

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

宋 渊^{1,2}, 江 南^{1,2}, 任 达^{1,2}, 张恩博^{1,3}

(1. 资源与生态环境地质湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430034; 2. 湖北省地质环境总站, 湖北 武汉 430034;
3. 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074)

[摘 要]以湖北省兴山县为研究对象,选取高程、坡度、坡向、坡型、断层、工程地质岩组、地表水、植被 8 个孕灾条件因子和降雨、建房切坡、修路切坡 3 个诱发因素因子构建地质灾害危险性评价指标体系,采用加权信息量法对不同因子进行排序与赋权,然后利用 ISODATA 聚类算法进行地质灾害危险性区划,并对评价结果进行精度评价。研究结果表明,评价结果与实际情况符合度较高,区划结果合理,可以为区域地质灾害危险性评价提供技术参考。

[关键词]地质灾害;危险性评价与区划;加权信息量法;ISODATA 聚类算法;湖北省

[中图分类号]P694;P642.22 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2022)03-272-08

1 引言

地质灾害危险性是在某种诱发因素作用下,一定区域内某一时间段发生特定规模和类型地质灾害的可能性(《地质灾害风险调查评价技术要求(1:50000)(试行)》(FXPC/ZRZY B-01),2021),是地质灾害调查评价的重要组成部分(黄润秋等,2004),通过地质灾害孕灾条件分析与诱发因素为基础进行危险性评价,可为地质灾害风险管控、国土空间规划等提供科学依据。地质灾害危险性评价的方法种类繁多,主要包括专家打分法(朱进守等,2018)、层次分析法(董鹏等,2021)、证据权法(范强等,2014)、信息量法(常亚婷等,2021)、Logistic 回归法(陈朝亮等,2019)、频率比法(刘汉湖,2012)、确定系数法(侯亚斌,2021)、神经网络法(张林梵等,2022)、支持向量机法(冯杭建,2016)、随机森林法(邓念东等,2021)等,其中信息量法以其原理简单明了、方法简单实用等优点,是非常流行的一种数理统计方法(陈慧敏等,2021),尤其适用于中小比例尺区

域中(张晓东,2018)。虽然信息量法适用性广,但其本身大多采用单因素叠加形式,未能对地质、地形等各种因素对地质灾害的贡献大小进行区分(戴悦,2013),为提高确定各因素的权重的准确性,并且减少多源数据精度的不确定性,不同的研究者逐渐开始重视将不同的方法进行组合使用,选取符合研究区的最优评价模型(孟晓捷等,2022)。因此,本文选择湖北省三峡库区兴山县为研究区域,在 1:5 万地质灾害风险调查的基础上,基于 ArcGIS 平台,综合选取了 8 个孕灾因子和 3 个诱发因子,通过层次分析法与信息量法融合,按照网格单元进行地质灾害危险性评价,并利用聚类算法对地质灾害危险性评价结果进行分级区划,最后对评价结果进行精度验证,为研究区地质灾害风险管控、国土空间规划等提供科学依据。

2 研究区地质灾害概况及数据源

兴山县位于湖北省宜昌市北部,总面积约 2 327 km²,辖 6 镇 2 乡、91 个村(居)、5 个社区,属举世闻名的长江三峡水利枢纽工程库区范围,是著

[收稿日期]2022-03-29 [修回日期]2022-07-17

[基金项目]湖北省重点研发计划项目(2021BCA219)、湖北省地质局科技项目(KJ2022-14)资助。

[作者简介]宋渊(1983—),男,工程师,从事地质灾害防治等工作。Email:619512724@qq.com.

名的汉明妃王昭君的故乡。地貌区划属秦岭大巴山体系,山地是该县主要地貌特点,县域属亚热带大陆性季风气候,雨水较多,夏季雨量集中,炎热多伏旱,秋季多阴雨,冬季多雨雪、早霜。县域发育地质灾害710处,以滑坡为主(522处),崩塌次之(183处),泥石流(1处)和地面塌陷(4处)较少,由于上述1处泥石流已经经过治理、4处地面塌陷均为小

型且危害不大,因而本文主要以滑坡和崩塌为风险性评价与区划的地质灾害对象^①。兴山县主要地质灾害分布图见图1。本文以兴山县地质灾害风险调查评价(1:50000)数据库为数据源,选取30×30 m栅格单元(单元面积=0.000 9 km²,即1:5万底图上0.6×0.6 mm正方方格为一个基本单元)为分析单元,兴山县全域共剖分为2574672个栅格单元。

