

金沙江“长江第一湾”段河谷地貌、沉积与发育

赵希涛^{1,2}, 吴中海¹, 冯玉勇², 张永双¹, 胡道功¹, 曲永新², 郭长宝¹
ZHAO Xitao^{1,2}, WU Zhonghai¹, FENG Yuyong², ZHANG Yongshuang¹,
HU Daogong¹, QU Yongxin², GUO Changbao¹

1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*

摘要:“长江第一湾”位于青藏高原东南边缘及其向云贵高原过渡的边缘地带,金沙江在该区深深切割了青藏高原东南边缘。按照河谷地貌与沉积特征,其宗—大具段金沙江可划分为其宗—下落鱼段、虎跳峡段和大具盆地段。详细描述了各河段的地貌与第四纪沉积特征,并根据同位素年龄等数据讨论了河流沉积物、湖相沉积物及冰川与冰水沉积物,特别是河谷中厚达150~250m的埋藏沉积物的成因与形成时代。在此基础上,讨论了研究区及邻区自中新世以来的金沙江河谷发育与青藏高原隆升问题。

关键词:金沙江;长江第一湾;地貌;沉积;河谷发育;青藏高原隆升

中图分类号:P931.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2015)01-0083-21

Zhao X T, Wu Z H, Feng Y Y, Zhang Y S, Hu D G, Qu Y X, Guo C B. Landscapes and sediments of the ‘Yangtze First Bend’ valley along the Jinsha River and development of the valley. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(1):83-103

Abstract: The First Bend of the Yangtze River refers to a segment of incised valleys in the upper reaches of the Jinsha River where the river makes a 135° turn from SSE to NNE. This segment is located on the southeast margin of the Tibetan Plateau, that is, the transition zone from the Tibetan Plateau to the Yunnan-Guizhou Plateau. According to the geomorphic and sedimentary characteristics of valleys, it can be divided into three sectors: the Qizong-Xialuoyu sector, the Tiger Leaping Gorge sector, and the Daju Basin sector. Their landforms and Quaternary sedimentary characteristics are described in detail in this paper. The origins and formation ages of alluvial sediments, lacustrine sediments, and glacial and glaciofluvial sediments in these sectors, especially 150~250m thick buried sediments, are also discussed on the basis of isotopic ages and related analytical data. The development of the Jinsha River valleys and the uplift of the Tibetan Plateau since the Miocene are also discussed.

Key words: Jinsha River; the First Bend of the Yangtze River; landform; sediments; development of valleys; uplift of the Tibetan Plateau

全长逾6300km的中国第一大河——长江,发源于青海西南部唐古拉山脉主峰的格拉丹东雪山,源头段先后为沱沱河、通天河,自玉树直门达起始称金沙江,在四川宜宾与岷江汇合后称长江,宜宾

宜昌间亦称川江,经过三峡后直泻东海,下游段又称扬子江。金沙江长约2308km,自SE向将中国第一大地貌阶梯青藏高原和第二大地貌阶梯云贵高原之间的过渡地带切割出一道深深的口子,为了

收稿日期:2013-12-24;修订日期:2014-01-21

资助项目:中国地质调查局项目(编号:1212011120163、12120114002101)、基本科研业务费项目(编号:DZLXJK201410)和国家自然科学基金项目(批准号:41171009)

作者简介:赵希涛(1940-),男,研究员,地貌与第四纪地质专业。E-mail: xitao_zhao@sina.com

解地球内部的结构构造提供了一个极好的剖面。在金沙江的流程中,先后经历了云南石鼓、涛源和龙街的3次大的转折。其中,石鼓附近的流向由SSE转向NNE的突然改变所形成的巨大V字形曲流被称为“长江第一湾”。这一流向突变现象早就引起了中外学者的关注,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^[1-17]。而对于该段河谷本身,却甚少有人进行深入研究。

河流阶地历来是研究区地壳垂直运动和气候变化的重要标志。本次主要讨论包括世界知名的“长江第一湾”和切穿玉龙、哈巴2座雪山的“虎跳峡”在内的金沙江中上游其宗一大具段,或简称“长江第一湾”段,以河流阶地为主的河谷地貌、沉积发育的情况。其中,海拔5596m的玉龙雪山,是中国甚至欧亚大陆有现代冰川发育的纬度最低的雪山,玉龙雪山的第四纪冰川作用,则是地貌与第四纪地质学家极为关注的另一个研究热点^[18-25]。

任美镠等^[8]最早编绘了自红石崖到虎跳涧出口全长约57km的1:50000的河谷地貌图(文中比例尺缩为1:125000和1:250000)。根据地貌特点,他们将该段河谷划分为红石崖—三股水(即鸿文)、三股水—热水塘和热水塘—虎跳涧峡谷3段。第一段河谷宽广,有广泛分布的沉积阶地、沙滩、心滩等。第二段河谷河床变窄,两岸地貌极不对称,左岸为断层崖与低级冲积扇阶地(20m),右岸为高级冲积扇阶地(150m和50m)。第三段为雄伟的大峡谷,除热水塘入峡谷处尚有15m的阶地,一入峡谷就消失了,但在大具盆地有4级阶地,为石质侵蚀阶地,在大具附近高出江面约100m。他们将三仙姑至热水塘间的河谷地貌分为侵蚀地形和堆积地形2类。前者包括500~600m剥蚀平台、250m侵蚀阶地和50m侵蚀阶地,后者包括冲积扇阶地(150m、100m和20m)、冲积锥、20m沉积阶地和河漫滩与河漫滩阶地。

稍后,沈玉昌^[26]报道了奔子栏—大具间金沙江的多级河流阶地(5~15m、20~30m、35~45m、50~55m、70~75m、120~130m、150m、200~250m等),以基座阶地为主,而虎跳峡更有拔河300~800m的侵蚀阶地,推断各阶地的形成时代均为第四纪以来。

再后,何浩生等^[12]填绘了吾竹(即金江)—热水塘段河谷地貌及新构造图,认为在该段河谷中发育了7级河流阶地和4期洪积扇(包括现代冲出

锥),并有4排溶洞。其中,第一级阶地为堆积阶地,主要由灰色细砂组成,高出水面2~5m;第二级阶地亦为堆积阶地,主要由砾石组成,高出江面10m左右,只分布于鸿文以上;第三级阶地主要为堆积阶地,仅在三仙姑和硕多岗河河口处为基座阶地,冲积层具有完好的二元结构,高出江面20~25m,沿江连续分布;第四级阶地为基座阶地与侵蚀阶地,高出江面40~50m,在鸿文的上、下游均有出露;第五级阶地为侵蚀阶地,高出江面130m左右,在鸿文以北宽达800m,阶地前缘见砾石,后缘见细砂与粘土层;第六级阶地为侵蚀阶地,高出现代江面350m左右,在鸿文的上、下游均有零星分布,在沙坝附近发现有砾石;第七级阶地为侵蚀阶地,高出江面700m左右,是本区最高的一级阶地,在鸿文的上、下游均有零星分布。由于缺乏阶地的年龄数据,只好与有铀系年龄测定结果的溶洞进行对比。其中,第三级阶地可与铀系年龄为 $18\pm 2\text{ka}$ 的第一排溶洞(相对高度25~30m)对比,第四级阶地可与铀系年龄为 $27\pm 2\text{ka}$ 的第二排溶洞(相对高度50~80m)对比,第五级阶地可与铀系年龄为 $77\pm 2\text{ka}$ 的第三排溶洞(相对高度120~150m)对比。因此,他们推论第三级阶地的年代应为晚更新世末期,第四级阶地应为晚更新世晚期,第五级阶地应为晚更新世中期,并进一步推论第二级与第一级阶地为全新世早期和中期,第六和第七级阶地分别为中更新世和早更新世。认为该区共有5期洪积扇,其中,第一、第二期洪积扇仅见于鸿文—白汉场—剑川谷地中的九河盆地,金沙江河谷中只发育第三、四、五期洪积扇。第三期洪积扇的形成时代据热释光测年资料定为晚更新世早期,第四、五期洪积扇根据接触关系被定为晚更新世晚期和末期。

然而,必须指出的是,上述研究均忽视了玉龙雪山与哈巴雪山第四纪冰川作用对该段金沙江河谷发育的影响,也未注意到第四纪湖相沉积在该段金沙江谷地中的广泛分布。尽管任美镠等^[8]在有关金沙江河流袭夺一文之前就首次在玉龙雪山划分出丽江冰期与大理冰期;云南省地质局第一地质调查大队^①也指出玉龙雪山西侧金沙江河谷与大具盆地中存在中更新世“金(沙)江冰期”的冰川沉积;程捷^[27]则在金沙江奔子栏—金江街段河谷的调查中,在三江口—金江街段发现岩性可与渡口附近昔格

达组上部对比的早、中更新世湖相、河湖相层,在奔子栏—三江口段未发现这类沉积。这就影响到他们对金沙江发育的结论的可靠性,不管其是袭夺观点还是否定袭夺的观点。

在1996—2000年间及2005年以来,笔者对该区进行了20多次调查研究,系统地对玉龙山东、西两麓的更新世冰川作用进行了详细研究,划分了中更新世以来的4次冰期^[28-29],发现了攀枝花段早上新世与大具盆地早更新世的古金沙江砾石层^[30-31],以及在石鼓、奔子栏、小中甸等地的金沙江及其支流硕多岗河(小中甸河)的中一晚更新世古堰塞湖相沉积^[32-34]。这些发现和研究对于探讨该段金沙江河谷的发育具有重要的科学与实际意义。作为系列报道之一,本文主要讨论其宗一大具段以河流阶地为主的河谷地貌、河谷中出露和埋藏的松散沉积及河谷发育问题。为避免河流阶地划分的泛滥化,本文主要讨论堆积阶地与基座阶地,而不包括可能会引起误解的、没有发现河流相沉积存在的侵蚀阶地。

1 区域地貌特征

“长江第一湾”位于青藏高原东南边缘及其向云贵高原过渡的边缘地带。在该区,高原面被金沙江及其支流切割得支离破碎。由图1和图2可以看出,区域地貌大体可分为三大部分:①区域大部分为深切割的青藏高原东南缘,主要由保存了不少主夷平面并有第四纪冰川作用发生的高山,突出于主夷平面之上、有现代冰川发育的极高山和其间的断陷盆地3个部分组成;②本区东南部为云贵高原后缘的高中山与断陷盆地;③深切割青藏高原和云贵高原的金沙江及其支流河谷。它们与青藏高原面之间的高差逾2000m,大都以悬崖峭壁和陡坡与高原面相接,因而崩塌、滑坡、泥石流等灾害地质作用在这里频繁出现。

由于金沙江在流向转变前及转向后的左岸支流硕多岗河(小中甸河)均为NNW向向SSE方向流动,故“长江第一湾”的核心部分(分区I₁)亦呈同一方向,即由NNW向向SSE方向伸展。它由如下3个部分组成:西南部被称为雪山(现称千湖山)的分区I₁₋₁,NNW-SSE向伸展,顶部海拔除个别山峰为4200~4300m外,大都在3800~4000m之间,地面相当平坦,起伏一般不超过100m,应是残留的主夷平

面。该区雪山北部宽3~7km,总体向南南东方向降低、变窄,最后尖灭于香格里拉县金江镇与虎跳峡镇之间,成为窄窄的山脊。在小中甸西南的三碧海地区,有几列呈弧形展布的终碛垄遗迹保存,其间残留若干小型冰蚀湖泊,如黑海、白海、青海、双海等,其长宽均在100~250m之间,故当地改名“千湖山”。冰川沉积还可沿数条小沟延伸到小中甸盆地的西部边缘,其冰川作用性质属于小型冰帽和海洋性冰川类型。只有少数残留的角峰突出于夷平面之上200~300m。因此,雪山应为发育第四纪冰川作用的高山。

本区东部或东北部为海拔5396m的哈巴雪山及其北脊,为分区I₁₋₂,目前尚有3条现代冰川发育于其上,其更新世古冰川作用的遗迹,在南部和东南方向可直达金沙江河谷的虎跳峡西北侧的大深沟口和大具盆地西侧的本习沟口,在东北方向可达哈巴色吉河中下游,在北西方向可达硕多岗河的若干东支流上游的沟谷中。哈巴雪山虽无冰川作用的研究成果见诸报道,但据笔者在其东西两麓的多次考察,应与玉龙雪山的更新世冰川作用^[28-29]相似。因此,该小区属于有现代冰川发育的极高山。

夹于雪山和哈巴雪山之间的为小中甸盆地,属分区I₁₋₃,最初可能是高原内的一个断陷盆地,北与小中甸盆地断续相连,中一晚更新世被堰塞成湖,最后又被硕多岗河冲开,形成了几级河流阶地与洪积台地,其发育历史与金沙江河谷及石鼓古湖具有密切的关系,二者之间具有很大的相似性^[32-34]。小中甸河下游为纵剖面非常陡峭、裂点甚多的深切河谷,是崩塌、滑坡与泥石流极为发育的地区之一。

研究区西南侧为云岭支脉(分区I₂),亦深受金沙江右岸支流的强烈切割,其主夷平面虽仍有不少保存,但面积已远较雪山为小,故除邻近的老君山及黎明、黎光地区有第四纪冰川作用遗迹保存外,其他山脉仍未见有冰川作用研究的报道。因云岭支脉山脊海拔多在3800~4000m之间,山峰海拔多在4200~4400m之间,故其地貌属于高山范畴,且应仍属青藏高原东南缘的组成部分。

