

文章编号 1001-7410(2006)03-421-08

# 金沙江下段河槽地貌特征与地貌过程\*

葛兆帅<sup>①</sup> 刘庆友<sup>②</sup> 胥勤勉<sup>③</sup> 李会中<sup>④</sup> 薛果夫<sup>⑤</sup>  
梅应堂<sup>④</sup> 徐永辉<sup>③</sup>

(<sup>①</sup>徐州师范大学城市与环境学院,徐州 221116;<sup>②</sup>南京农业大学人文社会科学学院旅游管理系,南京 210095;  
<sup>③</sup>南京大学城市与资源学系,南京 210093;<sup>④</sup>长江水利委员会三峡勘测研究院,宜昌 443002;<sup>⑤</sup>长江水利委员会,武汉 430010)

**摘要** 文章利用金沙江河谷地貌调查与水利工程选址勘察地质资料,根据河槽纵剖面与 18 个河谷横剖面的资料以及攀枝花金江河段、会理鱼鲊河段、元谋龙街河段、禄劝凹嘎河段的阶地调查结果,对金沙江下段河槽地貌进行了初步分析,金沙江下段的河谷为典型的深切“V”形河谷,在虎跳峡、乌东德、白鹤滩峡谷段河槽比降发生明显变化。根据河谷阶地下切幅度与形成时代,以  $T_3$  阶地计算金沙江下段河槽平均下切速率达到 0.71 ~ 1.18m/ka,以  $T_2$  阶地计算金沙江下段河槽平均下切速率为 0.75 ~ 1.36m/ka,因此,近十几万年来,金沙江下段河谷平均下切速率达到 0.9 ~ 1.0m/ka。现代金沙江河槽底部均堆积了一定厚度的冲积-崩积物覆盖层,最厚的石鼓剖面河床底部冲积物盖层达到 173m,一般河段堆积物盖层均达 10m 以上。金沙江河槽的迁移是河槽下切过程与岸坡崩塌过程综合作用的结果,形成原河槽崩塌阻塞、河槽被动迁移或原河槽改道下切,形成古河槽-离堆山-新河槽的地貌组合,以及河槽侧向迁移 3 种模式。

**关键词** 金沙江下段 河槽地貌 地貌过程  
**中图分类号** P931.1 **文献标识码** A

## 1 引言

河槽地貌是河流水动力作用的直接结果,受气候变化、构造运动与人类活动的综合影响<sup>[1-3]</sup>。河槽地貌的深入研究,对掌握河流地貌发育演化过程与河床稳定性具有重要理论意义,也为水利工程建设提供了可靠的理论依据。

金沙江位于青藏高原的东部边缘、云南高原的北部边缘,其发育演化过程与青藏高原抬升有着密切的关系<sup>[4-6]</sup>,因此金沙江河谷地貌自 20 世纪 30 年代以来一直是学术界研究的热点,许多专家曾亲赴金沙江,或对河谷地貌特征进行详细的调查,或讨论云南石鼓附近河流袭夺问题<sup>[7-14]</sup>。但是,由于在交通条件与勘测技术等多方面受到时代的限制,对金沙江河槽地貌的研究长期没有多大进展。近年来,为配合金沙江水力资源的开发,在金沙江流域进行了大规模的地质勘察,取得大量的第一手研究资料<sup>[15,16]</sup>,对金沙江下段河槽地貌进行了初步的分

析,为进一步开展金沙江河槽地貌研究以及青藏高原的隆升研究创造条件。

## 2 研究河段概况

长江上游金沙江河段全长 2308km,本文选择石鼓以上的拖顶到宜宾的金沙江下段作为研究河段。该河段长约 1500km,自西向东横穿康滇地轴。该区域构造线以南北走向为主,如小江断裂带、元谋-绿汁江-安宁河断裂带、程海-宾川断裂带等。金沙江在攀枝花以上河段形成一个巨大的 W 形转折,攀枝花以下河段多呈近直角转折,南北向河段与区域构造线走向基本一致,河谷较宽,东西向河段横穿构造线,多形成峡谷地形。

根据金沙江流域水电工程地质勘察资料<sup>1)</sup>,在研究河段选取 18 个河谷横剖面(自上而下依次是:其宗上剖面①、其宗下剖面②、石鼓剖面③、虎跳峡上峡口剖面④、梨园剖面⑤、阿海剖面⑥、金安桥上剖面⑦、金安桥下剖面⑧、龙开口剖面⑨、鲁地拉上剖面⑩、鲁

第一作者简介:葛兆帅 男 35 岁 副教授 自然地理专业 E-mail:gezhaoshuai@163.com

\* 高等学校博士学科点专项科研项目(批准号:20020284004)和徐州师范大学自然科学基金项目(批准号:04XLA07,KY2005001)共同资助  
2006-01-25 收稿,2006-02-23 收修改稿

1) 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院. 金沙江干流综合规划工程地质勘察报告. 2003 年 6 月

地下剖面⑪、观音岩剖面⑫、白滩剖面⑬、乌东德剖面⑭、金坪子剖面⑮、白鹤滩剖面⑯、溪落渡剖面⑰、向家坝剖面⑱,以及攀枝花金江(a)、会理鱼鲑(b)、元谋龙街(c)、禄劝凹嘎(d)等4个河段(图1),对金沙江下段河槽地貌进行详细研究。

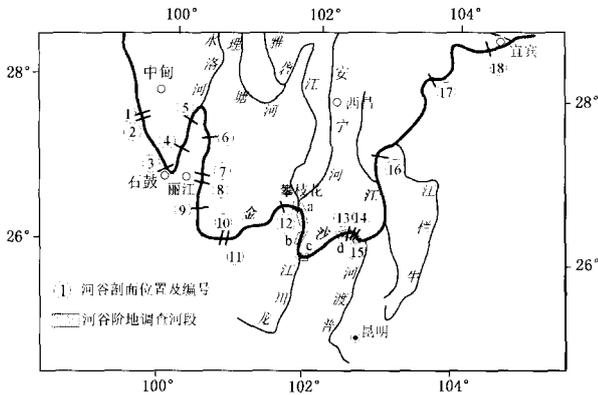


图1 研究河段位置与河谷剖面分布图

Fig. 1 Map showing the location of studied reaches and the distribution of cross sections

