment # _rnd1637493929978.
- Fan Daidu, Li Chongxian. 2007. Reviews on researches of timing of the Yangtze draining the Tibetan Plateau to the East China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, (2): 121–131(in Chinese with English abstract).
- Gao Jixi, Zhao Shaohua, Hou Peng. 2020. Advances of remote sensing on ecology and environment in China[J]. *Journal of Geo– information Science*, 22(4): 705– 719(in Chinese with English abstract).
- Gong Shuyi, Chen Guojin. 1997. Evolution of quaternary rivers lakes in the middle reach of the Yangtze river and its effect on environment[J]. *Earth Science—Journal of China University Geosciences*, 22(2): 85–89(in Chinese with English abstract).
- Gu Yansheng, Guan Shuo, Ma Teng, Zhu Zongmin, Liu Hongye, Guo Shen, Yu Shuqi. 2018. Quaternary sedimentary environment documented by borehole stratigraphical records in eastern Jiangnan basin[J]. *Earth Science—Journal of China University Geosciences*, 43(11): 3989–4000(in Chinese with English abstract).
- Guan Zihe, Chai Shuming. 1986. The formation and evolution of Dongting Lake[J]. *Journal of Sediment Research*, (1): 70– 72(in Chinese).
- Guo Shengqiao, Ma Qiunin, Zhang Xiangyun, Gong Xulong. 2013a. Holocene environmental changes in Lixiahe area[J]. *Geology in China*, 40(1): 341–351(in Chinese with English abstract).
- Guo Shengqiao, Zhang Xiangyun, Ge Yun, Gong Xulong, Li Xiangqian, Tan Ying, Wang Maoliang, Zhou Aiguo. 2013a. Study of investigation method for 1:250000 scale regional geological survey in quaternary deep overburden area: a case study of Huaian city[J]. *Journal of Geology*, 37(4): 509– 514(in Chinese with English abstract).
- Han Zhiyong, Li Xusheng, Chen Yinyong, Yang Dayuan. 2009. Evolution of sedimentary environment of Neogene gravel beds near Nanjing[J]. *Quaternary sciences*, 29(2): 361–369 (in Chinese with English abstract).
- He Haosheng, He Kezhao, Zhu Xiangmin, Zhu Zhaoyu. 1989. The capture of the Jinsha river in northwest Yunnan Province—A discussion with Ren Mei'e[J]. *Modern Geology*, 3 (3): 319–330(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Zhoujirong, Yang Yueqing, Huang Dianhao, Lu Qingtian, Tang Shaohua, Yu Jinjie, Wang Haiping, Zhao Jinhua. 2001. Collision– orogenic processes of the Yidun arc in the Sanjiang region: records of granites[J]. *Acta geologica sinica*, 75 (4): 484–497(in Chinese with English abstract).
- Hu Chunhong, Wang Yangui. 2014. Sediment problems and relationship between river and lakes since the operation of Three Gorges project[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 31(5): 107–116(in Chinese with English abstract).
- Hu Chunsheng, Tian Jingmei, He Chenbang, Zhou Yingqiu, Xu Guanglai. 2021. 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*, 41(10): 1862– 1872(in Chinese with English abstract).
- Jia Juntao, Zhen Hongbo, Huang Xiangtong, Wu Fuyuan, Yang Shouye, Wang Ke, He Mengying. 2010a. Detrital zircon U– Pb ages of late Cenozoic sediments from the Yangtze Delta and their implications for the transfixation of the Yangtze River[J]. *Chinese Science Bulletin*, 55(Z1): 350–358(in Chinese).
- Jia Juntao, Zhen Hongbo, Yang Shouye. 2010b. Rock types in Yangtze drainage and their implications for Zircon U–Pb provenance study of Yangtze sediments[J]. *Journal of Tongji University(natural science)*, 38(9): 1375–1380(in Chinese with English abstract).
- Jiang Jiahu. 2017. Debate on dam and sluice construction in Poyang Lake[J]. *Man and the biosphere*, (6): 57(in Chinese).
- Jiang Y H, Lin L J, Chen L D, Ni H Y, Ge W Y, Cheng H X, Zhai G Y, Wang G L, Ban Y Z, Li Y, Lei M T, Tan C X, Su J W, Zhou Q P, Zhang T L, Li Y, Liu H Y, Peng K, Wang H M. 2018. An overview of the resources and environment conditions and major geological problems in the Yangtze River economic zone, China[J]. *China Geology*, 1(3): 435–449.
- Jiang Y H, Cheng H Q, Zhou Q P, Li Y, Yang G Q, Jin Y, Mei S J, Gu X, Zhang H. 2021. Influence of major water conservation projects on river channels and shorelines in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. *Arabian Journal of Geoscience*, 14: 884.
- Jiang Yuehua, Cheng Heqin, Zhou Quanping, Ni Huayong, Jin Yang, Mei Shijia, Zhang Hong, Gu Xuan, Shi Bin, Gu Kai, Wei Guangqing, Li Yun, Yang Guoqiang, Qi Qiuju. 2021b. The influence of major water conservancy projects on the geological environment of channel and shoreline in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. *Geology in China*, 48(6): 1681– 1696(in Chinese with English abstract).
- Jiang Yuehua, Lin Liangjun, Chen Lide, Ni Huayong, Ge Weiya, Cheng Hangxin, Zhai Gangyi, Wang Guiling, Ban Yizhong, Li Yuan, Lei Mingtang, Tan Chengxuan, Su Jingwen, Zhou Quanping, Zhang Taili, Li Yun, Liu Hongying, Peng Ke, Wang Hanmei. 2017. Research on conditions of resources and environment and major geological problems in the Yangtze river economic zone[J].

- Geology in China, 44(6): 1045–1061(in Chinese with English abstract).