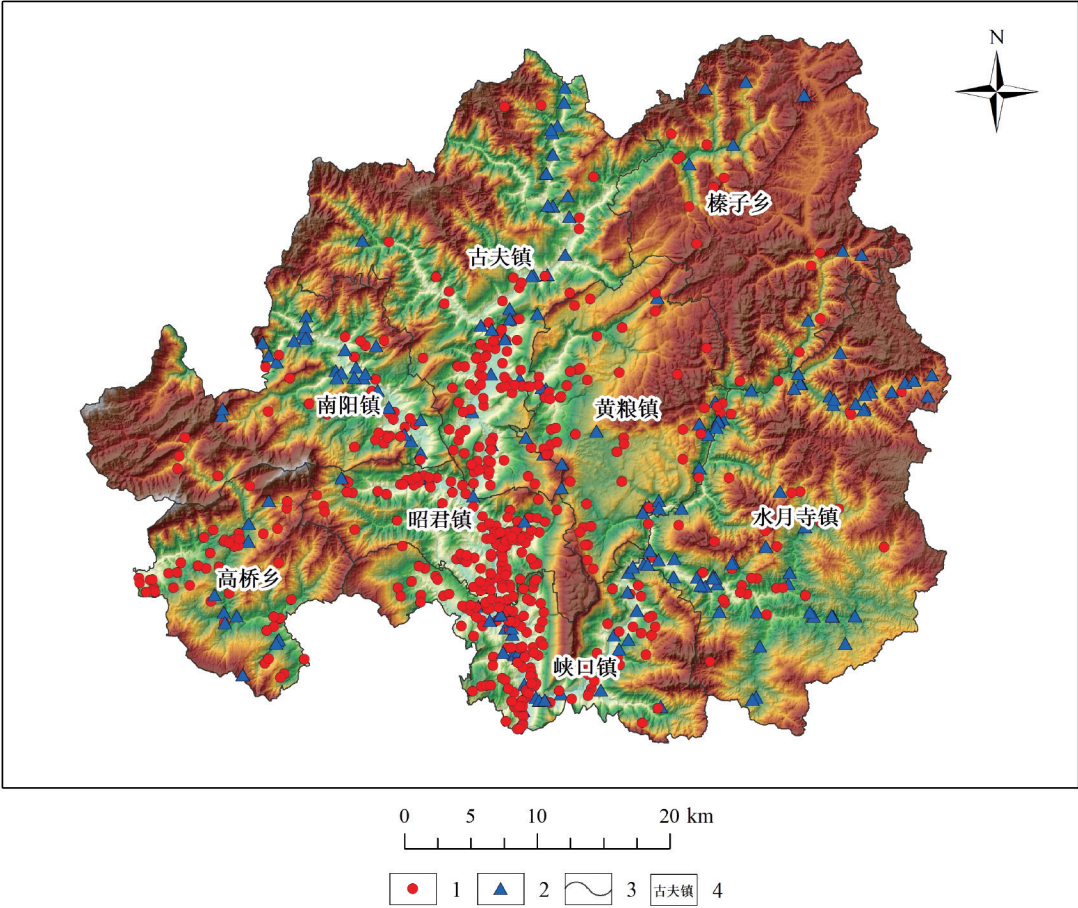


图1 研究区主要地质灾害分布图

Fig. 1 Distribution of geological disaster in the study area

1—滑坡;2—崩塌;3—乡镇界限;4—乡镇名

3 评价与区划方法概述

3.1 加权信息量法

信息量法是通过评价栅格单元内某种因素作用下地质灾害发生频率与区域地质灾害发生频率来反映一定地质环境下最易致灾因素及其细分区间的方法(《地质灾害风险调查评价技术要求(1:50000)(试行)》(FXPC/ZRZY B-01),2021)。某

种因素特定分级状态下的地质灾害信息量公式可表示为:

$$I_{A_j \rightarrow B} = \ln \frac{N_j/N}{S_j/S} (j=1,2,3,\cdots n) \tag{1}$$

式中:

$I_{A_j \rightarrow B}$ ——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

^① 湖北省地质环境总站. 2021. 兴山县地质灾害风险调查评价成果报告[R].

