

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2024.04.015

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

丘嘉荣, 黄利兵, 王金秋

QIU Jia-Rong, HUANG Li-Bing, WANG Jin-Qiu

广东省核工业地质调查院, 广东 广州 510800

Guangdong Institute of Nuclear Geological Survey, Guangzhou 510800, Guangdong, China

摘要: 在崩滑地质灾害高易发区开展系统详实且精细的易发性评价和不同降雨量工况下的危险性调查研究是有效保护当地人民生命财产安全的迫切需要。本文以广东省龙川县四都镇为研究区, 利用遥感影像、地面调查、区域地质环境资料, 选取坡度、高差、坡形、覆盖层厚度、岩土体类型、与构造距离、植被覆盖指数、土地利用类型等 8 个影响因子建立崩滑灾害易发性评价指标体系, 应用信息量法评估四都镇崩滑灾害易发性。在此基础上, 采用危险性指数法讨论 24 小时累计雨量 100 mm 降雨量和 24 小时累计雨量 250 mm 降雨量两种工况下的四都镇崩滑灾害危险性。研究结果表明: (1) 四都镇崩滑灾害易发性以低易发区为主, 占研究区总面积的 65.87%, 但 86.23% 的崩滑灾害集中于中易发区; (2) 在 24 小时累计雨量 100 mm 降雨量工况下, 四都镇崩滑灾害危险性以中危险为主, 其面积为 52.71 km², 占比 67.86%; 在 24 小时累计雨量 250 mm 降雨量工况下, 四都镇崩滑灾害危险性以高危险为主, 其面积为 52.44 km², 占比 67.51%。本研究评价体系对于四都镇地质灾害易发性评价较适用, 根据评价结果实地验证证明评价结果较合理, 为进一步提出该区域内的地质灾害防治对策奠定了基础。

关键词: 崩滑灾害; 易发性; 危险性; 降雨强度; 广东省龙川县

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2024)-04-0773-10

Qiu J R, Huang L B and Wang J Q. 2024. Hazard Assessment of Collapse and Landslide Disasters in the Upper Reaches of the Dongjiang River Under Different Rainfall Conditions: A Case Study of Sidu Town, Longchuan County, Guangdong Province. *South China Geology*, 40(4): 773–782.

Abstract: It is an urgent need to carry out systematic, detailed, and refined susceptibility assessments in high-risk areas prone to landslides and geological disasters, as well as to conduct risk investigations under different rainfall conditions, to protect the lives and property of local people effectively. This paper takes Sidu Town, Longchuan County, Guangdong Province, as the study area, and utilizes remote sensing images, ground surveys, and regional geological and environmental data to establish a system of landslide disaster susceptibility evaluation indexes by selecting eight influencing factors such as slope gradient, elevation difference, slope shape, cover layer thickness, geotechnical body type, distance from geological structures, vegetation cover index, and land-use types, and applying the informativeness method to assess the susceptibility of Sidu Town to landslide disasters. On this basis, the hazard index method was used to discuss

收稿日期: 2024-08-02; 修回日期: 2024-09-14

基金项目: 中央和省级地质灾害防治专项资金项目(H202202017)

第一作者: 丘嘉荣(1990—), 男, 工程师, 主要从事地质矿产勘查及水工环地质工作, E-mail: 472256345@qq.com

the risk of landslide disaster in Sidu Town under the two working conditions of 24-hour cumulative rainfall of 100 mm rainfall and 24-hour cumulative rainfall of 250 mm rainfall. The result reveals that: (1) The susceptibility of landslide disasters in Sidu Town is predominantly low, covering 65.87% of the total study area, yet 86.23% of landslide disasters are concentrated in the medium susceptibility zone; (2) Under the 24-hour cumulative rainfall of 100 mm scenario, the risk of landslide disasters in Sidu Town is primarily moderate, accounting for 67.86% with an area of 52.71 km²; under the 24-hour cumulative rainfall of 250 mm scenario, the risk of landslide disasters in Sidu Town is primarily high, accounting for 67.51% with an area of 52.44 km². The evaluation system used in this study is deemed highly applicable for assessing the susceptibility to geological disasters in Sidu Town. The evaluation results, validated through field checks, are considered useful and therefore provide a foundation for further geological disaster prevention and control strategies within the region.

Key words: collapse and landslide disasters; susceptibility; hazard; rainfall intensity; Longchuan county, Guangdong province

精细化的城镇地质灾害危险性评价是开展城镇地质灾害风险防控工作的基础,也是推进新型城镇化和城乡融合发展所需地质环境安全的保障。城镇地质灾害危险性评估需要详细的调查资料来估计不同降雨工况条件下的地质灾害危险程度(冯卫等, 2021; 刘帅等, 2024)。周超等(2020)、王灿星等(2023)、王天河等(2024)分别以贵州省盘州市盘关镇、云南省维西县叶枝镇、广东省梅州市留隍镇为研究区,以栅格单元为评价单元,使用城镇地形地貌、地质构造、气象水文、植被、土地利用以及人类活动等多源资料,基于不同的灾害危险性评价方法详细讨论了不同降雨工况条件下的城镇地质灾害危险性,评价结果与实际高度吻合,说明评价结果具有较高的可靠性与合理性。而李彧磊等(2023)、姬永涛等(2022)、严明等(2023)、许泰等(2021)分别以湖北省恩施州野三关镇、陕西省西安市蒋村街道、陕西省安康市岚皋县官元镇、甘肃省兰州市苦水镇为研究区,以斜坡单元为评价单元,分析了不同降雨工况条件下的斜坡危险性,通过实地核查,验证了评价结果的可靠性,与以往评价结果对比,显著提高了研究区地质灾害风险评价的精度,为地质灾害精准管控奠定了坚实基础。