- Jiang Yuehua, Ni Huayong, Zhou Quanping, Cheng Zhiyan, Duan Xuejun, Zhu Zhimin, Wu Jichun, Ren Haiyan, Fan Chenzi, Yang Jinwei, Chen Chao, Hu Jian, Wang Xiaolong, Jiang Xiaye, Liu Yongbing, Yang Hai, Guo Wei, Feng Naiqi, Wei Guangqing, Jin Yang, Yang Hui, Liu Lin, Mei Shijia, Zhang Hong, Chen Pengjun, Yuan Jihai, Qi Qiuju, Lü Jinsong, Gu Xuan, Liu Peng. 2021c. Key technology of ecological restoration demonstration in the Yangtze River Economic Zone and its application [J]. *Geology in China*, 48(5): 1305–1333(in Chinese with English abstract).
- Jiang Yuehua, Zhou Quanping, Chen Lide, Ni Huayong, Lei Mingtang, Chen Heqin, Shi Bin, Ma Teng, Ge Weiya, Su Jingwen, Tan Jianming. 2019. Progresses and main achievements of geological environment comprehensive survey project in the Yangtze river economic zone[J]. *Geological Survey of China*, 6(5): 1–20(in Chinese with English abstract).
- Jiang Yuehua, Zhou Quanping, Ni Huayong, Chen Lide, Chen Heqin, Lei Mingtang, Ge Weiya, Ma Teng, Shi Bin, Chen Zhiyan. 2021a. Environmental Geology and Ecological Restoration in the Yangtze River Economic Belt [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Jiang Zhangyan, Wu Yongqiu, Cui Zhijiu. 2005. Kunlun–Yellow river tectonic motion and formation of modern physical geography pattern of China[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 41(1): 85–88(in Chinese with English abstract).
- Kong Ping. 2009. When the Jinsha river began to flow east[J]. *Geological Science*, 44(4): 1256–1265(in Chinese with English abstract).
- Lai Hongzhou, Mo Duowen, Li Xinpo. 2005. Research on the Quaternary laterite and paleoclimate in the Dongting basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23(1): 130–137(in Chinese with English abstract).
- Lee C Y. 1934. The development of the upper Yangtze valley [J]. *Bulletin of the Geological Society of China*, 3(1): 107–118.
- Lei Sheng, Zhang Xiuping, Xu Xinfa. 2010. Remote sensing based analysis and dynamic monitoring on area and storage of Boyang lake [J]. *Water Conservancy and Hydropower Technology*, 41(11): 83–86(in Chinese with English abstract).
- Li Changan, Yin Hongfu, Chen Dexing. 1999. Problems and strategies for flood control of middle reaches of Yangtze river: Reflection on catastrophic flood of Yangtze river in 1998[J]. *Earth Science—Journal of China University Geosciences*, 24(4): 4–9(in Chinese with English abstract).
- Li Chensan. 1956. Development history of Yangtze river [J]. *Yangtze River*, (12): 3–6(in Chinese).
- Li Chunyu. 1933. The development of the upper Yangtze river valley[J]. *Chinese Geological Association*, (3): 107–119(in Chinese).
- Li Huayong, Ming Qingzhong. 2011. A review and discussion of river valley–water system evolution in Shigu–Yibin, Jinsha river [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 27(2): 50–54(in Chinese with English abstract).
- Li J, Xie S, Kuang M. 2001. Geomorphic evolution of the Yangtze Gorges and the time of their formation [J]. *Geomorphology*, 41: 125–135.
- Li Jijun, Fang Xiaoming, Pan Baotian, Zhao Zhijun, Song Yougui. 2001. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai–Xizang plateau and its impacts on environments in surrounding area[J]. *Quaternary Sciences*, 21(5): 381–391(in Chinese with English abstract).
- Li Liwen. 1999. Discovery and its significance of psaroniue sp. – bearing fossil in the gravel layer of Yuhuatai Formation[J]. *Journal of Geology*, 23(3): 151–155(in Chinese with English abstract).
- Li Siguang. 1924. The geology of the East Three Gorges and the history of the Yangtze river[J]. *Chinese Geological Association*, 3(3/4): 351–391(in Chinese).
- Liu Yizhuang, Yang Shuqing, Jiang Cangsheng, Long Yuannan, Deng Bin, Liu Huying. 2020. Application simulation of a new flood control and disaster reduction scheme to Dongting Lake[J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 31(6): 132–137(in Chinese with English abstract).
- Mei Hui, Li Changan, Yang Yong, Qi Guofan, Kang Chunguo. 2009. Sedimentary environment of gravel bed in Yangluo town in the middle reaches of Yangtze river[J]. *Quaternary Sciences*, 29(2): 370–379(in Chinese with English abstract).
- Miao Qiaoyin, Zhang Ping, Pan Mingbao, Feng Wenli, Gao Bingfei, Zhang Dalian. 2019. Evolution characteristics of Neogene sedimentary environment and the Yangtze river channel, Jiangsu Province[J]. *Shanghai Land & Resources*, 40(3): 59–66(in Chinese with English abstract).
- Miao Qiaoyin, Zhu Zhiguo, Chen Huogen, Zong Kaihong, Luo Ding, Wu Jianqiang, Pan Mingbao. 2017. 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*, 38(3): 175–183(in Chinese with English abstract).
- Ming Qingzhong, Shi Zhengtao, Dong Ming. 2007. The origin and formation age of Yangtze river first bend [J]. *Progress in Geography*, 26(3): 119–126(in Chinese with English abstract).
- Qian Zhengying. 1998. Some understanding of the 1998 Yangtze River flood [J]. *China Water Resources*, (12): 4–7(in Chinese).
- Ren Mei'e, Bao Haosheng, Han Tongchun, Wang Feiyan, Huang Peihua. 1959. The valley landscape and ravage of Jinsha river in northwest Yunnan Province [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 23(2): 135–155(in Chinese with English abstract).
