

基于加权信息量法的广东省南澳县地质灾害易发性评价

黄宁勇, 欧泽芳

广东省地质局第二地质大队, 汕头 515021

摘要: 以广东省南澳县地质灾害风险调查野外数据为基础, 结合南澳岛现状地质灾害发育特征, 选取坡度、坡向、地形起伏度、工程地质岩组、距构造距离以及距道路距离等6个评价因子, 基于GIS平台, 利用加权信息量模型对南澳县进行地质灾害易发性评价, 得到南澳县地质灾害高、中、低易发性分区。结果表明: (1) 高易发区集中在南澳县西半岛北侧及东半岛圆山村, 中易发区基本沿环岛公路两侧的人工削坡处, 其余平原区及人类工程活动较少的丘陵低山处为低易发区; (2) 南澳县地质灾害发育主要是由坡度、地形起伏度、工程地质岩组为主要影响因素控制, 经降雨因素诱发, 在修建环岛公路为代表的人类工程活动影响下, 南澳县地质灾害易发性分区形式差异分布。

关键词: 南澳县; 地质灾害; GIS; 易发性评价

中图分类号: P694; P56 **文献标识码:** A

Susceptibility Assessment of Geological Hazards in Nan'ao County, Guangdong Province Based on Weighted Information Value Method

HUANG Ningyong, OU Zefang

Second Geological Brigade, Guangdong Provincial Bureau of Geology, Shantou 515021, China

Abstract: According to the data of the Nanao county, Guangdong Province geological hazard risk assessment and the developmental characteristics of the geological hazard in Nanao island, 6 factor including the density of gradient, slope direction, relief, structure type of rock-soil mass, distance from geological structure and roads. This paper get the Nan'ao county geological disaster assessment map based on Arcgis platform and combined with the information model. The results show that: (1) High-prone areas mainly distribute in the north of western peninsula and Yuanshan village of the eastern peninsula; Medium-prone areas mainly distribute in roundabout road; The rest of the plains and the low mountains and hills of weak human activity is Low-prone areas. (2) Nan'ao County geological hazard development is mainly controlled by the influence factors of the gradient, relief, structure type of rock-soil mass, and affected by the precipitation and building road resrepresenting human activity intensifies, which caused Nan'ao County geological hazard degree of different distribution.

Key words: Nan'ao County; Geological Hazards; GIS; Susceptibility Assessment

收稿日期: 2024-08-20 改回日期: 2024-09-26

基金项目: 广东省南澳县地质灾害风险调查、普查(1:5000)项目(44050077308738X2109300664)

第一作者简介: 黄宁勇(1994—), 男, 水工环地质工程师, 本科, 主要从事基础地质调查、地质灾害调查、水工环地质勘查工作。E-mail: 502308499@qq.com

引文格式: 黄宁勇, 欧泽芳. 基于加权信息量法的广东省南澳县地质灾害易发性评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2025, 36(1): 26-32.

HUANG Ningyong, OU Zefang. Susceptibility assessment of geological hazards in Nan'ao County, Guangdong Province based on weighted information value method[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2025, 36(1): 26-32.

0 引言

据现今研究,地质灾害的形成并非受单一因素,而是组合因素的影响。传统的评价方法存在信息数据处理效率低下以及准确性欠缺的问题,目前以 Arcgis 为平台建立的定量评价等方法越来越多,如许强、高治群、赵帅、张晓东等,均采用了信息量模型法对地质灾害易发性和危险性进行评价^[1-4],且均取得了一定可信度。信息量模型是对各种处理数据整理的统计分析评价方法,能够更客观精准地印证不同地质环境时评价因子单独和组合时相互作用特征以及影响程度。为降低特殊极端因子对评价结果产生的影响,本次研究采用层次分析法加权的信量模型,根据每个评价因子相互对比后的影响程度,对

