

# 多目标决策密切值法在侯庄矿采矿方法优选中的应用<sup>①</sup>

李明<sup>1</sup>, 郑怀昌<sup>1</sup>, 赵勇<sup>2</sup>, 任继朋<sup>1</sup>

(1. 山东理工大学 资源与环境工程学院, 山东 淄博 255049; 2. 山东金岭铁矿, 山东 淄博 255081)

**摘要:** 根据山东金岭铁矿侯庄矿特定矿体的开采技术条件和要求, 运用层次分析法对影响采矿方法的多因素指标进行了对比和分析, 并计算出各评价指标的权重, 然后运用多目标决策密切值法对采矿方案进行了优选, 结果表明, 最适宜于侯庄矿的采矿方案为分段凿岩事后充填阶段矿房法, 而分层胶结充填法和浅孔房柱法作为补充方案适宜在小矿体和边部矿体的回采中应用。

**关键词:** 多目标决策; 密切值法; 层次分析法; 采矿方法优选

**中图分类号:** TD853      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0253-6099(2010)02-0005-04

## Application of Osculating Value Method of Multi-objective Decision to the Optimization of Mining Methods in Houzhuang Mine

LI Ming<sup>1</sup>, ZHENG Huai-chang<sup>1</sup>, ZHAO Yong<sup>2</sup>, REN Ji-peng<sup>1</sup>

(1. School of Resources and Environment Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, Shandong, China; 2. Shandong Jinling Iron Mine, Zibo 255081, Shandong, China)

**Abstract:** Based on the mining technology and requirement for the special ore body in Houzhuang Mining area of Shandong Jinling Iron Mine, the multi-factor indexes affecting mining method were compared and analyzed with analytic hierarchy process, and weight of each evaluation index was calculated. The mining method was optimized with osculating value method of multi-objective decision. Results show that the mining method of sublevel rock drilling and stage room stoping is optimum for Houzhuang Mining area, while the methods of slice stoping with cemented fill and room-and-pillar mining with shallow-hole can be used as supplementary schemes applied to small and marginal ore body.

**Key words:** multi-objective decision; osculating value method; analytic hierarchy process; optimization of mining method

正确地选择矿床开采中的采矿方法, 是矿山企业设计和生产中必须解决的至关重要的问题, 是矿床开采成败的核心。目前, 在采矿方法选择中, 主要采用经验类比法和盈利分析法。实践证明, 这样确定的采矿方法有较大的片面性和主观性, 科学性不强。近几年, 人们试用灰色关联法、模糊数学法、统计分析法等数值决策方法进行决策, 取得了一定成效。

多目标决策密切值法是一种新的数值决策法, 它将参与方案优选的各项技术经济指标无量纲化, 以消除各指标单位不同所带来的不利影响, 并按重要程度运用层次分析法计算出不同指标的权重, 然后根据数学原理, 排列出各方案优劣次序, 其中涉及的大量数学运算由 EXCEL 中自带的函数完成, 从而为地下采矿方法优选提供简单、易懂、直观的科学决策依据。本文运用多目标决策密切值法对山东金岭铁矿侯庄矿床初步设计中

选用的采矿方案进行了优选排序, 取得了较好效果。

### 1 矿区地质及初选方法

山东金岭铁矿侯庄分矿矿床赋存于奥陶系马家沟组石灰岩与中生代燕山期闪长岩接触带上, 位于东北向金岭短轴背斜的西北翼, 为热液接触交代矽卡岩型磁铁矿床, 矿岩接触界线清楚, 产状受接触带控制, 上盘为结晶灰岩, 节理发育  $f=8 \sim 10$ , 体重  $2.8 \text{ t/m}^3$ , 稳固; 磁铁矿  $f=8 \sim 12$ , 体重  $4.1 \text{ t/m}^3$ ; 下盘绝大部分为厚度不一的透辉石矽卡岩, 裂隙发育,  $f=8 \sim 12$ , 体重  $2.8 \text{ t/m}^3$ , 稳固。矿体沿走向方向连续, 厚度变化起伏不定, 倾角在  $20^\circ \sim 50^\circ$  左右。根据矿体实际赋存状态, 在回采过程中采用了多种采矿方法, 根据采矿方法初选初步确定了 3 种采矿方法: 分段凿岩事后充填阶段矿房法、浅孔房柱法、分层胶结充填法。

