

doi:10.3799/dqkx.2014.149

嘉陵江曲流型叠置河谷成因对区域地质环境的响应

江华军¹, 李长安^{1,2*}, 张玉芬³, 姜端午⁴

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 中国地质大学地球物理与空间信息学院, 湖北武汉 430074

4. 湖南省遥感中心, 湖南长沙 410007

摘要: 为了明确嘉陵江曲流型叠置河谷形成原因及其对区域地质环境演化的响应, 在综合分析区域地质地貌背景、水系演化模式等基础上, 认为嘉陵江曲流型叠置河谷的成因可能是三峡贯通这一重大地质事件作用的结果。三峡贯通前, 古分水岭两侧的四川盆地和江汉盆地水系相互独立发育; 由于江汉盆地水系溯源侵蚀速率快, 切穿其与四川盆地的古分水岭, 分水岭西侧水系被袭夺后东流, 两大水系完成统一; 在三峡贯通事件作用下, 嘉陵江古自由河曲快速下切嵌入基岩, 形成了曲流型叠置河谷的壮观地貌景观。基于砾石层中冲积物的电子自旋共振(electron spin resonance dating, ESR)测年结果, 表明三峡贯通的时间大致在早—中更新世之交。第四纪地壳活跃, 三峡的贯通可能与该时期内的“昆仑—黄河运动”密切相关。

关键词: 嘉陵江; 曲流型叠置河谷; 成因; 环境地质; 地貌环境事件; 三峡贯通。

中图分类号: P931.1

文章编号: 1000-2383(2014)11-1566-09

收稿日期: 2014-01-06

Origin of Meander Shape-Superimposed Valleys in the Middle Jialing River: Responses to Regional Geological Environment

Jiang Huajun¹, Li Chang'an^{1,2*}, Zhang Yufen³, Jiang Duanwu⁴

1. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

4. Hunan Remote Sensing Centre, Changsha 410007, China

Abstract: In order to define the formation of the Jialing meander shape-superimposed valley and response to the regional geological environment evolution, the regional geological background, together with the evolution model of water system are explored. It is found that origin of the meander shape-superimposed valley maybe controlled by cut-through of the Three Gorges. Water systems of the Sichuan basin and the Jiangnan basin had developed separately due to the ancient watershed before the cut-through of the Three Gorges until the Jiangnan basin drainage cut through the ancient watershed, captured the western drainage of watershed because of quick erosion rate in the eastern Jiangnan basin, and the two drainages were unified at last. Ancient meander of the Jialing River was fast undercut, inset the bed rock and finally developed the meander shape-superimposed valley, the spectacular landscape. Based on ESR (electron spin resonance dating) ages of river sediments in the gravel layers, we believe that cut-through of the Three Gorges happened approximately in the Early-Middle Pleistocene. The cut-through maybe closely related with the “Kunlun-Huanghe Movement”, which happened in this period because of the strong crustal activity in the Quaternary.

Key words: Jialing River; meander shape-superimposed valley; origin; environmental geology; geomorphologic environment event; cut-through of the Three Gorges.

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40971008); 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目(No. SKLLQG0908)。

作者简介: 江华军(1987—), 男, 博士研究生, 主要从事流域地貌演化方向。E-mail: junjin0312@163.com

* 通讯作者: 李长安, E-mail: chanli@cug.edu.cn

0 引言

在基岩面上覆盖有松散堆积物的地区,原先在松散堆积层上形成的弯曲河流因流程内地壳上升,河流保持原来的流路切入不同地质构造的基岩中,形成了地貌上称“叠置河”或称“后成河”的河流(陈宝冲, 1992). 叠置河的形成与发展是河流下切至不同构造基岩面的直观反映,其形成与重要的地质事件(如构造抬升)或地质环境突变具有密切的关系,对区域构造活动和地质环境的演化具有重要的意义. 以往将分布在嘉陵江中游段且在平面上呈河曲形态的河谷称之为深切河曲(李承三等, 1946; 邓茂林等, 2008; Zhang *et al.*, 2008). 然基于叠置河的明确定义,并根据其发育的条件表明,嘉陵江具有明显叠置河谷的特征,其发育在古四川盆地的松散河湖相盖层之上,前文对其古河曲发育的地理环境进行了重建与再造(江华军等, 2013a),认为嘉陵江叠置河谷的叫法更为合理,又因其在平面上呈典型河曲的形态,笔者将其称之为“曲流型叠置河谷”. 其河曲分布段的弯曲程度及长度在国内外的曲流河中较为少见,整个弯曲河段的曲折率达 2.28,仅次于美国科罗拉多深切河曲(Blackwelder, 1934; Harden, 1990)和我国的长江中下游平原下荆江自由河曲,而弯曲长度近达 750 km,是下荆江自由河曲长度的 3 倍(林承坤和陈钦奎, 1959). 嘉陵江曲流型叠置河谷对四川盆地及其周缘的构造—地貌演化、长江的形成演化和水系拓展过程以及青藏高原的隆升等研究具有重要的地质地貌学研究意义,也为四川盆地演化与长江水系拓展及其演化的关系问题提供了重要的信息,尤其对长江形成演化课题中的三峡贯通问题的解决具有重要的指示意义. 然而,作为我国最为典型的曲流型叠置河谷,前人对其关注和研究甚少. 20 世纪 40 年代,李承三等(1946)发表了“嘉陵江流域地理考察报告上卷:地形”一文,开始了对嘉陵江河谷地貌的最早勘察,此后长达近半个世纪,都鲜有学者对其关注和进行系统的研究(曾昭璇, 1985). 直到近几年,对其关注才逐渐有所提高(邓茂林等, 2008; Zhang *et al.*, 2008; 江华军等, 2013a, 2013b),地质公园遗迹的建设与保护以及河谷地貌的形成与演化的探讨使得嘉陵江曲流型叠置河谷这一世界壮观的河流地貌研究重新得以重视. 从已有的研究来看,李承三等(1946)在他的考察中并未对嘉陵江曲流型叠置河谷形成的控制因素做深入的研究;而邓茂林等(2008)、Zhang *et al.* (2008)

从构造运动角度讨论嘉陵江曲流型叠置河谷的成因,这在四川盆地构造相对稳定的地质背景下去论证是值得商榷的. 长江三峡贯通是对长江流域地质、地貌具有重要影响的地质环境事件. 本文在综合前人研究成果的基础上,并结合嘉陵江野外调查资料,对嘉陵江曲流型叠置河谷的成因进行了分析,以此讨论其与三峡贯通的关系,揭示其区域地质环境意义.

