

文章编号: 1006-4362(2023)04-0056-09

云南省大关县地质灾害风险性评价及分区研究

和子祺,李波,蔡映坤,刘志明,马云燕

(昆明理工大学国土资源工程学院,昆明 650093)

摘要: 云南省大关县地质灾害类型主要以滑坡、崩塌、泥石流为主。根据云南省最新重点区域地质灾害精细化调查与风险评价工作在大关县域共发现地质灾害点 567 处,比 2015 年 1:50 000 详查工作新增灾害点 203 处。包括滑坡 299 处,崩塌 210 处,泥石流 56 条以及地面塌陷 2 处。本文借助地理信息系统(GIS)空间分析技术,结合最新的地质灾害精细化调查成果以及第三次全国国土调查数据,运用层次分析法及信息量法对云南省大关县的地质灾害进行风险性的评价及分区。研究结果可为云南省大关县地质灾害防治以及地质灾害风险管控提供依据。

关键词: 地质灾害;风险性评价;层次分析法;信息量法;大关县

中图分类号: P694;P56 **文献标识码:** A

STUDY ON GEOLOGICAL HAZARDS RISK ZONING ASSESSMENT OF DAGUAN COUNTY, YUNNAN PROVINCE

HE Zi-qi, LI Bo, CAI Ying-kun, LIU Zhi-ming, MA Yun-yan

(Faculty of Land and Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: The types of geological hazards in Daguang County, Yunnan Province are mainly landslides, collapses, and debris flows. According to the latest detailed survey and risk assessment of Yunnan Province, a total of 567 geological disasters were found in Daguang County, 203 new disaster compared with the 1:50 000 detailed survey in 2015. Including 299 landslides, 210 collapses, 56 debris flows and 2 ground subsidence. With the help of spatial analysis technology of geographic information system (GIS), combined with the latest refined survey results of geological disasters and the data of the third national land survey, using the analytic hierarchy process (AHP) and the information computation method to assess the risk of geological disasters and zone in Daguang County, Yunnan Province. The research results can provide a basis for the prevention and control of geological hazards and the risk management of geological hazards in Daguang County, Yunnan Province.

Key words: geological hazards; risk assessment; analytic hierarchy process; information computation method; Daguang County

大关县作为云南省省级划定的水富-大关-巧家-东川地质灾害危险区、地质活动断裂带、滇东北地震活跃区,生态环境十分脆弱。受区域地形地貌的影

响,人类活动主要集中在深切河谷及山前堆积区,特殊的高原山地地区加之不合理的人类活动及降雨等诱发因素的影响,致使区内地质灾害类型多样且各

类型地质灾害密集发育,是云南省遭受地质灾害最为严重的县市之一^[1-6]。

而有效地预防地质灾害,需要首先完成地质灾害的易发性评价,还需要从区域上进行地质灾害危险性评价,对区域的社会属性进行深入了解,进行研究区的易损性研究。在易发性评价、危险性评价、易损性评价基础上完成地质灾害风险评价,反应研究区地质灾害总体风险水平。

自2015年大关县完成1:5万地质灾害详细调查以来,指导地质灾害防治的区划以及相关建议严重滞后,与现状严重不符,影响当地人民的生命财产安全及经济的发展。因此,亟待进行新一次的地质灾害调查与风险评价工作,在以往已有资料的基础上进一步提高精度,充分利用新理论调查、研判、评价地质灾害风险,为地质灾害防治工作提供依据。本文结合现有的地质灾害数据资料,以ArcGIS为平台,对大关县进行地质灾害风险性评价,编制地质灾害风险区划图,对该区地质灾害防治和地质灾害风险管控提供依据,并以此研究成果为大关县地质灾害防治“十四五”规划提供支撑。

1 研究区概况以及地质灾害情况

大关县位于云南省东北部,昭通地区的腹心地带。县境气温平面差异不大,垂直差异突出,为山区立体气候,全年平均气温15.0℃,最高40.3℃,最低-6.4℃。县境内降水分布不均衡,年平均降水量992.9 mm^[7]。整个县域地貌以峡谷山岳地形地貌为主,山高坡陡,沟谷纵横,地势南北高,中间低,相对高差大。大关县境内除太古界、元古界和古生界、中生界的地层个别缺失外,其余地层均有出露。地层出露岩性主要为浅海相碳酸盐岩,滨海相及海陆交互的砂岩、粉砂岩,岩浆岩主要为二叠系玄武岩。沟谷和斜坡地带广布第四系松散堆积层。大关处于扬子准地台边缘,川滇经向构造带北段。区内以褶皱和断裂构造为主,总体为北东向。境内构造形迹北部和南部主要以南北向或北西向构造为主,中部构造形迹主要为北东向。地层褶皱宽阔,多数以短轴背斜出现,按展布方向可分为南北、北东、北西和东西向构造。县域内新构造运动强烈,近代地震活动强烈,河谷下切,河流深切和侧蚀作用加剧^[8]。根据最新云南省的地质灾害调查工作的开展,区内共发育地质灾害点567处,包括滑坡299处、崩塌210处、泥石流56条及地面塌陷2处,多沿区内各主要河道及其支流谷地区集中发育。其中滑坡以土质滑坡为主,且多为浅层、推移式、小型滑坡;