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 $I_{A \rightarrow B} > 0$ 时,反映了对应因素 A、j 状态(或区间)下地质灾害发生的可能性较大,或者说利于地质灾害发生;当 $I_{A \rightarrow B} < 0$ 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 $I_{A \rightarrow B} = 0$ 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可用公式(2)确定:

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

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_i ——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。

层次分析法(AHP)是一种定性和定量相结合的,系统性、层次化的多目标决策分析方法,广泛应用于各个领域(朱建军,2006)、(冯卫等,2021)。利用层次分析法对信息量模型加以改进,根据各指标因子的贡献率大小,运用层次分析法计算各指标因子的权重,将指标因子的权重与信息量相乘,得到加权信息量。假定第 n 个指标因子的权重为 $\omega_i(i = 1, 2, \cdots, n)$,则加权信息量为:

$$I = \sum_{i=1}^n \omega_i I_i = \sum_{i=1}^n \omega_i \ln \frac{S_i/S}{A_i/A} \quad (i = 1, 2, \cdots, n) \quad (3)$$

3.2 ISODATA 聚类算法

ISODATA 聚类算法是一种在 GIS 软件和数据分析软件中常用的动态聚类分析方法,分类结果可以很好的体现同类对象的相似性、不同类对象的相异性(王燕凤等,2014)。本文使用 ARCGIS 软件中的 ISODATA 聚类算法工具对信息量模型

的计算结果进行分类,根据初始类聚中心和设定的类别数目等参数迭代,最终得到一个比较理想的聚类结果(李润青等,2017)。运用 ISODATA 聚类算法对加权信息量法的计算结果进行分类,可科学地对地质灾害危险性等级进行划分,避免了人为设定信息量值进行分类的主观性。

4 评价体系与因子权重计算

4.1 评价指标的确定

根据研究区地质灾害发育特征、孕灾条件和诱发因素,结合加权信息量模型计算要求,本文按照目标层(A)—准则层(B)—指标层(C)三个层级,选取地质灾害危险性评价指标体系(A)为目标层,孕灾条件(B1)和诱发因素(B2)2个准则层(B),高程(C1)、坡度(C2)、坡向(C3)、坡型(C4)、断层(C5)、工程地质岩组(C6)、地表水系(C7)、植被(C8)8个孕灾条件指标和降雨(C9)、建房切坡(C10)、修路切坡(C11)3个诱发因素指标共11个三级指标层(C),构建地质灾害危险性评价指标体系(表1)。

表 1 地质灾害危险性评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of geological disaster risk

目标层(A)	准则层(B)	指标层(C)
地质灾害 危险性评价 (A)	孕灾条件(B1)	高程(C1)
		坡度(C2)
		坡向(C3)
		坡型(C4)
		断层(C5)
		工程地质岩组(C6)
		地表水系(C7)
		植被(C8)
	诱发因素(B2)	降雨(C9)
		建房切坡(C10)
		修路切坡(C11)

4.2 评价因子分级及其信息量计算

应用 ArcGIS 的空间分析工具,统计各个因子不同区间内栅格总数分布情况和发生地质灾害栅格的频率,同时对地质灾害面积比、分级面积和地质灾害累计发生频率进行统计。从而对因子的不同状态进行分级。

1. 高程:分为 ≤ 500 m, (500, 1 000] m, (1

- 000,1 500]m,>1 500 m 四级。
2. 坡度:分为[0,8°]、(8°,25°]、(25°,60°]和>60°四级。
3. 坡向:分为 N(337.5°,22.5°]、NE(22.5°,67.5°]、E(67.5°,112.5°]、SE(112.5°,157.5°]、S(157.5°,202.5°]、SW(202.5°,247.5°]、W(247.5°,292.5°]、NW(292.5°,337.5°]八级。
4. 坡型:分为>0.1(凸型坡)、[-0.1,0.1](直线型坡)、<-0.1(凹型坡)三级。
5. 断层与地质灾害的距离:将地质灾害距离断层缓冲区划分为≤100 m、(100,200]m、(200-300]m、(300-500]m、>500 m 五级。
6. 工程地质岩组:分为(1)松散—较松散黏土、砂砾石土,(2)中厚层较坚硬粉砂岩、石英砂岩、泥质灰岩夹软弱泥岩页岩岩组,(3)中厚层较坚硬—较软弱细砂岩、页岩、泥岩夹生物灰岩岩组,(4)中厚层较坚硬白云岩夹薄层砂岩、板岩岩组,(5)薄—中厚层状较坚硬—坚硬中—若岩溶化白云岩、灰岩夹软弱页岩岩组,(6)中厚—厚层状坚硬岩溶化灰岩、白云岩夹少量页岩岩组,(7)较坚硬混合化角山岩、石英岩夹较软弱片麻岩组,(8)块状坚硬花岗岩、闪长岩组,共八类。
7. 地表水系与地质灾害的距离:将地质灾害距离地表水系缓冲区划分为≤200 m、(200-400]m、(400-600]m、>600 m 四级。
8. 植被:分为极低、低、中低、中、高植被覆盖区五级。
9. 降雨:按月平均降雨量分为[0,130]mm、(130,144]mm、(144,158]mm、(158,180]mm、(158,180]mm 五级。
10. 建房切坡:本次评价根据居民地分布范围,运用 ArcGIS 平台缓冲区分析功能,对居民建筑物建立 30 m 缓冲区,作为建房切坡的影响带。
- 11、修路切坡:按道路等级类别,分为铁路缓冲区 1 000 m、高速缓冲区为 800 m、国道缓冲区为 500 m、省道缓冲区为 400 m、县道缓冲区为 300 m、乡道缓冲区为 60 m 六类。
- 通过使用 ArcGIS 的分析功能将地质灾害与各个评价指标的空间分布特征进行分析统计,将统计结果代入公式(1),即可得到不同评价指标各分级指标对地质灾害所能够提供的信息量值,其计算结果见表 6。

