

胡底矿通风系统阻力分布模糊综合评价研究

代晓亮

山西晋能控股煤业集团沁水胡底煤业有限责任公司, 山西 晋城

收稿日期: 2021年12月16日; 录用日期: 2022年1月17日; 发布日期: 2022年1月25日

摘要

针对复杂矿井通风系统阻力分布评价方法单一、人工经验依赖度较高的问题, 在矿井通风参数测定及网络解算的基础上, 从通风网络结构、通风巷道类型、巷道物理参数、巷道通风参数四方面, 建立了影响矿井通风阻力分布的影响因素指标体系, 提出了矿井通风阻力分布模糊综合评价方法。在胡底矿应用结果表明, 该方法可以快速计算通风网络各巷道的可调节度, 确定通风网络中的关键可优化调节巷道, 为通风系统优化管理提供依据。

关键词

通风系统, 阻力分布, 模糊综合评价

Distribution of Roadway Resistance in Hudi Coalmine Ventilation System Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation

Xiaoliang Dai

Hudi Coalmine of Shanxi Jinneng Holding Coal Industry Group, Jincheng Shanxi

Received: Dec. 16th, 2021; accepted: Jan. 17th, 2022; published: Jan. 25th, 2022

Abstract

The resistance distribution of the complex mine ventilation system has the problems of single evaluation method and high dependence on manual experience. Based on this, on the basis of the measurement and network calculation of mine ventilation parameters, the index system of influencing factors on the distribution of mine ventilation resistance was established from four aspects: the structure of ventilation network, the type of ventilation roadway, the physical parameters of roadway, and the ventilation parameters of roadway. The application results in Hudi Coalmine show that this method can quickly calculate the adjustable degree of each roadway in the ventilation network, determine the key roadway that can be optimized and regulated, and provide a basis for the optimization management of the ventilation system.

ters of roadway and the ventilation parameters of roadway, and a fuzzy comprehensive evaluation method for the distribution of mine ventilation resistance was proposed. The application results of Hudi mine show that the method can quickly calculate the adjustable degree of each roadway in the ventilation network, determine the key optimized regulating roadway in the ventilation network, and provide a basis for the optimization management of the ventilation system.

Keywords

Ventilation System, Resistance Distribution, Fuzzy Comprehensive Evaluation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着矿井开采强度和开采深度的不断增大,通风系统呈现日益复杂趋势[1]。通风管理不当可能导致井下风流紊乱,对矿井正常生产秩序造成影响。为使矿井通风不断适应井下生产条件的变化[2],保证井下作业人员及其作业环境的安全,必须对矿井通风阻力进行测定,获得矿井通风参数,并及时做出评价。

当前对于通风系统的研究主要集中在通风阻力测定、通风系统优化以及通风系统评价等方面。刘正威等[3] [4]采用气压基点法对矿井通风阻力进行测定和分析,提出了优化建议。王中举等[5] [6] [7] [8]建立了矿井三维通风仿真系统,进行了通风阻力分析和通风网络解算,制定了适合于所研究矿井的通风优化方案。矿井通风系统是矿井生产系统的重要组成部分,与矿井安全稳定高效生产以及矿井的防灾抗灾能力息息相关[9]。在通风阻力测定和通风优化方案制定后进行通风系统评价研究十分必要。由于影响矿井通风系统的因素不仅包括定量因素,还包括定性因素,且具有模糊性和灰色性,通常采用模糊综合评价方法对其质量进行评价[10]。马骏等[11]从技术可行性、经济合理性和安全可靠三个方进行了模糊综合评价研究。罗霄[12]从“人-机-环”系统建立了模糊综合评价模型,研究了通风系统的安全性。靳红梅等[13]等采用模糊综合评价法-层次分析法对煤矿用风区域范围内的通风质量进行了评价研究。