① 收稿日期: 2009-09-27

基金项目: 山东省科技攻关项目(2008GG10006016); 山东理工大学博士基金项目(4041406026)

作者简介: 李明(1970-), 男, 山东高密人, 副教授, 博士, 主要从事采矿工程及尾矿库安全的教学与科研工作。

对于这3种采矿方法,首先利用改进的层次分析法对单个矿房生产效率、回采率、出矿效率、损失率、贫化率、炸药消耗、采准比、出矿成本等技术经济指标进行权重计算,再运用密切值法根据权重并结合 EXCEL

对采矿方法中常用的指标单个矿房生产效率、回采率、出矿效率、损失率、贫化率、炸药消耗、采准比、出矿成本等技术经济指标进行衡量计算,对这3种回采方法进行优劣排序。采矿方法技术经济指标见表1。

表1 采矿方法技术经济指标

采矿方法	月生产能力 /t	回采率 /%	班出矿效率 /t	安全程度	贫化率 /%	炸药消耗 /(kg·t <sup>-1</sup> )	出矿成本 /(元·t <sup>-1</sup> )	采切比 /(m <sup>3</sup> ·kt <sup>-1</sup> )
分段凿岩事后充填阶段矿房法	18 000	85	260	4.81	15	0.54	47	58
浅孔房柱法	3 000	75	150	2.46	10	0.41	21	62
分层胶结充填法	2 000	95	110	3.32	8	0.28	85	80

## 2 层次分析法计算权重

### 1) 建立比较矩阵。

比较矩阵<sup>[1]</sup>为:  $A = (a_{ij})_{m \times m}$

$$a_{ij} = \begin{cases} 2 & \text{指标 } i \text{ 比 } j \text{ 重要} \\ 1 & \text{指标 } i \text{ 与 } j \text{ 同样重要, } i, j = 1, 2, \dots, m, \\ r_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} \\ 0 & \text{指标 } i \text{ 不如 } j \text{ 重要} \end{cases}$$

根据目前市场铁矿石价格以及资源的不可再生性,将矿石回采率作为各项指标中最重要的因素;其次是安全程度,第三为贫化率、矿房生产能力与出矿效率;第四为采准比、炸药消耗、生产成本,可得出矩阵:

$$A = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} A & I_1 & I_2 & I_3 & I_4 & I_5 & I_6 & I_7 & I_8 & r_i \\ I_1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 8 \\ I_2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 15 \\ I_3 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 8 \\ I_4 & 2 & 0 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 13 \\ I_5 & 2 & 0 & 2 & 0 & 1 & 2 & 2 & 2 & 11 \\ I_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 3 \\ I_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 3 \\ I_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 3 \end{bmatrix}$$

### 2) 将比较矩阵转化为判断矩阵。

将比较矩阵  $A = (a_{ij})_{m \times m}$  通过级差法转化为判断矩阵<sup>[2-3]</sup>  $C$ :

$$c_{ij} = c_b^{(r_i - r_j)/R}$$

式中  $c_b$  为常数,一般取  $c_b = 9$ ;  $R$  为级差:

$$R = R_{\max} - R_{\min}$$

其中:

$$R_{\max} = \max\{r_1, r_2, \dots, r_m\};$$

$$R_{\min} = \min\{r_1, r_2, \dots, r_m\}.$$

可得:

$$C = \begin{bmatrix} A & I_1 & I_2 & I_3 & I_4 & I_5 & I_6 & I_7 & I_8 \\ I_1 & 1 & 0.2776 & 1 & 0.4003 & 0.5774 & 2.4981 & 2.4981 & 2.4981 \\ I_2 & 3.6028 & 1 & 3.6028 & 1.4423 & 2.0801 & 9 & 9 & 9 \\ I_3 & 1 & 0.2776 & 1 & 0.4003 & 0.5774 & 2.4981 & 2.4981 & 2.4981 \\ I_4 & 2.4981 & 0.6934 & 2.4981 & 1 & 1.4423 & 6.2403 & 6.2403 & 6.2403 \\ I_5 & 1.7321 & 0.4808 & 1.7321 & 0.6934 & 1 & 4.3267 & 4.3267 & 4.3267 \\ I_6 & 0.4003 & 0.1111 & 0.4003 & 0.1603 & 0.2311 & 1 & 1 & 1 \\ I_7 & 0.4003 & 0.1111 & 0.4003 & 0.1603 & 0.2311 & 1 & 1 & 1 \\ I_8 & 0.4003 & 0.1111 & 0.4003 & 0.1603 & 0.2311 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

### 3) 排序权向量的计算。

计算判断矩阵每一行元素的乘积<sup>[4-5]</sup>:

$$N_i = \prod_{j=1}^m C_{ij}, W_i = \sqrt[m]{N_i}$$

$$\text{归一化处理得: } \bar{W}_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^m W_i}$$

可得:

$$N_i = (1, 28\ 387.8, 1, 1\ 516\ 381, 81, 0.000659, 0.000659, 0.000659)$$

$$W_i = (1, 3.602511, 1, 2.49805, 1.732051, 0.400312, 0.400312, 0.400312)$$

$$\bar{W}_i = (0.09063, 0.326524, 0.09063, 0.226399, 0.156976, 0.03628, 0.03628, 0.03628)$$

### 4) 一致性检验。

计算  $C$  矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}$ :

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{n \bar{W}_i}$$

式中  $v_i$  表示向量  $V$  的第  $i$  个元素,有:

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}^T = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & \dots & C_{1,n} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & \dots & C_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n,1} & C_{n,2} & \dots & C_{n,n} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{W}_1 \\ \bar{W}_2 \\ \vdots \\ \bar{W}_n \end{Bmatrix} \quad (1)$$

由式(1)即可计算出排序向量  $W$  为:

$$W = \{\overline{W}_1, \overline{W}_2, \dots, \overline{W}_n\}$$

经计算得：

$$V = (0.725042, 2.612188, 0.725042, 1.81119, 1.425356, 0.290243, 0.290243, 0.290243)$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{n \overline{W}_i} = 8.13501 \quad (2)$$

由式(2)的排序权向量确定的权数分配是否合理,需要对判断矩阵进行一致性检验,计算其随机一致性比率 CR:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

式中  $CI = \frac{1}{n-1}(\lambda_{\max} - n) = 0.019287$ ; 矩阵阶数为 8 的  $RI = 1.4200$ 。计算得:

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0.013583 < 0.1$$

上述结果满足一致性检验,故 8 个指标权重为:  
 $\overline{W}_i = (0.09063, 0.326524, 0.09063, 0.226399, 0.156976, 0.03628, 0.03628, 0.03628)$

### 3 密切值法优选

1) 建立指标矩阵 A。

$$A = (a_{ij})_{m \times n}$$

式中  $a_{ij}$  为第  $i$  种采矿方法的第  $j$  项指标值。可得:

$$A = \begin{bmatrix} 18000 & 85 & 260 & 4.81 & 15 & 0.54 & 47 & 58 \\ 3000 & 75 & 150 & 2.46 & 10 & 0.41 & 21 & 62 \\ 2000 & 95 & 110 & 3.32 & 8 & 0.28 & 85 & 80 \end{bmatrix}$$

