

智能化背景下煤矿机电设备远程监控与故障预警技术研究

韩春旭

中煤第七十一工程处有限责任公司, 安徽 宿州 234000

[摘要]智能化矿山建设进程加快,煤矿机电设备的远程监控与故障预警技术成了保障生产安全和设备稳定运行的重要手段,文中系统分析煤矿机电设备运行特点与常见故障类型,结合智能传感、物联网、大数据和AI算法等技术发展状况,探讨煤矿机电设备远程监控系统的体系构建和关键技术环节,重点阐述故障预警的技术机制、实现方法和优化路径,煤矿机电设备运行状态的实时感知、远程控制和智能预测靠技术集成和系统升级得以实现,这为提升矿井安全水平和管理效率提供了技术支撑与实践依据。

[关键词]煤矿机电设备;远程监控;故障预警;智能化技术;安全管理

DOI: 10.33142/sca.v8i7.17132

中图分类号: TP27

文献标识码: A

Research on Remote Monitoring and Fault Warning Technology of Coal Mine Mechanical and Electrical Equipment under the Background of Intelligence

HAN Chunxu

China Coal 71st Engineering Office Co., Ltd., Suzhou, Anhui, 234000, China

Abstract: The construction process of intelligent mines is accelerating, and remote monitoring and fault warning technology for coal mine electromechanical equipment has become an important means to ensure production safety and stable equipment operation. This article systematically analyzes the operating characteristics and common fault types of coal mine electromechanical equipment, and combines the development status of intelligent sensing, Internet of Things, big data, and AI algorithms to explore the system construction and key technical links of remote monitoring system for coal mine electromechanical equipment. The technical mechanism, implementation method, and optimization path of fault warning are emphasized. The real-time perception, remote control, and intelligent prediction of coal mine electromechanical equipment operation status are achieved through technical integration and system upgrading, which provides technical support and practical basis for improving mine safety level and management efficiency.

Keywords: coal mine electromechanical equipment; remote monitoring; fault warning; intelligent technology; safety management

引言

煤矿生产环境复杂且机电设备运行任务繁重,煤矿机电设备运行是煤矿系统稳定运行的关键环节,而传统人工巡检与事后维修模式存在响应慢、成本高、风险大等问题,随着智能矿山不断推进,煤矿机电系统逐步应用远程监控与智能预警技术使设备运行有了更高效的管理手段,本文分析煤矿机电设备远程监控系统的技术框架与故障预警机制,为煤矿设备智能化运维提供理论支持与实践策略。

1 煤矿机电设备运行特点与监控需求

1.1 设备类型与运行环境分析

煤矿生产靠大量机电设备协同运行,像采煤机、刮板输送机、胶带运输机、电动机、变压器、排水泵、通风机等都是,这些设备构成煤矿生产的核心支撑系统,由于这些设备常长时间连续、高负荷运转,对设备运行的稳定性和可靠性要求极高。煤矿井下作业环境特殊,高温、高湿、高粉尘和腐蚀性气体等不利因素很普遍,因此设备的密封性、防爆性、抗腐蚀能力和抗震性能面临严峻挑战,煤矿设备要有很好的环境适应性和强结构防护能力才能长期稳定运行。煤矿设备间协同关系紧密,通风系统和瓦斯检

测系统必须联动响应才能保证井下作业人员生命安全,要是某个关键设备出故障,很可能引发多级连锁反应,导致生产中断甚至井下安全事故,因此构建机电设备监控系统,让其有高精度感知、实时控制和联动响应能力,这不仅是煤矿设备正常运行的技术要求,更是煤矿安全生产体系建设的核心基础。

