

四川凉山州越西县打虎沟泥石流风险评价

杨宗佶^{1,2}, 乔建平¹, 宋书志^{1,2}, 徐小飞^{1,2}

(1. 中国科学院水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;
2. 中国科学院研究生院资源与环境学院, 北京 100049)

摘 要:打虎沟泥石流位于越西县城,发育于越西县城以西,由西向东长约 3 km,流域面积约 1.3 km²。由于汇水面积较小,固体碎屑物源储量不大,最大一次堆积量仅 1 万 m³,属于小型泥石流。但因其出口就在县城东边,居民密集,危害严重。运用泥石流风险评价理论,结合泥石流的危险度评价和易损度评价,综合打虎沟泥石流危险度评价($H_{\text{单}}=0.388$)和灾害的易损度评价($V_{\text{单}}=0.98$),运用自然灾害风险度模型,得出了打虎沟泥石流的风险度为 0.38,为高风险泥石流沟。

关键词:泥石流; 危险度; 易损度; 风险度; 打虎沟

中图分类号:P642.23 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-3409(2007)02-0046-04

Risk Assessment of Debris Flow in Dahu Gully of Yuexi County of Sichuan

YANG Zongji^{1,2}, QIAO Jianping¹, SONG Shuzhi^{1,2}, XU Xiaofei^{1,2}
(1. Institute of Mountain Hazard and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China;

2. College of Resources and Environment, Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: the debris flow in Dahu gully is on the east part of Yuexi County, it is 3 km long and the drainage area is only 1.3 km², and the reserve of the deposit is less than 104 m³, which attributes to minitype. Nevertheless, the gully abut against the residential area, and threaten the community in the area. The risk assessment of the debris flow is analyzed on the base of assessment of hazard and vulnerability, and it is concludes that the risk degree of the debris flow is 0.38, which attributes to high risk degree.

Key words: debris flow; hazard; vulnerability; risk; Dahu gully

越西县位于四川省西南部,凉山彝族自治州北部,介于东经 102°20′~102°54′,北纬 28°18′~28°53′之间,东邻美姑,南接昭觉、喜德,西界冕宁,北连甘洛、石棉。幅员面积 2 256.47 km²,南北长 84 km,东西宽 53 km。辖 9 个地区工委、5 镇、36 个乡、288 个村、908 个村民小组、2 个街道居委会。总人口 24.58 万人,其中彝族约占 70%,汉族约占 30%。

越西县属于经济欠发达地区,为山区农业县。工业发展相对落后,越城镇 2003 年国民生产总值为 3 738 万元。2003 年全县国民生产总值约 7.14 亿元,2004 年全县国民生产总值约 8.91 亿元。

1 泥石流形成的环境地质条件

1.1 地形地貌

打虎沟位于康藏高原东南缘的中山山地,地形总体西高东低。打虎沟泥石流发育于越西县城以西,从分水岭最高点到沟口的沟段总长度为 2 195 m,沟口流域面积约 0.862 km²,到越西河的流域总面积约 1.30 km²。地形坡度一般 10°~25°,其中大于 35°的陡坡分布较多。

泥石流规模较小,但因其出口就在县城西边,城市居民密集,一旦发生泥石流灾害后对城南片区的危害特别严重

(见图 1)。其沟谷较陡,流域最高点高程有 2 253.3 m,最低高程为 1 692 m,相对高差 561.3 m。成型冲沟顶端的高程 2 060 m,冲沟高差为 368 m,全沟平均比降为 255.7‰;局部地段(源头段)可达到 420‰ 的比降(见图 1)。

该冲沟较直,弯道少,弯弧也很小,十分有利于泥石流的流通。沟底一般宽 1~2 m,有多处可见泥石流活动过的痕迹,整个冲沟底部基本可见基岩出露,并且其表面较干净和光滑,局部弯道侧壁的基岩陡壁上,有泥石流冲刷、刨蚀的痕迹。泥石流的形成区、流通区和堆积区特征明显。

