

# 基于灰色关联分析的矿井通风方案优化选择\*

巩志敏<sup>1</sup>, 周心权<sup>1</sup>, 刘正宏<sup>2</sup>

(中国矿业大学(北京), 北京 100083; 2. 中国民航大学, 天津 300300)

**摘要:**介绍了灰色关联分析的基本原理和评价模型。在确立矿井通风系统评价指标的基础上,应用灰色关联分析方法选择矿井通风系统优化改造方案。该方法能客观地确定出最优方案,具有较大的应用价值。

**关键词:**灰色关联; 矿井通风; 方案选择

**中图分类号:**TD724 **文献标识码:**B

**文章编号:**1005 - 2763(2008)04 - 0067 - 03

## Optimization Scheme Selection of Mine Ventilation System based on Grey Correlation Analysis

Gong Zhimin<sup>1</sup>, Zhou Xinquan<sup>1</sup>, Liu Zhenghong<sup>2</sup>

(1. China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China; 2. Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** This paper presents the basic principle and the evaluation model of gray correlation analysis, determines evaluation indexes of mine ventilation system, then applies gray correlation analysis to select optimizing and reforming scheme of a mine ventilation system. The result shows that the method can objectively determine optimal scheme of mine ventilation system, and has greater applied value.

**Key Words:** Grey correlation, Mine ventilation, Scheme selection

矿井通风系统可靠运行是矿山安全生产的根本保障。随着生产的不断进行,矿井生产布局、自然条件和生产能力都会发生相应变化,为了与之相适应,矿井通风系统也必须进行相应的改造和优化,在此过程中,可能会提出几种不同的改造方案,需要通过科学的评价,比较分析定量计算的结果才能确定较优的方案,本文将灰色关联评价方法应用到矿井通风优化设计中,取得了较好的结果。

### 1 灰色关联的基本原理

灰色关联分析是灰色理论的重要组成部分,是

进行系统分析的一种方法,与传统的数理统计分析方法相比,弥补了采用数理统计作系统分析导致的缺憾,对样本数量的多少和样本有无规律性并没有要求,而且计算量少,快速简捷,不会出现量化结果与定性结果不符的情况。

灰色关联分析的基本思想是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密,曲线越接近,相应序列之间的联系就越大,反之就越小。关联度大小顺序可反映出评价对象的优劣次序。对于系统的分析,首先要构建反应系统行为特征的数据序列,即系统的映射量,以此间接地表征系统行为。在获取  $X_i(X_i = (x_i(k), x_2(k), \dots, x_n(k)))$  的基础上,通过对数值的规范化处理,再进行关联度的计算,进而得到评价结果。

### 2 灰色关联评价模型

(1) 建立评价指标体系,将原始数据进行无量纲化,以构造可以评判的数据矩阵。通风系统评价指标体系见图1。

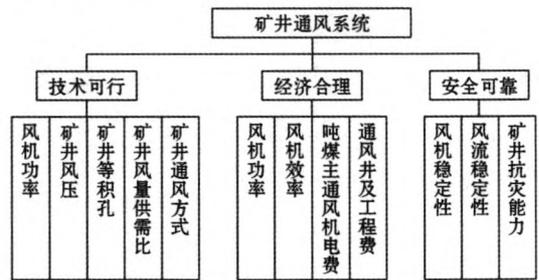


图1 矿井通风系统评价指标体系

数据无量纲化方法如下:

$$x(k) = \frac{x_i}{x_i} \tag{1}$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{2}$$

\* 收稿日期:2007 - 11 - 01

基金项目:国家自然科学基金(50534090). 国家自然科学基金(50534090)

作者简介: 巩志敏(1971 -),男,辽宁抚顺人,博士研究生,主要研究方向为安全技术工程,Email: gongzm2004@126.com。

(2) 选取各方案中的最优指标(各指标依其特点分别取相应的最大或最小值)构建最优指标集  $X_0$  作为特征数列。

(3) 计算各分指标集的关联度,获取评判矩阵,方法如下:

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (3)$$

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \quad (4)$$

可由其它方法获得。

式中,  $\xi$  为分辨系数,取值范围(0,1),通常取 0.5。

### 3 矿井通风优化评价实例

对于单层指标的评判,由式(3),(4)所得的评判矩阵可直接得出优劣判断结果,而对于多层次的判断,则需要得到单层指标判断矩阵之后,与各分指标对应于系统重要程度的权重相乘,得到相对于上层的分量矩阵,然后再按式(3)、(4)重复计算,直至得到最后的总关联系数,即可得出结论。计算公式如下:

