

基于层次分析法的遥田镇地质灾害危险性评价

王小明

广东省地质物探工程勘察院, 广东 广州

收稿日期: 2022年8月8日; 录用日期: 2022年9月30日; 发布日期: 2022年10月8日

摘要

在充分研究新丰县遥田镇地质灾害孕灾环境的基础上, 以多源遥感数据和基础地质数据为数据源, 选择灾害点分布密度、坡度指标、高程指标、工程地质岩组、断裂构造、人类工程活动、降雨和道路指标八个因子。利用GIS提取因子信息, 采用层次分析法建立评价因子及其类型的判断矩阵, 构建地质灾害危险性评价指数, 对遥田镇地质灾害危险性进行评价和分区, 划分出低、中、高危险区3类分区并完成精度检验。结果表明: ① 低危险区的面积占全镇总面积的35%, 主要分布在遥田镇中北部的丘陵区; 中危险区面积约占全镇总面积的43%, 主要分布在南部丘陵地带, 遥田镇以西和道路周边地区; 高危险区占全镇总面积的22%, 主要集中分布在河流两侧以及山区地区。② 成功率曲线和受试者工作特征曲线与横轴围成的面积分别为0.75和0.88, 检验结果精度较好; 灾害点密度从低危险区到高危险区呈增加趋势, 灾害点密度达到了0.56个/km²。③ AHP方法适用于遥田镇地质灾害危险性评价, 评价结果可为遥田镇地质灾害的防范与治理提供一定的参考依据。

关键词

地质灾害, 危险性评价, 层次分析法, 遥田镇

Risk Assessment of Geological Hazards in Yaotian Town Based on Analytic Hierarchy Process

Xiaoming Wang

Guangdong Geological and Geophysical Engineering Exploration Institute, Guangzhou Guangdong

Received: Aug. 8th, 2022; accepted: Sep. 30th, 2022; published: Oct. 8th, 2022

Abstract

On the basis of fully studying the geological disaster-pregnancy environment in Yaotian Town,

Xinfeng County, using multi-source remote sensing data and basic geological data as data sources, and eight factors including distribution density of disaster points, slope index, elevation index, engineering geological rock group, fracture structure, human engineering activities, rainfall and road index were selected. The factor information is extracted by GIS, and the analytic hierarchy process is used to establish a judgment matrix of evaluation factors and their types, and a geological disaster risk evaluation index is constructed to evaluate the geological disaster risk of Yaotian Town. And partition, divide into three types of low, medium and high-risk areas and complete the accuracy test. The results show that: ① The low-risk area accounts for 35% of the whole town's area, and it is mainly distributed in the hilly area in the middle and north of Yaotian Town; the medium-risk area accounts for about 43% of the whole town's area, and it is mainly distributed in the southern hilly area, the west of Yaotian Town and areas around the road; the high-risk area accounts for 22% of the whole town's area, mainly distributed in both sides of the river and in mountainous areas. ② The areas enclosed by the success rate curve and the receiver operating characteristic curve and the horizontal axis are 0.75 and 0.88, respectively, and the test results have good accuracy; the density of disaster points increases from low-risk area to high-risk area, and the density of disaster points reaches 0.56 pieces/km². ③ The AHP method is suitable for the risk assessment of geological disasters in Yaotian Town, and the evaluation results can provide a certain reference for the prevention and control of geological disasters in Yaotian Town.

Keywords

Geological Hazards, Risk Assessment, Analytic Hierarchy Process, Yaotian Town

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地质灾害危险区是根据地质灾害发育程度、分布规律,将地质灾害类型相同,发育条件相近,易发和危险程度相似或接近的区域划分为同一区块。在划分出高易发区和高危险区的基础上,进一步划分和挑选出调查区的重点地段,这对制定调查区的地质灾害防灾减灾和防治规划都具有非常重要的现实意义。

全球很多学者和机构很早就开始对地质灾害进行评估和分析。1996年, Mario Mejia-Navarro 等采用 GIS 技术分析研究了斜坡的不稳定对地质灾害的影响[1]。张晓东等采用空间 GIS 技术手段对宁夏回族自治区盐池县的地质灾害集进行了分析[2]。范诗铃采用 GIS 技术对古城区地质灾害危险性进行了评价[3]。越来越多的学者研究分析地质灾害特征,学科交叉融合、合作研究是现在学术科研前进的方向,对于科学发展是一种新范式[4] [5]。纵观地质灾害危险性评价的分析研究,主要可以分为定性分析方法和定量分析方法 2 种类型[6] [7]。定性的方法主要是根据评价人的主观经验对地质灾害危险性进行定性描述,因人而异,有很大主观性[8]。定性评价的主要方法包括野外地形地貌调查分析、经验法与使用指数或参数制图等[9]。

