

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.03.14

基于GIS和加权信息量的湖北鄂州地质灾害易发性区划

张波,石长柏,肖志勇,张金朝,邬磊,习彪,卢胜周
(湖北省地质局第五地质大队,湖北黄石 435004)

摘要: 本文以湖北省地质灾害高易发区之一鄂州市为研究区,在鄂州市地质灾害详细调查的基础上,选取地貌单元、高差、坡度、工程地质岩组、断层、开矿活动6个影响因素,应用加权信息量模型,通过GIS空间分析平台,开展研究区易发性评价。研究表明:研究区划分为高易发、中易发、低易发三个区,分别占研究区面积的4.58%、13.59%、81.83%。通过受试者工作特征曲线(ROC)的线下面积(AUC)进行检验,其值为89.2%,评价精度较高。本文湖北省鄂州市为例开展地质灾害易发性评价、结果分析以及预测精度评价等,为湖北省内县域地质灾害易发性评价提供理论指导和技术参考。

关键词: GIS; 加权信息量; 地质灾害; 易发性

中图分类号: P694

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2018)03-0101-07

Geologic hazards susceptibility assessment in E'zhou City of Hubei Province based on GIS and weighted information value

ZHANG Bo, SHI Changbo, XIAO Zhiyong, ZHANG Jinzhao, WU Lei, XI Biao, LU Shengzhou
(The Fifth Geological Brigade of Hubei Geological Bureau, Huangshi, Hubei 435004, China)

Abstract: Based on the detailed investigation of geological disasters in E'zhou City, this paper made an susceptibility assessment of the geological disasters in E'zhou City, Hubei Province. Six influence factors were chosen to be the evaluation indices including the geomorphic unit, the altitude difference, the gradient, the engineering geological group, the engineering geology, and mine mining. Based on GIS data model, a weighted information value model is used to carry out the evaluation of the research area. The results show that the study area was classified into three categories, high susceptibility zone, middum medium susceptibility zone, and low susceptibility zone, taking an area proportion of 4.58%, 13.59%, 81.83%, respectively. The value of the AUC (Area Under Curve) of ROC (Receiver Operating characteristic Curve) was 89.2%, showing that accuracy of assessment was reasonable. This paper descibes the theoretical methods and technical route for the regional geological disasters susceptibility evaluation assessment in the district. The research provides provides a theoretical guidance and technical reference for the nationwide county geological hazards evaluation.

Keywords: GIS; weighted information value; geological hazards; susceptibility

0 引言

湖北省鄂州市地貌类型为鄂东丘陵地貌,区内地质条件复杂,雨量充沛,矿产资源开发、交通与城市建

设等人类工程活动强烈,地质灾害发育,是湖北省地质灾害高易发区之一。地质灾害类型有崩塌、滑坡、不稳定斜坡、地面塌陷等,尤以地面塌陷最为突出,造成了严重危害与经济损失。

收稿日期: 2017-08-10; 修订日期: 2017-08-28

基金项目: 湖北省国土资源厅鄂州市地质灾害详细调查

第一作者: 张波(1988-),男,湖北汉川人,硕士研究生,助理工程师,主要从事地质灾害详细调查与风险评价工作。E-mail: boby2015@cug.edu.cn

1 加权信息量地质灾害评价模型

随着3S技术的迅速发展,大大改进和提高了地学传统研究手段。基于GIS技术的地质灾害易发性评价是地质灾害危险性和风险性评价的基础,是现有和潜在地质灾害风险评估的有效工具,其评价结果可用于防灾减灾、土地利用和基础设施规划等领域^[1]。

目前,常用的地质灾害易发性评价模型包括:信息量法(朱良峰,2004)^[2]、Logistic回归法(李雪平,2005)^[3]、考虑时间效应的地质灾害评估(李典庆,2007)^[4]、趋势面分析法(李晓聪,2007)^[5]、概率指数模型(李家存,2007)^[6]、BP神经网络模型(吴益平,2005)^[7]、遗传神经网络(王国峰,2008)^[8]、AHP层次分析法(岳超俊等,2009;姚玉增等,2010)^[9-10]、确定性系数法(许冲等,2010)^[11]、证据权法(范强等,2014)^[12]、RS-SVM模型法(安凯强等,2016)^[13]、CF和Logistic模型法(田春山)^[14]等方法。综上所述,已有研究在选择影响因素的过程基本上契合研究区地质环境特点以及充分考虑他们对灾害体本身的影响权重,并在此基础上建立了符合研究区灾害特征的评价指标体系。

