

# 都汶公路沿线泥石流危险性评价

韩用顺<sup>1</sup> 黄 鹏<sup>1</sup> 朱颖彦<sup>\* 2</sup> 孔亚平<sup>3</sup> 胡凯衡<sup>2</sup> 李龙伟<sup>1</sup>

( 1. 湖南科技大学建筑与城乡规划学院 湖南 湘潭 411201; 2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所 四川 成都 610041;

3. 交通运输部科学研究院交通环保与安全研究中心 北京 100029)

**摘 要:** 汶川地震诱发的次生泥石流灾害,已成为灾区防灾减灾工作的突出问题和灾后恢复重建的重要制约因素之一。泥石流危险性评价是泥石流灾害风险管理的核心基础技术。以都汶公路沿线的 31 条泥石流沟为研究对象,通过野外考察、遥感图像的解译、查阅相关文献资料等手段获取研究区泥石流沟的基础数据,通过选取地质、地形、气象、水文指标,并利用主成分分析法对关键因子进行筛选和灰色系统模型进行权重的确定,建立泥石流危险性评价模型,计算得到每条沟的泥石流危险度值。评价结果表明:公路沿线 31 条泥石流沟处于不同泥石流危险等级:极高危险占 23%,高危险占 35%,中度危险占 13%,轻度危险占 29%;其中红椿沟、肖家沟、烧房沟等沟属于泥石流极高危险沟道,高家沟、牛圈沟等属于高度危险沟道,公路选线须采取避让或充分的防治对策。

**关键词:** 都汶公路; 泥石流; 危险性评价

中图分类号: P642. 23

文献标识码: A

随着人类活动的不断加剧,人与自然的矛盾越来越突出,自然环境趋于恶化,自然灾害对人类的危害也不断加深,所带来的危害也逐步加重。“5·12”汶川地震波及范围广、引发次生山地灾害多、危害巨大、救灾困难,均为历史罕见<sup>[1]</sup>。次生灾害对灾区人民和社会经济造成严重威胁,由地震引发的崩塌、滑坡等增加了松散碎屑物的累积,为泥石流的形成提供了丰富的物质基础。震后灾区泥石流具有点多面广、成灾迅速、监测预报困难等特点,已成为当前防灾减灾工作中的突出问题和灾后重建的主要限制因素<sup>[2]</sup>。对于泥石流的研究,国际上,日本学者足立胜治等在 1977 年提出“泥石流危险度的判定”的研究,通过从地貌、泥石流形态和降雨三方面的分析来判定泥石流发生率<sup>[3]</sup>,从最初的定性到定量,从单一评价到综合评价。国内的危险度研究起

源于 20 世纪 80 年代。1988 年,刘希林提出了泥石流危险度的判别方法<sup>[4]</sup>;1980 年代以来,泥石流的研究从定性向更精确定量、模型模式化操作的阶段<sup>[5]</sup>。泥石流的暴发是一个综合因素影响的过程,一方面强震作用极大的改变了泥石流的孕灾环境,而且泥石流的暴发有很大的不确定性,在这种强震作用下泥石流的危险性评价,国内外还缺少系统的评价方法和指标体系<sup>[6-7]</sup>,另一方面,强震作用下泥石流形成条件的基础资料(主要是松散碎屑物质)难以充分获取,在这两种情况下,如何科学地对灾区泥石流进行危险性评价,是防灾减灾和灾害评价急需解决的一个问题。庄建琦等<sup>[8]</sup>通过建立震后泥石流总量计算方程并对都(江堰)汶(川)公路沿线泥石流沟危险性评价;汪月鹃等<sup>[9]</sup>采用点面结合的评价模式,对北川县 70 条泥石流沟进行整体和单体

收稿日期( Received date): 2011 - 11 - 24; 改回日期( Accepted): 2012 - 03 - 06。

基金项目( Foundation item): 国家自然科学基金项目( 40901273)、西部交通建设科技项目( 2008 - 318 - 221 - 96)、中科院知识创新工程项目( KZCX2 - YW - Q03 - 5)。[Supported by the National Natural Science Foundation of China ( No. 40901273), the West Traffic Construction of Science and Technology ( No. 2008 - 318 - 221 - 96) and the Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Science( ID: KZCX2 - YW - Q03 - 5).]

