

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2024.04.012

赣南地区地质灾害风险区划分析研究

何寒舟¹, 丁一^{2*}

HE Han-Zhou¹, DING Yi^{2*}

1. 江西省地质局水文地质大队, 江西 南昌 330000; 2. 江西省地质调查勘查院地质环境监测所, 江西 南昌 330000

1. The Hydrogeological Brigade of Jiangxi Bureau of Geology, Nanchang 330000, Jiangxi, China; 2. The Geological Environment Monitoring Institute of Jiangxi Geological Survey and Exploration Institute, Nanchang 330000, Jiangxi, China

摘要: 赣南地区山地丘陵地貌广泛分布, 区内地质灾害高达 10417 处, 严重威胁居民生命财产安全, 因此, 在该地区开展地质灾害风险评价对于预测、预报及防灾减灾具有重要意义。本文基于 1:5 万地质灾害详查数据, 分析了赣南地区的孕灾背景、灾害的发育分布特征及主控因素; 在此基础上确定了坡度、斜坡结构、工程地质岩组、土层厚度、地貌单元及已发生灾害点密度六个易发性评价因子, 并采用综合性指数法进行易发性评价。其次, 开展 20 年一遇最大 24 小时降雨量及切坡诱发因素下研究区危险性评价, 并叠加易损性分析对研究区开展风险评价。结果表明, 研究区灾害以小型浅层流滑类型为主, 主要发育于变质岩和岩浆岩残坡积层中, 降雨及切坡活动是灾害发生的主控因素。赣南地区地质灾害极高风险、高风险、中风险、低风险区占比分别为 0.8%、45.7%、40.3% 和 13.2%, 其中, 极高、高风险区主要分布于石城县、兴国县山区, 而中低风险区主要分布在平原、丘陵等平缓地段。本文研究结果对该区域及类似区域的地质灾害风险防治与管控具有指导意义。

关键词: 地质灾害; 风险评价; 管控措施; 赣南

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2024)-04-0737-12

He H Z and Ding Y. 2024. Analysis of Geological Hazard Risk Regionalization in Southern Jiangxi Province. *South China Geology*, 40(4): 737-748.

Abstract: The mountainous and hilly terrain of the southern Jiangxi (Gan Nan) region is widely distributed, with a total of 10,417 geological hazards, which pose a significant threat to the safety of lives and property. Therefore, conducting geological hazard risk assessments for this region is crucial for prediction, forecasting, and disaster reduction. This study, based on detailed geological hazard survey data at a 1 : 50,000 scale, analyzes the disaster-prone background and distribution characteristics of geological hazards and the main control factors in southern Jiangxi. On this basis, six susceptibility evaluation factors were identified: slope, slope structure, engineering geological rock group, soil thickness, geomorphological units, and the density of previously occurred disaster points. A comprehensive index method was used for susceptibility assessment. Additionally, a hazard assessment was conducted for the study area, taking into account the 20-year return maximum 24-hour rainfall and slope-cutting-induced factors. The risk assessment was further refined by incorporating vulnerability analysis. The results show that the main types of disasters in the study area are

收稿日期: 2024-10-10; 修回日期: 2024-11-30

基金项目: 江西省地质灾害风险调查成果集成与综合研究项目(202102002)

第一作者: 何寒舟(1989—), 男, 工程师, 主要从事结构工程设计、地质灾害防治等工作, E-mail: 309592355@qq.com

通讯作者: 丁一(1988—), 男, 高级工程师, 主要从事地质灾害防治、岩土工程等工作, E-mail: 540605876@qq.com

small-scale shallow landslides and debris flows, which predominantly occur in metamorphic and igneous rock residual slope deposits, with rainfall and slope cutting activities being the dominant controlling factors. The proportions of the extremely high-risk, high-risk, medium-risk, and low-risk areas in southern Jiangxi are 0.8%, 45.7%, 40.3%, and 13.2%, respectively. The extremely high-risk and high-risk zones are mainly concentrated in the mountainous areas of Shicheng County and Xingguo County, while the medium-risk and low-risk zones are primarily found in the flat areas such as plains and hills. The findings of this study provide important guidance for the risk prevention and management of geological hazards in this region and similar geological environments.

Key words: geological hazard; risk assessment; control measure; southern Jiangxi province

赣南地区地处赣江上游,属江南丘陵山区,是江西省内滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害发育最为强烈的区域之一。根据1:5万地质灾害调查结果,区内地质灾害发育高达10417处,占全省总数近三分之一,且这些灾害具有突发性强、规模较小、复发频繁等显著特征,严重威胁当地居民生命财产安全。因此,亟需对日益严重的赣南区域地质灾害开展风险性区划研究,以期当地政府有效开展防灾减灾工作提供准确的风险信息和科学的决策依据。

目前,关于区域地质灾害风险评价的研究已取得丰富成果(卢全中等,2003;张春山等,2003;马寅生等,2004;齐信等,2012;Xu C et al., 2012;张茂省等,2019;Sun X P et al., 2021; Xu S H et al., 2021)。已有学者在易发性评价方面开展了多种探索。例如,唐川和马国强(2015)以汶川县城周边区域为研究对象,比较了栅格单元与地貌单元作为评价单元的易发性评价结果,发现基于地貌单元的划分在小范围内更能准确反映地质灾害的实际分布,分区结果与地质灾害实际分布情况更加吻合;贾丽娜和陈世昌(2024)在对舟曲县孕灾地质条件深入分析基础上,选取AHP评价模型,通过构建11个易发性评价因子对舟曲县的地质灾害易发性进行综合评价;翟文华等(2023)以浙江省长兴县李家巷镇为研究区,结合频率比模型(FR)和随机森林模型(RF),对非地质灾害单元进行筛选,并对地质灾害易发性进行评估,结果显示,FR-RF模型在提高敏感性和预测性能方面具有显著优势,FR-RF模型的敏感性提升了13.71%,对地质灾害单元的预测性能也大幅提升。在危险

