

Analysis of Common Methods of Mechanical Equipment Fault Diagnosis and Monitoring

Xiaodong Cai

Han Zheng Testing Technology Co., Ltd., Deyang, Sichuan, 618300, China

Abstract

As the backbone of industrial production, mechanical equipment's stable operation directly impacts production efficiency and operational safety. Fault diagnosis and monitoring technologies serve as critical safeguards for maintaining equipment stability throughout its lifecycle. This paper systematically examines common equipment failure types, their underlying mechanisms, and diagnostic monitoring workflows, with particular emphasis on five prevalent diagnostic approaches: signal processing, vibration analysis, oil analysis, temperature monitoring, and intelligent algorithms. Through in-depth comparative analysis of technical principles, tool characteristics, advantages/disadvantages, and application scenarios across different equipment types and operating conditions, the study establishes practical selection criteria. The research provides clear guidance for engineers to implement equipment condition monitoring, fault localization, and maintenance decision-making, facilitating the transition from reactive to predictive maintenance practices. This advancement significantly enhances industrial production stability and operational efficiency.

Keywords

mechanical equipment; fault diagnosis; condition monitoring; common methods

机械设备故障诊断与监测的常用方法分析

蔡小东

汉正检测技术有限公司，中国 · 四川 德阳 618300

摘要

机械设备是工业生产的核心支撑，其稳定运行直接关系到生产效率与运营安全，故障诊断与监测技术是保障设备全生命周期稳定的关键手段。本文梳理了机械设备的常见故障类型、产生机理及诊断监测流程，并重点剖析了基于信号处理、振动分析、油液分析、温度监测及智能算法的五类常用诊断方法。文章深入对比了各类方法的技术原理、工具特性、优劣势及适配场景，结合不同设备类型与运行工况，提炼出务实的方法选用原则。本文为工程技术人员开展设备状态监测、故障定位与运维决策提供了清晰指引，有助于推动设备运维从事后维修向预知性维护转型，提升工业生产的稳定性与高效性。

关键词

机械设备；故障诊断；状态监测；常用方法

1 引言

工业现代化进程中，机械设备的应用场景不断拓展，运行工况也愈发复杂，轻微故障若未及时监测识别，极易逐步恶化引发设备停机，增加运维成本甚至影响生产安全。故障诊断与监测技术的合理应用，能够提前捕捉设备运行异常信号，精准定位故障隐患并给出适配解决方案，目前各类诊断监测方法已广泛应用于各行业设备运维中，深入分析这些常用方法的应用逻辑与适配要点，对推动设备运维水平提升具有重要的现实意义。

【作者简介】蔡小东（1980-），男，中国四川人，本科，工程师，从事检测工程研究。

2 机械设备故障诊断与监测的核心基础

2.1 机械设备故障的常见类型及产生机理

机械设备在当下自动化、高频次的运行场景中，故障类型不再局限于传统的自然损耗，更多与工况适配不当、维护细节缺失相关，故障产生机理也呈现出关联性而非单一性。磨损类故障多因润滑维护不及时或润滑介质适配性不足导致，零部件相对运动时摩擦不断加剧，长期积累便会造成表面损耗；松动类故障多源于横向循环载荷的长期作用，螺纹连接接触面会产生微动滑移，随载荷循环次数增加逐步出现松动迹象；电气控制类故障则多与传感器老化或程序适配偏差有关，这些故障均能通过日常细致观察和基础检查提前发现，并非突发不可控。

2.2 故障诊断与监测的基本流程及核心要素

故障诊断与监测的基本流程贴合当下自动化设备运维

的实际场景，摒弃传统单一检测的繁琐模式，先对设备运行状态进行基础感知采集，再结合日常运维记录排查异常细节，最后结合基础检测结果梳理故障关联点。核心要素聚焦于状态感知的全面性、运维记录的完整性和异常排查的针对性，不同于传统流程只注重检测结果，当下流程更侧重各环节的衔接适配，避免因某一环节疏漏导致故障误判，日常运维中只需把控好这三个核心要素，就能让诊断监测流程更贴合实际需求，避免无用功。

3 机械设备故障诊断与监测的常用方法分类及分析

3.1 基于信号处理的故障诊断方法

基于信号处理的故障诊断方法已摆脱传统单一检测的局限，适配当下自动化设备多工况运行的现实需求，核心依托低成本 6 自由度惯性传感器采集设备振动信号，传感器采用磁吸式安装，可直接固定在设备关键旋转部位，无需额外打孔或固定件，摒弃传统短时傅里叶变换易出现频谱模糊的问题，采用复 Morlet 小波进行连续小波变换，能更精准捕捉信号中的时间与频率特征，避免故障特征混淆。传感器同步采集设备线性加速度与角加速度数据，传输至客户端后无需复杂处理，运维人员通过简单操作就能识别信号中的异常波动，排查设备潜在故障，这种技术优化既降低了操作门槛，又解决了传统方法误判率高的实际问题，适配日常运维的实际需求。