其进行贡献权重判定,而后将其进行组合叠加,判断在各成灾因素相互作用下,地质灾害发生概率和易发性,依次来提高评价成果的准确性。

1 研究区概况

南澳县地处北回归线,广东省汕头市东南角,位于福建、广东、台湾三地处的交界海面,是广东省唯一的海岛县,地理位置东经 $116^{\circ}53' \sim 117^{\circ}19'$,北纬 $23^{\circ}11' \sim 23^{\circ}32'$,由南澳主岛及其附近的若干岛屿构成,主岛面积 111.73 km^2 (图 1)。南澳县属于温暖湿润的亚热带海洋性季风气候,近 10 a 平均降雨量 $1\,276.4 \text{ mm}$,年最大降雨量为 $1\,986.3 \text{ mm}$,日最大降雨量为 199.4 mm 。

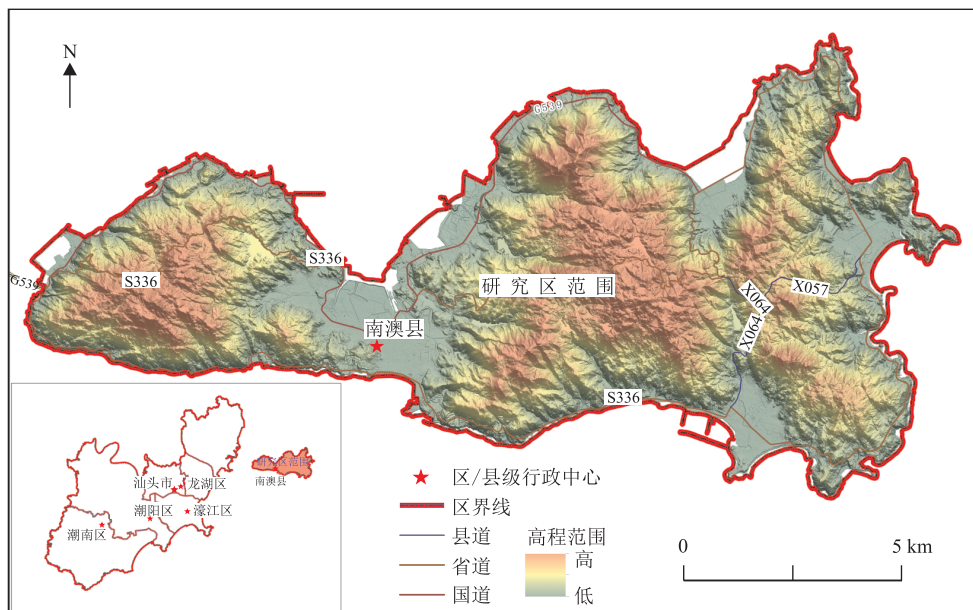


图 1 研究区位置

南澳县主岛面积形似葫芦,未见大江大河,海岸多为岩石陡岸,地貌类型属低山剥蚀丘陵地貌,山地丘陵占比 93.2% ,平地面积仅占 6.4% ,其余为海湾洼地。东西两部为宽而突起的丘陵,地势各自中朝四周逐渐降低,东西全长 21.5 km ,东部最宽 10.5 km ,西部最宽 5 km ,中部为狭小冲积平原,最窄处仅为 2.1 km 。西部最高山峰为高嶂寨,海拔 584.8 m ,东部最高山峰为果老山,海拔 573.3 m 。南澳县出露地层主要为侏罗系和第四系,岩性为二长花岗岩、黑云母花岗岩、钾长花岗岩等,呈岩基、岩株、岩墙产出,零星有闪长岩脉及石英脉出露。

区域地质上位于新华夏系构造第三隆起带的东南侧与南岭东西向复杂构造带南部东段交接位置,区内构造以北东向构造为主,与北西向构造互为配

套^[5],主要断裂 12 条,地处东南沿海地震带中段,属于华南地震区,东南沿海地震亚区汕头-南澳岛地震活动带,地震活动频繁。呈北东方向分布的条带最为明显,主要受北东向断裂构造控制,地震基本烈度为 VIII 度,地壳稳定性属较不稳定。

2 研究方法

2.1 数据来源

研究区所使用数据主要有数字高程模型 (DEM)、崩塌地质灾害调查点、孕灾地质条件调查点、地质图以及行政区划图、土地现状利用类型图、年平均降雨量数据、道路交通分布图等多个数据集。

