

考虑多重工况下的转动设备故障诊断与动态分析

朱耀南

华电福瑞能源发展有限公司连江可门分公司, 福建省福州市, 350000;

摘要:本研究旨在探讨多重工况下转动设备故障诊断与动态分析的应用。通过模拟不同负载、转速等工况下的设备运行状态, 采集振动、温度、加速度等数据, 结合动态分析方法进行故障特征提取与诊断。实验结果表明, 在多重工况下, 动态分析方法能够有效提高故障诊断的准确性, 尤其是在高负载和高转速条件下, 能够清晰区分不同故障类型。通过与传统振动监测方法的对比, 动态分析展示了其在复杂工况下的优势。动态分析技术具有广泛的应用前景, 能够为转动设备的故障诊断提供更加精确和可靠的解决方案。

关键词:转动设备;故障诊断;多重工况;动态分析

DOI:10. 69979/3041-0673. 25. 02. 092

引言

转动设备在工业生产中广泛应用, 其运行状态直接影响生产效率与安全。设备的故障诊断一直是一个挑战, 尤其是在多重工况下, 传统方法常难以准确识别故障。随着动态分析技术的发展, 利用振动信号、温度变化和加速度等数据进行实时监测和分析, 已成为一种有效的故障诊断手段。动态分析不仅能提供更精确的故障定位, 还能够应对复杂工况下信号的变化, 从而提高故障诊断的可靠性。本研究通过实验验证动态分析在多重工况下的应用效果, 旨在提升转动设备的故障诊断能力和运行可靠性。

1 多重工况下的转动设备故障诊断的重要性

1.1 转动设备故障的普遍性与重要性

转动设备广泛应用于各类工业生产中, 是保障生产线连续运行的核心。无论是电动机、风机还是泵, 这些设备都在日常运营中承担着重要任务。由于长期高负荷、复杂环境及老化等因素, 转动设备常常发生故障。设备故障不仅会导致生产停滞, 且一旦延误维修, 可能带来更高的修复成本, 甚至影响到整个生产系统的安全稳定运行。及时诊断和修复故障显得尤为重要[1]。在工业制造、能源领域等多个行业, 转动设备的故障已经成为影响企业运营效率和经济效益的关键问题。有效的故障诊断技术不仅能够提升设备的可靠性, 还能通过提前识别潜在故障, 减少设备突发故障的风险, 降低停机时间, 从而为企业带来可观的经济效益。

1.2 多重工况对故障诊断的影响

多重工况指的是设备在不同负载、转速、工作环境等条件下的运行状态变化。转动设备在多重工况下运行时, 其故障特征与正常状态相比可能出现较大偏差, 给故障诊断带来较大挑战。传统的故障诊断方法多是在单一工况下进行的, 在多变的工况下, 设备的振动信号、温度变化等可能掩盖故障特征, 导致误诊或漏诊。不同负载条件下, 设备的振动频率和幅度变化显著; 转速波动又可能影响到故障信号的表达方式, 导致传统方法难以准确识别。这种情况下如何通过动态分析提取复杂工况下的故障特征, 是提升诊断准确性的关键。准确诊断多重工况下的故障需要更加细致的信号分析与处理手段, 避免因工况变化而产生的误判, 提升故障诊断的精确性和可靠性, 为设备的高效运行和维护提供有力支持。

1.3 动态分析技术的应用前景

动态分析技术作为一种先进的故障诊断方法, 能够实时监测转动设备的运行状态, 并对其振动、温度等物理量进行深入分析[2]。通过对设备在不同工况下的动态响应进行研究, 能够有效提取故障特征, 识别潜在问题。随着传感器技术和数据处理能力的提升, 动态分析技术在转动设备故障诊断中的应用前景愈加广阔。尤其是结合现代信号处理算法、机器学习和人工智能, 动态分析不仅能提高故障识别的精度, 还能够通过实时数据分析进行故障预测, 避免设备发生突发性故障。随着工业互联网和智能制造的发展, 动态分析技术将成为设备管理和运维的重要工具, 对提升设备的智能化管理水平

具有深远意义。

2 实验设计

2.1 材料与仪器

本实验所用材料包括标准化转动设备，如电动机、风机和泵等，确保实验数据的代表性和广泛适用性。为了进行精确的故障诊断，配备了多种传感器，如加速度传感器、温度传感器和振动传感器。这些传感器能够实时采集设备的运行状态数据，为故障特征提取提供可靠依据。实验还需借助高精度的数据采集系统，确保数据的准确性与实时性。在数据处理和分析方面，采用了 M ATLAB、LabVIEW 等专业分析软件，以便对采集到的原始数据进行时域、频域分析以及故障诊断模型的构建[3]。通过这些材料和仪器的配合使用，能够较好地模拟和分析多重工况下的设备故障特征，并为故障诊断提供科学依据。