1 叠置河的成因概述

在河流发育过程中,受多种因素的影响形成不同类型和不同发育方式的河流. 其中,叠置河是一种重要的河流地貌类型,又称后成河,是指发育在沉积盖层上或准平原的河流. 可分为 2 种:一种是在古老的构造基岩地面上,所覆盖的松散沉积物上发育的河流,长期侵蚀下切,上部松散盖层被侵蚀,河流“下跌”至不同构造基岩面上,且能保持原来的流路的;另一种是发育在准平原上的河流,受地壳上升作用,河流仍能遵循原先的流路下切到不同构造基岩中的河流,也叫叠置河. 一般而言,叠置河是对构造抬升活动的直接响应. 但自然界中,很多叠置河的形成原因往往存在着复杂性和多解性. 构造快速抬升运动是导致叠置河形成的最普遍的一种因素;而气候因素,如冰期导致海平面的下降所引起河流侵蚀基准面的下降,以及由于流域重大地貌环境事件的突发,往往也会造成发育在松散层上的河流下切成叠置河(图 1);有些叠置河可能是一种控制因素作用的结果,而有些则是在一个主控因素控制下多个辅助因素综合作用的结果,但无论是何种因素或哪几种因素在起作用,叠置河的形成都是一个快速的地貌过程,它与河流侵蚀基准面的快速下降有直接关系. 基于此,对叠置河成因的研究,需要进行多方面多角度的全面探究.

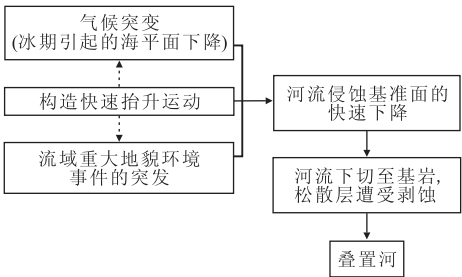


图 1 叠置河的形成

Fig. 1 Formation of the superimposed river

2 嘉陵江叠置河谷的河曲特征

野外调查和遥感影像显示,嘉陵江叠置河谷在平面上呈深切河曲的地貌特征,可称之为曲流型叠置河谷.该形态特征的叠置河谷,一般视地壳上升速度和岩性强度而定.在河流下蚀过程中如果地壳快速上升或因其他突发事件的发生,而导致侵蚀基准面的迅速下降,则河流强烈下蚀占主要地位,侧蚀占很次要的地位,河道迁移速率很小而比较稳定,河流仍然保持其原来的流路形式,河谷两侧谷坡比较对称,形成正常深切河曲.如果上升较缓慢,则侧蚀作用明显,下蚀作用居次,凹岸侵蚀,凸岸堆积,河道迁移较快,于是形成变形深切河曲.此外,岩性的软硬程度也会控制着深切河曲的形态(沈玉昌和龚国元,1986).野外调查发现,嘉陵江曲流型叠置河谷表现为正常深切河曲的形态特征.其依据是古河曲下切过程中河道迁移的多期性遗迹少见,现代河谷基本继承着原先流路,且河谷两侧的谷坡基本对称.基于以上的证据,笔者认为嘉陵江曲流型叠置河谷的形成与突发地质事件或环境突变密切相关,是一个河流侵蚀基准面快速下降所导致的地貌快速演化过程.

3 嘉陵江曲流型叠置河谷的成因分析

关于长江三峡贯通后,四川盆地大量物质遭受快速剥蚀涌入江汉盆地的观点,早在 20 世纪 30 年代,Barbour(1936)就对其有所阐述.20 世纪 80 年代,穆桂春(1983)通过对沱江中游河曲和阶地的研究认为,第三纪时期,三峡贯通,四川盆地由内流盆地转化为外流盆地,剥蚀作用变得更加强烈,其突出的特征就是各河流侵蚀基准面发生快速下降,河流继承原先流路,下切剥蚀松散盖层并嵌入基岩中. Richardson *et al.* (2008) 通过对比三峡黄陵背斜的快速冷却事件与四川盆地大量物质被剥蚀的对应关系,认为三峡贯通可能是造成四川盆地大量物质剥蚀与外泄的根本原因.以上论述为嘉陵江曲流型叠置河谷的成因及其三峡贯通方式的地貌学证据提供了思考方向.

3.1 曲流型叠置河谷形成的区域地貌环境事件——三峡贯通

关于三峡河谷的成因研究,美国地质学家 Willis *et al.* (1913) 首先对长江三峡提出了“先成

河”观点,从此揭开了近一个世纪地学界对三峡问题研究的序幕,也是三峡地质学问题研究的开山之作;李四光(1924)认为三峡的贯通,是由于黄陵背斜东西构造差异性垂直运动造成的,华东水系因构造相对抬升而溯源侵蚀并袭夺华西水系完成三峡的贯通,他开创了中国地质学家研究三峡成因的先河;叶良辅和谢家荣(1925)以及李承三(1956)认为三峡的贯通与分水岭东西的水系袭夺相关,与李四光(1924)的观点基本一致;Lee(1934)对三峡持先成河的观点;Barbour(1936)则提出了独特性的观点,认为三峡是从夷平面上下切至基岩形成的,属于叠置河.

