

Design and Application of Intelligent Auxiliary Monitoring System for Coal Mine Electromechanical Team

Shuai Liu

Shaanxi Deyuan Fugu Energy Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719407, China

Abstract

The operational environment of coal mine electromechanical equipment is highly complex, where traditional monitoring methods struggle to meet real-time and intelligent requirements. This paper investigates the functional architecture and data communication mechanisms of an intelligent auxiliary monitoring system for coal mine electromechanical teams. It analyzes deployment strategies for condition monitoring units and implementation pathways for fault prediction models, while exploring the deployment process and operational effectiveness in typical mining environments. The research findings provide systematic technical support for refined management and intelligent maintenance of coal mine electromechanical equipment, demonstrating significant potential for practical application.

Keywords

coal mine electromechanical teams; intelligent auxiliary systems; monitoring systems; condition monitoring

煤矿机电队智能辅助监控系统的设计与应用

刘帅

陕西德源府谷能源有限公司, 中国·陕西 榆林 719407

摘要

煤矿机电设备运行环境复杂, 传统监控手段难以满足实时性与智能化需求, 文章研究了煤矿机电队智能辅助监控系统的功能架构与数据通信机制, 分析了状态感知单元的布设策略与故障预警模型的实现路径, 探讨了系统在典型矿井中的部署过程及运行成效。研究成果可为煤矿机电设备精细化管理与智能化运维提供系统化技术支持, 具备推广应用价值。

关键词

煤矿机电队; 智能辅助; 监控系统; 状态感知

1 引言

煤矿机电设备在长期运行过程中面临运行负荷重、环境干扰强、人工监测滞后等问题, 导致故障频发与维护效率低下。构建具备数据采集、状态识别、故障预警与辅助决策功能的智能辅助监控系统, 成为提升机电队管理效能的关键方向。系统设计需兼顾井下复杂环境条件与通信稳定性, 确保监控数据的准确获取与实时处理。状态感知单元的布设方案、模型算法的适配性与控制界面的人机交互逻辑构成技术实现核心。应用部署效果直接反映系统性能优劣, 需结合矿井现场运行数据进行对比分析。文章围绕系统设计架构、关键技术路径与实际应用成效展开论述, 旨在为煤矿智能监控系统的工程化推广提供可行方案与技术依据。

2 系统总体设计架构

2.1 功能模块划分与任务定位

智能辅助监控系统整体划分为四个功能模块: 数据采集模块负责接入井下关键机电设备的运行参数, 包括电压、电流、温度、振动等多维信号, 采用标准工业传感器完成信号转换与传输格式适配; 预警分析模块基于采集数据构建故障特征模型, 设定多参数阈值判定逻辑与异常趋势识别机制, 支持对不同设备类型的状态分类判断与动态追踪。各模块接口标准统一。

2.2 保障系统内部数据流转高效可控。

决策辅助模块依托嵌入式边缘计算平台, 对风险评估结果与运行趋势进行综合处理, 输出自动化运维建议与处置路径指令, 具备与调度平台协同联动的能力。运维控制模块具备远程参数下发、预警反馈闭环与巡检工单调度功能, 支持系统级联控结构与权限分级响应策略。各功能模块独立运行、协同联动, 具备快速响应故障、优化维修流程与支撑设备生命周期管理的工程能力。为清晰呈现智能辅助监控系统

【作者简介】刘帅(1989-), 男, 中国山东济宁人, 本科, 工程师, 从事煤矿机电及智能化研究。

统各功能模块间的逻辑关系与任务分工，构建系统功能架构图如图1所示。

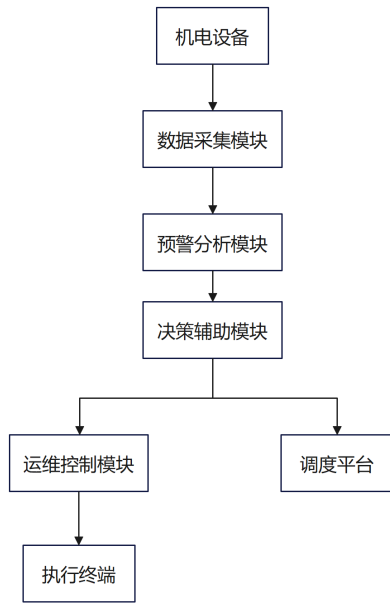


图1 智能辅助监控系统功能架构图

图1中展示了智能辅助监控系统的功能架构，整体按数据流动顺序划分为数据采集模块、预警分析模块、决策辅助模块和运维控制模块，并在末端联动调度平台与执行终端，形成闭环控制体系。