信息量模型属于统计分析模型的一种,于其物理意义明确、操作简单,在地质灾害易发性评价的研究和实践中得到了广泛的应用。但是该模型未考虑各评价因子在地质灾害发生过程中所起作用的大小,不能反映不同因子影响程度的差异。因此,为了更加科学合理的易发性评价应考虑对各个影响因子赋予权重与信息量相乘后得到加权信息量。本文结合信息量法和层次分析法的优点,采用加权信息量法评价其指标,最终得到易发性的划分结果,模型可以表述如下^[15]:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \log_2 \frac{S_0^i / S^i}{A_0 / A} \quad (1)$$

式中, I ——预测区某单元信息量预测值;

I_i ——值的大小直接说明该单元产生地质灾害的可能性,是地质易发性区划的重要性指标;

W_i ——第*i*个评价因子的权重值;

S^i ——因素 x_i 所占单元总面积;

S_0^i ——因素 x_i 单元中发生地质灾害的单元面积之和;

A ——区域内单元总面积;

A_0 ——已经发生地质灾害的单元面积之和。

2 研究区概况

鄂州市位于湖北省东南部,长江中游南岸,东经 $114^{\circ}30' \sim 115^{\circ}05'$,北纬 $30^{\circ}01' \sim 30^{\circ}36'$,南北长约67 km,东西宽约48 km,西与武汉市接壤,东至西南与

黄石市毗连,北临长江与黄冈市隔江相望,版图形状酷似三叶草(图1)。该区属亚热带季风气候特征,四季分明,雨量充沛,阳光充足。鄂州市发育地质灾害主要包括地面塌陷、滑坡和不稳定斜坡等,由于灾害体多位于人口集中、房屋密集地带,在极端暴雨的触发下,在一定程度上制约当地社会经济的发展。

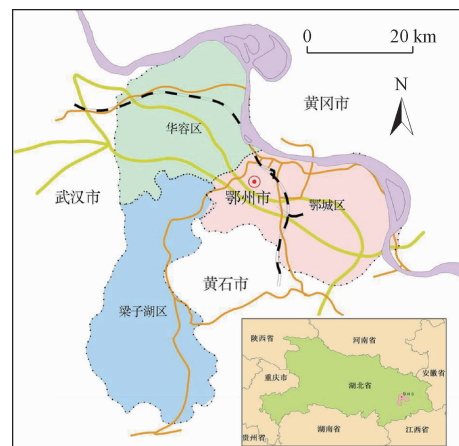


图1 研究区交通位置图

Fig. 1 The traffic location map of the research area

3 基于GIS的地质灾害易发性评价

基于GIS的地质灾害易发性评价采用的空间数据主要包括鄂州市1:5万地形图、1:5万地质图、1:5万地质灾害分布图。

3.1 评价单元划分

本文采用栅格单方法评价。研究区面积为1 505 km²。对于不同比例尺的要求栅格大小也有差别^[16],根据栅格大小经验公式:

$$G_s = 7.49 + 0.000\ 6S - 2.0 \times 10^{-9} S^2 + 2.9 \times 10^{-15} S^3 \quad (2)$$

式中: G_s ——适宜网格大小;

S ——地图数字比例尺分母。

对于1:50 000比例尺地形图,由式(2)计算出最佳网格单元为32.52 m,为了方便数据在ArcGIS中处理和分析,本文以30 m×30 m栅格单元为最小评价单元,共1 763 803个栅格单元,在此基础上开展易发性评价。

3.2 评价指标及其权重的确定

根据评价区内自然地质环境特征与物理地质事件的分布规律及形成条件,对于地质灾害易发性的分析评价过程中初步选取地貌单元、高差、坡度、工程地质岩组、地质构造及采矿活动6个因素作为评价因子(图2)。各自的因子信息量计算(各个因子区间的地质灾害单元数与整个研究区内地质灾害单元数之比),总栅格比例(各因子区间的因子占整个区间的比)(图3)。

