

机电设备振动信号分析与故障预测模型的构建与验证

戚秋平

浙江天蓝环保工程有限公司 江苏扬州

【摘要】 机电设备在运行过程中，振动信号蕴含着丰富的设备状态信息。通过对振动信号进行分析，可构建故障预测模型，提前发现潜在故障，减少停机时间和维修成本。本文基于振动信号特征提取与机器学习算法，构建了机电设备故障预测模型，并通过实验验证了模型的有效性。研究表明，该模型能够准确预测设备故障，为机电设备的智能化维护提供了理论依据和技术支持。

【关键词】 机电设备；振动信号分析；故障预测；特征提取；模型验证

【收稿日期】 2024 年 12 月 23 日 **【出刊日期】** 2025 年 1 月 10 日 **【DOI】** 10.12208/j.jeea.20250006

Construction and verification of vibration signal analysis and fault prediction model for mechanical and electrical equipment

Qiuping Qi

Zhejiang Tianlan Environmental Protection Engineering Co, Yangzhou, Jiangsu

【Abstract】 During the operation of electromechanical equipment, vibration signals contain rich equipment status information. By analyzing vibration signals, a fault prediction model can be constructed to detect potential faults in advance, reducing downtime and maintenance costs. This article constructs a fault prediction model for electromechanical equipment based on vibration signal feature extraction and machine learning algorithms, and verifies the effectiveness of the model through experiments. The research results indicate that the model can accurately predict equipment failures, providing theoretical basis and technical support for the intelligent maintenance of electromechanical equipment.

【Keywords】 Electromechanical equipment; Vibration signal analysis; Fault prediction; Feature extraction; Model validation

引言

机电设备是现代工业生产的重要组成部分，其运行状态直接关系到生产效率和产品质量。设备故障可能导致生产中断，造成巨大的经济损失。振动信号作为设备运行状态的重要表征，能够反映设备内部的机械特性变化。通过对振动信号进行分析，提取关键特征，并结合机器学习算法构建故障预测模型，可实现对设备故障的早期预警。

1 振动信号特征提取

振动信号是机电设备运行状态的重要表征，其中蕴含着丰富的设备健康信息。在实际应用中，振动信号往往包含大量的噪声和冗余信息，直接用于故障诊断会导致模型复杂度增加和诊断精度下降。特征提取是振动信号分析的关键步骤之一。特征提

取的目的是从原始信号中提取出能够有效反映设备状态的关键特征，从而为后续的故障诊断和预测提供可靠的数据支持。振动信号的特征提取方法主要有时域分析、频域分析和时频域分析。时域分析关注信号的幅值、均值、方差等统计特征，这些特征能够直观地反映信号的波动情况和能量分布。频域分析则通过傅里叶变换将信号从时域转换到频域，提取信号的频率分布特征，能够揭示信号中不同频率成分的能量分布情况^[1]。时频域分析结合了时域和频域的优点，能够同时反映信号的时域和频域特性，尤其适合处理非平稳信号。

振动信号的特征提取需要根据设备的具体运行状态和故障类型进行选择和优化。在时域分析中，常用的特征包括信号的均值、方差、峰值、峭度等。

这些特征能够反映信号的中心趋势、离散程度和异常波动情况。信号的均值可以反映信号的整体水平,方差则能够体现信号的波动程度。峰值和峭度则对信号中的突变和冲击成分更为敏感,能够有效捕捉设备故障时产生的冲击信号。在频域分析中,通过傅里叶变换将信号转换到频域后,可以提取信号的频谱特征,如主频、频带能量等。这些特征能够揭示信号中不同频率成分的能量分布情况,对于诊断设备的周期性故障和旋转部件的故障具有重要意义。时频域分析则适用于处理非平稳信号,常用的时频分析方法有短时傅里叶变换(STFT)、小波变换等。这些方法能够在时间和频率两个维度上同时分析信号,能够有效捕捉信号的时变特性,对于诊断设备的动态故障和复杂故障具有独特的优势。

