

熵权模糊物元分析法在采矿方法选择中的应用

陈建宏, 邓伟夏

中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083

摘要 采矿方法的选择关系到矿山的经济效益和资源效益,是矿山建设和生产的核心内容。采矿方法选择是一个复杂的系统工程,具有决策多属性、确定性与不确定性共存的特点,同时传统的经验对比法具有较大的主观随意性,本文将信息论和模糊物元分析理论有机地结合,针对采矿方法的评价优选,提出了信息熵模糊物元分析法。评判优选过程中,选择如采矿成本、损失率、贫化率等决策指标;将待选择方法指标转换评判矩阵,通过信息熵模糊物元分析法得到各因素权重向量,利用熵模糊物元原理计算出各方法的相对贴近度。选取国内某矿山采矿方法为例,从安全、技术、经济3个方面综合考虑评判指标,对拟选用的3种方案进行综合评判,计算得出3种待选方法的相对贴近度分别为96.18%、81.02%、92.18%,从而确定最优方法,为矿山采矿方法的优选提供依据。该优选方法与模糊优选法有较好的一致性,且计算方法简单,评价结果直观、准确可靠,具有信息利用率高等优点。

关键词 采矿方法;信息熵;模糊物元;方法优选;贴近度

中图分类号 TD853.343

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.2.004

Entropy Fuzzy Matter Element Analysis Method of Mining Method Selection

CHEN Jianhong, DENG Weixia

School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract The selection of mining method is related to the economic and resource benefits of mines, and is the core of mine construction and production. The choice of mining method is a complex systematic engineering, which is featured by multiple decision factors, coexistence of certainty and uncertainty, and at the same time the traditional experience contrast method has subjective randomness. To aim at the evaluation and selection of mining methods, an information entropy and fuzzy matter element analysis method is proposed in this paper. In the process of evaluation and selection, decision factors such as mining cost, dilution rate, and loss rate are selected. the detailed steps are as follows. Firstly, the factors of selected mining methods are transformed to evaluation matrix; secondly, the weight vectors of the factors are obtained by the information entropy and fuzzy matter element analysis method; lastly, the relative closeness of all the methods are given by utilizing entropy fuzzy matter element theory. A domestic mine is taken as an example. Three mining schemes are evaluated by the proposed method in terms of, security, technology, and economic indexes. Their relative closeness are 96.18%, 81.02% and 92.18%, respectively, and the optimal method is then determined, which has better consistency with the fuzzy optimum seeking method. The new method lays a basis for the selection of mining method, and is simple, intuitive, accurate and reliable, with a high utilization of information.

Keywords mining methods; information entropy; fuzzy matter element; method optimigation; closeness

中国矿产资源总量丰富、品种齐全,但人均占有量不足世界平均水平,矿产资源质量较差,地理分布不均衡,开发利

用率不足,随着浅部资源的逐渐减少和消失,地下深部开采的比例将越来越大,进一步加大了采矿方法选取的难度^[1]。

收稿日期: 2013-08-27;修回日期:2013-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(50774092);高等学校全国优秀博士学位论文作者专项资金项目(200449)

作者简介: 陈建宏,教授,研究方向为采矿工程、矿业经济与系统工程,电子邮箱:cjh@263.net;邓伟夏(共同第一作者),硕士研究生,研究方向为采矿工程与矿业经济,电子邮箱:weixiadeng@126.com

引用格式: 陈建宏, 邓伟夏. 熵权模糊物元分析法在采矿方法选择中的应用[J]. 科技导报, 2014, 32(2): 30-33.

目前,中国金属矿山采矿方法在原有3大类采矿方法的基础上,形成了多种适合金属矿山开采的组合方法,但是由于设计、施工和管理等多方面的原因,矿山在开采过程中会出现采场安全性较差、采场损失较大和生产能力较低等现象^[2]。

合理的选择采矿方法,可以显著提高采场稳定性,提高生产能力,节约人力物力,因此科学的选择采矿方法是矿山生产的重要环节,具有重大的理论意义和实际价值。采矿方法的选择是一个涉及多层次、多因素、多目标、多指标的决策过程^[3]。同时采矿方法的选择过程涉及许多未确定因素,如地质资料不详细、统计方法局限性、价格因素不确定性等^[4],决定这些方法的诸多评价指标往往又不能定量描述,只能对其定性分析描述,同时加上诸多不可预见因素,使采矿方法的选择具有不确定性^[5],因此,要从多个方案中择优,或将各个方案按优劣排序,并非易事。近些年来,迅速发展起来的模糊物元分析方法则可实现定性到定量的描述和转换^[6-8],信息熵理论则能反映评价指标内部信息^[9-10],为采矿方法的优选决策提供了一条新的途径。本文将信息论和模糊物元分析理论有机地结合,提出信息熵模糊物元采矿方法优选模型,减少了决策中的主观随意性,针对国内某矿山开采为例,应用到实际中去。

