

湖南雪峰山地区降雨型滑坡灾害敏感性区划

李明波^{1,2}, 陈 平², 陈植华¹, 方 琼²

1. 中国地质大学 环境学院, 湖北 武汉 430074; 2. 湖南省地质环境监测总站, 湖南 长沙 410007

摘 要: 雪峰山地区是湖南省降雨型滑坡灾害较为发育的地区之一, 滑坡灾害给该地区社会及经济发展造成严重影响, 给人民生命财产造成严重损失。本文选择影响滑坡发生的关键地质因子, 即坡向、高程、工程岩组、斜坡类型和坡度等 5 个因子, 通过确定性系数(CF)与层次分析法(AHP)的融合, 解决评价中各因子指标的排序赋值和各评价因子叠加的权重问题。在给定因子权重的基础上, 采用因子权值与因子赋值相乘后相加的方法, 求得雪峰山地区降雨型滑坡综合敏感度值, 并根据敏感性指标对研究区进行敏感性区划。

关键词: 降雨型滑坡; 影响因子; 敏感性区划; 雪峰山地区; 湖南省

SENSITIVITY ZONING OF RAINFALL-INDUCED LANDSLIDE HAZARD IN XUEFENG MOUNTAIN AREA

LI Ming-bo^{1,2}, CHEN Ping², CHEN Zhi-hua¹, FANG Qiong²

1. College of Environment, China university of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Hunan Province Geological Environment Monitoring Station, Changsha 410007, China

Abstract: The Xuefeng Mountain area in Hunan Province is one of the regions seriously suffering from the rainfall-induced landslide disasters, which have a severe impact on social and economic development and cause heavy damage to people's lives and property. Five key geological factors including slope aspect, elevation, engineering rock assemblage, slope type and gradient that affect landslide are selected to solve the problem of ranking assignment of each factor index and weight of factor superposition in evaluation through the combination of certainty factor (CF) and analytic hierarchy process (AHP). Based on the given factor weights, the weights and assignments are multiplied and then added to calculate the comprehensive sensitivity values of rainfall-induced landslide in the study area. The sensitive areas are then divided according to the sensitivity indexes.

Key words: rainfall-induced landslide; impact factor; sensitivity zoning; Xuefeng Mountain area; Hunan Province

滑坡灾害敏感性评价及区划一直是滑坡灾害研究的重要内容之一, 通过研究不同地层单元组合、区域地质构造单元特征、地形地貌等条件下区域滑坡灾

害发生分布规律, 从宏观上对滑坡灾害的敏感程度做出等级划分^[1], 早在 20 世纪中期国内外相关学者就已开展了卓有成效的工作。近年来, 随着滑坡灾害损

收稿日期: 2018-05-18; 修回日期: 2018-07-04. 编辑: 李兰英.

作者简介: 李明波(1987—), 男, 工程师, 博士研究生, 主要从事地质灾害预警预报研究, 通信地址 湖南省长沙市天心区芙蓉中路 4 段 158 号地理信息产业园国信大楼 3 楼, E-mail//524940714@qq.com

失的日益严重以及“3S”技术的迅速发展,滑坡灾害的敏感性研究也取得了长足进展^[2-3]。

本文选取雪峰山地区作为研究区域,以历年发生(2013~2017)的 589 处降雨型滑坡灾害为样本数据,利用 GIS 强大的空间分析、制图和可视化功能^[4],通过确定性系数(CF)与层次分析法(AHP)的融合,建立敏感性评价模型,开展研究区敏感性评价和区划,为研究区滑坡灾害的空间预测提供资料和参考,同时对湖南省地质灾害气象精细化预警预报工作也具有实际的指导意义。

1 研究区概况

研究区位于湖南省中部偏西,包括益阳市安化

县,怀化市沅陵县、溆浦县及辰溪县,东接洞庭湖区,南邻娄邵盆地,北依武陵山脉,面积 16 176.87 km²,约占全省总面积的 7.64%。

研究区属亚热带季风湿润气候区,年降水量达 1600~2000 mm,是湖南省年平均降雨量高值区及暴雨高频次中心(据湖南省气象局 1988~2017 年数据统计)(图 1)。区内以中低山、丘陵地貌为主,地形复杂,坡体切割强烈,“V”型沟谷发育,山坡坡度陡峻。境内主要河流为沅水、资水及其支流。资水流域多山地和丘陵,山体高大,山坡陡峻。沅水流域流贯于雪峰山与武陵山山地之间,四周高丘山地环绕,河床比降大,水流湍急。同时,研究区横跨扬子、华南两大地层区,地层发育基本齐全,主要为浅变质岩