研究区东南侧为玉龙山(分区I₃)和丽江盆地(分区II₁)。玉龙山主峰玉龙雪山(分区I₃₋₁)又称扇子陡,海拔5596m,是中国甚至欧亚大陆有现代冰川发育的纬度最低的雪山,耸立于主夷平面之上,也应为极高山和青藏高原东南边缘的组成部分之

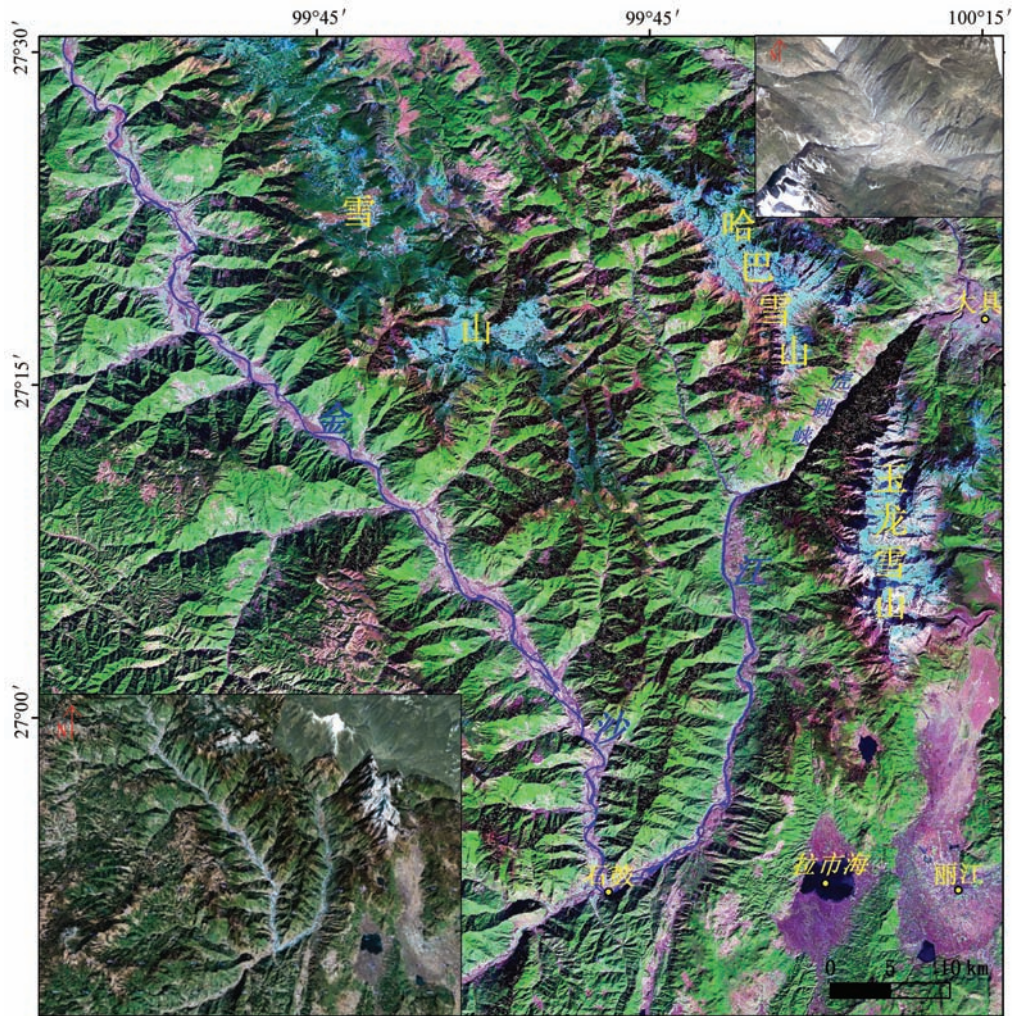


图1 “长江第一湾”研究区遥感影像及研究区(左下)与大具盆地(右上)鸟瞰影像

Fig. 1 Remote sensing images of the "First Bend of the Yangtze River" area and the bird's-eye view of the study area (lower left) and that of the Daju Basin (upper right)

一。关于玉龙雪山东、西两麓的冰川作用,已有大量研究报道^[18-25,28-29],本节从略。而其东与东南麓的丽江盆地(分区 II₁₋₁),含北部的大具盆地(分区 III₃)、西侧的拉市海盆地(分区 II₁₋₂)及南部的鹤庆盆地,都受到哈巴—玉龙雪山东麓断裂活动的影响^[35]。其中,位于断裂西侧的拉市海盆地海拔为2440~2500m,丽江盆地海拔2340~3100m(含北段干海子盆地),鹤庆盆地海拔2190~2280m,其西南侧的山岭尚有小面积海拔2800~3300m的主夷平面保存,其东南侧的山岭海拔大多在3000m以下,海拔3000m以上的山峰非常少见,已属于高中山和云贵高原西北缘的组成部分。因此,研究区总体位于青藏高原的东南边缘及其向云贵高原的过渡地带,但

金沙江及其主要支流已深深切穿了中国的第一地貌阶梯青藏高原东南缘,也深深地切割了第二地貌阶梯云贵高原。

2 河谷分段及各段河谷地貌与沉积特征

根据野外调查,金沙江其宗—大具段河谷地貌形态、河谷中的堆积物成因类型在不同河段是不同的,因而可将该河段进一步划分为其宗一下落鱼段(III₁)、虎跳峡段(III₂)和大具盆地段(III₃)3段(图3)。虽然笔者曾填绘了本河段1:50000的详细地貌与第四纪地质图,但因面积太大无法在该文中刊出,只能大大缩小其比例尺,用区域地貌略图(图2)与河流阶地相图(图3)来加以表示。将各河段河

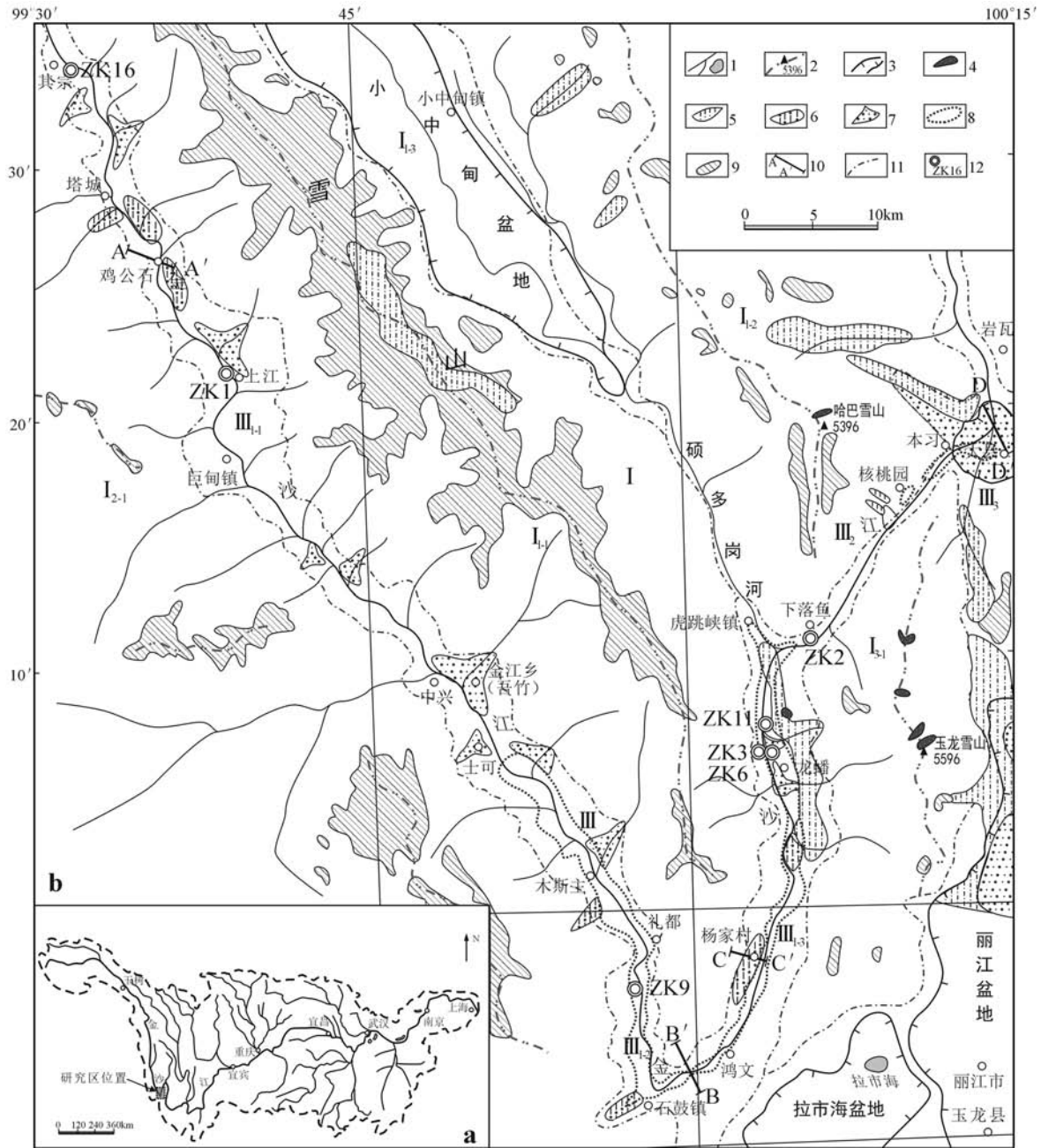


图2 “长江第一湾”研究区位置(a)和区域、金沙江河谷地貌(b)

Fig. 2 Geomorphic sketch of the Jinsha River valleys including the First Bend of the Yangtze River

1—河流与湖泊;2—山脊、山峰及其高程(m);3—盆地与河谷界线;4—现代冰川;5—古冰碛分布区;6—古冰水沉积台地;
 7—洪积台地;8—古湖相沉积分布范围;9—主夷平面范围;10—河谷横剖面;11—地貌分区界线;12—钻孔位置及编号;
 A-A'—鸡公石剖面;B-B'—沙坝-巴洛剖面;C-C'—杨家村剖面;D-D'—大具剖面;I—青藏高原长江第一湾核心区;I₁₋₁—青藏高原长江第一湾核心区雪山分区;I₁₋₂—青藏高原长江第一湾核心区哈巴雪山分区;
 I₁₋₃—青藏高原长江第一湾核心区小中甸盆地分区;I₂—青藏高原云岭支脉区;I₃—青藏高原玉龙山区;
 I₃₋₁—青藏高原玉龙山区玉龙雪山分区;II—云贵高原玉龙山东麓断陷盆地;II₁₋₁—云贵高原玉龙山东麓断陷盆地丽江盆地分区;II₁₋₂—云贵高原玉龙山东麓断陷盆地拉市海盆地分区;II₂—金沙江河谷其宗-下落鱼段;III₁₋₁—金沙江河谷其宗-木斯主亚段;III₁₋₂—金沙江河谷木斯主-上元亚段;
 III₁₋₃—金沙江河谷上元-下落鱼亚段;III₂—金沙江河谷虎跳峡段;III₃—金沙江河谷大具盆地段

谷地貌特征与谷底堆积物类型分述如下。

(1)其宗一下落鱼段(Ⅲ₁)

该河段长约150km,枯水季节河面海拔其宗为1890m,下落鱼为1790m,故其纵比降仅为0.67‰。该段河谷普遍较宽,一般达1~3km,较窄处亦有300~500m,属于宽谷与窄谷相间的河段。由于上述原因,本段河道较为曲折地蜿蜒于较宽广的河谷之中,但曲率只有1.2左右。该河段上离两侧的高山较远,谷底没有古冰川与冰水堆积物到达。而下游因东侧玉龙山主峰地区西麓紧靠金沙江河谷,其中700~600ka的中更新世早期玉龙冰期的冰碛物,不但充塞谷底,而且可越过金沙江河谷到达江西岸,而且后2次冰期——中更新世晚期丽江冰期(310~130ka)与晚更新世中晚期大理冰期(70~10ka)的冰水堆积,则沿仁和、中义和新联3条支沟堆积于金沙江河谷之中,形成3个巨大的、向西凸出的扇形冰水台地^[29]。正是由于中更新世早期玉龙冰期冰碛物的堰塞,形成了中更新世早期一晚更新世早期的石鼓古堰塞湖,其古湖沉积高度可达海拔1860m或稍多,因而古湖面高度应在现今海拔1900m左右。而后2次冰期的冰水沉积物则可在古湖中形成巨大的三角洲^[32]。石鼓古湖的影响范围可达中格子附近,至今可在金沙江左岸属于迪庆藏族自治州香格里拉县的礼都村西北、礼都与天际间多处、天际、巴落、拉土里、杨家村、继红桥南1km处、硕多岗河口两岸等地;在金沙江右岸属于丽江市玉龙纳西族自

