

文章编号: 1008-2786-(2016)3-337-09

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000137

甘肃省南部单沟泥石流灾害风险评估

舒和平 孙爽 马金珠 刘东飞 张鹏

(兰州大学西部环境教育部重点实验室,甘肃 兰州 730000)

摘 要: 随着全球变化研究的深入与防灾减灾各方面问题认识的不断深化,滑坡泥石流灾害风险评估与管理受到了国际社会的越来越广泛的关注。目前,山区泥石流灾害风险评估途径较为单一,主要为定性的分析。因此,选取武都区汉王镇嘴子沟为研究对象,利用单沟危险度及易损度作为基础评价指标,进行不同降雨频率单沟泥石流灾害风险评估。单沟危险度采用 Flo-2d 数值模型软件进行模拟,并利用 GIS 技术进行危险区划;易损度通过遥感解译技术和承灾体经济价值归一化处理相结合,得到各类承灾体易损度。通过危险度与易损度耦合,得到研究区风险等级,并进行风险区划;同时基于人员损失评估模型和财产损失评估模型,建立风险评估模型,评估结果表明:10 a 一遇损失价值 1 043.51 万元;20 a 一遇损失价值 963.36 万元;50 a 一遇损失价值 1 356.91 万元;100 a 一遇损失价值 1 322.44 万元。通过对嘴子沟泥石流灾害风险评估,获得了该泥石流沟在不同降雨频率下的泥石流灾害损失价值,为地方各级政府在经济建设规划、生态环境管理和防灾减灾等方面提供科学依据和必要的技术支撑。

关键词: 泥石流;易损度;灾害风险评估;风险等级

中图分类号: S157.4

文献标志码: A

泥石流以其冲毁、淤埋的成灾方式对人类生命安全和财产构成危险^[1]。据统计,我国受泥石流灾害或威胁的县级以上城镇多达 100 余座,乡镇级城镇更是多达千座^[2]。泥石流灾害一旦发生,其后果是非常严重的,因此对泥石流灾害风险评估一直都受到国内外学者的广泛关注^[3-4]。我国对于泥石流灾害风险评估研究始于 20 世纪 90 年代。崔鹏提出了县级泥石流滑坡灾害快速调查与评估方法^[5];张梁等对地质灾害评估理论进行总结,编著了《地质灾害灾情评估理论与实践》,对灾害评估有了系统的认识和理解^[6];罗元华提出了破坏损失率的概念和计算方法来确定受灾体遭受泥石流灾害损害程度^[7];刘光旭等从泥石流灾害风险的构成要素、危险性评估和承灾体脆弱性程度研究等方面,分析了泥石流灾害风险评估的研究现状^[8]。还有诸多学

者也对泥石流灾害风险评估进行了深入探讨,取得了显著成果^[9-10],并在地质灾害防治过程中取得了有效的应用。我国甘肃省南部白龙江流域绝大部分乡镇位于泥石流沟堆积扇,然而泥石流灾害风险评估相对于我国其他地区较弱。2008 年 8 月嘴子沟发生特大泥石流,掩埋了沟道两侧耕地,毁坏了马坝村房屋 28 间,国道 212 中断,伤亡 8 人,给当地经济发展和建设造成了严重的损失,因而对于白龙江流域泥石流灾害风险评估显得尤为重要。以甘肃省武都区汉王镇嘴子沟为研究区,采用泥石流灾害危险度和易损度耦合的方法,结合 GIS 技术进行泥石流灾害风险度评价;同时利用人员损失评估模型和财产损失评估模型进行泥石流灾害风险评估,获得嘴子沟在不同降雨频率下的泥石流灾害损失价值,为当地相关部门针对泥石流灾害防治提供一定的科学

收稿日期(Received date): 2015-03-04; 改回日期(Accepted): 2015-06-28。

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划项目(2011BAK12B05)资助。[Supported by national science and technology pillar program (2011BAK12B05).]

作者简介(Biography): 舒和平(1989-),男,瑶族,湖南怀化人,博士研究生,主要从事水文过程与泥石流灾害方面的研究。[Shu Heping, male, born in huaihua, Hunan. Ph. D student, majoring in research on hydrological process and debris flow hazards assessment.] E-mail: shuhp13@lzu.edu.cn, Tel: 18394029612

依据。

1 研究区概况

1.1 自然条件

嘴子沟地处甘肃省陇南市武都区汉王镇马坝村,地理位置为 $104^{\circ}03'30''\text{E}$ $33^{\circ}20'59''\text{N}$,是白龙江左岸一条支沟(图1),主沟长 3.08 km,流域面积 2.55 km^2 ,地处北亚热带湿润向温暖半湿润过渡的季风气候带。根据武都区气象站 1952—2010 年气象资料,该区月平均温度为 14.6°C ,1 月平均气温 2.9°C ,7 月平均温度 24.8°C ,极端最低零下 8.1°C ,极端最高 40°C 。多年平均降雨量 487.2 mm,其中 5—9 月降雨量占全年降雨总量的 75%~85%,最大瞬时降雨量 40 mm/h ,历年平均蒸发量 $1\,740.0\text{ mm}$,降雨集中,且暴雨多是区内降雨的主要特点,也为泥石流的形成提供了触发条件^[11]。

