

基于物联网的矿山机电设备远程监测与故障诊断系统

刘瑞锋

国能准能集团有限责任公司哈尔乌素露天煤矿 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘 要：针对露天煤矿机电设备工况复杂、故障隐蔽性强、人工巡检漏检率高、运维滞后等现场问题，本文以物联网技术为基础，搭建矿山机电设备远程监测与故障诊断系统。结合露天矿区设备运行特征与监测需求，完成系统四层架构整体设计，优化硬件选型、软件功能模块与数据传输方案。通过数据降噪、特征筛选、智能诊断模型构建等算法设计，实现设备运行参数实时采集、故障精准识别与分级预警。工程适配性设计贴合露天矿区防风沙、耐温差、抗干扰的作业环境，可有效解决传统检修模式的滞后性与盲目性。

关键词：矿山机电设备；物联网；远程监测；故障诊断；系统总体架构设计；智能算法

引言：矿山机电设备是露天煤矿开采、运输、排土的核心载体，设备稳定运行是矿区安全生产的重要保障。露天矿区风沙大、昼夜温差显著、电磁环境复杂，导致机电设备磨损快、故障诱因多、隐患隐蔽性强。传统人工巡检、定期检修模式数据采集滞后，故障排查精度低，难以满足现代化露天矿山安全运维需求。本文依托物联网感知、数据传输与智能诊断技术，设计适配露天矿区现场工况的远程监测与故障诊断系统，通过架构设计、软硬件开发与算法优化，实现设备状态的智能化监测与故障精准研判，为矿山智能运维体系建设提供技术参考。

1 基于物联网的矿山机电设备远程监测与故障诊断系统概述

1.1 物联网核心技术

物联网是矿山机电设备远程监测的核心技术体系，主要由感知层、网络传输层和数据应用层三部分构成。感知层依托工业传感器，对露天矿开采、运输、排土等关键设备的振动、温度、电流、压力等运行参数进行实时采集，获取设备完整运行状态信息。网络层结合露天矿区范围广、点位分散、电磁干扰强的环境特点，采用工业以太网与窄带物联网融合的通信方式，保证监测数据稳定、连续传输。应用层负责数据的汇总、存储与分析，突破传统人工巡检的时空局限，为设备状态判断、故障预警和远程管控提供可靠数据支撑，适配露天矿区范围广、工况复杂的生产环境。

1.2 矿山机电设备故障类型

矿山机电设备长期在高负荷、大风沙、温差大的工况下运行，故障类型主要分为机械故障与电气故障两类。机械故障属于高频故障，多表现为轴承磨损、齿轮啮合异常、部件松动、机体振动超标、油路堵塞等，主

要由设备长期疲劳运行、风沙侵入、润滑不足、部件老化磨损引发，易造成设备卡顿、停机故障。电气故障包括电机过载、线路短路、电压电流波动、元器件烧毁等，多由户外温差变化、线路积尘受潮、长期过载运行导致。设备存在工况匹配异常、启停异常等综合类故障，隐蔽性较强，人工巡检难以提前识别排查，易诱发设备停机及安全生产隐患。

1.3 设备状态监测与智能故障诊断理论

设备状态监测通过不间断采集设备运行动态数据，对照正常参数阈值捕捉细微异常波动，实现设备全天候工况管控。智能故障诊断以设备故障机理为基础，结合设备历史运行数据与故障案例，通过数据预处理、特征提取筛选故障表征参数，完成设备异常识别与故障溯源。相较于传统事后维修、定期检修模式，智能诊断技术能够提前识别隐患、精准定位故障，规避传统检修盲目性强、漏检率高的问题，减少非计划停机损失，为露天矿山机电设备预防性维护和常态化安全管控提供坚实理论支撑^[1]。

2 矿山机电设备运行特征与物联网监测需求分析

矿山机电设备是露天煤矿开采、运输、土作业的核心载体，对设备运行特征及物联网监测核心需求分析如下：（1）设备运行工况复杂多变。矿山机电设备露天布设的作业环境，开采、运输、排土等核心设备需长时间连续满负荷运行。作业过程中受开采作业面变动、运输荷载波动影响，设备运行参数动态波动较大，零部件磨损、老化速度快，异常隐患具备突发性、隐蔽性特点，常规人工检测难以精准捕捉瞬时异常状态。（2）设备故障关联性强、风险集中。矿山各类机电设备协同作业性强，单台设备出现轴承振动异常、电机温升超标、线路电压不稳等问题，会直接影响整条生产正常运行。露天

