

基于组合赋权法的地质灾害可拓学评价模型研究

李映红¹, 陶占盛², 秦喜文², 王新民²

(1. 长春大学 理学院, 130012 吉林 长春, lyhttt@yeah.net; 2. 长春工业大学 应用数学研究所 吉林 长春 130012)

摘 要: 针对将组合确定赋权法应用于可拓学评价模型中, 提出了地质灾害评价的一种新方法. 以吉林省地质灾害监测资料为依据, 利用物元理论、可拓集合理论及其关联函数, 确定了地质灾害的经典域和节域. 实验证明, 采用模糊层次分析法(FAHP)与熵值法相结合的组合赋权法确定权重, 建立了地质灾害可拓学综合评价模型, 得出了符合实际的分区等级.

关键词: 可拓学评价; 熵值法; 组合赋权; 地质灾害

中图分类号: X43

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2011)11-0141-04

Combination weight method for determining the index weight in geological disaster risk extenics evaluation

LI Ying-hong¹, TAO Zhan-sheng², QIN Xi-wen², WANG Xin-min²

(1. School of Sciences, Changchun University, 130022 Changchun, China, lyhttt@yeah.net;

2. Institute of Applied Mathematics, Changchun University of Technology, 130012 Changchun, China)

Abstract: Based on combination weight method in extenics evaluation model, this paper proposed a new geological disaster evaluation method. According to the monitoring data of geological disasters in Jilin Province, and by using matter-element theory, extension set theory and its associated functions, the geological disasters in the field of classical field and the section was determined. To determine the weight, we created a geological disaster extenics comprehensive evaluation model by the fuzzy analytic hierarchy process(FAHP) and the combination entropy weighting method, and finally go to the realistic district level.

Key words: extenics evaluation; entropy method; combination weight; geological disaster risk

中国是世界上地质灾害危害最严重的国家之一, 由于地域辽阔、经度和纬度跨度大、自然地理条件复杂, 导致地质灾害发生频率高、分布地域广、灾害损失大, 直接影响到国民经济的发展. 因此, 对地质灾害的防治及预测任务艰巨^[1]. 近年来, 区域地质灾害危险性评价模型成为灾害学研究中一项重要内容, 国内外部分学者在这一领域做了大量的理论探索和案例分析工作^[2-3].

可拓学的核心是把矛盾问题转化为相容问题, 可拓学的关键则是确定评价指标权重系数, 本文将采用模糊层次分析法(FAHP)与熵值法相结合的组合赋权法确定权重, 其给出的指标权重值

比德尔菲法和层次分析法有较高的可信度. 为预测地质灾害危险性等级, 防治地质灾害以及采取相应的措施提供了科学的、合理的依据.

1 基于组合赋权法的可拓学评价模型

1.1 可拓学的基本思想

可拓学是我国学者蔡文教授于1983年创立的一门新学科. 可拓综合评价是建立在可拓集合基础上的评价方法. 这种评价方法不仅能从数量上反映被评价对象本身存在状态的所属程度, 而且更具特色的是能从数量上刻画何时为此性态与彼性态的分界, 为描述对象的动态变化带来了方便^[4].

1.2 可拓学评价步骤

1) 确定经典域与节域. 可拓综合评价中各评价等级关于对应评价因素所取的数据范围, 即经典域.

$$R_j(N_j, C, V_j) =$$

收稿日期: 2010-10-15.

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2009ZX07424-002); 吉林省科技厅资助项目(20080453).

作者简介: 李映红(1966—), 女, 副教授.

$$\begin{bmatrix} N_j, & C_1, & V_{1j} \\ & C_2, & V_{2j} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n, & V_{nj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j, & C_1 & (a_{1j}, b_{1j}) \\ & C_2, & (a_{2j}, b_{2j}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n, & (a_{nj}, b_{nj}) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

式中: N_j 为所划分的第 j ($j = 1, 2, \dots, m$) 个评价等级; C_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 为影响评价等级 N_j 的因素; $V_{ij} = (a_{ij}, b_{ij})$ 为 N_j 关于因素 C_i 所确定的量值范围。

可拓综合评价中评价等级的全体关于评价因素 C_i 所取的量值范围, 即节域。

$$R(P, C, V_p) = \begin{bmatrix} P, & C_1, & V_{1p} \\ & C_2, & V_{2p} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n, & V_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P, & C_1, & (a_{1p}, b_{1p}) \\ & C_2, & (a_{2p}, b_{2p}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n, & (a_{np}, b_{np}) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

式中: P 为评价等级的全体; V_{ip} 为 P 关于因素 C_i 所取的量值范围, 即 P 的节域。

2) 确定待评物元。对于待评事物 (评价等级) P , 所收集到的数据用物元表示, 即可得到待评物元 R 为

$$R_j(P, C, v) = \begin{bmatrix} P, & C_1, & v_1 \\ & C_2, & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n, & v_n \end{bmatrix}. \quad (3)$$