1 基本原理

1.1 信息熵模糊物元分析的基本思路

应用信息熵模糊物元理论建立采矿方案的优选决策方法,采矿方案模糊物元优选决策思路如下:首先建立模糊物元有关概念;其次确定评价模型,据评价综合值选出优选对象;最后按优选对象中信息熵评价综合值,选定最大值,从而选出最佳采矿方案。

1.2 复合物元的概念

模糊物元是以给定事物的名称 M 、特征 τ 和模糊量值 v 构成的有序三元组 (M, τ, v) 作为描述事物的基本元。对 m 个事物、 n 项特征 τ_n 和相应的模糊量值 v_n 可构成 n 维复合模糊物元。故对具有 n 项评价指标的 m 种采矿方案的决策,可构建 n 维复合模糊物元 R 如下:

$$R = \begin{bmatrix} \vartheta_1 & \vartheta_2 & \cdots & \vartheta_m \\ \tau_1 & v(x_{11}) & v(x_{21}) & \cdots & v(x_{m1}) \\ \tau_2 & v(x_{12}) & v(x_{22}) & \cdots & v(x_{m2}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tau_n & v(x_{1n}) & v(x_{2n}) & \cdots & v(x_{mn}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $\vartheta_\alpha(\alpha=1, 2, \dots, m)$ 为第 α 中待选方案; $\tau_\beta(\beta=1, 2, \dots, n)$ 为待选方案第 β 个评价指标; $v(x_{\alpha\beta})$ 为方案 ϑ_α 特征 α 的模糊值。由相应构成的复合物元 S 为

$$S = \begin{bmatrix} \vartheta_1 & \vartheta_2 & \cdots & \vartheta_m \\ \tau_1 & v_{11} & v_{21} & \cdots & v_{m1} \\ \tau_2 & v_{12} & v_{22} & \cdots & v_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tau_n & v_{1n} & v_{2n} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

由各个特征的最大值可相应构成最优方案 ϑ_0 的 n 维模糊物元 T_0 :

$$T_0 = \begin{bmatrix} \tau_1 & \tau_2 & \tau_n \\ \vartheta_0 & v_{01} & v_{02} & v_{0n} \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

为建立上面复合模糊物元,需求的各单项评价指标相应的模糊量值(从属于标准样本各对应评价指标相应的模糊量值隶属程度称之为从优隶属度)。对越大越优型的评价指标,按下式计算:

$$v_{\alpha\beta}(x) = x_{\alpha\beta} / \max x_{\alpha\beta} \quad (4)$$

式中, $v_{\alpha\beta}(x)$ 为 α 方案评价指标 β 的从优隶属度; $x_{\alpha\beta}$ 为 α 方案评价指标 β 的量值。对越小越优型指标,则按下式求得模糊量值

$$v_{\alpha\beta}(x) = \min x_{\alpha\beta} / x_{\alpha\beta} \quad (5)$$

1.3 确定权重

指标权重的确定直接影响到优选结果。本文采用熵权和专家主观权重构成的综合权重 ω_α 作为评价指标权重,因这样确定的综合权重既可充分挖掘原始数据本身蕴涵的信息,又可反映专家的知识与决策者意见,从而使采矿方案的决策结果更加符合客观实际,其计算步骤如下^[8-10]:

1) 将判断矩阵归一化处理,得到归一化模糊物元矩阵 S' ,其中

$$b'_{\beta\alpha} = (x'_{\beta\alpha} - \bar{x}'_\alpha) / S_\alpha \quad (6)$$

式中, $b'_{\beta\alpha}$ 为归一化处理后的量值; $x'_{\beta\alpha}$ 为 β 方案第 α 个指标的量值; \bar{x}'_α 为第 α 个指标的平均值; S_α 为第 α 个指标的标准差; $\beta=1, 2, \dots, n, \alpha=1, 2, \dots, m$ 。

