

# 采矿方案的模糊优选

朱卓慧, 赵国彦, 吴桂香, 周子龙

(中南大学资源与安全工程学院, 湖南长沙 410083)

**摘要** 采矿方案选择受多种因素的影响,而这些因素又带有极大的模糊性、随机性和未知性,传统的采矿方案选择容易受到主观经验的左右而不能正确反映实际情况。应用模糊数学优选法,将采矿过程中的各种模糊或主观因素转化为数学形式,根据各采矿方案的技术经济指标及力学分析结果,将各方案的评价指标量化分析,使方案的评价和选择更加科学、合理、可靠。

**关键词** 采矿方案;模糊数学优选;最优方案

采矿方案选择受多种因素的影响,而这些因素又带有极大的模糊性、随机性和未知性,传统的采矿方案选择因而难以正确反映实际情况。模糊数学优选法将采矿过程中的各种因素转化为数学形式,根据各采矿方案的技术经济指标及力学分析结果,量化分析各方案的评价指标,使方案的评价和选择更加科学、合理、可靠。

## 1 模糊数学优选理论

### 1.1 模糊数学优化模型的建立

(1) 概念的引入。设  $x$  为全体  $m$  个设计指标组成的论域:

$$x = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\} \quad (1)$$

$x_i$  为集合中的指标  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ 。

$A$  为全体设计方案组成的方案集:

$$A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\} \quad (2)$$

$A_j$  为集合中的方案且为  $x$  上的模糊子集  $j = 1, 2, \dots, n$ 。

$G$  为  $x$  上的模糊最优子集。则:

$$u_w(A_j, G) = \frac{1}{1 + \left[1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^m \omega_i \gamma_{ij}}\right]^2} \quad (3)$$

称为方案  $A_j$  相对最优方案  $G$  取海明距离时的方案优属度。

(2) 隶属度的确定。定量指标的隶属度由隶属函数法确定,非定量指标采用相对二元比较法确定。

(3) 隶属函数法。对  $n$  个方案的  $m$  个指标组成的目标特征值矩阵为:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} = (y_{ij}) \quad (4)$$

对越大越优指标,用公式:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\max y_{ij}} \quad (5)$$

进行规格化,对越小越优指标,用公式:

$$r_{ij} = \frac{\min y_{ij}}{y_{ij}} \quad (6)$$

进行规格化,得到目标相对优属度矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij}) \quad (7)$$

(4) 相对二元比较法。设系统有待进行重要性比较的目标集:

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\} \quad (8)$$

$P_i$  为第  $i$  个目标,研究目标集  $P$  中的目标,就重要性进行二元对比的定性排序。

定义1,目标集中的目标  $P_k$  与  $P_l$  作二元对比: $P_k$  比  $P_l$  重要,令排序标度  $e_{kl} = 1$ ,  $e_{lk} = 0$ ;  $P_k$  与  $P_l$  同样重要,令  $e_{kl} = 0.5$ ,  $e_{lk} = 0.5$ ;  $P_l$  比  $P_k$  重要,令  $e_{kl} = 0$ ,  $e_{lk} = 1$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ;  $l = 1, 2, \dots, m$ )。

定义2,设系统有目标集关于重要性的二元对比矩阵为式(9)。满足  $e_{kl}$  仅在  $0, 0.5, 1$  中取值。 $e_{kl} + e_{lk} = 1$ ,  $e_{kk} = e_{ll} = 0.5$  ( $k, l = 1, 2, \dots, m$ ) 称为目标集二元对比重要性排序标度矩阵。

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{m1} & e_{m2} & \cdots & e_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

定理 1 目标集二元对比重要性排序标度矩阵 E 为排序一致性标度矩阵的必要且充分条件为：

若  $e_{hk} > e_{hl}$  ,有  $e_{lk} > e_{kl}$  ,若  $e_{hk} < e_{hl}$  ,有  $e_{lk} < e_{kl}$  ,若  $e_{hk} = e_{hl} = 0.5$  ,有  $e_{lk} = e_{kl} = 0.5( h = 1 \ 2 \ \cdots \ m )$ 。