2022 年 6 月,广东省遭遇近二十年来最强“龙舟水”,由于降雨时间超长、累计雨量大,龙川县四都镇崩塌、滑坡地质灾害多发、频发,点多、面广,

危害巨大,给人民群众的生产生活带来了严重影响(张学乐和杨礼聪, 2023; 伍红雨等, 2024)。因此,在龙川县四都镇开展系统详实且精细的崩滑灾害易发性和不同降雨量工况下的危险性调查研究是有效保护当地人民生命财产安全的迫切需要。当前,基于高精度基础数据的区域地质灾害风险评价为防灾减灾、国土空间规划和工程建设选址等提供重要的科学依据,已成为地质灾害防治领域研究的重要热点问题。但是,由于精度限制,小比例尺风险调查评价结果可能出现部分风险区偏大或风险区内存在地形平缓这种不易发灾害的情况,不能满足新形势下城镇地质灾害风险管控的需求。基于此,本研究以广东省东北部龙川县四都镇为研究区,以 25 m × 25 m 栅格单元为评价单元,利用遥感影像、地面调查、区域地质环境资料,建立崩滑灾害易发性评价指标体系,应用信息量法和危险性指数法,评估四都镇崩滑灾害易发性和不同降雨量工况下的崩滑灾害危险性,以期为区域地质灾害数据库、群测群防体系、灾害风险管理评价体系的建立提供理论依据,提升地质灾害风险防控水平。

1 研究区概况

四都镇位于广东河源市龙川县中西部(图 1),地处 115°10'57"~115°18'41"E、24°9'5"~24°16'14"N,总面积 77.68 km²。四都镇地势特征表现为北东

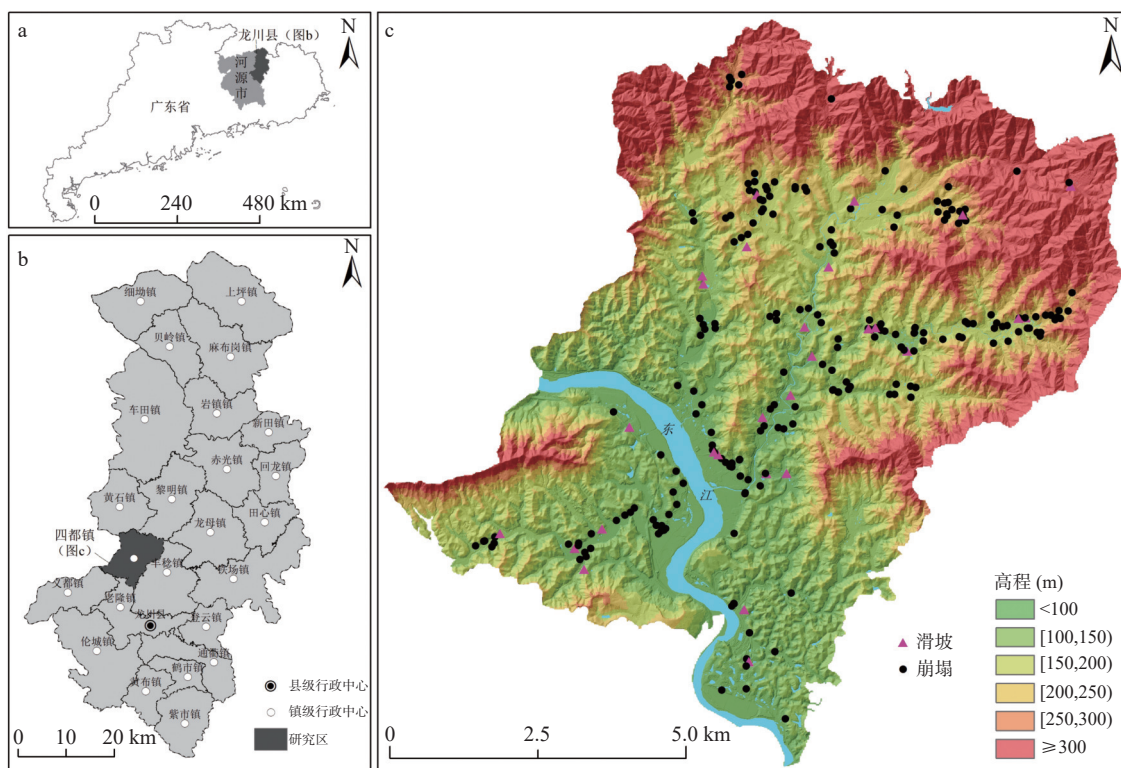


图 1 研究区位置 (a、b) 及崩滑灾害分布图 (c)

Fig. 1 Location of the study area (a, b) and distribution map of landslide disaster (c)

向偏高,而南西向渐低,地貌类型主要为中低山、低丘陵和河谷平原地貌;地表水系以东江水系为主;属亚热带季风气候区,具有光照充足,雨量充沛的特点,多年平均气温 $18\sim 21^{\circ}\text{C}$ 之间,平均降雨量为 1325.2 mm ,降雨主要集中在每年 3 月至 8 月,占全年雨量的 74.8%;四都镇出露地层由老到新有震旦系和泥盆系、三叠系及白垩系,岩浆岩广泛分布于西北部 and 东南部,四都镇褶皱构造及断层均较发育,发育有北东方向组的龙川正断层、梅树塘断层及东西方向组的上板桥断层,地下水主要为松散岩类孔隙水、基岩裂隙水,大气降水是区内地下水的主要补给来源(广东省地质矿产局, 1988; 张伟, 2017; 陈律, 2020; 张学乐, 2023)。通过遥感解译和现场调查验证,四都镇共有滑坡灾害点 28 处,崩塌灾害点 219 处,共计 247 处,且灾害规模全部为小型。

