

文章编号: 1008 - 2786 - (2014) 2 - 219 - 07

基于 DEM 的长江第一弯地区地貌因子特征

吴雯雯^{1,2,3}, 张文翔^{1,2}, 明庆忠^{1,2}, 史正涛^{1,2,3}, 苏怀^{1,2,3}

(1. 云南省高原地理过程与环境变化重点实验室, 云南 昆明 650500;

2. 云南师范大学高原湖泊生态与全球变化实验室, 云南 昆明 650500; 3. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500)

摘 要: 利用数字高程模型(DEM)对金沙江拖顶 - 三江口段的宏观地貌参数、河流地貌发育特征、地质构造背景进行系统的综合分析,发现区内地势起伏非常显著,边缘区表现出高坡度、高起伏的特征,而中部地区坡度和地形起伏度相对较缓,研究区的坡度、起伏度具有先增后减的特征;金沙江干流东侧各支流发育程度明显低于西侧;晚新生代以来构造带的快速抬升及差异下降导致了以石鼓为界的金沙江上下两段水系发育程度迥异,下段多数支流表现出纵比降偏大的低发育特征。通过对金沙江上游河段的地貌参数定量分析,为本区域的地貌历史、古环境演化提供重要的科学依据和视角。

关键词: 数字高程模型; 地貌参数; 河流地貌; 河流成因; 长江第一弯

中图分类号: P931

文献标志码: A

金沙江是世界第三大河——长江的上游,其河段呈多个“W”型弯曲,曲折东流。尽管有关这一奇特水系格局形成与演化的研究持续了一个多世纪^[1-12],由于受自然条件、研究者关注范围和认识水平的限制,研究主要集中在攀枝花等局部地段^[13],且一直没有寻找可靠的地貌与沉积等相关证据。最近的研究资料表明,金沙江流域各段的形成时代并不一致,水系演化过程可能存在一定的规律性,但是具体情况如何,还需要加强对一些关键河段的研究。

地貌是地球表层系统中最重要组成要素之一,并在一定程度上控制着其他生态与环境因子的分布与变化,并已逐渐从定性描述转入数理分析和定量研究。地理信息是开展区域生态环境与资源研究的重要基础,对区域空间地理信息进行数量化处理与分析是深化相关区域资源环境研究的重要基础内容,作为区域地理信息的重要组成要素,地貌通过海拔、坡度、坡向、相对高度、山体走向等特征组合构

成形态与分布多样的地表景观^[14]。但是目前流域地貌形态的定量研究以流域水系为主要研究对象,如流域地貌分形研究、流域地貌侵蚀产沙研究等^[15],对水系结构研究比较成熟,但对流域地貌的形态特征研究少。

虽然长江第一弯成因及金沙江水系发育前人已做了大量的研究工作,但至今仍是一个悬而未决的问题,究其原因主要在于:由于受到交通与研究技术等限制,前人考察范围有限,无法将发现的古河道从宏观上进行联系^[16]。本文欲从国内外广泛采用的 DEM 技术运用到该区河谷地貌的研究中,以期辟出一新途径并和技术上的支持。

本文通过数字高程模型(DEM)的空间分析技术,通过系统提取金沙江流域盆地内典型的河流地貌参数,并结合相关野外调查资料,探讨该区晚新生代以来的构造演化特征,其研究结果为进一步研究长江第一弯的成因及金沙江水系发育提供一定的理论与技术支持。

收稿日期(Received date): 2013 - 09 - 11; 改回日期(Accepted): 2014 - 01 - 03。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金重点项目(U0933604)和云南省科技计划项目(2010CD049)资助。[Supported by the Key Program of National Natural Science Foundation of China (No. U0933604) and Science and technology project of Yunnan Province (No. 2010CD049).]

作者简介(Biography): 吴雯雯(1989 -),女,汉族,青海人,硕士研究生,主要从事 GIS 与环境地质学方向的研究。[Wu Wenwen(1989 -), female, Qinghai Province, mainly engaged in GIS research and environmental geology.] Tel: 18697266717; E - mail: elipha@sina.com

1 研究区概况

研究区位于纵向岭谷北部三江并流区的金沙江上游段,具体河段为拖顶至三江口段(图1),全长约270 km,流域面积约 $1.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。研究区地处青藏高原东南缘,特提斯-喜马拉雅构造域东南部弧形构造转折处,冈瓦纳古陆与欧亚大陆拼合带的边缘,也是扬子准地台与滇西褶皱带交接区,构造十分复杂^[5]。研究区的地层自元古界至第四系均有出露,且分布有大面积的古生代碳酸盐岩、酸-中酸性火成岩,以及片岩和片麻岩等^[17]。