从完整的大流域尺度的水系发育过程看,长江作为一个成熟的大尺度流域系统,其干流若以其理想的状态发育和调整,因其河流最终侵蚀基准面为海平面,其整个水系发育应是一个逐步稳定的向着源头方向溯源侵蚀的拓展过程,在这一过程中各种河流地貌类型及形态在下、中、上游河段呈现显著不同的特点.其中,弯曲河型尤其自由河曲是发育在河流中游河段低平原上的典型河流形态.三峡贯通前,关于四川盆地与江汉盆地各自发育着其独立的水系系统的观点,大多数学者是持肯定意见的(Lee and Chao, 1924; 叶良辅和谢家荣, 1925; Barbour, 1936; 李承三, 1944, 1956; 杨达源, 1988; 赵诚, 1996; Clark *et al.*, 2004; Clift *et al.*, 2006, 郑洪波等, 2013);仅有少数学者持“先成河”的观点,认为三峡地区先有长江东流,后受构造抬升而下切形成峡谷(Lee, 1934; 任美锬等, 1959);在此基础上,基于前人对三峡贯通方式的成果,笔者提出了自己的见解,认为嘉陵江曲流型叠置河谷的成因是三峡贯通的结果,而四川古湖的外泄或排干与三峡的贯通没有必然联系(图 2a).从现代意义的整个长江水系来看,嘉陵江属于长江上游的水系范畴,而根据河流地貌学原理,嘉陵江古自由河曲发育的当时,应该存在着一个由河、湖组成的独立而成熟的流域系统,古自由河曲即发育在该流域的冲湖积平原上,其上发育松散的河湖相沉积盖层.此时,三峡尚未贯通,四川盆地水系与江汉盆地水系相互独立而存在,现今三峡段的三大背斜应为其古分水岭,现代意义的长江水系格局还未形成(图 2b-①,图 3a).由于四川盆地与江汉盆地之间的巨大高差,江汉盆地水系溯源侵蚀速率快,最终切穿其与四川盆地之间的分水岭,并袭夺四川盆地水系,使得三峡东西两侧水系完成衔接和统一(图 2b-②,图 3b).在三峡贯通这一地

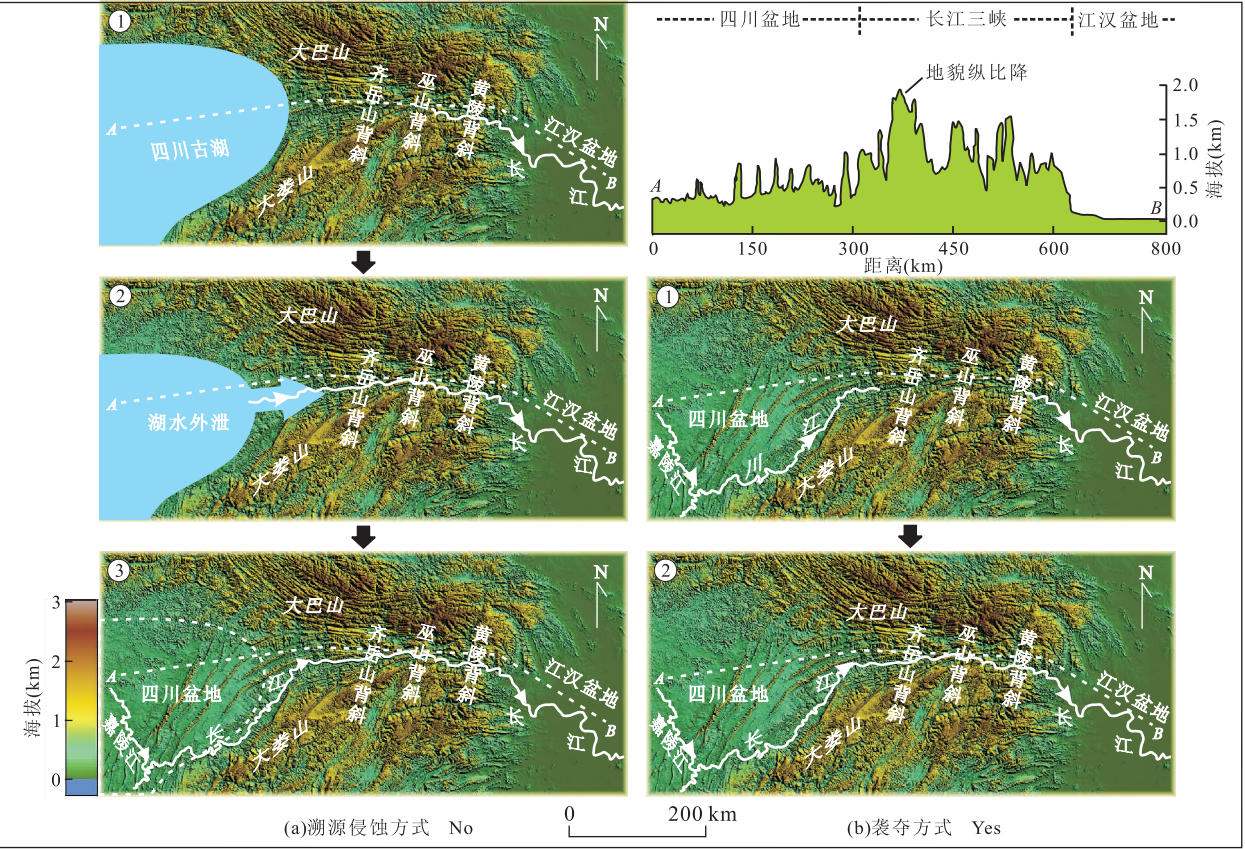


图 2 三峡贯通方式与嘉陵江曲流型叠置河谷形成的关系

Fig. 2 The relationship between Three Gorges cut-through and formation of the Jialing River superimposed valley
No 表示作者对此贯通方式的否定, Yes 表示作者对此贯通方式的肯定, AB 剖面表示宏观的地貌纵比降

质事件的控制下,上游河段河流侵蚀基准面发生快速下降.嘉陵江原有的局部基准面被打破,被迫下降为以江汉平原作为其侵蚀基准面.随着基准面的突然变化,河流快速而强烈下蚀,致使嘉陵江古自由河曲流路因来不及调整而快速下切并嵌入基岩,最终形成现今面貌的嘉陵江曲流型叠置河谷.大量表层松散层也随之快速剥蚀殆尽(图 3b).