2.3 数据通信机制设计

系统采用有线与无线融合的通信架构，实现井下至地面中心站的多层级数据传输闭环。有线部分以工业以太网与光纤通信为主，用于主变电所、水泵房等固定设备节点的高速数据上传，设置中继交换机与防爆网络接口设备以提升传输稳定性；无线部分采用LoRa或ZigBee低功耗网络，用于巷道分布广、无法布线区域设备的数据接入，采用网格路由方式确保通信节点间的冗余路径稳定存在。

通信机制中设定主链路中继—终端三级拓扑结构，主链路依托矿井原有网络系统，中继节点设置抗潮防爆型智能转发设备，终端传感层设定编码协议一致的采集模块，统一数据封装格式为Modbus TCP或MQTT消息结构，便于不同系统平台解析识别。整个通信过程设置断点续传、实时校验与数据缓存机制，应对井下瞬时干扰与网络抖动造成的传输中断，保障状态数据与预警指令的实时闭环处理能力。

2.4 平台软硬件适配策略

系统在硬件适配方面选用高强度耐腐蚀的工业传感器与本质安全型边缘控制终端，传感器需满足井下高湿、高粉尘环境下的长期稳定运行要求，选型涵盖防爆等级Ex d I Mb、抗振等级IEC 60068标准的加速度计、电流互感器与红外测温组件，采集单元集成状态自检与误码率检测功能，提升布设节点的运维可靠性。终端控制器采用DIN导轨安装的工业边缘计算模块，配置四核处理器与低功耗固态存

储，可兼容Linux与定制RTOS系统，支持本地算法加载与远程更新。

软件平台构建基于模块化架构，核心控制逻辑采用容器化部署方式划分数据采集服务、状态识别服务与预警推送服务三个运行实例，各服务之间采用gRPC通信协议以提升响应效率与系统可扩展性。平台配置双通道数据接入机制，实现本地与云端冗余存储，结合数据库故障恢复机制与日志溯源功能，确保关键运行数据可查、可追、可控，整体系统软硬件协同适配机制形成了结构封闭、运行稳定、接口开放的集成技术体系。

3 关键技术实现方案

3.1 状态感知单元的布设方案

状态感知单元布设围绕机电设备运行的关键部位展开，依据设备类别、安装环境与故障特征设定传感器种类及点位分布方案^[1]。在高压配电装置处设置电流、电压及开关状态传感器，用于采集负载变化与开断动作信息；在主通风机、液压支架泵站等机械设备上设置MEMS振动传感器与温度传感器，用于识别轴承磨损、内部发热与运行不平衡状态；在变频器、电机控制柜等电力电子设备处配置红外测温模块与绝缘监测模块，捕捉器件发热异常与漏电风险。所有传感器布点均结合现场结构建模与运行工况分析，采用磁吸式、导轨式或螺栓固定方式，接线方式支持RS485、CAN或4-20 mA接口协议，数据采样频率根据设备工况等级进行分级设定，确保异常信号能够在动态变化中被精准捕捉与持续跟踪。

3.2 故障预警模型的算法流程

故障预警模型建立在多源监测数据的融合基础上，采用时间序列分段分析与状态空间建模相结合的方式构建预测与判别机制。模型输入包括采集的电流、电压、温度、震动等连续数据序列与离散控制状态量，通过Z-score归一化处理与滑动窗口滤波抑制短时干扰，采用LSTM神经网络进行状态趋势预测，并基于预测残差构建动态阈值区间，结合决策树分类器对当前工况与历史标签数据进行故障类型匹配。模型在训练阶段加载多样化工况数据集构建样本映射关系，并设定自适应学习率优化迭代效果，在实际运行中引入动态阈值调节函数，自动根据设备历史运行稳定度调整预警灵敏度与响应级别。模型输出包括风险等级、预测持续时间、建议响应动作等字段，系统自动匹配故障响应标准流程并推送至控制界面与巡检系统，支撑高频率、高准确度的实时故障识别与主动告警机制运行。

3.3 控制界面的交互设计方案

控制界面采用嵌入式Web前端框架搭建图形化操作平台，结合ECharts与OpenLayers组件集成设备状态图、趋势变化图与三维布设图，实现多维度可视化信息交互^[2]。主界面展示设备全景布控图与动态状态指示，基于设备编号与