### 3 河槽的形态特征

从河床纵剖面看(图2),金沙江下段河床比降存在3个明显变化区,分别位于虎跳峡峡谷河段、乌东德峡谷河段、白鹤滩峡谷河段。其宗至虎跳峡河段长约240km,落差约200m,平均比降约为0.83%,河床比降相对和缓;虎跳峡长约12km,落差达170m,平均比降达14%;虎跳峡至乌东德河段长约650km,落差约710m,平均比降达1.1%;乌东德至白鹤滩河段长约300km,落差约280m,平均比降达0.93%;白鹤滩至宜宾河段长约330km,落差约190m,平均比降约0.56%。

从金沙江下段18个实测的河谷横剖面来看(图3),金沙江下段河槽均深切于基岩之中,两侧岸

坡多基岩裸露,形成多级侵蚀阶地。河谷形态除溪落渡(17号剖面)、向家坝(18号剖面)一带的金沙江出口河段略宽,成箱形外,其河段均为典型的“V”形河谷,形成高山深谷的峡谷地貌特征。但从不同河谷横剖面所反映的具体河段地貌形态特征看,金沙江下段河谷可以分成两种不同的类型:一是河谷相对宽阔的河段,平均宽达700~900m以上,包括其宗河段(1和2号剖面)、石鼓河段(3号剖面)、梨园至观音岩河段(5~12号剖面)、向家坝河段(18号剖面),这类河段河谷上口较为开阔,谷底多发育多级基座阶地或堆积阶地,现代河槽深切于较宽河谷底部,形成谷中谷的地貌特征;二是典型的峡谷河段,河谷相对狭窄,平均宽度在500~600m以内,包括虎跳峡河段(4号剖面)、乌东德河段(13~15号剖面)、白鹤滩-溪落渡河段(16和17号剖面),这类河段深切于基岩之中,形成典型的V形深切河谷,两岸岸坡壁立,河谷相对高差巨大,虎跳峡河段两侧的哈巴、玉龙雪山超过5000m,河谷高程不足2000m,相对高差超过3000m。乌东德河段两侧山地高度约2700m,河底高程不足900m,相对高差近2000m。

深切河谷的边坡也可分为两种类型:1)河谷岸坡比较陡直,坡度一般在35°左右,向槽底延伸,有的剖面边坡表现为越深越陡,如第1,2,4,6和13号等,有的剖面边坡表现为越深越缓,如第3,5和7号等;2)河槽边坡呈阶梯状,有的剖面表现为一侧边坡呈阶梯状,如第2,3,5,9,10,11和12号等,有的剖面表现为两侧边坡均呈阶梯状,如第7,8,11,14,16,17和18号等。位于金坪子的第15号剖面形态比较特殊,谷底双槽并列,槽底深度也相当,槽底形态都呈弧形,老河槽已被崩坡积物堵塞,现代河槽与之并列,其间形成离堆山<sup>[15]</sup>(见图3)。

