

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2023.01.013

## 基于AHP-信息量法的珠海市地质灾害风险评价

赖波,赵风顺,江金进,江山,江宁,李俊生

LAI Bo, ZHAO Feng-Shun, JIANG Jin-Jin, JIANG Shan, JIANG Ning, LI Jun-Sheng

广东省珠海工程勘察院,广东珠海519000

Engineering Survey Institute of Zhuhai, Guangdong Province, Zhuhai 519000, Guangdong, China

**摘要:**在充分分析珠海市地质灾害发育特征及分布规律的基础上,采用AHP-信息量结合的方法对珠海市地质灾害进行风险评价。首先选取7类崩塌、滑坡评价因子和2类地面沉降评价因子,利用ArcGIS软件进行叠加运算形成易发性评价图,其次叠加降雨量、沉降速率形成危险性评价图,最后在危险性评价图的基础上叠加承灾体易损性形成地质灾害风险分区。结果表明,地质灾害风险评价过程中针对不同地质灾害类型采用不同评价模型和方法行之有效,且评价结果与实际相符。该成果可提高珠海市地质灾害群测群防效率。

**关键词:**风险评价;AHP-信息量;地质灾害;ArcGIS;珠海市

中图分类号:P694

文献标识码:A

文章编号:2097-0013(2023)01-0147-10

**Lai B, Zhao F S, Jiang J J, Jiang S, Jiang N and Li J S. 2023. Geological Hazard Risk Assessment of Zhuhai City Based on AHP Information Method. *South China Geology*, 39(1):147-156.**

**Abstract:** On the basis of fully analyzing the development characteristics and distribution laws of geological hazards in Zhuhai, the risk assessment is carried out with AHP information method. Seven types of collapse and landslide evaluation factors and two types of land subsidence evaluation factors are selected to be dealt with the ArcGIS software for superposition calculation to form the vulnerability assessment map. Then the precipitation and sedimentation rate are superimposed to form the risk assessment map, on which the vulnerability of the hazard bearing body is superimposed to form the geological hazard risk zoning. The results show that it is effective to adopt different evaluation models and methods for different types of geological hazards in the process of risk assessment, outputs of which are consistent with the actual situation. This achievement can improve the efficiency of geological hazard mass monitoring and prevention.

**Key words:** risk assessment; AHP information; geological hazards; ArcGIS; Zhuhai City

珠海市位于广东省南部,珠江出海口西岸,濒临南海,属亚热带海洋性季风气候。地形地貌受东北和北西向断裂切割而形成断块隆起山地与沉积平原,因此,地质环境十分脆弱。由于珠海市近年来经济发展迅速,山脚地带及平原区工程建设如火如荼,人们对地质环境的改变引发越来越多地质灾害,特别是削坡建房、削坡筑路、地下水抽取等(赖波,2020)。因此,进行地质灾害风险区划对城市国

收稿日期:2022-11-3;修回日期:2022-12-8

基金项目:珠海市地质灾害风险普查项目(GDY2022FW009)和珠海市城市地质调查(含信息化)采购项目(MZCD-2201-008)

第一作者:赖波(1985—),男,高级工程师,主要从事水工环地质调查研究工作,E-mail:410271798@qq.com



区域,具有涉及范围广、下沉速率缓慢的特点(刘广宁等,2019;江金进等,2020,2022)。

## 2 地质灾害易发性评价

由于崩塌、滑坡(突发性地质灾害)与地面沉降(缓慢性地质灾害)在评价因子(孕灾背景条件)上存在较大区别,因此对这两类地质灾害进行分别评价。

### 2.1 崩塌、滑坡地质灾害易发性评价

#### 2.1.1 建立信息量模型

利用 ArcGIS 软件“创建渔网”工具,将珠海市划分为 25m×25m 栅格单元,分别计算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。某种因素特定状态下的地质灾害信息量公式可表示为:

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

式中:  $I_{A_j \rightarrow B}$  为对应因素 A<sub>j</sub> 状态(或区间)下地质灾害 B 发生的信息量;  $N_j$  为对应因素 A<sub>j</sub> 状态(或区间)下地质灾害分布的单元数;  $N$  为调查区已知地质灾害分布的单元总数;  $S_j$  为因素 A<sub>j</sub> 状态(或区间)分布的单元数;  $S$  为调查区单元总数。

当  $I_{A_j \rightarrow B} > 0$  时,反映了对应因素 A<sub>j</sub> 状态(或区间)下地质灾害发生倾向的信息量较大,地质灾害发生的可能性较大,或者说利于地质灾害发生;当  $I_{A_j \rightarrow B} < 0$  时,表明因素 A<sub>j</sub> 状态(或区间)条件下,不利于地质灾害发生;当  $I_{A_j \rightarrow B} = 0$  时,表明因素 A<sub>j</sub> 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<sub>j</sub> 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下式确定:

