

文章编号:1673-0062(2013)01-0037-05

# 基于模糊综合评价法的通风设备及设施安全可靠分析

羊帆,戴剑勇\*

(南华大学核资源工程学院,湖南衡阳 421001)

**摘要:**建立矿井通风设备及设施可靠性评价体系,采用 AHP 法确定权重指标,最终应用模糊综合评价法,并使用 MATLAB 软件实现可靠性的综合评价结果。

**关键词:**通风设备和设施;可靠性;模糊综合评价;权重

**中图分类号:**TD724 **文献标识码:**B

## Analysis Based on the Fuzzy Integrated Judgment of Ventilation Equipment and Facilities Safety Reliability

YANG Fan, DAI Jian-yong\*

(School of Nuclear Resources Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

**Abstract:** To establish reliability evaluation system of the mine ventilation equipment and facilities, with AHP method to determine the weight indexes, this study used final application of fuzzy comprehensive evaluation, and the MATLAB software to realize comprehensive evaluation of the reliability of results.

**key words:** ventilation equipment and facilities; reliability; fuzzy comprehensive evaluation method; weights

### 0 引言

矿井通风系统的可靠性是指其保障安全生产的可靠程度,即保障矿井生产得以正常进行,并能预防灾害事故发生。矿井通风系统具有复杂、多变、随机等内涵明确,但外延模糊的特点。如今在可靠性分析领域,模糊方法应用于可靠性建模、故

障树分析和可靠性分配等方面。文献[1-2]对矿井通风系统可靠性评价方法及其发展趋势做了研究,特别是应用模糊数学中的模糊综合评价方法(Method of fuzzy integrated judgement)。文献[3-6]对模糊综合评价法这种多因素、多层次的问题进行模型的建立和可靠性评定。针对通风系统中通风设备及设施这一子系统的可靠性分析,利用文

收稿日期:2012-12-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51174116;0974076);湖南省自然科学基金资助项目(10JJ2041)

作者简介:羊帆(1986-),男,浙江湖州人,南华大学核资源工程学院硕士研究生。主要研究方向:系统工程。\*通讯作者

献<sup>[7-9]</sup>建立评价指标的分级隶属函数,建立其可靠性分级指标能取得传统数学和模型难以替代的效果。

## 1 矿井通风设备及设施可靠性评价体系建立

实践证明,要实现一个矿井通风系统评价体系的全面客观性、可行性,则其评价结论须能反映出矿井通风系统的合理性、经济性及安全可靠性等特征。

由于通风系统结构复杂,其可靠性的一级指标主要包括系统安全、设备及设施、人员和管理体制四项可靠性。对其一级指标又可划分出多个二级指标来,故难以完全采用定量的方法,或简单实用图表表示。故本文为了便于分析,对通风设备及设施可靠性作为目的层,对影响通风设备及设施相关的各主要6大影响因子作为评价因素建立评价体系,如图1所示。

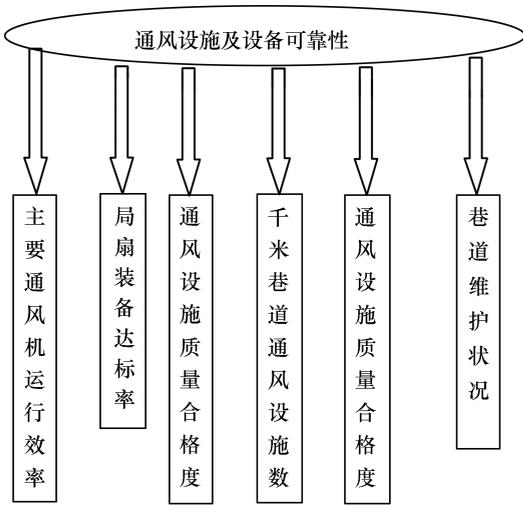


图1 通风设备及设施可靠性评价体系模型

Fig.1 Ventilation equipment and facility reliability evaluation system model

## 2 确定影响因子集和抉择评语集

矿井通风设备及设施可靠性模糊综合评判(以某矿山4个矿井为例),就是应用模糊变换原理和最大隶属度原则,考虑与通风设备及设施相关的各主要6大影响因子对其所做的综合评价,将评价结果按成绩区间划分成类别(如表1所示)。

表1 通风设备及设施可靠性成绩区间划分

Table 1 Ventilation equipment and facility reliability scores range divided

类别	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
	一类	二类	三类	四类	五类
可靠程度	很可靠	较可靠	一般	较差	很差
成绩区间	90~100	80~90	70~80	60~70	0~60

