

刘彦花, 叶国华. 基于粗糙集与 GIS 的滑坡地质灾害风险评估——以广西梧州为例[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 108–114.
[Liu Yanhua and Ye Guohuo. Risk assessment of landslides geological disasters based on rough set and GIS—Taking Guangxi Wuzhou as an example[J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(2): 108–114.]

基于粗糙集与 GIS 的滑坡地质灾害风险评估

——以广西梧州为例*

刘彦花, 叶国华

(广西师范学院 国土资源与测绘学院, 广西 南宁 530001)

摘要: 针对梧州市地质环境条件、地质灾害发育情况, 选取地貌类型、坡度、河水侧蚀、地层岩性、残坡积层厚度、断裂发育情况、年降雨量、道路工程活动和建筑工程活动 9 个因子作为滑坡地质灾害危险性评估指标; 选取人口密度、土地资源、交通设施、房屋及其附属价值和抗灾能力 5 个因子作为承灾体易损性评估指标, 通过地理信息系统空间分析技术和粗糙集理论, 划分研究区评估单元, 构建滑坡地质灾害危险性与承灾体易损性评估知识表达系统和决策表, 实现决策表的优化和各指标权重的计算。给合地质灾害风险评估模型, 将研究区滑坡地质灾害危险性分为极高风险、高风险、中风险和低风险区, 其中, 极高风险区约占研究区总面积的 6.44%, 主要沿傍山而建的城镇和切坡坡度、坡高较大的交通干线分布。研究结果表明, 粗糙集与 GIS 的组合方法能合理可靠地评估滑坡地质灾害风险性, 对类似地区的滑坡地质灾害风险评估具有借鉴意义。

关键词: 粗糙集; 地理信息系统; 滑坡地质灾害; 危险性评估; 易损性评估; 风险评估

中图分类号: P694; P208; X4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2015)02-0108-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2015.02.021

地质灾害系统是一个非线性的、动态发展的、开放的灾害系统, 不仅具有多层次结构、多种控制参量、多重时间标度和多样的作用过程, 同时也具有不确定性和社会经济性等特征的复杂系统^[1]。因此, 要科学地预测并评估地质灾害风险, 不仅需要在已有理论上结合专家经验分析开展定性评估, 还需要建立适当的数学模型开展定量或半定量评估。一般地, 风险评估是对特定影响因子造成暴露于该因子的单体或区域地质灾害发生的机率及对人类社会产生危害的程度、时间或性质进行定量描述的系统过程。风险评估不仅可以界定风险、还可以对风险进行排序, 进而为降低风险提供一套系统的、科学的方法^[2]。

从数学与定量分析的观点, 地质灾害风险评估是对一个复杂系统的定量化分析过程, 需要寻求一种灾害风险与控制、影响灾害发生的基本因素和影响因素之间的映射关系^[3]。目前常用的地质灾害风险评估方法有信息量法、层次分析法、模糊综合评判法、灰色模型法、神经网络等^[4],

这些方法都有其自身的适应性和局限性, 实际操作中, 往往采用多种方法的组合, 如层次分析模糊评判法、信息模糊评判法、基于 GIS 的人工神经网络法、基于 GIS 的信息量叠加法等。在空间数据挖掘方法的扩展集合论中, 粗糙集理论反映了人们以不完备信息或知识去处理一些不可分辨现象的能力, 它在反映客观世界不精确性及不确定性的同时, 可以不依赖专家知识挖掘数据中隐含的模式, 使评估因子权重确定具有很好的客观性, 它还可以通过对数据约简发现最小数据集, 评估数据的价值, 并对结果提供简明易懂的解释^[5]。在地质灾害风险评估研究中, 灾害的发生及与灾害研究相关的信息都具有明显的不确定性和空间特征, 基于地质灾害的这一特点与粗糙集理论和 GIS 技术空间分析功能的优势, 本文运用粗糙集与 GIS 组合的方法开展梧州市滑坡地质灾害风险评估, 期望反映研究区滑坡地质灾害总体风险水平与地区差异, 为指导国土资源开发、保护环境、规划与实施地质灾害防治工程提供科学依据。

* 收稿日期: 2014-05-04

修回日期: 2014-06-10

基金项目: 广西自然科学基金项目(2013GXNSFAA019287); 国家自然科学基金(41461116)

作者简介: 刘彦花(1972-), 女, 湖南衡阳人, 博士, 副教授, 从事地理信息系统应用与区域可持续发展研究。

E-mail: lyh_lucy@sina.com.

