

云南昆明东川区泥石流危险性评价

刘洪江^{1,2}, 韩用顺^{2,3}, 江玉红², 张 继²

(1. 云南财经大学 统计与信息学院, 昆明 650223; 2. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;
3. 湖南科技大学 地球空间信息科学研究所, 湖南 湘潭 411201)

摘 要:根据泥石流危险度评价的 5 个层次:即泥石流灾害野外调查、泥石流暴发成因分析、危险度评价模型、灾害评价与减灾。根据泥石流的发生学原理,10 个自然因子分别用于代表能量、物质和激发条件,以用于自然危险度评价,在评价时采用了权重模型和方根模型。野外泥石流调查资料用于模型检验,结果表明权重模型能更好地进行自然危险度区划;4 个社会经济发展水平代表性因子用于经济状况评价。二者复合后得到该区域综合危险度评价。根据综合危险度评价结果最重度危险区面积为 133.7 km²,79.0 % 的泥石流沟位于该区内;重度危险区面积 580.6 km²,19.8 % 的泥石流沟位于该区内;中度危险区面积 723.9 km²,有 1.2 % 的泥石流沟位于区内;安全区面积 119.0 km²,该区内无泥石流沟,表明分区结果符合实际泥石流分布。根据分区结果提出了该区内泥石流减灾方案。

关键词:泥石流;危险性评价;模型;GIS;东川区

中图分类号:P642.23

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)06-0241-04

Risk Assessment of Debris Flow in Dongchuan Area,
Kunming, Yunnan Province

LIU Hong-jiang^{1,2}, HAN Yong-shun^{2,3}, JIANG Yu-hong², ZHANG Ji²

(1. Statistics and Information School, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650223 China;
2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China; 3. Institute of Geospatial Information Science, Hu'nan University of Science & Technology, Xiangtan, Hu'nan 411201, China)

Abstract :Debris flow risk assessment can be divided into five levels/ steps, i. e. the field survey, the background conditions analysis, the risk assessment, the evaluation of the situation of the hazard and the advise of the mitigation way. Ten factors, which represent the energy, the mass quantity and the triggering conditions of the debris flow, were put into the weight model and the square model to estimate the debris flow risk of nature backgrounds for the studying area. It has shown that the result of the weight model is better than that of the square model. Four factors, which represent the social and economy backgrounds, are used to evaluate the economic levels of the studying area. Then, we put them together to get the comprehensive risk assessment at last. The result has 4 levels. The most dangerous zone is about 133.7 km² and about 79.0 % of the total debris flow gullies of the studying area are located in this zone; the serious dangerous zone is about 580.6 km² and it has 19.8 % of the debris flow gullies; the middle (light) dangerous zone is about 723.9 km² and about 1.2 % of the debris flow gullies are located in this zone; the safety area is about 119.0 km² and it has no debris flow gully. This result fits the field survey data fairly well, and it shows that the method used in this paper is reliable. Advice of mitigation way is also provided.

Key words :debris flow; risk evaluation; model; GIS; Dongchuan District

1 引 言

泥石流危险性评价是通过对泥石流活动历史及其暴发频率、规模的纪录及泥石流暴发区赋存环境条件的分析,依据一定的危险性评价单元,采用一定的评价模型,计算出划分单元泥石流危害等级,并评估对人类和财产可能造成的灾害严重程度的技术方法。因此,泥石流危险性评价是对区域泥石流活动现状及其发展趋势的一个反映,同时又能概括和预测泥石流对人类及财产可能造成损失的危害程度,它能够为管理规划、工程建设和投资决策提供相当有价值的框架图。泥石流危险性评价可以分为直接指标法和间接指标法。在国内外有关泥石流危险性评价的研究中,常采取统计方法、数值模

