

基于信息量模型法的石阡县地质灾害易发性评价

张云波¹, 曾磊², 付弘流³, 张钟远⁴

(1. 中化地质矿山总局贵州地质勘查院, 贵阳 550003; 2. 重庆市生态环境科学研究院, 重庆 401147;
3. 铜仁市自然资源局, 铜仁 554300; 4. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650031)

摘要: 以贵州省石阡县为研究区, 选取 8 个影响地质灾害发育的因素作为评价因子。采用信息量模型法对各评价因子进行信息量计算, 将区域地质灾害易发性划分为低、中、高、极高易发区 4 个等级, 分别占研究区面积的 21.08%、35.13%、25.53%、18.27%。结果表明: 石阡县地质灾害低、中、高、极高易发性面积分别为 457.99 km²、763.30 km²、554.76 km²、396.95 km², 占比分别为 21.08%、35.13%、25.53%、18.27%, AUC 表征评价精度为 76.4%, 评价效果较好, 为石阡县防灾减灾提供科学依据。

关键词: 地质灾害; 易发性评价; GIS; 信息量模型; 石阡县

中图分类号: P56; P694 **文献标识码:** A

EVALUATION OF GEOLOGICAL HAZARD SUSCEPTIBILITY IN SHIQIAN COUNTY BASED ON INFORMATION MODEL METHOD

ZHANG Yun-bo¹, ZENG Lei², FU Hong-liu³, ZHANG Zhong-yuan⁴

(1. Guizhou Geological Exploration Institute, Sinochem General Administration of Geology and mines, Guiyang, Guizhou 550003, China;

2. Chongqing Academy of Ecological and Environmental Science, Chongqing 401147, China;

3. Tongren Natural Resources Bureau, Tongren, Guizhou 554300, China;

4. School of Land and Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650031, China)

Abstract: Taking Shiqian County in Guizhou Province as the study area, eight factors affecting the development of geological hazards were selected as evaluation factors. The information amount model method is used to calculate the information amount of each evaluation factor, and the susceptibility of regional geological disasters is divided into 4 levels of low, medium, high, and extremely high-prone areas, accounting for 21.08%, 35.13%, and 25.53% of the study area respectively. , 18.27%. The results show that the low, medium, high, and extremely high susceptibility areas of geological disasters in Shiqian County are 457.99 km², 763.30 km², 554.76 km², and 396.95 km², respectively, accounting for 21.08%, 35.13%, 25.53%, and 18.27%, respectively. AUC characterization The evaluation accuracy is 76.4%, and the evaluation effect is good, providing a scientific basis for disaster prevention and mitigation in Shiqian County.

Key words: geological disasters; susceptibility assessment; GIS; information model; Shiqian county

地质灾害广泛分布于世界各地。近几十年来,地质灾害发生的频率和强度迅速增加。几乎每个国家或地区都发生过重大地质灾害事件,特别是在发展中国家尤为严重^[1]。在中国,地质灾害评价已经发展成为一个行业,防灾减灾的需求也更加多样化^[2]。所以进行区域地质灾害易发性评价,具有重要的现实意义。

国内外地质灾害易发性评价数学模型主要有:基于统计学方法的确定性系数法、证据权重法、信息量法、支持向量机法、模糊评判法、线性回归分析法等,基于非统计学方法的专家打分法、层次分析法,以及多种方法耦合分析等^[3,4]。其中信息量算法稳定性较好,可以解决地质灾害诱发因素多、难以量化的问题,因此在地质灾害易发性评价中得到了广泛的应用^[5]。所以,本文采用信息量模型对石阡县地质灾害进行易发性区划,为石阡县防灾减灾提供科学依据。

