

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2021.02.15

安徽黄山市徽州区地质灾害危险性评价研究

刘 乐¹, 杨 智¹, 孙 健², 刘 钦², 彭 鹏¹, 段俊斌¹

(1. 安徽省地质调查院, 安徽合肥 230001;
2. 安徽省地质矿产勘查局 332 地质队, 安徽黄山 245000)

摘要:皖南山区是安徽省地质灾害高发区域。本文选取黄山市徽州区为研究区, 根据区内地形地貌和地质构造特点, 选取了高程、坡度、坡向、断裂构造、水系、土地覆盖类型、工程地质岩组、人类活动强度等 8 项致灾因子作为地质灾害危险性评价指标。结合地质灾害野外实地调查成果, 采用信息量模型法对研究区进行地质灾害危险性评价, 探索建立适合皖南山区的地质灾害危险性评价模型。

关键词:皖南山区; 地质灾害; 致灾因子; 信息量模型; 地理信息系统

中图分类号: P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-8035(2021)02-0110-07

Study on risk assessment of geological hazards in Huizhou District, Huangshan City, Anhui Province

LIU Le¹, YANG Zhi¹, SUN Jian², LIU Qin², PENG Peng¹, DUAN Junbin¹

(1. Geological Survey of Anhui Province, Hefei, Anhui 230001, China; 2. No.332 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province, Huangshan, Anhui 245000, China)

Abstract: The mountainous area in southern Anhui Province is a high incidence area of geological disasters. This paper chooses Huizhou District of Huangshan City as the research area. According to the characteristics of landform and geological structure, eight impact factors, including elevation, slope, slope direction, fault structure, water system, land cover type, engineering geological rock formation and human activity intensity, were selected as the risk assessment indexes of geological disaster. Combined with the field survey results of geological disasters, the risk assessment of geological hazard in the study area was carried out by the method of information quantity model. A geological hazard assessment model suitable for the southern Anhui mountains was established.

Keywords: Southern Anhui mountains; geological hazard; impact factor; information model; geographic information system

0 引言

地质灾害的发生是内因和外因共同作用的结果。内因即为区内的地质环境, 决定着地质灾害的类型、分布、规模和强度, 主要包括地形地貌、岩性构造、工程地质岩组等^[1]。外因是触发地质灾害的外部条件, 主要包括降雨、地震、工程切坡、植被破坏、矿山开采等。

开展大比例尺高精度的地质灾害评价是当前地质

灾害调查亟需的^[2]。利用 GIS 平台结合高分遥感影像、DEM 数据等, 可以快速有效的进行大范围地质灾害危险性评价^[3]。即根据研究区特点, 通过对已发的地质灾害进行提取, 分析其孕灾、成灾的因素, 并选用恰当的数学评价模型, 综合评价区内的地质灾害危险性程度, 并预测区域内地质灾害易发生空间位置。进而建立针对研究区的地质灾害危险性评价模型。

收稿日期: 2020-05-10; 修订日期: 2020-05-20

基金项目: 安徽省公益性地质调查项目(2015-g-39); 安徽省重点研究与开发计划项目(202004a07020030)

