

基于Ventsim的某矿通风网络优化研究

孙 健, 穆晓锋

潞安化工集团阳泉五矿通风瓦斯管理中心, 山西 阳泉

收稿日期: 2026年2月5日; 录用日期: 2026年3月10日; 发布日期: 2026年3月18日

摘 要

为解决某矿随开采深度增加、范围扩大出现的风量不均、阻力增大等通风问题, 保障矿井安全生产, 本研究以该矿通风系统为对象, 运用Ventsim三维通风仿真软件开展优化研究。首先通过现场调研与实测, 获取矿井通风参数, 明确其混合式通风方式的风量现状, 及存在的风量偏差、阻力超支、风速异常等问题。随后基于通风网络理论, 构建矿井三维通风模型, 设置合理仿真参数并进行现状模拟验证。研究为后续提出优化方案、筛选最优策略提供了科学依据, 对提升矿井通风系统效率、降低安全风险、促进可持续发展具有重要的工程价值。

关键词

矿井通风, 阻力分布, 通风网络, 通风系统优化, 节能降耗

Research on Ventilation Network Optimization of a Mine Based on Ventsim

Jian Sun, Xiaofeng Mu

Ventilation Gas Management Center of Yangquan No. 5 Coal Mine of Lu'an Chemical Group, Yangquan Shanxi

Received: February 5, 2026; accepted: March 10, 2026; published: March 18, 2026

Abstract

In order to solve the ventilation problems, such as uneven air volume and increased resistance with the increase of mining depth and range in a mine, and ensure the safe production of the mine, this study takes the ventilation system of the mine as the object, and uses Ventsim three-dimensional ventilation simulation software to carry out optimization research. Firstly, through on-site investigation

and measurement, the mine ventilation parameters are obtained, and the current situation of the air volume of the hybrid ventilation mode is clarified, as well as the problems such as air volume deviation, resistance overrun and abnormal wind speed. Then, based on the ventilation network theory, a three-dimensional ventilation model of the mine is constructed, reasonable simulation parameters are set and the current situation is simulated and verified. The research provides a scientific basis for the subsequent optimization scheme and screening of the optimal strategy, and has important engineering value for improving the efficiency of mine ventilation system, reducing safety risks and promoting sustainable development.

Keywords

Mine Ventilation, Resistance Distribution, Ventilation Network, Ventilation System Optimization, Energy Conservation and Consumption Reduction

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

在煤矿开采领域, 通风系统犹如矿井的“呼吸系统”, 其运行的稳定性与高效性直接关乎着安全生产和作业效率[1]。某矿作为煤炭生产的重要基地, 随着开采深度的增加、开采范围的扩大以及开采工艺的不断革新, 原有的通风网络逐渐暴露出一些问题, 如风量分配不均、通风阻力增大、局部通风不足及设备老化等, 这些问题不仅严重威胁着井下作业人员的生命安全, 增加了瓦斯积聚、粉尘爆炸等事故的风险, 还制约了矿井的生产能力和经济效益的提升[2] [3]。因此, 对某矿通风网络进行优化研究, 具有极为紧迫的现实意义和重要的工程应用价值。

Ventsim 作为一款先进的三维通风仿真软件, 以其强大的功能在矿井通风领域得到了广泛的应用和认可[4]。它能够基于实际的矿井巷道布局、通风设备参数等数据, 构建出逼真的三维通风网络模型。通过该模型, 不仅可以直观地展示通风系统的运行状态, 还能精确地模拟不同工况下的风量、风压分布情况, 预测通风系统在各种变化条件下的响应。利用 Ventsim 进行通风网络优化, 能够在虚拟环境中对多种优化方案进行模拟分析和对比评估, 提前预知方案实施后的效果, 有效避免了在实际改造过程中可能出现的盲目性和不确定性, 大大降低了优化成本和风险, 提高了优化方案的科学性和可行性[5]-[7]。

本文将深入某矿通风网络进行优化研究。通过对某矿通风网络现状的详细调研和数据采集, 运用 Ventsim 软件构建通风网络模型, 对其进行全面的分析诊断[8]。在此基础上, 针对性地提出一系列切实可行的通风网络优化方案, 并借助 Ventsim 软件对各方案进行模拟验证和效果评估。最终筛选出最优的优化方案, 为某矿通风系统的升级改造提供科学依据和技术支持, 以期实现某矿通风系统的高效、稳定运行, 保障矿井的安全生产和可持续发展[9]-[11]。