1.2 传统监控方式存在的问题

传统煤矿设备管理大多靠人工定时巡检和定期维护,在实际运用中有明显滞后和低效的问题,井下高危环境下,瓦斯泄漏、坍塌等安全风险威胁着巡检人员,且照明不足、噪声干扰、空间狭窄等客观因素还可能使他们误判、漏检设备运行状态或者延迟反馈,尤其深井、复杂巷道结构和设备密集区域巡检范围大、频次高,人工很难全覆盖,很多隐性故障早期不能及时发现,传统煤矿监控系统大多是分散式控制架构,设备间没有统一数据交互机制,信息孤岛现象严重,状态数据不能共享且难以进行预测分析,没有集中化的数据处理平台和智能诊断模型,故障预警和维护响应往往滞后于问题产生,运维效率低、设备故障率高,严重制约煤矿设备管理智能化、自动化和安全水平的整体提升。

1.3 智能监控需求与发展方向

煤矿生产普遍存在高风险、高强度的作业环境,构建一套高效、实时、智能的设备监控系统是保障安全生产、提升管理水平的必然选择。传感器技术、无线通信、工业互联网、人工智能等关键技术不断进步促使煤矿机电设备远程监控系统朝着智能化方向逐步演进。这个系统能集成多种类型传感器,对设备运行状态(像温度、电流、电压、振动频率等)以及环境参数(像瓦斯浓度、水位、风速等)进行实时监测且依靠边缘计算平台就地处理数据,初步分析数据并快速预警,从而大大提高了系统对异常状态的响应速度与识别准确率。未来会重点发展系统的高度集成化、数据处理的实时性和智能模型的自学习能力,进而促使煤矿设备管理模式从传统的“事后检修”慢慢转向“主动预测性维护”,既能降低设备运维成本,又能有效提升煤矿整体安全性与智能化水平,给智慧矿山建设提供坚实的技术支撑和数据基础。

2 远程监控系统架构与核心技术

2.1 系统组成与功能模块

煤矿机电设备远程监控系统主要有数据采集层、通信传输层、平台处理层和用户应用层四个部分,构成“感知—传输—处理—控制”的闭环结构,其中数据采集层会部署各类高精度传感器用于实时监测设备运行状态参数,如电流、电压、温度、振动频率、润滑状况、湿度、瓦斯浓度等环境因素,并且利用智能终端进行边缘计算和本地故障判断以减轻中心平台负载,通信传输层运用有线与无线混合网络技术,如工业 Wi-Fi、光纤通信、5G 或者 LoRa 等低功耗远距离通信协议使数据能够稳定、高速、低延时传输,平台处理层集成大数据管理、AI 建模分析、状态可视化和远程控制功能,从而支持设备状态趋势分析、故障预警与能效评估,用户应用层设有图形界面和远程控制入口,支持多终端访问和多用户协同管理,实现远程集中监控、自动报警、调度指令下发等功能,为运维人员提供直观、精准、高效的管理工具。

2.2 关键技术实现路径

多项核心技术协同应用才能实现远程监控系统,传感与感知技术是系统运行的基础,煤矿井下环境及设备状态靠布设多种类型传感器(像温湿度传感器、电参量传感器、图像采集器、激光测距仪之类)来全面感知,并且边缘计算技术在数据源头初步分析和过滤数据,这能减轻传输带宽压力、提升响应速度,网络通信部分用高可靠性的工业以太网或者无线通信技术构建抗干扰强、通信稳定的传输路径以保证数据链路连续,数据处理环节中,系统引入随机森林、支持向量机、LSTM 等人工智能算法,采集的数据经其特征提取和模型训练后故障识别更准确、预警更及时,数字孪生技术用来构建虚拟仿真平台,实现实际设备状态的数字化复现和运行模拟,能给预测性维护和设备生命周期管

理提供支持,人机交互界面借助可视化平台展示设备运行状态、异常告警信息和维护建议,方便用户操作判断。

2.3 系统集成与部署策略

远程监控平台要确保系统高效稳定运行,就得有良好的系统集成能力和可扩展性,对于原有监控系统,集成策略上要做兼容分析并分阶段制定替换和整合方案,不能一次性大改让系统瘫痪,系统结构按模块化设计理念,将感知单元、通信模块、平台接口等用标准化形式封装以方便后期升级维护,部署策略要根据矿区实际环境和设备分布情况合理布点布网,强化关键设备区域监测密度并构建边缘节点和主控平台的层级管理结构,实现本地实时预警和远程集中控制并行,数据管理方面要建立统一数据标准和接口规范,以保证多厂商设备数据互联互通,安全上采用多重身份验证、数据加密传输、权限分级控制机制,保障系统运行安全和信息数据保密,采用分布式部署和云边协同控制提升系统灵活性、鲁棒性和故障容错能力,满足煤矿智能化建设对高可靠监控系统的严苛要求。