第一作者: 刘 乐(1986-), 男, 陕西西安人, 硕士, 工程师, 主要从事遥感地质调查与研究工作。E-mail: 358354819@qq.com

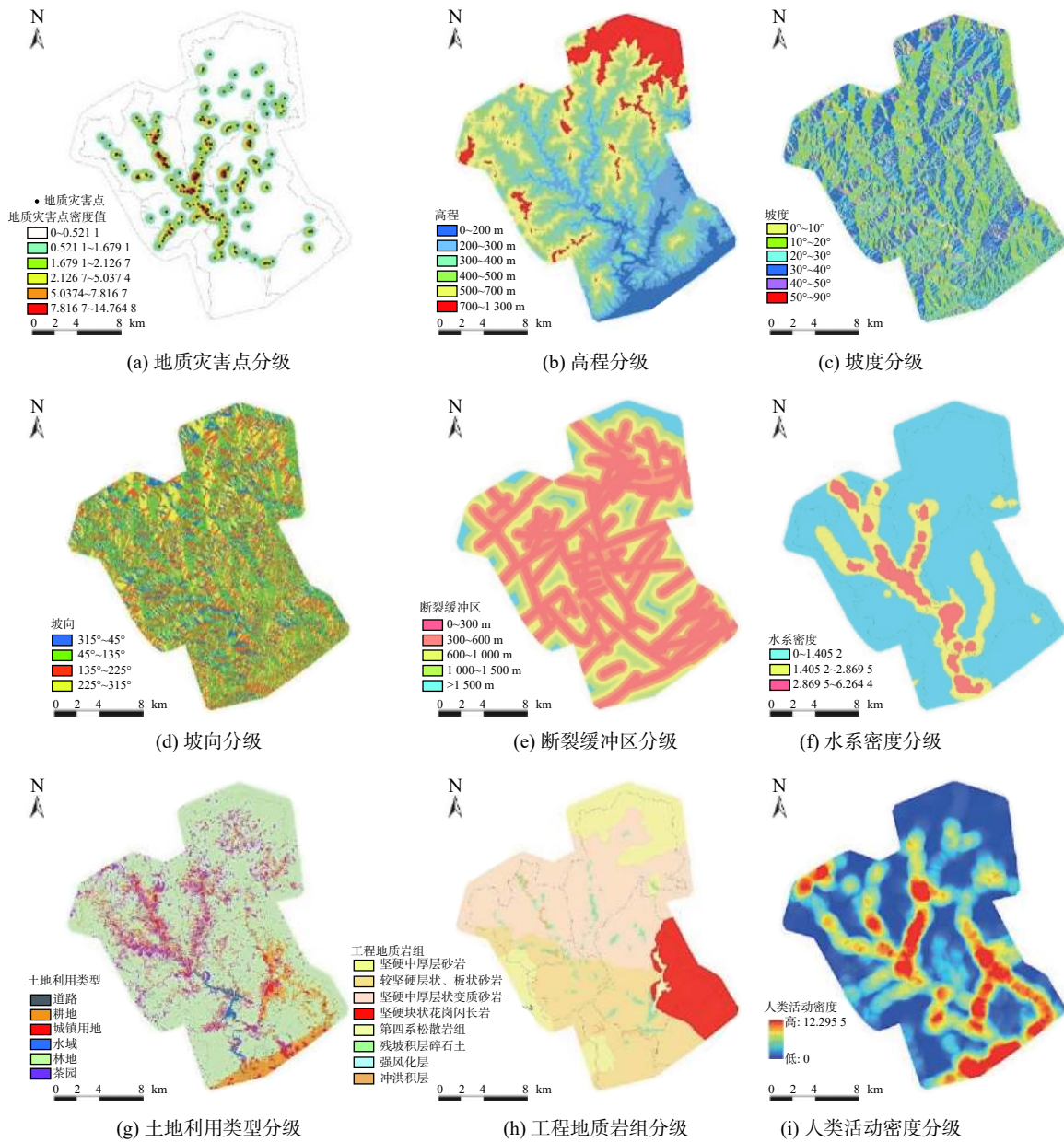


图 2 地质灾害点密度与致灾因子分级图

Fig. 2 Density maps of geological disaster points and classification diagram of the impact factors of geological disasters

表 1 高程分级及信息量统计表

Table 1 Statistics of elevation classification and information

评价指标	高程分级/m	S_i/S	N_i/N	信息量 I
数据	0 ~ 200	0.073 2	0.052 6	-0.330 3
	200 ~ 300	0.171 7	0.138 3	-0.216 4
	300 ~ 400	0.196 7	0.302 7	0.431 0
	400 ~ 500	0.202 4	0.235 5	0.151 4
	500 ~ 700	0.247 5	0.205 1	-0.188 2
	700 ~ 1 300	0.108 5	0.065 9	-0.498 4

表 2 坡度分级及信息量统计表

Table 2 Statistics of slope classification and information

评价指标	坡度分级/(°)	S_i/S	N_i/N	信息量 I
数据	0 ~ 10	0.095 1	0.017 3	-1.702 3
	10 ~ 20	0.179 8	0.120 7	-0.398 5
	20 ~ 30	0.308 1	0.368 2	0.178 0
	30 ~ 40	0.307 1	0.395 5	0.253 0
	40 ~ 50	0.107 5	0.096 6	-0.106 6
	50 ~ 90	0.002 5	0.001 7	-0.345 4

3.1.3 坡向

坡向即坡面的朝向。不同朝向的坡面,坡体受太阳

辐射强度,各种物理化学的风化作用程度不同。

将坡向每隔 90°划分为四个方位区间,将分别为东

坡 $45^\circ \sim 135^\circ$ 、南坡 $135^\circ \sim 225^\circ$ 、西坡 $225^\circ \sim 315^\circ$ 、北坡 $315^\circ \sim 45^\circ$, 见图 2(d)。

