

滇西纵向岭谷区河谷形态特征、发育规律及成因

闵石头^{1,2}, 王随继^{1*}

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 为了揭示滇西纵向岭谷区河谷形态特征及其发育规律, 采用 1:5万 DEM 图件, 利用 ARCGIS 软件提取研究区 41 个河谷断面的有关基础数据, 据此计算了河谷横断面的宽深比、半高宽深比、断面面积、凹度、不对称系数及河谷纵剖面特征的指标。结果表明, 纵向岭谷区北部河谷横断面的宽深比很小, 其宽深比在 4~16 间, 但沿流向往南有明显增大的趋势, 最大达到 24。这是由于北部的构造抬升作用强从而引起该区更强烈的河流下蚀作用的结果。河谷横断面的凹度显示大多数河谷属于“V”型谷, 表明研究区的河流仍然以下切过程为主。谷宽不对称系数及谷面不对称系数揭示了研究区河谷横断面主要是左倾型河谷, 即河谷断面上河道左部谷坡较缓, 这是强势西南季风在河流左岸迎风坡形成强降水带和在河流右岸背风坡形成弱降水带的雨水差异侵蚀引起的。河谷纵剖面具有明显的下凹特性, 凹度在 1.40~1.65 间。河道比降具有沿程变小的趋势, 并遵循指数衰减关系, 平均比降在 1.22‰~1.85‰ 间。在纵向岭谷区北部, 响应构造抬升作用的西强东弱的现状, 河流主河道的比降具有从西向东变小的趋势。

关键词: 纵向岭谷区; 河谷; 地貌; 横断面; 纵剖面; 宽深比; 凹度; 比降

中图分类号: P931.1

文献标识码: A

地貌学家和水利学家对河流进行了大量的研究, 尤其是对河流的形态特征及其影响因素的研究比较充分^[1-3], 但大多研究集中在河道及泛滥平原范围内^[3-5]。对于河道来说, 目前所见的研究基本上都是与水面淹没的部位有关, 如过水断面面积、湿周、水力半径、断面起伏度等指标, 但对水面以上, 河槽之外的地貌特征研究非常有限, 尤其是对山地河流及其分水岭之间的岭谷形态的研究更少见。一些研究者曾对冰川作用形成的谷地进行过研究^[6-8], 但对于河流作用形成的河谷地貌的定量研究非常少见^[9]。河谷地貌是河流发育及发展的决定性环境因素, 河谷地貌的某些定量指标或许能够揭示河流系统形成演变的特性、规律及成因。因此, 对于河谷地貌特征的定量研究具有重要的理论意义。

对于分水岭间流域的研究经常用到流域面积、

周长及不同区域的海拔等参数, 但这些参数难以反映分水岭内部的结构特征。而河谷横断面和纵剖面可以详细反映河谷的诸多特性以及可以揭示其演变趋势^[10-12]。河流及河谷纵剖面的研究比较简单, 仅涉及不同取样点的高程及点间距, 据此可以点绘纵剖面现实分布图, 通过加权平均可以计算特点河段的河道平均比降, 也可以拟合纵剖面的数学模型从而预测样点间的纵剖面趋势值, 对于特点河段不同样点的实际比降数据进行拟合, 可以得出该河段比降沿程变化的趋势及其相互关系式, 从而可以用来预测样点之间任意点位的河道比降数值。由于地貌景观和地质构造等方面的不同, 河谷横剖面的特征及其沿程变化远比纵剖面复杂, 因此需要选取相当数量的断面并获取相关的经纬度和高程数据, 而通过人工获取这些数据则存在相当大的空难, 故有关

收稿日期 (Received date): 2007-07-10; 改回日期 (Accepted): 2007-08-20.

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (项目编号: 2003CB415101). [The National Basic Research Program No. 2003CB415101]

作者简介 (Biography): 闵石头 (1984-), 男, 安徽亳州人, 硕士在读, 研究方向为河流地貌。Tel: 010-64888101; E-mail: Minst05@igsrr.ac.cn [Min Shitou, male, born in Bozhou, Anhui, P. R. China. Candidate majoring in fluvial geomorphology.]

* 通讯作者 (Author for correspondence): 王随继, E-mail: Wsuj@igsrr.ac.cn; Tel: 010-64889036.

纵向岭谷区 (Longitudinal range gorge region LR-GR) 位于我国西南与青藏高原隆升直接相关联的横断山及毗邻的南北走向山系河谷区, 其纵向山系、河谷, 构成了全球独特的高山峡谷景观^[13-14]。由于在交通条件与勘探技术等多方面受到的限制, 对该地区岭谷地貌的研究长期没有重大进展。近年来, 为配合国家重大跨境资源环境问题和向南开放战略, 而展开了对该地区的研究, 获取了大量的第一手资料。对该地区的岭谷地貌的特性及规律也进行了初步研究, 其中澜沧江支流地貌体系演变的分异性^[15]、怒江、澜沧江和金沙江支流地貌体系演变的相似性^[16]、澜沧江流域云南段景观格局分析^[17]等方面的研究已经取得了显著进展。但是, 研究区内有关河谷纵、横剖面的相关指标及河谷演变规律方面的研究还没有涉及。本文将根据 DEM 资料, 详细研究区内相关河流河谷的纵、横剖面及其衍生的指标体系, 并用拟合的数学模型来表达相关参数变化的规律, 为进一步认识纵向岭谷区河谷地貌特征及演变特征提供理论依据。

1 资料及研究方法

本研究中所用的数据主要是根据 1:5 万地形图进行数字化的数字高程地图 (DEM), 分辨率为 25 m×25 m。基于 ARC/INFO 9.2 平台, 从研究区内沿垂直各个河流主河道方向截取河谷横断面, 横断面的端点即河谷的分水岭。利用 PolyGrid 将提取的矢量数据转为栅格数据, 再运用地图代数函数计算得出该线上适当间隔点的经度、纬度和高程。该研究中所取样点的间隔长度为 25 m。然后再用 Origin 软件对所取数据进行绘图和拟合相关的关系式。根据云南境内相关河流的长度, 在研究区内共取河谷断面 41 个, 其中独龙江 2 个, 怒江 10 个, 澜沧江 16 个, 金沙江 5 个, 元江 8 个 (图 1)。

