

文章编号: 1008 - 2786 - (2020) 6 - 805 - 11

DOI: 10. 16089 / j. cnki. 1008 - 2786. 000557

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

张信宝^{1,2*} 刘 彧^{2,3*} 胡凯衡¹ 胡传辉^{3,4} 代 彬^{3,4} 刘维明¹

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 山地表生过程与生态调控重点实验室 成都 610041;

2. 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站 贵州 普定 562100;

3. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室 贵阳 550081; 4. 中国科学院大学 北京 100049)

摘 要: 金沙江干流展布受控于青藏高原东南缘的地质构造。沿川滇菱形断块西侧金沙江大断裂南流的金沙江,受断块南部楚雄—元谋隆起的阻挡,在石鼓附近折向东流,形成“长江第一湾”。位于金沙江断裂以西的澜沧江和怒江,因未受川滇菱形断块的影响,一直南流经东南亚入海。金沙江奔子栏—巧家河段的堰塞湖,自下游到上游主要有巧家湖、龙街湖、昔格达湖、涛源湖、大具湖、石鼓湖和奔子栏湖等。这些堰塞湖沉积均为大型河流的过水湖快速沉积,沉积相的最大特点是:粒度均一的厚层—巨厚层河湖相沉积,除孢子花粉外,几无其他化石,至今未发现哺乳动物化石。由于是过水湖快速沉积,古地磁、热释光、光释光、电子自旋共振等测年技术不适用于金沙江干流堰塞湖沉积物。根据可信度较高的上覆风成沉积物和昔格达组底部砂层宇生核素¹⁰Be—²⁶Al 埋藏年龄,金沙江奔子栏—巧家河段堰塞湖沉积物年龄上限为晚更新世,下限为早更新世晚期。第四纪以来的构造运动,特别是 0.8 Ma 以来的昆黄、共和运动,导致青藏高原东南缘的横断山脉快速隆升和冰冻圈形成,促进了堰塞湖的形成和溃决。考虑到冰冻圈出现的影响,金沙江奔子栏—巧家河段堰塞湖可能形成于 0.8 Ma(昆黄运动)以后,沉积物年龄为中—晚更新世。

关键词: 金沙江; 折向东流; 古堰塞湖沉积; 第四纪河流演化

中图分类号: 931.1

文献标志码: A

金沙江曾经是否南流,后被袭夺转向东流,是困扰中国地学界的百年谜题。丁文江、任美镔、明庆忠^[1-3]等人根据河流分布格局和地貌形态,认为金沙江曾南流入红河或湄公河,后被袭夺东流。沈玉昌、何浩生^[4-5]等人认为缺少相应的河流阶地砾石层等沉积学证据,质疑袭夺说。郑洪波^[6]等发现南京方山玄武岩下伏砂层碎屑锆石 U - Pb 同位素年龄谱与现代长江河床砂相近,最初认为金沙江曾经在石鼓附近南流入红河,并于 23 Ma 前被袭夺东流。

通过剑川盆地的钻探和地层研究证实^[7],现今的剑川盆地不曾有大型的外流河系发育,否定了金沙江曾经在石鼓附近的“长江第一湾”被袭夺东流,郑洪波根据该研究结论修正了以前的观点,认为不是现今的金沙江,而是以西的“古金沙江”曾经南流^[8]。笔者根据四川盆地西缘宜宾金沙江与岷江汇口处无第四纪大型冲积扇发育,推测金沙江可能第四纪前,已经东流汇入川江;当时三峡还未贯通,川江经乌江—沅江—洞庭湖入江汉盆地,与长江下游汇

收稿日期(Received date): 2020 - 08 - 11; 改回日期(Accepted date): 2020 - 11 - 22

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41873025; 41401009; 91747207)。 [National Natural Science Foundation of China (41873025; 41401009; 91747207)]

* 通讯作者(Corresponding author): 张信宝 (1946 -), 男, 二级研究员, 主要研究方向: 土壤侵蚀与水土保持。 [ZHANG Ximao (1946 -), male, professor, research on soil erosion, water and soil conservation.] E-mail: zxbao@imde. ac. cn; 刘彧 (1985 -), 女, 副研究员, 主要研究方向: 第四纪地质年代学与地貌学。 [LIUYU (1985 -), female, associate professor, research on Quaternary geochronology and geomorphology] E-mail: liuyu@mail. gyig. ac. cn

合^[9]。江汉平原和长江三角洲第四纪沉积物钻孔剖面的上部高磁化率层表明上游金沙江物质下泄,三峡贯通^[10-11]。但文献[10]认为高磁化率层底部的磁性倒转为布容/松山期(B/M)界限(0.78 Ma),而文献[11]认为是 Blake 事件(0.125 Ma)。

近年来金沙江堰塞湖沉积物的发现,有力地推动了金沙江形成演化的深入研究^[12-25]。例如李乾坤、徐则民^[12-13]等受永胜寨子村滑坡堰塞湖沉积物的启示,认为大部分昔格达组是滑坡堰塞湖沉积;通过研究金塘、涛源和昔格达等地堰塞湖沉积物,从库首到库尾由细变粗的粒度变化规律,笔者认为古金沙江也如同现今河流格局,由西向东流^[15]。最近开展的堰塞湖沉积物元素地球化学物源示踪研究同样表明^[27],古金沙江一直东流。近年来,地球化学物源示踪和光释光(OSL)、电子自旋共振(ESR)、古地磁及宇生核素(TCN)等现代测年技术逐步应用于堰塞湖沉积物研究,促进了对金沙江形成演化的认知深入^[6-7,10-11,14,17-26,28-34]。笔者查阅大量文献并实地考察金沙江,研究了奔子栏—巧家段的古堰塞湖沉积,阐明金沙江折向东流的地质地貌背景,介绍了奔子栏—巧家段金沙江河谷堰塞湖的分布及沉积相,重点讨论堰塞湖沉积物的年龄,青藏高原隆升及伴随的冰冻圈出现对金沙江古堰塞湖形成发育和河流演化的影响。利用堰塞湖沉积,研究金沙江的形成演化尚处于起步阶段,希望本文能够推动今后的相关研究。

1 金沙江折向东流的地质地貌背景

青海玉树直门达至四川宜宾的长江上游称为金沙江,穿行于川、藏、滇三省区。金沙江由北向南从直门达流至石鼓,突然折向东流,形成著名的“长江第一湾”。将金沙江干流叠加到云南地壳等深度线图^[35]上(图1),可见金沙江石鼓—小江汇口河段与北纬26度一带的地壳深度梯度陡变带高度重合。由于欧亚板块和扬子板块的阻挡,印度板块推挤青藏高原地块向北、向东的移动受阻,青藏高原地壳增厚,地壳厚度大于相邻地区。青藏高原的东南缘云南北纬26度一带的地壳等深度线梯度陡变带,也是我国地貌第一阶梯青藏高原向第二阶梯云贵高原过渡带。地壳深度梯度陡变带多为地质软弱带,金沙江石鼓—小江汇口的横向东流段基本上沿着北纬

