

基于加权信息量模型的遵义市地质灾害易发性评价

皮茂强¹, 肖欣², 赵毅³, 梁锋², 张坤¹, 蒲云贵³

(1. 遵义市国土空间生态修复工程技术中心, 遵义 563000; 2. 贵州省地质环境监测院遵义分院, 遵义 563000;
3. 遵义市自然资源局, 遵义 563000)

摘要: 遵义市地处贵州省地质灾害重点防范区, 地质灾害类型多样, 灾害隐患点多面广, 开展地质灾害易发性评价, 对区域地质灾害减灾防灾具有重要现实意义。依托研究区内 1 659 个地质灾害隐患点, 以孕灾地质条件为基础, 选取地形地貌、高程、坡度、坡向、植被覆盖指数、工程地质岩组、距断层距离、多年年均降雨量、距河流距离、距道路距离和土地利用类型等作为评价指标, 基于 ArcGIS 软件数据分析平台, 在信息量模型基础上, 采用加权法对研究区滑坡、崩塌、泥石流及其综合地质灾害易发性进行评价, 将研究区地质灾害易发性划分为极低、低、中、高、极高易发区 5 个等级, 并进行评价精度检验。研究区地质灾害极低、低、中、高、极高易发区面积(占比)分别为: 2 015. 695 6 km² (6. 55%)、7 326. 972 6 km² (23. 82%)、10 342. 287 0 km² (33. 62%)、7 744. 617 0 km² (25. 17%)、3 335. 494 4 km² (10. 84%)。研究区内灾点密度随着易发性的增加而增大, 面积占研究区 36. 01% 的高、极高易发区内, 控制着区内 72. 75% 的地质灾害点分布。ROC 特征曲线与横坐标轴所围成的面积 AUC 值为 0. 767, 表明评价结果可靠, 分区合理, 可为区域地质灾害预警预测和灾害防治工作提供决策参考。

关键词: 地质灾害; 信息量模型; 易发性评价; ROC 曲线

中图分类号: P694; P56 **文献标识码:** A

SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT OF GEOLOGICAL HAZARD IN ZUNYI CITY BASED ON THE WEIGHTED INFORMATION MODEL

PI Mao-qiang¹, XIAO Xin², ZHAO Yi³, LIANG Feng², ZHANG Kun¹, PU Yun-gui³

(1. Engineering Technology Center for Ecological Restoration of Territorial Space of ZunYi, Zunyi 563000, China;
2. Zunyi Branch of Guizhou Geological Environment Monitoring Institute, Zunyi 563000, China;
3. Bureau of Nature Resources of ZunYi City, Zunyi 563000, China)

Abstract: Zunyi City is located in the key prevention area of geological disasters in Guizhou Province, in which there are various types of geological disasters and a wide range of disaster hazard sites. Therefore, it is of great practical significance to carry out the geological disaster susceptibility assessment for regional geological disaster reduction and prevention. Based on the 1 659 geological hazard sites in the study area and the environment of developing geological hazards, topography and geomorphology, altitude, slope, aspect, vegetation cover index, engineering geology groups of rock, distance from faults, average annual rainfall, distance from rivers, distance from roads and land use types were selected as evaluation indexes. Based on the data analysis platform of ArcGIS software and the information model, the entropy weight method was adopted to evaluate the susceptibility of

landslides, avalanches, mudslides and their integrated geological hazards in the study area, which was divided into five grades, namely, very low, low, medium, high and extremely high susceptibility zones. Finally, the accuracy of evaluation was tested. The area (percentage) of zones with very low, low, medium, high and extremely high susceptibility of geological hazards in the study area were 2 015. 695 6 km² (6. 55%), 7 326. 972 6 km² (23. 82%), 10 342. 287 0 km² (33. 62%), 7 744. 617 0 km² (25. 17%), 3 335. 494 4 km² (10. 84%), respectively. The density of disaster sites in the study area increases with the increase of susceptibility of evaluated zones, and 72. 75% of the geological disaster sites are distributed in the high and very high susceptibility zones, which account for 36. 01% of the study area. The AUC value, which is area enclosed by the characteristic curve of ROC and the horizontal axis, is 0. 767, indicating that the evaluation results are reliable and the zoning is reasonable, so it can provide decision-making reference for regional geological disaster early warning, prediction and disaster prevention.

Key words: geological hazards; information model; susceptibility assessment; ROC curve

1 引言

地质灾害的隐蔽性、复杂性、突发性、动态变化性和巨大破坏性,决定了地质灾害防治是一项长期系统性工作^[1]。开展地质灾害调查评价,查明灾害分布特征、影响因素和成灾机理,为灾害防治提供技术支撑和科学依据^[2],是当前地质灾害防治的重要任务。地质灾害易发性评价是地质灾害调查评价的一项重要基础性工作,能够引导地质灾害防治工作从灾后治理向灾前预防转移,指导政府部门编制国土空间规划、地质灾害防治规划、生态修复专项规划等。因此,开展区域地质灾害易发性评价对地质灾害减灾防灾具有重要现实意义^[3]。

目前地质灾害易发性评价方式方法较多,可概括为定性评价和定量评价两大类,常见的有层次分析法、综合指数法、信息量法、逻辑回归分析、多元回归分析、神经网络、支持向量机、随机森林、熵值法,以及多种方法叠加分析等。和子祺等应用层次分析法^[4],段中满等应用综合指数法^[5],刘任鸿等应用信息量模型^[6-7],赵东亮等应用加权信息量模型^[8-11]开展了地质灾害易发性、危险性评价及分区研究,汪莹研究讨论了不同模型的评价精度^[12],目前将加权信息量法应用于遵义市开展区域地质灾害易发性评价研究较少。

为客观反映评价指标所占权重,有效克服信息量模型未客观赋权的不足,本文基于信息量模型,采用加权法对评价指标进行客观熵值赋权,分别对研究区的滑坡、崩塌、泥石流地质灾害进行易发性评价预测,最终叠加集成遵义市地质灾害综合易发性区