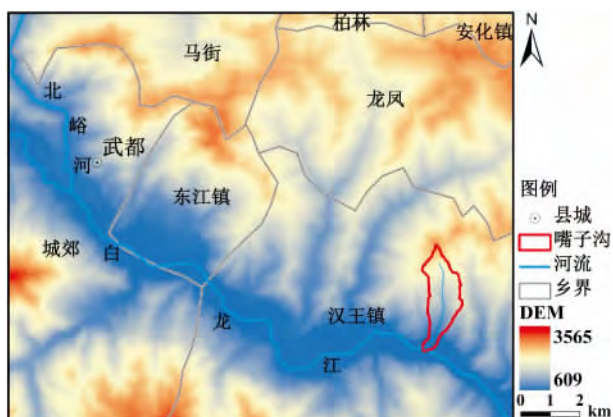


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

1.2 嘴子沟特征

嘴子沟切割强烈、地表起伏大、山势陡峻,最高海拔 2 159 m,最低海拔 924 m,主沟纵坡降 401‰,山坡平均坡度 32° ,泥沙沿程补给长度比 55%。受“5·12”汶川特大地震影响,沟内土质更加疏松,持雨能力差,易遭受流水侵蚀。

沟道左岸山坡基岩裸露,右坡风化强烈,表层覆土以黄土为主,厚度为 2~4 m,岩石破碎,沟道上游两侧坡体坡度 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。沟道呈“V”型,在表层黄土上零星分布乔灌木。中下游沟道发育堆积体厚度 3~4 m,堆积物中 30~40 cm 漂石占 10%~15%,5~10 cm 卵石占 20%~25%,碎砾石占 30%~35%。

沟内无人工开挖迹象。

2 评价方法

2.1 危险度评价

根据武都区 1952—2010 年日降雨统计资料,并借鉴水文 P—III 型分布频率曲线^[12],可得到武都区在不同频率下的日降雨量,从而利用 Flo-2d 软件中的水文模块 SCS 模型分析计算得出不同降雨频率下水文过程线。将不同降雨频率下水文过程线输入至 Flo-2d 软件中,对嘴子沟进行不同日降雨频率下的泥石流数值模拟,由清水流量计算公式(1)乘以放大因子 BF(Bulking Factor)计算得出泥石流流量,从而获得嘴子沟在不同日降雨频率下堆积区泥石流泥深和流速,并以泥深和流速作为定量指标进行泥石流淤积区危险度评价^[13-18];并结合嘴子沟 1:2.5 万 DEM(网格分辨率为 $12.5\text{ m}\times 12.5\text{ m}$)和历史泥石流活动范围调查结果,将嘴子沟泥石流堆积淤积区划分为 3 个等级(表 1)。

$$Q = \lambda \sqrt{gH^3} \quad (1)$$

式中 Q 为清水流量; λ 为流量参数; g 为重力加速度; H 为上游水深(m)。

$$BF = \frac{1}{1 - C_v} \quad (2)$$

式中 BF 为放大因子; C_v 为泥石流体积浓度。

表 1 泥石流危险度区划分标准

Tab. 1 Division standard of debris flow hazard zone

危险区类型	泥深/m	流速/(m/s)
高危险区	>1.0	>3.0
中危险区	0.5~1.0	1.0~3.0
低危险区	<0.5	<1.0

2.2 易损度评价

资料来源:分辨率为 0.6 m 的 Quick Bird 嘴子沟遥感影像图;嘴子沟 1:2.5 万 DEM 数据;现场调查获取的流域特征资料;堆积区承灾体统计数据;历史泥石流灾害资料;马坝村平面分布图。

利用遥感解译技术进行承灾体识别,并通过野外校正承灾体分布情况,从而获得不同类型承灾体的易损度,并进行等级划分。

2.3 风险评价

通过耦合嘴子沟不同日降雨频率下的危险度与

易损度,并采用GIS技术进行泥石流灾害风险区划,同时计算出不同日降雨频率下的风险等级面积。

2.4 风险评估

2.4.1 人员损失评估模型

人员损失主要包括因灾害死亡损失和伤害损失。前者是指因泥石流造成人员死亡而带来的损失,后者是指灾害造成的除死亡以外的受伤、疾病、医疗等损失。可表示为:

$$S_H = S_D + S_I \quad (3)$$

式中 S_H 人员损失(万元); S_D 因灾死亡损失(万元); S_I 因灾伤害损失(万元)。

为了准确评价灾害损失,需要有一种方法将“人的价值”货币化,并以此进行定量化计算。此前有学者借用经济学中人力资本的概念^[1],将灾害致使的人员损失表示为人的劳动价值损失,通过对其未来的劳动收入来贴现折算。但由于未来充满了不确定因素和不可预知性,所以该方法实际上只在理论上可行,在现实评价中还无法应用。事实上可以通过个人在社会中所创造的经济财富来近似替代“人的价值”。因此,对于死亡个体,可以表示为他(她)作为生产者的时间(一般为40 a)与其当年人均GDP的乘积。而对于伤害个体,其损失包括治疗、恢复、误工等费用。为评价方便,可采用当年、当地的人均GDP的损失值来粗略估算。用公式表示为:

$$S_D = 40 \times Y \times P_1 \quad (4)$$

$$S_I = Y \times P_2 \quad (5)$$

式中 Y —当年当地的人均GDP(万元/人); P_1 —泥石流造成死亡的总人数(人); P_2 —因灾害引起受伤、疾病的总人数(人)。

综合式(4)、(5)、(6)泥石流灾害造成的人员损失 S_H 可用下式表示为:

$$S_H = 40 \times Y \times P_1 + Y \times P_2 \quad (6)$$

2.4.2 财产损失评估模型

根据泥石流灾害调查资料和经验,可以初步确定泥石流堆积扇不同部位遭受泥石流毁坏程度大小,以及根据堆积扇不同危险区划分结果,将泥石流高危险区可能破坏率定为70%,中危险区可能破坏率定为50%,低危险区可能破坏率定为30%^[19]。