1 粗糙集及其算法基本原理

粗糙集(Rough Sets), 又称粗集, 是波兰数学家 Z. Pawlak 于 1982 年提出的一种数据分析理论^[6]。粗糙集为处理不确定性问题或模糊信息系统提供了一种新型数学工具, 其核心就是在保持分类能力不变的原则下, 进行知识约简, 从而导出问题的决策或分类规则^[7]。

在粗糙集理论中, 关于 U 的一个知识库可以认为是一个关系系统, 其中 U 为论域, R 是 U 上的一簇等价关系。决策表是一类特殊的知识表达系统, 表示当满足某些条件时决策应当如何进行。决策表是一张二维表格, 每一列描述对象的一种属性, 每一行描述一个对象。属性包括条件属性与决策属性, 论域中的对象根据其条件属性的不同, 被划分到不同决策属性的决策类^[8]。

1.1 知识库与不可区分关系

设 $U \neq \Phi$, 是我们感兴趣的对象组成的有限集合, 称作论域或对象空间。设任何子集 $X \subseteq U$, 称作 U 的一个概念或范畴。设 R 是 U 上的其中一个等价关系, U/R 表示 R 所有等价类构成的集合, $[x]_R$ 表示包含元素 $x \in U$ 的 R 等价类, 则一个知识库即可看作一个关系系统 $K = (U, R)$ 。如果 $P \subseteq R$, 且 $P \neq \Phi$, 则 P 中所有等价关系的交集 $\cap P$, 称作 P 上的不可区分关系, 记为 $ind(P)$, 且有

$$[x]_{ind(P)} = \bigcap_{R \in P} [x]_R \quad (1)$$

1.2 粗糙集与近似集

令 $X \subseteq U$, R 为 U 上的一个等价关系, 当 X 能表示成某些 R 基本范畴的并时, 则 X 是 R 可定义的, 称作 R 精确集; 否则 X 是 R 不可定义的, 称作 R 粗糙集。

给定知识库 $K = (U, R)$, 对于每个子集 $X \subseteq U$ 及一个等价关系 $R \in ind(K)$, X 的 R 下近似 \underline{RX} 和 R 上近似 \overline{RX} 定义为:

$$\underline{RX} = \{x \in U \mid [x]_R \subseteq X\}; \quad (2)$$

$$\overline{RX} = \{x \in U \mid [x]_R \cap X \neq \Phi\}。 \quad (3)$$

R 下近似集 \underline{RX} 也称作 X 的 R 正域, 记为 $pos_R(X)$, 是由那些根据知识 R 判断肯定属于 X 的 U 中元素的集合; \overline{RX} 是那些根据知识 R 判断可能属于 X 的 U 中元素的集合。

1.3 知识约简与属性依赖

知识约简定义为在保持知识库的分类能力不发生改变的的前提下, 删除知识库中次要的或不相关的知识。

令 R 为一等价关系, $R \in R$, 如果

$$ind(R) = ind(R - \{r\}), \quad (4)$$

则称 r 为 R 中不必要的, 即可省略的; 否则称 r 为 R 中必要的。如果每一个 $r \in R$ 都是 R 中必要的元素, 则认为 R 独立的; 否则 R 为依赖的。

设 $Q \subseteq P$, 假设 Q 是独立的, 且 $ind(Q) = ind(P)$, 则 Q 可认为是 P 的一个约简。有时候知识的依赖性可能是部分的, 说明知识 Q 仅有部分是由知识 P 导出的。当

$$k = \gamma_P(Q) = |pos_P(Q)| / |U|, \quad (5)$$

则称知识 Q 是 $k(0 \leq k \leq 1)$ 度依赖于知识 P 。

1.4 知识表达系统与决策表

设 $S = (U, A, V, f)$ 为一个信息系统, 或称为知识表达系统。其中, U 为对象的非空有限集合, 称作论域; A 为属性的非空有限集合; $V = \bigcup V_a$, 其中 $a \in A$, V_a 是属性 a 的值域; $f: U \times A \rightarrow V$ 是一个信息函数, 为每个对象的每个属性赋予一个信息值。

一般地, 用 $S = (U, A)$ 来代替 $S = (U, A, V, f)$ 。

对于知识表达系统 $S = (U, A, V, f)$, 若 A 中的属性又可分为两个不相交的子集, 即条件属性集 C 和决策属性集 D , 且满足: $A = C \cup D$, $C \cap D = \emptyset$, 则该知识表达系统称为决策表。当决策表中 A 中的决策属性 D 的所有属性值唯一地由条件属性 C 中的属性值决定, 则称 D 完全依赖于 C ; 若 D 中仅有一些值由 C 中的属性值决定, 则称 D 部分依赖于 C 。

在决策表中, 不同的属性可能具有不同的重要性, 为了找出各种属性的重要性, 方法是从表中去掉某一属性, 然后考察没有该属性后的分类情况。假如去掉某属性后, 决策表的等价分类变化较大, 说明该属性在表中具有较高的重要性; 否则, 说明该属性在表中具有较低的重要性。