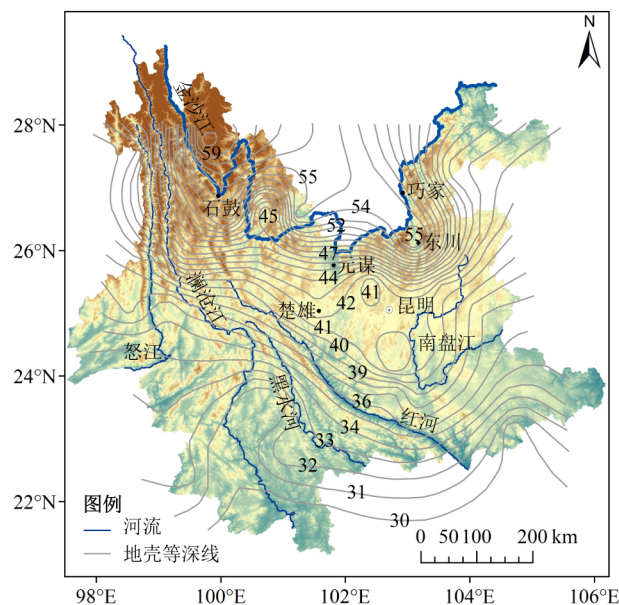


图1 叠加金沙江河流展布的云南地壳等深度线图^[35]

Fig. 1 Crustal isobath map of Yunnan province superimposed by the Jinsha River, China ^[35]

26度一带的地壳深度梯度陡变带延伸;也就是说,沿地质软弱带延伸。

青藏高原地块向东的推移受扬子板块阻挡转向南挤压,形成东南缘横断山区一系列南北向走滑断裂,和澜沧江、怒江和金沙江三江并流的南北向岭谷相间的壮观地貌。南北向断裂之间断块,最著名的是川滇菱形断块。该断块的西部边界是金沙江断裂和哀牢山—红河断裂,东部边界是鲜水河断裂、康定—西昌断裂、黑水河断裂、小江断裂和寻甸—弥勒断裂,东西边界的断裂在滇南通海一带交汇,断块的南侧为哀牢山地轴^[36](图2)。新生代以来,印度板块推挤川滇菱形断块向南移动,受哀牢山地轴阻挡,断块发生扭曲。图1和图2显示,川滇菱形断块南部有楚雄—元谋上地幔隆起。沿菱形断块西侧金沙江大断裂延伸南流的金沙江,受断块内部楚雄—元谋隆起阻挡^[55],在石鼓附近折向东流,横穿菱形断块,直至断块东侧的小江断裂,沿断裂转向北流,后在巧家葫芦口处复又东流。位于金沙江断裂以西的澜沧江和怒江,未受川滇菱形断块的影响,一直南流。

2 堰塞湖分布及沉积相

奔子栏—巧家河段的堰塞湖,从下游到上游主

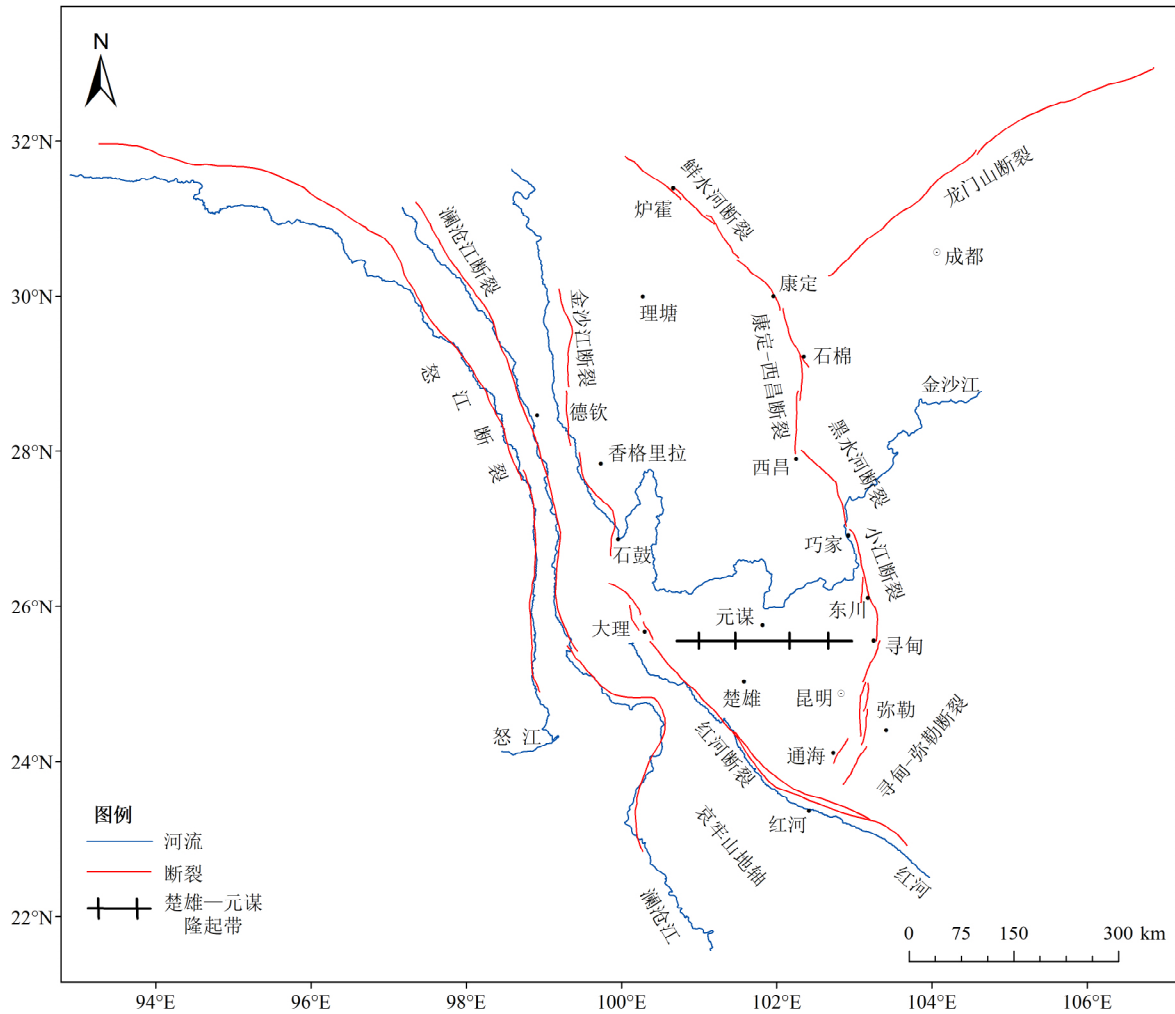


图 2 研究区各断层和金沙江、澜沧江、怒江展布示意图(据参考文献[36]修改)

Fig. 2 Schematic diagram of faults and configuration of the Jinsha River , the Lancang River and the Nu River in the study area (modified after the reference [36])

要发育有巧家湖、龙街湖、昔格达湖、涛源湖、大具湖、石鼓湖和奔子栏湖等(图 3) , 沉积物岩性、台地顶面高程、拔河高度等信息见表 1。这些堰塞湖沉积相的总体特征为: 堰塞湖湖首一带沉积物粒度较细 , 多为灰黄色粉细砂、亚黏土湖相沉积; 溯源向上 , 粒度逐渐变粗; 湖尾一带 , 出现河流相砂砾层 , 夹粉细砂、亚黏土层。昔格达组下部为灰黑色、深灰色粉细砂、亚黏土层 , 可能是湖水较深为还原环境的缘故。金沙江年输沙量上亿吨 , 库容几百亿方的堰塞湖 , 千百年即可淤满。这些堰塞湖沉积均为大型河流过水湖快速沉积 , 沉积相的最大特点是:

- (1) 粒度均一的厚层—巨厚层河湖相沉积 , 如巧家金塘的厚达数十米的粗砂—细角砾层^[14] (图 3) ;
- (2) 除孢子、花粉外 , 几无其他化石 , 迄今为止 , 无

