

大数据技术下煤矿机电故障智能预警体系构建

刘静远

湖南楚湘建设工程集团有限公司 湖南 长沙 410114

摘要：针对传统煤矿机电设备故障监测滞后性强、预警精度低、被动式运维、多设备协同故障难以识别等行业痛点，本文依托大数据、物联网与人工智能技术，构建一套全流程、智能化、可落地的煤矿机电故障智能预警体系。实验结果表明，该预警体系可实现煤矿提升机、输送机、水泵、通风机等核心机电设备潜在故障的提前预判，故障预警准确率可达93%以上，有效降低设备停机故障率与井下安全生产风险，可为煤矿智能化运维、无人值守矿山建设提供技术支持。

关键词：大数据技术；煤矿机电设备；故障诊断；智能预警

引言：长期以来我国煤矿普遍采用人工巡检加事后维修的传统运维模式，搭配简单易参数监测设备，存在监测维度有限、数据孤岛严重、预警滞后、耦合故障辨识难度大等诸多短板。本文立足煤矿机电设备运行特点，运用大数据与人工智能技术构建一体化智能预警体系，贯通数据采集、分析、预警及运维全链条，推动设备故障管理由事后处置转向事前预警、事中管控与事后溯源，可为智慧矿山建设、煤矿安全生产提质与运维降耗提供重要支撑。

1 煤矿机电设备故障特征及传统预警弊端

1.1 核心机电设备常见故障特征

煤矿井下机电设备种类繁多、工况复杂，核心生产设备主要包括提升机、带式输送机、通风机、排水泵、刮板输送机、变电设备等，各类设备故障呈现差异化特征，且具有隐蔽性、随机性、关联性、累积性特点。

型号为2JK-3x1.5双绳缠绕式矿井提升机主要承担物料与人员运输任务，长期交变负荷运行，易出现轴承磨损、齿轮啮合异常、制动系统卡顿、电机过载等故障，故障前期表现为振动频谱异常、电流波动、温度缓慢升高，无明显显性故障，人工巡检难以发现^[1]。

12302工作面顺槽DSJ120/80/2×280带式输送机、一水平集中胶带下山DLT120/80/2×250带式输送机、主斜井DLT120/120/3*560S的带式输送机作为连续运输核心设备，常见故障包括皮带跑偏、撕裂、托辊卡死、电机过热、滚筒磨损等，故障多由长期磨损、物料过载、受力不均累积导致，突发故障易造成运输中断、物料堆积。

型号FBCDZNo 28/2X450通风机、型号MD280-43*7排水泵为井下安全保障设备，长期连续运行，易出现叶轮损坏或堵塞、轴承损坏、电机漏电、扬程不足等故障，一旦失效将直接导致井下通风不良、积水淤积，引

发重大安全隐患。

电气变电、开关设备易受井下潮湿、粉尘环境影响，出现绝缘老化、线路短路、接触不良等故障，具有极强的突发性，易引发电气安全事故。

1.2 传统故障预警体系主要弊端

数据采集碎片化：传统监测系统多为单设备独立监测，传感器布设稀疏，仅采集温度、电压、电流等基础参数，缺乏振动、噪声、压力、设备工况、环境参数等多维数据，无法全面反映设备健康状态。同时各设备监测系统相互独立，数据孤岛问题严重，无法实现多源数据融合分析^[2]。

数据处理能力薄弱：传统系统仅具备简单的数据记录与阈值对比功能，无大数据清洗、降噪、特征提取能力，无法剔除井下环境干扰产生的无效数据、噪声数据，数据精准度低，难以支撑精准故障分析。

预警模式被动滞后：传统预警依托固定阈值触发报警，仅能识别显性故障，无法挖掘数据背后的隐性故障与趋势性故障，无法实现提前预判，故障发生后才能报警，无法规避事故损失。

缺乏智能化分析能力：无机器学习、大数据建模分析机制，无法挖掘设备运行数据与故障的内在关联规律，无法实现故障类型识别、故障定位、故障趋势预测，运维工作高度依赖人工经验。

运维闭环缺失：预警、诊断、维修、溯源环节脱节，无统一的数据管理与运维调度机制，故障处置效率低，且无法积累故障数据、优化运维策略。

2 大数据智能预警体系总体架构设计

结合煤矿机电设备运行特点与传统体系短板，遵循数据全面感知、智能精准分析、分级快速预警、闭环高效运维的设计原则，依托物联网、大数据、云边协同、

人工智能技术，构建五层一体化煤矿机电故障智能预警体系，自下而上分为数据感知层、数据预处理与存储层、智能分析建模层、分级预警决策层、运维应用服务层，各层级协同联动，实现全流程智能化故障管控^[3]。

2.1 数据感知层

数据感知层是预警体系的基础，主要实现煤矿所有机电设备运行数据、井下环境数据、运维历史数据的全方位、实时化采集。采用物联网传感技术，在提升机、输送机、通风机、水泵、电气设备等核心机电设备安装子系统控制器PLC、智能装备、分站、传感器、智能仪表以及摄像仪等。关键点位布设高精度传感器，涵盖振动传感器、温度传感器、压力传感器、电流电压传感器、转速传感器、湿度与粉尘传感器等。

