

文章编号: 1008 - 2786 - ( 2013 ) 4 - 391 - 08

# 强震后高烈度区泥石流危险性评价 ——以汶川地震区 G213 线映秀到彻底关段为例

涂国强<sup>1</sup> 程尊兰<sup>2</sup> 刘建康<sup>2</sup> 黄金辉<sup>2</sup>

( 1. 四川交通职业技术学院 四川 成都 611130; 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 )

**摘 要:** 强震在高烈度的山区往往诱发大量的崩塌和滑坡,一到雨季不同规模的泥石流频频暴发,造成严重的灾害。以处于汶川地震 XI 度烈度区的 213 国道映秀到彻底关段的 21 条沟为例,探讨强震后如何对高烈度区的沟道泥石流的规模、频率、危险性作出尽快评价。为此,针对地震泥石流的特点和形成条件,确定影响泥石流规模和频率的评价因子;并从已有的相关图件和遥感影像中获取评价因子的特征值;用简单的数学方法将因子特征值分为五级,并归一化为 0.0 到 1.0 的标准值;用层次分析法计算出评价因子的权重;然后用常用或改进的评价模型,对 21 条沟泥石流的规模、频率、危险性分五级作出评价;最后用强震后 3 a 内各沟实际发生的泥石流规模和频率对评价结果进行检验,结果表明两者吻合度比较好。这种尽快评价的方法,可供其他山区强震后高烈度区的泥石流危险性评价参考。

**关键词:** 强震后;高烈度区;泥石流危险性;尽快评价

**中图分类号:** P642.23 P694

**文献标志码:** A

2008 年汶川强震在映秀到彻底关段 G213 沿线激发了大量的崩塌、滑坡和松散的固体物质,改变了泥石流的物源条件,导致了该段 21 条山沟均成为泥石流沟,有些震前频率低、规模小的,甚至非泥石流沟演变为高频率、大规模的泥石流沟,造成严重损失。假如强震后能尽快对高烈度区泥石流的规模、频率和危险性作出评价,这对减轻泥石流造成的损失具有十分重要的意义。强震后,庄建琦<sup>[1]</sup>、韩用顺<sup>[2]</sup>和刘清华<sup>[3]</sup>等对本段或包括本段的都(江堰)汶(川)公路沿线泥石流危险性开展了卓有成果的研究,但都没有对泥石流规模和频率同时作出评价,也没有具体考虑强震后尽快作出评价。本文以处于 XI 度烈度区的 G213 线映秀到彻底关段为例,针对地震前后泥石流活动特点,以简便的方法,探讨强震

后如何立即尽快对高烈度地区沟道泥石流的规模、频率、危险性作出较为客观的评价,为今后其他地区强震后立即开展泥石流规模、频率和危险性评价提供借鉴,也为本段进一步制定减轻或者防治泥石流的规划提供依据。

## 1 研究段地震前后泥石流活动特点

本研究段位于青藏高原东缘的岷江上游下段,以中高山峡谷为主,地形陡峭,最大高差达到 3 195 米,山坡多在 35° 以上;在地质方面,处在龙门山断裂带的汶川 - 茂汶断裂与北川 - 映秀断裂带之间(图 1),出露地层主要为元古代晋宁 - 澄江期的花岗岩、斜长花岗岩和闪长岩,经多次构造运动,节理

收稿日期( Received date ): 2013 - 01 - 09; 改回日期( Accepted ): 2013 - 05 - 15。

基金项目( Foundation item ): 四川省交通运输厅科技基金( 2011C17 - 3 - 2 ); 中国科学院三五方向性项目( SDS - 135 - 1204 - 01 ); 中交股份科技研发项目( 2011 - ZJKJ - 04 )。 [ This study was supported by the Fund of Science and Technology of Transportation Hall of Sichuan Province( Grant No. 2011C17 - 3 - 2 ), Directional Project of Institute of Mountain Hazards and Environment of Chinese Academy of Sciences ( Grant No. SDS - 135 - 1204 - 01 ), Research and Development Project of Science and Technology of China Communication Construction Company Limited ( Grant No. 2011 - ZJKJ - 04 ). ]

作者简介( Biography ): 涂国强( 1968 - ) 男,四川人,讲师,主要从事山地灾害形成机理与防治技术研究。 [ Tu Guoqiang, male, born in 1968, Sichuan province, lecturer and doctor candidate, mainly engaged in mountain hazards formation mechanism and mitigation methods. ]

发育,岩石较为破碎,加之地形陡峭,发育有少量崩塌、滑坡及其松散堆积物;在气象方面,属龙门山暴雨中心西缘,降水丰沛,年最大 24 h 暴雨均值达到 118 到 130 mm<sup>[4]</sup>。故本段在地震前就具备形成泥石流的三个基本条件,属泥石流活动区。近百年暴发过泥石流的沟道有 8 条,但由于松散固体物质不很充足,泥石流以稀性为主,均为中低频率,一般 30 a 左右暴发一次,规模也以中小型为主,只有太平沟和罗圈湾沟曾发生过堵断岷江的很大规模泥石流。

