

# 基于 GIS 技术的地质灾害风险评价

——以北川县开坪乡为例

陈欢<sup>1,2</sup>, 孙金辉<sup>1,2</sup>, 余涛<sup>1,2</sup>, 李金洋<sup>1,2</sup>, 赵重<sup>1,2</sup>

(1.中国地质科学院探矿工艺研究所,四川成都 611734; 2.中国地质调查局地质灾害防治技术中心,四川成都 611734)

**摘要:**地质灾害防治的一条有效途径就是进行地质灾害区划与风险研究,进一步圈定地质灾害高风险区域,可节约防治成本并达到风险评价的效果。北川县开坪乡地质地貌复杂,发育各类地质灾害,本文在地质灾害详细调查的基础上,拟对区内地质灾害进行风险性评价,以单个滑坡的体积、面积、高差、河流距离、岩性、变形迹象等因子作为分析单元,实现大比例尺范围内滑坡危险性区划;制作出区域内的地质灾害危险性图件与易发性图件;根据遥感影像解译,原有资料查询以及实际考察,制作开坪乡研究区域斜坡类型分布图;结合单个滑坡危险性及其易损性,区域危险性及其易损性,综合制作开坪乡区域风险性图件,完成对研究区进行有效地地质灾害风险区划。

**关键词:**地质灾害;GIS技术;风险管理;分析单元;斜坡体稳定性;危险性区划;北川开坪乡

**中图分类号:**P642.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)08-0065-07

**Geological Disaster Risk Assessment Based on GIS Technology: Taking Kaiping Township of Beichuan County as An Example/CHEN Huan<sup>1,2</sup>, SUN Jin-hui<sup>1,2</sup>, SHE Tao<sup>1,2</sup>, LI Jin-yang<sup>1,2</sup>, ZHAO Zhong<sup>1,2</sup>** (1.Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2.Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, CGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

**Abstract:** An effective way for geological disasters prevention and control is to carry out geological disaster zoning and risk research and further delineate high risk areas of geological disasters to save prevention and control costs and achieve the effect of risk assessment. With the complex geology and geomorphology, all kinds of geological disasters developed in Kaiping County of Beichuan. On the basis of detailed geological disaster investigation, this paper intends to make the risk assessment on the geological disaster in this area. Taking the factors of single landslide's volume, area, height difference, distance to the river, lithology and deformation signs as the analysis units, the landslide hazard zoning can be realized in a large-scale range, and the maps of the geological hazards risk and the geological hazards susceptibility are made. Based on the interpretation of remote sensing image, original data query and the field investigation, the distribution map of the land types in the study area around Kaiping Township is made. Combined with the danger and vulnerability of a single landslide and in this region, a comprehensive map of the surrounding regions of Kaiping Township is made. The effective geological disaster risk zoning of the study area is completed.

**Key words:** geological disaster; GIS technology; risk management; analysis unit; slope stability; risk zoning; Kaiping Township of Beichuan

## 0 引言

北川县开坪乡位于绵阳市北川县境中部,主要河流为白草河及小园河,大体沿白草河分布。地处龙门山断裂带北段,以刘家窝—茶园坪—白岩坪—灯草坪断层为主。由于开坪乡经济欠发达,近 5 年大兴修路,人类工程活动较发达,加之区内地形地貌

较复杂,发育滑坡、泥石流、危岩崩塌多种灾害类型。开坪乡地质灾害具有类型多和分布广的特点,经济发展总体水平不高,对地质灾害隐患点进行全面的工程治理是不切实际的。

地质灾害防治的一条有效途径就是进行地质灾害区划与风险评价,进一步圈定地质灾害高风险区

收稿日期:2018-07-01

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“涪江流域 1:5 万环境地质调查”(编号:DD20160251)

作者简介:陈欢,男,汉族,1988 年生,硕士,主要从事地质灾害形成机理及滑坡风险评价技术方面的研究工作,四川省成都市郫都区现代工业港(北区)港华路 139 号,77302709@qq.com。

