

矿井通风系统降阻优化及综合评价

彭云¹, 赵伏军²

(1. 化工部长沙设计研究院, 湖南长沙 410116; 2. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南湘潭 411201)

摘要: 矿山进入深部开采, 通风阻力日益增大, 通风系统需降阻优化. 综合选取技术、经济、安全稳定性等指标构建了矿井通风系统降阻优化 AHP-FPR 综合评价模型. 对周源山煤矿通风系统提出了调整网络结构、缩短公用巷道长度、刷大断面、改变主要角联分支风阻等 4 种降阻优化方案, 并对各种方案进行了网络解算和综合评价, 确定了最佳方案.

关键词: 降阻优化; 综合评价; 网络解算; 最佳方案

中图分类号: TD724 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2014)03-0025-05

Reduction and optimization and comprehensive evaluation of mine ventilation system

PENG Yun¹, ZHAO Fujun²

(1. Changsha Design and Research Institute of the Ministry of Chemical Industry, Changsha 410116, China;

2. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: When mines have entered into the deep resource exploitation, the ventilation resistance will increase, and thus it is necessary to reduce the resistance of mine ventilation. This paper comprehensively selected the indexes of technology, economy, safety and stability to establish the comprehensive evaluation model AHP-FPR of mine ventilation system reduction and optimization. It has also carried out the ventilation parameter network calculation and comprehensive evaluation of four reduction and optimization schemes, such as ventilation system's network structure adjusting, shortening public tunnel length, enlarging basal area, and changing main diagonal branch wind resistance. Finally, the optimum scheme is defined.

Key words: reduction and optimization; comprehensive evaluation; network calculation; optimum scheme

周源山煤矿通风系统从主井、副井、新副井 3 个井筒进风, 南、北风井回风. 风机房分别位于主井附近南、北两翼的地面, 南风井阻力为 3 350 Pa, 北风井阻力为 3 250 Pa, 均超过 2 940 Pa, 为使矿井可持续发展, 保障矿井安全生产, 必须加强矿井通风管理, 采取措施对矿井进行降阻优化.

1 评价模型的建立

为了科学的选择周源山煤矿通风系统最优降阻优化方案, 避免个人主观性和克服顾此失彼等局

限性, 采用层次分析法确定指标权重、模糊模式识别法构造最优相对隶属度矩阵判断样本级别, 建立 AHP-FPR 矿井通风系统降阻优化评价模型^[1-3]. 针对矿井系统降阻优化, 结合工程实际情况以及通风网络解算软件所解算参数等, 特选取了矿井风压 (A_1)、矿井风量 (A_2)、风机功率 (A_3)、风机效率 (A_4)、矿井等积孔 (A_5)、吨煤通风成本 (A_6)、优化工程量 (A_7)、系统稳定性 (A_8)、矿井抗灾能力 (A_9) 等 9 个指标构建了矿井通风系统优化方案评价指标模型^[4-8], 如图 1 所示.

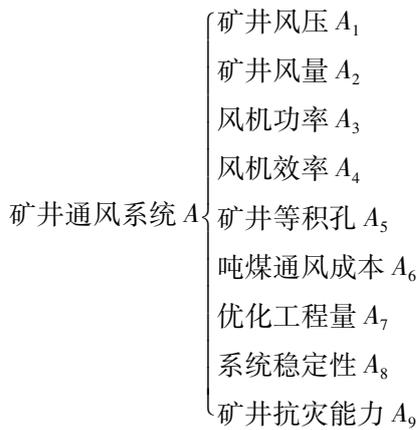


图 1 矿井通风系统优化综合评价模型指标体系

其中评价指标矿井风压(A_1)、矿井风量(A_2)、风机功率(A_3)、风机效率(A_4)、矿井等积孔(A_5)等参数均由解算软件算出,可直接使用;优化工程量(A_7)根据工程改造高质量、造价确定,并折合成百分制;矿井抗灾能力(A_9)采用专家评分法确定;吨煤通风成本(A_6)、系统稳定性(A_8)均通过计算求取.对这 9 个指标进行评判标度取值和重要性评判,得到如表 1 的评判矩阵^[9,10].

运用 Matlab 计算判断矩阵最大特征根^[4,5] λ_{\max} ,得: $\lambda_{\max} = 10.2697$.