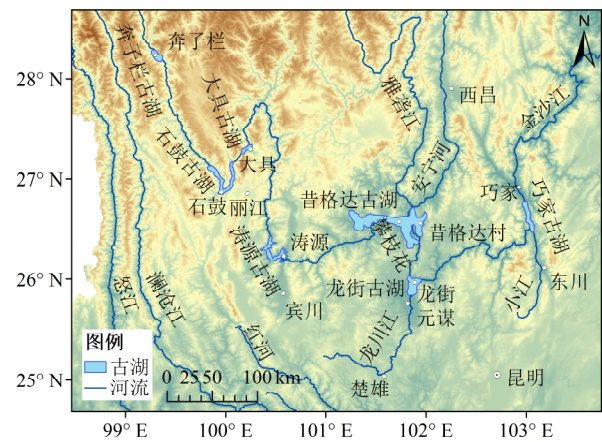


图 3 金沙江奔子栏—巧家河段的主要堰塞湖

Fig. 3 The main dammed lakes in the section of

Benzilan-Qiaojia of the Jinsha River

哺乳动物化石发现(是难以可靠断代的重要原因)。而邻近地区新第三纪和第四纪非大型河流堰塞湖型湖相沉积,沉积速率低,层理薄,多为中薄层粉细砂岩、黏土岩,多有化石发现^[34, 37-39]。如:元谋盆地早更新世元谋组紫红色砂泥岩中的元谋人牙齿和大量南亚热带哺乳动物和植物化

石^[37];云南高原面上鹤庆、滇池、大理等断陷盆地的新第三系和第四系中薄层砂泥岩湖相沉积地层,含褐煤层或煤线,多有植物枝叶和腹足类、瓣鳃类化石^[38-39]。四川米易等地非大河堰塞湖型的“昔格达组”,也有植物树枝叶化石发现^[40]。

表 1 金沙江奔子栏—巧家河段堰塞湖沉积物特征、顶面高程和年龄

Tab.1 Sediment characteristics, top elevation and age of dammed lakes in the Benzilan-Qiaojia reach of the Jinsha River

堰塞湖名称	位置	岩性描述	沉积物顶面 高程/m(拔 河高度/m)	年龄				
				古地磁	ESR	TL	OSL	其他 测年法
巧家湖	巧家华弹— 金塘—蒙姑— 一小江口上 溯至东川蒋 家沟口	下游华弹一带,灰黄色粉细砂、 亚黏土层;溯源向上,金塘—蒙 姑—一小江口一带,灰黑色中粗 砂夹细角砾层(岩性以源自小 江流域的前震旦系的片岩和板 岩为主)粒度逐渐变粗;支流 小江内达朵台地为砾石层。	960(290) (金塘)	晚更新世 —全新世 (上覆黄土 状堆积) ^[27]	20 ± 6 ka ~ 1190 ± 154 ka ^[14] ; 1130 ka, 120 ka, 1871 ± 180 ka ^[19]		81.23 ± 8.24 ka ~ 122.71 ± 8.12 ka (风成黄土) ^[29]	
龙街湖	元谋龙街— 攀枝花迤资	下游龙街一带为灰黑、灰白 色、灰黄色粉砂、亚黏土层;上 游迤资一带,砂砾层为主,夹 粉细砂层。	99(80) (龙街)		18 ± 1.7 ka ~ 78 ± 12.0 ka ^[24]	44.52 ± 3.78 ka ~ 52.02 ± 4.42 ka ^[30]		
昔格达湖	攀枝花拉 蚌—炳草岗 —格里坪— 华坪石龙坝 和盐边昔格 达	拉蚌、炳草岗和昔格达一带, 下部灰黑色、上部灰黄色粉细 砂、亚黏土层;格里坪和华坪 石龙坝一带为灰黄色粉细砂、 亚黏土层。	1370(410) (拉蚌); 1380(410) (炳草岗)	3.29 ~ 2.12 Ma ^[32]	0.61 ~ 18.9 Ma ^[31]	94.83 ± 8.06 ka ~ 192.07 ± 11.63 ka ^[19] , 94.83 ± 8.06 ~ 192.07 ± 11.63 ka ^[30]		1.2 ~ 1.53 Ma (¹⁰ Be/ ²⁶ Al) ^[23]
涛源湖	永胜寨子 村—鹤庆龙 开口	下游寨子村一带,灰黄色粉细 砂、亚黏土层,局部夹砂砾层; 溯源向上,砂砾层逐渐增多, 龙开口一带以砂砾层为主。	1350(150) (涛源)		639 ± 86 ka ^[31] , 209 ± 20 ka, 37 ± 0.7 ka ^[12]		5 ± 4.7 ka, 639 ± 86 ka ^[31] , 76.3 ± 3.2 ka ^[19] , 93.4 ± 3.9 ka (风成黄土) ^[19]	614.3 ka (¹⁰ Be/ ²⁶ Al) ^[19]
大具湖	丽江市 大具乡	砂砾层为主,夹灰黄色粉细 砂、亚黏土层。台地顶部的灰 岩砾石层多已被钙质胶结成 “龟壳”。	1730(150)		1.95 ± 0.23 Ma, 1.77 ± 0.16 Ma ^[18]			
石鼓湖	迪庆县其 宗—香格里拉 拉虎跳峡	下游杨家村一带,灰黄色粉细 砂、亚黏土层,局部夹砂砾层; 溯源向上,砂砾层逐渐增多, 其宗一带以砂砾层为主。	1860(50) (杨家村)		106 ± 21 ka ~ >1500 ka, 651.3 ± 130.2 ka (钙质胶 结物) ^[17]	43.6 ± 2.2 ~ 88.0 ± 5.3 ^[17] , 77.0 ± 3.9 ka ~ 113.0 ± 9.0 ka (风化红土) ^[17]	32 ± 2 ka ^[31] , 9.38 ± 1.19 ka ~ 23.25 ± 1.57 ka ^[25]	11.29 ± 0.11 ka (淤泥, ¹⁴ C) ^[17] 148.7 ± 13.0 ka ~ 181.0 ± 21.6 ka (铀系法) ^[17]
奔子栏湖	德庆奔子栏 镇	灰黄色粉细砂、亚黏土层、砂 砾层。湖首→湖尾,粒度逐渐 变粗。	2130(120)			149.65 ± 11.97 ka ^[34]		7.68 ± 0.10 ka ~ 15.67 ± 0.50 ka (¹⁴ C) ^[34] 122.0 ± 12.4 ka (铀系法) ^[20]

这些堰塞湖沉积巨厚,组成台地顶面的拔河高度多大于数十米,昔格达组拉蚌剖面拔河高度最大,可达 410 m。巨厚的湖相沉积有的紧邻河岸,直抵现代河床;有的由于后期侵蚀,出露下伏基岩。金沙江大型梯级电站工程地质钻探揭示,金沙江河床基岩上覆厚达数十至百米以上的含湖相沉积的松散碎屑层,如金沙江其宗—虎跳峡段河段(石鼓湖)(图 4)。堰塞坝体溃决后,河流强烈下切。在非均匀的下切过程中,巨厚的堰塞湖沉积物组成的坡地,往往形成一些阶梯状的侵蚀阶地,阶面平坦,阶壁坡陡。由于这些阶地的组构为松散的黏土、砂砾堰塞湖沉积,受阶地形态与组构传统模式的影响,前人常将阶梯状的侵蚀阶地错误地解释为堆积阶地,如刘芬良绘制的巧家青岗坝附近的河流阶地断面^[14](图 3)。原图中相邻阶地近乎垂直的分界线是不存在的,地层横向上是连续的。其他的,就不一一列举。我们 2019 年考察石鼓湖杨家村剖面时,适逢修建公路开挖,发现报道剖面中堆积阶地顶部的砾石层,实为堰塞湖厚层粉细砂层中的砂砾石夹层^[17](图 6);考察巧家葫芦口阶地剖面,发现所谓的“高阶地砾石层”,可能不是金沙江阶地砾石层,而是紫红色强烈风化老的第三纪砾岩^[14]。