域<sup>[1]</sup>。本文拟针对开坪乡区域中的滑坡灾害,以单个滑坡的参数因子作为分析单元<sup>[2]</sup>,采用和参照一定数学模型计算每个滑坡的危险度,以实现大比例尺范围内滑坡危险性区划;制作开坪乡周边区域地形因子图件,生成区域内的地质灾害危险性图件与易发性图件;根据遥感影像解译,原有资料查询以及实际考察,制作开坪乡研究区域斜坡类型分布图。结合区域内单个滑坡危险性<sup>[3]</sup>,区域危险性<sup>[4]</sup>及易损性,综合制作开坪乡区域风险性图件,完成对研究区进行有效地地质灾害风险区划<sup>[6]</sup>。

## 1 基本情况

开坪乡位于治城幅北西部,地处龙门山北段,为湔江流域中下游段白草河支流(图1)。地理坐标为:东经 $104^{\circ}15'00''-104^{\circ}18'00''$ ,北纬 $31^{\circ}50'00''-32^{\circ}00'00''$ ,开坪乡距北川县城22 km,面积245 km<sup>2</sup>。区域内发育白草河、小园河。辖12个行政村,全乡总人口3785人。区内经济欠发达,主要以农作物和旅游业作为经济来源。北川县气候属于亚热带季风型,四季分明,气候温和,多年平均气温 $15.6^{\circ}\text{C}$ 。雨量充沛,年均降雨量1459.1 mm,年最大

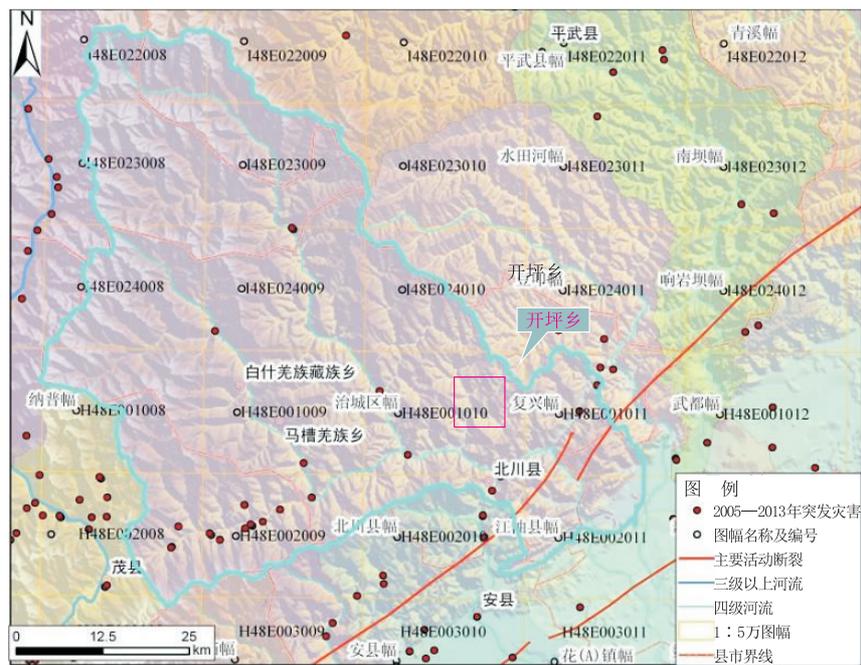


图1 开坪乡地理位置

降雨量2430 mm(1977年),日最大降雨量94 mm,时最大降雨量30 mm。开坪乡地质灾害发育特征及变形机理:开坪乡构造形迹走向以北东—南西向为主(图2),挟于刘家窝—茶园坪—白岩坪—灯草坪断层(F1)与灰包岭石英脉密集带(F2)之间,区域特征表现为密集石英脉分带—强烈劈理密集带,剪切节理(以平行节理为主)(图3)、剪切褶皱(图4),部分地段发育脆性断面,其中,充填于断裂带及其两侧的同构造石英脉体,具有剪切褶皱与旋转变形,发育S—C组构。区域内发育开坪村倒转向斜,褶皱轴线总体呈南西—北东向,向南西延伸至图幅外,向北西突出,褶皱轴面形态呈斜歪状,其中具体构造情况请参照研究区构造纲要图(图2)。该区域岩性均为志留系茂县群,以千枚岩为主,岩性遇水软化,加