2008 年汶川大地震在本区段激发了大量的崩塌、滑坡,松散固体物质巨量增加,为地震前的几倍到几十倍,磨子沟达 57 倍,使 21 条山沟都成为泥石流沟。3 a 间,有 13 条沟发生了 2 次以上的泥石流,最多的达 12 次,并以粘性和亚粘性为主,有 6 条沟共暴发了 11 次堵断岷江的大规模泥石流,造成了严重的损失。

## 2 强震后高烈度区泥石流危险性评价的基本思路

为强震后能对高烈度区沟道泥石流危险性尽快做出评价,及时为减灾决策和制订预案提供具体定量的依据,提出如下思路及方法。

1. 对泥石流的危险性、规模和频率同时作出评价,并使后两者有定量指标。

2. 在强震后,还未发生泥石流前,对沟道泥石流立即作出危险性评价,在评价因子中无法考虑表征泥石流特征的因子作为主导因子,也难以用关联度来确定其他因子。因此,需要从泥石流形成的三个基本条件中,选择与规模或频率关系最密切的因子作为评价因子。

3. 为了达到尽快评价,采用:1) 评价因子在基本满足评价要求的基础上尽可能少;2) 因子特征值尽量在已有的图件和随时有产出的遥感影象上获取;3) 因子特征值用简单的数学方法进行分级,并通过归一化<sup>[5]</sup>转换为标准值;4) 评价因子的权重采用比较简便的层次分析方法<sup>[6]</sup>;5) 规模和频率评价借用常用的危险性评价模型<sup>[7]</sup>。

4. 为了使评价因子的分级赋值( $Z$ ),标准值( $G$ ),以及规模( $M$ ),频率( $F$ ),危险性( $H$ )评价之间清晰可比,均从小到大分为五级,在 0.0 ~ 1.0 内取值。为此,需对  $H$  的评价模型改进为在后面列出的公式(3)。

5. 虽然本文的危险性、规模、频率的评价建立在强震后,一般还未发生泥石流的基础上,但为了验证评价结果是否合理,要用震后 3 a 间实际发生的泥石流规模、频率和危害情况进行检验。因红椿沟等 6 条泥石流沟从 2010 年冬开始整治,影响到这些沟的泥石流发生频率和规模,为使各沟具有可比性,故采用震后 3 a 的泥石流活动资料进行检验。

## 3 评价方法及逐步实施

根据上述危险性评价的基本思路,以 G213 线映秀到彻底关段 21 条山沟为例,介绍采用的评价方法,并进行逐步实施。

### 3.1 评价因子的选定和特征值( $x$ )取得

泥石流规模的评价因子选定,从分析泥石流流量( $Q_c$ )的计算公式着手,在形成泥石流的物源、水源和地形三个基本条件中各选一个与规模关系最紧密要素作为评价因子,依次为流域内松散固体物质总量( $V$ )、年最大 24 h 暴雨均值( $H_{24}$ )和流域最大相对高度( $H_d$ ),再加一个流域面积( $A$ ),共 4 个。 $Q_c$ 表征着泥石流的规模,常用  $Q_c = (1 + \phi) D_c Q_w$  来确定,式中  $\phi$  取决于泥石流容重  $r_c$ ,  $D_c$  为堵塞系数,  $r_c$  和  $D_c$  与  $V$  呈正相关;  $Q_w$  为洪峰流量,一般用推理公式<sup>[4]</sup>计算,该公式直接或间接显示出,  $Q_w$  与  $A$ 、 $H_{24}$  和  $H_d$  也成正相关,故选定了这 4 个因子,并在强震后  $V$  对  $Q_c$  的贡献最大。

泥石流规模也有用泥石流一次冲出量( $W_c$ )来代表。基于  $W_c$  可以通过  $Q_c$  来求得<sup>[11]</sup>,二者的影响因子基本相同,而  $Q_c$  有比较成熟、通用的计算公式,故通过分析  $Q_c$  的计算公式来选定评价因子。但在野外调查中常用  $W_c$  来表征泥石流的规模,因此本文在后面也运用了  $W_c$  来代表规模。