2. 矿井通风网络现状剖析

2.1. 矿井通风系统概况

某矿地处沁水煤田东北部, 其井田面积广阔, 南北长约 9 km, 东西宽约 8 km, 面积 53.1427 km², 达 79.9 km², 且开采深度随着开采进程不断增加。

某矿矿井通风方式为混合式, 共有 9 个进风井进风(即主斜井、辅助运输斜井、副立井、排矸进风立

井、1#进风立井、南翼进风立井、北翼进风南斜井、北翼进风北斜井、2#进风立井), 4个回风井回风(即1#回风立井、南翼回风立井、中央回风立井、2#回风立井), 4个回风立井通风系统相对独立。目前矿井总进风量为 56,322 m³/min, 总回风量 56,805 m³/min, 矿井有效风量为 49,783 m³/min, 有效风量率为 88.39%。

2.2. 通风系统存在的问题

尽管现有通风网络系统在保障矿井安全生产方面发挥了重要作用, 但随着某矿开采深度的增加、开采范围的扩大以及开采工艺的不断更新, 暴露出一些问题。

1) 风量分配不均问题较为突出。在部分采区, 由于通风网络复杂、通风阻力分布不合理, 导致一些采煤工作面和掘进工作面风量不足, 无法满足安全生产要求; 而另一些区域则出现风量过剩的情况, 造成能源浪费。例如, 在 2#回风立井中部分采煤工作面实测风量比设计风量低 3%, 而相邻的一些巷道风量却超出设计值 5%。

2) 通风阻力大也是一个亟待解决的问题。随着开采深度的增加, 矿井通风阻力不断增大, 部分通风巷道的通风阻力已接近通风设备的额定风压, 限制了通风系统的调节能力。这主要是由于巷道变形严重、通风构筑物设置不合理以及通风网络布局不够优化等原因造成的。据测量, 在 2#回风立井中部分深部巷道的通风阻力比设计值增加了 42 Pa 以上。

3) 部分区域风速异常问题也不容忽视。在一些通风巷道中, 风速过高或过低的情况时有发生。风速过高会导致煤尘飞扬, 增加煤尘爆炸的风险; 风速过低则无法有效稀释瓦斯和排出有害气体, 影响安全生产。例如, 在 2#回风立井中南翼一区轨道巷, 实测风速达到了 6.48 m/s, 超过了规定的最高风速 6 m/s; 而在一些掘进工作面的局部通风中, 风速却低于规定的最低风速 0.25 m/s。

4) 通风设备老化也是一个潜在的风险。部分通风机运行时间较长, 设备性能下降, 可靠性降低, 维修成本增加, 给通风系统的稳定运行带来了隐患。

3. 理论基础与技术方法

矿井通风网络理论模拟中, 精准刻画空气流动规律是通风参数计算与方案优化的关键。作为非线性流体传输系统, 其流动受风量平衡定律、风压平衡定律与阻力特性方程约束, 这三大定律既是风网解算的数学基础, 也为 Ventsim 建模、参数赋值及结果验证提供理论依据。

1) 风量平衡定律

风量平衡定律是指任意节点处流入风量总和等于流出风量总和, 如式(1)所示:

$$\sum Q_{in} = \sum Q_{out} \quad (1)$$

式中: Q_{in} ——流入某节点的风量, m³/s;

Q_{out} ——流出某节点的风量, m³/s。

该定律是风网解算的基础, 可用于校验模拟结果的合理性。

2) 风压平衡定律

对于通风网络中的任意闭合回路, 各支路风压损失代数和等于该回路中通风设备提供的风压, 如式(2)所示:

$$\sum h_i = \sum H_{\beta} \pm H_n \quad (2)$$

式中: $\sum h_i$ ——回路中各分支的通风阻力代数和, Pa;

$\sum H_{\beta}$ ——回路中所有通风机提供的风压代数和, Pa;

