

煤矿机电设备运行故障智能监测方法研究

高华章

宁夏红墩子煤业有限公司 宁夏 银川 750001

摘要: 本文针对煤矿机电设备故障隐蔽性强、渐进性明显、关联性突出等特征,提出了一种基于多源信号采集与机器学习融合的智能监测方法。研究设计了涵盖振动、温度、电流、电压信号的多源采集系统,采用时域-频域联合提取与主成分分析降维相结合的特征提取方法,构建了SVM、RF、CNN加权融合的故障识别模型。实验以提升机与带式输送机为对象,结果表明融合模型准确率达98%以上,召回率与F1值均超97%,显著优于单一模型。在此基础上,从传感器安装、信号预处理参数调整及模型维护更新三方面提出应用要点,为煤矿机电设备故障的早期预警与精准识别提供了系统化技术方案。

关键词: 煤矿机电设备; 运行故障监测; 方法

引言: 煤矿机电设备是保障矿井安全高效生产的核心装备,其运行状态直接关系到生产安全与经济效益。然而,煤矿井下工况复杂,设备长期处于高粉尘、高湿度、强振动等恶劣环境中,故障频发且多呈现隐蔽性、渐进性与关联性特征,传统定期检修与人工巡检模式难以实现故障的早期识别与精准定位,常导致设备非计划停机,造成重大经济损失甚至安全事故。随着传感器技术与人工智能算法的快速发展,基于多源信号采集与智能算法融合的故障监测方法为解决上述问题提供了新途径。本文围绕煤矿机电设备故障特征,系统构建了从信号采集、特征提取到智能识别的完整监测体系,并通过实验验证了融合模型的优越性,旨在为煤矿机电设备智能化运维提供理论支撑与技术参考。

1 煤矿机电设备运行故障特征分析

煤矿机电设备种类繁多,涵盖提升、运输、采掘、通风、排水等多种类型设备,不同设备的运行机理、结构特点存在显著差异,其故障类型与特征也呈现出明显的多样性。但从整体来看,煤矿机电设备的故障多与设备运行过程中的物理状态变化、信号异常波动密切相关,通过提取设备运行过程中的特征信号,可有效捕捉故障发生的规律与核心特征。(1) 设备运行过程中产生的特征信号主要包括振动信号、温度信号、电流信号、电压信号等,这些信号能够直观反映设备的实时运行状态。其中,振动信号是最具代表性的特征信号,设备运行时,零部件的磨损、松动、失衡等故障会导致振动频率、振幅等参数出现异常波动,通过分析振动信号的时域、频域特征,可实现对设备机械故障的精准识别;温度信号的异常升高,通常与设备过载、接触不良、散热失效等因素相关,是判断设备电气故障与机械磨损故障的重要

依据;电流、电压信号的波动则与设备电机运行异常、电路故障密切相关,其幅值、频率的变化可直观反映设备电气系统的运行状态。(2) 煤矿机电设备的故障还具有隐蔽性、渐进性、关联性等鲜明特点。隐蔽性主要体现为故障初期,设备异常信号微弱,难以被常规监测手段捕捉,随着故障不断发展,异常信号逐渐增强,最终导致设备停机;渐进性表现为多数故障并非突然发生,而是经历从轻微异常到严重故障的渐进过程,这一特性为故障早期预警提供了可能;关联性则指部分设备故障会引发连锁反应,某一零部件故障若未及时处理,可能导致相关部件损坏,进一步扩大故障影响范围^[1]。

2 煤矿机电设备故障智能监测体系构建

2.1 监测信号采集系统设计

监测信号采集是智能监测体系的基础环节,其采集精度与实时性直接决定后续故障识别的效果。结合煤矿井下复杂工况,设计适配煤矿机电设备的多源信号采集系统,实现对振动、温度、电流、电压等多维度特征信号的同步采集,为后续故障分析提供可靠的数据支撑。(1) 该采集系统主要由传感器、数据采集模块、信号预处理模块三部分组成。传感器选型需紧密结合监测信号类型与井下工况要求:振动信号选用抗干扰能力强、测量精度高的压电式振动传感器,安装于设备关键零部件处,确保能够精准捕捉设备振动信号;温度信号采用耐高温、防粉尘的红外温度传感器,实时监测设备电机、轴承等关键部位的温度变化;电流、电压信号则采用霍尔传感器,实现对设备电气系统运行参数的无接触式采集,避免对设备正常运行造成干扰。(2) 数据采集模块的核心功能是将传感器采集到的模拟信号转换为数字信号,并通过无线传输技术将数据传输至信号预处理模块,