作者简介( Biography): 韩用顺( 1974 - ),男( 汉),湖北罗山人,博士,副教授,主要从事山地灾害研究。[Han Yongshun( 1974 - ),male( the Han nationality),born in Luoshan Hubei,Ph D associate professor,works mainly on mountain hazards.] E-mail: yongshunhan@yahoo.com.cn

\* 通讯作者( Corresponding author): 朱颖彦( 1971 - ),男( 汉),湖北武汉人,博士,副研究员,主要从事泥石流研究。[Zhu Yingyan( 1971 - ),male( the Han nationality),born in Wuhan Hubei,Ph D vice researcher,works mainly on debris flow research.] E-mail: zh\_y\_y@imde.ac.cn

危险性评价。本文采用形成因素贡献率、主成分分析和灰色系统等方法,对都汶公路沿线泥石流进行危险性评价,为震后泥石流的灾害的危险性评价技术方法体系的研究进行了初步性的探索。

## 1 研究区概况

都汶公路是汶川县的生命线,是国道213线和317线的共用路段。其位于青藏高原东缘的岷江谷地,是与四川盆地的过渡地带,高山峡谷纵横,地表起伏巨大,平均海拔达2 218 m;地处龙门山断裂带,新构造活动强烈,前山断裂和后山断裂活动对该区有较大影响。区内降水南北分异明显,是亚热带湿润季风气候向温带大陆性干旱与半干旱气候的过渡区;气候垂直分异明显,海拔1 600 m以下是岷江干旱河谷气候,1 600 m以上属季风气候<sup>[10]</sup>。整个区段位于岷江上游,河谷深切,水流湍急,相对高度达1 000~2 000 m<sup>[11]</sup>,加之暴雨、地震以及人类工程、经济活动日益频繁的影响,该区域已成为次生山地灾害最为发育的地区之一<sup>[2]</sup>。

## 2 研究原理与方法

本文基于泥石流的分布规律、孕灾条件进行危险度评价因子的确定,构建地震烈度、岩组、高程、坡度、气温、降水等数据为基础数据的泥石流评价因子数据库,并运用确定性系数(CF)进行泥石流形成因子贡献率的分析。运用主成分分析模型确定关键因子,并通过灰色系统模型确定各因子的权重,以此计算各泥石流沟的危险度值,然后按照各泥石流沟的危险指数及分级原则对31条泥石流沟进行危险性划分。最后根据现场调查结果进行验证,讨论研究中存在的问题,并对防灾减灾提供对策建议。

### 2.1 评价因子体系确定

#### 2.1.1 地质指标

地质是山地灾害发生的主要内因,是衡量泥石流活动所具有的物质条件或潜在物质条件的重要指标,它所涉及的因子主要有:地层、岩性、岩组、构造和地震等。由于存在地质资料难以获取和地质数据精度较低的问题,本文选取了地震烈度、岩组。

#### 2.1.2 地形指标

地形是山地灾害发育的基本条件,是衡量泥石流活动所具有的能量条件或潜在能量条件的重要指

标,它所涉及泥石流流域的高程、相对高度、坡度、坡向、主沟长度、沟床比降、沟道弯曲度等。本文以1:5万的DEM为基础数据,计算出泥石流沟的平均高程、平均坡度、沟道弯曲度、沟床比降,以此为因子对泥石流沟进行地形分析。

#### 2.1.3 气象指标

气象指标是山地灾害发育的重要诱发条件。其中降水是灾害发育的动力条件,为泥石流活动提供了动力和水源,是泥石流形成的激发条件,它主要涉及:年降水量、日最大暴雨量、年降水日数、雨季降水量、降水变率等;而气温是衡量泥石流活动所具有的物质条件的一个次重要指标,它影响着岩体的风化程度<sup>[12]</sup>,主要涉及:年平均气温、气温年较差、气温日较差等。由于大比例尺的气象数据难以获取,所以本文选用小比例尺的气象数据进行空间插值,获得研究区内年平均气温和雨季降水量。

#### 2.1.4 水文指标

水文指标是山地灾害发育的重要动力条件,宽阔的流域面积,丰富的降水,为泥石流的形成提供了充足的水动力条件。其主要涉及:土壤含水量、径流、地下水位、流域面积、沟谷密度、水源补给量、距水系距离等。本文选取流域面积、沟谷密度、距水系距离为因子对泥石流沟进行分析。

#### 2.1.5 人类活动

人类活动是山地灾害发育的诱发条件,随着社会经济水平的提高,人类活动越来越强烈。人类的植树造林活动、固坡护坡等活动,在一定程度上改良了生态环境,抑制了山地灾害的发生,但不合理的人类活动,如开挖边坡、城镇建设、滥砍滥伐等恶化了生境条件。总的来说,人类活动的加剧,破坏了生态环境的稳定程度,增加了灾害的易发程度。本文选取与居民地的距离因子对泥石流沟进行分析。