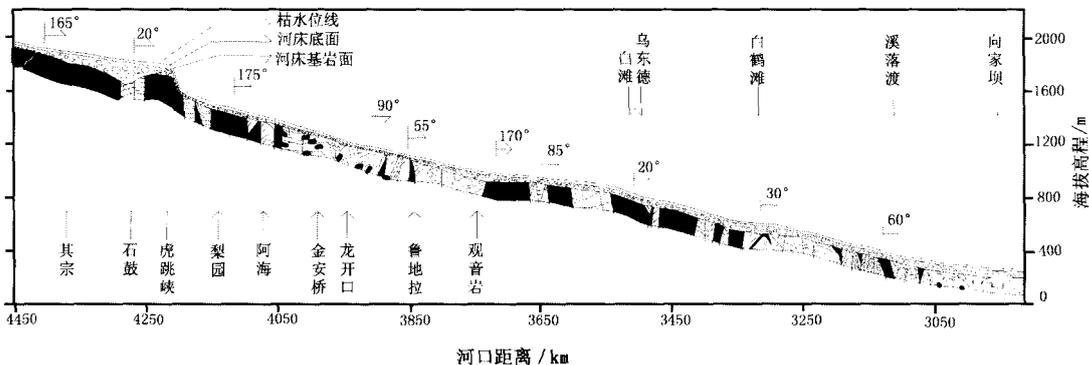
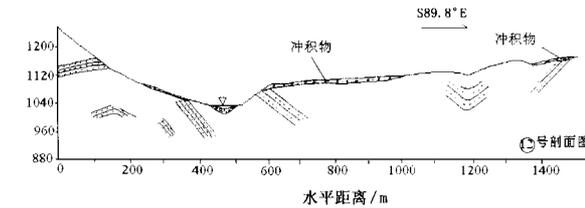
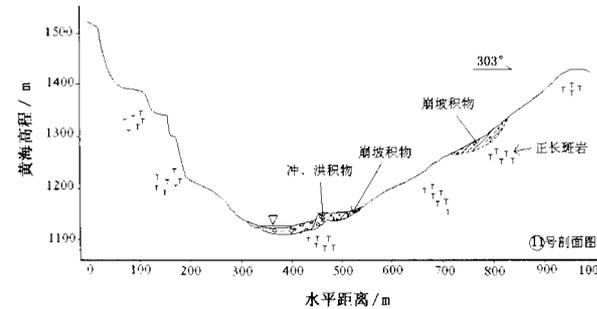
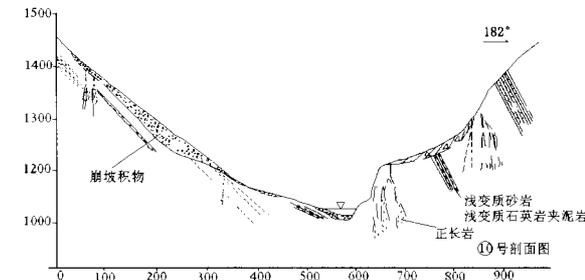
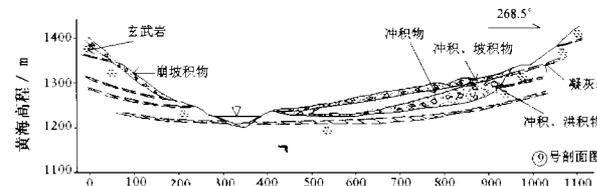
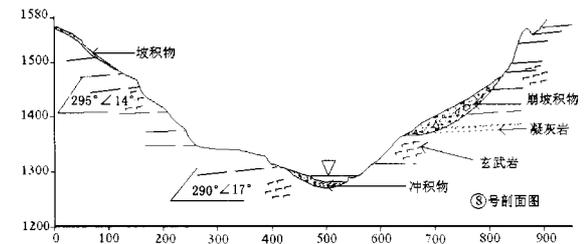
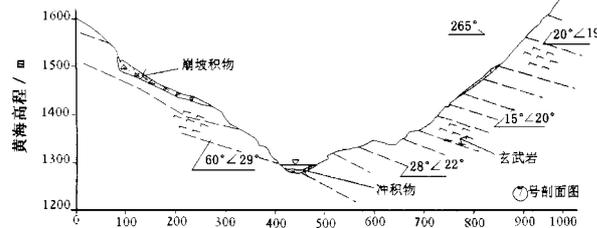
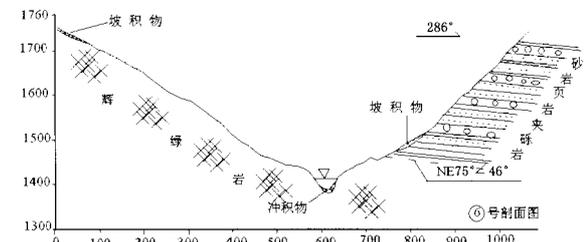
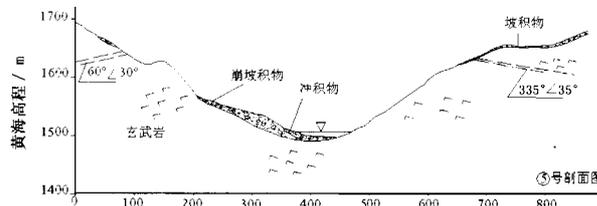
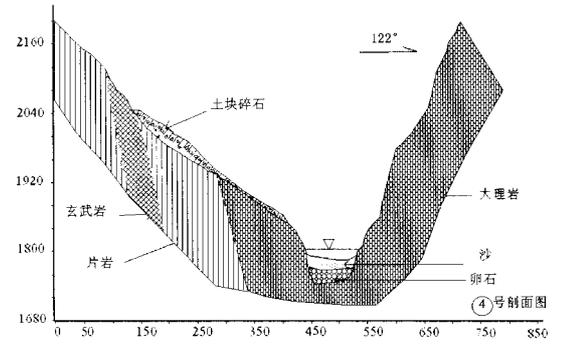
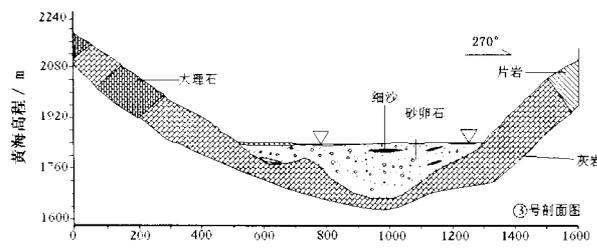
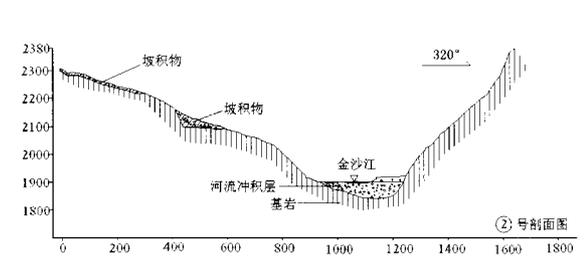
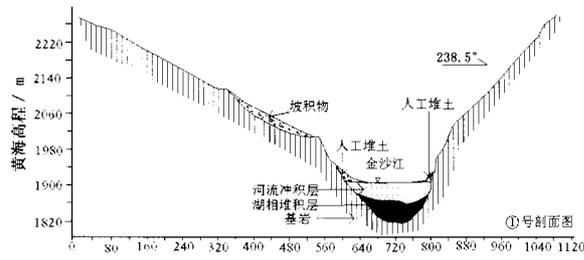