不同危险区承灾体期望值损失值核算采用分类调查统计方法,评估模型如下:

$$D(s) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E(d)_i F_{ij} \cdot G_{ij} \quad (7)$$

式中 $D(s)$ 为泥石流灾害财产损失, $E(d)$ 为 i 类承灾体受灾前平均单价, F_{ij} 为 i 类承灾体发生 j 级损毁

的数量, G_{ij} 为 i 类承灾体发生 j 级损毁时,平均价值损失率, j 为承灾体类型, j 为承灾体损毁等级。

因此结合人员损失评估模型和财产损失评估模型,可得风险评估模型如下:

$$E = S_{(H)} + D_{(s)} \quad (8)$$

3 评价结果

3.1 危险度

借鉴P-III型分布曲线,并结合武都区日降雨统计资料,计算出10 a一遇、20 a一遇、50 a一遇和100 a一遇的日降水量分别为54.19 mm、60.43 mm、68.07 mm、73.54 mm。

基于泥石流危险度区划标准(表1)的基础上,结合GIS技术绘制出嘴子沟在不同日降雨频率下危险度分区图(图2),进而计算出不同频率下各个危险等级面积(表2)。

嘴子沟在不同日降雨频率下危险区总面积呈现增加趋势。从10 a一遇到20 a一遇高危险区面积增加幅度大,由于嘴子沟沟道左侧存在大量松散堆积物,当日降雨达到60.43 mm,沟内物质快速达到饱和,因此松散物质容易被冲刷出来,从而形成规模较大的泥石流;但中危险区面积急剧减少,原因在于沟道比较深,大量的松散物质直接被冲到白龙江,然而沟道两侧堆积物较少,进而造成高危险区和低危险区面积比重较大(表2)。

由于白龙江地理位置较低,被冲刷出来的松散物容易在白龙江快速堆积,因此堆积扇上的堆积物较少,所以嘴子沟在不同降雨频率下的高危险区主

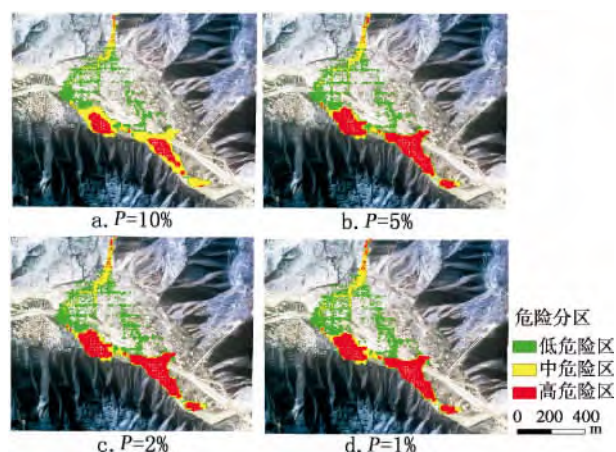


图2 泥石流灾害危险分区图

Fig.2 Debris flow disaster zoning map

要位于白龙江及白龙江附近区域(图2)。

表2 不同降雨频率下泥石流各危险等级面积

Tab.2 Debris flow hazard zoning results under different rainfall frequency
/(10⁴ m²)

日降雨频率	P = 10%	P = 5%	P = 2%	P = 1%
日降雨量	54.19	60.43	68.07	73.54
高危险区	5.57	13.06	13.38	13.44
中危险区	11.91	5.74	6.11	6.55
低危险区	14.51	15.29	16.86	16.67
危险区总面积	31.99	34.09	36.35	36.66

3.2 易损度评价

3.2.1 遥感解译

利用目视解译方法对嘴子沟遥感影像图进行识别,解译出泥石流堆积区的耕地、房屋、桥梁、水域、高速公路等承灾体,并结合马坝村平面图和野外考察获得的承灾体分布图进行分析(图3)。

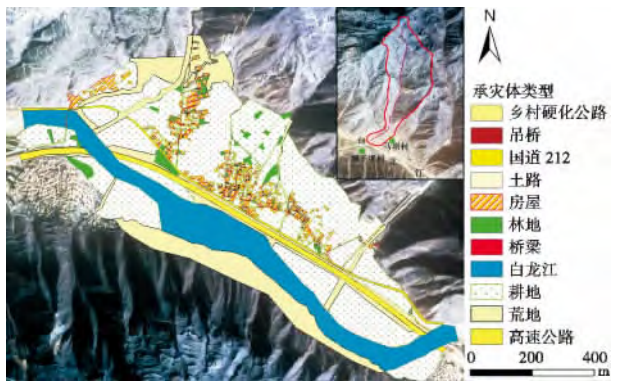


图3 承灾体遥感解译分类图

Fig.3 Interpretation of remote sensing for bearing bodies

通过遥感解译,承灾体类型主要有乡村硬化公路、林地、国道、耕地、高速公路、房屋、水域、荒地、水域等(图3),其中耕地、荒地、水域、房屋分别占承灾体面积的47.83%、19.49%、18.04%、5.29%;耕地和房屋主要分布于沟道两侧和白龙江两岸,因此耕地和房屋极易遭受泥石流灾害威胁。

