

文章编号: 1008-2786-(2013)3-342-07

## G318 川藏公路段泥石流危险性评价

邹强<sup>1 2 3</sup> 崔鹏<sup>1\*</sup> 杨伟<sup>1 2</sup>

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所/中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室 四川 成都 610041;  
2. 中国科学院大学 北京 100049; 3. 西南科技大学环境与资源学院 四川 绵阳 621010)

**摘 要:** 以野外调查为基础,选取坡度、地表起伏度、岩石抗剪强度指标(内摩擦角与粘聚力)、距断裂距离、地震烈度、岩体风化程度、最大 24 h 降雨量、年平均气温、土地利用类型等 10 项指标作为基本判别因子,分析泥石流对影响因子的敏感程度。研究表明,G318 川藏公路最有利于泥石流发育的条件为:1. 坡度:  $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ; 2. 地表起伏度: 100~300 m; 3. 岩石抗剪强度指标: 内摩擦角  $< 35^{\circ}$  粘聚力  $< 25$  MPa; 4. 岩体风化程度:  $> 0.4$ ; 5. 距断层距离: 0~10 km; 6. 地震烈度: 大于Ⅶ度; 7. 土地利用: 荒漠草原、冰川、裸岩砾石、坡草地; 8. 年平均气温:  $< 8^{\circ}$  与  $10^{\circ} \sim 12^{\circ}$ ; 9. 最大 24 h 降雨量:  $> 40$  mm。结合 GIS 与信息量模型分析 G318 川藏公路段沿线泥石流危险性,研究结果表明:公路大部分路段处于中度、高度与极高度危险区,三者面积之和占总面积的 71.99%,范围较大,主要分布在大渡河、金沙江、澜沧江、怒江、帕隆藏布江等大江大河的深切峡谷区;基本无危险区范围较小,主要位于成都平原和高原面路段,仅占总面积的 4.21%。研究成果与实际灾情吻合,可为川藏公路泥石流风险评估及新路选线提供科学依据。

**关键词:** 川藏公路; 泥石流; 危险性; 信息量法

**中图分类号:** P642.23

**文献标志码:** A

受青藏高原隆升的影响,川藏公路沿线地形起伏显著,地质条件复杂,各种内外营力作用非常活跃,泥石流形成所需的地质构造、松散物源、降水等条件非常容易满足,使得川藏公路成为我国泥石流灾害最为严重的交通干线之一。1953 年 9 月,古乡沟暴发泥石流,堆积扇面积达  $5.1 \text{ km}^2$ ,总堆积方量达  $2 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,暴发前后影响公路运行近 30 a<sup>[1]</sup>。1985 年,波密地区的培龙沟泥石流,使 80 辆满载货物的汽车全部被淤埋,数人死亡,中断交通长达 7 个月之久,经济损失上亿元<sup>[2]</sup>。1988 年 7 月,米堆沟发生的泥石流,造成川藏公路严重被毁,交通中断半年之久,损失巨大<sup>[3]</sup>。

泥石流危险性评价是泥石流灾情评估工作的核

心内容之一,对泥石流灾害风险分析与防治规划具有重要意义。自 20 世纪 70 年代日本学者提出“泥石流发生危险度的判定”以来<sup>[4]</sup>,国内外学者对泥石流危险性开展了广泛深入的研究。日本高桥堡等基于连续流方程建立了泥石流危险范围的预测模型<sup>[5]</sup>;通过分析地形数据与航空影像,美国 Smith 认为暴雨泥石流易发生在山坡坡度  $> 20^{\circ}$  的区域<sup>[6]</sup>; Hollingsworth 和 Kovacs 采用专家打分方法,提出了泥石流危险性的评价框架<sup>[7]</sup>; Arora 等利用神经网络模型对喜马拉雅山区巴吉拉蒂河流域的滑坡危险性进行了分析<sup>[8]</sup>; Lin 等结合 GIS 技术开展了中国台湾 Chi-Chi 地震造成的潜在滑坡危险性评价<sup>[9]</sup>。国内学者谭炳炎于 1986 年对泥石流沟严重程度进

收稿日期(Received date): 2012-12-10; 改回日期(Accepted): 2013-02-04。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金重点基金项目(41030742),国家基础研究重点计划(973)项目(2011CB409902),中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(Y3R2440440)。[This research is supported by the Key Project of National Natural Science Foundation of China (Grant No. 41030742), the National Program on Key Basic Research Project (973 Program) (Grant No. 2011CB409902), “Western Light” Talents Training program of CAS (Grant No. Y3R2440440).]