图2 金沙江拖顶至宜宾河段纵剖面

Fig. 2 Longitudinal section of the Jinshajiang River between Tuoding and Yibin



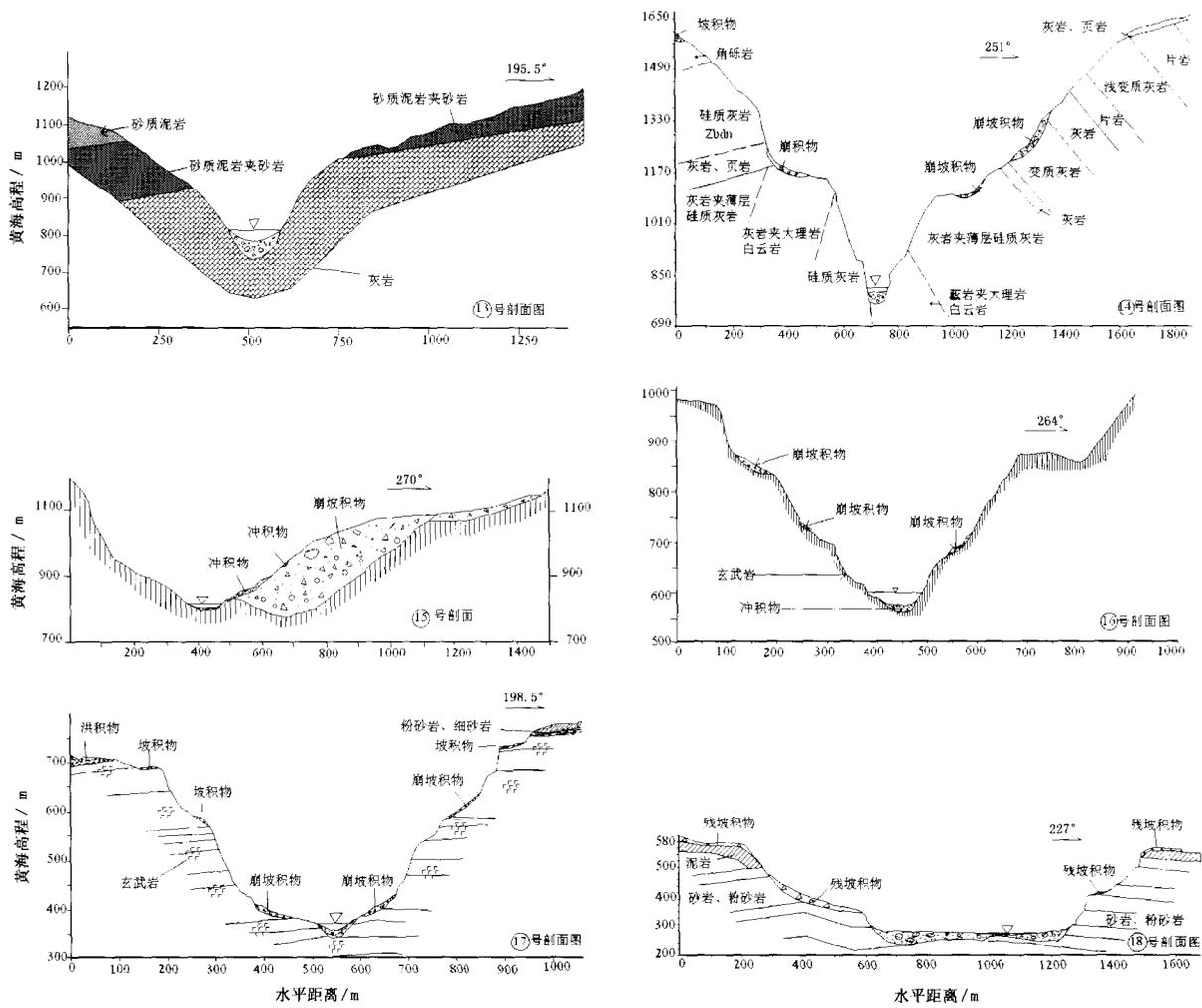


图3 金沙江下段河槽横剖面  
Fig. 3 Cross sections of the lower reaches of Jinshajiang River

## 4 河槽地貌过程

### 4.1 河槽下切过程

金沙江河谷阶地是河槽下切的地貌证据,经过对金沙江禄劝凹嘎河段、元谋龙街河段、会理鱼鲊河段、攀枝花金江河段的河谷阶地进行详细的调查(见图1),在凹嘎河段可以找到4级以上的阶地,龙街河段可以找到2级阶地,鱼鲊河段存在第三级阶地,金江河段有4级以上的阶地。本文对以上部分低阶地进行了TL测年。

#### 4.1.1 金沙江下段河槽下切的幅度

阶地地面的形成标志是河床脱离一般洪水的影响,因此可以用现代河流一般洪水位与河流阶地形成时所代表的河流一般洪水位的高差代表河槽的下切幅度<sup>[1]</sup>,由于河流阶地形成时的一般洪水位难以

确定,因此在金沙江以河流阶地沉积物与相同沉积相的现代河流沉积物之间的高差代表河槽的下切幅度(表1)。可以看出金沙江不同河段下切幅度存在一定的差异,但低阶地的下切幅度总的来看比较接近, $T_1$ 阶地平均下切约13m, $T_2$ 阶地平均下切约71m, $T_3$ 阶地下切幅度平均约为137m。

表1 金沙江不同河段河槽下切幅度(m)

Table 1 Incision scale at different sections of the Jinshajiang River

阶地顺序	金江	鱼鲊	龙街	凹嘎
T1	20	10	10	—
T2	71	90	40	84
T3	141	160	—	110

#### 4.1.2 金沙江下段阶地形成的年代

金沙江鱼鲊河段  $T_3$  阶地残余砾石层下伏褐黄

色的砂粘土的 TL 年代为  $192.07 \pm 16.3\text{kaB. P.}$ ,  $T_2$  阶地堆积物上层距地表约 1m 深砂粘土的 TL 年代为  $94.83 \pm 8.06\text{kaB. P.}$ 。在金沙江龙街河段  $T_2$  阶地地表以下 0.5m 深的黄色砂粘土的 TL 年代为  $52.02 \pm 4.42\text{kaB. P.}$ ,  $T_1$  阶地在砾石层上部的黄色砂粘土的 TL 年代为  $44.52 \pm 3.78\text{kaB. P.}$ 。金沙江凹嘎  $T_2$  阶地堆积物由砂层和砾石层组成,下部砾石层厚 2m 左右,上部粉砂层厚约 5m,粉砂层的 TL 年代为  $41.89 \pm 3.56\text{kaB. P.}$ ;  $T_3$  阶地底部堆积物的 TL 年代为  $115.85 \pm 9.84\text{kaB. P.}$ ;  $T_4$  阶地堆积物中砂质透镜体的 TL 年代为  $114.50 \pm 9.73\text{kaB. P.}$ 。在乌东德峡谷下口的金坪子松散堆积体 915m 高程处,存在一相当于金沙江  $T_2$  或  $T_3$  阶地的冲积砾石层,其 TL 年代为  $86.61 \pm 7.36\text{kaB. P.}$ 。