式中: P 为待评的评价等级; C_i 为影响评价等级的因素; v_i 为 P 关于 C_i 的量值, 即从待评事物所收集到的数据。

3) 确定权系数。权系数是反映评价标准重要程度的量化系数, 它的大小对于评价的精确性具有举足轻重的作用, 不同的权系数会得到不同的结果。本文将采用模糊层次分析法 (FAHP) 与熵值法相结合的组合赋权法确定权重, 首先对主观判断法中的 AHP 法进行改进为模糊层次分析法 (FAHP), 然后与客观分析法中的熵值法进行组合优化, 以求得各评价指标的权重。组合赋权法综合考虑了指标的主、客观成分, 将专家判断和客观分析相结合以得到较为理想、实际的权重值。

4) 确定关联度。由关联函数可以得到各单项评价指标 v_i 关于各类别等级 j 的关联度 $K_j(v_i)$ 为

$$\begin{cases} \frac{\rho(v_i, V_{ij})}{\rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij})}, & \rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij}) \neq 0; \\ -\rho(v_i, V_{ij}), & \rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij}) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

其中:

$$\rho(v_i, V_{ij}) = \left| v_i - \frac{a_{ij} + b_{ij}}{2} \right| - \frac{a_{ij} - b_{ij}}{2},$$

$$\rho(v_i, V_{ip}) = \left| v_i - \frac{a_{ip} + b_{ip}}{2} \right| - \frac{a_{ip} - b_{ip}}{2}.$$

待评事物 P 关于等级 j 的关联度为

$$K_j(P) = \sum_{i=1}^n W_i K_j(v_i). \quad (5)$$

式中: W_i 为各评价指标的权系数, 且 $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ 。

5) 确定评定等级为

$$K_{j\max}(P) = \sum_{j=1}^n \{W_j(P)\} = K_{j_0}(P). \quad (6)$$

则可判定待评价体 P 属于 t_0 类, 而 $K_{j\max}(P)$ 的数值大小及相互关系则可定量的反映评价单元属于类别 t_0 的程度。

1.3 确定权重方法

1.3.1 模糊层次分析法

模糊层次分析法 (Fuzzy Analytic Hierarchy Process, FAHP) 将模糊数学中的综合评判法引入了层次分析法中, 模糊层次分析法同普通层次分析法主要有 2 点区别: 1) 层次分析法中的判断矩阵和模糊层次分析法是不同的; 2) 用判断矩阵求各因素权重的方法和用模糊一致矩阵求各因素权重的方法不同^[5]。

1) 构造模糊判断矩阵。通过元素间的两两比较构造模糊互补判断矩阵 (简称模糊判断矩阵) $R = (r_{ij})_{m \times n}$, 其表示针对上层某准则, 本层与之有关元素之间的相对重要性程度。其中: r_{ij} 为第 i 个元素 a_i 与第 j 个元素 a_j 的相对重要性程度, 即 ① $r_{ij} = 0.5$, 表示 a_i 与 a_j 同样重要; ② $0 \leq r_{ij} < 0.5$, 表示 a_j 比 a_i 重要, 且 r_{ij} 越小, a_j 比 a_i 越重要; ③ $0.5 < r_{ij} \leq 1$, 表示 a_i 比 a_j 重要, 且 r_{ij} 越大, a_i 比 a_j 越重要。对于模糊判断矩阵中两两元素重要性比较的定量描述利用 0.1 ~ 0.9 九标度。

2) 模糊判断矩阵的一致性检验与权重求解。模糊矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 是模糊一致矩阵的充分必要条件是存在 n 阶非负归一化的向量 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 及正数 a , 使得 $\forall i, j, r_{ij} = a(w_i - w_j) + 0.5$ 成立。

若 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 是模糊一致矩阵, 则其权重向量为

$$w_i = \frac{1}{n} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{n\alpha} \sum_{k=1}^n r_{ik}, \quad i \in \Omega. \quad (7)$$

设 R 是模糊互补矩阵, 如果其非负归一化权重向量满足式 (7), 则其中参数 a 必然满足

$$a \geq 0.5(n-1).$$

式中: a 越大, 权重之差越小; a 越小, 权重之差越大. 当 $a = 0.5(n - 1)$ 时权重之差达到最大. 因此, “越小表明决策者非常重视元素间重要程度的差异, a 越大表明决策者不是非常重视元素间重要程度的差异. 在实际应用中取 $a = 0.5(n - 1)$, 这是重视元素间重要程度差异的取法.