评价的着眼点是所有应考虑的各相关因素,这些影响因子集  $U$  构成一个离散论域,故亦称影响因子论域,即  $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_6\}$  (式中,  $u_1$  为主扇运行效率,  $u_2$  为主扇通风机备用系数;  $u_3$  为局扇装备达标率;  $u_4$  为千米巷道通风设施数;  $u_5$  为通风设施质量合格率;  $u_6$  巷道维护状况)。被判矿井的集合用抉择评语论域  $V$  表示为:

$$y = \{mine1, mine2, mine3, mine4\}$$

## 3 系统可靠性评价因素权重的计算

权重是一个相对的概念,在评价因素体系中每个因素对实现评价目标和功能的相对重要程度就是该因素的权重。

本文采用层次分析法(AHP法)确定各影响因子的权重。AHP法把复杂的问题分解成各个组成因素,又将这些因素按支配关系分组形成递阶层次结构。通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性。然后综合有关人员的判断,确定备选方案相对重要性的总排序。整个过程体现了人们分解—判断—综合的思维特征。

在运用AHP方法进行评价或决策时,由于本文只设计单一层次分析,其过程大体可分为以下四个步骤:

1) 根据综合有关人员的判断,构造两两判断矩阵  $A$ :

$$0 < a_{ij} \leq 9, a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中,  $a_{ii} = 1$ 。

2) 将判断矩阵  $A$  的各列作归一化处理:

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (2)$$

3) 求判断矩阵  $A$  各行元素之和  $\tilde{w}_i$ :

$$\tilde{w}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \quad (3)$$

4) 将  $\tilde{w}_i$  进行归一化处理:

$$w_i = \frac{\tilde{w}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i} \quad (4)$$

本文通过比较指标间两两重要程度,综合有关人员的判断,形成  $u_1 \sim u_6$  的判断矩阵如表 2 所示,其归一化表如表 3 所示。

表 2 有关人员意见表  
Table 2 Feedback form of relevant personnel

指标	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$	$u_6$
$u_1$	1	5	2	3	4	3
$u_2$	1/5	1	1/4	1/3	1/2	1/3
$u_3$	1/2	4	1	2	3	2
$u_4$	1/3	3	1/2	1	2	1
$u_5$	1/4	2	1/3	1/2	1	1/2
$u_6$	1/3	3	1/2	1	2	1

表 3 有关人员意见归一化表  
Table 3 Normalized feedback form of relevant personnel

指标	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$	$u_6$	$\tilde{w}_i$	$w_i$
$u_1$	0.382	0.278	0.436	0.383	0.320	0.383	2.183	0.364
$u_2$	0.076	0.056	0.055	0.042	0.040	0.042	0.311	0.051
$u_3$	0.191	0.222	0.218	0.255	0.240	0.255	1.381	0.230
$u_4$	0.127	0.167	0.109	0.128	0.160	0.128	0.819	0.137
$u_5$	0.096	0.111	0.073	0.064	0.080	0.064	0.488	0.081
$u_6$	0.127	0.167	0.109	0.128	0.160	0.128	0.819	0.137

权重系数  $w_i$  的和应满足以下条件:

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (5)$$

采用 AHP 法其权重结果为 (0.361, 0.051, 0.230, 0.137, 0.081, 0.137), 如表 4 所示。

表 4 通风设备及设施安全可靠评价体系  
Table 4 The security reliability evaluation system of ventilation equipment and facilities

	评价指标 $u_i$	权重 $w_i$
	主要通风机运行效率 $u_1$	0.361
	局扇装备达标率 $u_2$	0.051
通风设施及设备	通风设施质量合格度 $u_3$	0.230
1.0	千米巷道通风设施数 $u_4$	0.137
	通风设施质量合格度 $u_5$	0.081
	巷道维护状况 $u_6$	0.137

## 4 评价指标的分级隶属函数建立

根据资料以及以往经验确定各指标评价分界定值,参考正规简单模糊集的构造方法,可建立评价指标的分级隶属函数,建立其可靠性分级指标。

对这六项指标各为主要通风机运行效率、主要通风机备用系数、局扇装备达标率、千米巷道通风设施数、通风设施质量合格度、巷道维护情况。依据文献[10]在指标  $K$  不同取值下建立其各自的隶属度函数如下所示:

## 5 建立综合评判模型

根据矿井通风系统可靠性评价这一受多因素影响的特点,采用加权平均型的综合评判方法对上述 4 个矿井通风系统可靠性进行评判,即依照权重的大小对所有因素均衡兼顾。综合评判的加权平均模型  $M(*, +)$  为:

$$\begin{cases}
 u_1: f = \frac{k - 65\%}{70\% - 65\%} (65\% < k < 70\%), \text{其中 } 70\% \leq k, f = 1; k \leq 65\%, f = 0 \\
 u_2: f = \frac{k - 1}{1.2 - 1} (1 < k < 1.2), \text{其中 } 1.2 \leq k, f = 1; k \leq 1, f = 0 \\
 u_3: k \geq 1, f = 1; k < 1, f = 0 \\
 u_4: f = \frac{7 - k}{7 - 3} (3 < k < 7), \text{其中 } k \leq 3, f = 1; k \geq 7, f = 0 \\
 u_5: f = \frac{k - 90\%}{95\% - 90\%} (90\% < k < 95\%), \text{其中 } k \geq 95, f = 1; k \leq 90\%, f = 0 \\
 u_6: k < 3\%, f = 1.0; 3\% \leq k < 5\%, f = 0.8; 5\% \leq k < 7\%, f = 0.6; 7\% \leq k \leq 10\%, f = 0.0
 \end{cases} \quad (6)$$

$$b_j = \sum_{i=1}^m w_i r_{ij}, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\text{也可以写成 } B = A * R \quad (8)$$

