

实践运用

基于灰色综合评价模型的矿井通风系统可靠性评价

刘通海

(晋能控股煤业集团有限公司安全监管五人小组, 山西 大同 037003)

摘要: 矿井通风系统的可靠性对矿山安全生产及效益提升均有巨大影响。为有效减少个人主观臆断带来的弊端, 最大程度地保证客观评价, 系统运用灰色综合评价模型对矿井通风系统的可靠性进行了综合评价。

关键词: 灰色综合评价模型; 灰色关联理论; 矿井通风系统; 可靠性评价

中图分类号: TD724 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0802-(2021)01-0195-03

Reliability Evaluation of Mine Ventilation System Based on Grey Comprehensive Evaluation Model

LIU Tonghai

(Safety Regulation Management Five-member Group, Jinneng Holding Coal Industry Group Co., Ltd., Datong 037003, Shanxi, China)

Abstract: The reliability of mine ventilation system has a great influence on mine safety production and benefit promotion. In order to effectively reduce the disadvantages brought by personal subjective assumption and guarantee the objective evaluation to the greatest extent, this paper comprehensively evaluate the reliability of mine ventilation system by using the grey comprehensive evaluation model systematically.

Key words: grey comprehensive evaluation model; grey correlation theory; mine ventilation system; reliability evaluation

DOI:10.16643/j.cnki.14-1360/td.2021.01.081

可靠、高效的矿井通风系统可以有效降低采矿工作面粉尘及有毒有害气体浓度, 从而降低井下窒息、气体中毒、瓦斯爆炸、粉尘爆炸等安全事故的发生概率^[1-3], 因此矿井通风系统的可靠性对矿山安全生产及效益提升均有直接影响。矿井通风系统的影响因素较多^[4-5], 且参考标准不一^[6], 很难做到十分客观的量化比较。而灰色关联理论可以最大程度地保障客观评价, 其利用关联度判断样本数据序列与最佳值数据序列的接近程度, 目前已在各领域得到了广泛应用^[7-8]。本文基于矿井通风系统的24项评价指标值, 运用灰色系统理论对矿井通风系统的可靠性进行综合评价, 以期对矿井通风系统的可靠性评价提供重要借鉴。

1 基本原理

灰色综合评价模型建模主要有以下5个步骤:

a) 确定参考数据序列及评价指标。为较全面地衡量矿井通风系统的可靠性, 选取员工考核平均成绩、主通风机运行效率、作业面风量供需比、瓦斯和粉尘合格率、监控系统可靠性、防灾设施合格率、规章制度完整度等24个指标。评价指标参考数据序列选用评价指标的最佳值, 记为:

$$C_0(k)=\{C_0(1), C_0(2), C_0(3), \dots, C_0(24)\}, \quad (1)$$

式(1)中, $C_0(k)$ 为评价指标参考数据序列, $k=1, 2, 3, \dots, 24$; $C_0(1), C_0(2), C_0(3), \dots, C_0(24)$ 为员工考核平均成绩、主通风机运行效率、作业面风量供需比、规章制度完整度等评价指标参考数据。

收稿日期: 2020-07-20

作者简介: 刘通海, 1989年生, 男, 山西大同人, 2012年毕业于大同煤炭职业技术学院煤矿开采技术专业, 工程师。

待评价数据序列记为:

$$C_i(k)=\{C_i(1), C_i(2), \dots, C_i(24)\}, \quad (2)$$

式(2)中, $C_i(k)$ 为待评价数据序列; $C_i(1), C_i(2), \dots, C_i(24)$ 为员工考核平均成绩、主通风机运行效率、作业面风量供需比、规章制度完整度等评价指标数据, $i=1, 2, 3, 4, 5$ 。

b) 进行数据归一化处理, 记为:

$$X_i(k)=\{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(24)\}, \quad (3)$$