作者简介(Biography): 邹强(1982-),男,讲师,主要从事山地灾害与 GIS 研究。[Qiang Zou (1982-), male, instructor, major in mountain hazards and GIS.] E-mail: zouqiang@swust.edu.cn

\* 通信作者(Corresponding author): 崔鹏(1957-): 博士,研究员,研究方向: 自然地理、山地灾害和水土保持。[Peng Cui (1957-): Ph.D., professor, specialized in physical geography, mountain hazards, water and soil conservation.] E-mail: pengcui@imde.ac.cn

行了量化评判研究<sup>[10]</sup>;刘希林等人分别从单沟与区域两个层面提出了泥石流危险性多因子综合评价方法<sup>[11]</sup>;韦方强、胡凯衡等基于泥石流运动过程模拟提出了基于动量的泥石流危险性分区方法<sup>[12]</sup>。

随着GIS信息技术、数学方法的深入研究和发 展,泥石流危险性研究已经发展到定量、多因子综合评价的阶段,但由于缺乏统一的方法标准与应用规范,不同模型与方法在不同的应用环境很难得到普适性的结论<sup>[13]</sup>。鉴于泥石流的复杂性,危险性评价关键在于根据不同的评估目的和空间尺度,探索高效可靠的评价方法。基于GIS技术的信息量法具有定量、快速、准确等特点,在地质灾害危险性评价中具有较好的应用效果<sup>[14-16]</sup>。本文在泥石流灾害实地考察的基础上,结合地貌、地层岩性、地质构造、地震、外动力地质作用、气象水文条件、人类活动等影响因素,对G318川藏公路段泥石流危险性进行分析,探讨了基于GIS和信息量模型的公路沿线泥石流危险性评价与分区方法。

## 2 研究区域概况

川藏公路东起四川成都,西止西藏拉萨,有南、北线之分,南线全长2 155 km,属G318线的一部分;北线全长2 414 km,是G317线的一部分,是连接西藏与西南地区其他城市的主要交通命脉。川藏公路南线所经区域地势西高东低,山高谷深,地形十分陡峻,穿越横断山、念青唐古拉山、喜马拉雅山三大山系,横跨长江、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江四大水系<sup>[17]</sup>。公路沿线地层较复杂,从上元古界震旦系到新生界第四系均有分布,全线地质构造活动强烈,空间展布东西差异明显。东部地区北东向构造带主要以龙门山断裂带为主;中部地区近南北向构造带以横断山褶皱带为主,主要包括“三江断裂”<sup>[18]</sup>——金沙江断裂带、澜沧江大断裂带、怒江大断裂带,对公路沿线的地貌格局起着主要的控制作用;中西部地区为中段南北向构造与西段东西向构造的过渡区域,断裂、褶皱及花岗岩体呈北北西向展布;西部地区的断裂及褶皱呈东西向展布,为雅鲁藏布江断裂与三江断裂之间的缓冲地带。由于地表相对高度变幅大,加之受季风环流影响,气候差异明显。二郎山以东为中亚热带季风湿润气候,东南部暖湿气流受二郎山阻挡,凝结为云雾,降雨充沛。二郎山以西为青藏高原高寒大陆气候区,大部分地区空气稀薄、气

温低、温差大,降雨相对集中于5—9月。但雅鲁藏布江大峡谷附近地区,印度洋暖湿气流沿峡谷北进,与西北方寒冷气流相遇,气候温暖潮湿,降雨量相对较大。

## 3 公路沿线泥石流危险性评价方法

### 3.1 评估指标选取

川藏公路跨越不同的地貌单元,沿线岩性出露广泛,地质构造活动强烈,气象水文条件非常复杂。在充分对比地质地貌气象水文条件的基础上,选取地貌、地层岩性、地质构造、地震、外动力地质作用、气象水文条件、人类活动等7类因素作为川藏公路沿线泥石流危险性评价的一级评价指标。

