

重点（典型）地段地质灾害易发分区评价

——以江西省石城县为例

刘国成^{1,2} 谢昊翔^{1,2} 张 晟³

1. 赣州市地质灾害防治重点实验室 赣州 341000

2. 江西省地质局第七地质大队 赣州 341000

3. 离子型稀土资源与环境重点实验室（江西应用技术职业学院）赣州 341000

摘要：为提高地方地质灾害防治管理水平和应急能力，需要对地质灾害发育现状与分布规律进行调查评价，本文通过对石城县区域地质灾害重点调查区收集地灾数据资料，并进行现场调查，提取出评价因子，采用arcgis划分栅格，按照易发指数公式进行叠加计算，根据计算出各栅格的易发性指数进行易发性分区，用于指导地方政府进行野外核查和地灾防治。

关键词：重点区域；地质灾害；评价因子；易发分区

受极端性、灾害性气象等自然条件的影响，加之人类在工程建设活动和各种资源开发活动中不断扩张，给我国地质环境带来了巨大破坏，造成了严重后果，同时地质灾害发生的频率也在不断上升^[1]。石城县位于江西省南部山地丘陵区和多雨区，受地形地貌及地质条件影响，该地区地质灾害及隐患点分布广泛，全县地质灾害及隐患点1891处，在石城县所有乡镇均有分布。为提高地方地质灾害防治管理水平和应急能力，通过对以往资料的收集、整理与分析，研究地质灾害发育现状与分布规律，研究孕灾条件与地质灾害分布的关系。利用统计法对区内已发生的地质灾害特征、孕灾地质条件与成灾模式进行深入分析，确定地质灾害易发区和发生地质灾害的原因，用以指导区域性地灾防治具有现实意义。地质灾害易发性评价是对地质灾害进行区域预测较为有效的手段^[2-8]，主要目的是通过对评价单元内各易发性因子数据处理和计算分析来找出最易发生地质灾害的区域范围。本次研究选择斜坡单元作为易发性评价单元来研究。

一、基本评价理论

采用arcgis软件对重点调查区进行栅格单元划分，采用评价因子作为指标进行叠加，计算出各栅格的易发性指数，根据易发性指数然后对栅格进行区域划分得出易发分区。

1. 评价计算单元

根据《地质灾害风险调查评价编图技术要求》（试行），重点区崩滑流易发性评价计算单元可先采用栅格单元进行计算，后采用斜坡单元进行统计并划分易发分区。

用于生成斜坡单元的数字高程模型（DEM）栅格精度不宜低于10m×10m，斜坡单元面积宜为0.005～0.15km²；岩溶塌陷易发性评价采用可溶岩地层单元；采空塌陷易发性评价采用采动变形区为单元。

2. 崩滑流易发性评价与区划

地质灾害易发性采用综合指数法进行评价。评价指标采用斜坡单元高差、地形坡度、岩组类型、土层厚度、斜坡结构类型、已发灾点与斜坡单元面积比等6项评价因子指标。

3. 栅格单元易发性指数计算

利用Arcgis栅格计算器，进行叠加分析，得出易发性综合指数值，计算公式：

$$Z = \sum N_i \cdot K_i \quad (1)$$

式中：Z为评价单元内地质灾害易发性指数；

N_i 为评价单元内的各评价因子的特征值；

K_i 为评价因子的贡献值（权重）。

4. 斜坡单元易发性指数计算

计算得到栅格单元易发性指数后，采用空间连接或分区统计工具，用斜坡单元统计各单元内易发性指数的常见值（特征值），得到最终的斜坡单元易发性指数结果。

5. 崩滑流易发性区划

根据崩滑流地质灾害易发性指数值划分崩滑流地质灾害易发单元： $Z \geq 3$ 时，为地质灾害极高易发单元； $3 > Z \geq 2.3$ ，为地质灾害高易发单元； $2.3 > Z \geq 1.5$ ，为地质灾害中易发单元； $Z < 1.65$ ，为地质灾害低易发单元。其中平原区、大面积水体直接视为非易发单元。

二、评价方法和技术路线

按有关规范和技术要求，采用点、线、面相结合的方式，以县行政区划为单元进行部署，以1/1万或精

作者简介：刘国成（1985.09—），男，高级工程师，主要从事岩土工程、地质灾害防治方面的应用研究。

度更高比例尺地形图开展野外调查工作，在收集资料的基础上，采用遥感解译、地面调查相结合的调查技术路线，按照统一格式要求建立相应的信息系统。

主要技术路线为：资料收集—设计编写、遥感解译—野外地面调查—综合研究—信息系统建设—提交成果。

1. 资料收集

充分搜集、研究和利用已实施的1/5万地质灾害调查成果，以及已有的地质、水文地质、工程地质、环境地质、水文气象、岩土工程勘察、地质灾害现状与防治资料、各级政府和有关部门制定的地质灾害防治法规规划和群测群防体系等减灾防灾等与地质灾害相关资料，并搜集调查区城镇、居民点、交通、移民搬迁点等重要工程设施和经济社会分布情况。