式(3)中, $X_i(k)$ 为待评价数据归一化序列; $X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(24)$ 为员工考核平均成绩、主通风机运行效率、作业面风量供需比、规章制度完整度等指标评价数据归一化数值。

c) 关联系数 $\xi_i(k)$ 的计算公式如式(4)所示:

$$\xi_i(k)=\frac{\min_i \min_k |X_0(k)-X_i(k)| + 0.5 \max_i \max_k |X_0(k)-X_i(k)|}{|X_0(k)-X_i(k)| + 0.5 \max_i \max_k |X_0(k)-X_i(k)|}, \quad (4)$$

式(4)中, $X_0(k)$ 为评价指标参考数据归一化数值。

d) 关联度 R_i 的计算公式如式(5)所示:

$$R_i=\sum_{k=1}^{24} \xi_i(k)w(k), \quad (5)$$

式(5)中, $w(k)$ 为评价指标的权值。

e) 关联度排序。待评价数据序列有 i 个时, 对应的关联度也有 i 个。关联度 R_i 越大, 则该评价数据序列越接近参考数据序列, 说明矿井通风系统可靠性越高。因此, 对关联度 R_i 排序, 也就是对矿井通风系统可靠性进行排序。

2 灰色综合评价模型

2.1 参考数据序列及待评价数据序列

为验证灰色综合评价模型的有效性, 选取参考文献

[9]中 5 个观测点的数据作为待评价数据序列,把员工考核平均成绩、主通风机运行效率、作业面风量供需比等 24 个内容作为评价指标,并根据评价指标最优值,设定评价指标参考数据序列(见表 1)。

表 1 评价指标参考数据序列和待评价数据序列指标值

评价指标代号	评价指标参考数据序列 $C_0(k)$	待评价数据序列				
		$C_1(k)$	$C_2(k)$	$C_3(k)$	$C_4(k)$	$C_5(k)$
ZB1	100	78.0	82.0	80.0	85.0	92.0
ZB2	100	76.0	80.0	83.0	80.0	85.0
ZB3	100	61.0	68.0	73.0	70.0	65.0
ZB4	100	82.0	85.0	88.0	86.0	82.0
ZB5	100	83.0	88.0	85.0	80.0	77.0
ZB6	3	2.2	1.9	1.3	1.2	1.0
ZB7	4	10.5	8.3	7.6	9.2	8.5
ZB8	2	1.4	1.3	1.2	1.1	1.2
ZB9	30	42.0	38.0	41.0	40.0	37.0
ZB10	100	76.0	82.0	93.0	87.0	84.0
ZB11	10	7.7	8.2	8.0	8.6	7.8
ZB12	20	18.3	19.6	18.7	18.2	18.3
ZB13	55	62.0	69.0	78.0	77.0	72.0
ZB14	20	23.0	25.0	26.0	26.0	27.0
ZB15	2.5	2.3	2.1	2.0	1.8	1.8
ZB16	100	87.0	76.0	78.0	80.0	83.0
ZB17	2	8.7	6.2	2.1	3.6	4.4
ZB18	0.5	4.7	5.2	3.6	3.3	3.4
ZB19	100	78.0	82.0	83.0	86.0	85.0
ZB20	20	32.0	28.0	29.0	34.0	33.0
ZB21	100	92.0	90.0	90.0	93.0	96.0
ZB22	100	83.0	92.0	94.0	92.0	87.0
ZB23	100	87.0	87.0	93.0	93.0	93.0
ZB24	24	18.0	20.0	22.0	20.0	20.0

2.2 待评价数据归一化处理

观测点待评价数据序列是由 24 个不同指标的数值组成,数值大小相差十分悬殊,因此需将这些数值统一进行归一化处理,把这些数据序列化成同一数量级。对表 1 中的数据进行归一化处理,结果如表 2 所示。