4.3 评价因子的权重确定

本文采用层次分析法计算各指标因子的权重。孕灾条件因子判断矩阵计算结果见表 2,判断矩阵的最大特征根 λ_{max}:8.775 6,一致性比例 CR=0.078 6,满足一致性检验要求。诱发因子判断矩阵计算结果见表 3,判断矩阵的最大特征根 λ_{max}:3.053 6,一致性比例 CR=0.051 6,满足一致性检验要求。地质灾害危险性评价准则层判断矩阵计算结果见表 4,判断矩阵的最大特征根 λ_{max}:2.000 0,一致性比例 CR=0.000 0,满足一致性检验要求。

表 2 孕灾条件因子判断矩阵

Table 2 Judging matrix of hazard inducing condition factor									
孕灾条件	高程	坡度	坡向	坡型	断层	工程地质岩组	地表水系	植被	Wi
高程	1	0.333 3	1	0.5	0.5	0.25	0.5	2	0.058 9
坡度	3	1	3	0.5	3	0.5	2	3	0.163 9
坡向	1	0.333 3	1	0.25	0.5	0.2	0.5	0.5	0.045 3
坡型	2	2	4	1	0.5	0.5	0.5	3	0.134 2
断层	2	0.333 3	2	2	1	0.166 7	2	3	0.122 6
工程地质岩组	4	2	5	2	6	1	4	4	0.313 7
地表水系	2	0.5	2	2	0.5	0.25	1	4	0.114 1
植被	0.5	0.333 3	2	0.333 3	0.333 3	0.25	0.25	1	0.047 2

表 3 诱发因子判断矩阵

Table 3 Judging matrix of inducing factors				
诱发因素	降雨	建房切坡	修路切坡	Wi
降雨	1	3	3	0.5936
建房切坡	0.3333	1	0.5	0.1571
修路切坡	0.3333	2	1	0.2493

表 4 地质灾害危险性评价准则层判断矩阵

Table 4 Judging matrix of geological disaster risk evaluation criterion layer			
地质灾害危险性评价	孕灾条件	诱发因素	Wi
孕灾条件	1	0.5	0.333 3
诱发因素	2	1	0.666 7

由指标层(C)、准则层(B)判断矩阵计算评价指标权重,并对权重进行排序,结果见表5。从权重的排序结果可以看出,降雨、修路切坡、建房切坡和工程地质岩组权重最大,对地质灾害发生的贡献度最大,与野外调查的实际情况相符。

表 5 指标层中要素对决策目标的排序权重

Table 5 Ranking weight of factors in index layer for decision goal

因子	降雨	修路切坡	建房切坡	工程地质岩组	坡度	坡型	断层	地表水系	高程	植被	坡向
权重	0.3958	0.1662	0.1047	0.1046	0.0546	0.0447	0.0409	0.0380	0.0196	0.0157	0.0151