现行矿井通风系统多为复杂通风系统,系统巷道较多,网络结构复杂,优化难度较大。针对矿井通风系统中阻力分布不均匀的问题[14],往往根据巷道风阻、阻力或者百米流程风阻等单一参数对通风系统进行优化,该方法需要利用人工经验寻找调节位置、选择调节量,要求技术人员具有丰富的现场经验。基于此,本文提出基于模糊综合优选的矿井通风系统阻力分布评价方法,以胡底矿阻力测定数据为依据,建立了矿井通风阻力分布影响因素指标体系,选取其最大阻力路线的巷道参数,以期为矿井通风系统优化管理提供依据。

2. 矿井通风阻力分布影响因素

影响矿井通风阻力分布的因素主要包括通风网络结构、通风巷道类型、巷道物理参数、巷道通风参数4个方面,筛选出影响矿井阻力分布的8个主要因素,具体见图1所示。

1) 网络结构 B_1 。根据通风网络的组成,可分为串联结构、并联结构和角联结构3类,量化时分别用1, 2, 3表示。串联结构增加通风网络的阻力,并联结构减少通网网络的阻力,因此,为了寻找通风瓶颈巷道,网络结构量化指标越小越好。

2) 巷道类型 B_2 。按照其服务的年限可分为矿井开拓巷道、采区开拓巷道、准备巷道 3 类，量化时分别用 1, 2, 3 表示。从长远角度来看，矿井开拓巷道对通风网络影响的时间远远长于采区开拓和准备巷道，在进行通风系统优化时，应优先考虑此类巷道，因此，巷道类型量化指标越小越好。

3) 巷道物理参数 B_3 。主要包括巷道长度、巷道断面积、巷道的阻塞系数，巷道长度越长，通风网络的阻力越大，因此，该指标越小越好；巷道断面积越大，流经巷道的风阻越小，因此，该指标越大越好；巷道阻塞系数主要反映巷道断面的动态影响，如皮带、矿车、材料、线缆堆积等，该指标越小越好。

4) 巷道通风参数 B_4 。主要包括风量、阻力、百米流程风阻，这三项参数越小的巷道，其风阻值越大，因此，这些指标均取越小越好。

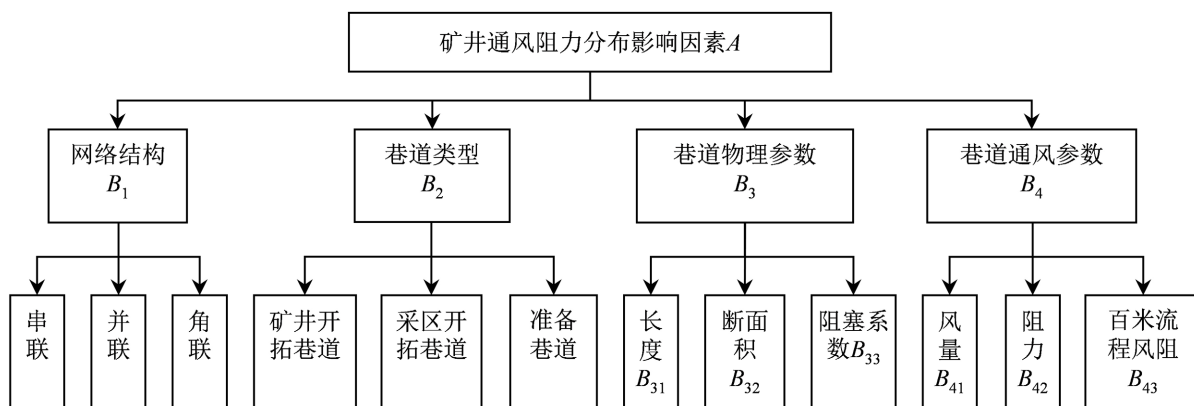


Figure 1. Influence factor system of ventilation resistance distribution

图 1. 通风阻力分布影响因素指标体系

3. 模糊综合优选算法

根据矿井通风系统阻力分布影响因素指标体系，建立模糊综合评价模型。

设 $F = \{F_{ij}\}$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$ 表示 m 条巷道评测巷道对应于 n 个评价因素指标的集合，引用相对隶属度消除不同量纲的不可公度性。将相对隶属度属性值分为：