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

式中:  $I$  为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;  $N_i$  为对应特定因素、第  $i$  状态(或区间)条件下的地质灾害面积或地质灾害点数;  $S_i$  为对应特定

因素、第  $i$  状态(或区间)的分布面积;  $N$  为调查区地质灾害总面积或总地质灾害点数;  $S$  为调查区总面积。

#### 2.1.2 评价因子的选取及权值计算

崩塌、滑坡地质灾害评价因子的选取根据地质环境条件,选取坡度、坡形、地形起伏度、植被覆盖、岩土体类型、断裂构造、土地利用类型 7 个因子作为评价指标(赖波等,2021b),然后采用层次分析法对各评价因子进行权重分配计算,原理是将问题分解为最高层、中间层和最底层,分别代表决策层、准则层和方案层,然后比较各层次因子的重要性并进行判断矩阵构造,最后求解矩阵,归一化得到特征向量,即最终的权重值。

首先建立系统层次结构:根据珠海市崩塌、滑坡地质灾害评价因子搭建层次分析法结构模型(图2)。

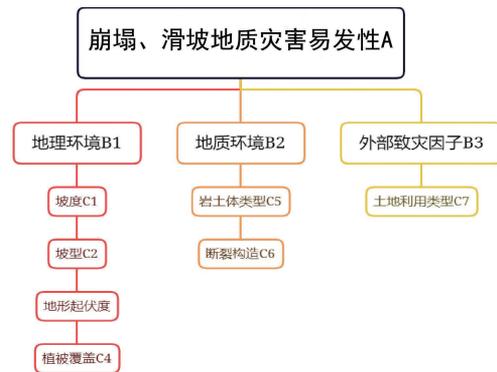


图2 崩塌、滑坡地质灾害易发性评价层次分析法结构模型  
Fig. 2 Analytic hierarchy process structural model for evaluation of geological hazard susceptibility of collapse and landslide

其次建立判断矩阵:在层次分析法结构模型基础上,对评价因子的隶属性问题进行准确表现,即对各个评价因子所涉及的相对作用进行分析,明确其权重后,搭建 A-B, B-C 层,判断矩阵(表1)。

最后进行相对权重一致性检验,求得矩阵的最大特征值  $\lambda_{max}$ , 同时获得相应的特征向量,并根据下列公式验证判断矩阵的一致性。

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

式中:  $CI$  为一致性指标,其值越小则表明不一致程

表1 崩塌、滑坡地质灾害判断矩阵

Table 1 Judgment Matrix of Collapse and Landslide Geological Hazard Susceptibility

易发性判断矩阵(A-B)				
A1	B1	B2	B3	
B1	1.00	2.00	2.00	
B2	0.50	1.00	2.00	
B3	0.50	0.50	1.00	
地理环境因素判断矩阵(B1-C)				
B1	C1	C2	C3	C4
C1	1.00	2.00	2.00	2.00
C2	0.50	1.00	0.50	0.50
C3	0.50	2.00	1.00	2.00
C4	0.50	2.00	0.50	1.00
地质环境因素判断矩阵(B2-C)				
B2	C5		C6	
C5	1.00		2.00	
C6	0.50		1.00	
外部致灾因素判断矩阵(B3-C)				
B3				C7
C7				1.00

度越低; $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵的最大特征值; $n$ 为阶数; $CR$ 为一致性比率; $RI$ 为随机一致性指标。通过 $CR$ 基于变量和指标间的比较而判断模型的优劣程度,若 $CR < 0.1$ ,可接受判断矩阵的一致性,然后获得准则层对方案层(B-C)归一化后的权重 $W_i$ ,将其在决策层(A)下再次归一化后,获取决策层对方案层的权重(表2~表3)。

### 2.1.3 评价结果

根据评价因子不同级别的相对贡献来取值,将其分级量化及归一化(表4),再进行栅格化处理,可得到各评价因子的信息量分级归一化图(图3)。

表2 崩塌、滑坡地质灾害判断矩阵权重计算(A-C)

Table 2 Calculation of weight of judgement matrix of collapse and landslide geological hazards (A-C)

判断矩阵	$\lambda_{\max}$	$CR$	权重( $W_i$ )
A1-B	3.0536	0.0516	(0.4934, 0.3108, 0.1958)
B1-C	5.1517	0.4313	(0.1927, 0.0681, 0.1362, 0.0963)
B2-C	2	0	(0.2072, 0.1036)
B3-C	2	0	0.1958

表3 崩塌、滑坡地质灾害易发性评价权重

Table 3 Assessment weight of geological hazard susceptibility of collapse and landslide

准则层	权重	指标层	权重
B1	0.4934	C1	0.19
		C2	0.07
		C3	0.14
		C4	0.10
B2	0.3108	C5	0.21
		C6	0.10
B3	0.1958	C7	0.20