- Richardson N J, Densmore A L, Seward D. 2010. Did incision of the Three Gorges begin in the Eocene? [J]. *Geology*, 38(2): 551–554.
- Shen Yuchang. 1965. Topography of the Upper Yangtze River Valley [M]. Beijing: Science Press(in Chinese).

- Shi Zhengtao, Ming Qingzhong, Dong Ming. 2006. The origin of Yangtze river first bend [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 18 (3): 1–6(in Chinese with English abstract).
- State Council Information Office. 2020. This year's floods caused a direct economic loss of 178.96 billion yuan[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1674900914414810116&wfr=pider&for=pc>.
- Su Huai, Ming Qingzhong, Pan Baotian, Gao Hongshan, Zhang Wenxiang, Dong Ming, Shi Zhengtao. 2013. Analysis and discussion on the chronological framework of Jinsha river valley– water system development [J]. Journal of Mountain Science, 31(6): 685–692(in Chinese with English abstract).
- Tan Qixiang. 1980. Yunmeng and Yunmengze[J]. Fudan Journal (Social Science Edition), (S1): 1–11(in Chinese).
- Tao Yaling, Chang Hong. 2017. River geomorphic evolution connected to tectonics around the first bend of Yangtze river[J]. Advances in Earth Science, 32(5): 488–501(in Chinese with English abstract).
- Tian Lingjun, Li Pingzhong, Luo Ying. 1996. The Development History of the Three Gorges Valley[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press(in Chinese).
- Tong Qianming. 2004. Shift of silt from Jingjiang course of Yangtze river and flood control of Dongting lake[J]. Science and technology management of land resources, 21(3): 19– 25(in Chinese with English abstract).
- Wang Hao, Wang Jianhua, Qing Dayong. 2004. Research advances and direction on the theory and practice of reasonable water resources allocation[J]. Advances in Water Science, 15(1): 123– 128(in Chinese with English abstract).
- Wang Huiying, Tong Kangyi, Hu Gang, Wang Ping, Li Dehong, Huang Jianwei, Cao Guirong, Zhang Jiafu, Chen Jie. 2021. Dam and megafloods at the First Bend of the Yangtze River since the last glacial maximum[J]. Geomorphology, 373: 107491.
- Wei Chuanyi, Liu Chunru, Li Changan, Yi Gongming, Han Fei, Zhang Dan, Li Yawei, Zhang Yufen. 2020. ESR ages of quartz Ti– Li cores in Yichang gravel beds and their implications for the interpenetrating time of the Three Gorges[J]. Seismology and Geology, 42(1): 65–78(in Chinese with English abstract).
- Wills B, Blackwelder E, Sargent R H. 1907. Research in China [M]. Washington: Press of Gibson Brothers, 278–339.
- Wu Genyao. 1992. The modes and mechanism of quaternary fault movement in Lijiang– Dali area northwestern Yunnan and their influence on environment [J]. Quaternary Sciences, (3): 265–276 (in Chinese with English abstract).
- Wu Zhonghai, Zhou Chunjing, Huang Xiaolong, Zhao Genmo, Tan Chengxuan. 2020. Main active faults and seismic activity along the Yangtze River Economic Belt: Based on remote sensing geological survey[J]. China Geology, 3(2): 314–338.
- Xia Jun, Chen Jin. 2021. Flood control strategy in the new era from the perspective of prevention of Yangtze River Flood in 2020 [J]. Science in China (Series D), 51(1): 27–34(in Chinese).
- Xia Shufang, Kang Yuyi. 1981. The preliminary study on the age of the Yuhuatai Formation[J]. Geological Review, 27(1): 34– 37(in Chinese with English abstract).
- Xiang Fang, Wang Chengshan, Li Guozhong, Zhu Lidong, Li Yongzhao, Jiang Ping. 2006. Character of heavy minerals in Quaternary sediments in Yichang area and its relationship with cut– through of the Yangtze Three Gorges, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Natural Science Edition), 33 (2): 117–121(in Chinese with English abstract).
- Xiang Fang, Yang Dong, Tian Xing, Li Zhihong, Luo Lai. 2011. LAICP– MS U– Pb geochronology of zircons in the Quaternary sediments from the Yichang Area of Hubei Province and its provenance significance [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 31(2): 106–114(in Chinese with English abstract).
- Xiang Fang, Zhu Lidong, Wang Chengshan, Li Yongzhao, Yang Wenguang. 2005. Terraceage correlation and significance in research of Yangtze Three Gorges, China [J]. Journal of Chengdu university of technology(Natural Science Edition), 32 (2): 162–166 (in Chinese with English abstract).
- Xiu Liancun, Zheng Zhizhong, Yang Bin, Yin Liang, Gao Yang, Jiang Yuehua, Huang Yan, Zhou Quanping, Shi Jianlong, Dong Jinxin, Chen Chunxia, Liang Sen, Yu Zhengkui. 2021. Application of airborne hyperspectral imaging technology to the ecological environment protection of Jiangsu, Anhui and Zhejiang Provinces at Yangtze River Economic Belt[J]. Geology in China, 48(5): 1334–1356(in Chinese with English abstract).
- Xu Ligang, Lai Xijun, Wan Rongrong, Wang Xiaolong, Li Xianghu. 2019. Review of the development of lake wetlands eco–hydrology and case studies [J]. Progress in Geography, 38(8): 1171–1181(in Chinese with English abstract).
- Xu Zhonglu, Li Xingjian. 1982. The the causes of Hongwen– Jianchuan– Diannan rift valley and Jinsha river's capture problem[J]. Journal of Geographical Sciences, 37(3): 325–334(in Chinese with English abstract).
- Yang Dayuan. 1986. On the evolution of the Dongting lake during Holocene and the way of management[J]. Geographical Research, 5 (3): 39–46(in Chinese with English abstract).