3.2 三峡贯通事件对构造运动的响应

新生代全球宏观环境格局发生了一系列重大的变化,表现为岩石圈的强烈活动,板块运动导致海陆和地貌格局的变化,并最终导致全球气候的重大变化和流域水系的重组(郑洪波等, 2008).早一中更新世之交,受青藏高原隆升的影响,中国的构造—地貌—气候—水系格局发生了显著变化,这一变化已得到科学界诸多学者的认可与证实,大致认为在早一中更新世之交,中国大陆发生了一次十分强烈的构造运动.受这一构造运动影响,现代意义上西高东低的地貌格架、季风气候环境以及河流总体东流的水系格局最终形成(朱照宇, 1989; 蒋复初和吴锡浩, 1993; 万天丰, 1993; 崔之久等, 1997, 1998;

李长安和张玉芬, 1997, 1999). 不难发现,构造运动在影响地貌运动过程中又共同控制着季风和水系的演化;地貌和季风气候不仅决定着水系演化的格局更决定着水系的发育尺度. 这为现代意义的长江贯通三峡东流入海的研究提供了理论依据. 造成三峡贯通的动力学机制可能与早一中更新世之交发生的重要构造运动有关. 受三峡贯通这一突发地质事件的影响,四川盆地松散沉积物在巨大的水量及强大的水力梯度作用下被快速剥蚀,嘉陵江的侵蚀基准面发生快速下降,古自由河曲因来不及调整而沿着原有流路快速下切至基岩,最终形成现今嘉陵江曲流型叠置河谷这一世界壮观的河流地貌景观.

综上所述,结合四川盆地内部与周缘的构造运动关系,盆地内部的地质构造背景、水系演化方式和演化格局,笔者认为导致嘉陵江曲流型叠置河谷的成因可能与早一中更新世之交,三峡贯通这一地质事件有关. 通过对该类型叠置河谷的成因分析,从宏观的地貌学角度基本上解决了长江水系发育的方式问题,是对长江形成与演化研究成果的重要补充.

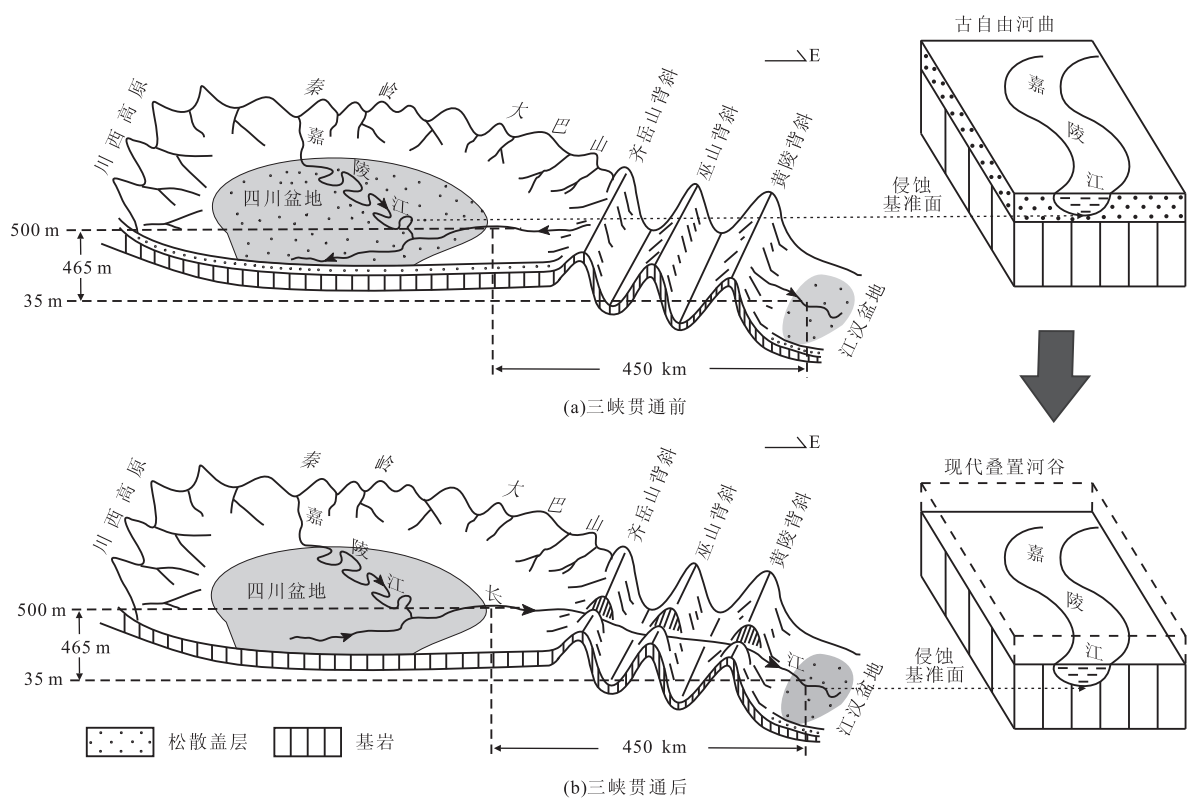


图 3 嘉陵江曲流型叠置河谷演化模式

Fig. 3 The evolution model of the Jialing River superimposed valley

表 1 嘉陵江古河道 ESR 测年结果

Table 1 The ESR ages of Jialing River's ancient channels

样品编号	取样位置	测年矿物	年龄(Ma)
JLJ-HTC-ESR-1	南充市嘉陵区汉塘村古河道剖面下部	石英	0.38±0.04
JLJ-JTC-ESR-1	南充市南部县金台村古河道剖面上部	石英	0.37±0.04
JLJ-YL-ESR-1	南充市仪陇县对岸古河道剖面中部	石英	0.36±0.03