治县的木斯主下村东南、红石崖以南、湾子、湾子与石门关之间一冲沟口、下大同等地发现湖相沉积物的露头。它们往往构成金沙江第二、三、四级阶地的基座。

基于上述原因,根据玉龙山西麓古冰川作用及其堰塞而形成的石鼓古湖的分布范围,可将金沙江河谷其宗一下落鱼段(Ⅲ₁)进一步划分为3个亚段:①其宗—木斯主亚段(Ⅲ₁₋₁),主要发育河流阶地与洪积台地;②木斯主—上元亚段(Ⅲ₁₋₂),不仅有河流阶地与洪积台地发育,而且石鼓古湖的湖相沉积物往往构成阶地的基座;③上元—下落鱼亚段(Ⅲ₁₋₃),因位于玉龙雪山西麓,也可称为“玉龙雪山”亚段,其特点是玉龙雪山中更新世早期玉龙冰期的冰碛物已填塞金沙江河谷,形成了石鼓古堰塞湖,而中更新世晚期和晚更新世中晚期的丽江、大理2次冰期的冰水沉积,则在古湖中形成了巨大的冰水三角洲。该亚段河谷的最显著特征是,冲洪积物、湖泊沉积物与冰川冰水沉积物共处,其相互之间的接触关系是判断形成时代先后次序的重要标志(图3)。

其宗—木斯主亚段(Ⅲ₁₋₁):该段河谷普遍较宽,河道有时分叉且多弯曲,但未发展成为曲流河或辫状河。本河段因两侧高山离河谷较远,且缺乏有现代冰川发育的极高山,其第四纪古冰川作用远离河谷地区,即使冰水沉积物也难以到达河谷底部,但不同时代的洪积台地与河流阶地比较发育。本河

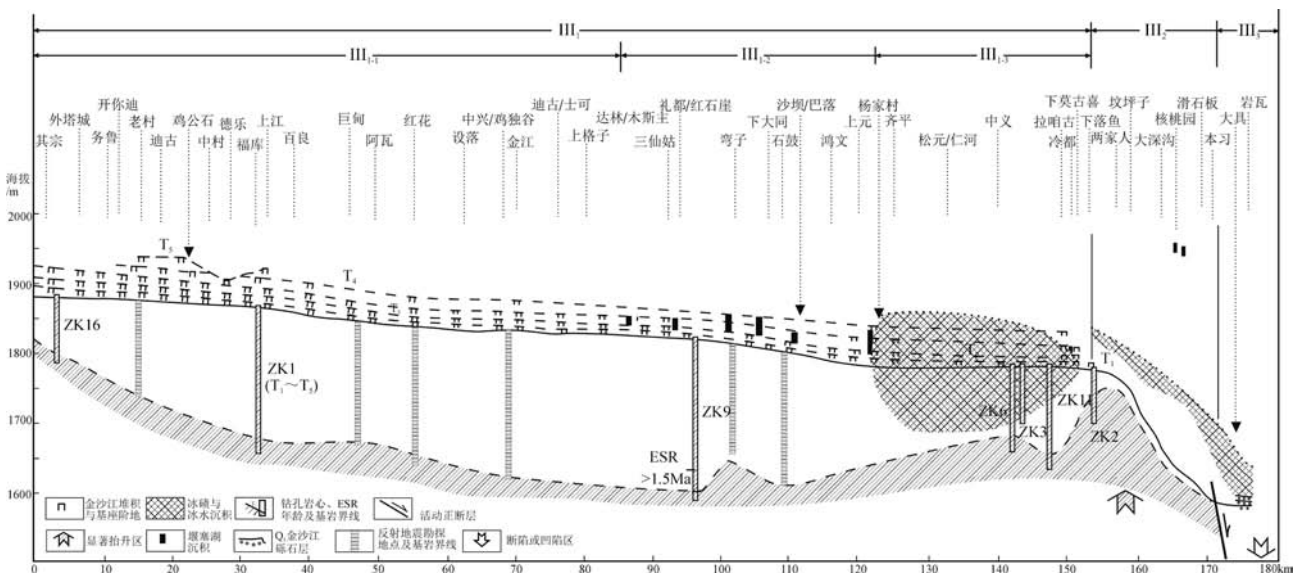


图3 金沙江“长江第一湾”段河谷分段、基岩埋藏与河流阶地相图

Fig. 3 Valley division, buried bed rocks, and terraces of the first bend of the Yangtze River

段普遍发育 4 级河流阶地,分别高出枯水期河面 5~15m、15~25m、25~35m 和 40~50m;上游段局部还有第五级阶地保存,且较连续,但高度变化较大,为 35~60m。以鸡公石剖面为代表(图 3、图 4)。由图 4 可以看出,该段金沙江右岸(西岸)阶地相当宽广,以内叠的堆积阶地为主,其中 $T_2 \sim T_4$ 均由河床相磨圆良好的砾石层构成,尤以 T_3 最为宽大,但缺少河漫滩相的砂粘土层。只有 T_5 具典型的二元结构,在强风化的河床相砾石层之上保存有鲜红色的河漫滩相砂粘土,系遭受强烈风化作用的结果,砾石也一触即碎。但在其他剖面,也有基岩或较老的冲、洪积物成为较低阶地的基座。

木斯主一上元亚段(III₁₋₂):该亚段河谷的地貌特征同上一亚段,但因中更新世早期石鼓古冰川堰塞湖发育的缘故,4 级河流阶地或为内叠的堆积阶地,如沙坝—巴落剖面(图 5),或以湖相沉积物作为其基座,如位于金沙江左岸的杨家村剖面(图 6)。

杨家村剖面位于香格里拉县杨家村旁一冲沟中下游与沟口。其下伏地层大部分未曾出露,仅在冲沟口附近的金沙江岸边局部见到巨大的岩块,可能为重力堆积。该湖相地层构成金沙江第二、三、四级阶地的基座,其中第四级阶地的河漫滩相冲积粗砂细砾层明显地不整合于湖相沉积及其顶部的红色古土壤层之上。在靠近山麓部分,则相变为中、晚更新世的洪积与坡积物。

为确定该湖相层的时代,笔者在湖相层中及其上覆的金沙江阶地沉积中先后采集了热释光(TL)与铀系样品进行年龄测定。TL 测定结果表明,杨家村窑地附近剖面的上覆金沙江第四级阶地冲积砂层 2 个样品的年龄分别为 80.9 ± 4.0 ka BP 和 88.0 ± 5.35 ka BP。同一剖面湖相沉积层近顶部和顶部的

风化红土的年龄分别为 113.0 ± 9.0 ka BP 和 77.0 ± 3.9 ka BP,杨家村公路边冲沟剖面样品的年龄为 210.0 ± 10.5 ka。由于金沙江第四级阶地冲积砂层,其下伏的湖相层顶部及其表面的红色古土壤的年龄基本在误差范围之内,而且可以互相参照,并可与其他地点类似的湖相沉积的铀系法年龄(如香格里拉冷都剖面湖相层的铀系年龄为 136.8 ± 13.0 ka,下一河段虎跳峡西北岸的湾登郭与核桃园剖面湖相粘土、粉砂的铀系年龄分别为 181.0 ± 21.6 ka、 148.7 ± 13.0 ka)及 ESR 法年龄(如石鼓北麻子沟湖相露头上部粘土的 ESR 年龄为 243.3 ± 26.5 ka)测定结果对比,因而在地质上是可以接受的。为了进一步确定杨家村湖相地层的年代,笔者在该剖面厚 35m 左右的细粒沉积中 2 次共采集古地磁定向样品 315 个(样品间距 10cm,测量样品间距 20cm,异常段加密为 5cm),进行了剩磁倾角、剩磁偏角和磁化率的测定,并由计算机绘出其随深度的变化。研究表明,整个剖面为正极性,仅在 11.9~12.5m 深度处磁偏角、磁倾角显示异常,为一反向磁性事件,该事件主要表现为磁倾角的变化(在样品 151 附近出现倾角倒转),且该地磁极性事件出现在磁化率变化的低值区。因此可以认为,它应属于布容正极性世(780ka 以来)中的短期极性事件或极性漂移,可能相当于 Jamaica 事件。因此石鼓古堰塞湖上部湖相沉积物的年龄应在 300~80ka 之间,埋藏于河谷底部湖相沉积物的时代和年龄则将在后面加以讨论。

此外,在上元村西,有一沿河长约 2km、宽约 1km、高出河面达 60m、主要由泉华组成的扇形台地。形成泉华的泉水从村南兴文小学后面的石灰岩中流出。泉华沉积按形成条件,可分为在室温下形成的冷水型泉华(简称冷泉华(tufa))和热水型泉

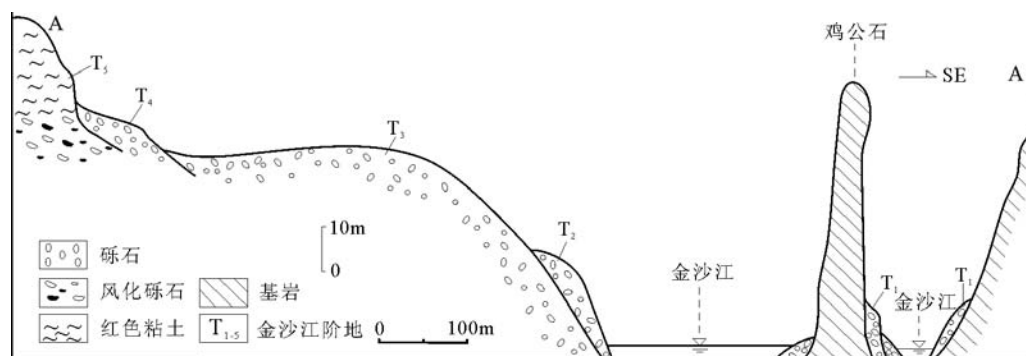


图 4 过鸡公石金沙江河谷横剖面

Fig. 4 Jigongshi cross profile of the Jinsha River valleys

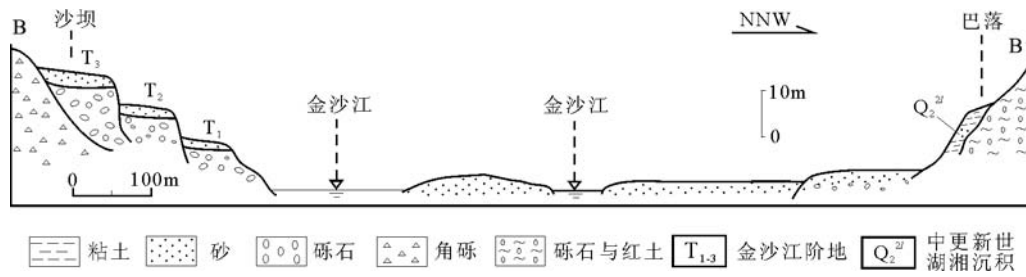


图5 沙坝巴落间金沙江河谷横剖面

Fig. 5 Shaba-Baluo cross profile of the Jinsha River valleys

华(简称温泉华(travertine))。在鸿文与上元附近所发现的大规模泉华沉积均属于冷泉华。由于鸿文村后泉华漫山遍野披盖于金沙江西岸的斜坡上,与重力、斜坡堆积混杂在一起,故本文不予以专门研究。但从其分布范围广、堆积厚度大及其与厚层红色粘土风化壳的接触关系看,其形成时代较早且延续时间较长是毫无疑问的。根据泉华的出露部位及其沉积特征,可区分出新、老2套泉华沉积。

新泉华沉积出露于上元村西约200m的台地顶部冲沟的西北壁,出露长度约50m,高度约3m。这套泉华为白色或浅黄色,呈结核状,系切割上元台地的冲沟堆积物,因而其形成时代较晚。铀系法年代测定结果表明,其形成年代为距今65ka。

老泉华沉积构成整个上元台地的主体。由于后期金沙江的侧蚀作用,老泉华出露于金沙江边的陡峭岸坡上,呈白色和浅黄色块状,可见白色的厚层与黄色的薄层相间的纹层,每一组纹层厚0.5~1cm。层面向河谷倾斜,倾角10°左右。扫描电镜结果表明,构成泉华的碳酸盐颗粒排列紧密,但仍有粒间孔隙,并有次生胶结现象。从台地中部和下部2个样品的ESR测年结果分别为651.3±130.2ka和132.7±26.5ka看,该泉华形成于整个中更新世时期,这从台地北侧发育有金沙江3级阶地的情况看是有可能的。

上元一下落鱼亚段(III₁₋₂):该亚段东依玉龙雪山主峰区西麓,因而河谷东坡坡度明显大于西坡,

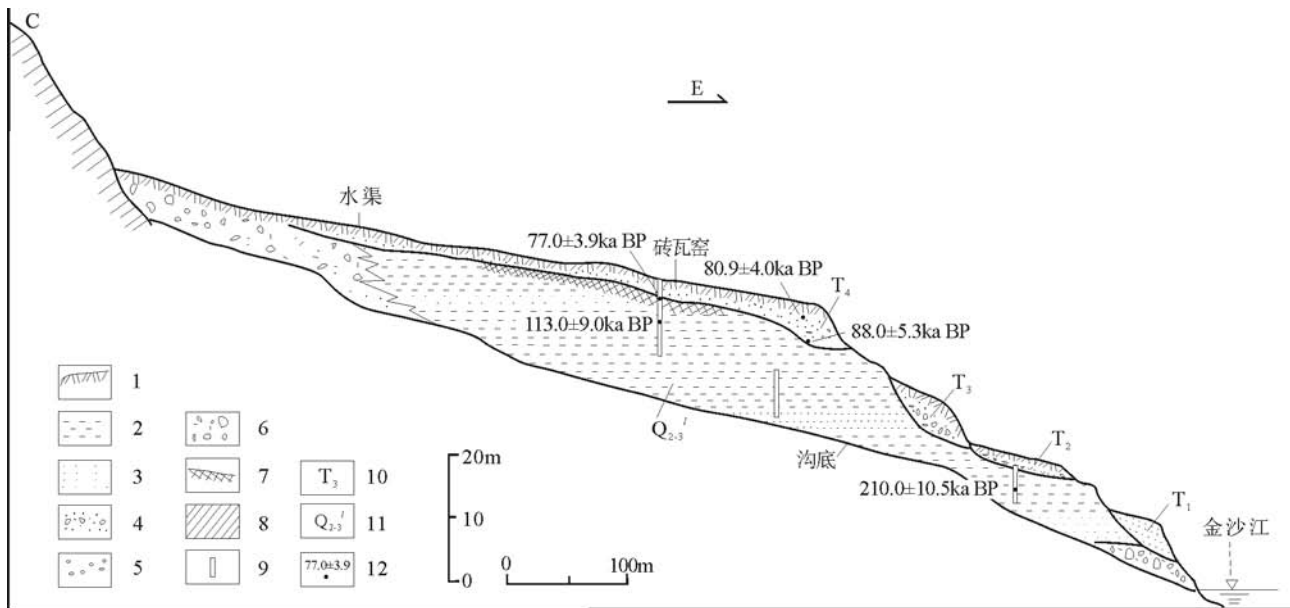


图6 杨家村湖相沉积与金沙江河谷横剖面

Fig. 6 Yangjiacun cross profile of the Jinsha River valleys in which there are lacustrine deposits