表 2 数据归一化处理结果

评价指标代号	$X_1(k)$	$X_2(k)$	$X_3(k)$	$X_4(k)$	$X_5(k)$
ZB1	0.78	0.82	0.80	0.85	0.92
ZB2	0.76	0.80	0.83	0.80	0.85
ZB3	0.61	0.68	0.73	0.70	0.65
ZB4	0.82	0.85	0.88	0.86	0.82
ZB5	0.83	0.88	0.85	0.80	0.77
ZB6	0.73	0.63	0.43	0.40	0.33
ZB7	0.38	0.48	0.53	0.43	0.47
ZB8	0.70	0.65	0.60	0.55	0.60
ZB9	0.71	0.79	0.73	0.75	0.81
ZB10	0.76	0.82	0.93	0.87	0.84
ZB11	0.77	0.82	0.80	0.86	0.78
ZB12	0.92	0.98	0.94	0.91	0.92
ZB13	0.89	0.80	0.71	0.71	0.76
ZB14	0.87	0.80	0.77	0.77	0.74
ZB15	0.92	0.84	0.80	0.72	0.72
ZB16	0.87	0.76	0.78	0.80	0.83
ZB17	0.23	0.32	0.95	0.56	0.45
ZB18	0.11	0.10	0.14	0.15	0.15
ZB19	0.78	0.82	0.83	0.86	0.85
ZB20	0.63	0.71	0.69	0.59	0.61
ZB21	0.92	0.90	0.90	0.93	0.96
ZB22	0.83	0.92	0.94	0.92	0.87
ZB23	0.87	0.87	0.93	0.93	0.93
ZB24	0.75	0.83	0.92	0.83	0.83

2.3 关联系数计算

根据表 2,结合式(6)求得绝对差值(见表 3):

$$\Delta_i(k)=|X_0(k)-X_i(k)|, \tag{6}$$

式(6)中, $\Delta_i(k)$ 为观测点评价指标参考数据归一化数值与待评价数据归一化数值的绝对差值。

表 3 绝对差值计算结果

评价指标代号	$\Delta_1(k)$	$\Delta_2(k)$	$\Delta_3(k)$	$\Delta_4(k)$	$\Delta_5(k)$
ZB1	0.22	0.18	0.20	0.15	0.08
ZB2	0.24	0.20	0.17	0.20	0.15
ZB3	0.39	0.32	0.27	0.30	0.35
ZB4	0.18	0.15	0.12	0.14	0.18
ZB5	0.17	0.12	0.15	0.20	0.23
ZB6	0.27	0.37	0.57	0.60	0.67
ZB7	0.62	0.52	0.47	0.57	0.53
ZB8	0.30	0.35	0.40	0.45	0.40
ZB9	0.29	0.21	0.27	0.25	0.19
ZB10	0.24	0.18	0.07	0.13	0.16
ZB11	0.23	0.18	0.20	0.14	0.22
ZB12	0.09	0.02	0.07	0.09	0.09
ZB13	0.11	0.20	0.29	0.29	0.24
ZB14	0.13	0.20	0.23	0.23	0.26
ZB15	0.08	0.16	0.20	0.28	0.28
ZB16	0.13	0.24	0.22	0.20	0.17
ZB17	0.77	0.68	0.05	0.44	0.55
ZB18	0.89	0.90	0.86	0.85	0.85
ZB19	0.22	0.18	0.17	0.14	0.15
ZB20	0.38	0.29	0.31	0.41	0.39
ZB21	0.08	0.10	0.10	0.07	0.04
ZB22	0.17	0.08	0.06	0.08	0.13
ZB23	0.13	0.13	0.07	0.07	0.07
ZB24	0.25	0.17	0.08	0.17	0.17

根据表 3 的绝对差值计算结果,可得:

$$\min_i \min_k |X_0(k)-X_i(k)|=0.02, \tag{7}$$

$$\max_i \max_k |X_0(k)-X_i(k)|=0.9. \tag{8}$$

则关联系数 $\xi_i(k)$ 的计算公式如式(9)所示:

$$\xi_i(k)=\frac{0.47}{|X_0(k)-X_i(k)|+0.45} (i=1,2,3,4,5; k=1,2,\cdots,23,24). \tag{9}$$