### 2.2 因子贡献率分析与分级赋分

通过对各因子进行灾害确定性系数(CF)<sup>[13]</sup>计算,可分析得到各因子之间的相互关系和各因子条件分区对灾害发生的贡献率大小

$$CF = f(X_i) = \begin{cases} \frac{P_a - P_t}{P_a(1 - P_t)} & P_a \geq P_t \\ \frac{P_a - P_t}{P_t(1 - P_a)} & P_a < P_t \end{cases} \quad (1)$$

式中  $P_a$  为因子分级  $a$  中发生灾害的条件概率,可表示  $a$  单元中的灾害发生面积百分比;  $P_t$  为整个研究区中灾害发生的先验概率,可以表示为整个研究

区的灾害面积的百分比值。

### 2.3 关键因子选择

本文采用主成分分析法对泥石流危险度各个指标进行分析。主成分分析是把各变量之间的复杂关系进行简化的方法。基本原理是通过坐标进行旋转运算,从原来错综复杂的一组变量中导出一组彼此相关性最小的新变量,其中方差越大代表原来一组变量所含信息越大。具体步骤如下:

设有  $n$  个样品,每个样品有  $P$  个参数,将原始参数写成矩阵  $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$

1. 将原始数据标准化;

2. 建立变量的相关矩阵  $R$ ,对  $R$  进行主成分分析;

3. 求  $R$  的特征根  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$  以及相应特征向量  $a_1, a_2, \dots, a_p$ ;

4. 得出主成分  $F_i = a_{1i}X_1 + a_{2i}X_2 + \dots + a_{pi}X_p$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, p$ ;

5. 根据各变量在主成分中的特征向量,筛选出主导因子。

### 2.4 权重确定

本文利用灰色系统模型对各因子进行权重确定。灰色系统是利用系统中已掌握的信息来解决部分信息的参数不完全的系统中因素之间的影响关系问题<sup>[14]</sup>。具体步骤如下:

1. 选择参考序列  $X_0 = (X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n))$ ;

2. 选择比较序列  $X_i = (X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n))$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;

3. 均值化处理  $X'_i(k) = X_i(k) / \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_i(k)$ ,  $i = 1, 2, \dots, m; k = 0, 1, \dots, n$ ;

4. 求绝对差值  $\Delta_i(k) = |X'_i(k) - X'_i(0)|$ ,  $i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n$ ;

5. 求最大差和最小差  $\Delta_{\min} = \min \min \Delta_i(k)$ ,

$\Delta_{\max} = \max \max \Delta_i(k)$ ;

6. 计算关联系数  $\varphi_{ij}(k) = \frac{\Delta_{\min} + k\Delta_{\max}}{\Delta_i(k) + k\Delta_{\max}}$ ,  $k$  为常数  $0 < k < 1$ ,一般取 0.5;

7. 计算关联值  $R_i(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varphi_{ij}(k)$ 。

### 2.5 危险度计算

结合都汶公路各因子的指标分值和主成分分析法得到的权重,然后建立泥石流危险度评价模型<sup>[9,15]</sup>,计算出每条沟的泥石流危险度值

$$R_d = \sum_{i=1}^n \sigma_i \omega_i \quad (2)$$

式中  $R_d$  为泥石流危险度;  $\sigma_i$  为泥石流危险度指标分值;  $\omega_i$  为泥石流危险度评价指标权重。

### 2.6 危险性分区

根据“相似归类”和“相异分级”的原则,将研究区分为:泥石流轻度危险区、中度危险区、高度危险区、极高危险区 4 个等级,并采用相应的颜色或符号在平面图上表示出来。

## 3 实例分析

### 3.1 因子贡献率分析与分级赋分

结合都汶公路沿线的地质、地形、气象、水文、人类活动等资料,选取地震烈度、岩组、平均高程、坡度、流域面积、弯曲系数、沟床比降、沟谷密度、气温、降水、与水系距离、居民点距离 12 个因子进行分析。

根据公式(1),对泥石流危险性评价因子进行贡献率分析,所得结果如图 1 所示。

分析结果(如表 1 所示)表明,地震烈度分级区间对泥石流危险性的影响贡献率为: XI > X > IX > VIII,故对其进行分级赋值的时参照贡献率的大小进行赋值,分级赋分结果如表 2 所示。