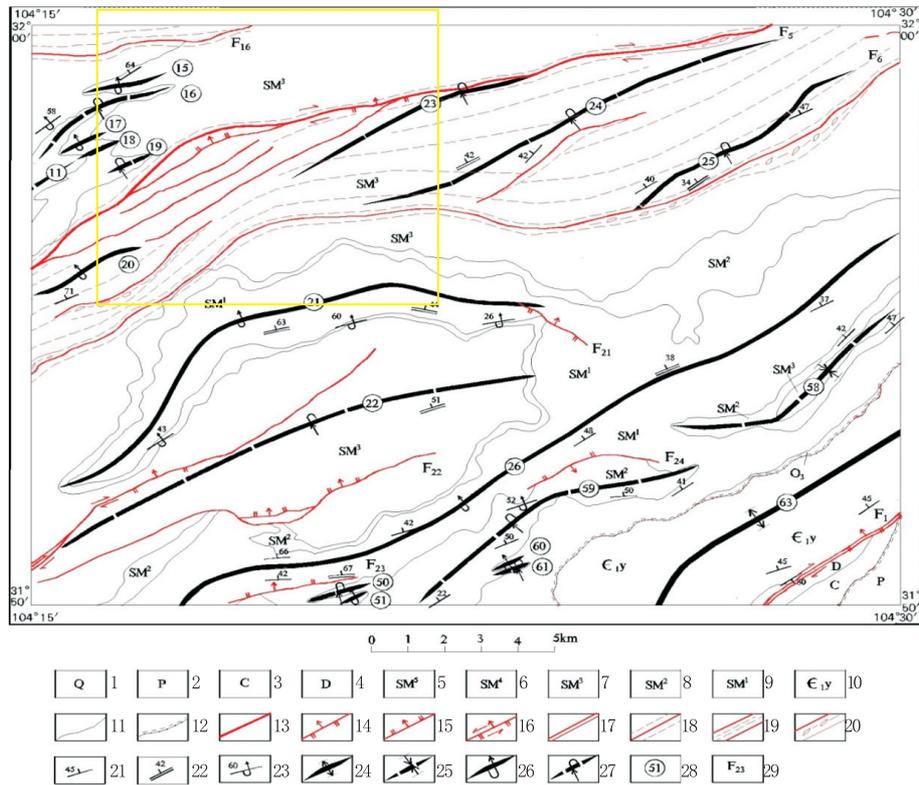
之开坪乡地处任性剪切带范围内,多发育剪切节理、剪切褶皱,在千枚岩片理发育的情况下,岩体相对破碎,稳定性较差。

## 2 地质灾害风险评价原则、思路

### 2.1 风险评价原则

地质灾害风险评价原则:分清主次原则、相对一致性原则、科学性与实用性原则、定性和定量相结合的原则、类型评价与综合评价相结合的原则<sup>[7]</sup>。根据地质灾害风险管制基本原则,风险管制工作中经常会考虑如下几个方面的问题:(1)考虑潜在地质灾害造成损失的大小;(2)考虑收益与损失之间的关系;(3)应考虑灾害造成损失的种种可能性<sup>[8]</sup>。

### 2.2 基本步骤及思路



1—第四系;2—二叠系;3—石炭系;4—泥盆系;5—茂县群五段;6—茂县群四段;7—茂县群三段;8—茂县群二段;9—茂县群一段;10—寒武系油房组;11—整合地质界线;12—平行不整合界线;13—区域性大断裂;14—逆断层;15—正断层;16—逆冲断层;17—活动断层;18—脆性断裂;19—韧性剪切;20—构造透镜体带;21—产状;22—片理产状;23—倒转产状;24—背斜;25—向斜;26—倒转背斜;27 倒转向斜;28—褶皱编号;29—断层编号

图 2 研究区构造纲要图



图 3 剪切节理

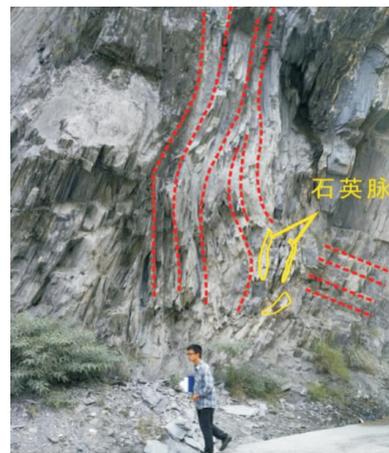


图 4 剪切褶皱

风险评价的最终目标是减灾。在地质灾害风险评价中,旨在对当地区域的调查、分析和评价分析该区域在不同时期地质灾害发生的种类、强度、频率、致灾原因以及灾害的威胁范围大小,为制定科学的区域地质灾害防治战略、规划当地的防治体系