2. 遥感解译

在收集资料的基础上，分析调查区地质灾害发育分布状况、形成条件与诱发因素，划分地质灾害重点调查区和一般调查区，在资料收集的同时，以遥感解译工作为先导，分析地质灾害类型、边界条件、变形特征、影响范围等，圈定地表变形区、地质灾害隐患和承灾体情

况，对识别出的地质灾害隐患和承灾体进行野外核查。

3. 地面调查

对已实施的1/5万地质灾害调查项目成果中的地质灾害及隐患点部署核查工作，补充相应核查工作量，核查其规模、结构特征、孕灾地质条件、影响范围等，并复核其稳定性、复活性和危险性；调查新增地质灾害隐患点；调查承灾体情况；以主要孕灾地质条件和承灾体情况为依据，选取地质灾害威胁严重的集镇、迁建区、集中安置点等人口聚集区为重点调查区，部署重点区调查工作，重点调查地质灾害的孕灾地质条件和承灾体，评价其易发性。

4. 综合研究、合理分区

综合分析多元信息，总结石城县地质灾害特征和分布规律，总结石城县孕灾地质条件及成灾模式；根据地质灾害及隐患点孕灾条件进行易发性评价，从而进行石城县地质灾害的易发性分区。

三、评价因子分析

在收集资料及现场调查的基础上对评价因子进行梳理总结。

1. 信息提取

表3-1 崩滑流各因素定量数据采集方法表

Table 3-1 Quantitative data acquisition methods for each factor of sliding flow

指标	数据来源	获取方法
地形坡度	数字高程模型 (DEM)	1.原则上要采用各斜坡单元实测值； 2.当缺少数据时，根据数字高程模型 (DEM)，利用 Arcgis 表面分析之坡度功能，生成坡度栅格数据。
斜坡结构	野外调查数据、区域地层面文件及产状数据点文件、地质构造线、数字高程模型 (DEM)	1.原则上要采用各斜坡单元主坡向实测值，按斜坡单元赋值并转为栅格数据； 2.当缺少数据时，可参照前述区域崩滑流易发性评价有关方法近似取得斜坡结构栅格数据，注意块状结构斜坡单元的预识别。
斜坡单元高差	数字高程模型 (DEM)、斜坡单元面文件	1.将数字高程模型 (DEM) 转换为高程点要素； 2.采用空间连接功能与斜坡单元叠加分析取最大值，生成最大高程值斜坡单元面文件，进行几何修复后转为栅格数据； 3.上述同样方法取最小值，生成最肖高程值斜坡单元面文件，进行几何修复后转为栅格数据； 4.将最大高程与最小高程叠加相减，得到斜坡单元高差栅格数据。
工程地质岩组	工程地质条件图	根据工程地质特征分类制作面文件，进行几何修复后转为栅格图层。
土层厚度 ¹	野外调查	1.原则上要采用各斜坡单元实测值，按斜坡单元赋值并转为栅格数据； 2.当缺少数据时，可根据相邻调查点数据进行补充，或运用 Arcgis 插值分析中的反距离权重法 ³ 取得区域土层厚度栅格数据。
已发灾点与斜坡单元面积比 ²	地质灾害 (隐患) 点空间数据	1.利用 arcgis 空间连接 (或分区统计) 功能统计每个斜坡单元影响范围内的地质灾害面积总和与斜坡单元面积的比值。 2.将包含面积比的斜坡单元面要素转为栅格数据
说明		1.土层厚度指残坡积和全风化层总厚度，不计算冲洪积等平原区覆盖层厚度； 2.当已发灾点与斜坡单元面积比小于0.01%时，应检查斜坡单元划分面积是否过大。 3.采用反距离权重法进行土层厚度插值分析时，搜索半径建议选择变量方式，搜索点数采用默认值 ¹² 。 4.评价前可将平原区、大面积水体预先剔除，不参与崩滑流易发性评价。 5.各评价步骤未作出特殊说明的，在使用 Arcgis 相关功能时均采用默认值；输出栅格或面要素转栅格时，像元大小设置为10。

各因素定量数据采集方法见表3-1。

2. 各评价因子提取及赋值

根据专家打分，得出各评价因子权重并计算得到单元因子易发性指数数值（表3-2）。

四、地质灾害易发性评价分析

1. 评价因子制作

首先利用数字高程模型（DEM）进行斜坡单元计算，共划分斜坡单元346个，其中平原区9个，斜坡337个，斜坡单元总面积6.4km²。斜坡单元面积0.001-0.08km²，平均面积0.017km²，斜坡单元大小符合相关要求。