1.2 气象水文

越西县属康定-雅江暖温带与西昌-巴塘亚热带气候的过渡带,两种气候特点兼而有之,但以北亚热带气候为主要特点。四季分明,春迟秋早,夏季短暂,年温差小;冬春季日照充足,干燥多风,日温差大。冬干春旱,夏季雨水集中,干雨季分明,秋季气温下降迅速,秋绵雨显著。属大陆性季风气候。

多年平均降雨量 1 113.3 mm,全年降雨量的 85%集中在 6~9 月份;年最大降雨量 1 486 mm(1983 年);日最大降雨量 123.1 mm(1983 年 8 月);多年 5~9 月的雨量占全年雨量的 87.1%,日均降雨量 6.8 mm;年霜日 40 d,年雪日 11

* 收稿日期: 2006-03-29
基金项目: 2004DFB01100 科技部国际科技合作重点项目;中科院研究所前沿创新项目资助
作者简介: 杨宗佶(1981-),男,四川叙永人,博士研究生,主要从事地质灾害风险评价的研究和学习。

d. 多年最高温度 35.2e , 多年最低温度- 8.5e 。多年平均日照时数 1 647.6 h。

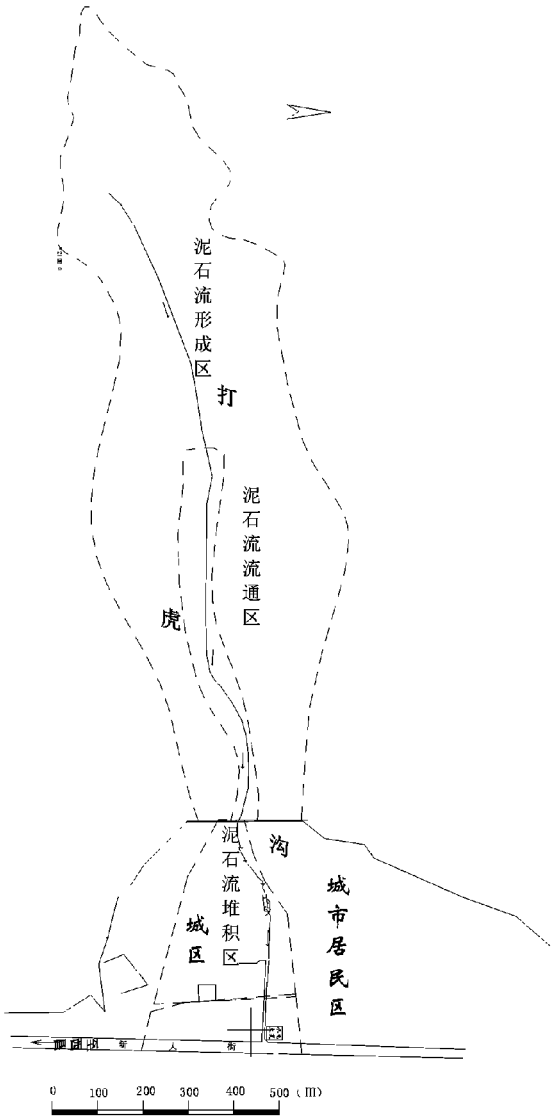


图 1 打虎沟泥石流平面图

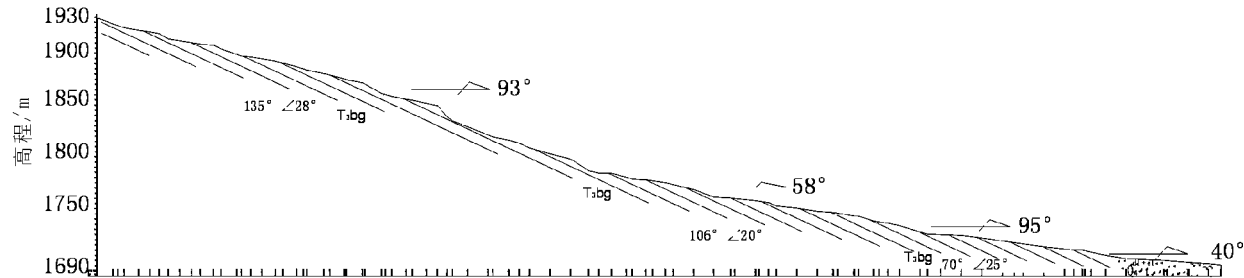


图 2 打虎沟泥石流沟床纵断面图

1.4 地震及新构造运动

区内构造较简单, 无深大断裂构造, 主要表现为岩层单斜构造。

在越西河旁发育一条较大断裂))) 越西河断层: 呈南北向延伸, 在兰田坝顺越西河, 往南经过妈过楞子东坡与黑水河断裂相接。该断裂为压扭性质高角度逆冲断层, 倾向东, 倾角 75~ 85b。该区的新构造运动主要表现为地壳抬升明显。越西县地处甘肃武都- 四川马边、康定- 甘孜、安宁河

打虎沟属于季节性冲沟, 枯水期的沟口流量小于 0.1 L/s。打虎沟各频率洪峰流量与洪水总量如表 1 所示:

表 1 打虎沟各频率洪峰流量、洪水总量表 (1 715 m 以上)

P/%	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20
Qm/(m³ # s⁻¹)	8.12	7.75	7.01	6.52	6.21	5.72	5.10	4.49