措施,并反馈地质灾害防治对策的绩效,为今后的灾害防治体系作出更好的管理和调整。风险评价步骤和思路如图 5 所示。

### 3 地质灾害多因子评价

#### 3.1 指标选取及各指标评价结果

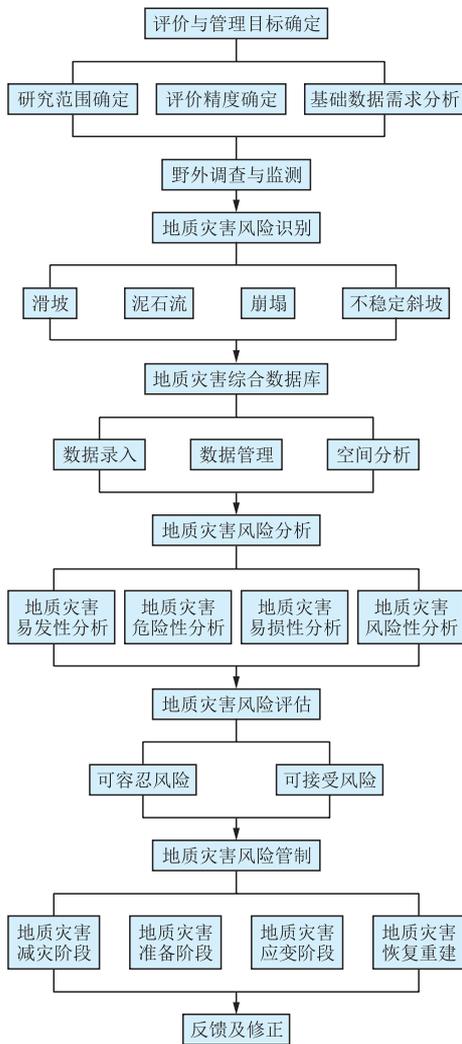


图5 地质灾害风险管理控制思路及步骤

地质灾害危险程度分区的划分方法主要是依据区内地质灾害形成的环境条件、易发区特征、地质灾害危害程度、地质灾害分布密度及结合震后人口区、重要生命线、重要设施,将测区划分为高危险区、中危险区和低危险区(表1)。

表1 地质灾害危险程度分区标准

分类标准	人口密集/重要设施分布	人口较少/人类工程活动微弱	人口稀少、无工程设施
地质环境条件较好	中危险区	低危险区	低危险区
地质环境条件较差	高危险区	中危险区	低危险区

危险性评价是基于影响因素的分析,圈定出可能产生地质灾害的区域及该灾害可能影响的范围,并计算分析出该区地质灾害的危险程度<sup>[9]</sup>。根据前文对地质灾害形成的机理及影响因素的分析,开坪乡的危险性评估指标体系包括地形坡度、相对高差、

工程岩组、河流影响、坡向、坡面曲率等。

下面结合开坪乡相关数据库建立地质灾害危险性评估指标体系的GIS图层数据并针对各个因子不同状态进行赋值。具体如下。

### 3.1.1 坡度

地质灾害的形成要素中,坡度占有十分重要的比例,土体的抗滑能力随着坡度的增大而逐渐减小。随着坡度达到岩土体坡度休止角时,其上的松散土体沿切向的力大于其摩擦力便会失稳。

