

# Analysis on the application of intelligent technology in coal mine ventilation safety

Cheng Li Shupei Wang

Kexin Coal Industry Co., Ltd., Kexin City, Aksu, Xinjiang, 842000, China

## Abstract

Ensuring the safety of coal mine workers and maintaining normal production is the top priority in coal mine ventilation safety. As the depth and difficulty of coal mining increase, the management of coal mine ventilation safety has gradually revealed several shortcomings, including monitoring blind spots, delayed warnings, and high energy consumption. The integration of intelligent technology provides crucial technical support for coal mine ventilation safety management. This paper explores the impact of intelligent technology on coal mine ventilation safety by examining its application value. It focuses on the role of high-precision sensors, wireless sensor networks, big data processing, and automatic control systems in coal mine ventilation safety management, aiming to provide theoretical and technical support for coal mine safety management.

## Keywords

intelligent technology; coal mine ventilation; safety management; application

# 智能化技术在煤矿通风安全中的应用分析

李成 王澍沛

库车市科兴煤炭实业有限责任公司, 中国·新疆阿克苏 842000

## 摘要

煤矿通风安全是确保煤矿工人生命安全和煤矿正常生产的头号工作。煤矿开采深度和难度加大导致煤矿通风安全管理逐步暴露出监测盲点多、预警迟滞、能耗高等短板, 智能化技术的加入为煤矿通风安全管理工作提供重要的技术支持。本文通过研究智能化技术的应用价值对煤矿通风安全的影响, 立足当前煤矿通风安全的现状, 对智能化技术中涉及的高精度传感器、无线传感器网、大数据处理及自动控制系统等在煤矿通风安全管理工作中的作用进行了重点研究, 从而达到为煤矿安全管理提供理论支撑和技术支持的目的。

## 关键词

智能化技术; 煤矿通风; 安全管理; 应用

## 1 引言

煤矿通风是煤矿安全生产的核心技术之一, 其根本目的是为矿井的掘进巷道提供足够多的空气量, 稀释和排除有毒气体, 并降低瓦斯爆炸、粉尘爆炸和中毒等安全事故发生率。传统通风安全管理依靠人工巡查和定点固定监测, 对煤矿井下有害气体环境变化不具有全面、实时、动态监测和快速应急功能。随着煤矿开采逐步走向深部, 通风条件日益复杂, 且危及因素日益突出, 传统的通风安全管理方法弊端暴露。传感技术、无线通信、大数据分析与自动化控制等智能科学技术的进步, 使煤矿通风安全问题迎来转机, 其先进的技术手段和装备提高了煤矿井下通风监测的精准度和快速化程度, 对风量进行动态调控及有效节能, 并优化井下通风

系统的管控、降低安全事故发生率, 为矿工提供一个更加安全和舒适的环境。

## 2 智能化技术在煤矿通风安全中的应用价值

### 2.1 提升实时监测能力, 消除监测盲区

现有煤矿通风监控设备多为固定设备安装方式, 由此可以看出这种方式确实存在很大的缺点, 比如对于矿井复杂地形部分, 由于地形复杂, 有些部位往往无法有效地监控到, 所以这就造成了监控的死角, 对于深部矿井或偏僻角度, 由于布点布线困难, 没有实时数据的支持, 对井下通风情况的分析掌握则不够完善和及时。而采用智能化技术, 可以很好地对此问题进行彻底解决<sup>[1,2]</sup>。

### 2.2 实现预警机制, 降低安全事故风险

矿井通风的安全管理直接关系到矿工人身安全和矿井的安全生产, 基于经验的传统安全管理过程需要人工巡查、分析, 在很多情况下无法及时发现、不能有效排除事故隐患。

【作者简介】李成 (1987-), 男, 中国河南永城人, 本科, 工程师, 从事煤矿通风安全研究。

而当前人工智能和大数据分析、机器学习能够对海量的数据进行深度挖掘、有效分析, 挖掘异常变化, 从而及时进行超前判断, 建立多元因素的综合模型, 对瓦斯突变、风压突变等事故因素进行有效判断和异常预警。

### 2.3 优化通风系统运行, 节约能源

煤矿井下的通风系统耗能是整个煤矿系统中耗能最大的环节, 对煤矿系统的影响最为明显, 因而煤矿井下的通风系统运行效率高低将直接影响到煤矿井下系统的经济效益与环境效益。传统通风调节模式相对粗放, 通常采取固定风量大小来进行通风调节, 这极易造成通风系统风量过剩或过小的情况, 从而导致煤矿井下系统出现浪费能源或瓦斯、火灾隐患等问题。运用智能化技术, 通过对矿井系统当前通风环境中存在的相关数据进行监测与分析, 并结合自动化控制技术实现对通风设备的调节。

