

模糊数学在陈台沟铁矿采矿方法优选中的应用

陈 翔

(五矿矿业(安徽)工程设计有限公司,安徽 合肥 230601)

摘 要:根据陈台沟铁矿开采技术条件,提出了技术可行的三种采矿方法方案,运用传统方法进行初选,排除了崩落法.然后应用模糊数学理论对所推荐的两种充填采矿方法方案进行模糊综合评判,得到了最优解,对相似矿山开采提供一定的借鉴作用.

关键词:地下开采;崩落法;模糊数学;优选

中图分类号:TD861 **文献标志码:**A

Application of Fuzzy Mathematics for Optimal Choice of Mining Method in Chentaigou Iron Mine

CHEN Xiang

(Minmetals Mining(Anhui) Engineering Co., Ltd, Hefei, Anhui 230601, China)

Abstract: According to the mining technology condition of Chentaigou Iron Mine, three feasible technogy programs of mining methods are proposed. The caving method has been excluded after comparing the traditional methods. For the purpose of getting some use for reference when similar mines are exploited, the fuzzy mathematics theory has been applied to synthetically evaluating the two filling methods.

key words: underground mining; mining method; fuzzy math; optimization

0 引 言

矿山开采和生产过程中,采矿方法直接决定着劳动生产率、资源回收利用等各个方面,其选择的合理性将直接影响矿山投资和经济效益^[1].

在矿山设计中,人们大都还是采用类比法来进行采矿方法的选择^[2-4].这种方式虽简单易行,但往往具有主观性、片面性.由于影响采矿方法选

择的因素带有极大的模糊性和未知性,加之人们认识的多样性,所做的评价不可能完全一致,因而难以正确反映实际情况.

随着各种软科学和计算机技术的应用发展,涌现了许多用于采矿方法选择的优化理论.如1)多目标决策法^[5-7],通过对影响采矿方法选择的多目标因素进行隶属度层次划分,利用多目标模糊决策对模型进行分析,实现采矿方法优选;2)层次分析

收稿日期:2017-02-22

作者简介:陈 翔(1983-),男,采矿工程师,硕士,主要从事矿山开采设计的研究.E-mail:187396941@qq.com

法^[8-10],通过应用层次分析法建立采矿方法优化选择层次分析模型,实现采矿方法优选;3)模糊综合评判法^[11-13],基于模糊集合原理,对影响采矿方法选择的定量、定性因素数值化,通过评判矩阵进行分析,确定最优方法;4)灰色关联分析法^[14-15],运用灰色关联分析法对影响采矿方法的因素建立模型,进行关联度系数计算,从而确定影响因素对于采矿方法选择的重要性,实现优化选择;5)神经网络技术^[16-17],通过运用神经网络建立模型,对影响采矿方法选择的因素进行分析,实现采矿方法的优选.这些优化方法可在一定程度上消除主观影响,使得采矿方法选择更客观实际.

1 工程概况

陈台沟铁矿位于鞍山市北东 11 km,区划隶属于千山镇,距鞍千公路 1 km,交通便利(如图 1 所示).



图 1 交通地理位置图

Fig.1 Geographical and traffic location

陈台沟铁矿属于典型的鞍山式沉积变质型铁矿床.矿床共有 5 条矿体,其中 Fe1 为主矿体,占总资源量的 92.72%.

主矿体受古地壳剥蚀,矿头赋存标高最高为 -650 m,最低为 -993 m.总体走向 330°左右,倾向北东,倾角 68°~75°,矿体走向推测总延长可达 3 km,平均厚度为 170.00 m.矿石平均品位 TFe 35.24%,mFe 28.38%.围岩主要为太古界鞍山群樱桃园岩组绿泥石英片岩和绿泥石英岩,与矿体呈整合接触.

矿床内基岩均属于坚硬的块状或厚层状,浅部岩体完整性为破碎到差;深部岩体完整性为中等完整到完整.其结构较复杂,使深部相对完整的岩体中存在局部破碎,整体工程地质条件属于中等.

矿山采用地下开采.设计一期规模 1×10^7 t/a,服务年限 35 a.采用竖井、斜坡道以及皮带斜井联

合开拓.