1 研究区概况

石阡县位于贵州省东北部,铜仁市西南部,辖18个乡镇,国土面积为2 173 km²(27.28°~27.72°N, 107.75°~108.57°E,海拔424~1 858 m)。研究区出露的岩性主要为灰岩、砂岩、白云岩、泥岩、页岩及第四系松散堆积物。该区地质灾害主要以滑坡、不稳定斜坡、崩塌、泥石流为主,其中滑坡和不稳定斜坡主要为大型、特大型,崩塌、泥石流以中小型为主。滑坡和崩塌主要分布在山缘地带,泥石流主要沿河流两岸发育。据石阡县地质灾害排查项目统计:截止2019年6月,区内历史地质灾害99处,其中以滑坡居多(占地灾总量78.8%),其次为不稳定斜坡、崩塌、泥石流(分别占10.1%、9.1%、2%)(表1、图1)。

表1 石阡县地质灾害统计

地质灾害类别	地质灾害点/个	占比/%
滑坡	78	78.8
不稳定斜坡	10	10.1
崩塌	9	9.1
泥石流	2	2
合计	99	100

2 信息量模型

信息量模型是进行区域地质灾害易发性评价的一种有效方法,获得地质灾害信息的数量和质量决定评价的准确性,信息量值越大,表明地质灾害易发性程度越高^[6]。

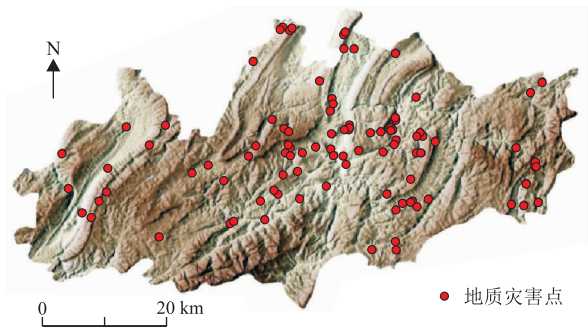


图1 石阡县地质灾害分布

信息量模型可表示如下:

$$I(Y, x_1, x_2, \dots, x_n) = \ln \frac{P(Y, x_1, x_2, \dots, x_n)}{P(Y)}$$

式中, $I(Y, x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为因子组 x_1, x_2, \dots, x_n 对地质灾害提供的信息量; $P(Y, x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为在因子组合 x_1, x_2, \dots, x_n 条件下地质灾害发生的概率; $P(Y)$ 为地质灾害发生的概率。根据条件概运算,可进一步写成: $I(Y, x_1, x_2, \dots, x_n) = I(Y, x_1) + I_{x_1}(Y, x_2) + \dots + I_{x_1, x_2, \dots, x_{n-1}}(Y, x_n)$, 式中: $I_{x_1}(Y, x_2)$ 为在因子 x_1 存在时,因子 x_2 对地质灾害提供的信息量。

在实际计算中通常使用样本统计来计算信息量。首先计算各因子对地质灾害发生的信息量,然后将其求和得到总信息量,计算公式如下:

单个因子信息量计算公式:

$$I(Y, X_i) = \ln \frac{N_i/N}{S_i/S}$$

式中, N_i 为在因子 X_i 特定类别 x_i 内的地质灾害点个数; N 表示研究区域地质灾害发生的灾害点总数; S_i 为研究区含有评价因子 x_i 的面积; S 为研究区评价单元总面积。

总信息量计算公式:

$$I_j = \sum_{i=1}^n I(Y, X_i) = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S}$$

式中, I_j 为总信息量,值越大越容易发生地质灾害。

3 评价因子

3.1 数据来源

地质灾害数据来源于中化地质矿山总局贵州地质勘查院的石阡县地质灾害排查项目;高程来源于地理空间数据云 ASTER GDEM V2 数据,分辨率为 30 m;坡度、坡向通过 ArcGIS 表面分析获得;河流、道路数据源于借助 Google 影像地图矢量化;地层岩性和断裂数据来源于石阡县地质图矢量化处理;土地利用类型数据来源于 FROM-GLC,分辨率为