2.2 加权信息量模型概述

信息量可用以下公式表示:

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

式中, $I_{A_j \rightarrow B}$ 为因子 A 、 j 状态下, 研究范围内地质灾害 B 发生的信息量; N_j 为因子 A 、 j 状态下, 研究范围内地质灾害分布的单元数; N 为研究范围内已发或者调查已发地质灾害调查点总数; S_j 为因素 A 、 j 状态下, 研究范围内分布的单元数, S 为研究范围内分布单元总数。

当 $I_{A_j \rightarrow B} > 0$ 时, 表示因子 A 、 j 状态下, 研究单元发生地质灾害倾向的信息量较大, 较易发地质灾害。当 $I_{A_j \rightarrow B} < 0$ 时, 表明因素 A 、 j 状态下, 研究单元不易发地质灾害。当 $I_{A_j \rightarrow B} = 0$ 时, 表明因素 A 、 j 状态下, 对地质灾害易发性判定提供信息量较低, 即因素 A 、 j 状态(或区间)可将其不纳为地质灾害预测的判定因素。

因各评价单元受多个评价因子相互组合的影响, 不同评价因子状态也各不相同, 所以利用层次分析法分别得出每个评价指标的权重值 w_i , 将每个评价指标的权重与信息量相乘, 得到加权信息量, 每个评价指标的加权信息量之和即为总加权信息量。

设 n 个评价因子的权重为 w_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), 则总加权信息量为:

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

式中, N_j 为评价因子处于 i 状态时, 研究范围内地质灾害面积或现状调查地质灾害点数量; N 为研究范围内地质灾害面积或总地质灾害点数; S_i 为评价因子处于 i 状态时的分布面积; S 为研究范围总面积; w_i 为评价因子处于 i 状态时所贡献的权重值。

由此可得出不同评价因子组合后的总信息量值。信息量大的地区易发地质灾害, 为高易发区; 反之, 为低易发区。

3 评价因子的选取

3.1 地质灾害诱发因素分析

(1) 地形地貌

南澳岛属丘陵地貌, 地形起伏较大, 整体自然坡度约为 $25^\circ \sim 35^\circ$, 山体植被主要为乔木及灌木。修筑道路开挖坡脚形成了坡高约 $5.00 \sim 30.0$ m 的不稳定斜坡, 破坏了原有山坡的地形地貌自然景观和力学平衡结构, 增加了坡脚坡度, 破坏了坡面的植被, 扰动了岩土体力学性质, 且未及时对边坡进行加固支护处理。斜坡岩性主要为残坡积土, 土体疏松, 易于雨水渗透, 土体遇水易崩解。在强降雨条件下,

由于地形较陡峭, 水流滞留时间短, 对土体冲刷强烈, 水土流失严重, 边坡土体在自身重力及暴雨冲刷下易产生崩解, 发生崩塌地质灾害。

(2) 岩土体工程地质条件

岩土体中矿物组成的不同导致节理裂隙发育情况不一, 使得含水情况不均, 从而导致岩石风化程度具有差异性。

边坡在地表径流和强降雨片流冲刷作用下, 地表水通过岩土体裂缝, 经下渗作用进入边坡土层。风化后的岩土体颗粒经流水作用被带走, 从而导致局部空洞现象。上层岩土体被逐渐软化, 且处于饱水状态, 土体容重增大, 力学性质降低, 土体失重, 边坡向下滑动、崩落, 形成崩塌地质灾害。

边坡表层岩土层为粉质黏土坡积层, 该层土质松散, 孔隙很发育, 为性质不良土层, 其下部为残积层的砂(砾)质黏性土, 土质较好, 但在水浸条件下容易软化, 在静水压力推力作用及自身重力的作用下, 易沿下部岩体软弱面滑移坍塌、变形, 先是缓慢压缩、拉张, 当达到极限之后, 局部岩体崩塌下落。另外, 由于构成边坡土体疏松, 黏聚力差, 遇水极易软化崩解, 在极端强降雨天气下, 易沿高陡边坡面崩落坠落, 产生崩塌地质灾害。

