

矿井通风系统现状分析及优化研究

赵雨菲¹, 董朋朋²

¹成达矿业有限公司陶忽图煤矿通防工作部, 内蒙古 鄂尔多斯

²安徽理工大学安全科学与工程学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2026年7月6日; 录用日期: 2026年8月11日; 发布日期: 2026年9月14日

摘要

针对某矿井通风系统中存在的进回风巷道风速过高、采区风量不足以及用风点供风紧张等突出问题, 本文采用阻力测定技术, 展开了一项系统性的优化研究。基于阻力测定结果, 北部矿井通风困难路径的阻力值高达1736 Pa, 其中回风段阻力比例占据51.8%, 百米阻力达到38 Pa/hm, 这构成了系统优化的核心制约因素。研究进一步揭示了局部巷道因断面收缩或堵塞导致百米阻力超标的问题, 并指出北部一号回风斜井已接近通风能力极限。基于此, 本文提出了投用北部二号回风斜井以分担回风压力、调整主要通风机运行工况及改善巷道断面等协同调控措施。实施结果表明, 该方案能有效解决风量分配不均与风速超限问题, 为复杂矿井通风系统的动态调控提供了理论依据与工程实践参考。

关键词

矿井通风系统, 阻力测定, 系统优化, 协同调控

Current Situation Measurement and Regulation Optimization of Coal Mine Ventilation System

Yufei Zhao¹, Pengpeng Dong²

¹Chengda Mining Co., Ltd. Taohutu Coal Mine Ventilation and Prevention Work Department, Ordos Inner Mongolia

²School of Safety Science and Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: July 6, 2026; accepted: August 11, 2026; published: September 14, 2026

Abstract

To address challenges in a large-scale Coal Mine ventilation system—including excessively high air

文章引用: 赵雨菲, 董朋朋. 矿井通风系统现状分析及优化研究[J]. 矿山工程, 2026, 14(5): 1344-1352.

DOI: 10.12677/me.2026.145133

velocities in intake and return airways, insufficient airflow volume in mining areas, and constrained air supply at demand points, this paper employs resistance measurement technology for systematic optimization. According to the measurement results, the resistance value along the most challenging ventilation path in the northern mine is 1736 Pa, with the return air section accounting for 51.8% of the total resistance and exhibiting a resistance of 38 Pa/hm—a critical constraint for system optimization. The study further identifies localized high-resistance issues caused by section contractions and highlights that the No. 1 North Return Incline Shaft is nearing its capacity limit. Consequently, cooperative control measures are proposed, including commissioning the No. 2 North Return Incline Shaft to share the load, adjusting main fan operating conditions, and optimizing roadway cross-sections. The implementation demonstrates that this strategy effectively resolves airflow imbalance and velocity overruns, providing theoretical support and practical guidance for dynamic regulation of complex mine ventilation systems.

Keywords

Mine Ventilation System, Resistance Measurement, System Optimization, Cooperative Regulation

Copyright © 2026 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. 绪论

矿井安全高效生产的重要环节在于煤矿通风系统的阻力测定与优化。矿井阻力测定中压差计逐点测定法、基点气压计法、超声波技术被广泛使用[1][2]。程根银等[3]利用压差计法对新维煤矿的阻力分布进行了准确的测量,证明了测定的精度(误差小于5%),给系统的优化提供数据支持。蔡峰等[4]通过实验研究了超声波在煤尘-空气混合物中的传播特性,发现了煤尘浓度和超声波衰减的关系,为风速传感器的研制打下了理论基础。

伴随着数值模拟技术、智能化方法、新型检测手段的发展,在系统优化设计、动态调节方面有了明显的进步,形成了一个由理论到实践全过程的优化体系。乔伟胜等[5]的利用层次分析法(AHP)来建立多指标评价体系,对宜兴煤矿通风系统的可靠性进行了评价,并给出了分区的优化方案。王宁[6]在石圪台煤矿的实践中,依据“最大阻力路线不设阻”原则,通过重新分配水平风量与压缩通风路径,使负压下降35.4%。高阳[7]针对阳泉五矿的高风阻挑战,提出了增设并联巷道与调节风机角度的方案,成功将总阻力降低36.8%。