1—耕土;2—粘土与砂质粘土;3—砂和粘土质砂;4—砂砾;5—砾石;6—角砾;7—古土壤;8—基岩;
9—取样位置;10—金沙江阶地;11—中-晚更新世湖相沉积;12—热释光年龄

河道明显偏向西侧。中一晚更新世时期,因受全球气候变化的影响,玉龙雪山东、西两麓发生了4次冰川作用,如前述^[28-29]。其中,前2次冰期,即700~600ka的中更新世早期玉龙冰期和530~450ka的中更新世早中期干海子冰期,具有山麓冰川的性质,但规模以玉龙冰期明显为大;后2次冰期,即310~130ka的中更新世晚期丽江冰期及70~10ka的晚更新世中晚期大理冰期为山谷冰川性质,规模也以丽江冰期为大。

被笔者称为玉龙冰期的本区最早一次冰期,在玉龙山西麓的冰川作用遗迹分布最为广泛,是本区所能辨认的最老的冰川沉积物^[28-29]。该期冰碛物的特征亦与玉龙山东麓相似,为钙质胶结的灰岩、大理岩及少量玄武岩和个别板岩的角砾与漂砾,无分选与层理,故称其为冰碛角砾岩或冰碛岩。本区所保存的最大一片冰碛岩位于两家村南一渡口村北之间的金沙江东岸,长逾6km,最宽可达1.5km,高出江面达300~450m。在金沙江西岸,自南而北在次巴落南、水磨房、核桃园村南、硕多岗河口南岸等地也有保存,但规模均较小,一般长100~500m,宽30~200m,高出金沙江面大多不足100m。此外,在金沙江东岸中义村所在的扇形冰水台地的中轴部位,一条稍高于周围台地、主要由巨大漂砾所组成的EW向小垄,也可能是该冰期的产物。在金沙江谷地中的玉龙冰期冰碛岩,大部分未出露基底(如金沙江西岸的硕多岗河口南岸、核桃园村南和东岸的中义及两家村一渡口村之间,可能下伏金沙江早第四纪的松散沉积),其他地区大部分与下伏中三叠统的板岩或千板岩呈明显的不整合接触关系(如金沙江西岸的水磨坊、次巴洛和东岸两家村至渡口村之间的南段),只在头园村后采石场的人工露头中见到中三叠统所夹的灰岩,已强烈破碎。除金沙江河谷外,该期冰碛岩还局部保存于玉龙山西麓残留剥蚀面(构成金沙江的谷肩)上,如岩可喻村北的基岩小丘顶,已分别高出金沙江及其支沟新联沟600m与200m左右。

由于受到长期的风化作用和后期金沙江的影响,在该期冰碛岩的表面,或者内叠了金沙江的4级低阶地的冲积砂砾层及其下伏的湖相砂与粘土沉积,或者发育了厚层的红色古土壤,如两家村南一渡口村北之间南段的砖瓦窑等剖面^[36]。

干海子冰期是笔者在玉龙山东麓所辨认出来

的另一冰期,与前述玉龙冰期共同构成其他研究者所指的倒数第三次冰期。该冰期冰碛物在玉龙山西麓的分布范围远比前一冰期小,仅见于新联沟与中义沟中游两侧的谷肩,如新联沟北侧的两天窝、岩可喻至菊慢托及对岸的相应位置,中义沟南岸的上海村西北及其北岸稍西面的相应位置,均已高出沟底150~200m。该冰期冰碛在外貌和成分上与玉龙冰期冰碛有所差别:因角砾与漂砾中玄武岩所占的比例明显增加而胶结较差,且有从后者再搬运而来的冰碛岩漂砾存在。不过该冰期冰碛物也由缺乏分选与层理的角砾与漂砾组成,本身也发育了较厚层的红色古土壤。

丽江冰期冰碛物的分布与前2次冰期主要呈面状或沿浅切割的洼地分布不同,仅分布于新联、中义和仁河3条发源于玉龙山主体的金沙江支沟中。它们均为分布于沟谷之中且保存较好的终碛与侧碛垄。在新联沟与中义沟,其侧碛为1~3道;而在仁河沟,其侧碛与终碛在下游可多达3~4道,还可追索到上游玉龙山西坡的南部3条现代冰川外围的锅厂附近。这些冰碛垄往往高达50~100m,宽100~500m,长可延伸数千米。3条沟谷中的终碛仅距金沙江河谷谷底1~3km。由于山体抬升和沟谷切割,在终碛与侧碛垄之下,往往有数米或数十米的基岩出露。冰碛物的岩性明显区别于玉龙冰期,主要为玄武岩和板岩,也有相当数量的灰岩,还有一定数量的老冰碛岩,均十分新鲜且未见胶结现象。这既说明该冰碛物的时代较新,又表明玉龙山西坡已受到了相当程度的切割。该期冰碛物表面也发育了一定厚度的红色古土壤,但明显不如前2次冰期。

在上述3条支沟注入金沙江处,均有典型的扇状冰水台地发育。之所以称为冰水台地而不是洪积台地,是因为它们的顶点与该冰期的终碛垄几乎相连或距离很近,且其间有冰水阶地相连。它们是紧贴冰川外围的冰水堆积作用的产物。3个冰水台地的共同特点是:砾石与漂砾有一定程度的分选与磨圆,成分以灰岩和大理岩为主,另有少量玄武岩及个别板岩,它们均受到强烈的钙质胶结作用,故可称其为冰水砾岩。必须指出的是,这3个冰水台地均可进一步划分出3~4级台阶,除最低的一两级可能属于大理冰期形成外,该冰期所形成的冰水台地也可能辨别出2~3级。在仁河沟冰水台地前端,

可以见到由成分复杂、磨圆度良好的砾石层所组成的金沙江第四级阶地和第三级阶地内叠于其上。

大理冰期冰碛物的分布和特征与丽江冰期基本相同,亦分布于新联、中义和仁河3条支沟中,均为沟谷中保存十分完好的低终碛与侧碛垄,均位于丽江冰期冰碛垄的内侧。在新联沟与中义沟,其侧碛为1~3道;而在仁河沟,其侧碛与终碛多达3~4道。该期冰碛物的岩性明显区别于前几次冰期,主要为玄武岩和板岩,成分较为单一,说明该套冰碛物时代很新,又表明玉龙山体受到了进一步的切割。

在新联、中义和仁河3条支沟注入金沙江处,也有冰水台地发育,但规模远小于丽江冰期,仅是丽江冰期巨大扇形冰水台地中的一股小扇,且台地面明显较低。该冰期所形成的冰水台地也能辨别出1~2级,其冰水沉积物具有一定分选与磨圆,局部(主要是上部)也被钙质胶结成砾岩,但胶结程度不如前一个冰期。尽管该冰水台地与终碛之间相隔较远,但因其与丽江冰期的冰水台地为一个整体,且特征与邻区的洪积台地也明显不同,故仍将其划归冰水台地。在大理冰期冰水台地前端,往往只有金沙江的第一级阶地与河漫滩发育,仅局部见到第二级阶地。

(2) 虎跳峡段(Ⅲ₂)

位于玉龙雪山北段与哈巴雪山南端之间的虎跳峡,长约18km,中间江流宽仅30~60m。虎跳峡的上峡口海拔1790m,下峡口海拔1590m,落差200m,纵剖面比降高达11‰。江流在峡谷内连续下跌7个陡坎,水势汹涌,声闻数里。两岸山岭和江面一般相差2500~3000m,最大达3800m,谷坡陡峭,蔚为壮观。虎跳峡是世界最深的大峡谷之一,超过了美国的科罗拉多大峡谷。

峡谷东南侧的玉龙雪山北段十几千米长的西北壁几乎直立,直至大具盆地西端下虎跳东侧以断层和玉龙冰期的冰碛和冰水沉积台地结束。尤以核桃园村对岸处的直壁最为典型,从山峰至河面,近2000m高的直坡面无任何转折之处。因此,玉龙雪山北段西北侧无任何冰川沉积发育,即使崩塌、滑坡与泥石流沉积也应直接坠于江中被激流冲走而无法保存。峡谷西北侧的哈巴雪山南段的东南壁则大部分为陡坡,穿越虎跳峡的羊肠小道及近期修建的公路位于坡度稍缓处。而在峡谷北端的滑

石板,陡峭的大理岩层倾向江面,因层面间往往夹有薄层绢云母,极易发生崩塌或滑塌。1996年10月28日晨,笔者在大具目睹滑石板的巨型山崩(它曾使金沙江短暂堰塞成湖)。1996—1998年间(公路通车前),笔者曾3次在虎跳峡镇及大具乡间步行穿过峡谷,以后也数次乘汽车穿过峡谷。每当站在当年的山崩处俯视直壁下的金沙江汹涌波涛,都会感到心惊胆战。再仰视随时可能崩塌的大理岩层,又感觉头上还悬着一把锋利无比的达摩克里斯剑,不得不赶快逃之夭夭。

在深邃的虎跳峡中,未发现任何河流阶地存在(在上峡口公路旁山坡上方有大砾石层,但未能上去考察),仅局部地段有湖相沉积(湾登郭村东海拔1984m的低洼处有铀系年龄为 181.0 ± 21.6 ka的湖相粘土,核桃园村东北海拔1950m处有铀系年龄为 148.7 ± 13.0 ka的湖相粉砂)保存,均高于石鼓古湖湖面。这或许是大具盆地西端来自玉龙雪山东北坡和来自哈巴雪山东南坡的玉龙冰期冰碛所堰塞所致(前者的冰碛平台现今的海拔高度为1900~1950m),还可能因位于玉龙山东麓断层上升盘受近期活动的影响而高度更大。此湖相沉积是否可命名为“虎跳峡古湖”?尚待研究。此外,还有晚期的冰碛或冰水沉积(在大深沟两侧侧)及少量崩塌、滑坡与泥石流沉积局部保存。

(3) 大具盆地(Ⅲ₃)

长、宽各约6km的大具盆地除四周和西端外,是一个完全由第四纪地层所构成的堆积盆地。因哈巴—玉龙雪山东麓断裂近期活动^[5]的影响,盆地西部的底部及盆地周围出露石炭系、二叠系、三叠系的灰岩、大理岩、泥岩或粉砂岩、玄武岩夹千枚岩等基岩。金沙江在大具盆地西北部由西向东流入盆地,转而向北流出盆地,在盆地西北部形成一个较圆滑的直角湾。在长约6km的流程中,河面由海拔约1590m降到1580m左右,纵剖面比降约为1.7‰,虽远不如虎跳峡段,但仍大于其宗—下落鱼段,故江水仍比较湍急。大具盆地相当开阔,但金沙江河谷却呈峡谷状,嵌入于深100~300m的盆地之中。盆地底部呈现明显的阶地状地形,并以较大的倾角,由南、西方向的将台河口和虎跳峡下峡口向金沙江流出盆地的出口处即北面倾斜。可惜的是,在这些河流阶地上,均未找到真正属于金沙江的沉积物。因此,即使它们是金沙江的阶地,也应是将其其他

第四纪沉积物作为“基岩”的侵蚀阶地。十分特殊的是,在大具盆地的 4 级侵蚀阶地中,每级阶地均有 2 个台坎,是否反映侵蚀河段洪水时期与平水时期的古河漫滩与古河床?

