

化工厂旋转机械主要故障的测量和分析

张晓伟 张世举

岳阳长炼机电工程技术有限公司多伦分公司

DOI:10.32629/etd.v7i4.20244

[摘要] 旋转机械是现代化工厂的核心设备,其运行状态直接关系到生产的安全、稳定与经济效益。由于其长期在高温、高压、高速、腐蚀及重载等恶劣工况下运行,故障发生率较高。本文系统阐述了化工厂旋转机械主要故障的测量技术与分析方法,旨在实现从“计划维修”到“预测性维护”的转变,为化工厂的设备管理和安全长周期运行提供理论指导与实践参考。

[关键词] 旋转机械; 故障诊断; 状态监测; 振动分析; 化工厂

中图分类号: TB752+.25 **文献标识码:** A

Measurement and Analysis of Main Faults of Rotating Machinery in Chemical Plants

Xiaowei Zhang Shiju Zhang

Duolun Branch, Yueyang Changlian Electromechanical Engineering Technology Co., Ltd.

[Abstract] Rotating machinery serves as the core equipment in modern chemical plants, and its operating status is directly related to the safety, stability and economic benefits of production. Owing to long-term operation under severe working conditions such as high temperature, high pressure, high speed, corrosion and heavy load, rotating machinery features a relatively high failure rate. This paper systematically expounds the measurement technologies and analysis methods for main faults of rotating machinery in chemical plants, aiming to realize the transformation from "scheduled maintenance" to "predictive maintenance", and provide theoretical guidance and practical reference for equipment management and safe long-period operation of chemical plants.

[Key words] rotating machinery; fault diagnosis; condition monitoring; vibration analysis; chemical plant

引言

旋转机械在化工厂生产流程中属于关键设备,其可靠性对于整个系统能否持续稳定运行有着直接关联。在复杂且条件苛刻的工业环境当中,旋转机械大多时候会因为不平衡、不对中、轴承出现磨损以及齿轮产生损伤等故障,引发非计划停机情况,甚至还可能造成安全事故。传统的定期维修模式如今已经没办法适应现代工厂对于设备高效管理以及安全运行的要求。随着状态监测与故障诊断技术不断发展,借助多参数测量以及智能化分析来达成故障早期预警和精准诊断,已然成为设备管理的一个关键方向。本文围绕化工厂旋转机械常见的故障,系统地介绍其测量技术以及分析方法,以便为实现预测性维护、提高设备管理水平提供技术方面的支持。

1 化工厂旋转机械主要故障的测量和分析意义

1.1 保障生产安全与环境安全,预防重大事故

旋转机械属于化工流程中的核心设备,一旦突发故障,就有可能引发严重的安全事故以及环境事故,像介质泄漏、火灾,甚至是爆炸等情况。借助系统化的故障测量以及分析工作,可以达

成对设备状态的实时监控以及早期预警。举例来说,振动监测可及时察觉到转子不平衡、轴承磨损等机械方面的隐患;红外热成像可捕捉到电气连接松动、冷却失效所引发的异常温升;油液分析则可对润滑失效以及内部磨损发出预警。

1.2 提升设备可靠性与经济效益,实现精益运维

传统定期维修模式容易出现“维修不足”或者“过度维修”的情况,这种情况会对设备可靠性产生影响,还会带来高昂的维护成本以及生产损失。状态故障测量与分析推动了维修模式朝着“预测性维护”的方向转变,依靠长时间跟踪振动趋势、油液磨损金属含量、温度变化等多个参数的数据,可以准确判断设备健康劣化的轨迹,科学安排维修的时机以及范围。

1.3 推动运维智能化与决策科学化,促进产业升级

化工装置朝着大型化、集成化以及复杂化的方向发展,传统依靠经验的故障诊断方法已无法适应这种趋势。故障测量与分析技术融合了物联网、大数据以及人工智能,正在推动设备管理朝着数字化、智能化的方向发展,依靠布置多源传感器网络,构建设备数字孪生体,并且运用机器学习算法来进行数据挖掘与

模式识别, 可实现故障的自动诊断、严重程度评估以及剩余寿命预测。这样做提升了诊断效率与准确性, 减少了对人为主观经验的依赖, 同时为维修决策提供了科学、量化的依据。

2 主要故障的测量技术

2.1 振动测量: 状态监测的基石

振动测量在旋转机械故障诊断中属于极为关键且有效的测量方式, 其原理在于, 任何机械故障如不平衡、不对中、轴承损坏等都会产生独特的力或者运动, 最终呈现为可测量的振动信号。在化工厂开展实施的时候, 一般会在轴承座或者靠近转子的机壳部位, 于垂直、水平以及轴向方向安装压电式加速度传感器或者速度传感器。对于如蒸汽轮机、压缩机这类关键大型机组, 还会运用非接触式的电涡流位移传感器直接测量轴颈的相对振动。测量系统会记录振动的总体幅值和速度有效值, 用于ISO 10816标准下的健康评估。更关键的是采集原始的时域波形信号, 依靠布置多个测点并开展相位测量, 可以精准判断故障的方位与模式。为实现预测性维护, 化工厂普遍构建在线振动监测系统, 对关键机组进行7x24小时不间断的数据采集与存储, 为后续的深入分析提供丰富且连续的动态数据流, 捕捉故障的萌芽与演变过程^[1]。