令 C 和 D 分别为条件属性集和决策属性集, 则属性子集 $C' \subseteq C$ 关于 D 的重要性定义为^[9]:

$$\sigma_{CD}(C') = \gamma_C(D) - \gamma_{C-C'}(D)。 \quad (6)$$

特别地, 当 $C' = \{a\}$ 时, 属性 $a \in C$ 关于 D 的重要性为^[9]:

$$\sigma_{CD}(a) = \gamma_C(D) - \gamma_{C-\{a\}}(D)。 \quad (7)$$

2 滑坡地质灾害风险评估预处理

2.1 研究区地质灾害概况

研究区为广西梧州市, 该市是以丘陵为主的地区, 山多平地少, 加上气候湿热, 降雨量较大, 各类工程建设切坡现象普遍。在地层岩性、地质构造、降雨和人类工程活动等诸多因素的影响下, 地质灾害十分发育。根据野外调查工作和地质环境监测站的数据, 历年来地质灾害种类有滑坡、崩塌、不稳定斜坡和泥石流, 以滑坡和崩塌为主, 占灾害总数的

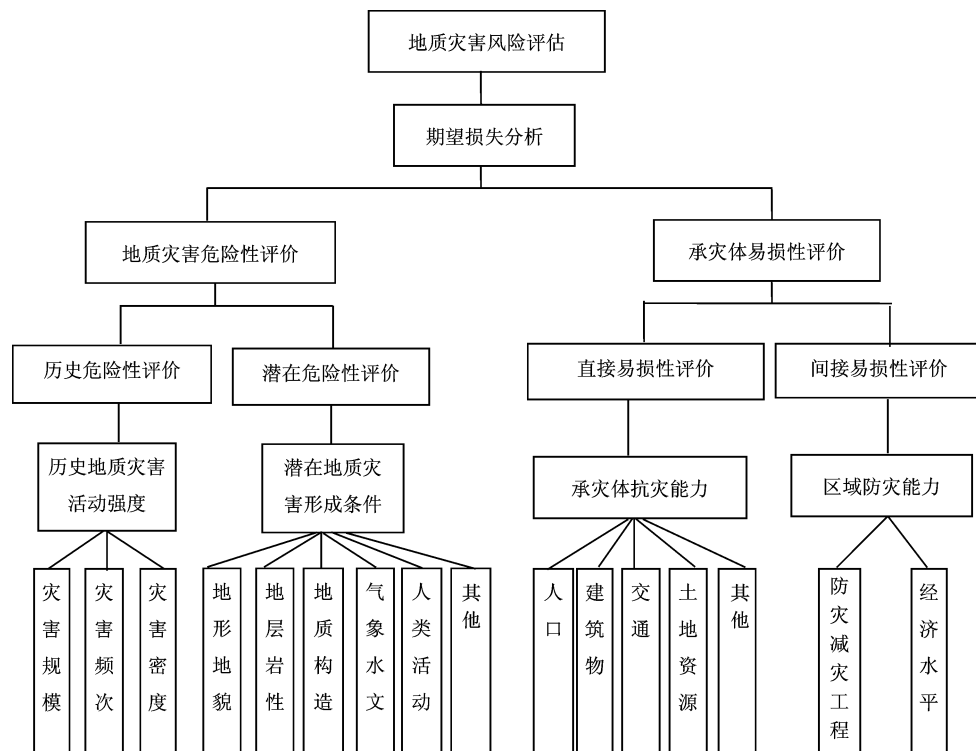


图1 地质灾害风险评估内容体系

95% 左右。从规模上看,该市的地质灾害均为小型,无中型与大型地质灾害,但由于梧州市人口密集,且多聚居于斜坡坡脚或沟谷下游,地质灾害的发生曾一度造成了严重的人员伤亡与财产损失。近年来,随着城市规模的不断扩大和各类工程的兴建,在地质环境遭受影响较强烈的地段,滑坡等地质灾害的发生次数不断增多,分布面积明显扩大,对人民的生命和财产构成日益严重的威胁,直接影响社会安定和城市经济持续发展。

2.2 地质灾害风险评估内容体系

根据灾害风险的定义,目前,国内地质灾害风险评估主要包括危险性分析、易损性分析和期望损失分析三方面内容^[10-11]。其中危险性分析与易损性分析是地质灾害风险评估的基础,通过危险性与易损性分析,确定地质灾害风险区位置、范围及地质灾害活动分布密度和时间概率,进一步确定可能遭受地质灾害的人口、财产、工程、资源、环境的空间分布和破坏损失率;期望损失分析则是预测地质灾害可能导致的人口伤亡、经济损失和资源、环境的破坏损失程度,可综合反映地质灾害的风险水平^[12]。风险评估的内容体系见图1。

