

沟口公路小流域山洪危险性评价 ——以四川省凉山州美姑河省道公路为例

陈远川, 陈洪凯, 唐红梅

(重庆交通大学 岩土工程研究所, 重庆 400074)

摘要:对美姑河沿线 10 个小流域山洪灾害对省道公路的危险性进行了评价, 得出了山洪高危险性、中危险性和低危险性小流域的分布图件, 山洪高危险性和中危险性小流域沟口处的公路路段为汛期高危险路段。利用最新获取的 SRTM-DEM 数据, 基于 GIS 空间分析技术, 提取了美姑河流域及 10 个子流域的典型地貌参数, 综合考虑提取的地貌量化参数与小流域山洪危险性的关系, 分级量化了小流域山洪对沟口公路的危险性大小。通过对流域地貌参数的分析, 得出流域南北向伸展的狭长外形受区域构造和断层控制, 美姑河流域新构造运动活跃, 处于侵蚀循环的活跃阶段, 与美姑河流域水土流失、泥石流等山地灾害发育的实际情况吻合。

关键词:公路工程; 危险性评价; 地貌量测分析; 小流域; 山洪; 美姑河流域

文章编号:1003-8035(2012)04-0031-09

中图分类号:U418.5⁺4

文献标识码:A

0 引言

由于山区沿河公路所处的特殊地形地貌位置、沿河水力特征和公路两侧小流域对极端降雨条件的高敏感性, 使得公路沿线小流域出口处的山洪是导致位于沟口处的山区沿河公路承灾体毁损的重要灾害类型。因此开展山区小流域山洪对沟口公路危险性评价研究有重要意义。

杨三强、刘海松、阳岳龙等, 对公路地质灾害危险性评价开展了相关研究^[1-3], 但均未涉及公路沿线小流域山洪危险性评价。本文以四川省凉山州美姑河流域省道公路为例, 在流域地貌形态特征量化分析的基础上, 对美姑河流域影响省道公路安全的主要小流域山洪致灾危险性进行了评价。流域地貌形态特征量化分析利用美国航空航天局(NASA)的 SRTM-DEM 数据为基础, 采用地理信息系统(GIS)水文分析和空间分析技术提取美姑河流域的水系和地形基础数据。小流域山洪对沟口公路的危险性评价, 综合考虑了美姑河流域各特征参数对潜在山洪危险性的影响。

Youssef 等利用卫星影像数据和 GIS 提取基础数据, 评估埃及一旅游公路的山洪风险^[4]; 张会平等通过数字高程模型(DEM)的空间分析, 提取了岷江水系的典型地貌特征参数, 通过地貌参数分析得出了岷江水系流域的新生代构造运动规律^[5]; Abdel-Latif 等认为 GIS 的流域河网提取技术便于分析河流的洪

水特征, 不同源数据得出的流域地貌特征参数精度不同^[6]; Bali、Sreedevi、Magesh 等通过地貌特征参数分析, 研究了流域的地貌演化阶段和新构造运动特征^[7-9]。前述分析可知, 本文用 DEM 和 GIS 提取地貌特征参数值, 并综合各参数对山洪危险性的影响, 开展小流域沟口公路的山洪危险性评价可实施, 可供山区公路管理部门汛期减灾参考。

1 研究区概况

四川省凉山州美姑河流域位于云贵高原与川西南山地过渡带, 属横断山区东部边缘地区, 介于东经 102.8°~103.5°和北纬 27.8°~28.7°, 东北部大风山海拔最高 4042m, 美姑河与金沙江汇合口海拔最低 436m, 区域高程普遍在 2000m 左右。美姑河为长江上游金沙江左岸一级支流, 流域面积约 3234km², 流域覆盖凉山州美姑、雷波和昭觉县的部分乡镇(图 1)。干流全长约 170km, 落差约 2983m, 河口多年平均流量 59.4m³/s, 多年平均径流量 18.7×10⁸m³。从洒库至河口, 河道长约 120km, 落差约 1615m(高程 2024~409m), 河道平均比降 13.5‰, 具有良好的水

收稿日期:2012-06-13; **修订日期:**2012-06-27

基金项目:国家自然科学基金项目(41071017); 西部交通建设科技项目(2009318221035)

作者简介:陈远川(1984-), 男, 重庆铜梁人, 博士研究生, 主要从事山区公路地质风险评估与减灾研究。

E-mail: geomechanics2011@gmail.com

电开发条件。酒库至洛俄依甘乡美姑大桥段,河道长约 65km,沿河河谷地形束放相间、水流平缓,平均比降 9.7‰,有修建水库的地形地质条件。美姑大桥至河口段,河道长约 55km,平均比降 18‰,河流穿行于高山峡谷之中,水流湍急,跌水连续不断,其中尔其至柳洪 13km 河段比降高达 30.5‰,构成了引水开发的有利条件^[10]。