划,为区域地质灾害减灾防灾工作提供决策参考。

2 研究区概况

研究区地处贵州省北部,南邻贵阳市,北倚重庆市,西接四川省,地理坐标界于 27°08′~29°13′E 和 105°36′~108°13′N 之间,面积约为 3. 07×10⁴ km²。构造位置处于上扬子陆块西缘,构造单元为黔北隆遵义断拱之毕节北东向构造变形区与凤冈北东向构造变形区,区内地层发育较全,除泥盆系外,从震旦系至侏罗系均有分布,以沉积岩为主。区内植被发育,森林覆盖率 62. 1%。多年平均降雨量 1 072. 5 mm,降水量季节分配极不均衡,主要集中在汛期(5~9 月),约占降雨总量 70%^[13]。境内河流均属长江中上游水系,以大娄山山脉为分水岭,分为乌江、赤水河和綦江三大水系。区内海拔最低点出露在西北部赤水河出省界处,高程为 213 m,海拔最高点出露在桐梓县境内大娄山山脉的最高峰,高程为 2 244 m^[14],如图 1 所示。

研究区处于贵州省地质灾害中、高易发区,是贵州省地质灾害防治重点区域^[15]。近 10 年来,区内发生地质灾害数量总体上占比较低,但新增地质灾害隐患数量较多,预计“十四五”期间,区内地质灾害发生数量将呈增长趋势^[16]。根据贵州省地质灾害风险普查成果显示,区内发育滑坡、崩塌和泥石流隐患点 1 659 个,以滑坡类型居多,占隐患点总数 65. 35%,其次为崩塌、泥石流,分别占隐患点总数 33. 69%、0. 96%,威胁约 2. 5 万户 11. 2 万群众生命财产安全,统计结果如表 1 所示。

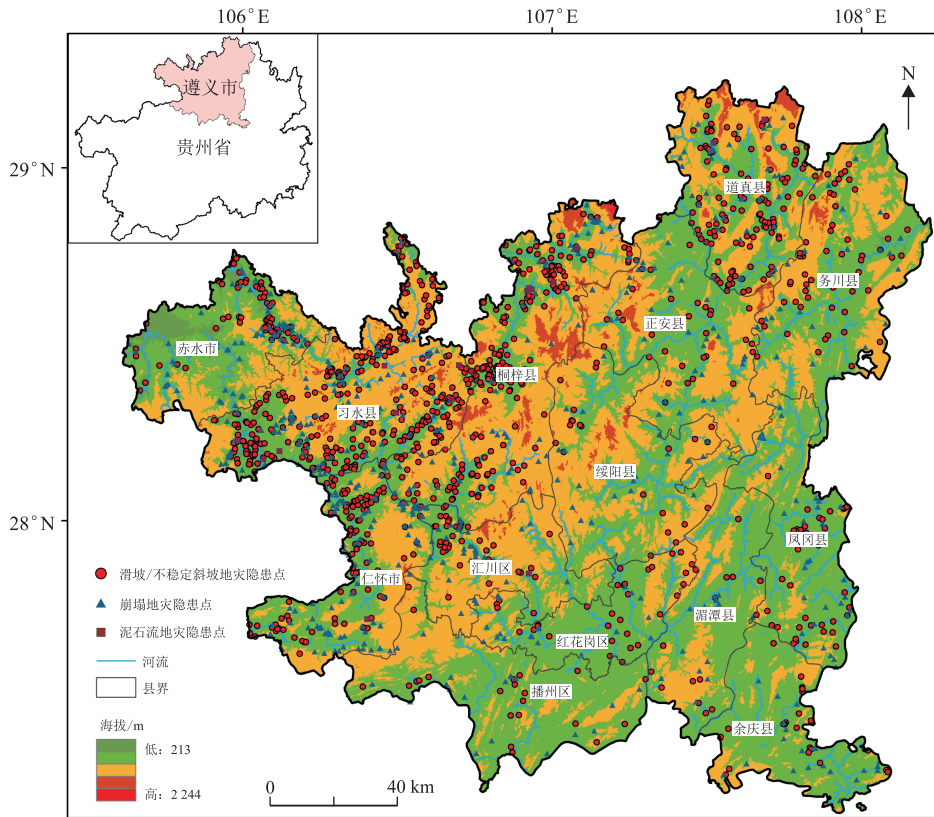


图 1 研究区灾害分布图

表 1 遵义市地质灾害隐患点统计表

地质灾害类别	地质灾害隐患点/个	占比/%
滑坡(不稳定斜坡)	1 084	65.35
崩塌	559	33.69
泥石流	16	0.96
合计	1 659	100.00

3 易发性评价模型

3.1 加权信息量模型

信息量模型是一种从信息理论中引出的广泛应用于统计预测类的模型。该模型常应用于地质灾害危险性和易发性评价中,方法是将灾害点作为评价对象、地质灾害影响因子作为评价指标,通过指标量化、叠加分析,将不同指标影响信息转化为信息量值^[17],信息量值越大,表明地质灾害易发性程度越高^[18]。该理论模型通过计算各分级后的二级指标(X_i)对地质灾害隐患点(D)贡献的信息量 $I_i(D | X_i)$,通过以下步骤计算:

$$I_i(D | X_i) = \frac{P(X_i | D)}{P(X_i)} \quad (1)$$

上式为概念模型,其中 $P(X_i | D)$ 为地质灾害隐患点分布情况下发生 X_i 的概率; $P(X_i)$ 为研究区内发生 X_i 的概率。在地质灾害易发性、危险性评价等实践中常用以下步骤计算:

$$I_i(D | X_i) = \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (2)$$

式中, N_i 为在分级指标 X_i 类别 x_i 内的地质灾害个数; N 为研究区域地质灾害隐患点总数; S_i 为研究区含有评价指标 x_i 的栅格数; S 为研究区总栅格数。该模型的缺陷在于没有考虑各评价指标所占权重,而加权法则能够避免不足,为此,此次评价基于信息量模型,采用熵值加权法对各评价指标进行客观赋权,确定评价指标贡献度^[19]。具体计算过程如下:

(1) 定义熵,表达式如下:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n S_{ij} \ln(S_{ij}) \quad (3)$$