2 采矿方法初选

陈台沟铁矿属深井、特大型矿山,采矿方法选择应遵循以下原则:1)生产安全,最大限度减少开采成本;2)矿石回采率高,充分利用矿产资源;3)拥有持续稳定的生产能力和高效劳动生产率;4)良好的经济效益、社会效益和环境效益.

鉴于空场法回收率低,靠矿柱支撑采空区不利于控制岩爆等因素,结合矿体的开采技术条件,初步选择无底柱分段崩落采矿法和阶段空场嗣后充填采矿法.

2.1 无底柱分段崩落采矿法

无底柱分段崩落采矿方法灵活性较大,不留设矿柱;回采工艺简单,便于使用高效的无轨设备,实现采掘综合机械化;在巷道中作业,覆盖岩下放矿,生产比较安全;矿块生产能力大,能够满足矿山的规模要求;利于剔除矿石中的夹石等优点,但仍存在独头巷道内作业,通风条件较差;地表需要征地,增加征地费用等缺点.

1) 采矿方法结构参数

如图 2 所示,进路垂直走向布置,中段高度 80 m,分段高度 20 m,进路间距 20 m,矿块长度 100 m,宽度为矿体厚度.矿体厚度大于 100 m 时,矿体中部设进路联络道.

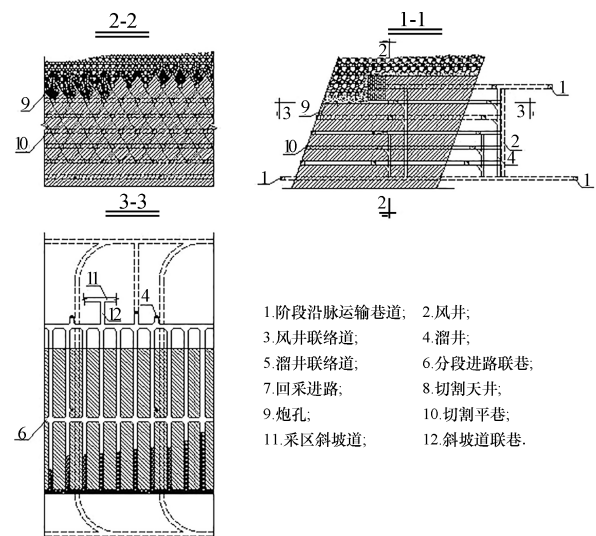


图 2 无底柱分段崩落采矿方法图

Fig.2 No bottom pillar sublevel caving mining method

2) 采切工艺

采切工程主要包括出矿进路、进路联巷、通风天

井、溜井等.上下分段进路成菱形布置,切割巷布置在矿体内,每个矿块 5 条进路,进路长度超过 80~100 m 增设一条进路联巷.通风天井采用下盘脉外布置,沿矿体走向间距 240 m.矿石溜井布置在进路联络道一侧,沿穿脉运输巷布置,溜井间距 100 m.

平巷掘进主要采用 Bommer281 掘进台车;天溜井施工以 AT3000 型天井钻机为主;采用 4 m³ 油铲出碴.

3) 回采出矿

中深孔凿岩在回采进路中进行,采用 SimbaH1354 凿岩台车,炮孔排距 1.8 m,前倾角 80°~90°,边孔角 45°~60°,孔底距 2.70~3.60 m.炮孔直径 76 mm,最小抵抗线 1.80 m,一次爆破 1~2 排孔.BCJ 型 5 t 装药车装药,乳化炸药爆破,非电导爆系统起爆.

出矿选用 LH514E 型铲运机,5 条进路布置 1 台.生产时,上分段超前下分段 20 m.

4) 覆盖层

为减少矿石贫化,预留部分矿石作为覆盖层,矿体上部松散出矿 1/3,当松散的矿石覆盖层厚度超过分段高度 2 倍以后,采用正常放矿方式.

5) 主要技术指标(见表 1).

表 1 主要技术指标		
Table 1 The main technical indicators		
项目	单位	无底柱分段崩落采矿法
矿块生产能力	×10 ⁷ t/a	75.00
矿石回采率	%	84.27
废石混入率	%	14.42
延米炮孔崩矿量	t/m	10.42
千吨采切比	kt/m	1.76
千吨采切比	kt/m ³	29.60

2.2 阶段空场嗣后充填采矿法

阶段空场嗣后充填采矿方法具有采场稳定性高、地表塌陷区小、尾矿库占地少;矿石回采率高,采出品位高;井下排水量少;可有效保护地表的自然环境等优点,但也存在原矿成本高、生产系统复杂、管理难度大等缺点.