表 1 形成因子重要性分析结果

Table 1 The result of importance analysis on formation factors

影响因子	条件范围			影响因子	条件范围		
	大	←→	小		大	←→	小
地震烈度	XI, X, IX, VIII			年均气温/℃	10 ~ 15, 5 ~ 10, 0 ~ 5		
岩组	坚硬岩组, 软岩组, 较坚硬岩组			雨季降水量/mm	450, 400 ~ 450, 500 ~ 550, 350 ~ 400, 300 ~ 350, 550 ~ 600, 250 ~ 300		
高程/m	1 200 ~ 1 400, 1 400 ~ 1 600, 1 000 ~ 1 200, 1 600 ~ 1 800, 1 800 ~ 2 000, 800 ~ 1 000, 2 000 ~ 2 200, 2 200 ~ 2 400, 2 400 ~ 2 600, 2 600 ~ 2 800, 2 800 ~ 3 000			距水系距离/m	200 ~ 400, 0 ~ 200, 400 ~ 600, 600 ~ 800, 800 ~ 1000		
坡度/°	>75, 50 ~ 75, 35 ~ 50, 25 ~ 35, 15 ~ 25, 8 ~ 15			距居民点距离/m	2 500 ~ 3 000, 500 ~ 1 000, 1 000 ~ 1 500, 2 000 ~ 2 500, 0 ~ 500, 1 500 ~ 2 000		

