

# 层次分析法在确定顶煤可放性各因素权重中的应用

夏小刚<sup>1,2</sup>, 黄庆享<sup>2</sup>

(1. 西安科技大学 基础部, 陕西 西安 710054; 2. 西安科技大学 能源学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 在分析层次分析法 (AHP) 确定权重不足的基础上, 结合物元分析理论, 建立确定顶煤可放性各因素权重的物元分析模型。该方法充分考虑各专家对事物的不同认识程度, 克服了以往 AHP 法在确定指标权重中所存在的片面性, 使指标体系能全面客观地反映被评价对象。实例证明, 该方法科学合理并有广泛的应用价值。

**关键词:** 层次分析法; 顶煤可放性; 权重

**中图分类号:** TD823.49; O141.3 **文献标识码:** A

## Application of AHP in determining weight of factors of capability of top coal caving

XIA Xiao-gang<sup>1,2</sup>, HUANG Qing-xiang<sup>2</sup>

(1. Department of Basic Courses, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. School of Energy Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Based on analyzing the fit and unfit of the analysis analytic hierarchy process (AHP), the matter element analysis model in determining weight of factors of capability of top coal caving was established through matter element analysis. The method fully considers expert's acquaintance to things, overcomes the lopsided in determining weight of index confirmed by AHP, makes the index set of system objectively and comprehensively assess the object and offers better evaluation method. The example proves that, this method is scientific and reasonable, and also has the widespread application value.

**Key words:** analytic hierarchy process; capability of top coal caving; weight

顶煤的可放性是煤层自身所固有的基本性质, 影响顶煤可放性的因素集是一个由相互关联、相互制约的众多因素构成的复杂系统, 放顶煤实践成功的关键在于煤层的赋存条件对顶煤可放性的适应性, 此即煤层赋存地质因素对顶煤可放性的影响<sup>[1,2]</sup>。目前对放顶煤的研究主要集中在对顶煤可放性的评价以及可放性对开采工艺参数选择等方面, 而对于影响急倾斜煤层顶煤可放性的各因素对顶煤的可放性影响程度的定量(数学)分析还不够完善。层次分析法力图通过确定各个影响因素对目标的权值做到这一点, 并最终为综合评价顶煤的可放性以及放顶煤开采工艺设计和开采方法的选择提供科学的依据。以往的 AHP 法确定的指标权重, 由于专家的偏好、知识水平、认识能力以及对评判对象的了解程度等各方面的差异, 评判的结果也有所不同。造成这一结果的主要原因在于专家对评判对象的价值判断与评判对象客观价值的接近程度不同。如何实现二者的统一并以此来确定评判对象的权重, 就成为一个值得研究的问题。

基于物元的 AHP 将专家作为样本, 以各专家判断矩阵得出的权重构造的复合物元作为因子, 通过物元分析得出各专家效度。在此基础上更好地确定了评判对象的权重。

## 1 物元分析理论

以  $N$  表示某一事物名称,  $C$  表示其某一特征, 其相应的度量值记为  $V$ , 通常可以用有序的三元数组  $R = (N, C, V)$  作为描述事物的基本元, 简称物元<sup>[3]</sup>. 并称事物的名称  $N$ 、事物的特征  $C$  和特征度量值  $V$  为物元的三要素. 若事物  $N$  有  $n$  个特征, 此时, 称  $R$  为  $n$  维物元, 简记为  $R = (N, C, V)$ .

## 2 基于物元的 AHP 模型的建立

### 2.1 复合物元的构造

假定参与评价某一具有  $n$  个因素的专家数为  $m$  ( $m \geq 2$ ), 第  $i$  个专家给出的判断矩阵为  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ),  $\theta_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ) 为第  $i$  个判断矩阵通过一致检验后得到的第  $j$  个指标的权重, 从而可得到复合物元  $R$  为

$$R = \begin{bmatrix} & & \text{指标 1} & \text{指标 2} & \cdots & \text{指标 } n \\ & & M_1 & M_2 & \cdots & M_n \\ \text{专家 1} & c_1 & \theta_{11} & \theta_{12} & \cdots & \theta_{1n} \\ \text{专家 2} & c_2 & \theta_{21} & \theta_{22} & \cdots & \theta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \text{专家 } m & c_m & \theta_{m1} & \theta_{m2} & \cdots & \theta_{mn} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

### 2.2 经典域物元、节域物元、待测物元的确定

根据式 (1) 所给出的复合物元, 按如下各式来确定经典域物元  $R_{Oj}$ 、节域物元  $R_{Pj}$ 、待测物元  $R_j^x$ .

