

文章编号: 1008 - 2786 - (2012) 5 - 592 - 07

汶川地震强震区映秀地区泥石流的危险性

刘清华 唐川 常鸣 余斌

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,四川 成都 610059)

摘 要: 汶川地震震中四川省汶川县映秀镇及附近于 2010 - 08 - 14 暴发群发性泥石流(简称“8.14”泥石流),造成巨大的人员伤亡和财产损失。地震灾区松散固体物源丰富,泥石流灾害相对活跃,估算未来不同降雨频率下泥石流的暴发规模并评价其危险性,是泥石流灾害风险管制的首要工作。在研究四川省部分地区的泥石流和对应降雨频率资料的基础上,得到泥石流规模和降雨频率之间的关系式。以映秀“8.14”泥石流的暴发规模和降雨频率为基础数据,通过泥石流规模和降雨频率之间的关系式推算得到映秀及附近岷江两岸 13 条泥石流沟在不同降雨频率下的泥石流规模。以泥石流在堆积扇上的平均堆积厚度(泥石流规模/堆积扇面积)、泥石流发生频率、流域面积、主沟长度、流域相对高度、流域切割密度和不稳定沟床比例为危险性判断因子,分别对映秀及邻近地区的 13 条泥石流沟在 100 a、50 a、20 a、10 a 和 5 a 一遇 5 种不同频率降雨条件下的泥石流危险性进行评价。结果表明:在 5 种降雨频率下 8 条沟的泥石流危险性为高度,4 条沟的为中度到高度,1 条沟的为中度。

关键词: 汶川地震区;降雨频率;泥石流规模;平均堆积厚度;危险性评价

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

泥石流是山区地震后的主要次生灾害之一,地震后泥石流暴发的临界降雨条件较地震前有所降低^[1],泥石流有至少 5 ~ 10 a 的相对活跃期,影响时间可能长达 30 ~ 40 a^[1-2]。受强降雨诱发,“5.12”汶川地震震中四川省汶川县映秀镇及附近岷江两岸于 2010 - 08 - 14 凌晨暴发了 8 处坡面泥石流和 13 条沟谷型泥石流(简称“8.14”泥石流)。以红椿沟泥石流灾情最重,冲出量达 $71.1 \times 10^4 \text{ m}^3$,冲出物进入河道形成堰塞体致使岷江改道,洪水冲入映秀镇新城,造成了严重的生命和财产损失^[3]。

映秀一带岷江两岸山体高陡,受“5.12”汶川地震影响,各支沟内存在大量松散固体物源和潜在滑坡,具备发生泥石流的良好条件。地震后重建的映秀镇新城已于 2010 年开始投入使用,但泥石流灾害使人们的正常生产和生活面临很大的威胁。另外,国道 213 线映秀至汶川段沿岷江延伸,两岸发生泥

石流,造成交通受阻。因此,对映秀一带岷江两岸的泥石流进行危险性评价是非常迫切且重要的工作。

目前的单沟泥石流危险性评价主要是针对某一泥石流事件中的泥石流规模进行的,没有考虑不同降雨频率下同单一单沟泥石流危险性的变化。在不同频率的降雨作用下,同一单沟有不同的泥石流暴发规模,泥石流综合危险度和危险性也可能会相应变化,由此形成不同等级的风险,需要采取不同的风险管制措施。因此,进一步研究未来不同降雨频率下泥石流的发生规模及相应的危险性,可以为相关部门制定泥石流防灾减灾措施和灾害应急预案提供参考资料。

本文通过研究四川省部分泥石流沟的泥石流规模和相应降雨频率的数据资料,得到泥石流规模与降雨频率之间的关系式。以映秀“8.14”泥石流的规模和降雨频率为基础数据,对该区未来不同降雨

收稿日期(Received date): 2012 - 01 - 10; 改回日期(Accepted): 2012 - 05 - 28。

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划课题“龙门山地震带小流域泥石流滑坡灾害综合风险评估技术研究及示范”(2011BAK12B01)。

[The key projects in the National Science & Technology Pillar Program “Study and Demonstration of Risk Assessment Technology for Debris Flow and Landslide in Small Watershed of Longmenshan Seismic Belt” (2011BAK12B01).]