性评价方面,张平等(2024)以江西省S223省道竹头坑子—渠坎下段为研究区,基于频率比(FR),耦合熵指数(EI)、层次分析法(AHP)及二者组合权(EI-AHP),构建了4种地质灾害危险性评价模型,并对比了不同评价模型的公路沿线地质灾害危险性分区图;刘帅等(2024)以云南省元阳县为例,以栅格单元作为评价单元,对大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨4种不同降雨工况条件下研究区地质灾害进行了危险性评价;胡鹏等(2024)以西安市临潼区仁宗街道为研究区,构建基于斜坡单元的地质灾害风险评估体系,重点考虑了山区切坡活动对斜坡稳定性和承灾体危害性,最终得到该区域地质灾害综合风险评估结果。此外,罗永明等(2024)对湖南省桂东县普遍存在的切坡建房时空特征的详细分析,认为切坡活动是我国南部区域小型浅层地质灾害的主要诱发因素,并呈逐年扩大趋势;张宏伟(2021)以山西省兴县为例,采取7类评价因子开展易发性评价,并对不同降雨重现期(如10年一遇、20年一遇、50年一遇、100年一遇)的地质灾害危险性进行分析,结果表明,随着降雨重现期的增加,低危险性区域逐渐减少,而极高危险性区域逐渐扩大。

由上可知,现有研究大多集中于县域尺度的地质灾害易发性分析,或仅限于单一因素下的危险性评估,缺乏在孕灾地质背景下的全面易发性分析,且未能充分结合诱发条件和易损性因素,构建出完整的丘陵山区地质灾害风险评估框架。此外,尽管当前危险性评价研究已涉及降雨和切坡等因素,但对于降雨与切坡耦合作用下的风险区划研究仍显不足(丘嘉荣等,2024)。因此,本文以

赣南地区为研究对象,基于1:5万地质灾害详查数据,首先对研究区的孕灾地质背景及地质灾害的分布特征进行系统分析,揭示了影响该地区地质灾害发生的主控因素。在此基础上,确定了坡度、斜坡结构、工程地质岩组、土层厚度、地貌单元及已发生灾害点密度等6个易发性评价因子,并运用综合性指数法进行易发性评价。随后,考虑降雨及切坡活动等主控因子,开展研究区的危险性评价,并结合人口、建筑物及交通设施的易损性,对赣南地区进行综合风险评估。本文的评价结果可为该区域及具有类似地质背景区域在地质灾害风险防治和管控提供科学依据。

1 孕灾地质环境

在赣南地区地貌地质框架下,受岩石风化、活动构造、工程切坡及强降雨等多种诱发因素叠加影响,形成了赣南地区地质灾害的基本孕灾环境。

1.1 地形地貌

东部武夷山、雩山,南部南岭九连山、大庾岭和西部罗霄山余脉环立于赣南地区周围,并向中部及北部延伸,形成了赣南地区四周高中间低、南

高北低的地势特征;研究区地貌类型主要以中山、低山和丘陵为主(图1),山间红壤盆地大小错落50余处,山峰海拔多在1000~2000m之间,主要山峰有450座之多,山高坡陡,沟壑纵横,纵坡降大;丘陵主要分布于中部红层盆地边缘,山顶海拔350~500m,自然坡度大多 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$,沟谷相对平缓。

1.2 地质构造

赣南地区处于华夏板块东南造山带南岭东段隆起带和武夷隆起带交接地带(江西省地质矿产勘查开发局,2017),构造变形错综复杂,褶皱、断裂发育。自新元古代以来,除志留系、新近系以外,各时代地层均有分布,尤以变质岩分布最为广泛,约占研究区总面积的1/3;同时经过多次区域构造运动,早志留世-早白垩世酸性侵入岩分布广泛,各类岩浆岩分布约占研究区面积近1/3,尤以加里东期、燕山期构造-岩浆作用最为强烈。山地丘陵区岩性以薄-厚层状板岩、变碎屑岩、千枚岩以及块状岩浆岩为主,岩石风化较强烈,节理裂隙发育,风化层和残坡积松散覆盖层较厚的地段,在人工切坡和强降雨等因素影响下易诱发地质灾害。

1.3 降雨

赣南地区属亚热带季风气候区,具有春夏降

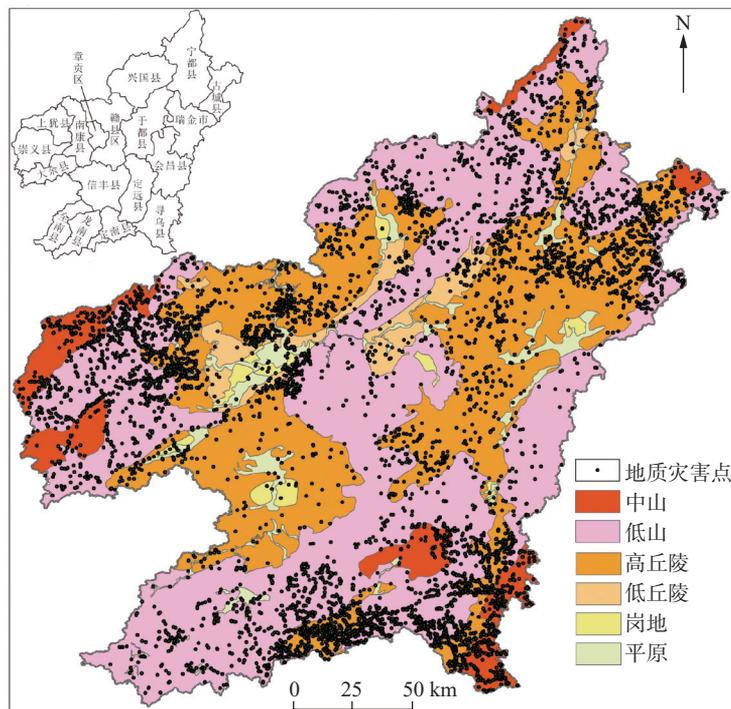


图1 赣南地区地貌类型与地质灾害分布略图

Fig. 1 Schematic diagram of geomorphic types and geological hazard distribution in the southern Jiangxi Province

水集中的气候特征,表现为春季阴雨连绵,夏季先涝后旱少酷暑。全区年平均降水量为 1583.9 mm,最大年降水量为 2272.0 mm(2016年),年最小降水量为 1049.4 mm(1963年),各县(市、区)年平均降雨量 1452~1737 mm,总体呈现北高南低的特征(吴丹瑞等,2017)。降雨主要集中在 4~6月,占全年雨量的 54.0%,年均暴雨 4次,11月至次年 1月降雨少,降雨量仅占全年的 11.1%。在年际尺度上,极端降水事件有增加趋势,其中日最大降雨量和最大 3 d 降雨量均有 14.29% 的站点有显著增加趋势(吴丹瑞等,2017)。