$$R_{Oj} = \begin{bmatrix} N_{Oj} & c_1 & \langle u_j, u_j \rangle \\ & c_2 & \langle u_j, u_j \rangle \\ & \vdots & \\ & c_m & \langle u_j, u_j \rangle \end{bmatrix}, R_{Pj} = \begin{bmatrix} N_{Pj} & c_1 & \langle a_j, b_j \rangle \\ & c_2 & \langle a_j, b_j \rangle \\ & \vdots & \\ & c_m & \langle a_j, b_j \rangle \end{bmatrix}, R_j^x = \begin{bmatrix} N_j^x & c_1 & \theta_{1j} \\ & c_2 & \theta_{1j} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_m & \theta_{1j} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中,  $R_{Oj}$  为第  $j$  个指标的经典域物元,  $u_j = \sqrt{\prod_{i=1}^m \theta_{ij}}$ ;  $R_{Pj}$  为第  $j$  个指标的节域物元,  $a_j = \min(\theta_{ij})$ ,  $b_j = \max(\theta_{ij})$  ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ );  $R_j^x$  为第  $j$  个指标的待测物元.

### 2.3 关联函数物元的确定

由式 (2) 计算各待测物元的关联函数值, 得到关联函数复合物元  $R_0$ .

$$R_0 = \begin{bmatrix} & & \text{指标 1} & \text{指标 2} & \cdots & \text{指标 } n \\ & & M_1 & M_2 & \cdots & M_n \\ \text{专家 1} & c_1 & K(x_{11}) & K(x_{12}) & \cdots & K(x_{1n}) \\ \text{专家 2} & c_2 & K(x_{21}) & K(x_{22}) & \cdots & K(x_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \text{专家 } m & c_m & K(x_{m1}) & K(x_{m2}) & \cdots & K(x_{mn}) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

式中,  $K(x_{ij})$  为第  $i$  个专家第  $j$  个指标的关联函数值.

### 2.4 专家效度物元的确定

依据式 (3) 计算第  $i$  个专家的离散系数  $k_i$ , 表示专家对指标的整体认知程度, 其中

$$k_i = \sum_{j=1}^n K(x_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n). \quad (4)$$

在式 (4) 的基础上确定第  $i$  个专家的效度系数  $\gamma_i$ , 表示第  $i$  个专家给出指标权重的有效程度, 即

$$\gamma_i = \frac{1}{k_i} / \sum_{i=1}^m \frac{1}{k_i} \quad (i = 1, 2, \dots, m). \quad (5)$$

从而可以构造专家效用物元  $R_\eta$  为

$$R_\eta = \begin{bmatrix} \text{专家1} & \text{专家2} & \cdots & \text{专家m} \\ c_1 & c_2 & \cdots & c_m \\ \eta & \gamma'_1 & \gamma'_2 & \cdots & \gamma'_m \end{bmatrix}, \quad (6)$$

式中,  $\gamma'_i$  为归一化的各专家效用,  $\gamma'_i = \gamma_i / \sum_{i=1}^m \gamma_i (i = 1, 2, \dots, m)$ .

## 2.5 指标权重的确定

由式(1)和式(6)计算得物元  $R_T$ , 即

$$R_T = R_\eta R = \begin{bmatrix} \text{指标1} & \text{指标2} & \cdots & \text{指标n} \\ c_1 & c_2 & \cdots & c_n \\ T & \omega'_1 & \omega'_2 & \cdots & \omega'_n \end{bmatrix}, \quad (7)$$

其中,  $\omega'_j = \sum_{i=1}^m \gamma_i \theta_{ij}$  (矩阵乘法) ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ). 由式(7)可得到指标权重物元  $R_\omega$ , 即

$$R_\omega = \begin{bmatrix} \text{指标1} & \text{指标2} & \cdots & \text{指标n} \\ c_1 & c_2 & \cdots & c_n \\ \omega & \omega_1 & \omega_2 & \cdots & \omega_n \end{bmatrix}, \quad (8)$$

式中,  $\omega_j$  为指标的权重,  $\omega_j = \omega'_j / \sum_{j=1}^n \omega'_j (j = 1, 2, \dots, n)$ .