3 故障预警技术原理与应用机制

3.1 常见故障类型与数据特征

煤矿机电设备长期高负荷运行时容易出现多种故障,常见电气类故障包括电动机过载烧毁、绝缘老化引发短路、电缆绝缘破损、电压波动、电流突升等,典型机械类故障包含轴承磨损卡滞、润滑失效、皮带跑偏、传动部件振动异常等,相关统计数据表明全部设备故障里电气类故障约占 46%、机械类故障约占 38%、系统配置不合理或者井下环境因素导致的其他故障约占 16%,这些故障发生时有一系列可量化的异常数据表现且时间序列性和趋势性很明显,电动机故障前常有温度缓慢上升、电流频繁波动或者出现异常尖峰、电压短时跌落等现象,设备传动机构的运行稳定性可由振动监测数据反映且振动频率偏离正常区间也许预示潜在风险,电机温度正常在 60℃ 以内且温度持续超 75℃ 达 2min 就会触发报警机制,三相电流不平衡度超 10% 表明存在负载偏移或者内部故障隐患且得马上启动校正与检测流程,上述数据特征为智能预警系统构建模型提供了精确、量化的输入基础。

3.2 智能预警模型构建

大数据积累和机器学习算法是构建预警模型的基础,大量历史故障数据与正常运行数据经对比分析后可提取出典型故障征兆参数组合。煤矿行业常采用决策树模型(如 CART)、支持向量机(SVM)、人工神经网络(ANN)、长短期记忆网络(LSTM)等模型,拿神经网络模型来说,采集到的电压、电流、温度、振动、声音信号等多维特征用于训练后系统就能对潜在故障类型进行识别与分类且准确率达 91%。处理具有时间相关性的监测数据时 LSTM 模型表现格外优越,它能实现设备状态的趋势预测和提前预警,以过去 10min 的振动频谱序列作输入,模型能预测

未来 2min 是否有异常波动进而提前进行干预控制,专家系统与之相结合构建混合型模型能有效提升模型对非线性、突发性故障的识别能力并减少误报与漏报概率。

3.3 预警机制实施流程

故障预警机制的实施流程大体上有五个阶段,即数据采集、异常检测、预警判断、分级响应和反馈闭环:现场部署的传感器对目标设备进行高频率(如 1s/次)的数据采集并传输到边缘计算节点以初步检测异常,从而排除短时噪声数据的影响;接着,监测系统把采集到的数据输入已训练好的预警模型进行实时计算,模型输出“正常”“轻微异常”“重度异常”等状态标签后依据预设阈值进行比对判断;一旦有异常信号,系统启动分级预警机制,温度异常升高但没超限的时候系统提示人工关注,升高超过限值则触发Ⅱ级报警并记录日志推送到值班调度平台,系统同步联动自动控制模块以自动执行停机保护、故障隔离、备用设备切换等操作;所有预警信息进入历史数据库,靠这些数据进行后续分析和模型优化,从而形成数据驱动的闭环管理机制,全面提升煤矿机电系统的故障防控能力和运行安全水平。

4 系统优化与实际应用成效分析

4.1 技术瓶颈与优化需求

煤矿机电设备远程监控与故障预警技术虽已在不少矿区应用,但系统运行时仍有一系列技术瓶颈和现实挑战,数据采集不完整是有的设备传感器布设不合理且井下环境恶劣会使传感器损坏而造成数据采集有空档和误差,网络通信不稳定由于井下空间、金属反射干扰、设备电磁辐射等因素让无线信号在某些区域衰减严重进而导致数据传输延迟或者丢包影响远程控制的及时性,智能预警模型大多靠大量样本训练泛化能力差无法适应新设备和罕见工况致使误报率高且漏报严重,系统运维成本高在于多厂家设备接入、协议转换、系统维护都要做这需要技术门槛高的人力,平台间数据割裂系统接口不统一影响不同部门协同决策效率,系统在精度、稳定性、兼容性和可持续运维能力上需要不断优化、迭代技术。