利用ArcGIS的空间分析功能对7个评价因子图层进行空间叠加分析,利用统计学中的自然断点法将栅格化图重新分类后,并结合实际地质环境条件对图件进行局部修正,生成以信息量大小衡量的地质灾害易发性评价图(闫成林等,2021;江山等,2022)(图4)。其中高易发区26个,总面积25.82 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的1.57%;中易发区151个,总面积126.12 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的7.65%;低易发区70个,总面积308.59 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的18.73%;非易发区22个,总面积87.46 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的5.31%。

## 2.2 地面沉降地质灾害易发性评价

### 2.2.1 评价因子的选取及权值计算

根据以往珠江三角洲地区软土地面沉降相关成果,珠海市平原区发生软土地面沉降的主要内部因素与软土层厚度及松散沉积物厚度关系密切,因此,本次地面沉降地质灾害易发性评价选择软土层厚度和松散沉积物厚度2个评价因子,根据2个评价因子的信息量,采用层次分析法计算出权重(表5),然后利用以下公式计算加权信息量,得到最终加权信息量值。

通过计算综合指数以表征易发程度大小,来确定不同评价单元的易发性等级,具体公式如下所示:

$$A = \sum_{i=1}^n W_i \cdot r_i$$

式中:A——地面沉降易发性评价指数; $W_i$ ——第*i*个评价指标的权重; $r_i$ ——第*i*个评价指标的分级评分; $n$ ——评价指数个数。

表4 崩塌、滑坡地质灾害评价因子量化及归一化

Table 4 Quantification and normalization of evaluation factors for collapse and landslide geological hazards

评价因子	分级	信息量值	权重
坡度	0 ~ 20°	-2.2657	0.19
	20 ~ 45°	0.6392	
	45 ~ 60°	2.2510	
	60 ~ 90°	2.6091	
坡形	凹型坡	0.9927	0.07
	平面坡	-0.6614	
	凸型坡	0.3026	
地形起伏度	<10 m	-3.6529	0.14
	10 ~ 20 m	1.2067	
	20 ~ 30 m	1.6489	
	>30 m	0.9367	
植被覆盖	<0	/	0.10
	0 ~ 0.2	0.0306	
	0.2 ~ 0.4	0.7706	
	>0.4	-0.3936	
工程地质岩组	γ侵入岩	2.3394	0.21
	ε变质岩	0.1642	
	D/K砂页岩	-1.1073	
	Q冲洪积层	-1.8007	
断裂构造	<100 m	0.8080	0.10
	100 ~ 200 m	0.2288	
	200 ~ 300 m	0.3396	
	>300 m	-0.1958	
土地利用类型	林业用地(各种林地)与未利用地(裸地等)	0.1994	0.20
	农业用地(耕地,水田,旱地,果园,经济作物用地)	-1.5758	
	水利水电-油气管道-交通用地	-1.0520	
	城镇建设用地和工矿建设用地及村庄(农村)建房用地	0.6099	

### 2.2.2 评价结果

利用 ArcGIS 软件“创建渔网”工具,将珠海市划分为 25m×25m 栅格单元,将各评价因子的数字图层进行赋值分类,然后栅格图层,形成归一化图(图 5),再利用空间分析工具进行相应的模拟运算,得出每一个评价单元内所有评价因子的加权和,构建易发性评价图,然后综合考虑各评价因子对易发性等级进行划分,评价得分代表了相应栅格单元地面沉降的易发程度大小,分数从小到大,依次分为 4 个区段,最终得出地面沉降地质灾害高、中、低和非易发区(张德波,2018;汪洋等,2022;金必晶等,2022)(图 6)。其中高易发区 9 个,总面积 64.01 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的 3.88%;中易发区 20

个,总面积 219.94 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的 13.35%;低易发区 29 个,总面积 565.91 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的 34.35%;非易发区 24 个,总面积 249.80 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的 15.16%。

## 3 地质灾害危险性评价

### 3.1 崩塌、滑坡地质灾害危险性评价

根据 2008 ~ 2021 年珠海市 32 个雨量监测站历史年累计降雨量生成月均降雨量信息量统计表(表 6),利用 ArcGIS 的空间分析功能,生成历史月累计降雨量等值线图,并结合已统计的地质灾害的发生时间及地点,来综合确定降雨量对地质灾害发