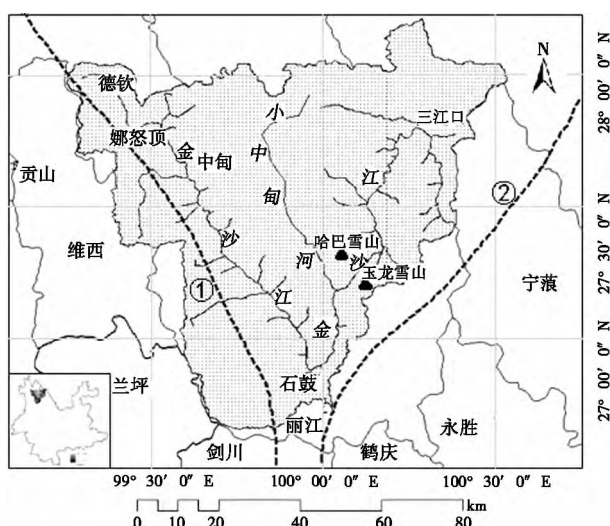


图1 研究区位置及区域内断裂带图

(其中①为金沙江断裂 ②为小金河断裂)

Fig. 1 Locations and fault zone of the study area

(①Jinshajiang fault ②Xiaojinhe fault)

研究区内断裂与褶皱构造活动频繁,主要地质构造有中甸断褶区、三江口拗断区、金沙江断裂、小金河断裂、兰坪思茅拗陷带、丽江台缘拗褶带,其中尤为突出的是金沙江-红河断裂带是歹字型构造体系中由东向西的主干构造带,华力西和印支运动时期为主要成生时期,燕山运动到喜山运动时期是其主要活动时期。该构造体系属于活动构造体系,且金沙江-红河断裂带与石鼓-苍山-哀牢山构造带(隆起带兼挤压带)、羊拉-石钟山断裂带、哀牢山断裂带、安定断裂带及安定浅变质带等的变质、岩浆、地震等均有密切成生联系,其新构造运动很强烈^[18]。

2 数据与方法

本研究是利用 ASTER GDEM 第一版本(V1) 的

数据进行加工得来的,覆盖全球范围,空间分辨率为30 m。研究区内金沙江流域地貌特征的分析是在对数字高程模型(DEM)进行处理的前提下,逐步完成地貌参数的定量获取。具体将DEM影像图导入ArcGIS中的ArcMap模块中,利用空间分析工具生成长江第一弯地区的区域地形起伏图和坡度图,再将区域地形起伏图中的属性放在Excel中进行数据整合,利用提取的研究区内金沙江干流的三个次级地貌单元边界,以得到三个次级干流内部($1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 阈值统计窗口)的谷底高程及峰顶高程专题图。在三个地貌单元中分别选取30个面积为 40 km^2 分析窗口进行统计分析。分析窗口的选择遵循来自不同的地貌单元分布在不同的高程和更次级地貌单元的过渡地带,且均匀地分布于各自的地貌单元中。

流域地貌参数分析以流域网络提取为基础、GIS软件为平台,利用嵌入式水文分析模块。提取水系网络后,利用Strahler分类系统进行分类,在研究区范围内,对汇水点位于金沙江干流上的62个单元地进行自动提取。在此基础上,单元的周长、面积和河流总长度通过ArcGIS的要素拓扑获得。对金沙江主河道东西两侧62个亚单元中所有44级(含4级)以上单元,利用流域长度与流域面积计算完整系数及分枝比,用以测定流域发展的程度及各支流纵剖面形态。

3 结果与讨论

3.1 地貌参数分析

由区域地形起伏参数得出,研究区地形总体上呈现北侧海拔高,南部海拔低,高程分布范围为1 200~5 500 m,最大高程位于玉龙雪山(图2)。

通过数字高程模型分析,研究区边缘由于金沙江发育,河流下切作用明显,高程差异明显,一般高差在2 800 m以上,特别是玉龙雪山一带更是出现了4 000 m以上巨大高差,在中部地区的高差约为1 000~1 300 m。为了能更直观的说明研究区的地形特征,我们还沿几条重要的经纬线(经纬向剖面图($27^{\circ}50'N$)、经纬向剖面图($27^{\circ}27'N$)、经纬向剖面图($99^{\circ}40'E$)、经纬向剖面图($100^{\circ}E$))选取了地形剖面进行分析(图2)。