#### 4.1.3 金沙江下段河槽下切速率

以河槽下切幅度与阶地发育年代的比值作为金沙江河槽下切的速率。如果以鱼鲊河段  $T_3$  阶地年代  $192.07 \pm 16.3\text{kaB. P.}$  作为  $T_3$  阶地发育年代,金沙江下段河槽的平均下切速率为  $0.71\text{m/ka}$ ;如果以凹嘎河段  $T_3$  阶地年代  $115.85 \pm 9.84\text{kaB. P.}$  作为  $T_3$  阶地发育年代,其河槽平均下切速率为  $1.18\text{m/ka}$ ;如果以金沙江鱼鲊河段  $T_2$  阶地年代  $94.83 \pm 8.06\text{kaB. P.}$  作为  $T_2$  阶地发育年代,其河槽平均下切速率为  $0.75\text{m/ka}$ ;如果以龙街河段  $T_2$  阶地的年代  $52.02 \pm 4.42\text{kaB. P.}$  作为  $T_2$  阶地发育年代,其河槽下切速率为  $1.36\text{m/ka}$ ;如果以龙街河段  $T_1$  阶地年代  $44.52 \pm 3.78\text{kaB. P.}$  作为  $T_1$  阶地发育年代,河槽平均下切速率为  $0.29\text{m/ka}$ 。

根据以上结果,金沙江下段河谷平均下切速率达到  $0.9 \sim 1.0\text{m/ka}$ 。

## 4.2 河槽堆积过程

金沙江下段河谷剖面揭示了金沙江河槽是以下切过程为主的,但无论是河谷纵剖面还是横剖面所反映的,在现代河槽中均发育了不同厚度的冲积物(图 4)。石鼓附近金沙江河谷中从海拔 1640m 到海拔 1840m 为含淤泥砂砾质堆积,夹沙质透镜体,剖面揭示的河槽底部冲积层厚度达到 173m(最厚);金沙江虎跳峡上峡口剖面河槽冲积物厚约 41m,局部河槽有厚约 75m 砂砾岩块混杂堆积;在龙开口剖面有 90m 厚的松散冲积层;乌东德河段白滩剖面有 50m 冲积层,乌东德剖面有近 40m 冲积物,乌东德峡谷出口部位金坪子剖面有厚约 20m 的充填堆积物,向家坝剖面河床覆盖达到 50m,其余剖面河槽覆盖层一般厚度  $10 \sim 20\text{m}$ 。

## 4.3 河槽迁移过程

金沙江下段的河槽迁移过程包括如下几种。

(1)原河槽被崩塌堆积物阻塞,河槽被动迁移

这种河槽迁移过程在禄劝乌东德峡谷出口的金坪子堆积体形成过程中表现最为突出。金沙江金坪子剖面(见图 3 中 ⑮号剖面)显示,金沙江在此具有典型的双河槽结构,老河槽基岩底面高程为 750m 左右,比现代金沙江河槽略深一些,现为厚层巨大的岩块、卵砾石、砂、粘土等混杂堆积物充填,可能是老河槽深切,河槽边坡大规模崩坡积物进入河道,金沙江干流被迫向北东迁移,最终形成现代金沙江河槽。

(2)原河槽废弃改道,形成古河槽 - 离堆山 - 新河槽地貌组合

金沙江凹嘎河段存在一典型的古河槽 - 离堆山 - 新河槽地貌组合(图 5),古河槽相当于凹嘎河

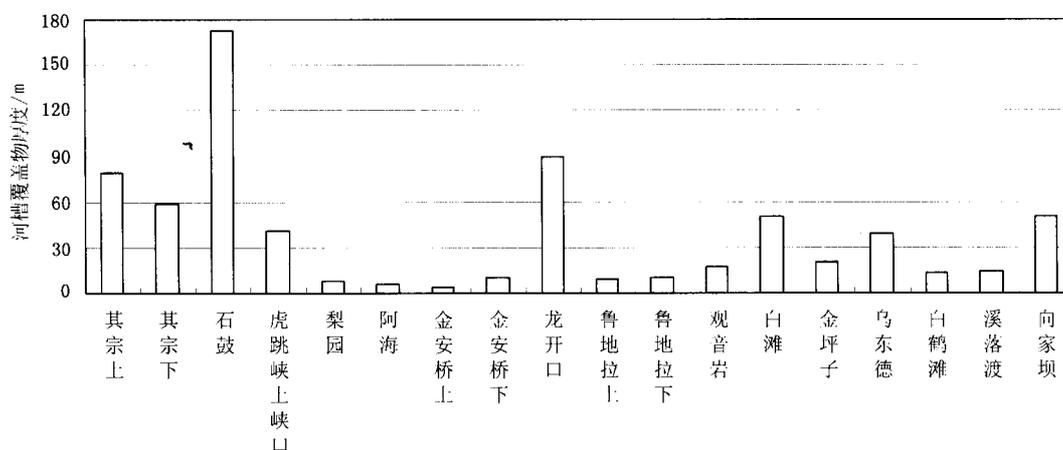


图 4 金沙江不同断面河槽覆盖层的厚度

Fig. 4 Thickness of loose deposits on riverbed at different cross sections in Jinshajiang River