作者简介(Biography): 刘清华(1976 -),女,四川中江人,讲师,主要从事泥石流灾害风险研究。[Liu Qinghua(1976 -), female, born in Zhongjiang of Sichuan, lecturer, majoring in risk research of debris flow disaster.] E-mail: liuqinghua@cdut.cn

频率下的泥石流规模进行估算, 并对不同降雨频率下的泥石流危险性进行评价。

1 研究方法

1.1 不同降雨频率下的泥石流规模

降雨是泥石流的触发因素, 雨量的大小对泥石流的流量和规模都有影响。降雨量与降雨频率相对应, 在不同降雨频率下, 泥石流的规模也不相同。不同降雨频率下的泥石流流量采用配方法计算, 泥石流总量(规模)由泥石流流量和持续时间计算得到^[4]。

“5·12”汶川特大地震, 引发大量崩塌和滑坡, 参与泥石流活动的松散固体物源大量增加, 泥石流暴发规模较地震前明显增大^[5], 如 2008-09-24 安

县甘沟在 20 a 一遇的降雨诱发下, 发生了相当于地震前 100 a 一遇降雨诱发的泥石流^[6]。因此, 按地震前先计算洪水流量, 再由配方法计算地震后地震灾区泥石流的规模会产生较大误差, 需要新的方法计算地震灾区未来不同降雨频率下的泥石流规模。

本文研究了四川省 23 条泥石流沟在不同降雨频率下的泥石流规模, 泥石流沟概况见表 1。以资料相对较多的 100 a 一遇降雨频率下的泥石流规模为基数, 整理得到 23 条泥石流沟在其他降雨频率下的泥石流规模(m)、相对于 100 a 一遇降雨频率下泥石流规模($m_{p=1\%}$)的规模系数 K ($K = m/m_{p=1\%}$) (见表 1 和图 1)。根据表 1 和图 1 拟合得到规模系数 K 与降雨频率 P 之间的关系式, 即

$$K = 0.24P^{-0.3} \quad R^2 = 0.9868 \quad (1)$$

当已知某一沟的泥石流规模及其降雨频率时,

表 1 泥石流沟参数及泥石流规模系数

Table1 Parameters of debris flow gullies and scale coefficients

沟名	位置	所在流域	流域面积 /km ²	不同降雨频率下的泥石流规模系数 K									
				0.2%	0.5%	1%	2%	3.3%	4%	5%	10%	20%	
大水沟 ^[7]	四川省北川县	涪江支流通口河	0.45	1.47	1.17	1.0	0.85	0.75	-	0.68	0.55	0.42	
小水沟 ^[7]	四川省北川县	涪江支流通口河	0.36	1.63	1.19	1.0	0.85	0.74	-	0.66	0.53	0.41	
无名沟 ^[7]	四川省北川县	涪江支流通口河	0.07	1.64	1.20	1.0	0.84	0.74	-	0.66	0.53	0.39	
海尔沟 ^[8]	四川省石棉县	大渡河	24.84	1.36	1.15	1.0	0.85	0.77	-	0.64	0.49	0.36	
龙达沟 ^[9]	四川省康定县	大渡河	4.72	-	1.28	1.0	0.81	0.66	-	0.58	0.44	0.31	
深启低沟 ^[10]	四川省汉源县、甘洛县	大渡河	0.63	1.51	1.18	1.0	0.78	-	-	0.59	0.46	0.34	
大桥沟 ^[11]	四川省西昌市、盐源县	雅砻江	170.06	1.36	1.15	1.0	0.84	-	-	0.64	0.50	0.38	
喇嘛溪沟 ^[12]	四川省汉源县	大渡河支流流沙河	4.30	1.36	1.17	1.0	0.85	-	-	0.67	0.54	0.40	
深家沟 ^[13]	四川省泸定县	大渡河	3.86	1.64	1.23	1.0	0.79	-	-	0.57	-	-	
大寨沟 ^[14]	云南巧家县、四川宁南县	金沙江	28.73	-	-	1.0	0.75	-	-	0.56	0.41	0.29	
石膏厂沟 ^[15]	四川省美姑县	金沙江支流美姑河	2.13	-	-	1.0	0.88	-	-	-	0.40	0.30	
罗家坝沟 ^[16]	四川省黑水县	岷江支流黑水河	18.6	-	-	1.0	0.80	-	0.60	-	-	-	
海流沟 ^[17]	四川省石棉县	大渡河	61.24	1.55	-	1.0	0.74	-	-	-	-	-	
邛山沟 ^[18]	四川省丹巴县	大金川河	32.3	-	-	1.0	0.85	-	0.69	-	-	-	
牛尾沟 ^[15]	四川省美姑县	金沙江支流美姑河	1.08	-	-	1.0	0.80	-	-	-	-	-	
年年坡沟 ^[15]	四川省美姑县	金沙江支流美姑河	1.18	-	-	1.0	0.83	-	-	-	-	-	
三飞下沟 ^[15]	四川省美姑县	金沙江支流美姑河	1.30	-	-	1.0	0.86	-	-	-	-	-	
格尔鲁沟 ^[15]	四川省美姑县	金沙江支流美姑河	1.50	-	-	1.0	0.85	-	-	-	-	-	
尔马落西沟 ^[15]	四川省美姑县	金沙江支流美姑河	8.8	-	-	1.0	0.88	-	-	-	-	-	
佐过依打沟 ^[15]	四川省美姑县	金沙江支流美姑河	4.57	-	-	1.0	0.82	-	-	-	-	-	
以曲姑沟 ^[15]	四川省美姑县	金沙江支流美姑河	1.00	-	-	1.0	0.76	-	-	-	-	-	
新桥工委沟 ^[15]	四川省美姑县	金沙江支流美姑河	1.06	-	-	1.0	0.76	-	-	-	-	-	
洛高依打沟 ^[15]	四川省美姑县	金沙江支流美姑河	42.80	-	-	1.0	0.90	-	-	-	-	-	

