

# 开阳磷矿采矿方法的未确知测度优化选择

姚金蕊, 罗曼, 李文成, 王梅, 刘永旭

贵州开磷集团矿业总公司, 贵阳 550302

**摘要** 采矿方法的选择除了要适应矿床地质赋存条件、确保生产安全以外, 还应尽可能提高经济效益和社会效益, 因此选择采矿方法必须考虑很多指标和因素。根据磷矿山领域的工程实际情况, 选择采矿能力、开采工效、采切比、附产矿石比、炸药单耗、崩矿量、损失率、贫化率、开采成本、胶结充填比、管理难易、采准时间、适应程度、安全程度共 14 项测度指标, 采用未确知数学理论对开阳磷矿山的 5 种采矿方法进行优化选择, 得出脉内采准无间柱联系分段充填采矿法为最佳方案, 房柱式联合出矿横巷中深孔落矿嗣后充填采矿法、脉外采准中深孔落矿嗣后充填采矿法、脉内采准中深孔落矿嗣后充填采矿法、两分段中深孔连续落矿嗣后充填采矿法相对次之。优化结果为开阳磷矿选择安全高效的开采方法提供了有力的理论支撑。

**关键词** 采矿方法; 未确知测度; 优化选择

中图分类号 TD164+.3

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.15.006

## Optimal Selection for Unascertained Measurement for the Mining Method of Kaiyang Phosphorite

YAO Jinrui, LUO Man, LI Wencheng, WANG Mei, LIU Yongxu

Mine Company of Guizhou Kailin Group, Guiyang 550302, China

**Abstract** In addition to adapt deposit geological conditions and ensure production safety, the selection of mining method should as far as possible to improve the economic benefit and social benefit. Therefore the selection of mining method must consider many indexes and factors. According to the actual situation of the project of phosphorus mine field, a total of 14 factors, such as mining capacity, mining efficiency, mining cut ratio, attached ore ratio, unit explosive consumption, caving ore amount, loss rate, dilution rate, cost of extraction, cemented filling percentage, the degree of management difficulty, mining preparation time, degree of adaptation, and safety level, are used as measuring indexes, and the unascertained mathematics theory is used to optimize the selection of five mining methods in Kaiyang phosphorus mine. These methods are in-pulse mining non-pillar contact sectional filling mining method, integrated method of room and pillar type joint out mine-medium-length hole cross cut and afterwards filling mining, integrated method of medium-length hole cross cut and afterwards filling mining, integrated method of medium-length hole cross cut and afterwards filling mining in intra-pulse roadway, integrated method of medium-length hole cross cut with piecewise continuous mining and afterwards filling mining. The results show that the in-pulse mining non-pillar contact sectional filling mining method is the best among them, and the rest of methods take a second place. The optimal results provide a strong theoretical support for safety and effective mining of Kaiyang phosphorus mine.

**Keywords** mining methods; unascertained measurement; optimal selection

### 0 引言

采矿方法的选择除了要适应矿床地质赋存条件、确保生产安全以外, 还应尽可能提高经济效益和社会效益, 因此选择采矿方法必须考虑很多指标和因素。这些指标和因素的影响程度有大有小, 为了能准确地表现出其影响程度, 必须为其加权。国内外学者在采矿方法的优化选择方面进行了许多探索, 引入了许多新理论、新方法, 主要有层次分析法<sup>[1]</sup>、模糊

数学<sup>[2]</sup>、模糊层次综合分析法<sup>[3]</sup>、集对分析法<sup>[4]</sup>、神经网络<sup>[5]</sup>、可靠度理论<sup>[6]</sup>、非线性系统混沌理论<sup>[7]</sup>以及灰色关联分析法<sup>[8]</sup>等, 上述优化方法在确定复杂指标体系的权重时都带有一定的主观性。采矿方法优选的难点在于许多内外因素的不确定性和隐蔽性, 如何将这些不确定信息考虑在内并进行分析, 是值得研究的一个重要问题。1990年, 王光远提出的未确知数学理论<sup>[9-16]</sup>为此提供了一条比较好的研究途径, 并在军事、环