泥石流频率评价因子的选定从分析泥石流专家的共识着手,也在物源、水源和地形条件中各选一个与频率关系紧密的要素作为评价因子,依次为单位面积的松散固体物质平均储量( $V_a$ ),多年平均年降水量( $Ha$ )和沟道平均比降( $J$ ),共 3 个。因为在不少泥石流文献<sup>[8-10]</sup>中,就从不同方面认为泥石流发生频率( $F$ )与  $V_a$ 、暴雨频率和  $J$  成正相关,  $V_a$  越大、暴雨频率越高,发生泥石流次数就越多;  $J$  越大,越有利于松散固体物质起动和输移,越容易形成泥石流,相应次数也越多。但因暴雨频率在一般水文手册上没有列出,只有用  $Ha$  来更替,因为  $Ha$  越大,暴

雨频率越高,故选定了  $V_a$ 、 $H_a$  和  $J$  3 个作为评价因子,并在强震后  $V_a$  对  $F$  的作用最大。

7 个评价因子的特征值( $X$ )取得:  $J$ 、 $H_d$  和  $A$  在国家测绘总局调绘的 1:5 万的地形图上获得;  $H_{24}$  和  $H_a$  在《四川省水文手册》<sup>[4]</sup> 上查得;  $V$  和  $V_a$  在震后的 SPOT 遥感影像和部分航空遥感影像上,通过判译,先获得滑坡或崩塌的面积( $S$ )、平均坡度( $\theta$ )和平均水平宽度  $L$ ,然后利用文献[8]中第二章一节的公式(7)至(11),求得滑坡或崩塌体的平均厚度  $h$ ,进而  $s \times h$  求得体积,流域内所有的滑坡和崩塌体的体积相加得到  $V$ ,由  $V/A$  得到  $V_a$ 。流域内原来的残积物、沟床堆积物等松散物质,与高烈度地区强震作用下的滑坡和崩塌堆积物相比,显得很少,可以不计。根据上述方法,获得本段 21 条沟道的 7 个评价因子的特征值( $X$ ),见表 1。

3.2 评价因子特征值( $X$ )分级和转换为标准值( $G$ )

3.2.1 评价因子特征值( $X$ )的分级及其界限值

按照各评价因子对泥石流规模和频率的作用将其特征值从小到大分为五级,并确定每级界限值。确定界限值先需确定每个因子  $X$  的总下、上限值,下限值相当其对规模或频率能发挥作用的起始值;上限值是该因子在研究区或连同附近地区可能出现的最大  $X$  值。

由于具体情况的差异,选用的下、上限值往往相差很大。本文主要根据研究区及其所在的四川阿坝州泥石流活动的具体情况确定,其中下限值参考了文献[5]。7 个评价因子中  $A$ 、 $H_{24}$ 、 $H_d$ 、 $J$  和  $H_a$  在“5.12”地震前后基本上相同,可用地震前的资料确定上限值;作为物源条件的  $V$  和  $V_a$ ,其上限值在地震前后相差极大,故该值在地震前的资料基础上适当加大。

表 1 震后 213 国道映秀到彻底关段沟道泥石流规模、频率和危险性因子特征值与评价结果

Table 1 Characteristic factors and assessment of debris flows in Yingxiu - Chediguan highway after earthquake

序号	沟名	规模( $M$ ) 评价						频率( $F$ ) 评价						危险性( $H$ )	
		评价因子特征值( $x$ )				评价结果		评价因子特征值( $X$ )			评价结果		评价结果		
		$V$ /( $10^4 \text{ m}^3$ )	$A$ /km <sup>2</sup>	$H_{24}$ /mm	$H_d$ /m	M 值	等级	$V_a$ /( $10^4 \text{ m}^3$ /km <sup>2</sup> )	$J$ /‰	$H_a$ /mm	$F$ 值	等级	$H$ 值	等级	
N1	红椿沟	627.4	5.13	130	1 274	0.79	大	122	363	1 490	0.86	很高	0.81	极度	
N2	烧房沟	80.0	0.53	130	1 059	0.48	中	151	650	1 480	0.95	很高	0.67	高度	
N3	肖家沟	46.9	0.45	130	1 044	0.42	中	104	644	1 460	0.88	很高	0.6	高度	
N4	杨家沟	46.1	0.40	130	1 030	0.41	中	115	691	1 460	0.9	很高	0.61	高度	
N5	小磨子沟	628.4	5.08	130	1 637	0.78	大	124	382	1 450	0.86	很高	0.82	极度	
N6	大伙地磨子沟	335.4	2.70	130	1 816	0.69	大	124	624	1 440	0.9	很高	0.79	高度	
N7	关山沟	349.3	2.00	130	1 877	0.69	大	175	683	1 430	0.98	很高	0.83	极度	
N8	麻柳沟	27.9	0.25	130	783	0.33	小	112	807	1 440	0.91	很高	0.55	中度	
N9	小沟	4 331	39.1	129	3 195	1.00	很大	111	257	1 350	0.79	高	0.89	极度	
N10	清水沟	65.1	3.78	130	1 555	0.54	中	17.2	415	1 430	0.55	中	0.55	中度	
N11	太平沟	2 011	25.8	130	2 269	0.99	很大	77.9	257	1 400	0.75	高	0.86	极度	
N12	兴文坪南沟	26	0.3	130	874	0.34	小	86.7	753	1 350	0.85	很高	0.53	中度	
N13	仰天窝沟	239.3	1.58	129	1 794	0.64	大	152	695	1 340	0.94	很高	0.79	高度	
N14	磨子沟	1 438	7.08	127	2 705	0.89	很大	203	514	1 310	0.98	很高	0.93	极度	
N15	一碗水沟	172.3	3.93	130	1 401	0.64	大	43.8	442	1 350	0.68	高	0.66	高度	
N16	野牛沟	2 845	24.1	124	3 020	1.00	很大	118	295	1 240	0.79	高	0.89	极度	
N17	毛家湾沟	239.8	2.78	129	1 626	0.65	大	86.3	551	1 330	0.81	很高	0.73	高度	
N18	银杏坪沟	887.3	6.88	128	2 005	0.82	很大	129	435	1 310	0.85	很高	0.83	极度	
N19	罗圈湾沟	3 017	27.8	125	2 430	1.00	很大	109	263	1 250	0.77	高	0.88	极度	
N20	高家沟	634.7	3.55	122	1 832	0.76	大	179	582	1 230	0.94	很高	0.84	极度	
N21	彻底关沟	2 096	16.7	118	2 370	0.97	很大	126	303	1 200	0.81	很高	0.88	极度	