拟、模糊数学、人工神经网络等方法进行危险性评估。如澳大利亚的 Jones C 等采用了概率模型进行了滑坡危险性评价^[1],意大利的 Fausto G 等利用统计模型进行了滑坡易损性评价^[2]。韦方强等于 2000 年采用模糊数学模型结合 GIS 对四川省泥石流进行危险度区划;又于 2003 年运用泥石流运动数值模拟结果和 DEM 相结合,通过动量分区法划分泥石流危险区,应用于委内瑞拉首都加拉加斯的 Chacailo 沟^[3-4]。唐川等利用高分辨率卫星对东川城区泥石流进行了易损性评价^[5];刘希林等采用泥石流风险评价公式对都江堰-汶川公路泥石流危险性评价及活动趋势进行了评价^[6]。

收稿日期:2007-01-17

基金项目:中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-352)

作者简介:刘洪江(1971-),男,重庆江津人,副教授,在读博士,主要从事环境遥感与土地退化研究。

泥石流危险性评价分为 5 个层次进行,泥石流灾害野外调查、泥石流暴发成因分析、危险度评价模型、灾害评价与减灾。灾害野外调查是根据已有资料,结合遥感技术和野外考察得到区域泥石流流体分布;泥石流发生环境是从泥石流发生学的角度,对泥石流形成环境的地质、地貌、气候、人类活动进行分析;危险度评价模型利用 GIS 技术,采取权重和方根模型根据间接指标法进行区域危险性划分,用不同的颜色或符号表达危险性;灾害评价是根据野外调查资料验证模型评价结果的准确性;减灾是将评价结果用于指导实际生产。

2 评价方法

采用间接自然指标作为泥石流自然危险度区划的指标,直接自然指标对自然危险度区划结果进行验证;同时,以直接社会经济指标作为社会经济发展水平区划的指标。在上述两区划的基础上,根据自然危险度区划指标和社会经济发展水平区划指标,确定泥石流综合危险度区划指标,并根据此指标进行泥石流综合危险度区划的分区。

2.1 自然危险度区划

2.1.1 灾害体详查

在前人已有工作基础上,利用遥感判读、野外调研得到研究区内泥石流灾害体分布,共计 81 条泥石流沟,坡面泥石流上千处,用于验证模型评价结果的准确性。

2.1.2 泥石流形成背景分析

泥石流的发生主要受 3 个因素的影响:一是陡峻的地形提供充足的能量;二是丰富的固体松散物提供物质来源;三是充沛的降雨提供流体条件。地形因子主控因素为相对高差,相对高差最终的表现形式为坡度(x1);松散的固体物质除受地层(x2)、岩性(x3)、构造(x4)、坡向(x5)、土地利用(x6)和温差(x7)的影响外还受到海拔高度(x8)的影响。根据杜荣桓等人的小江流域泥石流考察报告,东川地区松散固体物质主要集中在一定的高度带上。降雨选择了年内降水变差系数(x9)和年际降水变差系数(x10)。

2.1.3 自然危险度评价模型

(1)因子标准化。由于泥石流危险度最终划分为最重度危险区、重度危险区、中度危险区和低危险区 4 个级别,对上述已选定的 10 个评价因子,相应地将其划分为 4 个级别进行标准化。

坡度(x1)。采用的地形图比例尺为 1:10 万,等高距为 40 m,在完成等高线的编辑后,在 ARC/INFO 中,采用 TOPOGRID 命令,将等高线转换为 DEM,在 ARC GIS 环境下将 DEM 转换为坡度图。一般说来,泥石流流体的运动特征为坡度在 8°以下堆积区,8°~15°为快速运动区,大于 15°则为形成源区;据此特点,坡度划分为 4 个等级(表 3)。

岩性(x2)。岩性的坚硬程度直接影响斜坡稳定性和泥石流松散物质的补给量,对此,根据 1:20 万东川幅地质图中岩性分布情况,依据岩石的硬度、抗剪强度对岩性进行划分(表 1)。

地层(x3)。地层影响岩石风化程度,进而影响到松散碎屑物质提供速率。一般说来地层年代越久远或者尚未胶结完好的第四系松散体,其风化程度越高;在研究区内凡是前震旦系地层出露多的地区,泥石流发生频率均较高,如蒋家沟流域、布卡乡、拖布卡乡。而在泥石流沟谷较少的法者、杉木乡,地层则多属侏罗系,见表 2。