某矿根据其 10 a 规划,需要对其通风系统进行改造,并先拟定了 4 套改造方案。现需要从事先拟定的 4 套方案中选择最优的方案,初始的指标值见参考文献[2],现对其采用灰色关联分析方法进行优化评价。

(1) 从初始值中选取最优值构成评价方案,并对初值按式(1)、(2)式进行无量纲化处理,结果如表 1 所示。

$$\gamma(X_0, X_i) = w \cdot \gamma(x_0(k), x_i(k)) \quad (5)$$

式中,  $w$  为各因素集的权重,可由专家打分获得,也

表 1 通风系统无量纲化评价指标值

指标名称	无量纲指标评价值				评价方案
	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	
矿井风压 $X_1$	0.9546	1.0805	0.9478	1.0693	0.9478
矿井风量 $X_2$	1.024	0.9795	0.9981	0.9745	1.024
矿井等积孔 $X_3$	1.0634	0.9636	1.0336	0.9636	1.0634
矿井风量供需比 $X_4$	1.0206	0.9831	1.0019	0.9738	1.0206
矿井通风方式 $X_5$	1.1723	0.6434	0.8179	1.1832	1.1832
通风机功率 $X_6$	0.9022	1.0732	1.0475	0.9038	1.0732
通风机效率 $X_7$	1.0069	0.9366	0.8586	1.099	1.099
吨煤主风机电费 $X_8$	0.9302	1.124	1.0853	0.9302	0.9302
通风井巷工程费 $X_9$	3.0728	0.4818	0.4818	0.4818	0.4814
风机运转稳定性 $X_{10}$	1.0061	0.939	0.8598	1.0976	1.0976
用风地点风流稳定性 $X_{11}$	1.1433	0.3775	1.1379	1.1707	1.1707
矿井抗灾能力 $X_{12}$	1.3768	0.471	0.3986	1.3768	1.3768

(2) 计算各方案的评价指标的最大和最小级差(取绝对值),结果如表 2 所示。

0.6963, 0.6904, 1)。

表 2 评价指标级差

方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	最小级差	最大级差
0.1227	0	0.1293	0.011	0	0.1293
0	0.0445	0.0259	0.0495	0	0.0495
0	0.0998	0.0298	0.0998	0	0.0998
0	0.0375	0.0187	0.0468	0	0.0468
0.0109	0.5398	0.3653	0	0	0.5398

(3) 由专家评议,得到评价指标子集和每个具体评价指标的权重,如表 3 所示。

表 3 评价子集与各指标权重

子集	权重 $w_i$	评价指标	权重 $w_i$
技术可行	0.32	矿井风压	0.41
		矿井风量	0.31
		矿井等积孔	0.01
		矿井风量供需比	0.15
		矿井通风方式	0.09
经济合理	0.26	通风机功率	0.06
		通风机效率	0.57
		吨煤主风机电费	0.29
		通风井巷工程费	0.08
		风机运转稳定性	0.35
安全可靠	0.42	用风地点风流稳定性	0.06
		矿井抗灾能力	0.59

(4) 按式(3)、(4)计算各子集的关联系数,结果如下:  $R_1 = (0.9671, 0.8902, 0.9418, 0.9175)$ ,  $R_2 = (0.9018, 0.8988, 0.8786, 0.993)$ ,  $R_3 = (0.9757,$

度,再次为投加量。各因素的理论最佳水平为  $A_2B_1C_1$ ,即水泥投加量 0.4 g/100 mL、温度 30℃、pH 值 5.5。而单因素实验所得  $COD_{Cr}$  最佳去除的条件是投加量 0.6 g/100 mL,温度 45℃,pH 值 5.5,此时  $COD_{Cr}$  去除率为 81.6%。

表2 实验结果与极差分析

因素实验号	投加量 g/100 mL	温度 °C	pH	浊度去除率 (%)	$COD_{Cr}$ 去除率 (%)	$Cr^{6+}$ 去除率 (%)	$Cu^{2+}$ 去除率 (%)
1	0.2	30	5.5	94.6	77.5	57.8	70.6
2	0.4	60	5.5	95.8	80.3	54.2	71.6
3	0.6	45	5.5	97.6	81.6	72.2	79.0
4	0.2	45	7.0	95.2	19.5	39.8	50.6
5	0.4	30	7.0	95.8	77.1	65.0	61.1
6	0.6	60	7.0	96.4	36.4	57.8	54.8
7	0.2	60	8.5	95.2	43.8	18.1	52.7
8	0.4	45	8.5	95.8	44.2	39.8	51.7
9	0.6	30	8.5	97.6	79.7	65.0	63.2