2 地质灾害发育与分布特征

地质灾害发育特征与分布规律不仅受控于孕灾环境条件,也与人类工程活动、极端气候密切相关。赣南地区地质环境条件因区域上的差异,人类工程活动的强度不同,降雨量分布不均匀,其地质灾害类型、分布及发育特征亦有所不同。

2.1 地质灾害发育特征

截至 2022 年,赣南地区共发生崩滑流地质灾害 10417 处,以滑坡、崩塌为主,其中滑坡 7385 处(占比 70.89%)、崩塌 2909 处(占比 27.93%)、泥石流 123 处(占比 1.18%)。

赣南地区地质灾害单体规模一般为数十方至数千方,其中滑坡以牵引式、浅层为主,主要滑体物质为残坡积层及强风化至全风化板岩、变碎屑岩、千枚岩以及岩浆岩松散岩土体,滑动面多为岩土接触面、强弱风化层界面及软弱夹层;崩塌体主要为残坡积层及风化层岩土体,少数为岩质崩塌。

近年来,随着人口增长及经济社会发展,许多山区群众为改善居住条件,选择向山要地,形成大量建房切坡;为改善交通条件和发展经济,也形成了大量的公路切坡和工程切坡,这两方面成为了地质灾害风险来源。赣南地区绝大部分滑坡、崩塌所处斜坡前缘坡脚大多有建房切坡或公路切坡,在强降雨共同作用下产生局部变形或整体破坏,从初始变形阶段到破坏阶段过程一般很短,并且时常出现群发现象。大部分地质灾害初期乃至破坏前变形迹象不是很明显,且周边植被普遍发

育,有很强的隐蔽性,早期难以识别,导致管控难度大。

2.2 地质灾害分布规律

赣南地区地质灾害分布的差异主要受区域地貌类型、降雨量时空分布、工程地质岩组(岩性)及人类活动强度等因素的影响,具有较明显的时空分布规律。

从地形地貌看(图 1、图 2),崩滑流地质灾害主要分布在低山、高丘陵区,其中自然坡度 [15°, 25°) 的坡段崩滑流地质灾害发育最多,累计占比高达 84%。其次为低丘陵 [10°, 15°) 的坡段,占比为 11%。在大于 35° 的斜坡地段,崩滑流灾害少发,这是由于自然坡度较大不利于松散物的堆积且人类活动较少。

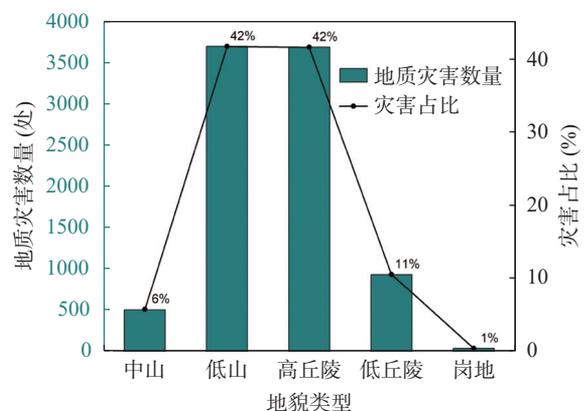


图 2 赣南地区各地貌类型地质灾害发育数量统计图

Fig. 2 Statistics of geological hazards in various geomorphic types in the southern Jiangxi Province

从工程地质岩组类别看(图 3、图 4),变质岩(B3)和岩浆岩类(Y1)地质灾害最为发育,累计占比高达 60.6%。红层区多为顺向岩质滑坡,主要岩组包括坚硬的块状侵入岩岩组;较坚硬、坚硬的片状片岩岩组;较坚硬、坚硬的薄-厚层状板岩、变碎屑岩、千枚岩岩组;软弱的、较坚硬的薄-厚层状红层砂岩、砂砾岩、泥岩岩组等。

对 1978 年至 2022 年有记录的 8932 处崩滑流地质灾害点进行统计,呈现多峰值波形分布特征,在 2002 年、2010 年、2011 年、2019 年、2022 年达到阶段性峰值,而这些年份降雨均显著高于其他年份,这表明降雨和地质灾害发生呈现正相关性,灾害受降雨控制明显。各年份地质灾害点

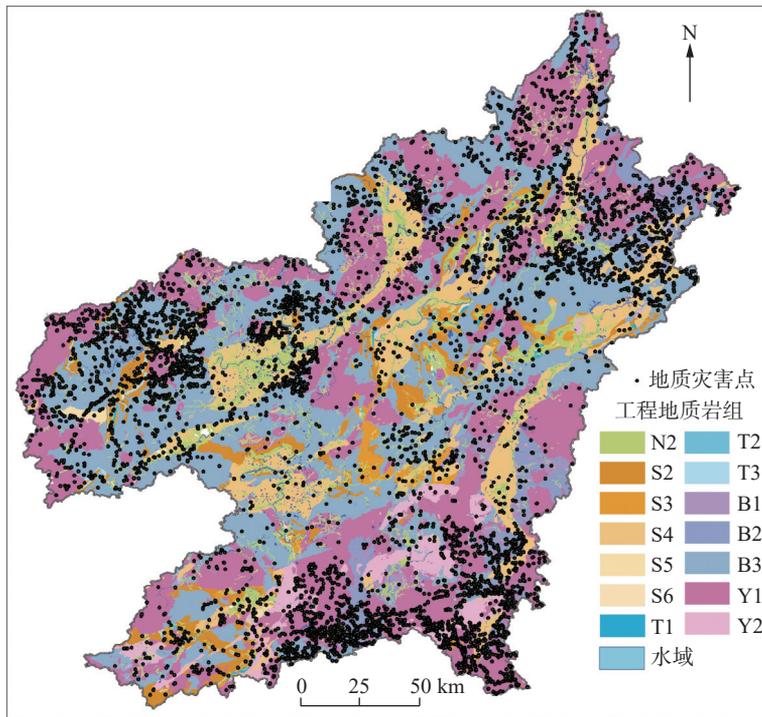


图 3 赣南地区工程地质岩组与地质灾害分布略图

Fig. 3 Outline of engineering geological rock formations and geological hazard distribution in the southern Jiangxi Province