表 1 岩性因子危险等级划分

岩石性质	岩石类型	分值
松软	泥沙砾石、岩块、粉砂岩、页岩、泥灰岩、板岩、细砂岩、千枚岩等	4
较松软	片岩、石英砂岩、长岩粉砂岩等	3
较坚硬	灰岩(鲕状灰岩、灰岩夹白云岩)、白云岩等	2
坚硬	花岗岩、玄武岩、侵入岩等	1

表 2 地层因子危险等级划分

地 层	风化程度	分值
第四系(Q)寒武系(G)震旦系(T) 前震旦系(PT)	岩石松散、 风化程度高	4
第三系(N、E)奥陶系(O) 泥盆系(D)	岩石较松散	3
石炭系(C)白垩系(K)	岩石较坚硬、不易风化	2
侏罗系(J)三迭系(T)二迭系(P)	岩石坚硬、风化度小	1

地质构造(x4)。据统计 88%以上的泥石流沟发育在小江断裂带内,典型的泥石流沟如蒋家沟、大白泥沟、小白泥沟、大桥河、石羊沟、深沟、达德沟、黑水河、黑沙沟等。将该地区的断裂构造分为四级,Ⅰ级为小江深大断裂、Ⅱ级为金沙江周围断裂、Ⅲ级为中型断裂、Ⅳ级为小断裂,在断裂带左右两侧缓冲区距离内的区域均被认为是泥石流危险区,赋值 4,其余值 1。各断裂带缓冲区的大小为 - 1 000 m, - 500 m, - 200 m, - 100 m。

表 3 泥石流危险区指标体系等级划分

评价因子	权重	因子分级及各级状态分数				
地层	0.10	等级 分值	Q、G、T、PT 4	N、E、O、D 3	C、K 2	J、T、P 1
岩性	0.10	等级 分值	松软 4	较松软 3	较坚硬 2	坚硬 1
地质构造	0.18	等级 分值	4	4	4	4
坡度	0.12	等级 分值	>25 4	25~15 3	15~8 2	<8 1
坡向	0.05	等级	135~225	90~135 225~270	270~315 45~90	0~45 315~360
		分值	4	3	2	1
海拔高度	0.15	等级	1700~	1300~	1000~	
			2200	1500	1200	>2800
		分值	4	3	2	1
土地利用	0.12	等级	裸地	草场、 疏林地	农业用地	林地、 水体
		分值	4	3	2	1
降水年内变差	0.06	等级 分值	>1 4	1~0.85 3	0.85~0.7 2	<0.7 1
降水年内变差	0.06	等级 分值	>0.2 4	0.2~0.15 3	0.15~0.1 2	<0.1 1
气温日较差	0.06	等级 分值	>15 4	15~12 3	12~8 2	<8 1

坡向(x5)。坡向影响降雨量与日照时间,进而影响区域植被状况,再进一步影响泥石流松散碎屑物质来源(表 3)。

地形高度(x6)。由于东川区泥石流的暴发受到地形影响的因素较大,这是因为在这一区域内滑坡崩塌的高度,基本与泥石流形成区一致,因此地形高度与松散物成极大的相关性。地形共分为 7 个高程段,分别对应 4 个级别。

土地利用(x7)。土地利用方式表明人类的活动情况,不

合理的土地利用方式加剧泥石流的发展,合理的生态保护分区利用则抑制泥石流发生。根据对泥石流产沙作用的大小,将土地利用/覆盖结果分为 4 级(表 3)。

气温日较差(x8)。气温日较差影响区域的岩石风化速度,从而影响松散碎屑物质。

降水年内变差(x9)与降水年际变差(x10)。两者均为泥石流提供激发条件,其主要影响为前期降雨量和当场降雨量。x8、x9 及 x10 为气象因子,选择者海、会泽、落雪、汤丹、