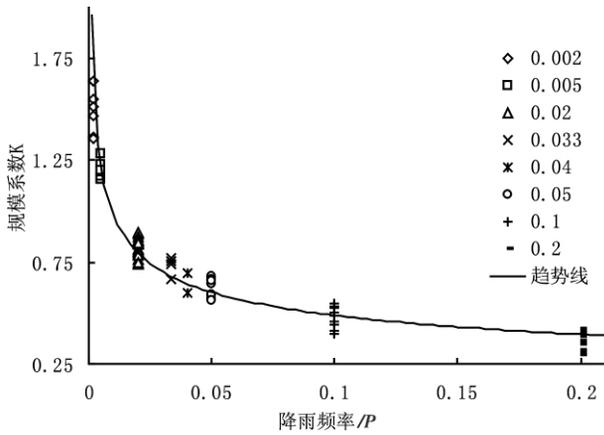


图1 泥石流规模系数

Fig. 1 Scale coefficients of debris flows

可以根据关系式(1)推算其他降雨频率下的泥石流规模。地震对泥石流的主要影响之一表现为规模放大效应^[5],因地震对地震灾区不同频率的降雨诱发的泥石流的规模都有放大作用,故假设地震后不同频率的降雨诱发的泥石流规模之间的关系仍然符合公式(1)中泥石流规模与降雨频率之间的关系。

1.2 危险性评价方法

单沟泥石流危险性评价以刘希林的评价方法^[19-20]使用最为广泛。该方法选择了包括泥石流规模在内的7个危险因子,分别赋予权重,以危险因子实际值的转换值与相应权重值乘积的和作为泥石流综合危险度来判断危险性;当规模 m 在 $1 \times 10^3 \sim 1000 \times 10^3 \text{ m}^3$ 之间时,其转换值 $M = \log(m/1000) / 3$ 。这种通过取对数值转换赋值的方法使规模变化对综合危险度的影响较小。2003年四川省汶川县茶园沟泥石流在 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的规模下产生了致使11人死亡的严重后果,直接经济损失达1500多万元,其综合危险度 $H = 0.5$,为中度危险,其中规模的贡献值 H_m 为0.16^[21];当茶园沟泥石流的规模增加到 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 时,其危害的可能性明显增加,但 H_m 为0.24 $H = 0.58$,评价结果仍为中度危险。

淤埋是泥石流成灾的主要方式之一,淤积厚度是描述泥石流灾情和危险性的一个重要参数。唐川等^[22]、Jakob M等^[23]、Marcel Hürlimann等^[24]利用流深或流深与运动速度相结合的方法研究了泥石流危险区的划分。其中在用流深划分危险区的方法中,一次泥石流过程的流深 $> 1 \text{ m}$ 时多为高度危险范围。中小规模泥石流造成严重灾害损失与堆积扇上的易损性高有关。另一个重要原因是泥石流堆积扇相对较小,当灾害发生时堆积扇上泥石流冲出物

的平均堆积厚度(泥石流规模/堆积扇面积)相对较大,潜在危险性相对较高^[25]。茶园沟泥石流堆积扇面积 0.05 km^2 , $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 规模时堆积扇平均堆积厚度 1 m ,局部淤积泥深可能 $> 1 \text{ m}$; $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 规模时茶园沟堆积扇平均堆积厚度增至 6 m ,其危险性明显增加。2010-08-13汶川地震区都江堰市龙池镇泥石流群发,大部分是中小规模的泥石流,但产生的灾害损失严重^[25]。

针对泥石流堆积扇较小的中小规模泥石流,堆积扇平均堆积厚度相对于规模能更真实地反映泥石流可能的危险程度。用堆积扇平均堆积厚度替代刘希林危险性评价方法中的规模因子来对单沟泥石流危险性进行评价,可以更好地反映小泥石流流域在中小规模的泥石流总量下的危险程度^[25]。