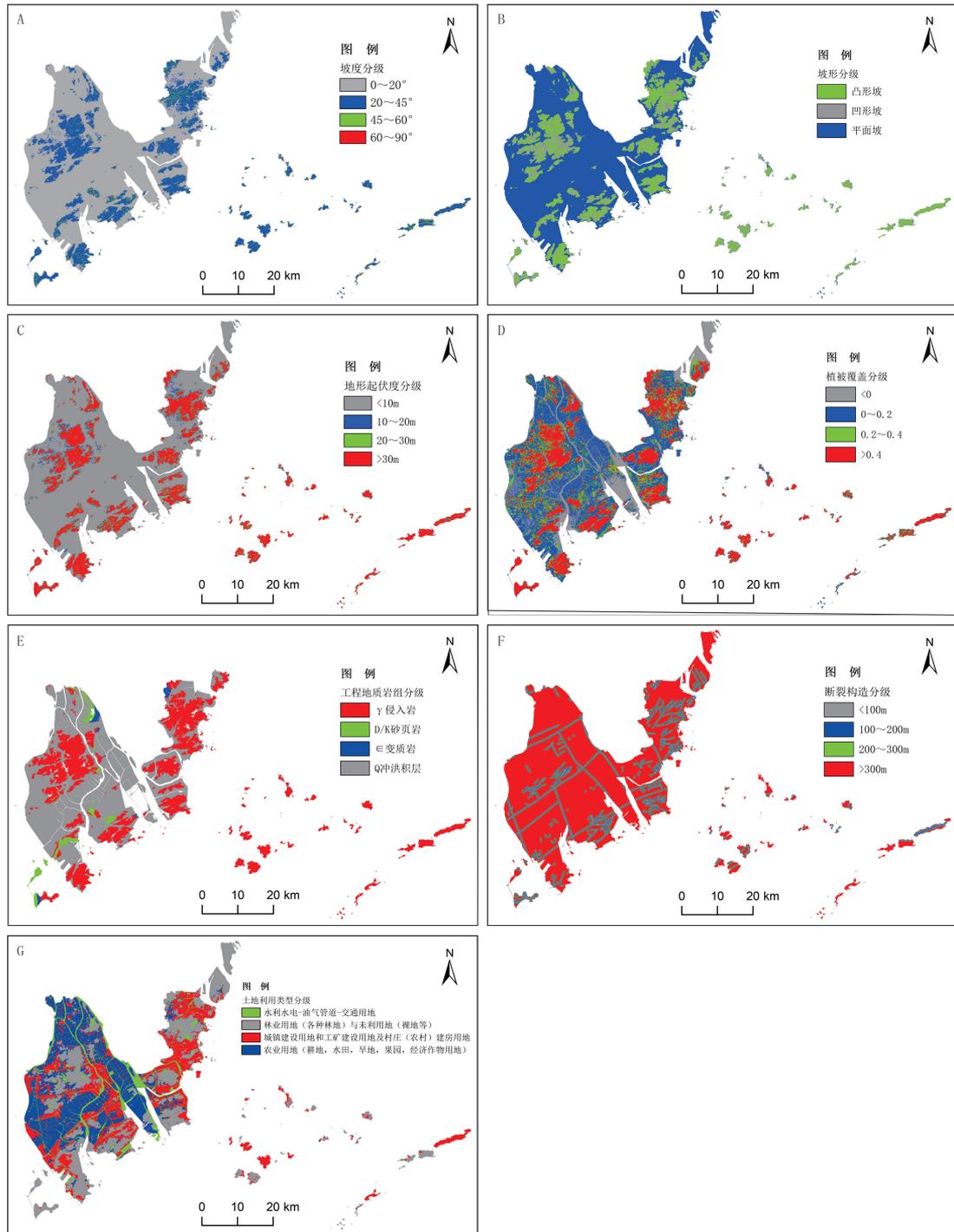


图3 评价因子的信息量分级归一化图

Fig. 3 Classification and normalization diagram of information content of evaluation factors

A. 坡度; B. 坡形; C. 地形起伏度; D. 植被覆盖; E. 工程地质岩组; F. 断裂构造; G. 土地利用类型

生的影响程度。

在崩塌、滑坡地质灾害易发性评价图的基础上叠加2008~2021年历史月累计降雨量等值线图,然后利用矩阵分析方法,进行反复对比,并通过现场验证,形成危险性评价图(易靖松等,2022;鲜木

斯艳·阿布迪克依木,2022)(图7)。其中高危险区面积58.42km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的3.55%;中危险区面积230.02 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的13.96%;低危险区面积307.27 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的18.65%。

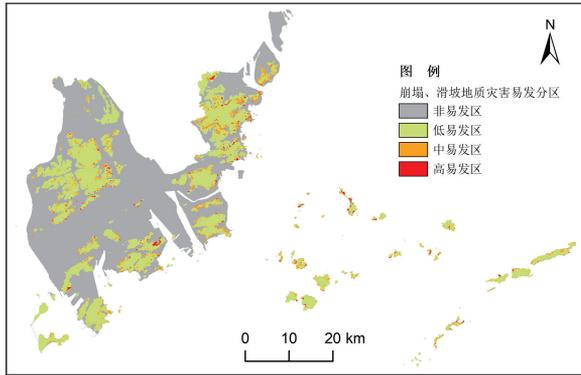


图 4 珠海市崩塌、滑坡地质灾害易发性评价图

Fig. 4 Assessment Map for the Vulnerability of Collapse and Landslide Geological Hazards in Zhuhai City