表 1 评价指标判断矩阵

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
A_1	1	1/2	1/5	2	2	4	3	2	2
A_2	2	1	5	3	3	5	7	4	5
A_3	5	1/5	1	3	3	4	5	2	3
A_4	1/2	1/3	1/3	1	3	3	4	2	1
A_5	1/2	1/3	1/3	1/3	1	1/3	2	3	1/3
A_6	1/4	1/5	1/4	1/3	3	1	3	1/3	1/3
A_7	1/3	1/7	1/5	1/4	1/2	1/3	1	1/3	1/3
A_8	1/3	1/4	1/2	1/2	1/3	3	3	1	1/2
A_9	1/2	1/5	1/3	1	3	3	3	2	1

进行一致性检验:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n} = \frac{10.2697 - 9}{9} = 0.1411.$$

$$\frac{CI}{CR} = \frac{0.1411}{1.64} = 0.0860 < 0.1.$$

则判断矩阵结果可以接受,则评价因素的权重值向量为

$$W = (0.127\ 3, 0.234\ 2, 0.177\ 7, 0.119\ 4, 0.059\ 2, 0.071\ 7, 0.025\ 0, 0.077\ 7, 0.107\ 7).$$

2 通风系统降阻优化分析

根据阻力测定结果,当前周源山煤矿通风系统南风井阻力为 3 350 Pa,北风井阻力为 3 250 Pa,均超过 2 940 Pa,必须采取措施对矿井进行降阻优化.从周源山煤矿通风系统网络图(图 2(1))知:周源山煤矿通风系统从 3 个立井(主井、副井和新副井)进风至 -370 m 井底车场、-370 m 水平大巷分两路向南北两翼供风;另一路从 -370 m 井底车场、新副井至 -650 m 水平大巷分两路向南北两翼供风. -800 m 水平目前正处于开拓期,其供风从 -650 m 水平大巷至延伸斜井供风,其回风亦分两路分别回至南北风井.

据此,提出如图 2 所示 4 种降阻优化方案,并

对各种方案进行通风网络解算和综合评价,以选出最佳方案指导矿井通风系统降阻优化工程实践.

2.1 北翼改变结构、南翼刷大断面

根据通风阻力实测结果矿井北翼 -150 ~ -370 m 水平间采区供风线路阻力较小、主要回风巷设置了增阻调节风门; -370 与 -650 m 水平间采区供风线路阻力路线最大,而此路线回风段阻力最高,结合实际情况将 24 采区上山改为回风上山,即 24 总回风巷与 143 总回风巷并联作为 -370 与 -650 m 水平间采区的总回风巷、并拆除 -150 ~ -370 m 水平间采区供风线路主要回风巷调节风门.则北翼采区通风方式由原来的 2 条进风巷变成 1 条进风巷.

而矿井南翼最大通风阻力线路为通过综采面 22110 的通风线路,此线路回风段 221 运煤上山变形量大,局部地点人员断面很小、人员通行困难,南翼采区降阻主要以刷大回风巷断面为主,将 221 运煤上山断面扩大至正常通风断面.

2.2 改变结构缩短两翼公共巷道长度

根据实测结果,北翼采区供风主要由 -370 北大巷提供,而南翼采区供风主要由 -650 南大巷提供,为了简化通风系统结构,在 -650 水平北大巷、-370 水平南大巷设置风门,此时除了位于井田中

部的22110综采面以外,北翼供风由-370北大巷提供,南翼供风由-650南大巷提供,使南北两翼之间风流在井底车场实现分风、公用通风井巷长度缩短。

2.3 降低主要角联分支风阻

由网络调整测试及网络调整通风参数解算可知,矿井通风网络中南、北风井之间的联络巷道即-150 m水平回风巷为周源山煤矿通风系统的一条主要角联分支,其变化很大,部分断面人员通行困难、其风阻值很大(达到0.073 880)。打开-150水平总回风巷风门的基础上,将系统主要角联分支(即-150 m水平回风巷)断面刷大到设计断面。

2.4 刷大回风巷断面面积、减小局阻

根据通风阻力测定结果,南翼回风段巷道阻力占南翼总阻力的59.6%,北翼回风段巷道阻力占北翼总阻力的76.1%,南翼部分回风段巷道变形严重、断面很小、人员通行困难,北翼部分回风段支护条件差、变形严重,且几个风流分岔汇合处局部阻力很大(如北风井井底与一四轨道上山连接处阻力超过200 Pa),可知在不改变通风结构条件下,刷大矿井南北两翼主要回风巷断面面积至设计断面及降低巷道局部阻力过大地点的局部阻力,并拆除14采区回风巷调节风门。

