

矿井智能通风与实时监测系统

刘茂林

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要：通过全面介绍矿井智能通风与实时监测系统的理论基础、系统架构、主要功能及其显著优势。系统通过高精度传感器实时采集矿井内环境及通风设备数据，利用智能算法实现通风设备的精准调控，有效提高了通风安全性与效率，降低了能耗，并极大提升管理效率。感知层、传输层、控制层与管理层的协同作用，确保了矿井通风系统的稳定运行与安全生产，为矿山企业的可持续发展奠定了坚实基础。

关键词：矿井通风；实时监测；智能系统；安全生产

1 矿井通风与实时监测理论基础

矿井通风与实时监测是确保矿山安全生产的重要理论基础。矿井通风是指通过向矿井内输入新鲜空气，排出废气和有害气体的过程，以保持矿井内空气流通和清新，这对于保障矿工生命安全、提高作业效率至关重要。矿井通风系统由通风机、通风网络、通风构筑物等组成，通过机械或自然动力作用，将地面新鲜空气连续供给矿山作业地点，同时稀释并排出有毒、有害气体和粉尘，调节矿内气候条件，创造安全舒适的工作环境。风流调控技术是矿井通风的关键，通过调节风流的方向、速度和流量，确保矿井内空气流通和安全。实时监测则是利用先进的传感器和监测系统，对矿井内部环境和工艺参数进行实时监测和数据采集，这些参数包括温度、湿度、气体浓度等，目的是及时发现潜在的危险因素，并采取相应的预警和控制措施。常用的监测技术包括物理传感技术、化学传感技术和远程监控技术，它们能够实时获取矿井内的安全参数，对异常情况进行预警和报警，确保矿井内的空气质量和安全^[1]。在矿井通风与实时监测的理论基础上，矿山企业还应建立完善的通风安全管理机构，配备专业人员，加强日常管理和技术监督，提高通风设备和监测系统的可靠性和稳定性。

2 矿井智能通风与实时监测系统架构

2.1 感知层

感知层作为矿井智能通风与实时监测系统的基石，肩负着数据采集的重任。其核心组件为各类传感器，它们如同分布在矿井各处的“触角”，敏锐捕捉着关键信息。风速传感器多采用超声波原理，在通风巷道中，利用超声波在空气中传播速度与风速的关系，精确测量风速，即便在巷道内风流复杂的情况下，也能确保测量精度维持在 $\pm 0.1\text{m/s}$ ，为通风量的精准调控提供关键依据。风压传感器则通过压敏元件，将通风巷道内的压力变化

转化为电信号，能精准感知微小的风压波动，助力通风系统维持稳定风压。瓦斯传感器运用催化燃烧原理，当瓦斯气体与传感器内的催化元件接触发生燃烧反应时，会导致元件电阻变化，借此快速检测瓦斯浓度，检测精度可达0.01%，及时察觉瓦斯异常情况，为安全生产筑牢防线。一氧化碳传感器利用电化学原理，对一氧化碳气体产生电化学反应，从而准确检测其浓度，保障矿井内空气质量。另外，温度传感器和湿度传感器也各司其职，分别采用热敏电阻和湿敏电容技术，实时监测矿井内环境的温度与湿度，为通风系统的综合调控提供全面数据支持。这些传感器均匀分布于矿井的通风巷道、采煤工作面、掘进头以及通风设备周边，形成一个全方位、无死角的数据采集网络，确保系统能及时、准确地获取矿井通风和环境信息。

2.2 传输层

传输层在整个系统中扮演着“信息桥梁”的关键角色，负责将感知层采集到的海量数据高效传输至控制层和管理层。为适应矿井复杂的环境，采用工业以太网与无线通信技术相结合的混合组网模式。在通风巷道等相对固定且环境较为稳定的区域，铺设工业以太网电缆。工业以太网凭借其高速率、高可靠性的特点，能够以100Mbps甚至1000Mbps的速率稳定传输数据，满足系统对大量实时数据快速传输的需求，确保数据在传输过程中的完整性与准确性；而在移动设备频繁活动以及难以布线的区域，如采煤工作面，无线通信技术优势尽显。通过部署WiFi接入点，巡检人员手持终端可实时上传采集的数据，同时接收系统下达的指令。WiFi技术提供了便捷的无线接入方式，覆盖范围可达数十米，满足了移动作业场景下的数据传输需求。在一些更为偏远、环境复杂的区域，4G通信技术也被引入，其具备更广的覆盖范围和较强的抗干扰能力，保障数据传输的稳定性与连

