

矿山机电设备智能监测与故障诊断技术研究

刘存

汇能控股集团有限公司, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 矿山机电设备涵盖采掘、提升运输等多类核心设备, 工作环境恶劣且工况波动大, 易引发各类故障导致生产中断。为保障设备可靠运行, 需依托基础理论构建智能监测技术体系, 通过多源感知传感网络部署实现全域精准数据采集, 经去噪、归一化等预处理及边缘-云端架构完成数据传输存储。针对传统诊断算法局限性, 选型并改进神经网络等智能算法, 构建融合多源信息的故障诊断模型, 通过科学的训练流程与参数优化提升诊断性能。多维度指标体系与智能技术的结合, 实现设备故障精准识别与早期预警, 为矿山机电设备安全稳定运行提供技术支撑。

关键词: 矿山机电; 智能监测; 故障诊断

Research on Intelligent Monitoring and Fault Diagnosis Technology of Mine Electromechanical Equipment

Liu Cun

Huining Holding Group Co., Ltd., China Inner Mongolia Ordos 017000

Abstract: Mining electromechanical equipment, including core systems for excavation, hoisting, and transportation, operates in harsh environments with highly variable conditions that frequently cause malfunctions and production disruptions. To ensure reliable equipment operation, an intelligent monitoring system must be developed based on fundamental theories. This system employs multi-source sensing networks for comprehensive data collection, followed by preprocessing steps like noise reduction and normalization, with data transmission and storage handled through edge-cloud architectures. Addressing the limitations of traditional diagnostic algorithms, this study selects and refines intelligent algorithms such as neural networks to build a fault diagnosis model integrating multi-source information. Through scientific training processes and parameter optimization, diagnostic performance is enhanced. The integration of multidimensional metrics and intelligent technologies enables precise fault identification and early warning, providing technical support for the safe and stable operation of mining electromechanical equipment.

Keywords: Mine electromechanical; Intelligent monitoring; Fault diagnosis

0 引言

随着矿山开采规模不断扩大以及机械化程度逐步提升, 机电设备成为保障生产连续性的关键支撑要素。其运行状态与生产效率以及作业安全直接紧密相连, 矿山井下有高粉尘、高湿度以及强振动等恶劣环境条件, 导致机电设备长期处于高负荷运行状况, 工况频繁波动引发部件磨损、疲劳等诸多问题频繁出现, 机械、电气以及系统集成类故障时常发生, 这有可能造成设备停机, 还极易引发安全事故以及带来重大经济损失。当下传统故障诊断方法难以契合复杂工况下的故障识别需求, 智能监测与诊断技术的应用成为突破这一困境的关键所在, 在这样的背景情形下, 深入探究矿山机电设备监测与故障诊断的理论以及技术体系, 对于推动矿山生产朝着安全高效方向发展有关键现实意义。

1 矿山机电设备监测与故障诊断基础理论

1.1 矿山机电设备核心类型与工作特性

矿山机电设备的核心类型包含采掘设备、提升运输设备、通风排水设备以及供电设备等, 其中采掘设备以采煤机、掘进机为代表, 承担着井下资源开采的核心任务, 提升运输设备覆盖绞车、皮带输送机等, 负责物料与人员的转运工作, 通风排水设备可保障井下作业环境的安全, 供电设备则为全矿的生产提供动力支持。这些设备的工作特性表现为高负荷、高粉尘、高湿度以及强振动, 作业环境恶劣, 工况波动较大, 设备长期处于复杂的应力状态下, 容易引发部件磨损、疲劳等问题, 对设备的可靠性与稳定性要求非常高^[1]。

1.2 设备故障类型与故障演化机理

设备故障类型主要被划分为机械故障、电气故障以及

系统集成故障这三类,机械故障呈现出零部件磨损、断裂以及变形等状况,电气故障包含线路短路、元件老化以及绝缘失效等情况,系统集成故障是由于各子系统协同出现异常所致,故障演化机理有渐进性与关联性的特性,起初大多是微小的缺陷。在恶劣工况持续作用的情况下,缺陷会逐渐累积并扩展,引发局部部件失效,如果没有及时进行干预,失效范围将会蔓延,造成单设备停机甚至全矿生产系统瘫痪,故障演化过程受到工况参数、设备材质以及维护水平等多种因素的影响^[9]。