美姑河的径流主要由降雨形成,也有一定的高山融雪补给,4 月降雨开始增多,5~10 月降雨约占全年 91%。径流随降雨和气温的变化而变化,4~5 月由降雨及融雪补给,6~10 月主要由降雨形成,11 月后渐以地下水补给为主。多年平均年降雨量 820.70mm,历年日最大降水量为 110.3mm,时最大降水量是 36.3mm^[10,12]。美姑河洪水由暴雨形成,洪峰形状尖瘦,洪水过程陡涨陡落,涨洪历时一般 4~6h,最短仅 2~3h,峰顶历时 20min 左右,年最大洪水多为单峰过程,一般 1~2d,连续洪水历时约 4~5h。

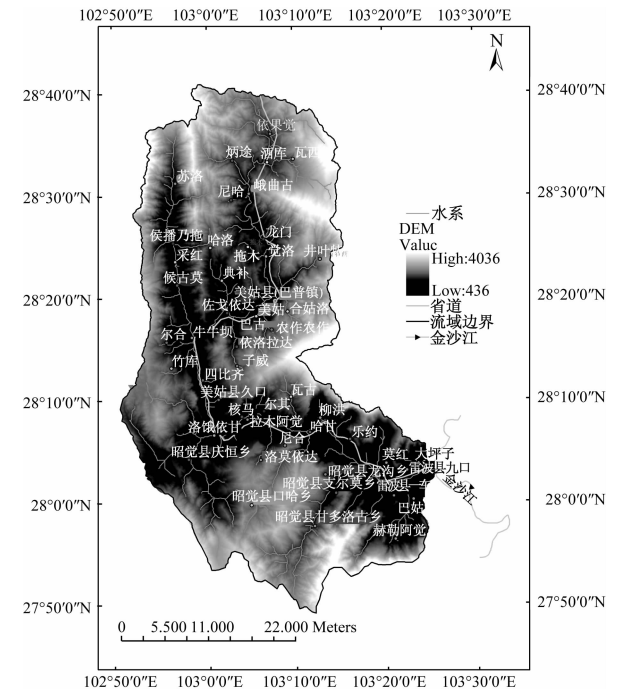


图 1 美姑河流域概况

Fig. 1 General situation of Meigu River basin

美姑河流域地质环境脆弱,褶皱、断层发育,出露地层主要包括 J、J₁₊₂、T₁₊₂、T₃、P、P₂、S、O、Є 和 Z₂,出露地层较老,以古生界地层分布最为广泛,越到下游,流域出露地层越老(图 2)。第四系的洪积、残坡积和滑坡堆积物主要分布于沟谷和边坡地带(图 3)。岩层含灰岩、砂岩及易被风化侵蚀的泥岩和粉砂岩。

流域内破碎岩体主要为雷口坡组岩层和白果湾组地层,残坡积物厚 0.5~10m,由强风化砂岩、粉砂岩、泥岩等未固结的块碎石土组成,粒径 3~12cm,棱角状,粒间充填细小颗粒及粘土,透水性较好^[11-12]。流域内山脉走向与构造线展布大体一致,呈南北和北东向延伸。流域内地势陡峻,高低悬殊,深切“V”型谷发育。流域位于“扬子准地台”西部,地处川西南“川滇南北构造带”与四川盆地“新华夏系沉降带”的交接地带。流域挟持于斜水坝-马颈子断裂与普雄河断裂之间,属凉山拗褶带的东亚区。主要构造线受南北构造控制,兼有北东向、北西向、北北西向及北北东向构造。流域挟持于西部则木河-西昌-冕宁强地震带和东部马边-盐津-大关强地震带之间,区内有历史地震记载以来,无强震发生(M>6 级),属外围西部及东部两强震带的影响波及区^[10]。

