

大型矿井通风系统阻力分布特性及风量优化研究

姜文鹏¹, 王嘉豪², 宋世豪¹, 李浩¹, 张思佳¹, 朱金艳¹, 高宇凡¹

¹安徽理工大学安全科学与工程学院, 安徽 淮南

²国家能源集团宁夏煤业公司金凤煤矿, 宁夏 银川

收稿日期: 2026年1月30日; 录用日期: 2026年3月1日; 发布日期: 2026年3月18日

摘要

为解决某大型矿井通风系统阻力分布不均、风量利用率偏低及局部微风等问题, 提升通风系统经济性与安全性, 本文以某大型矿井为研究对象, 通过现场实测获取各通风系统阻力、风量等核心参数, 结合通风网络模拟平台开展阻力分布特性分析, 识别高阻力巷段与风量分配缺陷, 提出针对性风量优化方案。研究表明: 该矿井3个回风系统阻力主要集中于回风段, 占比达54%~74.1%; 部分巷段存在微风现象, 风量利用率仅35%~45%; 针对性优化方案可有效改善上述问题, 为大型矿井通风系统优化提供了理论与工程参考。

关键词

大型矿井, 通风系统, 阻力分布, 风量优化, 实测与模拟

Study on Resistance Distribution Characteristics and Air Volume Optimization of Ventilation System in a Large-Scale Coal Mine

Wenpeng Jiang¹, Jiahao Wang², Shihao Song¹, Hao Li¹, Sijia Zhang¹, Jinyan Zhu¹, Yufan Gao¹

¹School of Safety Science and Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

²Jinfeng Coal Mine, Ningxia Coal Industry Co., Ltd., China Energy Investment Corporation, Yinchuan Ningxia

Received: January 30, 2026; accepted: March 1, 2026; published: March 18, 2026

文章引用: 姜文鹏, 王嘉豪, 宋世豪, 李浩, 张思佳, 朱金艳, 高宇凡. 大型矿井通风系统阻力分布特性及风量优化研究[J]. 矿山工程, 2026, 14(2): 346-352. DOI: 10.12677/me.2026.142037

Abstract

To address the problems of uneven resistance distribution, low air volume utilization rate, and local weak airflow in the ventilation system of a large-scale coal mine, and to improve the economy and safety of the ventilation system, a large-scale coal mine was selected as the research object in this paper. Core parameters such as resistance and air volume of each ventilation system were obtained through on-site field measurements. Combined with a ventilation network simulation platform, an analysis of resistance distribution characteristics was conducted to identify high-resistance roadway sections and air volume allocation defects, and targeted air volume optimization schemes were proposed. The research results indicate that the resistance of the three return air systems in the mine is mainly concentrated in the return air section, accounting for 54%~74.1%; weak airflow occurs in some roadway sections, with the air volume utilization rate only ranging from 35% to 45%; the targeted optimization schemes can effectively alleviate the aforementioned problems, providing theoretical and engineering references for the optimization of ventilation systems in large-scale coal mines.

Keywords

Large-Scale Coal Mine, Ventilation System, Resistance Distribution, Air Volume Optimization, Field Measurement and Simulation

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. 引言

矿井的通风系统在矿井整个生产系统中扮演着极为重要的角色，完善可靠的矿井通风系统给矿井的安全生产提供了重要支持和保障[1]。诸多矿井通风系统在安全保障、技术应用及经济成本管控等维度存在不合理性，不仅造成煤矿经济效益大幅下滑，部分矿井甚至难以维持正常生产运营[2]-[4]。传统矿井通风方式风流路径复杂，局部阻力系数过高，导致能耗增加，主通风机运行功率过大，风机电耗占煤矿总电耗的30%~50%，而不合理的阻力分布与风量分配是导致能耗过高的主要原因[5]。因此，开展通风系统阻力分布特性分析，精准识别高阻力区域，优化风量分配方案，对提升矿井通风系统运行效率、降低安全风险具有重要意义。