(3) 地质构造条件

南澳县内纵横交错的断裂构造, 严重破坏了岩体的完整性和稳定性, 造成岩体破碎、松动, 极易被风化剥蚀, 并在多因素作用下发生崩滑破坏, 尤其是在构造应力集中的区域, 其特征表现更为强烈。受复杂地质构造作用影响, 岩体节理裂隙发育, 物理力学性质较差; 加之多种风化作用共同或交叉发生, 又以物理风化最为重要; 风化作用导致节理裂隙相互贯通, 进而失稳引发崩塌灾害。另外, 风化作用还形成了软硬程度不同的岩土层, 即残坡积层-全风化层-强风化层。当两种岩土体硬度和物理力学性质差别较大时, 在接触面上易形成应力集中区域, 导致接触面周边的岩土体更加易崩易滑, 对边坡的稳定性影响较大。

(4) 大气降水与地下水

南澳县边坡所处区域雨季时雨量丰富, 由于地表土体有较强吸水性, 下伏基岩节理裂隙发育, 有一定的透水性, 大气降雨易经渗透作用沿地表裂缝或裂隙渗透至坡体岩土层。水体入渗导致岩土体自重增加, 同时使边坡岩土体裂缝中产生一定静水压力, 因此改变边坡岩土体稳定性, 从而激发崩塌/滑坡等地质灾害的形成。

大气降雨部分雨水透过残坡积层渗入下伏基

岩,使岩土体自重增加;同时雨水渗入节理裂隙面,持续浸润、冲刷岩土体,导致抗剪强度降低,最终引发崩塌地质灾害。部分雨水以地表径流形式排泄,地表水流对岩土体持续冲刷,为岩土体脱离母体提供动力条件,进而引发崩塌地质灾害。除地表雨水外,地下水没有其他补给来源,同时斜坡坡度较大,地表水易于排泄。虽岩土体含水量不高,但孔隙比较大,透水性好,地表水对边坡稳定影响较大。

(5) 人类工程活动影响

在交通建设过程中,不可避免要进行人工切坡,形成不稳定边坡及临空面。人类工程活动削坡修筑道路,人工开挖坡脚,破坏了边坡应力平衡,形成大量高陡边坡,削坡坡度多为 $40^{\circ}\sim 82^{\circ}$,高度多为 $5\sim 30\text{ m}$;开挖形成的高陡边坡产生了大量临空面、危岩体;岩土体势能大,重力卸荷作用强,岩土体易失稳。使边坡原土体力学性质发生改变,而边坡未采取及时有效的支护措施,坡面易发生崩塌地质灾害,且边坡为外倾软弱结构面(残坡积土层界面及不规

则的风化岩层面)控制的边坡工程,边坡坡体难以达到应力平衡条件,易引发崩塌地质灾害。另外,开挖边坡破坏了坡面植被,导致岩土体裸露,加剧了风化作用,且持续被雨水冲刷等,加剧引发崩塌地质灾害。

3.2 易发性评价因子选取

根据野外调查数据、收集资料以及对地质灾害诱发因素分析,利用加权信息模型的建立原则来选取评价因子。目前国内研究思路和方法表明,地质灾害易发程度与自然地理特征、地质岩性条件和人类工程活动息息相关^[6-11],均优先考虑选择坡向、坡度、工程地质岩组、地形起伏度^[12]、年降水量和距构造距离等,具体见表 1。同时,考虑南澳县为海岛,岛上主要交通为环岛公路,且环岛公路皆为削坡而修建,对地质灾害的发育有较大的影响。综合考虑,本次评价选取坡向、坡度、工程地质岩组、地形起伏度、距道路距离和距构造距离等 6 个因子作为建立地质灾害易发性评价体系的评价因子。