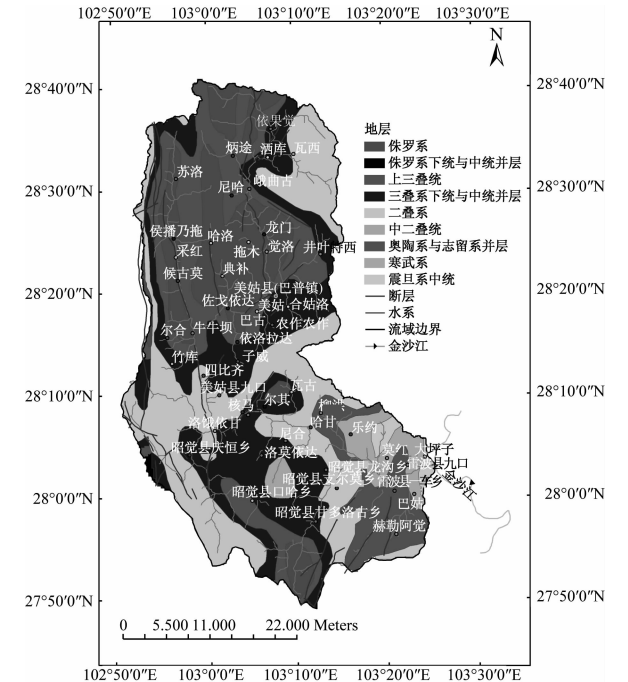


图 2 美姑河流域地质图

Fig. 2 Geology map of Meigu River basin



图 3 美姑河牛牛坝公路泥石流物源

Fig. 3 Material sources for Niuniu Ba highway debris flow

美姑河流域内泥石流等地质灾害发育,尤其以每

年汛期 5~9 月发生的地质灾害频率高、规模大。流域内省道公路(307 线、103 线)主要沿美姑河展线,是典型的山区沿河公路,经常受小流域山洪、河道洪水、泥石流等地质风险威胁。该沿河公路每年因泥石流等地质风险造成公路直接经济损失数千万元,平均每年断道 15d 左右^[8]。例如 2002 年 7 月发生 20 年一遇大暴雨,12 条泥石流沟同时暴发泥石流灾害,公路断道 30 余天。2011 年 6 月 16 日夜至 17 日凌晨,突降特大暴雨,引发山洪泥石流灾害,美姑境内 S103 线 K424+500 处断道,发生泥石流坍方 13000m³,产生路基缺口 22 处共 700m,涵洞淤塞 37 道;X149 峨美路路基冲毁 110m,涵洞淤塞 14 道,共计经济损失 699 万元。美姑县公路局投入人工 180 人次、挖掘机 9 个台班、装载机 15 个台班、资金 50 万元进行抢险^[13]。

2 流域地貌形态特征量化分析

美姑河流域的数字地形高程模型从最新的 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)雷达影像数据处理得到,基于 ArcGis9.3 软件平台获取并计算得出了美姑河流域的坡度(图 4)、坡向(图 5)、子流域划分和流域地貌形态的相关基础参数,采用 ArcGis 的水文分析模块提取整个美姑河流域的水系。整个

流域被分为了 19 个区域,其中区域 1~10 为汇入美姑河主河道的山区小流域,区域 11~19 为美姑河主河道途经的区域,根据斯特拉勒的水系分级法^[7],整个流域的水系被分为 5 级(图 6)。