2.3 评估单元划分

按照国土资源部地质环境司《县(市)地质灾害调查与区划基本要求》实施细则,结合梧州市具体情况和原始数据精度,利用GIS网格剖分技术,将梧州市按1 km × 1 km 划分单元网格,部分边界区不足

1 km × 1 km 的单元进行适当合并或划归邻近单元,研究区共划分出1 087个评估单元格。

2.4 评估指标体系构建

根据调查结果可知,崩塌、滑坡是梧州市主要的地质灾害类型,且梧州市内滑坡和崩塌灾害的发育条件、分布特征、成灾机理等基本相同,因此将两者合并考虑。基于联合国人道主义事务部公布的自然灾害风险定义,结合梧州市地质灾害现状发育因素、地质环境条件因素、人类工程活动因素和社会经济发展因素,从致灾因子危险性和承灾体易损性两方面,建立梧州市滑坡地质灾害风险评估指标体系。危险性评估指标体系包括历史地质灾害活动程度指标和环境地质条件指标,历史地质灾害活动程度指标主要包括历史灾害的强度或规模、频次、分布密度等,考虑梧州市已发生的地质灾害均为小型规模,且突发性比较明显,因此不计面密度、体积密度及频次指标,以点密度指标代表历史灾害发育强度;环境地质条件指标主要包括地形地貌条件、水文条件、地质条件、植被条件、人类活动条件等控制灾害发育的基本条件。根据研究区地质灾害成灾机理,初步确定地貌类型、坡度、河水侧蚀、地层岩性、残坡积层厚度、断裂发育情况、年降雨量、道路工程活动和建筑工程活动9个因子为地质灾害危险性评估指标。为便于数学模型的统一处理和计算机识别,将单因子定性定量数据按其对于地质灾害危险性贡献大小进行标准化处理再量化分级^[13](表1)。

表 1 滑坡地质灾害评估指标分级与量化

危险性评估指标		分级标准与量化			
		低危险(1)	中危险(2)	高危险(3)	极高危险(4)
历史灾害发育 点密度/(个/km ²)		≤ 1	(1,2]	(2,3]	> 3
背景因素	地貌类型	台地	低丘	高丘	低山
	坡度/(°)	≤ 25	(25,35]	(35,45]	> 45
	河水侧蚀	其他	一般河流沿岸	浔江、桂江沿岸	西江沿岸
	地层岩性	Q	$\in h$	$\delta\gamma, \gamma$	E, K
	残坡积层厚度/m	≤ 2	(2,3]	(3,4]	> 4
诱发因素	断裂发育情况	不发育	较发育	发育	非常发育
	年降雨量/mm	≤ 1 500	(1 500,1 600]	(1 600,1 700]	> 1 700
	道路工程活动	其他	高速公路、铁路沿线	县道沿线	国道
	建筑工程活动	其他	农村居民点	集镇	城市
易损性评估指标		分级标准与量化			
		低易损(1)	中易损(2)	高易损(3)	极高易损(4)
直接经济损失/万元		≤ 1	(1,3]	(3,5]	> 5
承灾体	人口密度/(人/km ²)	≤ 150	(150,300]	(300,700]	> 700
社会经	土地资源	其他	林地	耕地、园地	建设用地
济属性	交通设施	其他	县道	国道、省道	高速公路、铁路
抗灾能力	房屋	其他	农村居民点	集镇	城市
	防治工程	强	中	弱	无

根据研究区以往对地质灾害损失统计情况、资料的可获取性及损失的可度量性准则,研究区承灾体易损性评估只考虑人口密度、土地资源、交通设施、房屋及其附属价值和抗灾能力 5 个指标,各评估因子按四个等级进行量化分级^[14](见表 1)。

2.5 地质灾害空间数据库构建

基于 GIS 软件平台,将研究区划分的规则单元网格拓扑构建形成面状要素,并对不足 1 km × 1 km 的单元网格进行合并处理,然后将合并处理后的单元网格图层分别与研究区灾点图、地形地貌图、坡度图、河流缓冲区图、地层岩性图、地质构造图、降雨量等值线图、交通图、地类图、居民区缓冲区图等进行空间叠置分析,将各图层的相关属性特征赋给规则单元网格图层各网格要素,在此基础上按评估指标分级标准,计算出各单元网格的上述各评估指标对应的分级量化值,构建具备空间与属性特征的滑坡地质灾害单元网格数据库。