为 10 m。

3.2 评价因子分析

本文通过收集影响地质灾害发生的相关基础数据,最终选取工程地质岩组、土地利用类型、高程、坡度、坡向、断层、道路、河流 8 个影响因子进行地质灾害易发性评价。离散型因子根据已有的分类标准,如:工程地质岩组、土地利用类型。连续型因子高程、坡度、坡向、距断裂、道路和河流的距离分级采用细化等间距的分级方式,结合区间内的灾害密度进行分级。从影响地质灾害发育单因素考虑,理论上距离断层、河流、道路越远,地质灾害密度应呈减小的反比关系,但实际地质灾害的发生往往是多因素导致,灾害密度曲线在局部可能出现随着距离断层、

河流、道路越远而增长的正比关系,为避免分类不合理导致总体规律不明显,需多次尝试不同间距分级。最终将断层距因子按 500 m 等间距分为 5 类,道路距因子按 200 m 分为 6 类,河流距因子按 250 m 等间距分为 5 类。

(1) 工程地质岩组

不同岩性的物理力学性质不同,导致地质灾害在不同岩层中的发育程度不同。软岩形成的软弱结构面对地质灾害的发生有着一定的控制作用^[7]。统计结果如图 2(a),地质灾害多发生在软质岩类达 64 个,松散岩土类地质灾害发育密度最大达 0.228 个/ km^2 。值得注意的是软硬相间岩类地质灾害达 18 个,密度为 0.087 个/ km^2 ,该岩类易发生滑坡。

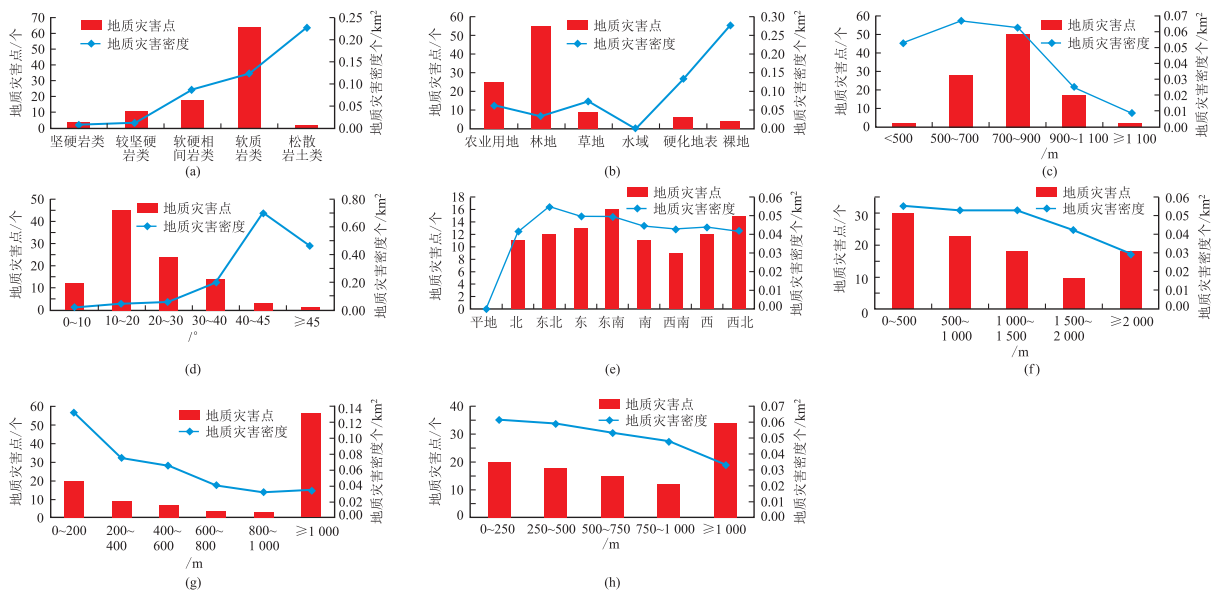


图 2 (a~h) 地质灾害个数与密度图

(2) 土地利用类型

研究区土地利用类型主要为农业用地、林地、草地、水域、硬化地表、裸地,地质灾害分布如图 2(b)所示。调查统计显示研究区水域区无地质灾害发育。林地地质灾害发育数量最多达 53 个,但其发育密度除水域外最低仅为 0.033 个/ km^2 。裸地地质灾害发育密度最大其值为 0.276 个/ km^2 ,如图 2(b)所示。