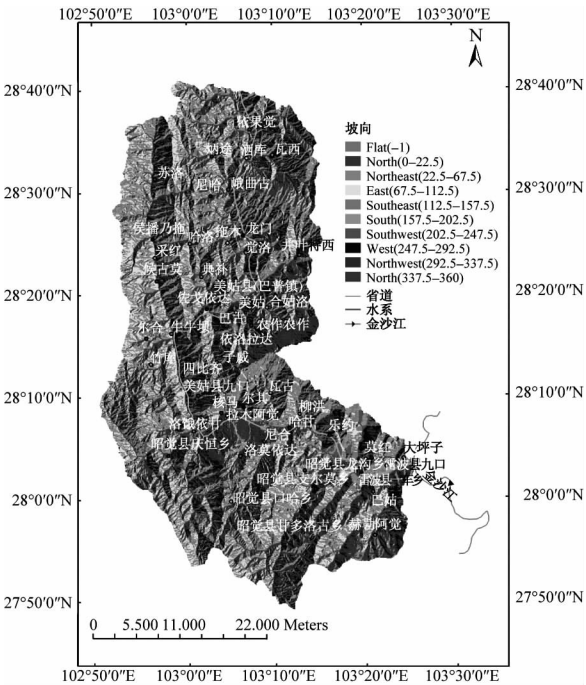


图 5 美姑河流域坡向图

Fig. 5 Slope aspect figure of Meigu River basin

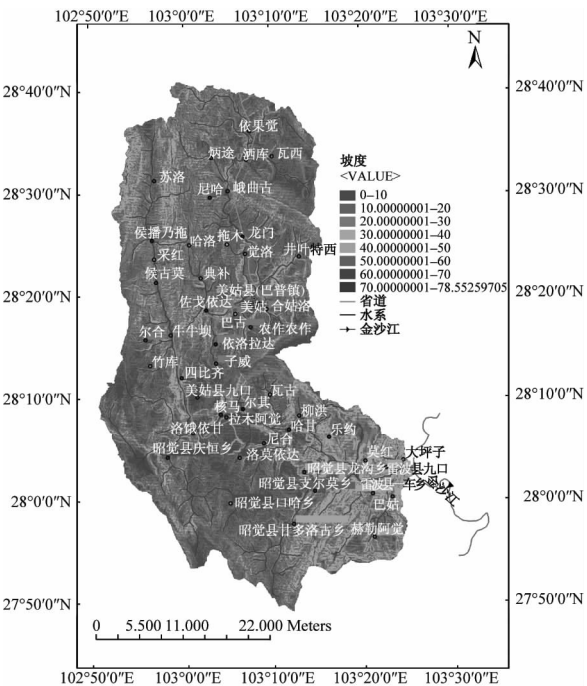


图 4 美姑河流域坡度图

Fig. 4 Slope figure of Meigu River basin

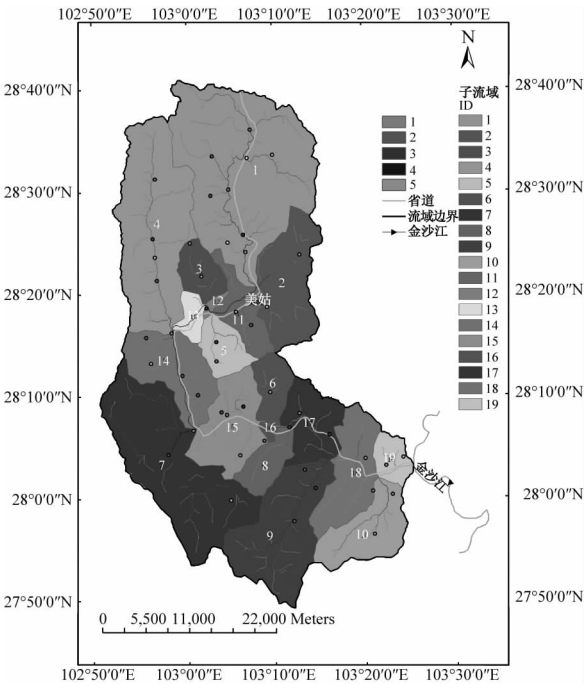


图 6 美姑河流域水系图

Fig. 6 Water system graph of Meigu River basin

由坡度图(图 4)和流域高差数据(表 1)可以看出,美姑河下游坡度和地势高差比上游大。美姑河流域的新构造应力场主压应力方向为 43°、两个剪切带方向分别为 73°和 347°^[8],美姑河流域主要构造线受南北构造控制,兼有北东向、北西向、北北西向及北北东向构造^[7],美姑河流域坡向分布规律(图 5)受流域的上述构造特征和断层分布(图 2)控制。

将流域的地貌形态特征参数分为了基础参数、导出参数和形状参数三类进行分析。

2.1 基础参数

(1)流域面积、周长、长度和高差

美姑河流域面积为 3234km²,流域周长 313.80km。划分的 10 个子流域中,1 号子流域面积最大为 638.21km²,6 号子流域面积最小为 65.41km²,1 号子流域周长最长为 121.38km,3 号子流域周长最短为 33.50km。流域长度为平行于主要河道线的最大流域长度。美姑河总流域的流域长度为 100.19km,子流域 4 的流域长度最长为 38.61km,子流域 2 的流域长度最短为 9.36km。美姑河流域总流域和各子流域的面积、周长、流域长度和高差测量数据见表 1。

(2)溪流等级(N_u)

河道的溪流等级决定河道在流域的树枝状水系结构中所处的层次位置。最小的指尖状支流,称为第一级河道。两个第一级河道汇合后组成的新的河道,称之为第二级河道。汇合了两个第二级河道的,称之为第三级河道。这样一直下去,把整个流域内的河道划分完为止。通过全流域的水量及泥沙量的河槽,称之为最高级河道。这些级别,不是简单的序列数,而且还表示它们之间水文性质的差别。由两条支流汇合而成的第三条河流绝不是两条支流的简单延续,而是发生了质的变化,第三条河流相对于前两条支流来说,在水文性质方面有一个大的飞跃。整个水系的级别以其最高的级别来命名,水系级别可反映河流尺寸、流量和排水面积大小。整个美姑河流域被分为了 5 级河道(图 6)。美姑河全流域及各子流域的河道分级及各级河道的溪流数目见表 1。

(3)溪流长度(L_u)

溪流长度是某一级河道所有溪流的总长度。通过 ArcGis 量算流域水系得出的美姑河全流域溪流长度为 880.70km,各子流域的每级河道溪流长度和子流域溪流总长度见表 1。

表 1 美姑河流域特征基础参数

Table 1 Basic parameters of Meigu River basin characteristics

流域编号	面积 $A(\text{km}^2)$	周长 $P(\text{km})$	长度 $L(\text{km})$	高差 $R(\text{km})$	溪流等级(N_u)					ΣN_u	溪流长度(km)(L_u)					ΣL_t
					N_1	N_2	N_3	N_4	N_5		L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	
1	638.21	121.38	35.57	2.16	30	7	1	-	-	38	105.75	47.93	39.53	-	-	193.21
2	202.08	69.95	9.36	2.11	9	3	1	-	-	13	28.51	22.91	3.79	-	-	55.20
3	67.34	33.50	12.02	1.03	4	1	-	-	-	5	6.54	12.04	-	-	-	18.58
4	409.67	103.21	38.61	2.29	17	2	1	-	-	20	50.49	39.55	2.54	-	-	92.58
5	71.96	36.24	11.70	1.67	3	1	-	-	-	4	10.10	9.77	-	-	-	19.87
6	65.41	34.71	12.56	2.42	4	1	-	-	-	5	9.19	9.27	-	-	-	18.45
7	445.51	114.88	14.42	1.95	20	6	3	1	-	30	54.70	42.49	16.95	7.43	-	121.58
8	68.92	38.38	12.97	2.01	2	1	-	-	-	3	10.87	4.21	-	-	-	15.08
9	281.03	82.55	26.36	3.34	15	3	1	-	-	19	39.95	12.14	23.60	-	-	75.69
10	148.14	57.07	18.87	3.41	6	2	1	-	-	9	13.80	13.12	8.56	-	-	35.48
总流域	3234.00	313.80	100.19	3.60	110	27	8	2	1	148	450.86	229.97	94.98	48.58	55.45	880.70

2.2 导出参数

(1)分岔比(R_b)

河道的分岔比是某一级河道的数目与比其高级河道的数目之比值,它可表示为:

$$R_b = N_u / N_{u+1} \tag{1}$$

式中: R_b ——分岔比;

N_u ——第 u 级河道的溪流数目;