H_n ——作用在该回路的自然风压, Pa。

3) 阻力特性方程

描述单一巷道中, 通风阻力与流过该巷道风量之间关系的方程, 如式(3)所示:

$$h_f = RQ^2 \quad (3)$$

式中: R ——巷道摩擦阻力系数;

Q ——支路风量, m^3/s 。

Ventsim 作为矿井通风网络模拟与优化领域的主流专业软件, 其算法体系构建以“精准解算 - 动态模拟 - 高效优化”为核心逻辑, 涵盖经典迭代算法、现代数值算法及智能优化算法三大类别。该体系通过多算法协同适配, 可实现复杂矿井通风网络中风量、风压、风速等关键参数的定量计算, 同时有效应对多风机联动、动态开采工况下的漏风干扰问题, 为某矿这类多采区、高瓦斯矿井的通风系统优化提供技术支持[12]。Ventsim 通过多算法协同适配, 实现复杂通风网络参数解算与方案优化, 核心算法及适用场景如表 1 所示。

Table 1. Performance comparison of Ventsim core algorithms

表 1. Ventsim 核心算法性能对比

| 算法类型 | 适用场景 | 解算精度 | 核心优势 | 局限性 |
|------------------|---------------|------------|-------------|-----------|
| Hardy-Cross 迭代算法 | 静态风网、单风机工况 | $\leq 5\%$ | 操作简单、解算效率高 | 多风机场景误差较大 |
| 节点风压法 | 多风机、漏风干扰、动态开采 | $\leq 3\%$ | 精度高、适配复杂工况 | 计算量较大 |
| 线性规划优化算法 | 通风方案优化、能耗控制 | - | 优化目标明确、方案可行 | 依赖约束条件准确性 |

4. 井下通风系统测风与风阻分析

4.1. 通风系统测定方法

在通风系统测定工作中, 测点布设与测定方法的选取, 是保障数据精准度、支撑后续通风系统优化的核心环节。为全面呈现矿井通风系统的真实运行状态, 需按“进风段 - 用风段 - 回风段”的系统划分原则合理布设测点, 确保各关键区域的通风参数均能被有效捕捉。测定仪器与方法的适配性选择, 直接关系到数据的可靠性, 具体而言, 巷道断面尺寸采用手持式激光测距仪测量, 矿井内空气的压强、温度及湿度参数通过数字式气压表采集, 井下风速则借助矿用机械电子式风速表测定[13]。

本次测定使用了精度及稳定性较高的矿井通风参数检测仪和风表, 从而保证了测量精度, 测量结果能够满足工程上的要求。但在测定过程中, 由于受到测定条件的限制以及测定仪器、仪表、人为视觉误差等多种因素的影响, 仍存在着一定的测量误差, 其主要原因可归纳为以下四点:

- 1) 个别巷道通过的风量较小, 阻力较小, 有些甚至小于仪器反应的灵敏度;
- 2) 部分巷道的断面不规则, 难以测准断面积; 局部地点风流不稳定, 造成仪器读数变化较大, 难以读出准确数值;
- 3) 个别测点标高不够准确, 直接影响位压的测算精度, 致使个别巷道的阻力计算值有误差。
- 4) 仪器、仪表制造误差, 操作人员读数误差等。

风速测定选用侧身测定法, 操作过程中需避开运输与提升作业的高峰时段, 以此降低外部作业活动对风流的干扰, 测定结果更符合实际工况[14]。虽然侧身测定法在使用时, 会因人体和仪器占用空间对风流实际流经的断面造成影响, 但该问题可借助适配的校正公式有效化解, 进而消除干扰因素, 提高风速测定的精准度。待获取井下实测风速后, 需对其进行校正, 如公式(4)所示:

$$v = \frac{S - 0.4}{S} v_s \quad (4)$$

式中: v ——巷道断面校正风速, m/s;

S ——巷道断面面积, m^2 ;

v_s ——巷道断面实测风速, m/s。

在获取巷道断面的校正风速后, 将该校正风速与测点所在位置的巷道断面面积相乘, 即可得出该测点的初始测定风量。需注意的是, 矿井风流在流动过程中会因机械作用发生压缩现象, 这会导致初始测定风量与实际风流状态存在偏差。因此, 需结合矿井空气的实际气压与温度参数, 对巷道断面测点的初始测定风量进一步校正, 确保风量数据能真实反映井下通风实际情况。测点校正风量如公式(5)所示:

$$Q_c = \frac{P_i (T_0 + 273)}{P_0 (T_i + 273)} S v \quad (5)$$

式中: Q_c ——巷道断面的校正风量, m^3/s ;