1) 隶属度值越大越好，

$$Fr_{ij} = \frac{F_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\}}{\max_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\} - \min_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\}} \quad (1)$$

式中， Fr_{ij} 是集合元素 F_{ij} 的相对隶属度，其取值范围为 $[0, 1]$ ； $\max\{\}$ 表示取集合元素中的最大值， $\min\{\}$ 表示取集合元素中的最小值。

2) 隶属度值越小越好，

$$Fr_{ij} = \frac{\max_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\} - F_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\} - \min_{1 \leq i \leq m} \{F_{ij}\}} \quad (2)$$

3) 隶属度值取 1，

$$Fr_{ij} = 1, (F_{1j} = F_{2j} = \dots = F_{mj}) \quad (3)$$

组成巷道的相对隶属度矩阵 Fr ：

$$\mathbf{Fr} = \begin{bmatrix} Fr_{11} & Fr_{12} & \cdots & Fr_{1n} \\ Fr_{21} & Fr_{22} & \cdots & Fr_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Fr_{m1} & Fr_{21} & \cdots & Fr_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

构建标准优等隶属度向量 \mathbf{G}_R 和标准劣等隶属度向量 \mathbf{B}_R :

$$\mathbf{G}_R = (gr_1 \ \cdots \ gr_n)^T = \left(\bigvee_{i=1}^m Fr_{i1} \ \cdots \ \bigvee_{i=1}^m Fr_{in} \right)^T \quad (5)$$

式中, gr_j 表示第 j 个因素指标相对隶属度的最优值, “ \vee ” 表示模糊数取大运算符;

$$\mathbf{B}_R = (br_1 \ \cdots \ br_n)^T = \left(\bigwedge_{i=1}^m Fr_{i1} \ \cdots \ \bigwedge_{i=1}^m Fr_{in} \right)^T \quad (6)$$

式中, br_j 表示第 j 个因素指标相对隶属度的最劣值, “ \wedge ” 表示取小运算符。

定义模糊分划矩阵[11]:

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1m} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{1i} \\ u_{2i} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, u_{1i} 为优等指标隶属度; u_{2i} 为劣等指标隶属度, $\sum_{k=1}^2 u_{ki} = 1$, $u_{ki} \in [0,1]$ 。

以 m 条巷道的权异劣度 $D(R_i, B_R)$ 平方与权异优度 $D(R_i, G_R)$ 平方之总和最小为目标函数:

$$\min f(u_{1i}) = \sum_{i=1}^m \left((D(R_i, G_R))^2 + (D(R_i, B_R))^2 \right) \quad (8)$$

式中, $D(R_i, G_R) = u_{1i} \sqrt{\sum_{j=1}^4 [\omega_j (gr_j - Fr_{ij})]^2}$, $D(R_i, B_R) = u_{2i} \sqrt{\sum_{j=1}^4 [\omega_j (Fr_{ij} - br_j)]^2}$, ω_j 表示各因素指标的权重。

令 $\frac{df(u_{1i})}{du_{1i}} = 0$, 计算得出最优模糊分划矩阵元素为:

$$u_{1i} = \left(1 + \frac{\sum_{j=1}^4 [\omega_j (gr_j - Fr_{ij})]^2}{\sum_{j=1}^4 [\omega_j (Fr_{ij} - br_j)]^2} \right)^{-1} \quad (9)$$

将隶属度 u_{1i} 定义为通风系统巷道的可调节度, 表示该巷道阻力对矿井通风系统阻力分布的影响大小, u_{1i} 越大, 对矿井通风系统阻力分布的影响越大, 因此, 需要对可调节度较大的巷道进行减阻调节。