3.2.2 易损度分区

在承灾体解译和分类的基础上,根据各类承灾体实际经济价值和造价,对各类承灾体的单价进行归一化处理,并结合GIS技术分析和计算,从而进行易损度区划和易损等级划分(图4)。

嘴子沟堆积区房屋楼层大多数是二层,且砖混

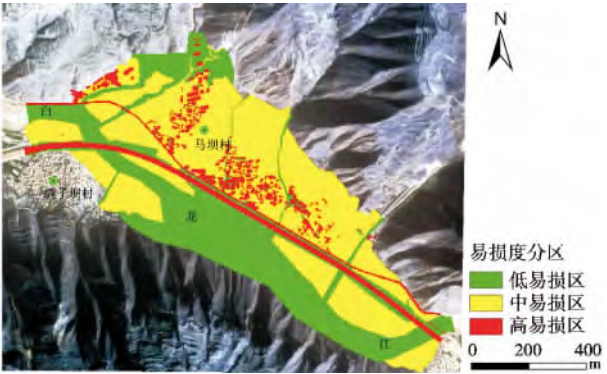


图4 易损度分区图

Fig.4 Zoning vulnerability degree

结构较多,房屋经济价值高;国道、高速公路、桥梁造价高;因此房屋、国道、高速公路、桥梁属于高易损分布区(图4)。中易损区主要分布在耕地、乡村硬化公路等区域,原因在于耕地种植的粮食作物和经济作物价值相对较高;同时乡村硬化公路造价也相对较高。林地、荒地、水域等承灾体属于低易损区,占总承灾体面积的39.73%。

3.3 风险评价

通过对不同降雨频率单沟泥石流危险度和易损度耦合,并利用GIS技术对嘴子沟在不同日降雨频率下进行风险区划(图5),进而计算出各个风险等级面积(表3)。

在10a和20a一遇情况下,嘴子沟泥石流风险等级主要为中风险,其风险区面积分别占总风险区面积的93.44%和87.31%;白龙江两岸风险等级属于高风险区,原因在于白龙江两岸危险等级高,易损度也较高。在50a和100a一遇情况,其风险等级

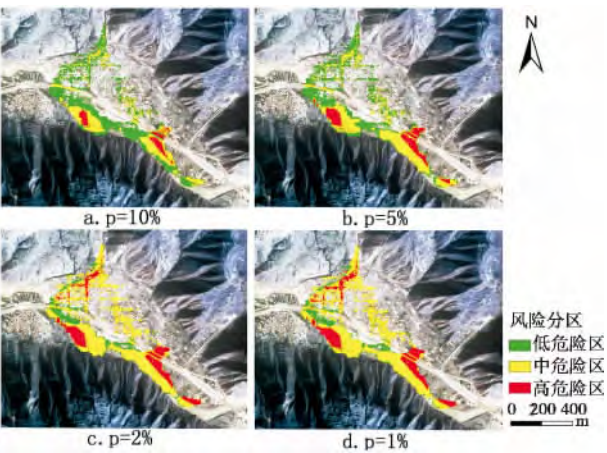


图5 泥石流灾害风险分区图

Fig.5 Debris flow disaster risk zoning

属于高风险。由于沟道左侧承灾体类型为房屋,经济价值高,且白龙江危险等级高,因此中高风险区主要位于沟道左侧和白龙江两岸(图 5)。

表 3 不同降雨频率下泥石流各风险等级面积

Tab. 3 Debris flow hazard zoning results under different rainfall frequency /(10^4 m^2)

日降雨频率	P = 10%	P = 5%	P = 2%	P = 1%
日降雨量	54.19	60.43	68.07	73.54
高风险区	2.07	4.27	7.09	7.35
中风险区	10.01	13.32	23.08	23.81
低风险区	19.46	16.07	5.44	5.02
风险区总面积	31.54	33.66	35.61	36.18

在不同日降雨频率下嘴子沟风险区总面积呈现增加趋势,但不同风险等级面积在不同降雨频率下具有差异性。从 10 a 到 20 a 一遇情况下,高风险等级面积增加了一倍多,因此高风险区面积也增加了一倍多。从 20 a 到 50 a 一遇情况下,高风险区和中风险区面积大幅度增加,原因在于 50 a 一遇情况下沟道左侧高风险区面积急剧增加,同时泥石流堆积区左侧中风险区面积也大幅度增加,且承灾体受灾对象主要为耕地;然而低风险区面积减少接近三分之二,其主要分布于白龙江两岸。在 50 a 和 100 a 一遇情况下,中风险区面积各占总风险面积的 65%,因此风险等级偏高。

3.4 风险评估

3.4.1 人员损失价值核算

以马坝村 2013 年统计年鉴可知,人均收入 1 923 元,属于欠发达区域。同时根据当地国土资源部门泥石流灾害人员伤亡统计资料和当地村委会记录,统计出不同降雨频率下死亡人数和伤亡人数,并按照人员损失评估模型公式(5)计算出不同频率泥石流人员损失价值(表 4)。

表 4 泥石流灾害人员伤亡
Tab. 4 Debris flow disaster casualties

日降雨频率	P = 10%	P = 5%	P = 2%	P = 1%
人员死亡/人	0	0	1	2
人员死亡价值/(万元)	0	0	7.6	15.2
人员受伤/人	0	1	1	2
人员受伤价值/(万元)	0	0.19	0.19	0.38
总价值/(万元)	0	0.19	7.79	15.58

由于嘴子沟沟道较深,且房屋主要位于沟道左侧,加之 2008 年汶川地震后,房屋重建的砖混结构增多,其结构更加稳固,泥石流不易造成人员伤亡,因此嘴子沟在不同日降雨频率下人员伤亡损失价值相对较低。

