

技术方法

可拓学在济南市地质灾害易发性评价中的应用

王星荟¹, 孟凡奇²

(1. 中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉 430074; 2. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014)

摘要:介绍了可拓学的基本理论,并应用于地质灾害易发性划分。选取了岩土体类型、地形坡度、地质构造、已有灾害点数量、人类工程活动强度、多年平均降雨量为地质灾害易发性评价指标,运用层次分析法获得了评价指标的权重值,建立了基于可拓学理论的地质灾害易发性评价模型。以济南市为例,对可拓学模型的评价结果进行验证,该方法获得结果与实际吻合程度高,证明这一方法是切实可行的。

关键词:可拓学;地质灾害;易发性评价;济南

中图分类号:TD854.6

文献标识码:B

引文格式:王星荟,孟凡奇.可拓学在济南市地质灾害易发性评价中的应用[J].山东国土资源,2015,31(4):67-71.

WANG Xinghui, MENG Fanqi. Application of Extension Method of Probability Evaluation of Geological Hazards in Jinan City[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(4): 67-71.

0 引言

我国的地质灾害种类多、发灾频率高、威胁人口多、造成经济损失大。地质灾害易发性评价是地质灾害防治工作的要点,其评价结果可为地方政府的地质灾害防治规划、预警预报、经济发展规划等工作提供重要的科学依据。国内外学者多采用专家经验法、打分法、综合危险性指数法、信息量法等方法进行研究,并取得了丰硕的成果^[1-5]。但是传统方法受研究人员的专业知识水平不同造成对研究区认知程度差异的影响,往往选用的评价模型运算精度不高,造成评价结果与实际吻合程度较低的情况。因此建立一种既能通过将评价因子数据分级来帮助研究者认知地质灾害发育程度,又能提高评价精度的地质灾害模型十分必要。

可拓学是以广东工业大学的蔡文研究员为首的中国学者创立的新学科,该方法在泥石流危险度评

价、边坡稳定性、以及工业、医学经济等领域应用十分广泛^[6]。该文将可拓学运用到地质灾害易发性评价中,采取了层次分析法对易发性影响因子进行权重计算,构建了基于可拓学的地质灾害易发性评价模型,并以济南市地质灾害为例进行验证。

1 可拓方法

1.1 物元理论

可拓学理论是以事物、特征及事物关于该特征的量值三者所组成三元组,记作 R (事物、特征、量值)^[7],可将诸多同征物元用简单的方法表示出来:

$$R = R_i(N_i, c_i, v_i) = \begin{bmatrix} N_i & a_1 & v_1 \\ & a_2 & v_2 \\ & L & L \\ & a_n & v_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: R 为 n 维物元; N_i 为事物的名称; a_i 为特征; v_i 为特征 a_i 所对应的量值,合称为物元的三要素。

1.2 确定经典域

$$R_{0j} = (N_{0j}, C, V_{0ji}) = \begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & v_{0j1} \\ & c_2 & v_{0j2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & v_{0jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & \langle a_{0j1}, b_{0j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{0j2}, b_{0j2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & c_n & \langle a_{0jn}, b_{0jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

收稿日期:2014-06-18;修订日期:2014-09-29;编辑:曹丽丽

作者简介:王星荟(1994-),女,江苏高邮人,在校学生,地下水科学与工程专业;E-mail:619637319@qq.com

式中: N_{0j} 表示地质灾害易发性评价的第 j ($j=1, 2, 3, \dots, m$) 个等级; c_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) 表示地质灾害易发性评价等级 N_{0j} 的第 j 个评价因子; $V_{0ji} = \langle a_{0ji}, b_{0ji} \rangle$ 为 N_{0j} 关于因素 c_i 所确定的量值范围, 即

$$R_p = (P, C, V_p) = \begin{bmatrix} P & c_1 & V_{p1} \\ & c_2 & V_{p2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & V_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & c_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: P 为地质灾害易发性评价等级的全体; $V_{pi} = \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ 为 P 关于因素 c_i 所取量值的范围, 即 P 的节域。