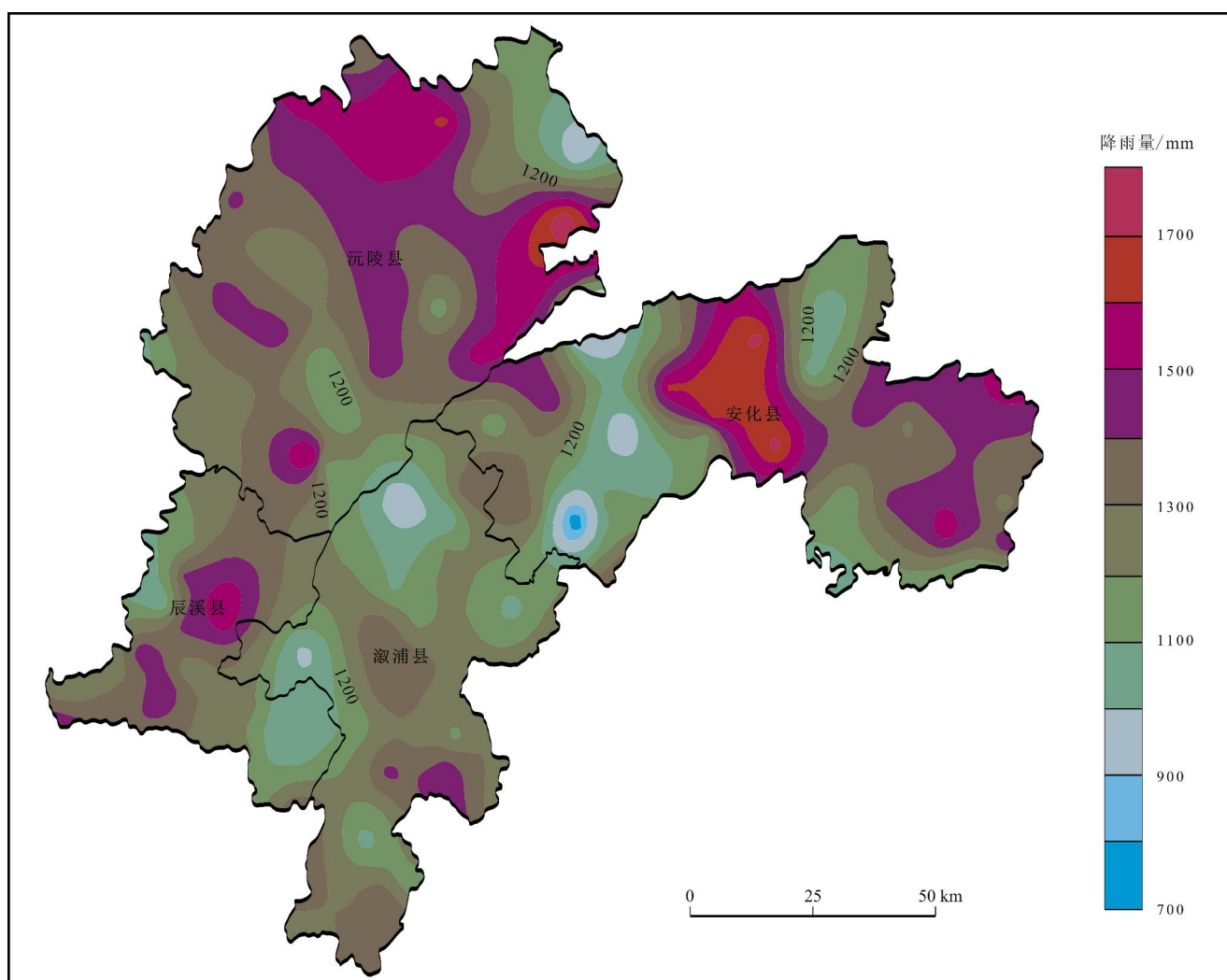


图 1 雪峰山地区 2007~2017 年年平均降雨量等值线图

Fig. 1 Contour map of average annual rainfall in Xuefeng Mountain area from 2007 to 2017