2010年映秀“8.14”泥石流灾害中,13条沟谷型泥石流的流域面积、堆积扇面积和泥石流规模见表2,其中多数为小泥石流流域并形成小泥石流堆积扇,泥石流规模(降雨频率 $P = 20\%$)多数 $< 10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。因此,本文采用改进的单沟泥石流危险性评价方法,以泥石流在堆积扇上的平均堆积厚度、泥石流发生频率、流域面积、主沟长度、流域相对高度、流域切割密度和不稳定沟床比例为危险性判断因子,对这13条泥石流沟在不同降雨频率下的泥石流危险性进行评价,泥石流综合危险度(H)计算公式如下^[20-25]

$$H = 0.29D + 0.29F + 0.14S_1 + 0.09S_2 + 0.06S_3 + 0.11S_6 + 0.03S_9 \quad (2)$$

式中 D 为泥石流堆积扇平均堆积厚度 d 的转换值; $d(\text{m})$ 为泥石流规模与堆积扇面积的比值,为主要危险因子;规模越大, d 值越大,遭受泥石流损害的可能性就越大。 F 为发生频率 f 的转换值; $f(\%)$ 为单位时间内泥石流的实际发生次数,以 100 a 为单位时间,为主要危险因子 f 越高,遭受泥石流损害的可能性越大。 S_1 为泥石流沟流域面积 s_1 的转换值; $s_1(\text{km}^2)$ 指分水岭包围下的汇水面积(不包括堆积扇部分),反映沟谷流域产沙和汇流情况,为次要因子;流域面积与流域产沙量成正相关,影响流域松散物源量,松散物源量又影响泥石流规模,从而影响堆积扇平均堆积厚度。 S_2 为泥石流沟主沟长度 s_2 的转换值; $s_2(\text{km})$ 决定着泥石流的流程和沿途接纳松散固体物质的多少,为次要因子; s_2 越长,接纳的松散固体物质越多,其能量和破坏力越大。 S_3 为流域相对高度 s_3 的转换值; $s_3(\text{km})$ 为流域最高点与

堆积扇扇顶之间的高差,反映流域的势能和泥石流携带固体物质的能力,为次要因子; s_3 越大,发生泥石流的物质条件和动力条件越充分。 S_6 为流域切割密度 s_6 的转换值; s_6 (km^{-1}) 为流域内切沟和冲沟的总长度与流域面积的比值,综合反映流域地质地理环境,为次要因子; s_6 越大,支沟侵蚀越发育,固体和液体径流越大,泥石流潜在破坏力就越大。 S_9 为不稳定沟床比例 s_9 的转换值; s_9 (%) 为泥沙沿程补给段长度比,即泥沙沿程补给累计长度占主沟长度的百分比,为次要因子; s_9 越大,流域内泥沙补给条件越好。

当 $d \leq 0.5 \text{ m}$ 时, $D = 2d$; 当 $d > 0.5 \text{ m}$ 时, $D = 1$ ^[25]。其他 6 个危险性因子的转换函数参考刘希林单沟泥石流危险性评价方法^[20]。

用堆积扇平均堆积厚度替代规模的泥石流危险性评价方法中,当 $d \leq 0.5 \text{ m}$ 时,厚度转化值 (D) 随 d 线性变化, d 对泥石流综合危险度的贡献值 H_d ($H_d = 0.29D$, 0.29 为 d 的权重值) 也随 d 线性变化,更好地体现了堆积扇平均堆积厚度(规模)变化对泥石流综合危险度的影响。

2 映秀地区泥石流危险性评价

根据对映秀镇及附近岷江两岸泥石流灾害史的调查,在上个世纪 30 年代初期和 1962 年发生过泥

石流,之后至 2008 年地震前没有再发生过较大规模的泥石流。然而,受汶川强地震影响,地震后流域内松散固体物源丰富,激发泥石流的临界雨强降低^[1-2],一定时期内泥石流的暴发频率增高,由地震前的低频转为地震后的中频甚至高频泥石流。因此,本次危险性评价中的泥石流发生频率采用汶川地震后的泥石流发生频率。2008 年地震后至 2010 年“8.14”泥石流灾害之间共经历了 3 个雨季,发生了一次群发性泥石流灾害。根据映秀镇附近雨量站的降雨资料,诱发映秀“8.14”泥石流的降雨频率为 5 a 一遇^[26]。根据以上分析,地震后映秀地区的泥石流沟在 5 a 一遇或更大的降雨条件下会暴发泥石流,泥石流发生频率 f 取 20%。

将映秀“8.14”5 a 一遇降雨下的泥石流规模代入泥石流规模与降雨频率的关系式,分别推算得到映秀及附近 13 条泥石流沟在 100 a、50 a、20 a 和 10 a 一遇降雨下的泥石流规模,结果见表 2。

根据本文前述方法,对映秀 13 条泥石流沟在不同降雨频率下的泥石流危险性进行评价,得到相应的泥石流综合危险度和危险性评判结果(表 2)。图 2 为映秀“8.14”泥石流灾害中 13 条沟泥石流的危险性评价结果。