Wp/万 m³	7.22	6.96	6.52	6.14	5.82	5.30	4.92	4.31

该地区年均降雨量 1 113.3 mm, 年最大降雨量 1 486 mm, 小时最大降雨量 123.1 mm, 特大暴雨时有发生(降雨条件函数 R 为 8.13), 最大洪峰流量 6.21 m³/s(P= 2%)。

1.3 地层岩性

流域内出露地层较单一, 由第四系全新统堆积物和中生界三叠系上统白果湾组沉(T3bg) 积岩组成。构造单一, 无断层发育。风化剥蚀强烈, 残坡积物较多。

该地区岩性为三叠系上统白果湾组(T3bg) 为灰黑色、灰褐色、杂色, 石英砂岩、细砂岩、碳泥质粉砂岩、粉砂质碳泥岩等。主要分布在打虎沟流域的南坡中上部一带, 冲沟底部一般也可见基岩出露。厚度 120~ 725 m。为软质岩。构造单一, 无断层发育。风化剥蚀强烈, 残坡积物较多。流域内目前松散碎屑物总量约 1.37 万 m³。泥石流物源量不大。

岩石地层产状: 较平缓地段, 坡角与产状基本一致, 倾向 30~ 95b, 倾角 7~ 25b; 地层较陡地段, 地层产状近于水平或与坡向相反, 倾向 324~ 337b, 倾角 2~ 13b。

第四系地层为碎石土及含碎石粉质黏土, 结构松散, 厚度在 10 m 左右。第四系冲洪积物主要分布在打虎沟口一带及县城区到越西河两岸的平缓地带。在打虎沟口一带勘查区内的已探明厚度为 6.61~ 12.52 m, 其物质组成主要为黏土、含碎石角砾黏土、卵砾石土等, 灰黑- 灰褐色, 碎石角砾的母岩由石英砂岩、碳泥质粉砂岩组成, 呈棱角状、次棱角状, 分布较均, 粒径 3~ 10 cm, 个别可达 25 cm, 中强风化级配差; 稍密, 稍湿。

坡残积物在区内广泛分布, 在缓坡地带较厚, 一般为 1~ 5 m, 陡坡地带较薄, 一般不大于 2 m, 部分地段已有强风化基岩出露, 其物质组成主要为碎石土、碎石粉砂质黏土、等, 黄绿色- 褐红色, 碎石母岩由砂岩、粉砂质泥岩组成, 约占 55%, 呈棱角状、次棱角状, 粒径 3~ 15 cm, 局部见大于 20 cm 块径的块石, 中强风化, 部分已全风化呈土状, 级配极差; 含 15% 的角砾砂(0.5~ 2 cm), 约含 25% 的黏性土充填物, 松散。透水性较好。