及碎屑岩夹少量碳酸盐岩,以古生界浅变质岩,古、中生界碎屑岩出露最广,岩浆岩局部出露(图 2)。境内构造复杂,形迹多样,断裂和褶皱均很发育,构造线方向受总的大区域构造所控制以北东向构造分布范围较广泛。

2 数据来源

2.1 滑坡数据

滑坡数据来源于湖南省国土资源厅历年月报数据,数据包括发灾位置、时间、规模、灾害成因及灾险

情等情况。据统计,2013~2017 年间雪峰山地区降雨型滑坡灾害共发生 589 处,具体特征见表 1。其中造成重大灾情损失的有 20 余处,共造成 71 人死亡,毁房 580 余间,直接经济损失 3000 余万元,仅 2014 年 7 月 16 日发生在益阳市安化县马路镇潺溪口村 1 起滑坡就造成 12 人死亡,5 人受伤,直接经济损失 200 余万元。随着人类工程活动的进一步加强和近几年极端天气的频繁出现,从总的发展趋势看,研究区滑坡灾害有日趋严重之势,已成为当地社会经济迅速发展的制约因素之一。

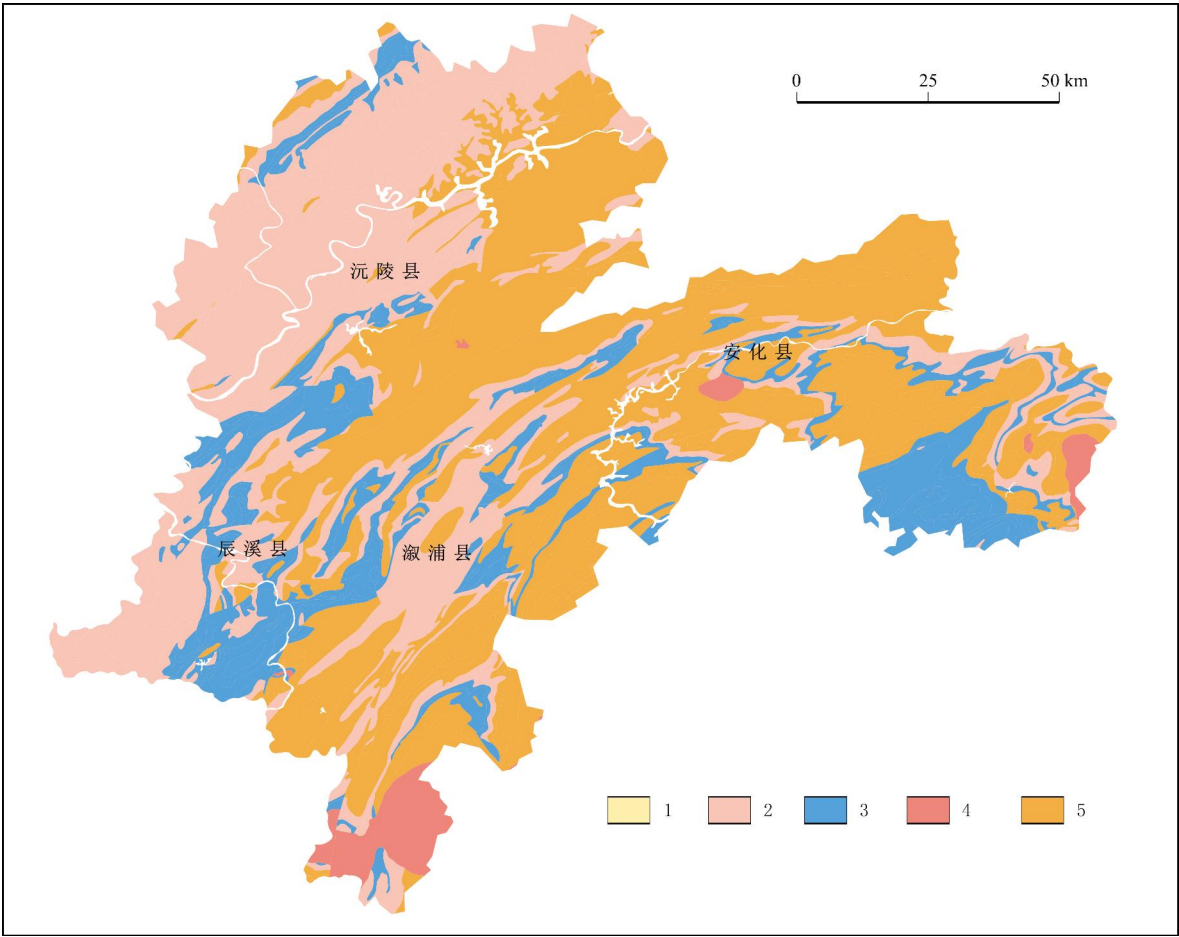


图 2 雪峰山地区工程岩组分区图

Fig. 2 Division of engineering rock assemblages in Xuefeng Mountain area

1—松散堆积层(loose accumulative formation); 2—碎屑岩建造(clastic rock formation); 3—碳酸盐岩建造(carbonate rock formation); 4—岩浆岩建造(magmatic rock formation); 5—变质岩建造(metamorphic rock formation)

表 1 研究区降雨型滑坡特征统计表
Table 1 Characteristic statistics of rainfall-induced landslides in the study area

划分依据	滑坡类型	数量	占总数比/%
按滑体规模划分	大型	0	0
	中型	3	0.51
	小型	586	99.49
按滑体物质组成划分	土质滑坡	436	74.02
	碎块石滑坡	116	19.7
	岩质滑坡	37	6.28
按形成原因划分	自然因素(暴雨)	409	69.44
	综合因素	180	30.56
按滑体厚度划分	浅层滑坡(<6 m)	579	98.3
	中层滑坡(6~20 m)	10	1.7
按运动形式划分	推移式滑坡	403	68.42