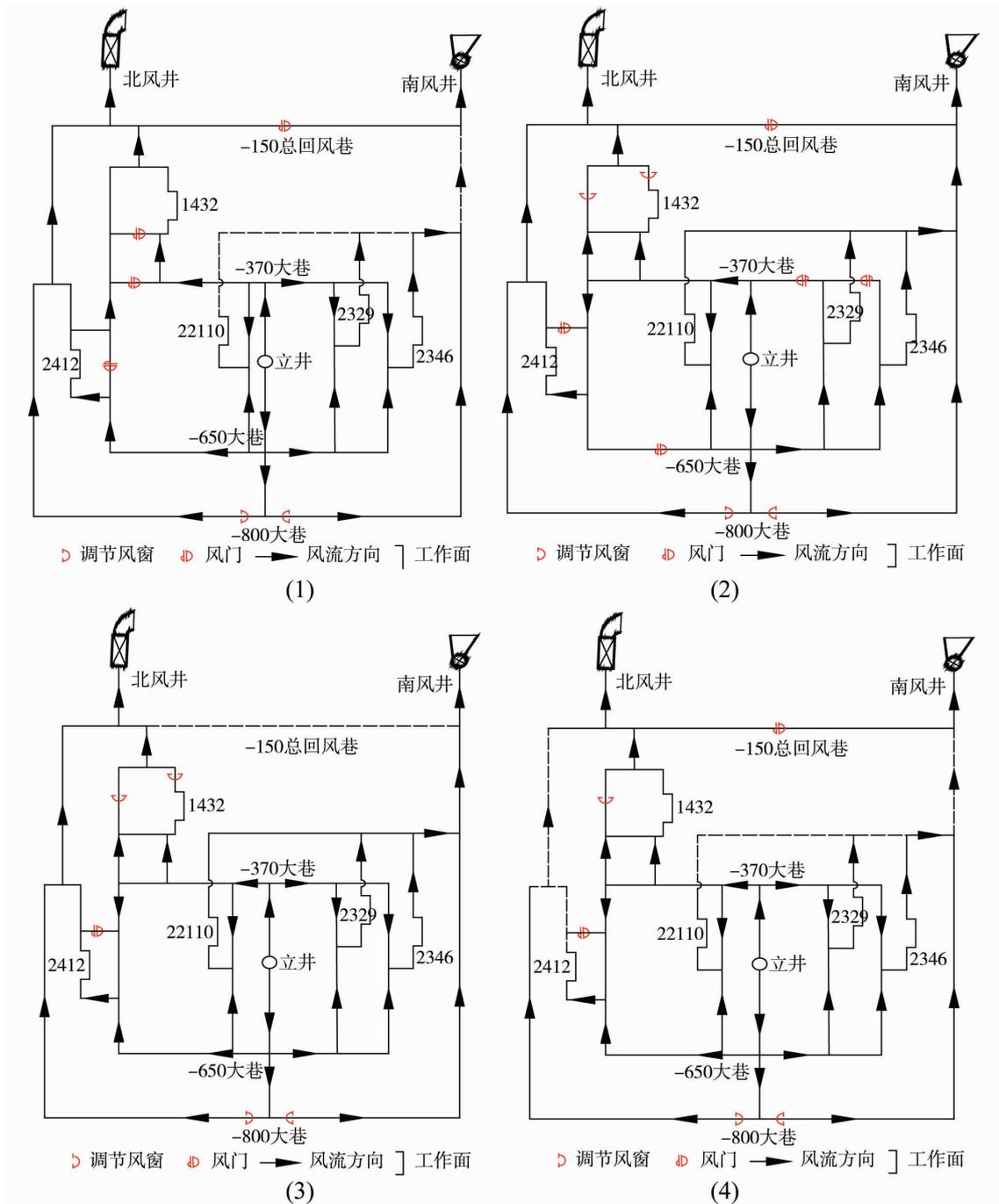


图2 降阻优化方案通风系统简图

3 降阻优化综合评价

对周源山煤矿通风系统在 4 种不同方案下的通风参数进行网络解算,并分别对南、北风井通风状态

指标进行综合评价.通风系统优化方案评价结果分为 4 个不同通风状态等级,即 $v = \{1,2,3,4\} = \{\text{差}, \text{中}, \text{良}, \text{优}\}$,其值域为 $\Omega = \{0.5 \sim 1.5, 1.5 \sim 2.5, 2.5 \sim 3.5, 3.5 \sim 4.5\}$.南风井各优化方案特征值见表 2.

