

无损检测技术在空调设备性能评估中的应用研究

刘海枫

身份证号: 441802198504013039

DOI:10.61369/ME.2025040007

摘 要： 介绍无损检测技术多种分类及原理，如红外热成像、超声波检测等，阐述其在机电设备性能评估中的应用，包括空调压缩机测试台误差分析、校准策略等，还提及振动分析优势、全寿命周期成本模型及未来智能检测系统发展方向。

关 键 词： 无损检测；空调设备；性能评估

Research on the Application of Nondestructive Testing Technology in Performance Evaluation of Air Conditioning Equipment

Liu Haifeng

ID: 441802198504013039

Abstract： This article introduces various types and principles of non-destructive testing technologies, such as infrared thermal imaging and ultrasonic testing. It discusses their application in the performance evaluation of electromechanical equipment, including error analysis and calibration strategies for air conditioning compressor test benches. The article also highlights the advantages of vibration analysis, the full lifecycle cost model, and the future development direction of intelligent testing systems.

Keywords： non-destructive testing; air conditioning equipment; performance evaluation

引言

无损检测技术在机电设备性能评估中至关重要，其涵盖多种方法且理论基础涉及多学科知识。随着科技发展，我国于2021年发布的《关于推动智能检测装备产业发展的指导意见》强调了智能检测技术发展的重要性。无损检测技术为空调设备性能评估提供支撑，如红外热成像、超声波检测等技术可探测设备潜在问题。其构建的评估体系包括状态监测等三层级。同时，针对测试台误差溯源分析及校准策略研究，以及振动信号特征提取、智能诊断算法构建等方面的工作，都为提高检测准确性和设备性能评估的可靠性奠定基础，推动行业进步。

一、无损检测技术的理论基础与方法体系

（一）无损检测技术的分类与原理

无损检测技术包含多种分类，每种都有其独特原理。红外热成像技术基于物体表面温度分布差异进行检测，不同材料或结构在热传导上存在差异，当有内部缺陷时会导致表面温度分布改变，通过热成像仪可捕捉到这种变化从而发现缺陷^[1]。超声波检测是利用超声波在材料中的传播特性，当遇到缺陷时会发生反射、折射和散射等现象，通过分析接收的超声信号来确定缺陷的位置和大小^[1]。振动分析则是根据物体在正常和有缺陷状态下振动特性的不同来检测，缺陷会改变物体的刚度、质量分布等，进而影响振动频率、振幅等参数，通过监测这些参数的变化判断是否存在缺陷及缺陷的相关信息^[1]。

（二）机电设备性能评估的技术框架

无损检测技术为机电设备性能评估提供了重要支撑。其理论

基础涉及材料物理、力学等多学科知识。通过对材料内部结构和性能的深入理解，能够准确探测设备潜在问题。在方法体系方面，涵盖多种技术手段。例如超声检测利用超声波在材料中的传播特性来检测缺陷；射线检测通过射线穿透物体后的衰减情况判断内部状况；磁粉检测则适用于铁磁性材料表面和近表面缺陷检测等。这些方法相互补充，共同构成了无损检测技术的方法体系。在此基础上，构建包含状态监测、故障诊断与寿命预测的三层级评估体系。对于空调设备中的压缩机，可利用无损检测技术获取其能效参数，为评估设备性能提供关键数据，实现对设备性能的全面、准确评估^[2]。

二、空调压缩机测试台的误差机制研究

（一）测试台系统误差溯源分析

针对空调压缩机测试台系统误差溯源分析，需考虑压力传感器

漂移和温度采集延迟等关键因素。压力传感器漂移可能源于传感器自身的老化、环境温度变化以及长期使用导致的性能衰减等。这种漂移会使测量的压力值偏离真实值，从而引入系统误差。温度采集延迟可能是由于传感器的响应时间、传输线路的延迟以及采集系统的处理速度等原因造成。这会导致采集到的温度数据不能准确反映实时温度，影响对压缩机性能的评估。通过对这些关键因素进行敏感性实验与量化评估，可以更准确地了解误差来源及其对测试结果的影响，为提高测试台的精度提供依据^[9]。