	牵引式滑坡	186	31.58
按目前稳定性划分	稳定	148	25.13
	较稳定	275	46.69
	不稳定	166	28.18

2.2 基础地质地理资料

开展区域滑坡敏感性区划研究,首先就要确定影响滑坡灾害发生的关键因子。根据前人研究总结,选择坡向、高程、工程岩组、斜坡类型和坡度等 5 个因子作为雪峰山地区降雨型滑坡灾害发生的关键性因子^[5]。这些因子可根据湖南省 1:25 万地形图、1:25 万自然地理底图、1:25 万地貌及第四纪地质图、1:25 万岩土工程地质区划图等基础空间信息资料进行提取,数据来源于湖南省国土资源信息中心。

3 各关键因子指数赋值

对于定性的因子,在 GIS 平台上是无法实现分析计算的,在分析计算之前,必须将因子定量化,即指标因子的量化,确定性系数(CF)法可很好实现这一过程。确定性系数即 CF 分析法指的是对某一事件的发生具有一定影响作用的各个因素进行分析的方法,对降雨型滑坡的发生构建一个概率函数进行分析^[6]。在 1975 年由 Shortliffe 提出,在 1986 年 Heckerman 进行了有效改进^[7]。具体的计算公式如下:

$$CF = \begin{cases} \frac{PP_a - PP_s}{PP_a(1 - PP_s)} & PP_a \geq PP_s \\ \frac{PP_a - PP_s}{PP_s(1 - PP_a)} & PP_a < PP_s \end{cases} \quad (1)$$

式中, PP_s 是降雨型滑坡在研究区域中发生情况的先知概率,用研究区域内滑坡的总面积与研究区域的总面积进行对比表示; PP_a 是指在影响因素中 a 所发生情况的概率条件分析,具体用 a 中产生的滑坡面积与分类 a 具体面积的比值进行表示。根据公式(1)计算,CF 的变化区间为 $[-1, 1]$ 。正值代表事件发生的确定性增加,即滑坡易于发生;负值代表确定性的降低,表示滑坡不易发生;接近于 0 值代表先验概率与条件概率十分接近,事件发生的不确定性,即此单元不能确定是否为滑坡易发区。

按照上述方法对雪峰山地区的坡向、高程、工程岩组、斜坡类型和坡度因子进行计算,以 CF 值为据划分级别,并由小到大分别赋值为 1,2,3,⋯,n(见表 2~6)。

表 2 工程岩组 CF 值及分级赋值表
Table 2 CF values and grading assignments for engineering rock assemblages