表 2 南风井各优化方案特征值

方案	矿井风压 A_1/Pa	矿井风量 $A_2/(\text{m}^3/\text{s})$	风机功率 A_3/kW	风机效率 $A_4/\%$	矿井等积孔 A_5/m^2	吨煤通风成本 $A_6/\text{元}$	优化工程量 $A_7/\%$	系统稳定性 $A_8/\%$	抗灾能力 $A_9/\%$
一	2 797	139	474	87	3.15	0.82	75	85	90
二	3 240	120	463	89	2.52	0.77	65	82	88
三	2 832	134	470	89	2.99	0.79	95	70	80
四	2 788	140	475	87	3.16	0.83	80	88	92
1(差)	$\geq 3\ 000$	≤ 120	≥ 480	≤ 70	≤ 1	≥ 1.5	≥ 90	≤ 70	≤ 70
2(中)	2 500 ~ 3 000	120 ~ 140	470 ~ 480	70 ~ 80	1 ~ 2	1 ~ 1.5	80 ~ 90	70 ~ 80	70 ~ 80
3(良)	2 000 ~ 2 500	140 ~ 160	460 ~ 470	80 ~ 90	2 ~ 3	0.5 ~ 1	70 ~ 80	80 ~ 90	80 ~ 90
4(优)	$\leq 2\ 000$	≥ 160	≤ 460	≥ 90	≥ 3	≤ 0.5	≤ 70	≥ 90	≥ 90

根据模糊模式识别法(FPR)相关公式计算指标相对隶属度矩阵及特征值相对隶属度矩阵^[6,7]:

$$R = \begin{pmatrix} 0.797 & 1 & 0.832 & 0.788 \\ 0.525 & 1 & 0.65 & 0.5 \\ 0.7 & 0.15 & 0.5 & 0.75 \\ 0.15 & 0.05 & 0.05 & 0.15 \\ 0 & 0.24 & 0.005 & 0 \\ 0.32 & 0.27 & 0.29 & 0.33 \\ 0.25 & 0 & 1.25 & 0.5 \\ 0.25 & 0.4 & 1 & 0.1 \\ 0 & 0.1 & 0.5 & 0 \end{pmatrix};$$

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.667 & 0.333 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

取 $p = 1$,计算各方案最优相对隶属度矩阵 U ,并取向量 $h = (1,2,3,4)$,计算得到南风井样本级别特征值:

$$H_A = h \cdot U = (1,2,3,4) \begin{pmatrix} 0.486\ 0 & 0.400 & 0.491 & 0.305 \\ 0.119\ 0 & 0.332 & 0.220 & 0.225 \\ 0.368\ 1 & 0.341 & 0.198 & 0.395 \\ 0.346\ 0 & 0.314 & 0.346 & 0.415 \end{pmatrix} = (4.165, 2.338, 3.603, 3.027).$$

同理建立北风井特征值矩阵及计算得到北风井样本级别特征值,见表 3.

综合上节综合评价结果及量化值域,可得到如表 4 所示 4 种降阻优化方案综合评价结果及评价结果表.

根据表 4 评价特征值及评价结果可知在方案一状态下,南风井、北风井通风状态均为“优”,应作为周源山煤矿通风系统降阻优化优选方案,即周源山煤矿采取北翼调整通风网络结构、在高阻通风线路回风段增加一条并联巷道、撤掉低阻线路主要回风巷增阻调节风门;南翼刷大回风巷断面积至正常断面积进行通风系统降阻优化.

方案二为通过改变矿井通风系统结构,在 -650 m 水平北大巷、-370 m 水平南大巷设置风门,北翼供风由 -370 m 北大巷提供,南翼供风由 -650 m 南大巷提供,使南北两翼之间风流在井底车场实现分风、使公用通风井巷长度缩短.本方案在 4 种方案中工程量最小、吨煤通风成本最低等优点,然而本方案降阻效果较低、矿井阻力过大、风量较小.评价结果南风井通风状态为“中”、北风井通风状态为“良”.