关联系数计算结果如表 4 所示。

2.4 关联度计算

由两两对比法求出相应的权值如下:

$$w=(0.015\ 4,0.013\ 3,0.017\ 7,0.025\ 1,0.014\ 3,0.060\ 3,0.045\ 4,0.025\ 5,0.069\ 7,0.016\ 8,0.065\ 7,0.083\ 6,0.085\ 0,0.085\ 6,0.073\ 3,0.016\ 5,0.072\ 7,0.052\ 6,0.012\ 9,0.039\ 5,0.012\ 7,0.014\ 1,0.012\ 8,0.069\ 7). \tag{10}$$

关联度计算结果如下:

$$R_1=\sum_{k=1}^{24} \xi_1(k)w(k)=0.685\ 4, \tag{11}$$

$$R_2=\sum_{k=1}^{24} \xi_2(k)w(k)=0.690\ 9, \tag{12}$$

$$R_3=\sum_{k=1}^{24} \xi_3(k)w(k)=0.710\ 2, \tag{13}$$

$$R_4=\sum_{k=1}^{24}\xi_4(k)w(k)=0.660\ 2,$$

(14)

$$R_5=\sum_{k=1}^{24}\xi_5(k)w(k)=0.656\ 4。$$

(15)

表 4 关联系数计算结果

评价指标代号	$\xi_1(k)$	$\xi_2(k)$	$\xi_3(k)$	$\xi_4(k)$	$\xi_5(k)$
ZB1	0.70	0.75	0.72	0.78	0.89
ZB2	0.68	0.72	0.76	0.72	0.78
ZB3	0.56	0.61	0.65	0.63	0.59
ZB4	0.75	0.78	0.82	0.80	0.75
ZB5	0.76	0.82	0.78	0.72	0.69
ZB6	0.66	0.58	0.46	0.45	0.42
ZB7	0.44	0.49	0.51	0.46	0.48
ZB8	0.63	0.59	0.55	0.52	0.55
ZB9	0.64	0.71	0.65	0.67	0.74
ZB10	0.68	0.75	0.90	0.81	0.77
ZB11	0.69	0.75	0.72	0.80	0.70
ZB12	0.88	1.00	0.91	0.87	0.88
ZB13	0.83	0.72	0.63	0.64	0.69
ZB14	0.81	0.72	0.69	0.69	0.66
ZB15	0.89	0.77	0.72	0.64	0.64
ZB16	0.81	0.68	0.70	0.72	0.76
ZB17	0.39	0.42	0.94	0.53	0.47
ZB18	0.35	0.35	0.36	0.36	0.36
ZB19	0.70	0.75	0.76	0.80	0.78
ZB20	0.57	0.64	0.62	0.55	0.56
ZB21	0.89	0.85	0.85	0.90	0.96
ZB22	0.76	0.89	0.92	0.89	0.81
ZB23	0.81	0.81	0.90	0.90	0.90
ZB24	0.67	0.76	0.88	0.76	0.76

2.5 关联度排序

根据关联度的计算结果可知， $R_3>R_2>R_1>R_4>R_5$ ，也即说明了矿井通风系统可靠性较高的为观测点 3、观测点 2，其次为观测点 1，再次为观测点 4，最后为观测点 5，这与运用 FAHP-MODM 方法的判定结果基本一致，说明了基于灰色综合评价模型的矿井通风系统评价的可靠性较高。

3 矿井通风系统可靠性评价

基于矿井通风系统参考数据序列及评价指标确定、
(上接 21 页)

4 结语

通过对新余梅山矿区安源组煤中 P，U，Ge，Ga 的研究，发现其为中低磷煤，煤中 U 元素的平均含量低于地壳中的平均含量，Ga 和 Ge 的平均含量略高于地壳中的平均含量，但均未达到工业边界品位。多元统计分析结果表明，Ge，U 元素主要以无机态形式存在，P 元素主要以有机质形式存在，Ga 元素主要以无机态的形式存在。

参考文献：

[1] 王云泉,任德贻.煤中微量元素的研究进展[J].煤田地质与勘探,1994,22(4):16-20.