高效的矿井通风系统是保证煤矿安全生产、提高运营效率、实现经济效益的基础[8][9]。随着煤层开采的不断深入,通风系统常常会遇到总进风巷、总回风巷风速超限、采区内多条巷道微风、用风地点风量供应不足等种种问题[10][11]。为了解决以上问题,某大型矿井计划把北部二号进风斜井改造为回风斜井。本文对某大型矿井通风阻力进行了测定,得到井巷通风系统的阻抗分布及有关的参数,为通风系统的预测模拟工作提供可靠的数据。

2. 矿井通风系统现状分析

某大型矿井位于宁夏吴忠市东南方向,采用斜井单水平上、下山开拓,设计生产能力4.00 Mt/a,2022年1月核定生产能力4.40 Mt/a,核增后剩余服务年限46.7年。目前矿井通风方式为对角式,通风方法为机械抽出式。矿井三维数字模型如图1所示。



Figure 1. Three-dimensional digital model of the mine

图 1. 矿井三维数字模型

2.1. 通风系统特征分析

- 1) 井筒数量：进风井筒 4 个，回风井筒有 2 个(北部二号回风斜井主要通风机运行后，进风井筒 3 个，回风井筒有 3 个)；
- 2) 采区数量：正在活动的采区数量为 4 个；
- 3) 用风地点数量：采煤工作面有 3 个，掘进工作面有 9 个左右，用风地点数量达到 59 个左右(含采面、掘进、硐室、其它和风门等)；
- 4) 主要通风机数量：2 个(北部二号回风斜井主要通风机运行后主要通风机数量有 3 个)；
- 5) 水平数量：1 个。

矿井主斜井、副斜井、北部进风斜井为进风井筒，中部回风斜井、北部一号回风斜井为回风井筒；中部回风斜井主通风机型号为 FBCDZ29-2×355，北部一号回风斜井主通风机型号为 FBCDZNo30B/2×560，北部二号回风斜井主通风机同型号。

2.2. 矿井井筒通风能力分析

北部二号回风斜井主要通风机运行后，中部矿井有 2 个进风井：主斜井与副斜井；1 个回风井：中部回风斜井，北部矿井有 1 个进风井：北部进风斜井；2 个回风井：北部一号回风斜井和北部二号回风斜井，其通风能力分析如表 1 所示。

由表 1 可以看出：

- ① 矿井进风井的通风能力卓越，总计可达 $24,840 \text{ m}^3/\text{min}$ 。其中，中部进风井的风量高达 $15,192 \text{ m}^3/\text{min}$ ，北部进风井的风量则达 $9648 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

- ② 中部回风斜井展现出卓越的通风能力，范围可达 8592 至 16,110 m³/min；
北部一号回风斜井的通风能力可高达 8544 至 16,020 m³/min。
北部二号回风斜井的通风能力可以达到 8208~15,390 m³/min。
- ③ 北部一号回风斜井现状风速 13.5 m/s，已逼近通风能力极限，无法满足后续采掘增风需求。

Table 1. Approved ventilation capacity of mine return shafts
表 1. 矿井回风井通风能力核定表

井筒	毛断面 /m ²	有效通 风断面 /m ²	现状			最大能力			
			风速 /m/s	风量 /m ³ /s	阻力 /Pa	风速 /m/s	风量		阻力 /Pa
							m ³ /s	m ³ /min	
主斜井	18.9	17.0	3.7	64.5	182	6	102	6120	
副斜井	18.9	18.9	6.7	127.1	443	8	151.2	9072	627
北部进风斜井	20.1	20.1	7.5	152.4	216	8	160.8	9648	240
中部回风斜井	17.9	17.9	6.0	107.9	208	8	143.2	8592	366
						15	268.5	16,110	1288
北部一号回风 斜井	17.8	17.8	13.5	241.4	326	8	142.4	8544	113
						15	267	16,020	399
北部二号回风 斜井	17.1	17.1	0.2	3.5		8	136.8	8208	100
						15	256.5	15,390	352