## 3 煤矿通风安全现状

### 3.1 监测盲区明显

现阶段, 用于煤矿通风系统的各种监测装置大部分还是属于传统的安装固定监测装置, 监测点较为稀疏, 尤其在煤矿的深部、交叉口、地形较为复杂的地方, 覆盖率较低, 存在盲区。这些盲区缺少有效的传感装置, 无法在第一时间得到环境变化的数据, 使得瓦斯溢出、有害气体聚集等隐患没有被及时发现, 大大增加了安全隐患; 另外, 矿井的环境也比较恶劣, 潮湿、高温以及粉尘等环境因素影响着监测装置的稳定运行, 从而导致监测设备的出现频率很高, 有些甚至无法获取数据或丢失数据。

### 3.2 数据反馈滞后

安全监测反馈是保障煤矿通风安全管理的关键一环, 而目前很多煤矿依然采用人工巡检和定期采集等传统方式监测煤矿通风数据, 往往会出现通风安全监测数据时效性不佳的问题, 人工巡检的时间间隔过长、数据的采集、传输、处理方式以及异常的处理都需要经过较多的步骤才能完成, 尤其是在数据的反馈和传输的过程中容易造成信息的传递延迟或失真, 难以在第一时间发现和解决矿井通风异常的情况。而通风的即时监测信息反馈的滞后性在一定程度上影响了对煤矿通风状况的掌握, 处于被动的态势, 无法实现对通风的即时调整和科学预判, 煤矿通风安全管理由于数据监测与反馈的滞后性, 也加大了煤矿的安全风险。

### 3.3 调节手段有限

现有的煤矿通风系统调节手段仍较为落后且片面单一, 主要依靠现场的人为调节, 即调节风门大小, 改变风机工作转速等, 缺乏先进的人工智能自动化控制系统, 依靠人工的调节较为低效, 且人为的把握不能做到精准, 不能有效把握矿井通风状况, 在矿井通风系统的调节中存在着不稳定性, 通风系统中通风量有少有大, 对安全性形成一定的威胁, 也造成了相应的资源浪费。由于没有一个针对当前情况做出的即时调节, 因而通风系统没有随着矿井通风的环境及时调

节, 对矿井通风调节来说, 其综合通风系统的安全性和效率也受到了一定的影响。

## 4 智能化煤矿通风安全技术的关键技术分析

### 4.1 高精度传感器技术

高精度传感器是智能煤矿通风安全系统关键部件, 用来采集和精确、实时监测矿井中的各种关键参数, 图 1 为煤矿智能通风管控平台。高精度传感器采用先进的电化学法、红外法、催化燃烧法等, 实现对多种气体的有效监测、灵敏度高和快速响应; 实现矿井中风速、风压高精度监测, 需要微机械压力传感器、超声波风速传感器, 动态响应速度快, 能实时反映风量的变化等; 采用高精度的电阻技术、电容技术实现温度、湿度参数检测; 高精度传感器设计需实现模块化, 便于安置在矿井复杂空间狭小的地方, 多点多位立体化实现不形成死角盲区监测; 需考虑高精度传感器在矿井的电源及电量问题, 既要满足低功耗长寿命要求, 电池供电或者电压范围有限等限制, 又要采取多层抗干扰的屏蔽技术实现对矿井的电场和粉尘等干扰的有效抑制; 由于矿井环境潮湿且含有腐蚀性气体, 传感器的外壳需要具有抗腐蚀性, 并有防水、防尘功能, 有效保证长期稳定工作; 实现传感器的标定和自诊断, 实现自动标定校正和异常报警, 能减少和避免因为设备的原因造成数据的错误。



图 1 煤矿智能通风管控平台

### 4.2 无线传感网络技术

矿井无线传感网是矿井智能通风安全保障系统无线网络的专用技术之一, 其有效解决了矿井有线通信建设难、维护成本高的弊端, 在提供传感器布设灵活性和信号快速及时传递等方面取得重大突破和显著成果。矿井内部道路错综复杂, 巷道长度长、环境恶劣, 采用有线通信的建设成本高、线路容易遭到机械损伤和环境影响, 维护难度高, 但可利用矿井无线传感器组网技术, 采用自组网和多跳路由的方法保证节点间的信息传输和高效传递, 达到覆盖矿井各区域的目的。矿井无线传感器网设计还考虑到井下信号传播的衰减和电磁干扰的难题, 针对井下复杂多变的环境, 选择低功耗蓝牙、ZigBee、LoRa 等通信协议满足井下巷道传输要求, 保证井下实时传输数据的质量和实时性。智能路由算法, 可以根据无线传感器之间的信号衰减、反射情况自动选择最合适