式中, i 为各分级后的二级指标; j 为各分级后的一级指标; S_{ij} 为各一级指标中二级指标区域内灾点密度的归一化值,且 $S_{ij} \in [0, 1]$; E_j 为第 j 项分级后一级指标的熵值; k 为常数, $k = 1/\ln(n)$, 其中 n 为各分级后二级指标数量。

(2) 求熵权,公式为:

$$W_j = \frac{(1 - E_j)}{\sum_{j=1}^m (1 - E_j)} \quad (4)$$

式中, W_j 为分级后一级指标的权重系数; m 为分级指标数。

(3) 求加权信息量,公式为:

$$I = \sum_{i=1}^n (W_i \times I_i) \quad (5)$$

式中, W_i 为第 i 项二级指标权重,便于计算二级指标加权信息量,通常情况下用一级指标的权重 W_j 进行替代计算; I_i 为第 i 项二级指标的信息量值, $i = 1, 2, \dots, 64$ 。

3.2 数据来源与处理

地形地貌、工程地质岩组数据来源于中国地质调查局地质云 3.0 (<https://geocloud.cgs.gov.cn/>);断层数据来源于贵州省 1:50 万地质图矢量化数据;数字高程(DEM)数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>) ASTER GDEM V2 数据,坡度、坡向由 DEM 数据通过 ArcGIS 软件表面分析获得;多年年均降雨量(2000 年~2019 年)数据来源于中国气象数据共享服务网(<http://www.cma.gov.cn/>);Landsat 系列卫星数据来源于 GEE (<https://earthengine.google.com/>),并利用 Landsat8 影像提取植被覆盖指数(NDVI);河流、道路数据来源于中国科学院地理科学与矿产研究所资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn/>);土地利用类型数据来源于全球 30 m 分辨率地表覆盖数据集(GlobeLand30);地质灾害隐患点来

源于贵州省自然灾害综合风险普查。便于使用 ArcGIS 软件空间分析,确保评价因子空间位置一致,将研究区设置为 100 m×100 m 分辨率栅格单元,并投影到 WGS_1984_UTM_Zone_48N 坐标系,共划分为 2 300 行 2 540 列,共计 3 077 489 个栅格单元。

4 评价指标与加权信息量计算

4.1 评价指标

以地质灾害承载体和孕灾地质条件为基础,选取 11 个因子作为评价指标。高程、坡度、坡向、植被覆盖指数(NDVI)、多年年均降雨量、距断层距离、距河流和距道路距离等连续型指标,采用等间距方式分级;地貌、工程地质岩组和土地利用类型等离散型指标,采用已有的标准分类方式分级。

(1) 地貌。地形地貌决定着地质灾害发生的类型,是灾害发生的控制条件之一^[20]。区内以中山、低中山为主,占研究区 78.21%,如图 2(a)所示。统计结果如图 3(a),地质灾害多发生在低中山地貌,达 854 个,发育密度为 0.05 个/km²;值得关注的是低山地貌,虽然面积仅占研究区 6.19%,但分布有地质灾害点 208 个,灾害密度达 0.11 个/km²,应结合孕灾环境等实际加以防治。