表 1 易发性评价因子选取分级表

序号	评价因子	描述	分级
1	坡度	坡度可表示边坡的现状稳定情况,边坡的剪应力随着坡度的增大而增大 ^[6-8] 。同时边坡土体堆积厚度和地表植被发育情况在一定程度上也受坡度影响	$0^{\circ}\sim 6^{\circ}$; $>6^{\circ}\sim 15^{\circ}$; $>15^{\circ}\sim 25^{\circ}$; $>25^{\circ}\sim 35^{\circ}$; $>35^{\circ}$
2	坡向	坡向可对边坡的日照情况产生一定的影响 ^[7] ,对坡面植被的蒸发、岩土体的侵蚀和风化等产生一定影响,导致不同的地质灾害发育条件	$315^{\circ}\sim 45^{\circ}$; $>45^{\circ}\sim 135^{\circ}$; $>135^{\circ}\sim 225^{\circ}$; $>225^{\circ}\sim 315^{\circ}$
3	地形起伏度	地形起伏度反映了单元格内山体相对高度,同时也反映了可形成边坡的高度落差 ^[7] 。地形起伏度越大,形成高陡边坡的可能性更大 ^[8] ,且残坡积层厚度的可能性越大	$0\sim 20\text{ m}$; $>20\sim 75\text{ m}$; $>75\text{ m}$
4	工程地质岩组	工程地质由岩土软硬程度决定 ^[9-10] ,不同类型岩土体的抗风化能力存在一定差异,导致形成不同的抗剪抗滑应力,形成地质灾害易发性差异 ^[12]	Q;P;Y
5	距构造距离	南澳岛地处在地震区划上属于华南地震区,东南沿海地震亚区汕头-南澳岛地震活动带,地震活动频繁,且南澳岛地质构造发育,地质灾害的发育与断裂构造存在一定的联系,受构造断裂带的影响	$0\sim 300\text{ m}$; $>300\sim 600\text{ m}$; $>600\sim 1\ 000\text{ m}$; $>1\ 000\text{ m}$
6	距道路距离	南澳县为海岛县,整个岛主要交通道路为环岛公路及其他道路,道路建设为主要的工程活动,在削坡修路过程中对原有山体进行改造与破坏,改变了山体原有地质环境,导致道路边坡发生崩塌地质灾害的次数增多	$0\sim 100\text{ m}$; $>100\sim 200\text{ m}$; $>200\sim 400\text{ m}$; $>400\text{ m}$

4 评价指标权重的确定

评价因子权重值的赋值在符合野外调查结果基础上,借鉴同类型项目和专家意见,综合考虑各评价因子的重要程度和相互组合的影响程度,根据层次分析法的原则对各因子进行评分比较,构建各因子判断矩阵,其结果见表 2。

采用方根法求出上述判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}=6.227$ 。将结果进行一致性检验, $CI=0.045$, $RI=1.260$, $CR=CI/RI=0.036<0.1$,一致性满足要求。而后采取归一化方式对评价因子所代表的特征向量进行处理,最后结合实际调查工作给予调整,

获得评价因子权重情况(表 3)。

表 2 易发性评价因子体系权重层次分析法计算矩阵

评价因子	坡度	坡向	地形起伏度	工程地质岩组	距河流距离	距道路距离
坡度	1	4	3	1/2	3	5
坡向	1/4	1	1/4	1/5	1/3	1/2
地形起伏度	1/3	4	1	1/2	2	3
工程地质岩组	2	5	2	1	3	4
距构造距离	1/3	3	1/2	1/3	1	2
距道路距离	1/5	2	1/3	1/4	1/2	1

对各评价因子权重结果用 ArcGIS 软件的分析统计功能,采取重分类的形式,取得各评价因子在不同层级所占面积和本次利用的调查点在不同级别中

表3 评价因子权重情况一览表

评价因子	坡度	坡向	地形起伏度	工程地质岩组	距构造距离	距道路距离
权重值	0.305 6	0.067 8	0.168 2	0.289 7	0.101 0	0.067 7