在确定总上、下限值后,采用简单但不同的数学方法把  $X$  值分为五级,由于各种因子的总上、下限值之间的  $x$  值变化不同,采用分级的数学方法也有所不同。 $A$  和作为物源条件的因子  $V$ 、 $V_a$  从总上限值(即五级的上限值)开始,五级到一级用一个系数  $K_v$  逐级相除,到一级的下限值正好等于或接近总下限值,若除不尽,按 4 舍 5 入取正数或一位小数。 $A$ 、 $V$  和  $V_a$  的  $K_v$  值分别为 3.0、2.1 和 3.0;作为地形条件的因子  $H_d$  和  $J$  从总下限值开始,用奇数 1、3、5、7、9 分别乘以固定系数  $K_c$ ,并逐级累积相加,到五级的上限值正好等于总上限值。 $H_d$  和  $J$  的  $K_c$  值为 120 m 和 30‰;水源条件的因子  $H_{24}$  和  $H_a$  从总下限值开始用一个数值  $K_H$  逐级累积相加,到五级的上限值正好等于总上限值。 $H_{24}$  和  $H_a$  的  $K_H$  值为 25 和 200 mm。按上述方法分别求得的 7 个评价因子五级的上、下界限值如表 2 所示。

3.2.2 评价因子特征值通过归一化换算为标准值

把不同量纲的因子分级特征值( $X$ )通过归一化<sup>[5]</sup>和表 2 相应的赋值转换成因子间可以对比的无量纲标准值( $G$ )。

3.3 评价因子权重的确定

评价因子权重( $W$ )确定采用层次分析法<sup>[6]</sup>。按层次分析法的基本步骤,先分层次,根据下一层次诸因子对上一层次某一元素的相对重要性,建立判断矩阵,求得权重( $W$ ),然后再求最大特征值  $\lambda_{\max}$  和一致性指标  $CR$ ,若  $CR < 0.01$ ,则判断矩阵具有满意的一致性。

泥石流规模( $M$ )和频率( $F$ )为上一层次的两个元素。 $V$ 、 $A$ 、 $H_{24}$ 、 $H_d$  为规模( $M$ )的下一层次 4 个因子,根据前面分析, $V$  对  $M$  最重要,其与  $A$ 、 $H_{24}$  相比

重要性稍强,与  $H_d$  相比重要性强,由此可构建规模判断矩阵(表 3),并通过逐步计算或相应软件可求得  $W$ 、 $\lambda_{\max}$  和  $CR$ 。 $W$  见表 3, $V$  的  $W$  最大, $A$  和  $H_{24}$  其次, $H_d$  最小, $\lambda_{\max} = 4.0042$ ,一致性指标为  $CR = 0.0016 < 0.01$ ,具有满意的一致性,计算结果的权重合理。

频率( $F$ )元素的下一层次 3 个因子为  $V_a$ 、 $J$ 、 $H_a$ 。根据前面分析, $V_a$  对  $F$  最重要,其与  $J$ 、 $H_a$  相比重要性稍强,由此可构建频率判断矩阵(表 4),通过逐步计算或相应软件地求得  $W$ 、 $\lambda_{\max}$  和  $CR$ 。 $W$  见表 4, $V_a$  最大, $\lambda_{\max} = 3.0000$ , $CR = 0.0000 < 0.001$ ,具有很满意的一致性,计算结果的权重完全合理。