1.3 监测与故障诊断的核心指标体系

监测与故障诊断核心指标体系是围绕机械性能、电气参数、环境参数以及运行状态这四大维度来构建的,其中机械性能指标包含振动幅值、频率、转速以及磨损量等方面,可用来表征机械部件的健康状态。电气参数涉及电压、电流、功率以及绝缘电阻等内容,可反映电气系统运行的稳定性,环境参数包含温度、湿度、粉尘浓度以及瓦斯含量等,能为故障诊断提供工况背景方面的支撑,运行状态指标涉及设备启停次数、负载率以及运行时长等,可辅助判断设备运行的负荷与老化程度。各个指标之间相互关联且互补,借助指标阈值的界定以及趋势分析,达成对设备故障的精准识别以及早期预警。

2 矿山机电设备智能监测技术体系构建

2.1 多源感知传感网络部署与数据采集

多源感知传感网络进行部署时,要依据矿山机电设备的分布特征以及监测需求来开展,构建出能实现全域覆盖同时精准聚焦的感知体系,对于采掘、运输、通风等不同类型的设备,要差异化地部署振动传感器、温度传感器、电流传感器、瓦斯传感器等多种类型的感知设备,在关键传动部件如轴承、齿轮处,运用高精度振动传感器来实现高频数据采集。在电气控制柜内,布设温度与电流传感器,以此实时捕捉电气参数的变化。在井下作业环境区域,合理地布设环境类传感器,获取全域环境数据。在部署过程中,兼顾设备运行的安全性以及数据采集的完整性,采用分布式部署模式来减少传输延迟,借助传感器校准与同步控制来保障数据的一致性^[9]。在数据采集环节,采用多速率采集策略,对关键参数进行高频采集,对常规参数采用低频采集,构建采集异常监测机制。针对传感器故障、数据丢失等情况进行实时识别与补救,保证采集数据的真实性与有效性,为后续的智能诊断提供可靠的数据支撑。

2.2 监测数据预处理技术

监测数据预处理是提高数据质量、保证诊断精度的关

键步骤,主要包含去噪、归一化、数据对齐这三大核心技术。去噪处理针对矿山复杂环境中数据容易受到电磁干扰、机械振动干扰等情况,运用小波变换、经验模态分解等自适应去噪算法,精确分离有效信号与噪声成分。同时,保留信号里的微弱故障特征,防止过度去噪导致特征丢失。归一化处理是为了消除不同传感器、不同参数之间的量纲差异以及数值范围差异,借助最大最小归一化、Z-score 归一化等方式将数据映射到统一区间,保证各维度数据在模型训练和诊断分析中拥有同等权重,数据对齐关注多源传感器数据的时间同步问题,因为不同传感器采集频率、传输延迟有差异,容易造成数据时间戳不匹配,凭借时间戳校准、滑动窗口匹配等技术实现多源数据的时间同步对齐,同时对缺失数据采用插值法等进行补全处理,构建时间连续、维度统一的标准化数据矩阵,为后续实时监测与智能诊断模型的高效运行打下基础。

2.3 实时数据传输与存储架构设计

实时数据传输与存储架构的设计要同时考虑数据传输的实时性、可靠性以及存储的高效性、扩展性,以此来适配矿山井下复杂环境和海量监测数据的处理要求。传输架构运用“边缘-云端”分层传输模式,井下边缘节点负责在附近采集传感器数据,借助工业以太网、无线传感网络等多链路冗余传输方式把数据传至地面汇聚节点,并且在边缘节点对数据做初步筛选与压缩处理,减少传输带宽的占用。针对井下复杂的电磁环境,采用抗干扰调制解调技术提高传输稳定性,构建传输链路状态监测机制,达成链路故障的快速切换与修复,存储架构采用“边缘缓存-云端存储”协同模式,边缘节点缓存近期高频访问的实时数据,以契合本地快速查询与应急处理的需求。云端运用分布式存储系统,结合时序数据库与关系型数据库的长处,时序数据库用来存储海量连续的监测时序数据,关系型数据库用来存储设备基础信息、诊断结果等结构化数据。同时,引入数据生命周期管理机制,对不同关键程度的数据实施差异化存储策略,定期清理无效数据、归档历史数据,凭借数据压缩与索引优化技术提高存储效率,保证架构拥有良好的可扩展性与可维护性,支撑智能监测系统的长期稳定运行。

3 基于智能算法的故障诊断模型构建

3.1 传统故障诊断算法局限性分析

传统故障诊断算法中,以基于信号处理的方法以及基于模型的方法较为典型。在矿山机电设备故障诊断的实际场景里,有着一定的局限性,如基于信号处理的方法,包

含傅里叶变换、小波分析等,对于非线性且非平稳的设备振动信号,适应能力欠佳,很难有效地提取复杂工况下微弱的故障特征,并且对信号预处理的质量有着较高的依赖程度。基于模型的方法,则需要构建精确的设备数学模型,但矿山机电设备的结构复杂,工况波动幅度大,模型参数容易受环境因素的影响,导致模型精度难以得到保障。此外,传统算法普遍存在诊断效率较低、泛化能力较弱的问题,难以应对多故障并发的场景,而且对诊断人员的经验依赖程度较高,无法契合矿山机电设备智能化、高效化的故障诊断需求,对诊断技术在工程应用方面的深度与广度形成了制约。

