

矿井“一通三防”智能管控系统研究

王鑫

平煤股份八矿 河南 平顶山 467000

摘要: 在深部矿井开采不断推进的背景下,传统“一通三防”管理模式因监测盲区多、信息流通不畅、灾害响应滞后等问题,严重制约着矿井的安全高效生产。本文基于物联网、大数据与人工智能技术,设计了一套“感知层—传输层—数据层—应用层”架构的智能管控系统。通过多源数据融合技术打破信息壁垒,智能监测预警技术提前洞察灾害风险,通风网络动态解算与设备集群联控技术实现快速精准调控,实现通风系统5秒内精准调风、瓦斯风险超前10分钟预警、粉尘与火灾3秒内联动降灾,有效提升矿井通防灾害治理水平,保障矿井安全生产,具有显著的应用价值。

关键词: 矿井;“一通三防”;智能管控系统;关键技术;安全保障

引言: 矿井生产环境复杂,安全风险高,“一通三防”是保障矿井安全的关键。传统管控方式存在效率低、响应慢等问题。随着信息技术发展,智能管控系统成为提升矿井安全管理水平的有效途径。研究矿井“一通三防”智能管控系统,对预防灾害事故、保障人员安全、提高生产效率具有重要意义,能推动矿井智能化建设进程。

1 矿井“一通三防”基础理论分析

1.1 矿井通风理论

矿井通风是保障井下作业环境安全的关键环节,其核心在于利用通风动力驱动空气在通风网络中流动,为井下各作业地点提供新鲜风流,稀释并排出有毒有害气体与粉尘^[1]。通风动力主要分为自然通风与机械通风两类,自然通风受地形、气候等自然因素影响较大,稳定性较差,而机械通风通过通风机等设备产生压差,一般通风机功率在55-315千瓦之间,能够更精准地控制风流方向与风量大小,确保风量在1000-10000立方米/分钟范围。通风网络则由巷道、风门、风桥等构成,其布局合理性直接影响通风效果。通风系统优化设计需遵循经济合理、安全可靠、技术可行原则,通过合理选择通风方式、确定通风参数、优化通风网络结构,实现通风阻力最小化、风量分配均衡化,确保井下各区域通风需求得到满足,通常通风阻力控制在2000帕以内。

1.2 瓦斯防治理论

瓦斯作为矿井五大灾害之一,其生成源于煤层及围岩中有机质在高温高压条件下分解。瓦斯赋存状态包括游离态与吸附态,运移规律受地质构造、煤层渗透率、地应力等多种因素影响。瓦斯爆炸需同时满足一定浓度范围、足够氧气含量及点火源三个条件,瓦斯爆炸浓度

范围通常在5%-16%,氧气含量不低于12%,防治措施需从源头控制瓦斯涌出量,通过瓦斯抽采降低煤层瓦斯含量,一般瓦斯抽采量根据矿井规模不同,在10-100立方米/分钟,利用通风稀释井下瓦斯浓度至安全范围,同时加强电气设备管理,杜绝点火源产生。

1.3 煤尘防治理论

煤尘产生主要源于采掘、运输等作业过程,其扩散规律受风流速度、粒径大小、湿度等因素影响。煤尘爆炸需具备一定浓度、氧气含量及点火能量,煤尘爆炸浓度范围一般在30-2000克/立方米,氧气含量不低于18%,爆炸特性包括传播速度快、破坏力强等。防尘降尘方法包括湿式作业、喷雾洒水、通风除尘等,通过降低煤尘产生量、抑制煤尘扩散、加速煤尘沉降,有效控制煤尘浓度,防止煤尘爆炸事故发生,一般要求作业场所煤尘浓度控制在10毫克/立方米以内。

1.4 火灾防治理论

矿井火灾发生原因多样,包括外因火灾与内因火灾,外因火灾多由明火、电气故障等引发,内因火灾则源于煤炭自燃。火灾蔓延规律受通风条件、可燃物分布、温度等因素影响,灭火技术需根据火灾类型、发展阶段选择合适方法,如直接灭火、隔绝灭火、联合灭火等,通过控制火源、切断氧气供应、降低温度等措施,实现火灾快速扑灭与防止复燃。一般火灾蔓延速度在0.5-5米/分钟,灭火时需根据实际情况采取相应措施。