式中,  $b_j$  为各因素的评价对等级  $v_j$  的隶属度;  $r_{ij}$  为因素  $u_i$  的评价对等级  $v_j$  的隶属度;  $w_i$  为因素  $u_i$  的权重系数;  $B$  为通风系统可靠性综合评判指标集;  $A$  为因素重要程度模糊子集;  $R$  为总评价矩阵, 即模糊关系矩阵;  $(*, +)$  为普通实数的乘法和加法。

根据某矿务局四个矿井各项指标的实测数据和经验取值(见表5), 按上述6项因素模糊集的隶属函数, 可计算出各矿井对各单因素的隶属函数值, 即得出评价矩阵为:

$$R = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.4 & 0.6 \\ 1 & 0.5 & 0.45 & 0.75 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0.75 & 0.5 & 0.75 \\ 0.8 & 0.4 & 0.4 & 0.8 \\ 1 & 0.6 & 0.6 & 0.8 \end{pmatrix}$$

其中  $R$  即是影响因子论域  $U$  到抉择等级  $V$  的一个模糊关系, 亦即因素  $u_i$  对抉择等级  $v_j$  的隶属度, 写成:

$$\mu_R(u_i, v_j) = \mu_j = f \quad (i = 1, 2, \dots, 9; j = 1, 2, 3, 4) \quad (9)$$

表5 四个矿井各项指标的实测数据和经验取值

Table 5 Indicators measured data and experience values of the four mine

影响因子	一矿 (较浅小型)	二矿 (较浅中型)	二矿 (中深中型)	二矿 (中深中型)	权重 $w_i$
主要通风机运行效率 $u_1$	0.69	0.66	0.67	0.68	0.361
局扇装备达标率 $u_2$	1.20	1.10	1.09	1.15	0.051
通风设施质量合格率 $u_3$	1.2	1.2	1.3	1.5	0.23
千米巷道通风设施数 $u_4$	1	4	5	4	0.137
通风设施质量合格率 $u_5$	94%	92%	92%	94%	0.081
巷道维护状况 $u_6$	2.5%	5%	6%	3%	0.137

## 6 通风系统可靠性综合评判等级

利用加权平均模型对上述4个矿井通风系统可靠性进行评判, 在 MATLAB 软件环境下, 应用公式(3)求解, 将  $B$  的结果换算成百分制成绩:

因此有  $B = (90.9, 54.5, 58.0, 76.2)$

根据计算所示的某矿务局所属4个矿井各项指标实测数据及各因素权重分配值, 结合表1所示的成绩区间划分, 对该4个矿井通风系统可靠性进行评判, 结果见表6。

表6 四个矿井通风系统可靠性评判结果  
Table 6 Ventilation system reliability evaluation results of four mine

评判矿井	可靠性得分	类别	成绩排序
一矿	90.9	一类	很可靠
二矿	54.5	五类	很差
三矿	58.0	五类	很差
四矿	76.2	三类	一般

## 7 结 论

考虑系统多因素的综合影响,采用的模糊评价法对4个矿井的通风设备及设施安全可靠性问题分别作出评判,其中一矿为很可靠,四矿较一般,其它两矿均不合格,急需对设备和设施进行改进。

### 参考文献:

- [1] 陆韬. 矿井通风系统可靠性评价方法及其发展趋势[J]. 煤矿开采, 2010, 15(4): 1-3, 7.
- [2] 王洪德, 马云东. 采用模糊综合评价法判定矿井通风系统的可靠性[J]. 煤矿开采, 2002, 7(2): 55-57.
- [3] 李昊, 肖俊贤, 田涛. 基于层次分析法的矿井通风系统灰色综合评价[J]. 煤矿安全, 2012, 43(10): 166-169.
- [4] 韩利, 梅强, 陆玉梅, 等. AHP-模糊综合评价方法的分析与研究[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(17): 86-89.
- [5] 杨志勇. 基于AHP的矿井通风系统评价指标体系研究[J]. 现代矿业, 2011, 2(2): 76-79.
- [6] 丁兆国. 矿井通风系统可靠性评价[D]. 徐州: 中国矿业大学能源与安全工程学院, 2003.
- [7] Kumral M. Reliability-based optimisation of a mine production system using genetic algorithms[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2005, 18(3): 186-189.
- [8] Wiles T D. Reliability of numerical modelling predictions[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2006, 21(2): 31-33.
- [9] GONG Xiao-yan, XUE He, TAO Xin-li, et al. Fault diagnosis approach of local ventilation system in coalmines based on multidisciplinary technology[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2006, 16(3): 317-320.
- [10] 陆刚, 韩可琦, 肖桂彬. 矿井通风系统可靠性的模糊综合评价[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(2): 244-247.