矿区设备分布范围广、作业点位分散,故障排查往返耗时久、难度大,易造成生产设备停机,引发安全生产隐患。(3)现场智能化监测刚需突出。传统检修模式存在巡检盲区、数据滞后、主观性强等问题,无法实现设备全天候状态采集。依托物联网技术搭建监测体系,可实现设备温度、振动、电流、压力等核心参数的实时采集、动态记录,替代人工定点巡检,精准匹配露天矿区复杂工况下的设备状态管控需求,为设备故障预判和精准运维提供数据支撑^[2]。

3 矿山机电设备远程监测与诊断系统总体架构设计

3.1 系统整体层级架构

依据露天矿区作业条件与各类机电设备监测要求,本系统采用分层模块化架构,结构规整、逻辑明确,现场适配性与实用性较强。(1)系统划分为四个功能层级,各层分工明确,可适应露天矿区风沙大、温差明显、强电磁干扰的工况环境。(2)设计遵循就近采集、本地预处理、稳定传输、集中分析的思路,减少原始数据传输量,缓解矿区大范围网络负荷。(3)架构支持测点扩容与功能拓展,可适配提升设备、输送设备、排水及排土设备等不同类型装置,满足现场设备改造与升级需求。

3.2 设备感知层设计

感知层是系统的数据来源,负责实时采集设备运行参数。(1)结合故障多发位置规划测点,在电机、轴承、齿轮、传动机构等关键部位,布设振动、温度、电流、压力等矿用防尘耐温传感器。(2)采集终端集成预处理单元,可对原始信号做筛选、降噪,剔除风沙、环境震动干扰形成的无效数据。(3)全部硬件均选用符合露天煤矿安全规范的防护产品,能够长期在露天恶劣环境中稳定运行,保证数据采集连续可靠。

3.3 网络传输层设计

传输层实现感知层与平台层的数据交互,解决露天矿区点位分散、传输距离远、信号易受干扰等问题。(1)采用工业以太网与无线传感网络相结合的模式,固定设备使用有线传输,移动、远距离设备采用无线传输,实现全域信号覆盖。(2)配置数据加密与断点续传功能,网络波动时自动缓存数据,链路恢复后完成补传,防止数据丢失。(3)优化传输协议并压缩数据报文,缩短传输时延,保障监测数据的实时性。

3.4 云端平台与终端应用层设计

平台与应用层承担数据处理、分析及可视化展示工作。(1)云端平台集成数据存储、分析、故障诊断算法等模块,统一处理上传数据,完成特征识别与状态判

定。(2)终端分为PC后台与现场触摸屏,直观展示运行参数、测点信息及异常记录。(3)该层级预留标准对接接口,可接入矿山现有安全监控系统,契合矿区智能化建设整体规划^[3]。

4 系统核心硬件与软件模块设计

4.1 系统硬件选型与电路设计

系统硬件整体由数据采集终端、网络传输模块、矿用供电设备三部分组成,所有设备均符合露天煤矿安全防护标准。(1)数据采集终端选用工业级本安型采集器,适配矿区户外供电环境,可接入振动、温度、电流、压力等多类型传感器,支持多通道同步数据采集,能够适配开采、运输、排土等主流机电设备。(2)传输模块采用工业级无线传输终端与以太网传输模块组合设计,针对露天矿区范围广、电磁干扰强的特点,优化信号接收电路,降低数据传输损耗。(3)电路采用隔离稳压设计,增设过压、过流、短路保护电路,规避电网波动、线路积尘受潮引发的电路故障,硬件电路布局紧凑,适配矿区各类设备安装空间。

4.2 远程实时监测模块设计

远程实时监测模块为系统核心采集控制模块,聚焦设备运行状态的全天候动态采集与监控。(1)模块支持自定义采集频率,可根据设备运行工况,调整秒级、分钟级数据采集间隔,针对高负荷运行设备加密采集频次,保证数据时效性。(2)模块内置数据甄别程序,可自动筛选异常采集数据,剔除露天风沙、环境震动干扰产生的无效数据,保障采集数据的准确性。(3)模块绑定设备固定测点,可实现定点、定向持续监测,全程记录设备运行工况参数,为后续故障分析提供完整时序数据支撑,无需人工干预启停。

4.3 数据存储与管理模块设计

数据存储与管理模块采用本地缓存+云端存储的双存储模式,适配矿山数据连续留存需求。(1)本地终端配置高速缓存芯片,可临时存储短时监测数据,应对矿区远距离传输、网络波动、断网场景,网络恢复后自动完成数据补传,避免数据缺失。(2)云端采用分布式数据库分区存储,按照设备类型、监测时间、参数类型进行分类归档,实现数据规范化存储。(3)模块配置数据分级管理机制,常规运行数据定期归档压缩,异常故障数据单独留存备份,便于后期故障溯源、数据查询与工程分析。

