

大渡河泸定—得妥段泥石流风险评价

汪新芳, 唐川, 郑光

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 成都 610059)

摘要:通过遥感解译和实地调查分析大渡河泸定—得妥段内的 17 条泥石流沟发育背景环境和空间分布特征, 获取泥石流沟危险度评价的因子参数, 并结合泥石流沟易损性评价结果完成了泥石流沟的风险评价。建议将此风险评价结果应用于指导当地土地规划及其他经济建设的决策中, 从而达到防灾减灾的目的, 也为生活在泥石流危险区的居民提供有关灾害风险信息, 以作避险搬迁和灾害防治的依据。

关键词:大渡河; 泥石流; 危险性; 风险评价

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)06-0096-04

Risk Assessment of Debris Flows for Section from Luding to Detuo of Dadu River

WANG Xin-fang, TANG Chuan, ZHENG Guang

(National Laboratory of Geological Hazard Prevention and Geological Environment Protection,
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Based on remote sensing and field survey, this paper analyzed the development environment and regional distribution of 17 debris flows from the section Luding to Detuo of Dadu River. The factors for these debris flow hazard assessment are determined. Then risk assessment of these debris flow are completed combined with vulnerability analysis. The suggestion of the risk assessment results focus on the local land plan and in other economic development decision-making, in order to reach the objectives for disaster reduction, and also provide risk information for the residents who live in the debris flow prone areas for evacuation plan and hazard control.

Key words: Dadu River; debris flows; hazard; risks; assessment

研究区位于四川省西部、甘孜藏族自治州东南部, 地理位置在北纬 $29^{\circ}28' - 30^{\circ}06'$, 东经 $101^{\circ}49' - 102^{\circ}27'$ 之间, 大渡河自北向南贯穿整个泸定县, 总长 17 km。区内降水丰富, 据泸定县水文站 1952 年 5 月至 2003 年 4 月实测径流资料统计, 多年平均流量为 $891 \text{ m}^3/\text{s}$, 年径流深为 476.7 mm, 年径流模数为 $15.1 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, 径流变化与降水变化相一致。该区在历史上多次暴发泥石流灾害, 其中最近的一次发生在 2005 年 6 月 30 日杵坨乡金华沟和扯索沟、田坝乡的磨子沟及德威乡的落石沟, 强大的泥石流共造成 4 人死亡, 5 人失踪, 230 人受伤, 10 516 人受灾, 死亡牲畜 382 头, 泥石流冲毁公路 36 km、桥梁 10 座、堤防 10 km、引水渠道 26 km, 有 5 000 人出现饮水困难, 冲毁耕地 80.5 hm^2 , 损坏房屋 4 325 间, 倒塌房屋 784 间, 造成直接经济损失 3 190 万元。2006 年四川省遥感中心解译统计的结果得出在该段 17 km 范围内现有泥石流沟多达 28 处, 根据实地调查确定对当地居民生命财产直接构成威胁的有 17 处。本文试图通过分析泸定县城—得妥乡段泥石流发育的环境背景和空间分布特征, 对这 17 条泥石流沟作出风险评价, 为指导泸定县制定防灾避险搬迁等防灾减灾规划提供基础资料和科学依据。

1 段内泥石流发育环境背景及空间分布特征

1.1 段内泥石流发育的环境背景

段内控制泥石流发育主要因素有地形地貌、地质构造、

地层岩性、水文及地震等。

在地形地貌上, 研究区位于大渡河(泸定段)两岸, 最大海拔高程为 3 520 m, 最小海拔高程 1 240 m, 大渡河自北向南切割, 谷底狭窄, 形成深切曲流高山峡谷地貌。在构造上, 段内有 4 条主要断裂带, 分别是川滇南北构造带、北东向龙门山构造带、北西向构造带和金汤弧形构造带。这 4 条断裂带的发育, 使得段内岩性破坏普遍比较严重, 形成较宽的破碎断裂带。在岩性上, 除寒武系地层缺失外, 从前震旦系到第四系均由不同程度的发育, 岩性上出露较多的有泥岩、板岩、页岩及白云岩。段内山坡植被较发育, 覆盖率在 60%~70%, 从山顶至沟谷坡都有残坡积物覆盖, 表层夹角砾粉土, 下部为松散碎石土。多次构造运动对岩石的破坏, 使得岩体中的片理和裂隙较为发育, 加之后期遭受强烈风化和剥蚀, 造成岩石的风化、卸荷、崩塌、坠落等地质作用显著, 滑坡、泥石流等不良物理地质现象较普遍。在水文气候上, 段内地下水类型主要以基岩风化裂隙水为主, 其次为第四系松散堆积层孔隙水。段内降水也较充沛, 多暴雨, 主要集中在每年的 5—9 月, 并以短时强降雨为主。另据泸定县气象站资料统计, 泸定县多年平均降水量 642.9 mm, 历年最大日降水量 72.3 mm, 10 min 雨强最高 22 mm。在地震上, 根据历年地震资料统计, 段内自公元 1216 年以来, 共记载 7.0~7.9 级地震 7 次; 6.0~6.9 级地震 21 次; 5.0~5.9 级地震 71 次,