N2-第四系残坡积层; S2-较坚硬、坚硬的砂岩、砂砾岩、页岩岩组; S3-软硬相间的含煤砂岩、页岩、泥岩岩组; S4-较弱的、较坚硬的红层砂岩、砂砾岩、泥岩岩组; S5-较弱的、较坚硬的页岩、砂岩、硅质岩岩组; S6-较弱的砂岩、砾岩、泥岩岩组; T1-坚硬的中等-强岩溶化灰岩、白云岩岩组; T2-较坚硬、坚硬的中等岩溶化灰岩、白云质灰岩、页岩岩组; T3-较坚硬、坚硬的弱岩溶化杂质灰岩、砂岩、页岩岩组; B1-较坚硬、坚硬的块状变粒岩组; B2-较坚硬、坚硬的片状片岩岩组; B3-较坚硬、坚硬的板岩、变碎屑岩、千枚岩岩组; Y1-坚硬的块状侵入岩岩组; Y2-较坚硬、坚硬的块状火山熔岩, 火山碎屑熔岩岩组

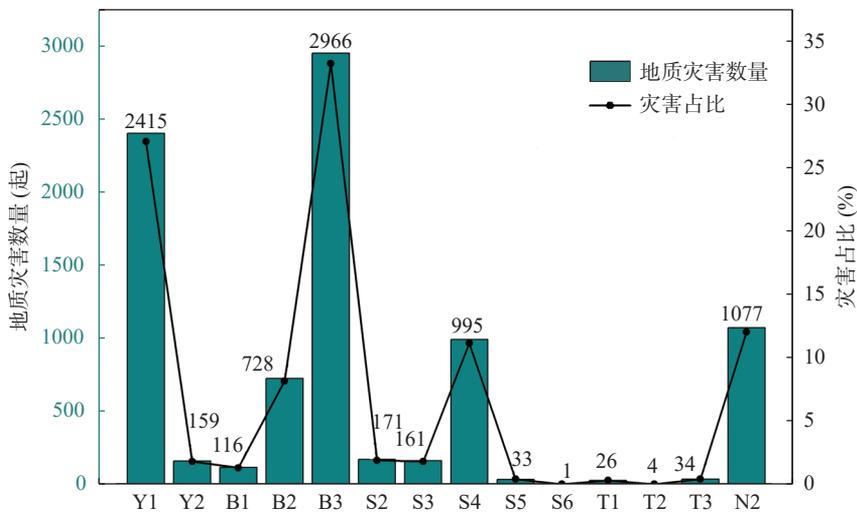


图 4 赣南地区各工程地质岩组地质灾害发育数量统计图

Fig. 4 Statistics of the number of geological hazards developed in each engineering geological rock group in the southern Jiangxi Province

工程地质岩组代号说明见图 3 之图例说明.

发生数量见图 5。

对 1978 年至 2022 年记录发生月份的 4852

处崩滑流地质灾害点进行统计, 4~7 月是崩滑流地质灾害高发期, 灾害累计占比高达 87%, 其中

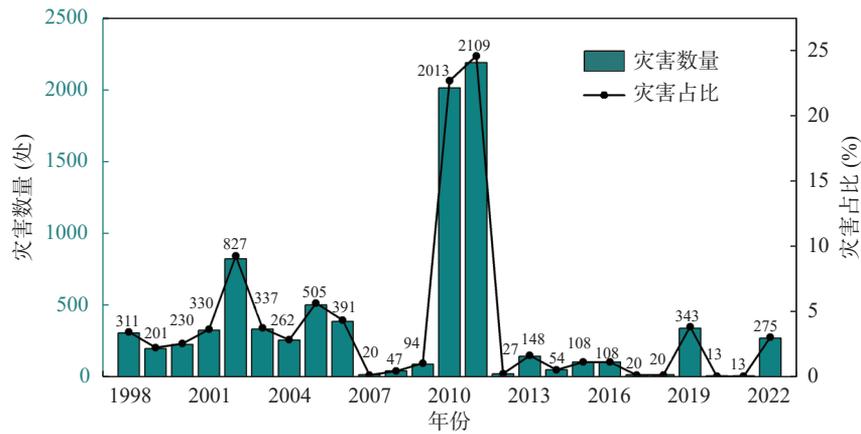


图5 赣南地区地质灾害数量与年份分布统计图

Fig. 5 Statistics of the number and annual distribution of geological hazards in the southern Jiangxi Province

4~6月主要受汛期强降雨和持续性降雨影响,7月受台风带来的短时暴雨影响较多。各月份地质灾害点发生数量见图6。

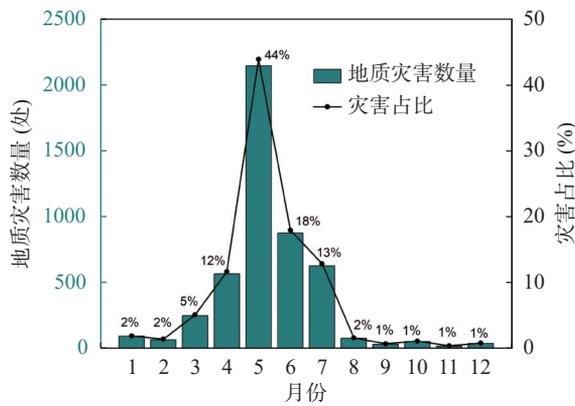


图6 赣南地区地质灾害类型与月份分布统计图

Fig. 6 Statistics of geological hazard types and monthly distribution in the southern Jiangxi Province

3 地质灾害风险区划

赣南地区地质灾害风险区划按照易发性评价、危险性评价、承灾体易损性评价、风险评价与区划逐步开展,主要评价对象为崩塌、滑坡、泥石流。根据评价区域范围和数据来源精度,本次评价单元选用栅格单元,栅格精度为25m。依据单点评价结果进行聚类后形成区域评价结果,并结合自然地理、历史灾情及隐患现状等因素进行修正。

