

文章编号:0253-9993(2007)06-0612-05

综采工作面安全性的未确知 - AHM 综合评价模型

李万庆, 马利华, 孟文清

(河北工程大学 经济管理学院, 河北 邯郸 056038)

摘 要: 通过分析影响综采工作面安全性的人员、设备、作业环境以及地质因素, 应用未确知方法, 定义了指标的未确知测度, 采用 AHM 法确定了各影响因素的权重和评价对象的属性权重, 在此基础上建立了基于未确知和 AHM 的综合评价系统. 最后应用实例论证了模型的正确性和适用性.

关键词: 综采工作面; 安全性; 未确知测度; AHM; 综合评价

中图分类号: X913.4 **文献标识码:** A

Comprehensive evaluation model for the safety of fully mechanized mining face based on unascertained measure and AHM

LI Wan-qing, MA Li-hua, MENG Wen-qing

(College of Economics and Management, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: The safety of fully mechanized mining face was affected by many factors, including man, machine, working environment, and geological condition. Chosen main influencing factors as evaluation indexes. And the unascertained measure of the factors was defined by using the unascertained model. The index weight and attribute weight of evaluation target were calculated by using attribute hierarchy model (AHM). And a comprehensive evaluation system was established based on the unascertained measure and AHM. Finally, the correction and adjustment of this model was identified by a case study.

Key words: fully mechanized mining face; safety; unascertained measure; attribute hierarchy model (AHM); comprehensive evaluation

煤矿综采工作面安全性受多种不确定性因素的影响, 从系统工程角度可以分为人员、设备、作业环境和地质环境^[1,2]. 由于综采工作面安全问题的复杂性和人们主观认识的未确知性, 在定性和定量指标的共同作用下, 其综合结果就属于未确知问题^[3]. 在进行综合评价时, 指标权重的确定或者无法避免主观性, 或者计算过于复杂^[4]. 因此, 采用未确知测度理论^[5,6]和 AHM (Attribute Hierarchy Model 属性层次模型)^[7,8]对煤矿综采工作面安全性进行多层次综合评价能够更客观地反映煤矿综采工作面安全状况, 从而为安全生产提供决策依据.

1 综采工作面安全性评价指标体系

1.1 评价指标体系

对综采工作面安全性进行全面评价, 从系统工程角度分析, 可以确定人员、设备、作业环境和地质环

境为指标系统的第1层次. 影响人员、设备、作业环境和地质环境的二级指标为第2层次, 包括16个定量指标和6个定性指标. 综采工作面安全性评价的各因素相互关系如图1所示.

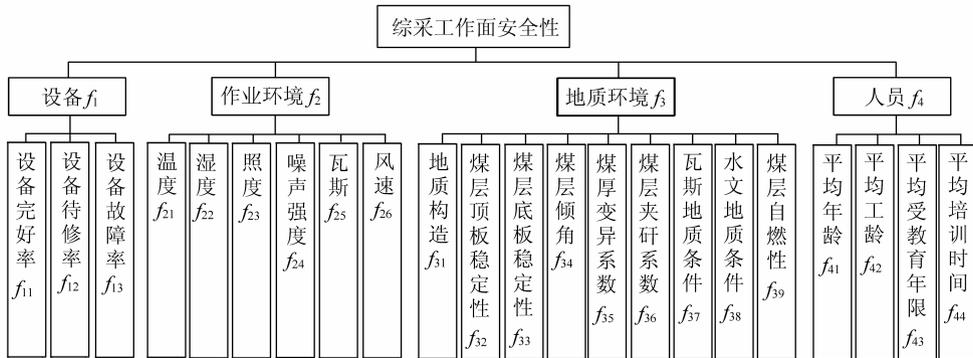


图1 综合评价指标体系

Fig. 1 The index system of comprehensive evaluation

1.2 评价指标的量化

由于综采工作面安全性评价既包括定量指标又包括定性指标, 在对定量指标进行分级时, 首先确定评价等级空间, 然后利用先验知识确定理想对象, 最后用原始数据与理想对象值对比, 依一定的带宽得出综采工作面安全性评价指标的分级. 本文的评价等级空间为 $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\} = \{\text{好, 较好, 中, 较差, 差}\}$. 对定性评价指标进行分级时, 依不同情况划分评价等级空间为5类, 由专家进行打分, 满分取100分. 综采工作面安全性评价指标的分级结果见表1.

