

基于模糊多属性决策的南芬铁矿 露天转地下采矿方法优选

谢胜军¹ 蔡嗣经¹ 李有臣²

¹ (北京科技大学土木与环境工程学院资源工程系 北京 100083)

² (本钢集团有限责任公司安全部 辽宁 117000)

摘 要 大型露天矿山转为地下开采的采矿方法选择涉及诸多因素, 其中许多因素具有模糊属性。本文根据南芬铁矿的矿床赋存条件及开采技术条件, 基于理想点规范化方法和海明贴近度方法进行采矿方法初选, 基于模糊多属性决策理论进行采矿方法终选, 提高了采矿方法优选的科学性。采用主客观组合权重法确定采矿方法各影响因素的权重, 使得权重的确定更加合理, 增加了优选结果的准确性。优选出南芬铁矿露天转地下开采的采矿方法为无底柱分段崩落法。根据南芬铁矿露天转地下开采的采矿工程设计的专家评审意见, 本文优选出的采矿方法技术上可靠、经济上合理, 可在实际生产中应用。

关键词 模糊多属性决策; 南芬铁矿; 露天转地下开采; 采矿方法优化; 无底柱分段崩落法

Mining Method Optimization of Transferring Open-pit into Underground in Nanfen Iron Mine based on Fuzzy Multi-attribute Decision-making

XIE Sheng-jun¹ CAI Si-jing¹ LI You-chen²

¹ (Dept. of Resources Engineering, School of Civil & Environmental Engineering, University of Sci. & Tech, Beijing 100083, China)

² (Safety Department, Benxi Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Liaoning 117000, China)

Abstract There are a number of parameters related with mining method optimization of transferring large scale open-pit into underground mining, of which many have fuzzy features. Based on deposit and mining conditions of the Nanfen iron mine, the ideal point method and the Hamming approach degree method were used for primary selection of possible underground mining methods. The fuzzy multi-attribute decision-making method was used for final optimization of mining method to ensure adaptability and comprehensiveness of underground mining method selection. A subjective-objective coupling weighting method was used to determine weights of various factors influencing mining method selection, which would prove reasonableness of determining weight coefficients. Finally, the sublevel caving method with no sill-pillar was selected as the underground mining method to be used in the Nanfen iron mine. According to the comments of mining experts in a judging meeting, the selected method would fill requirements of mining techniques and mining benefit.

Keywords fuzzy multi-attribute decision-making; Nanfen iron mine; transferring open-pit into underground mining; mining method optimization; sublevel caving method with no sill-pillar

基金项目: 国家科技支撑计划课题 (2006BAB02A03)。

作者简介: 谢胜军, 博士研究生, 主要研究方向为矿业系统工程研究, E-mail: xsj17@sohu.com; 蔡嗣经, 博士, 教授, 主要研究方向为矿床开采理论与技术研究; 李有臣, 博士、高级工程师, 主要研究方向为安全工程研究。

1 引言

南芬铁矿是一个特大型露天矿山, 2010 年该矿的采、剥总量超过 7000 万吨, 其中铁矿石超过 1500 万吨^[1]。经过五十余年的露天开采, 该矿将在近几年内开始转为地下开采。影响地下采矿方法选择的因素很多, 包括矿体产状、矿岩性质、矿石价值、开采利用率等, 其中有些因素具有模糊属性。国内外采矿方法优选有经验类比法、层次分析法、模糊决策理论法、综合评价系数法、灰色方案决策分析法、相容分值法、非线性规划方法、多目标决策法、密切值法、神经网络方法和专家系统方法等, 这些方法各有其优缺点^[2]。本文基于模糊多属性决策理论^[3]来解决南芬铁矿地下采矿方