3 堰塞湖沉积物年龄

前人采用古地磁、ESR、TL(热释光)、OSL、

¹⁴C、TCN、U 系法等多种方法,对金沙江奔子栏—巧家段的堰塞湖沉积和上覆的黄土状沉积物进行了测年,年龄从新第三纪的四百多万年到晚更新世的一万多年不等(表 1)。以下简要分析这些测年手段的适用性和年龄数据的可靠性。如前所述,这些金沙江堰塞湖沉积物为大型河流堰塞快速沉积,千百年即可淤满。古地磁根据极性倒转事件确定年龄,适用于时间跨度数十万年以上的沉积物,不适用于快速沉积的大型河流堰塞湖沉积物断代。钱方^[37]和蒋复初^[41]等报道的昔格达组剖面古地磁极性倒转,有可能是湖底水流方向改变等原因所致,测年数据可信度低。TL、OSL 和 ESR 技术都是根据沉积物最近一次归零事件后的辐射量计算年龄。但快速湖泊沉积,可能没有暴露地表,或暴露地表时间不够长,晒退作用不完全,难以归零,测年数据可靠性值得考虑。堰塞湖相沉积物上覆的黄土风成沉积,有足够的地表暴露时间,TL、OSL 和 ESR 等断代技术适用,测年数据可信度较高。宇生核素技术(TCN)给出的测年结果,难以排除有继承性核素的影响,因此,宇生核素埋藏年龄只能代表沉积物的最大年龄。

由以上测年技术的适用性和测年数据可信度的分析可见,堰塞湖沉积物的 TL、OSL 和 ESR 三种测年数据可信度较低,分析讨论时应予排除。上覆风成沉积物的测年数据可信度高,石鼓湖风成红土的最大年龄为 $113.0 \pm 9.0 \text{ ka}$ (TL)^[17];涛源湖风成黄

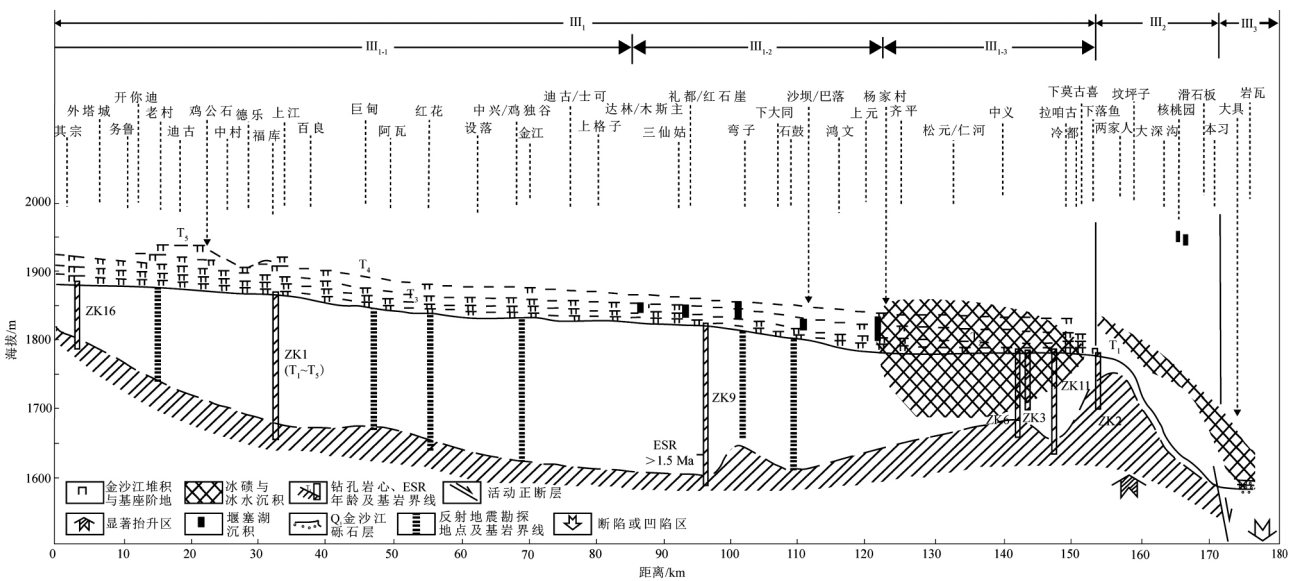


图 4 石鼓湖(长江第一湾河段)基岩埋深与河流阶地相图^[17]

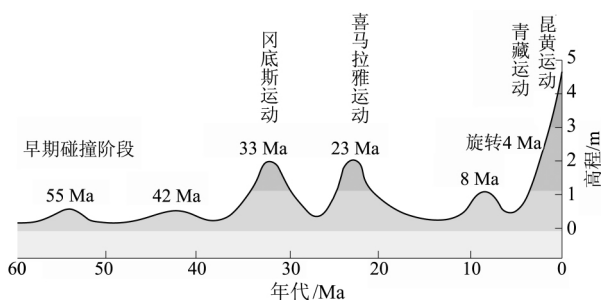


图5 青藏高原隆升示意图^[43]

Fig. 5 Time line of the uplift of the Tibetan Plateau^[43]

土最大年龄为 93.4 ± 3.9 ka (OSL)^[19]; 巧家湖风成黄土最大年龄为 122.71 ± 8.12 ka (古地磁年龄)^[29]。堰塞湖沉积物的 TCN 年龄: 昔格达湖, $1.2 \sim 1.53$ Ma^[23]; 涛源湖, 614.3 ka^[19]; 堰塞湖沉积物的¹⁴C 年龄: 石鼓湖, 11.29 ± 0.11 ka^[17]; 奔子栏湖, (7.68 ± 0.10) ka \sim (15.67 ± 0.50) ka^[34]。铀系年龄: 石鼓湖为 (148.7 ± 13.0) ka \sim (181.0 ± 21.6) ka^[17]; 奔子栏湖为 122.0 ± 12.4 ka^[20]。

从上覆风成沉积物年龄可以确定,金沙江奔子栏—巧家河段堰塞湖沉积物年龄上限为晚更新世,下限为昔格达组底部砂层 TCN 年龄 1.2 Ma,相当于早更新世晚期。更多的堰塞湖沉积物底部砂砾层的宇生核素断代和寻找可断代的古生物化石,是下一步确定这些堰塞湖沉积物可靠年龄的工作重点。

