

六盘水市地质灾害易发性评价

黄 稳 张 坤

贵州省地矿局一一三地质大队, 贵州 六盘水 553000

[摘要]贵州省六盘水市地处地质灾害高易发区,滑坡、崩塌及地面塌陷等灾害频发。本研究基于信息量模型与层次分析法(AHP),结合 GIS 技术,选取地层岩性、坡度、坡向、高程、距地质构造距离、距水系距离及距公路距离等 7 项关键评价因子,构建地质灾害易发性评价体系。通过计算各因子权重(地层岩性权重 0.30、坡度 0.25)及综合信息量值,采用自然断点法将研究区划分为高、中、低、非易发 4 个等级。结果显示:高易发区面积 2309.98 km²(占 23.3%),主要分布于碎屑岩分布区、陡坡带及构造活跃区;中易发区 4147.1 km²(41.8%)受人类工程活动影响显著;低易发区(29.8%)与非易发区(5.1%)多集中于平缓地形与稳定岩层区。研究成果可为六盘水市防灾规划、土地利用优化及监测网络建设提供科学依据。

[关键词]地质灾害;孕灾条件;易发性评价;信息量法;六盘水市

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16629

中图分类号: P694

文献标识码: A

Evaluation of Geological Hazard Vulnerability in Liupanshui City

HUANG Wen, ZHANG Kun

Guizhou Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources Geology 113 Brigade, Liupanshui, Guizhou, 553000, China

Abstract: Liupanshui City in Guizhou Province is located in a high-prone area for geological disasters, with frequent occurrences of landslides, collapses, and ground subsidence. This study integrates the information value model and analytic hierarchy process (AHP) with GIS technology to establish a geohazard susceptibility evaluation system. Seven key factors were selected: lithology, slope gradient, aspect, elevation, distance to geological structures, proximity to water systems, and proximity to roads. By calculating factor weights (e.g., lithology weight = 0.30, slope gradient = 0.25) and comprehensive information values, the study area was classified into four susceptibility zones (high, moderate, low, and non-susceptibility) using the natural break method. The results indicate that high-susceptibility zones cover 2309.98 km² (23.3%), primarily distributed in clastic rock areas, steep slopes, and tectonically active regions. Moderate-susceptibility zones span 4147.1 km² (41.8%), significantly influenced by human engineering activities. Low-susceptibility (29.8%) and non-susceptibility zones (5.1%) are concentrated in flat terrains and stable bedrock regions. These findings provide a scientific basis for disaster prevention planning, land-use optimization, and monitoring network construction in Liupanshui City.

Keywords: geologic hazards; conditions of predisposition; susceptibility assessment; informative method; Liupanshui City

引言

地质灾害是威胁人类生命财产安全的重大自然灾害之一,其防治工作对于保障社会经济可持续发展具有重要意义^[1]。贵州省六盘水市作为地质灾害高易发区,长期面临山体滑坡、崩塌、地面沉降等多种地质灾害的威胁^[2,3]。为有效开展防灾减灾工作,深入分析和把握该地区地质灾害的特征及规律显得尤为重要。

近年来,地质灾害防治及相关技术研究取得了显著进展。陈龙等研究了新铺滑坡特征及成因机制^[4];该研究通过优化 InSAR 技术和多源 SAR 数据分析,克服了复杂山地环境下的监测困难,实现了云南省典型山区滑坡等地质灾害的高精度识别和监测,为地区防灾减灾提供了重要技术支持^[5]。张号等通过在现场精细化调查基础上,结合 GIS 分析技术,对增城区地质灾害情况进行易发性分区评价,得出地质灾害发育概率分布图^[6]。曹洪洋等在基于 GIS 软件的基础上,采用分形理论和信息量法对区域滑坡进行

易发性评价^[7]。这些研究为地质灾害防治提供了重要的理论基础和技术支撑。然而,学者针对六盘水市地质灾害特征的系统性研究仍显不足。

本研究的主要通过信息量法进行计算得到六盘水市地质灾害易发性分区图,旨在为六盘水市地质灾害防治和用地规划提供科学依据,同时为构建更有效的风险监测网络提供新思路。研究成果将为六盘水市开展地质灾害防治和城市区域空间规划供重要的地质灾害风险信息 and 决策依据,从而保障区域社会经济可持续发展。