2) 将指标矩阵转化为规范化指标矩阵。

$$b_{ij} = \begin{cases} a_{ij} & \text{当 } S_j \text{ 为正向指标时} \\ -a_{ij} & \text{当 } S_j \text{ 为逆向指标时} \end{cases}$$

可得矩阵 B:

$$B = \begin{bmatrix} 18000 & 85 & 260 & 4.81 & -15 & -0.54 & -47 & -58 \\ 3000 & 75 & 150 & 2.46 & -10 & -0.41 & -21 & -62 \\ 2000 & 95 & 110 & 3.32 & -8 & -0.28 & -85 & -80 \end{bmatrix}$$

再由:

$$r_{ij} = \frac{b_{ij}}{(\sum_{i=1}^m b_{ij}^2)^{\frac{1}{2}}}$$

计算可得规范化矩阵  $R^{[6]}$ :

$$B = \begin{bmatrix} 0.9805 & 0.5747 & 0.8133 & 0.7585 & -0.7605 & -0.7361 & -0.4730 & -0.4972 \\ 0.1634 & 0.5071 & 0.4692 & 0.3879 & -0.5070 & -0.5389 & -0.2113 & -0.5315 \\ 0.1089 & 0.6423 & 0.3441 & 0.5236 & -0.4056 & -0.3817 & -0.8554 & -0.6858 \end{bmatrix}$$

3) 计算加权规范化矩阵  $R'$ 。

运用层次分析法计算权值  $W_j (j = 1, 2, \dots, n)$ ,

$\sum_{j=1}^n w_j = 1$ , 可得:

$$R' = RW = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & \dots & w_n r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ w_1 r_{m1} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

其中:

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & w_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & w_n \end{bmatrix}$$

则加权规范化矩阵  $R'$  为<sup>[7]</sup>:

$$R' = \begin{bmatrix} 0.0889 & 0.1877 & 0.0737 & 0.1717 & -0.1194 & -0.0267 & -0.0172 & -0.0180 \\ 0.0149 & 0.1656 & 0.0425 & 0.0878 & -0.0796 & -0.0203 & -0.0077 & -0.0193 \\ 0.0099 & 0.2097 & 0.0312 & 0.1185 & -0.0637 & -0.0139 & -0.031 & -0.0249 \end{bmatrix}$$

4) 求采矿方法集的最优点  $A^+$  和最劣点  $A^-$ 。

在备选采矿方法的集合中,分别选取每项规范化指标的最优值和最劣值,即:

$$r_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} \{r_{ij}\} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$r_j^- = \min_{1 \leq i \leq m} \{r_{ij}\} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

其中  $r_j^+, r_j^-$  分别表示第  $j$  项规范化指标的最优值和最劣值。则有最优点  $A^+$  和最劣点  $A^-$ :

$$\begin{cases} A^+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+) \\ A^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-) \end{cases}$$

可得出集合的最优点和最劣点为:

$$A^+ = (0.0889, 0.2097, 0.0737, 0.1717, -0.0637, -0.0139, -0.0077, -0.0180)$$

$$A^- = (0.0099, 0.1656, 0.0312, 0.0878, -0.1194, -0.0267, -0.0310, -0.0249)$$

5) 求各方案的密切值并排序。

计算各采矿方法距最优点  $A^+$  和最劣点  $A^-$  的欧氏距离  $d_i^+$  和  $d_i^-$ , 结果见表 2。

$$\begin{cases} d_i^+ = \left[ \sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ d_i^- = \left[ \sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \end{cases}$$

表 2 欧氏距离计算值

采矿方法	$d_i^+$	$d_i^-$
A1	0.0620	0.1258
A2	0.1255	0.0485
A3	0.1071	0.0758

令:

$$\begin{cases} d^+ = \min_{1 \leq i \leq m} \{d_i^+\} \\ d^- = \max_{1 \leq i \leq m} \{d_i^-\} \end{cases}$$