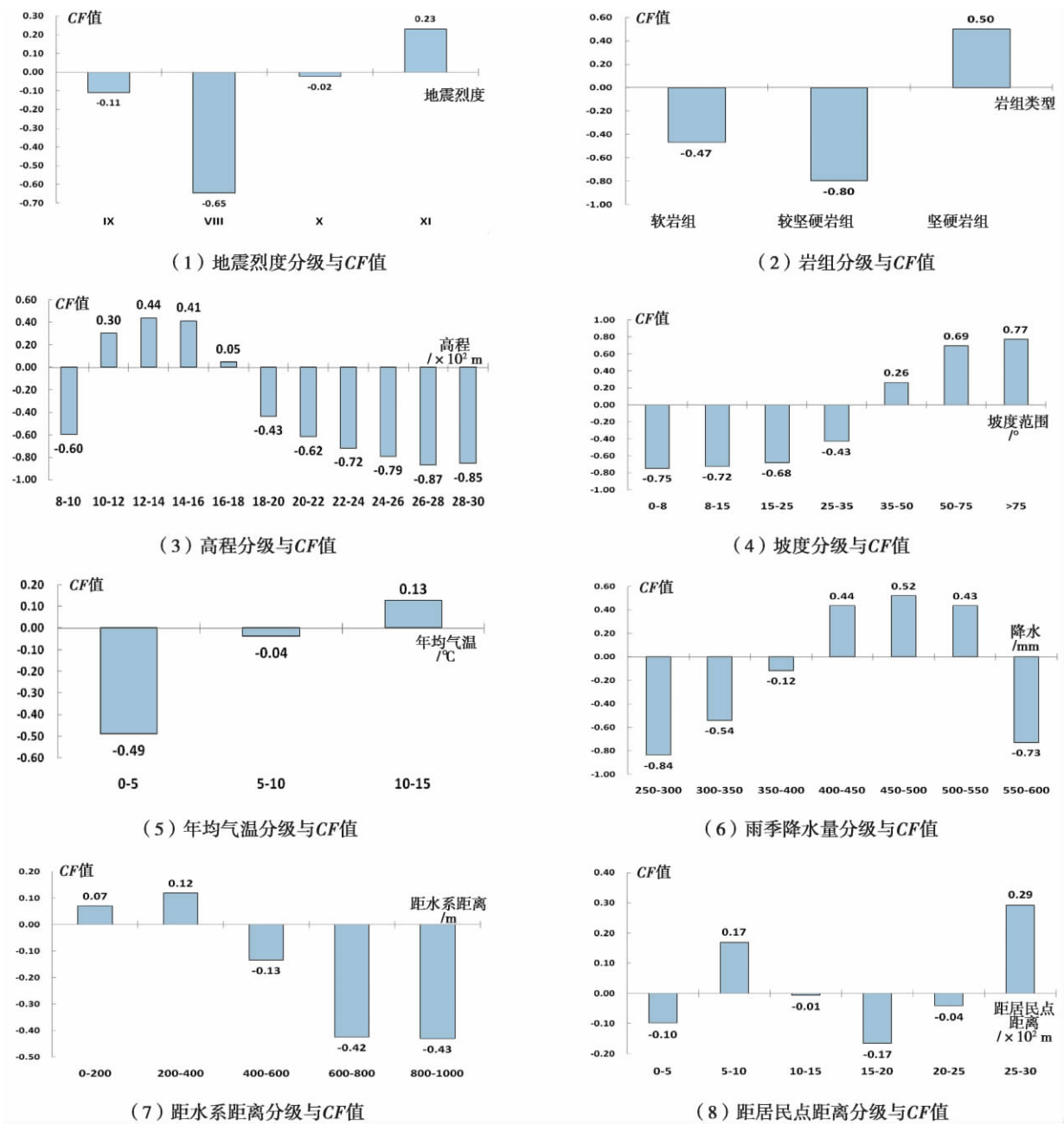


图 1 形成因子贡献率

Fig. 1 Formation factors contribution rate analysis

表 2 评价因子等级范围及分值

Table 2 Classification of assessment factors and their transformed values for hazard assessment

评价因子	等级范围及分值			
地震烈度	XI	IX	X	XI
岩组	次硬岩	较软	软岩	硬岩
平均高程 / m	> 2 600	2 000 ~ 2 600	1 600 ~ 2 000	1 200 ~ 1 600
平均坡度 / $^\circ$	31 ~ 35	35 ~ 39	39 ~ 43	> 43
流域面积 / $\text{km}^2$	0 ~ 14	14 ~ 28	28 ~ 42	> 42
沟道弯曲度	< 1.05	1.05 ~ 1.15	1.15 ~ 1.25	> 1.25

续表 2

评价因子	等级范围及分值			
	地震烈度	XI	IX	X
沟床比降/‰	210 ~ 280	280 ~ 350	350 ~ 420	> 420
沟谷密度/( km/km <sup>2</sup> )	0.8 ~ 1	1 ~ 1.2	1.2 ~ 1.4	> 1.4
年均气温/℃	< 4	4 ~ 7	7 ~ 10	> 10
雨季降雨量/mm	300 ~ 350	350 ~ 400	400 ~ 500	> 500
与水系距离/m	> 800	600 ~ 800	400 ~ 600	< 400
居民点距离/km	4 ~ 5	3 ~ 4	2 ~ 3	1 ~ 2
分值	1	2	3	4

3.2 关键因子选择

本研究首先选择地质、地形、气象、水文指标的 13 个因子进行主成分分析,然后根据各因子主成分向量的大小,筛选出泥石流危险度评价的关键因子。

表 3 主成分分析结果

Table 3 Principal Components Analysis

评价因子	主成分				综合 主成分
	特征向量				
	1	2	3	4	
地震烈度	0.326	0.285	-0.143	-0.044	0.23
岩组	0.324	0.282	-0.214	-0.2	0.2
平均高程	0.374	0.009	-0.083	-0.116	0.21
坡度	0.034	0.551	-0.315	0.377	0.11
流域面积	-0.281	0.297	0.383	-0.258	-0.1
弯曲系数	-0.182	0.453	0.188	0.324	0.02
沟床比降	0.206	-0.332	-0.192	0.671	0.11
沟谷密度	0.208	0.101	0.633	0.329	0.25
年均气温	0.362	-0.19	0.069	-0.193	0.18
雨季降水	0.327	0.284	-0.068	-0.179	0.22
与水系距离	0.33	-0.072	0.339	0.061	0.24
居民点距离	0.321	0.019	0.288	-0.004	0.23
特征根	6.287	1.769	1.203	0.976	
贡献率	52.39	14.74	10.02	8.135	
累计贡献率	52.39	67.13	77.15	85.28	

结果表明,沟谷密度、与水系距离、地震烈度等综合主成分得分排名靠前,其中沟谷密度最大,沟谷密度能够反映子流域内岩性的软硬及风化程度,也反映出流域的产沙状况和回流状况,对沟谷的危险度确定具有关键性作用,即沟谷密度大的地区一般为泥石流发生的高敏感区。故选取沟谷密度为灰色

系统的参考序列。

3.3 因子权重确定

以灰色系统为权重确定模型,以沟谷密度为参考序列,所得权重结果如表 4 所示。

表 4 各因子权重

Table 4 The weight determined by grey system model

因子	关联度	赋值	权重	因子	关联度	赋值	权重
沟谷密度	1	12	0.15	弯曲系数	0.67	2	0.03
地震烈度	0.79	10	0.13	沟床比降	0.76	7	0.09
岩组	0.76	8	0.1	平均气温	0.73	4	0.05
平均高程	0.73	5	0.06	雨季降水	0.81	11	0.14
平均坡度	0.71	3	0.04	与水系距离	0.78	9	0.12
流域面积	0.67	1	0.01	居民点距离	0.75	6	0.08