根据凿岩方式以及爆破参数的不同,可分为上向中深孔分段凿岩,阶段出矿嗣后充填采矿方法和下向大直径深孔凿岩,阶段出矿嗣后充填采矿方法两种.

2.2.1 上向中深孔分段凿岩、阶段出矿嗣后充填采矿法

1) 采矿方法结构参数

如图 3 所示,盘区沿走向布置,长度 140 m,宽为 50~80 m,高度 80 m,盘区间柱宽 20 m.矿块长 50~80 m,宽 20 m,高 80 m.每个盘区包含 7 个矿块,一步采、二步采间隔布置.

2) 采切工艺

主要采切工程包括出矿沿脉巷道、出矿巷道、装矿进路、凿岩沿脉巷道、凿岩巷道、溜井、溜井联络道、堑沟拉底和切割天井等.

设备选用与无底柱分段崩落法一致.

3) 回采出矿

采用 SimbaH1354 凿岩台车,炮孔直径 76 mm,排距 1.5~2 m,孔底距 3~4 m.每一循环钻 2 排孔,每次爆破 1~2 排炮孔.BCJ 型 5 t 井下装药车装药,非电起爆系统双路起爆.采用中深孔拉槽法形成切割天井,以切割天井为自由面形成切割槽,以切割槽为自由面侧向崩矿.

采切工程结束后在各分段凿岩巷道中穿凿扇形中深孔,以切割天井为自由面侧向崩矿,松散出矿 1/3,其余矿石留在矿房内支撑围岩和充填体;堑沟拉底形成后采用 LH514E 电动铲运机进行高强度出矿,出矿完毕立即进行充填.一步回采矿块采用尾砂胶结充填,二步采矿块采用尾砂充填.

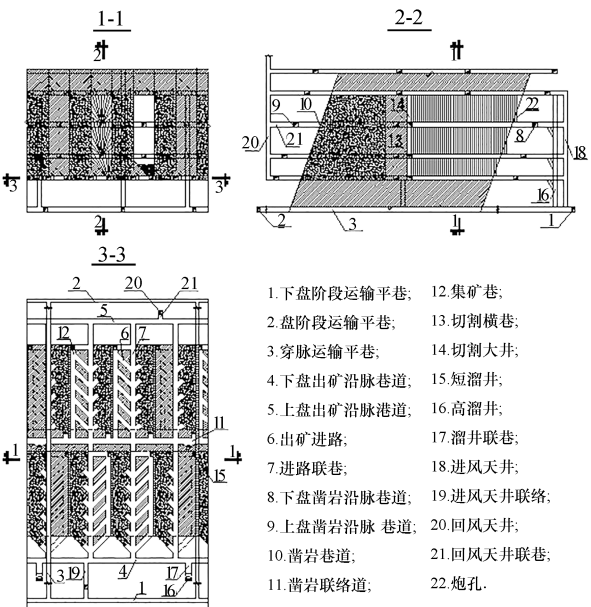


图 3 分段凿岩阶段出矿嗣后充填采矿方法
Fig.3 Sublevel caving together out of the mine made between flat-back cut and fill mining method

4)主要技术指标(见表2).

表 2 主要技术指标
Table 2 The main technical indicators

项目	单位	分段凿岩阶段出矿采矿法
矿块生产能力	$\times 10^7$ t/a	35.00
矿石回采率	%	89.90
废石混入率	%	5.00
延米炮孔崩矿量	t/m	10.23
千吨采切比	kt/m	1.68
千吨采切比	kt/m ³	25.95

2.2.2 下向深孔凿岩、阶段出矿嗣后充填采矿法

1)采矿方法结构参数

如图4所示,盘区沿走向布置,长度140 m,宽为50~80 m,高度80 m,盘区间柱宽度20 m.矿块长50~80 m,宽20 m,高80 m.每个盘区包含7个矿块,一步采、二步采间隔布置.

2)采切工艺

主要采切工程包括出矿沿脉巷道、出矿巷道、装矿进路、凿岩沿脉巷道、凿岩硐室、溜井、溜井联络道、堑沟拉底和切割天井等.