根据得到的数据,在利用高程值生成坡度图层的基础上进行重分类,在图层用不同的颜色标志不同危险度等级。得出开坪乡坡度影响因子区划图(图6);坡度危险评价表(表2)。

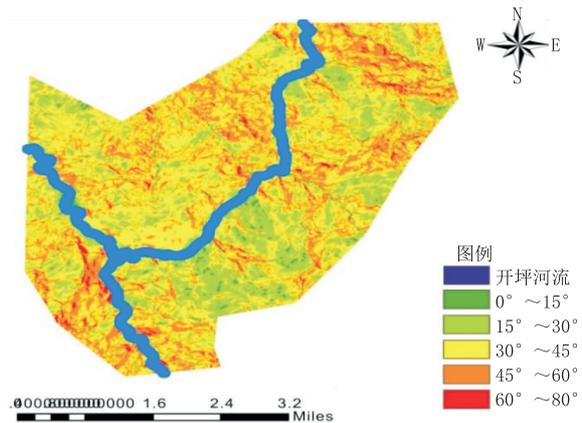


图6 坡度影响因子区划图

表2 坡度危险评价表

坡度/(°)	0~15	15~30	30~45	45~60	>60
危险度	低	较低	较高	中	较低
分级	0	1	3	2	1

### 3.1.2 相对高差

流域高程越大,斜坡的稳定性会随之降低,崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害越发育<sup>[12]</sup>;根据高差危险评价表(表3)可知高差越大,岩土体的势能随位势能增大而逐渐变大,高程可反映出发生灾害的危害程度,潜在滑动面的层数可能随高程值增大而增多,则滑坡发生的几率也会变大。据此对高程值图层重分类得到相应的区划图(图7)。

表3 高差危险评价表

高程/m	河流	0~300	300~600	600~900	>900
危险度	低	低	高	中	低
分级	0	1	3	2	1

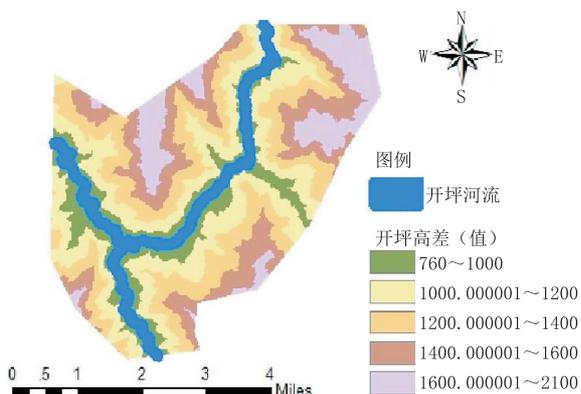


图 7 相对高差影响因子区划图

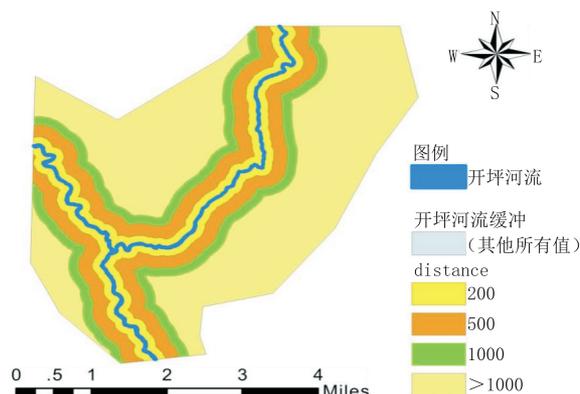


图 8 河流影响因子区划图

### 3.1.3 工程岩组

斜坡土体的特性对斜坡稳定性起着至关重要的作用。工程岩组这个要素需充分考虑土体类型、岩土体结构特性以及岩土体力学性质,详见表 4。

表 4 工程岩组危险评价表

岩体	松散体	较坚硬岩体	较软弱岩体
危险度	高	低	中
分级	3	1	2

开坪乡城镇内第四纪松散覆盖层较薄,主要以志留系茂县群第三、第四、第五组灰绿色绢云千枚岩为主,属于较坚硬岩体,危险度低。

### 3.1.4 河流作用

河流因素对于斜坡的冲刷、浸润作用,是导致斜坡产生滑坡、崩塌的重要原因之一,可见河流危险评价表(表 5)。河流的下切作用可能导致斜坡出现临空面,继而产生陡壁、悬崖,斜坡的应力状态遭到破坏,致使原有平衡被打破,伴随着应力释放,可能导致与原有开挖相平行的卸荷裂隙产生,随着卸荷裂隙的延伸扩大,逐渐形成贯通,最后导致崩塌出现。作为水体的主要汇集区,离河流越近的区域,土壤与岩石中拥有较高含水量的可能性越大,对土体的破坏性也相对更高。因此根据河流隐身进行重分类得到相应主题层分布图;开坪乡河流影响因子区划图(图 8)。