从两条经纬向剖面图可以看出,中间部分略微隆起、相对完整,边缘部分由于流水侵蚀与剥蚀作用显得破碎。金沙江流经地区深切河谷发育,与邻近山

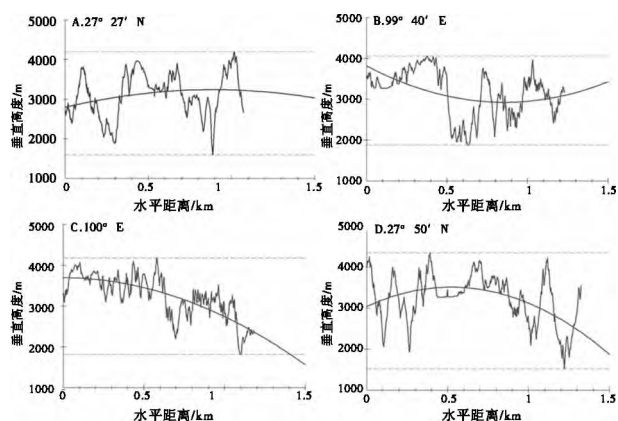


图2 地形剖面图(平滑曲线为趋势)

Fig. 2 Cross-section of the warp and weft

(The smooth curve is the trend of towards)

地高差很大,东侧金沙江干流部分地区落差甚至在3 000 m以上。在经向剖面上,可以看出高程在中部出现一个陡变带,中部高程明显变低。在石鼓以上段陡变带过后又有明显升高,其原因在于老君山、双龙山的隆起。观察两条经向剖面图的地形波形特征也可以发现研究区南部地区地形发育的波距相对较小,在10~15 km,说明研究区南部地区的低级支流发育,地形破碎。

同时,对研究区坡度变化(图3)和地形起伏度结果统计进行分析,也显示出了研究区内部的显著差异:边缘区表现出高坡度、高起伏,其坡度和地形起伏度分别在 $20^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 、500~900 m间,坡度最大值达到 86° ,地形起伏度最大值达到2 200 m。而中部地区仅在 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 、200~400 m间,当然局部地区还有坡度和起伏较大地区,但其坡度和起伏度也分别未超过 68° 、600 m。

3.2 地貌特征分析

为揭示研究区内部差异,本文将研究区内的金沙江分成三个次一级地貌单元,并对相应地貌参数(基本地貌参数及流域地貌参数)进行对比分析。这三个次级地貌单元分别为:以石鼓为界金沙江拖顶至石鼓段、石鼓至三江口段以及小中甸河盆地(图4)。

通过提取研究区涉及的金沙江流域三个次级地貌单元边界,可以得到三个次级流域单元内部(1 km×1 km 阈值统计窗口)的谷底高程及峰顶高程图,并求取两者的差值可以得到各单元的区域地形起伏信息。研究区的地形起伏特征表明,区内构造间的差异隆升导致了水系各段不同的势能差,水系因此要进行调整以达到其动力平衡状态,如此其下