表 2 中 13 条沟泥石流的危险性评价结果显示,黑槽头沟在 5 种降雨频率下的泥石流危险性均为中度;大槽头沟在 100 a 一遇降雨下的泥石流危险性为

表 2 映秀及附近 13 条沟在不同降雨频率下的泥石流规模、泥石流综合危险度及危险性

Table 1 The debris flow scales, hazard degrees and hazard assessment of 13 gullies under different rainfall frequencies in Yingxiu

序号	沟名	流域面积 /km ²	堆积扇面积 /km ²	降雨频率及泥石流规模/(10 ⁴ m ³)						降雨频率及泥石流综合危险度和危险性								
				1%	2%	5%	10%	20%	1%	2%	5%	10%	20%					
DF1	红椿沟	5.21	0.064	179.5	142.6	108.1	87.7	71.1	0.68	高	0.68	高	0.68	高	0.68	高	0.68	高
DF2	烧房沟	0.65	0.018	19.2	15.2	11.6	9.4	7.6	0.61	高	0.61	高	0.61	高	0.61	高	0.61	高
DF3	小家沟	0.46	0.012	21.0	16.7	12.6	10.2	8.3	0.61	高	0.61	高	0.61	高	0.61	高	0.61	高
DF4	王一庙沟	0.45	0.013	26.3	20.9	15.8	12.8	10.4	0.60	高	0.60	高	0.60	高	0.60	高	0.60	高
DF5	磨子沟	5.32	0.010	39.9	31.7	24.0	19.5	15.8	0.70	高	0.70	高	0.70	高	0.70	高	0.70	高
DF6	大槽头沟	3.95	0.040	1.8	1.4	1.1	0.9	0.7	0.64	高	0.59	中	0.54	中	0.51	中	0.49	中
DF7	皂角湾沟	2.85	0.030	2.8	2.2	1.7	1.4	1.1	0.67	高	0.67	高	0.67	高	0.64	高	0.59	中
DF8	黑槽头沟	0.33	0.017	5.1	4.0	3.0	2.5	2.0	0.59	中	0.59	中	0.59	中	0.59	中	0.59	中
DF9	兴文坪大沟	1.64	0.030	10.9	8.6	6.5	5.3	4.3	0.66	高	0.66	高	0.66	高	0.66	高	0.66	高
DF10	一碗水沟	7.12	0.017	9.3	7.4	5.6	4.6	3.7	0.71	高	0.71	高	0.71	高	0.71	高	0.71	高
DF11	野柳沟	24.38	0.027	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.66	高	0.62	高	0.59	中	0.57	中	0.56	中
DF12	苏坡店沟	2.78	0.025	1.5	1.2	0.9	0.7	0.6	0.68	高	0.66	高	0.60	高	0.56	中	0.52	中
DF13	银杏坪沟	7.02	0.027	7.6	6.0	4.6	3.7	3.0	0.72	高	0.72	高	0.72	高	0.72	高	0.72	高

高度 其余降雨频率下的为中度;野柳沟在 100 a 一遇和 50 a 一遇降雨时的泥石流危险性为高度 其余降雨频率下的为中度;苏坡店沟在 100 a、50 a 和 20 a 一遇降雨时的泥石流危险性为高度,10 a 和 5 a 一遇降雨时的为中度;皂角湾沟仅在 5 a 一遇降雨时的泥石流危险性为中度 其余降雨频率下的为高度;红椿沟、烧房沟、小家沟、王一庙沟、磨子沟、兴文坪大沟、一碗水沟和银杏坪沟等 8 条沟在 5 种降雨频率下的泥石流危险性均为高度。

均堆积厚度对泥石流综合危险度的贡献值 H_d 均达到最大值 0.29 此时泥石流综合危险度也都到达最大值。但对于 5 a 一遇降雨时泥石流在堆积扇上的平均堆积厚度 < 0.5 m 的泥石流流域,泥石流规模随降雨量增加而增大,泥石流在堆积扇上的平均堆积厚度随之增加,堆积扇平均堆积厚度对泥石流综合危险度的贡献值也增加,泥石流综合危险度随泥石流规模增加而增大,如本文评价中的大槽头沟、皂角湾沟、野柳沟和苏坡店沟。因此,本文的评价方法可以较好地反映泥石流综合危险度和危险性随规模变化的变化。

3 结论

地震灾区在地震后一段时期内泥石流活跃,通过本文的研究方法实现对未来不同频率的降雨诱发的泥石流进行危险性评价,具有一定的现实指导意义。本文主要得到以下 4 方面的研究结果:

1. 通过研究四川地区部分泥石流沟的泥石流规模和相应降雨频率的数据资料,得到泥石流规模和降雨频率之间的关系式,在已知某一降雨频率下的泥石流规模的基础上,可以推算其他降雨频率下的泥石流规模。