收稿日期: 2011-12-07; 修回日期: 2012-05-15

作者简介: 姚金蕊, 高级工程师, 研究方向为采矿工程与管理, 电子信箱: 342097076@qq.com

境、投资、采矿工程与岩土工程等领域得到了广泛的应用,并取得了较好的效果。有鉴于此,笔者借鉴未确知测度评价预测模型的理论和思想,根据采矿方法测度评价模型,将未确知数学理论运用到采矿方法的优化选择中。

### 1 开采方法的测度体系

在国内外给出的开采方法优化选择指标的基础上,根据

磷矿山领域的工程实际情况,选择 14 项测度指标,分别为采矿能力  $X_1$ 、开采工效  $X_2$ 、采切比  $X_3$ 、附产矿石比  $X_4$ 、炸药单耗  $X_5$ 、崩矿量  $X_6$ 、损失率  $X_7$ 、贫化率  $X_8$ 、开采成本  $X_9$ 、胶结充填比  $X_{10}$ 、管理难易  $X_{11}$ 、采准时间  $X_{12}$ 、适应程度  $X_{13}$ 、安全程度  $X_{14}$ , 定量指标为  $X_1-X_{10}$ , 定性指标为  $X_{11}-X_{14}$ 。对 4 个定量评价指标,测评的集合为  $\{C_1, C_2, C_3\}$ , 优越度分别分为好、中、差 3 个评价等级。磷矿山的技术指标测度函数如图 1 所示。