N_{u+1} ——第 $u+1$ 级河道的溪流数目。

除强的地质条件起主要控制作用的区域外,在任何一个流域内,水系的平均分岔比接近于一个常数,一般为 3~5 之间。分岔比是控制径流的重要因素,通过降低分岔比可增加径流量^[14]。

美姑河全流域的平均分岔比为 3.36,各子流域的平均分叉比在 2.50 和 5.64 之间,子流域 1 相对于

其他子流域具有最大的分岔比(表2)。对整个美姑河流域进行分析,发现低溪流等级的河道数量多,并表现为高的分岔比,第一级和第二级溪流分岔比为4.07,而第二级和第三级溪流的分岔比为3.38,这些表明流域新构造运动活跃^[7]。

表2 美姑河流域特征导出参数

Table 2 Derived parameters of Meigu River basin

流域编号	分岔比 R_b	河长比 R_l	RHO 系数	河流频数 F_s	河网密度 D_d	流域地貌结构 T
1	5.64	0.64	0.11	0.06	0.30	0.31
2	3.00	0.48	0.16	0.06	0.27	0.19
3	4.00	1.84	0.46	0.07	0.28	0.15
4	5.25	0.42	0.08	0.05	0.23	0.19
5	3.00	0.97	0.32	0.06	0.28	0.11
6	4.00	1.01	0.25	0.08	0.28	0.14
7	2.78	0.54	0.19	0.07	0.27	0.26
8	2.00	0.39	0.20	0.04	0.22	0.08
9	4.00	1.12	0.28	0.07	0.27	0.23
10	2.50	0.80	0.32	0.06	0.24	0.16
总流域	3.36	0.64	0.19	0.05	0.27	0.47

(2) 河长比(R_l)

河道的河长比定义为某一级河道的长度与比其低一级河道的长度之比值,它可表示为:

$$R_l = L_u / L_{u-1} \quad (2)$$

式中: R_l ——河长比;

L_u ——第 u 级河道的溪流数目;

L_{u-1} ——第 $u-1$ 级河道的溪流数目。

美姑河全流域的平均河长比为0.64,各子流域的平均河长比在0.39和1.84之间(表2)。坡度和地形条件差异导致连续相邻溪流等级间的河长比值的不同,河长比与地表径流量和流域的侵蚀阶段有重要关系。

(3) RHO 系数

RHO 系数为河道的河长比与分岔比之间的比值:

$$RHO = R_l / R_b \quad (3)$$

式中: R_l ——河长比;

R_b ——分岔比。

流域的 RHO 系数值越大,在汛期洪水季节,流域的蓄水能力就越强,衰减高水位洪峰侵蚀作用的能力就越强^[15]。美姑河全流域的平均 RHO 系数为0.19,各子流域的 RHO 在0.08~0.46(表2)。

(4) 河流频数(F_s)

河流频数是流域各级河道的总数与流域面积的比值,即单位面积上的河道条数。

$$F_s = \sum N_u / A \quad (4)$$

式中: F_s ——河流频数;

$\sum N_u$ ——流域各级河道总数;

A ——流域面积。

河流频数与流域的渗透能力和地势有关。美姑河全流域的河流频数为 0.05km^{-2} ,各子流域的河流频数在 $0.04\text{km}^{-2} \sim 0.08\text{km}^{-2}$ (表2)。具有相对更高河流频数的子流域表明该流域具有相对更大的地势高差和更低的基岩渗透能力。

(5) 河网密度(D_d)

河网密度表征流域内河道之间的空间接近程度,也可量化地形的切割分解程度、潜在径流量和流域水流的汇流时间。河网密度为流域各级河道总长度与流域面积的比值,即单位面积上的河道长度:

$$D_d = \sum L_l / A \quad (5)$$

式中: D_d ——河网密度;

$\sum L_l$ ——流域各级河道总长度;

A ——流域面积。

已有研究表明^[7],润湿区域的河网密度在 $0.55\text{km}/\text{km}^2 \sim 2.09\text{km}/\text{km}^2$,平均密度为 $1.03\text{km}/\text{km}^2$ 。河流密度受控于气候、岩性、地势高差、渗透能力、植被覆盖、地表粗糙度和径流强度指数。渗透性强的地层、高密度的植被覆盖和地势平坦地区对应相对低的河网密度。渗透性弱、稀疏的植被覆盖和山区地形对应相对高的河网密度。低的河网密度对应粗糙的河流地貌结构,高的河网密度对应精细的河网地貌结构。美姑河全流域的平均河网密度为 $0.27\text{km}/\text{km}^2$,各子流域的河网密度在 $0.22 \sim 0.30\text{km}/\text{km}^2$ (表2)。

(6) 流域地貌结构(T)

流域地貌结构是流域内各级河道溪流数的总和与流域周长的比值:

$$T = \sum N_u / P \quad (6)$$

式中: T ——流域地貌结构;

$\sum N_u$ ——各级河道溪流数总和;

P ——为流域周长。

流域地貌结构是流域内的河网密度与河道频率的综合表现,也是植被、气候(降雨特征)、岩性、土质、地表、透水能力以及流域地貌发育阶段等因素的函数。在软弱岩层与没有植被覆盖的地区,一般形成细密结构的地形;在火成岩,或抗蚀能力较强的岩石区,则形成粗糙结构的地形;在干燥气候下,植被稀疏