2 智能管控系统总体设计

2.1 系统设计原则

智能管控系统设计需综合考量多方面因素,可靠性是首要原则,系统应具备稳定运行能力,在复杂多变的矿井环境下,确保各功能模块持续有效工作,减少故障

发生频率,系统年故障次数应控制在5次以内,避免因系统故障引发安全事故^[2]。实时性同样关键,矿井环境瞬息万变,系统需及时捕捉通风、瓦斯、煤尘、火灾等相关数据,数据采集周期应控制在1-5分钟,快速分析处理并反馈结果,为管理人员提供最新信息,以便迅速做出决策。开放性原则要求系统具备良好的兼容性与扩展性,能够与不同类型传感器、设备及其他系统无缝对接,可兼容的传感器数量不少于20种,方便后续功能升级与拓展。易用性也不容忽视,简洁直观的操作界面与便捷的操作流程,可降低操作人员学习成本,操作人员培训时间可缩短至3-5天,提高工作效率,确保系统功能得到充分发挥。

2.2 系统架构设计

系统采用分层架构设计,整体分为感知层、传输层、数据层与应用层。感知层作为数据采集源头,部署各类传感器,如风速传感器、瓦斯传感器、煤尘传感器、温度传感器等,传感器数量根据矿井规模不同,在100-1000个之间,实时收集矿井环境参数与设备状态信息。传输层负责将感知层采集的数据可靠传输至数据层,选用工业以太网、无线传感网络等传输技术,构建高速稳定数据传输通道,数据传输速率达到100兆比特/秒以上,确保数据完整性与及时性。数据层对传输层汇聚的数据进行存储、处理与分析,运用大数据技术挖掘数据价值,为上层应用提供数据支撑,数据存储容量达到100太字节以上。应用层基于数据层分析结果,实现通风智能监控、瓦斯智能预警、煤尘智能监测与治理、火灾智能监测与防控等功能,并提供综合管理与决策支持,辅助管理人员科学决策。各层之间通过标准接口进行数据交互,感知层将数据上传至传输层,传输层将数据转发至数据层,数据层处理后为应用层提供数据服务,形成完整数据流转闭环。

2.3 系统功能模块划分

系统划分为通风智能监控模块、瓦斯智能预警模块、煤尘智能监测与治理模块、火灾智能监测与防控模块以及综合管理与决策支持模块。通风智能监控模块实时监测通风系统运行参数,动态调整通风设备状态,保障通风效果,通风设备调整响应时间控制在5秒以内。瓦斯智能预警模块对瓦斯浓度进行实时监测与趋势分析,提前发出预警信息,预警提前时间达到10分钟以上。煤尘智能监测与治理模块监测煤尘浓度与分布,自动启动降尘设备,降尘设备启动响应时间控制在3秒以内。火灾智能监测与防控模块监测火灾隐患,及时启动灭火装置,灭火装置启动响应时间控制在2秒以内。综合管理与

决策支持模块整合各模块数据,提供全面信息展示与决策辅助。

3 关键技术研究

3.1 多源数据融合技术

矿井环境下部署了种类繁多的传感器,这些传感器采集的数据类型各异,涵盖通风、瓦斯、煤尘、火灾等多个方面^[3]。由于不同传感器工作原理与性能特点不同,采集到的原始数据存在噪声干扰、量纲差异、时间不同步等问题。因此,需对各类数据进行预处理,包括数据清洗以去除噪声与异常值,数据归一化以统一量纲,时间同步处理以确保数据在时间维度上的一致性。在数据融合算法选择上,针对不同场景需求,可选用加权平均法、卡尔曼滤波法、神经网络融合法等。加权平均法根据各传感器数据可靠性赋予不同权重后求和,简单易行但精度有限;卡尔曼滤波法通过建立状态空间模型,对动态数据进行最优估计,能有效处理含噪声数据;神经网络融合法利用神经网络强大非线性映射能力,挖掘数据深层特征,实现更精准融合。通过合理选择与应用这些算法,可将分散、异构的数据有效整合,挖掘数据潜在价值,为后续分析与决策提供可靠依据。

3.2 智能监测与预警技术

依托传感器网络,可实现对通风、瓦斯、煤尘、火灾等参数的实时监测。传感器网络具备分布式、自组织特点,能覆盖矿井各个角落,确保数据采集全面性。在实时监测基础上,利用机器学习、深度学习算法建立智能预警模型。机器学习算法如支持向量机、决策树等,通过对历史数据学习,提取关键特征,构建分类或回归模型,实现对异常情况初步识别。深度学习算法如卷积神经网络、循环神经网络等,凭借强大特征提取与模式识别能力,能处理复杂非线性关系,进一步提升预警准确性。通过不断训练与优化模型,可实现对异常情况的提前预警,为矿井安全提供有力保障。

3.3 智能控制技术

通风系统智能调节与优化控制是关键环节。根据实时监测数据,运用智能算法自动调整通风设备运行参数,如风机转速、风门开度等,实现通风系统动态优化,风机转速调整范围可在500-1500转每分钟,确保通风效果满足实际需求。针对瓦斯抽采、煤尘治理、火灾扑救等设备,研究智能控制策略。根据瓦斯浓度、煤尘浓度、火灾隐患程度等参数,自动启动或调整设备运行状态,实现精准治理与快速响应,瓦斯抽采设备启动响应时间可控制在1-3秒,提升矿井灾害防控能力。