表 5 河流危险评价表

距离/m	河流	0~200	200~500	500~1000	>1000
危险度	无	高	中	低	无
分级	0	3	2	1	0

### 3.1.5 坡向

坡向对于滑坡、崩塌的发生也同样有着关键作用。斜坡坡向的差异,会对坡体上局部的气候、水热比有着不同程度的影响,从而致使斜坡体的自然地理要素的差异,因此产生滑坡分布的规律性差异<sup>[11]</sup>。本文通过数字高程模型(DEM),提取研究示范区的坡向图(图 9)。

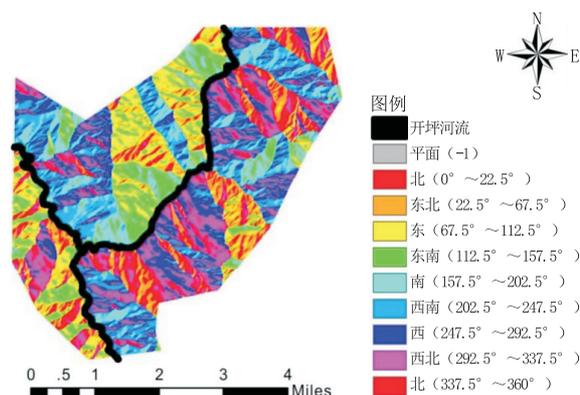


图 9 坡向影响因子区划图

### 3.1.6 坡面曲率

坡面曲率是局部地形曲面在各个截面方向上的形状,反映局部的地形结构,因地形的不同将会影响土壤分布,通过对其进行模拟有着重要的应用价值和意义,详见曲率危险评价表(表 6)。地面曲率在水平和垂直方向的分量称为平面曲率和剖面曲率。

表 6 曲率危险评价表

曲率	0~15	15~30	30~45	45~60	>60
危险度	无	低	中	较高	高
分级	0	1	2	3	4

平面曲率反映该点等高线的弯曲程度。剖面曲率是地面高程相对水平面变化的二阶导数。从某些方面来说,剖面曲率是地面坡度沿最大坡降方向地

面高程变化率的度量,其结果可反映出坡度的陡缓。基于剖面曲率的值,可量化在垂直方向上地表曲面的弯曲变化率,反映地面上地形的变化程度。在地质灾害方面,尤其是滑坡,地形起伏直接影响到滑坡体的形态,这也是反映滑坡活动特征的重要因素之一。基于开坪乡周边区域,高程变化率相对较高,故剖面曲率的影响相对较大。根据实地踏勘及测量,开坪乡曲率介于30~45之间,危险度:中等。

### 3.2 开坪乡地质灾害风险性评价

地质灾害拥有着不确定因素,承灾体对于灾害的抵抗程度高低也不尽相同<sup>[13]</sup>。所以评价指标体系的选取,也会根据承灾体的不同而选取不同因素作为地质灾害易损性评价要素;需要充分分析承灾体的特性,有针对性的选取评价指标。从地质灾害受灾体特性的角度尽可能全面考虑影响受灾体的各种因素,往往将该指标划分为三大类:社会易损性因素、资源易损性因素和物质易损性因素<sup>[14]</sup>。风险分析分为两个部分,即危险性分析和易损性分析。

逻辑回归法可用来确定滑坡各因素的权重值,本文中主要运用 Logistic 回归模型,对因变量和自变量进行回归计算后建模,并以最终事件发生的概率来提供结果。分组数据 Logistic 回归分析是将概率进行 log 函数的变换来取得线性回归模型,等同于广义线性模型<sup>[17]</sup>,用回归公式表示发生和未发生结果的概率分别为:

$$P = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n}} \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n}} \quad (2)$$

式中:e——常数;P——发生滑坡的概率;Q——滑坡稳定的概率; $\beta$ ——影响结果的因素。通过公式可发现结果和式中的各要素呈线性关系。上式的P、Q比值定义为 odds(即发生比):

$$odds = P/Q = e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n} = e^{\beta_0} e^{\beta_1 x_1} \dots e^{\beta_n x_n} \quad (3)$$

