

基于信息量模型法的安徽省黄山区 地质灾害易发性分析

令狐文霜, 丁勇

安徽省地质矿产勘查局 332 地质队, 黄山 245000

摘要: 黄山区作为安徽省地质灾害频发区域之一, 一直以来针对其地质灾害发育规律的研究较为缺乏。经过现场野外调查分析, 结合 GIS 空间分析技术, 基于“信息量模型法”从坡度、地形起伏度、坡体结构、断层缓冲层距离和工程地质岩组 5 个维度对其地质灾害发育规律进行探索, 全面地对黄山区的地质灾害易发性进行综合评价。研究不仅为黄山区地质灾害的防灾减灾提供了科学依据, 也为类似地形和地质条件区域的地质灾害研究提供了参考; 同时, 研究结果对于指导当地地质灾害监测预警、风险管理和应急响应具有重要意义。

关键词: 地质灾害; 发育规律; 信息量模型法; 易发性分析

中图分类号: P694; P56 **文献标识码:** A

Susceptibility Analysis of Geological Hazards in Huangshan District, Anhui Province Based on the Information Value Model

LINGHU Wenshuang, DING Yong

No. 332 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province, Huangshan 245000, China

Abstract: As a region prone to geological hazards in Anhui Province, Huangshan District has long lacked systematic research on the developmental patterns of such hazards. This study integrates field investigations with GIS spatial analysis and employs the *Information Value Model (IVM)* to explore hazard mechanisms across five dimensions: slope gradient, topographic relief, slope structure, distance to fault buffer zones, and engineering geological lithology. A comprehensive evaluation of geological hazard susceptibility in Huangshan District was conducted. The results not only provide a scientific basis for hazard prevention and mitigation in the study area but also serve as a reference for regions with analogous geomorphological and geological conditions. Furthermore, the findings offer critical insights for guiding local hazard monitoring, early warning systems, risk management, and emergency response strategies.

Key words: Geological hazards; Developmental patterns; Information Value Model (IVM); Susceptibility analysis

收稿日期: 2024-04-20 改回日期: 2024-06-11

第一作者简介: 令狐文霜 (1989—), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 水工环地质、地质灾害调查评价。E-mail: 925397361@qq.com

通讯作者: 丁勇 (1987—), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 固体矿产勘查、地质灾害调查评价。E-mail: 409304166@qq.com

引文格式: 令狐文霜, 丁勇: 基于信息量模型法的安徽省黄山区地质灾害易发性分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2025, 36(1): 15-20.

LINGHU Wenshuang, DING Yong. Susceptibility analysis of geological hazards in huangshan district, anhui province based on the Information Value Model[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2025, 36(1): 15-20.

0 引言

黄山区位于安徽省南部,黄山市北部,为黄山风景区所在地,地理坐标为东经 $117^{\circ}49'06'' \sim 118^{\circ}21'16''$,北纬 $29^{\circ}59'28'' \sim 30^{\circ}31'17''$,东连旌德、绩溪,东北同泾县相倚,南侧与休宁、黟县、徽州区、歙县交界,西接石台、青阳,南北长约 58 km,东西宽约 52 km,总面积 $1\,747\text{ km}^2$ 。区政府驻地甘棠镇,距合肥 254 km,距屯溪 110 km。

黄山区是一个地质灾害多发的地区之一,近年来滑坡、崩塌、泥石流等灾害的发生愈加频发。采用 GIS 空间分析方法并借助高清遥感图像、数字高程模型(DEM)等数据,能够迅速而精准地统计地质灾害的发生情况。也就是说,通过分析特定区域内地质灾害的实际分布和特征,搜集相关信息,探究触发灾害的诸多因素,再选取恰当的数学评估模型,全方位评估该区域地质灾害发生的概率。同时可以预测研究区的地质灾害的空间发育规律,为进一步建立研究区地质灾害风险评价模型作基础。

1 研究区概况

研究区坐落在安徽南部的山地地带,拥有多样的地形构造,包括山脉、丘陵和平地,整体地势由东南部的高地递减至西北部的低地,其海拔高度范围介于 $500 \sim 1\,500\text{ m}$ 。地层岩性以花岗岩、石英砂岩、灰岩为主,也有千枚岩、板岩出露。本区域的地质构造错综复杂,以多变的断裂和褶皱为特点,并且呈现出显著的新造山活动。其中,褶皱构造以黄山复式斜坡为主导,而在断层构造方面,东北走向的断层居多,常常被东西走向的断层所截断。此外,东北向的断裂显示出再次活跃的迹象。