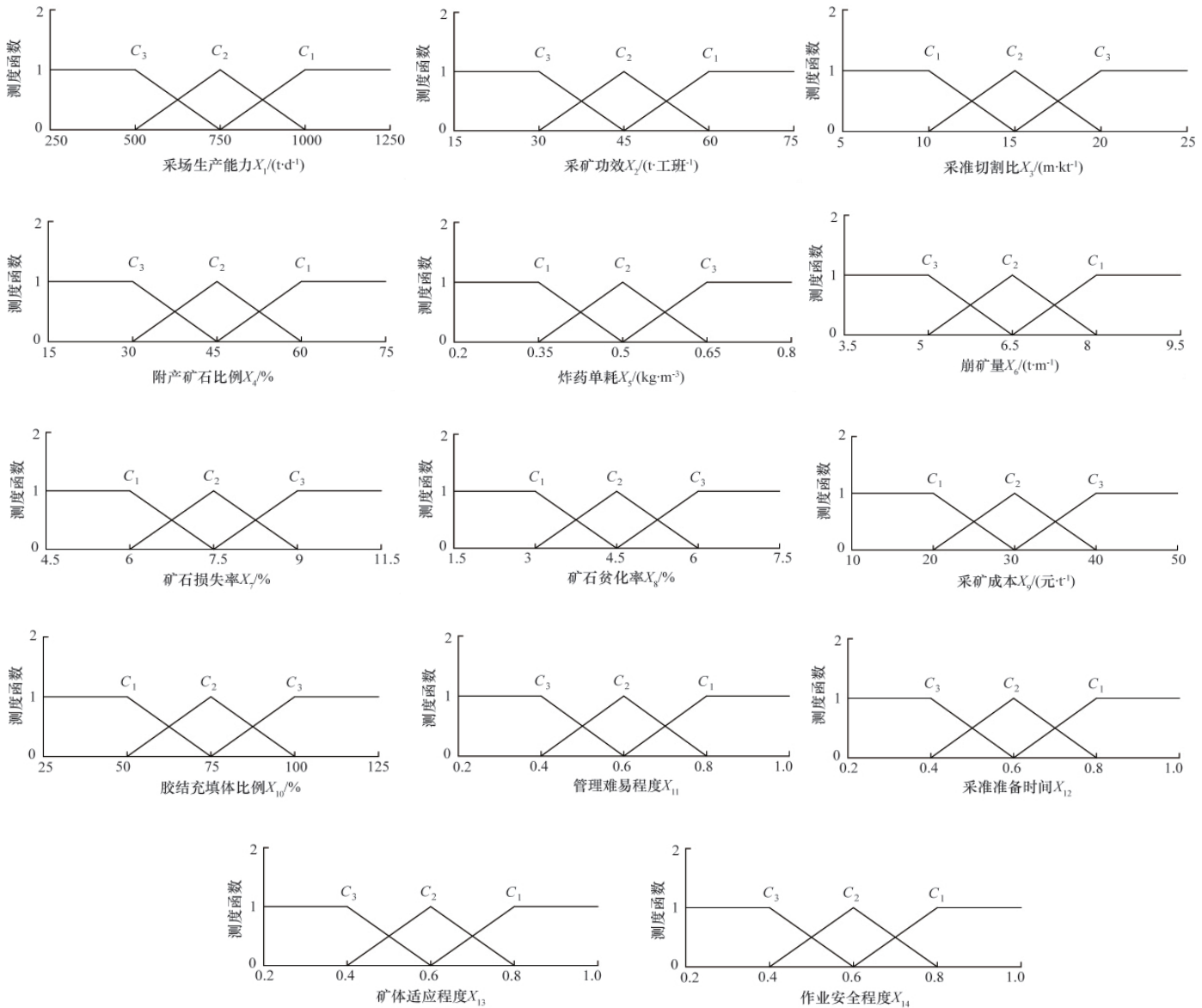


图 1 14 项采矿测评因素的测度函数

Fig. 1 Measure function for 14 evaluation factors

### 2 开采方法的优化结果

开阳磷矿选择的 5 种开采方法分别为脉外采准中深孔落矿嗣后充填采矿法(方法 1)、脉内采准中深孔落矿嗣后充填采矿法(方法 2)、房柱式联合出矿横巷中深孔落矿嗣后充

填采矿法(方法 3)、两段中深孔连续落矿嗣后充填采矿法(方法 4)和脉内采准无间柱联系分段充填采矿法(方法 5)。各种方法的经济技术指标如表 1 所示,采用归一法对各因子进行标准化处理后的值见式(1)。

表 1 采矿方法评价指标分析数据  
Table 1 Analysis data of mining evaluation indexes

评价指标	方法 1	方法 2	方法 3	方法 4	方法 5
$X_1$	2110—2200	400—450	1800—2000	1900—2100	2000
$X_2$	41.778	42.778	42.778	38.752	47.6
$X_3$	11.959	6.311	11.239	1.449	5.782
$X_4$	41.594	81.344	41.446	81.663	81.4
$X_5$	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357
$X_6$	1.029	1.029	1.029	7.029	7.029
$X_7$	8	5	7	9	5
$X_8$	1	1	1	5	1
$X_9$	11.26	11.26	11.26	11.26	11.26
$X_{10}$	50	100	57.195	110	10
$X_{11}$	0.75	0.5	0.75	0.5	0.9
$X_{12}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.9
$X_{13}$	0.71	0.9	0.71	0.75	0.9
$X_{14}$	0.75	0.9	0.715	0.5	0.9

$(\mu_{1jk})_{14 \times 3} =$	1	0	0	$(\mu_{2jk})_{14 \times 3} =$	0	0	1
	0.15	0.85	0		0.15	0.85	0
	0.81	0.19	0		1	0	0
	0	0.84	0.16		1	0	0
	0.95	0.05	0		1	0	0
	0.35	0.65	0		0.35	0.65	0
	0	0.67	0.33		1	0	0
	1	0	0		1	0	0
	1	0	0		1	0	0
	1	0	0		0	0	1
	0.75	0.25	0		0	0.5	0.5
	0	0.5	0.5		0	0.5	0.5
	0.75	0.25	0		1	0	0
	0.75	0.25	0		1	0	0
$(\mu_{3jk})_{14 \times 3} =$	1	0	0	$(\mu_{4jk})_{14 \times 3} =$	1	0	0
	0.15	0.85	0		0	0.58	0.42
	0.95	0.05	0		1	0	0
	0.03	0.97	0		1	0	0
	0.95	0.05	0		0.95	0.05	0
	0.35	0.65	0		0.35	0.65	0
	0.33	0.67	0		0	0	1
	1	0	0		0	0.67	0.33
	1	0	0		1	0	0
	0.68	0.32	0		0	0	1
	0.75	0.25	0		0	0.5	0.5
	0	0.5	0.5		0	0.5	0.5
	0.75	0.25	0		0.75	0.25	0
	0.75	0.25	0		0	0.5	0.5

$$(\mu_{5jk})_{14 \times 3} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.17 & 0.83 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.95 & 0.05 & 0 \\ 0.35 & 0.65 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

为了方便对最终的测评结果进行优化选择,引入信度识别准则。设  $\lambda$  为置信度 ( $\lambda \geq 0.5$ ), 假如测评向量  $\{C_1, C_2, \dots, C_p\}$  有顺序, 设  $C_1 > C_2 > \dots > C_p$ , 同时令

$$k_0 = \min \left\{ k: \sum_{i=1}^k \mu_{i1} \geq \lambda, k=1, 2, \dots, p \right\} \quad (2)$$

则优化对象  $R_i$  属于第  $k_0$  个评价类  $C_{k_0}$ 。

令  $C_i$  的分值为  $I_i$ , 则  $I_i > I_{i+1}$ ; 令

$$Q_{R_i} = \sum_{l=1}^p I_l \cdot \mu_{il} \quad (3)$$

则  $Q_{R_i}$  是评价因素  $R_i$  的未确知优越度, 称  $Q = (Q_{R_1}, Q_{R_2}, \dots, Q_{R_i})$  为未确知重要度向量, 可以按照  $Q_{R_i}$  的大小对  $R_i$  的优越性进行排序。

各评价指标的权重为

$$\{0.1081, 0.0664, 0.0602, 0.0648, 0.0885, 0.0443, 0.0457, 0.1081, 0.1081, 0.1081, 0.0527, 0.0399, 0.0527, 0.0527\}$$

由评价指标的矩阵(1)得出方法 1 的评价向量为

$$\{0.7094, 0.2451, 0.0455\}$$

方法 2—5 的评价向量为

$$\begin{aligned} &\{0.6999, 0.0986, 0.2015\} \quad \{0.6881, 0.3119, 0.02\} \\ &\{0.55, 0.0961, 0.3539\} \quad \{0.8597, 0.0623, 0.078\} \end{aligned}$$

由于评价等级  $\{C_1, C_2, \dots, C_p\}$  的有序性, 建立置信度识别准则代替最大隶属度识别准则减少了误判。

取置信度  $\lambda = 0.6$ , 由多指标综合测度评价向量(2)和置信度评价准则(3), 从小到大, 且  $k_0 = 1 > \lambda$ , 即  $R_{01}$  的优越度等级为 I 级; 从大到小  $k_0 = 0.6003 > \lambda$ ,  $R_{01}$  的优越度等级也为 I 级。由此可见, 两次判别的结果一致, 可以判定采矿方法 1 的优越度等级为 I 级, 即采矿方法 1 的适用性好。同理对采矿方法 2—5 进行评价, 可得出方法 4 为 II 级, 其余方法均为 I 级, 将多指标测度向量与优选结果列入表 2。因为  $C_1 > C_2 > C_3$ , 对  $C_1$  赋值 3,  $C_2$  赋值 2,  $C_3$  赋值 1, 根据式(2)可求得方法 1 至方法 5 的优越度分别如表 2 所示。

表 2 采矿方法测定结果

Table 2 Measured results of five mining methods

方法	综合未确知测度			判定结果	优越度
	$C_1$	$C_2$	$C_3$		
方法 1	0.749	0.245	0.046	较好	2.664
方法 2	0.695	0.095	0.202	中	2.498
方法 3	0.648	0.312	0.020	好	2.708
方法 4	0.450	0.094	0.355	差	2.196
方法 5	0.850	0.062	0.078	好	2.782

### 3 结论

借鉴未确知测度评价预测模型的理论思想,根据采矿方法测度评价模型,将未确知数学理论运用到采矿方法的优化选择中。通过 14 项测度指标对开阳磷矿的 5 种采矿方法进行优化选择,得出脉内采准无间柱联系分段充填采矿法为最佳方案,房柱式联合出矿横巷中深孔落矿嗣后充填采矿法、脉外采准中深孔落矿嗣后充填采矿法、脉内采准中深孔落矿嗣后充填采矿法、两分段中深孔连续落矿嗣后充填采矿法相对次之。优化结果为开阳磷矿的安全高效开采提供了有力的理论支撑。

### 参考文献 (References)

- 王飞跃. 基于不确定性理论的尾矿坝稳定性分析及综合评价研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.  
Wang Feiyue. Based on the uncertainty theory of tailings dam stability analysis and comprehensive evaluation [D]. Changsha: Central South University, 2009.
- 董陇军, 赵国彦. 未确知均值分级方法及在回采巷道围岩分类中的应用[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2009, 10(6): 575-579.  
Dong Longjun, Zhao Guoyan. *Journal of PLA University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2009, 10(6):575-579.
- 冀红娟, 杨春和, 张超, 等. 尾矿库环境影响指标体系及评价方法及其应用[J]. 岩土力学, 2008, 29(8): 2087-2091.  
Ji Hongjuan, Yang Chunhe, Zhang Chao, et al. *Rock and Soil Mechanics*, 2008, 29(8): 2087-2091.
- 董陇军, 王飞跃. 基于未确知测度的边坡地震稳定性综合评价 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(4): 74-78.  
Dong Longjun, Wang Feiyue. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2007, 18(4): 74-78.
- 庞彦军, 王小胜, 栗文国. 基于指标区分权重的未确知测度综合评价模型及其应[J]. 大学数学, 2008, 24(1): 120-125.

- Pang Yanjun, Wang Xiaosheng, Li Wenguo. *College Mathematics*, 2008, 24(1): 120-125.
- 宫凤强, 李夕兵, 董陇军, 等. 基于未确知测度理论的采空区危险性评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(2): 323-330.  
Gong Fengqiang, Li Xibing, Dong Longjun, et al. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2008, 27(2): 323-330.
  - 王涛, 侯克鹏, 郭振世, 等. 层次分析法(AHP)在尾矿库安全运行分析中的应用[J]. 岩土力学, 2008, 29(11): 680-686.  
Wang Tao, Hou Kepeng, Guo Zhenshi, et al. *Rock and Soil Mechanics*, 2008, 11(29): 680-686.
  - 彭康, 李夕兵, 彭述权, 等. 基于响应面法的海下框架式采场结构优化 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(8): 2417-2423.  
Peng Kang, Li Xibing, Peng Shuquan, et al. *Journal of Central South University: Science and Technology Edition*, 2011, 42(8): 2417-2423.
  - 彭康, 李夕兵, 彭述权, 等. 海底下框架式分层充填法开采中矿岩稳定性分析[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42 (11): 3452-3457.  
Peng Kang, Li Xibing, Peng Shuquan, et al. *Journal of Central South University: Science and Technology Edition*, 2011, 42(11): 3452-3457.
  - 彭康, 李夕兵, 彭述权, 等. 三山岛金矿中段盘区合理回采顺序动态模拟选择[J]. 矿冶工程, 2010, 30(3): 8-12.  
Peng Kang, Li Xibing, Peng Shuquan, et al. *Mine and Metallurgical Engineer*, 2010, 30(3): 8-12.
  - 彭康, 李夕兵, 彭述权, 等. 海下点柱式开采的有限元动态模拟分析 [J]. 金属矿山, 2009(10): 59-65.  
Peng Kang, Li Xibing, Peng Shuquan, et al. *Metal Mine*, 2009(10): 59-64.
  - 彭康, 李夕兵, 赵国彦, 等. 岩层微扰上向分层充填法在海底开采中的应用[J]. 金属矿山, 2010(4): 50-54.  
Peng Kang, Li Xibing, Zhao Guoyan, et al. *Metal Mine*, 2010(4): 50-54.
  - 彭康, 杨勇, 刘志祥, 等. 基于模糊评判的底盘残留矿石回收方法优化选择[J]. 黄金, 2009, 30(11): 27-30.  
Peng Kang, Yang Yong, Liu Zhixiang, et al. *Gold*, 2009, 30(11): 27-30.
  - 董陇军, 李夕兵, 宫凤强. 膨胀土胀缩等级分类的未确知均值聚类方法及应用[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2008, 39(5): 1075-1080.  
Dong Longjun, Li Xibing, Gong Fengqiang. *Journal of Central South University: Science and Technology Edition*, 2008, 39(5): 1075-1080.
  - Dong L, Hu D, Bai Y. Unascertained average grade model for surrounding rock classification on hydraulic tunnels [M]//2008 International Symposium on Safety Science and Technology: Progress in Safety Science and Technology (vol VII). New York: Science Press, 2008: 2227-2231.
  - 杨健, 王瑜. 基于信息熵的未确知测度的指挥信息优势评估[J]. 指挥控制与仿真, 2007, 29(3): 27-36.  
Yang Jian, Wang Yu. *Command Control & Simulation*, 2007, 29(3): 27-36.

(责任编辑 马宇红, 代丽)

### 《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿:www.kjdb.org。