3.4 规模、频率和危险性的评价公式和评价结果

3.4.1 评价公式

规模( $M$ )和频率( $F$ )的评价借采用常用的危险性评价公式<sup>[7]</sup>

$$M = G_v \times W_v + G_A \times W_A + G_{H_{24}} \times W_{H_{24}} + G_{H_d} \times W_{H_d} \quad (1)$$

$$F = G_{v_a} \times W_{v_a} + G_j \times W_j + G_{H_a} \times W_{H_a} \quad (2)$$

式中  $G_v$ 、 $G_A$ 、 $G_{H_{24}}$ 、 $G_{H_d}$  和  $G_{v_a}$ 、 $G_j$ 、 $G_{H_a}$  分别为评价因子的标准值; $W_v$ 、 $W_A$ 、 $W_{H_{24}}$ 、 $W_{H_d}$  和  $W_{v_a}$ 、 $W_j$ 、 $W_{H_a}$  分别为评价因子的权重。

危险性( $H$ )评价公式,按危险性定义应为  $M \times F$ ,但为了其值与  $M$  和  $F$  对应可比,改为下式

$$H = (M \times F)^{0.5} \quad (3)$$

运用上述公式可以分别求得用 0.0 至 1.0 表示的泥石流规模、频率和危险的评价值(即  $M$ 、 $F$  和  $H$  值)。根据这些评价值,按表 5 可以把泥石流的规模、频率评价和危险性评价均分为五级,并给予相应的名称,其中规模和频率根据本段所在地区泥石流活

表 2 强震后研究区沟道泥石流危险性评价因子分级及其相应的特征值和赋值分级界限值

Table 2 Gradation and value of influencing factor of debris flow in the study area after earthquake

评价因子特征值的分级界限值		评价因子的分级及其相应的赋值( $Z$ )				
		一级( $K_1$ )	二级( $K_2$ )	三级( $K_3$ )	四级( $K_4$ )	五级( $K_5$ )
		0.0 ~ 0.2	0.2 ~ 0.4	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 0.8	0.8 ~ 1.0
规模评价因子	震后松散固体物质总量( $V/10^4\text{m}^3$ )	10 ~ 20	20 ~ 60	60 ~ 170	170 ~ 500	500 ~ 1500
	流域面积( $A/\text{km}^2$ )	0.2 ~ 0.5	0.5 ~ 1.5	1.5 ~ 4.4	4.4 ~ 13.0	13.0 ~ 40.0
	年最大 24 h 暴雨均值( $H_{24}/\text{mm}$ )	25 ~ 50	50 ~ 75	75 ~ 100	100 ~ 125	125 ~ 150
频率评价因子	流域最大相对高度( $H_d/\text{m}$ )	200 ~ 320	320 ~ 680	680 ~ 1 280	1 280 ~ 2 120	2 120 ~ 3 200
	震后松散固体物质单位面积平均量( $V_a/(10^4\text{m}^3/\text{km}^2)$ )	4 ~ 8	8 ~ 16	16 ~ 34	34 ~ 70	70 ~ 150
	沟道平均比降( $J/\text{‰}$ )	100 ~ 130	130 ~ 220	220 ~ 370	370 ~ 580	580 ~ 850
	多年平均年降水量( $H_a/\text{Mm}$ )	400 ~ 640	640 ~ 880	880 ~ 1 120	1 120 ~ 1 360	1 360 ~ 1 600

表 3 规模判断矩阵

Table 3 Matrix of magnitude judgment

<i>M</i>	<i>V</i>	<i>A</i>	<i>H</i> <sub>24</sub>	<i>H</i> <sub>d</sub>	<i>W</i>
<i>V</i>	1	3	3	5	0.531 8
<i>A</i>	1/3	1	1	2	0.185 5
<i>H</i> <sub>24</sub>	1/3	1	1	2	0.185 5
<i>H</i> <sub>d</sub>	1/5	1/2	1/2	1	0.097 2

表 4 频率判断矩阵

Table 4 Matrix of frequency judgment

<i>F</i>	<i>V</i> <sub>a</sub>	<i>J</i>	<i>H</i> <sub>a</sub>	<i>W</i>
<i>V</i> <sub>a</sub>	1	3	3	0.600 0
<i>J</i>	1/3	1	1	0.200 0
<i>H</i> <sub>a</sub>	1/3	1	1	0.200 0

动的实际情况给出各级的定量指标(相当特征值),可供制订防灾减灾对策时参考。

3.4.2 评价结果

运用上述评价方法,对 21 条沟泥石流的规模、频率与危险性分别进行了评价,结果如表 1 和图 1。表中看出:强震后高烈度区的泥石流的规模、频率和危险性,都以四五级为主,分别占总数的 71.4%、95.2% 和 85.7%,说明泥石流规模大、频率高、危险性严重。