表1 综采工作面安全性评价指标的分级

Table 1 The classification of evaluation indexes in safety of fully mechanized mining faces

评价	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{21}	f_{22}	f_{23}	f_{24}	f_{25}	f_{26}	f_{31}	f_{32}	f_{33}	...
好	>100	<1.5	<6	<19	<65	>120	<30	<0.1	<1	>80	>80	>80	...
较好	99~100	1.5~1.7	6~7	19~22	65~75	110~120	30~50	0.1~0.2	1~2	60~80	60~80	60~80	...
中	98~99	1.7~1.9	7~8	22~25	75~85	100~110	50~70	0.2~0.3	2~3	40~60	40~60	40~60	...
较差	97~98	1.9~2.1	8~9	25~28	85~95	90~100	70~90	0.3~0.4	3~4	20~40	40~60	40~60	...
差	<97	>2.1	>9	>28	>95	<90	>90	>0.4	>4	<20	<20	<20	...
带宽	1	0.2	1	3	10	10	20	0.1	1	20	20	20	...

2 基于未确知 - AHM 的综合评价模型

2.1 未确知测度

设 x_1, x_2, \dots, x_n 表示 n 个待评价对象, 记为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 称之为论域; 评价 x_i ($x_i \in X$) 有 m 项指标 I_1, I_2, \dots, I_m , 记为 $I = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$. 用 x_{ij} 表示对象 x_i 在指标 I_j 下的观测值. 设 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_K\}$ 为评价空间, 其中, c_k ($1 \leq k \leq K$) 为第 k 个评语等级.

对象 x_i 关于指标 I_j 的观测值 x_{ij} 不同时, 则该指标使 x_i 处于各评语等级的程度也不同. 设 x_{ij} 使 x_i 处于第 k 个评价等级 c_k 的程度为 $\mu_{ijk} = \mu(x_{ij} \in c_k)$. 那么 μ_{ijk} 是对程度的一种测量结果, 作为一种测度它必须满足通常的诸如“非负有界性、可加性、归一性”3条测量准则. 若 μ_{ijk} 满足

$$0 \leq \mu_{ijk} \leq 1; \mu(x_{ij} \in \bigcup_{k=1}^K c_k) = \sum_{k=1}^K \mu(x_{ij} \in c_k); \mu(x_{ij} \in C) = 1.$$

其中, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, K$, 则称 μ_{ijk} 为未确知测度, 简称测度. 称

$$(\mu_{ijk})_{m \times K} = \begin{bmatrix} \mu_{i11} & \mu_{i12} & \cdots & \mu_{i1K} \\ \mu_{i21} & \mu_{i22} & \cdots & \mu_{i2K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{im1} & \mu_{im2} & \cdots & \mu_{imK} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

为对象 x_i 的单指标测度评价矩阵. 其中 μ_j^i 表示观测值 x_{ij} 使 x_i 处于各个评语等级的未确知测度.

2.2 AHM 原理

AHM 源于无结构的层次分析法 AHP. AHP 是一种无结构的多准则决策方法. 其将定性分析和定量分析相结合, 把人们的思维过程层次化和数量化, 根据问题的性质和所求的总目标, 将问题分解成不同的组成因素, 并按照因素间的相互关联影响以及隶属关系将诸多因素按不同层次聚合组合, 组成一个多层次的分析结构模型. 与基于重量模型的 AHP 相比, 基于比赛模型的 AHM 最大的优势就是其两两比较测度矩阵不存在“一致性检验问题”. AHM 的两两比较测度矩阵可通过 AHP 中判断矩阵转换得到. 这样利用 AHM 测度判断矩阵就可以计算出各指标的权重值. 具体过程如下:

(1) 构造判断矩阵

在构造两两比较判断矩阵时, 采用 Satty 提出的 1-9 标度法. 两两比较判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$, 其中 a_{ij} 表示在给定目标下, 方案 P_i 与 P_j 的重要性比值, a_{ij} 满足 $a_{ij} \geq 0$, $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$).

(2) 将两两比较判断矩阵转化为两两比较测度矩阵, 即

$$u_{ij} = \begin{cases} k/(k+1) & (a_{ij} = 1), \\ 0.5 & (a_{ij} = 1), \\ 0 & a_{ij}, \\ 1/(k+1) & (a_{ij} = 1/k). \end{cases} \quad (2)$$

由上式转化得到的 u_{ij} 为比较测度值, 称矩阵 u 为两两比较测度矩阵.