2.3. 进风与回风大巷通风能力分析

进风与回风大巷通风能力分析如表 2 所示。

Table 2. Ventilation capacity analysis table for inlet and return alleys
表 2. 进风与回风大巷通风能力分析表

类型	巷道名称	最小面积 /m ²	最大面积 /m ²	风速上限 /m/s	最小通风量 /m ³ /s	最大通风量 /m ³ /s
中部矿井	中央辅助运输大巷	16	20.5	8	128	164
	中央带式输送机大巷	14.6	18.8	6	87.6	112.8
	中央回风大巷	16.9	17.8	8	135.2	142.4
北部矿井	北部集中带式输送机大巷	15	15.7	8	120	125.6
	北部集中辅助运输大巷	18.3	21	8	146.4	168
	北部回风大巷	15.6	20.2	8	124.8	161.6
	北部集中辅助运输巷	20.4	22.5	8	163.2	180

课题组对矿井各系统通风路线进行了阻力测定。

1) 测定数据

测定路线 1-1: 中部矿井通风困难路线

地面→副斜井→中央辅助运输巷→中央运输巷→北部绕道→一采区 18 煤南部集中运输巷→011812 工作面运煤上山→011814 机巷→011814 工作面→011814 风巷→一采区 18 煤南部集中回风巷→中央回风大巷→中部回风斜井→中部回风斜井风硐→主要通风机→地面。

测定路线 2-1: 北部矿井通风困难路线

地面→副斜井→中央辅助运输巷→中央运输巷→北部绕道→北部集中辅助运输大巷→011817 工作面进风绕道→011817 工作面带式输送机巷→011817 综采工作面→011817 工作面回风巷→北部回风大巷→北部集中回风巷→北部一号回风斜井→北部一号回风斜井风硐→主要通风机→地面。

2) 测定方法

本次矿井通风系统阻力测定采用气压计法(基点气压计法)进行。通过在井下关键节点布置高精度数字气压计,同步测定各测点的绝对气压与标高,结合风量测量数据,计算得出各段通风阻力。该方法操作简便、适应性强,能够准确反映矿井复杂通风网络的阻力分布特征。

3) 测定分析

(1) 区段阻力分布

根据阻力测定结果,测定路线的进风段、用风段及回风段的阻力与长度分布已汇总于表 3。分析显示,011814、011817 和 210201 工作面的回风段阻力占比均超过 20%,且其百米阻力显著高于其他区段,这揭示出回风系统在设计或维护上存在缺陷。210201 工作面问题尤为突出,其进风段与回风段的百米阻力分别高达 102 Pa/hm 和 118 Pa/hm,远超合理范围,亟待优先排查堵塞或断面收缩等隐患。011817 工作面虽采用“并联进风控风”措施,但回风段阻力占比仍达 51.8%,表明控风未能有效降低该段阻力,需进一步优化通风网络布局。此外,34 采区的用风段百米阻力飙升至 92 Pa/hm,很可能因控风点设置不当而导致局部阻力激增。矿井测定路线各区段阻力如图 2 所示。