2 数据来源

四都镇地质灾害危险性评价基础数据主要包

括:地形、地质条件、植被覆盖指数、土地利用、地质灾害及社会发展等。其中,四都镇 2020 年遥感影像数据(空间分辨率为 0.2 m)、精度优于 5 m 的 DEM 来源于广东省自然资源厅,植被覆盖指数依据遥感影像计算得到,坡度、高差来自于 DEM 提取,地质灾害、斜坡结构等由精细化调查及勘查获得,承灾体房屋和人员信息通过收集第三次国土调查数据结合现场调查比对和行政村核实确定。

3 评价因子选择与分级

本文评价指标选取了坡度、高差、坡形、覆盖层厚度、岩土体类型、与构造距离、植被覆盖指数、土地利用类型等 8 种影响因子,将各因子进行分级(图 2)。

坡度对崩滑灾害的发生控制作用明显,将研究区斜坡坡度($^{\circ}$)划分为 $[0,20)$ 、 $[20,45)$ 、 $[45,60)$ 三类(图 2a)。四都镇地貌类型以低山丘陵为主,将研究区地形高差(m)划分为: <10 、 $[10,20)$ 、 $[20,30)$ 、 ≥ 30 四类(图 2b)。坡形对滑坡的发育

分布有较大影响(郭子正等, 2019), 将研究区斜坡坡形划分为凸形坡、凹形坡和直线形坡三类(图 2c)。

四都镇崩滑灾害主要形成在土质斜坡上, 将研究区覆盖层厚度(m)进行区块划分为 [0,1)、[1,3)、

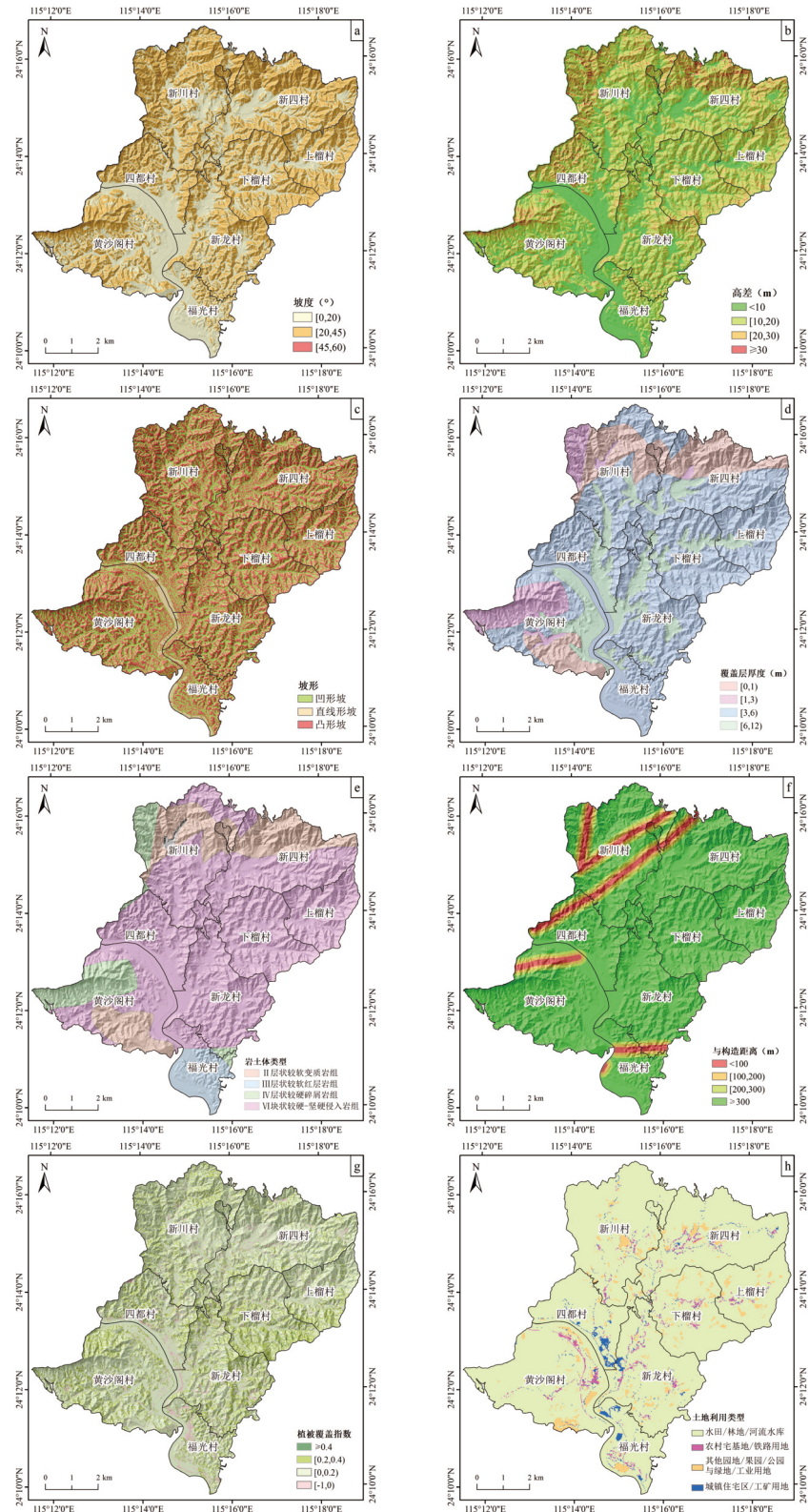


图 2 四都镇各崩滑灾害易发性评价因子和分级

Fig. 2 Evaluation factors and grading for the susceptibility to various collapse and landslide disasters in Sidu Town
a.坡度; b.高差; c.坡形; d.覆盖层厚度; e.岩土体类型; f.与构造距离; g.植被覆盖指数; h.土地利用类型

[3,6)、[6,12)四类(图2d)。工程地质岩组是地质灾害发育的物质基础,很大程度上决定了地质灾害发生的可能性,是控制斜坡稳定性的主要因素之一(祁生文等,2009),研究区的岩土体类型分为层状较软变质岩组(Ⅱ)、层状较软红层岩组(Ⅲ)、层状较硬碎屑岩组(Ⅳ)、块状较硬-坚硬侵入岩组(Ⅵ)四类(图2e)。四都镇构造发育,有北东向梅树塘断层、南北向龙川正断层、东西向上板桥断层,强烈的地质构造影响着地貌,致使岩石完整性较差,受风化剥蚀作用影响,更容易诱发地质灾害(王佳佳等,2014;张永双等,2024),将研究区与构造距离(m)划分为<100、[100,200)、[200,300)、≥300四类(图2f)。植被覆盖指数(NDVI)是影响四都镇崩滑灾害发育的影响因素之一,将研究区植被覆盖指数划分为[-1,0)、[0,0.2)、[0.2,0.4)和≥0.4四类(图2g)。土地利用类型是四都镇崩滑灾害的一个重要影响因素,研究区土地利用类型分为水田/林地/河流水库、农村宅基地/铁路用地、其他园地/果园/公园与绿地/工业用地、城镇住宅区/工矿用地四类(图2h)。