4 青藏高原隆升和冰冻圈形成对金沙江河流演化和古堰塞湖发育的影响

根据上述年龄分析可知,金沙江奔子栏—巧家河段堰塞湖沉积物比较可靠的年龄是早更新世晚期—晚更新世,这个时间段正是青藏高原东南缘山地强烈隆升和冰冻圈形成的重要时期。由高原隆升造成巨大地形高差和东缘山地冰冻圈形成引起的冰期、间冰期河流流量的显著差异,对金沙江河流演化和古堰塞湖发育有举足轻重的影响。印度板块推挤欧亚地块导致新生代以来青藏高原及其周边山地的强烈隆升是学界共识,但对高原隆升过程和时间的认识还存在差异^[42-54]。李吉均在《青藏高原隆升与晚新生代环境变化》一文中^[43],给出了青藏高原 60 Ma 以来的构造隆升历史(图 5),认为“ $1.2 \sim 0.6$ Ma 昆黄运动之后,高原达到 3000 m 就很了不起了,结合降水,已然达到了冰川发育的高度(图 6)。所以不到 1.0 Ma 的这个时候才有发育冰川的条件。这也跟阿尔卑斯山相似,阿尔卑斯山典型的 Gunz、Mindel、Riss、Wurm 加上多瑙等,最近都说这都是布容世的东西,并不老,都是昆黄运动以后的,都是中更新世气候转型形成的”。希夏邦马冰期的冰碛被认为是目前喜马拉雅山地区最老的冰碛物,

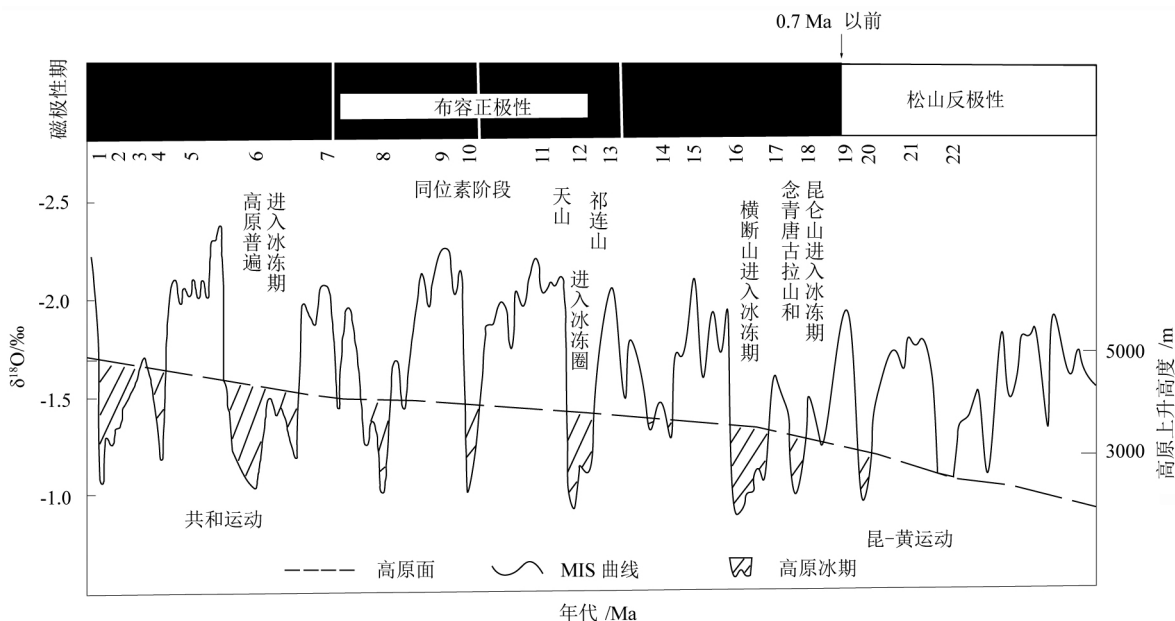


图6 青藏高原构造抬升和全球冰期气候耦合示意图^[43]

是早更新世突峙高原边缘的个别高峰的冰川活动遗迹,为小型的山麓冰川,但不能认为高原整体已进入冰冻圈。Zheng等推测其可能形成时间为0.8~1.17 Ma,可对应于MIS 20—36^[44]。

近年来,欧美科学家对青藏高原古高度开展了较多研究^[45-54]。Harrison等^[45]认为青藏高原整体部分在大约8 Ma前加速隆升了1000~2000 m,已经达到和超过现今高度。但最近的研究又对高原的隆升历史和高度提出了新的看法:Spicer等^[46]认为高原在15 Ma前已经达到现今高度,并进一步认为这一高度在过去的15 Ma内保持不变;Rowley和Currie^[47]认为高原表面在35 Ma前已经达到4000 m以上的高度。青藏高原8 Ma前已隆升到现今高度似乎已成了“主流”观点,也得到国内一些科学家的响应^[48-50]。如孙继敏^[51]所言“然而,截至目前,科学界并没有解决青藏高原具体高度的变化,已有的研究多是依据同位素高度效应^[52-53],基于现代自然背景的简单外推,相对于复杂的地质过程而言,这些研究缺乏说服力,导致高原何时达到最大高度以及不同区域隆升高度的争论。以西藏中部的伦坡拉盆地为例,此前,Rowley和Currie^[47]利用土壤和湖泊碳酸盐同位素高度计,认为在始新世末期(35 Ma)高原就已经达到现今高度。但我们最近对伦坡拉盆地的新生代沉积开展了磁性地层学、火山灰年代学、孢粉学研究^[54],认为高原中部伦坡拉地区在晚渐新世—早中新世的古高度不超过3200 m,比Rowley和Currie^[47]同一地点利用土壤和湖泊碳酸盐氧同位素估算的古高度至少低1500~2000 m”。孙继敏认为“不能将现今的同位素分馏模型直接用于地质时期的古高度估算”。李吉均先生问得更好,“如果8 Ma前已经上升到了现在的高度,就应当8 Ma前就有冰川了?”^[43]。

如前所述,金沙江奔子栏—巧家河段堰塞湖沉积物的年龄为早更新世晚期—晚更新世,考虑到宇生核素的继承性,下限可能晚于早更新世晚期,时间与构造运动引起的青藏高原强烈隆升和冰冻圈的形成时间上基本吻合。现今的青藏高原主要为3.6 Ma以来强烈隆升的结果,0.8 Ma以前青藏高原并不很高,只是昆黄运动才把多数山地推到冰冻圈中,整个青藏高原经过共和运动才达到现代高度^[40]。第四纪以来的构造运动,特别是0.8 Ma以

来的昆黄、共和运动,导致青藏高原东南缘的横断山脉快速隆升,金沙江强烈深切,纵比降加大。冰冻圈的形成更促进了堰塞湖形成和溃决:冰期时,蓄积于冰川的降水比例大,河川径流流量小,滑坡形成的堰塞湖不易溃决,泥沙沉积于湖内;间冰期时,冰川融化,河川径流流量增大,堰塞湖易于溃决。考虑到冰冻圈形成的影响,金沙江奔子栏—巧家河段堰塞湖可能形成于0.8 Ma(昆黄运动)以后,沉积物年龄为中—晚更新世。由于可能存在继承性核素影响,攀枝花炳草岗昔格达组底部砂层宇生核素埋藏年龄1.2 Ma可能偏老。

5 结语

(1) 金沙江干流展布与地壳深度梯度陡变带高度重合表明,其流向受控于地质构造。沿川滇菱形断块西侧金沙江大断裂延伸南流的金沙江,受断块内部楚雄—元谋隆起阻挡,在石鼓附近折向东流,横穿菱形断块;直至断块东侧的小江断裂,沿断裂转向北流,后在巧家葫芦口处复又东流。位于金沙江断裂以西的澜沧江和怒江,未受川滇菱形断块的影响,一直南流。