- Yang Dayuan. 2006. Geomorphic Process of Yangtze River [M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Yang Guishan. 2012. The basic situation of Yangtze River water problem and its causes and prevention and control strategies[J]. Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 21(7): 821–930(in Chinese with English abstract).
- Yang Huairan, Tang Richang. 1999. Study on the Evolution of the Jingjiang River in the Middle Reaches of the Yangtze River [M]. Beijing: China Water and Power Press(in Chinese).
- Yang Huairan, Xu Xin, Yang Dayuan, Huang Jiazhu. 1997. Environmental Changes and Terrestrial Ecosystems in the Middle

- and Lower Reaches of the Yangtze River [M]. Nanjing: Hohai University Press(in Chinese).
- Yang Jian, Li Changan, N'djidit J D. 2014. Emeishan basalts as provenance indicators: implications for formation of the Three Gorges [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 39(4): 431–442 (in Chinese with English abstract).
- Yang Qingxiang, Tian Wangxue, Li Qiwen, Kong Lingyao. 2016. The neotectonic restricts to Quaternary deposition environment evolution of Jiangnan basin[J]. *Journal of Geomechanics*, 22(3): 631–641(in Chinese with English abstract).
- Yangtze River Water Resources Commission. 2016. The direct economic loss of the Yangtze River basin due to floods this year exceeded 160 billion yuan [EB/OL]. <http://hb.sina.cn/news/2016-12-13/detail-ifxyipt1154630.d.html>.
- Ye Liangfu, Xie Jiarong. 1925. Structural geology and geological history of the Yangtze eastward from Wushan [J]. *Geological Report*, (7): 69–70(in Chinese).
- You Wenzhi, Xiang Fang, Yang Kunmei, Jiang Yuehua, Yu Xiantao, Li Lei. 2021. Implication of iron-rich heavy minerals in Quaternary sediments in Yichang area of Hubei Province for cutting-through time of Three Gorges[J]. *Journal of Palaeogeography*, 23(4): 855–870(in Chinese with English abstract).
- Yu Zhenjiang, Liang Xiaohong, Zhang Yuping, Wang Renhua. 2006. The sequences and age of the Neogene strata in the Nanjing area, in China[J]. *Journal of Stratigraphy*, 30(3): 223–230(in Chinese with English abstract).
- Yuan Fuli. 1957. A supplementary study on the development history of the Yangtze river[J]. *Yangtze River*, (2): 1–9(in Chinese).
- Zeng Pusheng. 2002. Relationship between magmatic activity and formation of the first bend of Yangtze river in northwestern Yunnan[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 57(3): 310–316(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jianyun, Wang Yintang, Liu Cuishan, He Ruimin. 2017. Discussion on the standards of urban flood and waterlogging prevention in China[J]. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 36(1): 1–6(in Chinese with English abstract).
- Zhang Shuanghu, Jiang Yunzhong, Liu Xiaozhi, Wang Hao. 2011. Study on dispatching of water control project in Poyang lake and its influence on water resources and flood control[J]. *Journal of China institute of Water Resources and Hydropower Research*, 9(4): 257–261(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiangyun, Lou Zhiping, Fan Diefu, Jiang Menglin, Shao Jiayi. 2003. Sandy gravel sequence in Neogene in Nanjing and Yizheng area and genesis and evolution of the old Yangtze river[J]. *Jiangsu Geology*, 27(3): 140–147(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xinbao, Liu Yu, Hu Kaiheng, Hu Chuanhui, Dai Bin, Liu Weiming. 2020. Geological implication of the Jinsha river flowing eastward, ancient dammed lake deposition, and Quaternary riverrevolution in China[J]. *Mountain research*, 38(6): 805–815(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xinbao, Liu Yu, Wang Shiming, Xue Wenxuan. 2018. On the chronology for the Yellow rivers and Yangtze rivers[J]. *Mountain Research*, 36(5): 661–668(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiugui. 1980. The evolution of Yunmengze and the formation of lower Jingjiang River Bend[J]. *Fudan Journal (Social Science Edition)*, 24(2): 40–48(in Chinese).
- Zhang Yong, Zhang Yufen, Li Changan, Li Ting, Lei Wenda. 2009. Magnetic properties of the gravel layers in Yichang area and their provenance[J]. *Quaternary Sciences*, 29(2): 380–386(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yufen, Li Changan, Shao Lei, Kang Chunguo, Zhou Yao. 2012. Advances and prospects on the Yuhuatai gravel layer near Nanjing[J]. *Earth Science Frontiers*, 19(4): 284–290(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yufen, Li Changan, Wang Qiuliang. 2008. Magnetic characteristics of sediments in jiangnan Plain and their implications for the connection of the Three Gorges of the Yangtze River [J]. *Chinese Science Bulletin*, 53(5): 577–582(in Chinese).
- Zhang Junfeng, Zhai Gangyi, Wang Daming, Bao Shujing, Chen Ke, Li Haohan, Song Teng, Wang Peng, Zhou Zhi. 2020. Tectonic evolution of the Huangling dome and its control effect on shale gas preservation in the north margin of the Yangtze Block, South China [J]. *China Geology*, 3(1): 28–37.
- Zhao Fengqing, Zhao Wenping, Zuo Yicheng, Li Zonghui. 2006. Zircon U–Pb ages of the mignatites from Kongling complex[J]. *Geological Survey and Research*, 29(2): 81–85(in Chinese with English abstract).
- Zhao Xiaoming, Li Changan, Wang Kongwei. 2012. Basic Geology and Geological Hazards in Chongqing Section [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- Zhao Xitao, Hu Daogong, Zhang Yongshuang. 2008. Genesis and age and the gravels underlying Xigeda formation of Panzhihua, Sichuan, China, and valley development of ancient Jinsha river[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(1): 1–12(in Chinese with English abstract).
- Zhao Xitao, Qu Yongxin, Li Tiesong. 1999. Pleistocene glaciations along the east foot of the Yulong mountains[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 21(3): 242–248(in Chinese with English abstract).