2. 以映秀“8.14”5 a 一遇降雨频率下的泥石流发生规模为基础数据,通过泥石流规模与降雨频率间的关系式推算出映秀镇及附近 13 条泥石流沟分别在 100 a、50 a、20 a 和 10 a 一遇降雨频率下的泥石流规模。

3. 以泥石流在堆积扇上的平均堆积厚度为危险性判断因子中的变量因子,对映秀镇及附近 13 条沟在不同降雨频率下的泥石流危险性进行评价。评价结果表明 8 条沟在 5 种降雨频率下的泥石流危险性均为高度危险;4 条泥石流沟表现出不同降雨频率下的泥石流有不同的综合危险度和危险性,其危险性为中度到高度;1 条沟在 5 种降雨频率下的泥石流危险性均为中度。

4. 根据不同降雨频率对应的泥石流规模,以泥石流在堆积扇上的平均堆积厚度为危险性判断因子和变量因子评价泥石流的危险性,可以较好地反映泥石流在不同降雨频率下可能出现的不同的泥石流综合危险度和危险性:当泥石流在堆积扇上的平均堆积厚度 < 0.5 m 时,可得到不同降雨频率下的不同的泥石流危险度,能反映不同泥石流规模下的真

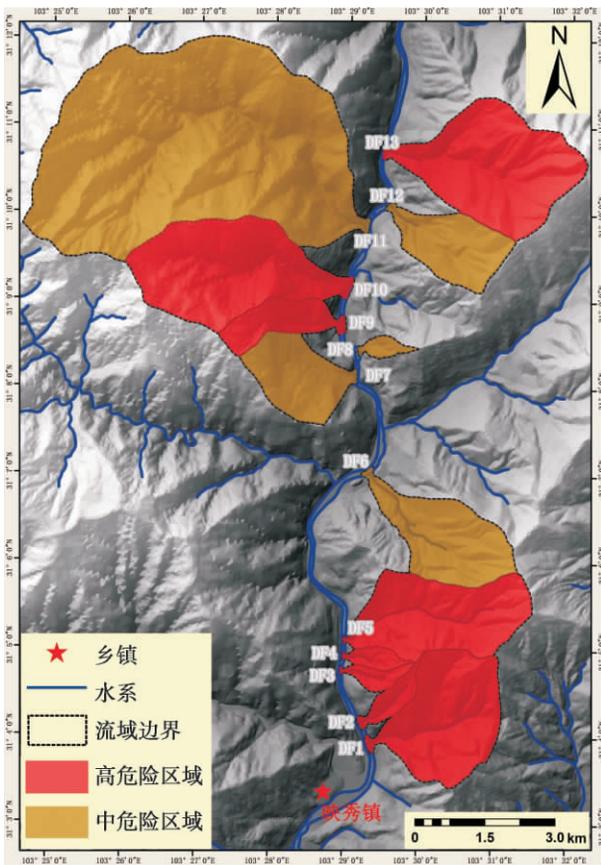


图2 映秀“8.14”泥石流的危险性评价结果(5 a 一遇降雨)
Fig. 2 Hazard assessment results of “8.14” debris flows in Yingxiu (rainfall return period 5 years)

在泥石流危险性评价中,泥石流在堆积扇上的平均堆积厚度是影响不同降雨频率下泥石流综合危险度的唯一变量因子。从表 2 可以看出,红椿沟、烧房沟、小家沟、王一庙沟、磨子沟、兴文坪大沟、一碗水沟、银杏坪沟和黑槽头沟等 9 条沟在 5 种降雨频率下的泥石流综合危险度相同,这是由于 9 条沟的泥石流堆积扇面积均相对较小 ($0.01 \sim 0.064$ km^2)。5 种降雨频率下的泥石流在堆积扇上的平均堆积厚度都 > 0.5 m,其转换值 D 都为 1,堆积扇平

实的泥石流危险性。

本文拟合泥石流规模和降雨频率之间关系式的基础资料主要来源于四川省西部地区的部分泥石流沟,收集资料的地域范围和数量有限,关系式的适用范围主要为四川西部地区,其他地区泥石流规模与降雨频率之间的经验关系有待研究。

参考文献(References)