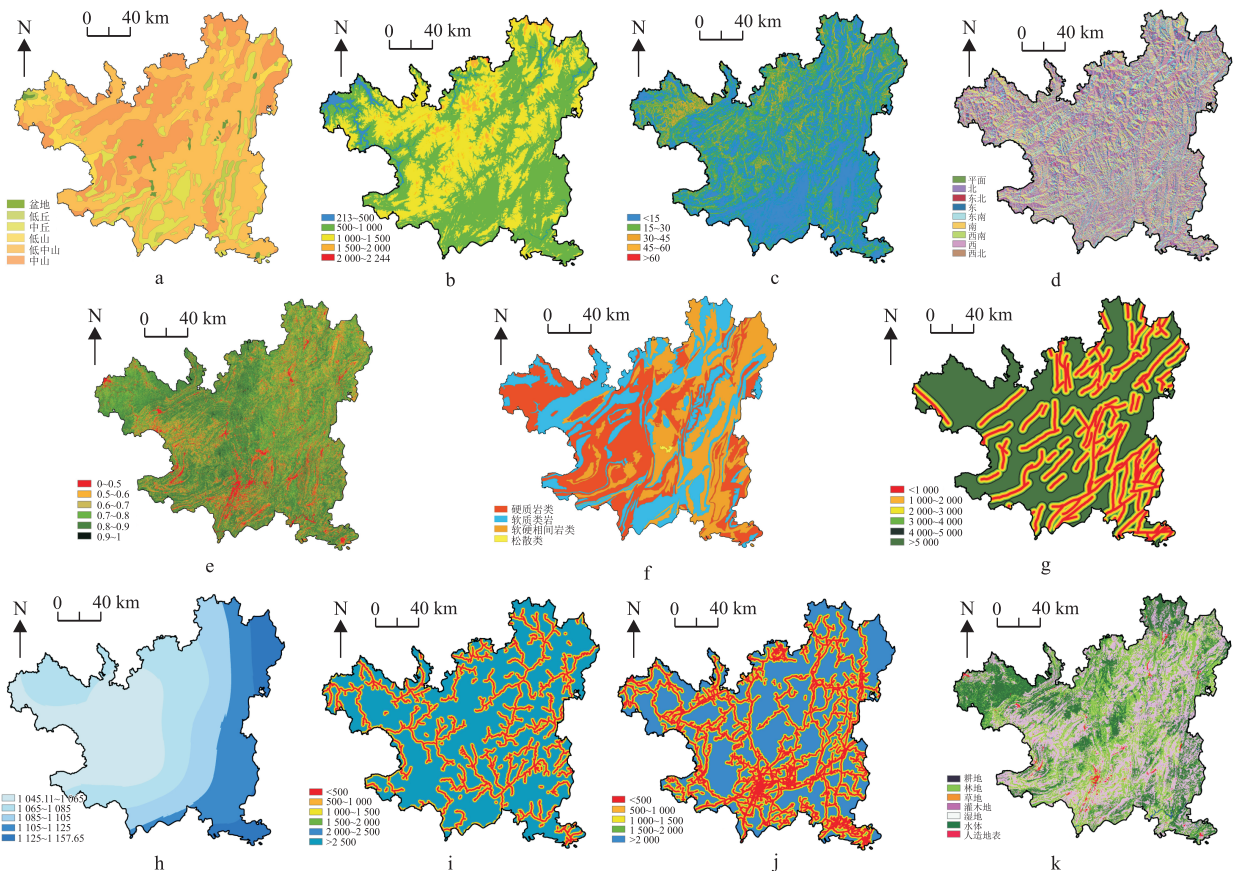


图 2 评价指标分级结果

(2) 高程。数字高程(DEM)是空间起伏变化的连续表示方法。高程不同,植被类型、土地利用、人类工程活动强度、地形切割程度、岩土体稳定性、土壤饱和含水量都不同,近年来将高程作为孕灾环境因子评价地质灾害易发程度成为热点^[21]。将高程划分 5 个等级,结果如图 2(b)所示。地质灾害主要分布在高程 500~1 000 m 内,达 1 071 个,值得关注的还有高程低于 500 m 范围,分布 128 个地质灾害点,灾害密度高达 0.16 个/km²,如图 3(b)所示。

(3) 坡度。坡度是斜坡陡峭程度的直接体现。不同坡度的斜坡,岩土体应力分布、地表水径流、堆积物厚度、植被发育都不同,对斜坡的稳定性具有控制作用^[22]。将 DEM 提取的坡度划分 5 个等级,如图 2(c)所示。研究区 93.26% 的区域坡度小于 30°,地质灾害多数分布在 30°以下,达 1 475 个,占灾害总数 88.91%,结合实际还应重点关注 0°~60°坡度

之间,灾害点密度最大达 0.12 个/km²,如图 3(c)所示。

(4) 坡向。坡向对斜坡的稳定性有一定影响^[23]。对地质灾害展布控制,主要体现在不同坡向与岩层倾向的空间组合,坡向与岩层倾向一致的顺向坡利于灾害的发生。提取坡向并划分 9 个类别,如图 2(d)所示。在空间分布上,除平面外其余坡向均有分布,其中坡向西南 247 个、正西 230 个。在分布密度上,西南方向分布最大,为 0.07 个/km²,如图 3(d)所示。

(5) 植被覆盖指数。植被覆盖指数(NDVI)越大,植被覆盖程度越高^[24]。NDVI 数值相对大、植被根系相对发达的区域,水土保持能力则相对强,降水诱发灾害的频率则较低^[25]。将 NDVI 分 6 个等级(图 3e)。地质灾害主要发育在 NDVI 值 0.5~0.9 范围内,其中 0.7~0.8 范围内数量最多,达 482 个,0.5~0.6 范围内灾害点密度达 0.10 个/km²,大

