

煤矿机电设备的智能化管理

郝苗进

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017100

摘要: 煤矿机电设备智能化管理融合工业互联网与矿业,借助物联网、大数据等新一代信息技术,构建覆盖设备全生命周期的数字化管理体系。本文阐述了其理论基础与关键技术,设计了“端-边-云”协同的分层架构,并介绍了在设备状态监测、故障诊断、调度优化等方面的应用实践。经评估,该管理模式在经济效益、安全效益和社会效益上成效显著,推动了煤矿行业数字化转型与绿色发展。

关键词: 煤矿机电设备;智能化管理;关键技术;管理效益

1 煤矿机电设备智能化管理相关理论基础

1.1 智能化管理概念

煤矿机电设备智能化管理是工业互联网与矿业融合的成果,借助物联网、大数据等新一代信息技术,构建覆盖设备全生命周期的数字化管理体系。该体系以数据驱动、算法支撑,实现设备运行状态实时感知、故障精准预测、维护策略动态优化及生产资源智能调度。具体操作中,在设备关键部位部署高精度传感器,采集多元参数,经边缘计算预处理后,通过5G或工业以太网传至云端。云端基于深度学习算法的设备健康评估模型,关联分析历史与实时数据,识别性能退化趋势,提前预警故障。结合数字孪生技术,构建三维镜像模型,模拟运行状态,为维护决策提供可视化支持^[1]。智能化管理强调人机协同,通过移动终端等向现场人员推送设备信息与维护指南,实现从“被动维修”到“主动预防”的转变。此模式提升了设备运行可靠性与效率,降低成本,保障煤矿安全生产。如某大型煤矿引入该系统后,设备故障率下降30%,维护成本降低25%,生产效率提升15%。

1.2 关键技术支撑

煤矿机电设备智能化管理依赖多学科技术融合,物联网、大数据、人工智能和数字孪生是四大核心技术。物联网技术通过在设备部署传感器,实时采集与传输状态参数,构建“设备-网络-平台”互联体系,如各类传感器监测设备不同指标,数据经低功耗广域网技术上传云端。大数据技术负责海量设备数据的存储、清洗与挖掘。煤矿设备数据特点鲜明,需分布式存储系统高效存储,用数据清洗算法处理异常与重复数据,再以机器学习模型提取规律,建立故障预测模型评估故障概率。人工智能技术是“大脑”,深度学习算法实现设备状态智能识别与决策优化。CNN处理时序或空间数据,LSTM分析时间序列长期依赖关系。数字孪生技术构建虚拟镜

像,实现物理与数字世界双向映射,精确建模设备各项参数,结合实时数据模拟运行状态,为维护策略提供“沙盘推演”环境,如预测掘进机截割头剩余寿命。

2 煤矿机电设备智能化管理系统架构设计

2.1 系统总体架构

煤矿机电设备智能化管理系统采用“端-边-云”协同的分层架构,由感知层、网络层、平台层和应用层构成,各层之间通过标准化接口实现数据流通与功能协同。感知层作为系统的“神经末梢”,负责设备状态参数的实时采集与初步处理;网络层作为“信息高速公路”,实现数据的可靠传输与协议转换;平台层作为“智能中枢”,提供数据存储、分析与决策支持能力;应用层作为“价值出口”,面向不同业务场景提供智能化应用服务。这种架构设计既保证了系统的灵活性与可扩展性,又通过分层解耦降低了技术复杂度,便于后续功能迭代与系统升级。

2.2 感知层设计

感知层是系统与物理设备交互的桥梁,其设计需兼顾数据采集的全面性与实时性。针对煤矿设备类型多样、工况复杂的特点,感知层采用“通用传感器+专用模块”的组合方案。通用传感器包括振动、温度、压力、电流等标准类型,覆盖设备运行的关键参数;专用模块则针对特定设备设计,如采煤机截割部专用扭矩传感器、刮板输送机链条张力传感器等,可捕捉设备特有的状态信息。在传感器部署方面,遵循“关键部位重点监测、易损部件优先覆盖”的原则。另外,为应对煤矿粉尘、潮湿等恶劣环境,传感器需具备IP67及以上防护等级,并采用本质安全型设计,确保在瓦斯等易燃易爆环境中安全运行。数据预处理方面,感知层集成边缘计算模块,可对原始数据进行滤波、降噪、特征提取等初步处理,减少无效数据上传,降低网络传输压力。