为定量分析各断面形态,采用以下几种参数及

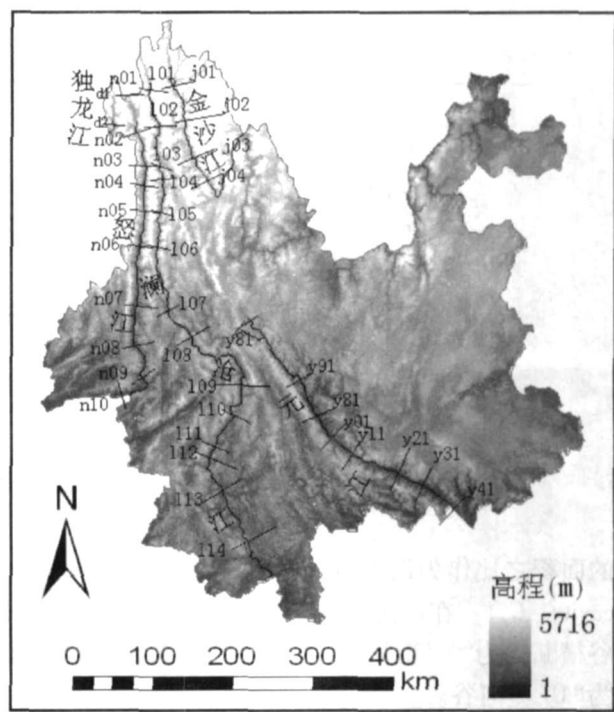


图 1 研究区河流及断面位置示意图

Fig. 1 The location of rivers and the cross section in study area

指标 (表 1):

1.河谷横断面宽深比(W/H) 在河流地貌中描述河道或水流横断面形态常常采用宽深比,即河道(水面)宽B与河道(水流)深度H的比值。但该指标很少应用在以分水岭为起始点的河谷横断面的研究中。本文将上述宽深比指标引申并用来描述研究区的河谷横断面,因为同样宽深比的横断面有时也会有很大差别,故还用到了半高宽深比指标(河谷二分之一深处的断面宽深比)。

2.断面面积(A) 即分水岭之间谷地的横断面面积。做出河谷的横断面图,用微积分求出其剖面曲线下方的面积,然后用分水岭之间的总面积减去曲线下方的面积即为该河谷的横断面面积。

3. 凹度 (concavity) 凹度多被用于来描述河流纵剖面的沿程变化特征^[18]。凹度计算方式有多种, 通常采用伊凡诺夫方法求取凹度^[19-21], 即把全河或某河段的纵剖面绘出之后通过上下端点作矩形, 而纵剖面线将矩形分成上下两半, 用上下面积之比作为该河流或河段的凹度。借鉴上述方法, 本文将凹度引入河流横断面的研究中, 其方法是, 以河流分水岭间宽度和分水岭到谷底的深度为两边作矩形, 将该河谷的断面面积和该矩形中河谷断面以下

表 1 河谷形态特征度量指标

Table 1 The indices of valley morphological features measurement

	指 标	计算方法	含 义
横剖面	宽深比	$R=W/H$	分水岭之间的距离和谷深的比值
	半宽深比	$R_{1/2}=W_{h/2}/(H/2)$	河谷的 1/2 深处的宽度和该处到谷地深度的比值
	断面面积	$A=S-\int f(x)dx$	分水岭之间河谷的断面面积
	凹度 (C_c)	$C_c=(S-\int f(x)dx)/\int f(x)dx$	河谷的横断面边壁的下凹程度
纵剖面	谷宽不对称系数	$S_l=L_1/L_2$	以最深处垂线为界, 左右的宽度之比
	谷面不对称系数	$S_A=A_1/A_2$	以最深处垂线为界, 左右的面积之比
	平均比降 (J)	公式 (1)	高差与河道长度的比值
	凹度 (C_l)	伊凡诺夫方法	纵剖面形态的度量

注: 表中 S 为以分水岭之间的宽度和谷深为两边的矩形的面积。

的面积之比作为河谷横断面凹度 (cross section concavity C_c)。在该研究中, 当 $C_c \leq 1$ 我们定义该河谷横断面为“V”型河谷; 当 $C_c > 1$ 定义河谷横断面为“U”型河谷。

4. 横断面不对称系数 (index of asymmetry, AS)

J. A. M i h e 用不对称系数来描述河流的横断面形态^[22], 本文引申该概念来描述河谷的横断面形态。在河谷横断面里, 从较低分水岭一端向横断面另一侧画水平线至与横断面线相交, 用该水平线以下的断面部分的有关参数来表征河谷横断面的对称情况, 从横断面最低点向该水平线作垂线, 其交点左右两边的水平线段长度之比定义为谷宽不对称指标 (S_l), 水平线以下垂线左右两边的面积之比定义为谷面不对称指标 (S_A)。在该研究中, 当 S_l 或 $S_A < 1$, 定义该河谷横断面为“左倾型”河谷 (左岸谷坡缓, 右岸谷坡陡); 当 S_l 或 $S_A > 1$ 定义该河谷横断面为“右倾型”河谷 (左岸谷坡陡, 右岸谷坡缓); 当 S_l 或 $S_A = 1$ 该河谷横断面为“对称型”河谷。

5. 纵剖面形态 河流或河谷纵剖面问题是河相关系研究中的主要内容, 对于刻画河流及河谷形态有重要意义。纵向岭谷区相关河流的河谷纵剖面的高程及相对距离数据可以从 DEM 图获得, 用下述公式计算河道的加权平均比降 (J)

$$J=[(a_0+a_1)\times l_1+(a_1+a_2)\times l_2+\cdots+(a_{n-1}+a_n)\times l_n-2a_0L]L^{-2}$$

(1)

式中 J 是河道的加权平均比降 ($\%$), a_0, a_1, \cdots, a_n 分别是研究河段各取样点的海拔 (m), l_1, l_2, \cdots, l_n 分别是每两个相邻样点之间的河道长度 (km), L 是所取河段的河道总长度 (km)。另外, 可以用伊凡诺夫方法求取各河流纵剖面的凹度 (C_l)。