G318川藏公路线路较长,地貌条件中坡度及地表起伏度不仅是控制斜坡稳定性的最重要的因素,而且山坡坡度的陡缓直接影响泥石流发育的松散碎屑物的分布和聚集。公路沿线岩石出露广泛且复杂,岩石的类型、软硬程度以及层间结构决定岩体的力学性质和抗风化能力,进而影响坡体的稳定性和地表侵蚀的难易程度。川藏公路断裂构造非常发育,距离断裂越近,公路工程场地受到活动构造的切割程度,断裂密度越大,场地受到构造的切割与扰动越大,影响着工程的稳定性。地震烈度反映了地震对工程场地造成的实际影响,表明了地表在地震下的破坏程度及对地壳稳定性的影响程度,地震烈度越大,受到地震的破坏越强烈,地壳稳定性越差。降雨尤其是局地性短历时的暴雨,是泥石流的激发因素,中尺度到大尺度的长历时强降雨过程,往往导致大面积群发性滑坡泥石流<sup>[19]</sup>。气温变化不仅影响岩石风化程度,而且对高寒地区冰雪冻融均有影响,间接促使泥石流的形成。土地利用类型反映地表覆被变化情况,也从一定程度上反映人类活动对泥石流形成的影响。因此,为了全面分析川藏公路全线泥石流危险性,进一步表征一级评价指标,选取坡度、地表起伏度、岩石抗剪强度指标(内摩擦角与粘聚力)、距断层距离、地震烈度、岩层风化程度、最大24 h降雨量、年平均气温、土地利用类型等10项指标作为二级评价因子(图1)。

### 3.2 GIS与信息量模型的评价方法

信息量法是通过现有信息,把区域稳定性的各种影响因素的实测值转化为反映区域稳定性的信息量,表征影响因素对研究对象的“贡献”大小,进而

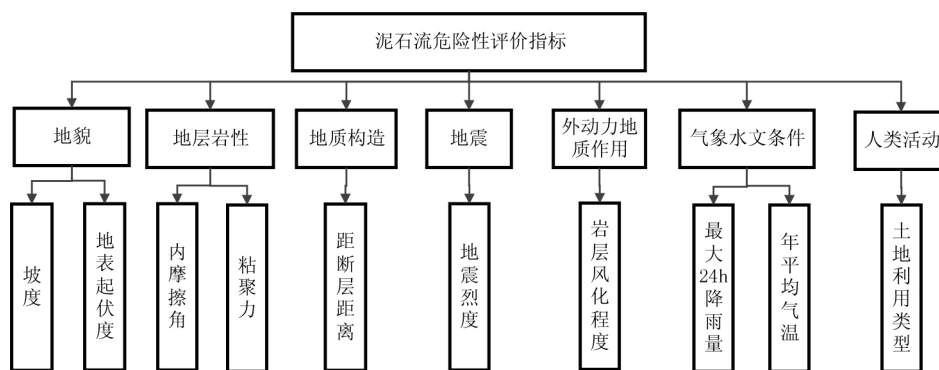


图1 泥石流危险性评价指标体系

Fig. 1 Hazard assessment indicators of debris flow

评价研究对象的稳定程度<sup>[15-16]</sup>。信息预测是用信息量来衡量的<sup>[16-20]</sup>,即

$$I(Y|x_1x_2\cdots x_n) = \ln \frac{P(Y|x_1x_2\cdots x_n)}{P(Y)} \quad (1)$$

根据条件概率运算,式(1)可进一步写成

$$I(Y|x_1x_2\cdots x_n) = I(Y|x_1) + I_{x_1}(Y|x_2) + \cdots + I_{x_1x_2\cdots x_{n-1}}(Y|x_n) \quad (2)$$

式中  $I(Y|x_1x_2\cdots x_n)$  为因素组合  $x_1x_2\cdots x_n$  对泥石流灾害提供的信息量,  $P(Y|x_1x_2\cdots x_n)$  为因素  $x_1x_2\cdots x_n$  组合条件下泥石流发生的概率,  $P(Y)$  为泥石流发生的概率,  $I_{x_1}(Y|x_2)$  为因素  $x_1$  存在时,因素  $x_2$  对泥石流提供的信息量。

众所周知,制约和影响泥石流发生的环境因子较多且各种环境因子所起作用的大小、性质是有差异的,故采用简化的单因素信息量方法来评价泥石流危险性。信息量模型可表示为

$$I = \sum_{i=1}^n I(y|x_i) = \sum_{i=1}^n \ln \left[ \frac{A_i/A}{S_i/S} \right] \quad (3)$$

式中  $I$  为研究区评价单元总的信息量值,  $n$  为参评因子数,  $I(y|x_i)$  为泥石流发生条件下出现  $x_i$  的概率,  $S$  为研究区评价单元总面积,  $A$  为研究区含有泥石流的单元总面积,  $S_i$  为研究区内含有评价因素  $x_i$  的单元面积之和,  $A_i$  为分布在因素  $x_i$  内特定类别内的泥石流单元面积之和。