振动信号特征提取的效果直接影响到后续故障诊断和预测的精度。为了验证特征提取方法的有效性,本研究设计了实验验证方案。在实验中,采集了正常和故障状态下的振动信号数据,分别提取了时域、频域和时频域特征,并对提取的特征进行了分析和对比^[2]。实验结果表明,通过综合运用多种特征提取方法,能够有效提取出反映设备状态的关键特征。这些特征在正常和故障状态下具有明显的差异,能够为后续的故障诊断和预测提供可靠的数据支持。通过对特征进行降维和优化,进一步提高了特征的质量,减少了特征的冗余信息,提高了后续模型的计算效率和诊断精度。

2 故障预测模型构建

在机电设备故障预测模型的构建过程中,选择合适的特征提取方法是关键步骤之一。振动信号中蕴含着丰富的设备运行状态信息,但同时也夹杂着大量噪声和冗余数据。需要通过有效的特征提取手段,将这些复杂信号转化为能够反映设备健康状态的关键特征。时域分析能够提取信号的幅值、均值、方差等统计特征,这些特征反映了设备在运行过程中振动幅度的变化趋势。频域分析则通过傅里叶变换将信号从时域转换到频域,提取信号的频率分布特征,这些特征能够揭示设备内部机械结构的动态特性^[3]。时频域分析结合了时域和频域的优点,能够同时反映信号的时域和频域特性,尤其适用于非平稳信号的处理。在本研究中,综合运用时域、频域和时频域分析方法,提取振动信号的多种特征,为后

续的故障预测模型构建提供了坚实的数据基础。通过这些特征提取方法,能够有效降低数据维度,同时保留对故障诊断和预测最有价值的信息。

机器学习算法的选择对于故障预测模型的性能至关重要。在众多机器学习算法中,支持向量机(SVM)、神经网络(NN)和随机森林(RF)是常用的几种。SVM通过寻找最优分割超平面,将数据分为不同的类别,具有良好的分类性能,尤其在处理小样本数据时表现出色。神经网络能够模拟人脑神经元的连接方式,对复杂的非线性关系具有很强的拟合能力,适用于大规模数据的处理。随机森林通过构建多个决策树,对数据进行投票分类,能够有效避免过拟合问题,同时具有较高的分类精度和稳定性。在本研究中,对这三种算法进行了对比分析,分别从模型的训练时间、预测精度、泛化能力等方面进行了评估。通过实验数据的训练和测试,最终选择了性能最优的算法构建故障预测模型。该模型能够有效识别正常和故障状态下的振动信号特征,为机电设备的故障预测提供了可靠的理论支持。

为了验证构建的故障预测模型的有效性,设计了详细的实验验证方案。实验中采集了大量正常和故障状态下的振动信号数据,这些数据涵盖了设备在不同运行条件下的状态变化^[4]。通过将数据分为训练集和测试集,利用训练集对模型进行训练,然后使用测试集对模型的预测性能进行评估。在评估过程中,计算了模型的准确率、召回率和F1值等指标,这些指标能够全面反映模型的预测性能。实验结果表明,所构建的故障预测模型能够准确预测机电设备的故障状态,具有较高的准确率和召回率。对模型的预测误差进行了深入分析,探讨了影响模型精度的因素,如特征选择的合理性、数据质量、算法参数设置等。这些分析为进一步优化模型提供了重要的参考依据。通过实验验证,证明了该故障预测模型在实际应用中的可行性和有效性,为机电设备的智能化维护提供了有力的技术支持。

3 机电设备振动信号故障预测模型模型验证与结果分析

在模型验证阶段,实验方案的设计至关重要。为了确保模型的可靠性和有效性,研究团队采集了大量机电设备在正常运行和不同故障状态下的振动信号数据。这些数据被分为训练集和测试集,分别

用于模型的训练和性能评估。通过对比不同机器学习算法在相同数据集上的表现,最终选择了性能最优的算法构建故障预测模型^[5]。实验过程中,严格控制数据采集的环境和设备状态,确保数据的准确性和一致性,为模型验证提供了坚实的基础。