研究区内在册地质灾害 177 处,以崩塌为主,滑坡次之,泥石流最少。其中,崩塌 111 处,占总数的 62.71%;滑坡 63 处,占总数的 35.59%;泥石流 3 处,占总数的 1.69%。区内地质灾害频发,尤其是春、夏汛期,研究地质灾害发生的空间位置特征尤为重要。

2 信息量模型原理

地质灾害的发育受诸多因素所控,并且信息量模型能够生动地展示特定地质背景中最敏感的发生要素和其详尽的分区联合^[2-4]。确切地讲,通过比较特定评估区内特定因素所引致的地质灾变频次及其在该区域的数据,揭示了研究区域内各种致灾因素在地质灾变生成中的易感性和作用程度。

$$I(x_i, Y) = \ln \frac{P(B | x_i)}{P(B)} = \ln \frac{N_i/S_i}{N/S}$$

式中, x_i 为致灾因素 x 中的第 i 区间; Y 为致灾因素 x 第 i 分段中地质灾害的信息含量数值; B 为地质灾害事件; N_i 为研究范围内既包括含有评估要素 x_i 的单元,又有发生地质灾害的单元数; S_i 为研究区内含有评定指标 x_i 的单元数; N 为研究区存在地质灾害单元总数; S 为研究区中评价单元的总数。

3 研究区地质灾害危险性评价

3.1 评价因子的选取

黄山一带呈现出错综复杂的地理结构,其山岳地带遭受剧烈侵蚀作用,地质灾害普遍存在;同时,该区域的水文和地质状况也显示出高度的复杂性。区内切坡建房、修路普遍存在。通过融合地理信息系统(GIS)的空间分析功能与现场调查数据,本文针对研究对象,综合了坡度、地形起伏度、坡体结构、断层缓冲距离以及工程地质岩组等 5 个方面,对该地区地质灾害的形成作出了评估。

利用地理信息系统的空间分析手段配合调查数据,目前研究区内确认有 177 个灾害点。将选出的 5 个关键要素纳入考量,分别评估了这些要素在评估体系中对地质灾害反应的敏感度,通过重叠分析各个指标,从而综合出该研究区域地质灾害的潜在风险评估结果。

3.2 坡度

坡度直接影响斜坡表面沉积物厚度、物质稳定性和坡面水动力条件,从而影响灾害体的强度和规模^[5]。

此次将斜坡等级细化为 6 个阶段,分别是 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 、 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 、 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 、 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 以及超过 45° ,具体可参见图 1。

经由对不同坡度范围内地质灾害数量的信息含量进行分析,我们可以得出,当坡度介于 $5^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 时,地质灾害发生的可能性较高,此类地段的灾害发生率约占总数的 75.2%。相反,坡度低于 5° 或超出 35° 的区域,其地质灾害的易发性显著降低(详情见表 1)。出现这一现象的原因,在于超过 35° 的斜坡在调查区域内不太常见。

3.3 地形起伏度

研究区位于皖南山区的中东部,地貌类型山地、丘陵和平原均有分布。国内地形以连绵起伏的山峦为特点,在南方黄山山脉巍峨挺立,而北方九华山的支脉曲折延展,整体地形自东南部向西北部逐渐降低。地形起伏度相对较大,区内海拔 $85 \sim 1\,873\text{ m}$ 。