表 5 地面沉降地质灾害评价因子量化及归一化  
Table 5 Quantification and normalization of evaluation factors of land subsidence geological hazards

评价因子	分类	权重
软土层厚度	基岩	0.00
	< 10 m	0.07
	10 ~ 20 m	0.13
	20 ~ 30 m	0.20
	≥ 30 m	0.27
松散沉积物厚度	基岩	0.00
	< 50 m	0.23

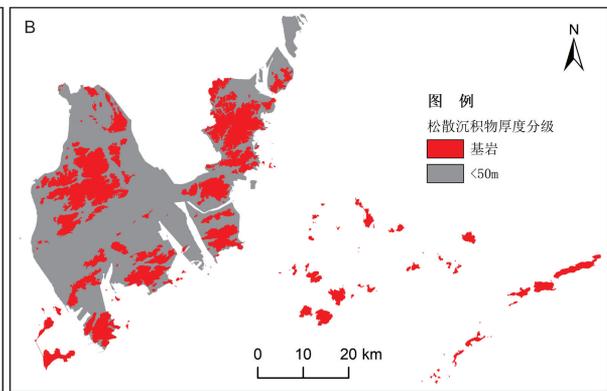
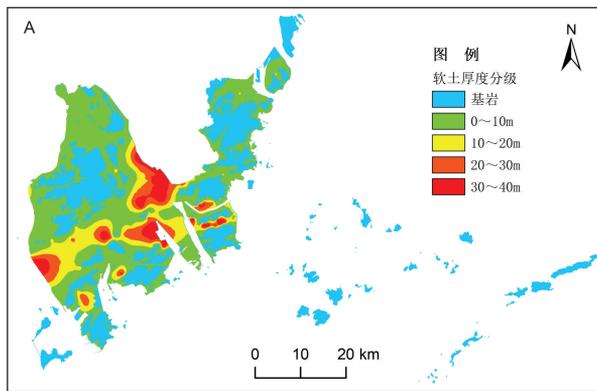


图 5 软土层厚度(A)、松散沉积物厚度(B)分级归一化图

Fig. 5 Classification and normalization diagram of soft soil layer thickness (A) and loose sediment thickness (B)

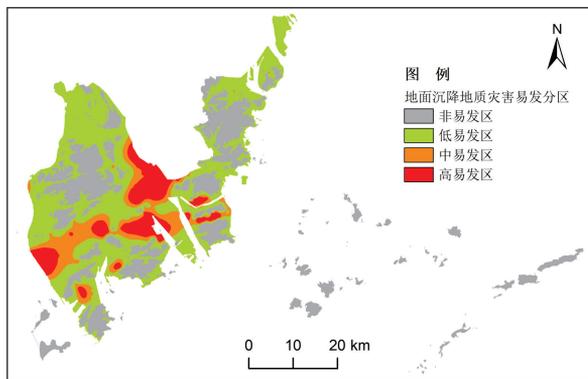


图 6 珠海市地面沉降地质灾害易发性评价图

Fig. 6 Assessment Map of Land Subsidence Geological Hazard Susceptibility in Zhuhai City

分为  $\leq 10\text{mm/a}$ 、 $10 \sim 30\text{mm/a}$  和  $\geq 30 \text{mm/a}$  共 3 个等级,然后叠加地面沉降地质灾害易发性评价图(何理等,2022),最终形成地面沉降危险性评价图(图 9)。其中高危险区面积  $250.85 \text{ km}^2$ ,占珠海市总面积的 15.22%;中危险区面积  $160.90 \text{ km}^2$ ,占珠海市总面积的 9.77%;低危险区面积  $640.62 \text{ km}^2$ ,占珠海市总面积的 38.88%。

#### 4 地质灾害易损性评价

首先将珠海市划分为  $25\text{m} \times 25\text{m}$  网格单元,分别统计每个网格单元内承灾体人口、交通设施数据,然后对人口及交通设施进行分级和赋值(表 7),进行加权叠加得到损失值,最后利用 ArcGIS 自然间断法将上述损失值进行重分类(邹冬儿等,2012;李宇亮等,2014;颜建东等,2020;吴润霖

#### 3.2 地面沉降地质灾害危险性评价

沉降速率是反映地面沉降活动程度的主要指标,因此利用 ArcGIS 插值法将 2018 年 1 月 ~ 2022 年 4 月珠海市地面沉降速率(图 8)进行插值分类,

表6 2008—2021年珠海市月均降雨量信息量统计表

Table 6 Statistics of Monthly Average Rainfall Information in Zhuhai from 2008 to 2021