3.1 地质灾害易发性评价

3.1.1 指标选取

地质灾害易发性评价是对灾害发生的可能性

进行预测,是地质灾害危险性评价的基础(张以晨等,2020)。基于赣南地区孕灾环境条件调查,剔除相关性高的因子,选用地形坡度、斜坡结构类型、工程地质岩组、土层(风化层)厚度、地貌单元及已发生灾点密度等6项评价因子作为易发性评价指标,采用综合指数法进行计算。

3.1.2 权重确定

根据定性与定量相结合的评价原则,召集省内外地质灾害资深专家,基于野外调查得到的地质灾害发育特征数据和经验认识,对评价指标的权重和分级特征值分别打分,汇总后综合排序。根据专家打分,得出各评价因子权重(表1)。

3.1.3 易发性评价

通过叠加分析,得出易发性综合指数值,计算公式:

$$Z = \sum Ni \cdot Ki$$

式中:Z为单栅格易发性指数;

Ni为单栅格评价指标的特征值;

Ki为单栅格评价指标的权重。

根据计算结果,得到地质灾害高、中、低、非四级易发性评价分区图(图7)。从评价结果可知,赣南地区崩滑流高易发区普遍分布于低山、丘陵区,其中北部大余县-崇义县-上犹县-赣县区-兴国县-石城县-瑞金市以及南部寻乌县-定南县高易发区分布较为集中,与研究区内主要丘陵区分布较为吻合,同时也是变质岩类和岩浆岩类集中分布区。

3.2 地质灾害危险性评价

地质灾害危险性评价是在易发性评价基础

表 1 易发性评价指标特征值及权重

Table 1 Characteristic values and weights of susceptibility evaluation indicators

因子	数据来源	指标分级	特征值(Ni)	权重(Ki)
地形坡度(°)	基于数字高程模型(DEM)提取	[0, 15)	1	0.2
		[15, 25)	2	
		[25, 35)	4	
		[35, 45)	3	
		≥45	2	
斜坡结构类型	野外调查实测值结合以往区域地质调查数据	顺向坡	4	0.1
		斜向坡	3	
		横向坡、平缓层状斜坡	2	
		逆向坡	1	
		块状斜坡	3	
工程地质岩组	基于1:5万地质图划分	坚硬的块状侵入岩岩组(Y1)	4	0.25
		较坚硬、坚硬的块状火山熔岩, 火山碎屑熔岩岩组(Y2)	2	
		较坚硬、坚硬的块状变粒岩组(B1)	2	
		较坚硬、坚硬的片状片岩岩组(B2)	3	
		较坚硬、坚硬的板岩、变碎屑岩、千枚岩岩组(B3)	4	
		较坚硬、坚硬的砂岩、砂砾岩、页岩岩组(S2)	2	
		软硬相间的含煤砂岩、页岩、泥岩岩组(S3)	3	
		软弱的、较坚硬的红层砂岩、砂砾岩、泥岩岩组(S4)	3	
		软弱的、较坚硬的页岩、砂岩、硅质岩岩组(S5)	2	
		软弱的砂岩、砾岩、泥岩岩组(S6)	3	
		坚硬的中等-强岩溶化灰岩、白云岩岩组(T1)	2	
		较坚硬、坚硬的中等岩溶化灰岩、白云质灰岩、页岩岩组(T2)	2	
较坚硬、坚硬的弱岩溶化杂质灰岩、砂岩、页岩岩组(T3)	3			
第四系残坡积层(N2)	2			
土层(风化层)厚度(m)	利用野外调查实测值进行插值	<1	1	0.10
		[1, 3)	3	
		[3, 5)	4	
		[5, 10)	3	
		≥10	2	
地貌单元	基于数字高程模型(DEM)划分	平原	1	0.15
		岗地	2	
		低丘陵	3	
		高丘陵	4	
		低山	4	
		中山	3	
已发生灾点密度(点/km ²)	基于历史灾情数据统计	<0.09	1	0.2
		[0.09, 0.31)	2	
		[0.31, 0.72)	3	
		≥0.72	4	

上, 通过易发性指数叠加地质灾害形成的主要诱发因素计算得到。根据本轮风险调查数据统计, 赣南地区地质灾害诱发条件主要为强降雨和人工

切坡, 结合区域评价和地质灾害防控特点, 选取 20 年一遇最大 24 小时降雨量和单位面积切坡密度等 2 项评价因子。根据专家打分确定各评价因

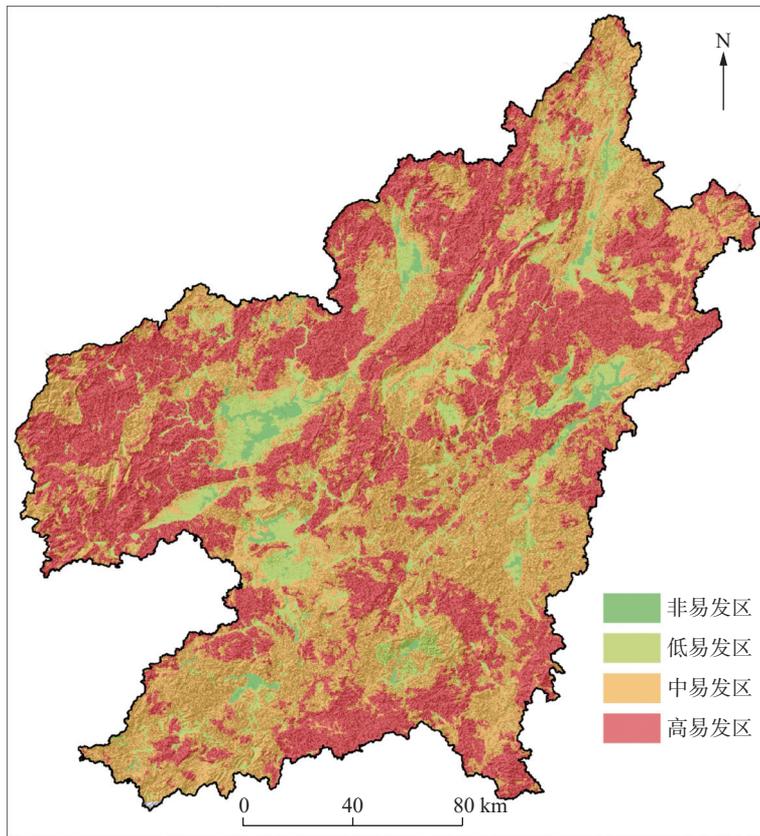


图7 赣南地区地质灾害易发性评价分区图

Fig. 7 Zoning map of geological hazard susceptibility assessment in the southern Jiangxi Province