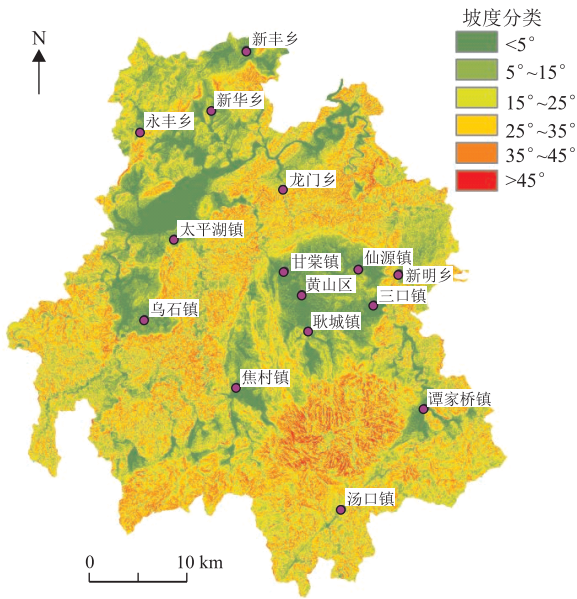


图 1 黄山区坡度分类图

表 1 坡度分级及信息量统计表

评价指标	坡度分级/°	S_i/S	N_i/N	信息量 I
数据	0~5	0.128 1	0.028 2	-1.508 2
	5~15	0.214 6	0.355 9	0.509 7
	15~25	0.270 4	0.350 3	0.262 2
	25~35	0.267 0	0.214 7	-0.214 7
	35~45	0.106 6	0.050 8	-0.736 6
	>45	0.013 3	0.000 0	-5.000 0

根据研究区的地形特点,将高程差共分为 0~5 m、5~15 m、15~25 m 和 >25 m 为 4 个等级,具体可参见图 2。

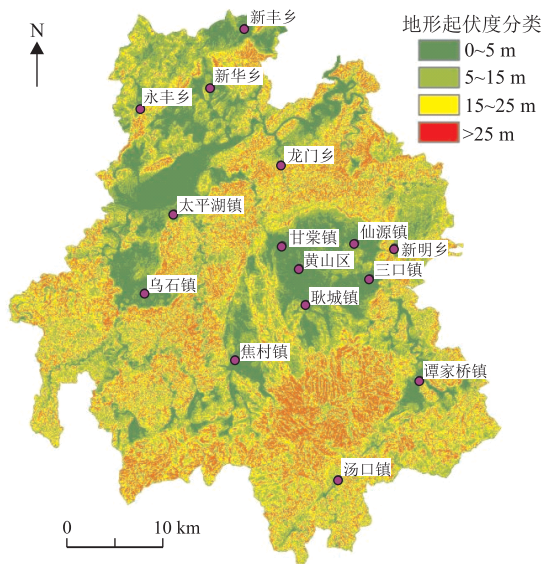


图 2 黄山区地形起伏度分类图

根据高程差异数据的统计分析表明,在 5~15 m 的高度范围内,相关信息的丰富度较为显著,这

一区段内的地质灾害发生概率相对较高;在不足 5 m 或超过 25 m 的高度区域,相关信息数据较为稀缺,因此,这些地区的地质灾害发生风险相对较低(表 2)。

3.4 工程地质岩组

工程地质岩组是地质灾害发育的核心,地质灾害从起因到成灾的全过程无不体现在岩土体各异的状态之中。由于各类岩石群体在物理、结构强度以及水动力学特性等方面存在差异,因此它们与各种地质灾害的内在联系也不尽相同^[7]。

表 2 地形起伏度分级及信息量统计表

评价指标	高差分级/m	S_i/S	N_i/N	信息量 I
数据	0~5	0.220 1	0.135 6	-0.481 0
	5~15	0.411 2	0.593 2	0.369 9
	15~25	0.292 2	0.226 0	-0.253 6
	>25	0.083 1	0.045 2	-0.605 2

根据现场调查的成果,将研究区的岩石类型细分为七大工程地质岩组:具体包括第四系冲洪积、残坡积含砾(块)石松散土体(I),块裂状较硬花岗岩弱风化岩组(II1),似均质状较松散花岗岩闪长岩全风化岩组(II2),中厚层碎裂状坚硬长石石英砂岩岩组(III1),中厚层块裂状具泥化夹层较坚硬-软砂岩岩组(III2),中厚层稀裂状坚硬中等岩溶化白云岩、灰岩岩组(IV)和片状具泥化夹层较软千枚岩岩组(V),具体可参见图 3。信息量值计算结果显示,以千枚岩、千枚状砂岩为主的变质岩岩组最易发生地质灾害,为 1.60(表 3)。