以上数据表明研究区内的地震活动是比较频繁的, 为该区泥石流的形成发育提供了条件。

1.2 段内泥石流空间分布特征

段内泥石流沟在空间分布上从北往南沿着大渡河依次是泸桥镇的孙家沟、木厂沟、羊圈沟; 田坝乡的磨河沟; 泸桥镇大坝村的干沟、黄坭沟及挖脚沟; 杵坭乡的三叉沟、田家

沟、羊儿沟、金华沟、扯索沟; 冷碛镇团结瓦斯坪沟; 德威乡的磨子沟、涨水沟、落石沟; 加郡乡的加郡沟。图 1 和图 2 反映了金华沟泥石流泛滥堆积特征。根据泥石流沟流域的地貌特征和成因类型, 确定这 17 条泥石流沟都属于沟谷型泥石流, 在平面型态上以条带状为主。



图 1 金华沟高分辨率 Quik bird 影像



图 2 金华沟泥石流堆积扇现状

2 区段泥石流风险评价

泥石流风险评价包括泥石流危险度和泥石流易损度评价, 都是对泥石流受灾体灾难的预测。根据联合国人道主义事务部(UNDHA)于 1991 年和 1992 年两次正式公布了自然灾害风险的定义:“风险是在一定区域和给定时段内, 由于某一自然灾害而引起的人们生命财产和经济活动的期望损失值^[1-2]”, 其自然灾害风险表达式^[1-2]:

$$\text{风险度(Risk)} = \text{危险度(Hazard)} \times \text{易损度(Vulnerability)}$$

2.1 段内泥石流危险性评价

危险是指有遭到损害的可能^[3]。危险性即危险的定性表达, 定量表达是危险度即受到损害的可能性大小^[4]。那么泥石流危险度指在泥石流流域范围内一切人和物有遭受泥石流损害可能性的大小。本研究采用《泥石流危险性评价》和《泥石流风险评价》^[4-5]中推荐的最新定量计算公式, 对区段的泥石流危险度进行计算和分析。该方法将原来的 14 个评价因子简化为 7 个评价因子, 除主要内在因子泥石流规模 M 和发生频率 F 外, 其他次要环境因子进一步减少至 5 个, 它们是: 流域面积 S_1 、主沟长度 S_2 、流域相对高差 S_3 、流域切割密度 S_6 和不稳定沟床比例 S_9 。

各评价因子的权重及权重系数见表 1。

表 1 单沟泥石流危险度评价因子的权重系数

	泥石流规模	发生频率	流域面积	流域切割密度	主沟长度	流域相对高差	不稳定沟床比例
权重	10	10	5	4	3	2	1
权重系数	0.29	0.29	0.14	0.11	0.09	0.06	0.03

根据对泥石流危险性评价因子的分析和因子权重的确定, 应用单沟泥石流危险度计算公式:

$$H_{\text{单}} = 0.29M + 0.29F + 0.14S_1 + 0.09S_2 + 0.06S_3 + 0.11S_6 + 0.03S_9 \quad (1)$$

式中: M, F, S_1, S_2, S_6, S_9 分别为 m, f, s_1, s_2, s_6, s_9 的转换函数获取。

根据成都理工大学关于《泸定县地质灾害调查与区划》研究报告提供的野外调查数据, 对段内 17 条泥石流沟进行危险性和危险度的评价并且根据单沟泥石流危险度分级标准(表 2)得到这 17 条泥石流沟危险度评价结果(表 3)。