3 基于粗糙集的滑坡地质灾害风险评估过程

3.1 滑坡地质灾害评估决策表建立

建立滑坡地质灾害评估决策表旨在通过分析历史地质灾害确定影响潜在地质灾害发生的关键因素及其权重。根据梧州市已有地质灾害发生情

况,将地质灾害点图层与规则网格单元进行叠加,可建立论域 U 中共 124 个单元网格的历史地质灾害强度信息表达系统。令 $S = (U, A)$ 是梧州市地质灾害信息表达系统,其中 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_{124}\}$ 为研究区域, U 中的元素 u_i 为研究区域中的规则网格对象, A 为属性集。令 $C \cup D$, 对于危险性评估, $A = \{x_1, x_2, \dots, x_9, y\}$, $C = \{x_1, x_2, \dots, x_9\}$ 为条件属性,其中, x_1, x_2, \dots, x_9 分别表示地貌类型、坡度、河水侧蚀、地层岩性、残坡积层厚度、断裂发育情况、年降雨量、道路工程活动强度、建筑工程活动强度 9 个评估指标, $D = \{y\}$ 为决策属性, y 表示单元网格历史灾害发育强度,则该信息表达系统变成了危险性灾害评估决策表(见表 2);对于易损性评估, $A = \{a_1, a_2, \dots, a_5, b\}$, $C = \{a_1, a_2, \dots, a_5\}$ 为条件属性,其中, a_1, a_2, \dots, a_5 分别表示人口密度、土地资源、交通设施、房屋及其附属价值、防治工程 5 个评估指标, $D = \{b\}$ 为决策属性, b 表示单元网格直接经济损失程度,则该信息表达系统变成了易损性评估决策表(表 2)。

3.2 评估指标体系优化与权重确定

为确定影响梧州市滑坡地质灾害发生的关键影响因子及其权重,结合粗糙集属性约简算法对表 2 所示的决策表进行优化。首先根据式(1)计算决策表中条件属性等价分类 U/C 、决策属性等价分类 U/D 及约去某指标后的条件属性等价分类集合

表 2 滑坡地质灾害评估决策表

论域 编码	危险性评估决策表属性集										易损性评估决策表属性集					
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	y	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	b
u_1	2	2	2	2	3	1	3	4	4	4	2	3	4	2	1	1
u_2	2	3	2	2	3	1	3	4	2	2	2	3	1	2	3	1
u_3	3	4	2	2	3	1	3	1	1	1	2	2	3	1	4	3
u_4	2	3	3	2	3	1	3	4	4	1	2	3	4	2	2	1
u_5	3	4	2	2	3	1	3	1	1	1	2	2	1	2	4	1
...
u_{120}	2	2	4	2	3	2	1	3	2	3	1	2	1	2	4	2
u_{121}	2	2	4	2	3	2	1	3	1	1	1	2	1	2	4	1
u_{122}	2	2	4	2	3	2	1	2	2	1	1	3	1	2	4	1
u_{123}	2	3	2	2	3	1	1	1	2	1	1	3	2	1	4	1
u_{124}	2	2	4	2	3	1	1	3	4	2	3	2	4	2	2	1

表 3 滑坡地质灾害评估指标权重表

指标	危险性评估指标										易损性评估指标				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
权重	0.071	0.092	0.112	0.041	0	0.082	0.163	0.214	0.225		0.278	0.13	0.222	0.213	0.157