在 GIS 技术支持下,泥石流危险性评价可归纳为如下步骤: 1. 单独计算各因素对泥石流发生提供的信息量; 2. 计算单个评价单元的总信息量; 3. 用总信息量作为判别泥石流发生的综合指标,其值越大越有利于泥石流的发生,泥石流危险度越高; 4. 对全部单元的信息量值划分不同危险等级,完成泥石流危险性评价与分区。一般情况,泥石流危险性分析过程中研究区采用相同大小的栅格评价单元,因此,

式(3)中的单元面积计算可以转化为单元个数计算。

## 4 泥石流危险性评价

### 4.1 数据来源

充分考虑资料的可获取性、研究区域尺度以及评价精度的要求,利用研究区 1:5 万 DEM 数据,结合 ArcGIS 平台中 surface 分析工具提取坡度和地表起伏度;采用 1:25 万地质图提取研究区的地层、岩性、断裂等地质信息;岩石的内摩擦角与粘聚力是依据地层岩性特征以及岩石力学参数手册<sup>[21]</sup>中岩石抗剪强度指标值确定的;岩体的风化程度主要根据地层年代、岩性以及岩体碎裂程度来划分,本文将岩层出露时间长且岩块节理裂隙较发育划为强风化,岩层出露时间较短且岩块裂隙发育微弱划为弱风化,而地层出露完整且广泛、没有岩浆侵入活动、且节理裂隙发育不强定为中等风化;地震烈度值是根据 1990 年的中国地震烈度区划图获取;最大 24 h 降雨量与年平均气温数据均由公路沿线气象站点数据利用空间插值方法获得;研究区内土地利用类型是依据 2000 年的 1 km × 1 km 土地利用数据获得,共分为:常绿林、灌丛、稀树林、坡草地、平原草地、荒漠草原、河流湖泊、冰川、裸岩砾石、城镇用地、农田等 11 类。在野外考察的基础上,标出各个泥石流分布位置(图 2),整理公路沿线泥石流的空间与属性信息,并在此基础上开展进一步的研究工作。

### 4.2 指标分级与信息量计算

指标分级旨在建立评价因子的主次关系,次级指标是对上一级指标的进一步细化。根据野外调查分析,结合研究区的孕灾环境条件,本文将评价因子

的分级指标作为信息量计算的判别指标。利用 GIS 软件,首先获取每个判别指标的面积,然后依据上述信息量计算方法,获得各个指标段上的信息量。各评价因子的分级与信息量值如表 1 所示。

由表 1 中的信息量值可以看出:

1. 随着坡度的增加,泥石流发生的概率有明显的分段性。以 20°与 35°为分界线,在 <20°与 >35°坡度范围内,信息量值为负,说明在这个范围内,泥石流不易发生。在 20°~35°之间的坡度范围内,信息量值为正,泥石流发生概率较大,尤其在 25°~30°的坡度范围,信息量值最大,最易发生泥石流。
2. 随着地表起伏度的增加,信息量值由负转为

正值,然后转为负值,说明在 100~300 m 的地表起伏度范围,易引发泥石流灾害的可能性较大。

3. 随着岩石的抗剪强度指标(内摩擦角与粘聚力)值的增加,信息值基本呈现减小趋势,说明内摩擦角与粘聚力的增大,泥石流的发生可能性减小。
4. 随着外动力地质作用指标岩体风化程度的加剧,信息值增加,风化程度愈大,泥石流愈易发生。
5. 在距断层距离 0~10 km,信息量值最大,断裂破碎带为泥石流提供较为丰富的固体物质条件,泥石流发生概率也最大,因此,在此地段泥石流较多。在距断层距离 >10 km 范围,信息量值为负,泥石流不易发生。