推论 1 排序一致性标度矩阵 E 各行和数由大到小的排列 给出目标集关于重要性的排序 ,矩阵 E 中标度等于 0.5 的两个目标 ,其对应行的和数相等 ,排序相同。

定义 2 设目标集就重要性按推论 1 所给的排序作二元比较 ,若二元比较矩阵：

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \cdots & \beta_{1n} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \cdots & \beta_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \beta_{m1} & \beta_{m2} & \cdots & \beta_{mn} \end{bmatrix} = (\beta_{ij}) \quad (10)$$

且满足条件：

$$\begin{cases} 0 \leq \beta \leq 1 \\ \beta_{ij} + \beta_{ji} = 1 \\ \beta_{ij} = 0.5 \quad i = j \end{cases} \quad (11)$$

称矩阵  $\beta$  为关于重要性的有序二元比较矩阵 ,  $\beta_{ij}$  为目标 i 对 j 关于重要性作二元比较时 ,目标 i 对于 j 的重要性模糊标度  $\beta_{ji}$  为目标 j 对于 i 的重要性模糊标度 ;序号按推论 1 矩阵 E 各行数由大到小的

次序排序。

$$\beta_i = \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \quad i \neq j \quad i = 1 \ 2 \ \cdots \ m \quad (12)$$

根据排序 ,可查语气算子与定量标度(见表 1)。

表 1 语气算子与定量标度相对隶属度关系

语气算子	定量	标度	相对	隶属度
同样	0.50	0.525	1.0	0.905
稍稍	0.55	0.575	0.818	0.739
略为	0.60	0.625	0.667	0.60
较为	0.65	0.675	0.538	0.481
明显	0.70	0.725	0.429	0.379
显著	0.75	0.775	0.333	0.29
十分	0.80	0.825	0.25	0.212
非常	0.85	0.875	0.176	0.143
极其	0.90	0.925	0.111	0.081
极端	0.95	0.975	0.053	0.026
无可比拟	1		0	

2 计算实例

贵州开阳磷矿下属某矿山的采矿方法优选 ,根据地质条件和技术经济指标 ,初选了 5 种采矿方案：

方案 1 为斜壁矿柱中深孔落矿嗣后胶结充填采矿法 ,方案 2 为中深孔落矿嗣后胶结充填采矿法 ,方案 3 为房柱式中深孔落矿嗣后胶结充填采矿法 ,方案 4 为房柱式中深孔多分层落矿嗣后胶结充填采矿法 ,方案 5 为中深孔落矿下盘出矿嗣后胶结充填采矿法。

(1) 各采矿方案的主要技术经济指标及其它评判指标见表 2。

表 2 用砂坝矿体采矿方案的主要技术经济指标及其它评判指标比较

比较项目	方案 1		方案 2		方案 3		方案 4		方案 5	
	指标数	相对排序	指标数	相对排序	指标数	相对排序	指标数	相对排序	指标数	相对排序
盘区生产能力( t/d )	800	2	400	4	550	3	900	1	400	4
采矿工效( t/工班 )	37	3	45	2	45	2	55	1	45	2
采准切割比( m/kt )	8.24	1	8.43	2	8.43	2	8.43	2	8.43	2
矿石损失率( % )	26.92	2	16.7	1	28.6	3	33.4	4	16.7	1
矿石贫化率( % )	3	1	3	1	3	1	4	2	3	1
采矿成本( 元/t )	11.18	1	11.18	1	11.18	1	11.18	1	11.18	1
采矿地压控制	差	4	较好	2	好	1	较差	3	较好	2
对矿体适应程度	较好	2	较好	1	好	1	较好	2	较好	2
实施难易程度	较易	2	易	1	较难	3	难	4	较易	2

(2) 采矿方法最优方案的确定。采矿方法隶属度矩阵按采矿方法选择原则 ,选择生产能力、采矿工效、采切比、损失率、贫化率及采矿成本 6 个定量指标 ,采矿地压控制、对矿体适应程度、实施难易程度等 3 个定性指标进行优选(见表 2)。