从大具盆地北部的盆地最底部向上,依次出露以下第四纪地层(图 7)。

早更新世早期的冲、洪积砾石层(Q_1^{1al-pl})。在金沙江峡谷两岸均有出露,可见厚度 50~60m,产状近于水平或由两岸稍向河谷倾斜。砾石大小多在数厘米至数十厘米间,磨圆度中等或较差,成分单一,为灰岩、大理岩和玄武岩,表明其物质来源均为四周的山地,具有洪积物或搬运距离较短的冲积物的性质。笔者在金沙江下渡口西岸的早更新世金沙江砾石层(Q_1^{1al})的近底部与下部,发现 2 层分选与磨圆度均很好,成分十分复杂(统计结果表明,灰岩(18%)、大理岩(12%)、玄武岩(14%)等可能的当地成分共占砾石总数的 44%,而花岗岩(18%)、闪长岩(8%)、辉长岩(2%)、辉绿岩(5%)、安山岩(3%)、变质砂岩(19%)、燧石(1%)等非当地成分共占砾石总数的 56%,见表 1),显示非当地成分应来自于其上游的砾石层。底层砾石厚逾 5m,即使在枯水季节也部分被江水所淹而未见底,在洪水季节则完全淹没于江水之中;下层砾石厚 1.2~1.6m,磨圆度普遍为 3~4

级,粒径以 5~20cm 为主,其次为 1~5cm,局部夹结核状钙质砂层,出露在洪水位之上约 15m 处。笔者采集了该层砾石间的钙质胶结物和所夹的钙质砂层进行电子自旋共振法(ESR)年龄测定,测定结果表明,钙质胶结物的年龄为 $1950 \pm 230ka$,钙质砂层为 $1770 \pm 160ka$,均属于早更新世早期^[30]。

早更新世晚期的湖相小砾石层(Q_1^{2l})。不整合于上述冲、洪积砾石层之上,厚 60~80m 或更多。其层理清晰,倾角变化大,由盆地南、北或西北与西南两侧明显倾向于盆地底部或金沙江河谷(如在盆地南部培良村边产状为 $20^\circ \angle 28^\circ$),故其既出露于峡谷中部,又出露于盆地南北两侧边缘。该小砾石层砾石分选较好,多为小于 5cm 的小石子,部分层位为粗砂小砾,个别层位砾石粒径可达近 10cm,但磨圆度差或较差,成分也同样单一,与层 1 相似,为灰岩、大理岩和玄武岩,表明其物质来源为四周的山地,系在高坡角的条件下的快速堆积。因其分选较好、层理清晰、倾角较大、含淡水小螺化石等特征,表明其或为坡积,更可能为高山深谷区深水湖的湖相碎屑沉积。该湖相小砾石层也都被钙质胶结。

中更新世早期玉龙冰期的冰水砾石层与冰碛砾石层($Q_2^{1gl/ql}$)。局部已胶结成岩。冰水砾石层厚

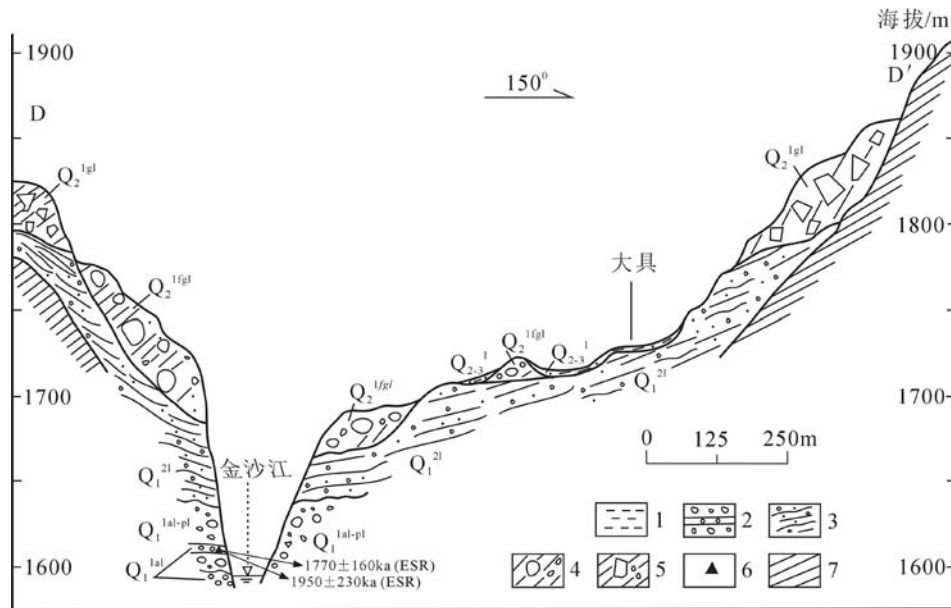


图 7 云南大具盆地金沙江河谷横剖面

Fig. 7 Cross profile of the Jinsha River valleys in the Daju Basin

1—砂、粉砂和粘土质粉砂;2—半胶结小砾石;3—磨圆度较差夹磨圆度很好的砾石;4—半胶结和有磨圆的漂砾和砾石;5—半胶结的漂砾和角砾;6—ESR 样品采集部位;7—基岩

30~50m,覆盖了除西部以外的几乎整个盆地,与下伏的湖相小砾石层呈不整合接触。在金沙江以南或西南者来自玉龙雪山方向,西北者来自哈巴雪山方向。无论是来自玉龙雪山还是哈巴雪山方向,其沉积特征几乎完全相同:由夹有少量砂质透镜体或夹层的巨大漂砾和有所磨圆的砾石,多为粒径数十厘米的大砾石所构成,其最大漂砾常达数米至二三十米,具有一定的层理和分选性。其地层倾向盆地下方,即来自玉龙雪山方向者倾向NE,来自哈巴雪山方向者倾向E或SE。后者厚逾百米,仅分布于盆地西部。来自玉龙雪山方向者主要分布于将台河出山口附近的峨嵋之至大沟头间和大坝子西北,而来自哈巴雪山方向者则仅分布于永壳西北,均构成高一二百米的丘陵状台地。无论其来自何处,砾石均由巨大的漂砾和大小砾石,特别是粒径数十厘米的大砾石所构成。玉龙冰期的冰碛与冰水沉积既有共同的特点:漂砾巨大,成分单一(灰岩、大理岩和玄武岩),均为附近地区基岩的产物,并或多或少被钙质胶结而轻度成岩,特别是其上层;但也有明显的差别:前者有一定的分选、磨圆和层理,且有时夹有砂层,而后者则常缺少上述特点,其砾石粒径也普遍较前者为大。根据笔者^[28-29]对玉龙雪山更新世冰川作用的研究,玉龙冰期的ESR年龄为600~700ka,属于中更新世早期。

除上述3套地层外,在大具盆地西南部玉龙冰期冰水砾石层台地的低洼处,常可见到厚仅一两米的湖相沉积物,以灰黄色的粘土质粉砂、粉砂、砂和砂夹粗砂小砾为主,纯的粘土层很少出现,其层理往往十分清晰,有时具纹层,并可见其与层2和层3不整合接触,其时代当属中、晚更新世(Q₂₋₃¹)。此外,在大具盆地西南部和西北部的将台河与本习沟、岩美支的沟谷中与沟谷口,还有不同时期,主要是中、晚更新世的冰川、冰水与沟谷等成因的沉积物分布。

必须指出的是,作为高出金沙江面200~250m的“侵蚀阶地”基岩的玉龙冰期的冰水沉积或冰水台地,已被哈巴—玉龙雪山东麓断裂形成巨大的断崖,垂直断距达62±8m。后期的低冰水台地也有不同幅度的垂直断崖^[35]。这就可以理解断裂西侧的上升盘冰水沉积之下的基岩出露,虎跳峡中保存的湖相层高于上游石鼓古湖的湖相层,而在东侧的下降盘早更新世地层尚未被金沙江切穿的道理了。

3 河流阶地、洪积台地及其形成时代

上节已较详细地阐述了其宗一大具段金沙江河谷中玉龙雪山西麓的冰川作用及其冰川与冰水堆积、石鼓古堰塞湖沉积及大具盆地的第四纪地层剖面,更详细的研究结果还有专文^[28-35]进行讨论,故本节主要讨论其宗一下落鱼段河谷中的河流阶地与洪积台地。如前所述,在该段金沙江两岸,发育有4~5级河流阶地与3级洪积台地,自新至老叙述如下。

第一级阶地:一般高出河床5~15m,仅在宽谷段如石鼓附近高出河床3~5m。该阶地主要为堆积阶地,仅在个别地点为基座阶地。其基座主要为出露于本区的各时代基岩,仅在仁和、中义、新联3处以丽江和大理冰期的冰水台地为基座。该阶地几乎连续沿河分布。在狭窄河段,仅宽数米;在宽谷段,宽可达数百米以至1km以上,如丽江巨甸附近。组成该阶地的冲积物,多具典型的二元结构:上部为薄砂层,疏松均匀;下部为分选和磨圆良好的卵石层,层理清晰,砾石往往具有一定的排列方向。砾石粒径多为数厘米至一、二十厘米,其成分复杂(表1),与来自支流的冲洪积、冰水及其他成因砾石的单调成分有明显的区别。

第二级阶地:一般高出河床15~25m,堆积阶地与基座阶地参半。构成该阶地的基座,主要为不同时代的基岩,但在木斯主—冷都段有时为中更新世的湖相沉积,有时为玉龙冰期冰碛岩或丽江与大理冰期的冰水台地。该阶地沿河分布比较连续,但宽度不如第一级阶地大,且有上游段出露较连续和保存宽度较大(可达300~500m)、下游段出露较少和保存宽度较窄(一般不足100m)的趋势。组成该阶地的冲积物,少数具有二元结构,一般缺乏上部砂层,仅保存下部分选和磨圆度良好的卵石层,砾石粒径多为数厘米至一、二十厘米,其成分复杂(表1),层理清晰,砾石往往具有一定的排列方向。

第三级阶地:一般高出河床25~35m,极个别甚至稍高于40m,下游段主要为基座阶地,在上游段有时为堆积阶地(往往呈心滩状,全由卵石或磨圆良好的大砾石组成)。构成该阶地的基座,主要为不同时代的基岩,但在木斯主—冷都段有时为中更新世的湖相沉积,有时为玉龙冰期的冰碛岩或丽江冰期的冰水台地。该阶地沿河分布比较连续,其保存

宽度也有上游段较大(可达300~500m)、下游段出露较小(一般不足100m)的趋势。组成该阶地的冲积物,少数具有二元结构,如沙坝附近,一般缺乏上部砂层,仅保存下部分选和磨圆度良好的卵石层,砾石粒径多为数厘米至一、二十厘米,其成分复杂(表1),层理清晰,砾石往往具有一定的排列方向。

第四级阶地:一般高出河床40~50m,极个别甚至稍高于50m,为基座阶地。构成该阶地的基座主要为不同时代的基岩,但在木斯主—冷都段有时为中更新世的湖相沉积及其风化壳红土,有时为玉龙冰期的冰碛岩或丽江冰期的冰水沉积。该阶地沿河分布零星,其保存宽度也较小(一般不足200m)。组成该阶地的冲积物,少数具有二元结构如杨家村附近^[32],一般缺乏上部砂层,仅保存下部分选和磨圆良好的卵石层,其成分复杂(表1)。

第五级阶地:一般高出河床35~60m,为基座阶地。由于冲积层厚度和上覆粘土层保存厚度不同及形成后的长期侵蚀,阶地面高度相差较大。构成该阶地的基座为不同时代的基岩。该阶地仅零星地分布于上游河段。组成该阶地的冲积物,为磨圆度良好但风化十分强烈的卵石层,其成分复杂(表1),往往呈砖红色,其上覆的厚层砂粘土层也风化为鲜艳的红色。

洪积物是指干旱半干旱气候区暂时性水流堆

积的产物,其堆积地形往往呈扇形,被称为洪积扇。受到抬升和切割的洪积扇则被称为洪积台地。这些都是从前苏联地质学界引进的概念,在西方科学界则无此术语,笼统地将其归为冲积物、冲积扇与阶地。由于洪积物等概念能区别于有固定河床的经常性流水所形成的冲积物,而且金沙江河谷又是著名的干旱河谷,故本文应用这些概念。由于现代金沙江各小支流在注入金沙江时所形成的冲、洪积扇规模很小,难以在图2中详细地表现出来,因而本文仅划分出3期洪积台地。区分这3级洪积台地的基本原则是:与玉龙雪山西麓的更新世冰川与冰水沉积的接触与对比关系、与金沙江河流阶地的接触关系、与河谷中的中更新世湖相沉积的接触关系。据此,本文所划分出的3期洪积台地自新至老叙述如下。

新洪积台地:紧靠支沟出口分布,其扇形形态明显,切割最浅,一般高出金沙江5~30m,高出支沟仅1~20m。其沉积物一般为粗大的岩块或砾石,含少量粗砂碎石,分选与磨圆度均较差,十分新鲜。其砾石岩性成分远较金沙江河流沉积单调。该台地靠金沙江一侧,往往可发育2级阶地。在礼都等地,该期洪积台地下伏为中更新世的湖相沉积。该洪积台地可与仁河、中义和新联3条支沟的大理冰期冰水台地相对比。

表1 金沙江“长江第一湾”段河流阶地砾石岩性成分统计
Table 1 Lithologic statistics of gravels in terraces
of the First Bend of the Yangtze River

地点与阶地	花岗岩*	石英岩	玄武岩	砂岩	灰岩	大理岩	板岩	片岩	千枚岩	其他**	%
硕多岗河口高漫滩		10	40		31	9	5	3		2	
老村T ₁	19	9	35	9	2	11	5	3	1	6	
硕多岗河口右岸T ₁		3	52		27	4	14		2	6	
美胜村T ₂	19	19	36	7	7	2	3		2	6	
湾子村T ₂	26	15	41	2	3	1	3			9	
其宗T ₃	18	3	10	11	14		15	6		23	
中兴北2km T ₃	25	13	44	10	4		2			2	
沙坝T ₃	19	16	40	3	7	7	7			1	
老村T ₄	19	13	30	6	1	11	8	8		2	
杨家村T ₄	18	7	38	4	9	6	5	7	2	4	
鸡公石T ₅	26	7	2	16	4	6	2			37	
大具老砾石层	18,8,2,3	1	14	19	18	12				5	

