

# 基于虚拟仪器技术的机械设备状态监测及故障诊断系统设计

刘 伟

宁夏紫光天化蛋氨酸有限责任公司 宁夏中卫 755000

**摘 要:** 机械设备在工业生产中至关重要, 其状态监测与故障诊断意义重大。本文设计基于虚拟仪器技术的相关系统, 该技术以软件为核心, 兼具灵活性与通用性。系统从硬件的传感器选型布局、数据采集卡配置, 到软件的算法设计、模型构建, 再到用户界面直观呈现, 均精心规划。通过数据采集预处理、特征提取选择及多种诊断方法, 实现系统集成优化, 可高效精准监测设备状态并诊断故障。

**关键词:** 虚拟仪器技术; 机械设备; 状态监测; 故障诊断系统设计

## 引言

在工业自动化高速发展的当下, 机械设备作为生产的核心驱动力, 其运行状态的稳定性直接关乎生产效率与产品质量。然而, 机械设备长期运行易出现各类故障, 传统监测诊断方式存在成本高、效率低、灵活性差等问题。虚拟仪器技术凭借“软件即仪器”的理念, 能灵活配置测量功能、降低成本且开发周期短。基于此, 本文开展基于虚拟仪器技术的机械设备状态监测及故障诊断系统设计研究, 以期实现高效精准的设备监测与故障诊断。

## 一、虚拟仪器技术基础

### (一) 虚拟仪器技术概述

(1) 定义与特点: 虚拟仪器是通过软件定义硬件功能的测量测试系统, 核心特点为“软件即仪器”, 可通过编程灵活配置测量功能, 无需频繁更换硬件。同时采用模块化设计, 各功能模块(如数据采集、信号处理)可按需组合, 适配不同监测场景, 兼具灵活性与通用性。(2) 核心组成: 硬件平台是基础, 包含传感器、数据采集卡、计算机等, 负责信号采集与传输; 软件框架是核心, 集成数据处理、分析、显示等功能, 决定仪器核心性能; 通信接口(如USB、以太网、PCI)实现硬件与软件的数据交互, 保障数据传输的实时性与稳定性。

### (二) 关键技术分析

(1) 数据采集与信号处理技术: 传感器选型需匹配监测需求, 如振动监测选压电式传感器、温度监测选PT100传感器; 抗干扰设计通过屏蔽、滤波、接地技术, 减少电磁干扰与噪声, 确保采集信号精准。(2) 虚拟仪器开发工具: LabVIEW以图形化编程为主, 操作直观,

内置丰富测量函数库, 适合快速开发; MATLAB擅长数值计算与算法仿真, 可与硬件结合实现复杂信号分析, 二者常协同使用提升开发效率。(3) 故障特征提取方法: 时域分析通过计算均值、方差等参数提取信号统计特征; 频域分析借助FFT变换将时域信号转换为频域, 识别频率特征; 时频分析(如小波变换)结合时域与频域优势, 有效提取非平稳信号特征<sup>[1]</sup>。

### (三) 虚拟仪器在机械监测中的优势

(1) 成本低、开发周期短: 可复用现有计算机硬件, 减少专用仪器采购成本; 软件模块化开发缩短系统搭建周期, 快速适配不同机械设备监测需求。(2) 可重构性与可扩展性强: 通过修改软件程序即可重构仪器功能, 新增监测参数时仅需添加对应模块, 无需大规模改造硬件。(3) 用户界面友好, 便于操作与维护: 图形化界面直观展示监测数据与诊断结果, 非专业人员也能快速上手; 系统故障时可通过软件调试定位问题, 降低维护难度。

## 二、基于虚拟仪器技术的机械设备状态监测与故障诊断系统设计

### (一) 系统总体架构设计

(1) 分层架构: 系统采用三层递进式架构, 各层职责明确且协同联动。数据采集层作为前端核心, 通过传感器与数据采集卡实时捕获机械设备的振动、温度、压力等状态信号, 完成信号的初步采集与传输; 信号处理层承接数据采集层输出的原始信号, 运用滤波、放大、FFT变换等技术去除噪声干扰, 提取有效特征参数, 为后续诊断提供高质量数据支撑; 故障诊断层是系统决策核心, 基于信号处理层的特征参数, 结合故障诊断模型对设备状态进行评估, 判断是否存在故障及故障类型,

形成诊断结果<sup>[2]</sup>。(2) 模块化设计思想：以模块化理念划分核心功能模块，实现系统灵活扩展与维护。数据采集模块负责对接不同类型传感器与采集卡，适配多样化信号采集需求；分析模块集成信号处理与故障诊断算法，可根据监测场景灵活调用FFT、小波变换、神经网络等算法，完成数据处理与故障分析；显示模块则将采集数据、处理结果、诊断结论以可视化形式呈现，同时支持数据存储与历史查询，各模块通过标准化接口连接，可独立升级或替换，提升系统适应性。