4 评价方法构建

4.1 崩滑灾害易发性评价模型

四都镇地质灾害类型主要为崩塌、滑坡,因此选取崩塌和滑坡地质灾害作为易发区划分的灾害种类。易发性评价采用信息量模型方法,利用地质灾害隐患点、风险点及已发地质灾害点(247处)作为样本进行建模,以25 m×25 m栅格单元开展评价工作,结合孕灾地质条件调查及地质灾害的发育分布规律、地质环境条件,综合选取影响地质灾害发生、发展的因素作为影响因子。

信息量模型反映了一定地质环境下最易致灾因素及其细分区间的组合(张学乐等,2023;张永双等,2024)。每个评价单元受众多因素的综合影响,各状态因素组合条件下崩滑灾害发生的总信息量用式(1)确定:

$$I = \sum_{i=1, j=1}^n \frac{N_{ij}/N}{S_{ij}/S} \quad (1)$$

式中: I 为对应特定单元崩滑灾害发生的总信息量,指示崩滑灾害发生的可能性,可作为崩滑灾害易发性指数; N_{ij} 为对应特定因素 X_i 、第 j 状态条件下的崩滑灾害面积或崩滑灾害点数; S_{ij} 为对应特定因素 X_i 、第 j 状态的分布面积; i 为特定因素编号; j 为同种特定因素状态的编号; N 为研究区崩滑灾害总面积或总崩滑灾害点数; S 为研究区总面积。

当 $I>0$ 时,反映了对应因素状态下崩滑灾害发生倾向的信息量较大,崩滑灾害发生的可能性较大,或者说利于崩滑灾害发生;当 $I<0$ 时,表明对应因素状态条件下,不利于崩滑灾害的发生;当 $I=0$ 时,表明因素状态不提供有关崩滑灾害发生与否的任何信息,即因素状态可以剔除掉,排除其作为崩滑灾害预测因子。

4.2 崩滑灾害危险性评价模型

在易发性评价的基础上,采用危险性指数法(祁生文等,2009;刘帅等,2024),如式(2):

$$H_i = Y_i / Y_{\max} \times P_i \quad (2)$$

$$Y_i = \sum_{j=1}^n F_j \times S_j \quad (3)$$

式中: H_i 为某种工况下第 i 个评价单元危险性指数(危险性概率); Y_i 为第 i 个评价单元易发性指数; $Y_{\max}$ 为最大易发性指数, $Y_{\max}=5$; P_i 为某种工况下第 i 个评价单元的给定时间段内的失稳概率; F_j 为第 i 个斜坡单元第 j 类指标权重; S_j 为第 i 个斜坡单元第 j 类指标赋值; n 为项数,取值1~9。

斜坡失稳概率 P_i 的计算方法如下:基于极值降雨假设的 P_i 确定方法。即基于评价区历史上有崩滑灾害发生的事实,假设有监测记录以来,24小时最大降雨量 $L_{\max/\text{day}}$ 为崩滑灾害发生的触发因素,降雨工况下失稳概率则可表达为 $P=L/L_{\max/\text{day}}$, L 对应24小时累计雨量100 mm和24小时累计雨量250 mm两种工况降雨量。