3.4 危险性分区

根据表 5 分级标准对泥石流危险性进行区划,结果如图 2。

表 5 泥石流危险性等级划分

Table 5 Standard for classifying the hazard assessment of debris flow

数值范围	级别	数值范围	级别
1.5 ~ 2.1	轻度危险	2.7 ~ 3.3	高度危险
2.1 ~ 2.7	中度危险	3.3 ~ 3.9	极高度危险

其分级结果如表 6 所示。此评价与现场考察资料相符,红椿沟、烧房沟、肖家沟、牛圈沟等评价结果为极高或高危的泥石流沟,都是较为活跃或者此前为潜在但震后集中暴发的泥石流沟。在 2010 - 08 - 14 暴发的红椿沟泥石流、2011 - 07 - 02 暴发的张家沟泥石流等灾害事件都很好验证了此次评价结果,具有较高的可信度。

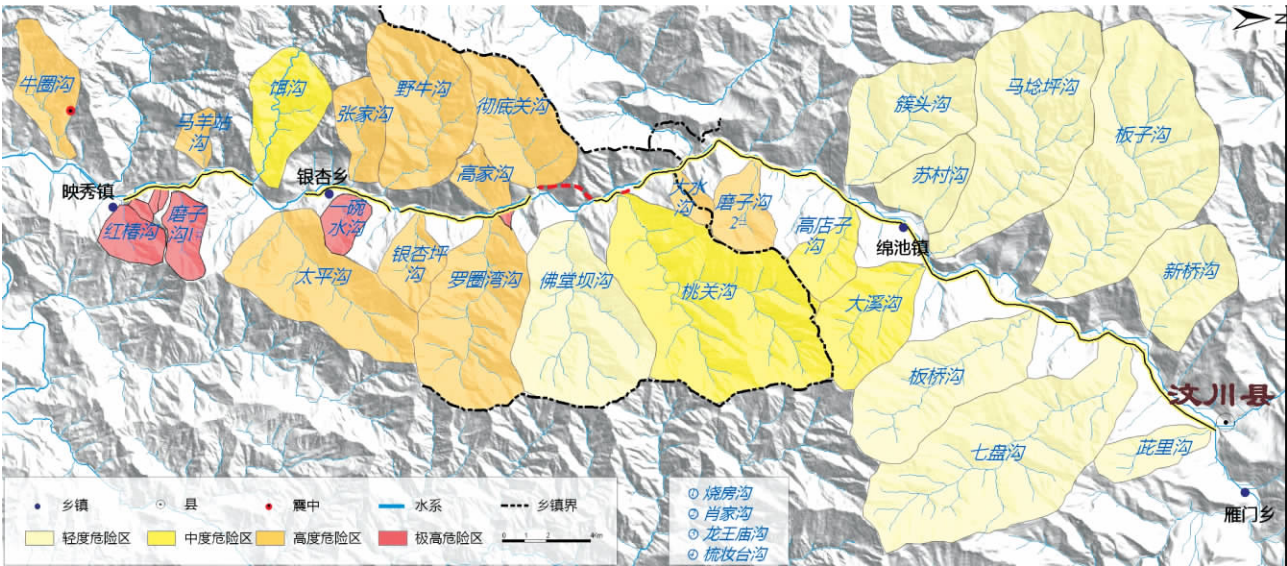


图 2 都汶公路沿线泥石流沟危险性评价结果

Fig.2 Hazards assessment result of debris flow along Du – wen highway

表 6 31 条泥石流沟评价结果及危险等级

Table 6 The assessment score and level of risk

编号	名称	危险度	评价结果	编号	名称	危险度	评价结果
1	红椿沟	3.833	极高度危险	17	高家沟	2.731	高度危险
2	烧房沟	3.808	极高度危险	18	马羊站沟	2.987	高度危险
3	肖家沟	3.808	极高度危险	19	高店子沟	2.167	中度危险
4	龙王庙沟	3.808	极高度危险	20	桃关沟	2.410	中度危险
5	磨子沟 1#	3.462	极高度危险	21	大溪沟	2.077	中度危险
6	一碗水沟	3.333	极高度危险	22	饵沟	2.372	中度危险
7	梳妆台沟	3.577	极高度危险	23	佛堂坝沟	1.987	轻度危险
8	罗圈湾沟	2.538	高度危险	24	板桥沟	1.628	轻度危险
9	银杏坪沟	3.013	高度危险	25	砭里沟	1.692	轻度危险
10	磨子沟 2#	2.654	高度危险	26	七盘沟	1.692	轻度危险
11	大水沟	2.654	高度危险	27	簇头沟	1.859	轻度危险
12	彻底关沟	2.731	高度危险	28	苏村沟	1.859	轻度危险
13	牛圈沟	2.654	高度危险	29	马捻坪沟	1.526	轻度危险
14	太平沟	3.077	高度危险	30	板子沟	1.962	轻度危险
15	野牛沟	2.731	高度危险	31	新桥沟	1.962	轻度危险
16	张家沟	2.590	高度危险				