新村、占益、曲靖、马龙、陆良、寻甸、嵩明、禄劝、武定共 13 个气象站 30 a 的数据得到多年平均值,据此平均值进行等级划分(表 3)。

(2)自然危险性评价。采取方根模型和权重模型进行研究区内危险区评价,二个模型各因子权重值之和为 1。

方根模型。方根模型采用各因子相乘,开平方根的方法进行计算,公式为

$$R=\sqrt{(A_1\cdot X_1)(A_2\cdot X_2)(A_3\cdot X_3)(A_4\cdot X_4)(A_5\cdot X_5)(A_6\cdot X_6)(A_7\cdot X_7)(A_8\cdot X_8)(A_9\cdot X_9)(A_{10}\cdot X_{10})}$$

权重模型。权重模型即各因子乘以权重后相加,公式为

$$R=(A_1\cdot X_1)(A_2\cdot X_2)(A_3\cdot X_3)(A_4\cdot X_4)(A_5\cdot X_5)(A_6\cdot X_6)(A_7\cdot X_7)(A_8\cdot X_8)(A_9\cdot X_9)(A_{10}\cdot X_{10})$$

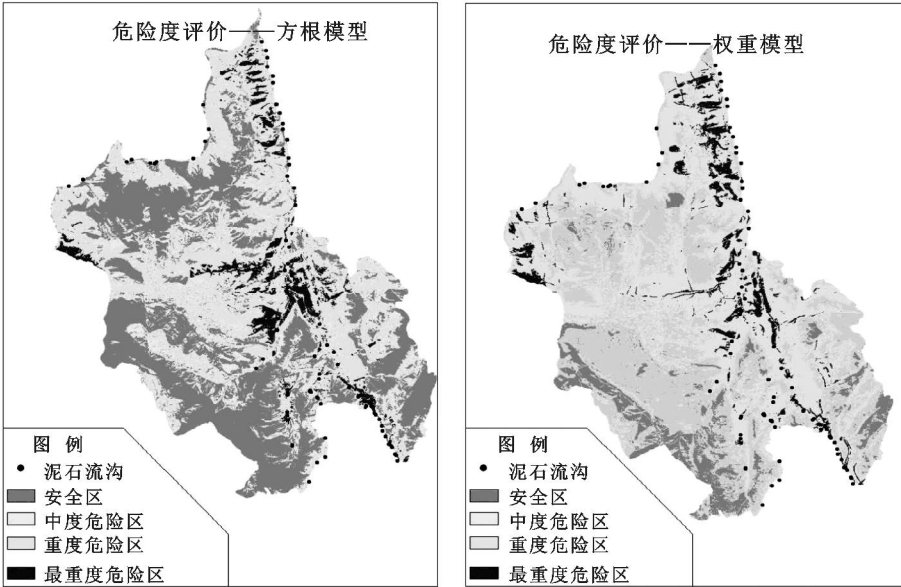


图 1 两种模型泥石流危险度评价结果

(3)评价结果检验。野外调查资料被用于检验模型的准确性,实际表明,权重模型优于方根模型,我们采用了权重模型作为自然危险度区划依据。

2.2 社会经济综合区划

社会经济发展水平区划指标选择了人口密度、单位面积国内生产总值、第二产业占国内生产总值的比例、单位面积道路长度^[7](铁路、县级以上道路和乡村公路)为指标。这些指标基本能反映区划区域的社会经济发展现状和区域分异性,根据因子分析法和层次分析得到各因子的权重分值人口密度 - 0.3,单位面积国内生产总值 - 0.2,第二产业占国内生产总值的比例 - 0.2,单位面积道路长度 - 0.3。

人口密度(s1)。人口密度反映区域的经济活动程度,在分别统计完各乡的人口密度后,分别除以区内总人口密度进行标准化。

单位面积国内生产总值(s2)。在分别统计各乡的单位面积(km²),国内生产总值后,得到各乡单位面积国内生产总值。然后再分别除以东川区单位面积国内生产总值(实际上为东川区各统计单元单位面积国内生产总值的加权平均值)进行标准化,得到标准化后相对的国内生产总值比例值。