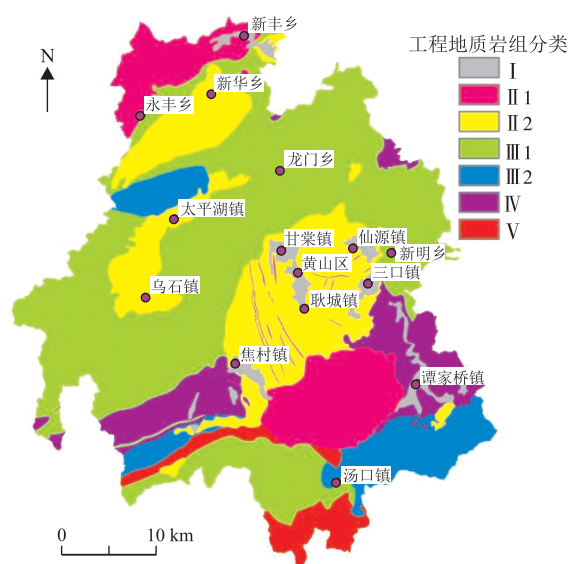


图 3 黄山区工程地质岩组分区图

3.5 坡体结构

坡体结构是地质灾害发育的一个重要孕灾条

表 3 工程地质岩组分级及信息量统计表

评价指标	岩组分级	S_i/S	信息量 I
数据	I	0.031 0	0.381 6
	II 1	0.113 4	-1.897 4
	II 2	0.204 0	0.054 5
	III 1	0.449 3	0.116 1
	III 2	0.082 3	-1.577 2
	IV	0.086 8	-1.342 6
	V	0.036 7	1.599 3

件。通过收集研究区各类地质图件,区分不同类别岩层,提取层状岩层产状信息,结合野外调查成果,利用克里金插值计算,产出全区岩层倾向、倾角栅格;根据 1:1 万数字高程模型(DEM),生成坡向值,比较、分类确定斜坡结构类型。

坡面的构造形态主要涵盖了 7 种类型,即顺向斜坡、斜向坡、横向坡、反向坡、块状岩体斜坡、近水平层状斜坡以及土质斜坡,具体可参见图 4。在这些类型中,顺向斜坡所含数据信息量最大,数值高达 0.74,排在其后的是土质斜坡,数据信息量为 0.38,详情见表 4。

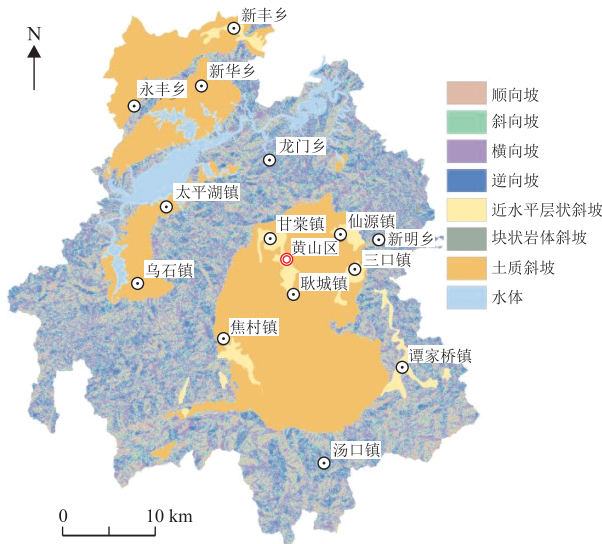


图 4 斜坡结构分类图

表 4 坡体结构分类及信息量统计表

评价指标	坡体结构分类	S_i/S	N_i/N	信息量 I
数据	顺向坡	0.107 9	0.220 3	0.743 0
	斜向坡	0.204 5	0.226 0	0.103 5
	横向坡	0.204 8	0.203 4	-0.003 2
	反向坡	0.100 6	0.107 3	0.068 4
	土质斜坡	0.031 0	0.045 2	0.379 1
	近水平层状斜坡	0.000 3	0.000 0	-3.000 0
	块状岩体斜坡	0.301 7	0.197 7	-0.447 8

3.6 断裂带缓冲距离

断裂的形成与地质灾害的发育紧密相关,是引

发这些灾害的重要原因。这主要是因为断层区域导致岩石破碎更为严重,产生较多缝隙和节理,促进了侵蚀与风化活动,形成深厚的风化土层,这样的结构为地质灾害的发生提供了必要的物理环境;同时,岩石被破坏瓦解,影响了其完整性,并产生了渗水的途径,因而增大了地质灾害发生的风险。

依据断层缓冲区的差异对地质灾害活动性的作用,通过 GIS 技术测算了各个灾害源点到相邻最近断裂的实际距离,并基于这些距离将灾害点划分为以下几个阶段:0~50 m、50~100 m、100~300 m、300~500 m 及超过 500 m,具体可参见图 5。研究数据表明,在距断裂不超过 300 m 的区域内,地质灾害发生的概率明显提高,信息量较为密集(表 5)。