取自然对数有:

$$\ln(P/Q) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n \quad (4)$$

得出结果即为回归模型的回归系数。通过公式可以计算出现成功事件的概率P值,即发生概率的大小,该值可用做地质灾害发生概率大小的参考指数。将上述各因子图层利用 Arcgis 软件空间分析功能归一化,导出各因子图层数据矩阵,并保存。利

用统计软件 SPSS 或 MATLAB 等软件或编程对数据矩阵进行逻辑回归分析并得到回归值。逻辑回归值,表示单一评价指标出现改变后,P和Q的比值就是表征地质灾害危险性评价指标在评价过程中的权重值。对开坪乡地质灾害有影响的因素分别进行赋值权重,可以得出初步地质灾害风险性区划图。区内的风险分区程度可以按前文提到的6个因子权重进行叠加进而得出因子权重的配对比较矩阵表(表7)。

表7 因子权重的配对比较矩阵表

因子	坡度	相对高差	工程岩组	河流作用	坡向	坡面曲率
坡度	1	5	1/5	1/2	1/5	4
相对高差	1/5	1	1/3	1/8	1/4	1/3
工程岩组	5	3	1	1/5	3	1
河流作用	2	8	5	1	5	4
坡向	5	4	1/3	1/5	1	3
坡面曲率	1/4	3	1	1/4	1/3	1

通过下式求得地质灾害易发性指数:

$$SI = \sum W_i \times IF_i$$

式中:SI——表征评价单元的地质灾害综合易发性指数; $W_i$ ——表征影响因子权重; $IF_i$ ——表征影响因子归一化值。

得出开坪乡风险性区划结果,将综合危险性指标分为4个等级,非易发区:0~1,低易发区:1~2.4,中易发区:2.4~3.1,高易发区:大于3.1(图10、图11)。

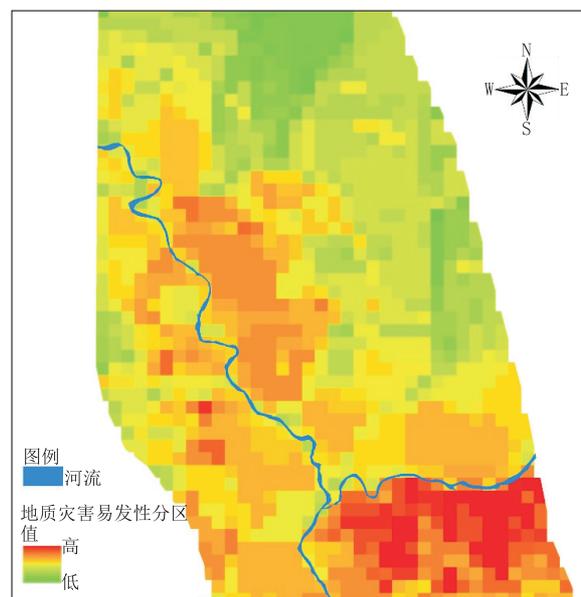


图10 开坪乡地质灾害易发性分区图

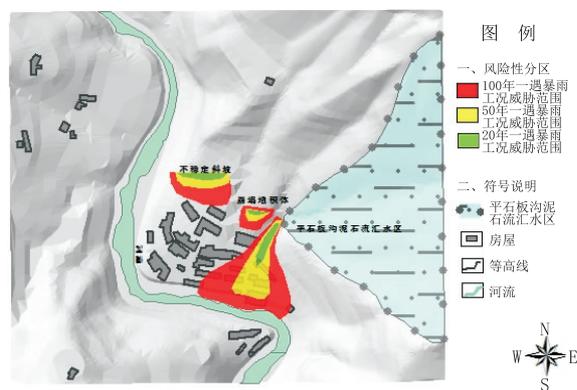


图 11 开坪乡地质灾害风险性区划图

#### 4 结论与分析

开坪乡地质灾害风险分析如下:根据开坪乡地质灾害风险性区划图,将开坪乡有机的划分为:100年一遇暴雨工况威胁范围、50年一遇暴雨工况威胁范围、20年一遇暴雨工况威胁范围。经过踏勘、调查,确认计算结果基本符合现阶段开坪乡真实状态。