P_i ——巷道断面的实测大气压, kPa;

P_0 ——标准大气压, 取 101.325 kPa;

T_i ——巷道断面的实测温度, $^{\circ}C$;

T_0 ——标准状况下的温度, 取 $0^{\circ}C$ 。

4.2. 矿井通风阻力分布

某矿有四条测试路线, 以 2#回风立井为例进行分析, 在 2#回风立井中一共采取了 26 个测点, 将 26 个测点又分为进风段、用风段、回风段。2#分区路线为: 2#进风井→东大巷→8316 工作面→8313 工作面→东回风巷→二区西翼南回风巷→七采区西回风巷→2#回风井; 对路线中的测点编号: 1→3→11→12→13→13a→14→15→16→17→18→19, 计算出该系统通风总阻力 h 为 2751 Pa。2#回风井测定参数如表 2 所示, 2#分区路线通风阻力三区分布情况如表 3 所示。

按照矿井通风阻力分为进风段、用风段和回风段, 针对三段阻力进行分布分析, 进风段 1~11 测点的阻力为 1553 Pa, 用风段 12~14a 测点的阻力为 91 Pa, 而回风段 16~19 测点的阻力为 1107 Pa。则进风段

Table 2. Determination parameters of 2# return air shaft

表 2. 2#回风井测定参数

| 井巷代号 | 井巷名称 | 断面(m^2) | 风速(m/s) | 风量(m^3/s) | 平均风阻($N \cdot s^2/m^8$) | 阻力(Pa) | 备注 |
|------|----------|-------------|---------|---------------|---------------------------|--------|-----|
| 1 | 2#进风立井 | 24 | 6.70 | 160.80 | 0.0060 | 155 | 进风段 |
| 11 | 东大巷 | 15 | 4.38 | 65.70 | 0.3218 | 1398 | |
| 12 | 8316 进风巷 | 20 | 0.56 | 11.20 | 0.0144 | 2 | 用风段 |
| 15 | 8316 回风巷 | 17 | 0.62 | 10.54 | 0.0104 | 1 | |
| 13a | 8313 进风巷 | 24 | 2.06 | 49.44 | 0.0200 | 49 | |
| 14a | 8313 回风巷 | 16 | 2.40 | 38.40 | 0.0200 | 29 | |
| 16 | 东回风巷 | 17 | 4.25 | 72.25 | 0.1151 | 601 | 回风段 |
| 17 | 二区西翼南回风 | 26.5 | 3.87 | 102.56 | 0.0087 | 91 | |
| 18 | 七采区西回风 | 12 | 6.72 | 80.64 | 0.0059 | 38 | |
| 19 | 2#回风立井 | 35 | 7.90 | 276.50 | 0.0049 | 377 | |

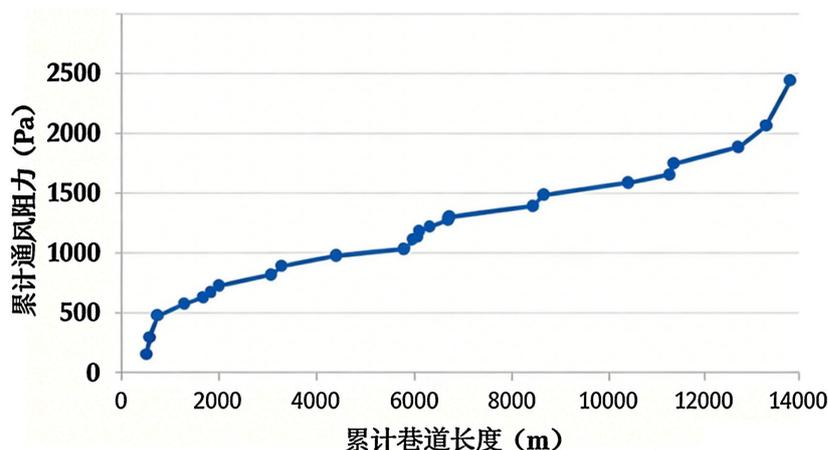
Table 3. Distribution table of three zones of ventilation resistance in 2# partition route**表 3.** 2#分区路线通风阻力三区分布情况