序号	降雨量分级 (mm/月)	区间栅格单元 (个)	地质灾害栅格单元	地质灾害栅格比例 (SO/S)	区间栅格所占比例 (AO/A)	信息量 (I)
1	<130	88153	7	2.05%	3.17%	-0.4360
2	130~140	141084	7	2.05%	5.08%	-0.9063
3	140~150	134879	22	6.45%	4.86%	0.2839
4	150~160	521234	27	7.92%	18.77%	-0.8632
5	160~170	1080987	128	37.54%	38.93%	-0.0364
6	>170	810512	150	43.99%	29.19%	0.4102

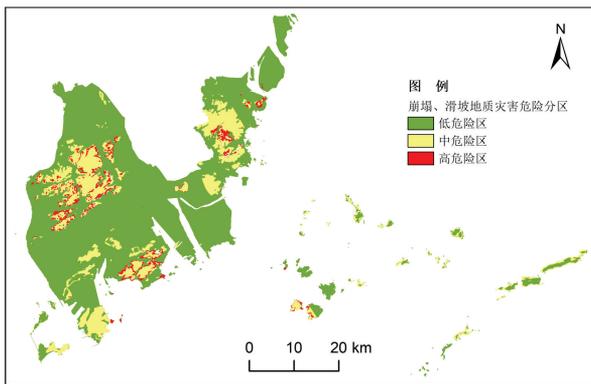


图7 珠海市崩塌、滑坡地质灾害危险性评价图

Fig. 7 Geological Hazard Assessment Map of Collapse and Landslide in Zhuhai City

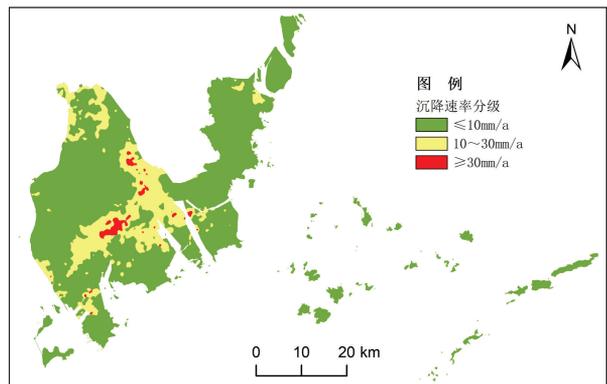


图8 珠海市地面沉降地质灾害沉降速率图

Fig. 8 Map of Land Subsidence and Geological Hazard Subsidence Rate in Zhuhai City

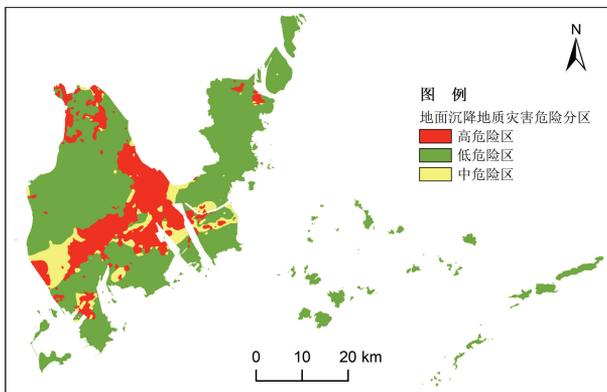


图9 珠海市地面沉降地质灾害危险性评价图

Fig. 9 Hazard Assessment Map of Land Subsidence Geological Hazards in Zhuhai City

表7 地质灾害承灾体易损性赋值表

Table 7 Vulnerability Assessment Table of Geological Hazard Bearing Body

承灾体类型	分级	赋值
人口	≥1000人	0.8~1.0
	100~1000人	0.5~0.8
	10~100人	0.3~0.5
	<10人	0~0.3
交通设施	高速公路	0.8~0.9
	国家级公路	0.5~0.8
	省级公路	0.3~0.5
	城市道路	0.2~0.3
	一般公路	0.1~0.3
	高速铁路	0.8~1.0
一般铁路	0.3~0.6	

等,2021),划分出易损性评价图(图10)。

### 5 地质灾害风险性评价

依据地质灾害风险等级划分表(表8),将地质

灾害危险性评价图和易损性评价图进行叠加运算划分地质灾害高、中及低风险区(谭伟等,2022;杨秀元等,2022)(图11)。其中地质灾害高风险区77

表 8 地质灾害风险等级划分表  
Table 8 Classification of geological hazard risk

危险性 易损性等级	极高	高	中	低
	极高	极高	高	中
高	极高	高	中	中
中	高	高	中	低
低	高	中	低	低

个,面积 78.05 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的 4.74%。其中崩塌、滑坡地质灾害高风险区主要分布在香洲区板障山、凤凰山、将军山山脚地带,斗门区锅盖栋、黄杨山、尖峰山山脚地带;地面沉降地质灾害高风险