4 对评价结果的检验

根据实地调查和文献[3]所得到的震后 3 a 间研究段实际发生的泥石流规模、频率和危害的资料,并以规模很大、频率很高和极度危险的第 V 级为代表,对相应的评价结果进行检验。

震后 3 a 间,研究段只有磨子沟、红椿沟和银杏坪沟发生了规模很大的泥石流,其最大一次冲出量

(*W*<sub>c</sub>) 分别为  $73.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $70.0 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $51.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,故磨子沟和银杏坪沟与评价一致,红椿沟评价结果为大,而实际为很大,低了一级。按表 1 评价结果,规模很大的还有小沟、太平沟、野牛沟、罗圈湾沟和彻底关沟等流域面积超过  $15 \text{ km}^2$  的 5 条大沟,但 3 a 间均未发生过规模很大的泥石流,造成不一致的原因是震后 3 a 间 5 条大沟的流域没有发生过可以形成规模很大泥石流的暴雨。根据强震后实地形成泥石流的条件,对 5 条沟 25 a 一遇暴雨形成的泥石流 *W*<sub>c</sub> 进行了计算,从小沟开始依次为  $140.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $97.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $99.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $127.5 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $77.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,规模均很大,因此今后一旦发生 25 a 一遇的大暴雨就可能发生与评价结果(表 1)一致的很大泥石流。

泥石流频率在震后 3 a 间超过 2 次的有 13 条沟,系很高,与表 1 的评价结果很高一致,只有兴文坪沟评价结果系频率很高,而 3 a 间实际只发生了 1 次泥石流,实际频率低于评价频率 1 级。

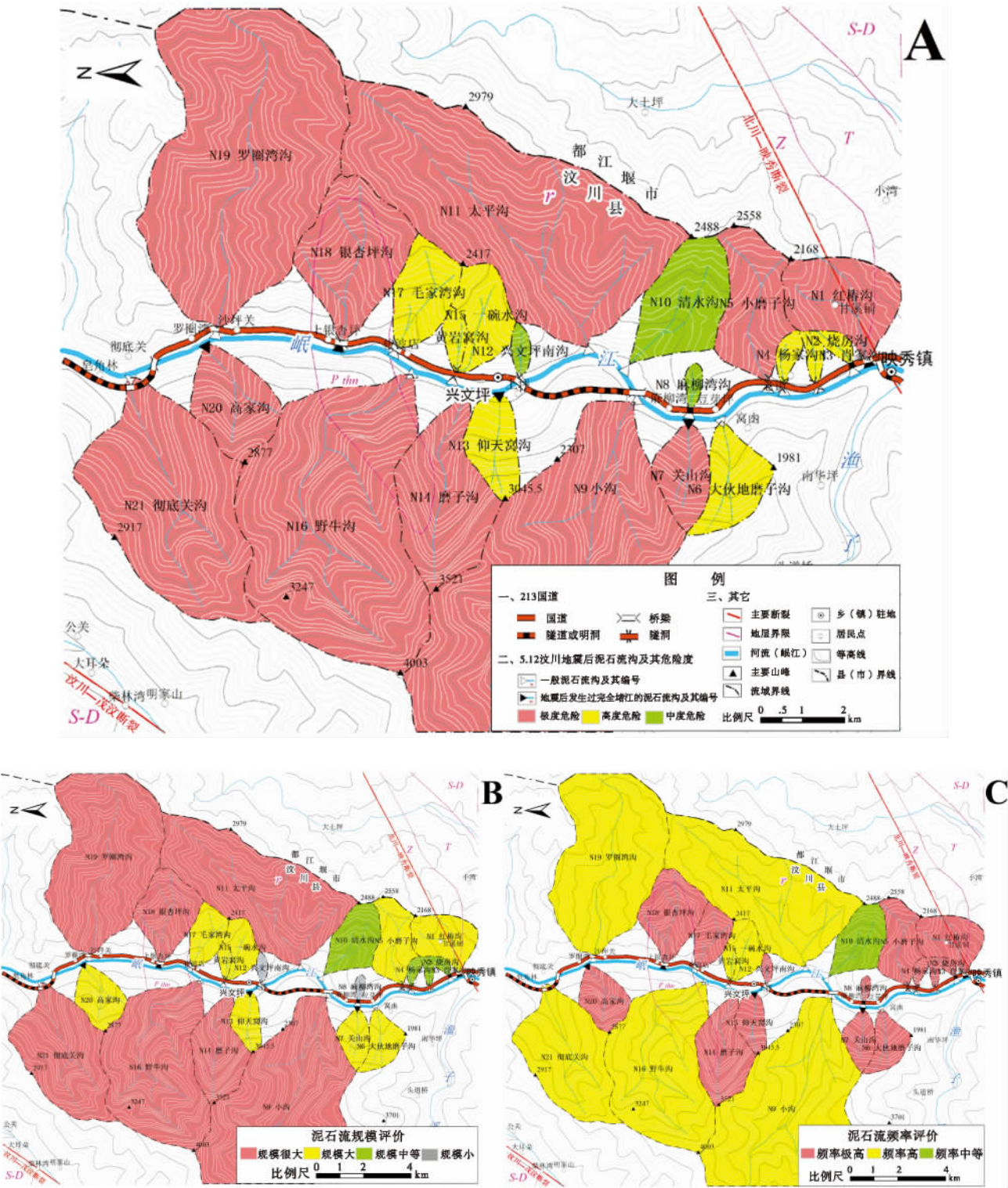
泥石流危险性根据泥石流发生的实际规模、频率和危害来综合的考虑。红椿沟、磨子沟和银杏坪沟 3 沟 3 a 间实际发生的泥石流规模很大,频率很高,危害很严重,故属于极度危险,与评价一致;高家沟、关山沟、小磨子沟和仰天窝沟 4 沟 3 a 间发生泥石流均在 2 次以上,频率很高;最大一次冲出量都大于  $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,系规模大,对当地和公路危害严重,故皆属极度危险,前三者与评价结果一致,但后者高评价结果一级。此外小沟沟、太平沟、野牛沟、罗圈湾沟和彻底关沟 5 条大沟,评价结果都为极度危险,但 3 a 间均未发生过很大的泥石流,与评价结果暂时不符。这与规模评价一样,若今后 5 沟遇到 25 a 一遇的特大暴雨,就可发生很大泥石流,会堵断岷江,并形成比磨子沟更严重的泥石流,从这点出发,与评价结果又是吻合的。