目前，国内外学者针对矿井通风系统优化开展了大量研究。聂都超等[6]对井下通风现状进行调研分析，提出两种通风系统优化方案，并进行了技术、经济等方面的分析论证，结果表明，采用该方案进行通风系统优化最为经济合理。张官禹等[7]利用气压计法，对各个线路的等积孔及阻力孔进行分析，通过现场实测，得到随着季节的变化，应加强通风系统的动态管理，及时调整各用风地点的风量，确保安全生产；但现有研究多聚焦于单一系统或特定问题，针对大型矿井多回风系统的阻力分布特性及全域风量优化的系统性研究仍有待完善，尤其缺乏对多井筒联合通风各系统相互干扰机制的深入探讨，优化策略也多停留在基础管理层面，理论支撑不足。

本文以某大型矿井为研究对象，通过现场实测获取通风系统核心参数，结合通风网络模拟平台，系统分析阻力分布特性，识别高阻力巷段、微风区域等问题，深入探讨多井筒联合通风各系统相互干扰机制，提出具有理论高度的风量调控策略，旨在为大型矿井通风系统优化提供切实可行的技术路径与理论

温度等参数,记录测点位置与巷道断面尺寸;④对测定数据进行整理,计算各巷段阻力与风量。

2.3. 实测数据整理

通过现场实测,获取了矿井主要进回风井参数、各系统通风困难路线阻力分布数据及总风阻、等积孔等核心参数,整理如下。

2.3.1. 主要进回风井核心参数

矿井5条进风井、3条回风井的核心参数实测结果如表1所示。由表1可知,进风井中,北3(北4)采区进风立井与北5(北6)采区进风立井风量较大,分别为9043 m³/min、9475 m³/min;回风井中,回风斜井与北3(北4)采区回风立井风量较大,分别为13,638 m³/min、13,176 m³/min,各井筒风速均处于合理范围。

Table 1. List of main intake and return air shaft parameters

表1. 矿井主要进回风井参数表

井筒类型	井筒名称	地面标高 /m	落地标高 /m	井筒长度 /m	面积/m ²	风速/m/s	风量 /m ³ /min	备注
进风井	主斜井	1348.3	1080	564	17.2	3.67	3787	运煤、进风
	副斜井	1349	1066	494	10.6	4.65	2957	行人
	二号副斜井	1349	1066	676.2	26	4.76	7426	行人
	北3(北4)采区进风立井	1400	980	420	44.2	3.41	9043	进风
	北5(北6)采区进风立井	1400	980	560.1	84.9	1.86	9475	进风
回风井	回风斜井	1348.3	1050	469.4	24.6	9.24	13,638	回风
	北3(北4)采区回风立井	1435.1	875	420	28.3	7.76	13,176	回风
	北5(北6)采区回风立井	1434.8	875	559.8	38.5	2.77	6399	回风

2.3.2. 各系统通风困难路线阻力分布数据

将各系统通风困难路线划分为进风段、用风段、回风段三个区段,实测各区段阻力、长度等参数,结果如表2所示。由表2可知,三个系统阻力分布均呈现“回风段占比最高、进风段与用风段占比较低”的特征:系统1(北3(北4)采区回风立井)回风段阻力1293 Pa,占比54%;系统2(北5(北6)采区回风立井)回风段阻力1003 Pa,占比74.1%;系统3(回风斜井)回风段阻力1671 Pa,占比65.3%。此外,系统2百米阻力最高,达40 Pa/hm,说明其巷道通风条件相对较差。需注意的是,这种阻力分布不均的特征,与多井筒联合通风各系统的相互干扰密切相关,尤其是角联分支的风流波动,进一步加剧了回风段阻力累积。

Table 2. Resistance and length distribution table of three sections

表2. 三区段阻力及长度分布表

系统名称	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
北3(北4)采区 回风立井	北40203 综采工作面	进风段	642~207	432	18	1749	17.2	24	无
		用风段	207~586	673	28	4238	41.7	15	
		回风段	586~363	1293	54	4171	41.1	30	
		合计	642~363	2398	100	10,158	100	23	