1 区域易发性评价

1.1 区域地质灾害易发性评价单元划分

本研究区域地质灾害风险评价以 DEM 数据为底图,调查区现状地质灾害发育类型以滑坡和崩塌为主,发育的泥石流已进行工程治理,本次易发性不单独进行评价。一般区地质灾害易发性评价单元以 30m×30mDEM 为底图,重点区以 10m×10mDEM 为底图及斜坡单元为主。基于

地质环境区域上存在差异性 & 复杂多变性的原因,因此需将整个调查区域划分若干个不同的评价单元,以区别不同单元的特性。即做到区内相似,不同评价单元之间进行对比。

随着计算机技术的发展,基于 GIS 技术的地质环境评价也日益成熟,李益敏等采用 GIS 对西南高山峡谷区滑坡风险性评价^[8],熊俊楠等在基于 GIS 的基础上采用信息量模型对溪洛渡库区滑坡风险性评价^[9],同时新的评价单位划分方法也逐渐发展,比如基于栅格数据的栅格单元,基于矢量数据的像元单元等,其单元划分更小,精度更高,相应的评价结果也更精确。本次研究采用栅格及斜坡单元进行易发性评价。

1.2 评价因子选取

以六盘水地质环境的实际情况为基础,综合分析区域孕灾地质环境条件,并对区域内各地质灾害现状进行调查,最终进行资料整理,归纳分析出区域内地质灾害的分布特征、孕灾环境以及发育特征。根据评价的目的和原则,选取对调查区地质灾害影响较大的危险因子,如地层岩性、斜坡坡度、地质构造、地表水体、高程、公路、斜坡方向等。各评价因子及其选取依据如下:

(a) 地层岩性

根据调查,不同的地层岩性地质灾害的发育程度各有不同。即不同的岩性发育于不同的地质时代,不同的地质时代有不同的成因及地质变化,造就了岩层本身的矿物组份、结构构造和物理特征等存在很大差异,直观的表现即不同地层岩性岩石的抗压强度、抗剪强度、破碎程度都不相同。地层岩性是地质灾害发育的重要内在因素和基础。从调查区的不同地层岩性可知,碎屑岩抗风化能力较弱,风化层普遍较厚,是孕育滑坡、不稳定斜坡的重要地层,同时也是泥石流物源区重要的组成;碳酸岩较为坚硬,但易碎,节理裂隙发育,易产生溶蚀,砂泥岩互层地带,由于风化差异,易形成凹岩腔,因此,该岩性组合地段易形成崩塌。

(b) 斜坡坡度

地形坡度在很大程度上决定了地表水排泄、坡面堆积物应力分布、临空条件以及人类工程活动等这些因素综合影响和控制斜坡稳定性。此外,斜坡坡度越高,土层厚度相对薄、有利于地下水冲刷及应力释放,从几何特征上决定了地质灾害的空间分布。斜坡坡度作为地质灾害发育一大控制性因素,和能提供良好的临空面,改变地质灾害体内部应力分布,影响面地表水、地下水的补、径、排泄等密切相关。

(c) 地质构造

地质构造影响地质灾害的发育主要表现在两个方面,一是大地构造制总体控制区域动力条件,而地质构造易形成褶皱、断裂、断层等相对软弱结构面,因此不同构造单元对滑坡、崩塌等地质灾害的分布特征、规模和滑动方向、

崩落条件存在一定影响。二是构造体系交接复合部、褶皱扭转轴部及其旋扭位置、向斜翘起端以及新构造活动相对强烈区是发生大型地质灾害的构造部位。地质灾害的发育受构造影响主要表现在构造带附近内的岩土体结往往破碎,岩体结构差,坡面岩体的完整性程度,地下水沿破碎带、导水裂隙面等进行下渗,形成地下水通道,导致对斜坡破坏。因此,根据构造的延伸性、规模和类型等地质特征分析其影响范围,采用距构造的距离来分析其对区域地质灾害的影响。

(d) 地表水体

水库、河流、水电站的作用主要表现在对两岸坡体渗透与地表冲刷,此外,季节性冲沟在物源充足的情况下也会发育泥石流,地表水对两岸岩土体的冲刷及渗透影响,一方面会降低岩土体稳定性,土体在饱和后抗剪强度降低,此外对河岸的侵蚀和切割,其地质灾害发育与河流距离为负相关关系。采取水系距离分级来分析其对区域地质灾害的影响。