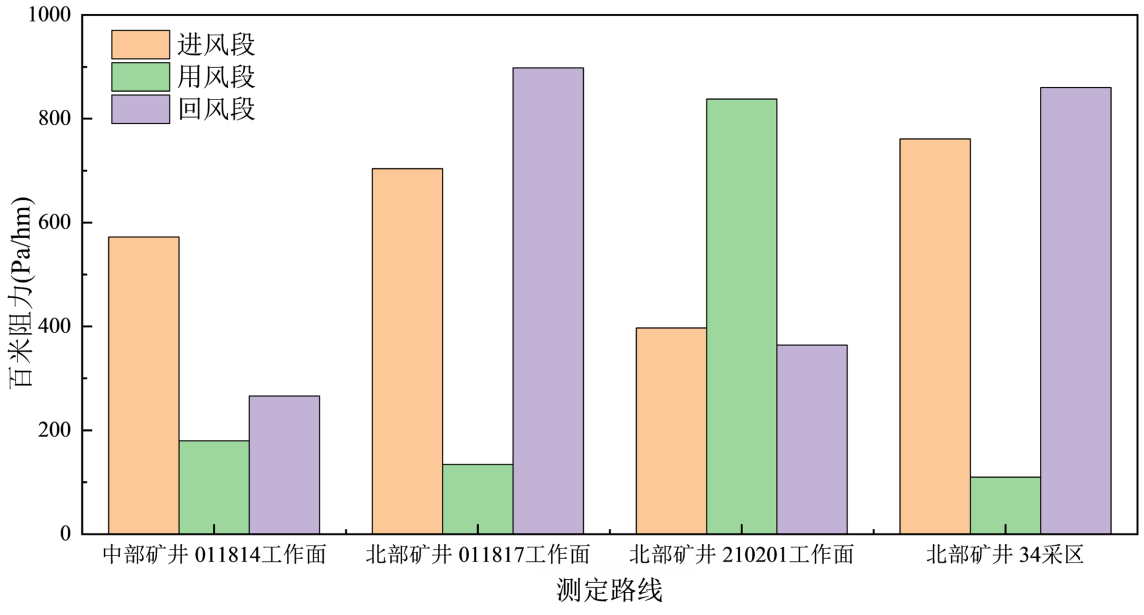


Figure 2. Resistance histogram of each section of mine measuring route
图 2. 矿井测定路线各区段阻力柱状图

Table 3. Resistance and length distribution table for three sections
表 3. 三区段阻力及长度分布表

测定路线	区段	始末点	阻力 /Pa	所占比例 /%	长度 /m	所占比例 /%	百米阻力 /Pa/hm	控风
中部矿井 011814 工作面	进风段	28~304	572	56.1	3918	41.4	14	无
	用风段	304~255	180	17.6	4259	45	4	
	回风段	255~992	266	26.3	1276	13.5	20	
	合计	28~992	1018	100	9453	100	10	
北部矿井 011817 工作面	进风段	28~59	704	40.5	6807	58.3	10	并联进风 有控风
	用风段	59~65	134	7.7	2506	21.4	5	
	回风段	65~991	898	51.8	2345	20.3	38	
	合计	28~991	1736	100	11,658	100	14	
北部矿井 210201 工作面	进风段	210~204	397	24.8	387	12.7	102	有
	用风段	204~8	838	52.4	2333	77	35	
	回风段	8~991	364	22.8	308	10.3	118	
	合计	210~991	1599	100	3028	100	52	
北部矿井 34 采区	进风段	28~91	761	43.9	8973	77.4	8	有
	用风段	91~90	110	6.3	119	1.1	92	
	回风段	90~991	860	49.7	2495	21.5	34	
	合计	28~991	1731	100	11,587	100	14	

(2) 矿井风阻、等积孔与自然风压

中部矿井：总风阻 $0.0853 \text{ N s}^2/\text{m}^8$ ，等积孔 4.0786 m^2 ，困难路线自然风压 -7 Pa ；

北部矿井：总风阻 $0.0282 \text{ N s}^2/\text{m}^8$ ，等积孔 7.0874 m^2 ，困难路线自然风压 -7 Pa 。

夏季自然风压较小且为阻碍通风作用；冬季自然风压增大，可辅助主要通风机通风。

(3) 阻力问题诊断

① 回风段阻力占比过高：北部矿井 011817 工作面回风段阻力占比 51.8%，百米阻力 38 Pa/hm ，为系统平均百米阻力近 3 倍，是系统阻力核心瓶颈。

② 局部巷道百米阻力超标：210201 工作面进风段、回风段百米阻力分别达 102 Pa/hm 、 118 Pa/hm ，远超合理范围，存在巷道堵塞、断面收缩问题。