- [1] Tang Chuan. Activity tendency prediction of rainfall induced landslides and debris flows in the Wenchuan earthquake areas[J]. Journal of Mountain Science 2010 28(3):341-349 [唐川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J]. 山地学报, 2010 28(3): 341-349]
- [2] Xie Hong Zhong Dunlun Jiao Zhen et al. Debris flow in Wenchuan quake-hit area in 2008[J]. Journal of Mountain Science 2009 27(4):501-509 [谢洪 钟敦伦 矫震,等. 2008年汶川地震重灾区的泥石流[J]. 山地学报 2009 27(4):501-509]
- [3] Tang Chuan Li Weile Ding Jun et al. Field investigation and research on giant debris flow on August 14 2010 in Yingxiu town epicenter of Wenchuan earthquake[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences 2011 36(1):172-180 [唐川 李为乐, 丁军,等. 汶川震区映秀镇“8.14”特大泥石流灾害调查[J]. 地球科学:中国地质大学学报 2011 36(1):172-180]
- [4] Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0220-2006 specification of geological investigation for debris flow stabilization[S]. Beijing: Ministry of Land and Resources of the People's Republic 2006 [国土资源部. DZ/T 0220-2006 泥石流灾害防治工程勘察规范[S]. 北京: 国土资源部 2006]
- [5] Shen Xingju Zhang Jinshan Wang Shige et al. Evaluation of debris flow risk in worst-hit area of Wenchuan earthquake based on increase coefficient[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation 2010 30(5):97-101 [沈兴菊 张金山 王士革,等. 5.12地震后灾区泥石流危险度增加系数评价[J]. 水土保持通报 2010 30(5): 97-101]
- [6] You Yong Chen Xingzhang Liu Jinfeng. Dam-breaking debris flows and its countermeasures of Gangou gully following the Wenchuan earthquake in Anxian county Sichuan[J]. Journal of Mountain Science 2011 29(3):320-327 [游勇 陈兴长 柳金峰. 汶川地震后四川安县甘沟堵溃泥石流及其对策[J]. 山地学报 2011 29(3):320-327]
- [7] Hu Xiewen Li Xiaoping Huang Runqiu et al. Analyses of river blocking and breaking mode of “9.24” debris flow near Tangjiashan barrier dam[J]. Journal of Southwest Jiaotong University 2009 44(3):312-320 326 [胡卸文 吕小平 黄润秋,等. 唐家山堰塞坝“9.24”泥石流堵江及溃决模式[J]. 西南交通大学学报, 2009 44(3):312-320 326]
- [8] Pei Kening. Development characters and negative influences of haier debris flow in Longtoushi hydroelectric power station[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University 2007 [裴克宁. 龙石头水电站海尔沟泥石流发育特征及对移民场地影响评价[D]. 成都: 西南交通大学 2007]
- [9] Xue Feng. Development characters and negative influences of Longda-gou debris flow in Huangjinping hydroelectric power station[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University 2006 [薛峰. 黄金坪水电站坝区龙达沟泥石流发育特征及其对工程影响研究[D]. 成都: 西南交通大学 2006]
- [10] Wu Lijun. The Shenqidi debris flow's development character and prevention countermeasure Pubugou power station Dadu river[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University 2006 [吴丽君. 大渡河瀑布沟水电站坝址左岸深启低沟泥石流发育特征及防治研究[D]. 成都: 西南交通大学 2006]
- [11] Zhu Haiyong Hu Xiewen Li Xiaoping. The debris flow movement characteristics and their influences on engineering projects in the Daqiao channel in Yalong river southwest of China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2006 33(6):557-560 [朱海勇 胡卸文 吕小平. 大桥沟泥石流运动特征及其对工程影响分析[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版 2006 33(6):557-560]
- [12] Wei Chengwu Wu Xiyong. The debris flow movement characteristics and their influences on engineering projects in the Lamaxi channel[J]. Research of Soil and Water Conservation 2008 15(6):170-172 [魏成武 巫锡勇. 喇嘛溪沟泥石流运动特征及其对工程影响分析[J]. 水土保持研究 2008 15(6):170-172]
- [13] Su Xiaoqin. The study on the characteristics and risk assessment of debris flow in Shenjia gully of Luding country of Sichuan[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology 2008 [苏小琴. 四川泸定县城区深家沟泥石流特征及风险评估研究[D]. 成都: 成都理工大学 2008]
- [14] Ao Haoxiang Liu Jing Kuang Mingsheng et al. The formation condition and disaster assessment of debris flow-take Dazhaigou valley as an example[J]. Journal of Jiangxi Normal University: Natural Science 2006 30(3):303-307 [敖浩翔 刘晶 况明生,等. 泥石流的形成条件及灾害评估方法——以大寨沟流域泥石流灾害评估为例[J]. 江西师范大学学报: 自然科学版 2006 30(3):303-307]
- [15] Tang Chuan Zhang Weifeng Huang Da. Features of debris flow in reservoir of hydropower station in the Meigu river of Jinshajiang[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2006 26(2):129-135 [唐川 张伟峰 黄达. 美姑河牛牛坝水电站库区泥石流基本特征[J]. 防灾减灾工程学报 2006 26(2):129-135]
- [16] Chen Ningsheng Chen Qingbo. Frequency of different scale debris flows in limited triggering earth——taking luojiaba valley debris flow for example[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition 2003 30(6):612-616 [陈宁生 陈清波. 有限物源流域不同规模的泥石流频率分析——以川西黑水河罗家坝泥石流沟为例[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版 2003 30(6):612-616]
- [17] Zhao Xurun. Mechanism about debris flow's formation and investigation on method of treatment in Hailiu clough[D]. Nanjing: Hohai University 2007 [赵旭润. 海流沟泥石流形成机理及治理