5 结果分析

5.1 易发性评价结果

应用ArcGIS将样本点与各因子相交进而算出

崩滑点在各因子类别所占得比例,最后采用信息量公式算出各因子的信息量值,结果如表 1 所示。

按各个因子的权重与其信息量叠加,采用自然间断法,得到四都镇栅格崩滑灾害易发性评价数值结果。基于相似性、相近性的原则进一步概化,将四都镇划分为中易发(B)、低易发(C)、非易发(D)三种等级,如图 3 所示。

崩滑灾害中易发区(B)有 7 个亚区,分别为连接四都镇新川村和新四村,下瑶到麻竹坑尾一带

(B1)、新四村,水口到上屋一带(B2)、新川村,上田乐到七木坵一带(B3)、上榴村、下榴村、新龙村、四都村委会沿着东江一带(B4)、黄沙村瓦屋前到龙谷庙一带(B5)、黄沙村沿东江西边一带(B6)、新龙村下墩到宋屋一带(B7),总面积 16.30 km²,占研究区总面积 20.98%。区内有已发崩滑灾害点、目前在册崩滑灾害隐患点、削坡建房风险点共 213 处,占总数的 86.23%,灾害点密度为 13.07 处/km²(表 2)。该区域属低丘陵地貌,花岗

表 1 四都镇各因子信息量计算表

Table 1 Calculation table of information quantity for each factor in Sidu town

评价因子	类别 (状态 <i>j</i>)	区间栅格 单元 <i>S_{ij}</i> (个)	区间地质 灾害 <i>N_{ij}</i> (个)	区间地灾 所占比例(<i>N_{ij}/N</i>)	区间栅格 所占比例(<i>S_{ij}/S</i>)	信息量(<i>I</i>)
坡度(°)	[0,20)	51 574	111	0.4494	0.422 5	0.061 7
	[20,45)	70 454	136	0.5506	0.577 2	-0.041 7
	[45,60)	36	0	0	0.000 3	0
	≥60	0	0	0	0	0
高差(m)	<10	35 728	13	0.052 6	0.284 6	-1.687 7
	[10,20)	62 920	25	0.101 2	0.501 2	-1.599 7
	[20,30)	25 553	41	0.166 0	0.203 5	-0.203 9
	≥30	1 340	168	0.680 2	0.010 7	4.154 5
坡形	凹形坡	61 578	49	0.198 4	0.496 3	-0.916 9
	直线形坡	1 860	162	0.655 9	0.015 0	3.778 6
	凸形坡	60 647	36	0.145 7	0.488 8	-1.210 0
覆盖层厚度(m)	[0,1)	18 999	5	0.020 2	0.153 1	-2.023 3
	[1,3)	9 963	18	0.072 9	0.080 3	-0.096 9
	[3,6)	76 465	144	0.583 0	0.616 2	-0.055 4
	[6,12)	18 665	80	0.323 9	0.150 4	0.767 0
岩土体类型	层状较软变质岩组(Ⅱ)	26 666	35	0.141 7	0.214 9	-0.416 4
	层状较软红层岩组(Ⅲ)	5 411	0	0	0.043 6	0
	层状较硬碎屑岩组(Ⅳ)	4 202	0	0	0.033 9	0
	块状较硬-坚硬侵入岩组(Ⅵ)	87 808	212	0.858 3	0.707 6	0.193 0
与构造距离(m)	<100	6 205	6	0.024 3	0.050 6	-0.734 0
	[100,200)	6 034	3	0.012 1	0.049 2	-1.399 2
	[200,300)	5 896	3	0.012 1	0.048 1	-1.376 1
	≥300	104 468	235	0.951 4	0.852 1	0.110 3
植被覆盖指数	[-1,0)	141	0	0	0.001 1	0
	[0,0.2)	26 315	45	0.182 2	0.212 1	-0.151 9
	[0.2,0.4)	91 488	174	0.704 5	0.737 3	-0.045 6
	≥0.4	6 136	28	0.113 4	0.049 5	0.829 6
土地利用类型	水田/林地/河流水库	98 228	124	0.502 0	0.791 8	-0.455 7
	农村宅基地/铁路用地	16 080	23	0.093 1	0.129 6	-0.330 8
	其他园地/果园/ 公园与绿地/工业用地	520	1	0.004 0	0.004 2	-0.034 8
	城镇住宅区/工矿用地	9 222	99	0.400 8	0.074 3	1.684 8

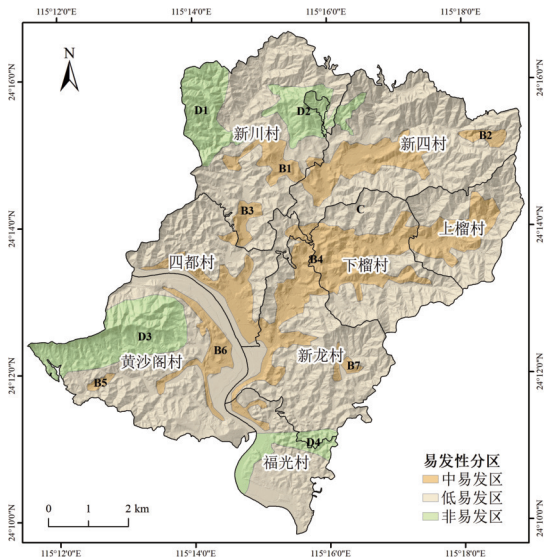


图 3 四都镇崩滑灾害易发性分区

Fig. 3 Landslide and collapse disaster susceptibility zoning of Sidu town

图中各分区具体见表 2

岩岩土体水理性能差, 变质岩岩体破碎, 断裂构造发育, 人类工程活动强烈, 现状地质灾害发育, 挖方边坡较多 5~20 m。诱发崩滑灾害主要因素为强降雨和开挖坡脚。