崩塌以岩质崩塌为主,且多为坠落式、小型崩塌;泥石流以沟谷型、低-中频、发育期、中-小型的泥石流为主,水源类型均为暴雨型,按物质组成多为泥石流型;2处地面塌陷特征不明显,仅局部地表出现开裂等变形迹象。

2 大关县地质灾害风险性评价及分区

地质灾害风险性评价及分区是一项系统的、综合的评价手段,包括了地质灾害易发性评价、地质灾害危险性评价以及承灾体易损性评价的内容,对地质灾害的防治具有重要的理论和实际意义。通过对云南省大关县的野外地质灾害调查和相关资料的收集,建立了该区风险性评价模型,即风险性=危险性×易损性。评价步骤首先对研究区进行了易发性评价,采用栅格单元作为评价单元,由于进行全县域地质灾害风险评价影响因子较多,不同影响因子间相互联系、相互制约,通过对各常用评价方法进行比较,本文采用基于层次分析法-信息量法模型进行;其次,以10 a平均降雨量为诱发因素,再利用信息量法对其进行信息量值计算,结合地质灾害易发性指数对研究区进行了地质灾害危险性评价;第三,以收集到的最新大关县年鉴及第三次全国土地普查数据为基础,基于承灾体易损性各属性特点,选择人口密度、道路密度、耕地密度及GDP密度作为本次地质灾害易损性评价指标对研究区进行地质灾害易损性评价;最后依据完成的危险性评价、易损性评价,利用ARCGIS软件的叠加分析功能,完成大关县的地质灾害风险性区划。

2.1 大关县地质灾害易发性评价及分区

2.1.1 评价方法

(1) 信息量法

主要通过各指标区间已知灾点信息量值的计算,表征各指标区间对发生该类型地质灾害的贡献值,最终进行区域地质灾害易发性的评价。对某种因素特定状态下地质灾害信息量计算公式为:

$$I_{xi \rightarrow A} = \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中, $I_{xi \rightarrow A}$ 为对应因素 x 在 i 状态或区间条件下,地质灾害 A 发生的信息量值; N_i 为对应因素 x 在 i 状态或区间条件下,地质灾害 A 面积或点数; N 为调查区地质灾害 A 总面积或总点数; S_i 为对应因素 x 在 i 状态或区间条件下的分布面积; S 为调查区总面积。

当 $I_{xi \rightarrow A} > 0$ 时,反映了地质灾害 A 在对应因素 x 在 i 状态或区间下发生地质灾害的可能性较

大,或者说该状态或区间有利于地质灾害 A 的发生;当 $I_{xi \rightarrow A} < 0$ 时,则反之说明不利于地质灾害 A 的发生;当 $I_{xi \rightarrow A} = 0$ 时,反映了不提供有关地质灾害 A 发生与否的任何信息^[9]。

每个评价单元地质灾害的易发性是各因素综合影响的结果,各影响因素又存在不同的状态或区间,各因素各状态区间地质灾害发生的总信息量值计算公式为:

$$I = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (2)$$

式中, I 为每个评价单元地质灾害发生的总信息量值; N_i 为对应因素在 i 状态或区间条件下地质灾害的面积或地质灾害的数量; S_i 为对应因素在 i 状态或区间分布的总面积; N 为调查区地质灾害的总面积或总地质灾害数量; S 为调查区总面积。

(2) 层次分析法

层次分析法是一种将复杂的问题转化为有序的阶梯层次结构的多准则决策方法,具有实用性、系统性、简洁性。在对各影响因素与地质灾害及各影响因素之间的相关性进行深入分析的基础上,利用层次分析法能有效地将各影响因素的权重进行数字化^[10]。

(3) 易发性指数

信息量模型未对各评价因子之间的关系及其权重进行分析考虑,本次研究为了提高评价的真实性、客观性,将各次级因子信息量值(I_i)与其对应因子的权重值(ω_i)计算出易发性指数(Y_i)(见式 3),最终通过易发性指数进行地质灾害易发性的分析评价。

$$Y_i = I_i \times \omega_i \quad (3)$$

2.1.2 评价流程

(1) 评价单元的确定

常用的评价单元类型主要包括行政单元、栅格单元、均一条件单元及斜坡单元等。考虑评价精度问题,选择了栅格单元作为本次研究的评价单元。基于前期学者的经验公式^[11], 1:50 000 的调查评价工作栅格单元的大小计算结果为 32.85 m。

$$G_s = 7.49 + 0.0006s - 2.0 \times 10^{-9}s^2 + 2.9 \times 10^{-15}s^3 \quad (4)$$