4 结果与讨论

通过对都汶公路沿线的 31 条泥石流沟的危险性分析,可以得到如下结论。

1. 都汶公路沿线受泥石流威胁严重,其中极高

危险等级的泥石流沟有 7 条,占总沟数 23%,包括红椿沟、烧房沟、肖家沟等;高危险泥石流沟 11 条,占 35%,包括银杏坪沟、彻底关沟、牛圈沟等;中度危险泥石流沟 4 条,占 24%,主要包括高店子沟、桃关沟、大溪沟等;轻度危险泥石流沟 9 条,占 29%,主要包括佛堂坝沟、板桥沟、砭里沟等。



2. 红椿沟、烧房沟、磨子沟、牛圈沟等沟为震后泥石流活跃的典型沟道,震后这些泥石流沟暴发多轮泥石流灾害,较好验证了评价结果的精度。这些沟道对泥石流应做好沟道防治工作,避免雨季到来,发生泥石流堵江的严重灾情。

3. 评价较好地反映了震后都汶公路沿线泥石流发生状况,为震后泥石流防治和快速评价提供了参考依据,在公路选线、居民区选址、重大工程建设和保障公共安全过程中,须规避泥石流、崩塌、滑坡等灾害危险区。

4. 采用形成因子贡献率、主成分分析和灰色系统等方法,建立了震后泥石流灾害评估技术方法体系,能够较好的解决危险性评估的各因子的分级、关键因子选取和权重确定等关键问题。

本文通过主成分分析法与灰色模型相结合的方式对泥石流沟的地质、地形、气象、水文因子、人类活动因子进行了分析,对都汶公路沿线的泥石流进行了危险性评价,所得结果与现实状况吻合较好。但是危险性评价还须充分考虑沟道的物质存量等指标;运用多模型综合评价须充分利用各模型的优缺点,取长补短;评价结果还需根据现场调查结果进行检验并纠正,这些须在今后的研究中加以完善和修正。

致谢:中国科学院数字地球与对地观测中心、国家测绘局基础地理信息中心提供了部分遥感数据和基础地理信息支持,杨志全、廖丽萍、杨万科等参加了野外考察和韩军、钱宁、彭述刚、董少坤参与数据分析,特此感谢。

## 参考文献(References)

[1] Cui Peng, Wei Fangqiang, He Siming, et al. Mountain disasters induced by the earthquake of May 12 in Wenchuan and the disasters mitigation[J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(3): 280 - 282 [崔鹏, 韦方强, 何思明, 等. 5·12 汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J]. 山地学报, 2008, 26(3): 280 - 282]

[2] Yongshun Han, Hongjiang Liu. Hazard assessment on secondary mountain hazards triggered by the Wenchuan earthquake [J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2009, 16(4): 45 - 60

[3] Wang Xiaopeng, Pan Mao, Ren Qunzhi. Hazard assessment of debris flow based on geomorphic information entropy in catchment [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006, 41(3): 2211 - 215 [王晓朋, 潘懋, 任群智. 基于流域系统地貌信息熵的泥石流危险性定量评价[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2006, 41(3): 221 - 215]

[4] Liu Xilin. Study on the judge of debris flow dangerous degree [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]

[5] Wei Yongming, Xie Youyu, Wu Yongqiu. Applications of Relativity analysis method and Fuzzy Synthetical assessment Method in classification of dangerous degree of debris flow [J]. Journal of Natural Disasters, 1998, 7(2): 109 - 117 [魏永明, 谢又予, 伍永秋. 关联度分析法和模糊综合评判法在泥石流沟谷危险度划分中的应用——以北京市北部山区怀柔、密云两县为例[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(2): 109 - 117]

[6] Gao Kechang. Probability forecast of regional landslide based on weather forecast [J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2006, 11(4): 853 - 858