3.2 主流智能诊断算法选型与改进

主流的智能诊断算法有神经网络、支持向量机、贝叶斯网络以及深度学习算法等,这些算法在矿山机电设备故障诊断中的选型,要依据矿山机电设备的故障特征以及诊断需求来精准匹配,神经网络拥有强大的非线性映射能力,适合用于识别复杂故障特征,不过容易出现过拟合问题。支持向量机在小样本数据场景下诊断精度较高,可有效解决高维数据分类问题,然而处理海量监测数据时效性比较低。针对这些不足,需要进行改进,对于神经网络,引入正则化机制来优化网络结构,以此提升模型泛化能力。对于支持向量机,改进核函数设计,平衡好诊断精度与计算效率,深度学习算法像卷积神经网络,可借助多层卷积结构自动提取故障特征,需要结合矿山数据特点来优化网络层数与卷积核参数,提高对微弱故障特征的捕捉能力,提高算法在复杂工况下的适应性。

3.3 融合多源信息的故障诊断模型构建

融合多源信息的故障诊断模型构建的最关键的是突破单一数据源的限制,借助多维度数据的互补来提高诊断的准确性与可靠性。构建该模型时首先要确定多源信息的融合层次,采用数据层、特征层、决策层的分层融合架构,数据层融合是对经过预处理的多源传感器数据进行冗余消除与信息互补,形成统一的数据矩阵。特征层融合运用特征提取算法挖掘各数据源的深层故障特征,借助特征选择方法挑选关键特征,以此降低模型的计算复杂度。决策层融合依据多智能算法的诊断结果,采用加权投票、证据理论等融合策略,综合判断设备故障的类型与严重程度。在模型构建过程中,需着重处理多源数据的异构性问题,借助数据标准化、特征对齐等技术实现不同类型数据的有效融合。同时,保证模型的实时性与可解释性,以适应矿山

现场的诊断需求。

3.4 模型训练与参数优化方法

模型训练以及参数优化是保障故障诊断模型性能的关键要点,构建科学合理的训练流程以及优化策略,训练数据的选取需要同时考虑数据的代表性和均衡性,运用数据提高技术来扩充故障样本数据集,以此解决矿山机电设备故障样本稀缺的状况。采用训练集、验证集、测试集三分法来划分数据,防止模型出现过拟合现象。参数优化要区分模型超参数与网络参数,超参数比如学习率、网络层数、正则化系数等运用网格搜索、贝叶斯优化等智能优化算法来确定最优组合,网络参数借助反向传播算法、梯度下降法等进行迭代更新,提高模型收敛速度以及训练精度。训练过程中引入早停机制实时监测验证集误差变化,当误差持续上升时停止训练,同时构建模型性能评价体系,将诊断准确率、召回率、F1分数等作为核心指标,达成对模型训练效果的全面评估以及参数的动态优化。

4 结语

矿山机电设备监测以及故障诊断是保障矿山安全生产的关键要点,对其理论体系的完善以及技术的创新应用有着重大意义,依据核心设备特性以及故障机理构建而成的多维度监测指标体系,给故障识别提供了科学的依据,有多源感知、智能预处理以及分层传输存储功能的技术体系,夯实了数据支撑的基础。基于改进智能算法的多源信息融合诊断模型,切实突破了传统方法的限制,提高了故障诊断的精准程度与高效性能。相关理论与技术的协同发展,为解决恶劣工况下矿山机电设备故障诊断难题提供了有效的途径,可提升矿山生产的安全程度与稳定性能,为矿业智能化升级奠定了关键的技术基础。

参考文献:

- [1] 杨勇. 矿山机电设备机械式振动故障特征智能提取方法[J]. 机械管理开发, 2025,40(06):61-63.
- [2] 张迎丽,任文军. 智能技术在矿山机电设备故障诊断中的应用[J]. 中国金属通报, 2025,(06):156-158.
- [3] 杨肖. 基于物联网的矿山机电设备智能监测与故障预警系统设计[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(二). 山东盟鲁采矿工程有限公司, 2025: 94-95.

作者简介:刘存(1985.08-),男,汉族,内蒙古伊金霍洛旗,毕业于合肥工业大学,本科,工程师,研究方向:主要从事机电工程、智能化矿山建设等方面研究。