注:“*”表示含闪长岩、辉长岩、伟晶岩等中酸性结晶岩,“**”表示包括片麻岩、斑岩、角闪岩、凝灰岩与其他中酸性喷出岩、泥岩、泉华等

较老洪积台地:往往分布于新洪积台地外侧,有时也直接与金沙江及其河流阶地接触。该台地一般高出金沙江30~50m,高出支沟20~40m。该台地的洪积物亦以粗大与分选、磨圆较差的砾块为主,但已含较多的砂土。在该台地靠金沙江一侧,可发育3~4级河流阶地,故可与仁河、中义、新联3地的丽江冰期冰水台地相对比。

老洪积台地:往往高悬于金沙江河谷两侧山坡之上与坡积裙连成一片,有时则与内侧的阶地或后期的洪积台地接触,高出河床50~200m或更多。组成该洪积台地的洪积砾块碎石层以含有大量红色粘土为特征。其上覆粘土层有时厚达15~20m或更多。在有些地点,该洪积层下伏为第五级阶地的红色风化砾石层。

尽管在金沙江虎跳峡梯级河段河谷中测试了若干河流沉积物的热释光(TL)、电子自旋共振(ESR)和¹⁴C年龄,但测年数据(表2)却非完全可靠。因而,本次主要利用地层对比与年龄测定结果相结合的方法加以讨论。

如前所述,在玉龙雪山东西两麓,发育了距今700~600ka、530~450ka、310~130ka和70~10ka的玉

龙、干海子、丽江和大理4次冰期。其中,玉龙冰期的冰碛物——老冰碛岩已进入玉龙山西麓的金沙江河谷,东北麓的大具盆地西南角与西北角,其冰水沉积已与来自哈巴雪山的冰水沉积共同充填了大具盆地的大部分地区。老洪积台地可与该冰期对比。而丽江与大理冰期的冰碛物已沿被切割的沟谷深入到接近金沙江河谷处,并在各沟口形成了2级冰水台地。它们可与虎跳峡梯级河段中的较老与新洪积台地相对比。它们均比大间冰期所形成的龙蟠古湖与虎跳峡中的古湖相沉积为新。而从金沙江第一、二级阶地新于新洪积台地,第三、四级阶地新于较老洪积台地,第五级阶地老于老洪积台地等接触关系,可以归纳出如下的沉积顺序与地层对比关系。

早更新世:在本段金沙江谷底沉积了以河湖相沉积为主的地层,其大部分埋藏在近代沉积层之下,只有第五级阶地冲积层出露于本区上游和磨圆度很好的古金沙江砾石层及湖滨相或河漫滩相,小石子层出露于大具盆地的玉龙冰期冰水沉积层之下^[30]。

中更新世:在700~600ka的中更新世早期,发生了本区最早一次冰期——玉龙冰期。当时,冰川已进入玉龙山西麓的金沙江河谷及东北麓的大具盆地西南角及西北角。同时,在冰川区外的河谷中也堆积了老洪积物。香格里拉县敦古老洪积台地上部和中上部的ESR年龄分别为771.7±154.3ka及774.2±153.8ka,也大致印证了这一点。而在本区中上游段则可能开始发育石鼓古湖与“虎跳峡古湖”。在530~450ka的中更新世中期,发生了一次较小的冰期——干海子冰期。在其后的大间冰期中,石鼓古湖与虎跳峡古湖进一步扩大。

晚更新世,早期形成了金沙江第四和第三2级阶地。其中,杨家村、巨甸北等地第四级阶地冲积砂层的TL年龄介于88.0±11.8ka BP~80.9±4.0ka BP之间;巨甸西、北和齐平与达洛间第三级阶地沙层的TL年龄介于68.0±3.4ka~43.6±2.2ka BP间。在中、晚期,发生了地球上最后一次大冰期——本区为大

表2 金沙江其宗一下落鱼段河流阶地、洪积与冰水台地同位素年龄测定结果

Table 2 ESR, TL and ¹⁴C dating results for terraces and proluvial and glaciofluvial platforms in the Qizong-Xialuoyu sector of the Jinsha River valleys

编号	地点	阶地/台地	样品	方法	年龄/ka
Js _{II} -3	德乐	T ₂	淤泥质亚粘土	¹⁴ C	11.29±0.11
	石鼓南沙坝	T ₃	粉砂	TL	43.6±2.2
	次巴洛对岸	T ₃	细砂	TL	62.0±3.1
Js _M -2	金江对岸	T ₃	砂质粘土	TL	149.0±7.5
	巨甸西	T ₃	细砂	TL	68.0±3.4
	巨甸北1km	T ₃	细砂	TL	65.0±3.3
	巨甸北1km	T ₄	细砂	TL	87.8±5.3
Js-3	杨家村窑址	T ₄	砂	TL	80.9±4.0
	杨家村窑址	T ₄	砂	TL	88.0±5.3
No.8	开你地	T ₄	钙质胶结砂	ESR	220.0±44.0
No.7	鸡公石右岸	T ₄	钙质胶结砂	ESR	124.5±24.9
xi	新联公路边	丽江冰期冰水台地顶	钙质砾岩	ESR	127.4±25.4
Hi	新联核桃村	丽江冰期冰水台地	钙质砾岩	ESR	187.5±37.5
No.5	中义公路边房后	丽江冰期冰水台地	钙质砾岩	ESR	201.2±40.2
No.6	中义金沙江右岸	丽江冰期冰水台地	钙质砾岩	ESR	201.0±40.2
9	敦古	老洪积台地上部	钙质胶结砂砾	ESR	771.7±154.3
11	敦古	老洪积台地中上部	钙质胶结细砂	ESR	774.2±153.8

理冰期。同时,在金沙江河谷中堆积了新洪积物,随后形成了金沙江第二级阶地。其中,德乐第二级阶地冲积亚粘土的 ^{14}C 年龄为 $11.29\pm 0.11\text{ka}$ 。

全新世:早中期形成了金沙江河谷中的第一级河流阶地。现代河床上部地层与河漫滩无疑是近代堆积的产物。

4 江底深厚沉积层特征、成因和时代

在以往中国西南水电工程地质勘查中,许多坝址发现了深厚河床沉积层,如大渡河瀑布沟63m、金沙江向家坝40~60m,但厚度从未超过100m。在本河段其宗一下落鱼段(Ⅲ₁,除上峡口和其宗外),钻探和高分辨率地震反射勘探结果所揭露的厚度都超过了100m,其中150~250m则是该段河谷的常见厚度。在宽广的断陷(或压陷)盆地,如巨甸盆地,其厚度超过300m也并不奇怪。这在中国西南雅砻江、岷江、大渡河和金沙江中下游河段水电资源开发史上是绝无仅有的。此前,有学者^[37-38]对本河段的深厚河床沉积层及有关工程地质问题曾有简要报道和讨论,本节将进一步加以介绍。

江底沉积层不同于谷坡第四纪沉积物,不能现场(原位)对天然和人工露头进行反复观察和对比,而主要靠已有的钻孔编录和取样率较低的岩心。在工程前期规划阶段,钻孔勘探量一般很少,因此其成因、结构、分布规律和工程性质的研究相对比较困难,这就更显得第四纪地质学方法的重要性。图8给出了其宗ZK16、金江ZK1、红岩ZK9、龙蟠ZK6与ZK3、鲁南ZK11和上峡口ZK2等6个坝址7个钻孔岩心的岩性、岩相和测年结果,其位置如图2所示。由图3和图8可以看出,其宗—上峡口段金沙江各钻孔的江底覆盖层厚度或基岩埋藏深度(或许钻孔所在地并非最厚和最深处)分别为:其宗孔为80.32m,金江孔为202.60m,红岩孔为245.00m,龙蟠2个孔分别为99.50m和大于89.40m,鲁南孔为153.00m和上峡口孔为56.50m。分析表明,江底沉积层的厚度与河段的河谷地貌有密切的关系:河谷愈宽,沉积层愈厚。深切峡谷段沉积层厚度一般小于50m,如虎跳峡段(Ⅲ₂)甚至基岩出露;一般峡谷段为50~100m间,如其宗孔与上峡口孔;窄谷段则为100~200m间,如龙蟠孔与鲁南孔;宽谷段可达100~300m,如金江孔与红岩孔。

笔者还用高分辨率反射法地震勘探获得其宗—

下落鱼段金沙江江底沉积层厚度分别为:老村,145~190m;巨甸(下游3km处),110~160m;红花,160~207m;金庄(下游4.5km处),170~218m;新华纸厂,91~130m;石鼓,190~250m。虽然上述地球物理勘探方法所勘探的地点不完全与钻探地点吻合,但所获得的沉积层厚度却是相当一致的。这证明该段金沙江在宽谷地段的江底沉积层是十分深厚的(图3)。

其宗一下落鱼段金沙江各钻孔的江底沉积层的岩性如图8所示,现以最具有代表性的红岩ZK9孔、龙蟠ZK6孔、鲁南ZK11和上峡口ZK2孔为例(表3),对江底第四纪沉积物的成因进行剖析。

由表3可知,该段金沙江江底沉积物的岩性多种多样,其岩相与成因也是多样的。除最主要的成因河流相外,还有湖相、洪积、坡积、崩积,在鲁南—龙蟠一带还有中、晚更新世的冰碛和冰水堆积。鲁南钻孔上部的江底沉积物中灰绿色粘土夹碎石层很可能为古滑坡堆积(钻孔描述中有镜面滑面的描述,在地表似有滑坡的形态特征,在硕多岗河口左岸冷都大滑坡前缘已经进入江中)。

不同成因沉积物的判别源于不同的宏观特征标志,如河漫滩相通常为分选较好的灰黄色粉细砂层偶夹小砾石;河床相卵石、砾石、漂石层为圆状、次圆状,且分选良好;湖相沉积特别是湖相粘土、粉砂质粘土具有灰色、深灰色、灰绿色外表,其分选较好,特别是有鲜明的水平层理(纹层),且微观上片状矿物具有定向排列的现象;洪积物特别是山地河流周边的洪积物颗粒粗细大小混杂,即碎石、砾石、砂、粘土混杂堆积,碎石或砾石为稍有磨圆的次棱角状;而坡积物则基本上无磨圆和分选现象;玉龙雪山西侧的冰碛和冰水堆积由于主要物质来源于灰岩、白云岩、大理岩,其堆积后在地表水和地下水作用下常被胶结成冰碛角砾岩和冰碛砾岩,因而在鲁南和龙蟠的钻孔编录中常有胶结石、角砾状灰岩的描述。由于水下冰碛和冰水堆积长期遭受渗透压力的作用,钙质胶结具有不均匀的特点。

野外调查表明,在木斯主下村东南与硕多岗河口之间的金沙江两岸,发现了10多处水平层理或纹层发育极好的灰、灰蓝、灰黄、褐黄等颜色的粉砂与粘土,局部夹有砂砾的第四纪湖相沉积物露头,表明在这一段金沙江谷地中曾有湖泊分布的历史。笔者在上峡口、龙蟠、红岩、金江等钻孔岩心中也发现了多处深灰色、灰色、粉红色具有水平层理的粉

砂质粘土,是湖相沉积物,特别是红岩和金江钻孔湖相地层具有较大的厚度,并用热释光(TL)和电子共振(ESR)法进行年代学测定(图8,表3)。由测试结果可以看出,江底沉积物形成的最新年龄仅为 $0.715 \pm 0.06\text{ka}$,最老则大于 1500ka ,表明巨厚的江底沉积物反映了整个第四纪的沉积历史。其中,上

层湖相沉积物形成于中更新世中期($365 \pm 22\text{ka} \sim 557 \pm 162\text{ka}$),下层湖相沉积物则形成于早更新世或更早($>1500\text{ka}$),说明此段金沙江曾与大具段是贯通的,即在早更新世或更早期,金沙江即已穿过了虎跳峡。同时,在石鼓附近及邻近河段,曾有多次湖泊发育的历史。