③ 用风段局部阻力激增：34 采区用风段百米阻力 92 Pa/hm ，因控风点设置不当导致。

④ 回风系统能力不足：北部一号回风斜井风速达 13.5 m/s ，已接近通风能力极限，无法满足后续采掘增风需求。

⑤ 进风系统阻力偏大：副斜井、北部进风斜井风速偏高、流程长、局部阻力大，导致进风段阻力占比普遍超 40%。

4) 调查结论

《煤矿井工开采通风技术条件（AQ1028-2006）》矿井通风系统阻力要求如表 4 所示。

Table 4. Mine ventilation resistance requirements table
表 4. 矿井通风阻力要求表

矿井通风系统风量/m ³ /min	系统的通风阻力/Pa
<3000	<1500
3000~5000	<2000
5000~10,000	<2500
10,000~20,000	<2940
>20,000	<3920

根据表 4 的规定，矿井通风阻力分布必须合理：当排风量在 5000 至 10,000 m³/min 时，风井系统的通风阻力不应超过 2500 Pa；若排风量在 10,000 至 20,000 m³/min 之间，则阻力上限为 2940 Pa。可以看出：

- ① 中部矿井系统的回风量为 6552 m³/min (含外部漏风量)，排风量介于 5000 至 10,000 m³/min 之间，通风困难路线的阻力达到 1018 Pa，系统通风阻力符合规定。
- ② 北部矿井系统的回风量达 14,868 m³/min (含外部漏风量)，排风量介于 10,000 至 20,000 m³/min 之间，通风困难路线的阻力为 1736 Pa，系统通风阻力符合规定。

2.4. 通风系统问题诊断

- 1) 回风段阻力占比过高：北部 011817 工作面回风段阻力占比 51.8%、百米阻力 38 Pa/hm，为系统平均 3 倍，是核心瓶颈；
- 2) 局部巷道百米阻力严重超标：210201 工作面进/回风段百米阻力达 102、118 Pa/hm，存在堵塞、断面收缩隐患；
- 3) 用风段局部阻力激增：34 采区用风段百米阻力 92 Pa/hm，因控风点设置不当导致；
- 4) 回风能力饱和：北部一号回风斜井风速 13.5 m/s，逼近极限，增风即超限；
- 5) 进风阻力偏大：副斜井、北部进风斜井风速高、流程长、局部阻力大，进风段阻力占比超 40%；
- 6) 通风网络结构不合理：北部进风两股风流相向而行，易形成微风区，且未实现完全分区通风；
- 7) 采掘与通风布局失衡：北部采区多、需风量大，进风井偏少；中部采区少、进风富余，风量由中向北单向流动。

2.5. 优化方案的设计原则与思路

在对矿井通风系统存在的问题进行系统诊断后，制定优化方案需遵循科学、经济、安全的基本原则。针对北部矿井回风段阻力占比高、一号回风斜井能力饱和、局部巷道高阻等核心制约因素，本次优化遵循以下设计思路：

分区通风与负荷均衡原则：针对“中进北回”导致的风量单向流动和北部采区供风紧张问题，核心思路是利用现有巷道资源，将北部二号进风斜井改造为回风斜井，构建“中部 2 进 1 回、北部 1 进 2 回”的分区独立通风格局，均衡南北部通风负荷，消除北部进风流与回风流相互干扰的问题。

降阻增风与能力释放原则：针对局部巷道断面收缩、堵塞导致的百米阻力超标(如 210201 工作面)，采取修复巷道断面、拆除挡风设施等物理降阻措施，释放北部进风斜井的进风潜力。

多风机协同调控原则：在北部二号回风斜井主要通风机投运后，采用多台主要通风机联合运行的方式，通过动态调整风机叶片角度和频率，实现风量的合理分配，避免单台风机过载，确保各用风地点的风量满足安全生产要求。

3. 综合调控措施及中长期通风系统规划

3.1. 综合调控措施

1) 北部一号回风斜井已无增风能力,34 采区每增风 $1000 \text{ m}^3/\text{min}$,011817 工作面风量减少 $420 \text{ m}^3/\text{min}$,严重影响生产,必须投运北部二号回风斜井。矿井由 4 进 2 回转为 3 进 3 回:中部 2 进 1 回,北部 1 进 2 回,实现分区通风、负荷均衡。