的个数,按照加权信息量模型的公式,得到各评价因子在不同分类中对地质灾害所能提供的信息量,汇总情况见表4。南澳县地质灾害各评价因子分级见图2~图7。

表4 各评价因子信息量模型计算结果表

序号	权重	评价因子	分级	S_i/km^2	S_i/S	$N_i/个$	N_i/N	信息量值	排序
1	0.305 6	坡度	0°~6°	26.73	23.923 7	7	8.75	-1.005 8	22
			6°~15°	12.52	11.205 6	6	7.5	-0.401 5	17
			>15°~25°	30.16	26.993 7	7	8.75	-1.126 6	23
			>25°~35°	32.79	29.347 5	14	17.5	-0.517 0	19
			>35°	9.53	8.529 5	46	57.5	1.908 3	1
2	0.067 8	坡向	无边坡	23.53	21.059 7	24	30	0.353 8	7
			>0°~90°	23.25	20.809 1	8	10	-0.732 8	21
			>90°~180°	20.52	18.365 7	13	16.25	-0.122 4	14
			>180°~270°	23.54	21.068 7	27	33.75	0.4711 9	6
			>270°~360°	20.36	18.222 5	8	10	-0.600 1	20
3	0.168 2	地形起伏度	0~20 m	24.27	21.722 0	0	0	/	/
			>20~75 m	87.03	77.893 1	79	98.75	0.237 3	10
			>75 m	0.43	0.384 9	1	1.25	1.178 0	3
4	0.289 7	工程地质岩组	Q	19.54	17.488 6	2	2.5	0.143 0	11
			P	6.68	5.978 7	6	7.5	1.254 5	2
			Y	85.51	76.532 7	72	90	1.176 0	4
5	0.101 0	距构造距离	0~300 m	26.48	23.700 0	20	25	0.053 4	12
			>300~600 m	22.63	20.254 2	23	28.75	0.350 3	8
			>600~1000 m	23.44	20.979 2	14	17.5	-0.181 3	15
			>1000 m	39.18	35.066 7	23	28.75	-0.198 6	16
6	0.0677	距道路距离	0~100 m	20.46	18.312 0	27	33.75	0.611 4	5
			>100~200 m	14.76	13.210 4	14	17.5	0.281 2	9
			>200~400 m	23.46	20.997 1	16	20	-0.048 7	13
			>400 m	53.05	47.480 5	23	28.75	-0.501 7	18