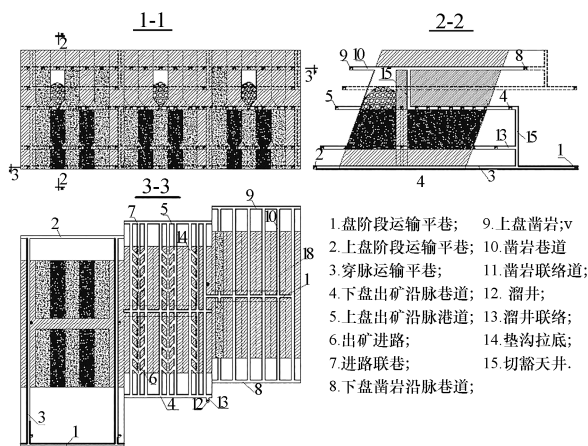


图4 阶段凿岩阶段出矿嗣后充填采矿方法

Fig.4 Drilling phase of ore made between flat-back cut and fill mining method

设备选用与上向中深孔分段凿岩、阶段出矿嗣后充填采矿法一致.

3)回采出矿

底部出矿结构采用堑沟形式,其施工方法参照上向中深孔凿岩方式.下向凿岩集中在凿岩硐室内,采用T150潜孔钻机凿下向平行深孔,段高60 m,炮孔直径165 mm,排距3 m,孔底距2.5 m~

3.5 m.采场上盘靠近端部开切割井,下向深孔以切割井为自由面,形成切割槽,周边深孔再以切割槽为自由面阶段逐排由下而上分层爆破,分层爆破的矿石松散出矿1/3,顶层爆破后,进行大量出矿,最后一次充填.盘区矿块分步回采,一步回采矿块采用尾砂胶结充填,二步采矿块采用尾砂充填.

4)主要技术指标

该方法的主要技术指标如表3所示.

表 3 主要技术指标
Table 3 The main technical indicators

项目	单位	阶段凿岩阶段出矿采矿法
矿块生产能力	$\times 10^7$ t/a	35.00
矿石回采率	%	88.59
废石混入率	%	6.00
延米炮孔崩矿量	t/m	18.19
千吨采切比	kt/m	1.39
千吨采切比	kt/m ³	29.24

2.3 比较方案的确定

无底柱崩落采矿方法生产能力大,对于矿山达产非常有利.矿区地表多为山地,选厂及工业场地周边均已成型,尾矿库选址困难.只能固结尾矿置于崩落塌陷区内,与现行规范相悖.同时,崩落圈内已有众多设施及建筑,大面积拆迁难以实现.陈台沟铁矿属深井矿山,崩落法不易控制岩爆,地表大面积的塌陷区对周边环境的影响势必大于充填法.

因此,将阶段空场嗣后充填采矿法做为陈台沟铁矿开采的首选采矿方法.凿岩方式选择下向大直径深孔还是上向中深孔,还需进一步细化比较.

3 模糊综合评判

采矿方法优选模糊综合评判,以模糊数学为基础,将不同采矿方法技术经济指标、影响工艺的因素等定量化,从多方面对被评价因素隶属等级状况进行综合性评价的一种方法.

1)评判对象因素集的建立

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\} \quad (1)$$

其中 b 为采矿方法的评价指标.

2)评判集的建立

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\} \quad (2)$$

其中 c 为采矿方法评价指标评判等级.

3)构造权重单因素评判集

$$P = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in}\} \quad (3)$$

其中 p 为评价对象因素集的权重, $\sum_{j=1}^{nj} p_{ij} = 1$

构造权重单因素评判集 q_i ,

$$q_i = \{q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{in}\} \quad (4)$$

4) 构造评判矩阵

由单因素评判集构造一个总的评价矩阵 Q , 构造的评价矩阵如下:

$$Q = (q_{ij})_{\min} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \cdots & q_{nm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

