

# 基于智能控制技术的煤矿智能通风现状与展望

谢洪路

山东盟鲁采矿工程有限公司 山东济宁 272199

**摘要:** 矿井通风是保障煤矿安全生产的关键环节。随着煤矿开采深度的增加和矿井规模的扩大,传统的通风管理模式已无法满足现代化矿井的需求。采用智能控制技术对煤矿通风系统进行升级改造,可以显著提高通风效率,降低通风能耗,改善矿井作业环境。本文从通风参数智能感知、通风设备智能控制、通风系统智能决策三个方面,系统分析了煤矿智能通风的发展现状。指出目前智能通风系统主要存在管理不善、设备质量问题以及资金技术投入不足等问题。为推动智能通风技术的进一步发展,需要按照稳定性与可靠性原则,加快核心装备研发,强化系统集成,健全标准规范,完善实时监管体系,为矿山安全高效开采提供坚实保障。

**关键词:** 煤矿通风; 智能控制; 参数感知; 设备控制; 系统决策

## 引言

煤炭是我国的主体能源,在国民经济中占据重要地位。随着社会经济的快速发展,对煤炭资源的需求持续增加,煤矿开采强度不断加大。与此同时,我国东部煤炭资源日渐枯竭,开采重心逐步西移,井下采掘环境更加复杂,灾害发生风险加剧。保障矿井通风安全,是煤矿企业实现本质安全、高效开采的前提。

传统煤矿通风以人工管理为主,存在信息滞后、管理粗放等问题。为适应现代矿山安全高效开采需要,研发基于物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术的智能通风系统迫在眉睫。智能通风通过在井下巷道布设各类传感设施,实时感知通风系统的运行状态,结合通风管网模型和专家经验知识,研判灾害风险,优化风量分配,指导通风设备精准调控,在复杂多变的井下环境中实现通风系统的自适应、智能化管控。

## 一、智能通风现状

煤矿智能通风建设涉及通风参数智能感知、通风设备智能控制、通风系统智能决策3个关键方面。(见表1)

### (一) 通风参数智能感知

精准获取风速、风量、风压等通风参数是实现智能通风控制的基础。目前矿井普遍采用热式、超声波式风

速传感器测量局部风速,但易受粉尘、水雾等干扰。为提高测量精度,可采用多传感器数据融合技术,综合处理多点多源异构传感器数据,消除随机干扰,估计全局最优风速风量<sup>[1]</sup>。此外,基于RFID定位和移动通信网络,可对井下作业人员的位置进行实时跟踪,结合通风网络模型计算出人员所处位置的风量,为科学调度提供依据。

例如红柳林煤矿在主运输大巷、进风、回风等重点巷道安装了包含50个监测断面的智能通风监测子系统。每个监测断面配置热敏电阻温度传感器、电容式湿度传感器、压差式压力传感器和超声测风仪,可实时测量巷道温度、湿度、压力和风量等4类16项参数。数据经汇聚、清洗后统一上传至地面调度中心,为风机优化控制提供支撑。经对比分析,智能通风监测系统的测量精度较传统人工测量提高35%以上。

### (二) 通风设备智能控制

风机和风门是调节矿井通风的关键设备。智能通风系统通过变频技术和PLC控制实现风机和风门的远程自动控制。在主通风机房安装变频控制柜,地面集控室可根据井下需风量实时调节风机转速;对地面风井和井下采区关键风门实施电液控制改造,通过组态软件平台实现风门的一键远程启闭和反馈<sup>[2]</sup>。

近年来,随着人工智能技术的发展,一些学者尝试采用智能算法对通风设备实施自适应控制,例如基于模糊神经网络的风机智能控制策略,融合风网解算、通风阻力等多源信息,实时计算风机最优运行参数。仿真结