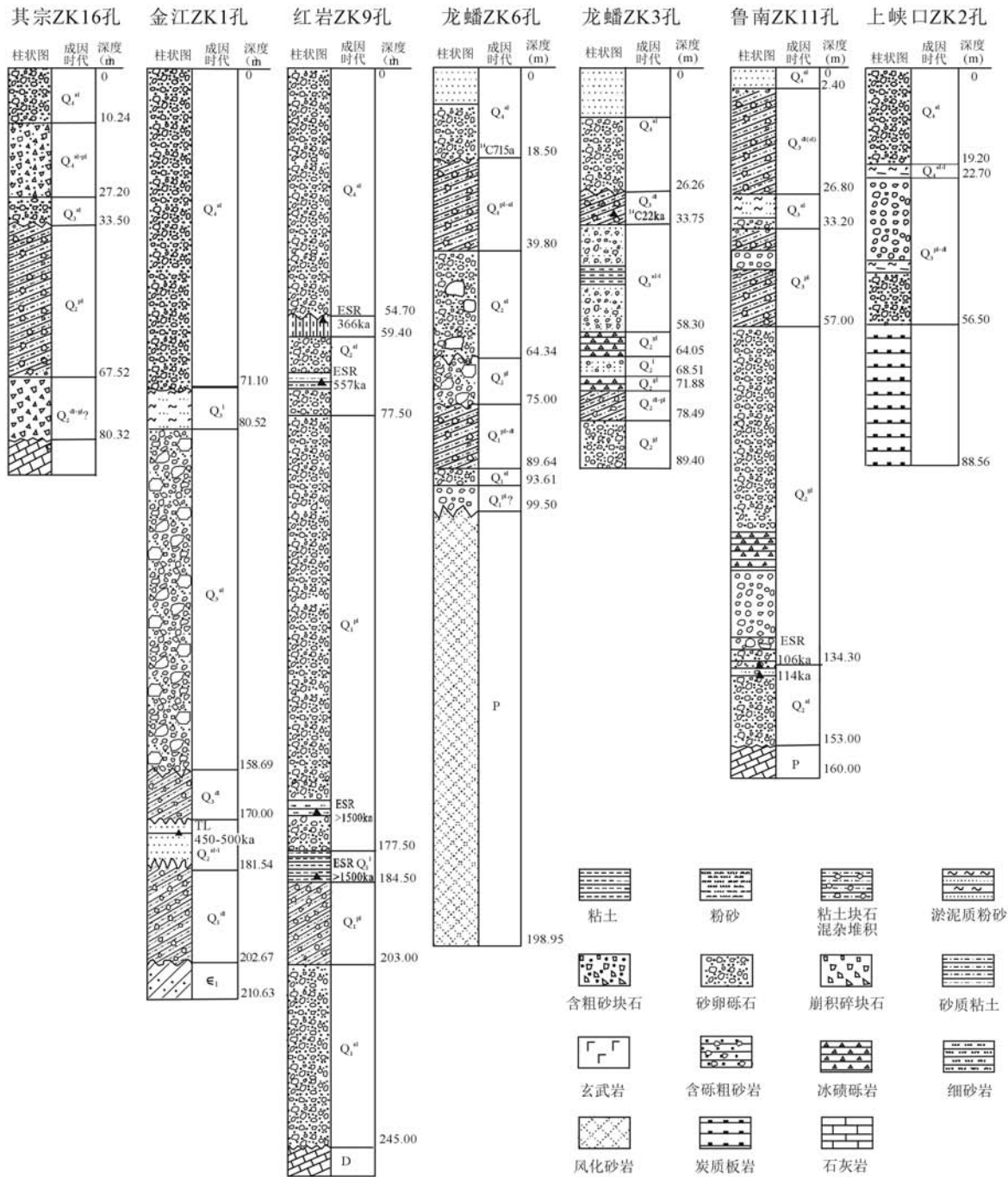


图8 其宗一下落鱼段金沙江河床沉积层柱状钻孔岩心对比
 Fig. 8 Correlation between drilling core columnar sections of river bed sediments in the Qizong-Xialuoyu sector of the Jinsha River valleys

表 3 金沙江其宗一下落鱼段江底沉积层代表性钻孔岩心岩性、岩相、成因与时代对比
 Table 3 Correlation of lithology, lithofacies, origin and age between the typical drilling cores
 of river bed sediments in the Qizong-Xialuoyu sector of the Jinsha River Valleys

地点及 钻孔号	层 序	深度 /m	厚度 /m	底板 高程/m	岩性岩相特点	成因与 时代	取 样 深 度/m	年 龄 测 试 结 果	样 品	测 年 方 法	年 龄/ka
红岩 坝址 ZK9孔 (孔口标高 1827.65m)	1	54.70	54.70	1772.95	卵砾石、漂石夹砂、粉砂	Q ₃₋₄ ^{al}					
	2	59.40	4.70	1768.25	灰绿色淤泥质粉砂 和粉质粘土层	Q ₂ ^{al-1}	55.5	灰色粉 质粘土	ESR TL	362±22 365±22	
	3	77.50	18.10	1750.15	卵砾石层(夹砂或砂质粘土)		66.5-74.0	肉红色硬粉 质粘土	ESR TL	557±16.2 416±29	
	4	177.5	98.0	1652.15	泥沙、卵石、块石、碎石混杂堆积,上 部及下部夹砂,局部胶结和半胶结	Q ₁ ^{pl}	168.5	灰黄色 粉砂岩	ESR	>1500	
	5	184.5	9.0	1643.15	灰黄色、灰绿色粉质粘土, 具水平层理	Q ₁ ^l	184.5	灰色粉质 硬粘土	ESR	>1500	
	6	203.3	18.8	1624.35	粘土、碎石、块石混杂堆积	Q ₁ ^{pl}					
	7	245.0	41.7	1582.65	砂卵砾石层局部夹沙层中 下部具有明显的胶结现象	N ₂ /Q ₁ ^{al}					
	8	252.06	>7.06	1575.59	灰色、浅灰色结晶灰岩	D ₂					
龙蟠 坝址 ZK6孔 (孔口标高 1800.50m)	1	18.5	18.5	1781.65	上部为灰黄色粉砂下部 砂砾石层(夹卵石)	Q ₄ ^{al}	18.0	木头	C ¹⁴	0.715±0.06	
	2	39.8	21.3	1760.35	灰绿色/灰黄色粘土夹碎石(灰岩、 玄武岩),底部为卵砾石夹碎石	Q ₃ ^{pl-al}	注				
	3	64.34	24.15	1736.72	漂石、卵石层	Q ₂ ^{al}					
	4	75.00	11.57	1725.15	钙质胶结冰碛砾岩,角砾 为玄武岩、灰岩	Q ₂ ^{sl}					
	5	89.64	14.64	1710.51	粘土夹碎石,碎石夹粘土	Q ₁ ^{pl-dl}					
	6	93.61	3.97	1706.53	卵石层	Q ₁ ^{al}					
	7	99.5	5.89	1700.65	碎块石层(局部有磨圆)	Q ₁ ^{pl?}					
	8	198.95	>100	1601.20	强风化板岩	P					
鲁南 坝址 ZK11孔 (孔口标高 1800.50m)	1	2.4	2.4	1805.30	粉细砂层	Q ₄ ^{al}					
	2	26.8	24.4	1780.90	灰绿色粘土夹玄武岩、灰岩、 板岩碎块(具有裂面,有滑感)	Q ^{dl(st)}					
	3	33.20	6.4	1774.50	上部为深灰色淤泥质粉细砂, 下部为砂卵石层	Q ^{al}					
	4	57.0	23.8	1750.70	灰黄色泥夹块(灰岩、板岩、 玄武岩)或块夹泥的混杂堆积	Q ^{pl}					
	5	134.3	77.3	1673.40	块石(玄武岩、灰岩)、卵石、 砾石,局部钙质胶结	Q ₂ ^{sl}	134.4 136.6	胶结粗砂岩 胶结细砂岩	ESR ESR	106±21 114±24	
	6	153.0	18.7	1654.70	上部灰黄色粉质粘土 夹砾石,下部卵砾石层	Q ^{al}					
	7	160.0	>7	1647.70	结晶灰岩	P					
上峡 口坝址 ZK2 孔(孔口标高 1804.40m)	1	19.2	19.2	1785.20	砂砾石层(夹卵石)与粉细砂层	Q ₄ ^{al}					
	2	22.7	3.5	1781.70	灰色淤泥质粉砂(夹树枝木片)	Q ₁ ^{al-1}					
	3	56.5	33.8	1747.90	块石、碎石、漂石、卵石混杂堆积	Q ₃ ^{pl-dl}					
	4	88.56	>32	1721.04	炭质板岩	P					

注:龙蟠坝址 ZK3 孔埋深 32.0m 处的淤泥质粘土样品 ¹⁴C 年龄测定结果为 21.60±0.29ka

综上所述,对江底沉积物的岩性直接由钻孔岩心判别,成因类型由不同水动力条件下特有的沉积结构判别,地质时代由年代学数据、河谷沉积物第四纪沉积规律、河谷发育史等综合考虑确定。按照成因类型划分原则,该段河床沉积物属于共生系列多成因复合加积类型,其成因有以下几种。

(1)早更新世—中更新世早期的河湖相沉积:主要在Ⅲ₁₋₁亚段中下游发育,以红岩、石鼓附近厚度最大。如红岩孔底部100m左右最为典型,是一套充填早期断陷谷地的砂卵砾石层,夹崩坡粘土碎石层和胶结的粉砂、粘土层。砂卵砾石层较密实,底部有一定程度的胶结。底部粉砂岩ESR年龄大于1500ka。

(2)中更新世中期的湖相粉砂、粘土层——石鼓古湖沉积:由于石鼓古湖外泄后的侵蚀作用,典型的湖相沉积在江底远没有在河谷岸坡发育。如金江孔、红岩孔和龙蟠ZK3孔,均揭露出1~2层、厚度3~5m、含淤泥质的灰绿色粘土与砂质粘土层,具有明显的水平层理或纹层。湖相沉积特别是湖相粘土、粉砂质粘土,颜色以灰色、深灰色或灰绿色为主,分选较好,特别是有鲜明的水平层理或纹层为其判别依据,在微观上片状矿物具有定向排列的现象。红岩孔2层粉砂质粘土的ESR年龄分别为366ka和557ka,与玉龙冰期的年龄(700~600ka)^[28-29]一致或稍晚。这进一步佐证了石鼓古湖为玉龙冰期冰川堰塞的性质^[32]。

(3)中更新世中晚期—晚更新世的冰川沉积:玉龙冰期的冰碛地貌不仅保存于玉龙山西麓的谷坡之上,而且充填了龙蟠谷地。由于后期金沙江的冲刷,该期冰碛层大部分已被河流切穿。在龙蟠ZK3孔和鲁南孔所揭露出的2层由次圆—次棱角状的灰岩、大理岩和少量玄武岩组成的胶结砾岩,其成分和结构与岸坡上的冰水台地相似,而与玉龙冰期的冰碛物不同,可能是丽江冰期或大理冰期的冰水沉积。鲁南孔胶结砾岩的ESR年龄为106ka,可能是丽江冰期冰水沉积物在末次间冰期期间被钙质所胶结。

(4)第四纪未分的崩积、坡积层:在各钻孔的不同深度发现不同时代的3~4套由块石、碎石、漂砾、砾石和粗砂所组成的混杂堆积,尤其在谷坡陡峭的其宗、鲁南、上峡口厚度较大(50m左右),具有崩坡积的结构特征。崩坡积砾石直径20~200cm不等,

岩性与谷坡基岩相同。崩坡积穿时发育,呈透镜体状架空结构。

(5)中、晚更新世的冰缘冻融泥流堆积:在玉龙山西麓的龙蟠ZK3、ZK6孔,揭露出由灰绿色、灰黄色风化板岩或变质玄武岩碎块和棕黄、棕红色粘土混杂堆积的物质,与冰碛、冰水的沉积成分和结构不同,后者由灰岩、大理岩、玄武岩块石组成,粘粒成分很少,常被胶结。

(6)现代金沙江冲积物:虽然金沙江河床底部普遍分布有现代河流沉积,特别是河床相砾石、卵石层,但河流沉积物的厚度并不是下游厚上游薄,而是恰恰相反。如鲁南孔厚仅2.4m,上峡口孔为19.2m,龙蟠孔18.5m,最厚仅26.26m,而石鼓以上河段全新世河流沉积则有巨大的厚度。如红岩孔54.7m,金江孔71.1m,就是其宗孔仍有33.5m厚的河床相沉积物,反映出石鼓以上河段河床相对下沉的特点。此外,不仅江底河流沉积物以河床相砾石为主,而且在金江以上河段T₁与T₂沉积物不具二元结构,仅为河床相卵石层,这与金沙江上游河段河流水动力条件可能密切相关。

纵观其宗—下莫古喜河段江底沉积物的特征可知,红岩—石鼓一带是第四纪沉降中心,江底沉积物厚度最大,覆盖层年龄最老。金江以上、鲁南以下沉积物厚度逐渐变薄,断陷谷地早期沉积逐渐消失。鲁南孔最老的沉积物也仅有110~120ka,且多为崩坡积层,这可能有2个原因:①靠近龙蟠古湖的边缘;②中更新世末期以来玉龙雪山抬升速度较快,不利于河流沉积。金沙江河谷江底沉积物多种成因的现象不仅体现了在横断山区山体构造上升河谷深切或相对沉降过程中,深切河谷两侧的山体洪积、坡积、崩积作用对河谷的充填作用,也体现了热水塘至老村间河床相对下降的河谷演化历史。

5 金沙江河谷发育与青藏高原隆升

以一段长180km的河谷来讨论长逾2300km的金沙江河谷发育和面积逾百万平方千米的青藏高原隆升,实在是勉为其难。然而,即使是一段较短的河段,只要它是金沙江与青藏高原的有机组成部分,就会有整个河谷和高原地质变化的蛛丝马迹,就可从中窥探其若干奥秘。因此,本节将从青藏高原东南缘的总体与研究区局部相结合的办法来探讨青藏高原隆升与金沙江河谷的发育问题。

根据研究区及邻区夷平面的分布与区域地貌(图1、图2)特征的对比,盆地的断陷与充填及大江大河的深切与堆积作用的阶段性可以看出,在经历了中新世早中期地壳的长期稳定和广大地区地面的剥蚀夷平后,形成了广阔的夷平面——在青藏高原被称为主夷平面,从中新世中晚期开始的喜马拉雅运动晚期或新构造运动初期,具有大面积间歇性掀斜抬升伴以多次局部断陷的特点。地壳运动呈现出由北西方向地壳隆升幅度大、断陷盆地少且幅度小,而向南东地壳隆升幅度逐渐减少、断陷盆地较多且断陷幅度大的特点。这并非仅仅因为一两条区域性深大断裂的活动所致,而是一系列区域性深大断裂的联合活动所造成的。由于这一系列区域性深大断裂,特别是控制断块边界的深大断裂强烈的新活动,造成断裂两侧有巨大落差的相对垂直运动与大规模的水平走滑运动,断裂各段运动强度不均一,因而形成了青藏高原东南缘新构造运动类型与特征的多样性和区域地壳运动的特殊性 with 复杂性。