4.4 加权信息量的计算

将上述评价因子分级信息量值和评价因子权重按式(3)相乘后再相加,得到各评价因子在本次评价中的加权信息量值(表6)。

表 6 评价因子加权信息量计算结果

Table 6 Calculation results of evaluation index plus weighted information

序号	评价因子	评价因子分级	权重	信息量值(Ii)	加权信息量值
1	高程(m)	≤500 m	0.019 6	1.820 9	0.035 7
2		(500,1000] m		0.225 6	0.004 4
3		(1000,1500] m		-1.285 0	-0.025 2
4		>1 500 m		-3.432 2	-0.067 3
5	坡度(°)	[0,8°]	0.054 6	0.1827	0.01
6		(8°,25°]		0.3951	0.0216
7		(25°,60°]		-0.3420	-0.0187
8		>60°		-1.3888	-0.0758
9	坡向	N(337.5°,22.5°]	0.0151	-0.110 0	-0.001 7
10		NE(22.5°,67.5°]		0.062 2	0.000 9
11		E(67.5°,112.5°]		-0.197 5	-0.003
12		SE(112.5°,157.5°]		0.004 6	0.000 1
13		S(157.5°,202.5°]		0.003 0	0
14		SW(202.5°,247.5°]		0.216 6	0.003 3
15		W(247.5°,292.5°]		0.186 9	0.002 8
16		NW(292.5°,337.5°]		-0.267 7	-0.00 4
17	坡型	凸型坡	0.044 7	-0.142 2	-0.006 4
18		直线型坡		0.189 4	0.008 5
19		凹型坡		0.078 7	0.003 5
20	距断层距离(m)	≤100m	0.040 9	0.202 7	0.008 3
21		(100,200] m		0.243 9	0.01
22		(200-300] m		-0.023 6	-0.001
23		(300-500] m		-0.214 5	-0.008 8
24		>500 m		-0.602 5	-0.024 6
25	工程地质	松散—较松散黏土、砂砾石土	0.104 6	1.277 6	0.133 6
26		中厚层较坚硬粉砂岩、石英砂岩、泥质灰岩夹软弱泥岩页岩岩组		1.281 6	0.134 1
27		中厚层较坚硬—较软弱细砂岩、页岩、泥岩夹生物灰岩岩组		0.699 4	0.073 2
28		中厚层较坚硬白云岩夹薄层砂岩、板岩岩组		-1.732 7	-0.181 2
29		薄—中厚层状较坚硬—坚硬中—若岩溶化白云岩、灰岩夹软弱页岩岩组		-0.312 4	-0.032 7
30		中厚—厚层状坚硬岩溶化灰岩、白云岩夹少量页岩岩组		-0.802 8	-0.084
31		较坚硬混合化角山岩、石英岩夹较软弱片麻岩组		-0.363 8	-0.038 1
32		块状坚硬花岗岩、闪长岩组		-2.094 6	-0.219 1

续表					
序号	评价因子	评价因子分级	权重	信息量值(Ii)	加权信息量值
33	距水系 距离 (m)	≤200m	0. 038	0. 5436	0. 0207
34		(200~400] m		0. 0252	0. 0010
35		(400~600] m		-0. 3857	-0. 0147
36		>600 m		-0. 8972	-0. 0341
37	植被	极低植被覆盖区	0. 015 7	0. 000 0	0. 000 0
38		低植被覆盖区		0. 163 3	0. 002 6
39		中低植被覆盖区		1. 589 8	0. 025 0
40		中植被覆盖区		1. 682 4	0. 026 4
41		高植被覆盖区		-0. 140 1	-0. 002 2
42	降雨	[0,130] mm	0. 395 8	1. 261 9	0. 499 5
43		(130,144] mm		-0. 050 1	-0. 019 8
44		(144,158] mm		-0. 602 1	-0. 238 3
45		(158,180] mm		-1. 281 3	-0. 507 1
46		(158,180] mm		0. 188 3	0. 074 5
47	建房 切坡	建房影响带 30 m	0. 104 7	1. 716 6	0. 179 7
48	修路切坡	铁路缓冲区 1 000 m	0. 166 2	0. 726 8	0. 120 8
49		高速缓冲区为 800 m		0. 949 2	0. 157 8
50		国道缓冲区为 500 m		1. 303 2	0. 216 6
51		省道缓冲区为 400 m		1. 551 8	0. 257 9
52		县道缓冲区为 300 m		1. 765 5	0. 293 4
53		乡道缓冲区为 60 m		1. 172 2	0. 194 8

5 危险性区划及结果分析

5.1 基于 ISODATA 聚类算法的危险性区划

根据 2.1 中 ISODATA 聚类算法,利用 ARCGIS 工具中空间分析工具(spatial analyst tools)ISO 聚类模块,对地质灾害危险性总加权信息量图进行聚类分析,按《地质灾害风险调查评价技术要求(1 : 50000)(试行)》划分为极高、高、中、低 4 级(图 2)。

根据分级结果,综合考虑兴山县实际情况,经人工修正不合理的区域,去除零碎斑块,界线附近过于零碎的低等级斑块,就近与高等级区合并等人工修饰后,得到研究区地质灾害危险区划图(图 3),统计结果见表 7,结果显示,兴山县主要地质灾害极高危险区面积 185. 00 km², 占全县面积比 7. 95%, 分布灾害总数 333 处; 高危险区面积 962. 25 km², 占全县面积比 41. 35%, 分布灾害总数 284 处; 中风险区面积 818. 06 km², 占全县面积比 35. 16%, 分布灾害总数 82 处; 低风险区面积