2.2 油液分析: 磨损管理的“显微镜”

油液分析就如同针对设备血液循环系统所开展的“生化检验”工作, 其主要作用在于对设备的润滑状态进行评估, 并对内部磨损故障进行诊断。该分析的测量对象是润滑系统的油样, 借助一系列实验室分析手段来获取关键信息。测量工作主要囊括两个类别: 其一为油品理化性能分析, 此分析会检测粘度、酸值、水分含量以及颗粒污染度等指标, 凭借这些指标来判断润滑油自身是否因氧化、污染或者高温等因素而出现劣化情况。毕竟润滑失效是导致轴承和齿轮故障的主要原因。其二是磨损颗粒分析, 这堪称整个诊断过程的关键所在。运用光谱分析可对油液中小于10微米的各类金属元素进行定量检测, 像Fe、Cr、Cu、Al等元素的浓度可被检测出来, 从而追踪不同部件, 如轴承、齿轮以及轴套的微量磨损趋势; 采用铁谱或者分析式铁谱技术, 则可分离并观测大于10微米的磨损颗粒, 借助显微镜对其尺寸、形貌、颜色以及成分进行分析, 以此明确区分磨损机理究竟是疲劳剥落、切削磨损还是腐蚀磨损。按照规范定期进行油液采样分析, 可在振动信号出现明显异常之前, 更提前地对轴承和齿轮的早期失效发出预警。

2.3 红外热成像测量: 温度场分布的可视化诊断

红外热成像技术提供了一种非接触、全场且快速的温度测量方式, 对振动和油液分析而言是关键补充。该技术原理是借助红外热像仪去接收物体表面发射出的红外辐射, 把它转变为可视的温度分布图像。在化工厂旋转机械测量当中, 热成像主要具备这些应用: 其一, 检测异常温升点, 像轴承若因润滑不好或者过载致使摩擦增大, 那它的外壳温度会比同类轴承或者历史基线高不少, 电机接线端子松动会让接触电阻变大, 产生局部过热点; 其二评估散热与冷却效果, 检查空冷器、水冷套、润滑油冷

却器的效率, 以此保证热交换正常; 其三识别工艺相关故障, 比如泵的出口阀没有完全打开造成憋泵、内部回流, 或者压缩机级间冷却不佳, 都会致使设备壳体温度分布出现异常。测量的时候要留意环境温度、风速、发射率设置以及测量距离, 并且最好在设备稳定运行于典型负荷的情况下开展。凭借定期进行热成像巡检, 可快速扫描众多设备, 及时发现潜在的电气和机械热隐患, 达成安全与能效的双重监控^[2]。

2.4 工艺过程参数监测: 运行工况的关联性测量

旋转机械的健康状况和工艺运行工况紧密相连, 对关键工艺参数的测量是故障诊断的关键关联维度, 这些参数能直接体现设备的负载、效率以及运行边界。主要测量点包括出口压力与压差, 其可用于监测泵、压缩机的扬程或压比, 异常变化或许意味着堵塞、磨损或者内泄漏; 流量, 是判断设备是否在高效区运行以及是否存在喘振或气蚀风险的关键参数; 介质温度, 异常温升可能暗示内部摩擦、冷却失效或者反应异常; 电机电流与功率, 能直接反映负载扭矩, 电流波动或持续偏高可能表示机械阻力增大或者存在电气问题。

3 主要故障的分析方法

3.1 频谱与特征频率分析: 故障类型的“指纹识别”

在振动信号分析领域中, 这是极为经典且颇具效力的一种方法。借助快速傅里叶变换即FFT, 可把时域的振动波形转变成频域的频谱图, 将复杂的振动化解成不同频率成分的叠加组合。不同类型的故障会激发出特定的“特征频率”, 分析工作的关键点在于识别出这些特征频率, 并且识别这些特征频率并与理论计算值关联: 不平衡表现为突出的1倍转频(1X)分量; 不对中表现为高的2倍转频(2X)分量, 且常伴高的轴向振动; 轴承故障, 如内圈、外圈、滚动体损伤具有由几何尺寸决定的特征频率, 这些频率通常较高且伴有谐波; 齿轮故障表现为啮合频率及其边带。更为精细的分析手段如包络解调分析, 专门用来从高频共振信号当中提取出被噪声掩盖的轴承或者齿轮早期冲击故障特征, 是诊断滚动轴承点蚀、剥落等局部损伤的有效工具。依靠频谱分析, 工程师可如同侦探识别指纹那般, 精准地定位故障的源头。