第二产业占国内生产总值的比例(s3)。统计各乡第二产业产值占国内生产总值比例的基础上,除以区域内第二产业产值占国内生产总值的比例值(实际上为加权平均值),得到标准化后的值。

单位面积道路长度(s4)。道路构成比较复杂,其等级不同,车流量和运力就不同,对区域社会经济贡献也不同。鉴于此,本区划把道路归纳为 3 种类别:第一类铁路,第二类县级以上公路,第三类乡村公路。其标准化处理过程同上,分别除以区域内的同类公路单位面积的长度进行标准化。根据上述指标最后得到经济综合分区图(图 2)。

2.3 泥石流综合危险度区划

泥石流综合危险度区划指标是由两个高级指标:泥石流自然危险度区划指标和社会经济发展水平指标复合而成。虽说泥石流自然危险度区划指标和社会经济发展水平指标都是评价泥石流可能造成危险及危险程度的重要指标,但它们的作用强度仍有所区别,这是因为泥石流自然危险度是造成泥石流危险及危险程度的基础,即如果没有泥石流存在,经济质量和密度再高的地区,也不会有泥石流危险,这一点是不言自明的。鉴于此,在将二者复合为泥石流综合危险度区划指标时,其权重分配应向泥石流自然危险度指标倾斜。通过因素分析和综合分析,确定自然危险度区划指标的权重系数用 0.65,经济发展水平指标的权重系数取 0.35,并以泥石流自然危险度区划指标的分级赋值值与权重系数之乘积为行,以经济发展水平区划指标的分级赋值值(见表 4)与权重系数之乘积为列列表,然后分别对各相对应的项相加,便求得一系列评价泥石流综合危险度区划的综合参数,其值分布在 0.35~4.0 之间。划分标准为 1.0~1.7 为低危险区,

1.8~2.35 为中度危险区,2.36~3.0 为重度危险区,3.1~4.01 为最重度危险区。据此划分得到东川区泥石流危险度综合区划图。野外泥石流分布资料用于检验模型的准确性,结果表明位于最重度危险区内的泥石流沟总数为 64 条,占 79.0%;位于重度危险区内的泥石流沟数为 16 条,占泥石流

沟总数的 19.8%,位于中度泥石流危险区内的泥石流沟数量 1 条,占总数的 1.2%,轻度危险区内无泥石流沟分布,表明模型结果是可信的。面积统计显示最重度危险区总面积为 133.7 km²;重度危险区面积 580.6 km²;中度危险区面积 723.9 km²;轻度危险区面积 119.0 km²。

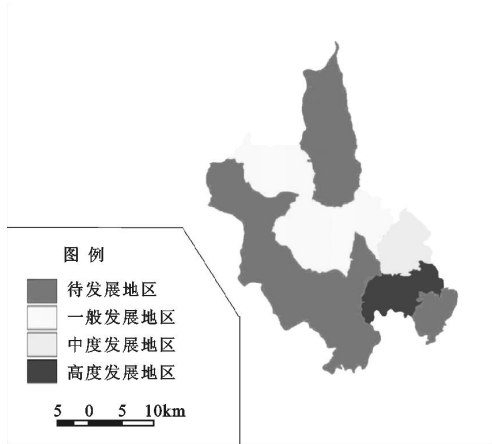


图 2 社会经济综合分区

表 4 泥石流综合危险度分级

自然危险度分级	经济分级			
	1	2	3	4
1	0.35	0.65	1.30	1.95
2	0.70	1.00	1.65	2.30
3	1.05	1.35	2.00	2.65
4	1.40	1.70	2.35	3.00
①	②	③	④	

2.4 减灾

综合危险度区划表明东川区区府所在地铜都镇为最重度危险区,由于铜都镇建造于 5 条泥石流沟的冲积扇上,这些沟虽然做了工程防治,但由于其威胁的是城镇且拦挡坝内泥石流冲积物质基本淤满,应引起泥石流防治监测的高度重视。同时泥石流对线性工程破坏极大,东川 - 巧家公路大多经过最重度泥石流危险区,修建这类工程时应考虑绕避方案,在重要工程位置如桥墩、隧道等位置应避开泥石流直接