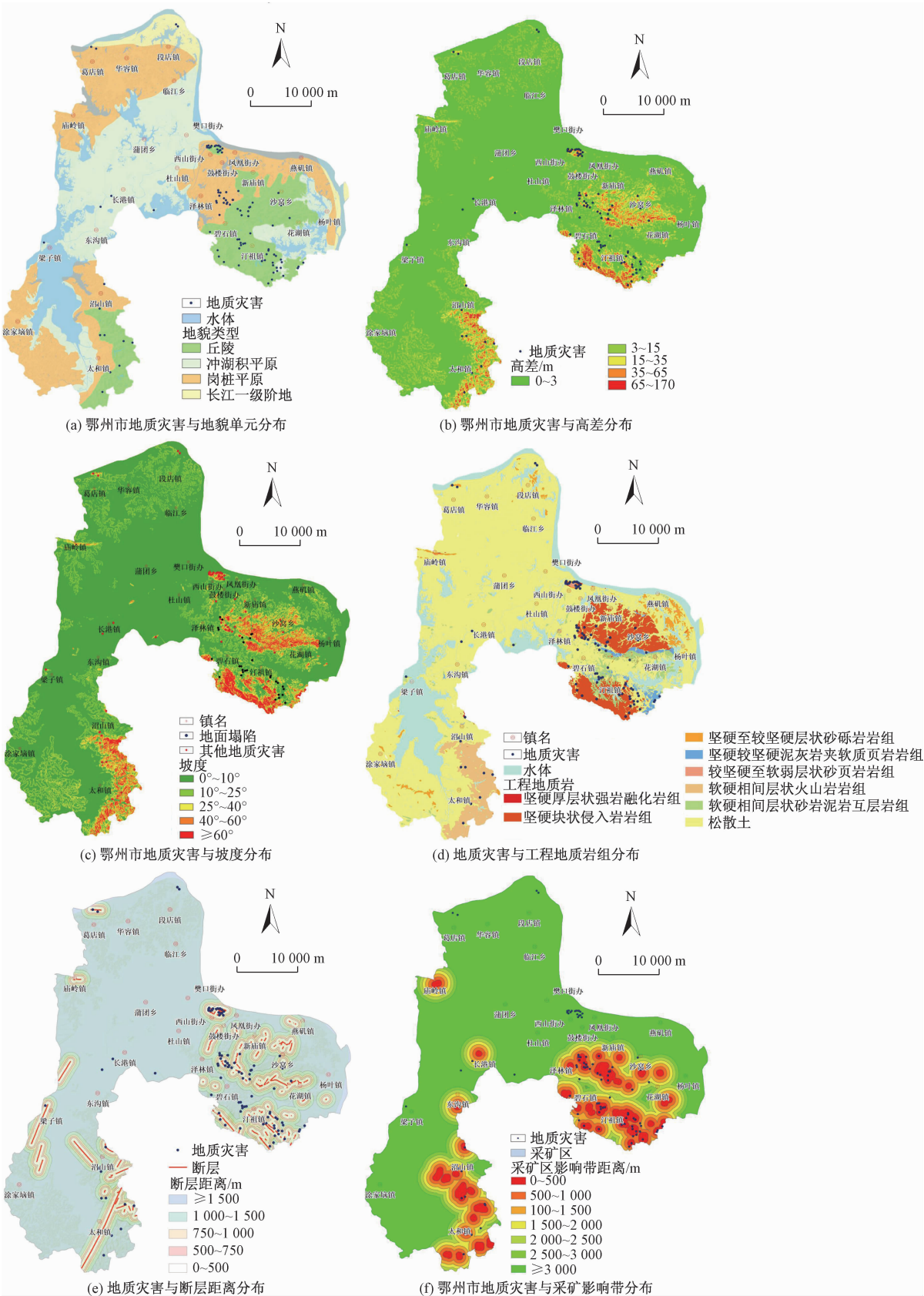


图 2 地质灾害影响因子分级图

Fig. 2 Classification diagram of the impact factor of geological disasters

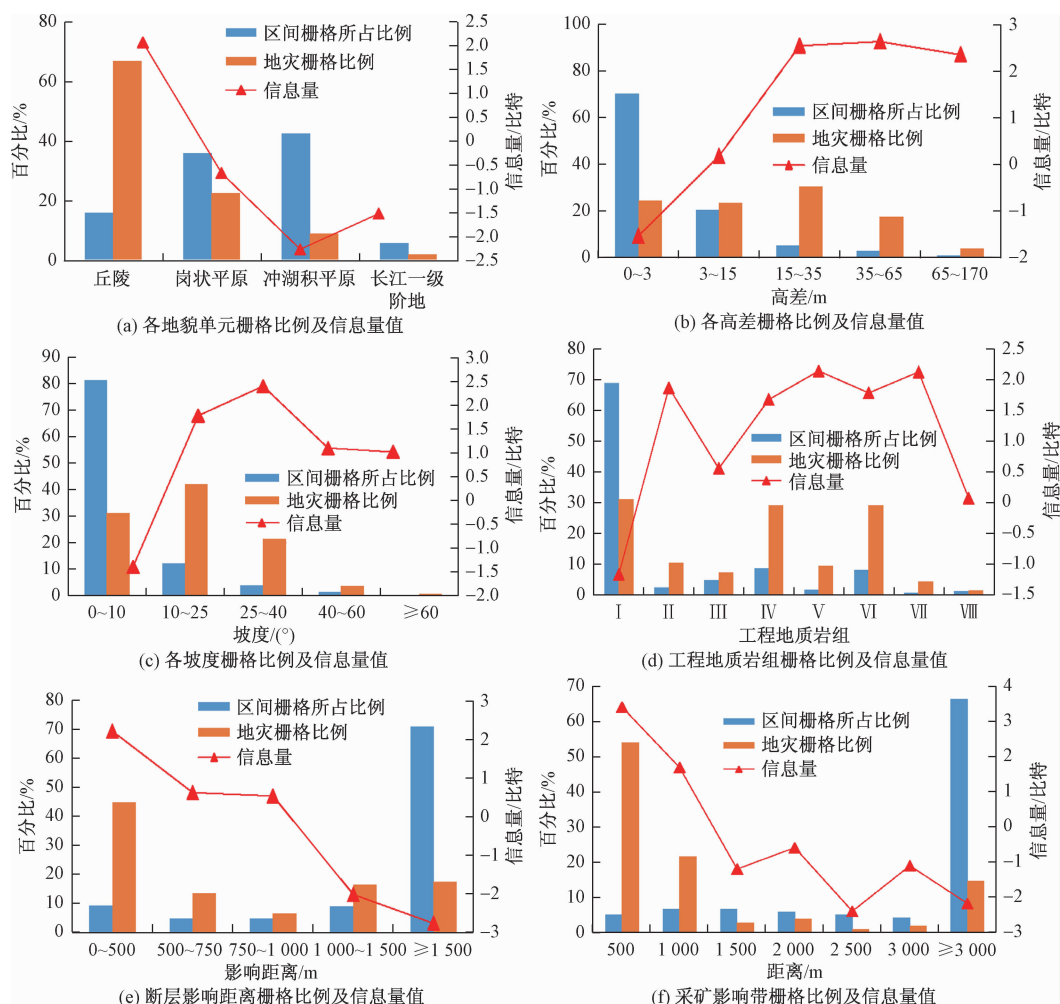


图 3 影响因子灾害数量、加权信息量相关性统计图

Fig. 3 Correlation graph between the impact factor number of disasters and weighted information values

(1) 地貌单元。鄂州市地貌单元分为丘陵、冲湖积平原、岗状平原、长江一级阶地(图 2a)。利用 ArcGIS 软件提取各地貌单元类型的栅格数比例及其相对应地质灾害栅格数比例(图 3a),根据信息量模型分别计算其信息量。评价区内最有利于发生地质灾害是丘陵地区,单元内地灾发生比例为 66.67%。

(2) 高差。通过 ArcGIS 邻域分析提取得到鄂州市区域的高差图(图 2b),如图 3b 评价区内最有利于发生地质灾害的高差是 15~35 m,其栅格数占总栅格的 5.00% 发生地质灾害比例约 30%。

(3) 坡度。通过 ArcGIS 将评价区分为 5 个坡度等级(图 2c)。对于坡度而言,评价区最有利于地质灾害发生的是 25°~40°,其栅格数占总栅格的 4.11%,发生地质灾害比例为 21.57%,提供的信息量为 2.39(图 3c)。