段金沙江第四级阶地高度,离堆山海拔 1008m。在离堆山的东南侧,古金沙江废弃河道的出口处,距离离堆山约 30m,出露砂砾层、砾石层和含砾砂层交替的沉积层,顶面高度在 976m,底面高度在 964m。在离堆山西南侧、废弃河道的上口部位为细砾石层,分布高程为 960m 左右,厚约 6m,砾石平均粒径 2~5cm,成分复杂,有的为细砾岩,还有石英岩和燧石,以及变质岩,硅质灰岩;磨圆程度为圆、次圆。在细砾石层中有直径约 0.6cm 大小的细砾石组成的细砾层,下部有钙质胶结。细砾石层下伏 4m 左右的沙层,为河漫滩相夹层。

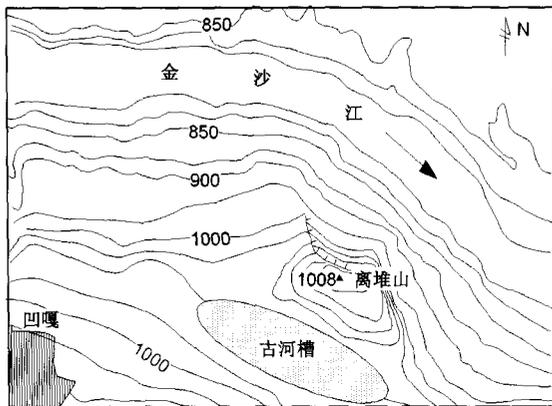


图 5 凹嘎河段的古河槽与离堆山

Fig. 5 The ancient river bed and cut-off meander core at the Aoga section

### (3) 河道缓慢侧向迁移

金沙江部分河段河槽表现为逐渐向一侧迁移,其中以龙开口剖面⑨最为明显(见图 3),由于河槽的下切与向西侧缓慢摆动,形成一典型不对称河谷形态,因河槽侧向迁移下切,在金沙江东岸形成 3 级河谷阶地,河谷宽度达 1500m,在  $T_3$  阶地与  $T_2$  阶地之间发育离堆山。根据下游阶地形成年代调查,金沙江  $T_3$  阶地大约形成于 190~115kaB. P.,观音岩河段河槽在十余年内向西迁移了近 1000m。

## 5 结论与讨论

金沙江下段河槽地貌发育以快速深切过程为主要特征,阶地调查揭示金沙江下段河谷平均下切速率达到 0.9~1.0m/ka,形成岸坡陡峭的高山峡谷地貌景观,发育典型的“V”形河谷。金沙江河槽的迁移是河槽下切过程与岸坡崩塌过程综合作用的结果,在金沙江河槽发育过程中,河槽深切是主要作用,现代河槽迁移的幅度不大。

从河槽纵剖面与横剖面(见图 2 和图 3)看,现

代金沙江河槽底部均堆积了一定厚度的冲积-崩积物覆盖层,最厚的石鼓剖面河床底部冲积物盖层达到 173m,一般河段堆积物盖层均达 10m 以上。金沙江下段河谷堆积物厚度的巨大差异可能与所选剖面的位置有关,所选剖面均为大型水利工程选址的地点,往往是河流水动力变化较大的河段或特定部位,堆积物较厚的地方可能是金沙江河槽中局部发育深槽或深潭的位置,这类深槽或深潭地貌在山地河流中是非常常见的<sup>[17]</sup>,它们的形成和堆积填充与气候变化、河流水动力条件改变有密切关系<sup>[18,19]</sup>。

另外,由于金沙江的强烈下切,导致岸坡崩塌作用强烈,同时大量的洪积物以溪口滩形式进入金沙江河槽,不断束狭河槽过水断面,使金沙江侧蚀作用加强,进一步加剧了金沙江的岸坡崩塌作用,使金沙江河槽中形成大量巨大崩塌岩块、棱角状坡积物和冲积卵砾石的混杂堆积,甚至在金沙江下段有时候会发生崩塌积物的堵江现象(见图 3 中⑮号剖面),对其上游方向形成堰塞,在河槽底部出现细颗粒“湖相”堆积(见图 3 中①号剖面),并有可能形成堰塞湖,造成灾害<sup>[20,21]</sup>。

金沙江  $T_1$  阶地所反映的金沙江河槽下切速率为 0.29m/ka,远小于  $T_3$  和  $T_2$  阶地的 0.71~1.36m/ka 的下切速率。一方面可能与所测定阶地年代的可信度有关,但从金沙江下段河谷地貌特征来看,局部河段发育  $T_1$  阶地为堆积阶地,如石鼓剖面、鲁地拉下坝址剖面、向家坝剖面,这说明金沙江下段近几万年来主导河槽深切过程的水动力条件发生了变化,导致河槽底部普遍发育冲积物沉积层,特别是在深槽或深潭部位形成巨厚堆积层。这可能与金沙江流域气候变化有关,多项研究也证实在长江上游与青藏高原区发生过显著的气候波动<sup>[22-26]</sup>,气候变化直接影响了金沙江流域的降水条件,在多雨期即金沙江大水期,河槽强烈下切,发育深槽和岸坡强烈崩塌,在少雨期即金沙江的小水期,金沙江下切减缓,河槽形成大量堆积物。