续表

北 5(北 6)采区 回风立井	+875 m 总 回风通路	进风段	740~720	103	7.5	615	18.4	16	有
		用风段	720~696	250	18.4	952	28.4	26	
		回风段	696~746	1003	74.1	1775	53.2	56	
		合计	740~746	1356	100	3342	100	40	
回风斜井	北 11404 综采工作面	进风段	297~23	551	21.4	3232	25.5	17	无
		用风段	23~104	341	13.3	3936	31.1	8	
		回风段	104~319	1671	65.3	5464	43.4	30	
		合计	297~319	2563	100	12,632	100	20	

2.3.3. 总风阻与等积孔数据

总风阻与等积孔是评价通风系统难易程度的核心指标，实测结果如图 2 所示。

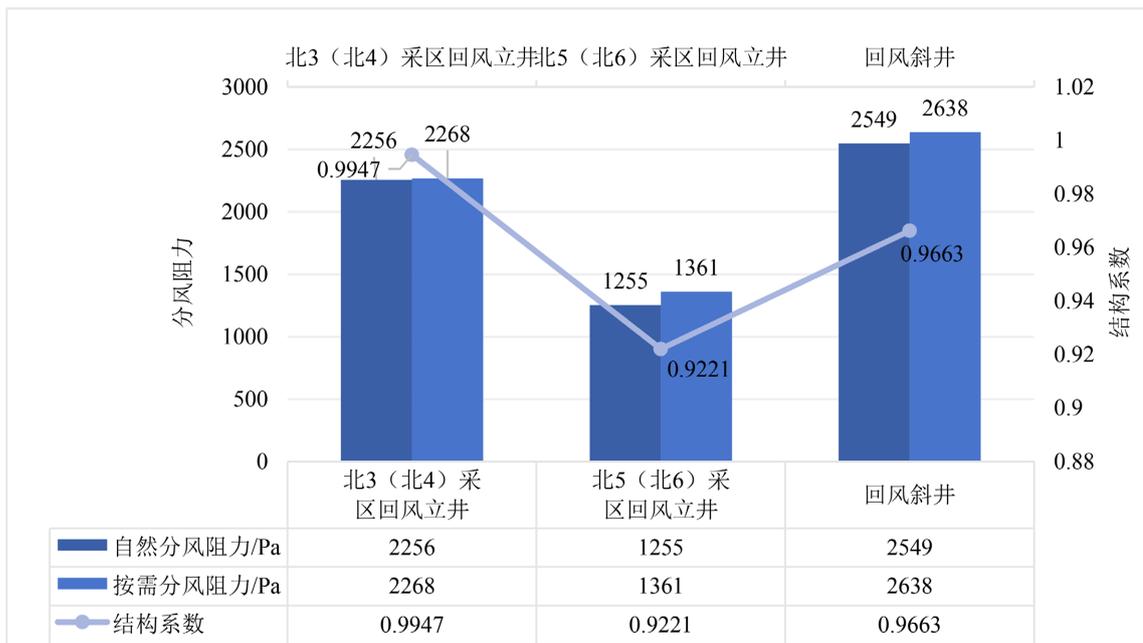


Figure 2. Rationality analysis of ventilation network structure

图 2. 通风网络结构合理性

由图 2 可知，系统 2 总风阻最高(0.1254 Ns²/m⁸)，等积孔最小(3.3592 m²)，说明其通风难度最大；系统 1 与系统 3 总风阻相近(分别为 0.0505 Ns²/m⁸、0.0500 Ns²/m⁸)，等积孔较大，通风条件相对较好。此外，三个系统均存在自然风压，且方向均帮助主要通风机通风，对通风系统运行有利。结合前文角联分支干扰特征，系统 2 总风阻偏高，除自身巷道条件较差外，还受到进风系统角联风流波动及系统 1、3 回风侧角联干扰的叠加影响，导致通风压力失衡、阻力累积。