本文采取了地质灾害危险性评价中的层次分析法对遥田镇地质灾害特征进行分析,该方法简单实用,将复杂的地质灾害问题简单化,具有可靠的分析评估结果,对灾害防范和治理具有重要的参考价值。

2. 研究区概况及数据来源

2.1. 研究区概况

遥田镇位于广东省韶关市新丰县,全镇总面积 214 平方千米。气候类型为亚热带季风气候带,气候

温暖、降水充沛、无霜期长，年降水量约 1768 mm，年均气温约 20.3℃。其地形地貌属于山地丘陵地带，东北方向为青云山脉，全镇地势呈现出“东南高、西北低”的态势。区域内出露的地层有震旦系、寒武系、奥陶系、泥盆系、石灰系、二迭系、三迭系、侏罗系、白垩系和第四纪红土系，镇内出露的地层有燕山期侵入岩，主要岩性为黑云母花岗岩，属花岗岩地带。

2.2. 数据来源

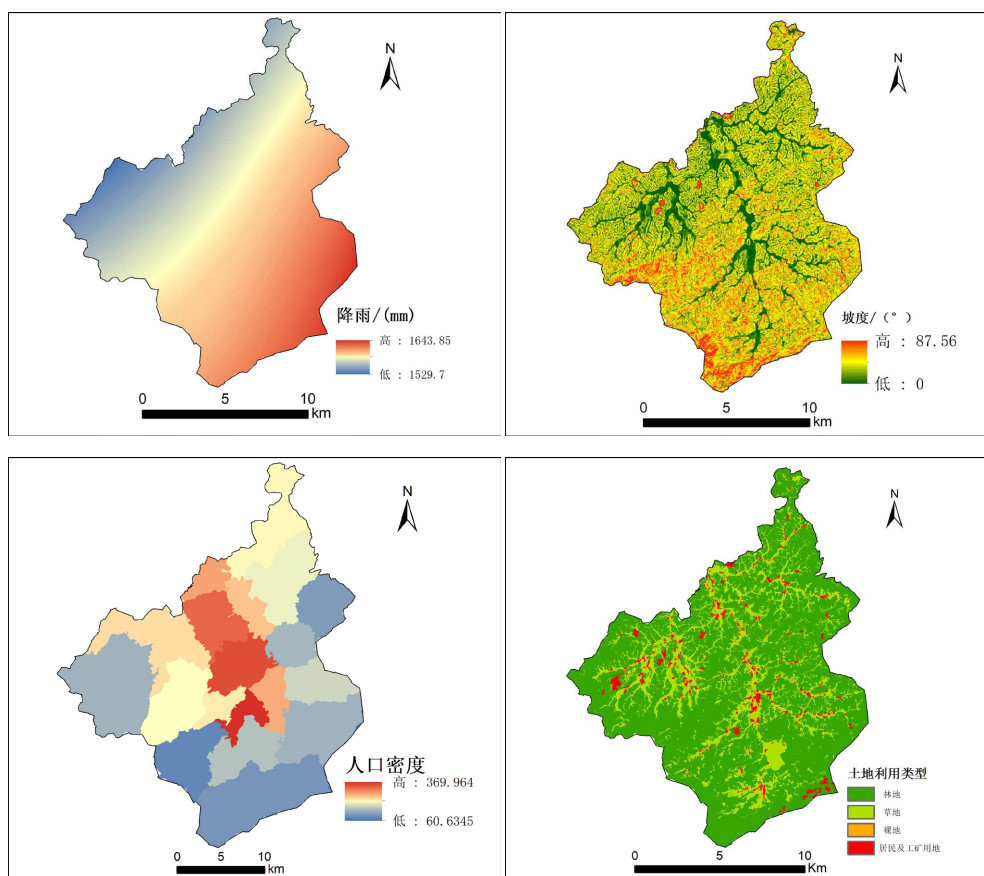
本研究所用的地质灾害数据来源于新丰县国土资源厅支撑项目“新丰县 1:5 万地质灾害详细调查项目”统计结果。与地质灾害危险性评价影响因子有关的基础数据包括降雨、地形高程、人口密度、土地利用数据、工程岩组密度、地灾点密度和道路核密度。