4.2 优化措施与技术升级路径

上述瓶颈问题需要多维度技术优化策略和系统升级路径来应对,数据采集时用多冗余布点且防护等级高的工业级传感器,像 IP68 级温湿度一体传感器、抗爆电流探头之类的,可提升井下恶劣环境下的数据获取能力,并且借助边缘 AI 技术能在传感端初步异常分析和自我诊断,减少数据回传压力。通信架构上全面引入 5G+Wi-Fi6 混合组网模式,井下主干通道用高带宽、低时延、多连接的 5G 网络覆盖,设备集中区布设 Wi-Fi 热点,以保证通信稳定性和数据实时性。模型算法优化方面推广迁移学习和联邦学习策略,可使模型在不同矿区间共享知识,提高对新设备、新工况的适应能力,构建多模型融合机制,提升

异常识别的准确率和鲁棒性。平台层面推进统一接口协议标准化,就能实现视频监控、设备控制、人员定位、能耗监测等子系统的数据互联和协同管理。运维模式引入“云+边+端”架构,平台支持远程升级和智能诊断,边缘节点有局部故障容错能力,终端应用简洁可视,全面提升系统的扩展性和易维护性。

4.3 实际应用效果与前景展望

技术优化和系统升级后,多座煤矿的智能监控系统收获了显著的实际成效,山西某大型国有煤矿 2024 年引入智能化远程监控系统后,设备故障率同比降了 37%、停产时间缩减 22%、设备平均运转效率提高到 95%,改造前预警准确率约 75%现在提升到 93%、误报率降至 3%以内,维护效率和安全保障能力大大提高,运维人员数量减少 26%、人均设备管理量提高近 40%,人力资源得以有效配置,并且系统平台还能进行历史数据分析并提供决策支持,给制定设备维护计划、优化生产调度提供了科学依据,往后随着 AI 算法、高可靠通信、新能源驱动设备和大数据分析技术不断进步,煤矿远程监控系统将朝着更高层级的自主诊断、自我恢复、自主优化发展,推动煤矿智能化管理从“感知智能”升级到“决策智能”再到“协同智能”,给智慧矿山构建提供核心支撑,预计 2030 年全国 85%的中大型煤矿将被智能化监控系统覆盖,为我国煤炭工业高质量发展提供强大的技术保障。

5 结束语

在智能化矿山建设中,煤矿机电设备远程监控与故障预警技术的作用日益关键,构建完整系统架构、集成先进感知与通信技术、应用智能化预警模型可有效提高设备运行安全性与稳定性并显著降低运维成本与人为干预风险,虽然现在还面临通信延迟、模型适应性不足等问题,但随着技术不断优化、实践不断深化其应用效果越来越显著,日后在推动煤矿数字化智能化安全化上会持续发挥核心价值。

[参考文献]

- [1]刘晓兵.智能矿山背景下的煤矿机电设备管理创新[J].能源与节能,2025(3):25-27.
 - [2]段瑞贺.煤矿机电设备的智能化管理[J].内蒙古煤炭经济,2024(20):169-171.
 - [3]刘忠平.智能矿山背景下煤矿机电技术管理创新路径探索[J].能源与节能,2025(2):25-28.
 - [4]张永文.基于智能矿山的煤矿机电技术研究[J].流体测量与控制,2025,6(2):88-91.
 - [5]刘正佳.智能矿山背景下自动化技术在煤矿机电设备中的应用探析[J].中国机械,2024(19):96-99.
- 作者简介:韩春旭(1987.3—),男,河南省周口项城市,汉族,本科学历,助理工程师,就职于中煤第七十一工程处有限责任公司,从机电工作。