图2 坡度分级图

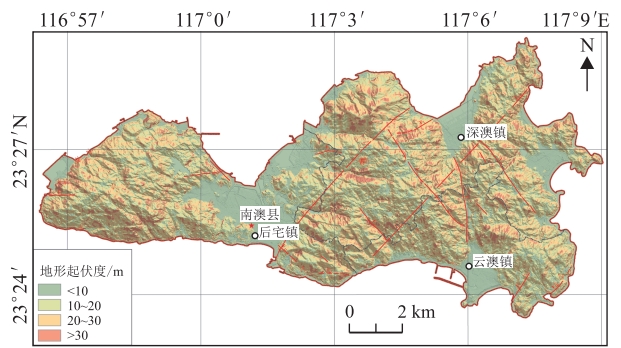


图4 地形起伏度分级图

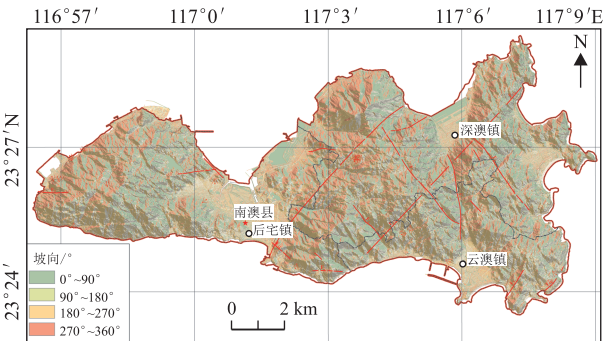


图3 坡向分级图

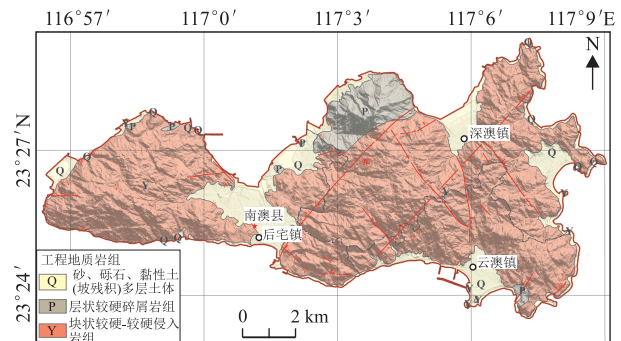


图5 工程地质岩组分级图

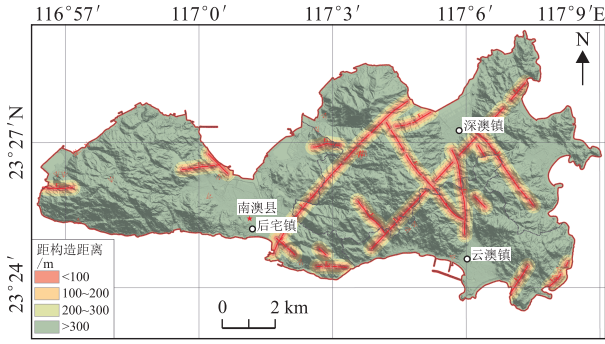


图 6 构造分级图

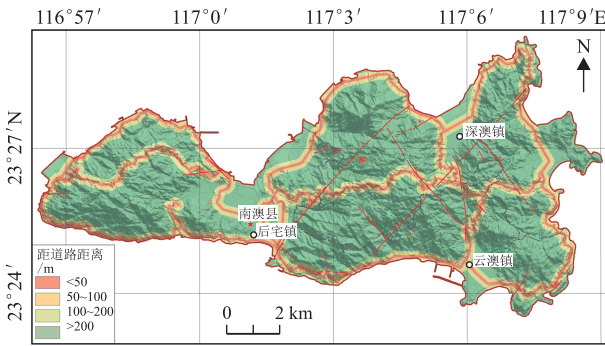


图 7 道路交通分级图

5 南澳县地质灾害易发性评价结果

5.1 栅格数据分析结果

应用 ArcGIS 空间分析的栅格叠加分析功能,将各个评价因子的信息量进行叠加,计算出加权信息量总值,总信息量为-1.472 9~0.942 2,按照分区统计,再利用自然断点法将加权信息量总值(表 5)值域情况从高到低,依次分为 4 个等级,结合实际情况进行调整,分为高、中、低和非易发区。

表 5 易发性评价分区分值表

值域区间	易发性级别	面积/km ²	百分比/%
-1.472 9~-1.015 0	不易发区	0	0
-1.015 0~-0.356 4	低易发区	61.773 6	55.29
-0.356 4~0.557 1	中易发区	45.780 7	40.97
0.557 1~0.942 2	高易发区	4.175 7	3.74

5.2 地质灾害易发区划分结果

根据上述地质灾害易发分区原则和方法,结合南澳县实际情况进行调整分区,将南澳县地质灾害易发程度分为 2 个高易发区、3 个中易发亚区、3 个低易发区(表 6,图 8)。

表 6 南澳县地质灾害易发程度分区表

分区名称	分区级别代号	亚区代号	面积/km ²	百分比/%	亚区名称
地质灾害高易发区	YG	YG ₁	2.656 1	2.38	南澳县北西侧环岛路-黄花山北西侧崩塌地质灾害高易发一亚区
		YG ₂	1.519 6	1.36	深澳镇圆山村-松岭村北西部崩塌地质灾害高易发二亚区
地质灾害中易发区	YZ	YZ ₁	11.595 6	10.38	南澳县省道 S336 南西段-省道 S336 黄花山段崩塌地质灾害中易发一亚区
		YZ ₂	28.849 4	25.82	南澳岛东半岛省道 S336 段-县道 X057-国道 G539 深澳镇段崩塌地质灾害中易发二亚区
		YZ ₃	5.335 7	4.77	南澳岛北半岛省道 S336 段崩塌地质灾害中易发三亚区
地质灾害低易发区	YD	YD ₁	42.802 6	38.31	南澳县西半岛国道 G539 与省道 S336 中间区域-南澳县县城~南澳岛国道 G539 北段与省道 S336 中间区域-后花园村崩塌地质灾害低易发一亚区
		YD ₂	11.070 2	9.91	深澳镇镇中心~县道 X057 北部-青澳湾崩塌地质灾害低易发二亚区
		YD ₃	7.900 8	7.07	云澳镇镇中心-县道 X057 南部崩塌地质灾害低易发三亚区