子特征值和权重(表2)。

通过叠加分析,得出危险性综合指数值,计算公式:

$$Z = \left(\sum N_i \cdot K_i \right) \cdot R$$

式中:Z为单栅格危险性指数;

N_i 为单栅格易发性指数值和切坡密度特征值;

R为单栅格降雨强度特征值;

K_i 为单栅格评价指标的权重。

根据计算结果,得到赣南地区地质灾害危险性评价分区图(图8),赣南地区极高危险区主要分布在兴国县、石城-于都一带、瑞金-会昌东部、寻乌-定南一带以及崇义-上犹一带的变质岩、岩浆岩丘陵山区,区内降水丰富,同时受台风强降雨影响较大;赣南地区高-中危险区则普遍覆盖区内丘陵山区,仅赣江冲积平原及山间河谷平原等宽缓地带为低危险区。

3.3 承灾体易损性

根据赣南地区地质灾害主要危害特征,易损

性评价指标采用单位面积内建筑总面积、建筑结构、地质灾害威胁人口数量、交通设施等评价指标,划为极高易损、高易损、中易损和低易损4个等级。从分析结果看,赣南地区山区人口居住较分散,除城镇外,房屋建筑、人口密度较低,总体上易损性以中-低为主,易损性综合评价结果见图9。

3.4 地质灾害风险评价与区划

开展地质灾害风险评价,有助于从宏观层面对地质灾害形势进行研判,减轻地质灾害造成的损失,进而实现地质灾害风险管理,服务于防灾减灾和生态文明建设(李春燕等,2017)。根据前述得到的地质灾害危险性和承灾体易损性评价结果,采用矩阵分析方法(表3)叠加运算,划分地质灾害风险等级。

根据初步计算结果,按照各风险等级栅格分布密度进行聚类归并,划分出地质灾害极高、高、中、低四级风险分区。在区划归并过程中,确定风险分区等级的栅格数量原则上应超过

表 2 评价因子分级特征值及权重

Table 2 Grading characteristic values and weights of evaluation factors

因子	分级	特征值(Ni/R)	权重(Ki)
20年一遇24 h最大降雨量(mm)	[100, 500)	1-4	-
	<100	1	
切坡密度(m/km ²)	[100, 500)	2	0.3
	[500, 1000)	3	
	≥1000	4	
易发性指数值	按实际取值		0.7

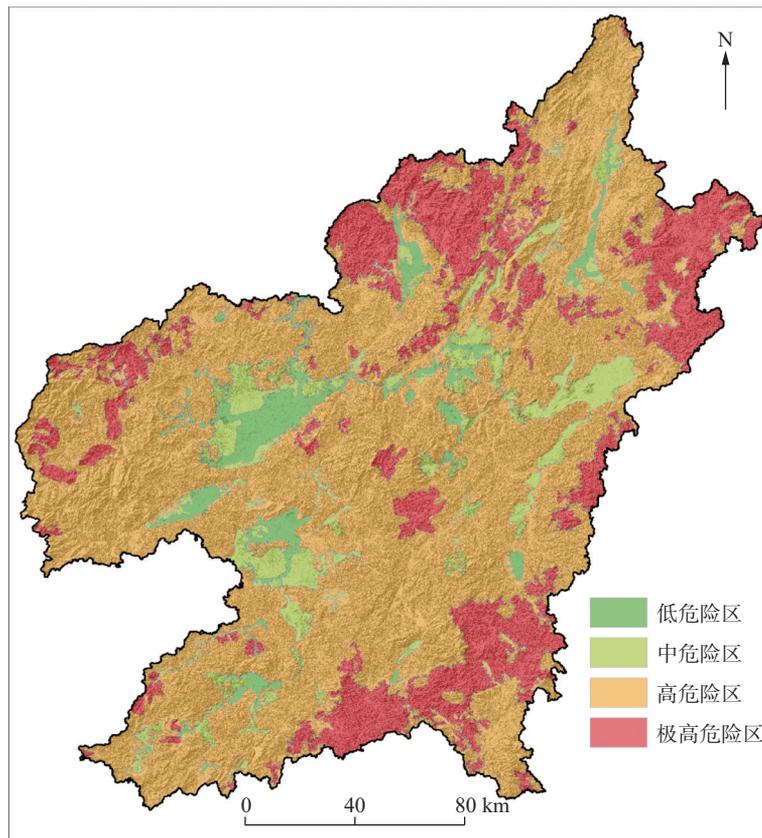


图 8 赣南地区地质灾害危险性评价分区图

Fig. 8 Zoning map of geological hazard risk assessment in the southern Jiangxi Province

分区内总栅格数的 70%，否则就低一级划分，并根据历史灾情、隐患发育现状及孕灾环境进行修正。

根据聚类分区结果，得到赣南地区地质灾害风险区划图(图 10)，赣南地区共划分极高风险区面积 312.2 km²，占总面积 0.8%，主要分布在石城县、兴国县、于都县、寻乌县等局部山区，区内地质环境脆弱，地质灾害隐患点分布较多，威胁人口、房屋多，潜在风险大；划分高风险区面积 18022.1 km²，占总面积 45.7%，主要分布在崇义

县-大余县以及兴国县大部区域以及石城县-于都县、瑞金市-会昌县-寻乌县-定南县一带岩浆岩或变质岩山区，该区域为赣南地区主要地质灾害易发区、危险区，隐患点数量多，潜在风险较大；划分中风险区面积 15861.6 km²，占总面积 40.3%，主要分布在低丘陵区，总体隐患点数量多但规模均较小，威胁人口房屋数量一般，潜在风险一般；划分低风险区 5201.8 km²，占总面积 13.2%，主要分布在区内平原、岗地等平缓地段，以及人迹罕至的山区，潜在风险小。