式中, G_s 为经验网格大小; s 为原始等高线数据精度的分母(50 000)。

利用 ARCGIS 的矢量栅格转化功能以 DEM 数据为基础,进行栅格单元的划分,共划分出 24 319 122 个栅格单元,按栅格单元进行各影响因素数据的提取。

(2) 评价因子的确定

① 因子选取

本次评价基于各孕灾地质条件与各类地质灾害的相关性及其各影响因素之间的相关性的分析,最终选取坡度、高程、断层距离、工程地质岩组、水系距离以及道路距离 6 个影响因素作为滑坡、崩塌的评价因子;沟坡坡度、相对高差、沟壑密度、构造密度、工程地质岩组、道路密度及滑坡崩塌灾点密度 7 个影响因素作为泥石流的的评价因子。

② 次级因子划分

在分析各类型地质灾害的发育与其各因子区间分布特征的基础上,将各评价因子进行次级评价因子划分,滑坡崩塌共划分出 30 个次级因子,泥石流划分出 38 个次级因子。

(3) 评价因子的信息量计算

评价因子信息量的计算,是在统计各类地质灾害在各因子区间内分布的基础上进行的,基于各类地质灾害的性质,滑坡崩塌进行各区间内灾点分布比率统计,而泥石流进行各区间内泥石流流域面积比率的统计。

① 滑坡

各评价因子滑坡总信息量值的大小顺序为:工程地质岩组 > 断层距离 > 水系距离 > 高程 > 坡度 > 道路距离。根据各次级评价因子信息量值的正负判断,滑坡在 $10^\circ \sim 45^\circ$ 坡度区间, < 1 500 m 高程区间, < 500 m、1 500 ~ 2 500 m 断层距离区间,层状较坚硬工程岩组、层状软硬相间工程岩组、层状软弱工程岩组、松散结构软弱土层 4 个工程地质岩组, < 500 m 水系距离区间及 < 200 m 道路距离区间内易发生滑坡。

② 崩塌

各评价因子崩塌总信息量值的大小顺序为:坡度 > 断层距离 > 道路距离 > 水系距离 > 工程地质岩组 > 高程。根据各次级评价因子信息量值的正负判断,崩塌易发区间分别为: > 25° 坡度区间, < 1 500 m 高程区间, < 1 500 m 断层距离区间,层状较坚硬工程岩组、层状软硬相间工程岩组、层状软弱工程岩组 3 个工程地质岩组, < 500 m 水系距离区间及 < 400 m 道路距离区间。

③ 泥石流

各评价因子泥石流总信息量值的大小顺序为:构造密度 > 滑坡崩塌灾点密度 > 道路密度 > 坡度 > 工程地质岩组 > 沟壑密度 > 相对高差。根据各次级评价因子信息量值的正负判断,泥石流易发区间分别为: > 25° 坡度区间, 100 ~ 1 600 m 相对高差区间,

表1 泥石流各次级评价因子易发性指数计算结果统计表

评价因子	次级评价因子	信息量值/ I_i	权重值/ ω_i	易发性指数/ Y_i
坡度/ $^\circ$	$<10^\circ$	-0.458 9	0.046 2	-0.021 2
	$10^\circ\sim 25^\circ$	-0.125 5		-0.005 8
	$25^\circ\sim 45^\circ$	0.135 0		0.006 2
	$>45^\circ$	0.079 6		0.003 7
相对高差/m	<400 m	-0.529 7	0.350 4	-0.185 6
	400~600 m	-2.036 6		-0.713 6
	600~800 m	-0.478 8		-0.167 8
	800~1 000 m	-0.028 9		-0.010 1
	1 000~1 200 m	0.118 7		0.041 6
	1 200~1 400 m	0.577 1		0.202 2
	1 400~1 600 m	0.425 6		0.149 1
	$>1 600$ m	-4.430 8		-1.552 6
沟壑密度 / $\text{km}\cdot\text{km}^{-2}$	<1	-3.713 6	0.237 5	-0.882 0
	1~2	-0.162 0		-0.038 5
	2~3	0.241 2		0.057 3
	>3	-0.633 7		-0.150 5
构造密度 / $\text{km}\cdot\text{km}^{-2}$	<0.2	-0.208 2	0.069 6	-0.014 5
	0.2~0.6	0.151 4		0.010 5
	0.6~1.0	0.083 3		0.005 8
	>1.0	0.941 0		0.065 5
工程地质岩组	坚硬块状碳酸盐岩工程岩组	-0.152 9	0.159 0	-0.024 3
	坚硬块状玄武岩岩组	-0.237 1		-0.037 7
	层状较坚硬工程岩组	0.053 7		0.008 5
	层状软硬相间工程岩组	0.576 3		0.091 6
	层状软弱工程岩组	-0.014 0		-0.002 2
	松散结构软弱土层	-0.759 0		-0.120 7
道路密度 / $\text{km}\cdot\text{km}^{-2}$	<1	-0.042 0	0.031 8	-0.001 3
	1~3	0.106 9		0.003 4
	3~5	0.019 3		0.000 6
	>5	-0.330 6		-0.010 5
滑坡崩塌灾点密度 / $\text{个}\cdot\text{km}^{-2}$	<0.5	0.020 1	0.105 6	0.002 1
	0.5~1.0	-0.102 3		-0.010 8
	1.0~1.5	-0.114 8		-0.012 1
	1.5~2.0	-0.113 0		-0.011 9
	2.0~2.5	0.302 3		0.031 9
	2.5~3.0	0.223 1		0.023 6
	3.0~3.5	0.723 9		0.076 4
	>3.5	-0.356 7		-0.037 7