3. 地质灾害危险性的影响因素

3.1. 影响因素提取

地质灾害危险性是受自然条件和一些人为影响等多种因素的影响的，其影响机制复杂多样。根据研究区特点及地质灾害类型、规模以及诱发地质灾害可能的因素进行分析[10]。

本文根据野外调查和咨询最终选定降水、坡度、人口密度、土地利用类型、工程岩组密度、高程、地灾点密度和道路核密度等 8 个因素，对遥田镇的地质灾害进行危险性评价。各因素空间分布图如图 1 所示。降水根据遥田镇周边雨量站数据采用克里金插值得到降水空间分布，根据 DEM 高程数据采用表面分析方法提取坡度数据，根据乡镇的人口普查和面积情况计算得出人口密度分布，工程岩组密度、地灾点密度、道路核密度通过实际调查获得。



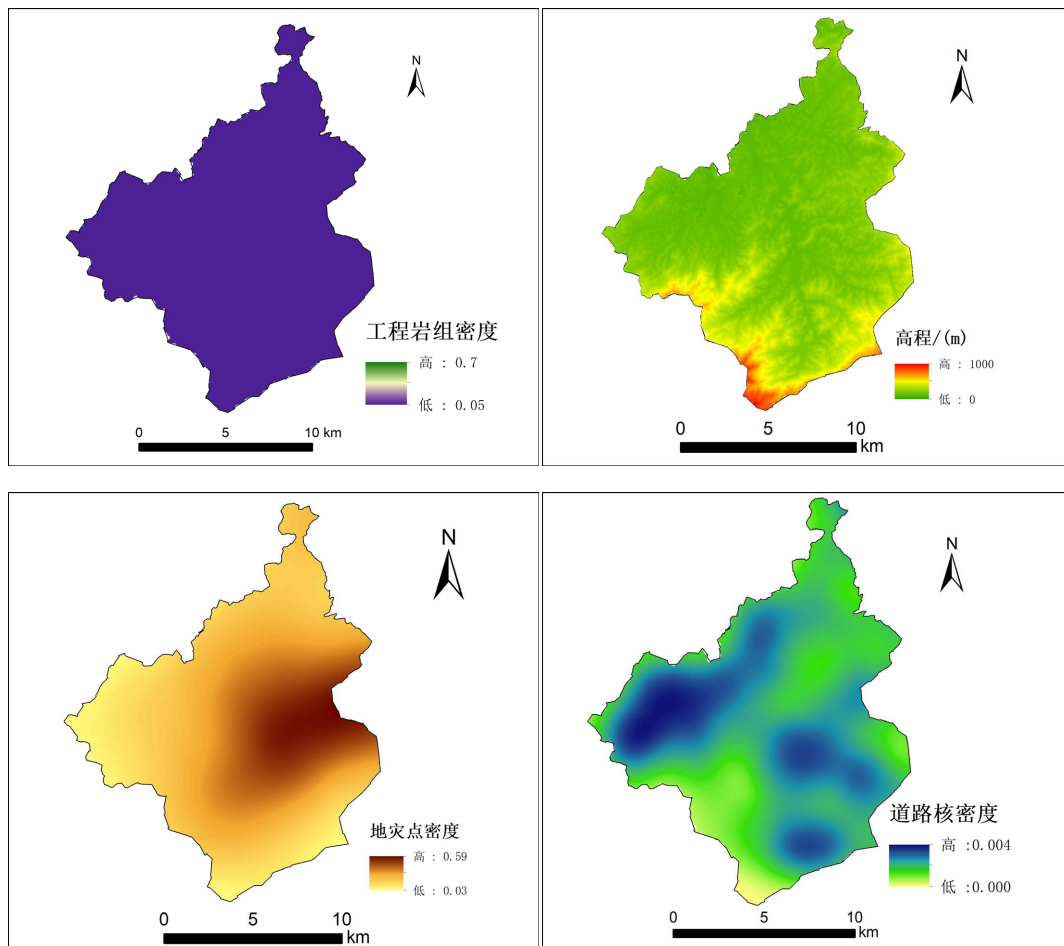
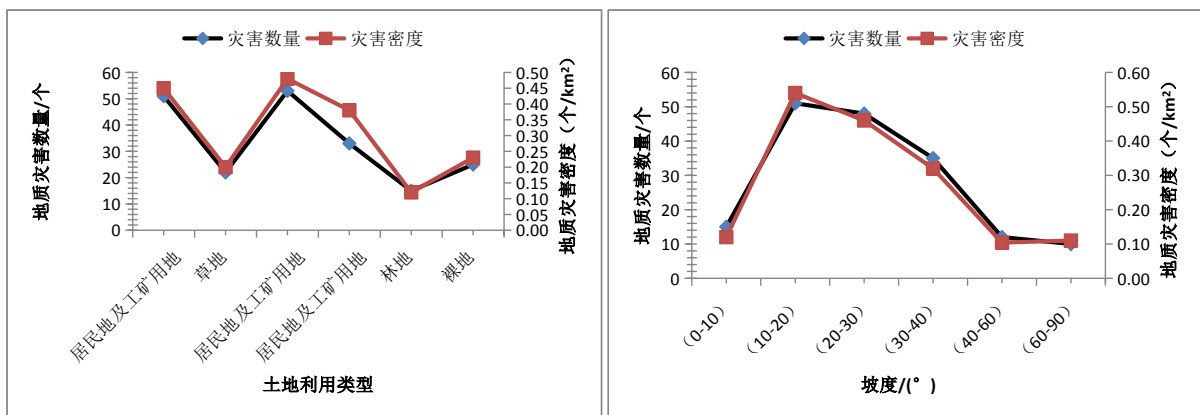