青藏高原东南缘及其邻区自中生代以来即已陆续褶皱成山。经过了漫长地质时期的地壳演变,该区古近纪的地质作用主要表现为一系列含膏盐盆地的断陷、沉积并伴以岩浆活动。至渐新世末期,以逆冲推覆构造为主要特征的强烈构造运动已使前期的盆地沉积变成具有一定海拔高度的山地。

在中新世早中期,该区和中国大部分地区地壳处于长期的稳定阶段。在长时期的风化、剥蚀和夷平作用下,已经形成了地域极其辽阔的准平原面,地貌学家大多认为当时的大部分地面高程应在海拔1000m以下,地势应相当和缓。而在新生代地质构造的研究中,人们往往忽略了这一重要的地壳运动阶段。

在中新世中期,随着青藏高原,特别是其东南缘开始发生大面积但不完全均衡的快速隆升和外围若干盆地(如盐源盆地、丽江—鹤庆盆地、剑川盆地、保山盆地、道街盆地、腾冲盆地等)最初的断陷或拗陷作用,充填了厚达数百米甚至千米的河湖相与湖沼相沉积物。在该地区为含多层煤质较好的褐煤层与火山沉积夹层(如云南的中新统南林组与双河组)。发源于青藏高原的河流纵剖面比降也因高原隆起和高原周边这些盆地及中国东部平原地区中盆地的断陷或拗陷作用而相应地增加,使得从

高原东南缘流出的大江大河发生了强烈的侵蚀与切割作用,残留的准平原面已被抬升为夷平面即主夷平面。根据笔者们的调查研究,当时的古水文网与现今水文网应无根本性的不同,即长江、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江等大江大河及其主要支流,如金沙江、雅砻江、安宁河、岷江、大渡河等都是先成河,已经存在并开始深切。前述的断陷/拗陷盆地已被抬升到河面以上300~800m的高处。因而,在中新世中晚期中国大地势台阶中的第一与第二级台阶已基本形成。实际上,根据笔者对中国东部的调查研究,属于中国大地势台阶中的第二级台阶前部的燕山、太行山、雪峰山等山脉,与青藏高原主夷平面大致相当的夷平面——太行期夷平面,也由于山脉的抬升和中国东部平原中若干盆地的断陷/拗陷活动,以及从第二大地势台阶流出的一系列大、中甚至小河流的侵蚀切割作用,在此时形成了中国大地势阶梯中的第二与第三大地势之间的台阶。也就是说,中国地势西高东低的基本格局在中新世中晚期或更早时期已基本形成。

在中新世晚期,中国地壳再次进入了一个较为稳定的时期,但历时较短。在前期已经形成的河谷中,河流的深切作用开始停滞而变为以侧方侵蚀为主,从而形成了一个以河谷展宽为主的时期,在河谷之外则形成规模较小的剥蚀面。这期宽谷,在华北地区被称为唐县面。在流经青藏高原的河谷中也可以看到类似的宽谷,却至今仍无人命名。

从中新世末期—上新世初期开始,青藏高原开始了第二阶段的隆升。在高原边缘,老的断陷/拗陷盆地发生了新的活动并产生了更多的新断陷/拗陷盆地,使老断陷/拗陷盆地中堆积的中新统地层成为盆地周边(更多位于盆地一侧)的高台地,同时堆积了厚达200~500m的新河湖相与湖沼相沉积物。在该地区为含多层煤质较差的褐煤层与火山沉积夹层的上新统棒芒组、羊邑组与三营组。研究区所在或邻近的丽江盆地、鹤庆盆地、中甸盆地、川吉洛玛盆地、页卡盆地等也应是这一时期形成的,它们或许都位于金沙江的支流谷地之中。而广布于川西北与滇北地区、由昔格达组湖相沉积组成的昔格达古湖及其他同期的古湖,则应是金沙江、大渡河等河流不同河段被堰塞而形成的堰塞湖。在昔格达组湖相沉积之下所发现的典型的河流相砂卵石层,则是金沙江与大渡河在上新世

早期就已经在其现代位置上存在和高原在当时已被深深切割的证据^[31]。而昔格达组湖相沉积构成金沙江与大渡河高阶地的基座,则是昔格达古湖消失和现代金沙江与大渡河形成,以及第四纪时期河流切割与高原近期隆升的依据。

在早更新世,青藏高原东南缘或许又发生过一次较为强烈的地壳运动。伴随着青藏高原的隆升,在切割哈巴—玉龙山的西麓断裂和东麓断裂的作用下,哈巴—玉龙山体呈断块上升,而金沙江上的昔格达古湖及其支流上与其相当的一系列古湖(如丽江—鹤庆古湖、页卡南沟古湖、川吉洛玛古湖、以土司康岗组为代表的中甸古湖等)因湖水外泄与河流下切而消失,并在较低的位置上形成了石鼓谷地与大具盆地。

研究区三碧海等地海拔3800~4000m夷平面的划分与大具盆地底部海拔1600m处1950和1770ka的早更新世早期金沙江砾石层^[30]和其宗一下落鱼段海拔高度大致相同、年龄大于1500ka的厚层埋藏河湖相沉积层(图3)的发现,对于研究青藏高原东南部的隆升和金沙江河谷的早期发育具有重要的科学意义。表明中新世早中期形成青藏高原主夷平面之后,到早更新世早期金沙江切割到现今河面附近,虽经双河与三营(页卡、川吉洛玛、土司康岗)等盆地形成时期的两度停顿,其相对于云贵高原的隆升和金沙江的下切幅度,已分别达1000~1200m和2000~2500m。

中更新世早期,玉龙雪山与哈巴雪山已上升到雪线之上,而石鼓谷地、大具盆地等则继续下沉,从而形成该地区高山深谷的地貌特征。但当时山地的切割程度尚小,玉龙山周围的沟谷系统尚未完全形成,因而本区最早发育的玉龙冰期(700~600ka BP),表现为规模较大的山麓冰川。在玉龙山西麓,冰川充填了长达27km的金沙江河谷的不少地段,石鼓谷地有可能因此而堰塞成湖——石鼓古湖(甚至还有“虎跳峡古湖?”)。其湖面甚至可达到现今海拔1860~1990m的高度甚至更高些,因为在上游金沙江段的许多地点和下游虎跳峡中的核桃园与湾登郭附近,都保存着这一时期、这一高度的湖相沉积物。由于金沙江源远流长,流量很大,面积有限、沉降速率也有限的石鼓古湖是不可能作为内陆湖而容纳其巨大的来水量的,因而很可能自始至终都是一个过水湖。经过了数十万年的侵蚀切割和

中更新世中期干海子冰期(530~450ka BP)规模较小的山麓冰川作用,金沙江的许多支流,包括玉龙山西麓的仁河、中义、新联等支沟均于此时形成。

在中更新世晚期丽江冰期(310~130ka BP)时,玉龙山西坡的3条支沟中,发育了长达9~10km的复式山谷冰川,留下了几道侧碛与终碛垄。其中,仁河沟最低即最外侧的终碛垄,下达海拔2000m左右处,距金沙江河谷仅1km左右。而且,在这些终碛垄外围,均有冰水台地保存。这些冰水台地的前缘甚至大部分台地,很可能都是伸入石鼓古湖中的三角洲,因为这些冰水沉积物的年龄和高程大体上都与石鼓古湖的湖相沉积物相当。而受到古湖浸淹的玉龙冰期老冰碛岩的ESR年龄,也可能受到湖水的影响(再次胶结或重结晶作用)而偏年轻。

在晚更新世早期末次间冰期,本区作为青藏高原的一部分,可能又经历了一次强烈的上升运动,石鼓古湖于80~90ka BP前被泄空,现代金沙江得以形成。随后,相继形成了拔河高度分别为40~50m、25~35m、15~25m和5~15m的金沙江第四—第一级阶地。

致谢:“金沙江虎跳峡梯级河段河谷发育史”项目负责人王思敬院士、玉龙雪山省级旅游管理委员会及其他项目单位和有关人员给予了大力支持,在此表示最诚挚的感谢。

参考文献

- [1] Deprat J. Etude geologique du Yunnan Oriental[C]//Mem. Sur. Geol. Indo-China., 1912, 1: 1-37.
- [2] Credner W. Observations on geology and morphology of Yunnan [M]. Geol. Sur. Kwangtung and Kwangsi. Spec. Publ., 1932: 1-53
- [3] 丁文江. 漫游散记(二十) [J]. 独立评论, 1933, 12: 11-12.
- [4] 李春昱. The development of the Upper Yangtze Valley[J]. 中国地质学会会志, 1933, 13: 107-117.
- [5] Barbour G B. Physiographic history of the Yangtze[M]. 地质专报第十四号, 1935: 1-112.
- [6] 李承三. 长江发育史[J]. 人民长江, 1956, 12: 3-6.
- [7] 袁复礼. 长江河流发育史的补充研究[J]. 人民长江, 1957, (2): 1-9.
- [8] 任美镔, 包浩生, 韩同春. 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.
- [9] 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): 87-108.
- [10] 许仲路, 李行健. 滇西北丽江湾文村—剑川甸南纵谷成因与金沙江河流袭夺问题之探讨[J]. 地理学报, 1982, 37(3): 325-334.
- [11] 黄少敏, 曾昭璇. 云南高原上河道的变化——金沙江袭夺问题[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 1985, (1): 18-24.

- [12]何浩生, 何科昭, 朱祥民. 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, 1989, 3(2): 319-330.
- [13]何浩生, 何科昭, 蒋复初, 等. 滇西北沙溪—鸿文谷地的成因研究——金沙江河流袭夺问题的再商榷[J]. 现代地质, 1991, 5(2): 280-289.
- [14]曾昭璇. 金沙江袭夺地形探讨[J]. 云南地理环境研究, 1991, 3(2): 44-48.
- [15]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.
- [16]曾普胜. 滇西北地区岩浆活动与长江第一湾形成的关系[J]. 地理学报, 2002, 57(3): 310-316.
- [17]Clark M K, Schoenbohn L M, Royden L H, et al. Surface uplift, tectonics, and erosion of eastern Tibet from large-scale drainage patterns[J]. Tectonics, 2004, 23(TC1006): 1-20.
- [18]任美镔, 刘振中, 雍万里, 等. 丽江和玉龙山地貌的初步研究[J]. 云南大学学报, 1957, (4): 9-18.
- [19]黄培华. 论云南之地貌发育问题[J]. 中国第四纪研究, 1960, 3(1/2): 9-56.
- [20]南京大学地理系地貌学教研室. 中国第四纪冰川与冰期问题[M]. 北京: 科学出版社, 1974: 1-172.
- [21]谢又予, 崔之久. 滇北玉龙山[C]//施雅风, 崔之久, 李吉均, 等. 中国东部第四纪冰川与环境问题. 北京: 科学出版社, 1989: 106-119.
- [22]Ives J D, Zhang Y Z. Glaciation of the Yulongxueshan, North-western Yunnan Province, People's Republic of China[J]. Erdkunde, 1993, 47(3): 94-104.
- [23]明庆忠. 滇西北玉龙雪山第四纪冰川作用的探讨[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 1996, 16(3): 94-104.
- [24]郑本兴. 云南玉龙雪山第四纪冰期与冰川演化模式[J]. 冰川冻土, 2000, 22(1): 53-61.
- [25]Kong P, Na C G, Fink D, et al. Moraine Gam related to late Quaternary glaciation in the Yulong Mountains, southwest China, and impacts Jinsha River[J]. Quaternary Science Reviews, 2009, 28: 3224-3235.
- [26]沈玉昌. 长江上游河谷地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1965: 1-160.
- [27]程捷. 金沙江早更新世“古河道”的新见解[C]//纪念袁复礼教授诞辰 100 周年学术讨论会论文集. 北京: 地震出版社, 1993: 159-162.
- [28]赵希涛, 曲永新, 李铁松. 玉龙山东麓更新世冰川作用[J]. 冰川冻土, 1999, 21(3): 242-248.
- [29]赵希涛, 张永双, 胡道功, 等. 玉龙山西麓更新世冰川作用[J]. 第四纪研究, 2007, 25(1): 35-44.
- [30]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.
- [31]赵希涛, 胡道功, 张永双. 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, 2008, 29(1): 1-12.
- [32]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.
- [33]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.
- [34]赵希涛, 郑绵平, 李道明. 云南迪庆小中甸古湖的形成演化与石鼓古湖和金沙江河谷发育的关系[J]. 地质学报, 2007, 81(12): 1645-1651.
- [35]吴中海, 张永双, 胡道功, 等. 滇西北哈巴—玉龙雪山东麓断裂晚第四纪正断层作用及其动力学机制探讨[J]. 中国科学(D 辑), 2008, 38(11): 1361-1375.
- [36]曲永新, 赵希涛, 冯玉勇. 金沙江干热河谷的第四纪红色风化壳[C]//地质环境系统研究. 北京: 海洋出版社, 2000: 25-31.
- [37]冯玉勇, 张永双, 曲永新, 等. 西南山区河床深厚覆盖层的建坝工程地质问题[J]. 工程地质学报, 2000, (增刊): 195-201.
- [38]汪波, 李渝生, 王运生, 等. 金沙江虎跳峡水电站坝区坝肩边坡的稳定性研究[J]. 地质力学学报, 2002, 8(4): 376-382.
- ①云南省地质局第一区域地质调查大队. 中华人民共和国区域地质调查报告(1: 200000)·丽江幅(G-47-XI)(地质部分). 1977.