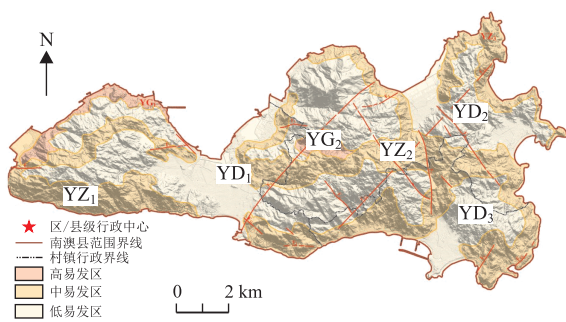


图 8 南澳县地质灾害易发性分区图

6 结语

本文通过对南澳县地质灾害野外调查,基于 Arcgis 平台,利用信息量模型,针对南澳县地质灾害易发性评价得出以下结论:

(1) 南澳县地质灾害易发程度分为 2 个高易发

区、3 个中易发区、3 个低易发区。地质灾害高易发区面积为 4.175 7 km²,占南澳县主岛总面积的 3.74%;地质灾害中易发区面积为 45.780 7 km²,占南澳县主岛总面积的 40.97%;地质灾害低易发区面积为 61.773 6 km²,占南澳县主岛总面积的 55.29%。

(2) 南澳县地质灾害发育主要是由坡度、地形起伏度、工程地质岩组为主要影响因素控制,经降雨因素诱发,受人类修建环岛公路为代表的人类工程活动影响下,造成南澳县地质灾害易发性分区的差异分布。

(3) 信息量模型法需收集资料较多,原理相对简单易于实现。通过组合不同地质灾害评价因子分级数据,分析其相关性,同时利用 Arcgis 的分析统计功能,能较客观反映研究区地质灾害易发性,为进一步减灾防治工作提供依据。

参考文献

- [1] 许强,张一凡,董诚,等.西南山区城镇地质灾害易损性评价方法:以四川省丹巴县城为例[J].地质通报,2010,29(5),729-739.
- [2] 高治群,薛传东,尹飞,等.基于GIS的信息量法及其地质灾害易发性评价应用:以滇中晋宁县为例[J].地质与勘探,2010,46(6),1112-1118.
- [3] 赵帅,赵洲.基于信息量模型地质灾害易发性评价[J].水力发电,2019,45(3),27-32.
- [4] 张晓东.基于信息量模型地质灾害易发性评价[D].北京:中国地质大学,2018.
- [5] 林伟成.汕头市中心城区地质灾害易发区的划分[J].建材与装饰(下旬刊),2007,(8):337-339.
- [6] 王国卫,李明波,蒋明光,等.基于加权信息量模型的湖南省麻阳县地质灾害危险性评价与区划[J].地质与资源,2020,2(3),266-272.
- [7] 田春阳,张威,张戈,等.基于信息量法的西丰县地质灾害易发性评价[J].首都师范大学学报(自然科学版),2020,41(2):32-40.
- [8] 陈飞,熊如宗,钟连祥,等.基于信息量模型与Arcgis的龙南县足洞地区滑坡危险性评价[J].有色金属科学与工程,2017,8(4),80-85.
- [9] 石莉莉,乔建平.基于GIS和贡献权重迭加方法的区域滑坡灾害易损性评价[J].灾害学,2009,24(3),46-50.
- [10] 康靖,王伟伟,程林,等.基于模糊数学方法的海岛地质灾害风险评价——以长兴岛为例[J].海洋环境科学,2016,35(6),861-867.
- [11] 王佳佳,李端有,肖莉丽.基于GIS和信息量法的滑坡灾害易发性评价——以三峡库区万州区为例[J].岩石力学与工程学报,2014,33(4),797-808.
- [12] 李建颖,蔡文权,方刚,等.基于GIS汕头市潮阳区崩塌、滑坡地质灾害危险性评价[J].云南地质,2023,42(4):497-503.