表 2 单沟泥石流危险度分级标准

单沟泥石流危险度	危险度分级	单沟泥石流危险度	危险度分级	单沟泥石流危险度	危险度分级
0.0~0.2	极低危险	0.4~0.6	中度危险	0.8~1.0	极高危险
0.2~0.4	低度危险	0.6~0.8	高度危险		

表 3 重点泥石流沟危险度计算成果

沟名	M	F	S_1	S_2	S_3	S_6	S_9	$H_{\text{单}}$	危险性
金华沟	0.64	0.70	0.38	0.53	2.12	0.13	0.76	0.65	高度危险
扯索沟	0.53	0.66	0.68	0.79	1.88	0.16	0.70	0.66	高度危险
三叉沟	0.42	0.63	0.31	0.48	1.48	0.15	0.80	0.52	中度危险
田家沟	0.58	0.65	0.19	0.47	1.64	0.20	0.84	0.61	高度危险
羊儿沟	0.40	0.64	0.29	0.54	2.10	0.08	0.72	0.55	中度危险
涨水沟	0.46	0.52	0.29	0.47	1.62	0.10	0.68	0.49	中度危险
磨子沟	0.63	0.54	0.85	0.92	2.26	0.12	0.67	0.71	高度危险
磨河沟	0.54	0.63	0.93	1	3.04	0.08	0.66	0.77	高度危险
黄坭沟	0.38	0.50	0.49	0.84	2.12	0.06	0.50	0.55	中度危险
干沟	0.36	0.56	0.42	0.63	1.80	0.10	0.48	0.52	中度危险

续表 3 重点泥石流沟危险度计算成果

沟名	M	F	S ₁	S ₂	S ₃	S ₆	S ₉	H _单	危险性
挖脚沟	0.44	0.50	0.42	0.59	1.56	0.12	0.35	0.50	中度危险
麻沙坡沟	0.47	0.62	0.28	0.50	1.80	0.12	0.60	0.54	中度危险
落石沟	0.41	0.48	0.29	0.49	1.68	0.14	0.55	0.47	中度危险
孙家沟	0.50	0.66	0.39	0.57	1.90	0.22	0.82	0.61	高度危险
木厂沟	0.36	0.64	0.32	0.54	1.94	0.18	0.76	0.54	中度危险
羊圈沟	0.52	0.68	0.56	0.68	2.19	0.16	0.75	0.66	高度危险
加郡沟	0.52	0.54	1	1	2.28	0.16	0.76	0.72	高度危险

表 3 表明:现处于高度危险的泥石流沟有 8 条,分别是金华沟、扯索沟、磨子沟、磨河沟、孙家沟、羊圈沟、瓦厂沟、加郡沟,其余 9 条泥石流沟属于中度危险。

2.2 段内泥石流易损度评价

泥石流易损性是指在一定区域和给定时段内,由于泥石流灾害而可能导致的该区域内存在的一切人、财、物的潜在最大损失^[6-7]。

本文采用刘希林等提出的泥石流风险评价模型对这 17 条泥石流沟进行易损度计算^[4]

$$\begin{aligned}
 V_{单} &= \sqrt{(F_{v1单} + F_{v2单})/2} \\
 F_{v1单} &= 1 / \{ [1 + \exp[-1.25(\log V_{1单} - 2)]] \} \\
 F_{v2单} &= 1 + \exp(0.0033V_{2单}) \\
 V_{1单} &= I + E + L_{单} \\
 V_{2单} &= (1/3)(a + b + r) \times D \\
 I &= I_1 + I_2 + I_3 \\
 E &= (E_1 + E_2 + E_3) \times N \\
 L_{单} &= \sum_{i=1}^n B_i \cdot A_i \cdot 100
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

式中: $V_{单}$ ——单沟泥石流易损度; $F_{v1单}$ ——财产指标 $V_{1单}$ (万元)的转换函数赋值(0~1); $F_{v2单}$ ——人口指标 $V_{2单}$ (人/km²)的转换函数赋值(0~1); I ——物质易损度指标(万