的传递通道, 进行最快速的数据传递, 在出现信号屏蔽或信号干扰时, 不再进行“无效”传输, 确保矿井上“地面服务器”能够快速、及时接收数据, 避免发生数据丢包的问题, 最大限度降低发生事故导致人员伤亡的可能和机会<sup>[3,4]</sup>。

#### 4.3 大数据分析与机器学习

智能煤矿通风安全系统借助传感器技术以及无线网络技术, 对煤矿通风环境进行监控, 采集了庞大的环境数据, 如何将这庞大数据的有价值数据挖掘出来实现准风险评估控制和危险预测, 才是大数据分析及机器学习技术施展拳脚的地方。大数据技术通过数据加工、整理、洗濯、多源数据融合、多源数据信息融合剔除数据噪声和空缺, 构建通风环境大数据库。基于数据挖掘分析, 挖掘出井下甲烷浓度、风速和压力、温湿度变化规律, 建立出井下通风环境风险评价数学模型的基础。智能算法还用于风险预测以及预警的智能化发展。常用的智能算法有神经网络、支持向量机 (SVM)、决策树、随机森林、集成学习等, 可根据历史数据和在线数据训练风险识别算法, 及时发现瓦斯超限、通风异常等风险, 还可以根据矿井生产变化, 实时优化模型, 动态分析, 预测潜在风险, 通过不断地调整与学习降低模型错误预测率与漏报率, 且不再仅为静态报警, 也可以根据瓦斯浓度变化动态预测、火患发生等可能带来的问题, 为预测提供科学的依据。

#### 4.4 自动控制与执行机构技术

自动控制技术是自动化煤矿通风安全系统的主要实施单元, 对监测分析的数据进行实时的调节控制, 将主通风机、辅助风机、风门、阀门等通风设备作为自动化控制的主体, 自动调节风量、风压, 保持矿井通风系统的动态平衡, 保持安全稳定。在自动控制系统中, 以传感器等反馈的实际环境参数、风险评估结果为数据基础, 应用自动控制的算法技术做出决策、自动执行控制命令等操作, 减少人力操作依赖, 提高控制速率和响应度等。

常用的自动化控制技术包括 PID 控制、自适应控制、模糊控制等。PID 控制因其实用性广、操作性强, 主要应用到通风设施中调节通风机的速率和闸门的开度, 通常矿井环境动态变化时系统能够做出及时的反应。自适应控制技术能

够随着环境参数的变化自动选择合适的控制量, 并随着复杂的地质条件和多变的气候条件实现环境因子控制参数的调整。模糊控制技术能够识别出环境中的不可确定关系和非线性关系, 能够确保系统的鲁棒性强, 从而能够保证通风控制的精准性和稳定性。控制系统中的执行装置技术也十分关键, 具体执行机构必须实现无故障运行和响应, 具备很高的可靠性; 矿井通风系统风门和风阀执行机构控制要求风门和风阀开度可以精准控制; 煤矿通风系统风机执行机构控制要求风机转速根据系统的需要及时调整。因此执行机构技术一般采用驱动马达或驱动气缸的执行机构组成, 而且具体执行机构中还具有冗余和故障监测技术, 确保执行机构在矿井环境中长时间可靠和安全运行。

### 5 结语

智能化技术在煤矿通风安全中的应用。目前煤矿开采条件越来越复杂, 通风安全管理要求也越来越高, 因此智能化技术对矿井通风安全管理非常重要, 不仅能提高通风安全系统的实时监控及预警能力, 解决监控盲区等问题, 通过自动控制保障通风系统的稳定运行、节能环保, 有效提高矿井职工工作环境, 保障煤矿安全生产; 将来通过传感技术、无线通信、大数据、人工智能技术的发展, 通风安全的智能化还将趋于智能化、集成化及自主化。煤矿企业应加快智能化技术的发展, 并得到推广普及, 努力实现矿井通风安全数字化, 为矿井绿色、安全、高效的生产提供强有力的保障。

### 参考文献

- [1] 张洁. 智能化通风系统在煤矿安全生产中的应用 [N]. 安徽科技报, 2025-04-23 (012).
- [2] 李勇. 自动化技术在煤矿通风安全中的应用分析 [J]. 能源与节能, 2024, (04): 249-251. DOI:10.16643/j.cnki.14-1360/td. 2024.04.062.
- [3] 元阳民. 通风安全技术在煤矿开采中的运用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (06): 146-147. DOI:10.13487/j.cnki.imce.019739.
- [4] 高鹏飞. 通风技术与安全技术在煤矿开采中的应用策略 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (01): 174-175. DOI:10.13487/j.cnki.imce.019205.