| 通风路段名称 | | 进风段 | 用风段 | 回风段 |
|--------|------------|-------|--------|-------|
| | 测点 | 1~11 | 12~14a | 16~19 |
| 项目 | 通风阻力(Pa) | 1553 | 91 | 1107 |
| | 占总阻力百分比(%) | 56.45 | 3.31 | 40.24 |

该路线的通风总阻力为: 2751 Pa

的阻力占总阻力的 56.45%，用风段的阻力占总阻力的 3.31%，回风段的阻力占总阻力的 40.24%。2#分区路线三区阻力分布基本合理。

2#分区路线通风阻力坡度图如图 1 所示。由图中的折线可以看出，该分区路线通风阻力坡度较均匀，变化较小。

**Figure 1.** Ventilation resistance slope diagram of 2# partition route**图 1.** 2#分区路线通风阻力坡度图

4.3. 2#回风井高阻力成因分析

结合实测数据与井下现场勘察，2#回风井通风阻力偏高的核心物理成因主要体现在两方面：

1) 东大巷断面偏小且局部支护破坏：东大巷作为进风段核心巷道，断面仅 15 m^2 ，远小于 2#进风立井，风流在此处收缩，加之长期受矿压影响，局部区域出现巷帮鼓出、顶板下沉的支护破坏现象，有效通风断面进一步减小，导致平均风阻达 $0.3218 \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$ ，阻力占进风段总阻力的 90.08%，是 2#回风井高阻力的首要原因。

2) 回风段路径偏长且局部巷道断面突变：回风段从东回风巷至 2#回风立井累计巷道长度超 8000 m，且七采区西回风巷断面骤减至 12 m^2 ，风流流动过程中沿程阻力与局部阻力叠加，进一步推高了回风段整体阻力。

通过 Ventsim 模拟生成 2#回风井阻力分布云图(图 1)，可直观看到东大巷、东回风巷为阻力高值区，与实测结果高度契合，为后续优化方案制定提供了靶向性依据。

4.4. 矿井等积孔测算结果

矿井等积孔是表明矿井通风难易程度的理想孔口。矿井等积孔计算如式(6)所示：

$$A = 1.19 \times Q \times \frac{1}{\sqrt{h}} \quad (6)$$

多风井系统的矿井等积孔 A 的计算公式为:

$$A = 1.19 \times \frac{\left(\sum_{i=1}^n Q_i \right)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (h_i Q_i)}} \quad (7)$$

式中: A ——矿井等积孔, m^2 ;

Q_i ——第 i 台主通风机工作系统通过的风量, m^3/s ;

h_i ——第 i 台主通风机工作系统的阻力值, Pa ;

n ——主通风机工作的通风系统数。

各风井系统等积孔计算结果如表 4 所示。

Table 4. Calculation results of equal-area holes in each air shaft system

表 4. 各风井系统等积孔计算结果

| 名称 | 风量(m^3/min) | 风量(m^3/s) | 阻力(Pa) | 总风阻 | 等级孔 |
|--------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|------|
| 2#回风井 | 16,661 | 277.68 | 2732 | 0.0354308 | 6.32 |
| 南翼回风井 | 14,836 | 247.27 | 1765 | 0.0288678 | 7.00 |
| 中央区回风井 | 11,257 | 187.62 | 527 | 0.0149716 | 9.73 |
| 1#回风井 | 12,172 | 202.87 | 1121 | 0.0272386 | 7.21 |

由于某矿的通风系统有 4 个回风井, 故矿井总等积孔应按多风井系统的矿井等积孔的计算公式计算。将上述实测数据代入多风井系统的矿井等积孔的计算公式(7), 得出: $A_{\text{总}} = 30.26 \text{ m}^2$ 。