3.4 系统集成与协同技术

各功能模块间需建立高效集成与协同工作机制,确保数据流通顺畅、功能衔接紧密。通过制定统一数据接口标准与通信协议,实现模块间无缝对接,数据接口传输速率可达1-10兆比特每秒^[4]。与矿井其他相关系统集成与数据共享,打破信息孤岛,实现矿井整体智能化管控,可集成的系统数量不少于3个,提升矿井运营效率与安全水平。

4 系统安全与可靠性保障

4.1 系统安全防护技术

在数字化浪潮席卷下,矿井智能管控系统高度依赖网络运行,网络安全防护成为重中之重。网络攻击手段层出不穷,一旦系统遭受攻击,不仅可能导致数据泄露,还会引发系统瘫痪,严重影响矿井正常生产秩序。为此,需构建多层次网络安全防护体系,采用防火墙技术对网络流量进行严格过滤,阻止非法访问;运用入侵检测系统实时监测网络异常行为,及时发现并阻断潜在攻击;部署加密技术对数据进行加密传输与存储,防止数据在传输过程中被窃取或篡改,全方位保障系统网络安全。数据作为系统核心资产,其安全保护不容忽视。完整性方面,通过数据校验技术确保数据在传输与存储过程中不被篡改,一旦发现数据异常立即报警并采取修复措施。保密性上,采用访问控制策略,严格限制不同用户对数据的访问权限,仅授权合法用户访问相应数据。可用性保障则通过数据备份与恢复机制实现,定期对重要数据进行备份,当数据丢失或损坏时能迅速恢复,确保系统正常运行所需数据随时可用。

4.2 系统可靠性设计

硬件设备是系统运行基础,可靠性选型至关重要。在设备选型阶段,需综合考虑设备性能、质量、稳定性等因素,选择经过严格测试与验证、具备高可靠性的硬件产品。同时,为应对硬件故障,采用冗余设计方法,对关键硬件设备如服务器、存储设备等进行冗余配置,当主设备出现故障时,备用设备能立即接管工作,确保系统不间断运行。软件系统可靠性同样关键。容错设计通过在软件中设置错误检测与处理机制,当软件运行出现错误时,能自动识别并采取相应措施,如跳过错误代码段、启用备用功能模块等,避免因局部错误导致整个

系统崩溃。故障恢复机制则能在系统出现故障后,快速定位故障原因并进行修复,将系统恢复到正常运行状态,减少故障对系统影响。

4.3 系统维护与管理策略

制定系统日常维护计划是保障系统长期稳定运行的基础。定期对系统进行检查,包括硬件设备运行状态检查、软件系统性能监测等,及时发现潜在问题并加以解决,系统检查频率为每周1次^[5]。定期对系统进行维护,如清理系统垃圾文件、优化数据库性能等,提升系统运行效率,系统维护频率为每月1次。及时对系统进行更新,修复已知漏洞,提升系统安全性与功能性,系统更新频率为每季度1次。建立系统故障应急处理预案,明确故障发生时各岗位人员职责与处理流程。当系统出现故障时,能快速响应,按照预案步骤进行故障排查与处理,在最短时间内恢复系统正常运行,将故障对矿井生产影响降至最低,故障应急处理响应时间控制在10分钟以内。

结束语

矿井“一通三防”智能管控系统的研究与应用,实现了对矿井通风、瓦斯、煤尘、火灾的实时监测、智能预警与精准控制。通过多源数据融合等关键技术,提升了系统性能与可靠性。完善的系统安全与可靠性保障措施,确保系统稳定运行。该系统为矿井安全筑牢防线,助力矿井实现安全、高效、智能化生产,提升行业整体竞争力。

参考文献

- [1] 闫振国,曹豫其,王振平,等.矿井“一通三防”智能协同管控系统研究[J].工矿自动化,2025,51(7):15-26.
- [2] 何金全.基于“一通三防”的矿井智能管控技术体系及应用策略[J].凿岩机械气动工具,2025,51(10):138-140.
- [3] 周建.基于“一通三防”的矿井智能管控技术研究与应用[J].中国煤炭,2024,50(6):59-66.
- [4] 王振平,闫振国,岳宁,等.矿井“一通三防”智能管控系统研究[J].煤矿安全,2022,53(9):193-197.
- [5] 张仲达,张华磊,鲁海文.智能化“一通三防”与安全监控系统的工程应用[J].山东煤炭科技,2023,41(11):162-165.