$U/(C - \{x_i\}) (i = 1, 2, \dots, 9)$ 、 $U/(C - \{a_j\}) (j = 1, 2, \dots, 5)$ ；然后对比分析 $U/(C - \{x_i\}) (i = 1, 2, \dots, 9)$ 、 $U/(C - \{a_j\}) (j = 1, 2, \dots, 5)$ 分别与各属性决策表中的 U/C 是否相等, 如果相等, 则说明该指标在条件属性指标中是不必要的, 可以删除。根据计算出来的结果发现: 在危险性评估决策表的 9 个评估指标中, 有 $U/(C - \{x_5\}) = U/C = \{u_1\}; \{u_2\}; \{u_3, u_5\}; \{u_4\}; \{u_6\}; \{u_7\}; \{u_8\}; \{u_9\}; \{u_{10}\}; \{u_{11}\}; \{u_{12}\}; \{u_{13}\}; \{u_{14}\}; \{u_{15}\}; \{u_{16}\}; \{u_{17}\}; \{u_{18}\}; \{u_{19}\}; \{u_{20}\}; \{u_{21}\}; \{u_{22}\}; \{u_{23}\}; \{u_{24}\}; \{u_{25}\}; \{u_{26}\}; \{u_{27}\}; \{u_{28}\}; \{u_{29}\}; \{u_{30}\}; \{u_{31}\}; \{u_{32}\}; \{u_{33}\}; \{u_{34}\}; \{u_{35}\}; \{u_{36}\}; \{u_{37}, u_{73}\}; \{u_{38}, u_{53}\}; \{u_{39}\}; \{u_{40}, u_{45}\}; \{u_{41}\}; \{u_{42}\}; \{u_{43}\}; \{u_{44}\}; \{u_{46}\}; \{u_{47}, u_{62}\}; \{u_{48}\}; \{u_{49}\}; \{u_{50}\}; \{u_{51}\}; \{u_{52}, u_{72}\}; \{u_{54}\}; \{u_{55}, u_{71}\}; \{u_{56}\}; \{u_{57}\}; \{u_{58}\}; \{u_{59}\}; \{u_{60}\}; \{u_{61}\}; \{u_{63}\}; \{u_{64}\}; \{u_{65}\}; \{u_{66}\}; \{u_{67}\}; \{u_{68}\}; \{u_{69}\}; \{u_{70}\}; \{u_{74}\}; \{u_{75}\}; \{u_{76}\}; \{u_{77}\}; \{u_{78}\}; \{u_{79}\}; \{u_{80}\}; \{u_{81}\}; \{u_{82}\}; \{u_{83}\}; \{u_{84}\}; \{u_{85}\}; \{u_{86}\}; \{u_{87}\}; \{u_{88}\}; \{u_{89}, u_{90}\}; \{u_{91}\}; \{u_{92}\}; \{u_{93}\}; \{u_{94}\}; \{u_{95}\}; \{u_{96}\}; \{u_{97}\}; \{u_{98}\}; \{u_{99}\}; \{u_{100}\}; \{u_{101}\}; \{u_{102}\}; \{u_{103}\}; \{u_{104}\}; \{u_{105}\}; \{u_{106}\}; \{u_{107}\}; \{u_{108}\}; \{u_{109}\}; \{u_{110}, u_{111}\}; \{u_{112}\}; \{u_{113}\}; \{u_{114}\}; \{u_{115}\}; \{u_{116}\}; \{u_{117}\}; \{u_{118}\}; \{u_{119}, u_{120}\}; \{u_{121}\}; \{u_{122}\}; \{u_{123}\}; \{u_{124}\}$ 。因此, 指标 x_5 即残坡积层厚度在该指标体系中是不必要的, 危险性评估指标体系简化为其余 8 个指标; 易损性评估指标个数不变。

在上述等价分类的基础上, 由式(2) 进一步计

算出各等价分类 $U/(C - \{x_i\})$ 相对于决策分类 U/D 的正域为^[14]:

$$pos_{(C - \{x_i\})}(D) = \{u \in U \mid [u]_{(C - \{x_i\})} \subseteq U/(D)\} (i = 1; 2; \dots; 9). \quad (8)$$

在决策表 1 中, 各指标对地质灾害的影响具有不同的重要性, 根据粗集的依赖度及重要性定义, 构建决策表中各指标权重 $\omega(x_i)$ 计算公式^[15]:

$$\omega(x_i) = \frac{(pos_C(D) - pos_{(C - \{x_i\})}(D))/U}{\sum_{j=1}^m ((pos_C(D) - pos_{(C - \{x_j\})}(D))/U)}. \quad (9)$$

式中: m 为评估指标总数, 对于易损性评估, 则将式(8) 和(9) 中的 x_i 替换为 $a_j (j = 1, 2, \dots, 5)$ 。由式(8) 与(9) 计算出决策表中各指标权重 (见表 3)。

3.3 滑坡地质灾害风险等级划分与区划

根据研究区评估指标体系各因子权重及其评分值, 构建研究区滑坡地质灾害危险度及易损度评估分值计算公式:

$$E_i = [\omega(x_1), \omega(x_2), \dots, \omega(x_m)] \cdot \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{m1} & V_{m2} & \dots & V_{mn} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

式中: $\omega(x_i)$ 表示各评估因子权重; V_{ij} 表示第 j 个对象的第 i 个指标对应的单因子分值; m 表示评估因子总个数; n 表示评估对象的总个数。

按式(10), 计算研究区各单元网格的危险度及易损度评估分值。通过将实际发生的滑坡地质灾害密度数据与地质灾害危险性分区进行对比分析, 极高、高、中、低地质灾害危险区对应的地质灾害密度

分别为:2.33 处 /km²、0.43 处 /km²、0.26 处 /km²、0.08 处 /km²,发现地质灾害危险度越高的地区发生地质灾害的密度相应偏高,与实际情况吻合,说明运用粗糙集开展滑坡地质灾害评估的方法和技术手段是可行的。根据联合国人道主义事务部 1992 年公布的自然灾害风险计算所采用的表达式:“风险度(R) = 危险度(H) × 易损度(V)”^[16-17],研究区滑坡地质灾害风险度可在区内滑坡地质灾害危险性分析和承灾体易损性分析结果的基础上计算得出,将研究区滑坡地质灾害风险评估分值划分为 4 个等级^[18],即极高风险、高风险、中风险和低风险。利用 GIS 软件制作研究区滑坡地质灾害风险性分级栅格图(图 2a),并统计得出各风险等级的单元网格数和面积比(表 4)。