(3) 铬离子去除率。极差分析表明,水泥投加量对去铬效果影响最大,其次是 pH,第三是温度。其理论最佳实验条件为  $A_3B_1C_1$ ,即水泥投加量 0.6 g/100mL、温度 30℃、pH 值 5.5,此时铬离子的去除率为 72.2%,这与单因素实验所得最高去除率的条件相同。因此,水泥的最佳除铬条件是投加量 0.6 g/100 mL,温度 30℃,pH 值 5.5。

(4) 铜离子去除率。原渗滤液中铜离子的浓度为 0.068 mg/L。通过极差分析的  $R$  值可以看出,pH 对水泥的去铜效果影响最大,然后是投加量,最后是温度。各因素的最佳水平为  $A_3B_1C_1$ ,即水泥投加量 0.6 g/100 mL,温度 30℃、pH 值 5.5。但单因素实验结果表明在水泥投加量 0.6 g/100 mL,温度 45℃,pH 值 5.5 条件下铜离子的最高去除率为 79.0%。因此认为水泥去除垃圾渗滤液中铜离子的

最佳条件为水泥投加量 0.6 g/100 mL,温度 45℃,pH 值 5.5。

(5) 吸附机理分析。以上实验结果表明,水泥能够去除垃圾渗滤液中的  $Cr^{6+}$ 、 $Cu^{2+}$  和有机污染物,这是因为水泥中含有铝酸三钙、铁铝酸四钙、碱质化合物( $K_2O_23CaO12SiO_2$  和  $Na_2O8CaO3Al_2O_3$ )<sup>[5]</sup>,它们溶解于水后会水解产生具有高价正电荷的  $Fe^{3+}$ 、 $Al^{3+}$  和  $Ca^{2+}$ ,能有效降低或消除水中悬浮胶粒的  $\xi$  电位,使其脱稳而聚集沉降。此外,水泥中还含有少量粉煤灰或煤渣,具有一定的吸附能力。因此,水泥具有物理吸附和化学混凝的双重作用,故能去除垃圾渗滤液中的污染物质。

### 3 结 论

试验结果表明,水泥对垃圾渗滤液中的浊度、六价铬、铜离子和 COD 均有较好的去除效果。在最佳条件下,水泥混凝剂对垃圾渗滤液中浊度的去除率达 97.5%,六价铬去除率达 72.2%,铜离子去除率达 79.0%,COD 去除率达 81.6%。

#### 参考文献:

- [1] 张连凯,李悦,闫家怡,等. 混凝吸附-两段 SBR 法处理垃圾渗滤液[J]. 中国给水排水,2006,22(5):92~94.
- [2] 王伟兴. 垃圾渗滤液处理的初步研究[J]. 山东环境,1995,(6):26~27.
- [3] 杨秀环,牛冬杰,陶红. 垃圾渗滤液处理技术进展[J]. 环境卫生工程,2006,12(1):46~49.
- [4] 席水慧,胡中雄. 粉煤灰粘土膨润土等对  $Cd^{2+}$  吸附性能的比较研究[N]. 农业环境科学学报,2004,23(5):930~934.
- [5] 唐明述,杨南如,胡道和,等. 水泥和混凝土化学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1980,112~145.

#### (上接第 68 页)

(5) 按式(5)可得总关联系数为: $\gamma(X_0, X_i) = (0.9537, 0.8110, 0.8198, 0.9718)$ 。

由此可以看出,其关联顺序为  $\gamma_4 > \gamma_1 > \gamma_3 > \gamma_2$ ,这表明从技术可行、经济合理、安全可靠等 3 个方面综合衡量,4 套改造方案的优劣次序为:方案 4,方案 1,方案 3,方案 2。因此方案 4 应为最佳的施工方案。

#### 参考文献:

- [1] 刘思峰,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [2] 王志亮,周心权,徐景德. 多目标决策法在矿井通风系统优化改造中的应用[J]. 矿业安全与环保,2005,(6).
- [3] 李中才,刘刚. 矿井安全指标的灰色关联评价模型及应用[J]. 矿业工程,2006,(8):57~58.
- [4] 谭允楨. 矿井通风系统优化[M]. 北京:煤炭工业出版社,1992.