岩组名称	面积/ km ²	滑坡面积/ km ²	滑坡频率	CF 值	分级 赋值
岩浆岩建造	1300.78	0.011708	0.000009000075	0.619920696	3
变质岩建造	6492.8	0.222536	0.00003427427	0.309083753	5
碎屑岩建造	5615.01	0.133502	0.00002377591	0.003996062	4
碳酸盐岩建造	2751.23	0.015337	0.00000557460	0.764599318	2
松散堆积层	17.05	0	0	-1	1

表 3 高程 CF 值及分级赋值表
Table 3 CF values and grading assignments of elevation

高程/m	面积/km ²	滑坡面积/km ²	滑坡频率	CF 值	分级 赋值
<100	133.3989	0.004064	0.00003046501	0.22269064	5
100~200	2634.8	0.158269	0.00006006869	0.605783978	6
200~400	6589.593	0.136548	0.00002072176	-0.124961523	3
400~800	5681.777	0.062585	0.00001101503	-0.53486183	2
800~1200	940.8555	0.021617	0.00002297589	-0.029771673	4
>1200	196.4493	0	0	-1	1

表 4 坡度 CF 值及分级赋值表

Table 4 CF values and grading assignments of slope gradient

坡度	面积/km ²	滑坡面积/km ²	滑坡频率	CF 值	分级赋值
0~10°	5062.3866	0.13375	0.00002642034	0.103689236	4
10~20°	6441.5979	0.202534	0.00003144158	0.246834408	5
20~30°	3922.0119	0.040462	0.00001031664	-0.564353461	3
30~40°	726.2136	0.004451	0.00000612905	-0.741186255	2
40~50°	24.3	0.001886	0.00007761317	0.694901909	6
>50°	0.3645	0	0	-1	1

表 5 斜坡类型 CF 值及分级赋值表

Table 5 CF values and grading assignments of slope types

斜坡类型	面积/km ²	滑坡面积/km ²	滑坡频率	CF 值	分级赋值
凹形坡	5712.703	0.10914	-0.00000457611	-0.1932442	1
平直坡	4998.534	0.121709	0.00000066804	0.02743651	2
凸形坡	5465.637	0.152234	0.00000417203	0.14979106	3

4 权重计算及模型建立

本文采用层次分析法(AHP)为每个评价指标赋敏感性权重值.参考专家意见及野外实地验证,对各因子之间的相互重要性进行打分,构建各因子判断矩阵(见表7).通过计算求得判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=5.0133$,一次性指标 $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(5.0133-5)/(5-1)=0.0133/4=0.003325$,查平均随机一致性指标(RI)表得:RI=1.12,则检验性指标 $CR=CI/RI=0.00277<0.1$.该矩阵具有较好的判断一致性,判断合理.最大特征值对应的特征向量为(0.3254、

0.1831、0.3254、0.6143、0.6143),对特征向量进行归一化处理即得到5个评价指标的权重 λ_i .其中 A_1 —高程; A_2 —斜坡类型; A_3 —坡向; A_4 —岩组; A_5 —坡度; λ_i —因子权重.

通过以上分析计算,得出雪峰山地区地质灾害敏感性评价模型为:

$$S=\sum \lambda_i \times A_{ij}=0.158 \times A_{1j}+0.089 \times A_{2j}+0.157 \times A_{3j}+0.298 \times A_{4j}+0.298 \times A_{5j}$$
(2)

式中:S为评价单元的综合敏感度值; λ_i 为第*i*个指标的敏感程度权重; A_{ij} 为第*i*个指标属性*j*的敏感度.其中, $i=1,2,3,4,5$; $j=1,2,3,\cdots,n$.

5 敏感性区划及结果分析

运用栅格数据处理方法对雪峰山地区进行网格剖分,取1 km×1 km为最小评价分析单元格,将研究区剖分成16503个评价单元网格.在GIS软件中,按照地质灾害敏感性评价模型,对5个评价指标进行空间叠加后即得敏感性评价图(图3).

根据计算可知地质灾害敏感性综合指数值(S)区间为 $1.825 \leq S \leq 5.26$,利用重分类工具,将叠加后的敏感性结果图划分为三类,即高敏感区、中敏感区和低敏感区.当 $4.35 \leq S \leq 5.26$ 时,为滑坡灾害高敏感区;当 $3.52 \leq S < 4.35$ 时,为滑坡灾害中敏感区;当 $1.825 \leq S < 3.52$ 时,为滑坡灾害低敏感区.分析结果表明:研究区总面积为16 176.87 km²,其中高敏感区面积1 768.95 km²,占总面积的10.94%;中敏感区面积14 059.52 km²,占总面积的86.91%;低敏感区面积348.40 km²,占总面积的2.15%.