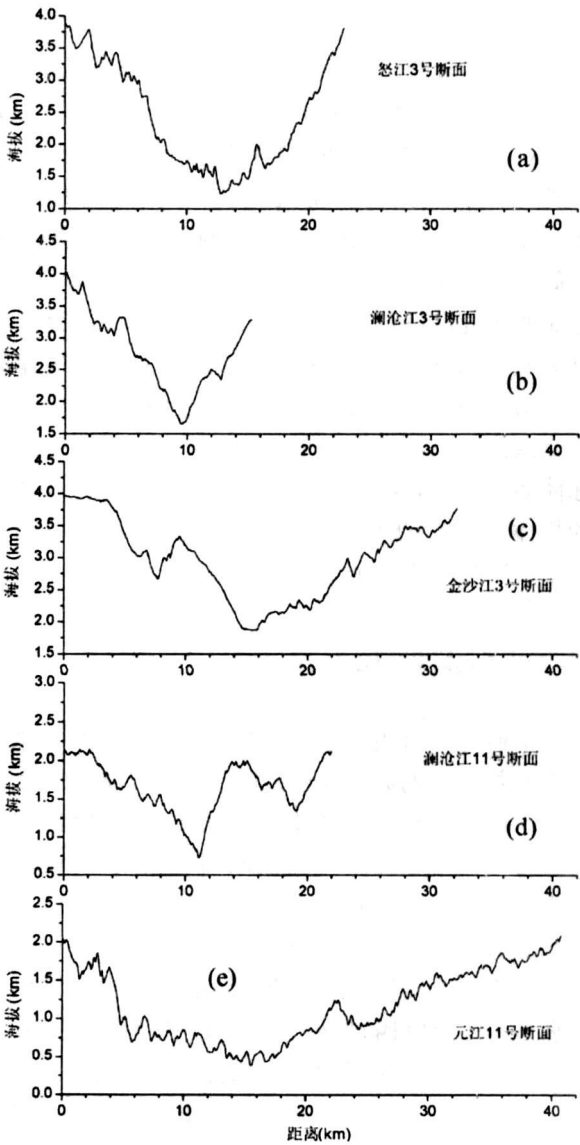


图 2 研究区不同河流代表性河谷断面特征

Fig 2 cross section of the different representative rivers valley

2 纵向岭谷区河谷横断面特点

2.1 河谷横断面概况

图 2 是研究区有关河流的典型河谷横断面。图 2-(a b c) 分别是怒江、澜沧江和金沙江的 3 号断面, 它们大致位于相同的纬度带 (见图 1), 其中怒江的切割深度达到 2 700 m, 澜沧江的达到 2 300 m, 而金沙江的达到 2 100 m, 显然, 在滇西北部, 三条大河的切割深度由西向东明显减小。图 2-(d e) 分别是澜沧江和元江的 11 号断面, 他们位于滇西南部大致相近的纬度带, 河流的切割深度远较滇西北部相关河段的小, 其中澜沧江 11 号断面的切割深度约为 1 300 m, 而元江 11 号断面的切割深度约为 1 500 m, 二者差别不显著。

2.2 河谷横断面宽深比和半高宽深比

图 3 是纵向岭谷区五条河流的河谷宽深比和半

高宽深比, 具有以下特点: (1) 河谷宽深比和半高宽深比沿河流流向总体成增大趋势。大致以断面 9 为界, 在其以北地区的河谷宽深比和半高宽深比相对较小, 宽深比在 4~16 之间, 半高宽深比在 3~13 之间, 并且沿河流流向方向具有振荡性增大趋势。(2) 半高宽深比的特点和宽深比比较相似。其中部分河谷断面的半高宽深比和宽深比的数值差别不大, 表明这些河谷断面的左右边壁总体上无明显的上凸或下凹的趋势, 即河谷断面基本接近“V”型形态。(3) 澜沧江在断面 10 以下其河谷宽深比和半高宽深比发生明显的阶段性减小。(4) 与其他河流相比, 元江河谷断面宽深比和半高宽深比相对较大。(5) 研究区内还有小段的独龙江和金沙江, 处于研究区的上段 (北端), 也呈现出宽深比较小, 的特点。宽深比和半高宽深比越小表明河谷越窄深, 显然, 研究区北部的河谷狭而深, 而南部的比较宽浅。

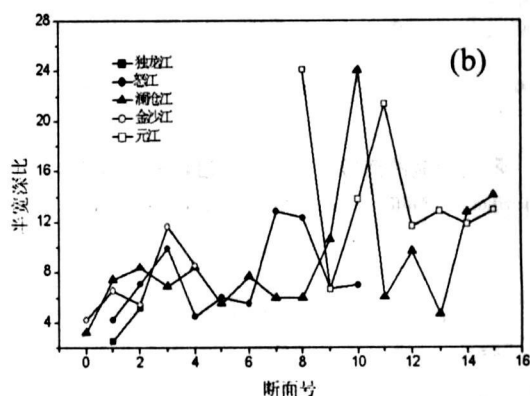
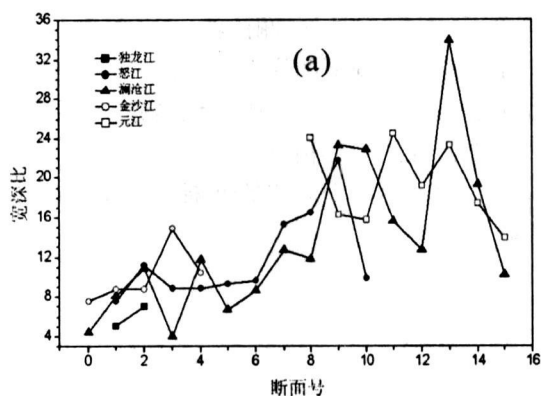


图 3 (a) 断面宽深比和 (b) 半宽深比沿流向变化特征

Fig 3 Comparison of the width depth ratio and semi width depth ratio along the valley

2.3 断面面积

图 4 点绘了各条河谷的不同断面面积, 可以看出: 在 8 号断面所在纬度以北, 怒江的断面面积最大, 明显大于澜沧江和金沙江的断面面积, 这主要是怒江峡谷的高差较大引起的。而澜沧江和金沙江的断面面积基本相当。在 8 号断面所在纬度以南, 元江河谷断面面积明显大于澜沧江, 这主要是元江河谷比较开阔的缘故。

2.4 河谷横断面凹度

在以垂直于河道的两分水岭间的连线为宽、河谷深为高的矩形里, 假设河谷坡面为直线, 则河谷的断面凹度为 1。纵向岭谷区几条河流的河谷横断面凹度 (图 5) 绝大多数 < 1 , 表明河谷底部与岭脊之间