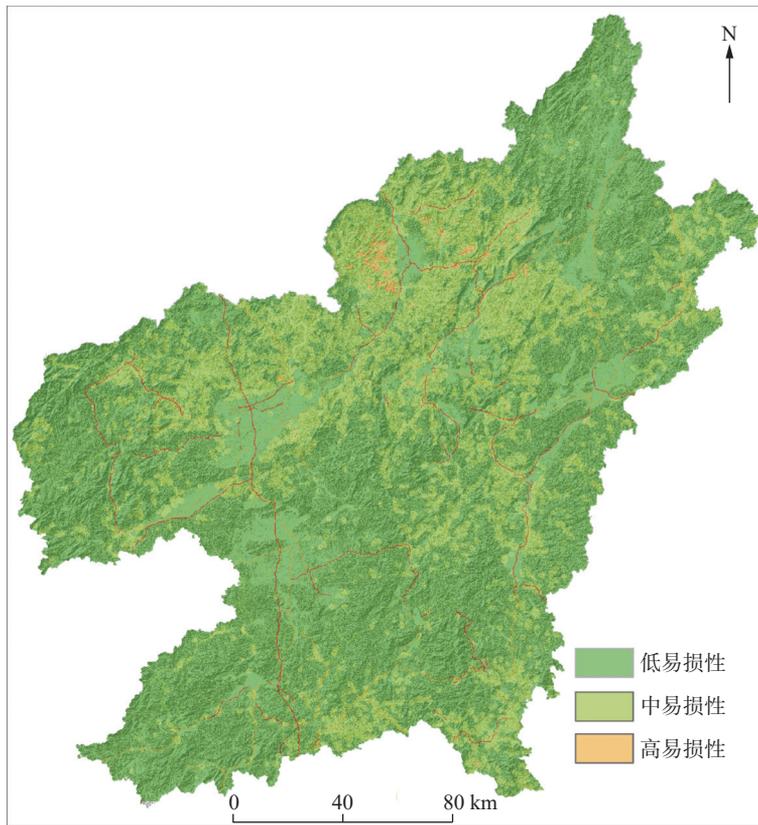


图9 赣南地区承灾体综合易损性评价图

Fig. 9 Comprehensive vulnerability assessment diagram of disaster bearing body of the southern Jiangxi Province

表3 地质灾害风险评价矩阵分析表

Table 3 geological hazard risk assessment

易损性	危险性(风险等级)			
	极高	高	中	低
极高	极高	极高	高	中
高	极高	高	中	中
中	高	高	中	低
低	高	中	低	低

4 地质灾害风险管控措施建议

4.1 加强区域地质灾害管控

根据地质灾害风险评价结果,赣南地区地质灾害风险主要为中高等级,从孕灾地质条件来看,区内地貌主要为山坡较陡的低山丘陵,岩土类型以岩浆岩、变质岩为主,主要岩性为花岗岩、板岩、变碎屑岩、千枚岩及片岩等,岩石风化程度高,结构破碎,同时依山建房切坡现象普遍,导致小型滑坡、崩塌灾害易发多发。对于极高、高风险区,一是加强地质灾害隐患的早期精准识别能

力以及监测预警能力,进一步提高地质灾害气象预警预报精细化水平;二是强化农村切坡建房管理,减少新的地质灾害隐患产生;三是针对区内隐患点数量多,规模小,特别是对于人员危害较大的特点,开展以乡镇为单位的高风险区综合整治,通过搬迁避让、综合治理、排危除险等综合手段成片消除区域地质灾害隐患,全面降低地质灾害风险;四是做好国土空间规划、村镇规划与风险区的衔接,高风险及以上区域原则上不宜作为城镇发展方向,逐步有序引导人口、经济向低风险区聚集。对于中风险区,承灾体分布密度较低,主要以群测群防为主,加强气象风险预警,对规模较大、

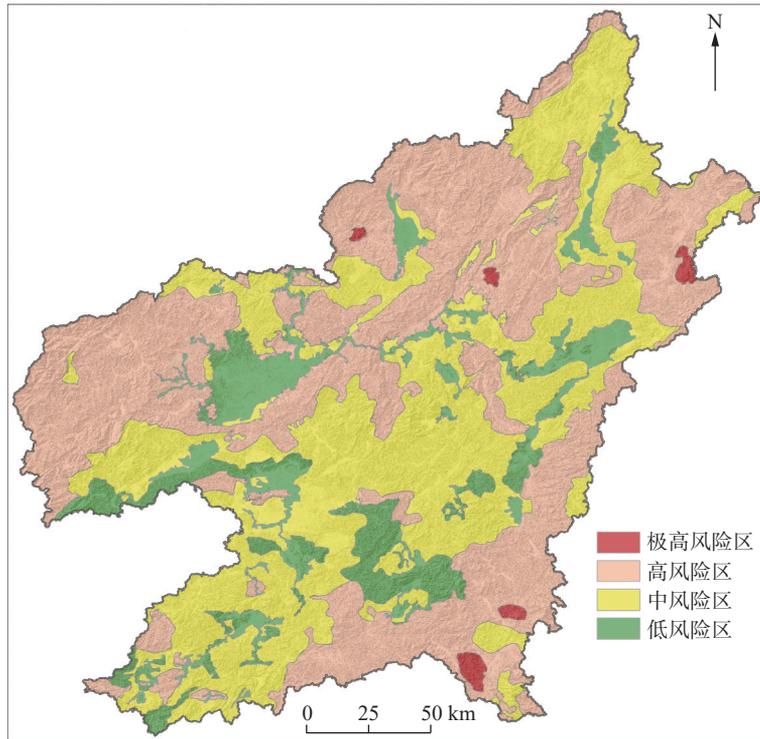


图 10 赣南地区地质灾害风险区划图

Fig. 10 Geological hazard risk zoning map of the southern Jiangxi Province

危害程度较高的地质灾害隐患点及时排危除险和综合治理,衔接国土空间规划与村镇规划。

4.2 不同类型地质灾害分类施策

赣南地区滑坡以小型土质(风化层碎块)滑坡为主,广泛分布于各县(市、区)低山丘陵区,该类灾害可采取投入少、工期短、见效快的简易工程治理措施,集中消除分布在人口聚集区和道路两侧的小型滑坡隐患,以降低区域整体风险程度,对不适合工程治理的隐患点加强地质灾害自动化监测预警,逐步实施搬迁避让。对于局部、小型崩塌危岩体,可通过边坡修整或主动防护网消除隐患,公路两侧规模较大的危岩体需采取工程治理和监测预警相结合的形式进行防控。针对泥石流灾害,区内植被覆盖率高,在主要沟谷强化监测即可实现有效管控。