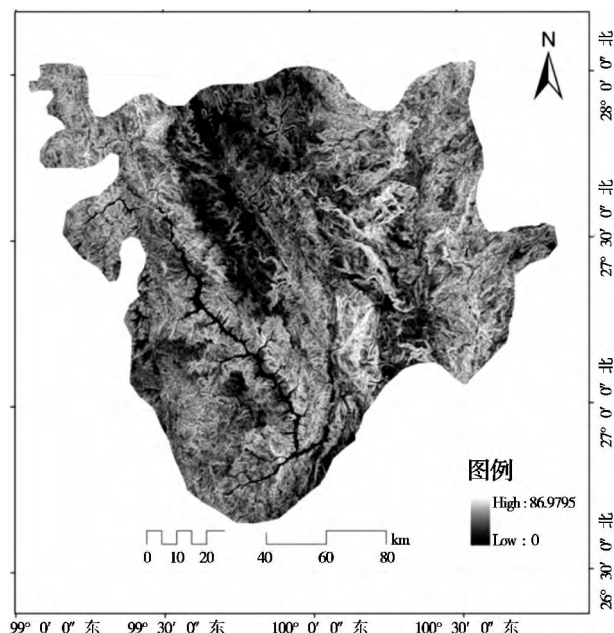


图3 研究区坡度变化图

Fig. 3 Slope change of the study area

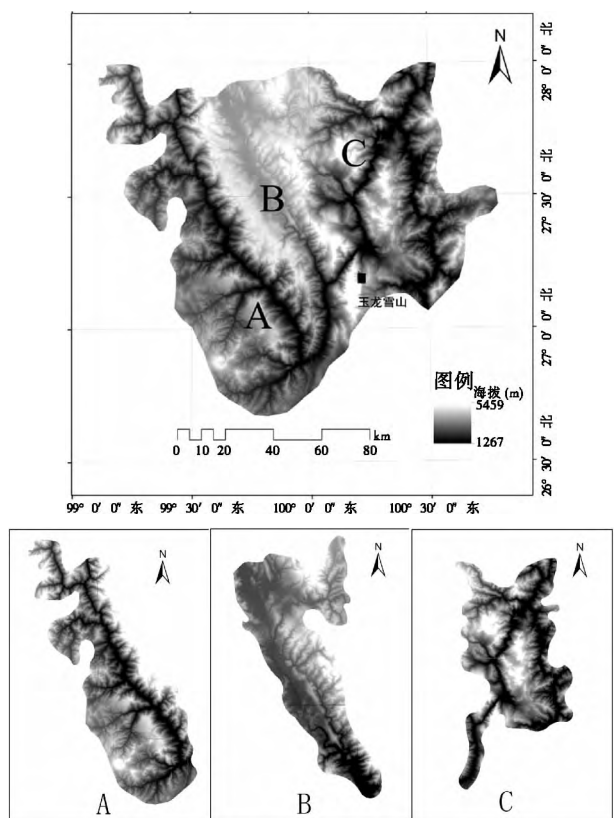


图4 次级地貌区 DEM 图

Fig. 4 Secondary landform DEM map

切速度也就不同,形成了不同的起伏程度。宏观上看来,在金沙江干流以及支流的河道总体上是“V”型河谷比较发育,河流下切程度强烈^[17],而小中甸

河单元则表现出低起伏地势发育。

除利用高程剖面对三个次级地貌单元的宏观起伏度进行对比分析外,还在三个地貌单元中分别选取了 30 个面积为 40 km^2 分析窗口进行统计分析(图 5),目的是从微观上来观察三个地貌单元的具体差异。分析窗口的选择遵循来自不同的地貌单元的同时尽量分布在不同的高程范围和更次级地貌单元的过渡地带,同时分析窗口应尽可能地均匀地分布于各自的地貌单元上。对所选择的分析窗口分别从横向及纵向上进行统计分析,统计的内容包括横向上统计不同地貌单元相同范围内的坡度及地形起伏度的变化;纵向上统计相同地貌单元不同高程范围的坡度及地形起伏度变化情况。

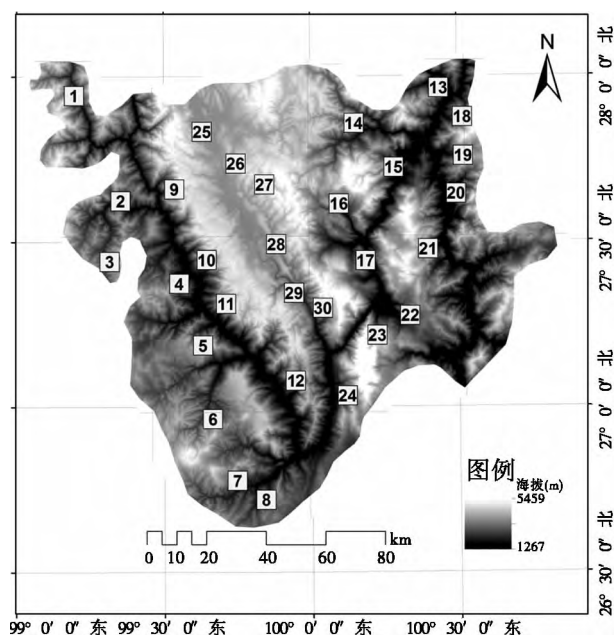


图 5 研究区地貌单元分析窗口分布图

Fig. 5 Distribution analysis windows of geomorphic units in the study area

通过分析,我们发现 30 个分析窗口在不同地貌单元中的高程分布范围不尽相同(表 1)。

从单一地貌单元的不同分析窗口的不同高程间隔统计分析来看,多数分析窗口都呈现出随着高程的增加而起伏度和坡度逐渐减小或先增后减的特征。对此情形作分析,发现坡度的增加是因研究区位于造山带内部,局部的隆升致使河流为了调整,进行了明显的下切而造成的。而随着高程的增加坡度和起伏度减少的情况则是由于高原的上部的长期夷平,是经历了“削高填低”的地表剥蚀搬运作用的结果^[19-21]。在一些靠近干流附近的分析窗口,由于水

