

基于物联网的煤矿机电设备远程监控系统设计与实现

朱 丹

国能宁夏煤业石槽村煤矿 宁夏 银川 750000

【摘 要】：基于物联网的煤矿机电设备远程监控系统是提升煤矿安全生产效率、实现智能化管理的重要手段。本文围绕物联网技术在煤矿机电设备远程监控中的应用展开，设计并实现了一套集成数据采集、传输、分析和预警功能的智能监控系统。通过构建传感网络和通信平台，实现了对井下关键设备运行状态的实时监测与远程控制，有效提升了故障响应速度与管理水平，为煤矿企业的安全运营提供了有力保障。

【关键词】：物联网；煤矿机电设备；远程监控；智能传感；安全管理

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.059

引言

在全球工业智能化转型的大背景下，传统煤矿行业正面临安全生产与效率提升的双重挑战。作为高危作业环境之一，煤矿生产过程中机电设备的稳定运行直接关系到矿工生命安全和生产进度。然而，由于井下环境复杂、人工巡检难度大，传统监控手段已难以满足现代化矿井的安全管理需求。在此背景下，将物联网技术引入煤矿机电设备的远程监控体系，成为破解当前难题的关键突破口。通过传感器网络、无线通信与云计算等技术融合，不仅能够实现对设备运行状态的全天候感知与远程干预，还能为预防性维护和智能决策提供数据支撑。这一系统的构建对于推动煤矿行业的数字化、智能化发展具有重要意义。

1 煤矿机电设备远程监控系统的技术背景与发展现状

（1）煤矿机电设备运行环境与安全管理要求

煤矿机电设备通常运行于高温、高湿、瓦斯浓度高、粉尘密集的复杂环境中，这对设备的稳定性和安全性提出了极高要求。井下作业空间狭小，通风条件差，设备长时间连续运转易出现磨损、过热、电气短路等问题，极易引发安全事故。对机电设备的运行状态进行实时监测与远程控制显得尤为重要。传统煤矿企业多依赖人工巡检和固定式监控装置，难以实现对设备全生命周期状态的动态掌握，且响应滞后，存在安全隐患。随着国家对矿山安全监管政策的日益严格，煤矿行业亟需引入智能化、网络化、自动化的新型监控手段，以提升设备运行的安全性与管理效率，保障矿工生命安全和生产持续稳定。

（2）物联网技术在工业监控领域的应用趋势

近年来，物联网技术凭借其强大的数据采集、传输与分析能力，在工业监控领域得到了广泛应用。通过传感器、无线通信模块和云平台的集成，实现了对各类生产设备的远程感知与智能控制。在电力、石油、冶金等行业，基于物联网的监控系统已逐步取代传统人工巡检方式，显著提升了设备运行的可视化程度与故障预警能力。特别是在高危作业环境中，物联网技

术不仅能够降低人为干预带来的风险，还能通过大数据分析优化设备维护策略，延长使用寿命。当前，工业物联网正朝着低功耗、广覆盖、高可靠的方向发展，为煤矿机电设备远程监控系统的构建提供了坚实的技术支撑和广阔的应用前景。

（3）传统监控方式存在的问题与技术升级需求

传统煤矿机电设备监控主要依赖有线连接的本地监控系统和定期人工巡检，存在诸多局限性。布线复杂、安装成本高、灵活性差，难以适应井下复杂地形；数据更新频率低，无法实现实时反馈与远程控制；缺乏数据分析与预测功能，导致故障处理滞后，影响安全生产。不同设备之间缺乏统一的数据接口标准，造成信息孤岛现象严重，难以形成整体联动机制。面对这些问题，煤矿行业迫切需要通过技术升级，构建一套具备实时监测、远程控制、数据融合与智能分析能力的新型监控体系。借助物联网技术，不仅能有效解决上述痛点，还可推动煤矿企业的数字化转型，提升整体运营效率与安全保障水平。