5) 模糊综合评判

用模糊权向量 P 将评判矩阵 Q 中不同的行进行综合, 可得到该被评事物从总体上来看对各模糊子集的所属程度, 同时, 对评判集 C 引入模糊子集 D , 构造模糊评价集, 并进行求解, 按最大属于原则来判定最优方案。

$$D = P \circ Q = \{d_1, d_2, \dots, d_n\} \quad (6)$$

4 采矿方法优选

利用模糊综合评判方法, 对初选的上向中深孔分段凿岩、阶段出矿嗣后充填采矿法(方案 1)和阶段下向深孔凿岩、阶段出矿嗣后充填采矿法(方案 2)进行优选比较. 将两种采矿方法中的损失率、贫化率、采切成本、穿爆成本、主要采掘设备费这 5 项作为定量指标, 将开采工艺复杂程度、工人掌握熟练程度、工作面安全性、吨矿需风量大小这 4 项作为定性指标。

对于 5 项定量指标的隶属度, 可以根据表 3 中对指标建立特征向量矩阵, 然后通过定量指标相对隶属度进行权重赋值。

表 3 方案比较参数表

Table 3 Scheme comparison parameter

项目	单位	方案 1	方案 2
损失率	%	10.1	11.41
贫化率	%	5	6
采切成本	元/t	10.21	11.85
穿爆成本	元/t	18.42	16.45
主要采掘设备费	亿元	1.76	1.54
开采工艺复杂程度		简单	复杂
工艺掌握熟练度		熟练	不熟练
工作面安全性		高	较高
吨矿需风量大小		小	大

经计算, 定量指标的隶属度矩阵为:

$$q_{1 \sim 5} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.6 & 0.4 \\ 0.4 & 0.6 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

对 4 项定性指标按照二元对比排序法进行隶属度计算, 得到定性指标隶属度矩阵为:

$$q_{6 \sim 9} = \begin{bmatrix} 1 & 0.25 \\ 1 & 0.2 \\ 1 & 1 \\ 1 & 0.33 \end{bmatrix} \quad (8)$$

由此得到的综合模糊评价矩阵为:

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.6 & 0.4 \\ 0.4 & 0.6 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0.25 \\ 1 & 0.2 \\ 1 & 1 \\ 1 & 0.33 \end{bmatrix} \quad (9)$$

采用乘以有界和算子与模糊评价矩阵构造模糊最优解评判矩阵:

$$D = P \circ Q = P \circ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.6 & 0.4 \\ 0.4 & 0.6 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0.25 \\ 1 & 0.2 \\ 1 & 1 \\ 1 & 0.33 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$P = (0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.05, 0.1, 0.1, 0.1, 0.05) \quad (11)$$

计算得:

$$D = (0.60, 0.449) \quad (12)$$

根据计算结果, 两种采矿方法优选度为方案一(0.60)大于方案二(0.449), 即上向中深孔分段凿岩、阶段出矿嗣后充填采矿法比下向大直径深孔凿岩、阶段出矿嗣后充填采矿方法更适合用于陈台沟铁矿开采。

5 结论

本文根据陈台沟铁矿开采技术条件提出了适合开采的三种采矿方法, 在传统方案比选基础上, 排除了崩落法。

(下转第 35 页)

4 结 论

本文依据 LLC 谐振变换器,研究了工业 2.45 GHz 磁控管微波驱动电源及其嵌入式系统全数字控制方法,然后以 1.2 kW 磁控管为负载进行验证.实验结果表明:

1) 该电源通过功率控制板可将磁控管的微波功率从 500 W 调节到 1 200 W,步进为 20 W;具有 APFC 功能.

2) 在特殊情况下,当电源的工作温度升高时,微波电源控制系统会通过降低输出功率来降低电源系统的发热量,从而稳定微波电源的工作温度.

3) 主电路的开关管工作频率范围为 25 kHz 到 70 kHz,正常工作时开关管工作在 25 kHz 到 50 kHz,在此频率范围内,开关管始终处于零电压开通状态,减小了开关损耗,提高了电源转换效率,效率不低于 95%.

4) 控制系统在调节频率的时候,同时调节占空比,加快了整个电源的响应过程,使得输出电压更加的稳定.

(上接第 29 页)

通过引入模糊数学理论对所推荐的两种充填采矿方法进行模糊综合评判,得到了最优解,认为采用上向中深孔分段凿岩、阶段出矿嗣后充填采矿法更适合用于该矿山的结论,对相似深井矿山开采提供一定的借鉴作用.