2) 为防止数据用标准化法处理时出现极端值,可进行坐标平移。为计算简单,取平移值为1,指标值 $b'_{\beta\alpha}$ 经过坐标平移之后变为 $b_{\beta\alpha}$,模糊物元矩阵变为 S ,其中,

$$b_{\beta\alpha} = 1 + b'_{\beta\alpha}$$

3) 根据熵的定义, m 个评价事物 n 个评价指标,可以确定评价指标的熵为

$$H_\alpha = -\frac{1}{\ln m} \left(\sum_{\beta=1}^m f_{\beta\alpha} \ln f_{\beta\alpha} \right) \quad (7)$$

$$f_{\beta\alpha} = \frac{b_{\beta\alpha}}{\sum_{\beta=1}^m b_{\beta\alpha}} \quad (\beta=1, 2, \dots, n; \alpha=1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

显然, $0 \leq H_\alpha \leq 1$ 。

4) 计算评价指标熵权 θ

$$\theta = (\theta_\alpha)_{1 \times n}$$

$$\theta_\alpha = \frac{1 - H_\alpha}{n - \sum_{\alpha=1}^n H_\alpha}, \text{且满足 } \sum_{\alpha=1}^n \theta_\alpha = 1。$$

因熵权可充分挖掘原始数据本身蕴涵的信息,主观权重则可反映专家的知识与决策者意见,鉴于此,本文采用由熵权 θ_α 和主观权重 γ_α 两部分构成评价指标的综合权重 ω_α ,即

$$\omega_\alpha = \gamma_\alpha \delta + \theta_\alpha (1 - \delta) \quad (9)$$

其中, $\delta \in [0, 1]$,本文取 $\delta = 0.5$ 。

1.4 建立模糊物元决策模型

本文采用海明贴近来综合评价采矿方案。海明贴近度计算模型如下：

$$\zeta_{\beta} = 1 - \left[\sum_{\alpha=1}^n (\omega_{\alpha} \cdot |v_{\alpha\beta} - v_{\alpha\theta_0}|) \right] \quad (10)$$

式中, ζ_{β} 为方案 ϑ_{α} 与最优方案 ϑ_0 间的海明贴近度。基于上述模型计算求得各采矿方案的贴近度, 并以贴近度最大的采矿方案为最佳方案的原则优选决策。

2 实例应用

2.1 采矿方评价指标体系建立

为验证模型的可行性, 以选取国内某矿山的标准采矿方案选择为例^[3], 该矿山为硫铁矿, 矿体走向长约 210 m, 平均倾角 48°, 平均真厚 20 m, 最浅埋深距地表仅 12 m。采用上述方法对拟选用的 3 方案进行综合评判, 3 种采矿方案分别为上向水平分层胶结充填采矿法、上向水平进路沿矿体走向布置充填法、向水平进路垂直矿体走向布置充填法。从经济、技术、安全 3 方面综合考虑影响采矿方法的评判指标^[11], 选取采矿成本 (x_1)、采场暴露面积 (x_2)、采场生产能力 (x_3)、采矿损失率 (x_4)、采矿贫化率 (x_5)、采切比 (x_6)、方案灵活适应性 (x_7)、采场通风条件 (x_8)、方案实施难易程度 (x_9) 等指标, 构成熵权的模糊物元评价体系 (表 1)。

表 1 3 种采矿方案的指标值

Table 1 Index values of the three mining methods

评价指标	采矿方案		
	方案 1	方案 2	方案 3
$x_1/\text{元}$	75.7	85.7	85.7
x_2/m^2	216	270	200
x_3/t	120	100	100
$x_4/\%$	24	20.87	20.87
$x_5/\%$	5	5	5
$x_6/(\text{m}^3 \cdot \text{k}^{-1} \cdot \text{t}^{-1})$	25.75	9.32	37.69
x_7	9	9	9
x_8	9	5	7
x_9	9	9	9

2.2 建立评价模糊物元矩阵

根据表 1 给出的 3 种采矿方案, 建立如下的评价矩阵:

$$R = \begin{matrix} & \vartheta_1 & \vartheta_2 & \vartheta_3 \\ \tau_1 & 75.7 & 85.7 & 85.7 \\ \tau_2 & 216 & 270 & 200 \\ \tau_3 & 120 & 100 & 100 \\ \tau_4 & 24 & 20.87 & 20.87 \\ \tau_5 & 5 & 5 & 5 \\ \tau_6 & 25.75 & 9.32 & 37.69 \\ \tau_7 & 9 & 9 & 9 \\ \tau_8 & 9 & 5 & 7 \\ \tau_9 & 9 & 9 & 9 \end{matrix}$$