- Zhao Xitao, Qu Yongxin, Zhang Yongshuang, Hu Daogong, Guo Changbao. 2007. The discovery of Shigu ancient lake and its significance in the development of modern Jinsha river valley in Lijiang area of northwestern Yunnan [J]. *Geological Bulletin of China*, 26(8): 960–969(in Chinese with English abstract).
- Zhao Xitao, Wu Zhonghai, Feng Yuyong, Zhang Yongshuang, Hu Daogong, Qu Yongxin, Guo Changbao. 2015. The first bend valley landforms, sediments and development[J]. *Geological Bulletin of China*, 34(1): 83–103(in Chinese with English abstract).

- Zhao Xitao, Zhang Yongshuang, Hu Daogong, Qu Yongxin. 2006. The discovery of Jinsha river gravel layer and its significance in Daju basin of Lijiang area, Yunnan Province[J]. Geological Bulletin of China, 25(12): 1381–1386(in Chinese with English abstract).
- Zheng H, Clift P D, He M, Bian Z, Jourdan F. 2021. Formation of the first bend in the late Eocene gave birth to the modern Yangtze River, China[J]. Geology, 49 (1): 35–39.
- Zheng Hongbo, Guo Zhengtang, Deng Tao. 2014. Evolution of topography, drainage and biogeography in East Asia during the Cenozoic: Summary of the Third Conference on Earth System Science[J]. Advances in Earth Science, 29(11): 1280–1286 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Hongbo, Wei Xiaochun, Wang Ping, He Mengying, Luo Chao, Yang Qing. 2017. Geological evolution of the Yangtze river[J]. Scientia Sinica Terrae, 47(4): 385–393(in Chinese).
- Zheng Yuerong, Li Yong. 2009. Study on initial formation time of Three Gorge region in the Yangtze aquo-system[J]. Journal of Sichuan Normal University (Natural Science), 32(6): 808–811(in Chinese with English abstract).
- Zhou Fengqing. 1994. Historical evolution of Yunmeng marsh and Jingjiang delta[J]. Journal of Lake Sciences, 6(1): 22–32 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Hongwei. 2012. New understanding of Yunmeng problem[J]. Historical Research, 9(2): 4–26(in Chinese).
- Zhou Quanping, Zhang Pengbin, Xue Tengfei, Jiang Yuehua, Guo Lin, Yang Ranran. 2021. Ecological environment changes in Yangtze River Economic Zone in recent 20 years[J]. Geology in China, 48 (4): 1127–1141(in Chinese with English abstract).
- Zhu He, Huang Shifeng, Yang Kun, Yang Yongmin, Li Rong. 2019. Remote sensing monitoring and analysis of Poyang Lake changes in recent 50 years[J]. Satellite Applications, 10(11): 29–35 (in Chinese).
- Zhu Jiang, Zhang Zhaochong, Hou Tong, Kang Jianli. 2011. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of tuffs on the uppermost of the Emeishan basalt succession in Panxian county, Guizhou province: Constraints on genetic link between Emeishan large igneous province and the mass extinction[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(9): 2743–2751(in Chinese with English abstract).
- Zhu Jinqi. 2018. Atlas of Geological Resources and Environment of Jiangsu Coastal Zone[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- 蔡耀军, 王军怀, 朱云发, 李书. 2010. 金沙江石鼓一虎跳峡河段演化史及形成环境研究[J]. 资源环境与工程, 24(3): 283–286.
- 曹宇贤, 徐力刚, 范宏翔, 毛智宇, 程俊翔, 王殿常, 吴亚坤. 2022. 1960年以来气候变化与人类活动对鄱阳湖流域生态径流改变的影响[J]. 湖泊科学, 34(1): 232–246.
- 长江水利委员会. 2016. 洪涝灾害致长江流域今年直接经济损失逾1600亿元 [EB/OL]. <http://hb.sina.cn/news/2016-12-13/detail-ixypipt1154630.d.html>.
- 陈渡平, 李长安, 柏道远, 何禹, 蒋启生, 陈帅奇. 2014. 洞庭盆地第四纪地层格架初拟[J]. 地质科技情报, 33(1): 67–73.
- 陈立德, 邵长生. 2014. 江汉—洞庭盆地地下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, 38(2): 208–219.
- 陈立德, 邵长生. 2015. 宜昌地区更新世砾石层研究 [J]. 地层学杂志, 39(3): 255–266.
- 陈立德, 邵长生. 2016. 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.
- 陈立德. 2018. 长江中游荆江和江汉——洞庭地区防洪减灾策略 [J]. 科技导报, 36(15): 85–92.
- 陈立德. 2019. 江汉—洞庭地区与黄广—九江地区更新统划分与对比 [J]. 中国地质调查, 6(5): 21–27.
- 陈丕基. 1979. 中国侏罗、白垩纪古地理轮廓——兼论长江的起源[J]. 北京大学学报, 15(3): 90–109.
- 陈希祥, 林仲秋. 1986. 雨花台形成时代研讨[J]. 徐州师范学院学报 (自然科学版), (2): 45–50.
- 程捷, 刘学清, 高振纪, 唐德翔, 岳建伟. 2001. 青藏高原隆升对云南高原环境的影响[J]. 现代地质, 15(3): 290–296.
- 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 葛道凯, 庞其清, 许清海. 1998. 关于“昆仑—黄河运动”[J]. 中国科学(D辑), 28 (1): 53–59.
- 丁文江. 1933. 漫游散记(二十) [J]. 独立评论, (83): 117–140.
- 东风永健. 2020. 洞庭湖卫星影像资料[EB/OL]. https://weibo.com/1481589195/J7d2p599C?type=comment#_rnd1637493929978.
- 范代读, 李从先. 2007. 长江贯通时限研究进展[J]. 海洋地质与第四纪地质, 27(2): 121–131.