采集数据类型分为三类：一是实时运行状态数据，包括设备振动幅值、频谱、温度、电流、电压、转速、负荷、运行时长等实时动态参数；二是井下环境数据，包括井下湿度、粉尘浓度、温度、气压等环境参数，排除环境干扰对设备故障判断的影响；三是历史运维数据，包括设备出厂参数、历史故障记录、维修日志、零部件更换记录、设备启停记录等静态与时序历史数据，为模型训练与趋势分析提供数据支撑。同时采用工业以太网、工业光纤网络、工业总线、4G/5G/WiFi、NB-IoT等各类有线和无线通信技术，实现数据低延迟、高可靠实时传输。FBCDZNo 28/2X450主通风机（主扇）监控系统图，图1。

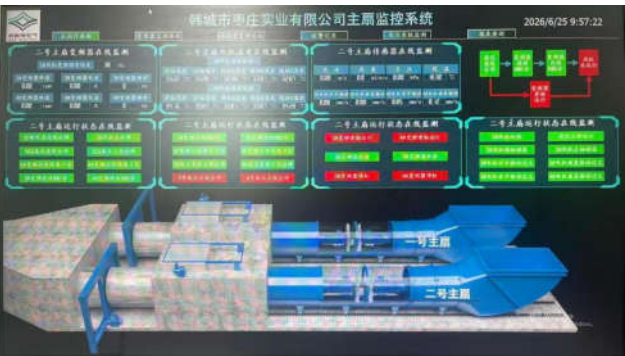


图1 主通风机（主扇）监控系统图

2.2 数据预处理与存储层

该层级核心功能是解决煤矿多源数据异构、噪声大、冗余多、缺失值多的问题，完成数据标准化处理与安全存储，为智能分析提供高质量数据支撑。就是对矿井全域数据的集成处理，通过云计算与大数据技术进行分类存储，构建数据仓库，实现数据深度挖掘，为智能应用提供数据服务。

开展大数据预处理，针对井下复杂环境产生的异常

数据、噪声数据，通过滤波算法完成数据降噪处理；采用插值法填补传感器信号波动导致的数据缺失值；通过Z-score归一化算法实现不同维度、不同量级数据的标准化统一，消除量纲差异；通过数据清洗剔除重复数据、无效数据，筛选有效故障关联数据，提升数据质量^[4]。

2.3 分级预警决策层

基于智能建模分析结果，结合煤矿机电设备故障危害等级，建立四级智能分级预警机制，实现精准预警、分级处置，避免预警泛滥、漏警误警问题。

I级（正常状态）：设备运行参数稳定，无异常特征，模型判定设备健康状态良好，系统仅实时记录数据，无需处置；

II级（轻微隐患）：设备参数出现小幅异常波动，存在潜在轻微故障趋势，无安全风险，系统推送预警提示，安排日常巡检排查；

III级（一般预警）：设备故障特征明显，故障概率较高，短期内可能出现设备异常，存在轻微生产风险，系统自动弹窗预警、推送运维工单，要求限时排查处置；

IV级（紧急预警）：设备严重异常，大概率发生突发故障，存在安全生产风险，系统触发声光报警、紧急弹窗，同步锁定设备高危运行工况，推送紧急处置方案，调度运维人员立即抢修。

同时系统具备故障定位、故障类型识别、故障趋势预测功能，可精准告知故障点位、故障类型、故障发展周期，为运维决策提供依据。

2.4 运维应用服务层

运维应用服务层是体系落地应用的终端载体，面向煤矿运维人员、管理人员提供可视化、智能化服务。搭建煤矿机电设备智能运维可视化平台，实现设备运行状态实时监控、数据曲线动态展示、预警信息实时推送、故障数据溯源查询、运维工单闭环管理、设备健康报表自动生成等功能。

搭建数据溯源与复盘模块，对每一次故障预警、故障处置过程进行数据留存，通过大数据复盘分析故障成因、故障发展规律，优化模型参数与运维策略，形成数据采集—智能预警—故障处置—复盘优化的闭环运维体系，持续提升设备运维智能化水平。

井下煤炭运输方式采用带式输送机运输。原煤运输线路为：12302工作面顺槽DSJ120/80/2×280带式输送机→一水平集中胶带下山DLT120/120/2×250带式输送机→井底煤仓→仓下给煤机→主斜井DLT120/120/3×560S带式输送机运至地面。主运输智能监控系统图，图2。