系的切割作用致使坡度以及地形起伏度较其他地区都要偏大。

3.3 金沙江亚单元的地貌特征

通过对金沙江流域研究区东、西两侧 62 个亚单元的面积、周长以及河流总长度和河流分支比的统计分析,表明:与东岸相比,其西岸的亚单元无论从其面积还是周长都显得很不均匀。对比金沙江东西两侧各 >4 级(含 4 级)亚流域河流分支比发现(图 6),按亚流域的上、下游关系对其分支比和完整系数作了排列:无论是金沙江干流的東西两岸还是石鼓的上、下两段都表现出不同程度的差异。从上半段来看,西岸的中间段存在一个高值区,说明该地区高程相对要低,起伏相对和缓,为河流进一步发育提供了分支发育的空间,分支比相对比较高。与西侧相比,东侧的亚流域各分支比的数值要更大。下半段的分支比,与西岸不同,东西两侧都存在一个低值段,分析低值带存在的可能原因是玉龙-哈巴雪山隆起影响所致。

从图 6 中可以看出:各段的分支比和完整系数的走势不同:石鼓上段西侧二者的走势基本一致;东岸各单元分支比和完整系数的走势却相反。下半段东西两岸,西岸各单元完整系数的走势也出现了与分支比截然相反的情况。下半段的东岸完整系数和分支比的走势则又趋于相同,即分支比高,完整系数相对也高。针对各段分支比和完整系数两个流域地貌形态参数走势不断变化的情况,我们分析后认为,是因各河段在河流地貌发育的过程中受到构造的控制程度不同造成的。以石鼓以上河段东西两岸为例,石鼓以上河段东岸刚好位于华力西褶皱带和印支褶皱带两大构造带的交接部位,接触带的构造隆

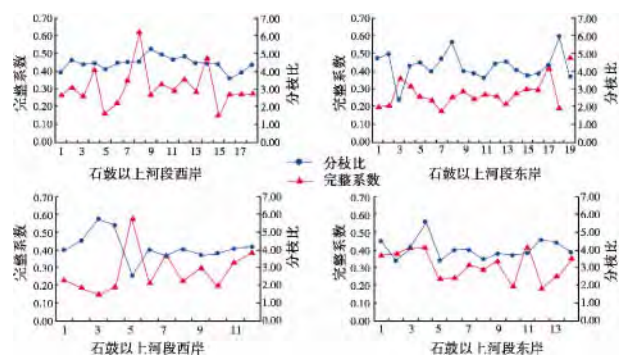


图 6 研究区金沙江以上河段东、西两岸支流流域完整系数与分支比走势

Fig. 6 The secondary complete coefficient and branching ratio of study area on both sides of Jinsha River

表 1 次级地貌单元分析窗口高程区间统计表

Table 1 The elevation range Statistics of secondary geomorphic units analysis window

高程分布区间/m	1 500 ~ 2 000	2 000 ~ 2 500	2 500 ~ 3 000	3 000 ~ 3 500	3 500 ~ 4 000	4 000 ~ 4 500	4 500 ~ 5 000
单元(1) 1 ~ 12	—	有(6 个)	有(12 个)	有(12 个)	有(7 个)	—	—
单元(2) 24 ~ 30 窗口	—	有(2 个)	有(3 个)	有(4 个)	有(4 个)	—	—
单元(3) 13 ~ 24 窗口	有(4 个)	有(9 个)	有(11 个)	有(9 个)	有(4 个)	有(2 个)	有(1 个)

起限制了各支流向长度方向发展,大部分支流的长度在 10 ~ 20 km 间,使支流不得不向并不宽的宽度方向发展,也就是为什么一些支流虽分支比并不高但却有很高的完整系数,而那些分支比相对较大的河流必然是长期的发育过程中在试图切穿分水岭的过程中在长度方向得到了一定的发展,反而完整系数要更低;石鼓以上河段西岸的各支流流域则处于相对稳定的地区,为河流提供了相对充足的发展空间,使河流无论从长度还是宽度上都得到了很好的发育,因而其分支比高的,完整系数也就大。

华力西褶皱带和印支褶皱带之间的构造转换及快速隆升可能是造成研究区内金沙江石鼓以上段东、西两侧地貌特征差异的主要原因,而石鼓以下至三江口段金沙江水系的不对称发育则是由于玉龙—哈巴雪山等高大山系的强烈隆起以及该段也位于扬子准地台与松潘—甘孜褶皱系的接触带上所导致的。

3.4 金沙江各级支流纵剖面形态

研究区内金沙江干流东、西两侧各级支流的纵剖面形态显示,石鼓下段落差大于上段的落差,但由于下段东、西两岸的各支流发育的空间要相对较大,尤其是较上段的东岸,流域的长度并不是很小,所以从纵比降上观察,上下两段相差并不是太大,而只是在玉龙雪山附近的各支流纵比降达到了 0.3 以上。