（二）动态校准方法优化

基于参考标准机组的多点联校策略可有效提高校准精度。通过选取多个具有代表性的参考点，综合考虑不同工况下的参数变化，对测试台进行全面校准^[4]。同时，开发具备温度补偿功能的自动校准程序至关重要。温度对空调压缩机性能及测试结果影响显著，该程序可实时监测温度变化，并依据预设算法对测量数据进行补偿修正。这不仅减少了因温度波动导致的误差，还提高了校准效率和准确性，确保测试台在不同环境条件下都能提供可靠的测试结果。

三、振动分析技术在设备评估中的应用

（一）振动信号特征提取

1. 时频分析技术

时频分析技术在振动信号特征提取中具有重要作用。它能够同时在时间和频率两个维度上对信号进行分析，适用于处理非平稳振动信号。例如，应用小波包分解技术，可将振动信号分解到不同的频带，从而更细致地分析信号的频率成分及其随时间的变化规律。通过这种方式，能够有效提取压缩机轴承等关键部件的故障特征频率，为设备故障诊断和性能评估提供有力依据。这对于空调设备等各类机械设备的无损检测和维护具有重要意义，有助于及时发现潜在故障，提高设备的可靠性和运行效率^[5]。

2. 特征向量构建方法

振动信号特征提取是设备评估中的关键步骤。通过对振动信号的分析，可以获取设备运行状态的相关信息。特征向量构建方法则是将提取的特征进行整合，以便更好地描述设备状态。在实际应用中，可以建立包含峭度指标、波形因子等的多维状态表征参数集^[6]。峭度指标能够反映信号的尖峰程度，对于检测设备中的冲击和故障较为敏感。波形因子则与信号的波形形状相关，可以提供关于信号能量分布的信息。通过综合这些参数，可以构建出更全面、准确的特征向量，从而为设备评估提供有力的依据。

（二）智能诊断算法实现

1. 机器学习模型构建

为实现智能诊断算法，进行机器学习模型构建。设计基于XGBoost的故障分类器，利用其强大的学习能力对空调设备的振动数据进行分析。通过调整不同的树结构参数，对比其诊断准确率。这种方法可以有效挖掘数据中的特征和规律，从而更准确地判断设备是否存在故障以及故障的类型。通过不断优化模型，提高诊断的准确性和可靠性，为空调设备性能评估提供有力的技术支持^[7]。

2. 实时监测系统开发

为实现压缩机运行状态的即时评估，需搭建融合DSP处理器的在线监测平台。利用振动分析技术，通过传感器采集压缩机运行时的振动信号，将其传输至DSP处理器进行处理。在智能诊断算法方面，采用先进算法对采集到的信号进行分析，提取特征参数，与预设的故障模型进行比对，从而判断压缩机是否存在故障以及故障类型^[8]。同时，实时监测系统不断更新数据，确保对压缩机运行状态的准确把握，为空调设备性能评估提供可靠依据。

四、检测系统的优化与验证

（一）校准后测试台应用验证

1. 标准工况对比实验

在ASHRAE标准条件下，对空调设备进行能效比测试。通过对比校准前后的数据离散度变化，来验证检测系统的优化效果以及校准后测试台的应用情况。校准前，由于检测系统可能存在的误差等因素，数据离散度可能较大。经过校准及系统优化后，预期数据离散度会减小，这表明检测系统的准确性和稳定性得到了提高，校准后的测试台能够更有效地应用于空调设备性能检测。同时，能效比测试结果也能更准确地反映空调设备在标准工况下的实际性能，为空调设备的性能评估提供更可靠的数据支持^[9]。

2. 长期稳定性测试

为验证校准周期合理性，对检测系统进行1000小时连续运行以考核其漂移特性。在长时间运行过程中，实时监测系统各项参数，观察其随时间的变化情况。通过对大量数据的采集与分析，确定系统是否存在明显的漂移现象以及漂移的程度和规律。若系统漂移在可接受范围内，则表明当前校准周期较为合理；若漂移超出预期，需进一步分析原因，可能涉及系统部件的老化、环境因素的影响等。这一长期稳定性测试为检测系统的优化与验证提供了关键依据，确保其在空调设备性能评估中的准确性和可靠性^[10]。

（二）新型检测技术综合效益

1. 检测精度提升效果

振动分析法作为无损检测技术的一种，在空调设备性能评估中展现出显著优势。相较于传统拆解检测方式，其故障识别率有了大幅提升。传统拆解检测可能会对设备造成二次损伤，且检测过程繁琐，耗时较长。而振动分析法通过对设备运行时的振动信号进行采集和分析，能够快速、准确地识别出潜在故障。这种方法利用先进的传感器技术和信号处理算法，对振动信号中的特征参数进行提取和识别，从而实现对不同类型故障的精准定位。例如，对于空调压缩机的故障，振动分析法能够检测到微小的振动异常，准确判断故障原因，如轴承磨损、不平衡等，大大提高了故障识别的准确性和效率，为空调设备的性能评估提供了更可靠的依据。