求得:

$$\begin{cases} d^+ = 0.0620 \\ d^- = 0.1258 \end{cases}$$

密切值  $C_i$  为:

$$C_i = \frac{d_i^+}{d^+} - \frac{d_i^-}{d^-}$$

求得:

$$C_1 = 0, \quad C_2 = 1.6371, \quad C_3 = 1.1026$$

按大小排序有:  $C_2 > C_3 > C_1$ 。

根据密切值原理“ $C_i$  值越小, 所对应的采矿方法  $A_i$  越好; 反之,  $C_i$  值越大, 所对应的采矿方法  $A_i$  越差”, 可推断出 3 种采矿方法从优到劣的顺序为:  $A_1 > A_2 > A_3$ , 即分段凿岩事后充填阶段矿房法最优, 分层胶结充填法次之, 浅孔房柱法较差。

## 4 结 语

根据山东金岭铁矿侯庄矿特定矿体的开采技术条件和要求, 运用层次分析法对影响采矿方法的多因素指标进行了对比和分析, 并计算出各评价指标的权重,

然后运用多目标决策密切值法对采矿方案进行了优选, 结果表明, 最适宜于侯庄矿的采矿方案为分段凿岩事后充填阶段矿房法, 而分层胶结充填法和浅孔房柱法作为补充方案适宜在小矿体和边部矿体的回采中应用。

## 参考文献:

- [1] 朱 茵, 孟志勇, 阙叔愚. 用层次分析法计算权重[J]. 北方交通大学学报, 1999, 23(5): 119-122.
- [2] 金菊良, 魏一鸣, 丁 晶. 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型[J]. 水利学报, 2004(3): 65-70.
- [3] 郑晓明, 邹汾生, 李富平. 用层次分析法进行采矿方法模糊评价及优选[J]. 中国矿业, 2004, 19(3): 20-23.
- [4] 舒方坚. 采矿方法选择的层次分析模型及应用[J]. 矿冶工程, 2003(1): 8-11.
- [5] 杨 扬, 冯乃琦, 余珍友. 层次分析和隶属函数在采空区稳定性评价中的应用[J]. 矿冶工程, 2008, 28(5): 23-26.
- [6] 何东进, 洪 伟, 林改平, 等. 多目标决策的密切值法及其应用研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2001, 17(5): 96-98.
- [7] 邓 建. 多目标决策密切值法在采矿方法优选中的应用[J]. 黄金, 1996, 17(9): 26-29.

(上接第4页)

2) 矿房-矿柱组合的复杂采空群体系, 可以抽象为复合应力拱的形式。“外应力拱”承担覆岩及地表土的自重并将其传递至采场两侧围岩, “内应力拱”主要承担悬空顶板载荷并传递至矿柱。

3) 采用颗粒流数值模拟方法对实际工程进行计算, 评价了采空区的稳定性, 结果与复合应力拱理论具有良好的符合性, 表明这一方法适用于分析采空塌陷等复杂的、不连续体的力学过程, 对矿山的安全生产具有一定的指导意义。

## 参考文献:

- [1] MA Haitao, WANG Yunhai, FU Shigen. Present Situation Analysis

of Non-Coal Mine Goaf Hazards in China[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2009, 30(S1): 91-95.

- [2] 李夕兵, 李地元, 赵国彦. 金属矿地下采空区探测、处理与安全评判[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(1): 24-29.
- [3] 马海涛. “11·6”特别重大坍塌事故矿区采场稳定性三维数值模拟分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2007, 3(6): 68-72.
- [4] Salamon M D G, Munro A H. A Survey of the Strength of Coal Pillars[J]. South Africa Inst Min Metal, 1967, 68: 55-67.
- [5] Cundall P E, Hart R G. Numerical modeling of discontinua[J]. Engineering Computations, 1992, 9(2): 101-113.
- [6] 赫建明, 李 晓, 吴剑波. 土石混合体材料的模型构建及其数值试验[J]. 矿冶工程, 2009, 29(3): 1-4.
- [7] 何国清, 杨 伦. 矿山开采沉降学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.