表 5 沟道泥石流危险性、规模和频率评价的等级、界限标准、名称和相关指标

Table 5 Grading criterion of danger, magnitude, and frequency of debris flow

评价结果等级		一级	二级	三级	四级	五级
各级界限标准值		0.0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1.0
泥石流危险性( <i>H</i> ) 等级		微度	轻度	中度	高度	极度
泥石流规模( <i>M</i> ) 评价	等级名称	很小	小	中等	大	很大
	指标: 一次泥石冲出量/( $10^4 \text{ m}^3$ )	<1	1~5	5~10	10~50	>50
泥石流频率( <i>F</i> ) 评价	等级名称	很低	低	中等	高	很高
	指标: 发生次数/(100 a)	<2	2~5	5~10	10~50	>50





A. Assessment of debris flom danger; B. Assessment of debris flow magnitude; C. Assessment of debris flow frequency

图 1 汶川地震后 213 国道映秀至彻底关段沿线沟道泥石流危险性、规模和频率评价图

Fig. 1 Assessment of debris flow danger , magnitade and frequency of the Yingxin-chediguan section of G213 higway after Wenchuan earthquake

上述检验表明,震后3 a 间在研究段实际发生的规模很大、频率很高或极度危险的泥石流,除5条大沟有待今后检验外,只有各一条沟的规模或频率与评价结果(表1)相差一级,因此两者吻合较好。

## 5 结语

本文以213国道映秀至彻底关段为例,探讨了强震后如何对高烈度区的泥石流规模、频率和危险性尽快作出评价,现将探讨结果归纳并讨论如下:

1. 根据地震泥石流特点,本文所采用的评价因子选定和取值、因子权重确定和评价公式等系列评价方法,可以做到在强震后尽快地对高烈度区泥石流的规模、频率和危险性作出评价,并提出规模和频率的定量指标,能及时为制定泥石流减灾防灾对策提供了具体可用的依据。

2. 评价结果得到的研究段泥石流规模很大和大、频率很高和高、危险性极度和高度的沟道分别占总数的71.4%、95.2%和85.7%,说明震后高烈度区的泥石流十分严重。但震后3 a 间5条流域面积 $>15\text{ km}^2$ 的大沟却没有发生规模很大的泥石流,这主要是因为3 a 间流域内未遇到特大暴雨,一旦遇到如25 a 一遇的特大暴雨,就会发生能堵断岷江的很大规模灾难性泥石流。故今后必须高度重视这5条大沟的泥石流活动,加强监测和整治,做好应急减灾预案。

3. 根据震后3 a 泥石流活动的实际资料,对规模、频率和危险性的评价结果进行了检验,除5条大泥石流沟有待震后更长的时间进行检验外,其他沟道实际与评价二者吻合较好。这说明本文所采用的评价方法基本合理可行,可作为今后其他类似地区强震后尽快开展泥石流规模、频率和危险性评价的借鉴。