4 嘉陵江曲流型叠置河谷的形成对三峡贯通时限的约束

三峡何时贯通是地学界长期关注和争论不休的热点问题之一。古嘉陵江流域松散层被快速剥蚀、搬运到曲流型叠置河谷的形成这一过程,如何与三峡贯通的时间联系起来是长江形成与演化研究中需要解决的一个重要问题。基于此,本文结合分布在嘉陵江沿岸古河道的 ESR 年龄,嘉陵江在不同演化阶段的河流地貌特征以及早一中更新世之交发生的一次重要构造运动,对三峡贯通的大致时间进行了初步约束。

4.1 样品采集与测试

考虑到嘉陵江河流阶地受后期侵蚀严重以及前人对阶地级数观点不一的问题,笔者选取了在遥感

影像和野外易于辨别的典型的古河曲裁弯后的古河流弯道中的砾石层作为取样位置,无人为和其他后期改造作用的影响。采样步骤与方法:先去掉表层 30 cm 以外沉积物;然后用直径 6 cm、长 30 cm 的钢管进行钻样;最后用多层黑色薄膜将采好样品的钢管两端封住闭光。本次工作,笔者共采取了 3 个不同地点的样品进行 ESR 年龄分析,样品测试由成都理工大学地学核技术四川重点实验室完成,测试流程遵循标准要求,测年结果的相对扩展不确定度为 10.0%,测年结果见表 1。

4.2 砾石层 ESR 年龄对三峡贯通时间的初步约束

野外调查显示,嘉陵江流域第四系松散层几乎被剥蚀殆尽,区域地层多出露侏罗—白垩系砂页岩互层,但前人根据区域地层对比和地貌演化的不同阶段,对嘉陵江水系发育时间大多持早更新世早期

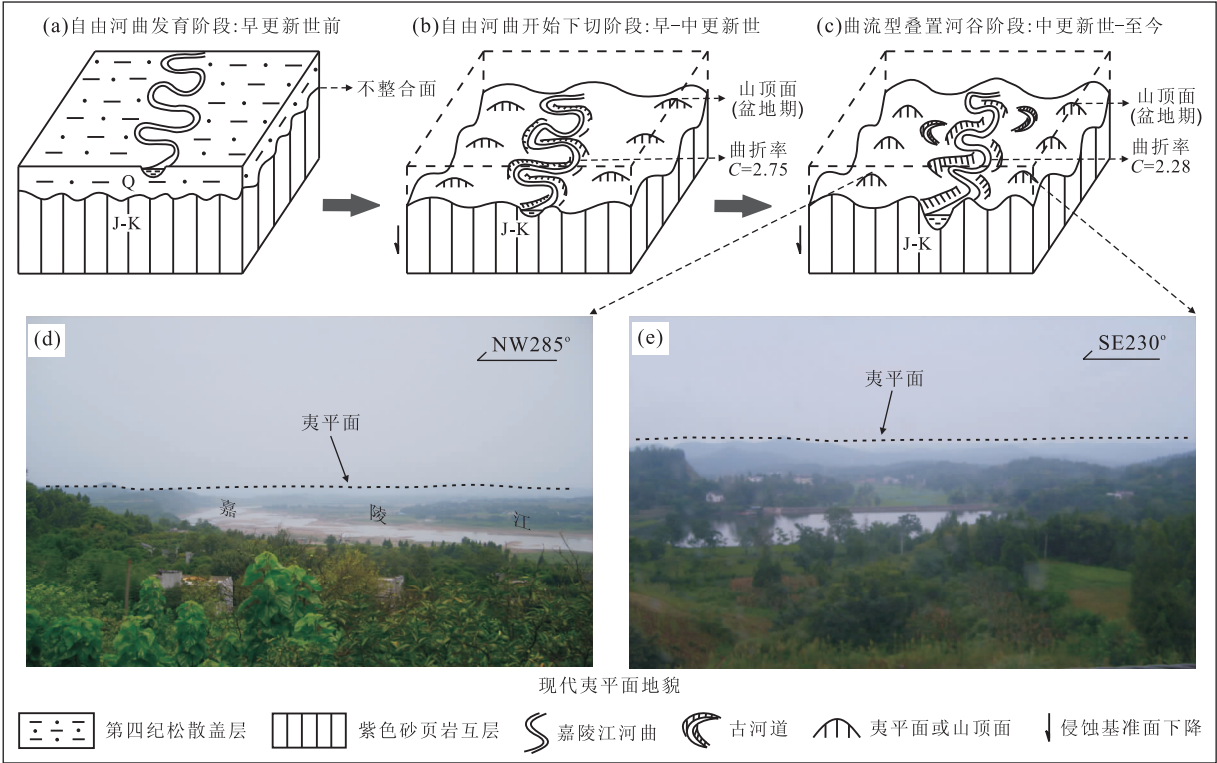


图 4 嘉陵江曲流型叠置河谷演化与三峡贯通时间的关系

Fig. 4 The relationship between evolution of the Jialing River superimposed valley and the cut-through time of the Yangtze Three Gorges

的观点(四川省水利水电厅, 1991). 基于表 1 的 ESR 年龄测试结果显示, 所测 3 个古河道的年龄在 $0.36 \pm 0.03 \text{ Ma} \sim 0.38 \pm 0.04 \text{ Ma BP}$ 范围内分布, 时间接近, 由此推断, 现在遗留的嘉陵江古河道裁弯的时间大致都在同一时期, 约在中更新世中期的 0.4 Ma BP 左右, 此时, 河曲处在下切过程中, 然河流仍伴随裁弯的发生.