(3) 高程

不同高程范围内植被类型及人类活动强度差异都影响着岩土体的稳定性^[8]。将高程分为 5 个区间,结果如图 3(c)所示。地灾点在 700~900 m 高程范围内灾点数最多达 50 个,其中高程 500~700 m 内地质灾害密度高达 0.067 个/ km^2 ,高程大于 1100 m 地质灾害发育较少,分布密度仅为 0.009

个/ km^2 ,如图 2(c)所示。

(4) 坡度

坡度不仅影响着斜坡内的应力分布,而且控制着斜坡上松散堆积物的厚度,影响斜坡的稳定性^[9]。基于 GIS 提取研究区的坡度,并将其分为 6 个类别,结果如图 3(d)所示。研究区坡度在 $0^\circ \sim 60^\circ$ 之间,大部分地区的坡度小于 20° ,说明该地区存在着陡峭的山体,也存在一定的平坦区域,大部分地质灾害发生在 10° 至 40° 范围内达 83 个,其密度在 $40^\circ \sim 45^\circ$ 之间达到最大为 0.703 个/ km^2 ,如图 2(d)所示。

(5) 坡向

不同坡向与岩层倾向的空间组合关系不同,对斜坡的稳定性有一定影响^[10]。基于 GIS 提取研究区的坡向,将其分为 9 个类别,如图 3(e)所示。在

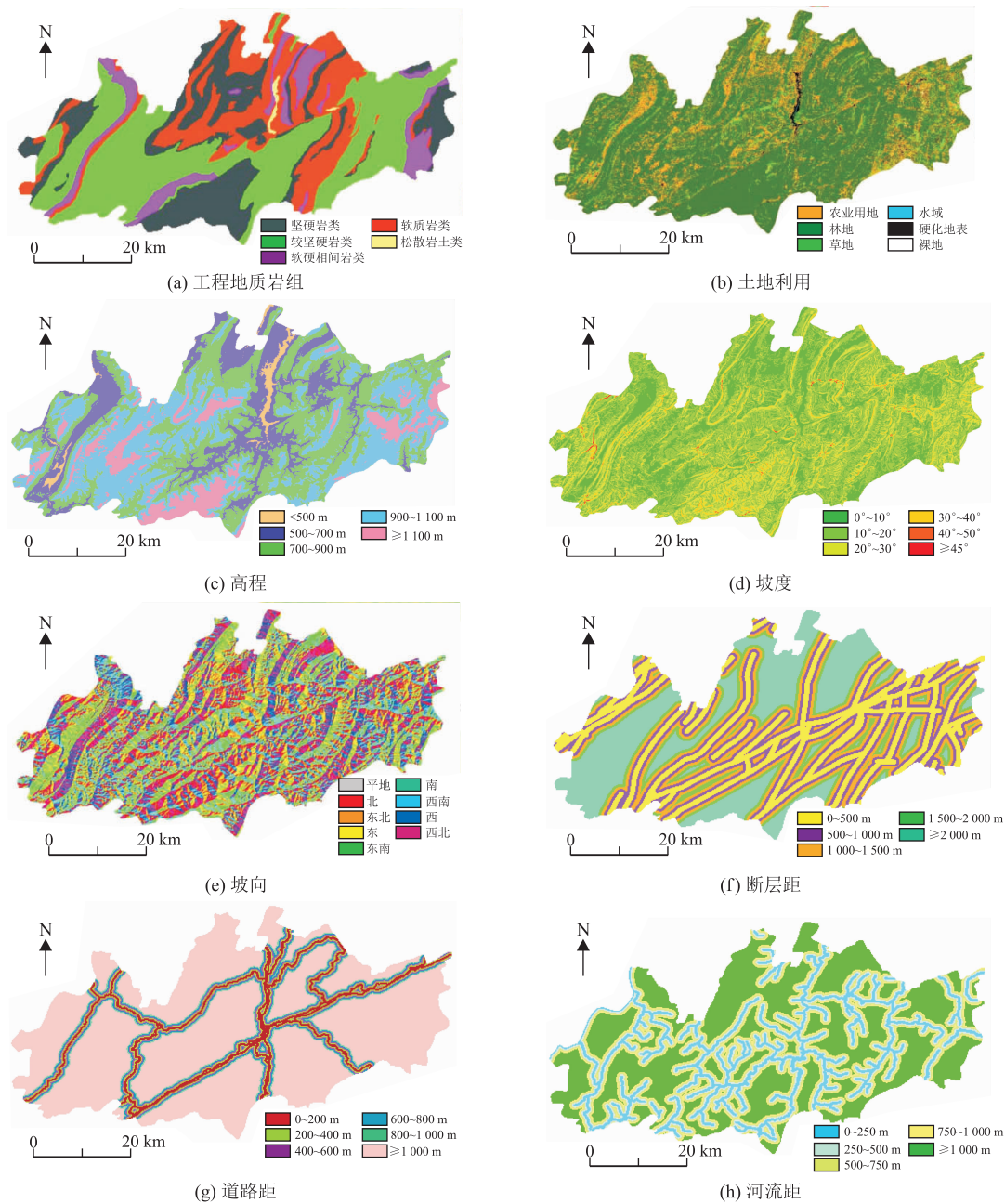


图 3 (a~h)评价因子分级

东南和西北方向地质灾害发育最多分别为 16 个、15 个,其中东北方向分布密度最大为 0.055 个/ km^2 ,在平面上无地质灾害分布,如图 2(e)所示。

(6) 断层距

断层附近岩土体往往比较破碎,破碎的岩土体极易发生地质灾害。基于 GIS,将距断层距离分为 5 类缓冲区,结果如图 3(f)所示。地质灾害密度与距断层距离呈反相关,距离越远发育密度越小。说明距断层越远发生地质灾害的可能性越小。如图 2(f)所示。