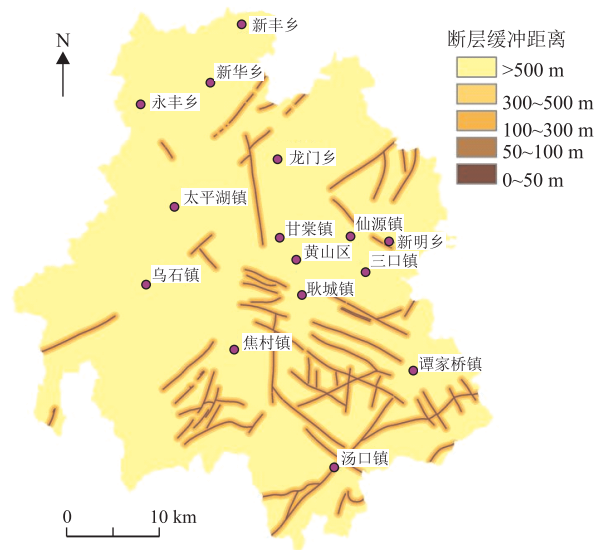


图 5 黄山区断层缓冲距离分类图

表 5 断裂分级及信息量统计表

评价指标	断裂分级/m	S_i/S	N_i/N	信息量 I
数据	0~50	0.018 3	0.033 9	0.618 0
	50~100	0.018 5	0.039 5	0.761 5
	100~300	0.073 9	0.124 3	0.523 0
	300~500	0.069 4	0.067 8	-0.019 8
	>500	0.823 3	0.734 5	-0.110 7

3.7 地质灾害危险性评价

3.7.1 评价单元

地质灾害的发育特征受各种因素的影响,表现出明显的差异性和复杂性^[9]。因此,建立单元网络作为地质灾害发育规律的评价单元,更具有合理性。根据前人研究,使用 25 m×25 m 的栅格作为评价单元,即可满足县域的风险评价要求,故研究区共划分约 2 786 356 个评价单元。

3.7.2 地质灾害危险性评价结果

将 5 种分析视角下的数据总和计算得出,结果显示 2 786 356 个同质状态单元所蕴含的信息总量

介于-10.613 3到3.983 4之间,此数值上升则意味着对于地质灾害产生的“影响力”增强,灵敏度提高,因而地质灾害发生的可能性也随之加大(图6)^[10-13]。

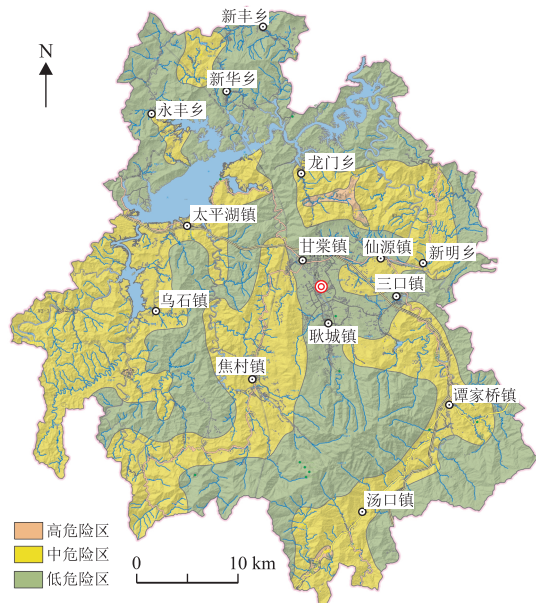


图6 黄山区地质灾害危险性评价分区图

依据综合信息量的测算数据,通过自然断裂点技术,以-2.73和3.36作为风险等级的界限,把调研区域基于地质灾害发生概率区分为低易发区、中易发区和高易发区(表6)。

表6 地质灾害易发性分区面积统计表

易发程度分区	信息量 I	分区面积/ km^2
低易发区	-10.613 3~-2.73	13.14
中易发区	-2.73~3.36	771.52
高易发区	3.36~3.983 4	962.34