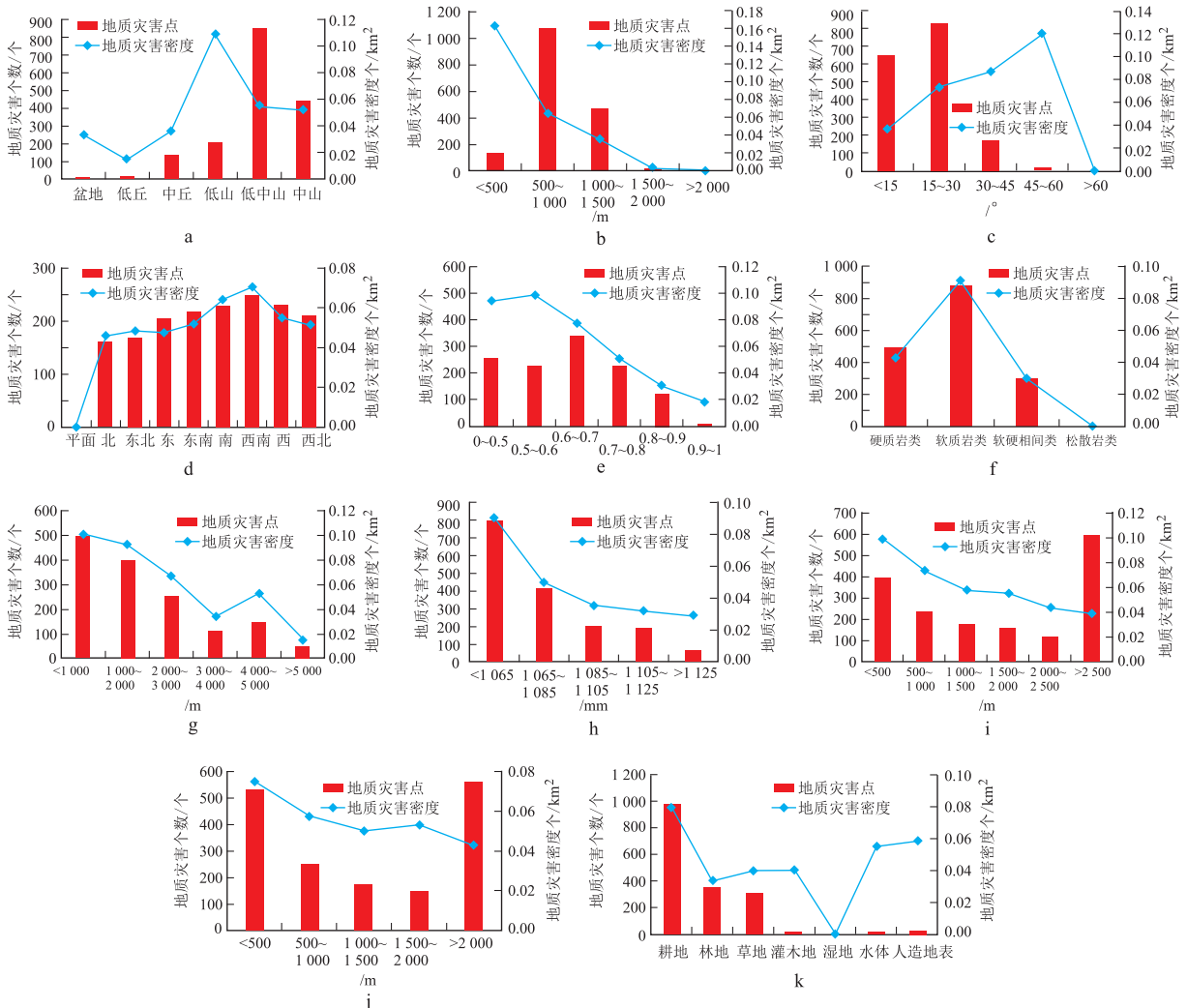


图 3 地质灾害个数与密度图

于 0.9 时,地质灾害发育较少,说明植被发育可抑制灾害的发生。

(6) 工程地质岩组。工程地质岩组是控制地质灾害发育的重要孕灾环境因素。工程地质岩组不同,地质灾害发育程度也不同^[26]。运用 ArcGIS 软件配准、矢量合并等功能,将研究区划分硬质岩类、软质岩类、软硬相间岩类和松散岩类等 4 类(图 2f)。统计结果如图 3(f),软质岩组发育 878 个地质灾害点,密度达 0.09 个/km²。软硬相间岩组发育较多,达 292 个,密度为 0.03 个/km²,该组极易发生滑坡地质灾害,应结合实际孕灾环境加以防治。

(7) 距断层距离。断层构造控制地质环境稳定性,是地质灾害发育的关键孕灾环境因素。主要表现在构造断层附近岩土体整体破碎,极易发生地质灾害^[27]。将距断层距离分为 6 类缓冲区,结果如图 2(g)所示。统计结果如图 3(g),距构造断层距离小于 1 000 m 时,地质灾害点 496 个,灾害密度为 0.10 个/km²,小于 2 000 m 时,地质灾害点为 893 个,灾害密度为 0.19 个/km²,表明断层构造对地质灾害发育具有控制效应。

(8) 多年年均降雨量。降雨是诱发地质灾害的重要因子^[28]。研究区近 20 a 来区域降雨量为 1 045.11~1 157.65 mm,采用克里格插值法生成多年均降水量等值线并分成 5 级,结果如图 2(h)所示。统计结果如图 3(h),灾害密度随降雨量增加呈现下降趋势,原因是多年平均降雨量大于 1 125 mm 主要分布在研究区东部,该区地质环境较为稳定,人口密度、人类工程活动低于社会经济、人口相对集中、工业和矿产发展迅速的中西部,且部分地质灾害隐患已通过工程治理或搬迁避让,致灾害密度呈下

降趋势。

(9) 距河流距离。河流发育长期冲刷,对孕灾体起到侵蚀作用,破坏斜坡特别是不稳定斜坡的稳定性,极易诱发地质灾害的发生。利用 ArcGIS 软件欧氏距离工具,把距离水系等间距划分为 5 级,结果如图 2(i)。统计显示,距河流距离小于 500 m 时,灾害密度最大,达 0.10 个/km²,如图 3(i)所示。

(10) 距道路距离。道路修建开挖坡脚,破坏植被,加大地形切割,破坏边坡稳定性,改变原有孕灾体地质环境,是地质灾害的重要诱因^[29]。以区内主要道路中心线设置 6 个等间距的缓冲区,如图 2(j)所示。地质灾害隐患主要分布在距道路 1 000 m 以内,高达 774 个,密度均大于 0.05 个/km²,如图 3(j)所示。

(11) 土地利用类型。土地利用类型是地表植被覆盖状况和人类工程活动的反映,对斜坡整体稳定性有影响^[30]。研究区内土地利用类型有耕地、林地、草地、灌木地、湿地、水体和人造地表,如图 2(k)所示。统计结果显示,区内地质灾害主要在耕地、林地范围内,灾点密度分别为 0.08 个/km² 和 0.03 个/km²,与耕地和林地分布较广密切相关。人造地表灾点密度为 0.06 个/km²,表明区内灾害分布受人类工程活动影响,如图 3(k)所示。

4.2 指标独立性检验

利用 ArcGIS 空间分析多元分析功能对 11 个指标进行波段值统计,得到指标相关矩阵并进行相关性分析,如表 2 所示。当各因子之间的相关系数满足 $|R| < 0.3$ 时,指标因子不相关, $0.3 \leq |R| < 0.5$,指标因子低相关^[31]。由表可知,评价指标均满足独立性检验,参与易发性评价选择合理。

表 2 各评价指标的相关性

	地貌	高程	坡度	坡向	NDVI	工程地质岩组	距断层距离	多年平均降雨量	距河流距离	距道路距离	土地利用类型
地貌	1										
高程	0.310 8	1									
坡度	0.092 6	0.070 7	1								
坡向	0.022 1	0.013 7	0.014 4	1							
NDVI	0.080 5	0.195 6	0.229 7	0.023 3	1						
工程地质岩组	0.113 8	0.043 8	0.105 2	0.001 7	0.062 0	1					
距断层距离	0.034 7	0.036 7	0.057 8	0.001 4	0.004 8	0.070 9	1				
多年平均降雨量	0.212 1	0.135 8	0.112 5	-0.006 4	0.079 8	0.380 3	0.247 8	1			
距河流距离	-0.129 1	-0.423 3	0.008 7	-0.003 7	-0.105 3	-0.036 8	-0.016 5	-0.040 4	1		
距道路距离	-0.091 2	-0.285 3	-0.149 0	-0.003 3	-0.204 7	-0.052 3	0.024 0	-0.002 2	0.297 4	1	
土地利用类型	-0.086 3	-0.171 7	-0.225 0	-0.008 1	-0.288 3	-0.058 6	-0.039 6	-0.028 5	0.056 0	0.179 0	1