100年一遇暴雨工况威胁范围:主要为开坪乡斜坡体边缘、崩塌堆积体边缘及平石板泥石流前缘。所占面积较小,只有泥石流前缘威胁 8 户村民及乡村道路或淤塞白草河。

50年一遇暴雨工况威胁范围:主要为开坪乡斜坡体中部、崩塌堆积体中部及平石板泥石流中部,所占面积小,区内居住少量居民,无高层建筑,建设有部分村级道路。区内大都为耕地。白草河水流流量较小,对该地区地质环境稳定影响很小。

20年一遇暴雨工况威胁范围:主要为开坪乡斜坡体后缘、崩塌堆积体后缘及平石板泥石流后缘,所占面积少,大部分位于开坪乡山体林地位置,离居民集聚地较远,威胁性较小。

开坪乡地质灾害风险性分析:开坪乡区内主要受斜坡体、崩塌堆积体及平石板泥石流威胁影响,经过走访排查开坪乡斜坡体目前未见溜滑等现象,但是评价结果稳定性为欠稳定—基本稳定,后续需要继续群测群防;崩塌堆积体经过治理,目前趋于基本稳定,经监测员反映未发现溜滑参与泥石流物源,后

续需加强巡查监测;平石板泥石流经过治理目前处于较稳定状态,每年雨季可见少量泥石流淤塞排挡槽,后续需要加强监测。

其中存在的一些问题:由于经济、人口等社会经济指标跨越多个部门,使得数据难以收集和获取,为该类指标的易损性评价造成一定困难,从而影响最终定量风险评价的效果。

#### 参考文献:

- [1] 朱良峰,殷坤龙,张梁,等.基于 GIS 技术的地质灾害风险分析系统研究[J].工程地质学报,2002,(4):350—357.
- [2] 朱吉祥,张礼中,周小元,等.不同区域地质灾害评价方法的组合效应分析[J].地质科技情报,2012,31(1):120—125.
- [3] 匡乐红,徐林荣,刘宝琛.地质灾害危险性评价指标规范化方法研究[J].铁道科学与工程学报,2007,(1):39—43.
- [4] 陈奇,李智毅,石怀伦.区域地质灾害危险性评价的思路与基本方法[J].地质力学学报,2004,20(1):71—80.
- [5] 崔凤军.城市水环境承载力及其实证研究[J].自然资源学报,1998,13(1):58—62.
- [6] 陈绍娟.论城镇建设规划的战略环境影响评价[J].环境科学与技术,2001,(2):37—39.
- [7] 陈新光,高伟,袁康,等.西北干旱区生态城镇评价指标体系研究[J].低温建筑技术,2015,37(12):26—28.
- [8] 张祥娟,李新,李秀霞,等.用层次分析法建立京杭大运河苏州高新区段水环境承载力指标体系研究[J].环境保护与循环经济,2011,31(2):42—44,49.
- [9] 马农乐,赵中极.基于层次分析法及其改进对确定权重系数的分析[J].水利科技与经济,2006,(11):732—733,736.
- [10] 李天政,贾子超.层次分析法原理及应用举例[J].内江职业技术学院学报,2008,2(4):52—55.
- [11] 倪晓娇.基于 GIS 的长白山地区地质灾害风险综合评估[J].自然灾害学报,2014,23(1):112—120.
- [12] 高华喜,殷坤龙.基于 GIS 的滑坡灾害风险空间预测[J].自然灾害学报,2011,20(1):31—36.
- [13] 张学霞,薄立群,张树文.基于 RS 和 GIS 的长白山火山灾害风险评估研究[J].自然灾害学报,2003,12(1):47—55.
- [14] 向喜琼,黄润秋.地质灾害风险分析与风险管理[J].地质灾害与环境保护,2000,11(1):38—40.
- [15] 沈芳,黄润秋,苗放,等.地理信息系统与地质环境评价[J].地质灾害与环境保护,2000,11(1):6—10.
- [16] E.Hock,J.w.Bray 著.卢世宗等译.岩石边坡工程[M].北京:冶金工业出版社,1983.
- [17] 杨德宏,范文.基于 ArcGIS 的地质灾害易发性分区评价——以旬阳县为例[J].中国地质灾害与防治学报,2015,26(4):82—86.