(3) 权重的计算

$$f_i = \sum_{j=1}^n u_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (3)$$

$$w_i = f_i / [n(n-1)/2] \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (4)$$

得权重向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$.

2.3 基于未确知-AHM 的综合评价过程

(1) 构造样本的测度函数

$$\begin{cases} \mu_i(x) = \begin{cases} \frac{-x}{a_{i+1} - a_i} + \frac{a_{i+1}}{a_{i+1} - a_i} & (a < x \leq a_{i+1}), \\ 0 & (x > a_{i+1}), \end{cases} \\ \mu_{i+1}(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq a), \\ \frac{x}{a_{i+1} - a_i} - \frac{a_i}{a_{i+1} - a_i} & (a < x \leq a_{i+1}). \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

利用式 (4), 参考领域知识构造样本的测度函数, 得出单指标测度评价矩阵.

(2) 利用 AHM 计算第 1 层次的权向量 w

$$w = (w_1, w_2, w_3, w_4), \quad (6)$$

式中, w_1, w_2, w_3, w_4 分别对应人员、设备、作业环境和地质环境的权重值.

同理求得第 2 层次指标的权向量

$$w_{li}, w_{2j}, w_{3k}, w_{4l}, \quad i = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, 6; k = 1, 2, \dots, 9; l = 1, 2, \dots, 4, \quad (7)$$

式中, $w_{li}, w_{2j}, w_{3k}, w_{4l}$ 分别对应人员、设备、作业环境和地质环境下第 2 层次指标的权重值.

(3) 利用 AHM 计算影响因素的属性权重 W

$$W = (w_1 w_{1i}, w_2 w_{2j}, w_3 w_{3k}, w_4 w_{4l}). \quad (8)$$

(4) 计算多指标综合测度评价矩阵

$$\mu_{ik} = \mu(x_i \in c_k) = \sum_{j=1}^m W_j \mu_{ijk} \quad (1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq K, 1 \leq j \leq 22), \quad (9)$$

由式(9)得各评价对象的多指标综合测度评价矩阵 $\mu = (\mu_{ik})_{3 \times 5}$.

3 实例研究

现对某煤矿3个主采工作面的安全性进行评价. 故评价对象集为 $X = \{x_1, x_2, x_3\}$, 对应3个综采工作面. 各评价对象的人员、设备、作业环境和地质环境各指标的原始值见表2.

表2 综采工作面人员、设备、作业环境和地质环境的原始数据

Table 2 Original data of man, machine, working environment and geological condition in fully mechanized mining faces

指标	f_{11} /%	f_{12} /%	f_{13} /%	f_{21} /°C	f_{22} /%	f_{23} /lux	f_{24} /dB	f_{25} /%	f_{26} /m · s ⁻¹	f_{31}	f_{32}	f_{33}	f_{34} /(°)	...	f_{41} /a	f_{42} /a	f_{43} /a	f_{44} /d
x_1	97.9	2.0	8.1	27.6	92	102	90	0.5	2.2	85	85	80	6	...	26.5	6.7	9.3	112
x_2	98.1	2.3	9.4	26.2	95	115	95	0.3	2.9	75	60	70	9	...	29.3	5.9	8.8	115
x_3	96.9	1.8	6.5	28.1	94	96	92	0.4	4.2	60	65	60	16	...	28.6	5.4	7.6	98

3.1 综合评价

根据上述未确知-AHM综合评价模型,不妨以综采工作面 x_1 为例,由式(1)~(5)可得评价对象 x_1 的单指标测度矩阵 $\mu_{1jk} = \begin{bmatrix} \mu_{1jk}^1 \\ \mu_{1jk}^2 \end{bmatrix}$.

$$\mu_{1jk}^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.60 & 0.40 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.00 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.00 \\ 0 & 0 & 0 & 0.10 & 0.90 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.00 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.00 \\ 0 & 0 & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0 & 0.80 & 0.20 & 0 & 0 \\ 0.75 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0.75 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \mu_{1jk}^2 = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.50 & 0 & 0 & 0 \\ 0.20 & 0.80 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.20 & 0.80 & 0 & 0 \\ 0 & 0.50 & 0.50 & 0 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.75 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0.50 & 0.50 & 0 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.50 & 0.50 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.50 & 0.50 & 0 \end{bmatrix}.$$

同理可求出评价对象 x_2 和 x_3 的单指标测度矩阵. 由式(6)~(8)可求得评价对象的属性权重为 $W = (0.0615, 0.0820, 0.1230, 0.1435, 0.0660, 0.0180, 0.0360, 0.0075, 0.0120, 0.0375, 0.0225, 0.0630, 0.0075, 0.0480, 0.0480, 0.0480, 0.0160, 0.0160, 0.0160, 0.0480, 0.0320, 0.0480)$.