区主要分布在白蕉镇、白藤街道、鹤洲岛以北以及保税区平原软土分布较厚地区。地质灾害中风险区 126 个,面积 237.45 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的 14.41%。其中崩塌、滑坡地质灾害中风险区主要分布于香洲区板障山、凤凰山、黑白面将军山山脚地带,斗门区锅盖栋东侧山脚地带,金湾区高栏岛、黄竹山、观音山、茅田山山脚地带;地面沉降地质灾害中风险区主要分布在斗门区白蕉镇、白藤街道、鹤洲岛以北,金湾区航空新城、平沙新城,香洲区广生、广昌,高新区北围平原地区。地质灾害低风险区 55 个,面积 1332.14 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的 80.85%。主要分布于人烟稀少的山地丘陵地区以及未开发建设、水塘密布的平原地区。

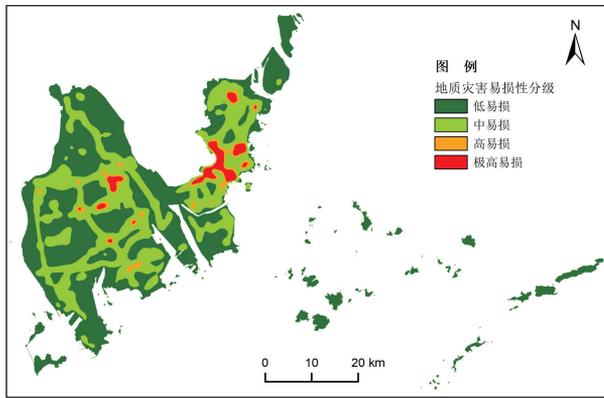


图 10 珠海市地质灾害易损性评价图

Fig. 10 Vulnerability Assessment Map of Zhuhai Geological Hazards

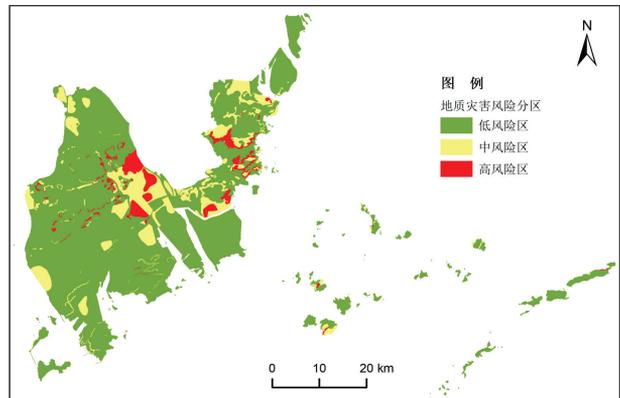


图 11 珠海市地质灾害风险评价图

Fig. 11 Geological Hazard Risk Assessment Map of Zhuhai City

对比图 1 和图 11 可知,珠海市历史地质灾害点主要分布于高风险区内,主要原因是人口密度大,人类工程活动强烈,削坡建房和削坡筑路等活动形成的危险边坡较多。因此,历史地质灾害点的分布与本次评价的地质灾害高风险区对应关系较好。

### 6 结论

(1)本文采用 AHP-信息量法对珠海市地质灾害风险进行了评价,结果表明:珠海市地质灾害高风险区 77 个,面积 78.05 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积 4.74%;中风险区 126 个,面积 237.45 km<sup>2</sup>,占珠海市总面积的 14.41%;低风险区 55 个,面积 1332.14 km<sup>2</sup>,占珠海

市总面积的 80.85%。其中崩塌、滑坡地质灾害高风险区主要分布在板障山、凤凰山、将军山、锅盖栋、黄杨山、尖峰山山脚地带;地面沉降地质灾害高风险区主要分布在白蕉镇、白藤街道、鹤洲岛以北平原地区。

(2)本文评价结果和珠海市历史地质灾害点的分布对应关系较好,说明本文采用的评价方法和评价结果合理,该成果可提高珠海市地质灾害群测群防效率,对促进经济资源的协调与可持续发展具有重要的意义。