2~3 km/km² 沟壑密度区间, >0.2 km/km² 构造密度区间, 层状较坚硬工程岩组、层状软硬相间工程岩组两个工程地质岩组, 1~5 km/km² 道路密度区间及 <0.5 、2~3.5 个/km² 滑坡崩塌灾点密度区间。

(4) 评价因子权重计算

① 构建层次模型

由于本次研究不考虑次级评价因子的权重, 只计算各评价因子的权重, 因此只构建由目标图层和指标图层组成的层次模型, 基于滑坡崩塌和泥石流所选取的评价因子不同, 分别建立滑坡崩塌及泥石流两个层次模型。

② 构造判断矩阵

在孕灾地质条件分析的基础上, 结合各评价因子总信息量值的大小及专家打分, 用 Saaty1-9 标度方法进行判断矩阵的构造, 由于各评价因子分别与滑坡、崩塌、泥石流的相关性有所不同, 分别进行判断矩阵的构造。

③ 权重值计算

采用和积法对以上各判断矩阵根据公式进行特征向量的计算, 也就是各评价因子的权重值。

④ 一致性检验

根据公式计算各判断矩阵的 λ_{\max} 、CI 及 CR 构建的各判断矩阵 CR 均 <0.1 , 因此构建的各判断矩阵均具有满意的一致性。

⑤ 易发性指数计算

表2 滑坡崩塌各次级评价因子易发性指数计算结果统计表

评价因子	次级评价因子	滑坡			崩塌			
		信息量值 $/I_i$	权重值 $/\omega_i$	易发性指数 $/Y_i$	信息量值 $/I_i$	权重值 $/\omega_i$	易发性指数 $/Y_i$	
坡度/ $^{\circ}$	<10	-0.808 9	0.066 2	-0.053 6	0.000 0	0.000 0		
	10~25	0.045 2		0.003 0			-1.807 2	-0.685 6
	25~45	0.134 3		0.008 9			0.221 7	0.084 1
	>45	-1.642 6		-0.108 8			1.846 2	0.700 4
高程/m	<1 000	0.1005 2	0.103 4	0.104 0	1.167 5	0.050 7		
	1 000~1 500	0.711 8		0.073 6		0.571 2	0.024 8	
	1 500~2 000	-0.958 9		-0.099 2		-0.713 2	-0.031 0	
	>2 000	-2.694 4		-0.278 6		-3.725 1	-0.161 8	
断层距离/m	<500	0.444 4	0.251 8	0.111 9	0.230 9	0.057 4		
	500~1 500	-0.122 4		-0.030 8		0.215 2	0.053 5	
	1 500~2 500	0.205 0		0.051 6		-0.005 1	0.248 83	-0.001 3
	2 500~3 500	-0.046 2		-0.011 6		-0.386 4	-0.096 1	
	>3 500	-0.344 1		-0.086 6		-0.182 7	-0.045 5	
工程地质岩组	坚硬块状碳酸盐岩工程岩组	-0.598 4	0.385 2	-0.230 5	-0.013 3	-0.000 9		
	坚硬块状玄武岩岩组	-0.937 8		-0.361 3		-0.913 0	-0.059 8	
	层状较坚硬工程岩组	0.185 4		0.071 4		0.352 1	0.023 1	
	层状软硬相间工程岩组	0.663 8		0.255 7		0.291 2	0.065 49	0.019 1
	层状软弱工程岩组	0.335 0		0.129 1		0.015 4	0.001 0	
	松散结构软弱土层	1.281 2		0.493 5		-1.501 0	-0.098 3	
水系距离/m	<250	0.550 0	0.149 3	0.082 1	0.488 5	0.050 0		
	250~500	0.436 7		0.065 2		0.378 8	0.038 8	
	500~750	-0.262 4		-0.039 2		-0.101 5	0.102 44	-0.010 4
	750~1 000	-0.567 2		-0.084 7		-0.105 1	-0.010 8	
>1 000	-0.775 4	-0.115 8	-1.114 5	-0.114 2				
道路距离/m	<100	0.829 4	0.044 0	0.036 5	0.278 2	0.044 6		
	100~200	0.190 3		0.008 4		0.423 6	0.068 0	
	200~300	-0.354 7		-0.015 6		0.035 0	0.160 43	0.005 6
	300~400	-0.542 6		-0.023 9		0.344 1	0.055 2	
	400~500	-0.892 4		-0.039 3		-0.097 2	-0.015 6	
	>500	-1.668 6		-0.073 5		-1.313 2	-0.210 7	

