

基于 GIS 的地质灾害危险性模糊数学评判

黄俊宝

(福建省地质环境监测中心, 福州, 350002)

摘 要 以福建长泰已发生地质灾害为例, 选取相对高差、流水地质作用、过程降雨量、地形坡度、岩土体类型、断裂构造、道路开挖堆填、已有地质灾害等 7 个评价因素, 采用模糊数学评判方法, 运用 GIS 平台进行指标取值、分级与成图, 最后完成地质灾害危险性评价。经验证, 定量评价与定性评价结果较吻合, 证明基于 GIS 的地质灾害危险性评价是切实可行的, 结论是可信的。

关键词 模糊数学评判 地质灾害 危险性评价 Map GIS

近年来, 基于 GIS 技术的区域地质灾害危险性评价和预测预警研究发展很快, 特别是全国县(市)地质灾害调查与信息系统建设项目的逐步实施完成, 使基于 GIS 系统的区域地质灾害危险性评价和预测预警快速推广普及。现有的区域危险性评价是请多位专家对地质灾害进行评定打分, 然后采用概率统计的方法得出结论, 因此现有的评价方法只是基于随机性的不确定性, 而对于模糊性的不确定性是很难起作用的。作者针对地质灾害的不确定性和模糊性, 采用模糊数学多层次综合评判的原理和方法, 并通过长泰县发生的地质灾害典型案例诱发因素对地质灾害危险性进行综合评价。探索基于 GIS 的模糊综合评判方法在地质灾害危险性评价中的具体应用^[1]。

1 模糊数学综合评判的基本原理及步骤^[2]

假设控制和影响区域地质灾害危险性的因素集合为

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\} \quad (1)$$

灾害危险性评价的评语集合为

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\} \quad (2)$$

式中: U 为一个模糊向量, V 为一个矩阵。

在 U 和 V 都给定之后, 因素论域与评语论域之间的模糊关系可以用模糊关系矩阵 R 来表示。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

收稿日期: 2009-06-19

作者简介: 黄俊宝 (1980-), 男, 硕士, 主要从事地质灾害防治, 地质灾害气象预警方面的工作。

根据模糊关系的定义， r_{ij} 表示第*i*种灾害评价因子可以被评为第*j*级灾害危险性的可能性，即*i*对*j*的隶属度。因此，模糊关系矩阵*R*中的第*i*行 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，实际上代表了第*i*个因子对各级灾害危险性标准的隶属度；而模糊关系矩阵中的第*j*列 $R_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj})$ ， $j = 1, 2, \dots, m$ ，则代表各个影响因子对第*i*级危险性标准的隶属性。

1.1 确定评价因子与评价集合

对长泰县地质灾害进行研究调查之后，根据上面评价指标体系，建立评价集*V*。

$$V = \{V_1、V_2、V_3、V_4\} = \{ \quad 、 \quad 、 \quad 、 \quad \}; \tag{4}$$

式中：*V*₁为地质灾害危险性低；*V*₂为地质灾害危险性较低；*V*₃为地质灾害危险性较高；*V*₄为地质灾害危险性高；并确定评价因子集*U*。

$$U = \{U_1、U_2、U_3、U_4、U_5、U_6、U_7、U_8\} \tag{5}$$

式中：*U*₁、*U*₂、*U*₃、*U*₄、*U*₅、*U*₆、*U*₇、*U*₈依次对应评价因素为相对高差、地形坡度、岩土类型、流水地质作用、过程降雨量、断裂构造密度、道路开挖堆填、已有地质灾害。