传输过程中采用加密处理,有效避免数据丢失与外界干扰;信号预处理模块则对采集到的原始信号进行去噪、滤波、归一化等处理,剔除井下环境干扰产生的噪声信号,保留能够真实反映设备运行状态的有效信号,为后续特征提取与故障识别工作奠定坚实基础。

2.2 故障特征提取方法优化

故障特征提取是智能监测的核心环节,其核心目标是从预处理后的信号中,提取能够准确区分设备正常状态与故障状态的特征参数,特征提取的精度直接影响故障识别的准确性。针对传统特征提取方法存在的特征冗余、提取效率偏低等问题,结合煤矿机电设备故障特征的多样性,优化特征提取方法,构建多维度特征提取体系。(1)针对振动信号,采用时域-频域联合提取方法:时域特征主要提取峰值、有效值、峭度、偏度等参数,以此反映振动信号的幅值变化规律;频域特征则采用傅里叶变换、小波变换等方法,提取信号的频率成分、谐波幅值等参数,捕捉设备故障引发的频率异常变化。针对温度、电流、电压等信号,重点提取信号的均值、方差、最大值、最小值等统计特征,直观反映信号的波动规律与异常程度。(2)为减少特征冗余、提升特征提取效率,采用主成分分析(PCA)对提取的多维度特征进行降维处理,剔除相关性强、区分度低的特征参数,保留能够最直观反映设备故障状态的核心特征,构建精简、高效的故障特征向量,为后续故障识别模型的训练与优化提供有力支撑^[2]。

2.3 智能监测模型构建

结合煤矿机电设备的故障特征与实际监测需求,构建基于机器学习的智能故障识别模型,实现对设备故障的精准识别与类型判定。模型构建过程中,充分考量不同类型煤矿机电设备的故障差异,采用多模型融合策略,有效提升模型的适配性与识别精度。(1)选取支持向量机(SVM)、随机森林(RF)、卷积神经网络(CNN)三种算法构建融合模型:SVM算法具备较强的小样本学习能力,能够在样本量有限的情况下实现对故障类别的精准区分,适用于煤矿机电设备故障样本稀缺的场景;RF算法具有抗过拟合、泛化能力强的优势,能够有效处理多维度特征数据,提升故障识别的稳定性;CNN算法可自动提取信号中的深层特征,无需人工干预,适用于复杂工况下的故障识别。(2)采用加权融合的方式整合三种算法的识别结果,优化融合权重,使模型能够充分发挥各算法的优势,进一步提升故障识别的精度与泛化能力。模型训练过程中,以预处理后的特征向量作为输入,以设备故障类型作为输出,通过反复迭代优化模型参数,

确保模型能够准确识别设备正常运行状态与各类故障状态,实现对潜在故障的早期预警。

3 智能监测方法的验证与优化

3.1 实验数据准备

为验证所提出智能监测方法的有效性与准确性,选取煤矿常用的提升机、带式输送机两种核心机电设备作为研究对象,采集两种设备正常运行状态与典型故障状态下的多源特征信号,构建实验数据集,为模型验证提供可靠的数据支撑。实验数据采集过程中,模拟煤矿井下实际运行工况,设置设备正常运行、轴承磨损、电机过载、电气接触不良等多种状态,同步采集振动、温度、电流、电压等特征信号,每个状态下采集足量样本数据,确保数据集的完整性与代表性。对采集到的原始数据进行预处理,剔除噪声信号与异常数据,采用前文优化的特征提取方法提取特征参数、构建特征向量,将数据集按7:3的比例划分为训练集与测试集,分别用于模型的训练与验证^[3]。

3.2 模型验证与分析

基于构建的实验数据集,对所提出的融合智能监测模型进行验证,同时与单一SVM模型、RF模型、CNN模型进行对比,以此验证融合模型的优越性。验证过程中,选取准确率、召回率、F1值作为核心评价指标,其中准确率反映模型识别的整体正确性,召回率反映模型对故障样本的识别能力,F1值则综合反映模型的识别精度与召回率。实验结果显示,所提出的融合智能监测模型在测试集上的准确率、召回率、F1值均高于单一模型,其中准确率达98%以上,召回率与F1值均达97%以上,能够准确识别设备的各类故障状态,且对轻微故障的识别效果良好,实现了对潜在故障的早期预警。单一模型中,CNN模型的识别效果优于SVM模型与RF模型,但在小样本场景下的泛化能力不足;融合模型通过整合各算法的优势,有效弥补了单一模型的短板,显著提升了故障识别的精度与稳定性。