嘉陵江曲流型叠置河谷是古自由河曲因快速下切作用形成的. 前文对古自由河曲形成时的古地理环境进行了再造, 认为其与现代下荆江自由河曲的发育条件相似, 即平坦广阔的冲积平原地貌, 具二元结构松散层的边界特征以及下游水位向上游的顶托作用(图 4a). 由于三峡贯通, 四川盆地水系上覆松散沉积物在强大的流水及较大的水力梯度作用下被快速剥蚀, 嘉陵江的侵蚀基准面发生快速下降, 河流流路因来不及调整而沿着原流路快速下切至基岩形成曲流型叠置河谷, 被松散层覆盖的侏罗系红层基岩逐渐被剥露地表而形成夷平面, 后被流水改造成为现今面貌的剥蚀丘陵顶面(图 4b).

早先在自由河曲发育阶段裁弯后遗留的“牛轭湖”或“牛轭”型古河道随着河流下切过程的进行而被剥蚀殆尽. 野外调查发现发现的“离堆山”及“牛轭”型

古河道是河流在下切过程中裁弯形成的未被全部剥蚀而保存下来的其中一期, 其依据是实测古河道底部高出现代河床 $33 \sim 29 \text{ m}$ 之间, 平均高差在 30 m 左右. 沉积物 ESR 测年结果为 0.4 Ma BP 左右. 考虑到四川盆地内部构造运动速度的相对缓慢及均一性, 经估算, 嘉陵江曲流型叠置河谷分布段的河流平均下切速率约为 $75 \text{ mm} \cdot \text{ka}^{-1}$, 而剥蚀丘陵顶面高出古河道 $60 \sim 70 \text{ m}$, 即高出现代河床 $90 \sim 100 \text{ m}$, 初步计算显示其剥露地表的年龄大致在早—中更新世之交(图 5). 考虑到上覆松散盖层的快速剥蚀过程, 由此得出三峡贯通的时间大致也在该时期, 可能与发生在该时期的一次重要构造运动(或“昆仑—黄河运动”, 简称“昆—黄运动”)有关(崔之久等, 1997, 1998; 李长安和张玉芬, 1997, 1999).

0.4 Ma BP 之后, 因古河流的下蚀能力逐渐接近侵蚀基准面的下限, 此时, 侧蚀作用重新逐渐得到加强, 但受控于两岸基岩岩性的限制, 河曲侧向变形较小, 最终演化成现今面貌的嘉陵江曲流型叠置河谷的地貌景观. 同时, 剥蚀丘陵顶面受缓慢构造运动而继续抬升, 形成现今意义上的夷平面地貌(图 4c).

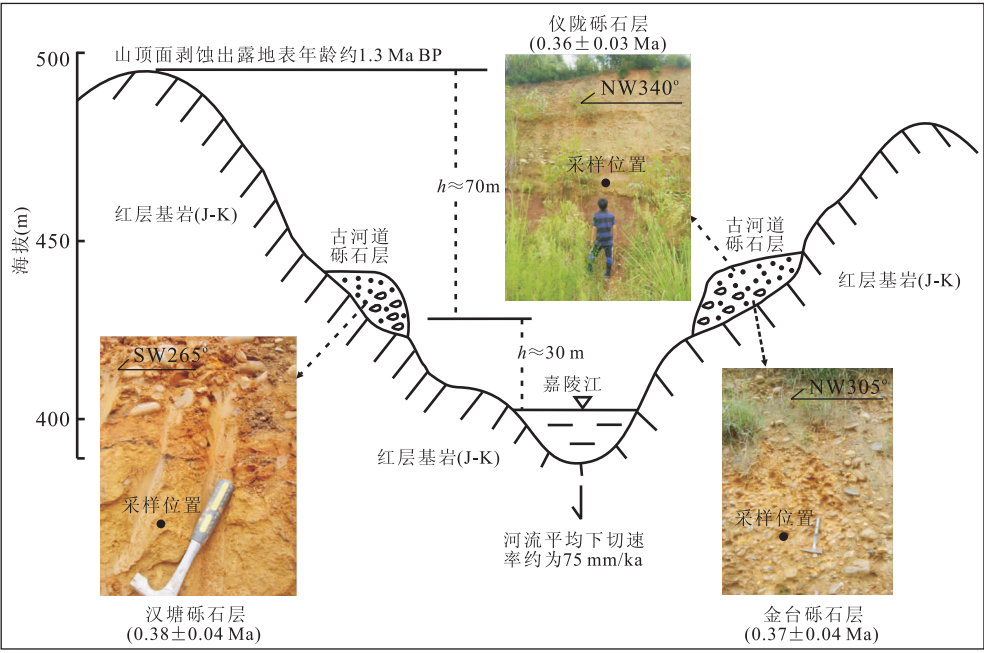


图 5 嘉陵江曲流型叠置河谷沿岸丘陵顶面出露地表的年龄示意

Fig. 5 Schematic diagram of ages that the summit surface outcropped to the surface on the shore of the Jialing River superimposed valley

5 结论与展望

嘉陵江河谷地貌的研究是河流地貌学方法在三峡贯通这一“世纪谜题”的又一应用,也是浅表地貌对区域地质演化的重要响应,曲流型叠置河谷的成因及演化对区域构造—地貌事件及区域地质环境具有重要指示意义.本研究通过对嘉陵江曲流型叠置河谷的研究得到如下结论:(1)考虑到四川盆地内部与周缘的构造运动关系,盆地内部的地质构造背景、水系演化方式及演化格局,认为导致嘉陵江曲流型叠置河谷的成因可能与早—中更新世之交三峡贯通这一重大地质事件有关,三峡贯通前,四川盆地松散河湖相盖层上已经发育了具曲流河形态的古嘉陵江水系,其流向及最终出口暂未定论;三峡贯通后,峡东水系切穿古分水岭袭夺了古嘉陵江水系,并快速剥蚀了其上部的松散盖层,导致古嘉陵江侵蚀基准面快速下降,河流流路因来不及调整而沿原自由河曲流路发生快速下切并嵌入基岩,形成现今世界最为壮观的曲流型叠置河谷地貌景观之一.这一结论对长江形成与演化问题中的三峡贯通方式及时限的研究具有重要的意义;(2)现代嘉陵江沿岸古河道砾石层沉积物的 ESR 测年结果推算剥蚀丘陵顶面的年龄大致在早—中更新世之交,根据嘉陵江曲流型叠置河谷演化与三峡贯通的关系表明,三峡贯通

的时间大致应该也在该时期.第四纪时期地壳活动活跃,三峡贯通事件可能与该时期内的“昆仑—黄河运动”有关.