法选择中各种属性的不确定性以及方案优选问题。

2 采矿方法初选

2.1 初选可能的采矿方法

按南芬铁矿地质条件和开采技术经济条件, 初选垂直深孔球状药包落矿阶段矿房法(VCR 法)(A₁)、分段凿岩阶段矿房法(A₂)、分段矿房法(A₃)、房柱采矿法(A₄)、有底柱分段崩落法(A₅)、无底柱分段崩落法(A₆)、阶段强制崩落法(A₇)、中深孔留矿法(A₈)等 8 种采矿方法作为基本方案。综合国内外矿山实例, 给出与这 8 种采矿方法相适应的开采技术条件和主要技术经济指标的平均值, 见表 1。

表 1 适合初选采矿方法的开采技术条件与主要指标

方案编号	矿体平均倾角(°)	矿体平均厚度(m)	矿岩坚固性系数(f 系数)			损失率(%)	贫化率(%)
			矿体	上盘	下盘		
A1	46	53	8~10	4~8	4~8	6.57	3.21
A2	45	40	8~10	8~10	10~12	15	17
A3	55	20	10	7~9	11~13	10.18	14.18
A4	32	6	4~7	7~11	4~8	20~35	6~8
A5	75	30	4~6	6~8	4~6	10~13	30~35
A6	20	147	9~14	3~8	4~6	21	15~17
A7	70	130	8~12	8~12	4~6	5.9~33.9	22.9~31
A8	65	45	8~13	8~13	4~6	2.42	0.59
南芬*	47	120	14~18	12~14	4~12	≤15	≤15

注: *南芬铁矿的矿体赋存条件及其地下采矿方法所要求的指标参数。

2.2 采矿方法属性指标的规范化

由于表 1 中各指标的属性存在着不可公度量性, 因此需先消除各属性的量纲、数量级和属性类型的影

响, 再对方案进行综合评价和排序。表 1 中各属性指标均为确定性指标, 因此本文采用理想点规范化方法。各属性的理想点指标值见表 2。

表 2 各属性的理想点指标值

属性	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
理想点							
正理想点	90	200	20	20	20	0	0
负理想点	0	0	0	0	0	50	50

注: 表中, C1-矿体平均倾角; C2-矿体平均厚度; C3-矿体 f 系数; C4-上盘 f 系数; C5-下盘 f 系数; C6-损失率; C7-贫化率。

运用下列公式对指标进行规范化:

$$A(a_{ij}) = \frac{a_{ij} - a_j^{*-}}{a_j^{*+} - a_j^{*-}} \quad (1)$$

$$A(a_{ij}) = \frac{a_j^{*+} - a_{ij}}{a_j^{*+} - a_j^{*-}} \quad (2)$$

式中, $A(a_{ij})$ 表示 i 方案 j 属性的隶属度; a_j^{*+} 表示 j 属性的正理想点; a_j^{*-} 表示 j 属性的负理想点; a_{ij} 表示 j 属性的指标值。其中, 式(1)适用于正指标, 式(2)适用于负指标。得到规范化的模糊决策矩

阵见表 3。

2.3 海明贴近度

以南芬铁矿的地质和开采技术条件为样本 B , 比较它和各种初选采矿方法的相似程度。相似程度以海明贴近度(σ_H)表示:

$$\sigma_H(A_i, B) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |A(a_{ij}) - B(b_j)| \quad (3)$$

式中: $\sigma_H(A_i, B)$ 表示 i 方案与固定样本 B 的海明贴近度; $A(a_{ij})$ 表示 i 方案 j 属性的隶属度; $B(b_j)$ 表示固

表 3 规范化的模糊决策矩阵

方案	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	0.51	0.27	0.45	0.30	0.30	0.13	0.06
A2	0.50	0.20	0.45	0.45	0.55	0.30	0.34
A3	0.61	0.10	0.50	0.40	0.60	0.20	0.28
A4	0.36	0.03	0.30	0.45	0.30	0.54	0.14
A5	0.83	0.15	0.25	0.35	0.25	0.24	0.66
A6	0.22	0.74	0.60	0.30	0.25	0.42	0.32
A7	0.78	0.65	0.50	0.50	0.25	0.46	0.54
A8	0.72	0.23	0.55	0.50	0.25	0.05	0.01
南芬(B)	0.52	0.60	0.80	0.65	0.35	0.30	0.30