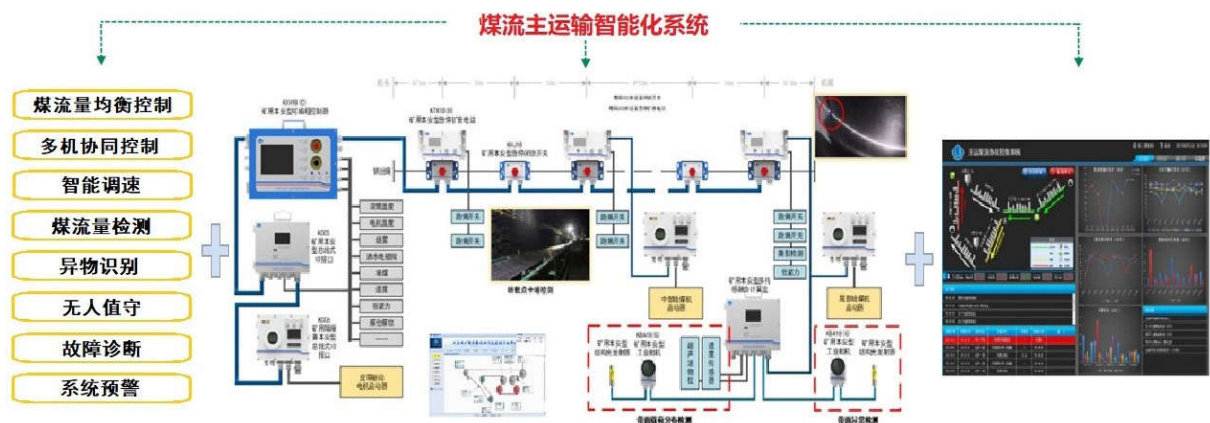


图2 主运输智能监控系统图

3 体系仿真验证与工程应用效果

3.1 试验方案

为验证本文构建智能预警体系的可行性与精准性，选取韩城市枣庄实业有限公司桑北煤矿核心机电设备为试验对象，选取提升机、带式输送机、主排水泵3类高频故障设备开展为期6个月的试运行测试。搭建大数据预警平台，部署全套感知设备与算法模型，同步对比传统监测系统的预警准确率、误警率、故障处置效率、设备故障率等核心指标。

3.2 应用效果分析

1) 预警精度显著提升：试验数据显示，本体系对机电设备各类故障的综合预警准确率达93.2%，相较于传统监测系统68.5%的准确率大幅提升，误警率、漏警率控制在2%以内，可精准识别隐性故障、趋势性故障，彻底解决传统系统预警滞后、精度不足的问题。

2) 设备故障率大幅降低：依托提前预警与预防性运维，试验周期内核心机电设备突发停机故障次数同比下降41.8%，设备非计划停机时间大幅减少，有效保障煤矿连续化、稳定化生产。

3) 运维成本有效降低：体系实现智能化预警、精准化运维，无需人工高频次巡检，人工巡检工作量减少50%以上，同时避免了设备故障扩大化导致的零部件损坏、设备大修问题，设备维修成本同比降低35.3%。

4) 安全管控能力全面升级：实现机电设备故障主动预判、高危风险紧急管控，有效规避了设备故障引发的井下安全事故，大幅提升煤矿机电系统安全运行稳定性。

4 体系应用现存问题与优化对策

4.1 现存问题

极端工况适应性不足：井下强干扰、超高负荷、突发工况波动等极端场景下，少量复杂耦合故障识别精度略有下降，模型泛化能力有待提升。

老旧设备适配性差：煤矿部分老旧机电设备无配套传感接口，传感器布设难度大、数据采集精度低，难以适配智能化预警体系。

数据安全保障薄弱：煤矿设备大数据包含生产、设备、运维核心数据，井下网络环境复杂，存在数据泄露、数据篡改、网络攻击的潜在风险。

4.2 优化对策

持续迭代算法模型：持续积累极端工况、耦合故障样本数据，优化机器学习模型参数，引入深度学习融合算法，提升复杂故障、耦合故障的识别精度，增强模型泛化能力，适配全工况运行场景。

推进设备智能化改造：对老旧机电设备进行传感系统、通信系统升级改造，适配大数据采集与传输需求，实现全设备、全场景监测覆盖，消除监测盲区。

强化数据安全体系：搭建煤矿大数据安全防护系统，通过数据加密、权限分级、防火墙防护、数据备份等技术手段，保障设备监测数据、预警数据、运维数据的安全性、完整性，规避网络安全风险。

完善运维管理制度：建立智能化预警体系配套运维管理制度，明确预警分级处置流程、平台运维规范、人员岗位职责，实现技术与管理深度融合，保障体系长期稳定运行。

参考文献

[1]丁恩杰,俞啸,廖玉波,等.基于物联网的矿山机械设备状态智能感知与诊断[J].煤炭学报,2020,45(06):2135-2145.
[2]刘建军.基于大数据分析的煤矿机电设备故障规律与预防性维修决策[J].地矿测绘研究前沿,2026,9(01):42-47.
[3]张鹏飞.智能化技术在煤矿机电设备安全管理中的应用[J].煤炭科学技术,2023,51(S1):156-160.
[4]李明轩,王志强.大数据技术在煤矿电气自动化故障预警中的应用研究[J].工矿自动化,2025,51(02):88-93.