**致谢** 野外工作由杨达源教授负责,参与野外调查的还有韩志勇博士、李徐生博士、周彬、陈可锋等,长江水利委员会三峡勘测研究院提供了大量野外勘测资料,TL 年代由中国地震局地壳应力研究所 TL 实验室测定,在此表示感谢。

### 参考文献 (References)

- 1 杨达源主编. 自然地理学. 南京: 南京大学出版社, 2001. 362~

- 364  
Yang Dayuan ed. *Physical Geography*. Nanjing: Nanjing University Press, 2001. 362 ~ 364
- 2 杨达源, 李徐生, 任黎秀等. 长江三峡深槽沉积的研究. 第四纪研究, 2004, **24**(5): 501 ~ 505  
Yang Dayuan, Li Xusheng, Ren Lixiu *et al.* Studies on the sediments of the deep troughs in the Three Gorges of Changjiang River. *Quaternary Sciences*, 2004, **24**(5): 501 ~ 505
- 3 程绍平, 邓起东, 李传友等. 流水下切的动力学机制、物理侵蚀过程和影响因素: 评述和展望. 第四纪研究, 2004, **24**(4): 421 ~ 429  
Cheng Shaoping, Deng Qidong, Li Chuanyou *et al.* Dynamical mechanism, physical erosion processes and influence factors of fluvial incision: A review and prospect. *Quaternary Sciences*, 2004, **24**(4): 421 ~ 429
- 4 Wang Xiaofeng, Metcalfe I, Jian Ping *et al.* The Jinshajiang-Ailaoshan suture zone, China: Tectonostratigraphy, age and evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2000, **18**(6): 675 ~ 690
- 5 王二七, 樊春, 王刚等. 滇西哀牢山-点苍山形成的地表过程. 第四纪研究, 2006, **26**(2): 220 ~ 227  
Wang Erchie, Fan Chun, Wang Gang *et al.* Deformational and geomorphic processes in the formation of the Ailao Shan-Diancang Range, West Yunnan. *Quaternary Sciences*, 2006, **26**(2): 220 ~ 227
- 6 王二七, 陈良忠, 陈智梁. 在构造和气候因素制约下的雅鲁藏布江的演化. 第四纪研究, 2002, **22**(4): 265 ~ 373  
Wang Erchie, Chen Liangzhong, Chen Zhiliang. Tectonic and climatic element-controlled evolution of the Yalungzangbu River in Southern Tibet. *Quaternary Sciences*, 2002, **22**(4): 265 ~ 373
- 7 巴尔博. 扬子江流域地文化发育史. 地质专报(甲种), 1935, (14): 1 ~ 23  
Barbour G B. Physiographic history of the Yangtze. *Memoirs of the Geological Survey* (Edition A), 1935, (14): 1 ~ 23
- 8 任美镔, 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. 地理学报, 1959, **25**(2): 135 ~ 155  
Ren Mei'e, Bao Haosheng, Han Tongchun *et al.* Geomorphology of the Jinshajiang River valley and its river capture in Northwestern Yunnan. *Acta Geographica Sinica*, 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. 地理学报, 1963, **29**(2): 87 ~ 108  
Shen Yuchang, Yang Yichou. New research on the problem of river-capture of Ching-Sha-Chiang (the upper Yangtze), Western Yunnan. *Acta Geographica Sinica*, 1963, **29**(2): 87 ~ 108
- 10 沈玉昌著. 长江上游河谷地貌. 北京: 科学出版社, 1965. 1 ~ 200  
Shen Yuchang. Valley Geomorphology in Upper Reaches of Yangtze River. Beijing: Science Press, 1965. 1 ~ 200
- 11 杨达源, 李徐生. 金沙江东流的研究. 南京大学学报(自然科学), 2001, **37**(3): 317 ~ 322  
Yang Dayuan, Li Xusheng. Study on the flowing eastward of the Jinshajiang River. *Journal of Nanjing University* (Natural Sciences), 2001, **37**(3): 317 ~ 322
- 12 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. 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. *Yunnan Geographic Environment Research*, 1998, **10**(2): 43 ~ 48
- 13 计凤桔, 郑荣章, 李建平等. 滇东、滇西地区主要河流低阶地地貌面的年代学研究. 地震地质, 2000, **22**(3): 265 ~ 276  
Ji Fengju, Zheng Rongzhang, Li Jianping *et al.* Chronological research of geomorphic surface of lower terraces along several major rivers in the east and west of Yunnan Province. *Seismology and Geology*, 2000, **22**(3): 265 ~ 276
- 14 刘衡秋, 胡瑞林, 曾如意. 云南虎跳峡两家人松散堆积体的基本特征及成因探讨. 第四纪研究, 2005, **25**(1): 100 ~ 106  
Liu Hengqiu, Hu Ruilin, Zeng Ruyi. Analysis of the basic features and the formation mechanism of Liangjiaren loose deposits in Tiger-Leaping-Gorge, Yunnan. *Quaternary Sciences*, 2005, **25**(1): 100 ~ 106
- 15 徐永辉, 胥勤勉, 杨达源等. 金沙江河谷金坪子堆积体成因及其地质意义. 第四纪研究, 2006, **26**(3): 429 ~ 435  
Xu Yonghui, Xu Qinmian, Yang Dayuan *et al.* Formation and geological setting of the accumulations in Jinpingzi reach of the Jinshajiang River. *Quaternary Sciences*, 2006, **26**(3): 429 ~ 435
- 16 任雪梅, 杨达源, 韩志勇. 长江上游水系变迁的河流阶地证据. 第四纪研究, 2006, **26**(3): 413 ~ 420  
Ren Xuemei, Yang Dayuan, Han Zhiyong. Terrace evidence of river system change in the upper reaches of Changjiang River. *Quaternary Sciences*, 2006, **26**(3): 413 ~ 420
- 17 张丽萍, 杨达源, 朱大奎. 长江渝宜河段深槽分布特征及成因. 南京大学学报(自然科学版), 2001, **37**(3): 311 ~ 316  
Zhang Liping, Yang Dayuan, Zhu Dakui. Formation causes and distributing characteristics of deep troughs in the Chongqing - Yichang reaches of the Yangtze River. *Journal of Nanjing University* (Natural Sciences), 2001, **37**(3): 311 ~ 316
- 18 Yang Dayuan, Li Xusheng, Ke Xiankun *et al.* A note on the troughs in the Three Gorges channel of the Changjiang River, China. *Geomorphology*, 2001, **41**(2 ~ 3): 137 ~ 142
- 19 张年学, 李晓, 李守定. 三峡库区奉节-云阳的低阶地与地壳运动、河谷深槽与古洪水的新解释. 第四纪研究, 2005, **25**(6): 686 ~ 699  
Zhang Nianxue, Li Xiao, Li Shou ding. The new viewpoints of quaternary and crustal movement, valley deep trough and palaeoflood, from Fengjie County to Yunyang County in Three Gorges Reservoir area. *Quaternary Sciences*, 2005, **25**(6): 686 ~ 699
- 20 聂高众, 高建国, 邓砚. 地震诱发的堰塞湖初步研究. 第四纪研究, 2004, **24**(3): 293 ~ 301  
Nei Gaozhong, Gao Jianguo, Deng Yan. Preliminary study on earthquake-induced dammed lake. *Quaternary Sciences*, 2004, **24**(3): 293 ~ 301
- 21 陈智梁, 孙志明, Royden L H 等. 四川泸定普格达组的堰塞湖成因及其意义. 第四纪研究, 2004, **24**(6): 614 ~ 620  
Chen Zhiliang, Sun Zhiming, Royden L H *et al.* Landslide blocked Lake: Origin of the Xigeda Formation in Luding, Sichuan and its significance. *Quaternary Sciences*, 2004, **24**(6): 614 ~ 620
- 22 许刘兵, 周尚哲, 王杰. 沙鲁里山更新世冰川作用及西南季风波动对末次冰期冰川作用的影响. 第四纪研究, 2005, **25**(5):