(2) 金沙江奔子栏—巧家河段的堰塞湖,自下游到上游主要有巧家湖、龙街湖、昔格达湖、涛源湖、大具湖、石鼓湖和奔子栏湖等。堰塞湖湖首一带沉积物粒度较细,多为灰黄色粉细砂、亚黏土湖相沉积;溯源向上,粒度逐渐变粗,至湖尾一带,出现河流相砂砾层,夹粉细砂、亚黏土层。这些堰塞湖均为大型河流过水湖快速沉积,沉积相的最大特点是:粒度均一的厚层—巨厚层河湖相沉积。除孢子、花粉外,几无其他化石。

(3) 由于是过水湖快速沉积,古地磁、TL、OSL、ESR等技术不适用于金沙江堰塞湖沉积物的断代。从可信度较高的上覆风成沉积物年龄可以确定,金沙江奔子栏—巧家河段堰塞湖沉积物年龄上限为晚更新世,下限为昔格达组底部砂层TCN最大年龄1.2 Ma,相当于早更新世晚期,考虑到继承性宇生核素的影响,下限可能晚于早更新世晚期。

(4) 第四纪以来的构造运动,特别是0.8 Ma以来的昆黄、共和运动,导致青藏高原东南缘的横断山脉快速隆升,金沙江强烈深切,纵比降加大。冰冻圈

的形成更促进了堰塞湖形成和溃决:冰期时,河川径流流量小,滑坡形成的堰塞湖不易溃决;间冰期时,冰川融化,河川径流流量大,堰塞湖易溃决。考虑到冰冻圈形成的影响,金沙江奔子栏—巧家河段堰塞湖可能形成于0.8 Ma(昆黄运动)以后,沉积物年龄为中—晚更新世。

参考文献(References)

- [1] 丁文江. 徐霞客游记[M]. 上海: 商务印书馆, 1928: 1 - 50. [DING Wenjiang. The journey diaries of Xu Xiake[M]. Shanghai: The Commercial Press, 1928: 1 - 50]
- [2] 任美镛, 包浩生, 韩同春, 等. 云南西北部金沙江河谷地貌与河流袭夺问题[J]. 地理学报, 1959, 25(2): 135 - 155. [REN Meie, BAO Haosheng, HAN Tongchun, et al. Geomorphology of the Yangtze River valley and its river capture in northwestern Yunnan [J]. Acta Geographica Sinica, 1959, 25(2): 135 - 155]
- [3] 明庆忠, 史正涛, 董铭. 长江第一弯成因及形成时代探讨[J]. 地理科学进展, 2007, 26(3): 119 - 126. [MING Qingzhong, SHI Zhengtao, DONG Ming. The inquiry on genesis and formation times of the first bend of Yangtze River [J]. Progress in Geography, 2007, 26(3): 119 - 126]
- [4] 沈玉昌, 杨逸畴. 滇西金沙江袭夺问题的新探讨[J]. 地理学报, 1963, 29(2): 87 - 107. [SHEN Yuchang, YANG Yichou. New research on the problem of river-capture of Ching-Sha-Chiang (the Upper Yangtze), western Yunnan Chinsha-Chian, China [J]. Acta Geographica Sinica, 1963, 29(2): 87 - 107]
- [5] 何浩生, 何科昭, 朱祥民, 等. 滇西北金沙江河流袭夺的研究——兼与任美镛先生商榷[J]. 现代地质, 1989, 3(3): 319 - 330. [HE Haosheng, HE Kezhao, ZHU Xiangmin, et al. A discussion on the problem of river capturing of the Jinshajiang River in northwest Yunnan [J]. Geoscience, 1989, 3(3): 319 - 330]
- [6] ZHENG Hongbo, CLIFT P D, WAN Ping, et al. Pre-Miocene birth of the Yangtze River [J]. PNAS, 2013, 110(19): 7556 - 7561.
- [7] WEI Honghong, WANG Erchie, WU Guoli, et al. No sedimentary records indicating southernly flow of the paleo-Upper Yangtze River from the First Bend in Southeastern Tibet [J]. Gondwana Research, 2016, 32: 93 - 104.
- [8] 郑洪波, 魏晓椿, 王平, 等. 长江的前世今生[J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(4): 385 - 393. [ZHENG Hongbo, WEI Xiaochun, WANG Ping, et al. Geological evolution of the Yangtze River [J]. Science China: Earth Science, 2017, 47(4): 385 - 393.
- [9] 张信宝, 刘彧, 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 Xinbao, LIU Yu, WANG Shijie, et al. On the Chronology of the Yellow River and the Yangtze River [J]. Mountain Research, 2018, 36(5): 661 - 668]
- [10] ZHANG Yufen, LI Changan, WANG Qiuliang, et al. Magnetism parameters characteristics of drilling deposits in Jiangnan Plain and indication for forming of the Yangtze River Three Gorges [J]. Chinese Science Bulletin, 53(4): 584 - 590.
- [11] 陈静. 长江河口区晚新生代沉积物中标志性物源分析及其河流贯通入海意义[D]. 上海: 华东师范大学, 2006: 72 - 116. [CHEN Jing. Diagnostic sediment indicators in the Late Cenozoic sediments, the Yangtze River coast, China, a special reference to river channelization to the sea [D]. Shanghai: East China Normal University, 2006, 72 - 116]
- [12] 李乾坤, 徐则民, 张家明. 永胜金沙江寨子村古滑坡和古堰塞湖的发现[J]. 山地学报, 2011, 29(6): 729 - 737. [LI Qiankun, XU Zemin, Zhang Jiaming. The ancient landslide and dammed lake found in the Yangtze River near Zhaizicun [J]. Mountain Research, 2011, 29(6): 729 - 737]
- [13] 徐则民, 刘文连. 昔格达组地层研究中需要注意的若干关键问题[J]. 地学前缘, 2011, 18(5): 256 - 270. [XU Zeming, LIU Wenlian. Some problems in the study of the genesis of Xigeda Formation [J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(5): 256 - 270]
- [14] 刘芬良, 高红山, 李宗盟, 等. 金沙江巧家—蒙姑段的阶地发育与河谷地貌演化[J]. 地理学报, 2020, 75(5): 1095 - 1105. [LIU Fenliang, GAO Hongshan, LI Zongmeng, et al. Terraces development and their implications for valley evolution of the Yangtze River from Qiaojia to Menggu [J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(5): 1095 - 1105]
- [15] 张信宝, HIGGITT D, 刘维明, 等. 金沙江下游金塘古滑坡堰塞湖阶地[J]. 山地学报, 2013, 31(1): 127 - 127. [ZHANG Xinbao, HIGGITT D, LIU Weiming, et al. Terraces of ancient giant Jintang landslide-dammed lake in Yangtze River [J]. Mountain Research, 2013, 31(1): 127 - 127]
- [16] HIGGITT D, ZHANG Xinbao, LIU Weiming, et al. Giant paleo-landslide dammed the Yangtze river [J]. Geoscience letters, 2014, 1(1): 2 - 7.
- [17] 赵希涛, 吴中海, 冯玉勇, 等. 金沙江“长江第一湾”段河谷地貌、沉积与发育[J]. 地质通报, 2015, 34(1): 83 - 102. [ZHAO Xitao, WU Zhonghai, FENG Yuyong, et al. Landscapes and sediments of the Yangtze First Bend valley along the Yangtze River and development of the valley [J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(1): 83 - 102]
- [18] 赵希涛, 张永双, 胡道功, 等. 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, 2006, 25(12): 1381 - 1386. [ZHAO Xitao, ZHANG Yongshuang, HU Daogong, et al. Discovery of early Pleistocene gravels of the Yangtze River in the Daju basin, Yunnan, China, and its significance [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(12): 1381 - 1386]
- [19] 苏怀, 明庆忠, 潘保田, 等. 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, 2013, 36(6): 685 - 693. [SU Huai, MING Qingzhong, PAN Baotian, et al. The analysis and