5 结论

本文基于 1:5 万地质灾害详查数据,通过分析赣南地区的孕灾背景、地质灾害的空间分布特征及其主控因素,开展考虑主控因素的地质灾害

危险性评价,通过叠加易损性分析,最终利用矩阵分析得出了研究区的风险分区。主要结论如下:

(1)研究区内的 10417 处地质灾害以小型浅层流滑类型为主,灾害的空间分布主要集中在板岩、变碎屑岩、千枚岩残坡积层及岩浆岩松散岩土体区域。降雨和切坡活动被确定为主要的灾害控制因素,约 87% 的灾害发生在 4~7 月的强降雨期间,而约 84% 的灾害发生在坡度为 $[10^\circ, 15^\circ)$ 的区域。

(2)构建了一个基于山地丘陵地貌特点的区域风险评价体系,选取坡度、斜坡结构、工程地质岩组、土层厚度、地貌单元及已发生灾害点密度等六项易发性因子,采用综合性指数法对地质灾害易发性进行评价。同时,结合主控因素,选取了 20 年一遇最大 24 小时降雨量和切坡密度两个关键因子进行危险性评价,并叠加人口、建筑物和交通设施的易损性,最终通过矩阵分析得出研究区的风险分区结果。该风险评价方法综合了定性与定量分析的优势,有效克服了以往研究中评级因子过于主观以及评价框架不完善的不足。

(3)赣南地区划分地质灾害风险等级包括低

风险、中风险、高风险和极高风险4级,其中极高风险区面积312.2 km²,占总面积0.8%,主要分布在石城县、兴国县、于都县、寻乌县等局部山区;高风险区面积18022.1 km²,占总面积45.7%,主要分布在崇义县-大余县以及兴国县大部区域以及石城县-于都县、瑞金市-会昌县-寻乌县-定南县一带岩浆岩或变质岩山区;中风险区面积15861.6 km²,占总面积40.3%,主要分布在各县区低丘陵区;低风险区5201.8 km²,占总面积13.2%,主要分布在区内平原、岗地等平缓地段以及人迹罕至的山区。本次以25 m精度栅格为评价单元,一定程度上破坏了地形单元的完整性,今后改进为斜坡单元开展精细化评价,将进一步提升风险区划结果的可靠性。

参考文献:

- 胡鹏,王念秦,宋贵昌,赵世龙,乔丁丁,郝业.2024.山区切坡活动引发地质灾害风险评估及其防控措施[J].灾害学,39(1):164-171.
- 贾丽娜,陈世昌.2024.基于AHP和GIS的舟曲地质灾害易发性评价[J].西北地质,57(1):23-33.
- 江西省地质矿产勘查开发局.2017.中国区域地质志·江西志[M].北京:地质出版社.
- 李春燕,孟晖,张若琳,李亚民.2017.中国县域单元地质灾害风险评估[J].水文地质工程地质,44(2):160-166.
- 刘帅,朱杰勇,杨得虎,马博.2024.不同降雨工况条件下的崩滑地质灾害危险性评价[J].地质科技通报,43(2):253-267.
- 卢全中,彭建兵,赵法锁.2003.地质灾害风险评估(价)研究综述[J].灾害学,18(4):60-64.
- 罗永明,杜成江,黄鹏,郭乐龙.2024.桂东县切坡建房引发的地质灾害特征及防治对策[J].资源信息与工程,39(3):96-99.
- 马寅生,张业成,张春山,王金山.2004.地质灾害风险评价的理论与方法[J].地质力学学报,10(1):7-18.
- 齐信,唐川,陈州丰,邵长生.2012.地质灾害风险评估研究[J].自然灾害学报,21(5):33-40.
- 丘嘉荣,黄利兵,王金秋.2024.不同降雨工况条件下东江上游城镇崩滑灾害危险性评价——以广东省龙川县四都镇为例[J].华南地质,40(4):773-782.
- 唐川,马国超.2015.基于地貌单元的小区域地质灾害易发性分区方法研究[J].地理科学,35(1):91-98.
- 吴丹瑞,吴安琪,何新玥,李明.2017.赣南地区近58年来极端气候变化趋势分析[J].长江科学院院报,34(1):24-29+39.
- 翟文华,王小东,吴明堂,吴晓亮,李倩倩.2023.基于频率比模型和随机森林模型耦合的地质灾害易发性评价[J].自然灾害学报,32(6):74-82.
- 张春山,吴满路,张业成.2003.地质灾害风险评价方法及展望[J].自然灾害学报,12(1):96-102.
- 张宏伟.2021.基于GIS的不同降雨工况下地质灾害危险性评价[J].华北自然资源,(4):103-105.
- 张茂省,薛强,贾俊,徐继维,高波,王佳运.2019.山区城镇地质灾害调查与风险评价方法及实践[J].西北地质,52(2):125-135.
- 张平平,何书,李滨.2024.江西丘陵山区公路地质灾害危险性评价多耦合模型对比研究[J].中国地质灾害与防治学报,35(4):135-145.
- 张以晨,郎秋玲,陈亚南,张继权,田书文.2020.基于自然灾害风险评价框架的省级地质灾害风险区划方法探讨——以吉林省为例[J].中国地质灾害与防治学报,31(6):104-110.
- Sun X P, Zeng P, Li T B, Zhang T L, Feng X D, Jimenez R. 2021. Run-out distance exceedance probability evaluation and hazard zoning of an individual landslide[J]. Landslides, 18(4): 1295-1308.
- Xu C, Dai F C, Xu X W, Lee Y H. 2012. GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China[J]. Geomorphology, 145-146: 70-80.
- Xu S H, Zhang M, Ma Y, Liu J P, Wang Y, Ma X R, Chen J. 2021. Multiclassification method of landslide risk assessment in consideration of disaster levels: a case study of Xianyang City, Shaanxi Province[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 10(10): 646.