Figure 1. Risk assessment factors
图 1. 危险性评价因素

3.2. 影响因素与地质灾害关系

采用 GIS 空间数据提取和统计工具将 8 个影响因素的区域平均值；再分析地质灾害数量和密度与影响因素之间关系，其相关关系如图 2 所示。结果显示：随着降水增加其地质灾害密度和数量均称增加趋势；当坡度位于 10°~40°之间时较易发生地质灾害；人口密度在 210~260 人/km²时较易发生地质灾害；在



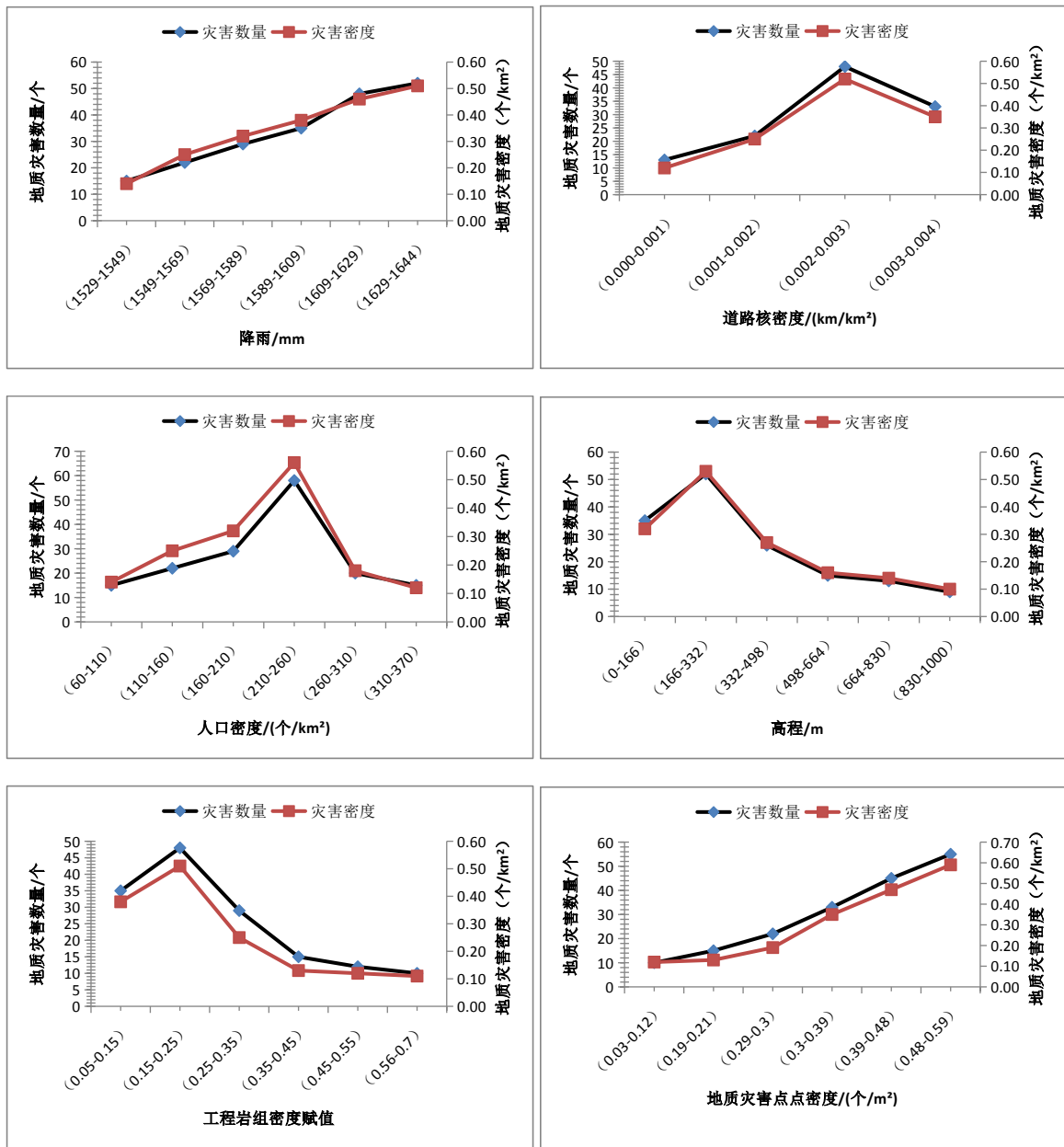


Figure 2. Influencing factors and the relationship between geological hazards
图 2. 影响因素与地质灾害关系

不同土地利用类型之间，由于草地和林地其根系对土壤具有拉力，地质灾害发生几率较小；对于工程岩组密度，整体上随着密度增加地质灾害发生几率减小；当高程位于 166~332 m 时发生地质灾害可能性最大；地质灾害点密度越大发生地质灾害的可能性越大；地质灾害随着道路核密度的增加而增加，当道路核密度达到 0.003 km/km² 后又减小。

4. 评价方法

4.1. 层次分析法(AHP)

层次分析法(AHP) [11]是一种多目标评价方法，可以对多个目标按照不同的层次进行多层合一的方式

进行分析。其原理是将复杂的问题的目标进行分解，分解为不同指标，并划归不同分类，然后借助数理分析方式将不同指标量化，对评价和预测复杂问题提供了一种较为可靠的量化分析方法。本文通过对 8 个影响因素的两两对比，采用标度法，构建判断矩阵，确定各层次和各因素对地质灾害影响的权重。判断矩阵结果采用随机一致性比率(CR) [12]来衡量，CR 是一种评价矩阵一致性和随机性的综合指标，CR 计算公式如公式(1)和公式(2)。

$$CR = CI/RI \tag{1}$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1} \tag{2}$$

式中：N 为判断矩阵阶数；为矩阵最大的特征值；CI 为评价判断矩阵是否一致性的综合评价指标；RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标(如表 1 所示)；当 CR 小于 0.1 时，认为评价指标一致性较好，反之较差。