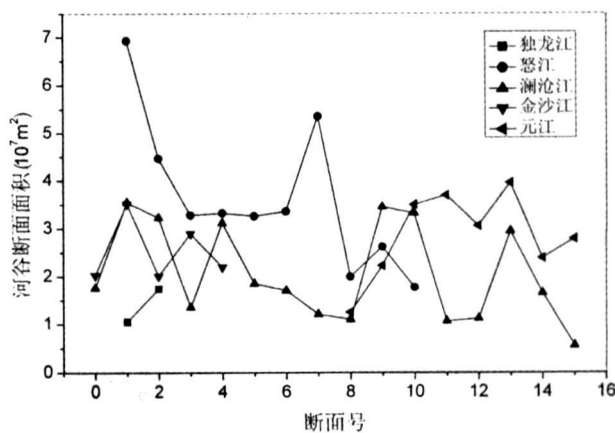


图 4 不同河流的河谷断面面积比较

Fig 4 Comparison of different river valley cross section areas

的连线大部分都趋于上凸型,河谷的形态大致呈现“V”型。并且在所有河谷断面中,凹度 <1 的“V”型占了近 75%。也有一部分河谷断面凹度大于 1,即河谷底部与岭脊之间的连线为下凹形,表明河谷呈现“U”型。其中“V”型河谷应该处于明显的下蚀阶段,“U”型河谷的横向侵蚀比“V”型河谷的相对强一些。另外,“V”型和“U”型河谷断面沿程呈现交替分布现象,反映了研究区地貌景观及岩性的复杂性。

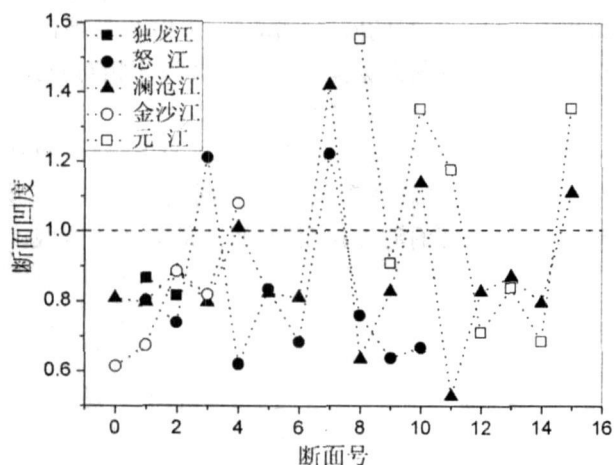


图 5 不同河流的河谷断面凹度的沿程分布特征

Fig 5 Distribution of different river valley cross sections concavities

2.5 河谷横断面的不对称系数

图 6(a)和图 6(b)是相关河流的河谷横断面的谷宽不对称系数,图 6(c)和(d)是上述河流的河谷横断面的面积不对称系数。从图 6(a)可以看出,断面 9 以北地区的滇西北部的独龙江、怒江和澜沧江的不对称系数有 2/3 的断面 <1 ,谷宽不对称系数和面积不对称系数之间具有一定的相似性,表明左倾型河谷占多数。而元江和金沙江以及怒江和澜沧江南部的河谷横断面不对称系数的分布则没有什么明显规律,其中大于和小于 1 的基本相当,表明左倾型和右倾型河谷断面数量基本相当。显然,滇西北部的多数河谷断面在其河道西侧的面积小于东侧的面积,也即河谷横断面的西侧(河道右部谷坡)坡度较东侧(河道左部谷坡)的陡峻。而在滇西南部的河流段则无此规律。

2.6 河谷纵剖面特征

取河谷横断面最低点高程数值及该点距离上游第一个断面的河道长度,点绘研究区各个河流的纵剖面(图 7)。怒江、澜沧江、金沙江和元江的河道纵剖面基本呈现下凹形态,并且怒江、澜沧江和元江的河道纵剖面具有相似的变化趋势,其梯度基本相同,而金沙江的梯度相对较小。

对上述各个河流的纵剖面数据分别进行多项式

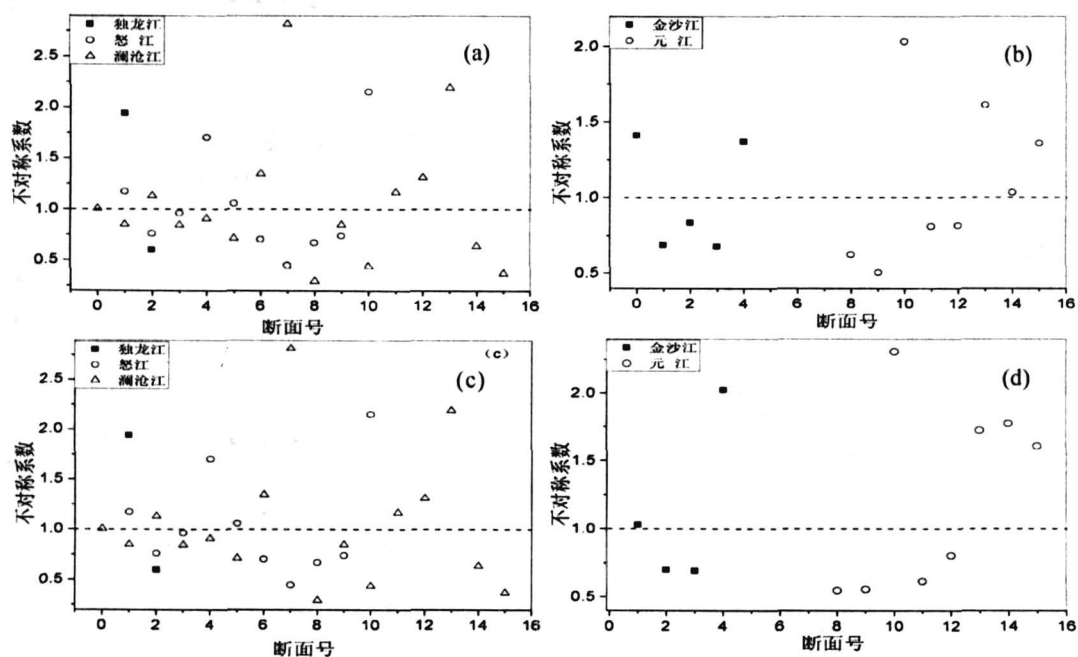


图 6 河谷不对称系数: (a)、(b)为谷宽不对称系数, (c)、(d)为面积不对称系数

Fig 6 The valley indices of asymmetry (a, b width, c, d cross section area)