模糊判断矩阵的一致性反映了人们思维判断的一致性, 但在实际决策分析中, 由于所研究问题的复杂性和人们认识上可能产生的片面性, 使构造出的模糊判断矩阵往往不具有一致性. 此时, 需要对模糊判断矩阵进行一致性程度的检验. 如不满足一致性要求则需对模糊判断矩阵进行调整.

1.3.2 熵值法

信息熵是信息论中用于度量信息量的一个尺度, 相对于指标理想值而言, 指标值变化得越快, 得到的指标信息熵就越小, 其效用值越大, 指标权重就越大; 反之, 信息熵越大, 其信息的效用值越小, 指标权重越小^[6-7]. 因此, 熵在应用于不同决策过程的评价或案例的效果评价时是一个很理想的尺度.

熵值法确定权重的步骤为:

1) 构建待评价矩阵. 考虑一个评价系统, 假设获得 m 个样本的 n 个评价指标的初始数据矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$, 由于各指标的量纲、数量级及指标优劣的取向均有很大差异, 故需对初始数据做规范化处理. 得数据的标准化矩阵为

$$Y = (y_{ij})_{m \times n}.$$
 (8)

2) 计算评价指标 C_i 的熵值. 由于信息熵可用来度量指标 C_i 的信息(指标的数据)的效用价值, 度量指标 C_i 的熵值为

$$H_i = -k \sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}, \quad i = 1, 2, \cdots, n.$$
 (9)

其中: $f_{ij} = y_{ij} / (\sum_{j=1}^m y_{ij})$, $k = 1 / (\ln m)$.

式中常数 k 与系统的样本数 m 有关.

3) 计算评价指标 C_i 的熵权值. 利用熵值法估算各指标的权重, 其本质是利用该指标信息的价值系数来计算的, 其价值系数越高, 对评价的重要性就越大(或称对评价结果的贡献越大), 于是评价指标 C_i 的权重为

$$w_i = (1 - H_i) / (n - \sum_{i=1}^n H_i).$$
 (10)

熵值法是根据各指标所含信息有序度的差异性, 也就是信息的效用价值来确定该指标的权重. 熵值法具有更高的客观性, 在通常一些分析方法中无法使用的类别数据可以在该方法中很好的使

用, 而且实施简便.

1.3.3 组合赋权法

为了克服主观权重法的不足, 人们研究了客观赋权法. 客观权重法的原始数据来源于各指标的实际数据, 切断了指标权重主观性的来源, 使权重具有绝对的客观性. 但该方法过分依赖于客观数据, 而忽视了专家在确定权重中应有的重要性, 计算出的结果也往往不尽人意或相差较远. 从而, 权重的确定应该是评价指标客观信息与评价者主观判断两者综合的反映, 应该把各评价指标的主、客观权重进行综合, 才能正确地反映各指标的实际权重. 在实践中, 人们一般采用线性加权组合法来确定评价指标的权重, 即

$$\omega_i = \lambda_i \alpha_i + (1 - \lambda_i) \beta_i (i = 1, 2, \cdots, n).$$
 (11)

式中: α_i, β_i 分别为第 i 个评价指标的主、客观权重; $\lambda_i (0 < \lambda_i < 1)$ 为评价指标 C_i 主、客观权重的偏好系数.

对于线性加权组合法来说, 其关键是确定主、客观权重的偏好系数 λ_i . 在现有的文献中, 一般都是根据判断者的经验来选取 λ_i 值, 从而带有很大的主观随意性, 这是不科学的. 对于不同的人根据自己的经验选取 λ_i 值来确定同一指标体系中各指标的组合同权重时, 其结果将会产生很大的差异. 为了尽可能地缩小由于主观随意性对组合权重值的影响, 本文提出了一种综合分析方法来选取评价指标主、客观权重的偏好系数 λ_i 的值, 其具体操作步骤为:

1) 根据各评价指标的主、客观权重大小分别进行排序;

2) 若主、客观权重确定的指标排序一致, 则取 $\lambda_i = 0.5$;

3) 若评价指标 C_i 的主观权重排序先于评价指标 C_i 的客观权重排序, 由客观权重法得出的权重对于确定各评价指标的综合权重具有较小的参考价值, 则取 $0.5 < \lambda_i < 1$;

4) 若评价指标 C_i 的客观权重排序先于评价指标 C_i 的主观权重排序, 由主观权重法得出的权重对于确定各评价指标的综合权重具有较小的参考价值, 则取 $0 < \lambda_i < 0.5$.