定样本 j 属性的隶属度; n 表示属性的数量。海明贴近度的计算结果及方案优选顺序见表 4。

可见, A2、A6、A7、A1、A3 等 5 个采矿方案与目标矿山采矿方案的贴进度大, 相似程度高, 可作为初步优选出的采矿方案。

3 采矿方法终选

依据模糊多属性决策理论来解决采矿方法终选时各属性中不确定的信息, 按 D1(采场生产能力)、D2(采矿工效)、D3(损失率)、D4(贫化率)、D5(安

表 4 各初选方案与固定样本的海明贴进度及优选顺序

方案编号	海明贴进度	优选顺序
A1	0.79	3
A2	0.83	1
A3	0.79	3
A4	0.73	6
A5	0.70	7
A6	0.83	1
A7	0.82	2
A8	0.77	5

全性)、D6(通风条件)、D7(工艺复杂程度)、D8(机械化程度)、D9(劳动强度)、D10(对矿体赋存条件的

表 5 初步评价矩阵

方案编号	D1(t/d)	D2(t/工班)	D3(%)	D4(%)
A1	(1100, 1200, 1300)	(30, 40, 50)	(10, 13, 15)	(6, 8, 10)
A2	(900, 1000, 1100)	(20, 25, 30)	(10, 12, 15)	(7, 10, 15)
A3	(750, 800, 900)	(14, 17, 19)	(8, 10, 13)	(12, 15, 17)
A6	(900, 1000, 1100)	(16, 19, 23)	(4, 5, 7)	(25, 31, 33)
A7	(800, 900, 1000)	(26, 35, 47)	(6, 20, 34)	(22, 27, 31)

方案编号	D5	D6	D7	D8	D9	D10
A1	较好	较差	一般	较好	好	一般
A2	一般	好	一般	较好	一般	较好
A3	一般	较好	较差	较好	较差	较好
A6	好	差	好	非常好	好	非常好
A7	一般	好	一般	一般	较差	一般

方案编号	D11	D12	D13	D14(元/t)	D15(m/kt)
A1	一般	较差	一般	好	(6, 8, 10)
A2	一般	一般	较好	较好	(6, 7, 8)
A3	一般	较好	较好	一般	(6, 7, 8.5)
A6	差	非常好	好	较好	(5, 5.5, 6)
A7	差	一般	好	好	(12, 18, 23)

适应性)、D11(环境保护)、D12(管理难易)、D13(技术难度)、D14(采矿成本)、D15(千吨采切比)等 15 个影响因素, 对各备选采矿方法进行评估, 并做出决策^[4]。定量指标参考国内外类似矿山选取, 定性指标采用九级模糊语言, 即绝对差、很差、差、较差、一般、较好、好、很好、绝对好等。将模糊语言转换成三角模糊数。对五个方案的初步评价结果见表 5。

3.1 权重的确定

采用主客观组合权重法确定采矿方法中各因素的权重。主客观组合权重即将主观和客观两种方法获得的权重按照一定的规则综合在一起形成综合性的权重。它既反映了决策者的主观偏好又反映因素的客观分布特点。

(1) 主观权重的确定

主观权重也称为估值权重, 这里采用模糊互补两两比较赋权法确定各因素的权重。

① 模糊比较向量的确定

首先从众多影响因素中选定一个最重要的因素。本文选择采场生产能力(D1)作为最重要的影响因素。然后, 将因素 D1 与其余各因素的重要程度逐个进行比较, 从而得到一个模糊比较向量 $V=(v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n})$, 其中: v_{1j} 既可以为模糊判别语言元素, 如“多”, “绝对多”等, 或者也可以为三角模糊数元素。模糊判别语言元素可以按照一定的转化规则转换成三角模糊数。D1(采矿生产能力)与其他各影响因素的权重比较结果见表 6。