2.3 计算从优隶属度

根据采矿成本, 采场暴露面积, 采场生产能力等相关指标分类, 通过式 (4) 或 (5) 得 3 种采矿方案各指标的从优隶属度, 于是得其模糊物元矩阵为

$$S = \begin{matrix} & \vartheta_1 & \vartheta_2 & \vartheta_3 \\ \tau_1 & 1.00 & 0.88 & 0.88 \\ \tau_2 & 0.93 & 0.74 & 1.00 \\ \tau_3 & 1.00 & 0.83 & 0.83 \\ \tau_4 & 0.87 & 1.00 & 1.00 \\ \tau_5 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ \tau_6 & 0.36 & 1.00 & 0.25 \\ \tau_7 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ \tau_8 & 1.00 & 0.56 & 0.78 \\ \tau_9 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \end{matrix}$$

由各个特征的最大值可相应构成最优方案 ϑ_0 的 n 维模糊物元 T_0 。

$$T_0 = \begin{matrix} \tau_1 & \tau_2 & \tau_3 & \tau_4 & \tau_5 & \tau_6 & \tau_7 & \tau_8 & \tau_9 \\ \vartheta_0 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \end{matrix}^T$$

2.4 熵权及其综合权重的确定

为了更好地验证分析结果, 使结果更加可靠, 专家权重采用文献^[3]的权值, 根据式 (6)~(10) 可求得相应评价指标的综合权重, 将其代入式 (3) 即可得到各采矿方案的优选度, 计算结果和相应权值见表 2。

2.5 计算海明贴近度

根据式 (1)~(11) 可计算各被评价方案与理想方案 T_0 的海明贴近度 $\zeta_1=0.9618, \zeta_2=0.8102, \zeta_3=0.9218$, 即综合评价向量为

$$\zeta = [0.9618 \quad 0.8102 \quad 0.9218]^T$$

2.6 最优方案选择

由贴近度矩阵可知, 3 种采矿方案综合优越度为: 方案 1,

表 2 评价指标权重

Table 2 Evaluation index weights

权值	τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5	τ_6	τ_7	τ_8	τ_9
熵权	0.0084	0.0353	0.0181	0.0094	0	0.8073	0	0.1215	0
专家权重	0.4000	0.4000	0.0620	0.0390	0.0080	0.0080	0.0080	0.0620	0.0130
组合权重	0.2042	0.2176	0.0400	0.0242	0.0040	0.4077	0.0040	0.0917	0.0065

96.18%;方案2,81.02%;方案3,92.18%。则方案的优劣排序为:方案1>方案3>方案2(>表示优先于),所以方案1为最优方案。采用熵权法的模糊物元评价结果表明:基于熵权的模糊物元决策模型与模糊优选法^[9]评价结果一致,同时将主观权重与熵权合成形成一种新的综合权重,减少了人为主观因素的影响。

3 结论

1) 建立基于熵权的模糊物元优化模型,采取信息熵理论与模糊物元理论相结合,针对采矿方案综合评价中各指标的不相容性,从经济、技术、安全3方面综合考虑影响采矿方法的评判指标,综合选取采矿成本、损失率、贫化率、采切比等指标作为评判指标。

2) 为了减少评价中人为主观因素的影响和评价结果的主观性,在确定权重的过程中引入信息熵理论来计算权重系数。同时将主观权重与熵权合成形成一种新的综合权重,更加客观和直观评价待选方案,从而使优选决策过程更加简单、可靠。

3) 运用基于熵权的模糊物元方法对工程实例进行分析,得出方案集的综合评价向量 $\zeta=[0.9618 \ 0.8102 \ 0.9218]^T$,从而选用方案1,生产实践表明,该方案在实际采矿中取得了良好的效果;

4) 计算结果表明:利用信息熵和模糊物元理论进行方案评价与模糊优选法有较好的一致性,且计算方法简单,评价结果直观、准确可靠,具有信息利用率高的优点。同时,该种综合评判模型也可用于其他系统工程的多方案优选中。

参考文献(References)