表 4 滑坡地质灾害风险度等级划分

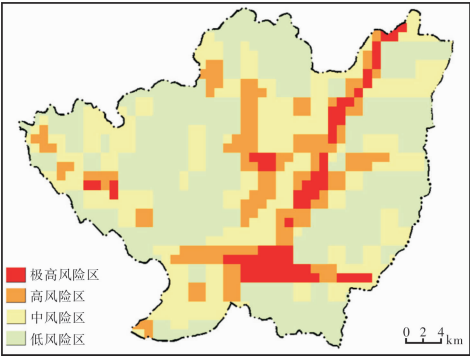
风险度	评估分值范围	单元网格数	占面积百分比/%
极高风险	≥ 7.84	71	6.465
高风险	$[5.76, 7.84)$	155	14.321
中风险	$[4, 5.76)$	328	30.470
低风险	< 4	533	48.744

进一步将研究区滑坡地质灾害风险性分区图与各基础要素图层叠加,根据各分区的滑坡地质灾害主要威胁对象、基础地理要素、地质环境条件等的不同,将各分区进一步划分为若干亚区,

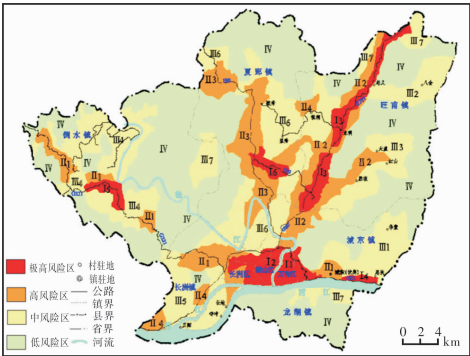
表 5 研究区滑坡地质灾害风险分区特征表

区 (代号)	亚区 代号	亚区名称	面积百分比/%	主要灾害类型	主要威胁对象
极高风险 区 (I)	I ₁	万秀区段桂江河东亚区	1.03	滑坡、崩塌、泥石流	建城区建筑、人口
	I ₂	蝶山区段桂江河西亚区	1.45	滑坡、崩塌	建城区建筑、人口
	I ₃	207 国道旺甫镇段亚区	2.41	滑坡、崩塌	沿线交通、住宅
	I ₄	321 国道城东镇亚区	0.25	滑坡、崩塌	沿线交通、住宅
	I ₅	321 国道倒水镇段亚区	0.66	滑坡、崩塌	沿线交通、住宅
	I ₆	190 县道夏郢镇段亚区	0.64	滑坡、崩塌	沿线交通、住宅
极高风险 区 (II)	II ₁	321 国道沿线亚区	3.71	滑坡、崩塌	沿线交通、住宅
	II ₂	207 国道沿线亚区	4.83	滑坡、崩塌	沿线交通、住宅
	II ₃	夏郢镇县道沿线亚区	4.65	滑坡	沿线交通、住宅
	II ₄	其它亚区	1.17	滑坡	乡村道路、住宅、农田
中风险 区 (III)	III ₁	城东镇扶典-思扶村-华堂村亚区	3.55	滑坡、崩塌	交通、住宅、农田
	III ₂	旺甫镇老义-八会村亚区	2.28	滑坡	乡村道路、住宅、农田
	III ₃	旺甫镇胜坡-红山-大盈村亚区	3.18	滑坡、崩塌	乡村道路、住宅、农田
	III ₄	倒水镇乡村公路沿线亚区	6.84	滑坡、崩塌	沿线交通、住宅、农田
	III ₅	长洲镇正阳-寺冲-长地村亚区	3.57	滑坡	住宅、水利枢纽
	III ₆	夏郢镇毓秀村-旺甫镇龙洞村 道路沿线亚区	8.17	滑坡	乡村住宅
	III ₇	其它亚区	2.85	滑坡、崩塌	乡村住宅、农田
低风险 区(IV)	48.76	滑坡、崩塌	乡村住宅		

得出图像叠加分割后的各亚区分布特征(表 5)和滑坡地质灾害风险专题图(图 2b)。



(a) 栅格图



(b) 专题图

图 2 研究区滑坡地质灾害风险性分区图

4 结论

(1)根据地质灾害风险评估内容体系,分别开展梧州市滑坡地质灾害危险性评估与承灾体易损性评估。结合研究区地质灾害发育特征、地形地貌及灾害诱发因素等,选取地貌类型、坡度、河水侧蚀、地层岩性、残坡积层厚度、断裂发育情况、年降雨量、道路工程活动和建筑工程活动9个因子作为滑坡地质灾害危险性评估指标;选取人口密度、土地资源、交通设施、房屋及其附属价值和抗灾能力5个因子作为承灾体易损性评估指标。