## 参考文献(References)

[1] 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(3): 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(3): 131

- 139]

- [2] Han Yongshun, Li Longwei, Zhu Yingyan, et al. Hazard assessment of debris flow in severely-affected area by Wenchuan Earthquake: a case study along Dujiangyan - Wenchuan Highway[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2012, 10(1): 6 - 11 [韩用顺, 李龙伟, 朱颖彦, 等. 汶川地震区泥石流危险性评估——以都江堰 - 汶川公路为例[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(1): 6 - 11]
- [3] Liu Qinghua, Tang Chuan, Chang Ming, et al. Risk of debris flow in Epicenter of Wenchuan Earthquake Yingxiu of sichuan[J]. Journal of Mountain Science, 2012, 30(5): 592 - 598 [刘清华, 唐川, 常鸣, 等. 汶川地震强震区映秀地区泥石流的危险性[J]. 山地学报, 2012, 30(5): 592 - 598]
- [4] Hydrological station of Water Resources & Power Engineering Bureau of Sichuan Province. Hydrological handbook of Sichuan province [Z]. Chengdu, 1999. [四川省水利电力总局水文总站. 四川省水文手册[Z]. 成都, 1999.]
- [5] Tang Bangxing, Liu Suqing. Prevention and control of debris and its research in Aba Tibetan and qiang autonomous prefecture, Sichuan province[M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1993: 4 - 84 [唐邦兴, 柳素清. 四川阿坝藏族羌族自治州泥石流及其防治研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993: 4 - 84]
- [6] Li Bode. Mathematical modeling method[M]. Lanzhou: Gansu Education Press, 2006: 276 - 286 [李伯德. 数学建模方法[M]. 兰州: 甘肃教育出版社, 2006: 276 - 286]
- [7] Liu Xilin, Mo Duowen. Risk assessment of debris flow [M]. Beijing: Science Press, 2003: 1 - 32 [刘希林, 莫多闻. 泥石流风险评估[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1 - 32]
- [8] Du Ronghuan, Kang Zhicheng, Chen Xunqian, et al. Comprehensive investigation and prevention planning of Xiaojiang debris flow in Yunnan province [M]. Chongqing: Chongqing Branch of Science and Technology Literature Press, 1987: 17 - 266 [杜榕桓, 康志成, 陈循谦, 等. 云南小江泥石流综合考察与防治规划[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1987: 17 - 266]
- [9] Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, CAS; Traffic Science Institute of Gansu Province, China. Debris flow in Gansu Province[M]. Beijing: People's Transportation Press, 1987: 1 - 89 [中国科学院兰州冰川冻土研究所, 甘肃省交通科学研究所. 甘肃省泥石流[M]. 北京: 人民交通出版社, 1987: 1 - 89]
- [10] Wu Jishan, Tion Lianquan, Kang Zhicheng, et al. Bebris flow and its comprehensive control [M]. Beijing: Science Press, 1993: 1 - 214 [吴积善, 田连权, 康志成, 等. 泥石流及其综合治理[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1 - 214]
- [11] Zeng Siwei, Zhao Dongzhi, Zhang Youan. Study on debris flowsup-  
plyment of China [J]. Journal of Ganju Sciences, 1996, 8( Sup-  
pl. ): 109 - 114 [曾思伟, 赵冬至, 张又安. 我国泥石流冲出量的研  
究[J]. 甘肃科学学报, 1996, 8( 增 ): 109 - 114]

# Assessment of Debris Flow Danger in High-intensity Earthquake Area after Intense Earthquake

——A Case Study of the Yingxiu – Chediguan Section of G213  
Highway Hit by the Wenchuan Earthquake

TU Guoqiang<sup>1</sup>, CHENG Zunlan<sup>2</sup>, LIU Jiankang<sup>2</sup>, HUANG Jinhui<sup>2</sup>

(1. Sichuan Vocational and Technical College of Communication, Chengdu, 611130, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, 610041, China)

**Abstract:** Tremendous landslides and collapses caused by intense earthquake usually induce numerous debris flows in rainy season. This study explores to make a quick assessment of frequency, magnitude, and danger of debris flow by a case study of the Yingxiu – Chediguan section of G213 highway hit by the Wenchuan earthquake. Key factors influencing the formation, magnitude, and frequency of debris flow are chosen and numerically determined through interpretation of remote sensing images and related DEM maps. The values are divided into five grades and normalized between 0 and 1. The weight for each factor is calculated by hierarchy analysis. Finally, the universal model is used to assess debris flows in 21 gullies. Comparison with the real occurrences indicates the assessment results are in good agreement. The assessment system can be further applied to debris flows in other regions of high-intensity earthquake.

**Key words:** after intense earthquake; high-intensity earthquake area; debris flow danger; quick assessment