- 高吉喜, 赵少华, 侯鹏. 2020. 中国生态环境遥感四十年[J]. 地球信息科学学报, 22(4): 705–719.
- 龚树毅, 陈国金. 1997. 长江中游地区第四纪河湖演变及其对环境的影响[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 22(2): 85–89.
- 顾延生, 管硕, 马腾, 朱宗敏, 刘红叶, 郭森, 余舒琪. 2018. 江汉盆地东部第四纪钻孔地层与沉积环境[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 43(11): 3989–4000.
- 官子和, 蔡述明. 1986. 洞庭湖的形成与演变[J]. 泥沙研究, (1): 70–72.
- 郭盛乔, 马秋斌, 张祥云, 葛云, 龚绪龙. 2013a. 里下河地区全新世自然环境变迁 [J]. 中国地质, 40(1): 341–351.
- 郭盛乔, 张祥云, 葛云, 龚绪龙, 李向前, 谈迎, 王茂亭, 周爱国. 2013b. 1:25万区调中第四系深覆盖区野外工作方法研究——以淮安市幅为例 [J]. 地质学刊, 37(4): 509–514.
- 国务院办公厅. 2020. 今年洪涝灾害造成直接经济损失1789.6亿元 [EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1674900914414810116&wfr=spider&for=pc>.
- 韩志勇, 李徐生, 陈英勇, 杨达源. 2009. 南京地区新近纪砂砾层的沉积环境演变[J]. 第四纪研究, 29(2): 361–369.
- 何浩生, 何科昭, 朱祥民, 朱照宇. 1989. 滇西北金沙江河流袭夺的研究——兼与任美镔先生商榷[J]. 现代地质, 3(3): 319–330.
- 侯增谦, 曲晓明, 周继荣, 杨岳清, 黄典豪, 吕庆田, 唐绍华, 余今杰,

附中文参考文献

- 蔡耀军, 王军怀, 朱云发, 李书. 2010. 金沙江石鼓一虎跳峡河段演化史及形成环境研究[J]. 资源环境与工程, 24(3): 283–286.
- 曹宇贤, 徐力刚, 范宏翔, 毛智宇, 程俊翔, 王殿常, 吴亚坤. 2022. 1960年以来气候变化与人类活动对鄱阳湖流域生态径流改变的影响[J]. 湖泊科学, 34(1): 232–246.
- 长江水利委员会. 2016. 洪涝灾害致长江流域今年直接经济损失逾

- 王海平,赵金花. 2001. 三江地区义敦岛弧碰撞造山过程: 花岗岩记录[J]. 地质学报, 75(4): 484-497.
- 胡春宏,王延贵. 2014. 三峡工程运行后泥沙问题与江湖关系变化[J]. 长江科学院院报, 31(5): 107-116.
- 胡春生,田景梅,何成邦,周迎秋,徐光来. 2021. 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, 41(10): 1862-1872.
- 贾军涛,郑洪波,黄湘通,吴福元,杨守业,王可,何梦颖. 2010a. 长江三角洲晚新生代沉积物碎屑锆石U-Pb年龄及其对长江贯通的指示[J]. 科学通报, 55(Z1): 350-358.
- 贾军涛,郑洪波,杨守业. 2010b. 长江流域岩体的时空分布与碎屑锆石物源示踪[J]. 同济大学学报(自然科学版), 38(9): 1375-1380.
- 姜加虎. 2017. 鄱阳湖筑坝建闸中的争论[J]. 人与生物圈, (6): 57.
- 姜月华,林良俊,陈立德,倪化勇,葛伟亚,成杭新,翟刚毅,王贵玲,班宜忠,李媛,雷明堂,谭成轩,苏晶文,周权平,张泰丽,李云,刘红樱,彭柯,王寒梅. 2017. 长江经济带资源环境条件与重大地质问题[J]. 中国地质, 44(6):1045-1061.
- 姜月华,倪化勇,周权平,陈立德,程和琴,雷明堂,葛伟亚,马腾,施斌,程知言. 2021a. 长江经济带环境地质和生态修复[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 姜月华,倪化勇,周权平,程知言,段学军,朱志敏,吴吉春,任海彦,范晨子,杨晋炜,陈超,胡建,王晓龙,姜夏焯,刘永兵,杨海,郭威,冯乃琦,魏广庆,金阳,杨辉,刘林,梅世嘉,张鸿,陈彭军,袁继海,齐秋菊,吕劲松,顾轩,刘鹏. 2021c. 长江经济带生态修复示范关键技术及其应用[J]. 中国地质, 48(5): 1305-1333.
- 姜月华,周权平,陈立德,倪化勇,雷明堂,程和琴,施斌,马腾,葛伟亚,苏晶文,李云,谭建民. 2019. 长江经济带地质环境综合调查工程进展与主要成果[J]. 中国地质调查, 6(5): 1-20.
- 姜月华,程和琴,周权平,倪化勇,金阳,梅世嘉,张鸿,顾轩,施斌,顾凯,魏广庆,李云,杨国强,齐秋菊. 2021b. 重大水利工程对长江中下游干流河槽和岸线地质环境影响研究[J]. 中国地质, 48(6): 1681-1696.
- 江樟焰,伍永秋,崔之久. 2005. “昆仑-黄河运动”与我国自然地理格局的形成[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 41(1): 85-88.
- 孔屏. 2009. 金沙江何时开始向东流[J]. 地质科学, 44(4): 1256-1265.
- 来红州,莫多闻,李新坡. 2005. 洞庭盆地第四纪红土地层及古气候研究[J]. 沉积学报, 23(1):130-137.
- 雷声,张秀平,许新发. 2010. 基于遥感技术的鄱阳湖水体面积及累积动态监测与分析[J]. 水利水电技术, 41(11): 83-86.