嘉陵江曲流型叠置河谷形成与演化的成因研究是复杂的,本文从三峡贯通这一重大地质突发事件角度出发,为嘉陵江曲流型叠置河谷的成因机制提供了一个思考方向;从河流地貌学角度讨论三峡贯通问题,并对其贯通时间进行初步约束,但其贯通具体时间的确定还存在某些不足之处.宏观的地貌学方法在解释地貌地质学问题中缺乏沉积学、地球化学以及更充分更精确的年代学数据的定量支撑.在后期工作中,笔者将对嘉陵江的代表性阶地或砾石层进行综合研究,重点讨论嘉陵江河流地貌演化与长江形成演化尤其是三峡贯通关系的问题,以期得出更为全面、精确的结论.

致谢:本文感谢武汉地质调查中心王节涛博士和湖南省遥感中心黄树春博士在野外工作中的帮助.

References

Barbour, G. B., 1936. Physiographic History of the Yangtze. *The Geographical Journal*, 87(1):17–32.
Blackwelder, E., 1934. Origin of the Colorado River. *Geological Society of America Bulletin*, 45:551–566. doi:10.1130/GSAB-45-551.

- Chen, B. C., 1992. The Classification of River Pattern. *Journal of Sediment Research*, 1: 100—104 (in Chinese).
- Clark, M. K., Schoenbohm, L. M., Royden, L. H., et al., 2004. Surface Uplift, Tectonics, and Erosion of Eastern Tibet from Large-Scale Drainage Patterns. *Tectonics*, 23: 1—20. doi:10.1029/2002TC001402
- 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. *Geophysical Research Letters*, 33 (19): 1—5. doi:10.1029/2006GL027772
- Cui, Z. J., Wu, Y. Q., Liu, G. N., 1997. Discovery and Characters of the Kunlun-Huanghe Movement. *Chinese Science Bulletin*, 42(18): 1986—1989 (in Chinese).
- Cui, Z. J., Wu, Y. Q., Liu, G. N., et al., 1998. About the “Kunlun-Huanghe Movement”. *Science in China (Series D)*, 28(1): 53—59 (in Chinese).
- Deng, M. L., Zhang, B., Wang, X. G., et al., 2008. The Formation of Meander Reach of the Jialing River and Establishment of the Meander Geopark in Nanchong, Sichuan. *Acta Geologica Sichuan*, 28(1): 59—63 (in Chinese with English abstract).
- Harden, D. R., 1990. Controlling Factors in the Distribution and Development of Incised Meanders in the Central Colorado Plateau. *Geological Society of America Bulletin*, 102(2): 233—242. doi:10.1130/0016-7606
- Jiang, F. C., Wu, X. H., 1993. Fundamental Characteristics of the Stepped Landform in China Continent. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 13(3): 15—24 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, H. J., Li, C. A., Zhang Y. F., et al., 2013a. Meander Characteristics of the Jialing River's Old Channels. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 38(2): 417—422 (in Chinese with English abstract). doi:10.3799/dqkx.2013.041
- Jiang, H. J., Li, C. A., Zhang, Y. F., et al., 2013b. The Reconstruction of Paleogeographic Environment for the Development of the Jialing River's Ancient Meander. *Geology in China*, 40(2): 460—468 (in Chinese with English abstract).
- Lee, C. Y., 1934. The Development of the Upper Yangtze Valley. *Bulletin of the Geological Society of China*, 13: 107—117.
- Lee, J. S., Chao, Y. T., 1924. Geology of the Gorge District of the Yangtze (from Ichang to Tzekuei) with Special Reference to the Development of the Gorges. *Bulletin of the Geological Society of China*, 3(3—4): 351—391.
- Li, C. A., Zhang, Y. F., 1997. Geoscientific Factors Analyses on the Through Cutting of Main Drainages and the Formation of Flood Damage in China. *Exploration of Nature*, 16(59): 61—65 (in Chinese with English abstract).
- Li, C. A., Zhang, Y. F., 1999. An Important Tectonic Movement and Its Environmental Effect in Quaternary. *Geological Science and Technology Information*, 18(4): 42—46 (in Chinese with English abstract).
- Li, C. S., 1944. History of the Yangtze River. *Journal of Geography*, 4: 3—14 (in Chinese).
- Li, C. S., 1956. The Development of the Yangtze River. *Yangtze River*, 12: 3—6 (in Chinese).
- Li, C. S., Zhou, T. R., Guo, L. Z., et al., 1946. The Geographical Investigation Report of the Jialing River Basin (Volume 1: Terrain). *Special Geographical Issue*, 1: 68—72 (in Chinese).
- Li, S. G., 1924. Geology of the Eastern Gorges and History of the Yangtze River. *Geological Association*, 3(3—4): 351—391 (in Chinese).
- Lin, C. K., Chen, Q. L., 1959. Discussion on the Formation and Evolution of the Lower Jingjiang River Free Meander. *Acta Geographica Sinica*, 25(2): 156—169 (in Chinese).
- Mu, G. C., 1983. The Bends and Terraces of the Middle Reaches of the Tuo River. *Journal of the Southwest Teachers College*, (4): 52—58 (in Chinese with English abstract).
- Ren, M. E., Bao, H. S., Han, T. C., et al., 1959. The Jinsha River Valley Landforms and River Capture in the Northwest of Yunnan. *Acta Geographica Sinica*, 25(2): 135—155 (in Chinese).
- Richardson, N. J., Densmore, A. L., Seward, D., et al., 2008. Extraordinary Denudation in the Sichuan Basin: Insights from Low Temperature Thermochronology Adjacent to the Eastern Margin of the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research*, 113(B4): 1—23. doi:10.1029/2006JB004739.
- Shen, Y. C., Gong, G. Y., 1986. Overview of Fluvial Geomorphology. Science Press, Beijing, 167—169 (in Chinese).
- Sichuan Provincial Department of Hydraulic and Electrical Engineering, 1991. The Jialing River Chorography. Sichuan Provincial Department of Hydraulic and Electrical Engineering Press, Chengdu, 2—3 (in Chinese).
- Wan, T. F., 1993. The Deformation Tectonic Stress Field and Application of Mesozoic-Cenozoic Intraplate in Eastern China. Geological Publishing House, Beijing, 20—22,