元), I_1, I_2, I_3 ——建筑资产(元)、交通设施资产(万元)以及生命线资产(万元); E ——经济易损度指标(万元), E_1, E_2, E_3 ——人均年收入(万元/a)、人均储蓄存款余额(万元/人)、人均拥有的固定资产(万元/人); N ——总人口数; $L_{单}$ ——环境易损度指标中的土地资源价值(万元); B_i ——各类土地资源基价(元/m²); A_i ——各类土地资源的面积(km²); i ——土地类型; a ——65岁(含)以上老人和15岁以下少年儿童的比例; b ——只接受过初等教育(小学)及以下人口的比例; r ——人口自然增长率(‰); D ——人口密度(人/km²)。根据单沟泥石流易损度分级标准(表 4)得到这 17 条泥石流沟的易损度评价结果(表 5)。

表 5 表明,这 17 条泥石流沟在易损度上都属于高度易损,这对生活在这些泥石流沟上的居民生命财产存在着很大的隐患。

3 泥石流风险评价

泥石流风险评价结合了泥石流危险度和泥石流易损度,其定量表达是危险度和易损度的乘积:

$$R_{单} = H_{单} \times V_{单}$$

式中: $R_{单}$ ——单沟泥石流风险度; $H_{单}$ ——单沟泥石流危险度, $V_{单}$ ——单沟泥石流易损度。根据上式得到表 5。

表 4 单沟泥石流易损度分级标准

单沟泥石流易损度	易损度分级	单沟泥石流易损度	易损度分级	单沟泥石流易损度	易损度分级
0.0~0.2	极低易损	0.4~0.6	中度易损	0.8~1.0	极高易损
0.2~0.4	低度易损	0.6~0.8	高度易损		

表 5 泥石流易损度取值及其评价

沟名	I	E	L _单	V _{1单}	F _{v1单}	V _{2单}	F _{v2单}	V _单	易损度评价
金华沟	40	67.78	426	533.78	0.71	8.44	0.26	0.70	高度易损
扯索沟	30	45.75	2395.2	2470.95	0.85	8.44	0.26	0.74	高度易损
三叉沟	40	76.25	236.4	352.65	0.67	8.44	0.26	0.68	高度易损
田家沟	80	137.25	420	637.25	0.73	8.44	0.26	0.70	高度易损
羊儿沟	28	33.89	276	337.89	0.66	8.44	0.26	0.68	高度易损
涨水沟	60	67.78	180	307.78	0.65	8.44	0.26	0.67	高度易损
磨子沟	46	55.92	4275.6	4377.52	0.88	8.44	0.26	0.75	高度易损
磨河沟	220	354.15	5460	6034.15	0.90	8.44	0.26	0.76	高度易损
黄坭沟	40	33.89	859.2	933.09	0.77	8.44	0.26	0.72	高度易损
干沟	40	25.42	543.6	609.02	0.73	8.44	0.26	0.70	高度易损
挖脚沟	90	150.81	561.6	802.41	0.75	8.44	0.26	0.71	高度易损
麻沙坡沟	60	94.89	172.8	327.69	0.66	8.44	0.26	0.68	高度易损
落石沟	30	32.20	200.4	262.6	0.63	8.44	0.26	0.67	高度易损
孙家沟	500	1500	463.2	2463.2	0.85	8.44	0.26	0.74	高度易损
木厂沟	100	300	144	544	0.71	8.44	0.26	0.70	高度易损
羊圈沟	400	1200	1329.6	2929.6	0.86	8.44	0.26	0.75	高度易损
加郡沟	30	32.20	15912	15974.2	0.94	8.44	0.26	0.77	高度易损

表 6 泥石流风险度值及风险性评价

沟名	金华沟	扯索沟	三叉沟	田家沟	羊儿沟	涨水沟	磨子沟	磨河沟
$H_{单}$	0.65	0.66	0.52	0.57	0.55	0.49	0.71	0.77
$V_{单}$	0.70	0.74	0.68	0.70	0.68	0.67	0.75	0.76
$R_{单}$	0.45	0.49	0.35	0.43	0.37	0.33	0.54	0.59
风险评价	高风险	高风险	中等风险	高风险	高风险	中等风险	高风险	高风险

沟名	干沟	黄泥沟	挖脚沟	麻沙坡沟	落石沟	孙家沟	木厂沟	羊圈沟	加郡沟
$H_{单}$	0.52	0.55	0.50	0.54	0.47	0.61	0.54	0.66	0.72
$V_{单}$	0.70	0.72	0.71	0.68	0.67	0.74	0.70	0.75	0.77
$R_{单}$	0.37	0.39	0.36	0.37	0.31	0.45	0.38	0.49	0.56
风险评价	高风险	高风险	高风险	高风险	中等风险	高风险	高风险	高风险	高风险