在结果分析方面,模型的性能通过一系列指标进行评估,包括准确率、召回率和F1值等。实验结果显示,所构建的故障预测模型在测试集上表现出了较高的准确率和召回率,表明模型能够有效区分设备的正常运行状态和故障状态。通过对模型预测结果与实际故障情况的对比分析,进一步验证了模型的可靠性。研究还对模型的预测误差进行了深入探讨,分析了可能影响模型精度的因素,如特征提取的完整性、数据噪声以及算法的超参数设置等。这些分析结果为后续模型的优化提供了重要参考,也为实际应用中模型的改进指明了方向。

模型验证的结果不仅证明了其在机电设备故障预测中的有效性,还为未来的研究和应用提供了宝贵的经验^[6]。通过实验验证,研究团队发现,振动信号分析结合机器学习算法能够为机电设备的智能化维护提供有力支持。模型的进一步优化仍有空间,特别是在面对复杂工况和大规模数据时,模型的实时性和适应性需要进一步提升。未来的研究可以聚焦于改进特征提取方法、优化算法性能以及拓展模型的应用场景,以推动机电设备故障预测技术的不断发展和进步。

4 机电设备振动信号分析与故障预测模型结论

机电设备振动信号分析与故障预测模型的研究在理论与实践层面均取得了显著进展。通过对振动信号的深入分析,结合特征提取与机器学习算法,成功构建了有效的故障预测模型^[7]。该模型能够准确识别设备运行状态的变化,提前预测潜在故障,为设备维护提供了有力支持。实验验证表明,模型在不同工况下均表现出较高的准确率和可靠性,为机电设备的智能化维护提供了新的技术路径。这一成果不仅提升了设备运行的安全性和稳定性,还为降低维护成本、提高生产效率提供了重要保障。

在研究过程中,振动信号的特征提取与模型优化是关键环节。特征提取方法的多样性和有效性直接影响模型的性能^[8]。通过综合运用时域、频域及时频域分析技术,能够充分挖掘振动信号中的关键信

息,为模型构建提供坚实的数据基础。机器学习算法的选择与优化也是研究的重点。通过对多种算法的对比分析,结合实际数据的训练与验证,最终选择了适合机电设备故障预测的最优算法。这一过程不仅验证了模型的可行性,还为后续的优化提供了方向。未来,随着技术的不断发展,进一步优化特征提取方法和模型结构,将有助于提高模型的精度和泛化能力。

5 结语

机电设备振动信号分析与故障预测模型的研究为设备智能化维护提供了新的思路和技术支持。通过对振动信号的特征提取和机器学习算法的优化,成功构建了能够准确预测设备故障的模型。未来,随着工业物联网和深度学习技术的发展,结合更高效的数据处理方法和智能预测模型,有望进一步提升模型的精度和实时性,推动机电设备故障预测技术向更高水平发展,为工业生产的智能化管理提供更强大的支持。

参考文献

- [1] 孙伟,王晓明,张建伟. 基于振动信号分析的机械故障诊断技术研究[J]. 机械工程学报, 2022, 58(3): 45-50.
- [2] 赵强,李晓华,刘伟. 机器学习在机电设备故障预测中的应用[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(5): 67-72.
- [3] 周志刚,王丽,陈伟. 振动信号特征提取方法综述[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(8): 98-105.
- [4] 吴强,赵敏,李华. 机电设备故障预测技术研究进展[J]. 机械制造与自动化, 2024, 53(2): 112-118.
- [5] 杨斌,张雷,周建波. 深度学习在机电设备故障诊断中的应用与挑战[J]. 机械工程学报, 2023, 59(1): 123-132.
- [6] 郝亮,蔡文标,刘洪涛. 基于云计算的机电设备实时监控与故障分析系统[J]. 控制与决策, 2023, 38(4): 915-922.
- [7] 陈海波,朱明. 基于物联网技术的机电设备健康监测方法研究[J]. 信息技术与网络安全, 2022, 41(6): 78-84.
- [8] 刘思远,韩威. 小波变换与机器学习相结合的振动信号分析方法研究[J]. 自动化学报, 2024, 50(3): 308-317.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS