

# 模糊决策优化采矿方法的运用

寇明遥<sup>1</sup>, 王永智<sup>2</sup>, 邬煜<sup>3</sup>, 黄九民<sup>4</sup>

(1. 白银石晋矿业有限公司, 甘肃 白银 730900 2. 西北矿冶研究院, 甘肃 白银 730900

3. 中国有色金属工业第十四冶金建设公司, 云南 昆明 650051 4. 安徽太平矿业有限公司, 安徽 濉溪 235115)

**摘要:** 前常铜铁矿采矿改扩建前, 采用房柱法和崩落法对矿山进行开采. 由于矿山地处淮北平原, 地形平坦, 全为第四系覆盖, 无岩石出露, 开采技术条件复杂, 原采用采矿方法损失率大, 贫化率高, 安全性差. 因此, 对前常铜铁矿采矿改扩建期间的各种采矿方法, 运用模糊决策理论, 从模糊决策角度进行优化, 从而得出了适合前常铜铁矿矿床开采的采矿方法, 对平原地区矿山开采具有一定的借鉴和研究价值.

**关键词:** 模糊决策; 优化; 采矿方法; 运用

**中图分类号:** TD265.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2010)02-0005-05

## Application of Optimization Mining Method of Fuzzy Decision

KOU Ming-yao<sup>1</sup>, WANG Yong-zhi<sup>2</sup>, WU Yu<sup>3</sup>, HUANG Jiu-ming<sup>4</sup>

(1. Baiyin Shijin Mining Co. Ltd. Baiyin, Gansu 730900, China

2. Northwest Research Institute of Mining & Metallurgy, Baiyin, Gansu 730900, China

3. No. 14 Metallurgical Construction Co. National Nonferrous Industry of China, Kunming 650051, China

4. Anhui Taiping Mining Co. Ltd. Suixi, Anhui 235115, China)

**Abstract** Before the transformation and expansion of Qianchang delafossite, room-and-pillar mining was mainly adopted. Due to the fact that the terrain is flat and completely covered by the Quaternary without rock outcrops, mining and technical conditions are complicated. The loss and dilution rate was high, and the security was poor. Therefore, the fuzzy decision is adopted in this paper to optimize the various mining methods. The optimized method may be referential and significant to other similar mines.

**Key words** fuzzy decision; optimization; mining method; application

## 0 引言

矿山设计工程中, 采矿方法选择是一项极其复杂而重要的过程. 一般经过方案初选, 技术经济比较和综合分析三个阶段来确定采矿方法, 并在实际中进行验证, 最后确定矿山的主体采矿方法, 这一过程需要较长的时间. 一旦所选择的采矿方法试验失败, 除了造成资源的浪费外, 还必须进行其它方法的选择和试验. 白银公司小铁山矿在 1986 年技术改造时, 采矿方法原则由崩落采矿法变更为充填采矿法, 但在充填采矿法中, 先后进行了低分段、分条风沙充填采矿法、高分段、分条尾砂胶结充填采矿法、机械化上向巷道式胶结充填采矿法、菱形梯段胶结充填采矿法等试验工作, 耗时近 9 年, 1995 年才确定矿山的主体采矿方法《机械化上向巷道式胶结充填采矿法》.

虽然总体原则是充填采矿法, 但充填采矿法的方法很多, 而影响采矿方法选择的因素很多, 参与比较的经济技术指标缺乏公度性, 有时相互矛盾, 某些技术因素还不能定量比较, 而设计者往往受实际经验和判断能力等方面的限制, 使选得的最优方案未必最优, 难免带有主观性; 而且有时还存在经过比较后还留

收稿日期: 2009-12-28 基金项目: 中国黄金集团公司资助项目 (项目编号: kys0802).

第一作者简介: 寇明遥 (1968-), 男, 工程师, 主要研究方向: 矿山技术. E-mail: wangyongzhi69@126.com

有几个难以凭经验判断其优劣的方案. 为了克服上述方法的不足, 国内外采矿工作者积极寻求新的途径, 特别是近年来随着应用科学、电子计算机及其它软科学的发展, 许多矿业工作者从不同角度, 如模糊数学、价值工程、灰色理论等, 对采矿方法选择进行了有益的探讨, 有效地解决了采矿方法方案中的完全定量化问题, 较好地综合了各评价指标的影响.

## 1 基本概况

前常铜铁矿始建于 1973 年, 矿山采用竖井加盲斜井联合开拓方式. 2007 年前, 前常铜铁矿采用房柱法和崩落法进行采矿. 主要有 -180 m、-240 m 二个主要作业生产中段, 这二个中段又派生了 -150 m、-220 m 和 -300 m 等多个盲中段(有的分层不能进入). 对 -240 m 水平以上地质报告中矿体厚大和铜品位较高的矿体进行了开采, 到目前为止, -240 m 以上铜矿体都已开采, 采空区主要是在 -150 m、-180 m、-220 m 和 -240 m 四个分层之间, -180 m 至 -150 m 标高内已形成 12 个采空区, -220 m 至 180 m 标高内已形成 24 个采空区, -240 m 至 -220 m 标高内已形成 8 个采空区, 其它还有一些未知采空区. 这些采空区是根据地质报告提交的地质资料, 采用盲上山或下山直奔矿体品位高、矿体厚大部位, 形成若干盲分层对勘探线附近矿体追索开采, 造成矿体在走向上未探明, 同时也造成矿石极大损失.

从目前掌握的资料分析, 地质探矿是利用追索矿体的工程进行坑内钻探矿, 坑内钻也只局限勘探线附近很小的范围内, 没有加密工程对矿体走向上的连接进行验证, 如果矿体形态发生变化, 探矿工程没法跟进. 现在根据已有采空区推测矿体空间形态难度大, 资料也不确切. 前常铜铁矿地处淮北地区, 地形平坦, 全为第四系覆盖, 无岩石出露. 沉积岩受岩浆岩的侵入、吞蚀造成地层缺失, 加之蚀变强烈, 矿体顶板主要为金云母透辉石砂卡岩、金云母蛇纹岩. 底板主要为金云母蛇纹岩、透辉石砂卡岩, 次为蚀变石英正长闪长玢岩. 矿体中的夹石为透辉石砂卡岩和蛇纹岩<sup>[2]</sup>.

## 2 开采技术条件

矿体的工程地质条件与矿石的自然类型有关. 方解石(白云石)磁铁矿石、透辉石磁铁矿石、蛇纹石磁铁矿石和硅镁石磁铁矿石, 完整坚硬, 裂隙不发育, 仅有时局部地段方解石充填裂隙发育, 其工程地质条件较好. 绿泥石金云母磁铁矿石多松、软、碎, 且闭合裂隙发育, 其工程地质条件较差.

矿体顶底板岩石的工程地质条件与其岩石的岩性、蚀变类型及蚀变程度有关. 组成矿体顶底板岩石的岩性变化较大, 其中主要有: 各种砂卡岩、大理岩(条带状大理岩、白云质大理岩等)、碳酸盐化绿泥石(金云母)化石英正长闪长(玢)岩和其它各种蚀变石英正长闪和(玢)岩、石英闪长玢岩等. 其中大理岩和石榴子石透辉石砂卡岩, 岩石较完整, 裂隙不发育, 其工程地质条件良好. 碳酸盐化绿泥石(金云母)化石英正长闪长(玢)岩, 岩石多呈松、软、碎状态, 其破碎程度较严重, 常构成 30~50 m 的破碎带, 且破碎带的产状常与矿石产状一致. 如 I 号和 VI 号矿带, 所以工程地质条件应为极差. 其它各种蚀变石英正长闪长(玢)岩、石英闪长玢岩, 岩石较破碎, 其工程地质条件一般较差. 蚀变愈强, 岩石愈破碎, 工程地质条件即愈差.

## 3 采矿方法方案的优选

在采矿方法方案选择时, 要考虑的影响因素很多, 为简化优化模型, 按照安全、经济、高效和资源利用率高的基本原则, 以采矿方法方案的生产能力、采矿工效、矿石损失率、贫化率、采切比、采充成本、安全程度、工艺简单程度、对矿体适应程度及矿山对方案熟悉程度 10 项指标作为方案比较因素. 其优化选择过程如图 1 所示.

### 1) 模糊矩阵的形成

#### ① 定量指标隶属度的计算

参与比较的定量指标包括: 生产能力、采矿工效、矿石损失

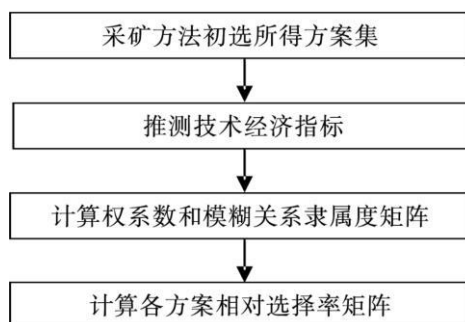


图1 模糊综合评判终选采矿方法过程图  
Fig.1 Fuzzy comprehensive evaluation of final selection mining methods

率、贫化率、采切比、采充成本。根据所提出的采矿方法方案特点, 以及矿山对采矿方法方案的技术经济指标的要求, 并参考国内外同类矿山的实际指标, 推算出各采矿方法方案的技术经济指标值, 如表 1 所示。

表 1 采矿方法方案主要技术经济指标<sup>[4]</sup>

Tab 1 Primary technical and economic indicators of mining methods

方案名称	生产能力 /t·d <sup>-1</sup>	采矿工效 /t·p <sup>-1</sup>	损失 率 %	贫化 率 %	采切比 /m·kt <sup>-1</sup>	采充成本 /元·t <sup>-1</sup>
两步骤深孔回采嗣后充填采矿法 (方案 1)	700~ 800	100~ 126	15	8	2.94	55.7
两步骤分段中深孔回采嗣后充填采矿法 (方案 2)	600~ 800	52~ 72	15	7	6.11	57.7
中深孔连续回采嗣后充填采矿法 (方案 3)	500~ 600	52~ 72	15~ 20	7	5.43	57.7
分条中深孔 (或浅孔) 连续回采充填采矿法 (主案 4)	100~ 200	30~ 50	15~ 20	6	10.32	59.7

定量指标相对隶属度按下式计算<sup>[1]</sup>, 对于正指标 (越大越优), 有:

$$u_{ij} = \begin{cases} 1 & f_{ij} \geq f_{\bar{p}} \\ \frac{f_{ij} - f_{\bar{u}}}{f_{\bar{p}} - f_{\bar{u}}} & f_{\bar{p}} > f_{ij} > f_{\bar{u}} \\ 0 & f_{ij} \leq f_{\bar{u}} \end{cases}$$

对于负指标 (越小越好), 有:

$$u_{ij} = \begin{cases} 0 & f_{ij} \geq f_{\bar{p}} \\ \frac{f_{\bar{p}} - f_{ij}}{f_{\bar{p}} - f_{\bar{u}}} & f_{\bar{p}} > f_{ij} > f_{\bar{u}} \\ 1 & f_{ij} \leq f_{\bar{u}} \end{cases}$$

式中:  $u_{ij}$  -  $j$  方案  $i$  指标的隶属度;  $f_{\bar{p}}$  -  $i$  指标的上限值;  $f_{\bar{u}}$  -  $i$  指标的下限值。

根据上述方法得到定量指标的隶属度矩阵为:

$$R^{1-6} = \begin{bmatrix} 1 & 0.92 & 0.67 & 0 \\ 1 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 1 \\ 1 & 0.43 & 0.34 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

②定性指标隶属度计算

参与比较的定性指标为: 安全程度、工艺简单程度、对矿体适应程度及矿山对方案熟悉程度。

首先对定性指标赋以模糊定量值, 然后用二元对比排序法求其隶属度。

将定性指标按其重要程度划分为 5 个等级, 请有经验的专家赋以定量值, 如表 2~ 表 6 所示。于是得到判断矩阵  $B = (b_{ij})_{m \times n}$  其中:

$$b_{ij} = f_{x_j}(u_i) / f_{u_i}(u_j), \text{ 且满足 } b_{ii} = 1, b_{ij} = 1/b_{ji} \text{ ( } i, j = 1, 2, \dots, m \text{ )};$$

当  $b_{ij} \geq 1$  时, 令  $b_{ij} = 1$  这时判断矩阵  $B = (b_{ij})_{m \times n}$  即为二元对比排序法的相及矩阵, 对矩阵每行取小, 就得出该指标的隶属度。

表 2 指标重要程度分级赋值

Tab 2 Importance of the classification assignment of indicators

重要程度	$f_{x_j}(x_i)$	$F_{x_i}(x_j)$
$x_i, x_j$ 两因素同等重要	1	1
$x_i$ 比 $x_j$ 稍重要	2	1/2
$x_i$ 比 $x_j$ 较重要	3	1/3
$x_i$ 比 $x_j$ 很重要	4	1/4
$x_i$ 比 $x_j$ 极重要	5	1/5

对于所提出的各方案<sup>[3]</sup>:

A. 两步骤深孔回采嗣后充填采矿法

(方案 1);

B. 两步骤分段中深孔回采嗣后充填采矿法

(方案 2);

C. 中深孔连续回采嗣后充填采矿法

(方案 3);

D. 分条中深孔(或浅孔)连续回采充填采矿法

(主案 4).

各定性指标的相对隶属计算如下:

由此得到各种采矿方法方案定性指标的隶

属度如下:

$$R_{7-10} = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 1 & 1 \\ 1 & 0.33 & 0.33 & 0.33 \\ 0.5 & 1 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0.5 & 0.5 & 0.33 \end{bmatrix}$$

所以得到模糊矩阵如下:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.92 & 0.67 & 0 \\ 1 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 1 \\ 1 & 0.43 & 0.34 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 1 & 1 \\ 1 & 0.33 & 0.33 & 0.33 \\ 0.5 & 1 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0.5 & 0.5 & 0.33 \end{bmatrix}$$

2) 权矩阵的形成

对上述 10 个因素对采矿方法影响的权重,

按五级评分规则打分, 由此构造判断矩阵 B:

$$B = \begin{bmatrix} 65 & 70 & 80 & 85 & 45 & 60 & 70 & 65 & 70 & 85 \\ 50 & 67 & 75 & 80 & 60 & 80 & 75 & 70 & 65 & 70 \\ 0.45 & 0.73 & 0.8 & 0.75 & 0.9 & 0.8 & 0.8 & 0.55 & 0.42 & 0.85 \\ 6 & 5 & 7 & 9 & 5 & 7 & 8 & 6 & 4 & 7 \\ 0.58 & 0.75 & 0.85 & 0.65 & 0.7 & 0.65 & 0.7 & 0.85 & 0.55 & 0.65 \\ 80 & 60 & 75 & 80 & 60 & 70 & 90 & 40 & 50 & 60 \\ 0.6 & 0.5 & 0.85 & 0.7 & 0.45 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.65 \\ 6 & 8 & 6 & 8 & 5 & 7 & 8 & 4 & 3 & 5 \\ 80 & 70 & 80 & 75 & 60 & 70 & 80 & 70 & 60 & 70 \\ 4 & 7 & 7 & 6 & 5 & 7 & 8 & 5 & 4 & 8 \end{bmatrix}$$

计算各因素权重值  $\alpha_i$ , 经归一化处理得权矩阵:

表 3 安全程度

Tab 3 Degree of safety

	A	B	C	D	min
A	1	1	1	1	1
B	1/2	1	1/2	1/2	1/2
C	1/2	1	1	1	1
D	1	1	1	1	1

表 4 工艺简单程度

Tab 4 Simplesness of the process

	A	B	C	D	min
A	1	1	1	1	1
B	1/2	1	1	1/3	1/3
C	1/3	1/2	1	1/2	1/3
D	1/3	1/2	1/2	1	1/3

表 5 对矿体适应程度

Tab 5 Degree of adaptation to the ore body

	A	B	C	D	min
A	1	1/2	1	1	1/2
B	1	1	1	1	1
C	1	1/2	1	1	1/2
D	1	1/2	1/2	1	1/2

表 6 矿山对该方案的熟悉程度

Tab 6 Mine familiarity with the program

	A	B	C	D	min
A	1	1	1	1	1
B	1/2	1	1	1	1/2
C	1/2	1/3	1	1/2	1/2
D	1/3	1/2	1	1	1/3

$$\alpha_i = m \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m b_{ij}}$$

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{10}) = (7.36, 8.28, 9.52, 9.50, 7.14, 8.85, 9.58, 7.17, 5.83, 8.71)$$

归一化处理为:

$$(0.090, 0.101, 0.116, 0.116, 0.087, 0.108, 0.117, 0.087, 0.071, 0.106)$$

### 4 模糊综合评判

$$C = \alpha R_c$$

根据上式计算结果, C 值越大的方案, 相对选择率越高。

将上述过程采用计算机处理, 程序框图为图 2

计算结果为:

$$C = \alpha \circ R = (0.8475, 0.5897, 0.4664, 0.3322)$$

### 5 结 论

最适合安徽太平矿业有限公司前常铜铁矿采矿方法依次是:

- ① 两步骤深孔回采嗣后充填采矿法;
- ② 两步骤分段中深孔回采嗣后充填采矿法;
- ③ 中深孔连续回采嗣后充填采矿法;
- ④ 分条中深孔 (或浅孔) 连续回采充填采矿法。

经过模糊数学综合评判推荐安徽太平矿业有限公司前常铜铁矿厚大 (30~ 40 m) 矿体采矿方法为“两步骤深孔回采嗣后充填采矿法”, 中厚矿体 (15~ 30 m) 采矿方法为“中深孔连续回采嗣后充填采矿法”, 15 m 以下矿体采用“分条中深孔 (或浅孔) 连续回采充填采矿法”。

### 参考文献:

[ 1 ] 冯冬青, 谢宋和. 模糊智能控制 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1998

[ 2 ] 西北矿冶研究院, 安徽太平矿业有限公司. 安徽前常铜铁矿前期生产规模论证报告 [R]. 西北矿冶研究院, 2008

[ 3 ] 西北矿冶研究院, 安徽太平矿业有限公司. 安徽前常铜铁矿采矿方法试验与研究报告 [R]. 西北矿冶研究院, 2009

[ 4 ] 长沙矿山研究院, 国家金属采矿工程技术研究中心. 安徽太平矿业有限公司前常铜铁矿采矿方法论证研究报告 [R]. 长沙矿山研究院, 2007.

[ 5 ] Gozalczany M B. A method of inference in approximate reasoning based on interval-valued fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems 1987, 21( 1): 1- 17.

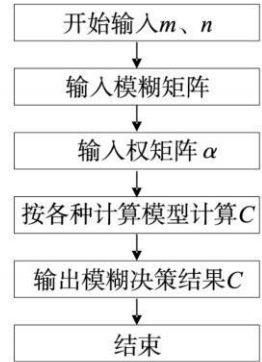


图2 模糊综合评判计算机处理程序  
Fig.2 Fuzzy comprehensive evaluation for computer processing program