- discussions on the chronological frame of Jinshajiang River valley drainage [J]. *Mountain Research*, 2013, **36**(6): 685 – 693]
- [20] 张永双, 赵希涛, 胡道功. 滇西北德钦地区金沙江奔子栏古堰塞湖的发现及意义 [J]. *地质通报*, 2007, **26**(8): 970 – 975. [ZHANG Yongshuang, ZHAO Xitao, HU Daogong. An ancient landslide-dammed lake found in the Yangtze River valley near Benzilan, Deqin, Yunnan, China and its significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, **26**(8): 970 – 975]
- [21] 赵希涛, 曲永新, 张永双, 等. 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*, 2007, **26**(8): 960 – 969. [ZHAO Xitao, QU Yongxin, ZHANG Yongshuang, et al. Discovery of Shigu Paleolake in the Lijiang area, north-western Yunnan, China and its significance for the development of the modern Yangtze River valley [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, **26**(8): 960 – 969]
- [22] 张信宝. 金沙江南流入红河的锆石 U-Pb 年龄谱物源示踪研究的质疑 [J]. *山地学报*, 2019, **37**(4): 471 – 474. [ZHANG Xinbao. Question of using the zircon U-Pb age technique for sediment tracing to study whether the ancient Yangtze River flew southward to joint Red River [J]. *Mountain Research*, 2019, **37**(4): 471 – 474]
- [23] KONG Ping, GRANGER D E, WU Fuyuan, et al. Cosmogenic nuclide burial ages and provenance of the Xigeda paleo-lake: implications for evolution of the Middle Yangtze River [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2009, **278**(1/2): 131 – 141.
- [24] 刘芬良, 高红山, 李宗盟, 等. 金沙江龙街段晚更新世以来的阶地发育与河谷地貌演化 [J]. *地球科学进展*, 2020, **35**(4): 431 – 440. [LIU Fenliang, GAO Hongshan, LI Zongmeng, et al. Terraces development and their implications for valley evolution of the Yangtze River since Late Pleistocene near Longjie, Yunnan [J]. *Advances in Earth Science*, 2020, **35**(4): 431 – 440]
- [25] 陶亚玲, 常宏, 强小科. 长江第一湾河段阶地特征及年代学研究 [J]. *第四纪研究*, 2018, **38**(1): 151 – 164. [TAO Yaling, CHANG Hong, QIANG Xiaoke. Terraces and their chorology features of the First Bend along the Changjiang River [J]. *Quaternary Sciences*, 2018, **38**(1): 151 – 164]
- [26] 胡传辉, 刘彧, 王世杰, 等. 金沙江下游河湖相沉积物元素地球化学特征及对河流演化的指示 [J]. *地球与环境*, 2020, DOI: 10.14050/j.cnki.1672 – 9250.2020.48.104. [HU Chuanhui, LIU Yu, WANG Shijie. The element geochemical characteristics of fine-grained clastic sediments in dammed lakes of the Yangtze River and its indication to the river evolution [J]. *Earth and Environment*, 2020, DOI: 10.14050/j.cnki.1672 – 9250.2020.48.104.](录用待刊)
- [27] 朱正峰, 苏怀, 董铭, 等. 金沙江寨子村古堰塞湖沉积年代研究 [J]. *第四纪研究*, 2018, **38**(1): 145 – 150. [ZHU Zhengfeng, SU Huai, DONG Ming, et al. The age of Zhaizicun ancient dammed lake sediments in Yangtze River [J]. *Quaternary Sciences*, 2018, **38**(1): 145 – 150]
- [28] 蒋复初, 吴锡浩, 王书兵, 等. 金沙江巧家段河谷黄土状堆积的时代问题 [J]. *地质力学学报*, 1999, **5**(4): 35 – 40. [JIANG Fuchu, WU Xihao, WANG Shubing, et al. On the age of loessal sediment around Qiaojia in the Jinshajiang River valley [J]. *Journal of Geomechanics*, 1999, **5**(4): 35 – 40]
- [29] 管东升. 金沙江河谷黄土状沉积物的成因及其古气候意义 [D]. 兰州: 兰州大学, 2012: 10 – 41. [GUAN Dongsheng. The origin and palaeoclimate implications of the Loess-like sediment in the Yangtze River [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012: 10 – 41].
- [30] 胥勤勉, 杨达源, 葛兆帅, 等. 金沙江三堆子乌东德河段阶地研究 [J]. *地理科学*, 2006, **26**(5): 609 – 615. [XU Qinmian, YANG dayuan, GE Zhaoshuai, et al. Terraces along Sanduizi—Wudongde section of Yangtze River [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, **26**(5): 609 – 615]
- [31] 刘芬良. 晚新生代金沙江下游段地貌演化与河谷发育研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2018: 67 – 96. [LIU Fenliang. Geomorphological evolution and Valley development of the Lower Yangtze River during Late Cenozoic [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2018: 67 – 96]
- [32] 钱方, 徐树金, 陈富斌, 等. 昔格达组磁性地层的研究 [J]. *山地研究*, 1984, **2**(4): 275 – 282. [QIAN Fang, Xu Shujin, CHEN Fubin, et al. Study on the Paleomagnetism of the Xigeda Formation [J]. *Mountain Research*, 1984, **2**(4): 275 – 282]
- [33] 陈富斌, 赵永涛. 攀西地区新构造 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1988, 2 – 148. [CHEN Fubin, ZHAO Yongtao. Neotectonics in Panzihua-Cichang Region [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technique Publication House, 1988, 2 – 148]
- [34] 张叶春, 李吉均, 朱俊杰, 等. 晚新生代金沙江形成时代与过程研究 [J]. *云南地理环境研究*, 1998, **10**(2): 43 – 48. [ZHANG Yechun, LI Jijun, ZHU Junjie, et al. Studies on development of Jinshajiang River During Late Cenozoic [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 1998, **10**(2): 43 – 48]
- [35] 邓嘉美, 金明培, 赵家本, 等. 云南地区地壳厚度与泊松比变化及其意义 [J]. *中国地震*, 2014, **30**(4): 583 – 596. [DENG Jiamei, JIN Mingpei, ZHAO Jiaben, et al. Tectonic implications from the distribution map of the crust thickness and Poisson's ratio in the Yunnan area [J]. *Earthquake Research in China*, 2014, **30**(4): 583 – 596]
- [36] 李坪, 汪良谋. 云南川西地区地震地质基本特征的探讨 [J]. *地质科学*, 1975, **4**: 310 – 325. [LI Ping, WANG Liangmou. Exploration of the seismo-geological features of the Yunnan-west Sichuan region [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1975, **4**: 310 – 325]
- [37] LI Xin, MA Xiaobing, CHEN Yun, et al. A plume-modified lithospheric barrier to the southeastward flow of partially molten