由式(9)可求得各评价对象的多指标综合测度评价矩阵为

$$\mu = (\mu_{ik})_{3 \times 5} = \begin{bmatrix} 0.158 & 0.453 & 0.208 & 0.114 & 0.067 \\ 0.113 & 0.374 & 0.323 & 0.094 & 0.096 \\ 0.086 & 0.174 & 0.416 & 0.189 & 0.135 \end{bmatrix}.$$

3.2 结果分析

由于评价类别 $\{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ 的有序性, 用最大测度识别准则识别 x_i 的类别显然是不合适的. 因此, 这里引入置信度识别准则: 若 $\{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ 满足 $c_i > c_{i+1}$ ($i=1, 2, \dots, k-1$), 对置信度 λ ($0.5 < \lambda \leq 1$) 计算, 即

$$k(x_i) = \min_{k=1}^K \sum_{k=1}^K \mu_{ik}(c_k) \geq \lambda \quad (1 \leq k \leq K), \quad (10)$$

则认为 x_i 属于 c_k 类. 取置信度 $\lambda = 0.6$, 可得 $x_1 \in c_2$, $x_2 \in c_3$, $x_3 \in c_3$. 即工作面 x_1 安全性评级为“较好”, 工作面 x_2 和 x_3 的安全性评级为“中”.

为了对 x_i 排序, 可应用以下评分准则计算, 即

$$q(x_i) = \sum_{k=1}^K \mu_{ik}(c_k) n_k, \quad (11)$$

n_k 按公差为 -1 的等差数列取值, 根据 $q(x_i)$ 的大小对 x_i 进行比较和排序. 取 $n_k = 12 - 2q_k$ ($1 \leq k \leq 5$) 代入上式, 可求得 $q(x_i) = (q(x_1), q(x_2), q(x_3)) = (7.042, 6.628, 5.774)$.

由 $q(x_1) > q(x_2) > q(x_3)$ 得评价对象 x_i 的安全性综合排序为 x_1, x_2, x_3 . 虽然按照最大置信度准则判断 x_2 和 x_3 的安全性评级均为“中”, 但由排序情况来考察 x_2 要优于 x_3 .

4 结 语

将未确知测度理论和 AHM 法应用于综采工作面安全性的综合评价. 通过 AHM 法确定评价指标各层次的权重, 进行属性运算确定评价指标的综合属性权重, 将复杂的多指标评价问题转化为定量评价. 利用未确知测度较好地解决了定性和定量指标的综合处理问题. 利用基于未确知测度 - AHM 模型进行综合评价, 能够更直观、更合理地评价综采工作面安全性的客观情况. 该方法简单实用, 更符合实际.

参考文献:

- [1] 朱川曲. 基于神经网络的综采工作面人-机-环境系统的可靠性研究 [J]. 煤炭学报, 2000, 25 (3): 268 ~ 272.
- [2] 杨玉中. 人-机-环境系统工程在井下运输安全中的应用 [D]. 焦作: 河南理工大学, 1999.
- [3] 王光远. 未确知信息及其数学处理 [J]. 哈尔滨建筑工程学院学报, 1990 (4): 1 ~ 9.
- [4] 杨玉中, 吴立云, 张 强. 综采工作面安全性多层次灰熵综合评价 [J]. 煤炭学报, 2005, 30 (5): 598 ~ 602.
- [5] 刘开第, 曹庆奎, 庞彦军. 基于未确知集合的故障诊断方法 [J]. 自动化学报, 2004, 30 (5): 747 ~ 756.
- [6] 庞彦军, 刘开第, 张博文. 综合评价系统客观性指标权重的确定方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2001 (8): 37 ~ 42.
- [7] 程乾生. 属性层次模型 AHM——一种新的无结构决策方法 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 1998, 34 (1): 10 ~ 14.
- [8] 刘 震. 层次分析法 AHM 及其应用 [J]. 河北建筑科技学院学报, 2003, 20 (3): 79 ~ 81.