2.3 网络层设计

网络层是连接感知层与平台层的纽带，其设计需满足低时延、高可靠、大容量的传输需求。煤矿井下环境复杂，存在电磁干扰、巷道弯曲、设备遮挡等问题，对无线通信的稳定性构成挑战^[2]。因此，网络层采用“有线+无线”的混合组网方案：在固定设备（如皮带机、提升机）附近部署工业以太网，提供高速、稳定的有线连接；在移动设备（如采煤机、掘进机）上安装5G或Wi-Fi6无线模块，实现灵活接入。为提升网络可靠性，采用冗余设计，如双链路备份、环网自愈等技术，确保单点故障不影响整体通信。此外，针对煤矿数据安全要求，网络层集成加密模块，对传输数据进行AES-256加密，防止数据泄露或篡改。

2.4 平台层设计

平台层是系统的核心，承担数据存储、分析与决策支持功能。其设计采用微服务架构，将不同功能模块（如数据接入、存储、分析、可视化）拆分为独立的服务单元，通过容器化技术（如Docker）实现快速部署与弹性扩展。数据存储方面，采用时序数据库（如InfluxDB）存储传感器实时数据，关系型数据库（如MySQL）存储设备台账、维护记录等结构化数据，对象存储（如MinIO）存储设备图片、视频等非结构化数据，形成多模态数据湖。数据分析方面，平台层集成多种机器学习算法库（如TensorFlow、PyTorch），支持故障预测、健康评估、能效优化等场景的模型训练与推理。例如，通过构建基于LSTM的故障预测模型，对振动、温度等时序数据进行训练，实现故障发生概率的实时评估。决策支持方面，平台层提供可视化看板与规则引擎，将分析结果以图表、报表等形式直观展示，同时通过规则引擎实现维护策略的自动化触发。

2.5 应用层设计

应用层面向煤矿不同业务场景，提供设备状态监测、故障诊断、维护管理、能效优化等智能化应用服务。设备状态监测应用通过实时展示设备运行参数（如振动值、温度、电流），帮助操作人员掌握设备当前状态；故障诊断应用结合历史数据与实时数据，通过算法模型识别故障类型与位置，并提供维修建议；维护管理应用实现维护计划的自动生成与执行跟踪，支持预防性维护与预测性维护的混合模式；能效优化应用通过分析设备能耗数据，识别能耗异常点，提出节能改造方案。另外，应用层还提供移动端APP，支持现场人员通过手机或平板电脑随时随地查看设备状态、接收预警信息、提交维护记录，实现“人-机-环”的实时互联。

3 煤矿机电设备智能化管理的应用实践

3.1 设备状态监测与预警

设备状态监测与预警是智能化管理的基础应用，其核心在于通过实时采集设备运行参数，结合健康评估模型，实现设备状态的动态跟踪与异常预警。以采煤机为例，系统在其截割部、牵引部、电气系统等关键部位部署振动、温度、电流等传感器，实时采集运行数据。通过边缘计算模块对数据进行初步处理后，上传至云端平台。在云端，基于深度学习的健康评估模型对数据进行实时分析，计算设备的健康评分（0-100分）。当健康评分低于80分时，系统触发黄色预警，提示操作人员关注设备状态；当评分低于60分时，触发红色预警，自动生成维护工单并推送至维修人员。维修人员根据系统提示，对轴承进行润滑处理后，振动频率恢复正常，健康评分回升至92分，避免了潜在故障的发生^[3]。

3.2 设备故障诊断与维修

设备故障诊断与维修是智能化管理的核心应用，其目标是通过算法模型实现故障的快速定位与精准维修。传统故障诊断依赖人工经验，存在误诊率高、维修周期长等问题；而智能化诊断则通过机器学习算法对历史故障数据与运行参数进行关联分析，建立故障特征库与诊断模型。当设备出现故障时，系统自动采集故障时刻的运行数据，与故障特征库进行匹配，快速定位故障类型与位置。例如，某煤矿刮板输送机在运行过程中突然停机，系统通过电流传感器检测到电机电流异常升高，同时振动传感器捕捉到链轮部位的异常振动信号。系统将上述数据输入故障诊断模型，模型比对历史故障数据后，判断为链轮轴承损坏，并给出维修建议：更换轴承并检查润滑系统。维修人员按照系统指导进行操作，故障在2小时内排除，而传统方法可能需要4-6小时。系统还支持维修知识库的积累与共享，维修人员可将维修过程中的经验（如故障现象、处理方法、更换部件等）上传至知识库，为后续类似故障的维修提供参考。

3.3 设备调度与优化

设备调度与优化是智能化管理的高级应用，其核心在于通过算法模型实现生产资源的智能配置与运行效率的最大化。煤矿生产涉及采煤机、掘进机、刮板输送机、皮带机等多类设备，设备间的协同运行直接影响生产效率。传统调度依赖人工经验，存在调度不合理、设备空转等问题；而智能化调度则通过构建设备运行模型，结合生产计划、设备状态、能源消耗等约束条件，优化设备启动顺序、运行速度与停机时间。例如，在综采工作面，系统根据采煤机的截割进度、刮板输送机的

运输能力、皮带机的转载效率等参数,动态调整各设备的运行速度,确保物料运输的连续性与均衡性。同时,系统还考虑能源消耗因素,优先调度能效高的设备,避免设备空转或低负荷运行。某煤矿通过引入智能化调度系统,设备综合利用率提升12%,能源消耗降低8%,生产效率提高10%,实现了经济效益与环境效益的双赢。

4 煤矿机电设备智能化管理的效益评估

4.1 经济效益评估

煤矿机电设备智能化管理的经济效益主要体现在降低维护成本、减少停机损失、提高生产效率三个方面。在维护成本方面,智能化管理通过预测性维护替代传统的定期维护,避免了过度维护与维护不足的问题。例如,某煤矿通过引入故障预测模型,将设备维护周期从固定的3个月延长至根据实际状态动态调整,维护次数减少30%,维护成本降低25%。在停机损失方面,智能化管理通过实时监测与预警,将故障发现时间从传统的“事后维修”提前至“事前预防”,显著缩短了停机时间。据统计,某大型煤矿在引入智能化管理系统后,设备平均停机时间从每年的48小时降至24小时,直接减少经济损失数百万元。在生产效率方面,智能化管理通过优化设备调度与运行参数,提高了设备的综合利用率。

4.2 安全效益评估

煤矿机电设备智能化管理的安全效益主要体现在降低事故风险、提升应急响应能力两个方面。在降低事故风险方面,智能化管理通过实时监测设备状态,及时发现潜在安全隐患(如轴承过热、液压系统泄漏等),并触发预警机制,避免了事故的扩大化。例如,一煤矿通过在皮带机沿线部署温度传感器,成功预警了3起皮带打滑引发的火灾隐患,避免了人员伤亡与设备损毁。在提升应急响应能力方面,智能化管理通过集成人员定位、环境监测等功能,为应急救援提供数据支持。例如,当井下发生瓦斯超限事故时,系统可快速定位被困人员位置,并结合通风系统状态数据,制定最优救援路线,缩短救援时间。据统计,煤矿在引入智能化管理系统后,事故发生率下降40%,应急响应时间缩短50%,显著提升了矿井安全生产水平。

4.3 社会效益评估

煤矿机电设备智能化管理的社会效益主要体现在推动行业技术进步、促进绿色矿山建设两个方面。在推动行业技术进步方面,智能化管理作为煤矿数字化转型的关键抓手,带动了传感器、物联网、大数据、人工智能等相关技术的发展与应用,形成了“技术-产业”的良性互动^[4]。例如,神东煤炭集团与清华大学、中国矿业大学等高校、科研机构合作,共同研发适用于煤矿环境的耐高温、防爆型传感器,填补了国内技术空白,推动了传感器行业的创新发展。在促进绿色矿山建设方面,智能化管理通过优化设备运行参数、提高能源利用效率,减少煤炭开采过程中的能源消耗与污染物排放。例如,陕煤黄陵矿业通过智能化能效优化系统,将综采工作面的单位产量能耗从0.35吨标准煤/万吨降至0.30吨标准煤/万吨,年减少二氧化碳排放10万吨,为“双碳”目标的实现贡献了力量。另外,智能化管理还通过减少设备故障与停机时间,降低噪音、粉尘等环境污染,改善了井下作业环境,提升矿工的职业健康水平。

结束语

煤矿机电设备智能化管理是煤矿行业发展的必然趋势,通过构建数字化管理体系,借助多学科关键技术,实现了设备管理的智能化升级。其在设备状态监测、故障诊断、调度优化等方面的应用实践,有效提升设备运行的可靠性、效率,降低了维护成本,保障了安全生产。同时,在经济效益、安全效益和社会效益上成果斐然,为煤矿行业的可持续发展和绿色矿山建设提供有力支撑。

参考文献

- [1]刘洁.探究自动化技术在煤矿机电设备中的应用[J].矿业装备,2021,10(2):266-267.
- [2]任富强,李刚,康宇全.煤矿机电中的自动化技术分析[J].新型工业化,2022,12(8):76-79.
- [3]张元虎,王文星.关于智能控制技术在煤矿机电设备中的应用分析[J].内蒙古煤炭经济,2022(9):51-53.
- [4]段铭钰.煤矿机电设备智能化维护研究现状与发展趋势[J].内蒙古煤炭经济,2022(13):120-122.