(e) 高程

相对高程的变化也会影响地质灾害发育,区域内的降雨量、气温、植被发育程度的变化与高程有着密不可分的联系;此外相对高程越高,然环境会变得越发恶劣,人类工程活动程度减弱。因此,选择高程作为地质灾害发育的影响因素之一。

(f) 公路

公路的修建会出现较多的切、填方活动,导致部分地段原始斜坡失稳而诱发地质灾害,不同距离对地质灾害的分布密度存在一定影响。

(g) 斜坡方向

不同斜坡坡向的太阳照射强度等条件不同,从而导致植被覆盖、地表水蒸发量和坡面侵蚀等存在差异,并对斜坡地下水孔隙压力的分布和岩土体物理力学特征形成影响,进而影响斜坡的稳定性。所以坡向也作为一个影响斜坡稳定性的重要因子。

以上 7 个评价因子中,地形坡度、地层岩性、道路、水系、高程、坡向、构造为调查区基础地质条件,是孕灾环境条件。本文基于这 7 个因子开展研究易发性评价。

1.3 地质灾害易发因子的权重计算

1.3.1 滑坡、崩塌和地面塌陷各易发因子的权重计算

本次易发性因子的权重计算采用层次分析法进行,在孕灾地质分析的基础上,结合评价因子总信息量值的大小及专家打分,用 Santy1-9 标度方法进行调查区判断矩阵的构造,由于各评价因子分别与滑坡、崩塌的相关性有所不同,因此分别进行判断矩阵的构造,先根据各因子构造矩阵,再根据各因子的重要性不同进行两两比较,最后根据公式进行计算得出各因子的权重,通过一致性验算,最后得到各因子权重值,构造矩阵见表 1,各因子权重见表 2。

表1 滑坡、崩塌和地面塌陷各因子权重计算赋值表

类别	地层岩性	坡度	距地质构造距离	距水系距离	高程	距公路距离	坡向
A	N1	N2	N3	N4	N5	N7	N8
N1	1.00	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00
N2	0.33	1.00	3.00	3.00	5.00	5.00	5.00
N3	0.33	0.33	1.00	0.33	3.00	5.00	5.00
N4	0.33	0.33	3.00	1.00	3.00	3.00	3.00
N5	0.33	0.20	0.33	3.00	1.00	0.33	3.00
N6	0.20	0.20	0.20	0.33	3.00	3.00	1.00
N7	0.20	0.20	0.20	0.33	3.00	1.00	1.00
N8	0.20	0.20	0.20	0.33	0.33	1.00	1.00

表2 滑坡、崩塌和地面塌陷各因子权重

因子	地层岩性	坡度	距地质构造距离	距水系距离	高程	距公路距离	坡向
权重	0.30	0.25	0.14	0.15	0.08	0.04	0.04

1.3.2 滑坡、崩塌地质灾害易发性评价模型及计算

根据该区地质灾害的特征,本次地灾害的风险评价模型采用信息量模型,其不同因子按不同权重叠加时采用层次分析法来计算其权重分配,根据不同的权重计算其综合信息量,在此基础上得到综合信息量值,利用 GIS 叠加功能进行易发性分区评价,最终实现易发性评价。

(1) 计算公式

地质灾害易发性评估依据地质环境条件中各因子对于地质灾害发育的贡献程度进行赋值和赋分,采用信息量法进行计算和分析,对应某种因素特定状态下的地灾害信息量为^[10]:

$$I_{Aj \rightarrow B} = \ln \frac{N_j/N}{S_j/S} \quad (1)$$

式中: $I_{Aj \rightarrow B}$ ——对应因素 A、j 状态(或区间)下地质灾害 B 发生的信息量;

N_j ——对应因素 A、j 状态(或区间)下地质灾害分布的单元数;

N ——调查区已知有地质灾害分布的单元总数;

S_j ——因素 A、j 状态(或区间)分布的单元数;

S 为调查区单元总数。

当 $I_{Aj \rightarrow B} > 0$ 时,反映了对应因素 A、j 状态(或区间)下地质灾害发生倾向的信息量较大,地质灾害发生的可能性较大,或者说利于地质灾害发生;当 $I_{Aj \rightarrow B} < 0$ 时,表明因素 A、j 状态(或区间)条件下,不利于地质灾害发生;当 $I_{Aj \rightarrow B} = 0$ 时,表明因素 A、j 状态(或区间)不提供有关地质灾害发生与否的任何信息,即因素 A、j 状态(或区间)可以剔除掉,排除其作为地质灾害预测因子。