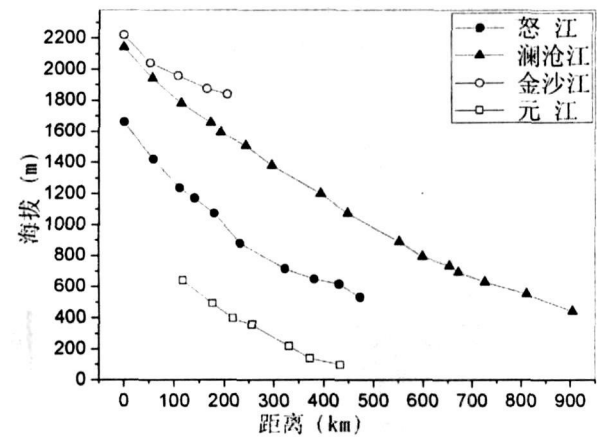


图 7 河流纵剖面沿程变化特征

Fig 7 Variation of the river valley longitudinal profile in the LRGR

拟合(图 8),可以得出上述 4 条河流在研究区的纵剖面表达函数(表 2),根据这些关系式可以求得上述河流河道的任意一点的河道高程数值,显然,高程是沿程变小的,并且其减小的速率沿程变小,纵剖面具有明显的下凹特性。根据伊凡诺夫方法可以算出

各条纵剖面的凹度(见表 1),其中怒江的凹度最大,达到 1.63 金沙江的次之,为 1.58,澜沧江较小,为 1.45,元江的最小,为 1.40。凹度较大表明河道高程的递变速率较大,反之则较小。

表 2 河谷纵剖面的数学表达式及凹度
Table 2 Mathematical expression and the Concavity of the valley longitudinal profile

河名	拟合方程(距离 x 的单位为 km 高程 y 的单位为 m)	凹度
怒江	$y=0.000000073x^2-0.00407x+1655.57$ $R^2=0.997$ $SD=23.22$ $N=10$ $P<0.0001$	1.63
澜沧江	$y=0.000000011x^2-0.00281x+2111.5$ $R^2=0.999$ $SD=17.52$ $N=16$ $P<0.0001$	1.45
金沙江	$y=0.00000007x^2-0.00323x+2211.37$ $R^2=0.992$ $SD=19.26$ $N=5$ $P=0.008$	1.58
元江	$y=0.0025x^2-2.53x+635.49$ $R^2=0.995$ $SD=16.53$ $N=7$ $P<0.0001$	1.40

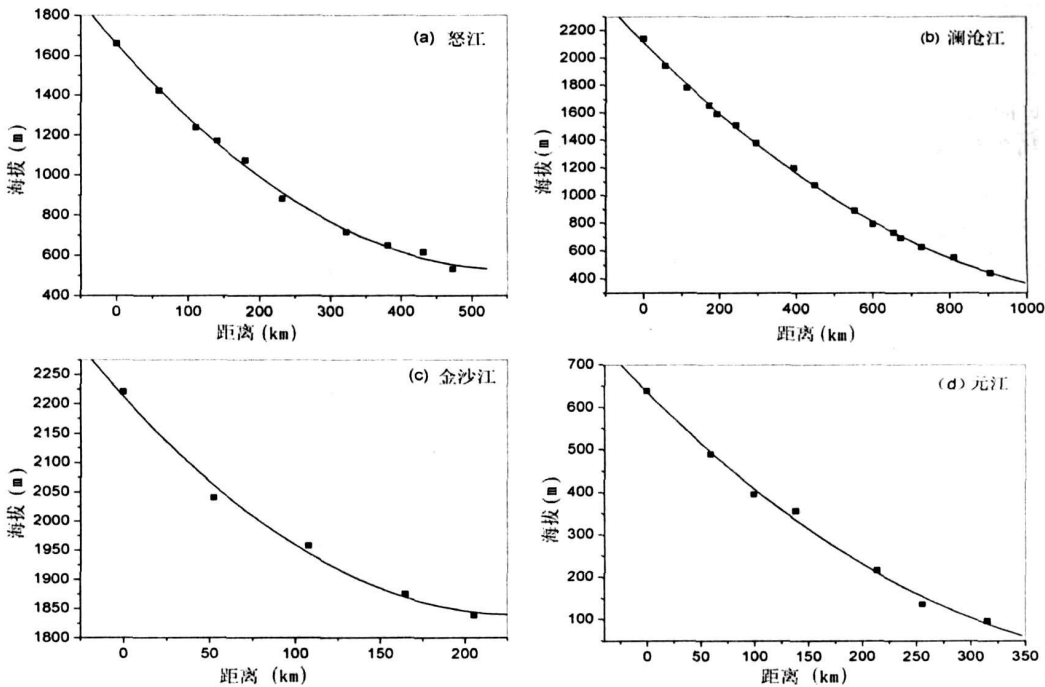


图 8 河流纵剖面的拟合曲线

Fig 8 Fitting curve of the valley longitudinal profile
(图中距离是指距河流上游的第一个取样点的距离)