位置坐标映射,支持点击查询单体设备运行详情,包括当前状态参数、历史异常记录与维保履历等,支持历史数据按小时、日、周级别回溯与曲线对比分析,图表中各节点设定颜色闪烁、形状变化与透明度标识不同风险等级。界面操作模块设置指令下发控件组,用户根据权限级别进行远程启停设备、调整运行参数与应急响应指令操作,每次操作均记录指令下发时间、执行状态与回执反馈内容,构建完整闭环。界面还设定告警弹窗、数据报表导出与权限管理模块,满足值班调度、远程诊断与技术运维的全流程管控需求。

4 应用部署与运行成效分析

4.1 典型矿井的系统部署过程

系统部署以典型矿井为应用场景,覆盖供电、排水、运输和通风等关键环节。部署前需完成设备台账核查、环境评估与布控方案设计,实施过程中采用模块化预组装方式,以提高布设精度和调试效率。井上与井下设置中央数据管理控制柜,集成边缘计算平台与防爆通信接口,网络结构采用主干与支路结合的混合组网模式,确保传输稳定。部署完成后进行分区联调测试,包括节点识别准确性、信号传输完整性、故障模拟响应和远程控制回执等环节。平台功能稳定后与调度中心系统对接,建立设备信息映射与控制逻辑同步机制,确保整体部署在限定周期内完成并投入运行。

4.2 监控数据的运行表现分析

系统运行期内对重点设备节点状态数据进行连续采集,设定数据完整性、异常率、传输连续性与网络延迟等参数作为性能评价基准,采集周期为5秒一帧,涵盖多种设备类型并按点位编号统一标识,采集端设定缓存上限为12小时,避免上行异常导致数据丢失。在数据采集环节,采集终端采用本地缓冲+批量上报机制,在稳定网口下以每分钟一次上传节奏完成数据发送,在上传过程中设定异步应答机制与丢包重传逻辑,对断点数据段设定时间窗口自动重发,在终端无响应时切换备用路径完成补传,形成具备容错与纠偏能力的链路。在系统持续运行的35个自然日周期内,所有关键点位每日采集次数维持一致,未发生因系统异常导致的全网采集中断事件,个别设备在链路切换或节点维护时出现短暂中断,经由双通道数据冗余逻辑实现回补。在运行稳定周期内系统日均采集总次数保持一致,个别异常包数量维持在可控范围内,网络延迟波动幅度不大且稳定在150ms以下,反映出系统在长周期高频率数据采集场景下具备较强

的可靠性与抗干扰能力,支持预警算法稳定触发与历史趋势分析任务连续执行。

4.3 巡检响应效率的改进效果

系统上线后对煤矿机电队日常巡检作业流程进行同步记录与数据分析,在平台内建立巡检轨迹跟踪、任务调度执行与应急响应到达时间三类日志数据字段,每条运维工单包含生成时间、推送时点、接收响应、任务完成与反馈回执等五段时间标识,构成完整流程闭环。对比系统部署前后相同设备区域的手工巡检数据,人工巡检路径平均覆盖14个点位,平均用时在50分钟以上,存在设备漏查、路径重复与状态遗漏问题;系统部署后,自动推送预警工单、地图定位指引与维保履历检索功能联合提升定位效率与决策响应速度,配合移动终端的远程控制指令功能与二维码点位核验机制,实现运维操作可量化、可回溯、可考核。调度系统对所有异常任务实时调度并按优先级排序推送,避免人工接收滞后与任务延迟堆积,显著缩短作业周期与应急响应时长。

系统启用后每次巡检所需时间大幅缩短,定位效率提升明显,运维周期压缩至原有的43%,应急响应速度提升超两倍,在调度协同、故障闭环与任务执行过程中展现出显著的流程优化效果,体现出智能辅助机制对现场作业响应能力的深度支撑。

5 结语

煤矿机电队智能辅助监控系统采用模块化架构构建数据采集、状态识别、故障预警与远程控制功能集成平台,在典型矿井完成节点部署与联调测试后,系统运行稳定,监测数据完整性高,通信链路具备抗干扰与纠错能力,关键设备的运行状态实现高频率、低延迟监控,故障预警模型具备较强的趋势识别与类型分类精度,界面交互结构支撑任务闭环管理,巡检周期与应急响应指标显著优化。该系统具备面向煤矿复杂现场环境的技术适应性与可拓展性,可作为多矿区智能化监控的工程化基础。

参考文献

- [1] 柴新斌,李尚虎,邵德全. 煤矿机电系统中智能变频驱动技术的应用研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (06): 127-129.
- [2] 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, (03): 25-27+31.
- [3] 周之榛,刘亚丹. 煤矿机电设备运行故障智能监测方法研究[J]. 中国煤炭, 2025, 51(03): 110-117.