通过坡向对地质灾害提供的信息量图, 可见北坡地质灾害发生可能性较小, 其他方向地质发生概率较大, 特别是南坡(表 3)。

表 3 坡向分级及信息量统计表
Table 3 Statistics of slope classification and information

评价指标	坡向分级/ $^\circ$	S_i/S	N_i/N	信息量 I
数据	315 ~ 45	0.176 1	0.149 4	-0.164 4
	45 ~ 135	0.289 0	0.300 8	0.039 9
	135 ~ 225	0.264 6	0.280 8	0.059 2
	225 ~ 315	0.270 3	0.269 1	-0.004 5

3.1.4 断裂

研究区内断裂构造发育, 且以北东及北西向断裂为主北东东向最为发育(规模大、密集), 北西向次之。区内大型断裂切割本区古老地层, 同时伴生次级断裂和构造裂隙, 使岩体结构松散, 岩石破碎及风化, 是引发地质灾害的主要因素^[9]。

根据遥感解译断裂构造的位置, 以与断裂构造的距离为依据划分缓冲区, 共划分 5 个级别, 分别为 $0 \sim 300$ m、 $300 \sim 600$ m、 $600 \sim 1\,000$ m、 $1\,000 \sim 1\,500$ m、 $>1\,500$ m, 见图 2(e)。

通过距离断裂级别对地质灾害提供的信息量图, 可见在距离断裂带 300 m 内发生地质灾害的可能性最大, 1 000 m 以上则地质灾害的发生概率较低(表 4)。

表 4 断裂分级及信息量统计表
Table 4 Statistics of fracture classification and information

评价指标	断裂分级/m	S_i/S	N_i/N	信息量 I
数据	0 ~ 300	0.363 7	0.531 0	0.378 5
	300 ~ 600	0.254 1	0.283 3	0.108 7
	600 ~ 1 000	0.204 2	0.140 6	-0.373 1
	1 000 ~ 1 500	0.114 6	0.028 7	-1.383 3
	>1 500	0.063 6	0.016 4	-1.355 0

3.1.5 水系

河流的侵蚀是导致地质灾害发生的重要因素, 主要表现为侵蚀作用对斜坡前缘抗力的削弱和临空面的增加造成斜坡失稳^[10]。

研究区内主要河流为丰乐河及其支流, 对河流根据其线密度进行统计, 密度越大, 说明河流沟谷越多, 地面越破碎, 地面物质稳定性越低, 造成的灾害越多。

在 ArcGIS 中, 将河流进行遥感解译, 并形成线矢量文件, 将线文件进行密度分析, 计算公式为:

$$D_s = \frac{\sum L}{A} \quad (2)$$

式中: D_s ——水系密度;

$\sum L$ ——研究区水系总长度/km;

A ——研究区面积/km²。

通过密度分析, 研究区水系密度值范围为 $0 \sim 6.264 4$, 通过与遥感影像图进行对比, 将密度范围划分为 3 个区间, 分别为 $0 \sim 1.405 2$ 、 $1.405 2 \sim 2.869 5$ 、 $2.869 5 \sim 6.264 4$, 见图 2(f)。通过水系密度对地质灾害提供的信息量可见, 在水系密度高的区域, 地质灾害相对概率也较高(表 5)。

表 5 水系密度分级及信息量统计表
Table 5 Statistics of the river system density classification and information

评价指标	水系密度分级/(km ⁻¹)	S_i/S	N_i/N	信息量 I
数据	0 ~ 1.405 2	0.771 7	0.752 3	-0.025 5
	1.405 2 ~ 2.869 5	0.155 2	0.168 9	0.085 0
	2.869 5 ~ 6.264 4	0.073 1	0.078 8	0.074 5

3.1.6 土地利用类型

研究区为黄山毛峰的主产区, 陡坡茶园在区内分布广泛, 因此在土地类型的划分上, 将茶园进行单独分类, 共划分为道路、耕地、城镇用地、水域、林地、茶园 6 种类型, 分析不同用地类型对引起地质灾害所提供的信息量, 见图 2(g)。

依据各土地类型对地质灾害提供的信息量, 可见道路、茶园、城镇用地 3 种土地类型发生地质灾害的可能性较大(表 6)。

表 6 各土地利用类型信息量统计表
Table 6 Statistical table of information quantity of land use types