### (二) 硬件系统设计

(1) 传感器选型与布局：根据机械设备关键监测点特性精准选型与布局。振动传感器优先选用压电式加速度传感器，其频响范围宽(0.1Hz-10kHz)，能精准捕捉轴承、齿轮等旋转部件的振动异常，布局于设备轴承座、箱体等振动敏感位置；温度传感器采用PT100铂电阻传感器，测量精度达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，安装在电机绕组、轴承外圈等易发热部位，实时监测温度变化；压力传感器选用扩散硅式传感器，适配液压系统、气压管路等场景，安装于油路接口、气路阀门处，确保全面覆盖设备关键状态参数。(2) 数据采集卡配置：依据监测信号特性配置高性能数据采集卡。采样率需满足Nyquist定理，针对振动信号配置100kHz以上采样率，温度、压力等缓变信号选用1kHz采样率，平衡数据精度与存储成本；分辨率选择16位及以上，保证微弱信号的精准采集，避免数据失真；通道数根据传感器数量配置，预留2-4个备用通道，满足后续监测点扩展需求，同时支持多通道同步采集，确保不同参数采集时间的一致性<sup>[3]</sup>。(3) 抗干扰设计：采用多重抗干扰技术保障硬件系统稳定性。屏蔽方面，传感器线缆选用带金属屏蔽层的双绞线，采集卡与控制柜采用金属外壳屏蔽，减少电磁辐射干扰；滤波环节在信号调理电路中加入低通滤波器与陷波器，滤除高频噪声与工频(50Hz)干扰；接地设计采用单点接地方式，将传感器、采集卡、控制柜的接地端连接至同一接地极，避免地环流干扰，确保采集信号的准确性。

### (三) 软件系统设计

(1) 开发平台选择：综合系统需求与技术适配性选择开发平台。优先选用LabVIEW，其图形化编程界面直观，内置丰富的数据采集与信号处理函数库，可快速实现硬件驱动与算法集成，适合非专业编程人员快速开发；对于需复杂算法与高效数据处理的场景，可搭配C++开发核心算法模块，通过DLL调用与LabVIEW协

同；Python则适用于数据挖掘与故障诊断模型训练，借助TensorFlow、Scikit-learn库构建神经网络模型，实现多平台优势互补。(2) 数据处理算法设计：针对不同信号特性设计适配算法。采用FFT变换将振动时域信号转换为频域信号，识别设备旋转频率、谐波频率等特征，判断是否存在共振或部件磨损；运用小波变换处理非平稳信号，如设备启动、停机过程中的振动信号，精准提取瞬时故障特征；引入神经网络算法(如BP神经网络、CNN)，通过大量历史故障数据训练模型，提升复杂故障的识别精度，实现从“特征提取”到“智能诊断”的升级<sup>[4]</sup>。(3) 故障诊断模型构建：采用多类型模型融合策略构建诊断模型。基于规则的模型依据领域专家经验，建立故障特征与故障类型的对应规则库，适用于常见、简单故障的快速诊断；基于数据驱动模型通过机器学习算法挖掘历史数据规律，无需人工干预，适合复杂、未知故障的诊断；混合模型结合前两者优势，先通过规则模型初步筛选故障范围，再利用数据驱动模型精准定位故障，兼顾诊断效率与准确性。

### (四) 用户界面设计

(1) 实时监测界面：界面以“直观性、实用性”为核心设计原则。左侧设置参数显示区，以数字仪表盘形式实时展示振动幅值、温度值、压力值等关键参数，超出阈值时参数颜色自动变红提醒；中间区域为趋势图显示区，以折线图、柱状图实时绘制参数变化趋势，支持切换不同参数与时间跨度(1小时、24小时、7天)；右侧设置报警功能区，当参数超出预设阈值时，自动弹出报警弹窗并发出声光提醒，同时记录报警时间、参数值等信息，便于后续追溯。(2) 故障诊断结果可视化：以“清晰易懂、指导性强”为设计目标呈现诊断结果。界面顶部以饼图、柱状图展示设备健康状态分布(正常、轻微故障、严重故障)；中间区域详细显示故障信息，包括故障类型(如轴承外圈磨损、电机绕组过热)、严重程度(以1-10级评分表示)、故障发生位置(标注设备示意图对应部位)；底部设置建议措施区，根据故障类型自动推荐处理方案(如“建议停机检查轴承，更换润滑油”“需降低负载，监测温度变化”)，辅助运维人员快速制定维修计划。