2) 拆除北部进风斜井调节门框、修复回风巷道断面、消除局部阻力,可快速降阻约 40 Pa ,提升北部进风量约 $500 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

3.2. 中长期通风系统规划

- 1) 采掘布局匹配通风：北部新增采区优先依托北部二号回风斜井供风，避免北部一号风机过载；
- 2) 多风机动态协同：根据采掘接替实时调整三台风机角度与频率，保证各区域风量稳定；
- 3) 巷道维护与降阻：定期整治回风段、局部高阻巷道，维持系统低阻高效；
- 4) 分区通风完善：物理隔离一采区北翼与中南部，实现完全独立分区通风；
- 5) 备用能力预留：中部、北部风机均保留合理工况余量，应对采掘变化与应急通风。

4. 结论

1) 基于通风阻力测定及现状分析,中部矿井通风困难路线的阻力为 1018 Pa ,北部矿井则为 1736 Pa ,两者均符合《AQ1028-2006》标准。值得注意的是,北部矿井回风段的阻力占比高达 51.8% ,百米阻力达到 $38 \text{ Pa}/\text{hm}$,这构成了系统阻力的主要来源。

2) 北部一号回风斜井现已逼近其通风能力的极限。倘若 34 采区的需风量进一步增加,将引发一采区北部风量的急剧下降(具体而言,需风量每提升 $1000 \text{ m}^3/\text{min}$,011817 采煤工作面的风量便会减少 $420 \text{ m}^3/\text{min}$)。而投运北部二号回风斜井,则能有效分担回风系统的压力,从而避免北部进风巷道及回风巷道中的风速超出安全阈值。

3) 北部二号回风斜井投运后,倘若北部需风量保持不变,则需下调北部一号回风斜井主要通风机的角度;若北部需风量增加,则需同步调整北部和中部回风斜井的风机角度。

4) 拆除北部进风斜井调节门框、改善回风巷道断面、减小局部阻力,可快速降低系统阻力约 40 Pa ,提升北部进风量约 $500 \text{ m}^3/\text{min}$,属于短期内高效降阻措施。

参考文献

- [1] 李雨成, 郑义, 高军军. 基于因子分析的矿井通风系统优化指标体系建立[J]. 矿业安全与环保, 2019, 46(1): 91-94.
- [2] 刘剑, 宋莹, 刘明浩. 基于 LDA 的均直巷道断面风速分布规律实验研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(12): 65-71.
- [3] 程根银, 刘健. 新维煤矿通风系统阻力测定及分析研究[J]. 中国煤炭, 2019, 45(8): 40-44.
- [4] 蔡峰, 袁媛, 刘泽功, 等. 超声波在煤矿井下环境中的传播与衰减特性[J]. 中国矿业大学学报, 2021, 50(4): 685-

690.

- [5] 乔伟胜, 王峥, 周钰博. 基于层次分析法的煤矿通风系统可靠性评价及优化[J]. 煤炭科学技术, 2022, 41(12): 172-176.
- [6] 王宁. 均衡理论在石圪台煤矿通风系统优化中的应用[J]. 中国矿业, 2020, 29(S1): 415-418.
- [7] 高阳. 高风阻煤矿通风系统的优化设计[J]. 现代矿业, 2024, 40(9): 77-80.
- [8] 盖文妹, 倪文耀. 基于气压计法的矿井通风阻力测定数据处理系统的程序设计[J]. 华北科技学院学报, 2011, 8(1): 5-9.
- [9] 严祯荣, 罗晓明, 侯怀书. 气力输送小流量煤粉在线流量超声测量[J]. 洁净煤技术, 2015, 21(2): 122-124.
- [10] 史义存. 矿井通风系统阻力测定及降阻减压优化研究[J]. 煤炭技术, 2022, 41(12): 145-147.
- [11] 陈国亮, 乔富奎, 李申申. 智能化矿井通风网络实时监测与灾害预警系统开发[J]. 中国建筑, 2025, 8(31): 57-59.