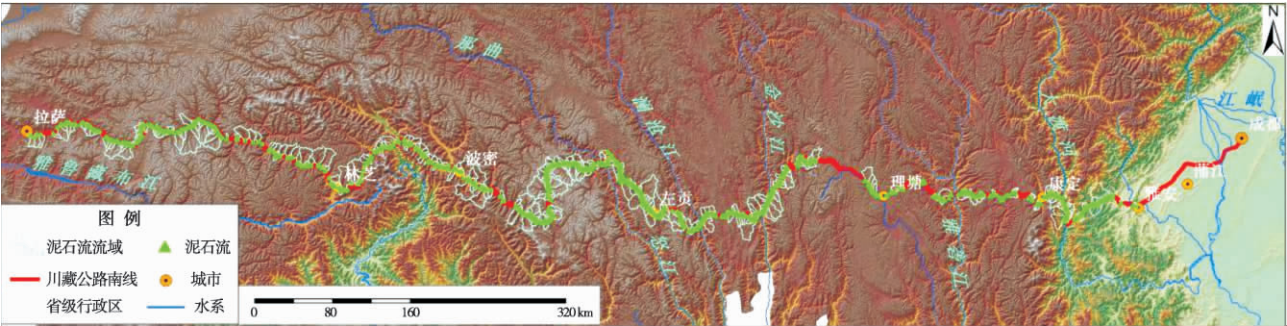


图 2 G318 川藏公路段泥石流分布

Fig. 2 Distribution of debris flows along G318 Sichuan - Tibet Highway

表 1 评价因子的分级与信息量值

Table 1 Gradation and information values of different evaluation factors

因子	因子分级类别	信息量值	因子	因子分级类别	信息量值	因子	因子分级类别	信息量值
坡度	0°~10°	-4.132 8	粘聚力	<20 MPa	0.016 5	距断层距离	0~5 km	1.879 4
	5°~10°	-3.414 2		20~25 MPa	0.488 9		5~10 km	0.605 2
	10°~15°	-1.782 1		≥25 MPa	-0.195 9		10~15 km	-1.031 7
	15°~20°	-0.324 3	土地利用类型	常绿林	-0.001 9		15~20 km	-2.208 8
	20°~25°	0.685 5		灌丛	-2.492 4		20~25 km	-2.314 8
	25°~30°	1.026 0		稀树林	0		25~30 km	-1.668 6
	30°~35°	0.857 4		坡草地	0.029 4		30~35 km	-1.536 2
	35°~40°	-0.129 1		平原草地	-0.108 3		35~40 km	-1.502 2
	40°~45°	-1.589 6		荒漠草原	0.489 6	地震烈度	>40 km	-0.558 6
地表起伏度	>45°	-3.591 4	最大 24 h 降雨量	河流湖泊	-0.770 2		<Ⅵ度	0
	<100 m	-0.452 9		冰川	0.504 8		Ⅵ度	-0.494 0
	100~200 m	0.558 1		裸岩、砾石	0.334 0		Ⅶ度	0.130 0
	200~300 m	0.048 3		城镇用地	0		Ⅷ度	0.024 6
	300~400 m	-0.756 6		农田	-1.765 5		Ⅸ度	0.143 5
	400~500 m	-0.691 4		x<20 mm	0.962 6	风化程度	<0.4	-1.128 9
内摩擦角	≥500 m	-1.285 4	最大 24 h 降雨量	20~40 mm	-0.130 5		0.4~0.8	0.129 4
	x<35°	0.919 7		40~60 mm	0.006 6		≥0.8	0.168 4
	35°~40°	0		60~80 mm	0.554 1	年平均气温	<8°	0.116 3
	40°~45°	-1.460 7		80~100 mm	1.125 9		8°~10°	-0.108 2
	45°~50°	0.074 8		>100 mm	0.091 7		10°~12°	0.280 4
	≥50°	-0.228 6					≥12°	-1.005 9



6. 随着地震烈度值最大,信息量由负转为正值,且有最大的趋势,说明随着地震烈度的最大,泥石流发生的概率也随之最大,较易引发泥石流。

7. 在荒漠草原、冰川、裸岩砾石、坡草地等土地利用类型上信息量值为正,没有茂密植被根护作用,在温差、降雨等因素的作用下,泥石流发生概率大。而在常绿林、灌丛、平原草地、河流湖泊、农田等土地利用类型上信息量值为负,这是由于林木根护作用,且农田、平原区、坡度较缓,不利于引发泥石流。

8. 公路沿线年平均气温在  $<8^{\circ}$  与  $10^{\circ} \sim 12^{\circ}$  的区间信息量值为正,说明此温度范围泥石流暴发可能性较大。

9. 随着 24 h 降雨量的增加,信息量值基本呈现增大趋势,说明随着雨量的增大,泥石流暴发可能性逐渐增大。

4.3 危险性评价与分析

依据泥石流各影响因素的单因子信息量图层,运用 GIS 软件的空间分析功能,叠加运算各个因子分析结果,获取多因素的综合信息量化图。通过叠合泥石流流域位置,公路线的缓冲区分析表明,91.5%的泥石流流域分布在公路两侧 10 km 范围内,因此,本文选取公路两侧 10 km 的范围作为泥石流危险性评价区域。进而,根据研究区实际地形和影像资料情况, GIS 数据处理以栅格形式进行,将每个栅格大小为  $25\text{ m} \times 25\text{ m}$ 。根据上述泥石流危险性评价方法,应用 GIS 的地图代数功能,进行栅格数值计算,获得整个研究区域的综合信息量,量值范围为  $(-34.0 \sim 8.043\ 1)$ 。每个网格值代表了各因素及其状态对泥石流灾害影响程度的信息量值,信息量的数值越大,反映各因素对泥石流发生的贡献率越大,发生泥石流的危险性越大。利用统计学中常用的自然断点法(natural break)将泥石流危险性指数进行重新分类,划分为 5 级:基本无危险区

( $-34.0 \sim -21.514\ 0$ )、轻度危险区( $-21.514\ 0 \sim -2.920\ 2$ )、中度危险区( $-2.920\ 2 \sim 0.047\ 8$ )、高度危险区( $0.0478 \sim 1.443\ 2$ )以及极高度危险区( $1.443\ 2 \sim 8.043\ 1$ ) (图 3)。通过统计各等级区域面积,结果见表 2。

表 2 泥石流危险区统计结果及泥石流数量分布  
Table 2 Results of different hazard zones ,percentages and amount of debris flows

危险等级	面积/km <sup>2</sup>	占总面积百分比/%	泥石流数量
基本无危险区	1 472.14	4.21	1
轻度危险区	8 314.39	23.79	72
中度危险区	13 933.43	39.88	268
高度危险区	5 326.49	15.24	338
极高度危险区	5 896.28	16.87	255

从以上结果可以看出,研究区域大部分处于中度危险区以上,中度、高度、极高度危险区三者面积之和占研究区总面积的 71.99%,其中,极高度危险区面积占到总面积的 16.87%,范围较大;基本无危险区范围较小,为  $1\ 472.14\text{ km}^2$ ,占总面积的 4.21%。

从危险性评价结果图上可以发现,研究区的泥石流危险性分布具有一定的特征:从地貌单元看,泥石流在大渡河、澜沧江、金沙江、怒江、帕隆藏布江等大江大河的深切峡谷区危险性高,而成都平原及高原面上灾害危险性低;从公路分段看,二郎山-泸定-康定-莫多乡-芒康-左贡-八宿-帕隆藏布段泥石流危险性最高,康定-高尔寺山东侧、理塘-莫多乡、八宿-然乌、排龙-色季拉山东侧、工布江达-墨竹工卡-达孜段泥石流危险性较高,雅安-天全-二郎山、高尔寺山西侧-理塘、色季拉山西侧-工布江达东侧、达孜-拉萨段泥石流危险性为中等,成