### 参考文献:

白光顺,杨雪梅,朱杰勇,张世涛,祝传兵,康晓波,孙滨,周琰嵩.2022.基于证据权法的昆明五华区地质灾害易发性

- 评价[J].中国地质灾害与防治学报, 33(5):128-138.
- 何理,焦蒙蒙,王喻宣,李天国.2022.基于组合模型的天津市地面沉降预测及危险性评价[J].水利水电技术(中英文), 53(1):178-189.
- 黄长生,余绍文,黎清华,马传明.2016.珠江三角洲经济区资源环境承载力评价[M].武汉:中国地质大学出版社, 107-154.
- 江金进,刘佳,吴舒天,江山,赖波,李俊生.2020.珠海市软土分布特征及软土沉降风险评价[J].地质灾害与环境保护, 31(2):68-74.
- 江金进,赖波,江山,李俊生,刘佳.2022.珠海市横琴新区地质灾害分布特征及易发性评价[J].地质灾害与环境保护, 33(1):30-36.
- 江山,江宁,江金进,刘佳,李俊生,赵风顺,廖海斌.2022.基于ArcGis的珠海市地质灾害危险区划分[J].西部探矿工程, 34(5):114-117.
- 金必晶,殷坤龙,桂蕾,赵斌滨,郭宝瑞,曾韬睿.2022.基于遥感解译的盐湖地区输电线路杆塔地面沉降易发性评价[J/OL].地球科学:1-13[2023-02-28].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1874.p.20220413.1713.004.html>
- 赖波.2020.广东省珠海市地质灾害发育特征及形成条件分析[J].资源信息与工程, 35(4):110-114.
- 赖波,刘佳,吴舒天.2021a.基于ArcGIS的地质灾害巡查单元划分——以珠海市为例[J].华南地质, 37(1):75-82.
- 赖波,刘佳,江金进.2021b.基于GIS的珠海市地质灾害易发性评价[J].地质灾害与环境保护, 32(1):31-36.
- 赖波,江金进,刘佳.2021c.基于PS-InSAR技术的珠海市地面沉降监测分析[J].资源环境与工程, 35(2):241-244+259.
- 李萍,叶辉,谈树成.2021.基于层次分析法的永德县地质灾害易发性评价[J].水土保持研究, 28(5):394-399+406.
- 李宇亮,王豪伟,邓红兵,董仁才.2014.城市规划区地质灾害易损性评价[J].环境科学与技术, 37(S2):526-529+610.
- 刘飞,秦胜伍,乔双双,窦强,扈秀宇.2019.基于神经网络模型的斜坡地质灾害易发性评价:以吉林永吉为例[J].世界地质, 38(4):1166-1176.
- 刘广宁,齐信,黄长生,王芳婷.2019.粤桂合作特别试验区地质灾害发育特征及形成机理[J].华南地质, 35(3):361-372.
- 谭伟,田巍,刘钢一,周佑平.2022.黄冈市罗田县城关镇斜坡地质灾害风险评价[J].城市地质, 17(3):299-310.
- 汪洋,单强,马丙太,王锦彪,王颖,董明奇.2022.冀东平原地区面沉降影响因素及易发性评价:以唐山市平原区为例[J/OL].人民长江:1-9 [2023-02-28].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1202.TV.20220712.0938.002.html>
- 王智强.2022.基于信息量模型的深圳市地质灾害危险性研究[J].山西建筑, 48(14):69-72.
- 温鑫,范宣梅,陈兰,刘世康.2022.基于信息量模型的地质灾害易发性评价以川东南古蔺县为例[J].地质科技通报, 41(2):290-299.
- 吴润霖,党星海,周兆叶,周鹏,贾丽奇.2021.岷县地质灾害易损性模糊综合评价[J].地理空间信息, 19(3):86-89+108+7.
- 鲜木斯艳·阿布迪克依木.2022.高植被覆盖区公路边坡地质灾害危险性评价研究[D].江西理工大学硕士学位论文.
- 闫成林,郑德凤,年廷凯,王技博,焦厚滨,孙树珩,颜秉英.2021.基于ANP的模糊贝叶斯网络模型及其在海岸带地质灾害风险评价中的应用[J].工程地质学报, 29(6):1862-1868.
- 颜建东,李玥,吴环环,郑金龙.2020.地质灾害易损性评价模型在城市地质中的应用[J].工程建设与设计, (22):36-37.
- 杨秀元,付杰,韩旭东,潘书华,张超,李刚,吕凤兰.2022.三峡库区沿江城镇地质灾害风险评价——以重庆市万州区大周镇为例[J].中国地质调查, 9(4):27-36.
- 易靖松,王峰,程英建,张勇.2022.高山峡谷区地质灾害危险性评价——以四川省阿坝县为例[J].中国地质灾害与防治学报, 33(3):134-142.
- 殷跃平.2022.地质灾害风险调查评价方法与应用实践[J].中国地质灾害与防治学报, 33(4):5-6.
- 张德波.2018.广州市南沙区地面沉降易发性评价[J].中外建筑, (8):252-255.
- 张云波,曾磊,付弘流,张钟远.2022.基于信息量模型法的石阡县地质灾害易发性评价[J].地质灾害与环境保护, 33(1):44-49.
- 赵祈溶,曹顺红,文武飞,周丽芸.2021.基于证据权法的湖南省石门县皂市水库滑坡易发性评价[J].华南地质, 37(2):216-225.
- 朱霞,张戈,颜秉英,张旭升.2020.基于GIS和层次分析法的清原县地质灾害易发性评价[J].河北地质大学学报, 43(6):77-83.
- 朱文慧,邹浩,何明明,王纪云.2021.基于BP神经网络的地质灾害易发性分区方法研究——以蕲春县为例[J].资源环境与工程, 35(6):840-844.
- 邹冬儿,陈阿林,文海家.2012.基于ArcGIS奉节新城区地质灾害易损性评价[J].科技信息, (4):141-143.