2.2 实验组和对照组的设置

实验组和对照组的设置是实验设计中至关重要的一部分。在实验组中，设备将按照不同的工作条件（包括负载、转速等）进行故障模拟，并通过人为引入轴承故障、齿轮故障等常见故障类型来验证诊断方法的有效性。通过这种方式可以获取设备在多重工况下的真实故障数据，便于后续的数据分析和模型验证。而在对照组中，设备将保持正常工况运行，不引入故障因素，用于建立正常运行状态下的参考数据。通过对比实验组与对照组的数据，能够更清晰地识别出故障信号和正常信号之间的差异，进而提高故障诊断的准确性。实验组和对照组的合理设置，不仅为后续分析提供了对比基础，也能有效评估不同工况下故障诊断方法的适应性。

2.3 实验步骤

实验步骤的设计遵循系统性和严谨性，以确保实验结果的可靠性与科学性。在设备安装阶段，将加速度、温度、振动等传感器安装到转动设备的关键部位，确保能够全面监测设备的运行状态。启动数据采集系统，进行设备的初步运行测试，获取设备在正常工况下的基线数据。在实验过程中，通过调整负载、转速等工况条件，模拟设备在多重工况下的运行状态，并在某些工况下引入故障进行故障模拟。数据采集系统将实时记录设备的运行数据，涵盖振动、温度、加速度等信号。在数据处

理阶段，采用时域和频域分析方法对采集到的信号进行深入分析，提取出设备故障的特征信息。根据数据分析结果，对故障诊断模型进行优化调整，验证其在多工况下的诊断精度和适应性。

3 实验结果与分析

3.1 数据处理与分析

在实验中采集了不同工况下转动设备的振动信号、温度变化和加速度数据。数据处理的第一步是去除噪声，通过滤波和去趋势方法对原始数据进行预处理，确保数据的质量。使用时域分析和频域分析对信号进行深入挖掘。时域分析帮助识别出设备运行状态的变化趋势，频域分析则能揭示出频率成分，特别是那些与故障相关的特定频率。轴承故障通常会在频谱中表现为特定的频率峰值。通过傅里叶变换和小波变换，提取出主要频率成分，进一步分析不同工况下故障信号的表现。表格 1 展示了设备在不同工况下的振动频谱与温度变化的数据。可以看出在负载和转速变化下，振动加速度和频域峰值明显不同。特别是在轴承故障和齿轮故障时，频域峰值的变化尤为突出，这为故障诊断提供了有效的特征。

表 1 不同工况条件下转动设备故障诊断数据

工况条件	故障类型	负载 (N)	转速 (rpm)	振动加速度 (m/s ²)	温度 (°C)	频域峰值 (Hz)
正常	无故障	100	1500	0.05	40	10
负载	轴承故障	200	1500	0.15	45	20
高转速	齿轮故障	150	3000	0.2	50	35
低转速	无故障	100	800	0.04	42	12

3.2 故障诊断结果

根据数据分析，故障诊断结果表明，动态分析方法能够准确识别多重工况下的转动设备故障[4]。在不同的负载和转速下，故障特征表现出明显的变化。在轴承故障的情况下，振动信号中的特定频率峰值在负载工况下显著增强，且频谱中的噪声较小，便于识别。而在齿轮故障的情况下，故障信号的频率成分呈现出复杂的变化模式，尤其在高转速工况下，频率成分分布较为广泛，但故障特征依然能够通过频域分析方法准确提取。根据这些数据，可以判断出设备故障的类型及其严重性。表 2 展示了在不同故障条件下的诊断准确性。结果表明在动态分析方法在识别轴承和齿轮故障方面表现优异，尤

其是在复杂的高转速工况下，能够有效区分正常与故障状态。

表 2 不同工况条件下转动设备故障诊断结果

工况条件	故障类型	故障诊断结果
正常工况	无故障	正常运行
负载工况	轴承故障	轴承损坏
高转速工况	齿轮故障	齿轮损伤
低转速工况	无故障	正常运行

3.3 对比分析

为了验证实验结果的可靠性，进行了对比分析，比较了本实验中基于动态分析的故障诊断方法与传统的振动监测方法的效果。在传统方法中，使用基于幅值分析的振动数据处理方式进行故障诊断。基于动态分析的诊断方法在复杂工况下表现出更高的准确性，尤其是在多变负载和转速工况下，能够更加精确地提取故障特征，减少误诊率。动态分析还能够在更短的时间内识别出故障，为设备提供更及时的预警。表 3 中的数据表明，动态分析方法在故障诊断中的优势明显，尤其是在对复杂工况下的设备故障进行诊断时，准确率较传统方法高出 10% 以上，表明动态分析在实际应用中的潜力，具有更广泛的应用前景。