三个地震带的交汇处。境内有蜿蜒活动的断层通过是强烈的地震波及地带和中强地震发生区。从有记录的 1480 年开始, 在越西、冕宁历史上曾发生过 7.5 级以下的有感地震共 16 次, 但在越西县城的震害都不大, 只有少量民房和城墙震裂的记录。根据5 建筑抗震设计规范6(GB0011- 2001), 流域内建筑抗震设防烈度为 7 度第二组。

1.5 植被与土壤条件

目前植被覆盖率在 70% 以上, 流域内山坡上的乔木、灌

木、丛林等长势较好,其中人工经济林主要以柏树为主,发展得好,已初见成效。

流域内以沉积砂岩和基岩强风化形成的红褐色沙质壤土为主,保水能力差,土中含有 15% 左右的角砾和碎石,土质较薄,含水量很少。区内水文地质条件简单,地下水以弱裂隙含水层为主,地下水位普遍埋深较大,泉水出露点少见。

2 泥石流特征

打虎沟泥石流流域沟口以上集雨面积 0.862 km²,规模约 10 000 m³,沟段长 2 195 m,高差达 368 m,冲沟平均坡比降 255.7j,局部坡降达 420j。泥石流形成区沟段长度 2 030 m,高差 2 253.3~1 710=543.3 m,平均坡降为 267.6j;流通区沟段长度 1 010 m,高差 1940-1710=210 m,平均坡降为 207.9j;堆积区沟段长度 165 m,高差 1710-1692=18 m,平均坡降为 109.1j。各分区的坡度变化规律明显。

2.1 历史灾情

据访问沟口周边的长年居民和向越西县水利局、国土局有关部门了解,近 60 年以来,此沟发生过 3 次泥石流灾害。

第一次是上世纪 40 年代,因当时周边人口分布少,无明显灾情记录。1958 年 8 月,遇特大暴雨后产生泥石流,泥石流的碎屑物质堆积在沟口一带,面积近 0.67 hm²,平均厚度约 1.5 m,估算泥石流的体积约 10 000 m³。与此同时,其洪水冲毁农田 267 hm²,受灾面积 667 万多 hm²。1983 年 8 月,在几十分钟特大暴雨后暴发泥石流,其碎屑块石堆积在沟口一带,面积约 0.2~0.33 hm²,平均厚度 1.5 m,估算泥石流的体积约 5 000 m³。由于沟口一带人口已较密集,打虎沟口被泥石流中的大块石堵塞,洪水和泥沙四处蔓延,受灾面较大,受灾单位 30 余家。冲毁房屋 6 幢,冲毁桥、涵各一座,破坏街道(巷)4 km。与此同时,其洪水冲毁农田 1 333 hm²,受灾面积 0.19 万 hm²,无人员伤亡。直接经济损失共计 800 多万元。

2.2 泥石流形成区的特征

打虎沟泥石流形成区范围不大,呈长条形,长约 1 800 m,宽度一般 350 m,最宽处 550 m,集雨面积为 0.58 km²,高差:2253.3-1710=543.3 m,冲沟平均坡降达 271.6j,其中上段坡降为 420j,区内高差大,地形陡,约 40% 面积见风化基岩出露,其余为残坡积物。零星可见一些松散破屑物源,沿沟谷内松散物源较少。可移动物源约 2 003 m³。

在左岸坡近分水岭一带标高 2 110 m 处发育两条基岩卸荷裂缝,断续相连未完全贯通,形成时间约在 5 年以前,已长满灌木丛。其最宽 1.2 m,可见深度 1.5 m,呈 V0 型断口,总长约 100 m,顺等高线展布。其下方及周边为稳定的基岩岩体,未见其它变形或不稳定迹象。因其地形坡比一般为 680j,局部的陡壁产生卸荷裂隙带,据现场测量其总长度约 100 m,影响宽度约 14 m,推测影响平均深度 4 m,预计欠稳定体的体积为 5 600 m³,可能成为以后泥石流的碎屑物源。目前较稳定。建议人工将裂隙口进行填土封闭处理。