3.2 基于振动分析的故障诊断方法

IEPE 型三轴加速度传感器是当下工业现场振动诊断中最常用的设备，它内部集成了信号调理电路和恒流源设计，采用差分输出方式进一步提升抗电磁干扰能力，适配采煤机等恶劣工况下的振动数据采集，其频带覆盖 1Hz-10kHz、动态范围达 $\pm 50g$ 的特点，能精准捕捉设备运行时的微弱振动信号，避免因环境干扰导致的数据偏差。振动信号分析不再依赖传统人工频谱解读，而是结合简易数据处理技术，通过时域波形去趋势、频域 FFT 变换，将传感器采集的一维振动信号转换为可直观观察的频谱图，通过对比设备健康状态与异常状态下的频率特性，就能精准识别齿轮齿面磨损、轴承损坏等常见故障，这种方式无需复杂的专业操作，运维人员经过简单培训就能上手。实操中还会优化传感器的安装位置，通常将其固定在采煤机电机、摇臂等关键测点，搭配 32 通道振动分析控制器实现同步采样，采用触发式采集模式减少无效数据，既能保证采集数据的完整性，又能避免因测点不当导致的故障误判，解决了传统振动诊断中数据采集不准、故障识别滞后的实际问题，贴合当下工业设备运维的务实需求，也让振动分析方法在普通工业场景中得到更广泛的应用^[1]。

3.3 基于油液分析的故障诊断方法

便携式油液颗粒计数器是当下工业现场油液诊断的主

流设备，它采用光阻法技术搭配高精度激光传感器，无需复杂样品预处理，仅需 20ml 油样就能现场完成检测，其 316L 不锈钢管路设计能适配油田、高温车间等恶劣工况，可同步检测油液污染度、含水量、温度三项核心指标，捕捉最小 4 微米的颗粒杂质，解决了传统实验室检测耗时久、无法即时反馈的痛点。

傅里叶变换红外光谱仪可辅助完成油液劣化分析，通过检测油液中羧基等氧化产物的特征吸收峰，判断油液氧化程度和添加剂损耗情况，无需复杂的化学试剂，运维人员简单操作就能读取数据，适配空压机、发电机组等常见工业设备的油液监测，与便携式油液颗粒计数器配合使用，能实现油液状态的全面监测。

现场油样采集需遵循规范流程，通常从设备放油口抽取，避免混入外界粉尘和水分，采集后立即放入专用密封容器，搭配颗粒计数器和红外光谱仪的检测数据，可精准判断设备内部磨损类型，比如油样中出现暗红色铁基颗粒多为缸套磨损，金黄色铜基颗粒则提示轴承损坏，不用依赖专业化验人员，普通运维团队就能完成日常监测。

3.4 基于温度监测的故障诊断方法

红外测温仪凭借国产化核心芯片的突破已成为当下机械设备温度监测的主流工具，其无需停机拆解就能捕捉设备自然散发的红外辐射，精准识别轴承缺油干磨、电气接头松动等隐蔽性隐患带来的微小温升，这种非接触式监测方式适配大多数工业场景，尤其适合户外输电线路、矿山机械等不便人工巡检的设备。当下很多工厂已摒弃传统的人工触感测温方式，改用集成了简单 AI 算法的红外测温仪，它能自动捕捉温度异常并区分正常摩擦发热与危险过热，不用运维人员逐一排查，大大降低了人工成本和误判概率，具体不同场景下的适配型号及应用细节可参考表 1。

表 1 温度监测技术的典型应用场景与监测工具及要点对照

应用场景	适配监测工具	核心监测要点
汽车焊装车间机械臂	定制红外热像仪	监测机械臂末端温差波动，排查元器件过热
户外变电站输电线路	手持红外测温仪	检测线路连接点温升，排查接触不良隐患
小型车间电机	NTC 贴片温度传感器	实时监测电机绕组温度，捕捉微小温变

温度传感器作为红外测温仪的辅助工具，其选型直接影响监测精度，不同类型的传感器适配不同温度范围和设备场景，比如高温窑炉等极端环境适合用耐热性强的热电偶，而医药车间、小型电机等中低温场景则更适合精度高的 Pt100 铂电阻。很多运维人员在实际操作中会忽略传感器的安装位置，将其靠近设备发热源导致数据失真，这种问题在中小型工厂中尤为常见，其实只要按照设备说明书固定传感器位置，同时定期校准，就能有效提升温度监测的准确性，避免因数据偏差导致故障漏判或误判^[2]。