Table 1. Average random consistency index of judgment matrix

表 1. 判断矩阵的平均随机一致性指标

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

4.2. 地质灾害危险性评价指数(GDHI)的构建

为了能够较好地反映出区域地质灾害的危险性，引入地质灾害危险性评价指数(GDHI) [13]，该指数可以根据综合各因素影响且量化的评价地质灾害危险程度。根据层次分析法计算的灾害影响因素及其权重、类型，构建 GDHI 评价指数，具体公式如公式 3 所示。

$$GDHI = \sum_{i=1}^n W_i D_{ij} \tag{3}$$

式中：n 表示影响因素个数；W_i 表示第 i 个影响因素所占影响权重；D_{ij} 表示第 i 个影响因素中的第 j 个因素类型的权重。

5. 评价结果与合理性分析

5.1. 判断矩阵结果分析

由表 2 可知，基于层次分析法分析的各影响因素所占权重中，道路核密度、坡度、地灾点密度、人口密度所占权重较大均大于 0.1，分别为 0.234、0.162、1.150 和 0.123。根据一致性检验结果(CR < 0.1)，说明判断矩阵一致性较好并通过一致性检验，最大特征值 λ_{max} 为 12.35。由表 3 可知，8 个影响因素的判断矩阵 CR 均小于 0.1，各影响因素内部不同等级的判断矩阵也具有较好的一致性且通过一致性检验。

Table 2. Based on the Analytic Hierarchy Process (AHP), the weight of each influencing factor, consistency test and the maximum eigenvalue

表 2. 基于层次分析法各影响因素的所占权重、CR 和 λ_{max}

影响因素	地灾点密度	道路核密度 坡度	坡度	降雨	工程岩组 密度	高程	土地利用 类型	人口 密度	权重	CR	λ _{max}
地灾点密度	1								0.150		
道路核密度	1/4	1							0.234	0.0764	12.35
坡度	1/2	2	1						0.162		