3.3 监测方法优化策略

结合实验验证结果,针对模型存在的不足,提出针对性的优化策略,进一步提升智能监测方法的整体性能。针对模型在小样本场景下泛化能力不足的问题,采用数据增强技术,通过对现有样本进行平移、缩放、旋转等处理,扩充数据集规模,提升模型的小样本学习能力;针对特征提取过程中部分细微故障特征难以捕捉的问题,优化小波变换参数,提升信号分解精度,增强特征提取的完整性;针对模型运行效率不足的问题,简化模型结构、优化算法参数,减少模型计算量,提升监测实时性,

确保能够快速响应设备故障异常^[4]。

4 智能监测方法的应用要点

4.1 传感器安装规范

传感器的安装位置与安装方式直接影响信号采集精度,因此在智能监测系统实际应用过程中,需严格遵循传感器安装规范。结合不同类型的监测信号与设备零部件,合理确定安装位置:振动传感器优先安装于设备轴承、电机轴等关键运动部件处,确保能够捕捉设备振动的核心信号;温度传感器安装于设备电机外壳、轴承座等易发热部位,避开通风良好、温度波动较大的区域;电流、电压传感器安装于设备电气回路的关键节点,确保采集到的信号能够准确反映设备电气系统的运行状态。同时,安装过程中需做好传感器的固定与防护处理,避免因设备振动导致传感器松动,影响信号采集效果;传感器必须取得有效的MA标志和防爆合格证,外壳防护等级不低于IP65,具备适应高粉尘、高湿度、强振动工况的能力,确保传感器长期稳定运行。

4.2 信号预处理参数调整

煤矿井下工况复杂多变,不同时间段、不同作业场景下,设备运行环境的干扰强度存在差异,因此需结合实际运行情况,动态调整信号预处理参数,确保预处理后的信号能够准确反映设备运行状态。针对不同类型的干扰信号,合理调整滤波参数,有效剔除工频干扰、粉尘干扰等干扰信号;针对信号幅值波动较大的情况,优化归一化参数,使特征信号幅值处于合理范围,提升特征提取精度。此外,需定期对预处理模块进行校准,检查信号采集与预处理的准确性,及时发现并解决预处理过程中出现的问题,确保预处理后的信号质量,为后续故障识别工作提供可靠支撑^[5]。

4.3 模型维护与更新

智能监测模型的性能会随着设备运行状态的变化、故障类型的新增而逐渐下降,因此需建立完善的模型维

护与更新机制,确保模型长期稳定运行。定期采集设备运行的新样本数据,对模型进行重新训练,优化模型参数,提升模型对新增故障类型的识别能力;定期监测模型运行状态,检查模型的识别精度与运行效率,及时发现并修复模型存在的问题;结合设备维护记录与故障统计数据,分析模型识别过程中的薄弱环节,针对性优化模型结构与算法参数,进一步提升模型性能。

结束语

本文围绕煤矿机电设备故障的智能监测问题,系统构建了信号采集、特征提取与模型识别三位一体的监测体系,并通过实验验证了多模型融合策略在故障识别精度与稳定性方面的显著优势。研究表明,基于多源信号的智能监测方法能够有效捕捉设备早期故障特征,实现对潜在故障的精准预警。在实际应用中,需严格规范传感器安装、动态调整预处理参数并建立模型持续更新机制,确保监测系统长期稳定运行。未来可进一步探索数字孪生技术与深度学习算法在故障监测中的深度融合,拓展监测模型对复合故障与未知故障类型的识别能力,推动煤矿机电设备运维向智能化、精准化方向持续发展。

参考文献

- [1]章国华.煤矿掘进机机电设备故障监测与方法研究[J].矿业装备,2025(2):174-176.
- [2]田海军.智能监测技术在煤矿机电设备故障诊断中的应用研究[J].新疆钢铁,2025(4):278-280.
- [3]徐西祥,黄青,曹富国,李强,杨坤.基于人工智能的煤矿机电设备运行参数预测研究[J].现代工业经济和信息化,2025,15(7):73-74+77.
- [4]闫建飞.煤矿机电设备故障预测的数据挖掘方法[J].能源与节能,2025(1):275-278.
- [5]刘羽.煤矿机电设备故障诊断系统的智能化研究[J].仪器仪表用户,2025,32(11):36-38.