2.7 河道比降的沿程变化及拟合关系

纵向岭谷区河流主河道的比降都具有沿程减小的趋势(图 9)。怒江、澜沧江和金沙江在其进入滇

西北后河道比降相对较大,并且沿程减小的幅度也很大;在滇西南则明显变小,减小的幅度相对较小。图 9 中怒江、澜沧江和金沙江的第一个点分别表示

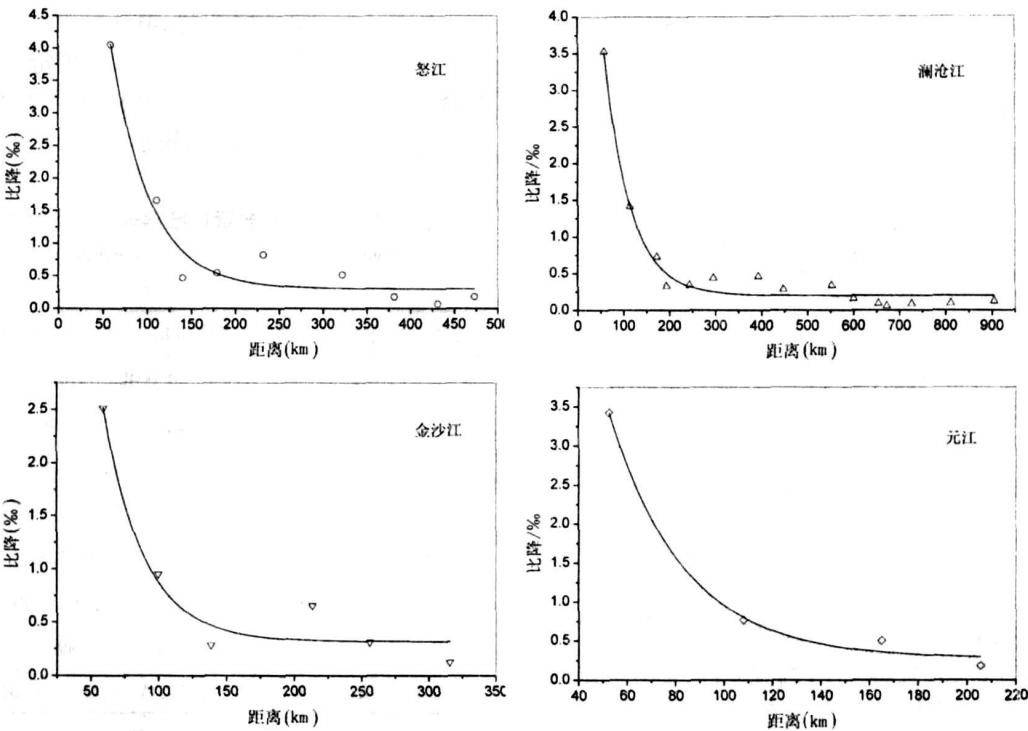


图 9 河道比降随距离的拟合曲线
Fig 9 The fitting curve of the valley gradient with distance

其 2 号断面处的比降, 其数数值分别为 4.05‰, 3.53‰ 和 2.51‰, 从图 2 可见, 这些断面位于大致相同的纬度带, 因此, 滇西各主河道的比降具有从西向东逐渐变小的趋势。

各河流主河道比降沿纵剖面的变化规律可以通过指数衰减函数进行拟合, 其拟合结果见表 3。这些关系式的相关性很高, R^2 达到 0.95 以上。在研究区各河流主河道的平均比降是根据公式 (1) 计算的 (表 3), 显然, 在滇西北从西部的怒江的 1.85‰、到中部澜沧江的 1.63‰、到东部金沙江的 1.22‰, 也呈现明显减小的趋势。滇南东部元江主河道的平均比降之所以较大, 是因为元江发源于滇南, 所研究的河段是其上游的缘故。

表 3 河道比降的拟合关系及平均比降

Table 3 The fitting curve and the mean value of the valley gradient		
河名	拟合方程 (距离 x 的单位为 km 比降 y 的单位为 ‰)	平均比降 \bar{y} ‰
怒江	$y = 0.299 + 14.715e^{-x/43.46}, R^2 = 0.96$	1.85
澜沧江	$y = 0.199 + 9.01e^{-x/56.85}, R^2 = 0.98$	1.63
金沙江	$y = 0.320 + 16.189e^{-x/29.59}, R^2 = 0.95$	1.22
元江	$y = 0.270 + 17.135e^{-x/31.04}, R^2 = 0.99$	1.43

3 纵向岭谷区河谷形态特征成因

3.1 横断面的形态特征成因

研究区内河谷的宽深比和半高宽深比都比较小 (在滇西北部的河谷宽深比在 4~16 之间, 半宽深比在 3~13 之间; 在滇西南部的河谷宽深比可以达到 24 以上) (见图 3), 这显然受制于河谷边界的岩性及构造作用。纵向岭谷区是崎岖的山地, 河流两侧坚硬的基岩限制了它的侧向侵蚀。大量研究表明, 自印度板块和欧亚板块碰撞后, 该地区的地壳一直处于隆升之中, 0.15 Ma 以来它的抬升速率达到 30 mm/a^[23]。而在构造运动活跃地区, 河床的抬升作用和河流的下切作用基本是平衡的^[24], 所以, 滇西北河流的下蚀速率也比较大, 以致形成高山峡谷景观。各个河谷的宽深比和半高宽深比都较小, 而且一般半高宽深比比宽深比更小, 说明该地区后期的抬升速率更大。滇西南地壳的抬升幅度相对较小, 因而河流的下蚀幅度也相对较小, 河谷接受侧向侵蚀的时期相对较长, 从而导致河谷横剖面的宽深比更大一些。

纵向岭谷区位于太平洋东南季风和印度洋西南

季风的交替作用地区, 西南季风爆发期晚于东南季风, 但其影响范围和强度却远远大于东南季风, 具体表现在西南季风区气温随时间变化复杂性较高, 降水的时间变率也较大。伴随雨季来临, 西南季风沿纵向山系河谷先后造成中、北部地区水热时空分布的强烈变化, 在河谷走向与季风风向一致情况下, 形成以河道为中心、以两侧山脉为主要分布的降水时空变率带状高值区, 河谷内部的水汽输送现象非常显著。造成东西向降水差异明显, 降水量从怒江的 2 249.4 mm、澜沧江的 1 226.6 mm, 到金沙江的 946.5 mm; 径流深也从怒江的 1 619.8 mm、澜沧江的 677.6 mm, 到金沙江的 456.8 mm^[25]。在滇西地貌和地质条件相似的条件下, 降水量大的地区其地表侵蚀作用更强, 从而造成河谷的空间更大, 而河谷横剖面的面积自西向东依次减小正是该情况的客观反映。

从断面的凹度可区分“U”型谷和“V”型谷。纵向岭谷区绝大多数的河谷都是典型的“V”型谷, 这也是河谷处于强烈下蚀阶段的标志; 只有个别河段处于均衡调整期, 这和其他方式研究的结果一致^[11]。

河流的不对称往往是由于河流侧向侵蚀引起的, 河流的摆动形成横向流, 从而形成河谷的不对称^[22]。但纵向岭谷区的河流呈顺直河型, 很难摆动起来形成曲流。流域的天气系统季风流向与近似南北走向的流域两岸分水岭山脉斜交角度小, 被阻挡抬升, 形成流域左岸迎风坡多水带, 右岸背风坡少水带, 左岸水系较右岸发育, 产水量也远高于右岸^[26]。如滇西各河流流域面积大于 5 000 km² 的支流共有 22 条, 而分布在主河道左侧(东侧)的为 15 条, 分布在右侧的仅 7 条, 其中澜沧江左岸 4 条, 右岸 1 条。流域面积大于 10 000 km² 的支流共有 11 条, 而分布在主河道左侧的为 7 条, 右侧的 4 条, 其中澜沧江仅有的 1 条就分布在左侧。不相称的产水量造成不相称的坡面侵蚀, 导致河谷横剖面的形态出现不对称性, 其中左倾型河谷断面占多数的原因就是印度洋西南季风强势作用的结果。