4.3 加权信息量计算

借助 ArcGIS 软件重分类、多值提取至点功能,统计出各二级评价指标 N_i 、 S_i 和灾害点密度,按照

式(2)计算出信息量 I_i 。结合 Excel 软件按照式(3)和式(4),计算出权重 W_j ,最后根据式(5)得出加权信息量 I ,如表 3。

表 3 地质灾害评价指标权重及加权信息量

一级评价因子	二级评价因子	滑坡		崩塌		泥石流	
		权重	加权信息量	权重	加权信息量	权重	加权信息量
地貌	盆地	0.091 6	-0.068 5	0.094 6	-0.008 1	0.089 4	0
	低丘		-0.128 7		-0.102 0		0
	中丘		-0.062 2		-0.000 1		-0.058 3
	低山		0.070 0		0.053 6		0.099 1
	低中山		0.004 5		-0.002 9		-0.063 0
	中山		-0.004 3		-0.004 7		0.053 0
高程/m	<500	0.077 5	0.085 3	0.079 1	0.081 7	0.068 3	0.171 1
	500~1 000		0.016 9		0.008 5		-0.005 2
	1 000~1 500		-0.038 0		-0.018 5		-0.053 6
	1 500~2 000		-0.251 0		-0.203 6		0
	>2 000		0		0		0
坡度/°	<15	0.089 6	-0.018 3	0.082 5	-0.068 8	0.089 4	-0.037 3
	15~30		0.027 4		0.027 9		0.028 5
	30~45		-0.044 0		0.104 0		0.060 8
	45~60		-0.008 1		0.130 5		0
	>60		0		0		0
坡向	平面	0.094 9	0	0.093 8	0	0.099 7	0
	北		-0.015 5		-0.014 7		-0.059 1
	东北		-0.011 4		-0.007 4		-0.058 4
	东		-0.010 7		-0.013 5		-0.079 3
	东南		0.005 1		-0.027 3		0.060 4
	南		0.014 3		0.019 9		0.007 6
	西南		0.015 5		0.039 1		0.077 9
	西		0.004 9		-0.003 0		0
	西北	-0.006 9	-0.002 9	0.034 3			
NDVI	0~0.5	0.089 1	0.064 3	0.096 8	0.014 1	0.100 5	0.036 9
	0.5~0.6		0.069 3		0.012 1		0.093 1
	0.6~0.7		0.044 4		0.000 4		0.027 6
	0.7~0.8		-0.013 4		0.010 5		0.001 9
	0.8~0.9		-0.077 3		-0.016 1		-0.072 7
	0.9~1		0		0.000 2		0
工程地质岩组	硬质岩类	0.080 9	-0.043 4	0.085 3	0.016 6	0.089 5	-0.097 3
	软质岩类		0.054 3		0.013 7		0.062 0
	软硬相间类		-0.049 3		-0.046 7		-0.020 8
	松散岩类		0		0		0
距断层距离/m	<1 000	0.096 3	0.043 9	0.096 1	-0.003 8	0.097 7	0
	1 000~2 000		-0.031 3		-0.031 6		-0.010 5
	2 000~3 000		-0.022 3		-0.037 9		-0.065 4
	3 000~4 000		-0.050 6		-0.036 5		-0.050 3
	4 000~5 000		-0.003 1		-0.006 1		0.102 4
	>5 000	0.034 8	0.026 7	0.025 2			
多年平均降雨量/mm	<1 065	0.094 2	0.052 1	0.094 5	0.040 8	0.093 6	0.063 0
	1 065~1 085		-0.018 3		0.007 2		0.012 5
	1 085~1 105		-0.031 1		-0.055 5		-0.100 8
	1 105~1 125		-0.049 8		-0.045 2		-0.101 4
	>1 125		-0.067 0		-0.040 5		0
距河流距离/m	<500	0.096 4	0.055 1	0.095 3	0.063 6	0.093 3	0.100 6
	500~1 000		0.032 1		0.024 5		0.055 2
	1 000~1 500		0.007 3		0.005 9		0.023 2
	1 500~2 000		0.002 8		0.002 6		0
	2 000~2 500		-0.015 3		-0.027 1		0
	>2 500	-0.031 2	-0.031 4	-0.043 4			
距道路距离/m	<500	0.097 4	0.021 9	0.095 5	0.046 9	0.096 1	0.075 7
	500~1 000		0.006 2		0.003 8		0.055 0
	1 000~1 500		-0.000 1		-0.019 1		0
	1 500~2 000		0.008 6		-0.024 9		-0.038 1
	>2 000	-0.019 0	-0.028 1	-0.078 6			
土地利用类型	耕地	0.092 0	0.043 4	0.086 5	0.016 6	0.082 5	0.028 1
	林地		-0.059 0		-0.015 6		-0.081 2
	草地		-0.037 5		-0.011 8		0.019 0
	灌木地		0.013 1		0		0
	湿地		0.000 0		0		0
	水体		0.029 6		-0.083 2		0
	人造地表		-0.012 5		0.037 3		0

5 易发性评价结果

5.1 评价结果

将表3中计算得到的加权信息量赋值到对应的评价指标栅格图层,应用 ArcGIS 软件栅格计算器功能,分别叠加计算得到滑坡、崩塌、泥石流的

评价指数,同时绘制滑坡、崩塌、泥石流易发性评价栅格图。通过自然间断法将研究区评价指数划分为5个区间,分别为地质灾害极低、低、中、高和极高易发区,最终绘制研究区滑坡易发性区划(图4a)、崩塌易发性区划(图4b)、泥石流易发性区划(图4c)。