2 基于物联网的远程监控系统架构设计

（1）系统整体结构与功能模块划分

本系统采用分层架构设计，由感知层、网络层、平台层和应用层四部分组成。感知层负责采集机电设备的运行数据，包括温度、振动、电压、电流等关键参数；网络层通过无线传感网络或 5G 通信技术将采集到的数据上传至云端服务器；平台层用于数据存储、处理与分析，构建统一的数据管理平台；应用层则面向管理人员，提供可视化监控界面、报警提示、远程控制等功能。各层之间通过标准化协议实现高效通信与数据交换，确保系统运行的稳定性与安全性。该架构具有良好的扩展性与兼容性，可适配多种型号的机电设备，并支持未来功能的不断拓展。

（2）数据采集层的传感器节点部署策略

在数据采集层，传感器节点的部署直接影响系统监测精度与覆盖范围。针对煤矿井下复杂的地理环境与设备分布特点，采用分布式部署策略，结合设备类型与运行特性，合理设置传感器数量与位置。对于高压电机、皮带输送机、排水泵等关键

设备, 优先布置温湿度传感器、振动传感器与电流互感器, 实时捕捉异常信号。考虑到井下电磁干扰较强, 选用抗干扰能力强的工业级传感器, 并采用低功耗设计, 延长设备使用寿命。传感器节点通过自组网技术实现互联互通, 确保数据采集的连续性与完整性, 为后续分析与预警提供高质量原始数据。

(3) 通信网络与数据传输协议的选择与优化

通信网络是连接感知层与平台层的关键桥梁。考虑到煤矿井下通信距离远、信号衰减快的特点, 系统采用 LoRa、NB-IoT 与 5G 相结合的方式, 构建多层次、广覆盖的通信网络。LoRa 适用于低功耗、远距离的环境监测, NB-IoT 适合城市基站覆盖区域的数据回传, 而 5G 则用于高速率、低延迟的远程控制场景。数据传输过程中, 采用 MQTT 轻量级协议进行消息发布与订阅, 保证数据传输的实时性与可靠性。为提高通信安全性, 系统引入数据加密与身份认证机制, 防止非法访问与数据泄露。通过协议优化与网络选型, 确保系统在各种复杂环境下均能稳定运行。

3 关键设备运行状态监测与数据分析机制

(1) 实时数据采集与异常信号识别方法

为了实现对煤矿机电设备运行状态的全面掌控, 系统通过高精度传感器实时采集设备运行过程中的各类物理量, 如温度、压力、转速、振动幅度等。采集到的数据经过预处理后进入特征提取阶段, 利用滑动窗口法、快速傅里叶变换 (FFT) 等技术提取时间序列中的关键特征。随后, 结合阈值判断、统计分析和机器学习算法, 建立异常信号识别模型。当某项指标超出设定阈值或表现出非正常波动趋势时, 系统自动触发预警机制, 通知相关人员及时排查隐患。该方法能够在不依赖人工干预的情况下, 准确识别设备潜在故障征兆, 为后续诊断与处理提供科学依据。

(2) 多源数据融合与设备健康状态评估模型

由于煤矿机电设备种类繁多、运行机理复杂, 单一传感器数据往往难以全面反映设备状态。系统引入多源数据融合技术, 整合来自不同传感器的异构数据, 提升状态评估的准确性。采用卡尔曼滤波、主成分分析 (PCA) 和神经网络等方法对数据进行降维、去噪与特征融合, 形成统一的设备状态描述。在此基础上, 构建基于模糊综合评价的设备健康状态评估模型, 从多个维度对设备运行状况进行打分, 并输出健康指数。该模型可根据历史数据不断优化评估参数, 动态调整权重分配, 从而更真实地反映设备实际运行状态, 为预防性维护提供决策支持。