在构造隆起区,河流为了保持其动力平衡,总是持续的切割其下伏的河床基底。河流长度越大,支流越多,流域面积越大,就说明该水系发育程度也相对成熟^[22-24]。因此,基于 DEM 定量获取的金沙江干流东侧各支流河流长度短、分支比等特征,可能表征了东侧流水系未完全发育或者处于新近成生的状态特征。同时,通过对金沙江东、西两侧各支流的 DEM 影像定量提取分析发现,一些较大的支流流向均大致平行于金沙江主河道水系,这种情况表明东西向挤压构造环境下必然会造成垂直于应力场方向上抗侵蚀能力的减弱,这也就为南北向流水系发育演化提供了足够的空间,因此这些支流才表现出较大的水系面积、周长、沟谷长度和分支比,以及较

小的河流纵向梯度特征。

3.5 长江第一弯成因

从上述的研究可以发现,研究区内金沙江石鼓以上段位于华力西褶皱带和印支褶皱带的转换带上,受构造运动控制,金沙江东岸各支流发育空间相对较小,故支流面积、周长等参数分布都较为均匀。石鼓以下段虽然也受构造影响,但没有上段明显。同时,在研究中还发现此段一些流域地貌参数的反向分布,说明金沙江存在一个反向流动的过程;同时,由于金沙江地质历史上曾因冰川、地震、滑坡、崩塌等作用发生多次堵江事件,形成堰塞湖并促使河流改道^[25],从而打乱了各支流及支流流域之间的上下游关系,而具有了现在的河流地貌形态。另外,从河流的分支形态上也可以看出,研究区内金沙江石鼓以上段上游很多大支流的流向几乎与金沙江干流大致平行,并以锐角的角度汇入金沙江。一般情况下,支流与干流有很长一段平行说明该段河流发育的程度较好,即经历了一个较长的发育时间^[8]。但研究区内金沙江石鼓以下段有很多支流长度很短(特别是在靠近石鼓长江第一弯及靠近三江口的转弯附近),说明金沙江干流的强烈弯曲在一定程度上限制了支流的纵向发展,且近垂直地汇入金沙江,这一形式的水系明显受地质构造的控制,这也从另一个方面证明了可能是河流袭夺后的新近发育,与前人研究结果似较吻合^[26-28]。

4 结论

本文采用 GIS 空间分析,通过对金沙江拖顶—三江口段的 DEM 影像图进行处理,对该区域的宏观地貌背景以及河流地貌发育特征进行分析,得出以下成果:

1. 通过地貌参数(起伏度及坡度)的统计分析发现研究区地势起伏非常显著,边缘区表现出高坡度、高起伏的特征,而中部地区坡度和地形起伏度相对较缓;另外,研究区的坡度、起伏度具有先增后减

的特征。

2. 通过提取金沙江流域三个次级地貌单元边界,可以得到三个次级流域单元内部的谷底高程及峰顶高程图,从研究区的地形起伏特征发现区内构造间的差异隆升导致了水系各段不同的势能差,水系因此要进行调整以达到其动力平衡状态,如此其下切速度也就不同,形成了不同的起伏程度。宏观上,在金沙江干流以及支流的河道总体上是“V”型河谷比较发育,河流下切程度强烈,而小中甸河单元则表现出低起伏地势发育;微观上存在随着高程的增加而起伏度和坡度先增后减的特征。

3. 各河段在河流地貌发育的过程中由于受到构造的控制程度不同,以石鼓为界金沙江上、下两段水系发育程度迥异。另外,下段多数支流表现出纵比降偏大的低发育特征。

4. 基于 DEM 定量获取的金沙江干流东侧各支流河流长度短、分支比等特征,认为东侧流水系未完全发育或者处于新近成生的状态特征,区内金沙江干流东侧各支流发育程度明显低于西侧支流。

5. 石鼓以上段位于华力西褶皱带和印支褶皱带的转换带上,明显受构造运动控制,故金沙江东岸各支流支流面积、周长等参数分布都较为均匀。石鼓以下段有很多支流长度很短,且近垂直地汇入金沙江,这从另一个视角证明了金沙江可能是河流袭夺后的新近发育。这也为进一步研究该区域的地貌历史、古环境演化提供了重要的科学依据和视角。

参考文献(References)