- 620 ~ 629  
 Xu Liubing, Zhou Shangzhe, Wang Jie. Pleistocene glaciations in the Shaluli Shan and the influences of southwest monsoon on the glaciations during the last glacial period. *Quaternary Sciences*, 2005, **25**(5): 620 ~ 629
- 23 Shi Yafeng, Yu Ge, Liu Xiaodong *et al.* Reconstruction of the 30 ~ 40kaB. P. enhanced Indian monsoon climate based on geological records from the Tibetan Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, **169**: 69 ~ 83
- 24 施雅风, 于 革. 40 ~ 30kaB. P. 中国暖湿气候和海侵的特征和成因探讨. 第四纪研究, 2003, **23**(1): 1 ~ 11  
 Shi Yafeng, Yu Ge. Warm-humid climate and transgressions during 40 ~ 30kaB. P. and their potential mechanisms. *Quaternary Sciences*, 2003, **23**(1): 1 ~ 11
- 25 杨 保, 施雅风. 40 ~ 30kaB. P. 中国西北地区暖湿气候的地质记录及成因探讨. 第四纪研究, 2003, **23**(1): 60 ~ 68  
 Yang Bao, Shi Yafeng. Warm-humid climate in Northwest China during the period of 40 ~ 30kaB. P.: Geological records and origin. *Quaternary Sciences*, 2003, **23**(1): 60 ~ 68
- 26 于 革, 赖格英, 刘 健等. MIS 3 晚期典型阶段气候模拟的初步研究. 第四纪研究, 2003, **23**(1): 12 ~ 24  
 Yu Ge, Lai Geying, Liu Jian *et al.* Late MIS 3 climate simulations. *Quaternary Sciences*, 2003, **23**(1): 12 ~ 24

## THE GEOMORPHIC EVOLUTION AND CHARACTERISTICS OF THE RIVER BED IN THE LOWER REACHES OF JINSHAJIANG RIVER

Ge Zhaoshuai<sup>①</sup>    Liu Qingyou<sup>②</sup>    Xu Qinmian<sup>③</sup>    Li Huizhong<sup>④</sup>  
 Xue Guofu<sup>⑤</sup>    Mei Yingtang<sup>④</sup>    Xu Yonghui<sup>⑤</sup>

(<sup>①</sup>School of City and Environmental, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116; <sup>②</sup>Department of Tourism Management College of Humanities & Social Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095; <sup>③</sup>The Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093; <sup>④</sup>Institute of Investigation and Survey at the Three Gorges, Changjiang Water Resources Commission, Yichang 443002; <sup>⑤</sup>Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010)

### Abstract

Based on the field investigation and survey data, the longitudinal section, and 18 cross sections near Jinjiang, Yuzha, Longjie, and Aoga, the geomorphology of the lower reaches of Jinshajiang River were studied. Cross sections have shown a typical deep-incision V-shape valley in these reaches of Jinshajiang River. The longitudinal section displays obvious river bed gradient changes crossing the Tiger-leaping Gorge, the Wudongde Gorge, and the Baihetan Gorge. The gradient between Qizong and Tiger-leaping Gorge is relatively easy, of about 0.83‰. The average gradient in the Tiger-leaping Gorge section is 14‰, and those between the Tiger-leaping Gorge and Wudongde, Wudongde and Baihetan, Baihetan and Yibin are respectively 1.1‰, 0.93‰, 0.56‰.

Two categories of river cross sections are recognized, the one of broad valley, with width of 700 ~ 900m, the other of typical gorge such as the Tiger-leaping Gorge and the Wudongde Gorge, whose bank cliff could be more than 35°.

Based on incision scales of low terrace and its age, the average incision rate is calculated to be 0.71 ~ 1.18m/ka according to the incision scale of T<sub>3</sub> and to be 0.75 ~ 1.36m/ka according to the incision scale of T<sub>2</sub>. It is suggested that the downcut speed of the lower reaches of Jinshajiang River is about 0.9 ~ 1.0m/ka.

Deposits have been formed by alluvial and rockfall process on the Jinshajiang river bed, with the thickest up to 173m at the Shigu cross section. In other sections, the thickness of the loose deposits is often over 10m. The watercourse change of the Jinshajiang River is the result of integrated action of fluvial incision and bank slope development. There are three change models: 1) A change caused by largescaled rockfall blocking. 2) A typical ancient river bed-cut off meander core-new channel series change. 3) A slow lateral watercourse migration.

**Key words**    the lower reaches of Jinshajiang River, river bed geomorphology, geomorphic evolution