## 三、基于虚拟仪器技术的机械设备状态监测与故障诊断系统实现与关键技术

### (一) 数据采集与预处理

(1) 多传感器数据同步采集技术：采用高精度时钟

同步模块，将振动、温度、压力等多类型传感器与数据采集卡时钟信号校准，确保不同通道数据采集时间偏差小于1ms。通过LabVIEW的DAQmx驱动配置触发模式，以硬件触发信号启动多通道同步采集，避免软件触发导致的延迟，保障多传感器数据在时间维度上的一致性，为后续多参数融合分析提供可靠数据基础。（2）噪声抑制与信号增强方法：针对采集信号中的工频干扰与随机噪声，在硬件滤波基础上，软件端采用自适应滤波算法，动态调整滤波参数以抑制干扰；对微弱信号，运用小波阈值去噪结合信号放大技术，在去除噪声的同时保留有效信号特征；通过信号平滑处理（如移动平均法）进一步降低波动，增强信号的稳定性与可分析性。

### （二）故障特征提取与选择

（1）时域特征：计算采集信号的均值（反映信号整体水平）、方差（体现信号离散程度）、峰值（捕捉信号极值）、峰峰值（表征信号波动范围）等参数，快速提取设备运行状态的基础特征，适用于初步判断设备是否存在异常。（2）频域特征：通过FFT变换得到信号频谱，分析主要频率成分及幅值分布；计算功率谱密度，量化不同频率信号的能量占比；针对齿轮、轴承故障，开展边频带分析，识别调制频率特征，精准定位故障源。（3）时频域特征：采用小波包分解技术，将信号分解至不同时频窗口，提取各子带的能量值作为特征；利用Hilbert-Huang变换对非平稳信号进行自适应分解，得到固有模态函数，计算瞬时频率与幅值，捕捉信号时变特征，有效提取设备动态故障信息<sup>[5]</sup>。

### （三）故障诊断方法实现

（1）基于阈值的简单诊断方法：根据设备正常运行时的参数范围，设定振动、温度等指标的报警阈值与故障阈值；实时对比采集数据与阈值，当数据超出报警阈值时发出预警，超出故障阈值则判定为对应故障，适用于简单、明确的故障诊断场景。（2）基于机器学习的智能诊断：采用支持向量机（SVM）处理小样本故障数据，实现故障分类；构建BP神经网络模型，通过大量故障样本训练，提升复杂故障识别能力；引入深度学习（如CNN），直接从原始信号中自动提取深层特征，进一步提高诊断精度，适应复杂多变的设备运行环境。（3）混合

诊断模型：搭建“规则引擎+数据驱动”混合模型，规则引擎基于专家经验筛选常见故障类型，缩小诊断范围；数据驱动模型（如机器学习算法）对筛选后的故障特征进行精细分析，实现故障精准定位，兼顾诊断效率与准确性。

### （四）系统集成与优化

（1）硬件与软件的协同调试：先单独测试传感器、数据采集卡等硬件设备，确保信号采集正常；再通过软件驱动调用硬件，验证数据传输稳定性；最后进行全系统联调，模拟设备不同运行状态与故障场景，修正硬件参数配置与软件算法逻辑，保障系统整体功能正常。（2）系统性能优化：优化数据采集与处理流程，采用多线程技术并行处理数据，提升系统实时性；通过特征降维减少冗余数据，提高诊断速度；增加系统容错机制，如数据丢失时的补全算法、硬件故障时的备用通道切换，增强系统稳定性，确保长期可靠运行。

### 结束语

基于虚拟仪器技术的机械设备状态监测及故障诊断系统，凭借其低成本、高灵活性、强可扩展性等优势，为机械设备的稳定运行提供了有力保障。通过合理设计硬件选型与布局、软件算法及用户界面，实现了精准的数据采集、高效的故障特征提取与准确的诊断。未来，随着技术的持续发展，该系统将不断优化完善，在更多领域发挥重要作用，提升工业生产的安全性及效率。

### 参考文献

- [1] 马科学. 基于虚拟仪器技术的机械设备状态监测及故障诊断系统设计[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53(10): 103-105.
- [2] 刘光虎. 化工机械设备状态的诊断与分析[J]. 化工管理, 2022, (26): 123-125.
- [3] 张志强. 数控设备的远程监控及故障诊断系统设计[J]. 电子技术与软件工程, 2019, (13): 109.
- [4] 王明. 机械设备状态监测技术综述[J]. 机械工程学报, 2020, 56(3): 45-52.
- [5] 陈涛, 刘伟. 机械设备故障诊断技术研究进展与展望[J]. 电子技术与软件工程, 2021, 28(6): 78-85.