- [1] Abendenon, E. C., Structural geology of the middle Yang - Tzi - Kiang gorges[J]. J. Geol., 1908, 16: 587 - 616
- [2] Barbour, G. B., Physiographic history of the Yangtze[J]. Geogr. J., 1936, 87: 17 - 34
- [3] Yuan Fuli. A complementary study of evolution history of the Yangtze river[J]. Yangtze River, 1957, (2): 1 - 9 [袁复礼. 长江河流发育史的补充研究[J]. 人民长江, 1957, (2): 1 - 9]
- [4] Wang Kaiyuan. Structural - Geomorphic features of the Jinsha river sector in the Sichuan - Yunnan boundary region [J]. Yunnan Geology, 1989, 1(8): 1 - 9 [王铠元. 金沙江川滇交界段构造地貌特征[J]. 云南地质, 1989, 1(8): 1 - 9]
- [5] He Haoshen. A study on the genesis of Shaxi - Hongwen valley in northwest Yunnan - an once more discussion on the capture problem of the Jinsha river [J]. Geoscience, 1991, 3: 56 - 65 [何浩生. 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, 3: 56 - 65]
- [6] F. Métiévier, Y. Gaudemer, Stability of output fluxes of large rivers in South and East Asia during the last 2 million years: implications on floodplain processes[J]. Basin Research, 1999, 11: 293 - 303
- [7] Yang Dayuan, Li Xusheng. Study on the eastward flow of the Jinsha river[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 2001, 3(49): 317 - 322 [杨达源, 李徐生. 金沙江东流的研究[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2001, 3(49): 317 - 322]
- [8] Ren Xuemei, Yang Dayuan, Han Zhiyong. Terrace evidence of river system change in the upper reaches of Changjiang river[J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(3): 413 - 420 [任雪梅, 杨达源, 韩志勇. 长江上游水系变迁的河流阶地证据[J]. 第四纪研究, 2006, 26(3): 413 - 420]
- [9] Peter D. Clift, Zhen Sun. The sedimentary and tectonic evolution of the Yinggehai - Song Hong basin and the southern Hainan margin, South China Sea: Implications for Tibetan uplift and monsoon intensification[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978 - 2012), 2006, 111(B6).
- [10] Ming Qingzhong, Shi Zhengtao, Dong Ming. The inquiry on genesis and formation times of the first bend of Yangtze river[J]. Progress In Geography, 2007a, 26(3): 119 - 126 [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, 2007a, 26(3): 119 - 126]
- [11] Zhao Xitao, Zheng Mianping, Li Daoming. Formation and evolution of the ancient "Lake Xiaozhongdian" in Diqing, Yunnan and Its relationship with development of the ancient "Lake Shigu" and the modern valley of the Jinsha river[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(12): 1645 - 1651 [赵希涛, 郑绵平, 李道明. 云南迪庆小中甸古湖的形成演化及其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]
- [12] Kong P, Granger D E, Wu F Y, 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
- [13] Xu Qinmian, Yang Dayuan, Ge Zhaoshuai, et al. The preliminary study on the origin of the diamond in Jinpingzi in Jinsha river [J]. Mountain Research, 2006, 24(4): 403 - 409 [胥勤勉, 杨达源, 葛兆帅, 等. 金沙江金坪子堆积体成因的初步研究[J]. 山地学报, 2006, 24(4): 403 - 409]
- [14] Gan Shu, Yuan Xiping. Geographic information processing and physiognomy morphological character analysis of Lancan river basin. Yunnan Geographic Environment Research, 2005, 17(4): 1 - 5 [甘淑, 袁希平. 澜沧江流域地理信息处理与地貌形态特征分析. 云南地理环境研究, 2005, 17(4): 1 - 5]
- [15] Guo Yanbiao. The quantitative research of river basin's topography [J]. Journal of Soil And Water Conservation, 2002, 16(1): 117 - 120 [郭彦彪. 流域地貌形态的量化研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 117 - 120]
- [16] Ming Qingzhong. The landform development and environmental effects of three parallel rivers [M]. Beijing: Science Press, 2007. [明庆忠. 三江并流区地貌与环境效应[M]. 北京: 科学出版社, 2007.]
- [17] Yunnan Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploitation. Regional geology of Yunnan Province [M]. Beijing: Science Press, 1990. [云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990.]
- [18] Fan Chenjun. Regional geology of Dianxi [J]. Yunnan Geology,