3.2 多参数趋势与关联分析: 从静态诊断到动态预测

仅依据单一时间点的数据来进行诊断, 存在着一定的局限性。与之不同的是, 趋势分析可把视角拓展到设备的整个生命周期, 它会对关键状态参数展开长期跟踪, 像振动总值、特征频率幅值、油液磨损金属含量以及轴承温度随时间或者运行里程的变化曲线等。一般情况下, 一个参数呈现出缓慢上升趋势, 相较于其绝对值出现短暂超标, 更有预警的价值, 因为它可呈现出故障逐步发展的过程。更高级的分析是多参数关联分析, 即将振动、温度、工艺参数等进行同步关联考察。例如, 要是泵的振动有所升高, 同时流量出现下降, 并且电流产生波动, 那就很有可能意味着出现了气蚀故障; 要是压缩机的振动突然大幅增加, 而且是在流量降低到某一个临界点的时候发生的, 那就可能是喘振的一种前兆。这种关联分析可把机械状态和运行工况紧密

地结合起来,可以有效地分辨出是源于设备自身机械劣化所导致的故障,还是源于工艺操作不当而引发的故障,还可以让诊断结论变得更加全面、更加可靠,为预测剩余使用寿命即RUL提供相应的数据基础^[3]。

3.3 智能诊断与机器学习算法分析:从经验驱动到数据驱动

当面对化工厂中数量庞大且来源多样的监测数据时,传统那种依靠专家经验的诊断模式遭遇了瓶颈。借助人工智能的智能诊断方法正逐渐成为前沿的发展方向,其分析过程如下:先是从振动波形、频谱以及油谱等数据里面自动提取诸多特征,如统计特征、频域特征以及时频特征等,构成特征向量。接着运用历史故障案例库的数据来对机器学习模型,如支持向量机、随机森林、梯度提升树进行训练,构建起从“特征向量”到“故障类别”的复杂映射关系。训练好的模型可对新的监测数据开展自动识别与分类工作,深度学习模型如卷积神经网络可以直接处理原始的振动图像或者一维波形,自动学习最为有效的特征表达,实现端到端的故障诊断。

3.4 时域波形与相位分析:现场诊断的直观利器

与频谱分析那种“宏观审视”相比,时域波形和相位分析能提供更为直观且具有更强时间分辨力的诊断角度。时域波形分析可以直接观察振动位移、速度或者加速度信号随着时间变化的原始形态。健康设备的波形一般较为规则、平滑,而特定故障会留下明显“印记”,比如滚动轴承严重剥落会产生周期性冲击尖峰,摩擦故障有可能致使波形“削顶”,不平衡的波形近似于完美的正弦波。波形分析对于捕捉瞬态事件以及冲击类故障格外敏感,相位分析则是测量振动高点相对于转轴上某个固定参考点的角度差,它是现场动平衡校正、区分故障类型的关键所在。例如不平衡在两端轴承测得的径向振动相位差大

约为 180° ,不对中则有可能接近 0° 或者 180° 。借助分析启停机过程中振动幅值和相位随转速变化的波特图或者极坐标图,可以判断转子是否存在临界转速、共振或者热弯曲。这两种分析把抽象的频谱数据“翻译”回到物理世界,是工程师在现场进行快速诊断和决策时必不可少的直观工具。

4 结束语

旋转机械的故障测量与分析是一项多技术融合、多参数协同的系统工程。振动测量、油液分析、红外热成像及工艺参数监测构成了状态监测的立体网络,而频谱分析、趋势关联、智能诊断与波形相位分析则提供了从特征识别到故障预测的完整方法论。未来,随着传感器技术、数据融合与人工智能算法的进一步发展,旋转机械故障诊断将更加精准、高效与自动化。化工厂应积极推进测量体系的完善与分析能力的提升,构建基于数据的预测性维护平台,从而实现设备健康管理从“被动应对”到“主动预防”的跨越,最终保障生产装置的安全、稳定、长周期、高效运行。

[参考文献]

- [1]张西康.化工厂建筑工程机械设备安全管理现状及对策研究[J].建设机械技术与管理,2024,37(3):99-101.
- [2]闫光辉.化工厂建筑工程机械设备安全管理模式优化[J].化工管理,2025(24):133-136.
- [3]鲁智强.化工厂大型压缩机机械故障诊断与维修技术探讨[J].科技资讯,2025,23(19):136-138.

作者简介:

张晓伟(1984--),男,汉族,内蒙古锡林郭勒人,本科,毕业于沈阳化工学院,研究专业:化工工程与工艺。