- Tibetan crust inferred from magnetotelluric data [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2020, **548**: 116493.
- [38] 钱方, 周国兴. 元谋第四纪地质与古人类 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 9 - 72. [QIAN Fang, ZHOU Guoxing. *Quaternary Geology and Palaeoanthropology of Yuanmou, Yunnan, China* [M]. Beijing: Science Press, 1991: 9 - 72]
- [39] 肖霞云, 沈吉, 王苏民, 等. 鹤庆深钻孢粉记录揭示的气候变化与西南季风演化 [J], *古生物学报*, 2009, **48**(2): 185 - 193. [XIAO Xiayun, SHEN Ji, WANG Sumin, et al. Climate change and evolution of the southwest monsoon revealed by pollen in the Heqing deep drilling core [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2009, **48**(2): 185 - 193]
- [40] 朱海虹. 云南断陷湖泊的形成和晚新生代的沉积及其演化 [J], *海洋与湖沼*, 1991, **22**(6): 509 - 516. [ZHU Haihong. Formation of fault lakes in Yunnan Province, and its sediment and evolution in Late Cenozoic [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1991, **22**(6): 509 - 516]
- [41] 马玉孝, 刘家铎, 王洪峰, 等. 攀枝花地质 [M]. 成都: 四川科技出版社, 2001: 169 - 175. [MA Yuxiao, LIU Jiaduo, WANG Hongfeng, et al. *Geology of the Pangzhihua Region, Sichuan* [M]. Science and Technique Publication House, 2001: 169 - 175]
- [42] 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 四川泸定昔格达组时代及其新构造意义 [J]. *地质学报*, 1999, **73**(1): 1 - 6. [JIANG Fuchu, WU Xihao, XIAO Huaguo, et al. On the age of the Xigeda Formation in Luding, Sichuan, and its neotectonic significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, **73**(1): 1 - 6]
- [43] 施雅风. 第四纪中期青藏高原冰冻圈的演化及其与全球变化的联系 [J]. *冰川冻土*, 1998, **20**(3): 197 - 208. [SHI Yafeng. Evolution of the cryosphere in the Tibetan Plateau, China, and its relationship with the global change in the Mid Quaternary [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1998, **20**(3): 197 - 208]
- [44] 李吉均. 青藏高原隆升与晚新生代环境变化 [J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2013, **49**(2): 154 - 159. [LI Jijun. Uplifting of Qingzhang Plateau and environment changes in Late Cenozoic [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2013, **49**(2): 154 - 159]
- [45] ZHENG Benxing. Quaternary glaciation of Mt. Qomolangma-Xixiabangma region [J]. *Geojournal*. 1988, **17**(4): 525 - 543.
- [46] HARRISON T M, COPELAND P, KID W S F, et al. Activation of the Nyainqentanghla Shear Zone: implications for uplift of the southern Tibet plateau [J]. *Tectonics*, 1995, **14**(3): 658 - 676.
- [47] SPICER R A, HARRIS N B W, WIDDOWSON M, et al. Constant elevation of southern Tibet over the past 15 million years [J]. *Nature*, 2003, **421**: 622 - 624.
- [48] ROWLEY D B, CURRIE B S. Palaeo-altimetry of the late Eocene to Miocene Lunpola basin, central Tibet [J]. *Nature*, 2006, **439**: 677 - 681.
- [49] SHEN Hong, POULSEN, C J. Precipitation $\delta^{18}\text{O}$ on the Himalaya-Tibet orogeny and its relationship to surface elevation [J]. *Climate of the Past Discussions*, 2019, **15**(1): 169 - 187.
- [50] SUN Jimin, JIANG Maosheng. Eocene seawater retreat from the southwest Tarim Basin and implications for early Cenozoic tectonic evolution in the Pamir Plateau [J]. *Tectonophysics*, 2013, **588**: 27 - 38.
- [51] VALDES P J, DING Lin, FARNSWORTH A, et al. Comment on "Revised paleoaltimetry data show low Tibetan Plateau elevation during the Eocene" [J]. *Science*, 2019, **365**(6459): eaax8474.
- [52] 孙继敏. 地球系统科学的研究范例——青藏高原隆升的地貌、环境、气候效应 [J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2014, **53**(6): 1 - 9. [SUN Jimin. Case study based on earth system science theory—geomorphic, environmental, and climatic effects of the tectonic uplift of the Tibetan Plateau [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2014, **53**(6): 1 - 9]
- [53] GARZIONE C N, QUADE J, DECELLS P G, et al. Predicting paleoelevation of Tibet and the Himalaya from $\delta^{18}\text{O}$ versus altitude gradients in meteoric water across the Nepal Himalaya [J]. *Earth Planetary Science Letters*, 2000, **183**: 215 - 229.
- [54] ROWLEY, D B, PIERREHUMBERT, R T, CURRIE, B S. A new approach to stable isotope-based paleoaltimetry: implications for paleoaltimetry and paleohypsometry of the High Himalaya since the Late Miocene [J]. *Earth Planetary Science Letters*, 2001, **188**: 253 - 268.
- [55] SUN Jimin, XU Qinghai, LIU Weimin, et al. Palynological evidence for the latest Oligocene-early Miocene paleoelevation estimate in the Lunpola Basin, central Tibet [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2014, **399**: 21 - 30.

Geological Implication of the Jinsha River Flowing Eastward , Ancient Dammed Lake Deposition , and Quaternary River Evolution in China

ZHANG Xinbao^{1 2} , LIU Yu^{2 3} , HU Kaiheng¹ , HU Chuanhui^{3 4} , DAI Bin^{3 #} , LIU Weiming¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment , Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy , Chengdu 610041 , China;

2. Puding Karst Ecosystem Research Station , Chinese Academy of Sciences , Puding 562100 , Guizhou , China;

3. Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guiyang 550081 , China;

4. University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China)

Abstract: The distribution of the main streams of the Jinsha River is controlled by geological structures in the southeastern margin of the Tibetan Plateau. Along the Jinsha River Fault to the western side of the Sichuan–Yunnan Rhombic Block , the Jinsha River flows southly and then diverts to the east at Shigu due to the blockage of the Chuxiong–Yuanmou Uplift in the south of the Sichuan–Yunnan Rhombic Block , forming the “first bend of the Yangtze River”. The Lancang River and the Nujiang River , located to the west of the Jinsha River Fault , have been flowing south through Southeast Asia into the sea because they are not affected by the Sichuan–Yunnan Rhombic Block. The dammed lakes distributed between the section of Benzilan to Qiaojia along the Jinsha River mainly comprise the Qiaojia Lake , the Longjie Lake , the Xigeda Lake , the Taoyuan Lake , the Daju Lake , the Shigu Lake and the Benzilan Lake in an order from downstream to upstream. Sediments in these lakes are typically rapid deposition of water-carrying lakes associated with large rivers. The most important sedimentary feature of the lakes was that there was thick-super thick layers of fluviolacustrine facies with uniform particle size; Except for spore pollen , there were few other fossils , and no mammal fossils had been found. Age-dating techniques , such as paleomagnetism , thermoluminescence , photoluminescence and electron spin resonance dating techniques are not suitable for the sediments collected in the dammed lakes because their properties associated with rapid depositions. However , it is speculated that the ages of those lake sediments may range from late Early Pleistocene to Late Pleistocene according to reliable dating data measured from the eolian deposits overlying on the lake sediments and the sand layers beneath the Xigeda Formation by cosmogenic nuclide ^{10}Be – ^{26}Al burial dating. The tectonic movement since the Quaternary , especially from the Kunlun–Huanghe Movement and the Gonghe Movement since 0.8 Ma , contributed to the rapid uplift of the Hengduan Mountains on the southeastern margin of the Qinghai–Tibet Plateau and the formation of local cryosphere , which controlled the evolution of these dammed lakes. Taking into account the influence of the cryosphere , the dammed lakes formed in the Benzilan–Qiaojia section of the Jinsha River may be formed after 0.8 Ma (Kunlun–Huanghe Movement) , and the sediment ages are between mid-late Pleistocene.

Key words: the Jinsha River; diverting to east; ancient dammed deposits; Quaternary river evolution