361. 69 km², 占全县面积比 15. 54%, 分布灾害总数 11 处。评价的结果与实际调查情况相吻合。

5.2 评价方法精度评价

选用 ROC 曲线即受试者工作特征曲线对研究区地质灾害危险性评价的精度进行检验,ROC 曲线下的面积 AUC(Area Under Curve)越大则代表模型分类结果的准确性越高,即模型精度越高(余建英等,2003)。检验结果显示,本次评价的 AUC 值为 0. 87(图 4、表 8),渐近显著性 b 均小于 0. 05,表明本评价较为客观准确、评价结果可靠。

表 7 兴山县主要地质灾害危险性分区统计表
Table 7 Zoning statistics of main geological
disaster risk in Xingshan county

危险级别	面积(km ²)	占全县 面积比 (%)	灾害 总数 (处)
极高危险区	185. 00	7. 95	333
高危险区	962. 25	41. 35	284
中危险区	818. 06	35. 16	82
低风险区	361. 69	15. 54	11

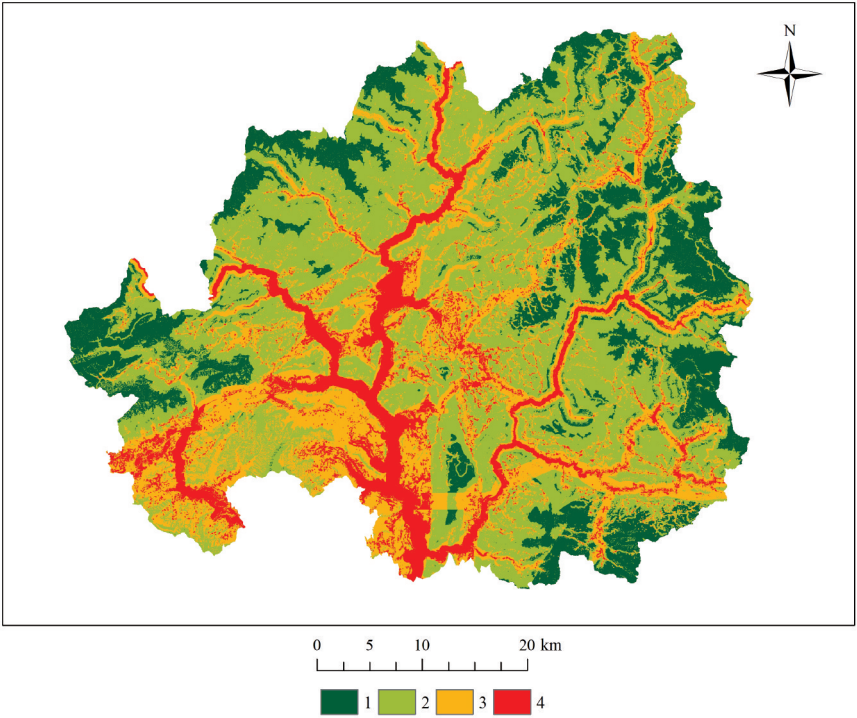


图 2 地质灾害危险性评价图

Fig. 2 Evaluation of geological disaster hazard
1—低危险区;2—中危险区;3—高危险区;4—极高危险区

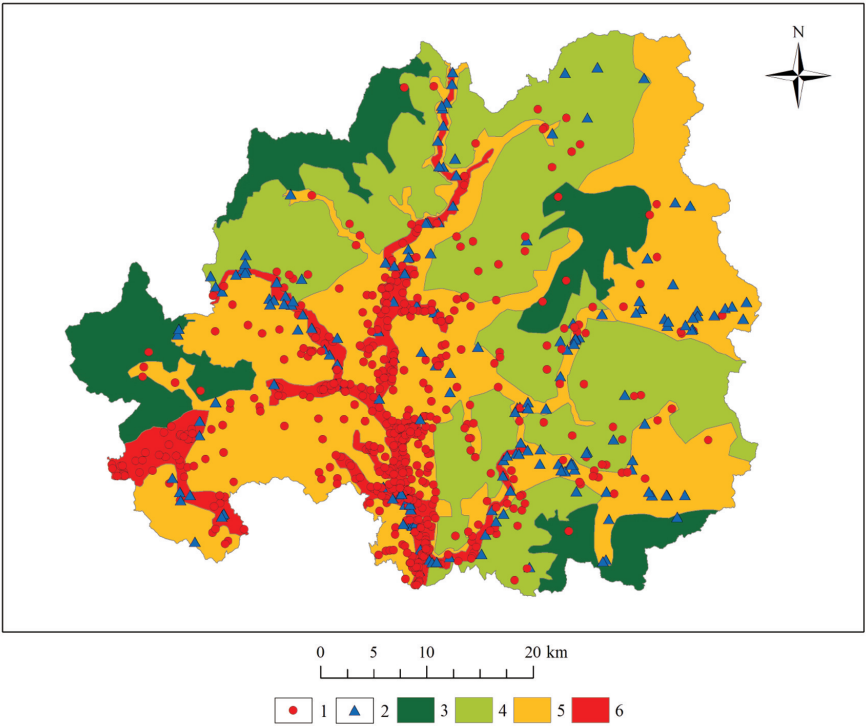


图 3 兴山县主要地质灾害危险区划图

Fig. 3 Division map of geological disaster in Xingshan county
1—滑坡;2—崩塌;3—低危险区;4—中危险区;5—高危险区;6—极高危险区

表8 兴山县主要地质灾害危险性评价 AUC 检验结果

Table 8 AUC test results of main geological disaster risk evaluation in Xingshan county

检验结果变量	面积	标准误差 ^a	渐近显著性 ^b	渐近 95%置信区间	
				下限	上限