(4) 工程地质岩组。根据鄂州市工程地质情况,划分为 8 个岩土体类型(图 2d):松散岩组(I),软硬相间层状砂岩泥岩互层(II),软硬相间层状火山岩岩

组(III),较坚硬至软弱层状砂页岩岩组(IV),坚硬至较坚硬层状砂砾岩岩组(V),坚硬块状侵入岩岩组(VI),坚硬较坚硬至中厚层状强至中等岩溶化灰岩、泥灰岩夹软质页岩岩组(VII),坚硬厚层状强岩溶化岩组(VIII)。如图 3d 所示,评价区最有利于地质灾害发生的是 V,其栅格数占总栅格的 2.21%,发生地质灾害比例为 9.80%,提供的信息量为 2.15。

(5) 地质构造(断层)。根据鄂州市断层的发育规模及影响范围,利 ArcGIS 的多环缓冲功能得到断层影响带分布图(图 2e)。评价区内最有利于地质灾害发生的是在断层发育 0~500 m 内,其栅格数占总栅格的 15.25%,发生地质灾害比例为 70.59%,提供的信息量为 2.21(图 3e)。

(6) 采矿活动。采矿活动是鄂州市地质灾害发生最主要因素。因矿山开采引发的地质灾害问题最为突出,矿区采空区较多,诱发地质灾害较多。根据鄂州市采矿活动的发育规模及影响范围,利 ArcGIS 的多环缓

冲功能得到采矿活动影响带分布图(图 2f)。评价区内最有利于地质灾害发的是在采矿区 0~500 m 范围内,其栅格数占总栅格的 5.13%,发生地质灾害比例为 53.9%,提供的信息量为 3.39(图 3f)。

为保证预测因素能满足信息量模型的要求,必须通过因素之间的相互独立性验证和综合分析研究区内的现状来剔除相关性较大的因素。因此,为了准确计算初选因子的互相关系数,可以利用 ArcGIS 波段集统计工具中栅格波段集多元分析提供各图层因素之间的相关系数矩阵(表 1)。

表 1 图层因素之间的相关系数矩阵
Table 1 The correlation coefficient between the matrix layer factors

一级评价指标	地貌单元	高差	坡度	工程地质岩组	地质构造	采矿活动
地貌单元	1.00					
高差	-0.47	1.00				
坡度	-0.46	0.14	1.00			
工程地质岩组	0.43	-0.46	-0.35	1.00		
地质构造	0.45	-0.31	-0.32	0.33	1.00	
采矿活动	0.46	-0.42	-0.44	0.38	0.39	1.00

综合表 1 和表 2 中可以看出各指标都在低度相关范围内。应用层次分析法对所选的 6 个评价指标进行

分析,划分的有序层次,建立评价模型层次结构。按照各评价因子自己的内在关系,通过相关专家经验及鄂州市地质灾害的实际情况,对各因子进行两两比较建立判断矩阵,进行层次排序,确定各因子的权重值,并进行一致性检验,得到易发性评价因子判断矩阵(表 3),加权信息量表(表 4)。

表 2 相关性划分标准
Table 2 The standard of correlation classification

高度相关	中度相关	低度相关	不相关
$r \geq 0.8$	$0.5 \leq r < 0.8$	$0.3 \leq r < 0.5$	$r < 0.3$

表 3 地质灾害易发性评价因子判断矩阵
Table 3 Judgment matrix of evaluation factor for geohazards susceptibility

地质灾害	地貌单元	高差	坡度	工程地质岩组	地质构造	采矿活动
地貌单元	1	1/3	1/5	1/5	1/5	1/6
高差		1	3	1/3	1/3	1/5
坡度			1	1/3	1/3	1/3
工程地质岩组				1	1/2	1/3
地质构造					1	1/2
采矿活动						1

备注:一致性比例:0.089 7;对“地质灾害”的权重:1.000 0;λmax:6.564 9

表 4 地质灾害影响因子加权信息量表
Table 4 Weighted information values of impact factors for geological hazards