2.3 泥石流流通区的特征

打虎沟泥石流流通区顺冲沟展布,冲沟高程 1 710~1 940 m,高差 210 m,冲沟长 1 010 m,平均坡降 207.9j。其宽度边界以泥石流流动影响区考虑,确定为 50~100 m 宽。其总面积约 0.06 km²。沿冲沟一带,见极少量的残留松散体,顺沟两壁,分布有较多的坡残层,以块石、碎石为主,碎石、块石成份为细砂岩,粉砂质泥岩等,中强风化,多呈棱角状。块石粒径

一般小于 30 cm,少量的可达 50 cm 以上。碎石的级配不良,以 5~10 cm 粒径为主。冲填 10%~30% 黏性土,总体属稍密-中密碎石土,自身稳定性较好,可形成 3~6 m 高的陡坎。在上游洪水泥石流发生时,可能会有一部分被侧蚀、刨蚀成为泥石流物源。这类土石共有约 4 300 m³,其中 2 500 m³ 属于稳定性较好,1 800 m³ 属于稳定性较差(可移动的)。

流通区沟谷较陡,对泥石流的下泄十分有利,在局部弯道上,可见基岩被泥石流侧向刨蚀、冲刷的痕迹,其与沟底最高 1.3 m。

流通区的上游和其两侧山坡都属于形成区。在其两侧山坡上有部分松散体分布。总体看,因植被良好,物源较少。

2.4 泥石流堆积区的特征

打虎沟堆积区处于城区西南,地形坡度较缓,平均坡降 109.1j。从沟口一带呈扇形展布,其分布范围长 400 m,宽度 60~320 m。从勘探剖面可知,历史泥石流的堆积厚度在 1.50~6.35 m 之间,平均 3.39 m,历史泥石流堆积的面积以勘察分析为 20 000 m³,合约 6.78 万 m³。沟口洪积扇除上部一层为洪水泥石流堆积物外,下部 6~12 m 厚度为河流相冲积物,并且多为河流边缘带碳质、淤泥沉积物类夹带少量洪积物碎块石。基岩埋深 7~12 m。

2.5 松散固体物源

打虎沟的规模较小,其形成区和流通区冲沟内固体碎屑物源不多。加之/退耕还林工作的开展,3 m 高以下的各种人造苗木遍布大小山坡,仅局部可见松散坡积物。山上植被比较发育,对固坡和保持水土流失具有较好作用。但因其地形陡峻(坡度较多大于 25°),坡残积物堆积较厚(一般 1~3 m,局部可达 5 m 以上),长期经历风化改造,在一定的饱水条件下可能发生小规模的滑坡和浅层坍滑,从而变成泥石流的固体物源。

经过认真仔细地实地调查,现状稳定性差和较差的有 5 566 m³,占 41%。现状稳定性较好的有 8 100 m³,占 59%。按区分析,形成区 9 306 m³,占 68%,流通区 4 360 m³,占 32%。流域内目前松散碎屑物总量约 1.37 万 m³。泥石流物源量不大。

3 打虎沟泥石流风险评价

风险评价包括危险性评价和易损性评价,泥石流风险评价即综合自然系统和社会经济系统的综合泥石流灾害预测,通过 30 年来的研究,有关单沟泥石流危险性、易损性和风险评价的原理和方法已经成型,并在实践中不断发展成熟^[1-4]。本文对打虎沟泥石流风险评价的方法和原理采用刘希林⁵泥石流风险评价⁶中最新提出的单沟泥石流危险度评价模型和单沟泥石流易损度评价模型,分别得出打虎沟泥石流危险度 H 和易损度 V,再运用联合国提出的风险评价模型 R(风险度)=H(危险度)@V(易损度)得出打虎沟泥石流的风险度^[9]。