**作者简介:** 谢洪路(1985.12-),男,汉族,山东济宁人,毕业于山东科技大学,本科学历,工程师,研究方向:采矿工程。

表1 煤矿智能通风建设的参数类别

类别	数据参考/技术指标
通风参数 智能感知	超声波风速传感器测风精度0.1m/s，启动风速低至0.01m/s
	部署200余类智能传感器，实时监测瓦斯浓度、温湿度、粉尘含量等15项核心指标
	CPD120(A)本安型风压表量程700-1200hPa，精度0.05%FS；GPD1000压差传感器量程0-1000Pa，精度0.05%FS
	矿井最大通风阻力路线常态化监测
	304个监测点，29个分站实时捕捉环境变化
通风设备 智能控制	主通风机远程监测与故障诊断，一键启动、一键倒风、一键反风
	局部通风机根据瓦斯浓度远程自动调频，实现风量自主调节
	自动风门支持雷达监测与红外感应联合识别，实现人车通过时自动启闭，具备防夹功能；支持远程控制
	远程控制自动风窗，可根据设定风量或开合角度精准调节
	多组通风设施（风门、风窗、主扇、局扇）智能联动控制，实现工作面反风、区域风量调节、火灾风流控制等功能
通风系统 智能决策	AI算法每10秒自动优化风机转速、风门开合度及巷道风量分配（山西某金属矿应用：通风能耗降低37%，有效风量利用率提升至92%）
	通风网络在线监测与动态解算，关键用风点风网监测准确率达到95%
	智能预警平台可提前2小时预测局部通风异常，自动触发应急调控（如内蒙古某煤矿30秒内启动备用风道避免瓦斯聚集）
	三维可视化驾驶舱实现矿井通风“一图统览”，支持PC端、移动端多终端协同
	1分钟完成测风，3分钟内完成调风（效率较传统方式大幅提升）
	管控平台控风方案决策响应应用时小于25秒，风量调控准确度达到96%
	灾变时期应急调控（如远程操控风门自动闭合形成防火隔离带，主通风机反转建立避灾风流），整个过程比传统模式提速70%

果表明，该策略可在满足井下需风量的前提下，降低能耗15%以上。或者强化学习的风门群协同控制算法，通过多风门联合调节，在不同通风工况下快速实现风量的精准分配。与传统单风门控制相比，风量波动降低70%以上。

以上研究拓展了矿井通风设备精细化控制的新思路，为通风系统的节能增效提供了有力工具，具有广阔的应用前景。但目前相关成果多停留在仿真阶段，工程应用较少，亟需加强产学研合作，加快成果转化。

### （三）通风系统智能决策

通风系统是一个复杂巨系统，涉及众多影响因素。为克服人工经验决策的局限性，需要开发智能决策支持系统，辅助管理人员科学制定通风方案。基于本体和规则知识库构建的矿井通风智能决策模型，将通风网络结构、通风设备工况等编码为本体知识，形成覆盖不同灾害场景的预案库。当发生火灾时，系统可快速匹配预案，并根据人员位置信息、当前通风状态等进行推理决策，

自动生成疏散路线。与传统人工决策相比，应急响应时间缩短60%以上。

此外，基于三维动态模拟和虚拟现实技术，可构建矿井通风系统的数字孪生，实现井下作业环境的可视化展示。管理人员可不下井即了解井下通风系统的实时运行状态，并通过虚拟环境模拟不同通风方案的效果，优选最佳实施方案。为增强通风管理人员的应急处置能力，淮北矿业集团利用虚拟现实、人机交互等前沿技术，建成了智能通风培训中心。该中心可模拟矿井内复杂多变的灾害环境，为管理人员提供逼真的沉浸式培训体验。可模拟100种矿井火灾、瓦斯、水害等灾害场景，为120名通风管理人员开展了15场应急演练，显著提高了应急指挥能力<sup>[9]</sup>。

### 二、存在问题与对策

智能通风技术在煤矿安全生产中发挥着日益重要的作用，但推广应用过程中仍面临诸多挑战。智能通风涉及多个专业领域的交叉融合，对系统集成和数据互通提

出了较高要求，但目前多数矿井的智能通风系统缺乏顶层设计和统一规划，形成了信息孤岛，严重制约了系统整体效能的发挥。同时，部分矿井受成本制约，采购了质量不达标核心部件，加之日常维护管理不到位，导致测量失准、控制失灵等故障时有发生。此外，基层矿井普遍缺乏既懂采矿又懂信息化的复合型人才，现有的通风管理模式也难以适应智能化变革。