1.4 确定待评物元

对于待评 p , 把所收集到的地理信息数据或分析结果用物元表示, 即得到待评物元 R 。

$$R = (P, C, v_i) = \begin{bmatrix} P & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: p 为待评的目标区域, v_i 为 p 关于评价 c_i 的

1.6 确定评价指标关于各等级的关联度

各单项评价指标 v_i 关于各等级 j 的关联度为:

$$K_{0j}(v_i) = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, V_{0ji})}{\rho(v_i, V_{pi}) - \rho(v_i, V_{0ji})} & \rho(v_i, V_{pi}) - \rho(v_i, V_{0ji}) \neq 0 \\ -\rho(v_i, V_{0ji}) - 1 & \rho(v_i, V_{pi}) - \rho(v_i, V_{0ji}) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{式中: } \rho(v_i, V_{0ji}) = |v_i - \frac{a_{0ji} + b_{0ji}}{2}| - \frac{b_{0ji} - a_{0ji}}{2} \quad \rho(v_i, V_{pi}) = |v_i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2}| - \frac{b_{pi} - a_{pi}}{2}$$

1.7 待评物元关于各类别等级的关联度

待评目标 p 关于评价等级 j 的关联度为

$$K_{0j}(P) = \sum_{j=1}^m a_j K_{0j}(v_i) \quad (6)$$

式中: a_i 为指标 c_i 的权系数, 且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。

1.8 可拓评判等级

若 $K_{j\max}(P) = \max_{j \in \{1, 2, 3, \dots, m\}} K_{0j}(p)$, 则评定 p 属于等级 j 。

$$\bar{K}_{0j}(P) = \frac{K_{0j}(p) - \min_j K_{0j}(p)}{\max_j K_{0j}(p) - \min_j K_{0j}(p)} \quad (7)$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \bar{K}_{0j}(p)}{\sum_{j=1}^m \bar{K}_{0j}(p)} \quad (8)$$

则称 j^* 为 p 的级别变量特征值, 从 j^* 中可看出偏向另一类的程度。

地质灾害易发性评价各等级关于对应的评价因子所取的数据范围——经典域^[8]。

1.3 确定节域

量值, 即待评区域的具体数据。

1.5 确定权系数

该文采用层次分析法来进行权重计算, 可按下面 4 个步骤进行: 建立递阶层次结构模型; 构造出各层次中的所有判断矩阵; 层次单排序及一致性检验; 层次总排序及一致性检验。其核心内容是通过因子进行两两比较建立成对判断矩阵, 即每次取两个因子 x_i 和 x_j , 以 a_{ij} 表示 x_i 和 x_j 对 Z 的影响大小之比, 其全部比较结果用矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 表示。

2 济南市地质灾害易发性评价

2.1 济南市地质灾害概况

济南市是山东省地质灾害较发育的城市之一, 地貌整体上呈南高北低之势, 南部地处泰山余脉为低山丘陵区, 岩性以泰山岩群变质岩和寒武-奥陶纪灰岩为主, 北部为黄河冲积平原区。据统计, 截至 2012 年底, 济南市共有地质灾害点 230 处, 其中崩塌 133 处, 滑坡 32 处, 泥石流 10 处, 地面塌陷 54 处, 地裂缝 1 处, 其中崩塌、滑坡、泥石流灾害点主要分布在济南市南部的低山丘陵区, 地面塌陷、地裂缝主要分布在地下矿产开采区和第四系覆盖层较薄, 且地下水位波动较大的隐伏灰岩区。

2.2 评价思路

根据《县市地质灾害调查与区划基本要求》将地质灾害易发程度划分为高易发区、中易发区、低易发

区和不易发区,济南市底图按照 1 km×1 km 单元格进行划分,每一个单元格视作一个待评物元,参考前人研究成果^[9-10],将每个单元格对应的评价指标进行赋值,运用层次分析法对评价指标进行赋权,构建可拓学模型进行分析评价,确定其对应的等级。