3.4.2 财产损失价值

采用 GIS 空间分析技术耦合嘴子沟在不同降雨频率下泥石流危险等级面积和解译承灾体面积,获得嘴子沟不同危险等级下的不同类型承灾体受灾面积(表 5 ~ 表 8)。

基于嘴子沟承灾体受灾面积统计结果,结合泥石流不同危险等级损坏能力,并按照财产评估评估模型公式(6)计算出不同降雨频率下泥石流灾害损失经济价值(表 5 ~ 表 8)。

通过上述评估体系,计算出评估区各类承灾体受灾面积,嘴子沟承灾体危险区总面积 319 815.91 m^2 ,其中高风险区面积占总面积 17.41%,中危险区占总面积 37.23%,低风险区所占比例为 45.36%。因此,嘴子沟在日降雨量为 10 a 一遇情况下,承灾体危险面积以中低风险为主(表 5)。根据当地实际成本价值,采用财产期望损失评估模型获得不同类型承灾体受损经济价值(表 5)。泥石流灾害损失评估结果表明,嘴子沟评估范围总价值核算为 1 043.51 万元,其中高风险区受损价值占总损失价值 4.85%,中危险区占总损失价值 33.36%,低风险区占总损失价值 61.8%。对评估区各类承灾体损失评估统计结果中:乡村硬化公路损失价值占总损失价值 3.72%,国道占总损失价值 4.02%,耕地占总损失价值 14.23%,高速公路占总损失价值 40.1%,房屋占总损失价值 32.47%。由此可以看出,房屋和公路及耕地的易损性高,是白龙江流域泥石流威胁的主要对象,也是山区防灾减灾的重中之重。

20 a 一遇情况下嘴子沟泥石流承灾体危险区总面积 350 979.04 m^2 ,其中高风险区面积占总面积 38.36%;中危险区占总面积 16.87%;低风险区占比例为 44.77%;因此嘴子沟承灾体危险面积以高、低风险为主(表 6)。泥石流灾害造成损失总价值经过核算为 963.17 万元,其中高风险区受损价值占总损失价值 42.48%,中危险区占总损失价值 11.85%,低风险区占总损失价值 45.67%。高风险区中高速公路损失价值占总损失价值 50.85%,中危险区耕地占总损失价值的 27.74%,低风险区房屋损失价值占总损失价值 63.83%。对各类承灾体

受损评估结果中: 乡村硬化公路损失价值占总损失价值的 4.67% ,国道占总损失价值 5.83% ,耕地占总损失价值 17.89% ,高速公路占总损失价值 27.34% ,房屋占总损失价值 37.37% ,水域占总损失价值 3.82% 。进而可知 ,房屋和公路及耕地受损价值大 ,占总损失价值 93.79% 。

50 a 一遇情况下 ,嘴子沟承灾体泥石流危险区总面积 363 547.2 m² ,其中高危险区面积占总面积 36.81% ,中危险区占总面积 16.82% ,低危险区所占比例为 46.38% ;因此嘴子沟承灾体危险面积以高低危险为主(表 7) 。泥石流灾害评估总价值为 1 349.12 万元 ,其中高危险区损失价值占总损失价

值 33.53% ,中危险区占总损失价值 8.39% ,低危险区占总损失价值 58.07% 。高危险区中高速公路损失价值占总损失价值 50.53% ,承灾体中危险区高速公路、耕地占总损失价值分别为 30.63% 、29.96% ;低危险区房屋占总损失价值 44.44% ,高速占总损失价值 36.71% 。通过对各类承灾体受损价值统计可知: 乡村硬化公路损失价值占总损失价值的 3.7% ,国道占总损失价值 4.39% ,耕地占总损失价值 13.74% ,高速公路占总损失价值 40.84% ,房屋占总损失价值 32.23% 。因此 ,日降雨为 68.07 mm 时 ,泥石流灾害对房屋和公路及耕地毁坏严重 ,受损经济价值占总损失价值 91% 。

表 5 泥石流灾害损失评估结果(p = 10%)
Tab.5 Results of loss evaluation of debris flow disaster(p = 10%)

承灾体 类型	高危险区			中危险区			低危险区		
	面积/m ²	毁损率	核算价值/万元	面积/m ²	毁损率	核算价值/万元	面积/m ²	毁损率	核算价值/万元
乡村硬化公路	—	0.7	—	769.33	0.5	11.54	3 209.20	0.3	27.26
土路	—	0.7	—	994.34	0.5	4.97	576.15	0.3	1.73
桥梁	—	0.7	—	—	0.5	—	—	0.3	—
林地	—	0.7	—	564.46	0.5	0.56	3 200.98	0.3	1.92
荒地	4 191.73	0.7	2.93	18 394.34	0.5	9.20	13 436.29	0.3	4.03
国道	—	0.7	—	756.37	0.5	18.91	1 538.10	0.3	23.07
耕地	16 631.33	0.7	34.93	37 483.67	0.5	56.22	63 707.23	0.3	57.34
高速公路	—	0.7	—	2 900.91	0.5	174.05	6 789.64	0.3	244.43
房屋	12.64	0.7	0.53	1 960.47	0.5	58.81	15 528.38	0.3	279.51
吊桥	—	0.7	—	—	0.5	—	—	0.3	—
水域	34 857.70	0.7	12.20	55 244.34	0.5	13.81	37 068.31	0.3	5.56
合计	55 693.39		50.59	119 068.23		348.07	14 5054.28		644.85