- 84—89 (in Chinese).
- Willis, B., Blackwelder, E., Sargent, R. H., et al., 1913. Research in China. Press of Gibson Brothers, Washington, 278—339.
- Yang, D. Y., 1988. The Origin and Evolution of the Three Gorges of the Changjiang Yangtze River. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition)*, 24 (3): 466—474 (in Chinese with English abstract).
- Ye, L. F., Xie, J. R., 1925. The Geological Structure with the Development History of Terrestrial below the Wushan Reach in the Yangtze River Basin. *The Geological Report*, 7: 69—90 (in Chinese).
- Zeng, Z. X., 1985. The Landform of China. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou, 251—252 (in Chinese).
- Zhang, B., Ai, N. S., Huang, Z. W., et al., 2008. Meanders of the Jialing River in China: Morphology and Formation. *Chinese Science Bulletin*, 53(22): 267—281.
- Zhao, C., 1996. River Capture and Origin of the Yangtze Gorges. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 26(4): 428—433 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, H. B., Wang, P., He, M. Y., et al., 2013. Timing of the Establishment of the East-Flowing Yangtze River and Tectonic-Geomorphic Implications. *Quaternary Sciences*, 33(4): 621—630 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, H. B., Wang, P. X., Liu, Z. F., et al., 2008. Carving the History of East Asia's East-Tilting Topography and East Asian Monsoon—An Introduction to IODP Proposal 683. *Advances in Earth Science*, 23(11): 1150—1160 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Z. Y., 1989. The Formation of River Terraces and Evolution of Drainage System in the Middle Yellow River. *Acta Geographica Sinica*, 44(4): 429—440 (in Chinese with English abstract).
- 蒋复初, 吴锡浩, 1993. 中国大陆河流阶梯地貌的基本特征. 海洋地质与第四纪地质, 13(3): 15—24.
- 江华军, 李长安, 张玉芬, 等, 2013a. 嘉陵江古河道的河曲特征. 地球科学——中国地质大学学报, 38(2): 417—422.
- 江华军, 李长安, 张玉芬, 等, 2013b. 嘉陵江古河曲发育的古地理环境重建. 中国地质, 40(2): 460—468.
- 李长安, 张玉芬, 1997. 中国主要水系贯通和洪灾形成的地质因素分析. 大自然探索, 16(59): 61—65.
- 李长安, 张玉芬, 1999. 一次重要的第四纪构造运动及环境效应. 地质科技情报, 18(4): 42—46.
- 李承三, 1944. 扬子江水系发育史. 地理, 4: 3—14.
- 李承三, 1956. 长江发育史. 人民长江, 12: 3—6.
- 李承三, 周廷儒, 郭令智, 等, 1946. 嘉陵江流域地理考察报告 (上卷: 地形). 地理专刊, 1: 68—72.
- 李四光, 1924. 峡东地质及长江之历史. 中国地质学会志, 3 (3—4): 351—391.
- 林承坤, 陈钦奎, 1959. 下荆江自由河曲形成与演变的探讨. 地理学报, 25(2): 156—169.
- 穆桂春, 1983. 沱江中游的河曲与阶地. 西南师范大学学报 (自然科学版), (4): 52—58.
- 任美镔, 包浩生, 韩同春, 等, 1959. 云南西北部金沙江河谷地貌与河流袭夺问题. 地理学报, 25(2): 135—155.
- 沈玉昌, 龚国元, 1986. 河流地貌学概论. 北京: 科学出版社, 167—169.
- 四川省水利电力厅, 1991. 嘉陵江志. 成都: 四川省水利电力出版社, 2—3.
- 万天丰, 1993. 中国东部中、新生代板内变形构造应力场及其应用. 北京: 地质出版社, 20—22, 84—89.
- 杨达源, 1988. 长江三峡的起源与演变. 南京大学学报 (自然科学版), 24(3): 466—474.
- 叶良辅, 谢家荣, 1925. 扬子江流域巫山以下地质构造与水文发育史. 地质汇报, 7: 69—90.
- 曾昭璇, 1985. 中国的地形. 广州: 广东科学技术出版社, 251—252.
- 赵诚, 1996. 长江三峡河流袭夺与河流起源. 长春地质学院学报, 26(4): 428—433.
- 郑洪波, 王平, 何梦颖, 等, 2013. 长江东流水系建立的时限及其构造地貌意义. 第四纪研究, 33(4): 621—630.
- 郑洪波, 汪品先, 刘志飞, 等, 2008. 东亚东倾地形格局的形成与季风系统演化历史寻踪——综合大洋钻探计划 683 号航次建议书简介. 地球科学进展, 23 (11): 1150—1160.
- 朱照宇, 1989. 黄河中游河流阶地的形成与水系演化. 地理学报, 44(4): 429—440.

附中文参考文献

- 陈宝冲, 1992. 河型分类. 泥沙研究, 1: 100—104.
- 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 1997. 昆仑—黄河运动的发现及其性质. 科学通报, 42(18): 1986—1989.
- 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 等, 1998. 关于“昆仑—黄河运动”. 中国科学(D辑), 28(1): 53—59.
- 邓茂林, 张斌, 王兴贵, 等, 2008. 四川南充嘉陵江曲流的形成及曲流地质公园建立的意义. 四川地质学报, 28(1): 59—63.