2.3 评价指标确定

根据济南市地质灾害实地调查中发现,该市地质灾害发育程度存在受地形地貌、地质构造、地层岩性影响较大,多由大气降雨所引发,且在削坡修路建房的地区尤甚的情况,参考前人在地质灾害易发性评价时所总结的经验,选取了岩土体类型、地形坡度、地质构造、已有灾害点数量、人类工程活动强度、多年平均降雨量共 6 个地质灾害易发性评价指标。由于各个评价指标的数值和单位不同,且有的指标是非定量的,因此必须对所有指标进行量化处理,将定性和定量描述的指标有机的结合起来,指标量化值见表 1。量化后将评价指标归一化处理,使数值满足 0~1 之间,再参考其他文献所划定分类标准^[11-13],划分标准见表 2。

表 1 地质灾害易发性分区可拓方法评价指标量值

序号	评价指标	类别	对应量值
C ₁	岩土体类型	较弱砂砾岩以及粘土岩层	0.75~1.0
		软硬相间层状碳酸盐岩、较坚硬砂砾岩	0.6~0.75
		较坚硬碳酸盐岩、坚硬块状中等变质岩	0.3~0.6
		坚硬碳酸盐岩、侵入岩	0~0.3
C ₂	地形坡度	0°~20°	0.8~1.0
		20°~40°	0.4~0.8
		40°~60°	0.2~0.4
		>60°	0~0.2
C ₃	地质构造	强烈	0.8~1.0
		中等	0.4~0.8
		弱	0.1~0.4
		无	0~0.1
C ₄	已有灾害点数量	>3	0.85~1.0
		2	0.6~0.85
		1	0.3~0.6
		0	0~0.2
C ₅	人类工程活动强度	强烈	0.75~1.0
		较强烈	0.5~0.75
		一般	0.3~0.5
		微弱	0~0.3
C ₆	多年平均降雨量	>1000	0.85~1.0
		800~1000	0.65~0.85
		600~800	0.3~0.65
		0~600	0~0.3

表 2 地质灾害易发评价各指标分类标准

序号	评价指标	易发性评价分区			
		高(Ⅳ)	中(Ⅲ)	低(Ⅱ)	不(Ⅰ)
C ₁	岩土体类型	0.75~1.0	0.6~0.75	0.3~0.6	0~0.3
C ₂	地形坡度	0.8~1.0	0.4~0.8	0.2~0.4	0~0.2
C ₃	地质构造	0.8~1.0	0.4~0.8	0.2~0.4	0~0.2
C ₄	已有灾害点数量	0.85~1.0	0.6~0.85	0.3~0.6	0~0.2
C ₅	人类工程活动强度	0.75~1.0	0.5~0.75	0.3~0.5	0~0.3
C ₆	多年平均降雨量	0.85~1.0	0.65~0.85	0.3~0.65	0~0.3

2.4 权重确定

该次研究中利用层次分析法来确定各因子的权重,根据层次分析法的基本步骤,将评价指标分为基础因子、响应因子和诱发因子,建立济南市地质灾害易发性各评价指标的递阶模型(图 1)。

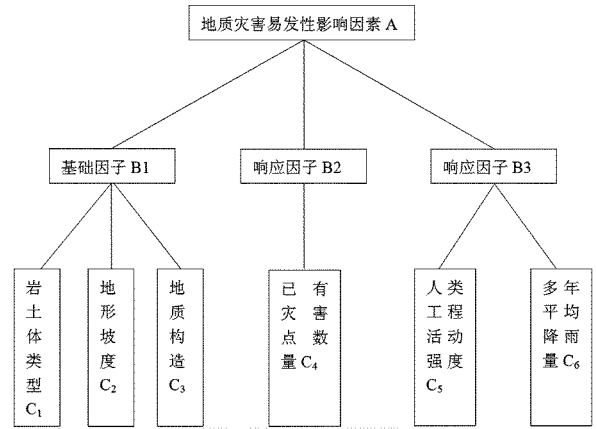


图 1 地质灾害影响因子递阶层次模型

构建判断矩阵 A - B 为：
$$\begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 \\ 1/4 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

判断矩阵 B1 - C 为：
$$\begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 2 \\ 5 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

判断矩阵 B3 - C 为：
$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

经计算并通过一致性检验, C₁, C₂, C₃, C₄, C₅, C₆ 的权重分别为 0.285, 0.082, 0.203, 0.140, 0.194, 0.096。