表 6 泥石流灾害损失评估结果(p = 5%)
Tab.6 Results of loss evaluation of debris flow disaster(p = 5%)

承灾体 类型	高危险区			中危险区			低危险区		
	面积/m ²	毁损率	核算价值/万元	面积/m ²	毁损率	核算价值/万元	面积/m ²	毁损率	核算价值/万元
乡村硬化公路	557.72	0.7	11.71	300.85	0.5	4.51	3199.30	0.3	28.79
土路	—	0.7	—	1042.25	0.5	5.21	4.43	0.3	1.33
桥梁	—	0.7	—	—	0.5	—	—	0.3	—
林地	—	0.7	—	523.96	0.5	0.52	3 989.46	0.3	2.39
荒地	10 737.71	0.7	7.52	15 855.89	0.5	7.93	15 550.09	0.3	4.67
国道	597.01	0.7	20.90	259.39	0.5	6.48	1 921.13	0.3	28.82
耕地	37 923.57	0.7	79.64	21 116.70	0.5	31.68	67 810.75	0.3	61.03
高速公路	2 476.44	0.7	208.02	478.80	0.5	28.73	7 404.04	0.3	26.55
房屋	1 294.13	0.7	54.35	828.55	0.5	24.85	15 597.78	0.3	280.76
吊桥	—	0.7	—	—	0.5	—	—	0.3	—
水域	77 058.39	0.7	26.97	17 035.50	0.5	4.26	36 976.28	0.3	5.55
合计	130 644.97		409.11	57 441.89		114.17	152 453.26		439.89

表 7 泥石流灾害损失评估结果($p = 2\%$)

Tab.7 Results of loss evaluation of debris flow disaster($p = 2\%$)

承灾体 类型	高危险区			中危险区			低危险区		
	面积 / m^2	毁损率	核算价值 /万元	面积 / m^2	毁损率	核算价值 /万元	面积 / m^2	毁损率	核算价值 /万元
乡村硬化公路	491.92	0.7	10.33	311.44	0.5	4.67	3 882.40	0.3	34.94
土路	47.07	0.7	0.33	1 017.42	0.5	5.09	426.76	0.3	1.28
桥梁	—	0.7	—	—	0.5	—	—	0.3	—
林地	—	0.7	—	914.10	0.5	0.91	4 998.32	0.3	3.00
荒地	10 425.74	0.7	7.30	15 982.00	0.5	7.94	1 8957.41	0.3	5.69
国道	688.08	0.7	24.08	151.49	0.5	3.79	2 089.31	0.3	31.34
耕地	40 776.89	0.7	85.63	22 621.03	0.5	33.93	73 106.61	0.3	65.80
高速公路	2 721.42	0.7	228.60	578.21	0.5	34.69	7 989.73	0.3	287.63
房屋	1 646.55	0.7	69.16	582.75	0.5	17.48	19 341.36	0.3	348.14
吊桥	—	0.7	—	—	0.5	—	—	0.3	—
水域	77 012.07	0.7	26.95	18 983.55	0.5	4.75	37 803.57	0.3	5.67
合计	133 809.74		452.38	61 141.99		113.25	168 595.47		783.49

表 8 泥石流灾害损失评估结果($p = 1\%$)

Tab.8 Results of loss evaluation of debris flow disaster($p = 1\%$)

承灾体 类型	高危险区			中危险区			低危险区		
	面积 / m^2	毁损率	核算价值 /万元	面积 / m^2	毁损率	核算价值 /万元	面积 / m^2	毁损率	核算价值 /万元
乡村硬化公路	41.32	0.7	0.29	463.08	0.5	6.95	3 665.46	0.3	32.99
土路	—	0.7	—	1 230.10	0.5	6.15	171.70	0.3	0.52
桥梁	—	0.7	—	—	0.5	—	—	0.3	—
林地	—	0.7	—	832.31	0.5	0.83	4 744.27	0.3	2.85
荒地	10 993.14	0.7	7.70	16 506.75	0.5	8.25	17 761.24	0.3	5.33
国道	699.20	0.7	24.47	267.33	0.5	6.68	2 352.68	0.3	35.29
耕地	40 239.97	0.7	84.50	24 280.72	0.5	36.42	76 842.26	0.3	69.16
高速公路	2 700.76	0.7	226.86	620.34	0.5	18.07	8 015.24	0.3	288.55
房屋	1 564.28	0.7	65.70	602.43	0.5	18.07	17 967.64	0.3	323.42
吊桥	—	0.7	—	—	0.5	—	—	0.3	—
水域	78 165.00	0.7	27.36	20 659.72	0.5	5.17	35 186.89	0.3	5.28
合计	134 403.67		436.88	65 462.78		106.59	166 707.38		763.39

100 a 一遇情况下 ,嘴子沟承灾体受灾区总面积 366 573.83 m^2 ,其中高危险区面积占总面积 36.66% ,中危险区占 17.86% ,低危险区为 45.48% ;因此嘴子沟承灾体危险面积以高低危险为主(表 8) 。泥石流灾害损失总价值为 1 306.85 万元 ,其中高危险区受损价值占总损失价值 33.43% ,中危险区占总损失价值 8.16% ,低危险区占总损失价值 58.41% 。高危险区中高速损失价值占总损失价值 51.93% ,中危险区耕地占总损失价值分别为 34.17% 。低危险区房屋占总损失价值 42.37% ;高速占总损失价值 37.8% 。对各类承灾体在不同危