利用公式进行各灾害类型各次级评价因子易发性指数计算,计算结果见表1、表2。

2.1.3 易发性评价结果

将滑坡、崩塌及泥石流易发性指数按等级重分类后从低至高依次赋值为1、2、3、4,再进行叠加,形

成县域地质灾害易发性指数分布图,再将调查区划分为极高、高、中、低4个易发性等级(图1)。区内地质灾害易发性等级划分及其地质灾害分布情况见表3。

表3 地质灾害易发性分级统计表

等级	易发性指数	面积比例/%	分布区域
极高易发	9~11	1.64	地貌上均分布于河谷地貌内,主要沿大关河、洛泽河、洒渔河谷坡区零星分布,其中翠华镇、悦乐镇、天星镇、吉利镇分布相对较多
高易发	7~9	24.61	地貌上均分布于河谷地貌内,沿各主河道及支流谷坡区呈条带状、树枝状分布。各乡镇分布不均匀,以翠华镇、悦乐镇及天星镇居多,吉利镇、高桥镇、木杆镇次之,玉碗镇、寿山镇及上高桥乡分布较少
中易发	5~7	48.48	各乡镇内均有分布,主要分布于河谷地貌上部及河间山地地貌内,与高易发区相间呈树枝状、网带状分布
低易发	3~5	25.28	地貌上主要分布于台地山地地貌及玄武岩山地地貌内,多呈不规则片状分布。各乡镇主要集中在分布于上高桥乡

2.2 大关县地质灾害危险性评价及分区

地质灾害危险性是指在某种诱发条件下,一定范围内在某一时间段发生地质灾害可能性的大小。地质灾害危险性评价除了要解决地质灾害会在什么

地方发生、以何种方式发生、发生的类型及其破坏方式等,还要了解发生的条件以及概率大小等问题。

地质灾害危险性的评价,就是利用地质学原理、数学方法等相结合,充分考虑地质灾害系统的各种

特征,对系统内部各影响因素及其相互关系进行综合的、动态地分析,建立区域地质灾害发展模式,进

出各降雨区间的信息量值及降雨强度指数,再叠加地质灾害易发性指数得到地质灾害危险性指数。

2.2.2 危险性评价

将地质灾害易发性指数按极高、高、中、低 4 个等级依次赋值为 4、3、2、1,再对应乘以易发性指数权重值 0.7 对易发性指数栅格进行重新赋值,最终与降雨量强度指数进行叠加得到调查区的地质灾害危险性指数图。利用 ARCGIS 自然间断点分级法将危险性指数划分为极高、高、中、低 4 个危险等级区间,如图 2 所示。区内地质灾害危险性等级划分及其地质灾害分布情况见表 4。

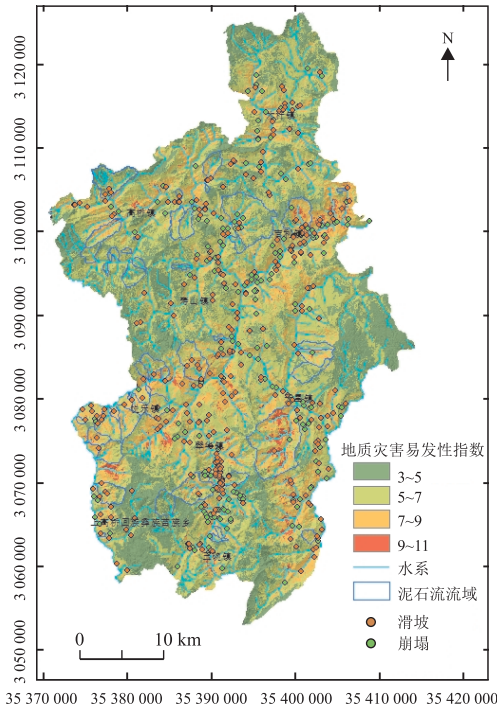


图 1 地质灾害易发性指数分布图

而分析确定区域内现今或是将来一段时间内、特定条件下,地质灾害发生的可能性。

2.2.1 评价指标体系

本次研究在地质灾害易发性评价基础上,选择 10 a 平均降雨量为诱发因素进行地质灾害危险性分析评价。以国家地球系统科学数据中心官方网站下载的 2011~2020 年逐月降雨数据为基础,通过提取与叠加分析,得出调查区内 10 a 平均降雨栅格数据。结合滑坡崩塌点在降雨区间的统计分析,计算