根据评价方法中各评价因子的获取方法，分别对地形坡度（图4-1）、斜坡单元高差、岩组类型、土层厚度、斜坡结构类型、已发灾点与斜坡单元面积比等6项指标进行栅格数据获取，并根据分级进行重分类赋值。

2. 易发指数计算

利用Arcgis栅格计算器，将评价因子按权重进行叠加计算，得出易发性综合指数值（图4-2）和易发分区图（图4-3），根据崩滑流地质灾害易发性指数值划分崩滑流地质灾害易发单元： $Z \geq 3$ 时，为地质灾害极高易发单元； $3 > Z \geq 2.3$ ，为地质灾害高易发单元； $2.3 > Z \geq 1.5$ ，为地质灾害中易发单元； $Z < 1.65$ ，为地质灾害低易发单元。其中平原区、大面积水体直接视为非易发单元。

五、结论与建议

崩滑流易发性指数评价结果在一定程度上较离散，为了更好地反映地质灾害易发性在区域上的一致性，根据各级易发性栅格分布密度、地形地貌、工程地质岩组等因素进行归并，划分出地质灾害高、中、低、非四级易发分区。在区划归并过程中，对应易发分区等级的易发

表3-2 崩滑流评价因子分级特征值及权重

Table 3-2 Characteristic values and weights of evaluation factors for sliding flow

因子	分级	特征值	权重
地形坡度 ρ	0-15	1	0.2
	15-25	2	
	25-35	4	
	35-45	3	
	≥ 45	2	
斜坡结构	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	坚硬的块状侵入岩岩组（Y1）	4	0.25
	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、坚硬的薄-厚层状板岩、变碎屑岩、千枚岩岩组（B3）	4	
	较坚硬、坚硬的中厚-厚层状砂岩、砂砾岩、页岩岩组（S2）	2	
	软弱的、较坚硬的薄-厚层状红层砂岩、砂砾岩、泥岩岩组（S4）	3	
	第四系残坡积层、冰碛层（N1）	2	
第四系冲洪积层（N2）	1		
土层厚度/m	<1	1	0.10
	1-3	3	
	3-5	4	
	5-10	3	
	≥ 10	2	
斜坡高差	<50	1	0.15
	50-100	2	
	100-300	3	
	> 300	4	
已发灾点与斜坡 单元面积比 (%)	0.01%-0.1%	1	0.2
	0.1%-1%	2	
	1%-10%	3	
	$\geq 10\%$	4	