(3) 故障预测与早期预警算法的设计与实现

在煤矿机电设备长期连续运行过程中, 一些微小的性能退化或参数波动往往预示着潜在的故障隐患, 若未能及时发现和处理, 极易演变为严重的设备损坏甚至安全事故。为提升系统

的主动防御能力, 系统引入了基于时间序列分析与深度学习技术相结合的智能故障预测算法。该算法综合利用 LSTM (长短期记忆网络) 对时序数据的强大建模能力、随机森林在特征选择上的高效性以及支持向量机 (SVM) 在分类判断中的稳定性, 通过对大量历史运行数据的学习, 构建出反映设备故障演化规律的预测模型。当实时采集的数据输入模型后, 系统能够自动分析其变化趋势, 并预测未来一段时间内可能出现的异常状况, 如轴承磨损、电机过热或传动系统失衡等, 从而提前生成预警信息。系统融合专家知识库与规则引擎, 建立了多级别预警机制, 根据不同风险等级推送相应的处置建议, 实现从“被动维修”向“主动预防”的转变。该算法已在实验室环境中完成多次验证测试, 展现出良好的预测性能和较强的工程应用价值。

4 远程控制与应急响应系统的构建与实施

(1) 设备远程启停与参数调整控制逻辑

远程控制系统是实现自动化管理的重要组成部分。通过在监控中心部署控制指令下发模块, 操作人员可对井下机电设备进行远程启停、参数调节等操作。系统采用客户端-服务器 (C/S) 架构, 控制指令经加密后通过通信网络发送至终端控制器, 确保命令传输的安全性与完整性。控制逻辑中引入权限验证机制, 只有授权用户方可执行关键操作, 避免误操作风险。系统支持定时任务与自动控制模式, 可在特定条件下自动启动设备或调整运行参数, 提升管理效率与响应速度。

(2) 异常事件自动响应与联动处理机制

为有效应对煤矿井下可能出现的突发故障或异常事件, 系统专门构建了自动化应急响应与多系统联动处理机制。该机制依托实时监测数据, 一旦发现设备运行状态异常或环境参数超出安全范围, 便能立即触发预设的应急预案, 按照设定逻辑自动执行一系列处置操作, 包括设备断电保护、声光报警通知、视频监控画面自动切换以及人员疏散引导等环节。系统具备与其他关键安全系统的数据互通能力, 如瓦斯浓度检测系统、通风控制装置、排水系统等, 实现跨平台信息共享与联合处置。在检测到某区域瓦斯浓度异常升高时, 系统不仅能第一时间切断该区域电源以防止火花引发爆炸, 还可同步启动通风设备进行气体稀释, 并将告警信息推送至调度中心和相关负责人, 确保现场人员快速反应与安全撤离。整个联动过程由事件驱动机制控制, 结合可编程逻辑规则, 使应急响应更加精准、高效, 极大提升了系统的安全防护能力和智能化水平。

(3) 监控中心平台界面设计与操作流程优化

监控中心作为整个系统的核心管理节点, 其界面设计与操作流程直接影响使用效率。平台采用 B/S 架构, 支持多终端访问, 界面布局简洁直观, 包含设备状态图、实时数据仪表盘、告警列表、历史记录查询等功能模块。操作流程方面, 系统引

入图形化配置工具,允许用户自定义设备监控点与预警规则,简化设置过程。平台支持日志记录与操作审计功能,便于事后追溯与责任界定。为进一步提升用户体验,系统还集成了语音播报、弹窗提醒、移动端推送等多种通知方式,确保重要信息第一时间传达给相关人员。

