

热工设备故障诊断中振动信号特征提取与分析方法探讨

吴昊

杭州和利时自动化有限公司 浙江杭州

【摘要】热工设备的稳定运行对工业生产至关重要，振动信号分析是故障诊断的关键技术之一。本文探讨了振动信号特征提取与分析方法，分析了时域、频域及小波变换等技术的优势与局限，并结合实际案例验证了其有效性。研究为热工设备故障诊断提供了理论支持与实践指导，对提升设备可靠性与降低维护成本具有重要意义。

【关键词】热工设备；故障诊断；振动信号；特征提取；分析方法

【收稿日期】2024 年 12 月 23 日 **【出刊日期】**2025 年 1 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250009

Discussion on vibration signal feature extraction and analysis methods in thermal equipment fault diagnosis

Hao Wu

Hangzhou Helishi Automation Co., Ltd, Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】The stable operation of thermal equipment is crucial for industrial production, and vibration signal analysis is one of the key technologies for fault diagnosis. This paper discusses the methods of vibration signal feature extraction and analysis, examines the advantages and limitations of techniques such as time domain, frequency domain, and wavelet transform, and validates their effectiveness with practical cases. The research provides theoretical support and practical guidance for fault diagnosis in thermal equipment, which is significant for enhancing equipment reliability and reducing maintenance costs.

【Keywords】Thermal Equipment; Fault Diagnosis; Vibration Signal; Feature Extraction; Analysis Methods

引言

热工设备是工业生产中的核心装置，其运行状态直接影响生产效率与产品质量。振动信号作为设备运行状态的重要外在表现，蕴含着丰富的故障信息。准确提取与分析振动信号特征，能够实现故障的早期预警与精准定位，降低设备故障率与维修成本。研究振动信号特征提取与分析方法对于保障热工设备的稳定运行具有重要的现实意义。

1 振动信号特征提取技术概述

振动信号特征提取在故障诊断中扮演着至关重要的角色，其应用技术多样，各具特色。时域分析技术通过计算振动信号的统计特征，如均值、方差和峰值，直接反映了信号的幅度和能量，为判断设备的运行状态提供初步数据。然而，时域分析主要关注幅度的变化，对于揭示信号的频率特性和处理复杂故障则显得能力有限^[1]。相对于时域分析，频域分

析则能通过傅里叶变换，将信号从时域转换到频域，清晰展示出信号的频率分布，特别是在故障特征频率的识别上表现出独到的优势。这种分析尤其适用于周期性的故障信号，能够明确故障源的位置。然而，频域分析在处理非平稳信号时存在局限，这类信号常见于设备启动、停止或负载突变等非正常工况。此时，小波变换技术则显得尤为重要，它通过多尺度分解，能够将信号分为不同频率段的细节与近似信息，从而有效地捕捉信号的时频特性。小波变换能够根据信号的局部特征自适应地调整分析窗口大小，特别适合分析非平稳信号。

在实际应用中，通常需要综合时域分析的直观性、频域分析的细节展现能力以及小波变换的时频局部特性，以实现振动信号全方位的特征提取，从而提升故障诊断的准确性和可靠性^[2]。对于大型旋转机械的故障诊断，首先通过时域分析评估设备

作者简介：吴昊（1985-）男，汉族，宁夏银川，助理工程师，大专，研究方向为热工自动化。

的运行状态,随后利用频域分析确认故障特征频率,最终依靠小波变换进行信号的多尺度分解,精确提取故障特征信息,确保诊断结果的全面性和准确性。

2 振动信号分析方法的实践应用

在热工设备故障诊断的实际应用中,振动信号分析方法的有效性通过多种技术手段的综合运用得到了充分验证。以某工业现场的热工设备为例,研究团队采集了设备在正常运行和故障状态下的振动信号数据。通过时域分析,提取了信号的均值、方差、峰值等统计特征参数。这些参数能够直观地反映设备运行过程中的振动强度和稳定性。在正常运行状态下,振动信号的均值保持在一个较低的水平,方差较小,表明振动幅度较为稳定;而在故障状态下,均值显著升高,方差增大,峰值也出现明显的波动。这些变化为初步判断设备是否存在异常提供了重要依据。时域分析的直观性和计算效率使其成为故障诊断的第一步,能够在短时间内对设备状态进行快速评估^[3]。时域分析无法深入揭示振动信号的频率特性,因此需要进一步结合频域分析来获取更全面的信息。借助快速傅里叶变换(FFT),振动信号被转换到频域,频谱图清晰地展示了信号的频率分布。