评价指标	用地分级	S_i/S	N_i/N	信息量 I
数据	道路	0.010 5	0.016 8	0.474 2
	耕地	0.103 0	0.095 6	-0.075 3
	城镇用地	0.018 6	0.023 1	0.216 8
	水域	0.011 4	0.011 9	0.049 3
	林地	0.765 0	0.715 4	-0.067 1
	茶园	0.091 5	0.137 2	0.404 9

3.1.7 工程地质岩组

岩土体作为斜坡的基本组成, 其控制着地质灾害的形成、分布和规模^[11]。研究区按岩石强度划分为①坚硬中厚层砂岩岩组(NH_{1x})、②较坚硬层状、板状砂岩夹板岩岩组(PT_{2n})、③坚硬中厚层状变质砂岩岩组(PT_{2d})、④坚硬块状花岗闪长岩岩组($\gamma\delta$)、⑤第四系松

散岩组(Q₄)、⑥残坡积层碎石土(Q^{dl+el})、⑦强风化层、⑧冲洪积层(Q^{apl})，见图 2(h)。

通过分析，8 类工程地质岩组中，残坡积层碎石土(Q^{dl+el})和强风化层两类对地质灾害贡献的信息量最大(表 7)。

表 7 各工程地质岩组信息量统计表

Table 7 Statistical table of information of each engineering geological rock formation

评价指标	工程地质岩组分级	S _i /S	N _i /N	信息量 I
数据	NH _{1x}	0.164 4	0.142 9	-0.140 4
	PT _{2n}	0.279 0	0.219 8	-0.238 5
	PT _{2d}	0.412 2	0.488 9	0.170 6
	γδ	0.110 5	0.085 2	-0.260 1
	Q ₄	0.006 5	0.005 6	-0.135 8
	Q ^{dl+el}	0.022 5	0.052 3	0.842 1
	强风化层	0.000 6	0.001 1	0.680 7
	Q ^{apl}	0.004 3	0.003 6	-0.166 9

3.1.8 人类活动强度

在 ArcGIS 中，将道路路网和房屋范围进行遥感解译，并形成线矢量文件，将线文件进行密度分析，线网密度越大，说明人类活动越强烈，引发的地质灾害越多。

通过线密度分析，徽州区人类活动密度值范围为 0 ~ 12.295 5，通过与遥感影像图进行比对，将密度范围划分为 4 个区间，分别为 0 ~ 1.418 5(人类活动强度极低)、1.418 5 ~ 4.530 9(人类活动强度一般)、4.530 9 ~ 5.882 1(人类活动强度较高)、5.882 1 ~ 12.295 5(人类活动强度极高)，见图 2(i)。

通过人类活动强度对地质灾害提供的信息量图，可见在人类活动强度较高、极高区间，地质灾害发生较频繁，在人类活动强度极低区间地质灾害发生可能性较低(表 8)。

表 8 人类活动强度分级及信息量统计表

Table 8 Statistics of human activity intensity classification and information

评价指标	人类活动分级	S _i /S	N _i /N	信息量 I
数据	0 ~ 1.418 5	0.464 2	0.240 6	-0.656 9
	1.418 5 ~ 4.530 9	0.362 4	0.349 6	-0.036 2
	4.530 9 ~ 5.882 1	0.085 0	0.153 0	0.587 8
	5.882 1 ~ 12.295 5	0.088 4	0.233 5	0.971 2

3.2 地质灾害危险性评价

3.2.1 评价网格划分

对于基于 GIS 栅格运算的地质灾害易发性区段评价中，研究区中各致灾因子图层的评价单元，选用正方

形标准栅格作为评价单元，确定栅格单元大小的经验公式为：

G_s = 7.49 + 0.000 6S - 0.2 × 10⁻⁷ + 2.9 × 10⁻¹⁵S² (3)

式中：G_s——适宜栅格大小；

S——地质灾害评价比例尺的倒数。

评价单元的划分会直接影响评价结果的合理性^[12]，利用公式(3)并结合本次地质灾害评估的精度要求，使用 13.5 m × 13.5 m 的栅格大小作为评价单元，研究区共划分约 2 186 478 个评价单元。

3.2.2 地质灾害危险性评价结果

将所有致灾因子信息量求和，得到 2 186 478 个均一条件单元的总信息量值，其范围为-4.732 721 ~ 3.449 854，数值越大，对地质灾害发生的“贡献率”越大，地质灾害越容易发生(图 2)^[13-16]。