险等级统计结果可知:乡村硬化公路损失价值占总损失价值的 3.08% ,国道占总损失价值 5.08% ,耕地占总损失价值 14.55% ,高速公路占总损失价值 40.82% ,房屋占总损失价值 31.16% ,水域占总损失价值 2.89% 。因此在 100 a 一遇的情况下 ,嘴子沟评估范围内房屋和公路及耕地受损严重 ,损失价值占总损失价值 90.11% 。

3.4.3 评估结果

泥石流灾害风险评估是泥石流防治的重要环节。采用人员伤亡损失价值评估模型和财产损失价值评估模型 ,分别对嘴子沟不同降雨频率下的泥石

流灾害损失进行了计算,进而得到风险评估结果(表9)。

表9 风险评估损失结果

Tab.9 Results of loss risk evaluation / (万元)

日降雨频率	P = 10%	P = 5%	P = 2%	P = 1%
人员伤亡价值	0	0.19	7.79	15.58
财产损失价值	1 043.53	963.17	1 349.12	1 306.85
风险评估价值	1 043.53	963.36	1 356.91	1 322.43

从10 a一遇到100 a一遇,嘴子沟泥石流灾害损失价值约1 000万元左右。因此嘴子沟一旦发生大规模泥石流,会给马坝村造成严重的经济损失,所以急需加强对嘴子沟进行泥石流防治,同时应建立健全突发性自然灾害应急预案,进一步完善泥石流预警机制,加强泥石流等自然灾害知识普及宣传,提高人民的防灾意识和应变能力。

4 结论

嘴子沟10 a、20 a、50 a和100 a一遇的日降雨量分别为54.19 mm、60.43 mm、68.07 mm、73.54 mm,在不同降雨频率下低危险区面积占总面积比例均为45%左右。

嘴子沟评估区承灾体高易损区内主要为房屋、高速公路、国道、桥梁、耕地和乡村硬化公路及土路,属于中易损区。在10 a和20 a一遇情况下,其风险等级为中风险;50 a和100 a一遇情况下风险等级属于高风险。

针对嘴子沟泥石流灾害提出了危险等级划分、易损性分析与受损经济价值核算为一体的损失评估方法,建立了以静态分析为核心的评估体系。在10 a一遇情况下,嘴子沟泥石流灾害损失经济价值为1 043.51万元,20 a一遇受损价值为963.36万元,50 a一遇损失经济价值为1 356.91万元,100 a一遇受损价值为1 322.44万元。其中人员伤亡价值相对较小,财产损失价值中高速公路、房屋、耕地及乡村硬化公路所占比例大,也是白龙江流域泥石流灾害威胁的主要对象。

参考文献(References)

[1] 陈光曦,王继康. 泥石流防治[M]. 北京:中国铁道出版社,1983: 2-29 [Chen Guangxi, Wang Jikang. Debris flow prevention and control[M]. Beijing: China Railway Press, 1983: 2-29]

[2] 钟敦伦,谢洪. 泥石流与人类经济活动[J]. 长江流域资源与环境,1999,8(3): 327-332 [Zhong Dunlun, Xie Hong. Debris flow, and human economic activities[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 1999, 8(3): 327-332]

[3] Thomas Glade. Linking debris-flow hazard assessment with geomorphology[J]. Geomorphology, 2005, 66(1-4): 189-213, 189-213

[4] 韦方强,胡凯衡. 山区城镇泥石流减灾决策支持系统[J]. 自然灾害学报,2002,11(2): 31-37 [Wei Fangqiang, Hu Kaiheng. Decision support system of debris flow mitigation for mountain towns[J]. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(2): 31-37]

[5] 崔鹏. 县级泥石流滑坡灾害快速调查与评估[G]//唐邦兴,潘长庆. 首届全国泥石流滑坡防治学术会议论文集. 昆明:云南科技出版社,1991:78-91 [Cui Peng. County landslide disaster survey and assessment quickly//[G]. Tang Bangxing, Pan Changqing. Proceedings of the first national conference on debris flow landslide prevention. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1991: 78-91]

[6] 张梁,张业成,罗元华. 地质灾害灾情评估理论与实践[M]. 北京:地质出版社,1998:52-100 [Zhang Liang, Zhang Yecheng, Luo Yuanhua. Geological hazard assessment theory and practice[M]. Beijing: Geological Press, 1999: 52-100]

[7] 罗元华. 泥石流堆积区灾害破坏损失评价方法[J]. 中国地质矿产经济,2009,4(4): 33-39 [Luo Yuanhua. Method on evaluation of losses in disaster in the regions of debris flow accumulation[J]. China Geology & Mining Economics, 2009, 4(4): 33-39]

[8] 刘光旭,戴尔阜,吴绍洪,等. 泥石流灾害风险评估理论与方法研究[J]. 地理科学进展,2012,31(3): 383-391 [Liu Guangxu, Dai Erfu, Wu Shaohong, et al. A study on theory and method in debris flow risk assessment[J]. Progress In Geography, 2012, 31(3): 383-391]

[9] 金晓眉,刘金韬. 资质灾害灾情评估系统[J]. 水文地质工程地质,1998,25(3): 30-32 [Jin Xiaomei, Liu Jintao. Geological disaster situation assessment system[J]. Hydrogeology Engineering Geology, 1998, 25(3): 30-32]

[10] 高克昌,杨华,赵纯勇. 基于GIS的万州示范区地质灾害灾情评估系统设计[J]. 中国地质灾害与防治学报,2003,14(4): 54-60 [Gao Kechang, Yang Hua, Zhao Cunyong. The constitution of GIS-based geological hazard assessment system in Wanzhou[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2003, 14(4): 54-60]