5. Ventsim 建模和通风现状模拟分析

5.1. 三维通风网络模型构建

Ventsim 作为具备多元功能的矿山通风系统仿真工具, 可为矿井通风系统的规划设计、优化改进及日常运维提供有力支撑。该软件依托三维可视化建模技术, 能够立体呈现矿井通风系统的整体结构, 方便用户从多维度分析并把控系统实际运行情况; 在通风网络解算环节, 其可依据网络拓扑结构与阻力特性, 精准计算风量分配情况并分析风流运动状态。此外, Ventsim 在对通风系统安全性能开展评估、制定靶向性优化方案等方面也发挥着重要作用。总体来看, 该软件凭借全面的功能体系与直观的可视化操作界面, 已然成为矿山通风系统模拟、设计及管理工作的关键工具, 对提高系统运行效率、减少通风能耗以及优化井下作业环境具有积极作用[15]。

三维通风网络模型构建某矿通风系统的三维建模以实际巷道布局为基础, 结合矿山地质平面图、通风系统图纸及现场实测数据, 完成 Ventsim 模型的拓扑结构搭建。首先, 通过矿山 CAD 图纸提取巷道轴线坐标、节点连接关系及断面参数, 采用数据预处理模块对原始巷道数据进行坐标统一化处理, 剔除冗余节点并修复拓扑断裂问题。在此基础上, 按照“由主到次、分层建模”的原则, 在 Ventsim 软件中依次构建主运输大巷、回风巷、采区联络巷等主干巷道, 随后添加工作面顺槽、硐室等局部结构, 形成完整通风网络骨架。针对复杂交叉巷道, 采用虚拟节点分割技术确保风流的物理连通性[16]。

根据某矿现场通风系统的实测数据,需先将井下各巷道的断面参数逐一录入矿山通风系统模型,详细填写每条巷道的名称、断面形状及尺寸等信息,接着设定矿井的环境参数(涵盖基准海拔高度、空气密度与基准面干球温度);同时需配置巷道特征,与地表相连通的巷道应设为“连通地表”状态以构建完整通风回路,而掘进巷道与独头巷道则设为“封闭末端”,此类巷道不参与通风网络解算[17],其内部风量需通过风筒设置模拟以保障模型准确性,最后为通风网络实体赋予井巷断面尺寸、形状等通风属性参数,某矿部分通风网络三维实体模型具体可如图2所示。

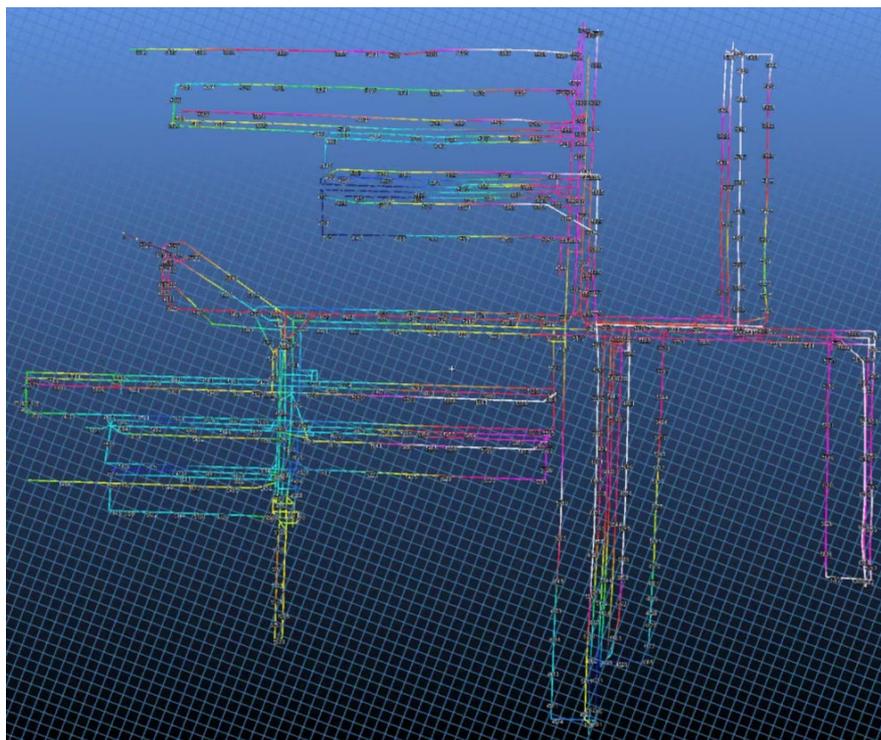


Figure 2. Three-dimensional solid model of partial ventilation network for a mine
图2. 某矿部分通风网络三维实体模型