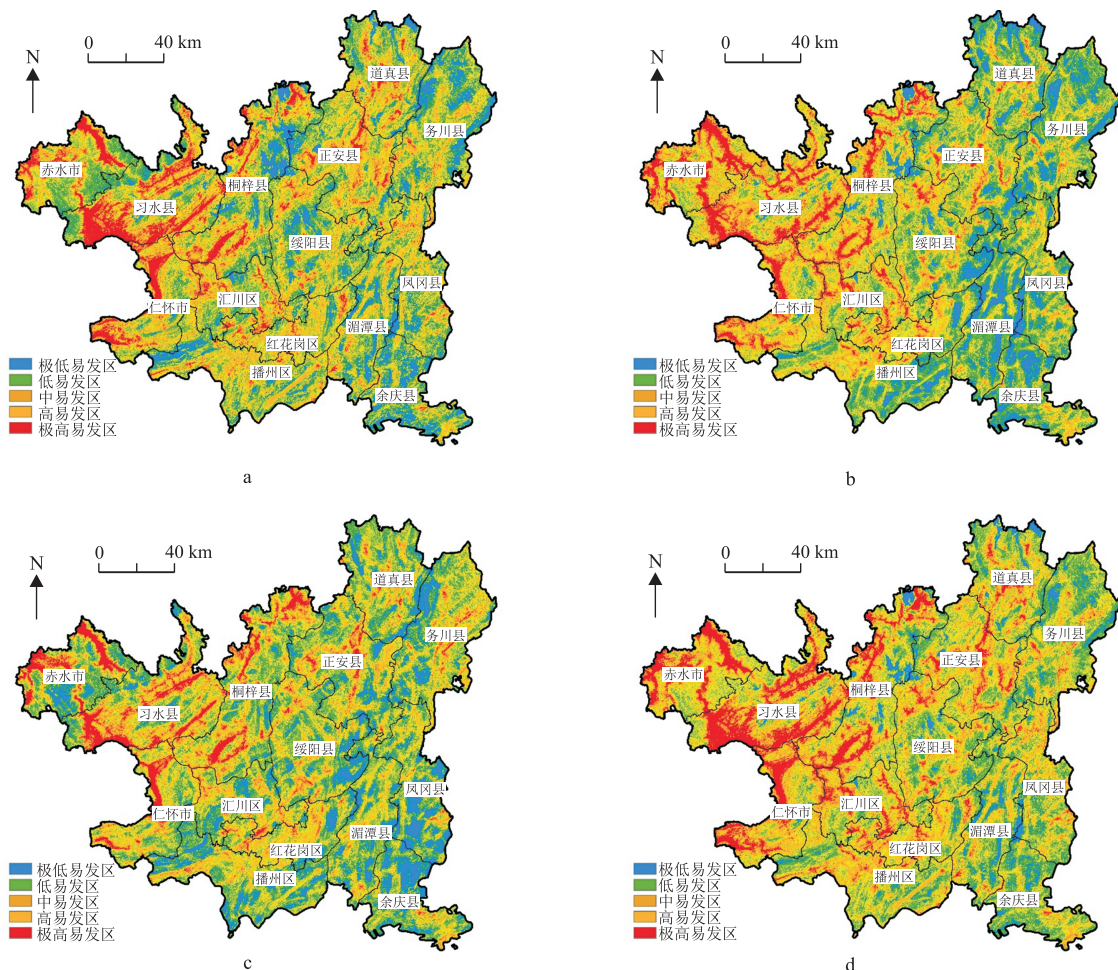


图4 遵义市不同类型灾害易发性评价结果

鉴于研究区滑坡、崩塌、泥石流地质灾害空间分布特征,在征求地质灾害防治专家意见的基础上,将滑坡、崩塌、泥石流区划图层分别按 0.60、0.35、0.05 的权重,通过 ArcGIS 软件赋予图层叠加耦合成研究区综合评价指数,并采用自然断点法将研究区划分为极低、低、中、高和极高易发区,最终绘制成研究区地质灾害易发性综合区划(图4d)。研究区

地质灾害极低、低、中、高、极高易发性面积(占比)分别为:2 015.695 6 km²(6.55%)、7 326.972 6 km²(23.82%)、10 342.287 0 km²(33.62%)、7 744.617 0 km²(25.17%)、3 335.494 4 km²(10.84%),地质灾害分布数量(占比)分别为:14 个(0.84%)、119 个(7.17%)、319 个(19.23%)、535 个(32.25%)、672 个(40.50%),如表4所示。

表4 遵义市地质灾害综合易发性区划灾害统计表

易发性区划	灾害点/处	灾点占比/%	面积/km ²	面积占比/%	灾点密度/处/km ²
极低易发区	14	0.84	2 015.695 6	6.55	0.006 9
低易发区	119	7.17	7 326.972 6	23.82	0.016 2
中易发区	319	19.23	10 342.287 0	33.62	0.030 8
高易发区	535	32.25	7 744.617 0	25.17	0.069 1
极高易发区	672	40.50	3 335.494 4	10.84	0.201 5

5.2 评价精度检验

AUC 值为 ROC 曲线以下至横坐标的面积,是模型评价精度的良好指示器,若 AUC 值为 0.5~1,说明该模型是有效的,AUC 值越高,则模型评价精度越高^[32]。应用 ArcGIS 软件随机生成点功能,在已有地质灾害点外建立缓冲区,同时随机生成 1 659 处非地质灾害点,再与已有 1 659 处地质灾害点组成测试样本数据,在 SPSS 软件中应用因子分析功能生成 ROC 曲线,检验易发性评价分区精度。本文基于信息量模型,采用加权法得到的 AUC 值为 0.767,表征该评价模型评价精度为 76.7%,说明该模型在该区域地质灾害易发性评价精度较高,与表 4 统计结果 36.01%的高易发区和极高易发区内控制 72.75%的地质灾害隐患点一致,如图 5 所示。

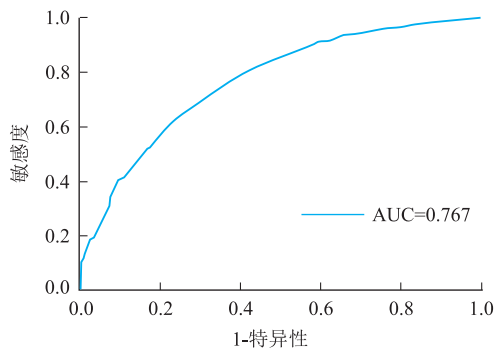


图 5 ROC 曲线与 AUC 值

6 结论

(1) 基于加权信息量模型,将研究区划分为极低、低、中、高和极高易发区,面积(占比)分别为:2 015.695 6 km² (6.55%)、7 326.972 6 km² (23.82%)、10 342.287 0 km² (33.62%)、7 744.617 0 km² (25.17%)、3 335.494 4 km² (10.84%),地质灾害分布(占比)分别为:14 个(0.84%)、119 个(7.17%)、319 个(19.23%)、535 个(32.25%)、672 个(40.50%)。

(2) 研究区内地质灾害密度大具有明显的分级规律,在区域地质灾害预防和治理中,地貌为低山、低中山;高程 213~1 000 m;坡度 40°~45°;坡向为西南方向;距断层 1 000 m、道路 1 000 m、河流 500 m 内;NDVI 值在 0.5~0.6 之间;岩组为软硬相间岩类、软质岩类;土地利用类型为耕地、人造地表等孕灾地质条件值得重点关注和防范。