3.2 纵剖面的形态特征形成原因

河流纵剖面的下凹特性可以从以下几个不同角度来解释^[19-27]: 比降与河床质粒径、含沙量都呈正相关, 而与流量呈负相关。就同一条河而论, 由于泥沙的沿程磨损和泥沙的差异性沉积, 河床粒径向下游变小, 由于支流的汇入, 流量向下游增大。正因为

如此, 河床比降总是沿程减小的, 因而形成了下凹的纵剖面。从杨志达^[28]提出的最小能耗率理论出发, 亦可得到同样的结果。该理论认为, 河流调整的过程中总是趋向于使单位水体的能耗率(可以用比降 J 与流速 V 的乘积 VJ 来表达)达到当地限制条件中所许可的最小值, 即有

$$VJ = \text{最小} \quad (2)$$

为此必须满足

$$\frac{d(VJ)}{dx} = J \frac{dV}{dx} + V \frac{dJ}{dx} = 0 \quad (3)$$

式(3)中 x 为距离。由于河流的流速总是沿程减小的, 即 $J \frac{dV}{dx} > 0$ 为了保持总的结果为 0 必有 $V \frac{dJ}{dx} < 0$ 即 $\frac{dJ}{dx} < 0$ 河流比降沿程减小, 故形成上凹型纵剖面。

上述凹型纵剖面导致河道比降也呈现沿程减小的变化趋势。在滇西北部纵向岭谷区从东部的怒江、到中部的澜沧江、再到西部的金沙江, 其河道平均比降呈现减小的趋势, 这是由于怒江处于板块碰撞的前沿地带, 受到构造引起的差异性抬升影响较大, 而金沙江相对远离该构造带, 构造抬升的影响相对较小的缘故。

4 结论

通过对纵向岭谷区的河谷形态特征的定量研究, 可以得出以下结论:

滇西纵向岭谷区北部河谷横断面的宽深比和半高宽深比很小, 其宽深比在 4~16 间, 半高宽深比在 3~13 间, 但沿流向往南有明显增大的趋势, 最大达到 24。这是由于北部的构造抬升作用强而引起该区更强烈的河流下蚀作用的结果。

河谷横断面的凹度显示大多数河谷属于“V”型谷, 表明研究区的河流仍然以下切过程为主。少量的“U”型谷表明局部河段也存在相对较强的侧向侵蚀。

谷宽不对称系数及谷面不对称系数揭示了研究区河谷横断面主要是左倾型河谷, 即河谷断面上河道左部谷坡较缓。这是强势西南季风在河流左岸迎风坡形成强降水带和在河流右岸背风坡形成弱降水带的雨水差异侵蚀引起的。

河谷纵剖面具有明显的下凹特性, 凹度在 1.40~1.65 间。河道比降具有沿程变小的趋势, 并遵循

指数衰减关系, 平均比降在 $1.22\% \sim 1.85\%$ 间。在纵向岭谷区北部, 响应构造抬升作用的西强东弱的现状, 河流主河道的比降具有从西向东变小的趋势。

参考文献 (References)

- [1] Shen Yuchang Gong Guoyuan eds. An Introduction to River Geomorphology [M]. Beijing: Science Press, 1986: 1~207 [沈玉昌, 龚国元. 河流地貌学概论 [M], 北京: 科学出版社, 1986: 1~207]
- [2] Qian Ning Zhang Ren Zhou Zhide. Fluvial Process [M]. Beijing: Science Press, 1987: 1~575 [钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学 [M], 北京: 科学出版社, 1987: 1~575]
- [3] Knighton D. Fluvial Form and Processes: A New Perspective [M]. London: Arnold, 1998: 1~383
- [4] Leopold L. B., Wolman M. G. and Miller J. P. Fluvial Processes in Geomorphology [M]. San Francisco and London: W. H. Freeman and Company, 1964: 198~202
- [5] Yin Xueliang Chen Jinrong. River cross section morphology issues [J]. *Advances in Water Science*, 1995, 6(4): 317~322 [尹学良, 陈金荣. 河流断面形态问题 [J]. 水科学进展, 1995, 6(4): 322~317]
- [6] Li Yingkui Liu Gengnian. The Cross section Variation of Glacial Valley and Its Reflection to the Glaciation [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(2): 235~242 [李英奎, 刘耕年. 冰川槽谷横剖面沿程变化及其对冰川动力的反应 [J]. 地理学报, 2000, 55(2): 235~242]
- [7] Augustinus P. C. Glacial valley cross profile development: the influence of in situ rock stress and rock mass strength, with example from Southern Alps, New Zealand [J]. *Geomorphology*, 1995, 11: 87~97
- [8] Harbor J. Development of glacial valley cross sections under conditions of spatially variable resistance to erosion [J]. *Geomorphology*, 1995(14): 99~107
- [9] Zhou Lian Takashi Oguchi. DEM analysis on longitudinal and transverse profile of steep mountainous watersheds [J]. *Geomorphology*, 2006, 78: 77~89
- [10] Jia Shaofeng. A Study on the mathematical model of river bed dynamics which involves neotectonic movement [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1994, (04): 324~331 [贾绍凤. 构造运动影响河流纵剖面及河道冲淤的数学模型 [J]. 地理学报, 1994, (04): 324~331]
- [11] Jiang Zhongxin. Model of development and rule of evolution of the longitudinal profiles of the valley of The Rivers in the northwestern part of Yunnan Province [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1987, (1): 16~25. [蒋忠信. 滇西北三江河谷纵剖面的发育图式与演化规律 [J]. 地理学报, 1987, (01): 16~25]
- [12] Lu Zhongchen Zhou Jinxing Chen Hao. River bed longitudinal profile morphology of the lower Yellow River and its implication in physiography [J]. *Geographical Research*, 2003, 22(1): 30~38 [陆中臣, 周金星, 陈浩. 黄河下游河床纵剖面形态及其地文学意义 [J]. 地理研究, 2003, 22(1): 30~38]
- [13] He Daming Wu Shaohong Peng Hua *et al*. A study of ecosystem changes in longitudinal range gorge and transboundary eco security in Southwest China [J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(3): 338~344 [何大明, 吴绍洪, 彭华, 等. 纵向岭谷区生态系统变化及西南跨境生态安全研究 [J]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 338~344]
- [14] Wu Shaohong Dai Erfu He Daming. Major Research Perspectives on Environmental and Developmental Issues for the Longitudinal Range Gorge Region (LRGR) in Southwest China [J]. *Progress in Geography*, 2005, 24(1): 31~40 [吴绍洪, 戴尔阜, 何大明. 我国西南纵向岭谷区环境与发展问题初步研究 [J]. 地理科学进展, 2005, 24(1): 31~40]
- [15] Wang Suiji Wu Shaohong Dai Erfu. Differentiation of river speciality reflected by statistical relationships between geomorphic parameters: a case study on yunnan reach of Lancangjiang River southwest China [J]. *Progress in Natural Science*, 2005, 15(7): 824~829 [王随继, 吴绍洪, 戴尔阜. 河流地貌参数统计关系反映的河性分异现象——以澜沧江云南段有关支流为例 [J]. 自然科学进展, 2005, 15(7): 824~829]
- [16] Wang Suiji Wu Shaohong He Daming *et al*. Comparability in Geomorphic evolution of the three rivers in the northern Longitudinal Range Gorge Region: Evidence of statistic relationship between geomorphic parameters and analyses of cause of formation [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51: 32~39 [王随继, 吴绍洪, 何大明, 等. 纵向岭谷区北部三江地貌演变相似性——地貌参数统计关系证据及成因剖析 [J]. 科学通报, 2006, 51: 32~39]
- [17] Gan Shu He Daming Dang Chenglin. Landscape structure analysis of Lancang River Basin in Yunnan Province [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2003, 15(3): 33~39 [甘淑, 何大明, 党承林. 澜沧江流域云南段景观格局分析 [J]. 云南地理环境研究, 2003, 15(3): 33~39]
- [18] Xu Jiongxia. A study of longitudinal profile concavity of rivers in the north China Plain [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1990, 45(3): 331~340 [许炯心. 黄淮海平原河流的纵剖面凹度特征 [J]. 地理学报, 1990, 45(3): 331~340]
- [19] Lu Zhongchen Shu Xiaoming Cao Yinzheng. Longitudinal profiles of the streams on the north China plain [J]. *Geographical Research*, 1986, 5(1): 12~20 [陆中臣, 舒小明, 曹银真. 华北平原河流纵剖面 [J]. 地理研究, 1986, 5(1): 12~20]
- [20] The Research Group on Weihe River. Institute of geography, CAS. Geomorphology of the Lower Reaches of Weihe River [M]. Beijing: Science Press, 1983: 179~186 [中国科学院地理研究所渭河研究组. 渭河下游河流地貌 [M]. 北京: 科学出版社, 1983: 1~230]
- [21] Lu Zhongchen Li Zhongyan Chen Hao *et al*. A note on the contributing factors of the concave longitudinal profile of the channel in the lower Yellow River [J]. *Journal of Sediment Research*, 2003, (5): 15~20 [陆中臣, 李忠艳, 陈浩, 等. 黄河下游河流下凹型纵剖面成因分析 [J]. 泥沙研究, 2003(5): 15~20]
- [22] Minge J. A. The morphological relation of bends in confined stream channels in the upland Britain [A]. In: *Geographical Ap*