表 6 各因素权重比较结果

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
D1 与 Di 相比, D1 的权重所占的比例	完全相同	多	非常多	非常多	多	略多	绝对多	非常多

	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
D1 与 Di 相比, D1 的权重所占的比例	绝对多	非常多	绝对多	多	略微多	略微多	多

将表 6 的模糊判别语言转换为三角模糊数, 得到模糊比较向量 $V=(v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n})$: $v_{11}=(0.5, 0.5, 0.5)$; $v_{12}=(0.6, 0.7, 0.8)$; $v_{13}=(0.7, 0.8, 0.9)$; $v_{14}=(0.7, 0.8, 0.9)$; $v_{15}=(0.6, 0.7, 0.8)$; $v_{16}=(0.5, 0.6, 0.7)$; $v_{17}=(0.8, 0.9, 1)$; $v_{18}=(0.7, 0.8, 0.9)$; $v_{19}=(0.8, 0.9, 1)$; $v_{110}=(0.7, 0.8, 0.9)$; $v_{111}=(0.8, 0.9, 1)$; $v_{112}=(0.6, 0.7, 0.8)$; $v_{113}=(0.5, 0.6, 0.7)$; $v_{114}=(0.5, 0.6, 0.7)$; $v_{115}=(0.6, 0.7, 0.8)$ 。

② 主观模糊权重的确定

运用 Dubois 和 Prade 提出的近似算法直接计算出模糊主观权重:

$$\omega_j^s = (\omega_j^l, \omega_j^m, \omega_j^r)$$

$$\omega_j^m = \frac{\frac{1}{v_{1j}^m} - 1}{\sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{v_{1k}^m} - 1 \right)}, k=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\omega_j^r = \frac{\frac{1}{v_{1j}^r} - 1}{\frac{1}{v_{1j}^r} - 1 + \sum_{k \neq j} \left(\frac{1}{v_{1k}^r} - 1 \right)} \quad (5)$$

$$\omega_j^l = \frac{\frac{1}{v_{1j}^l} - 1}{\frac{1}{v_{1j}^l} - 1 + \sum_{k \neq j} \left(\frac{1}{v_{1k}^l} - 1 \right)} \quad (6)$$

式中: ω_j 表示因素 j 的模糊主观权重; ω_j^l 表示因素 j 的模糊主观权重的下限; ω_j^m 表示因素 j 的模糊主观权重最可能的值; ω_j^r 表示因素 j 的模糊主观权重的上限; v_{1j}^m 表示因素 D1 与 D_j 权重比例模糊数最有可能的值; v_{1j}^l 表示因素 D1 与 D_j 权重比例模糊数的下限; v_{1j}^r 表示因素 D1 与 D_j 权重比例模糊数的上限; n 表示因素的数量。

将模糊比较向量的值代入式(4)、(5)、(6), 得到的主观模糊权重为:

$$\omega_1^s = (0.1095, 0.1654, 0.2391);$$

$$\omega_2^s = (0.0287, 0.0709, 0.1608);$$

$$\omega_3^s = (0.0126, 0.0413, 0.1059);$$

$$\omega_4^s = (0.0126, 0.0413, 0.1059);$$

$$\omega_5^s = (0.0287, 0.0709, 0.1608);$$

$$\omega_6^s = (0.0501, 0.1102, 0.2325);$$

$$\omega_7^s = (0, 0.0184, 0.0628);$$

$$\omega_8^s = (0.0126, 0.0413, 0.1059);$$

$$\omega_9^s = (0, 0.0184, 0.0628);$$

$\omega_{10}^s = (0.0126, 0.0413, 0.1059)$;
 $\omega_{11}^s = (0, 0.0184, 0.0628)$;
 $\omega_{12}^s = (0.0287, 0.0709, 0.1608)$;
 $\omega_{13}^s = (0.0501, 0.1102, 0.2325)$;
 $\omega_{14}^s = (0.0501, 0.1102, 0.2325)$;
 $\omega_{15}^s = (0.0287, 0.0709, 0.1608)$;