一级指标	权重(W_i)	二级指标	变量	信息量	排序	一级指标	权重(W_i)	二级指标	变量	信息量	排序
F1 地貌单元	0.041 5	丘陵	x_1	2.061 5	1	F4 工程地质岩组	0.126 6	Ⅳ	x_{18}	2.511 6	1
		冲湖积平原	x_2	-0.670 1	2			Ⅴ	x_{19}	-0.857 4	8
		岗状平原	x_3	-2.268 5	4			Ⅵ	x_{20}	0.935	5
		长江一级阶地	x_4	-1.523 1	3			Ⅶ	x_{21}	2.239 5	3
		$F2 \leq 3$	x_5	-1.53	5			Ⅷ	x_{22}	-0.776 9	7
F2 高差/m	0.104 3	$3 < F2 \leq 15$	x_6	0.19	4	F5 地质构造(断层缓冲距离 m)	0.138 4	$F5 \leq 500$	x_{23}	2.211 1	1
		$15 < F2 \leq 35$	x_7	2.56	2			$500 < F5 \leq 750$	x_{24}	0.631 6	2
		$35 < F2 \leq 65$	x_8	2.65	1			$750 < F5 \leq 1\ 000$	x_{25}	0.543 3	3
		$65 < F2 \leq 170$	x_9	1.018 7	3			$1\ 000 < F5 \leq 1\ 500$	x_{26}	-1.991	4
		$F4 \leq 10$	x_{10}	-1.372 9	5			$F5 > 1\ 500$	x_{27}	-2.734 6	5
F3 坡度/(°)	0.071 7	$10 < F4 \leq 25$	x_{11}	1.775	2	F6 采矿活动(缓冲距离 m)	0.37 1	$500 < F6 \leq 1\ 000$	x_{29}	1.683 4	1
		$25 < F4 \leq 40$	x_{12}	2.391 3	1			$1\ 000 < F6 \leq 1\ 500$	x_{30}	-1.196 9	4
		$40 < F4 \leq 60$	x_{13}	1.097 6	3			$1\ 500 < F6 \leq 2\ 000$	x_{31}	-0.591 4	2
		$F4 > 60$	x_{14}	1.018 7	4			$2\ 000 < F6 \leq 2\ 500$	x_{32}	-2.389 9	6
F4 工程地质岩组	0.126 6	I	x_{15}	0.453 8	6			$2\ 500 < F6 \leq 3\ 000$	x_{33}	-1.102 8	3
		II	x_{16}	2.494	2			$F6 > 3\ 000$	x_{34}	-1.432 5	5
		III	x_{17}	2.156 6	4						

3.3 易发性结果效果检验

易发性结果的有效性可以由受试者工作特征曲线(ROC)进行定量检验,其曲线下方面积(AUC)被用来评价模型的精度^[17]。本文以信息量值从高到低的区

域累计栅格与总栅格的百分比作为横轴,以对应信息量区间内地质灾害累计栅格与地质灾害总栅格百分比为纵轴,得到一个经过(0,0),(1,1)的曲线(如图 4、表 5),曲线下面积为 89.2%。说明地质灾害绝大部分

发生在高易发区和中易发区,易发性评价结果有效性较好(图 5)。

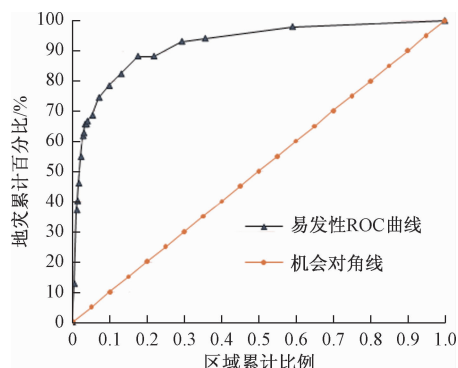


图 4 地质灾害易发性评价结果 ROC 图

Fig. 4 ROC graph for the Geological hazards assessment

表 5 易发性分区结果统计表

Table 5 The statistical table of susceptibility zonation result

易发性分区	信息量分级	栅格总数	面积/(km ²)	面积百分比	灾害点/处	点密度/(处/km ²)
高易发区	$I > 2.58$	68 147	72.93	4.85%	69	0.93
中易发区	$-0.57 < I < 0.82$	58 692	204.54	13.59%	27	0.13
低易发区	$I < -0.58$	1 545 383	1 227.53	81.56%	6	0.05