[2] 白俊仁,刘凤歧,姚星一,等.煤质分析[M].2 版.北京:煤炭工业出版社,1990:399-410.

待评价数据归一化处理、关联系数计算、关联度计算、关联度排序 5 个步骤，系统运用灰色综合评价模型对矿井通风系统的可靠性进行综合评价，结论如下：a) 矿井通风系统的影响因素较多，而利用灰色关联理论可有效减少个人主观臆断带来的弊端，最大程度地保证客观评价；b) 基于灰色综合评价模型的矿井通风系统评价结果，与运用 FAHP-MODM 方法的判定结果基本一致，说明了基于灰色综合评价模型的矿井通风系统评价的可靠性较高；c) 灰色综合评价模型建立简便，使用快捷，在矿井通风系统可靠性评价方面具有很大的应用潜力。

4 结语

运用灰色综合评价模型对矿井通风系统可靠性综合评价的结果表明，灰色综合评价模型具有建立简便、可靠性较高的特点，可以最大程度地保证客观评价，在未来矿井通风系统可靠性评价中应用潜力巨大。

参考文献：

[1] 刘世金.对煤矿矿井通风技术管理的探讨[J].煤炭科技,2015(4):60-61.

[2] 任利.解析高瓦斯煤矿通风技术[J].山西化工,2019(3):140-143.

[3] 许珍珍.智能化通风控制系统在掘进工作面中应用[J].煤矿现代化,2020(2):121-123.

[4] 程磊,杨运良,熊亚选.矿井通风系统评价指标体系的研究[J].中国安全科学学报,2005,15(3):91-94.

[5] 程磊,杨运良,熊亚选.基于人工神经网络的矿井通风系统评价研究[J].中国安全科学学报,2005,15(5):88-91.

[6] 李向阳,叶勇军,周星火,等.铀矿井通风系统合理性灰色综合评价模型及应用[J].中国安全科学学报,2006,16(8):106-109.

[7] 景国勋,姚嵘,张甫仁.矿井通风系统合理性的灰色综合评判[J].中国安全科学学报,2001,11(4):65-68.

[8] JING G X,WU W D,FENG C G.Grey relational analyzing between human quality and accident[J].The journal of grey system,2000(3):63-67.

[9] 程刚,陆卫东,陈志峰,等.基于 FAHP-MODM 的矿井通风系统可靠性综合评价[J].中国安全生产科学技术,2018,14(2):99-105.

(责任编辑：高志凤)

[3] 毛绍胜,邹勇军.新余市梅山矿区(南区)煤质特征及原煤可选性研究[J].江西煤炭科技,2012(2):115-117.

[4] 王兵荣.江西新余梅山矿区(南区)地质特征及煤炭资源潜力评价[J].企业技术开发,2010,29(17):64-66.

[5] 刘地福,谭巧军,李金燕.梅山矿区水文地质勘查类型的划分[J].江西煤炭科技,2011(2):101-103.

[6] 刘贤赞.测井资料在新余梅山矿区(南区)煤组划分及对比中的应用[J].上海地质,2010(11):268-270.

[7] 张威.煤中微量元素的环境地球化学研究——以兖州矿区为例[M].徐州:中国矿业大学出版社,1999:13-97.

[8] 刘桂建,杨萍玥,彭子成,等.兖州矿区山西组 3 煤层中微量元素的特征分析[J].地球化学,2003,32(3):255-262.

[9] 刘大锰,杨起,汤达祯,等.华北晚古生代煤中硫及微量元素分布赋存规律[J].煤炭科学技术,2000,28(9):39-42.

(责任编辑：刘晓芳)