(2) 客观权重的确定

客观权重反映的是决策方案属性指标的客观分布特点, 本文采用模糊熵赋权法求采矿方法各因素的客观权重。

① 指标规范化处理

规范化处理结果见表 7。

表 7 规范化后的模糊决策矩阵

方案	D1(t/d)	D2(t/工班)	D3(%)	D4(%)
A1	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.6579, 0.7105, 0.7895)	(0.8108, 0.8649, 0.9189)
A2	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.1, 0.15, 0.2)	(0.6579, 0.7368, 0.7895)	(0.6757, 0.8108, 0.8919)
A3	(0.25, 0.3, 0.4)	(0.04, 0.07, 0.09)	(0.7105, 0.7895, 0.8421)	(0.6216, 0.6757, 0.7568)
A6	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.06, 0.09, 0.13)	(0.8684, 0.9211, 0.9474)	(0.1892, 0.2432, 0.4054)
A7	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.16, 0.25, 0.37)	(0.1579, 0.5263, 0.8947)	(0.2432, 0.3514, 0.4865)

方案	D5	D6	D7	D8
A1	(0.5, 0.625, 0.75)	(0.25, 0.375, 0.5)	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.5, 0.625, 0.75)
A2	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.625, 0.75, 0.875)	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.5, 0.625, 0.75)
A3	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.5, 0.625, 0.75)	(0.25, 0.375, 0.5)	(0.5, 0.625, 0.75)
A6	(0.625, 0.75, 0.875)	(0.125, 0.25, 0.375)	(0.625, 0.75, 0.875)	(0.75, 0.875, 1)
A7	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.625, 0.75, 0.875)	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.375, 0.5, 0.625)

方案	D9	D10	D11	D12
A1	(0.625, 0.75, 0.875)	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.25, 0.375, 0.5)
A2	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.5, 0.625, 0.75)	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.375, 0.5, 0.625)
A3	(0.25, 0.375, 0.5)	(0.5, 0.625, 0.75)	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.5, 0.625, 0.75)
A6	(0.625, 0.75, 0.875)	(0.75, 0.875, 1)	(0.125, 0.25, 0.375)	(0.75, 0.875, 1)
A7	(0.25, 0.375, 0.5)	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.125, 0.25, 0.375)	(0.375, 0.5, 0.625)

方案	D13	D14(元 / t)	D15(m/kt)
A1	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.625, 0.75, 0.875)	(0.7143, 0.8095, 0.9048)
A2	(0.5, 0.625, 0.75)	(0.5, 0.625, 0.75)	(0.8095, 0.8571, 0.9048)
A3	(0.5, 0.625, 0.75)	(0.375, 0.5, 0.625)	(0.7857, 0.8571, 0.9048)
A6	(0.625, 0.75, 0.875)	(0.5, 0.625, 0.75)	(0.9048, 0.9286, 0.9524)
A7	(0.625, 0.75, 0.875)	(0.625, 0.75, 0.875)	(0.0952, 0.3333, 0.6190)