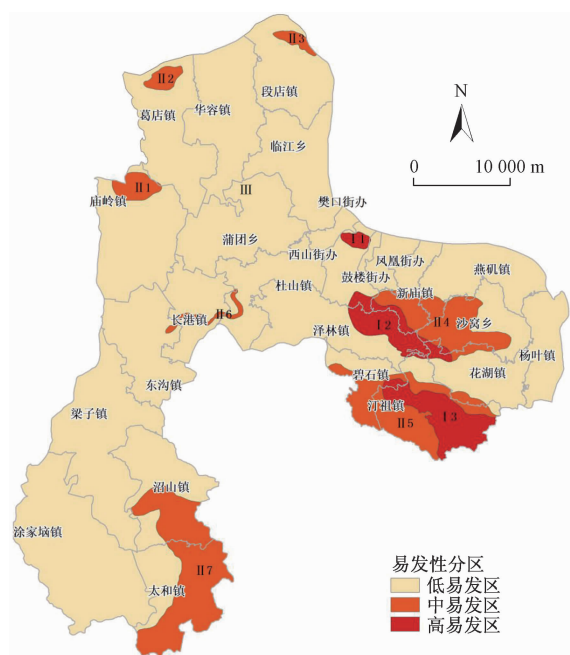


图 5 地质灾害易发性分区图

Fig. 5 The zonation map of geohazards susceptibility

4 结论

本文以鄂州市地质灾害易发性为研究对象,选取地貌单元、高差、坡度、工程地质岩组、地质构造以及开矿

活动 6 个影响因素作为评价因子,采取基于 GIS 的加权信息量评价模型对研究区的地质灾害易发性评价。

(1)对各因子的加权信息量分析表明:地质灾害多发育于丘陵地区,高差 15 ~ 35 m、坡度在 25° ~ 40° 区域及岩组为松散岩组区域;地质灾害易发性随在距离采矿范围及断层距离的减小而增大。

(2)根据加权信息量法,把鄂州市地质灾害易发性划分出高、中、低易发 3 个大区,11 个亚区(图 5)。全市高易发区面积 72.93 km²,主要分布于西山雷山地区、泽林镇以及汀祖镇地区,占全市总面积的 4.58%,点密度 0.93 处/km²。全市中易发区总面积 204.54 km²,主要分布于新庙镇、沙窝镇、碧石渡镇及梁子湖区丘陵地区,占全市面积的 13.59%,点密度 0.135 处/km²。其他地区为低易发区面积 1 227 km²,占整个评价区的 81.83%。

(3)评价结果经检验,本次地质灾害易发性评价结果 ROC 曲线 AUC 值达 89.2%,具有较高的准确性,评价结果为全省内县域地质灾害易发性评价提供理论指导和技术参考。

参考文献:

- [1] 陈燕平. 基于 GIS 的贵州省滑坡地质灾害易发性多模型综合评价[D]. 长沙:中南大学,2010.
CHEN Yanping. Based on GIS and the multi-model comprehensive evaluation of landslide geological hazard in Guizhou Province [D]. Changsha: Centeal South University,2010.
- [2] 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.
ZHU Liangfeng, WU Xincal, YIN Kunlong, et al. Risk zonation of landslide in China based on information content model [J]. Journal of Earth Sciences and Environment,2004,26(3):52-56.
- [3] 李雪平. 基于 GIS 的区域斜坡稳定性评价 Logistic 回归模型研究[D]. 武汉:中国地质大学(武汉),2005.
LI Xueping. Study on logistic regression model applied to regional slope stbaility evaluation based on GIS [D]. Wuhan: China University of Geoseienees (Wuhan),2005.
- [4] 李典庆,吴帅兵. 考虑时间效应的滑坡风险评估和管理[J]. 岩土学,2006,27(12):2239-2245,2249.
LI Dianqing, WU Shuaibing. Landslide risk assessment and management considering time effect