2.5 确定经典域及节域

根据表 2 数据确定经典域 R₀₁, R₀₂, R₀₃, R₀₄ 和节域 R_p。

(1)经典域

$$R_{01} = \begin{bmatrix} N_{01} & C_1 & <0.75, 1.0> \\ & C_2 & <0.8, 1.0> \\ & C_3 & <0.8, 1.0> \\ & C_4 & <0.85, 1.0> \\ & C_5 & <0.75, 1.0> \\ & C_6 & <0.85, 1.0> \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$R_{02} = \begin{bmatrix} N_{02} & C_1 & <0.6, 0.75> \\ & C_2 & <0.4, 0.8> \\ & C_3 & <0.4, 0.8> \\ & C_4 & <0.6, 0.85> \\ & C_5 & <0.5, 0.75> \\ & C_6 & <0.65, 0.85> \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$R_{03} = \begin{bmatrix} N_{03} & C_1 & <0.3, 0.6> \\ & C_2 & <0.2, 0.4> \\ & C_3 & <0.2, 0.4> \\ & C_4 & <0.3, 0.6> \\ & C_5 & <0.3, 0.5> \\ & C_6 & <0.3, 0.65> \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$R_{04} = \begin{bmatrix} N_{04} & C_1 & <0, 0.3> \\ & C_2 & <0, 0.2> \\ & C_3 & <0, 0.2> \\ & C_4 & <0, 0.2> \\ & C_5 & <0, 0.3> \\ & C_6 & <0, 0.3> \end{bmatrix} \quad (12)$$

(2) 节域

$$R_p = \begin{bmatrix} P & C_1 & <0, 1.0> \\ & C_2 & <0, 1.0> \\ & C_3 & <0, 1.0> \\ & C_4 & <0, 1.0> \\ & C_5 & <0, 1.0> \\ & C_6 & <0, 1.0> \end{bmatrix} \quad (13)$$

2.6 可拓学评价

将济南市按照 1 km×1 km 划分的每一个单元格作为一个待评单元,对其每一项指标进行量化赋值,根据表 2、表 3 和所有待评物元及经典域、节域、层次分析法确定权重系数,进行编程计算,获得每个单元的地质灾害易发程度可拓学评价结果。例如某一单元格的数据为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} N_1 & C_1 & 0.64 \\ & C_2 & 0.37 \\ & C_3 & 0.53 \\ & C_4 & 0.82 \\ & C_5 & 0.59 \\ & C_6 & 0.44 \end{bmatrix} \quad (14)$$