在频域分析中,研究团队重点关注故障特征频率及其倍频成分。以旋转机械的轴承故障为例,轴承的故障特征频率通常与设备的转速、轴承的几何参数密切相关。通过分析频谱图,团队成功识别出在特定频率处出现的幅值峰值,这些峰值与轴承的故障模式相匹配。在设备运行过程中,当轴承出现内圈故障时,频谱图中会在某一特定频率及其倍频处出现明显的尖峰,这些尖峰的出现为故障的精确定位提供了有力证据。频域分析的优势在于能够处理周期性故障信号,通过特征频率的识别,能够准确判断故障类型和位置。频域分析对非平稳信号的适应性较差,因为傅里叶变换假设信号是平稳的。在实际工业场景中,振动信号往往具有非平稳特性,如设备启动、停止或负载突变等工况下产生的信号。为了克服这一局限性,研究团队进一步引入了小波变换技术。小波变换通过多尺度分解,将振动信号分解为不同频率段的细节信息和近似信息,能够同时反映信号的时域和频域特性。

在处理非平稳信号时,小波变换表现出色,能

够自适应地调整分析窗口的大小,从而更好地捕捉信号的局部特征。在设备启动过程中,振动信号的频率和幅度会发生快速变化,小波变换可以清晰地提取出信号的瞬态特征,为故障的早期预警提供依据^[4]。通过小波变换,研究团队能够对振动信号进行更细致的分析,提取出在时域和频域分析中难以发现的故障特征。在实际应用中,时域、频域和小波变换三种分析方法相互补充,共同构成了一个完整的振动信号分析体系。通过综合运用这些技术,研究团队能够全面提取振动信号的特征信息,提高故障诊断的准确性和可靠性。在对大型旋转机械进行故障诊断时,先利用时域分析初步判断设备运行状态是否正常,再通过频域分析确定故障特征频率,最后借助小波变换对信号进行多尺度分解,提取故障特征的细节信息。

3 振动信号特征提取与分析的优化策略

在热工设备振动信号特征提取与分析中,引入机器学习算法是提升诊断智能化水平的重要策略。传统方法依赖于人工经验对特征进行分析和判断,而机器学习算法能够自动学习数据中的复杂模式,从而提高诊断的准确性和效率。通过构建特征向量并利用分类算法,如支持向量机或神经网络,可以对振动信号的特征进行自动分类和识别。这些算法通过对大量样本数据的学习,能够识别出正常与故障状态下的特征差异,进而实现故障的快速诊断。机器学习算法还具备自适应能力,能够根据新的数据不断优化模型,从而适应设备运行状态的变化^[5]。在设备的长期运行过程中,随着磨损和老化,其振动信号特征会发生变化,机器学习算法可以通过持续学习,动态调整诊断模型,确保诊断结果的可靠性。

结合大数据技术构建故障样本库是优化振动信号分析的另一关键策略。随着工业设备的智能化发展,数据采集和存储技术日益成熟,大量的振动信号数据得以积累。通过建立故障样本库,可以将不同设备在不同工况下的振动信号进行分类存储,形成一个全面的故障模式数据库。当需要对新的振动信号进行分析时,可以利用大数据技术在样本库中快速匹配相似的故障模式,从而实现快速诊断。这种方法的优势在于能够充分利用历史数据,提高诊断的准确性和效率。故障样本库的不断扩充和完善,