- proaches to Fluvial Processes[C]. Edited by A. F. Pitty, Geo books Nowich, 1979, 215~239
- [23] Zhong Daki, Ding Lin. Rising process of the Qinghai Xizang(Tibet) Plateau and its mechanism[J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 39(4): 369~379[钟大赉, 丁林. 青藏高原隆升过程及其机制的探讨[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(4): 289~295]
- [24] Burbank DW, Leland J, Fielding E *et al* Bedrock incision, rock uplift and threshold hillslopes in the northwestern Himalayas[J]. *Nature*, 1996, 379(65): 505~510
- [25] Guo Youan, Huang Ying. Research on water resources characteristics and variation law in longitudinal mountain valley area of Northwest Yunnan province [J]. *Yangtze River*, 2005(04): 38~40
- [郭有安, 黄英. 滇西北纵向岭谷区水资源特性及分异规律研究[J]. 人民长江, 2005(04): 38~40]
- [26] He Daming. Analysis of Hydrological Characteristics in Lancang Mekong River[J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 1995(01): 58~74[何大明. 澜沧江——湄公河水文特征分析[J]. 云南地理环境研究, 1995(01): 58~74]
- [27] Xu Jiongxin. River Processes in Different Natural Zones of China [M]. Beijing: Science Press, 1996, 1~277[许炯心. 中国不同自然带的河流过程[M]. 北京: 科学出版社, 1996, 1~277]
- [28] Yang C. T. Unit stream power and sediment transport ASCE[J]. *Journal of Hydraulic Division*, 1972, 98(10): 1805~1826

Valley Morphological Characteristics Development Law and Their Cause in the Longitudinal Rang gorge Region

MIN Shitou^{1, 2}, WANG Suiji¹

(1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract To disclose the valley morphological characteristics and development law in The Longitudinal rang gorge region(LRGR), We extract 41 valley cross section profiles by the ARCGIS9.2 base on the 1:50 000 high resolution Digital Elevation Model and calculate the width depth ratio of the these valley cross section profiles and in the half depths' the section area, the concavity, the index of asymmetry and some indices of the longitudinal profile characteristics. The result suggest that the width depth ratio in the northern LRGR is small which values is between the 4~16, but it shows a significantly increased trend to south along the valley which is 24 at the maximum, this is due to tectonic uplift of the northern role which led to the area more out of the river under the result of incise; the cross section concavities indicate that most of the valley is the "V-shape valley", which means the rivers still under the process of cutting mainly in the study area; the indices of asymmetry of the valley width and valley section area reveal that these valley major is a leftist Valley, the left gully side is gentle slope, which is due to strong southwest monsoon wind in the left valley slope side forming precipitation zone and the right bank to form the leeward side with the weak precipitation rainfall erosion caused by the differences; the concavity of the valley longitudinal profile is between 1.40~1.65 with the obvious characteristics of concave; the river gradient along the way with a small change in trend and follow the exponential relationship which is in an average 1.22% from 1.85%; LRGR northern part in response to tectonic uplift of the West East weak status, the main river channel gradient from west to east with smaller trends.

Key word Longitudinal rang gorge region(LRGR); valley; geomorphology; cross section; longitudinal profile; width depth ratio; concavity; gradient ratio; index of asymmetry