崩滑灾害低易发区(C)分布面积较广, 总面积 51.17 km², 占研究区总面积的 65.87%, 呈不规则状, 遍布全镇; 区内无已发崩滑灾害点和在册崩滑灾害隐患点; 削坡建房风险点共 33 处, 占总数的 13.36%, 面密度为 0.65 处/km²(表 2)。

崩滑灾害非易发区(D)有 4 个亚区, 分别为四都镇新川村鹿湖禅寺以西山区一带(D1)、新川村麻坑以南一带(D2)、黄沙村以西一带(D3)和福光村南部沿东江一带(D4), 主要分布在四都镇正北向、北西角、西南角、最南角, 总面积 10.21 km², 占研究区总面积 13.15%。区内仅有削坡建房风险点 1 处, 占总数的 0.40%, 灾害点密度为 0.10 处/km²(表 2)。该区域属高丘陵地貌, 岩体完整, 植被茂密, 人类工程活动强度弱, 区内未见村庄及聚集生活区, 无已发地质灾害点和削坡建房风险点。

5.2 危险性评价结果

在易发性评价的基础上, 采用危险性指数法, 分析 24 小时累计雨量 100 mm、24 小时累计雨量 250 mm 两种工况下地质灾害危险性评价数值结果图, 危险性性评价栅格转矢量, 基于相似性、相近性的原则进一步概化, 划分为极高危险、高危险、中危险、低危险 4 个等级, 最终确定四都镇崩滑灾害危险程度分区图。

(1)24 小时累计雨量 100 mm 降雨量工况

在 24 小时累计雨量 100 mm 工况下, 四都镇崩滑灾害危险性评价数值结果概化划分为中危险(Ⅲ)、低危险(Ⅳ)2 个等级, 如图 4 所示。

崩滑灾害中危险区(Ⅲ)有 3 个亚区, 分别为四都镇新川村珠麻坑一带(Ⅲ1)、新川、新四、下榴、上榴及四都、新龙村一带(Ⅲ2)、黄沙阁村沿

表 2 四都镇崩滑灾害易发性分区统计表

Table 2 Statistics table of landslide susceptibility zoning in Sidu town

分区	亚区	分区面积 (km ²)	灾点总数 (处)	灾害点密度 (处/km ²)
中易发区(B)	连接四都镇新川村和新四村, 下瑶到麻竹坑尾一带(B1)	3.57	51	14.29
	新四村, 水口到上屋一带(B2)	0.36	2	5.56
	新川村, 上田乐到七木坵一带(B3)	0.58	7	12.07
	上榴村、下榴村、新龙村、四都村委会沿着东江一带(B4)	10.03	123	12.26
	黄沙村瓦屋前到龙谷庙一带(B5)	0.14	7	49.99
	黄沙村沿东江西边一带(B6)	1.35	23	17.03
	新龙村下墩到宋屋一带(B7)	0.27	0	0
低易发区(C)	全镇除中易发区和非易发区以外	51.17	33	0.65
非易发区(D)	新川村鹿湖禅寺以西山区一带(D1)	2.44	0	0
	新川村麻坑以南一带(D2)	2.11	1	0.47
	黄沙村以西一带(D3)	4.21	0	0
	福光村南部沿东江一带(D4)	1.45	0	0

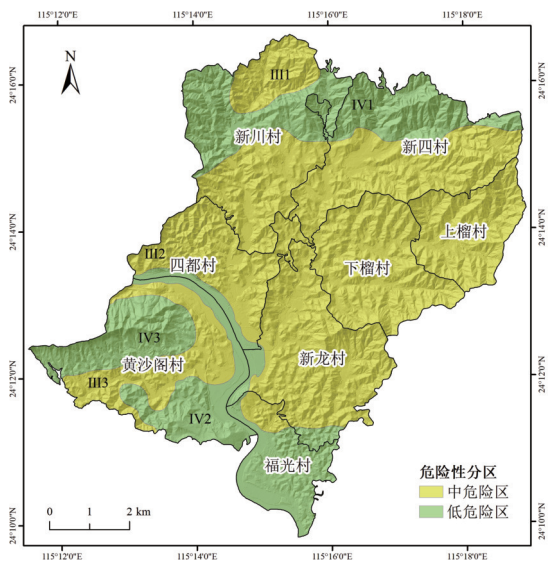


图 4 24 小时累计雨量 100 mm 降雨量工况四都镇危险性分区

Fig. 4 24-hour cumulative rainfall of 100 mm - risk area classification for Sidu Town
图中各分区具体见表 3

东江西边一带(Ⅲ3),总面积 52.71 km²,占研究区总面积 67.86%。区内有已发崩滑灾害点、目前在册崩滑灾害隐患点、削坡建房风险点共 238 处,占总数的 96.36%,灾害点密度为 4.52 处/km²(表 3)。该区域呈块状、条带状,人类工程活动较强烈,灾害规模为小型;诱发崩滑灾害主要因素为强降雨和开挖坡脚。

崩滑灾害低危险区(Ⅳ)有 3 个亚区,分别为四都镇正北部新川村鹿湖三至新四村大山里一带山地(Ⅳ1)、东江、黄沙阁村南部一带山地及福光村(Ⅳ2)、黄沙阁村北部山区(Ⅳ3),总面积 24.97 km²,