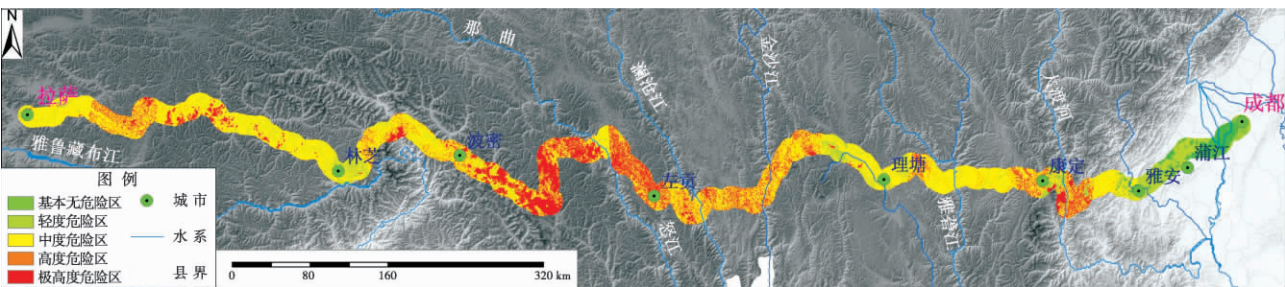


图 3 G318 川藏公路段泥石流危险性分区图

Fig.3 Hazard zonation map of debris flows along G318 Sichuan-Tibet Highway

都-浦江-雅安段、林芝-工布江达段泥石流危险性较低。

对比分析泥石流野外考察和遥感解译资料,评价结果中的中度、高度和极高度危险区内分布 92.18% 的已知泥石流,说明评价结果与川藏公路泥石流分布比较一致。

## 5 结论

本文基于 GIS 与信息量分析法,完成 G318 川藏公路段泥石流的危险性评价。结果表明,公路沿线域大部分区域处于中度危险以上,中度、高度、极高度危险区三者面积占研究区总面积的 71.99%,其中,极高度危险区面积占总面积的 16.87%,分布范围较大,在公路修复和规划重建中应注意这些路段泥石流发生的可能性;基本无危险区范围较小,为 1 472.14 km<sup>2</sup>,占总面积的 4.21%;在分布特征上,极高度危险区和高度危险主要分布在大渡河、金沙江、澜沧江、怒江、帕隆藏布江等大江大河的深切峡谷区,而成都平原及高原面路段处于轻度危险区及以下。研究成果与实情吻合较好,可为川藏公路泥石流风险评估及新路选线提供科学依据。

## 参考文献(References)

- [1] You Yong, Cheng Zunlan, Hu Pinghua, et al. A study on model testing of debris flow in Guxiang Gully, Tibet [J]. Journal of Natural Disasters, 1997, 6(1): 52-58 [游勇,程尊兰,胡平华,等. 西藏古乡沟泥石流模型试验研究[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(1): 52-58]
- [2] Zhu Pingyi, Cheng Zunlan, You Yong. Research on causes of river blocking by sediment delivery of Peilonggou Gully debris now in the Sichuan-Xizang Highway [J]. Journal of Natural Disasters, 2000, 9(1): 80-83 [朱平一,程尊兰,游勇. 川藏公路培龙沟泥石流输砂堵江成因探讨[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(1): 80-83]
- [3] Li Deji, You Yong. Bursting of the Midui Moraine Lake in Bomi, Xizang [J]. Journal of Mountain Research, 1992, 10(4): 219-2240 [李德基,游勇. 西藏波密堆冰湖溃决浅议[J]. 山地研究(现山地学报), 1992, 10(4): 219-2240]
- [4] Katsuji Adachi, Kunio Tokuyama, Akito Nakasuji, et al. Study on Judgment of outbreak ability of debris flow [J]. SHIN-SABO, 1977, 33(4): 7-16 [足立胜治,德山久仁夫,中筋章人,等. 土石流发生危险度の判定にフヤテ [J]. 新砂防, 1977, 30(3): 7-16]
- [5] Tamotsu Takahashi, Nakagaw Hajime, Hiroaki Sato. Hazard assessment of debris flow alluvial fan [J]. Annuals, DPRI, 1988, 31(B-2): 655-676 [高桥堡,中川一,佐藤宏章. 扇状地ごちける图砂泛滥灾害危险度の评价[J]. 京都大学防灾研究所年报, 1988, 31(B-2): 655-676]
- [6] Smith, T. C. A method for mapping relative susceptibility to debris flows, with an example from San Mateo County, California [G]//Eilen, S. D., Wieczorek, G. F. Landslides, floods, and marine effects of the storm of January 3-5, 1982 in San Francisco Bay Region, California. US Geological Survey Professional Paper 1434, 1988: 185-194
- [7] Hollingsworth R, Kovacs G. S. Soil slumps and debris flows: prediction and protection [J]. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 1981, 18(1): 17-28
- [8] Arora M. K., DasGupta A. S., Gupta R. P. An artificial neural network approach for landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(3): 559-572
- [9] Lin M. L., Tung C. C. A GIS-based potential analysis of the landslides induced by the Chi-Chi earthquake [J]. Engineering Geology, 2003, 71(1-2): 63-77
- [10] Tan Bingyan. Quantitative determination on severity of debris flow gully [J]. Journal of Railway Engineering Society, 1986, (1): 45-52 [谭炳炎. 泥石流沟严重程度的数量化综合评判[J]. 铁道工程学报, 1986, (1): 45-52]
- [11] Liu Xilin. Determination on debris flow hazard [J]. Journal of Catastrophology, 1988, 3(3): 10-15 [刘希林. 泥石流危险度判定的研究[J]. 灾害学, 1988, 3(3): 10-15]
- [12] Wei F. Q., Hu K. H., Lopez J. L., et al. Method and its application of the momentum model for debris flow risk zoning [J]. Chinese Science, 2003, 48(3): 298-301
- [13] Cascini L. Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales [J]. Engineering Geology, 2008, 102(3/4): 164-177
- [14] Zhuang Jianqi, Cui Peng, Ge Yonggang, et al. Risk assessment of collapses and landslides caused by "5.12" Wenchuan earthquake—a case study of Dujiangyan-Wenchuan highway [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(Suppl. 2): 3735-3742 [庄建琦,崔鹏,葛永刚,等. "5.12"汶川地震崩塌滑坡危险性评价——以都汶公路沿线为例[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(增2): 3735-3742]
- [15] Ruan Shenyong, Huang Runqiu. Application of GIS-based information model on assessment of geological hazards risk [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28(1): 89-92 [阮沈勇,黄润秋. 基于GIS的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工大学学报, 2001, 28(1): 89-92]
- [16] Gao Kechang, Cui Peng, Zhao Chunyong, et al. Landslide hazard evaluation of Wanzhou based on GIS information value method in the Three Gorges Reservoir [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(5): 991-996 [高克昌,崔鹏,赵纯勇,等. 基于地理信息系统和信息量模型的滑坡危险性评价——以重庆万州为例[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 991-996]
- [17] Cui Jianheng. Pondering upon the geological environment along the Sichuan-Tibet highway and plan of hazards controlling [J]. Journal of Engineering Geology, 2003, 11(1): 100-104 [崔建恒. 川