4.4 系统后台与前端交互界面设计

系统采用前后端分离架构,后台负责数据运算与模块调度,前端负责数据可视化展示与现场操作。(1)

后台程序采用模块化编程设计,各功能模块独立运行,单个模块故障不会影响系统整体运行,便于后期检修与功能迭代升级。(2)前端界面贴合矿山运维人员操作习惯,分区展示设备实时参数、测点状态、异常记录、历史数据曲线,界面简洁直观,适配工业现场常态化操作。(3)界面支持权限分级管理,区分管理员、运维人员操作权限,限定数据修改、参数调试、告警设置等操作权限,保障系统运行的安全性与规范性^[4]。

5 矿山机电设备智能故障诊断算法设计与实现

5.1 监测数据预处理与降噪处理

露天矿区复杂环境会导致传感器采集的振动、温度、电流等原始数据掺杂大量干扰信号,直接分析会影响故障诊断精度,需开展数据预处理与降噪处理工作。

(1)采用时域滤波算法对原始监测数据进行清洗,剔除设备瞬时启停、风沙震动、电磁干扰产生的异常野值,保留设备稳定运行数据。(2)针对高频噪声信号,运用小波降噪方式对监测波形进行分层处理,过滤无效高频干扰分量,最大程度保留故障对应的有效特征信号。

(3)对缺失、紊乱的时序数据进行补齐与规整,统一数据采样频率与格式,保障后续特征提取与算法运算的统一性,避免数据规格不一导致的模型运算偏差。

5.2 故障特征参数提取与筛选

矿山机电设备故障类型与运行参数关联性较强,需从海量监测数据中提取核心故障特征参数,精简数据维度。(1)基于设备故障机理,从时域、频域两个维度提取特征参数,时域包含峰值、有效值、峭度等参数,频域包含中心频率、频谱幅值等核心指标,全面覆盖机械磨损、电气异常等各类故障特征。(2)采用相关性分析算法对提取的多维度特征进行筛选,剔除关联性弱、冗余度高的无效特征,保留与设备轴承故障、电机过热、传动异常等故障高度匹配的核心特征。(3)完成特征参数归一化处理,消除不同参数量纲差异,提升后续故障诊断模型的运算效率与识别精准度。

5.3 智能故障诊断模型构建

依据矿山设备故障样本特征,搭建适配现场工况的智能故障诊断模型,实现故障识别、定位与溯源。(1)以筛选后的核心故障特征为输入参数,依托改进机器学习算法构建诊断模型,针对露天设备小样本故障数据、故障类型重叠的特点,优化模型训练逻辑,提升复杂工况下的故障识别能力。(2)导入矿山历史故障案例数据

完成模型训练与迭代,建立特征参数与设备故障类型的对应关系,实现轴承磨损、齿轮故障、电机过载、线路异常等常见故障的自动识别分类。(3)模型增设故障定位功能,可根据异常特征分布点位,精准锁定设备故障区域与核心故障部件,解决传统诊断仅能判断异常、无法精准定位的问题。

5.4 故障分级预警与结果输出机制

结合矿山安全生产标准,建立分级诊断预警机制,规范故障结果输出形式。(1)依据设备故障危害程度,将故障划分为轻微异常、一般故障、严重故障三个等级,匹配不同的特征参数阈值区间。(2)模型实时比对监测数据与故障阈值,完成故障等级判定,对超出安全阈值的设备状态自动触发对应预警机制。(3)系统按固定格式输出诊断结果,包含异常参数、故障类型、故障位置、故障等级及数据时序信息,形成标准化诊断报告,为现场运维检修、设备隐患排查提供精准的数据依据^[5]。

结束语

本文完成了基于物联网的矿山机电设备远程监测与故障诊断系统的整体设计,结合露天矿山现场实际工况确定系统架构、硬件配置、软件功能及智能诊断算法。系统可实现机电设备运行数据实时采集、稳定传输、集中分析与故障分级预警,有效弥补传统设备检修方式的短板。整套系统具备良好的环境适配性与拓展性,可兼容露天矿区多类型机电设备监测工作。

参考文献

- [1]赵永成.基于物联网的露天矿山机电设备远程监控系统设计探究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2026(2):116-119.
- [2]张珍玲,张国刚,刘哲豪.基于物联网的矿山机电设备远程监控技术研究[J].现代工业工程,2026(4):5-8.
- [3]王永福.物联网技术在煤矿机电设备状态监测系统中的应用探析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(1):106-109.
- [4]龙峰,石勇.基于物联网的露天矿山机电设备远程监控系统设计[J].机电信息,2025(16):50-53.
- [5]姜蕴航.基于物联网的矿用设备远程监控系统设计[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2026(5):069-072.