也为机器学习算法提供了丰富的训练数据,进一步提升了模型的性能。

多传感器数据融合技术为振动信号分析提供了更全面的视角。在实际工业场景中,振动信号往往与其他传感器数据(如温度、压力、电流等)共同反映了设备的运行状态。通过融合多传感器数据,可以更全面地了解设备的运行情况,提高故障诊断的准确性。当设备出现故障时,振动信号可能会发生变化,同时温度或电流等其他传感器也会捕捉到异常信息^[6]。通过数据融合技术,可以将这些不同类型的传感器数据进行综合分析,提取出更丰富的特征信息,从而更准确地判断故障类型和位置。多传感器数据融合还可以提高系统的抗干扰能力,减少单一传感器数据异常对诊断结果的影响。在复杂的工业环境中,振动信号可能会受到外界干扰,而通过融合其他传感器数据,可以有效降低这种干扰的影响,提高诊断的可靠性。

4 振动信号分析技术的发展趋势

物联网技术的普及也为振动信号分析带来了新的机遇。随着传感器技术的不断进步和成本降低,工业设备上的传感器数量不断增加,使得振动信号的采集更加便捷和全面。通过物联网技术,设备的振动信号可以实时传输到云端或边缘计算设备,实现对设备状态的实时监测和远程诊断^[7]。这种实时监测能力使得故障能够在早期被发现,从而减少设备停机时间和维修成本。物联网技术还支持多传感器数据融合,将振动信号与其他传感器数据(如温度、压力、电流等)结合,为设备状态评估提供更全面的信息。

在复杂的工业系统中,通过融合振动信号和温度信号,可以更准确地判断设备是否存在过热或机械故障。这种多维度的数据分析方法能够提高故障诊断的准确性和可靠性,为设备的健康管理提供更有力的支持。物联网技术的应用不仅改变了振动信号的采集和传输方式,还推动了故障诊断技术从局部设备向整个工业系统的集成化发展。未来,振动信号分析技术将在智能化和集成化方面取得更大的进展。一方面,深度学习算法将不断优化,以适应更复杂的信号处理需求。结合生成对抗网络(GAN)和强化学习技术,可以进一步提高故障诊断模型的鲁棒性和自适应能力。

另一方面,振动信号分析将与工业互联网深度融合,形成智能化的设备健康管理平台。通过大数据分析、云计算和边缘计算等技术,设备的运行状态可以被实时监控和分析,实现故障的预测性维护^[8]。随着人工智能技术的不断发展,振动信号分析将更加注重与其他领域的交叉应用,如结合声学信号、图像识别等技术,进一步提升设备故障诊断的准确性和效率。未来振动信号分析技术的发展将为工业设备的智能化运维提供更强大的技术支持,推动工业生产的高效、稳定和可持续发展。

5 结语

振动信号特征提取与分析技术在热工设备故障诊断中具有重要意义。通过时域、频域及小波变换等方法的综合应用,为设备的早期预警和精准定位提供支持。随着机器学习、大数据及物联网技术的引入,故障诊断的智能化水平不断提升,为复杂工况下的设备健康管理提供了有力保障。未来,振动信号分析技术将朝着智能化、集成化方向发展,工业互联网及多传感器数据融合,推动工业设备运维向高效、可持续方向迈进。

参考文献

- [1] 刘志刚. 工业设备故障诊断技术及应用[J]. 机械工程学报,2020,56(3):45-50.
- [2] 陈晓东. 基于振动信号的设备故障诊断方法研究[J]. 仪器仪表学报,2018,39(4):78-85.
- [3] 李文辉. 小波变换在机械故障诊断中的应用[J]. 振动与冲击,2019,38(6):90-96.
- [4] 王海涛. 智能化故障诊断技术的发展趋势[J]. 自动化仪表,2021,42(2):55-60.
- [5] 张建华. 高效振动信号处理在工业设备监控中的应用[J]. 传感器与微系统,2023,42(1):34-38.
- [6] 赵立强. 基于深度学习的机械设备故障预测与分析[J]. 工业控制计算机,2022,35(2):47-50.
- [7] 孙明哲. 物联网环境下的振动信号分析与故障诊断技术[J]. 电子技术应用,2021,47(6):112-115.
- [8] 郝宇明. 融合多传感器数据的设备健康管理系统研究[J]. 计算机测量与控制,2023,31(3):45-49.

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