根据各评价单元的信息量值，采用自然间断点法，取-1.18、-0.03、1.26 为分界点，将研究区按危险度划分为地质灾害不易发区、低易发区、中易发区和高易发区(表 9、图 3)^[17-19]。

表 9 地质灾害危险度分区面积统计表

Table 9 Statistical table of geological hazard area

危险度分区	信息量	分区面积/km ²
不易发区	-4.732 721 ~ -1.18	104.49
低易发区	-1.18 ~ -0.03	157.78
中易发区	-0.03 ~ 1.26	116.35
高易发区	1.26 ~ 3.449 854	19.86

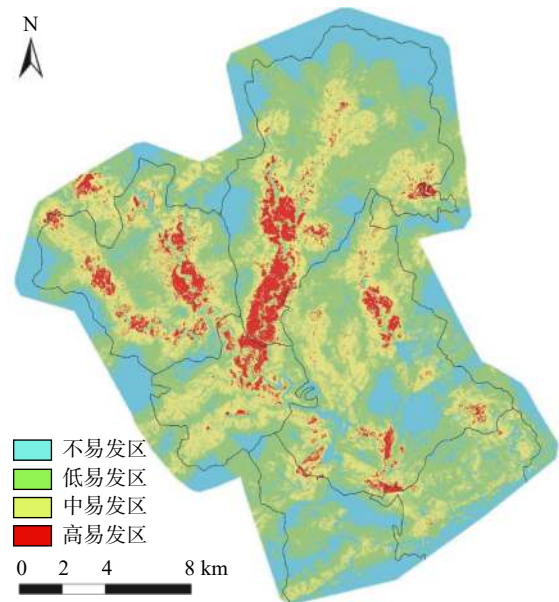


图 3 研究区地质灾害危险性评价图

Fig. 3 Geological hazard risk assessment map of the research area

4 成果验证

通过本次地质灾害危险性评价结果与野外调查成果的215处地质灾害点进行叠合分析,灾点分布情况为:高易发区132处、中易发区80处、低易发区3处、不易发区0处(表10)。地质灾害点的分布结果与地质灾害危险性评价区划相符,评价结果较合理。

表10 不同危险度分区内地质灾害点数量统计表
Table 10 Statistical table of the number of geological disaster points in different risk zones

易发区分类	分区面积/km ²	地质灾害点数量/个
不易发区	104.49	0
低易发区	157.78	3
中易发区	116.35	80
高易发区	19.86	132

5 结束语

通过研究区数据分析,得出以下结论:

(1)结合野外实际调查的地质灾害点成果,选取高程、坡度、坡向、断裂、水系、土地利用类型、工程地质岩组、人类活动强度等8个致灾因子,使用信息量模型法对研究区进行地质灾害危险性评价,其中中易发区和高易发区面积分别为116.35, 19.86 km²,占研究区总面积的29.2%和4.98%。

(2)根据评价结果,研究区内地质灾害的分布主要受到断裂带的控制,同时在河流、道路、茶园附近,坡度20°~40°的坡面,第四系松散层和强风化层覆盖区域均为地质灾害高发区,需要在重点区域加强地质灾害的防治工作。

参考文献 (References):

- [1] 郑建中,邹正明.皖南山区环境地质特征与滑坡地质灾害防治[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2006,29(1):102-105. [ZHENG Jianzhong, ZOU Zhengming. Environmental geological characteristics of the mountain area of southern Anhui Province and treatment of geological disasters due to landslide [J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2006, 29(1): 102-105. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 魏国灵,金云龙,邱锦安,等.粤东陆河县地质灾害易发性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(1):51-56. [WEI Guoling, JIN Yunlong, QIU Jinan, et al. Susceptibility assessment of geological hazard in Luhe County of eastern Guangdong [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(1): 51-56. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 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. [LUO Dayou, WEN Xingping, ZHANG Haonan, et al. Study on geomorphological characteristics of geological hazards in Yuanmou County based on GIS [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2019, 30(2): 97-100. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 孙健,陶慧,杨世伟,等.皖南山区地质灾害发育规律与防治对策[J].水文地质工程地质,2011,38(5):98-101. [SUN Jian, TAO Hui, YANG Shiwei, et al. Development characteristics and prevention measures of geological hazards in mountain area of southern Anhui Province [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2011, 38(5): 98-101. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 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. [ZHANG Bo, SHI Changbai, XIAO Zhiyong, et al. Geologic hazards susceptibility assessment in Ezhou City of Hubei Province based on GIS and weighted information value [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(3): 101-107. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 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. [ZHOU Jingjing, ZHANG Xiaomin, ZHAO Fasuo, et al. Research on risk assessment of geological hazards in Qinling-Daba mountain area, south Shaanxi Province [J]. Journal of Geomechanics, 2019, 25(4): 544-553. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 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. [ZHANG Chao, TIAN Yuntao, ZHANG Yufei. Geo-hazard risk assessment in Shijiba Town at Longnan area in Gansu Province [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Sciences), 2019, 38(7): 83-89. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 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. [SUN Jian, WU Chaogang, LIU Qin, et al. Study on the formation mechanism of debris flow on the slope in Huizhou District, Huangshan City [J]. Chinese Journal of Science and Technology Database (Abstract Edition) Natural Science, 2016(3): 148-149. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 施成艳,鹿献章,刘中刚.基于GIS的安徽黄山市徽州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. [SHI Chengyan, LU Xianzhang, LIU