表 6 坡向 CF 值及分级赋值表

Table 6 CF values and grading assignments of slope aspect

坡向	坡向范围	面积/km ²	滑坡面积/km ²	滑坡频率	CF 值	分级赋值
正北	337.5~22.5	27.4347	0.003334	0.00012152493	0.805154523	8
北东	22.5~67.5	1924.8192	0.023045	0.00001197255	-0.494427577	1
正东	67.5~112.5	1774.0134	0.075359	0.00004247939	0.442532014	7
东南	112.5~157.5	2018.0016	0.044069	0.00002183794	-0.077826434	4
正南	157.5~202.5	2327.2839	0.073164	0.00003143751	0.24673678	6
南西	202.5~247.5	1930.1409	0.055578	0.00002879479	0.177601959	5
正西	247.5~292.5	1816.0119	0.023148	0.00001274661	-0.461740052	2
西北	292.5~337.5	2032.5735	0.029073	0.00001430354	-0.395993818	3

表 7 各因子判断矩阵和权重表

各因子项	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	λ _i
A ₁	1	2	1	1/2	1/2	0.158
A ₂	1/2	1	1/2	1/3	1/3	0.089
A ₃	1	2	1	1/2	1/2	0.157
A ₄	2	3	2	1	1	0.298
A ₅	2	3	2	1	1	0.298

6 区划结果检验

为了确定研究区滑坡敏感性区划结果的正确性, 利用 2013~2017 年雪峰山地区实际发生的 589 处降雨型滑坡, 对区划结果进行检验. 通过将滑坡点与敏感性区划图层叠加, 得到每个分区中滑坡的数量, 即检验结果(见图 3、表 8).

检验结果显示, 高敏感区和中敏感区中包含了 95%以上的校验滑坡, 说明评价结果与实际发生的滑坡情况基本吻合.