表 3 动态分析与传统振动监测故障诊断准确率对比

故障类型	动态分析诊断准确率(%)	传统振动监测诊断准确率(%)
轴承故障	95	85
齿轮故障	92	80
无故障	99	90

4 讨论

4.1 不同工况对故障诊断的影响

不同工况对故障诊断的影响在实验中得到了充分体现。实验结果表明，设备在负载变化、转速波动等多重工况下，振动信号的变化明显，故障特征的表现也更加复杂。在高转速工况下，齿轮故障的特征频率出现了较为复杂的频谱变化，这使得传统的诊断方法难以准确识别。而在负载变化工况下，轴承故障的频谱特征也表现出较强的波动，进一步增加了故障诊断的难度。动态分析能够充分利用振动信号中的频率成分，准确提取故障特征。通过对设备各个工况下的频谱和时域信号的深入分析，动态分析技术显著提高了故障识别的精度。动态分析技术在多重工况下的应用尤为重要，可以通过实时监控设备状态，及时发现潜在故障，提升故障诊断的

准确性和可靠性，从而有效保障设备的正常运行，避免意外停机和高昂的维修成本。

4.2 动态分析方法的优势与挑战

动态分析方法具有较强的故障识别能力，尤其在多重工况下能够有效识别设备的微小变化。其优势在于能够在复杂工况中提取故障信号的特征，准确诊断设备问题，尤其是在负载和转速变化较大的情况下，动态分析能够更为精确地揭示故障的具体类型[5]。通过综合运用时域、频域和时频域的分析手段，动态分析能够有效过滤噪声信号，提高故障特征的提取精度。动态分析也面临一些挑战，尤其是在高噪声环境下，信号的有效性可能受到干扰，导致误诊的风险。实时数据处理的计算复杂性要求高性能的硬件支持，这不仅增加了实施成本，还可能对系统的实时响应能力提出更高要求。如何平衡分析精度与成本、提升算法效率，并优化硬件系统，以实现更高效的故障诊断，是动态分析技术进一步发展的关键。

4.3 未来研究方向

随着工业自动化和智能化的发展，未来转动设备故障诊断将更加依赖于人工智能和大数据分析技术。基于机器学习的智能诊断系统可以在大量历史数据的基础上，学习到更为复杂的故障模式，提高诊断的准确性和实时性。这些系统能够自主识别设备的微小变化，从而提前预警故障，极大地提高设备的可靠性和运维效率。随着传感器技术的进步，更多种类的传感器可以集成进设备监控系统，为故障诊断提供更为全面的数据支持，实时捕捉设备运行状态的各类参数。未来的研究可以进一步探索多模态数据融合、深度学习模型的应用，以及如何将这些技术与现有的设备管理系统进行无缝对接，利用云计算和边缘计算进行数据处理，最终实现设备健康状态的实时监控与预测性维护，从而降低设备故障率，延长使用寿命，并优化维护成本。

5 结论

本研究通过实验验证了动态分析方法在多重工况下转动设备故障诊断中的有效性。在不同的工况条件下，动态分析能够准确识别设备故障，并在复杂的负载与转速变化下提取出关键信号特征。与传统振动监测方法相比，动态分析展示了更高的诊断准确率，特别是在高转速和高负载工况下，表现出明显优势。研究结果表明，

动态分析技术在未来的设备故障诊断和预测性维护中具有重要的应用价值。未来的研究应进一步探索智能化诊断模型和实时监控技术,以实现更为精准的故障预警和维护策略。

参考文献

- [1] 卢振连,姜阔胜,陈凯,等.煤矿装备瞬态非平稳工况下轴承故障诊断方法[J].煤炭技术,2024,43(11):213-217.
- [2] 李群,姜连轶.基于 LabVIEW 的转动设备故障诊断

系统开发[J].设备管理与维修,2023(19):173-174.

- [3] 樊秀刚.石化施工中转动设备振动故障分析及预防对策[J].石油化工设备技术,2023,44(4):35-38.

[4] 唐乾南.转动设备振动故障诊断与分析[C]//第13届钢铁行业职业教育培训优秀多媒体课件活动系列研讨会——电力工程与技术创新论文集.2024.

- [5] 苗俊田,刘冬冬,鹿德台,等.基于 FCM 算法的中小型转动设备故障检测研究[J].信息技术,2024(002):048.