4. 实例分析

4.1. 矿井概况

山西晋煤集团沁水胡底煤业有限公司位于山西省沁水县胡底乡境内, 井田地层总体走向为北北东或近南北向, 地层倾向北西, 倾角一般小于 10° 。矿井区域内可采煤层为山西组的 3#煤层及太原组的 15#煤层, 平均煤层厚度分别为 5.72 m 和 2.64 m。全井现布置一个采煤工作面, 采用中央并列式通风方式, 机械抽出式通风方法。副立井、专用进风立井、主斜井作为三个进风井, 蒲池回风立井作为专用回风井。

矿井通风总阻力为 2569.44 Pa，总回风量为 18,370 m³/min，矿井自然风压为 117.81 Pa，主扇型号为 GAF35.5-21.1-1 型轴流式风机，电机功率为 3150 kW，1 台工作，1 台备用。

矿井绝对瓦斯涌出量为 66.28 m³/min，二氧化碳绝对涌出量为 2.74 m³/min，属突出矿井。3#煤层无煤尘爆炸性，煤层自燃倾向性等级为 III 级，自燃倾向性性质为不易自燃。

4.2. 巷道通风参数

根据胡底矿通风阻力测定结果，收集整理最大阻力路线上的巷道参数，确定出各巷道的因素取值，见表 1 所示。

Table 1. Roadway parameters

表 1. 巷道参数

分支号	巷道名称	网络结构	巷道类型	长度/m	断面积/m ²	阻塞系数	风量/m ³ ·s ⁻¹	阻力/Pa	百米流程风阻/kg·m ⁻⁷
1	主斜井	1	1	1724	20.25	0	66.02	315.58	0.0042
2	上仓斜巷(辅运以下)	1	1	163	18.65	0.15	83.25	75.54	0.0067
3	1103 巷(一)	2	1	62	19.12	0.15	97.19	23.61	0.0040
4	1103 巷(二)	2	1	172	19.16	0.15	101.51	80.37	0.0045
5	1103 巷(三)	2	1	81	22.76	0.15	121.61	47.33	0.0040
6	1103 巷(四)	2	1	37	22.67	0.15	132.14	20.95	0.0033
7	1103 巷(五)	2	1	357	21.92	0.15	76.78	227.53	0.0108
8	运输联络巷	3	3	127	11.94	0.2	13.17	3.42	0.0155
9	13031 巷	1	3	370	12.48	0.2	32.63	217.51	0.0552
10	1303(上)切眼	1	3	200	6.6	0	26.33	280.04	0.2019
11	13033 巷(一)	2	3	277	12.99	0	24.81	37.00	0.0217
12	13033 巷(二)	2	3	72	12.5	0	24.24	5.99	0.0142
13	13033 巷(三)	2	3	37	18.87	0	19.98	2.00	0.0136
14	13051 巷 1#横川及外段	3	3	173	13	0	67.42	60.01	0.0076
15	1102 巷(一)	2	1	31	17.99	0.1	115.61	30.74	0.0075
16	1102 巷(二)	2	1	27	24.19	0.1	49.31	6.08	0.0093
17	1102 巷(三)	2	1	149	18.36	0.1	100.86	98.67	0.0065
18	1102 巷(四)	2	1	159	26.96	0	142.31	145.82	0.0045
19	1102 巷(五)	2	1	87	18.38	0	153.74	406.53	0.0197
20	1102 巷(六)	2	1	638	20.01	0	165.20	398.45	0.0023
21	1102 巷(七)	2	1	217	28.98	0	55.04	29.38	0.0045
22	回风立井	1	1	262.1	50.24	0	307.92	56.89	0.0001

4.3. 模糊综合优选计算

根据各因素的情况,采用专家打分法,取各评价因素权重赋值见表 2 所示,由式(1)~式(9)计算得出各巷道的可调节度见表 3 所示。

Table 2. Weight value and its range of evaluation factors

表 2. 评价因素权重值及取值范围

因素	网络结构	巷道类型	长度/m	断面积/m ²	阻塞系数	风量/m ³ ·s ⁻¹	阻力/Pa	百米流程风阻/kg·m ⁻⁷
权重值	0.1	0.2	0.1	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
最小值	1	1	27	6.6	0	13.17	2	0.0001
最大值	3	3	1724	50.24	0.2	307.92	406.53	0.2019