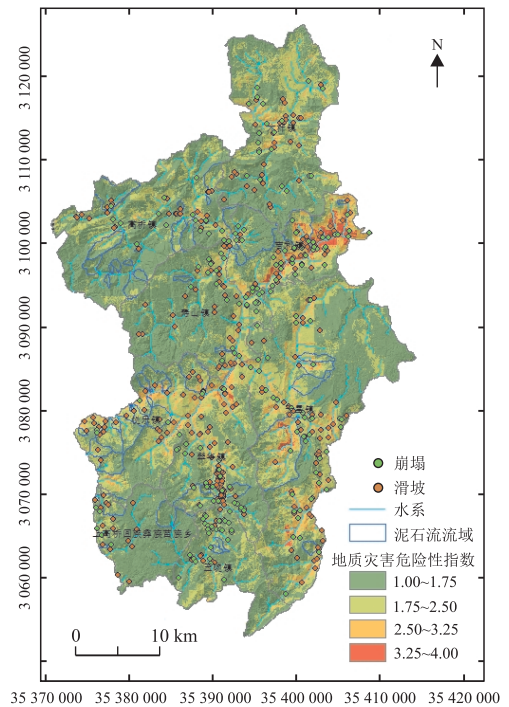


图 2 地质灾害危险性指数分布图

表 4 地质灾害危险性分级统计表

等级	危险性指数	面积比例/%	分布情况
极高危险	3.25~4.00	1.29	主要集中分布于大关河近东北向河谷区吉利镇范围内,其余以天星镇洒渔河南侧支流流域分布较多,木杆、高桥、悦乐及翠华镇辖区内有零星分布
高危险	2.50~3.25	8.99	主要分布于区内各河流及其主要支流河谷区,包括大关河翠华镇至吉利镇河段河谷区、洛泽河及其主要支流河谷区、高桥河下游北西-南东段河谷区、洒渔河近东西向河段河谷区、木杆河河谷区;各乡镇中于吉利镇、天星镇及翠华镇分布较多
中危险	1.75~2.50	30.92	主要分布于各河流域河谷区上部及其河间山地,各乡镇内均有分布,其中高桥镇、寿山镇及上高桥乡分布较少,多呈网带状、不规则片状分布
低危险	1.00~1.75	58.80	主要分布于上高桥河支流流域中上部及玄武岩山地地区,各乡镇均有分布,于寿山镇、上高桥乡内分布居多,木杆镇、高桥镇、天星镇、玉碗镇次之,其他乡镇分布范围相对较少,主要呈不规则片状分布

2.3 大关县地质灾害易损性评价及分区

地质灾害易损性的评价主体是承灾体,而承灾体易损性是一个包括物质易损性、环境易损性、经济易损性及社会易损性等多重属性的集合体。要客观、合理地进行地质灾害易损性评价,就要选择合理

的指标,真实客观地反映调查区承灾体的基本特征,而且要考虑信息的可提取性。

以收集到的最新大关县年鉴及第三次全国土地普查数据为基础,基于承灾体易损性各属性特点,选择人口密度、道路密度、耕地密度及GDP密度作为

表5 地质灾害易损性分级统计表

等级	易损性指数	面积/km ²	比例/%	分布情况
低易损	1~1.7	1 196.18	69.49	集中分布于翠华镇境内,以县城区为主,悦乐镇及天星镇局部有分布
中易损	1.7~2.4	419.81	24.39	主要分布于大关河谷翠华镇辖区、洒渔河近东西向河谷区、洛泽河河谷区,其他流域内有零星分布。各乡镇内于天星镇、悦乐镇及翠华镇3个乡镇内分布较多,其余乡镇分布较少
高易损	2.4~3.1	91.40	5.31	主要分布在大关河、洒渔河、洛泽河流域谷坡区,木杆河及高桥河流域分布较少。各乡镇以天星镇、悦乐镇、翠华镇及上高桥乡分布居多,其余各乡镇分布较少
极高易损	3.1~3.8	13.86	0.81	主要分布在各河间山地、台地上部、顶部呈不规则带状、片状分布,主要为人类活动相对稀少的地带。各乡镇中木杆镇、高桥镇及寿山镇分布较多,其余乡镇分布相对较少

本次地质灾害易损性评价指标。根据各易损性评价指标的易损性指数进行赋值,再进行叠加得到最终的地质灾害易损性指数分布图。将易损性指数分为极高、高、中、低4个等级区间,如图3所示。区内地质灾害易损性等级划分及其分布情况见表5。

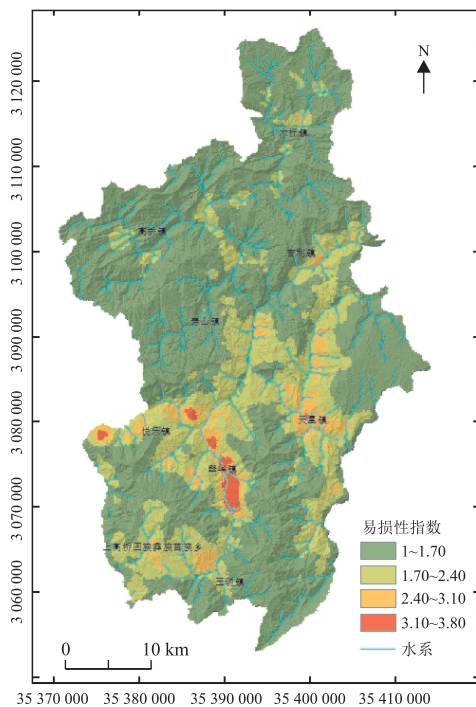


图3 地质灾害易损性指数分布图

2.4 大关县地质灾害风险性评价及分区

地质灾害风险性评价是对地质灾害的发生及其造成人员、经济等损失可能性的预评价,是在充分调查分析地质灾害各孕灾地质条件及其各诱发因素的基础上,结合范围内人口、经济等可能造成损失的大小、程度及其抗灾强度等的分析评价,最终进行的地质灾害综合性评价。