1.2 隶属函数的确定

一般来说，评判因素根据数据特征可分为定量因素和定性因素^[3]。对于定性因素，采用专家经验方法，确定评价因素对地质灾害危险性等级的隶属度（表1）。

表 1 评价因素的隶属度取值
Table 1 membership degree value of evaluation factor

评价因素	特 征 描 述	评价因素的隶属度阈值			
		危险性高	危险性较高	危险性较低	危险性低
岩土体类型	坚硬整体状结构、软硬相间层状结构岩石	0	0	0.2	0.8
	坚硬块状结构，风化堆积岩土	0	0.1	0.4	0.5
	块状结构岩石，具有软弱夹层或裂隙面	0.3	0.5	0.2	0
	残坡积岩土类，结构松散	0.8	0.2	0	0
河流水地质作用	常年冲刷	0.7	0.2	0.1	0
	冲刷堆积交替	0	0.5	0.5	0
	轻度冲刷	0	0.4	0.6	0
	冲刷或以堆积为主	0	0	0.3	0.7
灾害规模	小—无	0	0	0.1	0.9
	中等	0	0.4	0.6	0
	大	0	0.6	0.4	0
	很大	0.9	0.1	0	0

对于定量因素，采用降半梯形分布函数来确定评价因素对危险性等级的隶属度，并结合实际情况，可以得出隶属度函数图形，相对地形高差的隶属度函数图形（图 1）。

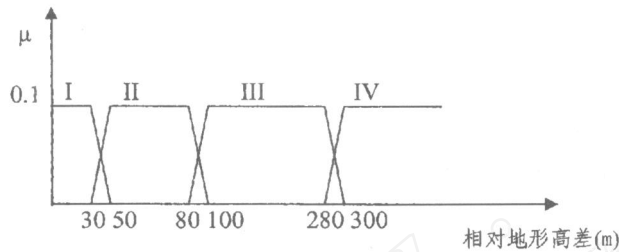


图 1 相对地形高差隶属度函数图

Fig 1 Relatively terrain elevation difference membership function

1.3 确定权重

权重是在多种评价因子综合时，对各个因子具有权衡轻重作用的数值，它要反映出不同评价因子间重要性程度的差异。作者采用层次分析法来确定各因素的权重，在多次专家咨询的基础上确定判别矩阵，利用线性代数方程，一般可以精确求出 R 的最大特征值及其相对应的特征向量。所求出的特征向量即为各评价因子的重要性排序，经过归一化处理获得评价因子的权重（表 2）。

表 2 评价因子权重值

Table 2 weight value of evaluation factor

指标	相对高差	地形坡度	岩土体类型	流水地质作用	过程降雨量	断裂构造密度	道路开挖堆填	已有地质灾害
权重值	0.1324	0.1259	0.1970	0.2117	0.1043	0.0478	0.0765	0.1043

由于事物客观的复杂性或者对事物认识的片面性，采用专家经验法构造的判别矩阵所求的特征向量（权值）是否客观合理，需要对矩阵进行一致性和随机性检验，检验公式为：

$$CR = CI / RI \tag{6}$$

式中： CR 为判别矩阵的随机一致性比率，也即判断权重值分配合理性指标； CI 为判别矩阵一致性指标。

对所构建的专家评价判断指标一致性进行计算检验，得出结果为 $CR = 0.0864$ 小于 0.1 符合一致性要求，权重分配合理，可以使用。

2 GIS 分析实现步骤

地质灾害危险性评价地质模型的建立，通常是以灾害学原理为基础，依据地质学理论对地质灾害的形成机理、发育特征、空间分布作深入完整的分析，建立地质灾害的环境背景因子集合。而评价模型的建立使得对地质灾害的评价研究趋向定量化和客观化，但是，地理信息系统（GIS）下的灾害评价预测是以图层信息为基础的。因此，对上述导致或决定或控制地质灾害发生及危险度的各种环境地质背景因素转换成图层信息。将上述反映致灾因子的地