Table 3. Value of influencing factors and evaluation results

表 3. 影响因素取值及评价结果

分支号	巷道名称	可调节度	排序	分支号	巷道名称	可调节度	排序
1	主斜井	3.0840	10	12	13033 巷(二)	0.7145	19
2	上仓斜巷(辅运以下)	8.7626	1	13	13033 巷(三)	0.6561	20
3	1103 巷(一)	6.4557	3	14	13051 巷 1#横川及外段	0.5668	21
4	1103 巷(二)	6.7219	2	15	1102 巷(一)	4.7096	8
5	1103 巷(三)	5.6795	5	16	1102 巷(二)	4.4595	9
6	1103 巷(四)	5.4876	6	17	1102 巷(三)	4.9258	7
7	1103 巷(五)	5.9724	4	18	1102 巷(四)	1.9145	12
8	运输联络巷	1.2158	16	19	1102 巷(五)	1.5739	14
9	13031 巷	1.4934	15	20	1102 巷(六)	1.8194	13
10	1303(上)切眼	0.5416	22	21	1102 巷(七)	2.1704	11
11	13033 巷(一)	0.7312	18	22	回风立井	1.1185	17

4.4. 评价结果分析

绘制出胡底矿通风最大阻力路线上巷道累积长度与累积阻力的关系曲线见图 2 所示,根据模糊综合优选算法计算结果,绘制出累积长度与可调节度的关系曲线见图 3 所示。

由图 2 和图 3 可知,最大阻力路线上进风段距离较长,回风段的阻力占比较大,可调节度计算结果显示,进风侧可调节度大于回风侧,用风段的可调节度最小。其中,上仓斜巷(辅运以下)处对通风系统阻力分布的影响最大,其次为 1103 巷,在回风段的 1102 巷处的影响也较大,1103 巷道中布置了皮带输送机,以及巷道受高矿压影响巷道变形较大,对巷道的影响较大,1102 巷道则由于杂物较多和部分区段的巷道变形,增大了通风阻力,因此,可对这些巷道进行整理、维修工作,从而达到对矿井通风系统优化的目的。

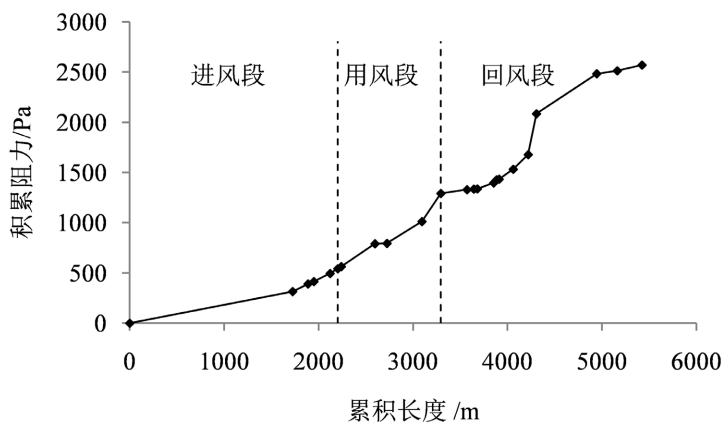


Figure 2. Relationship curve between roadway cumulative length and cumulative resistance