3. 通风系统阻力分布特性分析

3.1. 阻力分布整体特征

基于表 2 实测数据，对三个系统的阻力分布特征进行系统分析。从阻力占比来看，三个系统均呈现

“回风段主导阻力”的特征:系统2回风段阻力占比最高,达74.1%,远超进风段(7.5%)与用风段(18.4%);系统3回风段阻力占比次之,为65.3%;系统1回风段阻力占比为54%,虽低于前两者,但仍为阻力主要来源。从长度占比来看,用风段与回风段长度占比较高,进风段长度占比较低,如系统1用风段与回风段长度占比合计达82.8%,系统2合计达81.6%,系统3合计达74.5%。

从百米阻力来看,系统2回风段百米阻力最高,达56 Pa/hm,是系统1回风段百米阻力(30 Pa/hm)的1.87倍,说明系统2回风段巷道条件较差,可能存在断面变形、积尘较多等问题;系统1进风段百米阻力(24 Pa/hm)高于用风段(15 Pa/hm),系统3进风段百米阻力(17 Pa/hm)高于用风段(8 Pa/hm),可能与进风段巷道转弯较多、局部阻力较大有关。需强调的是,上述阻力分布差异的核心诱因是多井筒联合通风的相互干扰,尤其是角联分支的风流不稳定性,导致各系统通风压力传递失衡,进而加剧了局部巷段阻力偏高或分布不均。

3.2. 高阻力巷段识别

结合实测数据与现场勘查,识别出矿井通风系统中的高阻力巷段,具体如下:①系统1的“+980 m 辅运大巷”“+980 m 回风通路”,实测局部阻力较大,百米阻力分别达35 Pa/hm、32 Pa/hm,高于系统1平均百米阻力(23 Pa/hm),现场勘查发现该区域巷道存在多处转弯、支护变形现象,同时受系统3回风侧角联分支风流干扰,导致局部风流紊乱、阻力叠加;②系统2的“+875 m 总回风通路”,回风段阻力达1003 Pa,占系统总阻力的74.1%,是系统2的核心高阻力巷段;③系统3的回风段部分巷段,百米阻力达30 Pa/hm,且长度较长(5464 m),导致总阻力较高(1671 Pa)。

高阻力巷段的形成主要源于以下因素:①巷道断面变形,部分老巷段因开采扰动导致断面缩小,风速增大,阻力升高;②局部构筑物影响,巷道内风门、风窗、转弯等局部构筑物较多,产生较大局部阻力;③积尘堆积,部分回风巷段积尘清理不及时,断面有效面积减小,阻力增加。④巷道受进风系统与系统1角联干扰的双重影响,通风压力传递不畅,进而形成阻力积聚。工作面回风侧与系统2存在交叉角联分支,风流波动频繁,加剧了局部阻力升高。

3.3. 阻力分布对通风系统的影响

高阻力巷段的存在导致矿井通风系统能耗增加,主要通风机需克服更大阻力才能满足通风需求;同时,阻力分布不均易引发风量分配不合理问题,如部分巷段因阻力过大导致风量不足,形成微风区域。实测发现,矿井北3采区辅运下山、北翼边界回风巷等多处巷段存在微风或接近微风状态,风速低于0.25 m/s,不符合《煤矿安全规程》要求,易引发瓦斯积聚等安全隐患。此外,阻力分布不均还导致各系统通风压力不平衡,增加了通风调节难度。

4. 风量分配现状及问题识别

4.1. 风量分配现状

实测数据显示,该矿井总进风量为32,688 m³/min,总回风量为33,213 m³/min,风量平衡基本合理。各系统风量分配如下:系统1进风量9043 m³/min,回风量13,176 m³/min;系统2进风量9475 m³/min,回风量6399 m³/min;系统3进风量14,170 m³/min,回风量13,638 m³/min。各系统用风地点总风量占系统总风量的比例分别为:系统1 42%、系统2 38%、系统3 45%,整体风量利用率仅35%~45%,处于较低水平。