5 系统测试与实际应用效果分析

(1) 实验室模拟环境下系统稳定性测试

为全面验证系统的运行稳定性与可靠性,研究团队在实验室环境中构建了煤矿井下工况的模拟测试平台。该平台能够模拟高温、高湿、粉尘、震动等多种恶劣条件,以贴近真实应用场景的方式对系统关键组件进行性能评估。在测试过程中,重点考察传感器节点在复杂环境下的数据采集稳定性,包括长时间连续工作状态下的精度保持能力以及抗干扰表现。通信模块的传输性能也在不同距离和信号强度条件下进行了反复测试,确保其在各种网络环境下均能维持稳定连接。远程控制指令的响应速度与执行准确性也作为测试重点之一,涵盖了多用户并发操作及异常情况下的系统恢复机制。整个测试过程严格按照工业标准执行,所有测试结果均被记录并用于优化系统设计,为后续现场部署提供了科学依据和技术保障。

(2) 井下现场部署与运行性能评估

在完成前期实验室测试后,系统进入实际应用阶段,在某大型煤矿的多个重点作业区域开展现场部署。部署范围覆盖主运输带、排水泵站、通风系统等关键机电设备集中区,充分体现了系统在复杂井下环境中的适用性与扩展性。在安装过程中,技术人员根据各区域设备布局和运行特点,灵活调整传感器布点方案,并对无线通信网络进行实地优化,确保数据采集与传输的高效性与完整性。系统上线后,经过多个月的持续运行监测,整体表现稳定可靠,各项功能模块运行良好,未出现重大故障或数据丢失问题。监控中心能够实时获取设备运行状

态,及时发现潜在隐患并采取应对措施。系统还表现出良好的人机交互能力和远程操控灵活性,管理人员可通过平台实现快速响应与精准调度,有效提升了煤矿机电设备的整体运维效率。

(3) 应用成效对比分析与后续改进方向

通过对系统部署前后的运行情况进行深入对比分析,可以明显看出智能化远程监控手段的应用显著提升了煤矿机电设备的管理效率与安全保障水平。从设备运行维护的角度来看,系统投入使用后,故障发生频率明显下降,设备非计划停机时间大幅缩短,维修响应更加迅速,人工巡检的需求也相应减少,极大地降低了人力成本和安全管理压力。系统具备的数据记录与趋势分析功能,为企业制定科学的维护策略提供了有力支撑,有助于实现由“事后维修”向“预防性维护”的转变。尽管当前系统已展现出良好的应用效果,但在长期运行过程中也暴露出一些需要进一步优化的问题,例如部分传感器的续航能力有限、数据分析模型在面对新型故障时适应性不足、平台与其他管理系统之间的兼容性有待提升等。针对这些问题,未来的研究方向将聚焦于引入边缘计算架构、增强人工智能算法的学习能力以及优化系统集成方式,从而全面提升系统的智能性、灵活性与实用性。

6 结语

本文围绕基于物联网的煤矿机电设备远程监控系统展开研究,针对传统监控手段在安全性、实时性和智能化方面的不足,提出了一套集数据采集、传输、分析与远程控制于一体的综合解决方案。通过构建多层次系统架构、部署智能传感网络、引入故障预测算法和建立自动响应机制,实现了对关键设备运行状态的全天候监测与高效管理。测试结果表明,该系统具备良好的稳定性和实用性,在提升煤矿机电设备运维效率、降低安全风险方面具有显著成效,为煤矿行业的智能化转型提供了有力支撑。

参考文献:

- [1] 陈志刚,刘伟.物联网技术在矿山设备监控中的应用研究[J].工矿自动化,2022,48(6):55-59.
- [2] 黄文斌,周晓峰.基于深度学习的设备故障预测模型设计与实现[J].自动化仪表,2023,44(2):78-83.
- [3] 孙立新,高志强.煤矿井下无线传感网络通信协议优化研究[J].煤炭科学技术,2021,49(10):112-117.
- [4] 赵振宇,徐建平.智能矿山建设中远程控制系统的发展趋势[J].矿业工程研究,2023,38(4):45-49.
- [5] 郑海涛,韩冰.多源数据融合在工业设备状态评估中的应用综述[J].计算机测量与控制,2022,30(8):12-17.