(7) 道路距

道路修建开挖坡脚、破坏植被,改变斜坡应力分

布易引发地质灾害^[11]。基于 GIS,将距道路距离分为 6 类缓冲区,如图 3(g)所示。地质灾害主要分布在距道路 600 m 以内,高达 36 个,密度均大于 0.06 个/ km^2 。大于 800 m 地质灾害发育密度低,表明大于 800 m 后的地质灾害与修建道路影响不大。如图 2(g)所示。

(8) 河流距

河流的侵蚀作用改变地形地貌特征,沿水系的岩土体受河流侵蚀作用明显,容易发生地质灾害^[12]。基于 GIS,将距河流距离分为 5 类缓冲区,结果如图 3(h)。统计显示,距河流越近灾害点分布越密集,如图 2(h)所示。

4 地质灾害易发性评价

4.1 评价结果

各致灾因子的信息量如表 2 所示,通过对 8 个致灾因子的信息量叠加,并对地质灾害易发性结果进行区域统计分析,可得各易发区内主要的致灾因子的组合形式,结果如图 4 所示。

对研究区地质灾害易发性分区,基于 ArcGIS,首先给评价因子已分类的评级单元添加属性,将计算得到的信息量值输入属性,然后对各个评价因子的栅格进行按信息量叠加计算,最终得到石阡县地

质灾害易发性评价的综合信息量图层,其值域范围为-7.19~6.88。使用自然间断法将研究区信息量值划分为 4 个区间,分别为地质灾害低易发区、中易发区、高易发区、极高易发区,如图 4 所示。研究区极高、高易发区主要分布在中部及中部北段。研究区地质灾害低、中、高、极高易发性面积(占比)分别为:457.99 km²(21.08%)、763.30 km²(35.13%)、554.76 km²(25.53%)、396.95 km²(18.27%),地质灾害分布数量(占比)分别为:2 个(2.02%)、9 个(9.09%)、28 个(28.28%)、60 个(60.61%),如表 3 所示。