- 方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2007]
- [18] Chen Ningsheng, Gao Yanchao, Li Dongfeng, et al. Conflux process analysis of disastrous debris flow in Qionshan ravine, Danba, Sichuan province [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2004, 13(3): 104 - 108 [陈宁生, 高延超, 李东风, 等. 丹巴县邛山沟特大灾害性泥石流汇流过程分析[J]. *自然灾害学报*, 2004, 13(3): 104 - 108]
- [19] Liu Xilin. Study on the decision of debris flow hazard 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]
- [20] Liu Xilin. Quantitative assessment on site-specific debris flow hazard and application [J]. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering*, 2010, 30(3): 241 - 245 [刘希林. 沟谷泥石流危险度计算公式的由来及其应用实例[J]. *防灾减灾工程学报*, 2010, 30(3): 241 - 245]
- [21] Liu Xilin, Lü Xuejun, Su Pengcheng. Characteristics and hazard assessment of debris flow in Chayuan Gully of Wenchuan county in Sichuan [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2004, 13(1): 66 - 71 [刘希林, 吕学军, 苏鹏程. 四川汶川茶园沟泥石流灾害特征及危险度评价[J]. *自然灾害学报*, 2004, 13(1): 66 - 71]
- [22] Tang Chuan, Zhou Juqian, Zhu Jing, et al. A study on the risk zoning of debris flow on alluvial fans by applying technology of numerical simulation [J]. *Journal of Catastrophology*, 1994, 9(4): 7 - 13 [唐川, 周钜乾, 朱静, 等. 泥石流堆积扇危险度分区评价的数值模拟研究[J]. *灾害学*, 1994, 9(4): 7 - 13]
- [23] Jakob M, Hungr O. Debris-flow hazards and related phenomena [M]. Chichester: Praxis Publishing Ltd, 2005: 519 - 538
- [24] Marcel Hürlimann, Ramon Copons, Joan Altimir. Detailed debris flow hazard assessment in Andorra: a multidisciplinary approach [J]. *Geomorphology*, 2006, 78(3): 359 - 372
- [25] Liu Qinghua, Yu Bin, Tang Chuan, et al. The study on hazard assessment of debris flows in Longchi area of Dujiangyan city, Sichuan province [J]. *Advances in Earth Science*, 2012, 27(6): 50 - 57 [刘清华, 余斌, 唐川, 等. 四川省都江堰市龙池地区泥石流危险性评价研究. *地球科学进展*, 2012, 27(6): 50 - 57]
- [26] Chuan Tang, Jing Zhu, Jun Ding, et al. Catastrophic debris flows triggered by a 14 August 2010 rainfall at the epicenter of the Wenchuan earthquake [J]. *Landslides*, 2011, 8(4): 485 - 497

Risk of Debris Flow in Epicenter of Wenchuan Earthquake , Yingxiu of Sichuan

LIU Qinghua, TANG Chuan, CHANG Ming, YU Bin

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Group debris flows occurred on August 14, 2010 in Yingxiu area, epicenter of Wenchuan earthquake, Sichuan province, which caused enormous life and property losses. The debris flows are very active because of the abundant loose materials in earthquake-stricken areas, it is the primary work for the management and control of debris flow risk to estimate the scale and hazard under different rainfall frequencies in the future. The empirical formula between debris flow scale and rainfall frequency was obtained by collecting and studying the datum. The scales of 13 debris flows under different rainfall frequencies were calculated through the empirical formula with the basic datum of "8, 14" debris flows scales and rainfall frequency in Yingxiu area along the Minjiang river. Chosen the average deposition thickness of alluvial fan (scale / alluvial fan area), occurrence frequency, drainage area, channel length, basin relative height, valley incision density and instability gully cutting proportion as hazard judgment factors, the debris flow hazards of 13 gullies were assessed under the rainfall return period of 100 years, 50 years, 20 years, 10 years and 5 years in Yingxiu area. The results indicated that debris flow hazards of 8 gullies were high under 5 rainfall frequencies, debris flow hazards of 4 gullies were moderate to high under different rainfall frequency, the remaining one was moderate hazard under 5 rainfall frequencies. The method using average deposition thickness on alluvial fan as the variable factor of hazard assessment can better estimate the debris flow hazard in different rainfall frequency.

Key words: Wenchuan earthquake area; rainfall frequency; debris flow scale; average deposition thickness; hazard assessment