

煤矿通风安全预警系统研究

王 宇

中煤岢底（兴县）煤业有限公司 山西 吕梁 033600

摘要：煤矿通风安全预警系统对保障井下安全生产意义重大。多源异构数据采集、智能分析等关键技术的应用，为风险预判提供支撑。系统运行中，传感器可靠性不足、数据处理能力受限、协同扩展性差等问题突出。通过优化传感器性能、升级数据处理算法、强化系统集成等改进措施，可有效提升预警系统的准确性与可靠性，助力煤矿安全生产管理水平提升，降低通风安全事故风险。

关键词：煤矿通风；安全预警；系统

引言

煤矿井下作业环境复杂，通风安全直接关系到矿工生命安全生产效益。随着智能化矿山建设推进，传统通风安全管理模式已难以满足需求，构建高效精准的通风安全预警系统成为行业发展必然趋势。本文针对煤矿通风安全预警系统展开研究，深入剖析多源异构数据采集、智能预警等关键技术，分析系统现存问题并提出改进策略，旨在为煤矿通风安全预警系统优化升级提供理论与实践参考，推动煤矿安全生产智能化转型。

1 煤矿通风安全预警系统概述

煤矿通风安全预警系统作为保障煤矿安全生产的核心技术体系，以动态监测、风险预判与智能决策为核心功能，通过构建多维数据感知网络与智能分析模型，实现通风系统异常状态的实时捕捉与超前预警。系统集成传感器技术、物联网架构与大数据分析平台，在井下巷道、采掘工作面等关键区域部署风速、风压、瓦斯浓度、温度等参数传感器，构建覆盖全矿井的立体化监测网络，这些传感器以毫秒级频率采集数据，确保通风系统运行状态的高精度实时反馈。系统数据处理模块采用边缘计算与云计算协同架构，井下边缘节点对原始监测数据进行初步降噪、特征提取，通过工业以太网或无线通信网络传输至地面数据中心，利用机器学习算法与数字孪生技术对通风系统运行趋势进行深度分析。基于风流网络解算模型与瓦斯扩散动力学模型，系统能够模拟不同工况下通风参数变化规律，当监测数据偏离安全阈值或出现异常波动时，通过模式识别算法自动触发分级预警机制，以声光报警、短信推送等方式将风险信息传递至管理人员终端。可视化决策支持系统通过三维建模技术构建矿井通风系统数字镜像，将实时监测数据、预测分析结果与巷道拓扑结构直观呈现，使技术人员能够快速定位异常区域，评估风险影响范围。系统内置应急

预案库，根据预警等级自动匹配最优处置方案，为现场应急决策提供科学依据。煤矿通风安全预警系统凭借其智能化、精准化的风险防控能力，有效降低因通风系统故障引发瓦斯积聚、火灾蔓延等灾害事故的风险，为煤矿安全生产构筑起坚实的技术防线，在保障作业人员生命安全生产与提升矿井生产效率方面发挥着不可替代的作用。

2 煤矿通风安全预警系统的关键技术

2.1 多源异构数据采集技术

（1）煤矿井下环境复杂，通风安全涉及多维度信息，多源异构数据采集技术通过部署多样化传感器实现数据获取。采用分布式光纤传感器监测巷道温度场分布，利用光纤后向散射原理感知沿程温度变化，对煤自燃前期温度异常升高进行精确捕捉；压力传感器则以高精度压阻芯片为核心，实时测量井下不同区域气压，结合巷道结构数据构建气压分布模型，为通风网络分析提供基础数据。（2）气体浓度采集运用电化学、红外光谱等多种传感技术。电化学传感器对一氧化碳、硫化氢等有毒有害气体具有高灵敏度响应，能快速检测低浓度气体泄漏；红外光谱传感器则通过分析特定气体分子的红外吸收光谱，实现甲烷等可燃气体的无干扰、高精度测量。粉尘浓度传感器采用激光散射原理，对呼吸性粉尘进行实时监测，为通风除尘系统调控提供依据。（3）设备运行状态数据采集借助振动、电流等传感器完成。振动传感器通过加速度计捕捉通风机等设备的振动信号，经频谱分析诊断轴承磨损、不平衡等故障；电流传感器实时监测设备工作电流，结合电机运行特性曲线，判断设备负载状态与运行效率，实现对通风设备全生命周期的健康监测^[1]。