Continued

降雨	1/2	2	1/3	1					0.091
工程岩组密度	1/2	1	1	1/2	1				0.065
高程	1/4	1	1/3	1/4	1/2	1			0.098
人口密度	1/2	1	2	1/3	1/4	1/4	1		0.123
土地利用类型	1/4	1/3	1/4	1/5	1/6	1/2	1/5	1	0.077

5.2. 地质灾害危险性空间分布

根据 5.1 节计算得出各影响因素及其等级对地质灾害危险性的影响权重，计算得出遥田镇不同区域的地质灾害危险性评价指数，进而利用 ArcGIS 软件获得遥田镇地质灾害危险性空间分布图。根据遥田镇地质灾害危险性空间分布图采用自然间断点分级法将地质灾害危险性分为低危险性区、中危险性区和高危险性区 3 种分区，最终得出遥田镇地质灾害危险性分区图(如图 3)。采用 ArcGIS 中空间面积统计工具统计对遥田镇危险性低、中、高地质灾害危险性分区进行统计，可得出具体不同危险性分布区面积。在地质灾害危险性空间分布和分区上，地质灾害危险性呈现出由中间向四周降低趋势。

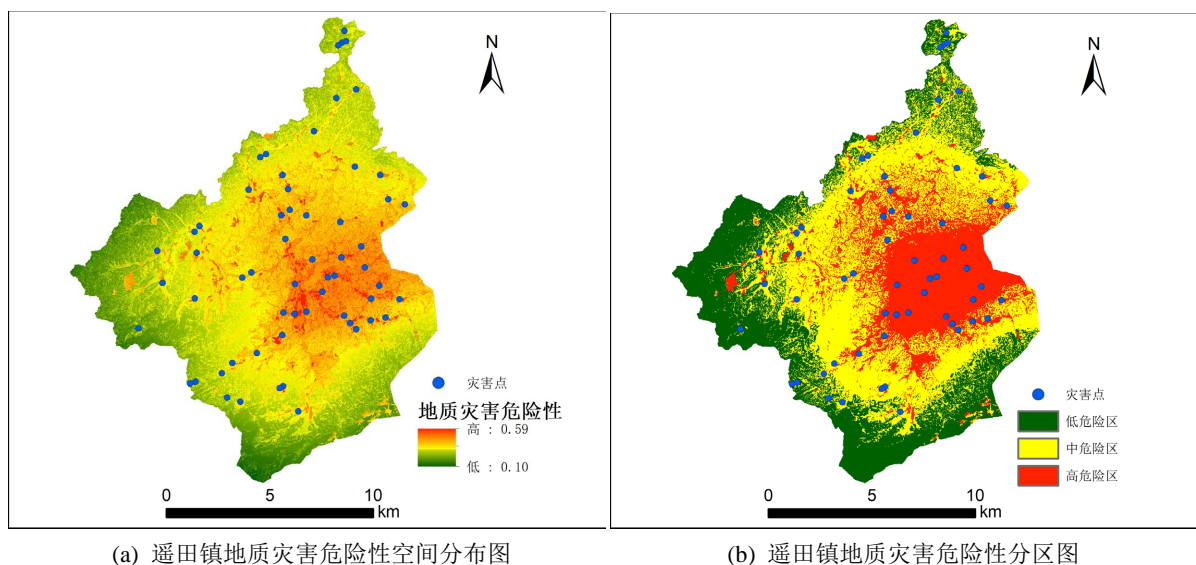


Figure 3. Distribution map and zoning map of geological hazards in Yaotian Town

图 3. 遥田镇地质灾害分布图和分区图

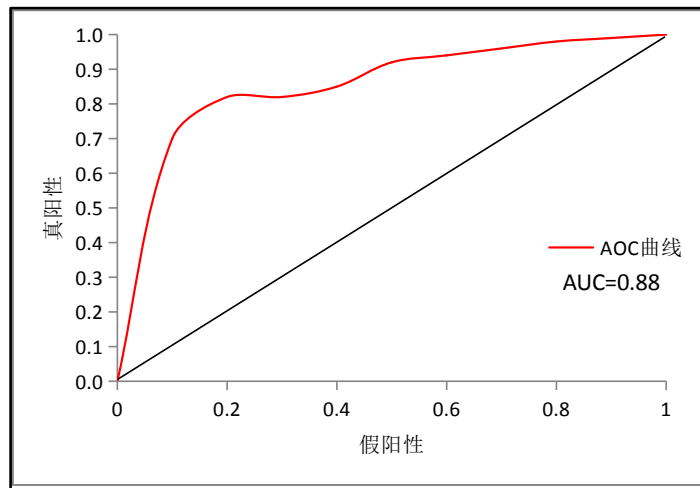
5.3. 精确度及分析

成功率曲线和接受者操作特性曲线(ROC 曲线) [14]，该方法可以对正类样本和负类样本的可分解性以及预测能力进行评估，能较为精准地反映出计算方法的特异性和敏感性的关系。