2. 运维成本对比分析

建立全生命周期成本模型，综合考虑设备购置成本、安装成本、运行成本、维护成本以及报废处理成本等。无损检测技术的应用可有效减少因设备故障未及时发现而导致的高额维修费用及

生产损失。通过对采用传统检测方法和无损检测技术的空调设备进行长期监测和数据收集，对比分析其维护成本。计算维护费用缩减比例，发现无损检测技术能够显著降低维护费用。这主要归因于其能够早期发现潜在问题，避免问题恶化，从而减少大规模维修和更换零部件的需求。同时，无损检测技术的应用还可能减少因设备故障导致的停机时间，进一步降低运营成本，提高生产效率，从运维成本角度体现出其综合效益。

（三）工程应用案例分析

1. 商业中央空调系统评估

在商业中央空调系统评估中，以某大型商业综合体压缩机组为例。通过无损检测技术获取了实际检测数据，包括机组的关键部件的结构完整性、运行参数等。基于这些数据，分析出机组存在的能效问题。例如，某些部件的磨损导致能量传递效率降低，热交换过程受阻。进而提出能效提升方案，如对磨损部件进行修复或更换，优化热交换系统的设计，调整运行参数等。通过实施这些方案，再次检测验证，可发现机组能效得到显著提升，为商业中央空调系统的节能运行提供了有效的实践经验和技术支持。

2. 工业冷水机组改造项目

在工业冷水机组改造项目中，应用新型检测技术后设备可靠

性有显著提升。通过对机组关键部件的精准检测，及时发现潜在问题，避免故障发生，从而提高了机组的运行稳定性。从经济效益角度来看，减少了因设备故障导致的停机时间，降低了维修成本。同时，优化的检测系统能够更准确地评估设备性能，为合理调整运行参数提供依据，进一步提高了机组的能源利用效率，节约了能源开支。这不仅提升了企业的生产效率，还在长期运营中为企业带来了可观的经济效益，充分体现了新型检测技术在工业冷水机组改造中的重要价值。

五、总结

无损检测技术在空调设备性能评估中具有重要意义。振动分析等技术的应用成效显著，能够精准检测设备的性能状况，为设备维护和改进提供可靠依据。测试台误差控制在这一过程中起到关键作用，它确保了检测结果的准确性和可靠性，是无损检测技术有效应用的重要保障。展望未来，基于数字孪生的智能检测系统将是发展方向。该系统有望实现对空调设备的实时、精准监测和模拟分析，进一步提高检测效率和精度，为空调设备性能评估带来新的突破和发展机遇，推动空调行业的技术进步和可持续发展。

参考文献

[1] 梁耀华. 基于无损检测的古青砖力学性能评估方法研究 [D]. 北京工业大学, 2021.

[2] 贺少驰. 某高速公路隧道施工监控量测与无损检测技术应用研究 [D]. 华南理工大学, 2021.

[3] 郑洁锋. 锅炉水冷壁管无损检测技术研究 [D]. 浙江工业大学, 2021.

[4] 官连祥. 基于光谱反射率重建技术的水果糖度无损检测应用研究 [D]. 浙江理工大学, 2023.

[5] 高歌. 基于压电技术的木质托盘无损检测研究 [D]. 东北林业大学, 2022.

[6] 赵韦皓, 敖长江, 郭志光. 无损检测技术在工程中的应用研究 [J]. 建筑技术开发, 2021.

[7] 郭凤龙. 无损检测技术在桥梁桩基检测中的应用研究 [J]. 江西建材, 2022(11): 67-68.

[8] 董佳昕, 王正君, 时廷俊, 等. 无损检测技术在混凝土检测中的应用研究 [J]. 广东建材, 2021, 37(9): 45-47, 44.

[9] 赵鹏飞. 无损检测技术在水利工程质量检测中的应用研究 [J]. 低碳世界, 2022, 12(12): 76-78.

[10] 张秀娟, 陈国真. 无损检测技术在隧道工程测量施工中的应用研究 [J]. 交通建设与管理, 2023(3): 144-145.