3.5 基于智能算法的故障诊断方法

智能诊断算法已逐步替代传统人工判断模式,在中小型工厂电机、机床等常用设备上落地,它依托无线温振传感器采集的振动、温度三维数据,通过时域波形降噪、特征频率提取等基础技术分析,无需运维人员丰富经验就能精准识别故障类型。很多工厂引入的轻量化智能算法无需搭建复杂云端系统,可直接在边缘端完成数据预处理与故障识别,适配老旧设备改造需求。无线温振传感器体积小,采用低功耗蓝牙传输,可直接粘贴在设备表面,高频采集运行参数并传输给算法,解决了人工巡检难以捕捉细微异常的问题,实际应用中定期检查传感器续航和信号稳定性,即可保障算法分析准确。

运维日志解析工具作为智能诊断算法的配套工具,采用结构化解析与异常特征标注技术,可将工厂分散的故障运维日志分类处理,梳理不同故障的参数变化规律,为算法迭代优化提供精准数据支撑。当下很多中小企业的算法失效问题,多因缺乏日志数据持续补充,导致算法无法适配设备迭代后的运行状态。智能诊断算法实际应用中简化运算逻辑,采用阈值触发与特征匹配结合的方式,针对轴承磨损、线路松动等常见故障捕捉参数异常,无需过度追求高精度而增加改造和运维成本。

4 常用故障诊断与监测方法的应用对比与适配场景

4.1 各类方法的优势与局限性对比

各类诊断监测方法的优势与局限性均与实操场景、设备类型深度绑定,基于信号处理的方法依托复 Morlet 小波变换技术,能精准捕捉设备早期微弱故障信号,适配低速、重载类旋转设备,但其对传感器安装位置要求较高,偏离关键部位就会导致信号衰减,且易受环境电磁干扰,日常运维中需频繁调整传感器位置、清理周边干扰源。基于振动分析的方法采用压电式传感器,安装便捷、成本适中,能精准定位异常振动的频率来源,适配机床、风机等常见设备,但其在设备运行噪音较大的场景中,振动信号易被干扰,无法精准区分正常振动与故障振动,需避开噪音干扰时段进行检测。

基于油液分析的方法通过光谱与铁谱联合检测,可实现非破坏性诊断,无需拆卸设备,适配大型压缩机、重型机床等难以频繁拆卸的设备,但其检测周期较长,无法实现实

时监测,且取样操作需严格遵循标准,操作不当易导致检测结果失真,不适用于需要快速预警的设备场景。基于温度监测的方法操作最简单、成本最低,可实现非接触测温,适配高温、高压等特殊工况,但其只能实现故障预警,无法精准定位故障部位,需结合其他方法进一步诊断。基于智能算法的方法效率高、可实现自动化诊断,适配多设备集中运维场景,但其对数据量要求较高,前期数据积累耗时,且易受数据噪声干扰,不适用于小型企业的简易运维场景^[3]。

4.2 不同机械设备的方法适配选择

机械设备的方法适配选择需结合自身运行特性与日常运维条件,机床、风机等旋转类设备以振动异常为主要故障表现,适配基于振动分析的方法,采用压电式传感器吸附在轴承座处,通过时域与频域联合分析捕捉异常振动频率,无需复杂操作就能精准定位齿轮、轴承等部件的故障隐患,适配中小型企业的运维能力。大型压缩机、重型机床等难以频繁拆卸的设备,优先选用基于油液分析的方法,遵循 GB/T 30582-2014 标准取样,通过火焰原子吸收光谱仪检测金属元素含量,实现非破坏性诊断,避免拆卸设备造成的生产停滞。电机、配电箱等电气类设备侧重温度与信号监测,采用红外测温仪与 6 自由度惯性传感器联合使用,既能监测电机绕组、接线端子的温度异常,又能通过复 Morlet 小波变换捕捉电气信号波动,适配电气设备的故障特点,普通运维人员经过简单培训就能完成适配操作。结语

机械设备故障诊断与监测方法的合理选用,是实现设备精准运维、降低故障损耗的核心路径,不同方法基于自身特性适配不同设备类型与运行工况,不存在绝对最优的单一方法,合理搭配使用才能充分发挥技术价值。本文对各类常用方法的分析的核心在于为实操应用提供指引,后续可结合更多行业实操案例,进一步优化方法适配策略,让诊断监测技术更好地适配各类机械设备的运行需求,为工业生产的稳定高效提供更坚实的保障。

参考文献

- [1] 张伟华,韩庆飞.浅谈机械设备故障诊断与监测的常用方法及其发展趋势[J].中国设备工程, 2021(9):2.
- [2] 刘姣艳.机械设备故障诊断与监测的常用方法及其发展趋势[J].消费电子, 2024(8):33-35.
- [3] 王楠.浅谈机械设备故障诊断与监测的常用方法及其发展趋势[J].中国设备工程, 2024(1):159-161.