质灾害危险性评价的地质模型转换成相应的图层信息。并对评价模型作进一步的实践化, 建立有 GIS 操作支持的分析过程。

2.1 标志图层量化

评价模型中所选取的评价因子并不都能直接从原始资料图层中获得, 因而要对当前图层进行量化处理, 以获得评价模型所需因子值。

(1) 首先假定地形等高线代表了一个光滑、连续的三维表面, 经对出版的 1:50000 地形图的等高线数字化, 把等高线转化为离散高程点, 建立该区的数字地面高程模型 (DTM), 然后通过地理信息系统的地形三维分析功能模块计算生成相应的坡度、坡向图。

(2) 多数地层构造较简单地区, 在获得一定数量的地层产状数据时, 通过插值加密, 推测得到整个地区的地层产状变化值, 可认为具有较高的可信度。

2.2 评价网格单元划分

评价网格单元的划分是灾害评价方法基础之一, 其划分原则将直接导致不同的分析及操作过程。各国研究者根据不同的研究目的和技术手段, 发展了多种划分方案。主要有地貌单元, 斜坡单元, 行政区划和规则网格单元^[4]。长泰县区域内地质灾害危险性评价研究的评价单元划分采用规则网格法划分区域。长泰县区域跨东经 $117^{\circ}36' \sim 117^{\circ}57'$, 北纬 $24^{\circ}34' \sim 24^{\circ}54'$, 总面积为 912.67 km^2 , 采用 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 地理格网 (实际网格 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$) 进行网格化, 网格划分依据基础图件为 1:50000 地形图与工程地质图, 全县总共划分为 910 个单元。

2.3 单元指标获取

GIS 技术不同于图形技术, 即不仅具有空间实体的图形表达与显示功能, 最主要是具有空间实体属性特征表达及空间分析等特点。在 Map GIS V6.0 软件平台中, 装入水系、地质断层等线形图层文件和评判单元区文件, 选择“叠加分析”功能, 获得叠加结果集; 以此数据集为基础, 再进行条件检索, 得到所有位于评价单元区编号为 N 的线面文件, 对检索结果进行“几何量测”分析, 得出线面文件。

2.4 模型求解

将编制的外部模糊数学统计分析模块, 以静态数据交换方式松散联接。采用 MapBasic 和 Visual C++ 编程语言, 实现模糊数学综合评判权重值的计算, 经网格化接口转换模糊变换, 计算成果送入 Map GIS, 计算获取网格单元模糊数学综合评判值, 采用其等值线或密度分割网格化彩色晕渲图解进行成果显示 (图 2)。

3 评判结果分析

区内条带性地质灾害主要分布在岩溪镇龙津溪一带沿岸, 以及坂里乡塔仔溪沿岸。全县约 70% 的地质灾害发生在切割强烈, 陡坡及相对高差较大的山区地段。由于城市建设的快速发展, 土地资源的开发利用活动强烈, 以及公路的建设, 常常形成切坡或者加载, 加大了斜坡的改造力度, 从而造成了边坡失稳或诱发各种老地质灾害的复活; 不合理的矿产开采和植被的破坏直接导致了灾害的发生频率, 使得地质灾害具有相对集中分布的特点。

(1) 地质灾害危险性低和较低区, 主要分布在东南部、东北部以及中部大部分地区, 其次是西北部中青年林场附近与华安县的交接区域, 总面积为 732.04 km^2 , 占全县面积的