由于每个评价单元受众多因素的综合影响,各因素又存在若干状态,各状态因素组合条件下地质灾害发生的总信息量为^[10]:

$$I = \sum_{j=1}^n \ln \frac{N_j/n}{S_j/S} \quad (2)$$

式中: I ——对应特定单元地质灾害发生的总信息量,指示地质灾害发生的可能性,可作为地质灾害易发性指数;

N_i ——对应特定因素、第 i 状态(或区间)条件下的地质灾害面积或地质灾害点数;

S_j ——对应特定因素、第 i 状态(或区间)的分布面积;

N ——调查区地质灾害总面积或总地质灾害点数;

S ——调查区总面积。

(2) 评价因素指标信息量计算

根据不同的权重对不同因子综合信息量进行计算,得到滑坡、崩塌和地面塌陷综合信息量计算结果。

2 地质灾害易发性分级、分析

根据资料收集、野外调查结合本次选取的因子进行综合分析,总结出调查区各个因子在地质灾害控制性作用的比例,确定各因子间重要性排列顺序,采用信息量法进行每个因子的信息量计算,结合层次分析法对每个因子的权重赋值,得出每个因子不同分级的信息量值及综合信息量值,将其每个易发性评价因子进行加权总和,根据自然断点法将易发性评价结果分为极高、高、中、低四个等级。低易发性,表示在基本地质环境条件下不易发生地质灾害;中易发性表示在基本地质环境条件下较易发生地质灾害;高易发性表示在基本地质环境条件下容易发生地质灾害;极高易发性表示基本地质环境条件下极易发生地质灾害。

根据前述的方法,采用 GIS 软件对每个易发性评价因子分别进行信息量计算,再进行加权总和,通过自然间断点法分四级得到一般区地质灾害易发程度分区图。

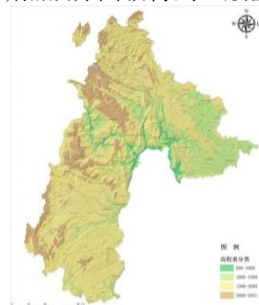


图1 高程影响分级图

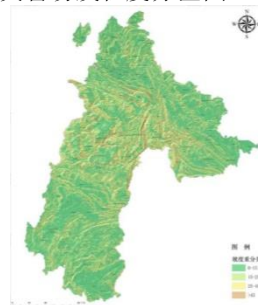
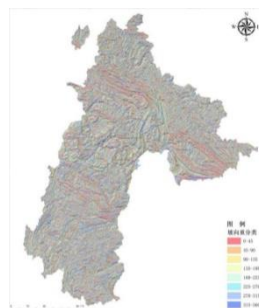


图2 坡度影响分级图



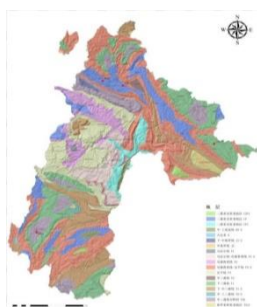


图5 地层影响分级图

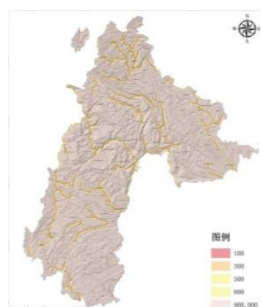


图6 水系影响分级图

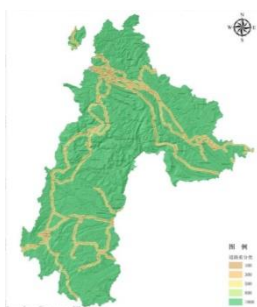


图7 道路影响分级图

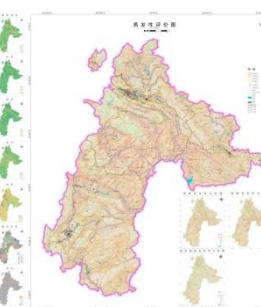


图8 六盘水易发性分区图

3 地质灾害易发性评价结果

由计算可知,按照自然断点分级法对计算结果进行易发性指数进行阈值划分,总体对评价图层按照“区内相似”原则对评价结果进行合并处理,相应的将调查区易发性划分为高易发、中易发、低易发和非易发四个区域,其结果如图8:

根据此次基于孕灾地质条件评价,将六盘水市共划分地质灾害高易发区、中易发区、低易发区、非易发区四个区,其中:地质灾害高易发区,总面积 2309.98km²,占全区面积 23.3%;地质灾害中易发区,总面积 4147.1km²,占全区面积 41.8%;地质灾害低易发区,总面积 2956.7km²,占全区面积 29.8%;地质灾害非易发区,总面积 502.2km²,占全区面积 5.1%。

由破碎的岩体结构和不利的地形地貌共同控制形成调查区非易发区分布于其他区域,该区域地势平坦,地形坡度起伏不大,地质构造的作用对岩体破坏程度微弱,不易发生地质灾害。

4 结论

(1) 主导因子与机制:地层岩性(权重 0.30)与坡度(权重 0.25)是六盘水市地质灾害发育的核心控制因素。碎屑岩区因抗风化能力弱、风化层厚,成为滑坡高发带;坡度>25°区域因临空面发育及地表径流冲刷作用,崩塌风险显著增加。

(2) 空间分异特征:高易发区集中于水城区北部、钟山区西南部等碎屑岩-陡坡复合地带,与构造断裂带、乌江水系侵蚀区空间耦合性显著;中易发区受道路切坡、

矿产开发等人类活动驱动,呈现“带状延伸”分布特征。

(3) 防治建议

重点监测:在高易发区布设 InSAR 监测点,结合无人机巡检,建立“空-天-地”立体监测网络;

工程避让:限制陡坡带(坡度>25°)新建居民区与基础设施,对已有建筑实施边坡加固工程;生态修复:在碎屑岩分布区推广植被固坡技术,优先种植深根系树种以增强岩土体抗剪强度。

[参考文献]

- [1]朱玉倩.水工环地质灾害的问题与防治对策分析[J].西部资源,2023(1):139-141.
 - [2]秦趣,谌洪星,张美竹.喀斯特山区矿业城市地质灾害成因及治理方案——以六盘水市为例[J].国土与自然资源研究,2011(6):41-42.
 - [3]牛丽楠,邵全琴,刘国波,等.六盘水市土壤侵蚀时空特征及影响因素分析[J].地球信息科学学报,2019,21(11):1755-1767.
 - [4]陈龙,李厚芝,陈欢,等.新铺滑坡变形演化特征及成因机制分析[J].工程地质学报,2025,1(15):5-9.
 - [5]左小清,张荐铭,李勇发,等.典型山区 InSAR 地表形变监测与滑坡灾害识别[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2024,49(4):89-104.
 - [6]张号,倪顺程,胡磊,等.基于 GIS 的增城区地质灾害易发性分区研究[J].矿产勘查,2024,15(2):226-236.
 - [7]曹洪洋,任晓莹,李志强.基于 GIS 的分形理论和信息量法的区域滑坡易发性评价[J].中国安全科学学报,2025,35(1):178-185.
 - [8]李益敏,袁静,蒋德明,等.基于 GIS 的西南高山峡谷区滑坡风险性评价——以怒江州泸水市为例[J].西北师范大学学报(自然科学版),2021,57(6):94-102.
 - [9]熊俊楠,朱吉龙,苏鹏程,等.基于 GIS 与信息量模型的溪洛渡库区滑坡危险性评价[J].长江流域资源与环境,2019,28(3):700-711.
 - [10]张华湘,曾牡丹,孙乾征.典型区域地质灾害风险评价及管控对策研究[J].贵州科学,2025,43(1):72-77.
- 作者简介:黄稳(1996—),男,一级建造师(建筑工程),二级造价师(土木建筑工程),水工环地质工程师,2019年毕业于三峡大学土木工程专业,工学学士,长期从事水工环地质工作;*通信作者:张坤(1989—),男,汉族,籍贯:四川省南充市,本科于2013年毕业于华北科技学院安全工程学院地质工程专业,研究生于2015年毕业于中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院的地质工程专业,硕士研究生学历,水工环地质高级工程师,长期从事于水工环地质、矿山地质、生态修复等工作。