5.2. 模型验证

为验证 Ventsim 模型的可靠性与准确性,选取 2#回风井核心节点,对比实测风量、风压与模拟风量、风压,计算相对误差,结果如表 5 所示。

由表 5 可知,核心节点的风量相对误差均 $\leq 1.07\%$,风压相对误差均 $\leq 2.04\%$,误差均控制在工程允许范围内,证明所构建的 Ventsim 三维通风模型能够真实反映某矿通风系统的实际运行状态,可用于后续的现状模拟与优化方案仿真。

5.3. 优化方案设计

现系统运行问题:2#回风立井南翼一区轨道巷、七采区西回风巷为风速高值区,超过 6 m/s 的规定限值;部分掘进工作面风速低至 0.22~0.24 m/s,低于 0.25 m/s 的最低限值;东大巷、东回风巷为阻力高值区,与实测结果一致。模拟结果全面印证了前文分析的风量不均、阻力偏高、风速异常等问题。

基于现状模拟结果与 2#回风井高阻力成因分析,结合矿井现场施工条件与经济性要求,提出“扩修 + 修复”方案,针对东大巷进行扩修,将断面由 15 m²扩至 20 m²,同时对东大巷局部支护破坏区域进行

Table 5. Model verification results of core nodes in 2# return air shaft
表 5. 2#回风井核心节点模型验证结果

| 井巷代号 | 井巷名称 | 实测风量(m ³ /s) | 模拟分量(m ³ /s) | 风量相对误差(%) | 实测风压(Pa) | 模拟风压(Pa) | 风压相对误差(%) |
|------|----------|-------------------------|-------------------------|-----------|----------|----------|-----------|
| 1 | 2#进风立井 | 160.80 | 159.25 | 1.55 | 155 | 152 | 1.94 |
| 11 | 东大巷 | 65.70 | 66.32 | 0.62 | 1398 | 1405 | 0.50 |
| 12 | 8316 进风巷 | 11.20 | 11.08 | 0.12 | 2 | 2 | 0 |
| 13a | 8313 进风巷 | 49.44 | 49.86 | 0.42 | 49 | 50 | 2.04 |
| 16 | 东回风巷 | 72.25 | 71.83 | 0.42 | 601 | 598 | 0.50 |
| 19 | 2#回风立井 | 276.50 | 277.16 | 0.66 | 377 | 379 | 0.53 |

修复, 恢复有效通风断面; 其余巷道与通风设备参数保持不变。该方案聚焦核心高阻力巷道改造, 施工难度适中, 工期较短。此方案进行的同时对风机进行调整, 对 2#回风立井主通风机进行运行参数调整, 将风机风压由 2800 Pa 调至 2600 Pa, 优化风机工作点, 降低能耗。

结合矿井通风模拟数据与等积孔计算结果, 依据《煤矿安全规程》(AQ 1028-2006)中矿井通风难易程度分级标准(等积孔 $A > 2 \text{ m}^2$ 为通风容易矿井), 本矿总等积孔 $A = 30.26 \text{ m}^2$, 远超通风容易矿井的阈值。这表明矿井整体通风系统基础条件良好, 通风动力充足, 具备风量调节与优化的较大空间。然而, 模拟结果也同时印证了前文所指出的局部问题——虽然系统整体属于“通风容易”, 但仍存在风量分配不均、局部阻力偏高、部分区域风速超标等具体隐患, 这些正是后续优化应聚焦的关键环节。因此, 判定为通风容易矿井, 并不代表系统无需改进, 而是说明在整体通风能力充裕的前提下, 具备通过系统优化实现风量均衡、降低局部阻力、提升安全与能效的可行性, 为下一阶段的精准优化提供了依据与方向。