危险性评价	0.87	0.01	0.00	0.84	0.89

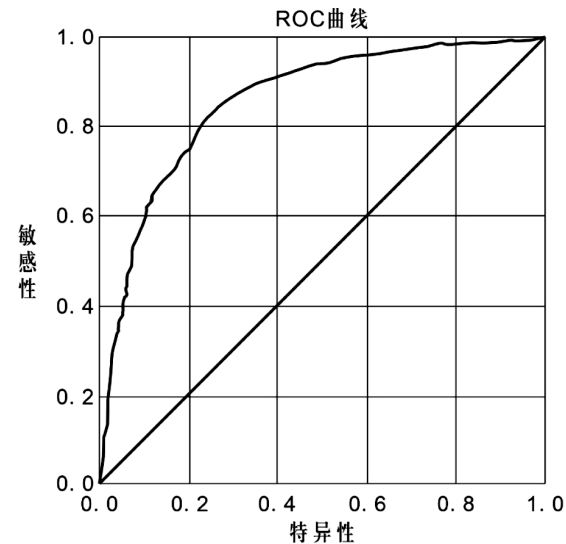


图4 兴山县主要地质灾害危险性评价 ROC 曲线

Fig. 4 ROC curve of main geological disaster risk evaluation in Xingshan county

1—低危险区;2—中危险区;3—高危险区;4—极高危险区

6 结论

本研究以湖北省兴山县为例,采用层次分析法求得各评价因子的排序赋值和权重,然后利用加权信息量模型对研究区开展地质灾害危险性评价,并通过 ISODATA 聚类算法对地质灾害危险性进行了区划,最后验证了方法的精度和可靠性。结果表明评价结果与实际情况符合度较高,区划结果合理,为兴山县地质灾害风险管控、国土空间规划提供了较为可靠的理论支持,并可以为区域地质灾害危险性评价提供技术参考。但是受数据可得性和规律认知等原因,地质灾害的致灾因素应有更全面的考虑,并且可以将区域危险性评价与单体地质灾害监测预警相结合,另外,评价流程中的指标量化和各项参数设置,具有一定的主观性和很强的地域差异,在以后的研究和工作中,需要采用多种方法提取和修正地质灾害相关信息,不断加深地质灾害影响因素分析,并且进一步探究不同模型耦合来不断优化评价结果。

[参考文献]

FXPC/ZRZY B-01. 2021. 地质灾害风险调查评价技术要求(1:

50000)(试行)[S]. 北京:自然资源部.

常亚婷,刘征宇,向刚,等. 2021. 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,38(04):430-436.

陈朝亮,张文君,钱静,等. 2019. 基于改进 Logistic 回归模型在地质灾害评价中的应用[J]. 环境科学与技术,42(04):194-199.

陈慧敏,杨尽,向明顺,等. 2021. 基于地理信息系统和加权信息量的茂县地质灾害易发性评价[J]. 科学技术与工程,21(29):12490-12499.

董鹏,蔡云,杨建华,等. 2021. 岩溶塌陷危险性评价——以独山县交摆村为例[J]. 贵州地质,38(04):437-441.