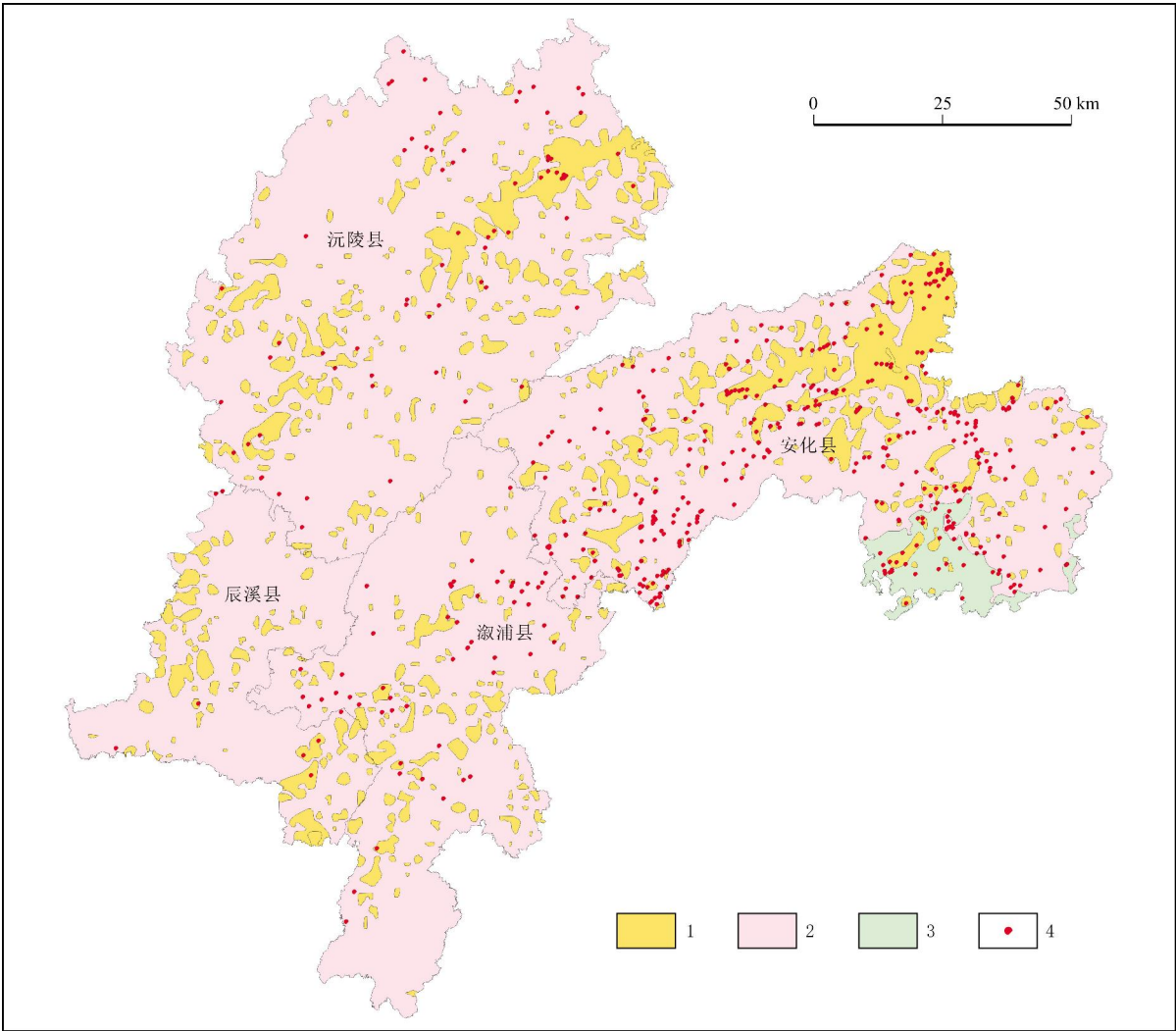


图 3 雪峰山地区敏感性评价分区及灾害叠加图

Fig. 3 Overlaying map of sensitivity assessment zoning and disaster in Xuefeng Mountain area

1—高敏感区(high sensitive area); 2—中敏感区(moderate sensitive area); 3—低敏感区(low sensitive area); 4—滑坡灾害点(landslide hazard site)

表 8 雪峰山地区滑坡敏感性分区检验表

Table 8 Landslide sensitivity zoning in Xuefeng Mountain area

敏感性分区	面积	占研究区面积百分比	滑坡点个数	滑坡点百分比
高敏感区	1768.95	10.94	138	23.43
中敏感区	14059.52	86.91	425	72.16
低敏感区	348.40	2.15	26	4.41

7 结论

本文通过确定性系数(CF)与层次分析法(AHP)的融合,解决了灾害评价中各因子指标的排序赋值和各评价因子叠加的权重问题,并在雪峰山地区开展滑坡灾害敏感性区划分析. 经过验证,各敏感性分区与实际发生的滑坡分布基本吻合,说明了评价结果的有效性. 对该研究区滑坡敏感性区划方法方面的探讨,为研究区滑坡灾害的空间预测提供资料和参考,也对

湖南省地质灾害气象精细化预警预报工作具有一定的现实意义.

参考文献:

[1]李媛. 区域降雨型滑坡预报预警方法研究[D]. 北京:中国地质大学,2005.

[2]曹洪洋,边亚东. 一种新的区域滑坡影响因子敏感性分析方法研究与应用[J]. 湖南科技大学学报:自然科学版,2009,24(2):49-52.

[3]杨命青,王万东,毋利军. 龙门山区震后山地灾害地质因素敏感性评价[J]. 中国安全科学学报,2010,20(10):3-7.

[4]殷坤龙,朱良峰. 滑坡灾害空间区划及 GIS 应用研究[J]. 地学前缘,2001,8(2):279-284.

[5]李明波,陈平,陈植华. 湖南省降雨型滑坡灾害发生的关键性因子研究[J]. 东华理工大学学报:自然科学版,2018,41(1):36-40.

[6]兰恒星,伍法权,王思敬. 基于 GIS 的滑坡 CF 多元回归模型及其应用[J]. 山地学报,2002,20(6):732-737.

[7]Heckeman D. Probabilistic interpretation for MYCIN's certainty factors[C]//Kanal L N, Lemmer J F, eds. Uncertainty in Artificial Intelligence. New York:Elsevier,1986:298-311.