- [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2006, 27(12): 2239 – 2245 + 2249.
- [5] 李晓聪. 趋势面分析法在地质灾害危险性区划中的应用——以山西省绛县为例[D]. 太原: 太原理工大学, 2007.
- LI Xiaochong. The application of the tendency analysis method in the geology disaster danger; take the Jiang country of Shanxi Province [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2007.
- [6] 李家存, 李京, Jasmi. 基于概率指数模型的区域滑坡危险性评价[J]. *中国图象图形学报*, 2007, 12(8): 1471 – 1475.
- LI Jiacun, LI Jing, Jasmi. Regional landslide susceptibility assessment based on probability index mode[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2007, 12(8): 1471 – 1475.
- [7] 吴益平, 唐辉明, 葛修润. BP模型在区域滑坡灾害风险预测中的应用[J]. *岩土力学*, 2005, (9): 1409 – 1413.
- WU Yiping, TANG Huiming, GE Xiurun. Application of BP model to landslide hazard risk prediction[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2005, (9): 1409 – 1413.
- [8] 王国峰. 基于遗传神经网络的矿山泥石流危险性评价[D]. 西安: 西安科技大学, 2008.
- WANG Guofeng. Risk assessment for mine debris flow based on genetic algorithm & artificial neural network [D]. Xian: Xian University of Science and Technology, 2008.
- [9] 岳超俊, 陈广东, 赵振杰, 等. 基于AHP的铁生沟滑坡风险评估研究[J]. *中原工学院学报*, 2009, 20(1): 19 – 22.
- YUE Chaojun, CHEN Guangdong, ZHAO Zhenjie, et al. AHP-based risk assessment of Tieshenggou Landslide [J]. *Journal of Zhongyuan University of Technology*, 2009, 20(1): 19 – 22.
- [10] 姚玉增, 任群智, 李仁峰, 等. 层次分析法在山地地质灾害危险性评价中的应用——以辽宁凌源地区为例[J]. *水文地质工程地质*, 2010, 37(2): 130 – 134 + 138.
- YAO Yuzeng, REN Qunzhi, LI Renfeng, et al. Application of analytic hierarchy process to the probability assessment of mountain geological disasters: a case study of Lingyua Region, Liaoning Province [J]. *Hydrology & Engineering Geology*, 2010, 37(2): 130 – 134 + 138.
- [11] 许冲, 戴福初, 姚鑫, 等. 基于GIS与确定性系数分析方法的汶川地震滑坡易发性评价[J]. *工程地质学报*, 2010, 18(1): 15 – 26.
- XU Chong, DAI Fuchu YAO Xin, et al. GIS platform and certainty factor analysis method based Wenchuan earthquake induced landslide susceptibility evaluation [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2010, 18(1): 15 – 26.
- [12] 范强, 巨能攀, 向喜琼, 黄健. 证据权法在区域滑坡危险性评价中的应用——以贵州省为例[J]. *工程地质学报*, 2014, 22(3): 474 – 481.
- FAN Qiang, JU Nengpan, XIANG Xiqiong, et al. Landslides hazards assessment with weights of evidence: a case study in Guizhou, China [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2014, 22(3): 474 – 481.
- [13] 安凯强, 牛瑞卿. 信息量支持下SVM模型滑坡灾害易发性评价[J]. *长江科学院院报*, 2016, 22(8): 47 – 51 + 58.
- AN Kaiqiang, NIU Ruiqing. Landslide susceptibility assessment using support vector machine based on weighted-information model [J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2016, 22(8): 47 – 51 + 58.
- [14] 田春山, 刘希林, 汪佳. 基于CF和Logistic回归模型的广东省地质灾害易发性评价[J]. *水文地质工程地质*, 2016, 43(6): 154 – 161 + 170.
- TIAN Chunshan, LIU Xilin, WANG Jia. Geohazard susceptibility assessment based on CF model and logistic regression models in Guangdong [J]. *Hydrology & Engineering Geology*, 2016, 43(6): 154 – 161 + 170.
- [15] 殷坤龙. 滑坡灾害预测预报[M]. 中国地质大学出版社, 2004.
- YIN Kunlong. Landslide hazard prediction and evaluation [M]. China University of Geosciences Press, 2004.
- [16] 李军, 周成虎. 基于栅格GIS滑坡风险评价方法中网格大小选取分析[J]. *遥感学报*, 2003, 7(2): 86 – 92 + 161.
- LI Jun, ZHOU Chenghu. Appropriate grid size for terrain based landslide risk assessment in Lantau Island, Hongkong [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(2): 86 – 92 + 161.
- [17] Pradhan B. A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS [J]. *Computers & Geosciences*, 2013, 51: 350 – 365.