2 应用实例

基于熵值法的地质灾害可拓学危险性评价的基本思想是: 首先, 根据结合研究区实际情况, 结合地质灾害危险性评估技术要求, 将吉林省地质灾害危险性评价分为 4 个等级: 非易发区、低易

发区、中易发区和高易发区；再根据野外资料和搜集的数据资料等确定各等级的数据范围,采用熵值法计算各指标的权重,将待评地质灾害分布区的指标代入各等级的集合中进行多指标评定,得到研究区各个单元格的评价等级。

在地质灾害危险性的综合评价中,选择合理的评价预测指标是至关重要的^[8]。评价指标的选取主要采用定性分析各因素对吉林省地质环境影响的主次关系并结合吉林省地质灾害的实际情况,经过筛选确定选择的 7 种评价指标:森林覆盖率、年平均降雨量、地形地貌、地质构造、岩土体、灾害点密度和人类工程活动。因为参评各指标值的量纲不同,量值相差悬殊,必须把影响地质灾害危险性的指标进行归一化处理。可获得地质灾害稳定性等级的经典域和相应的节域。

以吉林省地质灾害监测资料为依托,为了保证模型计算的准确性,按 5 km × 5 km 网格为基本评价单元,对每一评价单元中的每一项评价指标进行仔细分析,进行量化赋值,得出各分布区的评价指标量值,按照式(3)建立相应的待评物元。

通过 5 702 个单元格的归一化数据利用组合赋权法确定权重。利用组合赋权法得到

$$\omega_i = \lambda_i \alpha_i + (1 - \lambda_i) \beta_i.$$

且可以得到各参评指标权重分配系数为

$$W = \{0.0306\ 6, 0.009\ 73, 0.070\ 89, 0.278\ 73, 0.126\ 96, 0.342\ 70, 0.140\ 33\}^T.$$

$$\text{其中 } \sum_{i=1}^7 w_i = 1.$$

通过可拓学评价模型就可以得到研究区所有单元格的等级,利用 mapgis 做出吉林省地质灾害易发区划分图^[9-11],如图 1 所示。

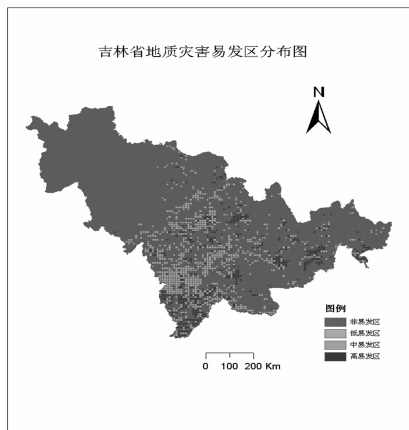


图 1 吉林省地质灾害危险性等级分类

3 结 论

1) 以确定地质灾害危险性评价的指标权重为切入点,将模糊层次分析法(FAHP)与客观分析法中的熵值法进行综合优化,并对主、客观权重的偏好系数的取值进行了探讨。

2) 最大权重的指标是灾害点密度,对吉林省地质灾害危险性等级进行划分,其评价结果是合理可行的,从而可以提高评价指标权重值的客观性、科学性和可信性,使之求得的评价指标权重更为合理、可靠,为地质灾害危险性分区评价提供了一种新的、有效的方法。

参考文献:

- [1] 刘传正. 单体地质灾害应急预案编制与实施问题[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(3): 92-98.
- [2] 吴树仁, 石菊松, 王涛, 等. 地质灾害活动强度评估的原理、方法和实例[J]. 地质通报, 2009, 28(8): 1127-1137.
- [3] 向灵芝, 崔鹏, 张建强, 等. 汶川县地震诱发崩滑灾害影响因素的敏感性分析[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2010, 42(5): 105-112.
- [4] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [5] LERMONTOV A, YOKOYAMA L, LERMONTOV M, et al. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do IguaPe river watershed, Brazil[J]. Ecological Indicators, 2009, 9(6): 1188-1197.
- [6] CARRANZA E J M, HALE M. Spatial association of mineral occurrences and curvilinear geological features[J]. Mathematical Geology, 2002, 34(2): 203-221.
- [7] ABDOU S, SAVOY J. Statistical and comparative evaluation of various indexing and search models[C]//Proceedings of the Conference on Alliance of Information and Referral Systems (AIRS'06). [S. l.]: Lecture Notes in Computer Science, 2006: 362-373.
- [8] 赵海卿, 李广杰, 张哲寰. 吉林省东部山区地质灾害危害性评价[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(1): 119-124.
- [9] XIE M W, ESAKI T, ZHOU G Y. GIS-based probabilistic mapping of landslide hazard using a three-dimensional deterministic model[J]. Natural Hazards, 2004, 33(2): 265-282.
- [10] ALEXANDER D E. A brief survey of GIS in mass-movemeni studies, with reflections on theory and methods[J]. Geomorphology, 2008, 94(3/4): 261-267.
- [11] CARRARA A, PIKE R J. GIS technology and models for assessing landslide hazard and risk[J]. Geomorphology, 2008, 94(3/4): 257-260.

(编辑 张 红)