占研究区总面积 32.14%。区内有削坡建房风险点 9 处,占总数的 3.64%,灾害点密度为 0.36 处/km²(表 3)。该区域人类工程活动较弱,主要为水利工程建设及道路修建开挖边坡,村庄分布在空间上以随机、分散为主,但福光村以聚集为主,可见较多房屋及生活区,无已发地质灾害点,多为削坡建房风险点,且均为潜在崩塌风险,地质灾害危险程度较低。

(2)24 小时累计雨量 250 mm 降雨量工况

在 24 小时累计雨量 250 mm 工况下,四都镇崩滑灾害危险性评价数值结果概化划分为高危险(Ⅱ)和中危险(Ⅲ)2 个等级,如图 5 所示。

崩滑灾害高危险(Ⅱ)3 个亚区,分别为四都镇新川村珠麻坑一带(Ⅱ1)、新川、新四、下榴、上榴及四都、新龙村一带(Ⅱ2)、黄沙阁村沿东江西边一带(Ⅱ3),主要分布在四都镇正北部、中部、东江北东侧和西侧,总面积 52.44 km²,占研究区总面积 67.51%。区内有已发崩滑灾害点、目前在册崩滑灾害隐患点、削坡建房风险点共 230 处,占总数的 93.12%,灾害点密度为 4.39 处/km²(表 4)。该区域呈条带状,人类工程活动较强烈,交通网较发达,为密集生活区,灾害规模为小型;多为削坡建房风险点,诱发崩滑灾害主要因素为强降雨、风化和开挖坡脚。

崩滑灾害中危险(Ⅲ)有 2 个亚区,分别为四都镇新川村鹿湖三至新四村大山里一带山地(Ⅲ1)、东江、黄沙阁村北部及南部一带山地及福光村(Ⅲ2),主要分布在四都镇正北部、东江及附近

表 3 24 小时累计雨量 100 mm 降雨量工况下四都镇崩滑灾害危险性分区统计
Table 3 Regional statistics of landslide hazard in Sidu Town under the condition of 24-hour cumulative rainfall of 100 mm

分区	亚区	分区面积 (km ²)	灾点总数 (处)	灾害点密度 (处/km ²)
中危险区(Ⅲ)	新川村珠麻坑一带(Ⅲ1)	2.76	5	1.81
	新川、新四、下榴、上榴及四都、新龙村一带(Ⅲ2)	44.60	194	4.35
	黄沙阁村沿东江西边一带(Ⅲ3)	5.35	39	7.29
低危险区(Ⅳ)	正北部新川村鹿湖三至新四村大山里一带山地(Ⅳ1)	10	1	0.10
	东江、黄沙阁村南部一带山地及福光村(Ⅳ2)	10	8	0.80
	黄沙阁村北部山区(Ⅳ3)	4.97	0	0

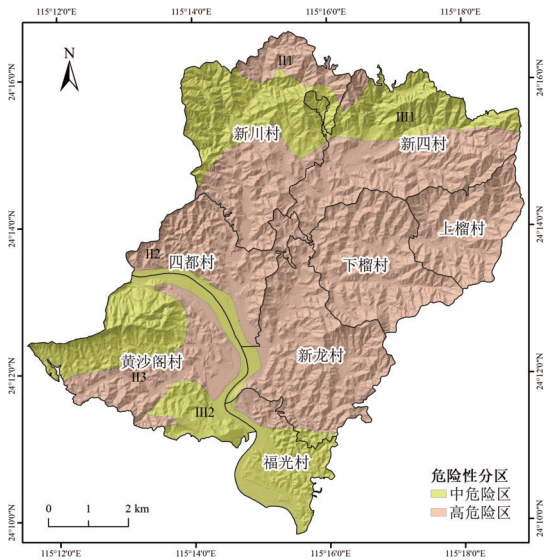


图 5 24 小时累计雨量 250 mm 降雨量工况下
四都镇危险性分区

Fig. 5 24-hour cumulative rainfall of 250 mm - risk area
classification for Sidu Town
图中各分区具体见 表 4

山区, 总面积 25.24 km², 占研究区总面积 32.49%。区内有削坡建房风险点 17 处, 占总数的 6.88%, 灾害点密度为 0.67 处/km²(表 4)。该区域人类工程活动较弱, 主要为道路修建开挖边坡, 零星见村庄及聚集生活区, 无已发地质灾害点, 多为削坡建房风险点, 且均为潜在崩塌风险。

(3)不同降雨工况结果对比分析

如表 5 所示, 在降雨的影响下, 随着累计降雨量的增加, 危险性分区也随之变化, 在 24 小时累计雨量 100 mm 工况下, 研究区主要为中危险区和低危险区, 但在 24 小时累计雨量 250 mm 工况下, 研究区主要为高危险区和中危险区, 无低危险区, 可见降雨对研究区崩塌、滑坡的诱发作用非常明显, 研究区分布有大量土质滑坡, 滑坡表层土体的渗透性较强, 遇长期降雨, 水体大量入渗。土体及下部软岩易被软化, 强度大大降低, 从而降低斜坡稳定性, 进而发生崩塌、滑坡。

表 4 24 小时累计雨量 250 mm 降雨量工况下四都镇崩滑灾害危险性分区统计
Table 4 Regional statistics of landslide hazard in Sidu Town under the condition of
24-hour cumulative rainfall of 250 mm