3.1 打虎沟泥石流危险度评价

根据现场调查并结合历史资料,打虎沟泥石流的规模为 10 000 m³,打虎沟在近 50 年,上世纪 40 年代、1958 年和 1983 年分别爆发过 3 次泥石流,推算打虎沟泥石流的发生频率为 5.5 次/100 a。其他指标数据由现场调查并结合地形图得出,各项评价因子取值及其转换值见表 2。

将以上 7 个评价因子的转换值带入泥石流危险度评价公式:

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

表 2 打虎沟泥石流危险度评价因子

评价因子	规模 /10 ³ m ³	发生频率/%	流域面积/km ²	主沟长度/km	流域相对高差/km	流域切割密度/(km# km ⁻²)	不稳定沟床比例/%
	m	f	S1	S2	S3	S6	S9
初始值	10	5.5	0.862	2.195	0.368	2.97	65
	M	F	S1	S2	S3	S6	S9
转换值	0.52	0.44	0.25	0.44	0.25	0.15	1

得出打虎沟泥石流危险度为:0.39。

根据最新单沟泥石流的危险度分级标准: 极低危险 0< H_单< 0.2, 低度危险 0.2< H_单< 0.4, 中度危险 0.4< H_单< 0.6, 高度危险 0.6< H_单< 0.8, 极高度危险 0.8< H_单< 1。可知打虎沟泥石流的危险度为低危险度泥石流沟。

3.2 打虎沟泥石流易损性评价

打虎沟泥石流的出口就在县城西南边,沿打虎沟口以下共有越西县农业局、越西县水利局、越西县林业局、越西县农业银行、四川省越西中学、越西县电力公司、越西县自来水公司等 30 多家企业单位以及住户约 2 800 人,居民密集,房屋集中。一旦发灾,损失巨大,影响面广。

根据单沟泥石流易损度评价模型,单沟泥石流的易损度计算公式为:

V_单 = [0.5(F V_{1单}+ F V_{2单})]^{0.5} (2)

F V_{1单} = 1/{1+ exp[- 1.25(log V_{1单}- 2)]} (3)

F V_{2单} = 1- exp(- 0.035F V_{2单}) (4)

V_{1单} = 1+ E+ L_单 (5)

V_{2单} = (a+ b+ r)D/3 (6)

式中: V_单))) 单沟泥石流易损度(0~ 1 或 0% ~ 100%); V₁))) 财产指标(万元); F V_{1单}))) 财产指标的转换函数赋值(0- 1); V_{2单}))) 人口指标(人/ km²); F V_{2单}))) 人口指标的转换函数赋值(0- 1);1))) 物质易损度指标(万元),包括建筑资产 I₁;交通设施资产 I₂;生命线工程资产 I₃; E))) 经济易损度指标(万元),包括人均年收入 E₁,人均储蓄存款余额 E₂,人均拥有的固定资产 E₃; L_单))) 土地资源价值(万元),分五大类土地以基价估值;a))) 65 岁及以上老人和 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(j); D))) 人口密度(人/ km²)。

根据越西县国土局提供资料,在泥石流影响区内的总人口近 1 万人,房屋建筑面积约 15 万 m²,一旦发生灾害,仅计财物的经济损失达 1 亿元。可知 V_{1单}= 10 000 万元。

由于无法找到当年的详细人口统计资料,参考凉山州志^[9],推算 65 岁及以上老人和 15 岁以下少年儿童的比例 a= 0.312,只接受过小学初等教育及以下人口的比例 b= 0.59;人口自然增长率 r= 16.16j,人口密度 D= 10 000/(15@10⁻²) U666 人/ km²,可得到打虎沟泥石流人口指标为:

V_{2单} = (a+ b+ r)D/3= (0.312+ 0.59+ 16.16) @666/3 = 3 787 人/km²

参考文献:

[1] 刘希林,等: 泥石流风险及沟谷泥石流风险度评价[J]. 工程地质学报,2002,10(3): 266- 275.