的地形结构,要比同样岩性但属于温湿气候区的更为细密。在侵蚀轮回的最初阶段,地形结构一般是比较粗糙的;在壮年早期地形结构最为致密。

根据流域地貌结构值,将其分为 5 类^[7]:极粗糙结构(<2)、粗糙结构(2~4)、中等结构(4~6)、细密结构(6~8)、极细密结构(>8)。

全流域的流域地貌结构比为 0.47,各子流域的流域地貌结构比在 0.08~0.31(表 2)。地貌结构值较低,表明整个美姑河流域地形结构总体上比较粗糙,处于侵蚀循环的最初活跃阶段,因此美姑河流域水土流失、泥石流等灾害发育。

2.3 形状参数

(1) 伸长率(R_e)

伸长率是与流域有相同面积的圆直径与流域长度的比值:

$$R_e = 2 \sqrt{A/\pi}/L \tag{7}$$

式中: R_e ——伸长率;

A ——面积;

L ——长度。

一般情况下,流域外形与梨形接近,伸长率一般在 0(极度拉长)到 1(圆形)之间取值。特殊情况下,流域长度小于流域宽度,流域伸长率大于 1,伸长率大于 1 的量值越大,流域横向伸展越厉害、越扁。伸长率越接近 1,流域越接近圆形,圆形流域排泄径流的效率比伸长的流域更高。一般情况下,伸长率接近 1 的流域地势较为平坦,而伸长率在 0.6~0.8 之间的流域地势高差较大、地面坡度较陡。美姑河总流域的伸长率为 0.64,子流域 2 和 7 的伸长率分别为 1.71 和 1.65,表明子流域 2 和 7 流域宽度大于流域长度,其余子流域伸长率在 0.59 和 0.82 之间(表 3)。

表 3 美姑河流域特征形状参数

Table 3 Shape parameters of Meigu River basin

流域编号	伸长率 R_e	圆形度 R_c	形状系数 F_f
1	0.80	0.54	0.50
2	1.71	0.52	2.31
3	0.77	0.75	0.47
4	0.59	0.48	0.27
5	0.82	0.69	0.53
6	0.73	0.68	0.41
7	1.65	0.42	2.14
8	0.72	0.59	0.41
9	0.72	0.52	0.40
10	0.73	0.57	0.42
总流域	0.64	0.41	0.32

(2) 圆形度(R_c)

圆形度定义为流域面积与和流域具有相同周长的圆面积的比值:

$$R_c = 4\pi A/P^2 \tag{8}$$

式中: R_c ——圆形度;

P ——周长;

A ——面积。

圆形度指数的值在 0(线)到 1(圆)之间,值越大流域形状越圆。圆形度受流域的长度、溪流频数、地质结构、土地覆盖、气候、地势高差和坡度等的影响。圆形度对于表征流域地貌演化阶段具有重要意义,圆形度值的低、中、高分别表明流域各支流的生命周期处于青年、成熟和老年阶段^[7]。美姑河总流域的圆形度为 0.41,而各子流域的圆形度在 0.42~0.75(表 3)。

(3) 形状系数(F_f)

形状系数定义为流域面积与流域长度平方的比值:

$$F_f = A/L^2 \tag{9}$$

式中: F_f ——形状系数;

L ——长度;

A ——面积。

一般条件下,流域外形接近梨形,流域长度大于流域宽度,形状系数值一般小于 0.7854(圆形流域),值越小流域越伸长,高形状系数的流域具有短历时高洪峰流量的特征,低形状系数的伸长型流域具有长历时低洪峰流量的特征。美姑河流域总流域的形状系数为 0.32,子流域 2 和 7 的形状系数分别为 2.31 和 2.14,表明子流域 2 和 7 流域宽度大于流域长度,其余子流域形状系数取值在 0.27~0.53(表 3)。美姑河流域的形状系数为 0.32,表明美姑河流域受区域构造和断层控制,主要呈南北向伸展的狭长外形。

3 沟口公路小流域山洪危险性评价

根据参数特征和参数与潜在山洪危险性的关系,将美姑河流域特征参数分为三组。第一组参数为效益型评价指标,参数值越大,山洪危险性越大,包括流域面积、流域周长、流域长度、流域高差、河网级数、溪流总条数、河网总长度、河流频数、河网密度。第二组参数为成本型评价指标,参数值越大,山洪危险性越低,包括分岔比、河长比、 RHO 系数、圆形度。第三组参数为适度型指标,参数值靠近某值时,山洪危险性最低,参数值越远离该值,山洪危险性越大,包括伸长

率、形状系数。伸长率越接近 1,危险性越小。形状系数越接近 0.7854,危险性越小。

表 4 美姑河流域各子流域参数山洪危险性评分
Table 4 Hazard score for different subbasin parameters in Meigu River basin