续性。传输层构建的这种稳定可靠的数据传输网络，打破了空间限制，确保感知层与控制层、管理层之间信息流通顺畅，为系统的高效运行奠定坚实基础。

2.3 控制层

控制层堪称矿井智能通风与实时监测系统的“智慧大脑”，主要由可编程逻辑控制器（PLC）与智能通风控制器协同组成。PLC以其高可靠性和强大的逻辑控制能力，在系统中发挥着核心作用。它依据感知层传来的各类数据，运用先进的控制算法，对通风设备进行精准调控。当感知层反馈某区域瓦斯浓度升高时，PLC迅速运算，自动调节通风机的转速，通过改变通风机的叶轮角度或电机频率，增加该区域的通风量，从而有效降低瓦斯浓度。当通风巷道内风压发生变化时，智能通风控制器依据风压传感器数据，通过控制风门的开启和关闭，灵活调节通风网络的风量分配^[2]。例如，当某条通风巷道因地质变动或其他原因导致风压异常时，智能通风控制器精准控制相关风门，引导风流重新分配，确保通风系统整体稳定运行。控制层的这些智能控制操作，不仅保障了矿井通风的安全性，还通过优化通风设备运行，实现节能降耗，使通风系统在不同工况下都能保持高效运行状态。

2.4 管理层

管理层是系统的“指挥中枢”，主要由监控计算机、数据分析软件和数据库组成。监控计算机为管理人员提供了直观的操作界面，通过该界面，管理人员能够实时查看矿井通风和环境参数。界面采用数据可视化技术，将风速、风压、瓦斯浓度等参数以图表、曲线等形式呈现，方便管理人员快速了解系统运行状况。例如，风速参数以动态柱状图展示，风压参数以实时折线图呈现，瓦斯浓度则通过不同颜色的警示灯直观显示，一旦参数超出正常范围，立即发出醒目标识。数据分析软件运用数据挖掘、机器学习等前沿技术，对数据库中存储的海量历史数据进行深度剖析。通过对风速、风压等参数的长期分析，软件能够建立数学模型，预测通风机的故障发生时间。例如，通过对通风机的运行温度、振动频率等参数的关联分析，提前预测轴承磨损、叶轮不平衡等潜在故障，为维护人员提前安排维护提供科学依据，避免因设备故障导致通风事故。数据库则如同系统的“数据仓库”，对采集到的各类数据进行有序存储，确保数据的完整性与可追溯性，为数据分析和决策制定提供坚实的数据支撑，全方位提升矿井通风管理的科学性与高效性。

3 矿井智能通风与实时监测系统功能

3.1 实时监测功能

通过安装在矿井内部的高精度传感器，系统能够实时采集矿井内空气的质量参数（如氧气含量、有害气体浓度）、环境参数（如温度、湿度）以及通风设备的运行状态参数（如风速、风量、风压）。这些数据通过传输层实时上传至监控中心，形成直观的图表或动画展示，使管理人员能够即时了解矿井内的实际状况。实时监测功能不仅有助于及时发现安全隐患，还能为后续的通风调节和故障排查提供宝贵的数据支持，确保矿井的通风状况始终处于安全、高效的状态。

3.2 智能通风控制功能

智能通风控制功能是根据实时监测数据，自动调整通风设备的运行状态和参数，以满足矿井通风需求的功能。该功能通过设定合理的通风目标，如保证巷道内有害气体浓度不超标、维持适宜的温湿度条件等，系统能够自动计算所需的通风量、风速等参数，并调节通风机的转速、风门的开闭程度等，实现精准控制。智能通风控制功能不仅可以提高通风效率，降低能耗，还能在紧急情况下快速响应，调节通风系统，保障人员安全。

3.3 故障诊断与预警功能

矿井通风系统是一个复杂的网络系统，其设备众多、线路复杂，容易出现故障。矿井智能通风与实时监测系统的故障诊断与预警功能能够实时分析通风设备的运行数据，识别潜在的故障点，如电机过热、轴承磨损等，并及时发出预警信号，提示管理人员进行维护或更换。该功能不仅可以减少设备故障对生产的影响，还能有效延长设备的使用寿命，降低维修成本^[3]。同时，故障诊断与预警功能还能能为设备维护和保养提供数据支持，帮助制定更加科学合理的维护计划。

3.4 远程监控与操作功能

通过该功能，管理人员可以在远离矿井的地方，如办公室、家中等，通过互联网或移动通信网络，实时查看矿井通风系统的运行状态和监测数据，对通风设备进行远程控制和调节。这不仅提高了管理效率，降低了人力成本，还能在紧急情况下迅速响应，远程调整通风系统，保障矿井安全。此外，远程监控与操作功能还能实现数据的远程备份和存储，防止数据丢失或损坏，为矿井的长期安全运行提供有力保障。