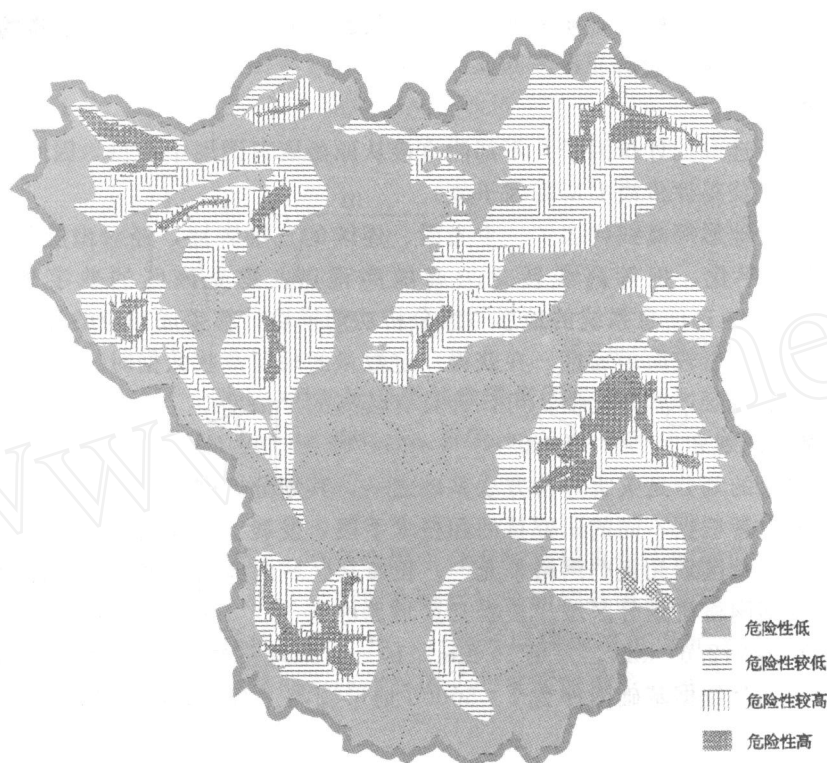


图 2 基于 GIS 的长泰县地质灾害危险性综合评价图

Fig 2 Geohazards risk synthetic evaluation on changtai county based on MapGIS

80.21%。

(2) 地质灾害危险性较高地区主要分布在坂里乡的新春、坂新、正达；枋洋镇的枋洋、乔美、赤岭、林溪；岩溪镇的湖珠、硅前、硅后、顶山；武安镇的登科、罗山、官山、溪东；总面积 128.18 km^2 ，占全县面积的 14.04%；

(3) 地质灾害危险性高的主要有坂里段、枋洋镇青阳段和吴田山段，总面积 52.45 km^2 ，占全县面积的 5.75%。

4 结论

从模糊数学理论引出的模糊综合评判，从量上把握、处理地质灾害危险性评价中存在的复杂性和模糊不确定性的问题，模糊综合评估方法中的多级模糊综合评估对这种影响因素层次性强的问题具有极好的适用性。通过以上的过程，可以得出基于模糊数学的地质灾害危险性评价计算简单，得到的结果具有科学性和合理性。不过模糊数学用到地质灾害危险性评价方面才起步，有不少问题如权向量的确定以及隶属度阈值（临界值）的确定等有待业内同行共同研究解决。

参 考 文 献

- 1 陈奇, 李智毅, 石怀伦. 区域地质灾害危险性评价的思路与基本方法. 地质力学学报, 2004, 10 (1)
- 2 周托, 钱林峰. 地质灾害危险性的灰色模糊综合评判模型, 西部探矿工程, 2005 (12)
- 3 宗辉. 地质灾害危险性评估的半定量评价方法, 地质灾害与环境保护, 2003, 14 (2)
- 4 李军, 周成虎. 基于栅格 GIS 滑坡风险评价方法中格网大小选取分析, 遥感学报, 2003, 7 (2)

Fuzzy Mathematics Judgement of Geohazards Regional Risk Evaluation Based on MapGIS

Huang Junbao

(Fujian Monitoring Center of Geological Environment, Fuzhou, 350002)

Abstract

Taking Changtai county in Fujian province as example, selected relatively elevation difference、geological process of water flow、process rainfall、terrain slope、rock soil mass types、fault structure、road excavation、happened geohazards as evaluation factor. The fuzzy judge way is applied to evaluation, and GIS is effectively adopted in picking up indication value and making chart. at last we can take the result of geohazards risk evaluation. Through verification, these evaluation systems are viable.

Key word fuzzy mathematics judgement, geohazards, risk evaluation, Map GIS