流域 编号	流域 面积	流域 周长	流域 长度	流域 高差	河网 级数	溪流 总条数	河网 总长度	分岔比	河流 频数	河网 密度	河长 比	RHO 系数	圆形 度	伸长 率	形状 系数	总分 H
1	5	5	5	3	3	5	5	1	3	5	4	5	4	1	1	55
2	2	3	1	3	3	2	2	4	3	3.5	5	4	4	5	5	49.5
3	1	1	1	1	1	1	1	3	4	4	1	1	1	1	1	23
4	3	4	5	3	3	3	3	1	2	1.5	5	5	4	3	3	48.5
5	1	1	1	2	1	1	1	4	3	4	3	2	2	1	1	28
6	1	1	1	3	1	1	1	3	5	4	3	3	2	2	2	33
7	4	5	2	3	5	4	3	4	4	3.5	5	4	5	4	4	59.5
8	1	1	1	3	1	1	1	5	1	1	5	4	3	2	2	32
9	3	3	3	5	3	3	2	3	4	3.5	3	3	4	2	2	46.5
10	2	2	2	5	3	2	1	4	3	2	4	2	3	2	2	39

根据参数值导致山洪危险性的等级由低到高,将每个评价参数划分为五级,最低危险性赋值为 1,最高危险性赋值为 5。根据综合得分(表 4)对各小流域暴发山洪的危险性进行评价。各小流域暴发山洪的危险性由高到低为:子流域 7 > 子流域 1 > 子流域 2 > 子流域 4 > 子流域 9 > 子流域 10 > 子流域 6 > 子流域 8 > 子流域 5 > 子流域 3。

参考表 5 的小流域山洪危险性评价标准,流域 1、7 为高危险性小流域,流域 2、4、9、10 为中危险性小流域,流域 3、5、6、8 为低危险性小流域(图 7)。因此,对应处于高、中危险性小流域沟口的公路路段为汛期高危险路段,应采取相应的抗御山洪毁损公路的对策。

表 5 小流域山洪危险性分级标准

Table 5 Rank standard for small basin flash flood hazard			
危险性等级	低危险性	中危险性	高危险性
评价标准	$H \in [15, 35)$	$H \in [35, 55)$	$H \in [55, 75]$

4 结论

(1)应用建立的评价方法,得出了美姑河流域山洪高危险性、中危险性和低危险性小流域的分布图件,得出了研究区各小流域山洪危险性的相对大小。根据小流域山洪危险性分级标准,对研究区小流域山洪危险性等级进行了划分,山洪高危险性和中危险性小流域沟口处的公路路段为汛期高危险路段。

(2)由 DEM 数据,提取了流域水系、坡度和坡向基础图件,得出了美姑河流域的坡度和坡向分布规律,下游坡度和地势高差比上游大,坡向分布受流域

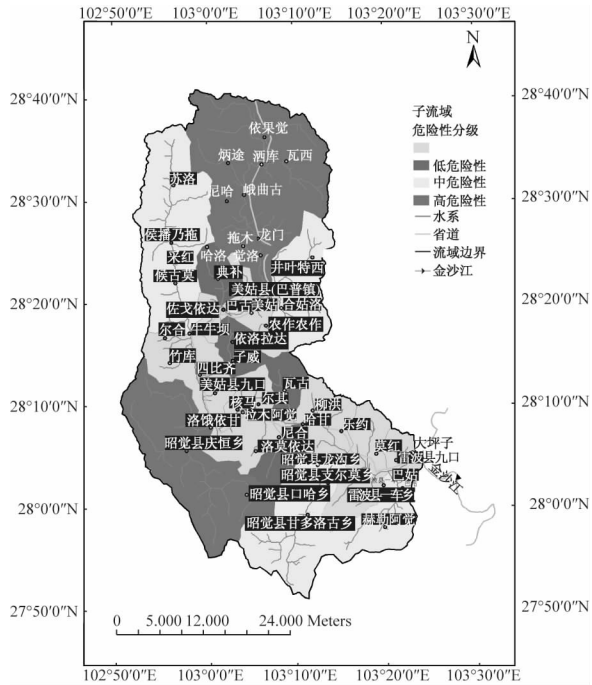


图 7 美姑河流域子流域山洪危险性分级

Fig. 7 Rank of flash flood hazard for subbasins in Meigu

的构造特征和断层分布控制。

(3)提取了美姑河流域及 10 个子流域的典型地貌参数,综合考虑提取的地貌量化参数与小流域山洪危险性的关系,分级量化了小流域山洪对沟口公路的危险性大小。

(4)美姑河全流域分岔比分析,发现低溪流等级的河道数量多,并表现为高的分岔比,表明美姑河流域新构造运动活跃。美姑河流域的形状系数为 0.32,表明美姑河流域受区域构造和断层控制,主要

呈南北向狭长外形。全流域地貌结构值为 0.47,表明整个流域地貌结构总体上比较粗糙,处于侵蚀循环的最初活跃阶段。地质条件复杂、新构造运动活跃、处于侵蚀循环的青年阶段,这些规律与美姑河流域水土流失、泥石流等灾害发育的实际情况相一致。