由表 2 得出特征向量矩阵为：

$$Y_{1-6} = \begin{bmatrix} 800 & 400 & 550 & 900 & 400 \\ 37 & 45 & 45 & 55 & 45 \\ 8.24 & 8.43 & 8.43 & 8.43 & 8.43 \\ 26.9 & 16.7 & 28.6 & 33.4 & 16.7 \\ 3 & 3 & 3 & 4 & 3 \\ 11.8 & 11.8 & 11.8 & 11.8 & 11.8 \end{bmatrix}$$

运用公式(5)(6)规格化  $Y_{1-6}$  矩阵得:

$$R_{1-6} = \begin{bmatrix} 0.889 & 0.444 & 0.61 & 1 & 0.444 \\ 0.673 & 0.818 & 0.818 & 1 & 0.818 \\ 1 & 0.977 & 0.977 & 0.977 & 0.977 \\ 0.621 & 1 & 0.584 & 0.500 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0.75 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

根据各采矿方案对地压控制的难易程度,参考式(9)得特征向量矩阵:

$$e_1 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 1 & 0.5 \\ 1 & 1 & 0.5 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}$$

根据式(12)排序,依其顺序在表1适当选取参数,得到地压控制的相对优属度向量为:

$$R_7 = [0.333, 0.818, 1, 0.538, 0.818]$$

根据各方案对矿体适应程度,得特征向量矩阵:

$$e_2 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0.5 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0.5 & 1 & 1 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

由表1得矿体适应性的相对优属度向量:

$$R_8 = [0.667, 0.667, 1, 0.667, 0.667]$$

根据各方案实施难易程度,得特征向量矩阵:

$$e_3 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 1 & 1 & 0.5 \\ 1 & 0.5 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0.5 & 0 & 1 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}$$

由表1得各方案施工难易的相对优属度向量:

$$R_9 = [0.667, 1, 0.429, 0.143, 0.667]$$

综合以上,得到综合隶属度矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 0.889 & 0.444 & 0.610 & 1 & 0.444 \\ 0.673 & 0.818 & 0.818 & 1 & 0.818 \\ 1 & 0.977 & 0.977 & 0.977 & 0.977 \\ 0.621 & 1 & 0.584 & 0.5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0.75 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.333 & 0.818 & 1 & 0.538 & 0.818 \\ 0.667 & 0.667 & 1 & 0.667 & 0.667 \\ 0.667 & 1 & 0.429 & 0.143 & 0.667 \end{bmatrix}$$

权重向量为:

$$\omega^1 = (0.026, 0.026, 0.333, 0.818, 0.429, 1, 1, 0.818, 0.333)$$

对其归一化得到权重:

$$\omega = (0.0054, 0.0054, 0.0696, 0.171, 0.0897, 0.2091, 0.2091, 0.171, 0.0696)$$

根据  $B = \omega R$  可得方案隶属度向量:

$$B = (0.7132, 0.8994, 0.8844, 0.6773, 0.8397)$$

应用相对二元比较法得到9个指标权重矩阵:

$$E = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0.5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0.5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

即各方案优先顺序为:方案2,方案3,方案5,方案1,方案4。

通过以上分析,选择方案2(中深孔落矿嗣后胶结充填采矿法)作为该矿的最优采矿方法。

### 3 结束语

在采矿工程设计中,采矿方案选择受多种因素的影响,应用模糊数学对各采矿方案的技术经济指标及力学分析结果进行分析,既体现了其随机性,又考虑了模糊性,符合程度高,可靠性好,具有代表性,更符合工程实际需要。具体实例的计算分析说明模糊数学优选法是一种有效的采矿方案优选分析方法。

参考文献:

- [1] 肖有鼎,廖世金.应用模糊数学对采矿方法选择进行综合评判[J].有色金属(矿山部分),1993(1):1~6.
- [2] 谢贤平,杨鹏.采矿方法设计方案的评价与选择[J].黄金,1996,17(6):15~18.
- [3] 吴爱祥,张卫锋.对若干采矿方法数值优选法的评价与优选[J].湘潭矿业学院学报,2000,15(9):7~11.
- [4] 贺仲雄.模糊数学及其应用[M].天津:天津科学技术出版社,1983.

(收稿日期 2005-05-27)