分区	亚区	分区面积(km ²)	灾点总数(处)	灾害点密度(处/km ²)
高危险区(Ⅱ)	新川村珠麻坑一带(Ⅱ1)	2.54	6	2.36
	新川、新四、下榴、上榴及四都、新龙村一带(Ⅱ2)	44.37	186	4.19
	黄沙阁村沿东江西边一带(Ⅱ3)	5.53	38	6.87
中危险区(Ⅲ1)	新川村鹿湖三至新四村大山里一带山地(Ⅲ1)	11.32	6	0.53
	东江、黄沙阁村北部及南部一带山地及福光村(Ⅲ2)	13.92	11	0.79

表 5 不同降雨工况条件下的地质灾害危险性区划结果对比
Table 5 Comparison of geological hazard zoning results under different rainfall conditions

工况	分区	面积(km ²)	灾害点总数(处)
24小时累计雨量100 mm	中危险区	52.71	238
	低危险区	24.97	9
24小时累计雨量250 mm	高危险区	52.44	230
	中危险区	25.24	17

6 结论

本文以广东省东北部龙川县四都镇为研究

区, 基于信息量法和危险性指数法, 分析评估四都镇崩滑灾害的易发性和不同降雨量工况条件下的崩滑灾害危险性, 所得主要结论如下:

(1)四都镇崩滑灾害易发性分为中易发区、低

易发区和非易发区。其中,中易发区面积 16.30 km², 占比 20.98%;低易发区面积 51.17 km², 占比 65.87%;非易发区面积 10.21 km², 占比 13.15%。大多崩滑灾害点位于中易发单元上。

(2)四都镇 24 小时累计雨量 100 mm 降雨量工况下崩滑灾害危险性分为中危险区和低危险区。其中,中危险区面积 52.71 km², 占比 67.86%;低危险区面积 24.97 km², 占比 32.14%。四都镇 24 小时累计雨量 250 mm 降雨量工况下崩滑灾害危险性分为高危险区和中危险区。其中,高危险区面积 52.44 km², 占比 67.51%;中危险区面积 25.24 km², 占比 32.49%。大多崩滑灾害点位于高、中危险单元上,多为削坡建房风险点,诱发崩滑灾害主要因素为强降雨和开挖坡脚。

(3)本研究评价体系对于四都镇地质灾害易发性评价较适用,根据评价结果实地验证证明评价结果较合理,为进一步提出该区域内的地质灾害防治对策奠定了基础。

参考文献:

- 陈律.2020.遥感技术广东龙川县地质灾害调查的应用[J].甘肃科技,36(20):65-67.
- 冯卫,唐亚明,马红利,徐永.2021.一种基于斜坡单元的山区城镇地质灾害高危险坡段识别方法[J].灾害学,36(1):64-68.
- 广东省地质矿产局.1988.广东省区域地质志[M].北京:地质出版社.
- 郭子正,殷坤龙,黄发明,付圣,张文.2019.基于滑坡分类和加权频率比模型的滑坡易发性评价[J].岩石力学与工程学报,38(2):287-300.
- 姬永涛,王鲜,郝业,王鑫,韩秀清,乔丁丁.2022.基于斜坡单元的陕西省城镇地质灾害风险调查评价——以西安市蒋村街道为例[J].灾害学,37(4):211-219.
- 李彧磊,熊启华,龙婧,王芮琼,陈标典,曾嘉.2023.基于斜坡单元鄂西山区典型集镇地质灾害风险评价[J].科学技术与工程,23(6):2326-2338.
- 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.
- 祁生文,许强,刘春玲,张兵,梁宁,童立强.2009.汶川地震极重灾区地质背景及次生斜坡灾害空间发育规律[J].工程地质学报,17(1):39-49.
- 王灿星,朱杰勇,喻聪骏,刘家恺,祝传兵.2024.基于皮尔逊Ⅲ型曲线的不同降雨工况下的崩滑地质灾害危险性评价[J/OL].地质科技通报. <https://doi.org/10.19509/j.cnki.dzkg.tb20230472>.
- 王佳佳,殷坤龙,肖莉莉.2014.基于GIS和信息量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,33(4):797-808.
- 王天河,赖桂林,李坤,崔金凤,钟天辅.2024.月度防控视角下韩江下游城镇地质灾害危险性评价[J].人民长江,55(7):98-107+137.
- 伍红雨,吴遥,郑璟.2024.2022年华南极端“龙舟水”与大气环流及海温异常的关系[J].大气科学学报,47(3):450-459.
- 许泰,鄂崇毅,蒋兴波,朱秀兰,李彦举,张卓,张兆康,曾泳昕.2021.永登县苦水镇潜在地质灾害时空分布特征及易发性与危险性分区评价[J].科学技术与工程,21(33):14081-14092.
- 严明,谢婉丽,何亚南,刘琦琦,何高锐,杨惠.2023.基于极值降雨假设法的城镇地质灾害风险性评价耦合模型研究——以安康市岚皋县官元镇为例[J].灾害学,38(4):219-227.
- 张伟.2017.浅析广东省崩滑流地质灾害与地层岩性关系[J].西部资源,(4):104-105.
- 张学乐,杨礼聪.2023.龙川县地质灾害风险调查及成因影响分析研究[J].云南水力发电,39(8):331-335.
- 张永双,王冬兵,李雪,吴瑞安,唐渊,任三绍,李金秋,罗亮.2024.青藏高原构造混杂岩带的孕灾地质基因与重大工程地质问题研究[J].地质学报,98(3):992-1005.
- 周超,常鸣,徐璐,车宏晓.2020.贵州省典型城镇矿山地质灾害风险评价[J].武汉大学学报(信息科学版),45(11):1782-1791.