(2) 各因素的模糊熵权

模糊熵赋权法遵守一般客观赋权法的规则, 指标的差异性越大、在决策中的作用越大, 则权重越大; 反之差异越小、作用也越小, 权重也越小。

① 模糊数的综合比较指标的确定

用模糊数决策指标与决策者负理想点指标的加权模糊距离, 表示模糊数的综合比较指标, 计算公式为:

$$F_{ij} = d(x_{ij}, x_j^-) = \beta d(x_{ijL}, x_{jL}^-) + (1 - \beta) d(x_{ijR}, x_{jR}^-) \quad (7)$$

$$d(x_1, x_2) = \int \left[\mu_{x_1}(x) - \mu_{x_2}(x) \right] dx$$

式中, F_{ij} 表示模糊数 x_{ij} 的综合效用比较指标; β 表示决策的不确定偏好系数, 当 $\beta=0.5$ 表示决策者为

不确定中性者; $\beta>0.5$ 表示决策者为不确定厌恶者; $\beta<0.5$ 表示决策者为不确定喜好者。 $d(x_{ij}, x_j^-)$ 表示加权海明模糊数距离; $d(x_1, x_2)$ 表示模糊数 x_1 和 x_2 的海明距离; x_{ij} 表示模糊决策指标; x_{ijL} 表示模糊决策

指标左值; x_{ijR} 表示模糊决策指标右值; x_{jL} 表示因素 j 负的左理想点指标; x_{jR} 表示因素 j 负的右理想点指标; $\mu_{x_j}(x)$ 表示模糊数 x_{ij} 的隶属函数; $\mu_{x_j}(x)$ 表示因素 j 负理想点隶属函数; n 表示因素的个数。

②模糊熵的确定

将模糊数的综合比较指标 F_{ij} 进行归一化处理, 并计算出各因素的模糊熵, 计算公式如下:

$$f_{ij} = \frac{F_{ij}}{\sum_{j=1}^n F_{ij}} \quad (8)$$

$$E_j = -\sum_i^m f_{ij} \ln f_{ij} \quad (9)$$

式中, f_{ij} 表示归一化的综合比较指标; E_j 表示因素 j 的模糊熵; m 表示采矿方案的个数。

由式(8)和(9)计算得出的各因素的模糊熵见表 8。

③客观权重的确定

运用模糊熵赋权法给各因素赋权, 计算公式如下:

$$w_j^o = \frac{(\ln n - E_j)}{\sum_{j=1}^n (\ln n - E_j)} \quad (10)$$

式中: w_j^o 表示因素 j 的客观权重; E_j 表示因素 j 的模糊熵; n 表示因素的个数。

将表 8 中各因素的模糊熵代入式(10), 求得各因素权重, 见表 9。

(3)组合模糊权重的确定

若已知模糊权重 $w_j^k = (w_{jl}^k, w_{jm}^k, w_{jr}^k)$, 可采用以下公式近似计算:

$$w_j^c = \left(\prod_{k=1}^l w_j^k \right)^{1/l} = \left(\left(\prod_{k=1}^l w_{jl}^k \right)^{1/l}, \left(\prod_{k=1}^l w_{jm}^k \right)^{1/l}, \left(\prod_{k=1}^l w_{jr}^k \right)^{1/l} \right) \quad (11)$$

式中, w_j^c 表示组合模糊权重; k 表示标识不同权重, 如 1, 2, ..., l ; l 表示不同种类权重的数量。

将各因素的主观模糊权重和表 9 中各因素的客观权重代入式(11), 计算得到的结果如表 10。

3.2 采矿方法终选

(1)模糊综合效用的确定

运用加权平均模型 $M(\cdot, +)$, 计算公式如式(12)

所示:

表 8 各因素的模糊熵

因素	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
E_j	0.8082	0.371	1.0495	0.9172	0.9028	0.8641	0.8429	0.9787
因素	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	
E_j	0.8583	0.9517	0.6825	0.8932	0.9865	0.986	1.0618	

表 9 各因素的客观权重

因素	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
w_j^o	0.0692	0.085	0.0604	0.0652	0.0657	0.0671	0.0679	0.063
因素	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	
w_j^o	0.0673	0.0639	0.0737	0.0661	0.0627	0.0627	0.0599	