[11] 舒和平,马金珠,张鹏,等. 不同降雨频率单沟泥石流灾害风险评估[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2014,50(5): 653-658 [Shu Heping, Ma Jinzhu, Zhang Peng, et al. Risk assessment of debris flow hazards in different rainfall frequencies[J]. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 2014, 50(5): 653-658]

[12] 黄继文. P-III型分布频率分析在中的实现及应用[J]. 水资源研究,2006,27(4): 7-9 [Huang Jiwen. P-III distribution in the implementation and application of frequency analysis[J]. Water Resources Research, 2006, 27(4): 7-9]

[13] 韦方强,胡凯衡,程尊兰. 西藏古乡沟泥石流的数值模拟[J]. 山地学报,2006,24(2): 167-171 [Wei Fangqiang, Hu Kaiheng,

- Cheng Zunlan. Research on Numerical Simulation of Debris Flow in Guxiang Valley ,Tibet [J]. Mountain Research ,2006 ,24(2) : 167 – 171]
- [14] 胡凯衡,韦方强. 基于数值模拟的泥石流危险性分区方法[J]. 自然灾害学报,2005 ,14(1) : 10 – 14 [Hu Kaiheng ,Wei Fangqiang. Numerical simulation based debris flow risk zoning [J]. Journal of Nature Disasters ,2005 ,14(1) : 10 – 14]
- [15] 胡凯衡,韦方强,何易平,等. 流团模型在泥石流危险度分区中的应用[J]. 山地学报,2003 ,21(6) : 726 – 730 [Hu Kaiheng , Wei Fangqiang ,He Yiping ,et al. Application of Particle Model in Risk Zoning of Debris Flow [J]. Mountain Research ,2003 ,21(6) : 726 – 730]
- [16] 韦方强,胡凯衡,J L Lopez,等. 泥石流危险性动量分区方法与应用[J]科学通报,2003 ,48(3) : 298 – 301 [Hu Kaiheng ,Wei Fangqiang J L Lopez ,et al. Debris Flow Risk Momentum Partition Method and Application [J]. Chinese Science Bulletin ,2003 ,48(3) : 298 – 301]
- [17] 张鹏,马金珠,舒和平,等. 基于 FLO – 2D 模型的泥石流运动冲淤数值模拟[J]. 兰州大学学报(自然科学版) ,2014 ,50(3) : 363 – 368 [Zhang Peng ,Ma Jinzhu ,Shu Heping , et al. Numerical simulation of erosion and deposition debris flow based on FLO – 2D Model [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences) , 2014 ,50(3) : 363 – 368]
- [18] 宁娜,舒和平,刘东飞,等. 基于熵权和模糊评判的单沟泥石流危险性评价[J]. 兰州大学学报(自然科学版) ,2014 ,50(3) : 369 – 375 [Ning Na ,Shu Heping ,Liu Dongfei ,et al. Hazard assessment of debris flow based on the entropy weight method and fuzzy evaluation method [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences) , 2014 ,50(3) : 369 – 375]
- [19] 唐川,张军,万石云,等. 基于高分辨率遥感影像的城市泥石流灾害损失评估[J]. 地理科学,2006 ,26(3) : 358 – 363 [Tang Chuan ,Zhang Jun ,Shi Wanyun ,et al. Loss evaluation of urban debris flow hazard using high spatial resolution satellite imagery [J]. Scientis Geographice Sinica ,2006 ,26(3) : 358 – 363]

Risk Assessment of Single Debris Flow Gully in South Gansu Province ,China

SHU Heping ,SUN Shuang ,MA Jinzhu ,LIU Dongfei ,ZHANG Peng

(Key Laboratory of Western China' s Environment Systems of the Ministry of Education ,Lanzhou University ,Lanzhou 73000 ,China)

Abstract: Along with research advancement of global change and quite understanding of the problems about disaster preparedness and reduction ,international community has played more and more attention to landslide and debris flow disaster risk assessment and management. Currently ,the major approach of a single debris flow disaster risk assessment is qualitative ,which is relatively simple. Therefore ,we choose Zuizi Gully at Hanwang Town in Wudu District for research ,to conduct disaster risk assessment of a single debris flow at different rainfall frequency by using risk and vulnerability as a basis assessment index. Therefore ,Zuizi Gully in Wudou District was selected as research object. The article used hazards and vulnerability as a basis for evaluation ,which made a single gully risk assessment come true. Among them ,the Flo – 2d numerical model was adopted in single gully hazard assessment ,combined with GIS technology for dangerous districts; remote sensing technology and the economic value of hazard-affected bodies normalization processing were applied to vulnerability. Hazards and vulnerability were coupled ,to obtain the risk in the study area and risk zoning; at the same time ,based on loss assessment model and property damage assessment model ,the risk assessment model was established ,combined with GIS technology for debris flow disaster losses and economic value under different rainfall frequencies. The results show that: once every 10 years loss value 10.435 3 million; once every 20 years loss value 9.633 6 million; once every 50 years loss value 13.569 1 million; once every 100 years loss value 13.224 3 million. The debris flow loss value under different rainfall frequency was got by the debris flow risk assessment of Zuizi gully. This provides scientific basis and necessary technical support for local governments in economic development planning ,environmental management and disaster prevention and reduction and so on.

Key words: debris flow; vulnerability; hazards risk assessment; risk level