参考文献:

- [1] 王平,张开平,陈广宝.缓倾斜中厚金矿体采矿方法试验研究[J].金属矿山,2009(S11):190-195.
- [2] 石磊.李楼铁矿南部矿体采矿方法探讨与研究[J].矿冶工程,2015,35(5):28-29.
- [3] 黄胜生.金山金矿采矿方法的选择[J].矿业研究与开发,2000,20(2):4-6.
- [4] 马毅敏,连民杰.倾斜中厚低品位铁矿采矿方法选择与优化研究[J].金属矿山,2011(9):12-15.
- [5] 聂兴信,李宗利,温申文,等.基于多目标模糊决策的二里河铅锌矿采矿方法优选[J].金属矿山,2010(2):22-25.
- [6] MINNITTRCA.Cut-off gradedetermination for the maximum value of a small wits-type gold mining operation[J].Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 2004,104(5):277-283.
- [7] BASCETIN A.Determination of optimal cut-off grade policy to optimize NPV using a new approach with optimization

参考文献:

- [1] 阳鹏飞,周继承,王宏礼.微波辐射与常规加热下催化分解 NO 动力学比较[J].南华大学学报(自然科学版),2014,28(4):91-96.
- [2] 付喜锦.变阶数正负阶梯波产生电路的设计与实现[J].南华大学学报(自然科学版),2014,28(2):72-75.
- [3] 杨威,郑宏伟,陈文光.工业微波磁控管开关电源系统设计[J].真空电子技术,2013,36(2):53-56.
- [4] 胡海兵,王万宝,孙文进等.LLC 谐振变换器效率优化设计[J].中国电机工程学报,2013,33(18):48-56.
- [5] 李菊,阮新波.全桥 LLC 谐振变换器的混合式控制策略[J].电工技术学报,2013,28(4):72-79.
- [6] 徐勤超,王春芳,李从洋.LLC 谐振式磁控管供电电源研究[J].电力电子技术,2010,44(10):106-108.
- [7] 房新雨,黄克捷,冯俊淇,等.电动汽车充放储一体化电站四种变流装置对比[J].电力电子技术,2013,47(7):64-66.
- [8] DIANA M, ANGELA JN, DANIEL I.A method for the 2.45-GHz magnetron output power control[J].IEEE transactions on Microwave Theory and Techniques,2001,49(3):542-545.
- [9] 郑 锴,周东方,李建兵,等.行波管高压电源变换器的滑模 PI 控制方法[J].高电压技术,2016,42(6):1797-1804.
- [10] 唐雄民,章云,朱燕飞.串联谐振式介质阻挡放电型臭氧发生器等效模型及电源特性分析[J].高电压技术,2012,38(5):1051-1058.
- factor[J].Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy,2007,107(2):87-94.
- [8] 王新民,赵彬,张钦礼.基于层次分析和模糊数学的采矿方法选择[J].中南大学学报(自然科学版),2008,39(5):875-879.
- [9] LEE H, TOM M R.Adaptive control using a universal approximation for SISO nonlinear systems[J].IEEE Trans Fuzzy Systems,2001,122(1):88-93.
- [10] 刘玉龙,丁德馨,李广悦等.层次分析法在铀矿山采矿方法优化选择中的应用[J].矿业研究与开发,2011,31(6):8-10.
- [11] 汪朝,郭进平.基于模糊综合评价理论的采矿方法优选[J].矿冶工程,2015,35(3):27-30.
- [12] 史太禄,任凤玉,李文增等.模糊数学在采矿方法优选中的应用[J].金属矿山,2007,11(17):29-31.
- [13] 肖木恩.模糊数学在采矿方法选择上的应用[J].矿业研究与开发,2003,23(1):15-17.
- [14] 王新民,谢胜青,赵彬,等.基于灰色关联分析法的采矿方法优选[J].金属矿山,2009(7):10-12.
- [15] 罗华军,陈林隆,廖德兴.采矿方法优化选择的灰色方案决策分析[J].矿业工程,2006,4(2):10-12.
- [16] 陈建宏,刘浪,周智永等.基于主成分分析与神经网络的采矿方法优选[J].中南大学学报(自然科学版),2010,41(5):1967-1972.
- [17] 吴爱祥,郭立,余健,等.采矿方法模糊优选的神经网络模型构造及其应用[J].矿冶工程,2003,23(3):6-8.