- 1982, 1(4): 323–336 [范承钧. 滇西区域地质特征[J]. 云南地质, 1982, 1(4): 323–336]
- [19] Li Jijun, Fang Xiaomin, Pan Baotian, et al. Late cenozoic intensive uplift of Qinghai–Xizang plateau and its impacts on environments in surrounding area [J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 381–391 [李吉均, 方小敏, 潘保田, 等. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 381–391]
- [20] Cui Zhijiu, Li Dewen, Fen Jingliang, et al. The re-commentary of Planation [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(21): 1761–1767 [崔之久, 李德文, 冯金良, 等. 夷平面研究的再评述[J]. 科学通报, 2001, 46(21): 1761–1767]
- [21] Pan Baotian, Gao Hongshan, Li Bingyuan, et al. Step-like landforms and uplift of the Qinghai–Xizang plateau [J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(1): 50–57 [潘保田, 高红山, 李炳元, 等. 青藏高原层状地貌与高原隆升[J]. 第四纪研究, 2004, 24(1): 50–57]
- [22] Ming Qingzhong. A study on the neotectonic division & environment evolution of Qing–Zang plateau & three parallel rivers area [J]. Yunnan Geology, 2007b, 26(4): 387–396 [明庆忠. 青藏高原与三江并流区新构造期划分及环境演化[J]. 云南地质, 2007b, 26(4): 387–396]
- [23] Sheng Yuchang, Gong Guoyuan. Fluvial geomorphology introduction [M]. Beijing: Science Press, 1986. [沈玉昌, 龚国元. 河流地貌学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1986.]
- [24] Ming Qingzhong, Shi Zhengtao, Su Huai, et al. A discussion on the formation of the Hutiaoxia gorge on the Jinsha river [J]. Typical Geography, 2007c, 27(5): 400–404 [明庆忠, 史正涛, 苏怀, 等. 金沙江虎跳峡成因及形成时代探讨[J]. 热带地理, 2007c, 27(5): 400–404]
- [25] Duan LiZeng, Ming Qingzhong, Zhang Hucai, et al. Research progress of landslide dam events of Jinsha River and its geomorphologic and environmental effects [J]. Frontiers of Earth Science, formerly known as Frontiers of Earth Science in China 2013, 3(1): 8–17 [段立曾, 明庆忠, 张虎才, 等. 金沙江堵江堰塞事件及其地貌环境效应研究进展[J]. 地球科学前沿, 2013, 3(1): 8–17]
- [26] Ming Qingzhong, Shi Zhengtao. The tentative inquiry on the formation time in the region of Three Parallel Rivers [J]. Yunnan Geographic Environment Research 2006a, 18(4): 1–4 [明庆忠, 史正涛. 三江并流形成时代的初步探讨[J]. 云南地理环境研究 2006a, 18(4): 1–4]
- [27] Ming Qingzhong, Shi Zhengtao, Zhang Hucai. The evolution of the landform and environment in the region of the Three Parallel Rivers [J]. Typical Geography 2006b, 26(2): 119–122 [明庆忠, 史正涛, 张虎才. 三江并流区地貌与环境演化研究[J]. 热带地理, 2006b, 26(2): 119–122]
- [28] Gan Shu, Yuan Xiping. Geographic information processing and physiognomy morphological character analysis of Lancan river basin. Yunnan Geographic Environment Research [J] Yunnan University: Natural Science, 2004 26(6): 534–540 [甘淑, 何大明. 纵向岭谷区地势曲线图谱及地貌特征分析[J]. 云南大学学报: 自然科学版 2004 26(6): 534–540]

The Physiognomy Morphological Characters and the Origin of the Area in the First Turn of Yangtze River Based on DEM

WU Wenwen^{1,2,3}, ZHANG Wenxiang^{1,2}, MING Qingzhong^{1,2}, SHI Zhengtao^{1,2,3}, SU Huai^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of the Plateau Surface Process and Environment Changes of Yunnan Province, Kunming 650500, China;

2. Key Laboratory of Plateau Lake Ecology and Global Change of Yunnan Normal University, Kunming 650500, China;

3. School of Tourism and Geographical Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

Abstract: By using digital elevation model (DEM) on the macro landform parameters, river geomorphology, geologic structure background of the Tuoding–Sanjiangkou section of Jinsha River. Comprehensive analysis the system, we find that there is obvious geomorphological differences in the local geographic area, and the edge area shows the characteristics of high grade and relief. Slope and topography of the central region is relatively slow and the study area first increased and then decreased. The branch of the lower section has the characteristics of the larger longitudinal slope, and the development degree of the tributaries on the east side of the branch of Jinsha River is less than that of the west. The characteristics of geomorphological parameters on both sides of the branch in study area indicate the rapid uplift and subsidence movement of structural zones since late Cenozoic, and caused the difference of development degree in the two sections which is separated by Shigu area. Quantitative analysis geomorphic parameters of the upper reaches of the Jinsha River, that will provide important scientific evidence and perspectives to the geomorphic history, paleoenvironmental evolution in the study area.

Key words: DEM; geomorphological parameters; fluvial landform; the origin of river; the first turn of Yangtze River