根据泥石流风险度 5 级分级标准,得到 14 条泥石流沟现属高风险,分别是金华沟、扯索沟、田家沟、羊儿沟等泥石流沟,经统计现受这 14 条泥石流沟影响的居民一共有 218 户 910 人。其余 3 条泥石流沟属中等风险,分别是三叉沟、涨水沟、落石沟,受这 3 条泥石流沟影响的居民有 31 户 104 人。

4 结 论

本文通过分析泸定—得妥段 17 条泥石流沟的发育背景环境包括地形地貌、地质构造、地层岩性、水文气象及地震等因素,并结合泥石流沟空间分布特征,利用泥石流风险评价公式,分别对其进行危险性和易损性评价,最后根据公式 $R_{单} = H_{单} \times V_{单}$,即风险度等于危险度和易损度的乘积,得到现属高风险泥石流沟 14 条,中等风险的 3 条。这些泥石流沟都有明显的形成区、流通区和堆积区,都处在地质构造复杂的地带,岩性破碎,松散物丰富。另外经统计,居住于高风险区沟段的居民有 218 户 910 人,中等风险区沟段的居民有 31 户 104 人。可以预测,一旦发生泥石流,将对生活在这些泥石流沟段的居民生命产生直接的威胁。因此从所评价的结果来看,并结合这些沟所处的地理位置,认为必须加强对这些沟的防灾减灾规划,特别是影响泸定县城的 3 条泥石流沟,在经济及技术可行的情况下,应尽快采取治理措施,从被动防灾到主动减灾,从而减少对当地居民造成的生命财产损失。

参考文献:

- [1] Unite Nations, Department of Humanitarian Affairs. Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management, DNA/93/36, Geneva, 1992.
- [2] Unite Nations, Department of Humanitarian Affairs. Mitigating Natural Disasters: Phenomena, Effects and Options: A Manual for Policy Makers and Planners [M]. New York: Unite Nations, 1991.
- [3] 中国社会科学语言研究所词典编辑室. 现代汉语词典 [M]. 北京: 商务印书馆, 1979.
- [4] 刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价 [M]. 北京: 科技出版社, 1995: 35- 61.
- [5] 刘希林, 莫多闻. 泥石流风险评价 [M]. 成都: 四川科技出版社, 2002: 18- 26.
- [6] Ayala I A. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries [J]. Geomorphology, 2002, 47: 107- 124.
- [7] Weichselgartner J. Disaster mitigation: the concept of vulnerability revised [J]. Disaster Prevention and Management, 2001, 2: 85- 91.

(上接第 95 页)

食或者由于对湿地环境不适应而死亡,另外,植物根系的某些分泌物对它们亦有灭活作用。病毒可被土壤和有机碎片吸附或失活。

3 结 论

人工湿地生态系统作为处理景区生活污水新技术具有以下特点:

- (1) 投资少、运行费用低、运行维护方便、管理简单;
- (2) 需要的构筑物较少,可与周围自然景观相协调;
- (3) 为野生生物提供良好的栖息场所;
- (4) 处理效果稳定,抗冲击效果强;
- (5) 形成稳定的植物和微生物系统需要一定的周期;
- (6) 处理效果受水文、气候等因素影响;

(7) 人工湿地生态系统除污机理复杂,目前还处于初期阶段,这方面还有待利用生物学、化学、生态学等学科的进一步研究、深入,使之得到更广泛更有效地应用。

参考文献:

- [1] Kivaisi A K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review [J]. Ecological Engineering, 2001, 16: 545- 560.
- [2] 王宝贞, 王琳. 水污染治理新技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 208.
- [3] Thomas M L, Ralph W K. 遥感与图像解译, (4 版) [M]. 彭望录, 余先川, 周涛, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2003: 180.
- [4] 赵素芬, 周仲魁, 胡小英. 复合床人工湿地处理生活污水的实验研究 [J]. 武汉科技大学学报: 自然科学版, 2006(4): 172- 175.
- [5] 李向心, 武周虎, 孔德玉, 等. 人工湿地污水处理研究与进展 [J]. 青岛建筑工程学院学报, 2004(4): 57- 60.
- [6] 吴婉娥, 葛红光, 张克峰. 废水生物处理技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 168- 169.