2.2 数据处理与分析技术

（1）针对多源异构数据，数据处理与分析技术首先进行数据清洗与预处理。利用中值滤波、滑动平均等算

法去除传感器噪声干扰,通过插值算法填补因设备故障或通信中断导致的数据缺失;采用归一化处理统一不同类型数据的量纲,消除数据尺度差异对后续分析的影响,确保数据质量符合分析要求。(2)数据融合技术实现多源信息互补。基于特征层融合方法,将温度、气体浓度、压力等数据的特征参数进行关联分析,构建通风安全状态特征向量;决策层融合则综合各传感器的独立决策结果,运用D-S证据理论等方法进行决策信息融合,提高通风安全状态判断的准确性与可靠性。(3)数据分析阶段采用机器学习与深度学习算法挖掘数据价值。建立基于LSTM的时间序列预测模型,对瓦斯浓度、温度等动态数据进行趋势预测,提前识别潜在风险;运用聚类算法对通风系统运行数据进行分类,发现不同工况下的通风模式特征,结合关联规则分析挖掘通风参数间的潜在关系,为通风系统优化调控提供数据支撑。

2.3 智能预警技术

(1)智能预警技术通过构建多维预警模型实现风险预判。基于热力学与流体力学原理,建立煤自燃发火预警模型,结合温度梯度、氧气消耗速率等参数,运用热释放速率理论判断煤自燃发展阶段;构建瓦斯爆炸风险预警模型,综合考虑瓦斯浓度、氧气含量、火源能量等因素,通过化学反应动力学方程计算爆炸概率,确定预警等级。(2)采用模式识别算法提升预警准确性。利用卷积神经网络(CNN)对传感器数据序列进行特征提取,训练建立通风异常模式识别模型,能够快速识别风流短路、通风设备故障等异常工况;支持向量机(SVM)则用于分类预警,根据数据特征将通风安全状态划分为正常、预警、危险等不同等级,实现精准预警。(3)动态阈值调整机制增强预警适应性。通过分析历史数据与实时监测数据,采用自适应阈值算法动态调整预警阈值。在不同开采阶段、不同地质条件下,根据通风系统实际运行特性自动优化阈值参数,避免因固定阈值导致的误报与漏报,确保预警系统在复杂工况下的有效性^[2]。

2.4 系统集成与通信技术

(1)系统集成技术实现煤矿通风安全预警系统各功能模块的协同运作。采用面向服务的架构(SOA),将数据采集、处理分析、预警发布等功能封装为独立服务,通过标准化接口实现模块间的通信与交互;运用微服务架构进一步拆分系统功能,提高系统的可扩展性与维护性,确保在煤矿生产规模变化或技术升级时系统能够灵活调整。(2)通信技术保障数据的可靠传输。在井下采用工业以太网与无线通信相结合的方式,工业以太

网提供稳定高速的数据传输通道,满足大容量数据的实时传输需求;基于5G、WiFi 6等无线通信技术实现移动设备与固定节点的数据交互,确保在巷道移动作业场景下传感器数据的及时上传。采用冗余通信链路设计,当主通信线路故障时,备用链路自动切换,保障通信的连续性。(3)数据交互标准统一是系统集成关键。制定统一的数据格式与通信协议,采用JSON、XML等标准数据格式进行数据封装,遵循Modbus、OPCUA等工业通信协议实现设备间的数据交互,确保不同厂商的传感器、控制器等设备能够无缝集成,打破信息孤岛,实现煤矿通风安全预警系统的一体化运行。

3 煤矿通风安全预警系统存在的问题与改进措施

3.1 存在的问题

3.1.1 传感器可靠性与稳定性不足

煤矿井下环境复杂恶劣,高湿度、高粉尘、强电磁干扰以及剧烈震动等因素,对通风安全预警系统的传感器构成严峻挑战。在高湿度环境中,传感器的电子元件易受潮,致使电路短路或参数漂移,从而影响检测数据的准确性;大量悬浮粉尘极易附着在传感器的检测探头表面,阻碍气体或物理量的正常感应,造成测量误差不断累积;井下电气设备运行产生的强电磁干扰,会使传感器的信号传输出现紊乱,导致数据失真或丢失。传感器长期处于井下高强度作业状态,缺乏有效的维护与校准机制,其性能随时间逐渐衰减,难以持续精准监测井下瓦斯浓度、风速、风压等关键参数,进而削弱预警系统对通风安全隐患的捕捉能力,增加煤矿安全生产风险。

3.1.2 数据处理与分析能力有限

煤矿通风安全预警系统在运行过程中,会实时采集海量多源异构数据,涵盖传感器监测数据、通风设备运行参数、井下环境变化数据等。然而,当前系统的数据处理与分析能力难以满足实际需求。第一,数据采集频率高、数据量大,传统的数据处理技术在数据存储、传输和计算效率上存在瓶颈,无法及时对数据进行清洗、转换和整合,导致数据质量参差不齐,影响后续分析的准确性。第二,数据分析方法较为单一,多局限于简单的阈值判断,缺乏对数据深度挖掘和复杂关系的分析能力。无法从海量数据中提取出有价值的信息,难以预测通风系统潜在的故障和安全隐患发展趋势,使得预警系统仅能实现事后报警,无法发挥预防为主的作用,难以满足煤矿通风安全精细化管理的要求^[3]。