## 3 工程应用

选择以下几个因素作为评价顶煤可放性的评价因素:煤层强度、埋深、煤层节理裂隙发育状况、煤层倾角、煤层夹矸厚度<sup>[1,2,4]</sup>. 并咨询了国内矿业界5位资深专家, 得到评判矩阵为

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 9 & 3 & 7 & 5 \\ \frac{1}{9} & 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ \frac{1}{3} & 7 & 1 & 5 & 3 \\ \frac{1}{7} & 3 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{5} & 5 & \frac{1}{3} & 3 & 1 \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 9 & 3 & 5 & 7 \\ \frac{1}{9} & 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & 7 & 1 & 3 & 5 \\ \frac{1}{5} & 5 & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{5} \\ \frac{1}{7} & 3 & \frac{1}{5} & 5 & 1 \end{bmatrix}, A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 4 & 6 & 2 \\ \frac{1}{8} & 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{6} \\ \frac{1}{4} & 4 & 1 & 2 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{6} & 2 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{2} & 6 & 2 & 4 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 2 & 6 & 4 \\ \frac{1}{8} & 1 & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{2} & 6 & 1 & 4 & 2 \\ \frac{1}{6} & 2 & \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{4} & 4 & \frac{1}{2} & 2 & 1 \end{bmatrix}, A_5 = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 3 & 4 & 7 \\ \frac{1}{8} & 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & 5 & 1 & 2 & 4 \\ \frac{1}{4} & 4 & \frac{1}{2} & 1 & 2 \\ \frac{1}{7} & 2 & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}.$$

根据判断矩阵, 经过一致性检验计算出各指标权重构造复合物元  $R^{[5]}$  为

$$R = \begin{bmatrix} & & \text{指标 1} & \text{指标 2} & \text{指标 3} & \text{指标 4} & \text{指标 5} \\ & & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ \text{专家 1} & c_1 & 0.436 1 & 0.031 2 & 0.284 9 & 0.081 6 & 0.166 3 \\ \text{专家 2} & c_2 & 0.422 3 & 0.030 2 & 0.275 9 & 0.113 7 & 0.157 8 \\ \text{专家 3} & c_3 & 0.435 6 & 0.042 4 & 0.160 8 & 0.081 2 & 0.280 0 \\ \text{专家 4} & c_4 & 0.435 6 & 0.042 4 & 0.280 0 & 0.081 2 & 0.160 8 \\ \text{专家 5} & c_5 & 0.468 9 & 0.042 3 & 0.251 4 & 0.158 0 & 0.079 4 \end{bmatrix}$$

根据式 (2), (3) 计算各待测物元的关联函数值<sup>[6]</sup>得关联函数复合物元  $R_0$  为

$$R_0 = \begin{bmatrix} & & \text{指标 1} & \text{指标 2} & \text{指标 3} & \text{指标 4} & \text{指标 5} \\ & & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ \text{专家 1} & c_1 & -0.969 3 & -0.968 9 & -1.000 0 & -0.995 1 & -0.656 8 \\ \text{专家 2} & c_2 & -1.000 0 & -1.000 0 & -0.968 7 & -0.777 7 & -0.668 1 \\ \text{专家 3} & c_3 & -0.970 4 & -1.000 0 & -1.000 0 & -1.000 0 & -1.000 0 \\ \text{专家 4} & c_4 & -0.970 4 & -1.000 0 & -0.983 1 & -1.000 0 & -0.663 9 \\ \text{专家 5} & c_5 & -1.000 0 & -0.997 6 & -0.882 7 & -1.000 0 & -1.000 0 \end{bmatrix}$$

根据式 (4) ~ (6) 得归一化的专家效度物元为

$$R_\eta = \begin{bmatrix} & \text{专家 1} & \text{专家 2} & \text{专家 3} & \text{专家 4} & \text{专家 5} \\ & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 \\ \eta & 0.204 2 & 0.212 3 & 0.188 6 & 0.203 0 & 0.192 0 \end{bmatrix}$$

根据式 (7), (8) 得指标权重物元为

$$R_\omega = \begin{bmatrix} & \text{指标 1} & \text{指标 2} & \text{指标 3} & \text{指标 4} & \text{指标 5} \\ & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 \\ \omega & 0.439 3 & 0.037 5 & 0.252 2 & 0.102 9 & 0.168 1 \end{bmatrix}$$

## 4 结 语

基于物元的 AHP 法不仅从理论上解决了以往 AHP 法确定权重的片面性,更为重要的是其计算量小,且算法十分简单.利用该方法对影响急倾斜煤层顶煤可放性因素进行了分析,确定了指标体系中的指标权重,所得结果与实际情况基本吻合,说明该方法具有科学性和实用性.

## 参考文献

- [1] 宋选民. 综放采场顶煤冒放性控制理论及其应用 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [2] 朱川曲, 缪协兴. 急倾斜煤层顶煤可放性评价模型及应用 [J]. 煤炭学报, 2002, 27 (2): 134 ~ 138.
- [3] 蔡文. 物元模型及应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
- [4] 夏小刚. 急斜煤层的顶煤可放性因素研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2005.
- [5] 秦寿康. 综合评价原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [6] 何浩祥, 闫维明, 乔雅玲. 物元分析理论在钢筋混凝土结构地震损伤评估中的应用 [J]. 北京工业大学学报, 2006, 32 (9): 791 ~ 797.