(5) 本文尝试将地貌学方法用于山区小流域沟口公路的山洪灾害危险性评价,将地貌学研究方法与公路地质灾害研究相结合,还有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 杨三强,郝培文,万战胜. G217 天山公路典型泥石流沟危险性评价研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(3): 26-28.
YANG Sanqiang, HAO Peiwen, WEN Zhansheng. Evaluation of hazard degree about typical debris flow on Tianshan highway[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(3): 26-28.
- [2] 刘海松,范敏,倪万魁,等. 灰色关联度法在公路地质灾害危险性评价中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(3): 32-34.
LIU Haisong, FAN Min, NI Wankui, et al. Application of the method of gray correlation in risk evaluation of highway geological hazard [J]. Hydrogeology and engineering geology, 2005, 32(3): 32-34.
- [3] 阳岳龙,何文勇,林剑. 贵州省三贵高速公路地质灾害危险度评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(4): 71-76.
YANG Yuelong, HE Wenyong, LIN Jian. Assessment on danger degree of geological hazards along the Sansui-Guiyang highway in Guizhou province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(4): 71-76.
- [4] Youssef A M, Pradhan B, Hassan A M. Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery [J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 62(3): 611-623.
- [5] 张会平,杨农,张岳桥,等. 岷江水系流域地貌特征及其构造指示意义[J]. 第四纪研究, 2006, 26(1): 126-135.
ZHANG Huiping, YANG Nong, ZHANG Yueqiao, et al. Geomorphology of the minjiang drainage system (Si Chuan, China) and Its structural implications [J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(1): 126-135.
- [6] Abdel-Lattif A, Sherief Y. Morphometric analysis and flash floods of wadi sudr and wadi warden, gulf of Suez, Egypt: using digital elevation model [J]. Arab J Geosci, 2010, DOI 10. 1007/s12517-010-0156-8.
- [7] Bali R, Agarwal K K, Nawaz Ali S, et al. Drainage morphometry of Himalayan glacio-fluvial basin, India: hydrologic and neotectonic implications [J]. Environmental Earth Sciences, 2011, DOI 10. 1007/s12665-011-1324-1.
- [8] Sreedevi P D, Owais S, Khan H H, et al. Morphometric Analysis of a Watershed of South India Using SRTM Data and GIS [J]. Journal Geological Society of India, 2009, 73: 543-552.
- [9] Magesh N S, Chandrasekar N, et al. Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: a GIS approach [J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 64(2): 373-381.
- [10] 四川美姑河水电开发有限公司. 流域概况 [Z]. <http://www.meiguhe.com/Project.asp>, 2012-2-1.
Sichuan Meigu River Hydropower CO. LTD. Basin situation [Z]. <http://www.meiguhe.com/Project.asp>, 2012-2-1.
- [11] 唐红梅,陈洪凯,金发均,等. 美姑河流域公路泥石流物源成因[J]. 山地学报, 2005, 23(6): 714-718.
TANG Hongmei, CHEN Hongkai, JIN Fajun, et al. Research on material sources of forming a debris flow along highways in the Meigu River basin. Journal of Mountain Science, 2005, 23(6): 714-718.
- [12] 攀西地质队. 美姑县牛牛坝泥石流调查报告 [R]. 2003.
Panxi Geological Team. Debris flow survey report for Niuniu Ba in Meigu county [R]. 2003.
- [13] 陈静. 暴雨导致我州公路严重损毁 [Z]. <http://www.lsglw.net/hynews/65.htm>, 2012-2-4.
CHEN Jing. Heavy rains caused state highway serious damaged [Z]. <http://www.lsglw.net/hynews/65.htm>, 2012-2-4.
- [14] Youssef A M, Pradhan B, Gaber A F D, et al. Geomorphological hazard analysis along the Egyptian Red Sea coast between Safage and Quseir [J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2009, 9: 751-766.
- [15] Mesa L M. Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucuman, Argentina) [J]. Environ Geol, 2006, 50: 1235-1242.

Flash flood hazard evaluation for highway at the outlet of small watershed ——taking highway along Meigu River in Liangshan district of Sichuan province as an example

CHEN Yuan-chuan, CHEN Hong-kai, TANG Hong-mei

(Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The flash flood hazard of highway at outlet of ten small watershed channels along Meigu River was evaluated. The high, medium and low hazard distribution map of flash flood for small watersheds was put forward. The sections of highway at the outlet of small watersheds with high and medium flash flood hazard are of high danger for flood season. Using the latest SRTM-DEM data, based on the GIS spatial analysis technology, the quantitative parameters of watershed geomorphology for Meigu River basin and its ten subbasins was extracted. Comprehensively considering the relationship between the quantitative parameters of geomorphology and flash flood hazard for subbasin, the hazard degree of outlet sections of highway for the subbasins was quantified and classified. Through analysis of river basin geomorphology parameters, the results show that the long and narrow, north to south stretched shape of Meigu River basin is controlled by regional tectonic and faults. And the Meigu River basin is in the state of active new tectonic movement and in juvenility stage of erosion cycle, which is consistent with the actual mass wasting and debris flow development situation of Meigu River basin.

Key words: highway engineering; hazard evaluation; morphometric analysis; small watershed; flash flood; Meigu River basin

敬告作者和读者

为适应我国科技信息化建设的需要。扩大作者、读者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》及《中文科技期刊数据库》。今后,本刊将作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如果作者不同意将文章编入上述数据库,请在投稿时声明,本刊将作适当处理。谢谢!

《中国地质灾害与防治学报》编辑部