备注：当已发灾点与斜坡单元面积比小于0.01%时，应检查斜坡单元划分面积是否过大。

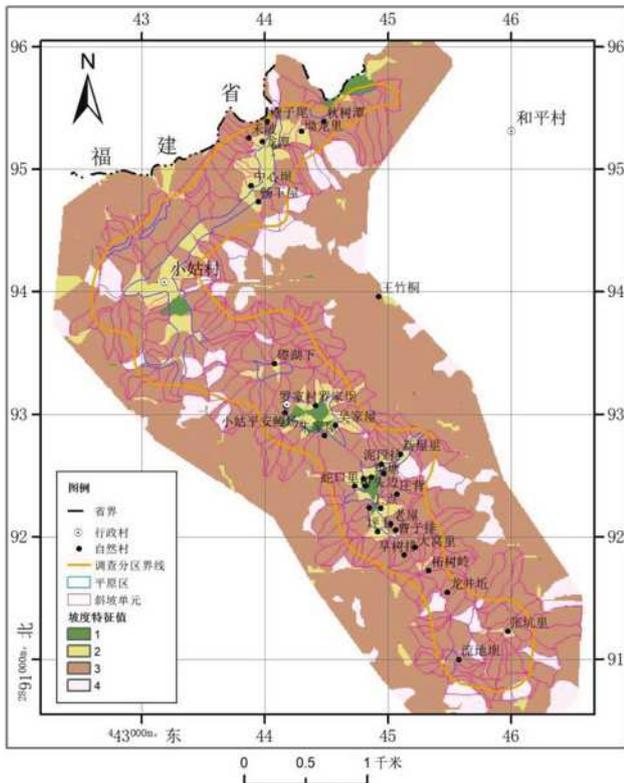


图4-1 地形坡度栅格示意图

Figure 4-1 Terrain gradient grid diagram

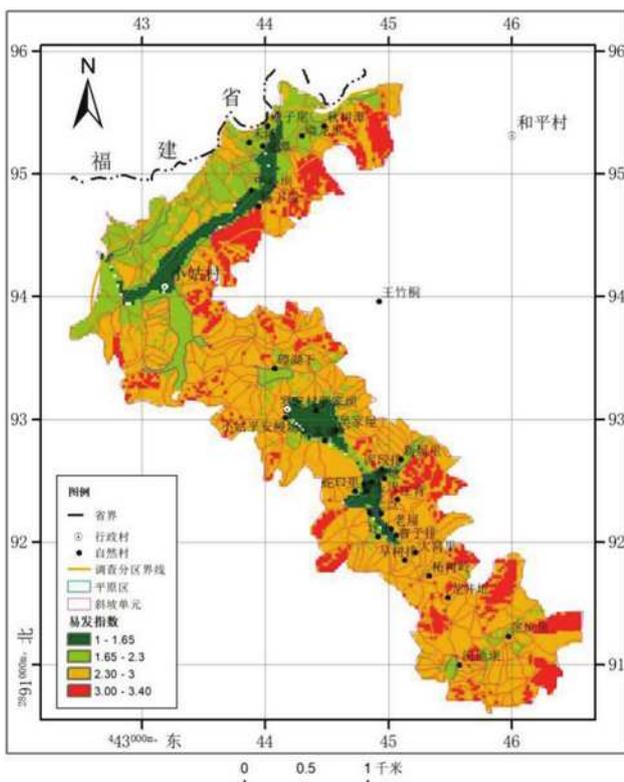


图4-2 易发分区计算栅格示意图

Figure 4-2 Grid diagram for calculating easy partition
单元数量应超过分区内总单元数的70%。根据以上方法，将调查区内易发分区分为高、中、低、非四级4个等级，

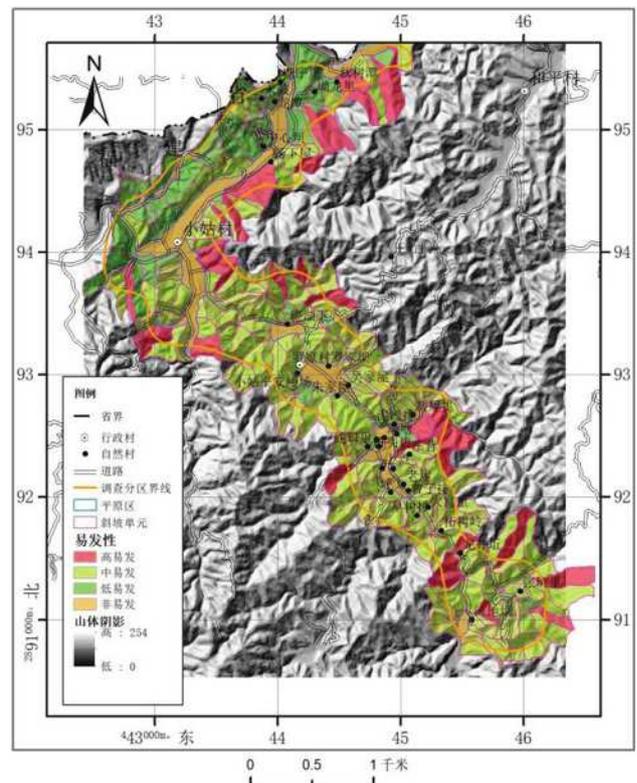


图4-3 重点调查区易发分区图

Figure 4-3 Distribution map of key investigation areas
其中高易发斜坡单元38个，中易发斜坡单元241个，低易发斜坡单元58个，不易发平原区9个（图4-8）。

参考文献:

- [1]刘传正, 沈伟志, 黄帅.中国地质灾害预防应对战略思考[J].灾害学, 2022, 37 (3): 1-4, 11.
- [2]张倬元, 王士天, 王兰生.工程地质分析原理[M].2版.北京:地质出版社, 1994.
- [3]李滨, 殷跃平, 高杨, 等.西南岩溶山区大型崩塌灾害研究的关键问题[J].水文地质工程地质, 2020, 47 (4): 5-13.
- [4]YIN Yueping, WANG Fawu, SUN Ping. Landslide hazards triggered by the 2008 Wenchuan earthquake, Sichuan, China[J]. Landslides, 2009, 6 (2): 139-152.
- [5]刘乐, 杨智, 孙健, 等.安徽黄山市徽州地区地质灾害危险性评价研究[J].中国地质灾害与防治学报, 2021, 32 (2): 110-116.
- [6]周粤, 王运生, 赵逊, 等.怒江支流迪麻洛河流域泥石流易发性评价[J].地质通报, 2022, 41 (4): 702-712.
- [7]殷跃平, 李滨, 张田田, 等.印度查莫利“2·7”冰岩山崩堵江溃决洪水灾害链研究[J].中国地质灾害与防治学报, 2021, 32 (3): 1-8.
- [8]许冲.汶川地震滑坡分布规律与危险性评价[J].岩石力学与工程学报, 2012, 31 (2): 432.