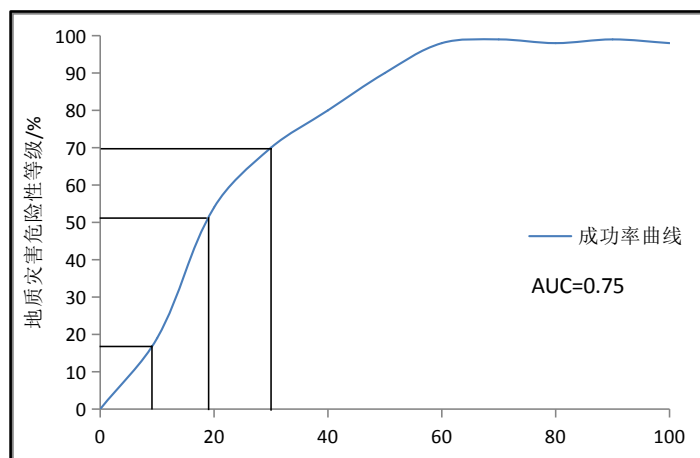
在地质灾害评估运用中，ROC 曲线法可以较好的评价预测灾害水平的好坏程度，当危险区占样本数越多时，模型预测精度越高[15]。接受者操作特性曲线和横轴围成区域面积称为曲线下面积(AUC)，区域面积越大说明灾害样本的模拟预测越精准[16]。根据实际调研，本文选取地质灾害点和非灾害点，采用上述 ROC 曲线和 AUC 曲线对研究区的地质灾害危险性评估结果进行精度检验。成功率曲线结果显示，约 70% 的灾害点落在危险性 0%~30% 的低值区，20% 的灾害点落在危险性 30%~60% 的中值区，10% 的灾害

Table 3. The weight of different intervals in each influencing factor type, consistency test, and maximum eigenvalue
表 3. 各影响因素类型中不同区间所占权重、CR 和 λ_{max}

影响因素	因素等级	权重	CR	λ_{max}	影响因素	因素等级	权重	CR	λ_{max}
土地利用类型	居民地及工矿用地	0.404	0.047	4.142	道路核密度(km/km ²)	[0.000~0.001)	0.16	0.14	4.14
	草地	0.230				[0.001~0.002)	0.15		
	林地	0.132				[0.002~0.003)	0.48		
	裸地	0.234				[0.003~0.004)	0.21		
平均降雨量(mm)	[1529~1549)	0.06	0.057	6.286	坡度(°)	[0~10)	0.06	0.02	6.12
	[1549~1569)	0.10				[10~20)	0.35		
	[1569~1589)	0.12				[20~30)	0.21		
	[1589~1609)	0.15				[30~40)	0.15		
	[1609~1629)	0.22				[40~60)	0.12		
	[1629~1644)	0.35				[60~90)	0.11		
人口密度(个/km ²)	[60~110)	0.10	0.063	6.315	工程岩组密度赋值	[0.05~0.15)	0.12	0.00	6.01
	[110~160)	0.12				[0.15~0.25)	0.48		
	[160~210)	0.19				[0.25~0.35)	0.13		
	[210~260)	0.35				[0.35~0.45)	0.10		
	[260~310)	0.18				[0.45~0.55)	0.11		
	[310~370)	0.06				[0.56~0.70)	0.06		
高程(m)	[0~166)	0.07	0.049	6.246	地灾点密度(个/m ²)	[0.03~0.12)	0.09	0.06	6.32
	[166~332)	0.38				[0.19~0.21)	0.10		
	[332~498)	0.21				[0.29~0.30)	0.13		
	[498~664)	0.13				[0.30~0.39)	0.15		
	[664~830)	0.11				[0.39~0.48)	0.21		
	[830~1000)	0.10				[0.48~0.59)	0.32		



(a) 成功率曲线图



(b) ROC 曲线图

Figure 4. Graph of success rate and receiver operation characteristics**图 4.** 成功率、ROC 曲线图