- Zhonggang. GIS-based zoning of geological hazard's susceptibility in Huizhou District of Huangshan City of Anhui Province [J] . The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2016, 27(1): 136 - 140. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 邱海军, 崔鹏, 王彦民, 等. 基于关联维数的黄土滑坡空间分布结构及其成因分析 [J] . 岩石力学与工程学报, 2015, 34(3): 546 - 555. [QIU Haijun, CUI Peng, WANG Yanmin, et al. Spatial distribution structure of loess landslides and cause analysis based on correlated fractal dimension [J] . Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34(3): 546 - 555. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 樊芷吟, 苟晓峰, 秦明月, 等. 基于信息量模型与 Logistic 回归模型耦合的地质灾害易发性评价 [J] . 工程地质学报, 2018, 26(2): 340 - 347. [FAN Zhiyin, GOU Xiaofeng, QIN Mingyue, et al. Information and logistic regression models based coupling analysis for susceptibility of geological hazards [J] . Journal of Engineering Geology, 2018, 26(2): 340 - 347. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 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. [XU Yingzi, LU Yunan, LI Dongyang, et al. GIS and information model based landslide susceptibility assessment in granite area of Guangxi Province [J] . Journal of Engineering Geology, 2016, 24(4): 693 - 703. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 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. [WANG Lei, WU Junping, ZHAO Bingxue, et al. Susceptibility assessment of geohazards in Chizhou City of Anhui Province based on GIS and informative model [J] . The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(3): 96 - 103. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 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价 [J] . 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(4): 32 - 39. [WANG Qixin, WANG Longping, WANG Zeyu. Risk assessment of land subsidence in central area of Fuyang City, Anhui Province [J] . The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(4): 32 - 39. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 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. [FANG Ranke, LIU Yanhui, SU Yongchao, et al. A early warning model of regional landslide in Qingchuan County, Sichuan Province based on logistic regression [J] . Hydrogeology & Engineering Geology, 2021, 48(1): 181 - 187. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 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. [GUO Wei, WANG Chenhui, LI Peng, et al. Design of the distributed real-time monitoring system for geological hazards based on LoRa [J] . Hydrogeology & Engineering Geology, 2020, 47(4): 107 - 113. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 张茂省. 发挥新型举国体制优势提高地质灾害防治能力 [J] . 西北地质, 2019, 52(2): I - II. [ZHANG Maosheng. Maximising the advantages of the new national system for improving the ability to prevent and mitigate geological disasters [J] . Northwestern Geology, 2019, 52(2): I - II. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 张茂省, 薛强, 贾俊, 等. 山区城镇地质灾害调查与风险评估方法及实践 [J] . 西北地质, 2019, 52(2): 125 - 135. [ZHANG Maosheng, XUE Qiang, JIA Jun, et al. Methods and practices for the investigation and risk assessment of geohazards in mountainous towns [J] . Northwestern Geology, 2019, 52(2): 125 - 135. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 刘畅, 张平松, 杨为民, 等. 税湾地震黄土滑坡的岩土动力特性及其稳定性评价 [J] . 西北地质, 2020, 53(4): 176 - 185. [LIU Chang, ZHANG Pingsong, YANG Weimin, et al. Geotechnical dynamic characteristics and stability evaluation of loess landslides in Shuiwan Earthquake, Tianshui, Gansu [J] . Northwestern Geology, 2020, 53(4): 176 - 185. (in Chinese with English abstract)]