表 2 致灾因子信息量

评价因子	因子分级	地质灾害点 /个	分级面积 /km ²	信息量值	评价因子	因子分级	地质灾害点 /个	分级面积 /km ²	信息量值
岩组	坚硬岩类	4	543.932	-1.824	坡度/°	0~10	12	661.903	-0.921
	较坚硬岩类	11	895.478	-1.311		10~20	45	1 007.789	-0.020
	软硬相间岩类	18	206.034	0.651		20~30	24	425.746	0.213
	软质岩类	64	518.765	0.996		30~40	14	71.129	1.463
	松散岩土类	2	8.791	1.608		40~45	3	4.266	2.737
土地利用	农田,耕地	25	402.212	0.311	≥45	1	2.168	2.315	
	林地	55	1 584.626	-0.272	断层距 /m	0~500	30	544.281	0.121
	草地	9	122.348	0.361		500~1 000	23	439.392	0.094
	水域	0	3.713			1 000~1 500	18	341.517	-0.037
	硬化地表	6	45.612	1.060		1 500~2 000	10	236.532	-0.075
裸地	4	14.490	2.025	≥2 000		18	611.277	-0.149	
高程 /m	<500	2	37.694	0.152	道路距 /m	0~200	20	151.320	1.065
	500~700	28	418.655	0.384		200~400	9	119.361	0.504
	700~900	50	800.522	0.316		400~600	7	107.111	0.361
	900~1 100	17	689.987	-0.615		600~800	4	98.542	-0.115
	≥1 100	2	226.142	-1.639		800~1 000	3	93.781	-0.354
坡向	平面	0	14.540		≥1 000	56	1 602.885	-0.265	
	北	11	266.094	-0.097	河流距 /m	0~250	20	324.316	0.303
	东北	12	217.999	0.189		250~500	18	305.147	0.258
	东	13	262.561	0.083		500~750	15	281.471	0.157
	东南	16	321.371	0.089		750~1 000	12	249.608	0.054
	南	11	247.334	-0.024		≥1 000	34	1 012.459	-0.305
	西南	9	210.324	-0.063	注:坡向为平面、土地利用为水域时,地质灾害数为 0,理论信息量值为-∞,但并非不会发生地质灾害,所以其信息量值取同因子的计算结果值域内最小值				
	西	12	273.399	-0.037					
	西北	15	359.377	-0.088					

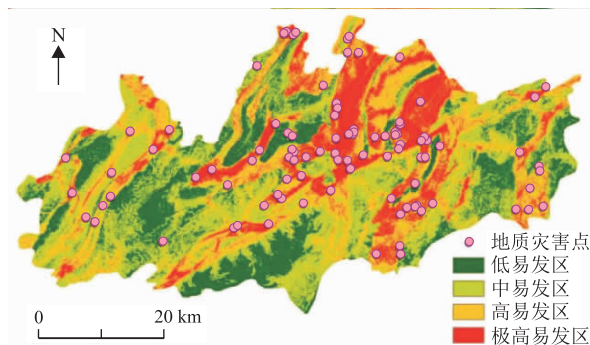


图 4 石阡县地质灾害易发性评价

表 3 不同易发性等级对应的实际灾害

易发性分区	地质灾害点 /个	灾害点占比/%	地质灾害密度个/km ²	分区面积 /km ²	面积占比/%
低	2	2.02	0.004	457.99	21.08
中	9	9.09	0.012	763.30	35.12
高	28	28.28	0.050	554.76	25.53
极高	60	60.61	0.151	396.95	18.27

4.2 精度评价

ROC 曲线可简单直观,且准确地反映分析方法特异性和敏感度的关系,广泛应用于地质灾害易发性评价中^[6]。AUC 值是评价质量的良好指示器,为

ROC曲线以下至横坐标的面积。若AUC为0.5~1,说明该模型是有效的,AUC值高,则模型精度高^[13]。石阡县地质灾害易发性评价的AUC值为0.764,表示评价精度为76.4%。说明基于信息量模型的石阡县地质灾害易发性评价具有较高的精度,如图5所示。