点落在危险性 70%~90% 的高值区(如图 4)。以上结果表明,采用 AHP 方法获得的地址灾害的危险性分布精度较高,该方法能较为客观地、准确地对遥田镇地质灾害敏感性进行评价。此外,区域地质灾害危险性评价的合理性可以通过灾害点密度呈现出来。统计新丰县遥田镇低、中、高级别的灾害点密度(表 4)。结果表明:从低危险区到高危险区的点密度呈增加趋势,且高危险区的灾害点密度最大达到了 $0.56 \text{ 个}/\text{km}^2$,说明该区域中灾害点分布集中,地质灾害危险性分区较为合理。

Table 4. Statistics on the density of disaster points in dangerous areas**表 4.** 危险区分区灾害点密度统计

危险区分级	灾害点数量/个	面积/ km^2	密度/(个 $\cdot \text{km}^{-2}$)
低危险区	14	70.43	0.1988
中危险区	22	86.31	0.2549
高危险区	24	43.26	0.5548

6. 结论

本文在深入分析研究区域地质灾害背景和成灾机理的基础上,以多源遥感数据和基础地质数据为数据源,选择灾点分布密度、坡度指标、高程指标工程地质岩组、断裂构造、人类工程活动、降雨指标八个因子作为地质灾害危险性评价影响因子,采用层次分析法,将地质灾害易发性评价过程进行层次化、定量化,从一个新的角度对遥田镇地质灾害危险性进行定量化评价和分区,分区结果较客观地反映了实际情况。层次分析法适用于遥田镇地质灾害危险性评价,评价结果可为遥田镇地质灾害的防范与治理提供一定的参考依据。

参考文献

- [1] Mejia-Navarro, M. and Garcia, L.A. (1996) Natural Hazard and Risk Assessment Using Decision Support Systems, Application: Glenwood Springs, Colorado. *Environmental and Engineering Geoscience*, 2, 299-324. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.II.3.299>
- [2] 张晓东, 刘湘南, 赵志鹏, 等. 基于层次分析法的盐池县地质灾害危险性评价[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(3):

183-192.

- [3] 范诗铃, 刘汉湖, 李金豪. AHP-信息量法在古城区地质灾害危险性评价中的应用[J]. 宜宾学院学报, 2022, 22(6): 60-66.
- [4] 李萍, 叶辉, 谈树成. 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, 2021, 28(5): 394-399+406.
- [5] 石辉, 邓念东, 周阳. 随机森林赋权层次分析法的崩塌易发性评价[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(25): 10613-10619.
- [6] 王丽俊. 层次分析法在地质灾害危险性评估中的应用[J]. 世界有色金属, 2021(17): 200-202.
- [7] 庞栋栋, 刘刚, 何敬, 王彬, 赵绪强. 基于层次分析法的甘肃省地质灾害风险评估分析[J]. 国土资源信息化, 2021(6): 41-47.
- [8] 王定武, 应智超. 基于层次分析法的云岩区地质灾害危险性评价[J]. 工程技术研究, 2020, 5(9): 271-273.
- [9] 朱霞, 张戈, 颜秉英, 张旭升. 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, 2020, 43(6): 77-83.
- [10] 刘佳, 赵海军, 马凤山, 郭捷, 孙琪皓, 段学良. 基于改进变异系数法的 G109 拉萨-那曲段泥石流危险性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(4): 63-70.
- [11] 丁文洁, 张蕾, 别凤华, 冯春玲, 刘同伟. 基于层次分析法的地质灾害易发性评价应用——以日照市为例[J]. 山东国土资源, 2020, 36(10): 73-78.
- [12] 窦强. 基于 GIS 和层次分析法的深圳市废弃矿山地质环境评价[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [13] 王少华, 郭令芬, 赵力颖. 基于模糊层次分析法的吉林省临江市地质灾害危险性评价[J]. 黑龙江工程学院学报, 2018, 32(4): 16-20+26.
- [14] 胡致远, 罗文强, 晏鄂川, 谭延嗣. 基于改进层次分析法的英山县地质灾害易发性评价[J]. 安全与环境工程, 2018, 25(4): 28-32+40.
- [15] 陈飞, 郭顺, 熊如宗, 钟连祥. 基于层次分析法的地质灾害危险性评价[J]. 有色金属科学与工程, 2018, 9(5): 54-60.
- [16] 刘宇恒, 邓辉, 熊倩莹. 基于层次分析法的茂县斜坡地质灾害易发性评价[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(5): 31-35.