方案三为改变通风网络结构,启用矿井主要角联分支(即 -150 m 水平回风巷),通风系统由原来的两翼对角排风网络变为三角形排风网络,并较低主要角联分支风阻降阻.根据解算结果南风井总阻为 2 832 Pa、北风井为 2 788 Pa,可知本方案降阻效果明确.然而 -150 m 水平回风巷长度接近 2 000 m,且巷道变形失修严重、部分地段淋水较大,致使本方案施工量大,因此本方案相对第一种方案不是最佳方案,评价结果南风井通风状态为“优”、北风井通风状态为“良”,为第二优选方案.

表3 北风井各优化方案特征值

方案	矿井风压 A_1/Pa	矿井风量 $A_2/(\text{m}^3/\text{s})$	风机功率 A_3/kW	风机效率 $A_4/\%$	矿井等积孔 A_5/m^2	吨煤通风成本 $A_6/\text{元}$	优化工程量 $A_7/\%$	系统稳定性 $A_8/\%$	抗灾能力 $A_9/\%$
一	2 845	87	334	74	1.95	0.82	80	85	90
二	3 068	62	327	58	1.34	0.77	78	82	88
三	2 800	76	344	64	1.7	0.79	88	70	80
四	2 822	90	325	78	2.02	0.82	90	88	92
1(差)	$\geq 3\ 000$	≤ 60	≥ 370	≤ 70	≤ 1	≥ 1.5	≥ 90	≤ 70	≤ 70
2(中)	2 500 ~ 3 000	60 ~ 70	350 ~ 370	70 ~ 80	1 ~ 2	1 ~ 1.5	80 ~ 90	70 ~ 80	70 ~ 80
3(良)	2 000 ~ 2 500	70 ~ 80	330 ~ 350	80 ~ 90	2 ~ 3	0.5 ~ 1	70 ~ 80	80 ~ 90	80 ~ 90
4(优)	$\leq 2\ 000$	≥ 80	≤ 330	≥ 90	≥ 3	≤ 0.5	≤ 70	≥ 90	≥ 90

$$H_A = h \cdot U = (3.967, 2.975, 2.969, 3.071)$$

表4 综合评价结果分析表

评价特征值				
位置	方案一	方案二	方案三	方案四
南风井	4.165	2.338	3.603	3.027
北风井	3.967	2.975	2.969	3.071
评价结果				
位置	方案一	方案二	方案三	方案四
南风井	优	中	优	良
北风井	优	良	良	良

方案四为常规降阻方法,即通过刷大回风巷断面和减小局部阻力来降低矿井通风阻力,根据解算结果可知南风井总阻为 2 800 Pa、北风井为 2 822 Pa,可知本方案降阻效果明确.然而本方案相对于第一种方案降阻工程量较大,评价结果南、北风井通风状态均为“良”,不是最佳方案.

4 结论

1)降低主要角联分支风阻可有效降低矿井通风总阻力.

2)通风系统优化应优先考虑改变通风系统结构等措施,尽量减少优化工程量.

3)将层次分析法(AHP)与模糊模式识别(FPR)理论相结合,建立 AHP - FPR 评价模型运用到通风系统优化方案评价中,综合考虑技术、经济、安全稳定性等因素,可避免人为选择.

参考文献:

[1] 赵伏军,谢世勇,申培文.基于层次分析法-模糊综合评价(AHP-FCE)模型优化矿井通风系统的研究[J].

中国安全生产科学技术,2006,16(4):91-96.

[2] 周庆林.用灰色聚类法对轴矿井通风系统综合评判[J].中国矿业,2002,11(3):61-66.

[3] 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):81-91.

[4] 陈明生,陈伯辉,沈斐敏.矿井通风优化评价指标体系权重确定[J].中国安全生产科学技术,2011,7(3):22-25.

[5] 邵嗣华,李作泉,魏尚贤.双回风井并联通风特性数值分析[J].西安科技大学学报,2013,33(1):101-105.

[6] 何懿.矿井通风系统优化方法及应用[J].矿业工程,2010,7(5):44-46.

[7] 张发涛,蒋仲安,饶向东.基于AHP-FPR模型的矿井通风系统优化方案评价[J].中国安全生产科学技术,2012,8(10):125-130.

[8] 王从陆.非灾变时期金属矿-复杂矿井通风系统稳定性及数值模拟研究[D].长沙:中南大学,2007.

[9] 王海桥,田峰,吴强.装备提升容器的通风井筒非稳态活塞风研究[C]//中国(淮南)煤矿瓦斯治理技术国际会议论文集,2007.

[10] 王海桥,田峰,施式亮,等.矿井井筒提升容器活塞风效应分析及计算[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2007,22(3):1-4.