从具体用风地点来看,采煤工作面风量基本满足需求,如系统1的北40203综采工作面、系统3的北11404综采工作面实测风量均符合设计要求;但部分掘进工作面、硐室风量不足,且存在风量波动较大的问题,主要原因是风量分配不合理、局部阻力干扰等。

4.2. 风量分配核心问题

结合实测数据与现场调研，识别出风量分配存在的核心问题如下：

1) 微风区域广泛存在。实测发现，北3采区辅运下山、北翼边界回风巷等多处巷段风速低于0.25 m/s，属于微风区域。这些区域多位于角联巷道或高阻力巷段附近，因阻力过大导致风量无法到达，易引发瓦斯积聚、空气质量恶化等问题。

2) 风量利用率偏低。各系统用风地点总风量占系统总风量的比例仅35%~45%，大量风量通过非用风巷段流失，导致通风能耗增加，经济性较差。

3) 进风系统角联较多。矿井进风井数量达5条，进风角联区域较多，导致风流不稳定，部分巷段风量分配难以控制，易出现风量过剩或不足的情况。

4) 回风系统不独立。系统1与系统3回风侧存在角联，导致两系统风流相互干扰，风量分配受影响，增加了通风调节难度。

5. 结论

1) 通过现场实测明确了该大型矿井通风系统阻力分布特性：三个回风系统阻力均主要集中于回风段，占比达54%~74.1%；系统2通风难度最大，总风阻达 $0.1254 \text{Ns}^2/\text{m}^8$ ，等积孔仅 3.3592m^2 ；识别出“+980 m 辅运大巷”“+875 m 总回风通路”等核心高阻力巷段。

2) 矿井风量分配存在微风区域广泛、风量利用率偏低(35%~45%)、进风角联较多、回风系统不独立等问题，影响通风系统的安全性与经济性。局部微风区域集中在高阻力巷段周边，核心原因是角联干扰导致的风量分配偏差与高阻力巷段的阻力屏障作用。

3) 针对风量分配核心问题提出“降低高阻力巷段阻力、消除微风区域、优化回风系统布局、优化风量分配”的综合优化方案，揭示了大型矿井通风系统阻力分布规律，提出的优化方案具有较强的工程可行性，可为同类矿井通风系统优化提供参考。后续可进一步开展优化措施的现场实施与效果跟踪，持续提升通风系统的运行效率。

基金项目

安徽省大学生创新创业训练计划项目(202410361007)。

参考文献

- [1] 刘鹏. 多水平多风井矿井通风系统调整优化研究[J]. 中国煤炭, 2024, 50(S1): 171-175.
- [2] 赵俊杰, 杨习学, 张德志, 等. 金凤煤矿2#回风斜井挂网运行通风系统优化研究[J]. 煤炭技术, 2025, 44(12): 159-164.
- [3] 武超. 基于层次分析法的矿井通风系统可靠性评价及优化[J]. 矿业装备, 2024(6): 132-134.
- [4] 王豪杰, 郑凯歌, 王泽阳, 等. 基于可拓云模型的矿井通风系统可靠性评价及灵敏度分析[J]. 中国煤炭, 2022, 48(9): 57-65.
- [5] 杨潇斌, 门雷鸣. 煤矿通风网络优化与智能监控技术应用[J]. 大众标准化, 2025(12): 42-44.
- [6] 聂都超, 周国, 罗飞跃, 等. 某矿区通风系统优化方案研究[J]. 采矿技术, 2021, 21(5): 172-175.
- [7] 张官禹, 马腾, 王光明. 伊新煤业矿井通风阻力测定与分析[J]. 山东煤炭科技, 2025, 43(4): 56-60+70.
- [8] 王玉和, 张普, 陈文国, 等. 气压计基点法在矿井通风阻力测定中的应用[J]. 煤炭技术, 2015, 34(3): 196-199.