邓念东,石辉,文强,等. 2021. 信息量支持下的随机森林模型的崩塌易发性评价[J]. 科学技术与工程,21(6):2210-2217.

范强,巨能攀,向喜琼,等. 2014. 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,22(3):474-481.

戴悦. 2013. 基于信息量模型的三峡库区滑坡区域危险性评价方法研究[D]. 北京,清华大学.

冯杭建. 2016. 浙西淳安降雨型滑坡发育规律及危险性评价研究[D]. 武汉,中国地质大学(武汉).

冯卫,唐亚明,马红娜,等. 2021. 基于层次分析法的咸阳市多灾种自然灾害综合风险评价[J]. 西北地质,54(2):283-288.

黄润秋,向喜琼,巨能攀. 2004. 我国区域地质灾害评价的现状 & 问题[J]. 地质通报,(11):1078-1082.

侯亚斌. 2021. 基于 GIS 的安徽省地质灾害危险性分区及评价研究[D]. 西安,长安大学.

刘汉湖. 2012. RS 与 GIS 支持下的汶川县城周边地质灾害危险性评价[J]. 中国地质,39(1):243-251.

李润青,谢明鸿,黄冰晶. 2017. 一种基于初始点密度最大的改进型 ISODATA 聚类算法[J]. 软件导刊,16(12):94-98.

孟晓捷,张新社,曾庆铭,等. 2022. 基于加权信息量法的黄土滑坡易发性评价——以 1:5 万天水市麦积幅为例[J]. 西北地质,55(2):249-258.

王燕凤,马宁. 2014. 基于 ISODATA 算法的图像分割[J]. 西北民族大学学报(自然科学版),32(93):38-40.

余建英,何旭宏. 2003. 数据统计分析与 SPSS 应用[M]. 北京:人民邮电出版社,379-385.

朱进守,邓辉,苑泉,等. 2018. 藏东高山峡谷地带地质灾害危险性评价——以西藏贡觉县为例[J]. 地质与资源,27(3):272-278.

张林梵,王佳运,张茂省,等. 2022. 基于 BP 神经网络的区域滑坡易发性评价[J]. 西北地质,55(2):260-270.

张晓东. 2018. 基于遥感和 GIS 的宁夏盐池县地质灾害风险评价研究[D]. 北京:中国地质大学.

朱建军. 2006. 层次分析法的若干问题研究及应用[D]. 沈阳,东北大学.

large number of hidden nonferrous metals, rare, rare and scattered, precious metal ore body shape is irregular, most of delimit the ore body boundary based on the test data, direct measurement of its occurrence is difficult. In the actual production work, often use from the basic map measurement data to determine the ore body occurrence, this method is simple and easy to work with. In this paper, by comparing the ore body thickness data calculated using the false dip angle and apparent dip angle and true dip angle at the different intersection angle of Sample direction and Section direction and ore body dip, it is considered that the ore body thickness was calculated using the measurement data from the map can meet the precision accuracy requirements of mineral resources estimation, it can effectively reduce the error of mineral resources estimation between the Geological block method and cross section method.

[**Key Words**] True thickness; Occurrence; False dip angle; Apparent dip angle; True dip angle

(上接第 279 页)

Geological Hazard Risk Evaluation and Division Based on Weighted Information Method in Xingshan County, Hubei Province

SONG Yuan^{1,2}, JIANG Nan^{1,2}, REN Da^{1,2}, ZHANG En-bo^{1,3}

(1. Hubei Key Laboratory of Resources and Eco-environmental Geology, Wuhan 430034, Hubei, China; 2. Geological Environmental Center of Hubei Province, Wuhan 430034, Hubei, China; 3. China University of Geosciences (Wuhan), Institute of Geophysics & Geomatics, Wuhan 430034, Hubei, China)

[**Abstract**] Xingshan County of Hubei Province is taken as the research object, the risk evaluation index system of geological disasters was constructed by selecting eight disaster-pregnant conditions factors such as elevation, slope, slope direction, slope type, fault, engineering geological rock group, surface water and vegetation, and three inducing factors such as rainfall, building cutting slope and repairing cutting slope. The weighted information method was used to sort and weight different factors, and then the ISODATA clustering algorithm was used to divide the risk of geological disasters, and the accuracy of the evaluation results was evaluated. The results show that the evaluation results are in good agreement with the actual situation, and the zoning results are reasonable, which can provide technical reference for the risk assessment of regional geological disasters.

[**Key Words**] Geological disasters; Risk assessment and zoning; Weighted information method; ISODATA clustering algorithm; Hubei Province