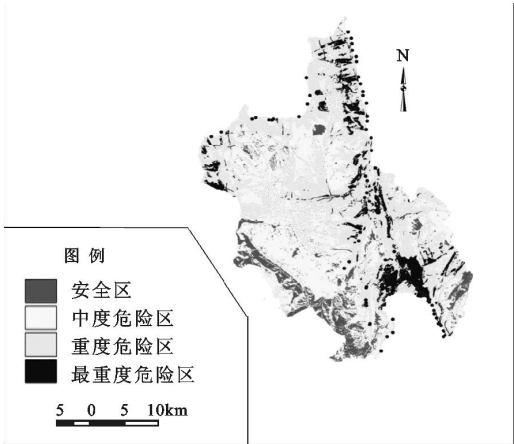


图 3 泥石流危险性综合评价

冲击。同时分区结果表明,有一部分重度危险区域为平时工作相对薄弱区,分别位于播卡乡金沙江流域与舍块乡螳螂川流域,通过遥感卫片判读,有部分居民地位于该重度危险区内,部分危害农田。播卡乡境内面积约 1.1 km²,舍块乡境内为团结、新山村一带,重度危险区面积约 7.0 km²,这部分区域缺乏实际考察数据,交通不便,但应该引起防灾重视。

3 讨论与结论

分区结果表明权重模型更有效接近实际,这与预期的结果相反。理论上,两种模型的数学曲线见图 4,可以看出,对于方根模型 $y = \sqrt{x}$,当值大于 1 时,其求解值可以迅速降低,而当结果值小于 1 时,则可以起到增加结果值的作用,对于泥石流危险度区划来说,两端的奇异值可以迅速降低在合理的范围内;但实际上,一般采用的方根模型实质上是指数模型,在此采取的为

$$R = \sqrt{(A_1 \cdot X_1)(A_2 \cdot X_2)(A_3 \cdot X_3)(A_4 \cdot X_4)(A_5 \cdot X_5)(A_6 \cdot X_6)(A_7 \cdot X_7)(A_8 \cdot X_8)(A_9 \cdot X_9)(A_{10} \cdot X_{10})}$$

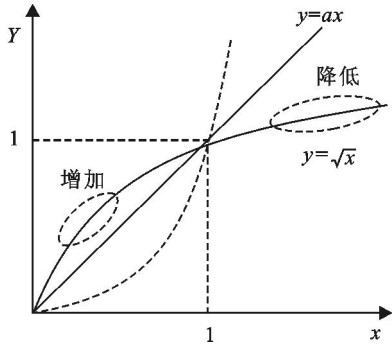


图 4 各模型数值解模型分布曲线

相当于 $R = mx^5$, m 为系数,其实际数值相当于图中的虚曲线,在低值部分表现为降低,而在高值部分又表现为快速增加,因而其效果没有权重模型好。

通过本项工作的开展,表明从泥石流发生学原理出发选择评价因子,利用 GIS 进行危险度区划是可行的。

参考文献:

[1] John C D, Chang J C, Gregory C O. Two Models for Evaluating Landslide Hazards[J]. Computers & Geosciences, 2006, 32(8): 1120 - 1127.

[2] Fausto G, Paola R, Francesca A, et al. Estimating the quality of landslide susceptibility models[J]. Geomorphology, 2006, 81(1): 166 - 184.

[3] 韦方强, 胡凯衡, Lopez J L, 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.

[4] 韦方强, 谢洪, 钟敦伦. 四川省泥石流危险度区划[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 59 - 63.

[5] 唐川, 张军, 周春花, 等. 城市泥石流易损性评价[J]. 灾害学, 2005, 20(2): 11 - 17.

[6] 刘希林, 王全才, 孔纪名, 等. 都(江堰)汶(川)公路泥石流危险性评价及活动趋势[J]. 防灾减灾工程学报, 2004, 24(1): 41 - 46.

[7] 云南省统计局. 2005 年云南省人口统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005.