通过地质灾害风险性指数=地质灾害危险性指数×易损性指数的计算,得到县域地质灾害风险性指数分布图(图4)。根据风险性指数大小,利用自然间断点法将调查区划分为极高、高、中、低4个风险等级(图5)。

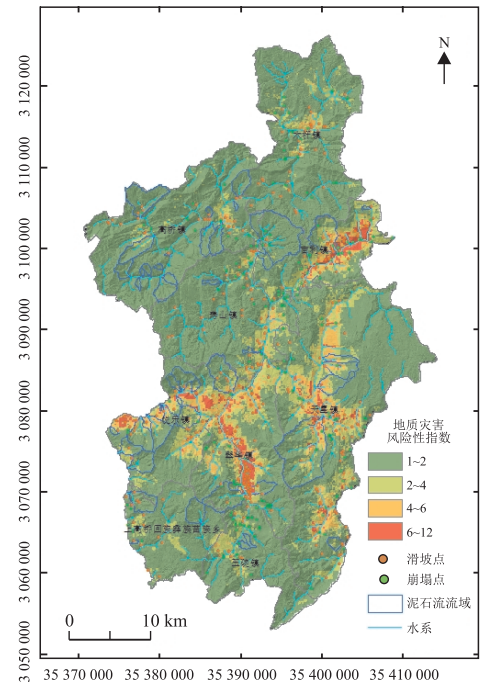


图4 地质灾害风险性指数分布图

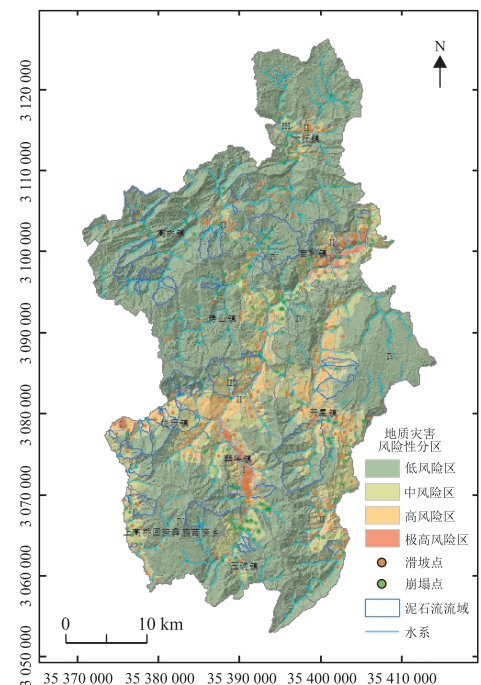


图5 地质灾害风险性分区图

表 6 地质灾害风险性分区统计表

风险等级	风险指数	风险分区	面积/km ²	比例/%
极高风险区	1~2	吉利极高风险区 I 1	11.34	0.66
		悦乐极高风险区 I 2	1.36	0.08
		翠华极高风险区 I 3	10.18	0.59
高风险区	2~4	木杆高风险区 II 1	2.97	0.17
		高桥高风险区 II 2	2.02	0.12
		吉利高风险区 II 3	16.58	0.96
		大关县中部高风险区 II 4	139.3	8.09
		天星高风险区 II 5	11.62	0.68
中风险区	4~6	木杆中风险区 III 1	16.14	0.94
		大关县中部中风险区 III 2	319.5	18.56
低风险区	6~12	大关县西北部低风险区 IV 1	657.46	38.20
		大关县中部低风险区 IV 2	53.74	3.12
		大关县东部低风险区 IV 3	111.66	6.49
		大关县南部低风险区 IV 4	367.38	21.34

根据大关县地质灾害风险性分区图(参见图 5)综合分析野外实际调查情况包括灾点分布及其危险性、风险性等进行判断,结合孕灾地质条件的分析,对调查区进行地质灾害风险区的圈定,最终划分出 3 个极高风险区、5 个高风险区、2 个中风险区及 4 个低风险区,见表 6。可知极高风险区占县域面积的 1.33%,高风险区占县域面积的 10.02%,中风险区占县域面积的 19.5%,低风险区占县域面积的 69.15%。