针对以上问题，亟需采取有效措施推动智能通风技术的规模化应用。

首先要加强顶层设计，制定矿区智能通风建设总体方案，统筹气体监控、压风监控、人员定位等各系统建设，做到平台统一、数据融合、协同联动。这需要成立专门的规划小组，深入调研矿井实际需求，借鉴成熟经验，科学编制实施路线图。

其次要加大关键技术和核心装备攻关力度，研制一批安全可靠、性能先进的智能传感器、工业控制系统等，实现自主可控。可鼓励龙头企业牵头组建产学研联合攻关团队，充分发挥各方优势，加快成果转化步伐。

再次要加快培养一批既懂采矿又懂信息化的复合型人才，建立科学规范的智能通风管理制度，完善考核奖惩机制，充分调动一线员工的积极性。可探索产教融合新模式，在高校开设智能矿山相关专业，有针对性地提升毕业生的实践能力。

最后要建立严格的监管体系，利用大数据、物联网等新技术，对系统运行状态实施精准监控，确保安全高效运行。监管不能流于形式，要做到责任落实到人，奖罚分明，决不姑息任何违规行为。

### 三、发展方向

为推动智能通风技术的应用普及，保障煤矿安全高效开采，未来应重点在以下几方面发力。

第一，制定智能通风顶层规划，加快标准规范制修订。以国家煤矿智能化发展规划为指引，因地制宜编制矿区智能通风建设方案，统筹气体监控、压风监控、人员定位等各系统建设，做到平台统一、数据融合、协同联动<sup>[4]</sup>。加快智能通风系列标准制定，规范数据采集、传输、处理和应用流程，实现系统间的互联互通、信息共享。

第二，加大关键共性技术攻关，强化装备自主可控。聚焦矿用智能传感器、工业控制系统、数据采集与融合处理等方向，加快自主核心技术研发及产业化。支持龙头企业牵头，联合高校、科研机构，建设一批智能通风技术创新中心，解决基础理论、关键部件、集成技术等“卡脖子”难题。研制一批安全可靠、性能先进的智能通风装备，打破国外垄断，实现自主可控。

第三，加强复合型人才培养，完善智能通风管理体系。面向煤炭行业数字化转型需求，加快智能矿山相关专业学科建设，优化人才培养方案，强化新技术新方法教学，培养一批既懂采矿又懂信息化的复合型人才。建立科学规范的智能通风管理制度，明确岗位职责，健全奖惩机制，确保系统平稳高效运行。加快安全生产信息化“上大云、用大数”，依托大数据分析和移动执法系统，实现远程实时监管，推动瓦斯超限、重点设备故障等隐患定位溯源和应急处置。

### 结论

智能通风是煤矿企业向安全、高效、绿色、智能化转型的重要抓手。经过多年发展，智能通风系统在通风参数感知、通风设备控制、通风系统决策等方面取得了积极进展，但尚未完全成熟，推广应用中还面临系统集成度不高、设备可靠性不足、专业人才匮乏等问题。未来应统筹规划，突破关键技术，创新体制机制，加快智能通风系统的工程化、产业化、规模化发展，切实提升煤矿安全保障能力，为建设智慧矿山、实现碳达峰碳中和目标提供有力支撑。

### 参考文献

- [1] 刘皓鑫. 煤矿井下智能局部通风控制系统功能布局[J]. 装备维修技术, 2024(5).
- [2] 朱旭颖. 多源暖通空调通风联合智能施工控制技术探究[J]. 中国科技投资, 2023(18): 99-101.
- [3] 王国法. 煤矿智能化最新技术进展与问题探讨[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(1): 27.
- [4] 李裕岳, 谌曲. 煤矿通风机智能控制与监测系统研究[J]. 数字化用户, 2023, 29: 142-144.