6. 结论

本研究基于实测数据与 Ventsim 建模, 明确了某矿通风系统风量不均、阻力分布不合理等问题, 并验证了模型的可信性。建议后续针对高阻力段开展局部巷道修复、优化通风构筑物布置, 并考虑更新老化风机, 以实现风量均衡与能耗降低。以某矿通风系统为对象, 通过“现场调研 - 参数实测 - 理论支撑 - 软件建模”路径实现精准分析。用实测设备按“三段”原则布点, 经校正获取总进风量 $56,322 \text{ m}^3/\text{min}$ 、总回风量 $56,805 \text{ m}^3/\text{min}$ 、有效风量率 88.39%等数据; 结合通风网络理论与 Ventsim 核心算法, 验证了该技术路径的适用性。

构建的某矿 Ventsim 三维通风模型经核心节点验证, 风量相对误差 $\leq 1.07\%$, 风压相对误差 $\leq 2.04\%$, 模型可靠性满足工程要求, 可有效用于通风系统模拟与优化方案仿真。

基于图纸与实测数据, 按统一坐标、建主干巷道、补局部结构、配参数的步骤, 构建三维模型。录入巷道断面、环境等参数, 模拟掘进巷道风量, 模型可直观展示拓扑结构、模拟关键参数, 为优化方案提供可视化平台。

明确系统问题根源, 验证 Ventsim 实用性; 为后续优化提供依据, 为类似矿井提供技术参考; 长远可提升通风效率、降低安全风险、减少能耗, 保障安全生产与可持续发展。

参考文献

- [1] 樊晓剑. 浅析矿井通风质量安全影响因素及防范[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(17): 68-69.
- [2] 张宏利. 矿井通风技术及通风系统节能技术探讨[J]. 山西化工, 2025, 45(1): 215-217.

-
- [3] 戎浩. 矿井通风安全影响因素及防范措施综述[J]. 石化技术, 2019, 26(12): 354+348.
- [4] 李元吉. 某金矿局部通风系统问题分析及优化方案研究[J]. 世界有色金属, 2023(22): 166-168.
- [5] 杨立焘, 于涛. 上向水平分层充填采矿法中段通风系统的优化研究[J]. 铜业工程, 2023(2): 131-135.
- [6] 冯刚. 煤矿矿井通风技术及通风系统优化设计研究[J]. 能源与节能, 2025(7): 105-107.
- [7] Lu, F., Wang, K., Wang, J., Wang, Z. and Ma, Y. (2025) Research on Optimization and Regulation of Air Volume in Mine Ventilation Network Based on Multi-Strategy Beetle Swarm Optimization. *Advanced Engineering Informatics*, **68**, Article ID: 103654. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2025.103654>
- [8] 曹怀轩. 基于 Ventsim 的复杂通风系统优化及监测预警研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2020.
- [9] 吴金京. 基于 Ventsim 三维模型的煤矿通风优化设计方法[J]. 自动化应用, 2025, 66(13): 72-74.
- [10] Sun, Q. and Wang, Y. (2025) Optimization of Airflow Distribution in Mine Ventilation Networks Using the MOBWO Algorithm. *Processes*, **13**, Article No. 2193. <https://doi.org/10.3390/pr13072193>
- [11] 刘守安. 基于 Ventsim 的铜山铜矿通风系统优化研究[J]. 现代矿业, 2025, 41(5): 88-92.
- [12] 刘晓, 于曙华, 刘邵华, 等. 基于 Ventsim 的通风系统优化模拟[J]. 采矿技术, 2024, 24(2): 250-253.
- [13] 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+86.
- [14] 姜奎, 张延博. 孔庄煤矿采区工作面通风阻力测定分析[J]. 煤矿现代化, 2019(2): 193-194.
- [15] 张浩强, 刘大可. 基于 Ventsim 的帕鲁特金矿通风网络优化研究[J]. 矿业研究与开发, 2024, 44(9): 131-142.
- [16] 张睿, 石海军, 柴衡山, 等. 基于 Ventsim 和 3DVent 的联合通风优化设计[J]. 现代矿业, 2023, 39(6): 122-125.
- [17] 于涛, 董国强, 陆宇超. 基于 Ventsim 的独头掘进面局部通风技术研究[J]. 铜业工程, 2023(5): 106-111.