- 李承三. 1956. 长江发育史. 人民长江, (12): 3-6.
- 李春昱. 1933. 扬子江上游河谷之发展[J]. 中国地质学会志, (3): 107-119.
- 李华勇,明庆忠. 2011. 金沙江石鼓一宜宾段河谷-水系演化研究综述与讨论[J]. 地理与地理信息科学, 27(2): 50-55.
- 李吉均,方小敏,潘保田,赵志军,宋友桂. 2001. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. 第四纪研究, 21(5): 381-391.
- 李立文. 1999. 雨花台砾石层内含辉木砾石的发现及其意义[J]. 地质学刊, 23(3):151-155.
- 李四光. 1924. 峡东地质及峡谷发育[J]. 中国地质学会志, 3(3/4): 351-391.
- 李长安,殷鸿福,陈德兴. 1999. 长江中游的防洪问题和对策—1998年长江特大洪灾的启示[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 24(4): 4-9.
- 刘易庄,杨树清,蒋昌波,隆院男,邓斌,刘虎英. 2020. 新型防洪减灾措施在洞庭湖中的模拟应用研究[J]. 水资源与水工程学报, 31(6): 132-137.
- 梅惠,李长安,杨勇,齐国凡,康春国. 2009. 长江中游阳逻砾石层沉积环境分析[J]. 第四纪研究, 29(2): 370-379.
- 苗巧银,张平,潘明宝,冯文立,高丙飞,张大莲. 2019. 江苏省新近纪沉积环境演化特征与长江古河道变迁探讨[J]. 上海国土资源, 40(3): 59-66.
- 苗巧银,朱志国,陈火根,宗开红,骆丁,武健强,潘明宝. 2017. 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, 38(3): 175-183.
- 明庆忠,史正涛,董铭. 2007. 长江第一弯成因及形成时代探讨[J]. 地理科学进展, 26(3):119-126.
- 钱正英. 1998. 对1998年长江洪水的一些认识[J]. 中国水利, (12): 4-7.
- 任美镠,包浩生,韩同春,王飞燕,黄培华. 1959. 云南西北部金沙江河谷地貌与河流袭夺问题[J]. 地理学报, 25(2): 135-155.
- 沈玉昌. 1965. 长江上游河谷地貌[M]. 北京: 科学出版社.
- 史正涛,明庆忠,董铭. 2006. 长江第一湾成因新探[J]. 云南地理环境研究, 18(3):1-6.
- 苏怀,明庆忠,潘保田,高红山,张文翔,董铭,史正涛. 2013. 金沙江河谷-水系发育的年代学框架分析与探讨[J]. 山地学报, 31(6): 685-692.
- 谭其骧. 1980. 云梦与云梦泽[J]. 复旦学报(社会科学版), (S1):1-11.
- 陶亚玲,常宏. 2017. 长江第一湾附近构造作用下的河流地貌演化[J]. 地球科学进展, 32(5):488-501.
- 田陵君,李平忠,罗雁. 1996. 长江三峡河谷发育史[M]. 成都:西南交通大学出版社.
- 童潜明. 2004. 荆江段泥沙淤积搬家与洞庭湖的防洪[J]. 国土资源科技管理, 21(3):19-25.
- 王浩,王建华,秦大庸. 2004. 流域水资源合理配置的研究进展与发展方向[J]. 水科学进展, 15(1):123-128.
- 魏传义,刘春茹,李长安,尹功明,韩非,张岱,李亚伟,张玉芬. 2020. 宜昌砾石层石英Ti-Li心ESR年龄及其对三峡贯通时限的指示[J]. 地震地质, 42(1): 65-78.
- 吴根耀. 1992. 滇西北丽江—大理地区第四纪断裂活动的方式、机制及其对环境的影响[J]. 第四纪研究, 12(3):265-276.
- 夏军,陈进. 2021. 从防御2020年长江洪水看新时代防洪战略[J]. 中国科学(D辑), 51(1): 27-34.
- 夏树芳,康育义. 1981. 雨花台组时代问题的探讨. 地质论评, 27(1): 34-37.
- 向芳,王成善,李国忠,朱利东,李永昭,姜平. 2006. 宜昌地区第四纪沉积物重矿物特征及其与三峡贯通的关系[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 33(2): 117-121.
- 向芳,杨栋,田馨,李志宏,罗来. 2011. 湖北宜昌地区第四纪沉积物

- 中锆石的U-Pb年龄特征及其物源意义[J]. 矿物岩石, 31(2): 106-114.
- 向芳, 朱利东, 王成善, 李永昭, 杨文光. 2005. 长江三峡阶地的年代对比法及其意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 32(2): 162-166.
- 修连存, 郑志忠, 杨彬, 殷靓, 高扬, 姜月华, 黄岩, 周权平, 石剑龙, 董金鑫, 陈春霞, 梁森, 俞正奎. 2021. 机载高光谱成像技术在长江经济带苏、皖、浙地区生态环境保护中的应用[J]. 中国地质, 48(5):1334-1356.
- 徐力刚, 赖锡军, 万荣荣, 王晓龙, 李相虎. 2019. 湿地水文过程与植被响应研究进展与案例分析[J]. 地理科学进展, 38(8): 1171-1181.
- 许仲路, 李行健. 1982. 滇西北丽江鸿文村—剑川甸南纵谷成因与金沙江袭夺问题之探讨[J]. 地理学报, 37(3): 325-333.
- 杨达源. 1986. 洞庭湖的演变及其整治[J]. 地理研究, 5(3):39-46.
- 杨达源. 2006. 长江地貌过程[M]. 北京: 地质出版社.
- 杨桂山. 2012. 长江水问题基本态势及其形成原因与防控策略[J]. 长江流域资源与环境, 21(7):821-930.
- 杨怀仁, 唐日长. 1999. 长江中游荆江变迁研究[M]. 北京:中国水利水电出版社.