4 矿井智能通风与实时监测系统优势

4.1 提高通风安全性

矿井智能通风与实时监测系统在保障通风安全方面具有显著优势。系统中的感知层部署多种高精度传感器，如瓦斯传感器和一氧化碳传感器，能够实时、精准

地监测矿井内有害气体浓度。当瓦斯浓度接近或超过安全阈值时,系统立即触发报警机制,同时控制层迅速做出响应,自动调节通风机转速,增加通风量,稀释瓦斯浓度,有效防止瓦斯积聚引发爆炸事故。据相关数据统计,引入该系统的矿井,瓦斯超限预警时间可提前至1-3分钟,为及时采取安全措施争取了宝贵时间。在火灾预防方面,系统通过温度传感器对矿井内各区域温度进行实时监测,一旦发现温度异常升高,能迅速判断可能存在的火灾隐患,并启动相应的灭火和通风策略。例如,当检测到某区域温度在短时间内急剧上升时,系统自动关闭该区域周边的风门,防止火势蔓延,同时加大火灾区域的通风量,排出烟雾和有害气体,为救援工作创造有利条件。此外,系统还能实时监测通风巷道的风压和风速,确保通风系统稳定运行,避免因通风不畅导致的安全事故,全方位保障矿井通风安全。

4.2 提升通风效率

感知层的风速传感器和风量传感器能够精确测量通风巷道内的风速和风量,为通风系统的优化提供准确数据。控制层根据这些实时数据,运用智能算法对通风设备进行动态调控。例如,在采煤工作面推进过程中,随着作业面的变化,系统自动调整通风机的运行参数和通风网络中风门的开度,使风流能够精准地输送到需要的区域,满足不同作业区域的通风需求。通过对通风系统的精细化管理,有效避免了传统通风系统中存在的风量分配不合理、通风死角等问题。与传统通风系统相比,智能通风系统能够使通风效率提高20%-30%。在一些大型矿井中,引入该系统后,通风阻力降低15%左右,通风网络中的风量分配更加均衡,确保了各个工作区域都能获得充足且适宜的风量,保障了矿井安全生产的同时,也提高了煤炭开采效率。

4.3 降低能耗

控制层能够根据矿井的实际生产情况和通风需求,对通风设备进行智能启停和调节。在矿井生产低谷期或某些区域暂时停止作业时,系统自动降低通风机转速或关闭部分通风设备,减少不必要的能源消耗。例如,当某个掘进头完成掘进任务,暂时停止作业时,系统通过感知层获取该区域的状态信息,控制层随即调整相关通风设备,使该区域的通风量维持在最低安全标准,避免

了通风设备的空转浪费^[4]。另外,系统还通过优化通风网络,降低通风阻力来实现节能。智能通风控制器根据风压传感器的数据,合理调整风门、风窗的开启程度,优化风流路径,减少风流在通风巷道内的能量损失。经实际应用验证,采用该系统后,矿井通风系统的能耗可降低15%-20%,为企业节约了大量的能源成本,提升了经济效益。

4.4 提高管理效率

管理层为矿井通风管理带来了质的飞跃,极大地提高了管理效率。监控计算机的可视化操作界面,将矿井通风和环境参数以直观、易懂的方式呈现给管理人员。管理人员无需复杂的数据分析过程,就能快速了解系统运行状况,及时发现问题并做出决策。例如,通过风速、风压、瓦斯浓度等参数的实时图表展示,管理人员可以一目了然地判断通风系统是否正常运行,是否存在安全隐患。数据分析软件利用数据挖掘和机器学习技术,对历史数据进行深入分析,为管理决策提供科学依据。通过对通风设备运行数据的分析,软件能够预测设备的维护周期和故障风险,提前安排维护计划,减少设备突发故障对生产的影响。

结束语

综上所述,矿井智能通风与实时监测系统在保障矿山安全生产、提高通风效率、降低能耗及提升管理效率等方面展现出巨大潜力。随着技术的不断进步和应用的深入推广,该系统将成为未来矿井通风管理的重要趋势。矿山企业应积极采用这一先进技术,不断优化通风系统,确保矿井通风安全,为矿工创造一个更加安全、高效的工作环境,推动矿山行业的智能化发展。

参考文献

- [1]范喜林.煤矿通风网络解算基础数据及其误差来源分析[J].能源技术与管理,2022,47(02):22-24.
- [2]史二娜,肖蕾蕾,姬冠妮.煤矿主通风瓦斯抽采泵节能智能控制系统设计[J].自动化与仪器仪表,2022,(03):87-90+95.
- [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(01):1-27.
- [4]赵健.矿井通风监测控制系统的可靠性分析[J].机械管理开发,2022,37(02):4-6.