[2] 刘希林. 泥石流风险评价中若干问题的探讨[J]. 山地学报,2000,18(4): 341- 345.

[3] 吕学军,等. 南水北调西线一期工程区泥石流分布特征[J]. 水土保持研究, 2005,12(5): 237- 240.

[4] 苏鹏程,等. 四川色达县切都柯沟/ 7# 80 泥石流灾害风险评价[J]. 灾害学,2005,20(1): 71- 75.

[5] 刘希林,莫多闻. 泥石流风险评价[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社,2003.

[6] 凉山彝族自治州地方志编撰委员会,凉山州史志办公室. 凉山州志[Z].

由式(3)、(4)、(2)可得 F V_{1单}= 0.9242; F V_{2单}= 1; V_单= 0.98

根据最新单沟泥石流的易损度分级标准: 极低易损 0< H_单< 0.2, 低度易损 0.2< H_单< 0.4, 中度易损 0.4< H_单< 0.6, 高度易损 0.6< H_单< 0.8, 极高易损 0.8< H_单< 1。

因此,打虎沟泥石流属于极高易损度泥石流沟。

3.3 打虎沟泥石流风险评价

根据单沟泥石流风险度计算公式,最终得到凉山州越西县打虎沟泥石流风险度为:

R_单 = H_单# V_单= 0.39@0.98= 0.38

根据最新单沟泥石流的风险分级标准: 极低风险 0< H_单< 0.04, 低度风险 0.04< H_单< 0.16, 中度风险 0.16< H_单< 0.36, 高度风险 0.36< H_单< 0.64, 极高风险 0.64< H_单< 1。可知打虎沟泥石流属于具有高风险的泥石流沟。

表 3 打虎沟泥石流风险评价指标及评价结果

财产指标 / 万元	人口指标 /(人# km ⁻²)	财产指标 转换赋值	人口指标 转换赋值	危险度	易损度	风险度
10000	3787	0.9242	1	0.39	0.98	0.38

4 结论与防治建议

(1) 打虎沟泥石流流域沟口以上集雨面积 0.862 km²,规模约 10 000 m³,沟段长 2 195 m,高差达 368 m,冲沟平均坡比降 255.7j,局部坡降达 420j,冲沟陡、直、弯道少,为一小规模沟谷型泥石流沟。从流域堆积物粒径分析和调查了解推断其为稀性泥石流。发生频率为 15~ 20 年,为中低频泥石流。

(2) 打虎沟泥石流的规模小,其危险性评价得到的危险度为:0.39,为低危险度泥石流沟,但是由于其出口就在县城西南边,沿打虎沟口以下有 30 多家企业单位以及住户约 2 800 人,居民密集,房屋集中,一旦发灾,损失巨大。其易损性评价得到易损度为 0.98,为极高易损度泥石流沟。因此,综合其危险度和易损度得到打虎沟泥石流的风险度为0.38,属于具有高风险的泥石流沟,必须进行治理。各计算结果见表 3。

(3) 打虎沟泥石流整治工程采用工程措施结合生态恢复的方法,工程设施主要是拦挡、排导相结合的方式整治,主要工程措施包括: ' 在泥石流的流通区布置 6 级拦沙坝,能有效地将形成区内的固体物质拦截,其库容量在 10 000 m³ 以上,大于泥石流的固体物质储量;' 城关堰与排洪沟交叉部分进行改造,保证洪水期间,打虎沟形成的洪水能有效地进行排泄; » 对原建的排洪沟下游部分进行改建,将其直接引入越西河。此外,继续恢复植被,以减少泥石流固体物质来源;同时要加强对泥石流监测和天气预报工作,及时准确地做出灾前预报和预警,加强群测群防,对泥石流的防治也是非常必要的工作。