(3) 研究区内灾点密度随着评价区划易发性的增加而增大,面积占研究区 36.01%的高、极高易发

区内,控制着区内 72.75%的地质灾害点分布。ROC 曲线表征该模型评价精度为 76.7%,评价精度较高,评价结果对区域地质灾害防治具有现实意义。

参考文献

- [1] 汪民. 关于地质灾害防治需要关注的几个问题[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33(1): 1-5.
- [2] 闫茂华, 魏云杰, 李亚民, 等. 云南德钦日因卡滑坡孕灾背景及形成机理[J]. 地质通报, 2020, 39(12): 1971-1980.
- [3] 张云波, 曾磊, 付弘流, 等. 基于信息量模型法的石阡县地质灾害易发性评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2022, 33(1): 44-49.
- [4] 和子祺, 李波, 蔡映坤, 等. 云南省大关县地质灾害危险性评价及分区研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2023, 34(4): 56-64.
- [5] 段中满, 吴浪辉, 李明波, 等. 基于综合指数法的地质灾害易发性区划——以湖南省新邵县为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2015, 26(2): 87-92.
- [6] 刘任鸿, 李明辉, 邓英尔, 等. 基于 GIS 的华蓥市地质灾害易发性评价[J]. 沉积与特提斯地质, 2021, 41(1): 129-136.
- [7] 常亚婷, 刘征宇, 向刚, 等. 信息量模型在区域地质灾害危险性评价中的应用[J]. 贵州地质, 2021, 38(4): 430-436.
- [8] 赵东亮, 兰措卓玛, 侯光良, 等. 青海省河湟谷地地质灾害易发性评价[J]. 地质力学学报, 2021, 27(1): 83-95.
- [9] 贺俊, 李金钱, 高沛, 等. 基于加权信息量法的杨陵区地质灾害易发性评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2022, 33(3): 35-41.
- [10] 宋渊, 江南, 任达, 等. 基于加权信息量法的湖北省兴山县地质灾害危险性评价与区划[J]. 贵州地质, 2022, 39(3): 272-279+299.
- [11] 赵帅, 赵洲. 基于信息量模型的地质灾害易发性评价[J]. 水力发电, 2019, 45(3): 27-32.
- [12] 汪莹. 不同模型的滑坡易发性评价精度讨论[J]. 贵州地质, 2022, 39(2): 144-151.
- [13] 周霄. 遵义市水资源状况及存在的问题[J]. 贵州水力发电, 2007, 80(5): 27-29.
- [14] 皮茂强, 肖欣, 梁锋. 贵州省遵义市地质灾害发育现状及特征[J]. 华北自然资源, 2021, (5): 105-107.
- [15] 吕刚. 贵州重大地质灾害及影响因素分析[J]. 贵州地质, 2016, 33(2): 108-112.
- [16] 胡屿, 罗伟, 陈静, 等. 贵州地质灾害时空分布特征及趋势[J]. 地质学刊, 2022, 46(3): 291-299.
- [17] 黄润秋, 李曰国. 三峡库区水平岩层岸坡变形破坏机制的数值模拟研究[J]. 地质灾害与环境保护, 1991, (2): 23-31.
- [18] 施成艳, 鹿献章, 刘中刚. 基于 GIS 的安徽黄山市徽州地区地质灾害易发性区划[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(1): 136-140.
- [19] 许强, 张一凡, 陈伟. 西南山区城镇地质灾害易损性评价方法——以四川省丹巴县城为例[J]. 地质通报, 2010, 29(5): 729-738.
- [20] 熊昌利, 陈亮, 魏昌利, 等. 滇西大理至瑞丽铁路龙陵段主要的地质灾害类型及其发育规律[J]. 地质通报, 2012, 31(Z1): 396-405.

- [21] 卢佳燕,李为乐,刘刚,等. 米林震后地质灾害空间分布特征及易发性分析[J]. 自然灾害学报,2019,28(2):183-190.
- [22] 屠水云,张钟远,付弘流,等. 基于CF与CF-LR模型的地质灾害易发性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报,2022,33(2):96-104.
- [23] 崔鹏,林勇明. 自然因素与工程作用对山区道路泥石流、滑坡形成的影响[J]. 灾害学,2007,84(3):11-16.
- [24] 刘洋,唐川,冯毅. 基于AHP-信息量法的地质灾害危险性评价[J]. 地球与环境,2013,41(02):173-179.
- [25] 姚静,任涛,翟星,等. 基于GIS和加权信息量模型的平山县地质灾害易发性评价[J]. 河北地质大学学报,2021,44(3):47-53.
- [26] 王成楠,宋勇,赵影,等. 基于加权信息量法和逻辑回归信息量法的定南县地质灾害易发性评价[J]. 东华理工大学学报(自然科学版),2022,45(6):569-580.
- [27] 李忠生. 国内外地震滑坡灾害研究综述[J]. 灾害学,2003,(4):64-70.
- [28] 李郎平,兰恒星,郭长宝,等. 基于改进频率比法的川藏铁路沿线及邻区地质灾害易发性分区评价[J]. 现代地质,2017,31(05):911-929.
- [29] 吴少元. 基于信息量模型的厦门市崩塌和滑坡地质灾害易发性评价[J]. 安全与环境工程,2019,26(3):22-27.
- [30] 魏东,杨德一. 基于GIS的秭归县地质灾害易发性分区评价[J]. 资源环境与工程,2020,34(S1):33-38.
- [31] Polykretis C, Chalkias C. Comparison and evaluation of landslide susceptibility maps obtained from weight of evidence, logistic regression, and artificial neural network models[J]. Natural Hazards,2018,93(1):249-274.
- [32] 陈立华,李立丰,吴福,等. 基于GIS与信息量法的北流市地质灾害易发性评价[J]. 地球与环境,2020,48(4):471-479.

作者简介: 皮茂强(1986—),男,高级工程师,主要从事自然资源管理、地质灾害调查及评价工作。E-mail:510060107@qq.com

通信作者: 肖欣(1969—),男,高级工程师,主要从事地质灾害防治、生态修复方向研究,贵州省省级地质灾害防治核心专家。
E-mail:834252950@qq.com