[7] Tie Yongbo, Tang Chuan. Application of AHP in single debris flow risk assessment [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17(4): 79 - 84 [铁水波, 唐川. 层次分析法在单沟泥石流危险度评价中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(4): 79 - 84]

[8] Zhuang Jianqi, Cui Peng, Ge Yonggang, et al. Hazard assessment of debris flow valleys along Dujiangyan - Wenchuan Highway after "5·12" Wenchuan devastating earthquake [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2009, 41(03): 131 - 139 [庄建琦, 崔鹏, 葛永刚, 等. "5·12" 地震后都汶公路沿线泥石流沟危险性评价[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2009, 41(03): 131 - 139]

[9] Wang Yuejuan. Hazard assessment on rainstorm induced debris flows in Beichuan County of Wenchuan earthquake affected area [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2009 [汪月娟. 汶川震区北川县暴雨泥石流危险性评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2009]

[10] Geological Investigation and Surveying Institute of Guanghan, Sichuan. Geological investigation and surveying and regionalization of Wenchuan country, Aba Zang & Qiang Autonomic State, Sichuan Province [R]. 2005 [四川省广汉地质工程勘察院. 四川省阿坝藏族羌族自治州汶川县地质灾害调查与区划报告[R]. 2005]

[11] Han Yong-shun, Cui Peng, Zhu Ying-yan, et al. Remote Sensing Monitoring and assessment of traffical damage by Wenchuan Earthquake—a case study in Du - Wen Highway [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2009, 41(03): 273 - 283 [韩用顺, 崔鹏, 朱颖彦, 等. 汶川地震危害道路交通及其遥感监测评估——以都汶公路为例[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2009, 41(03): 273 - 283]

[12] Zhong Dunlun, Xie Hong, Wei Fangqiang, et al. The regionalization of debris flow danger degree in the upper reaches of changjiang river [M]. The Science & Technology Press in Shanghai, 2011: 23 [钟敦伦, 谢洪, 韦方强, 等. 长江上游泥石流综合危险度区划[M]. 上海科学技术出版社, 2010: 23]

[13] Yongshun Han. Theory and key technologies of debris flow disasters risk management [D]. Chengdu: Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, 2008 [韩用顺. 泥石流灾害风险管理理论与关键技术[D]. 成都: 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 2008]

[14] Zou Xiang, Gui Peng, Wei Fangqiang, et al. Application of Grey - correlation Method to activity evaluation of debris flow [J]. Journal

- of Mountain 2003 21(3):360-364 [邹翔,崔鹏,韦方强,等.灰色关联度法在泥石流活动性评价中的应用[J]山地学报,2003 21(3):360-364]
- [15] Mei Yan. 5.12 Earthquake in Beichuan County, Sichuan Province area debris flow hazard assessment [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology 2011 [梅岩.四川省北川县5.12强震区泥石流危险性评价[D].成都:成都理工大学 2011]

## Hazard Assessment of Debris Flow along Dujiangyan – Wenchuan Highway

HAN Yongshun<sup>1</sup>, HUANG Peng<sup>1</sup>, ZHU Yingyan<sup>2</sup>, KONG Yaping<sup>3</sup>, HU Kaiheng<sup>2</sup>, LI Longwei<sup>1</sup>

(1. School of Architecture and Urban Planning, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 41120, Hunan, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 61004, China;

3. Research Center for Environmental Protection and Safety of Transportation, China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The secondary disasters of debris flow induced by Wenchuan earthquake has been a top problem and one of important restrict factors of recovery and reconstruction after the earthquake. Debris flow hazard assessment is a foundation and core technology of debris flow risk management. In this paper, 31 debris-flow gullies along Dujiangyan – Wenchuan Highway (abbreviated to Du – Wen Highway) were taken as research objects. Based on the field investigation, remote sensing image interpretation, consult the corresponding literature data and other means to take basic data of debris flow gully in this study area, by choosing geology, topography, climate, hydrology factors and using the principal component analysis method to screen the key factors and grey correlation analysis method to determine the weighing values, established the debris risk assessment model, got risk value of every valley through the calculation. The assessment results show that: 31 debris flow gully along Du – Wen highway are most at risk, among them extremely high level of risk occupies 23%, high risk 35%, moderate risk 13%, slightly dangerous accounted for 29%; and Hongchun gully, Xiaojia gully and Shaofang gully belong to the extremely high risk gully, Niujuan and Gaojia gully belong to high risk, so the full countermeasures must be taken in traffic line designing.

**Key words:** Dujiangyan – Wenchuan highway; debris flow; hazard assessment