4 评价成果验证

通过将此次对地质灾害潜在风险的评估与外业现场调查的成果对比研究,在177个地质灾害点进行叠加分析之后,发现这些灾害点的分布概况显示:111个处于高易发地区、64个位于中易发区域,而低易发区域只有2个(表7)。地质灾害点展现的分布格局与地质灾害发生概率的预测区划相吻合,从而证明了评估结果的合理性。

表7 不同易发性分区内地质灾害点数量统计表

易发分区类	分区面积/ km^2	地质灾害点数量/个
低易发区	962.34	2
中易发区	771.52	64
高易发区	13.14	111

结合野外调查情况,黄山区内高易发区为龙门乡龙源村-仙源镇弦歌村-新明乡猴坑村、乌石镇清溪村、桃源村一带、汤口镇冈村一带,需要高度警惕地质灾害的发生;中易发区为新丰乡-新华乡一带、永丰乡、乌石镇-太平湖镇、龙门乡-新明乡-仙源镇-三口镇、焦村镇-甘棠镇、谭家桥镇-汤口镇,需要随时关注地质灾害的发育情况;而其他各区相对来说风险较低,地质灾害发生的概率相对较小。

5 结论

依托地理信息系统(GIS)对空间数据的分析潜力,融合通过实际探测获取的地质变动位置信息,该研究项目基于坡度、地形起伏度、斜坡结构、断层缓冲距离、工程地质岩组等5方面因素,运用信息量分析法对探究区域内的地质灾害发育潜势进行了评价。经过对该黄山区灾害体数据的深入分析,我们归纳出以下的观点:

(1) 在研究区域内中等灾害发生率区域占地771.52 km^2 、高风险区占地13.14 km^2 ,这分别占据了研究总区域的44.16%及0.75%。由此推断,黄山区地质灾害易发区面积占了接近一半。

(2) 黄山地区的地质灾害分布主要取决于与断层带的距离,且倾斜的千枚岩地形在 $5^\circ\sim 35^\circ$ 的斜坡上尤为易发。因此,在这些关键地带应当着重执行地质灾害防范措施。

以上结论将会支撑黄山区地方政府地质灾害的防治规划与风险管理,研究成果也为类似地区开展地质灾害风险评价提供了范例,有利于提升黄山地区地质灾害防治水平。

参考文献

- [1] 罗大游,温兴平,张皓楠,等.基于GIS的元谋县地质灾害地貌特征研究[J].地质灾害与环境保护,2019,30(2):97-100.
- [2] 张波,石长柏,肖志勇,等.基于GIS和加权信息量的湖北鄂州地质灾害易发性区划[J].中国地质灾害与防治学报,2018,29(3):101-107.
- [3] 周静静,张晓敏,赵法锁,等.陕南秦巴山区地质灾害危险性评价研究[J].地质力学学报,2019,25(4):544-553.
- [4] 张超,田运涛,张宇飞.甘肃陇南石鸡坝乡幅地质灾害危险性评价[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(7):83-89.
- [5] 孙健,吴超纲,刘钦,等.黄山市徽州区坡面泥石流形成机理研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)自然科学,2016,(3):148-149.
- [6] 许英姿,卢玉南,李东阳,等.基于GIS和信息量模型的广西花岗岩分布区滑坡易发性评价[J].工程地质学报,2016,24(4):693-703.

- [7] 刘乐,杨智,孙健,等.安徽黄山市徽州区地质灾害危险性评价研究[J].中国地质灾害与防治学报,2021,2(2):110-116.
- [8] 杨智,郭德岭,刘乐,等.安徽省贵池区地质灾害危险性评价研究[J].能源技术与管理,2022,47(4):126-129.
- [9] 刘春玲,司维兵,姚翔龙,等.藏北高原班戈县地质灾害综合风险评价[J].地质科学,2024,59(1):249-258.
- [10] 王雷,吴君平,赵冰雪,等.基于 GIS 和信息量模型的安徽池州地质灾害易发性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(3):96-103.
- [11] 王齐鑫,王龙平,王泽宇.安徽阜阳中心城区地面沉降灾害风险评估[J].中国地质灾害与防治学报,2019,30(4):32-39.
- [12] 方然可,刘艳辉,苏永超,等.基于逻辑回归的四川青川县区域滑坡灾害预警模型[J].水文地质工程地质,2021,48(1):181-187.
- [13] 郭伟,王晨辉,李鹏,等.基于 LoRa 的地质灾害分布式实时监测系统设计[J].水文地质工程地质,2020,47(4):107-113.