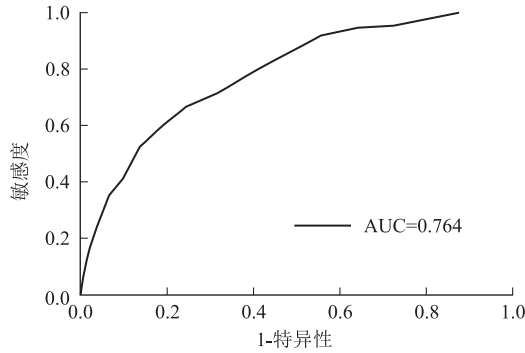


图5 ROC曲线与AUC值

结果显示,地质灾害在这4个易发区的分布数量(占比)分别为:2个(2.02%)、9个(9.09%)、28个(28.28%)、60个(60.61%),如表3所示。说明此次模型方法进行易发性评价效果较好。

5 结论

(1) 基于信息量模型,选取8个主要的致灾因子,借助GIS技术对石阡县地质灾害的易发性进行评价。通过计算不同因子对地质灾害的信息量,叠加计算获得该区地质灾害易发性分布图,将易发性分为低易发区、中易发区、高易发区和极高易发区4类。

(2) 石阡县地质灾害在具备以下特征的区域发育密度大:(a)岩组为软硬相间岩类、软质岩类、松散岩土类;(b)土地利用类型为裸地、硬化地表;(c)高程500~700 m区域;(d)坡度 40° ~ 45° 之间;(e)坡向为东北方向;(f)断层1 000 m、道路600 m、河流1 000 m范围内。

(3) 石阡县地质灾害易发性分为4个区,研究

区地质灾害低、中、高、极高易发性面积分别为:457.99 km²、763.30 km²、554.76 km²、396.95 km²,占比分别为:21.08%、35.13%、25.53%、18.27%,评价精度为76.4%,评价效果较好,能够为石阡县的防灾减灾提供一定的科学依据。

参考文献

- [1] Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M et al. Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy[J]. *Geomorphology*, 1999, 31(1):181-216.
- [2] 刘传正,陈春利. 中国地质灾害成因分析[J]. *地质论评*, 2020, 66(5):1334-1348.
- [3] DAI F C, LEE C F, NGAI Y Y. Landslide risk assessment and management: An overview[J]. *Engineering Geology*, 2002, 64(1):65-87.
- [4] 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.
- [5] 朱良峰,吴信才,殷坤龙,等. 基于信息量模型的中国滑坡灾害风险区划研究[J]. *地球科学与环境学报*, 2004, 26(3):52-56.
- [6] 张钟远,邓明国,徐世光,等. 镇康县滑坡易发性评价模型对比研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2022, 41(1):157-171.
- [7] 赵魁. 基于ArcGIS的云安区地质灾害易发性分区评价[J]. *地质灾害与环境保护*, 2020, 31(4):38-42.
- [8] 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.
- [9] 屠水云,张钟远,付弘流,等. 基于CF模型与CF-LR模型的地质灾害易发性评价[J/OL]. *中国地质灾害与防治学报*:1-10 [2021-10-29]. <http://gfffg.57c74b1cabbb4460hpw56pbn60cff6wf5.fgy.kust.cwkeji.cn/kcms/detail/11.2852.P.20210923.0126.002.html>.
- [10] 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, 22(3):11-16.
- [11] 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.
- [12] 刘传正. 中国崩塌滑坡泥石流灾害成因类型[J]. *地质论评*, 2014, 60(4):858-868.
- [13] 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: 张云波(1974—),男,贵州遵义人,学士,高级工程师,主要从事水工环地质方面的研究工作。E-mail:1729843045@qq.com

通讯作者: 曾磊(1987—),男,湖北武汉人,硕士,主要从事土壤污染修复与固体废物资源化利用研究工作。E-mail:657441108@qq.com