- 藏公路地质环境与整治改建方案的思考[J]. 工程地质学报, 2003, 11(1): 100–104]
- [18] Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Chinese Academy of Science, Traffic Science Institute of Tibet Autonomous Region. Mountain hazard and its prevention measures of Sichuan–Tibet highway in Tibet Autonomous Region [M]. Beijing: Science Publications, 1995. [中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 西藏自治区交通科学研究所. 川藏公路南线(西藏境内)山地灾害及防治对策[M]. 北京: 科学出版社, 1995.]
- [19] Zou Qiang, Cui Peng, Zhang Jianqiang, et al. Quantitative evaluation for susceptibility of debris flow in upper Yangtze River Basin [J]. Environmental Science & Technology, 2012, 35(3): 159–163 [邹强, 崔鹏, 张建强, 等. 长江上游地区泥石流灾害敏感性量化评价研究[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(3): 159–163]
- [20] Aldo C, Susanna P, Claudio T, et al. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method [J]. Geomorphology, 2002, 48: 349–364
- [21] Ye Jinhan. Handbook of rock mechanics parameters [M]. Beijing: China Water Power Press, 1991. [叶金汉. 岩石力学参数手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.]

## Hazard Assessment of Debris Flows along G318 Sichuan–Tibet Highway

ZOU Qiang<sup>1 2 3</sup>, CUI Peng<sup>1\*</sup>, YANG Wei<sup>1 2</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment / Key lab. of Mountain Hazards and Earth Surface Process, CAS, Chengdu 610041, China;  
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Environmental and Resource, SWUST, Mianyang 621010, China)

**Abstract:** This article analyzes the susceptibility of debris flows along G318 Sichuan–Tibet highway, and the results show the favorable geological and geomorphological conditions for debris flow occurrence, which includes: 1. hill slopes from 20° to 35° 2. relative elevation between 100 m and 300 m 3. for rocks' shear strength indexes, angle of internal friction is lower than 35° and cohesive force is below 25 MPa 4. weathering degree of rock stratum should be above 0.4 5. the distances to faults within 10 km 6. the earthquake magnitude is above 7.0 7. land use types including desert steppe, glacier area, bare rock land, and slope grassland 8. annual mean temperature is located below 8° and between 10° and 12° 9. maximum daily rainfall is larger than 40 mm. Through adopting information acquisition analysis method for the above selected factors, the hazard degree of debris flow was evaluated, and debris-flow hazard mapping of Sichuan–Tibet highway was completed with support of GIS technique. The proposed method divides the hazard degree along the highway into 5 levels: very low, low, medium, high and very high. The high hazardous areas along G318 Sichuan–Tibet highway are mainly located in the medium, high, very high levels, which account for 71.99% of the whole highway area. They are located in the canyon area of Dadu River, Jinsha River, Lanchang River, Nu River and Palongzangbu River. Referring to these areas, the debris-flow prevention project should be strengthened in road construction and land designing. While the very low hazardous areas are relatively small, accounting for only 4.21%, which are located in the sections of Chengdu plain area and Tibetan plateau area. The analyzed results above are consistent with results from the actual debris flows situation along Sichuan–Tibet highway. Thus, this hazard evaluation results are suitable for providing debris flow risk analysis and line selection for new road.

**Key words:** Sichuan–Tibet highway; debris flow; hazard assessment; information acquisition analysis