图 2. 巷道累积长度与累积阻力关系曲线

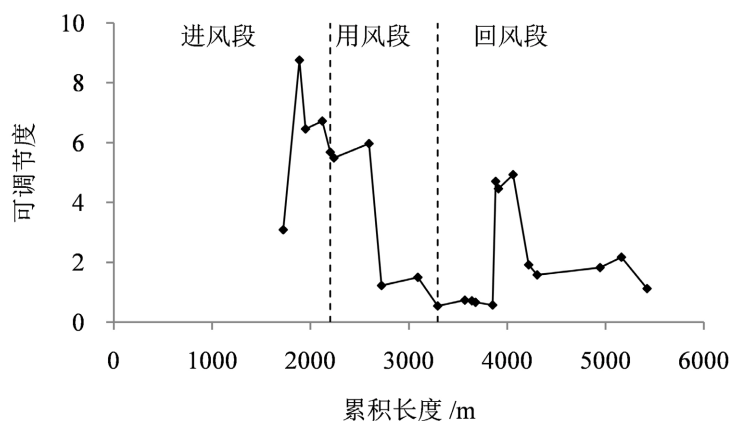


Figure 3. Relationship curve between cumulative length and adjustability

图 3. 累积长度与可调节度关系曲线

5. 结论

1) 建立了矿井通风阻力分布影响因素指标体系, 主要包括通风网络结构、通风巷道类型、巷道物理参数、巷道通风参数 4 个方面, 包含网络结构、巷道类型、巷道长度、巷道断面积、巷道的阻塞系数、风量、阻力、百米流程风阻 8 个指标参数。

2) 提出了矿井通风阻力分布模糊综合评价方法, 确定了各指标参数的权重, 并以胡底矿最大阻力路线上的巷道参数进行了分析。结果表明, 该方法可以快速计算通风网络各巷道的可调节度, 确定通风网络中的关键可优化调节巷道。

参考文献

- [1] 郭雪鹏, 刘恒泰. 李雅庄矿通风系统可靠性定量分析研究[J]. 山西焦煤科技, 2020, 44(6): 54-56.
- [2] 朱旭东, 鲁忠良. 焦家寨煤矿通风系统阻力测定与分析[J]. 黄金科学技术, 2018, 26(5): 629-634.
- [3] 刘正威, 李伟, 闫建浩, 等. 新郑煤电矿井通风阻力测定分析与应用[J]. 煤炭技术, 2017, 36(3): 217-219.
- [4] 张卫亮, 张子军, 赵丹丹. 多水平密集采煤法矿井通风阻力测定分析[J]. 煤矿安全, 2018, 49(11): 180-182+189.
- [5] 王中举, 赵硕婧. 六家煤矿矿井通风系统阻力测定与优化[J]. 煤炭技术, 2021, 40(5): 103-106.

-
- [6] 冯彬, 庞志晴, 邵良杉. 虎龙沟煤矿通风系统优化研究[J]. 煤炭技术, 2021, 40(3): 66-69.
- [7] 辛嵩, 侯传彬, 金晓娜, 等. 基于 Ventsim 模型的矿井单翼通风系统优化研究[J]. 矿业安全与环保, 2019, 46(6): 84-88.
- [8] 姚清振, 宋彦, 栗鹏刚, 等. 基于 3DSimOpt 的四台矿通风系统仿真与优化[J]. 煤炭技术, 2021, 40(12): 115-118.
- [9] 丁厚成, 黄新杰. 基于 AHP-FCE 的煤矿通风系统可靠性评价研究[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(3): 153-159.
- [10] 冯贵海, 秦书玉, 董蕴珩. 矿井通风方案比较的模糊灰色信息理论评价法[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006(S2): 7-9.
- [11] 马骏, 郁钟铭. 模糊综合评判在矿井通风系统优化中的应用[J]. 煤炭技术, 2015, 34(2): 111-113.
- [12] 罗霄. 基于人-机-环境的煤矿通风系统安全性模糊评价[J]. 煤炭技术, 2014, 33(3): 7-9.
- [13] 靳红梅, 党琪, 李洪安, 等. 基于 FCE-AHP 的矿井通风质量动态评价[J]. 工矿自动化, 2021, 47(9): 77-84.
- [14] 马国强, 刘贞堂, 赵斌, 等. 整合矿井通风系统阻力测定及分析[J]. 煤矿安全, 2011, 42(11): 67-71.