(2)采用地理信息系统技术与粗糙集相结合的方法开展滑坡地质灾害评估是可行的。此方法在反映地质灾害不确定性的同时,可以通过对数据约简发现最小数据集,排除多余的评估指标,并且可以挖掘评估指标数据中隐藏的模式,使评估因子权重确定具有很好的客观性,并对结果提供直观可视的解释。

(3)研究结果表明,研究区滑坡地质灾害极高风险区约占梧州市总面积的6.44%,主要沿傍山而建的城镇和切坡坡度、坡高较大的交通干线分布;地质灾害高风险区约占梧州市总面积的14.36%,主要沿国道等交通干线切坡坡度较大处分布;地质灾害中风险区约占梧州市总面积的30.44%,主要沿县道、乡道及居民点附近切坡坡度较大处呈带状或面状分布;其余地区均为地质灾害低风险区,约占梧州市总面积的48.76%。

参考文献:

- [1] 谢波. 公路路基地质灾害危险性评价指标与方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2009.
- [2] 黄润秋, 许向宁, 唐川, 等. 地质环境评价与地质灾害管理[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] 黄崇福. 风险分析基本方法探讨[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(5): 1-10.
- [4] 齐信, 唐川, 陈州丰, 等. 地质灾害风险评估研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(5): 33-40.
- [5] 李德仁, 王树良, 李德毅. 空间数据挖掘理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [6] Pawlak Z. Rough sets[J]. International Journal of Computer and Information Sciences, 1982, 11(5): 341-356.
- [7] 王国胤, 姚一豫, 于洪. 粗糙集理论与应用研究综述[J]. 计算机学报, 2009, 32(7): 1229-1246.
- [8] 张文修, 吴志伟, 张吉业, 等. 粗糙集理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [9] 蔡乐才, 姚行艳. 基于粗糙理论的属性约简算法[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2009, 22(1): 34-37.
- [10] 倪长健, 王杰. 再论自然灾害风险的定义[J]. 灾害学, 2012, 27(3): 1-5.
- [11] 马寅生, 张业成, 张春山, 等. 地质灾害风险评估的理论与方法[J]. 地质力学学报, 2004, 10(1): 7-18.
- [12] 姜丹丹. 基于RS和GIS的城市地质灾害风险评估研究——以重庆市北碚城区为例[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [13] 贺为民. 地质灾害危险性评估分级因素的探讨[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 111-116.
- [14] 倪晓娟, 南颖. 基于GIS的长白山地区地质灾害风险综合评估[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(1): 112-120.
- [15] 李雯静, 毋河海. GIS数据分析中权重确定的粗糙方法研究[J]. 测绘科学, 2007, 32(1): 70-72.
- [16] Blaikie P M, Wisner B, Davis L, etc. At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters [M]. London: Routledge, 2003.
- [17] Shook G. An assessment of disaster risk and its management in Thailand[J]. Disaster, 1997, 21(1): 77-88.
- [18] 张鹏, 李宁. 我国自然灾害风险分级方法的标准化[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 60-64.

Risk Assessment of Landslides Geological Disasters Based on Rough Set and GIS ——Taking Guangxi Wuzhou as an Example

Liu Yanhua and Ye Guohua

(School of Land Resources and Surveying, Guangxi Normal University, Nanning 530001, China)

Abstract: According to geological environment conditions and development of geological disasters in Wuzhou city, nine indicators, are chosen for risk assessment of landslides geological disasters, as landform type, slope, river side erosion, formation lithology, eluvial layer thickness, fracture development, annual rainfall, road engineering activities and construction activities. In vulnerability assessment on disaster bearing bodies, five indicators as population density, land resources, traffic facilities, value of housing and its ancillary and disaster reduction capabilities are selected. By means of GIS spatial analysis technology and rough set theory, the study area is divided into evaluation unit, the knowledge representation system and decision table of hazard assessment and vulnerability assessment are constructed, and then the decision table is optimized and the weight of each index is calculated. Combined with the model for risk assessment of landslides geological disasters, the risk of geological disasters is divided into extremely high risk, high risk, middle risk and low risk. Among which, extremely high risk area accounts for about 6.44%, mainly along the towns built at the side of the mountain and traffic arteries with larger and higher slope. The results show that, the combination method of rough sets and GIS can reliably evaluate the risk of geological disasters; it has reference significance for geological disasters risk assessment in similar area.

Key words: rough set; GIS; landslide geological disaster; hazard assessment; vulnerability assessment; risk assessment