- 杨怀仁, 徐馨, 杨达源, 黄家柱. 1997. 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.
- 杨建, 李长安, N'djidi Jacques Dembele, 江华军. 2014. 峨眉山玄武岩作为长江上游特征源岩对三峡贯通的指示[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 39(4): 431-442.
- 杨青雄, 田望学, 李启文, 孔令耀. 2016. 江汉盆地新构造运动对第四纪沉积环境演化的制约[J]. 地质力学学报, 22(3):631-641.
- 叶良辅, 谢家荣. 1925. 扬子江流域巫山以下地质构造与地文发育史[J]. 地质汇报, (7): 69-70.
- 由文智, 向芳, 杨坤美, 姜月华, 喻显涛, 李磊. 2021. 湖北宜昌第四纪沉积物中铁质重矿物特征对三峡贯通的指示[J]. 古地理学报, 23(4):855-870.
- 于振江, 梁晓红, 张于平, 王润华. 2006. 南京地区新近纪地层排序及其时代[J]. 地层学杂志, 30(3): 223-230.
- 袁复礼. 1957. 长江河流发育史的补充研究[J]. 人民长江, (2): 1-9.
- 曾普胜. 2002. 滇西北地区岩浆活动与长江第一弯形成的关系[J]. 地理学报, 57(3): 310-316.
- 张建云, 王银堂, 刘翠善, 贺瑞敏. 2017. 中国城市洪涝及防治标准讨论[J]. 水力发电学报, 36(1): 1-6.
- 张双虎, 蒋云钟, 刘晓志, 王浩. 2011. 鄱阳湖水利枢纽运行调度方式及其对水资源与防洪的影响[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 9(4): 257-261.
- 张祥云, 刘志平, 范迪富, 蒋梦林, 邵家骥. 2003. 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, 27(3): 140-147.
- 张信宝, 刘彧, 胡凯衡, 胡传辉, 代彬, 刘维明. 2020. 金沙江折向东流的地质背景、古堰塞湖沉积、第四纪河流演化[J]. 山地学报, 38(6): 805-815.
- 张信宝, 刘彧, 王世杰, 刘维明, 薛雯轩. 2018. 黄河、长江的形成演化及贯通时间[J]. 山地学报, 36(5):661-668.
- 张修桂. 1980. 云梦泽的演变与下荆江河曲的形成[J]. 复旦学报(社会科学版), 24(2):40-48.
- 张勇, 张玉芬, 李长安, 李庭, 雷文大. 2009. 宜昌地区砾石层的磁性特征与物源分析[J]. 第四纪研究, 29(2):380-386.
- 张玉芬, 李长安, 邵磊, 康春国, 周耀. 2012. 南京地区雨花台砾石层研究进展与展望[J]. 地质前缘, 19(4):284-290.
- 张玉芬, 李长安, 王秋良. 2008. 江汉平原沉积物磁学特征及对长江三峡贯通的指示[J]. 科学通报, 53(5): 577-582
- 赵凤清, 赵文平, 左义成, 李宗会. 2006. 崆岭杂岩中混合岩的锆石U-Pb年龄[J]. 地质调查与研究, 29(2): 81-85.
- 赵希涛, 胡道功, 张永双. 2008. 四川攀枝花昔格达组下伏砾石层成因和时代探讨与古金沙江河谷发育[J]. 地球学报, 29(1): 1-12.
- 赵希涛, 吴中海, 冯玉勇, 张永双, 胡道功, 曲永新, 郭长宝. 2015. 金沙江“长江第一湾”段河谷地貌、沉积与发育[J]. 地质通报, 34(1): 83-103.
- 赵希涛, 曲永新, 李铁松. 1999. 玉龙山东麓更新世冰川作用[J]. 冰川冻土, 21(3):242-248.
- 赵希涛, 曲永新, 张永双, 胡道功, 郭长宝. 2007. 滇西北丽江地区石鼓古湖的发现及其在现代金沙江河谷发育中的意义[J]. 地质通报, 26(8): 960-969.
- 赵希涛, 张永双, 胡道功, 曲永新. 2006. 云南丽江地区大具盆地早更新世金沙江砾石层的发现及其意义[J]. 地质通报, 25(12):1381-1386.
- 赵小明, 李长安, 王孔伟. 2012. 三峡库区宜昌:重庆段基础地质与地质灾害[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 郑洪波, 魏晓椿, 王平, 何梦颖, 罗超, 杨青. 2017. 长江的前世今生[J]. 中国科学:地球科学, 47(4): 385-393.
- 郑洪波, 郭正堂, 邓涛. 2014. 新生代东亚地形、水系与生物地理演变——第三届地球系统科学大会拾粹[J]. 地球科学进展, 29(11): 1280-1286.
- 郑月蓉, 李勇. 2009. 长江水系在三峡段初始形成时间研究[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 32(6): 808-811.
- 周凤琴. 1994. 云梦泽与荆江三角洲的历史变迁[J]. 湖泊科学, 6(1): 22-32.
- 周宏伟. 2012. 云梦问题的新认识[J]. 历史研究, 9(2): 4-26.
- 周权平, 张彭彬, 薛腾飞, 姜月华, 郭琳, 杨冉冉. 2021. 近20年来长江经济带生态环境变化[J]. 中国地质, 48(4):1127-1141.
- 朱鹤, 黄诗峰, 杨昆, 杨永民, 李蓉. 2019. 鄱阳湖近五十年变迁遥感监测与分析[J]. 卫星应用, 10(11):29-35.
- 朱江, 张招崇, 侯通, 康健丽. 2011. 贵州盘县峨眉山玄武岩系顶部凝灰岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄:对峨眉山大火成岩省与生物大规模灭绝关系的约束[J]. 岩石学报, 27(9): 2743-2751.
- 朱锦旗. 2018. 江苏海岸带地质资源环境图集[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.