3.1.3 系统协同性与扩展性差

煤矿通风安全预警系统通常由多个子系统和设备组成,包括传感器网络、数据传输网络、数据处理中心以

及监控终端等。各子系统之间缺乏统一的通信协议和数据标准,导致系统间信息交互不畅,数据共享困难,无法形成有效的协同工作机制。例如,传感器采集的数据在传输至数据处理中心时,因格式不兼容或接口不匹配,可能出现数据丢失或错误解析的情况,影响系统整体的预警效果。随着煤矿开采技术的发展和生产规模的扩大,对通风安全预警系统的功能需求不断增加,但现有系统架构设计缺乏灵活性和扩展性,难以快速集成新的传感器类型、分析算法或功能模块,无法适应煤矿安全生产日益增长的需求,限制了系统性能的提升和应用范围的拓展。

3.2 改进措施

3.2.1 提升传感器性能

为解决传感器可靠性与稳定性不足的问题,需从传感器的设计、制造和应用等多个环节进行优化。在设计阶段,采用先进的封装技术和防护材料,增强传感器对恶劣环境的抵御能力。例如,使用防水防尘性能优异的密封材料对传感器进行封装,防止湿气和粉尘侵入;采用抗电磁干扰设计,通过屏蔽、滤波等技术手段,降低电磁干扰对传感器信号的影响。在制造过程中,严格把控生产工艺和质量检测环节,确保传感器的性能一致性和稳定性。在应用层面,建立定期维护和校准机制,根据井下环境特点和传感器使用情况,制定科学合理的维护计划,及时更换老化或损坏的传感器,保证其始终处于最佳工作状态,从而提高传感器对井下通风安全参数监测的准确性和可靠性。

3.2.2 优化数据处理与分析技术

针对数据处理与分析能力有限的问题,需引入先进的数据处理和分析技术。在数据处理方面,采用分布式存储和计算技术,如大数据处理框架Hadoop和Spark,实现对海量数据的高效存储和快速处理。通过数据清洗、去重、归一化等预处理操作,提高数据质量。在数据分析层面,运用机器学习、深度学习等人工智能算法,挖掘数据中的潜在规律和复杂关系。例如,利用神经网络算法对历史数据进行学习训练,建立通风安全隐患预测

模型,实现对瓦斯浓度异常、通风设备故障等安全隐患的提前预警;采用关联规则挖掘算法分析各参数之间的关联关系,为通风系统的优化调控提供科学依据,提升预警系统的智能化水平和预警准确性。

3.2.3 加强系统集成与扩展

为改善系统协同性与扩展性差的现状,需构建统一的系统架构和标准体系。制定统一的数据通信协议和接口标准,确保各子系统之间能够实现无缝对接和高效的数据交互。采用开放式的系统架构设计,如基于面向服务的架构(SOA)或微服务架构,将系统功能拆分为独立的服务模块,每个模块可独立开发、部署和升级,提高系统的灵活性和可维护性。建立系统扩展机制,预留丰富的接口和功能扩展点,便于根据实际需求快速集成新的传感器、算法或功能模块。通过定期对系统架构进行评估和优化,确保系统能够随着煤矿安全生产需求的变化不断升级完善,实现各子系统之间的协同工作和系统功能的持续扩展,提升通风安全预警系统的整体性能和适应性^[4]。

结语

综上所述,煤矿通风安全预警系统通过关键技术的创新应用,在保障井下通风安全方面发挥重要作用。然而,面对复杂多变的井下环境,系统仍需在传感器性能、数据处理能力及系统协同性等方面持续优化。未来,随着物联网、人工智能等技术的深入融合,煤矿通风安全预警系统将向更高精度、更强适应性方向发展,为煤矿安全生产筑牢智能防线,助力煤炭行业高质量发展。

参考文献

- [1]茹维维.煤矿通风安全预警系统研究[J].能源与节能,2024(3):136-138.
- [2]茹晋峰.煤矿通风安全预警系统研究[J].机械管理开发,2022,37(7):203-205.
- [3]赵波,路培超,苏南丁,等.煤矿通风系统动态预警研究[J].能源与环保,2021,43(9):46-49,56.
- [4]申阳阳.煤矿通风安全监测与预警系统研究[J].工程技术研究,2024,6(14):218-220.