- [1] 郭金峰. 我国地下金属矿山采矿技术现状和发展趋势[C]// 中国冶金矿山企业协会. 2005年全国金属矿山采矿学术研讨与技术交流会论文集. 北京: 中国冶金矿山企业协会, 2005.
- Guo jinfeng. Present Situation and Development Trend of mining technology in underground metal mines in China[C]// China Metallurgical Mining Enterprise Association. The National Mining for Metal Mines in 2005 Academic Discussions and Proceedings of the Seminar. Beijing: China Metallurgical Mining Enterprise Association, 2005.
- [2] 姚金蕊, 李夕兵, 周子龙. “三下”矿体开采研究[J]. 地下空间与工程学报. 2005, 1(7): 1073-1075.
- Yao Jinrui, Li Xibing, Zhou Zilong. Study of the excavation for the under-three-objects ore body[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005, 1(7): 1073-1075.
- [3] 王新民, 赵彬, 张钦礼. 基于层次分析和模糊数学的采矿方法选择[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2008, 39(5): 875-880.
- Wang Xinmin, Zhao Bin, Zhang Qinli. Mining method choice based on AHP and fuzzy mathematics[J]. Journal of Central South University:

Science and Technology Edition, 2008, 39(5): 875-880.

- [4] 饶运章, 何少博, 陈辉, 等. 基于未确知测度理论的采矿方法优选[J]. 中国矿业 2012, 21(S1): 337-342.
- Chen Yunzhang, He Shaobo, Chen Hui, et al. Optimization of mining method based on uncertainty measurement theory[J]. China Mining Magazine, 2012, 21(S1): 337-342.
- [5] 史秀志, 周健, 董凯程 等. 城市岩体爆破方案优选的熵模糊物元决策模型[J]. 爆破, 2009, 36(04): 29-33.
- Shi Xiuzhi, Zhou Jian, Dong Kaicheng, et ai. Fuzzy matter - element model based on coefficients of entropy in scheme optimization of rock blasting in urban area[J]. Blasting, 2009, 36(04): 29-33.
- [6] 李丽, 汪明武. 熵模糊物元分析方法在水库正常高水位决策中的应用[J]. 水利水运工程学报, 2006(4): 62-66.
- Li Mingli, Wang Mingwu. Application of information entropy fuzzy matter - element method in decision of normal high water level of reservoirs[J]. Hydro-Science and Engineering, 2006(4): 62-66.
- [7] 王广月, 王有志. 基于AHP法的信息熵模糊物元模型在地基处理方案评价中的应用[J]. 山东大学学报:工学版, 2003, 33(4): 457-460.
- Wang Guangyue, Wang Youzhi. Application of information entropy fuzzy matter - element model based on AHP for projects assessment of foundation treatment[J]. Journal of Shandong University: Engineering Science Edition, 2003, 33(4): 457-460.
- [8] 罗君君, 郑俊杰, 孙玲. 基于语言变量和熵权的公路软基处理方案模糊物元决策分析法[J]. 公路交通科技, 2009, 26(5): 12-16.
- Luo Junjun, Zheng Junjie, Sun Ling. Selection of alternatives of weak subgrade treatment using linguistic variable and entropy based fuzzy matter - element decision analysis method[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(5): 12-16.
- [9] 史秀志, 周健. 隧道围岩分级判别的未确知均值聚类模型[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(2): 62-67.
- Shi Xiuzhi, Zhou Jian. Application of uncertainty average clustering measurement model to classification of tunnel surrounding rock[J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2009, 31(2): 62-67.
- [10] 褚晓杰, 严慧峰, 周任军, 等. 熵权属性识别模型在电网公司综合评价体系中的应用[J]. 电力科学与技术学报, 2007, 22(4): 56-59.
- Zhu Xiaojie, Yan Hui Feng, Zhou Renjun, et al. Application of entropy coefficient based attribute recognition model in comprehensive evaluation for grid company[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2007, 22(4): 56-59.
- [11] 王新民, 秦健春, 张钦礼, 等. 基于AHP-TOPSIS评判模型的姑山驻留矿采矿方法优选[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2013, 44(3): 1131-1137.
- Wang Xinmin, Qin Jianchun, Zhang Qinli, et al. Mining method optimization of Gu Mountain stay ore based on AHP - TOPSIS evaluation model[J]. Journal of Central South University: Science and Technology Edition, 2013, 44(3): 1131-1137.

(责任编辑 侯澄芝)