表 10 组合模糊权重

因素	D1	D2	D3
w_j^c	(0.087, 0.1069, 0.1362)	(0.0494, 0.0776, 0.1169)	(0.0276, 0.05, 0.08)
因素	D4	D5	D6
w_j^c	(0.0287, 0.0519, 0.0831)	(0.0434, 0.0682, 0.1028)	(0.058, 0.086, 0.1249)
因素	D7	D8	D9
w_j^c	(0, 0.0353, 0.0653)	(0.0282, 0.051, 0.0817)	(0, 0.0352, 0.065)
因素	D10	D11	D12
w_j^c	(0.0284, 0.0514, 0.0823)	(0, 0.0368, 0.0681)	(0.0435, 0.0684, 0.1031)
因素	D13	D14	D15
w_j^c	(0.056, 0.0831, 0.1207)	(0.056, 0.0831, 0.1207)	(0.0415, 0.0652, 0.0982)

$$F_i = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \quad (12)$$

据表 7 的规范化决策矩阵和表 10 的组合模糊权重, 由式(12)计算模糊决策综合效用指标, 结果见表 11。

(2) 采矿方法的最优选取

对采矿方法的优选, 采用模糊数间的距离公式, 可以充分考虑决策主观不确定偏好的影响, 即利用模糊数与决策者负理想点的模糊距离作为模糊数比较和排序的指标, 计算公式如式(13):

$$F_i^d = \beta d(x_{iL}, x_{iL}^-) + (1-\beta) d(x_{iR}, x_{iR}^-) \quad (13)$$

$$d(A, B) = \int_{\alpha} (A_{\alpha}, B_{\alpha}) d_{\alpha}$$

式中: F_i^d 表示基于负理想点的模糊距离; $d(A, B)$ 表示两模糊数 A 和 B 的考夫曼距离; α 表示置信水平或阈值; A_{α} 表示 A 的 α 截集; B_{α} 表示 B 的 α 截集。

表 11 模糊综合效用指标

方案	F_i
A1	(0.0135, 0.0386, 0.1018)
A2	(0.0132, 0.0383, 0.1007)
A3	(0.0113, 0.0338, 0.0915)
A6	(0.0133, 0.0389, 0.1029)
A7	(0.0112, 0.0344, 0.0967)

表 12 基于负理想点的各采矿方法模糊距离及排序

方案	F_i^d	排序
A1	0.1214	2
A2	0.1205	3
A3	0.1078	5
A6	0.1226	1
A7	0.1115	4

将表 11 中模糊综合效用指标代入式(13), 计算得到模糊距离及排序, 见表 12。

与负理想点距离越大, 采矿方案越优。因此, 可得最优的采矿方法为 A6, 即无底柱分段崩落法。

4 结论

(1) 影响露天转地下采矿方法的因素众多, 采矿方法优选相当复杂。本文采用模糊多属性决策理论进行采矿方法优选, 提高了采矿方法优选的科学性和全面性。

(2) 本文采用主客观组合权重法来确定最终的采矿方法各影响因素的权重, 使得权重的确定更加合理, 提高了优选结果的准确性。

(3) 优选得出南芬铁矿露天转地下开采的采矿方法为无底柱分段崩落法。经评审, 认为优选得出的采矿方法技术上可靠、经济上合理, 已决定应用于矿山设计与生产中。实际开采时, 是否有着良好的社会、经济效果, 还需得到工程试验的检验。

参考文献

- [1] 韩波. 浅析南芬铁矿四期开采方式 [J]. 矿业工程, 2009, 7(3): 11-13.
- [2] 黄德镛, 胡运权, 陈孝华, 等. 基于模糊推理和神经网络的采矿方法智能决策系统 [J]. 有色金属(矿山部分), 2002(2): 104-107.
- [3] Maeda H, Murakami S. The use of fuzzy decision making method in a large scale computer system choice problem [J]. Fuzzy Set and Systems, 1993(54): 235-249.
- [4] 于润沧. 采矿工程师手册(上) [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.