根据风险性分区图以及野外实地调查情况,将这 4 个风险性等级区域划分为 3 级 11 个亚区,包括 5 个重点防治区、2 个次重点防治区和 4 个一般防治区。其中风险性极高或高定为重点防治区,风险性中定为次重点防治区,风险性低定位一般防治区。重点防治区包括①木杆重点防治区,分布于木杆向斜山的地貌区木杆河右岸斜坡下部,呈不规则片状分布。②高桥重点防治区,分布于高桥河背斜山地地貌区新开河汇入高桥河地带,呈片状分布。③吉利重点防治区,分布于大关河北东向断褶河谷地貌区中部,呈不规则环带状分布。④大关县中部重点防治区,分布于大关河、洒渔河、洛泽河及其主要支流谷坡区中下部,呈不规则带状、环带状分布。⑤天星重点防治区,分布于洛泽河断褶山地地貌区洛泽河支流陈家沟中下游流域,呈不规则片状分布。次重点防治区包括①木杆次重点防治区,分布于木杆向斜山地地貌区内木杆河近东西段及主要支流下游谷坡区,呈不规则片状分布。②大关县中部次重点防治区,分布于大关河、洒渔河、洛泽河、高桥河下游及其主要支流谷坡区中上部,呈不规则带状、环带状分布。一般防治区包括①大关县北西部一般防治区,分布于调查区北西部,主要分布于木杆、高桥、寿

山及吉利西部、悦乐北部,呈片状分布。②大关县中部一般防治区,主要分布于吉利、寿山、天星 3 个乡镇交界地带,呈不规则片状分布。③大关县东部一般防治区,主要分布于天星镇罗汉坝景区范围内,呈不规则片状分布。④大关县南部一般防治区,主要分布于上高桥、悦乐中南部、翠华西南部、玉碗南部及天星和翠华交界地带,呈不规则片状分布。

3 结论

根据地质灾害风险性评价体系,分别开展了研究区地质灾害易发性评价、危险性评价和易损性评价。根据研究区特征,因地制宜,对于滑坡和崩塌选取了 6 个评价因子,泥石流选取了 7 个评价因子作为地质灾害易发性评价指标,再选取 10 a 平均降雨量作为地质灾害危险性评价指标,最后选择了人口密度、道路密度、耕地密度及 GDP 密度作为易损性评价指标。

采用信息量法模型和层次分析法进行地质灾害危险性评价其考虑了各因子的权重也考虑了各评级因子内部各等级状态的信息量值,使得对地质灾害风险性评价更加准确、科学。

使用 ArcGIS 强大的数据处理、空间分析、统计功能完成了研究区地质灾害易发性、危险性、易损性、风险性评价和区划,评价结果符合大关县地质灾害现状,具有较高的准确性,为大关县地质灾害防治以及地质灾害风险管控提供依据。

根据大关县地质灾害风险性区划,重点防治区建议防治措施以工程措施、群测群防及普适型监测为主,辅以少量搬迁避让和生物工程,在未防治前加强监测预警。次重点防治区建议防治措施以群测群

防及普适型监测为主,工程措施、搬迁避让为辅,在工程治理和搬迁避让完工前应加强监测。一般防治区建议防治措施以加强地质灾害防治培训宣传,对管理人员提供防治专业知识培训,对群众提供不定期的基本常识的普及宣传教育以及定期组织相关人员对地质灾害隐患点进行动态巡查、排查、核查。

参考文献

- [1] 王磊,常鸣,邢月龙. 基于信息量法模型与 GIS 的滑坡地质灾害风险性评价[J]. 地质灾害与环境保护,2021,32(2):14-20.
- [2] 唐亚明,张茂省,李政国,等. 国内外地质灾害管理对比及评述[J]. 西北地质,2015,48(2):238-246.
- [3] 张梁,郝秀英. 地质灾害经济学导论[J]. 地质灾害与环境保护,1995,6(2):1-11.
- [4] 王宇. 云南省崩塌滑坡泥石流灾害及防治[J]. 地质灾害与环境保护,1998,9(4):39-42+48.
- [5] 黄润秋. 论中国西南地区水电开发工程地质问题及其研究对策[J]. 地质灾害与环境保护,2002,13(1):1-5.
- [6] 孙黎丽,李波,刘江波. 云南省大关县泥石流形成条件及防御对策研究[J]. 资源环境与工程,2007,21(4):416-419.
- [7] 刘涨伶,郭光辉,曾广文. 云南省大关县滑坡灾害特征分析[J]. 地质灾害与环境保护,2012,23(3):13-17.
- [8] 唐春,罗吉祥,汪梅. 大关县滑坡灾害发育特征及成因分析[J]. 中国水土保持,2009,(7):35-36.
- [9] 阮沈勇,黄润秋. 基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工学院学报,2001,28(1):89-92.
- [10] 殷坤龙,柳源. 滑坡灾害区划系统研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,2000,11(4):28-32.
- [11] 汤国安,刘学军,闫国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法[M]. 科学出版社,2006.

作者简介: 和子祺(1998—),男,硕士研究生,从事灾害地质、环境地质等方面的研究。E-mail:heziqu808@sina.com

通讯作者: 李波(1964—),男,博士,教授,研究方向:矿产地质学。E-mail:libo1964@sina.com