经判定, R_1 为Ⅲ级,对应的地质灾害易发级别为中易发区。通过可拓学模型计算研究区内的所有单元格的易发等级,从而获得济南市地质灾害易发性分区评价图(图 2)。

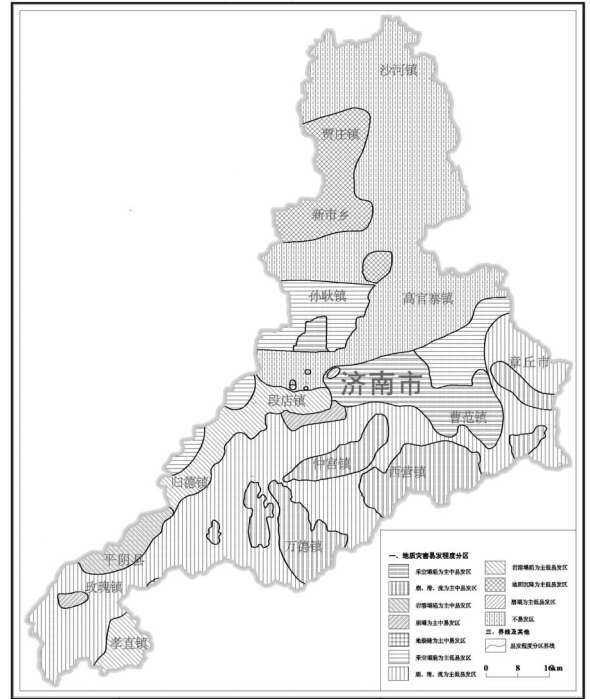


图 2 济南市地质灾害易发性分区图

2.7 应用分析

济南市南部为低山丘陵区,具有地质构造较发育、灾害分布密度密集、地形高差大、灾害发育程度较大的特点,与地质灾害中、低易发区评价结果相符合。济南北部地区地形平坦,受地形地貌影响,崩塌滑坡泥石流不发育,虽有地下采矿和地下水集中开采活动,但形成的地面塌陷、地裂缝灾害点少,与地质灾害低发育和不易发区评价结果吻合程度较高。地质灾害易发性评价结果和实地发育情况吻合程度高,证明了选取的评价因子和权重的赋值是合理的,也对应了济南地质灾害整体上发育程度不高,灾害易发性南强北弱的特点。

值得注意的是,受地理位置的影响,其他地区在选取地质灾害易发性评价因子和权重赋值时,应充分考虑当地实际情况进行适当调整因子数量和权重大小。

3 结论

该文利用可拓学评价理论,将地质灾害易发性评价因子进行了合理分级,并提高了研究者对评价区地质灾害发育情况的认识程度。建立了基于可拓学的地质灾害易发性评价模型,并运用于济南地区。研究表明,该方法确定的评价等级真实地反映了该区地质灾害易发程度,评价精度较高,应用于地质灾害易发性评价是可行的、可靠的。

参考文献:

- [1] 张有全,宫辉力,李巧刚. 基于 GIS 的北京市延庆县地质灾害易发性区域划分[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(4): 17-20.
- [2] 高治群,薛传东,尹飞,等. 基于 GIS 的信息量法及其地质灾害易发性评价中应用—以滇中晋宁县为例[J]. 2010, 46(6): 1112-1116.
- [3] 王哲,易发成. 基于层次分析法的绵阳市地质灾害易发性评价[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 14-23.
- [4] 阮沈勇,黄润秋. 基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(1): 89-92.
- [5] 霍艾迪,张俊,卢玉东,等. 地质灾害易发性评价单元划分方法——以陕西省黄陵县为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(2): 58-64.
- [6] 蔡文,杨春燕,林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [7] 蔡文,杨春燕,王光华. 一门新的交叉学科——可拓学[J]. 中国科学基金, 2004, (5): 268-272.
- [8] 蔡文. 可拓论及其应用[J]. 科学通报, 1999, 44(7): 673-682.
- [9] 王学,张阻陆,张超,等. 山东省地质环境质量评价研究[J]. 山东国土资源, 2011, 27(8): 14-17.
- [10] 张以晨,佴磊,孟凡奇,等. 基于最优组合赋权理论的可拓学评价模型在地质灾害易发区划分中的应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(4): 1110-1115.
- [11] 高敏,陈剑平,王征亮,等. 向家河大桥库岸地质灾害危险性分区的可拓学评价[J]. 岩土力学, 2007, 28(11): 2445-2450.
- [12] 谢晓娟. 地质环境条件及诱发因素在地质灾害易发分区中定量化评价初探[J]. 探矿工程, 2003, (增刊): 93-95.
- [13] 吕勇,李高良,张贵,等. 彝良县地质灾害分布特征及防治建议[J]. 中国岩溶, 2009, 28(2): 219-224.

Application of Extension Method of Probability Evaluation of Geological Hazards in Jinan City

WANG Xinghui, MENG Fanqi

(1. Environment College of China University of Geosciences, Hubei Wuhan 430074, China; 2. Shandong Monitoring Center of Geological Environment, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: Basic theory of extension method is introduced in this paper. It can be applied in geological hazard probability of occurrence assessment. Selecting rock soil mass types, hill slope, geological structure, the number of disaster, intensity of human engineering activity and multi-year average precipitation as the evaluation indexes, using the method of analytic hierarchy process for weight value, susceptibility evaluation model has been established based on extension theory of geological disaster. Taking Jinan city as an example, the extension evaluation model is used to validate the results. The results obtained by using this method can agree with the actual situation highly. It is proved that this method is feasible.

Key words: extension theory; geological hazard; evaluation of probability of occurrence; Jinan city