

振动分析诊断技术在化工装置设备维护中的运用

贾奋玉 张笑 周冠东

陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司 陕西榆林 719000

摘要: 振动分析诊断技术是化工装置设备维护的重要手段。本文以化工关键设备的振动问题为研究对象,深入分析目前化工行业振动分析诊断技术应用水平及存在问题。通过典型案例剖析,探讨振动分析、诊断与处置的实践经验,提出优化振动诊断策略、创新应用先进诊断方法与工具、全生命周期振动健康管理体系等建议,以提升化工装置设备的可靠性和完整性,降低非计划停机风险,实现精准维修和经济运行。

关键词: 振动分析诊断; 化工装置; 设备维护; 预测性维护; 智能诊断

引言:

随着化工装置规模的不断扩大和工艺流程的日趋复杂,关键设备的健康状态直接影响生产安全、产品质量和经济效益。传统的定期检修模式已难以满足高可靠性要求,亟需采用先进的设备管理理念和技术手段。作为状态监测与故障诊断的有效工具,振动分析诊断技术在化工领域得到广泛应用。

1. 目前化工行业振动分析诊断技术应用水平及存在问题

目前,越来越多化工企业重视设备状态监测与故障诊断,建立了以在线监测为主、定期巡检为辅的预知维修体系,积累了一定的振动分析经验。但从整体看,行业内状态监测覆盖率还不够高,仪器设备配置不足,振动诊断方法相对单一,缺乏工艺过程、失效机理等深度融合分析,数据利用分散,智能化程度不高,相关人才匮乏^[1]。提升化工装置本质安全水平,推动智能制造发展,亟需优化振动诊断策略,推广先进诊断方法,加强数据融合,建设智能诊断平台,培养复合型技术团队。

2. 某化工装置关键设备振动分析案例研究

2.1 某化工装置 XX 泵振动异常案例分析

某化工装置一台大型进料泵投用一年后,其振动趋势开始出现异常。通过对泵的振动数据进行采集与分析,发现其振动频谱中出现了较为明显的转频、叶频及其倍频成分。

下表 1 展示了该泵异常期间的部分典型振动数据:

表 1 化工装置 XX 泵异常期间典型振动数据特征

测点位置	转频振幅 (μm)	叶频振幅 (μm)	二倍频振幅 (μm)	三倍频振幅 (μm)
驱动端 X	65.8	32.5	18.4	8.2
驱动端 Y	72.3	28.7	15.9	7.6
非驱动端 X	58.1	36.2	22.1	10.5
非驱动端 Y	63.5	34.8	20.4	9.7

根据以上振动数据可以初步判断,该泵很可能存在转子不平衡、叶轮磨损等机械故障。同时还需综合考虑泵的结构特点、工艺条件变化及轴承温度、润滑油品质等因素,进一步分析引起这些故障的原因。

经现场难平衡校正试验,并更换磨损叶轮、添加润滑脂后,泵的振动水平明显降低,各测点的特征频率振幅恢复到正常范围,且运行工况稳定。此案例表明,针对化工泵设备的振动异常问题,需结合其结构特性与工况条件,采用时频分析、阶次分析、轨迹分析等方法,才能准确诊断故障根源,为制定状态维护策略提供可靠依据。

2.2 化工装置 XX 压缩机组振动故障诊断及处理

某化工装置一台螺杆压缩机组在运行中频繁出现强烈振动,严重影响生产稳定性。通过系统采集振动数据并开展全频谱、倒频谱、包络谱等分析,发现主导频率集中在转频、齿轮啮合频率、电机定子槽频率等位置。结合现场工况,判定该异常振动是由进气压力脉动导致的喘振、转子不对中和齿轮磨损等因素共同作用引起的。

针对性地实施了进气阀控制优化、齿轮精加工、轴承更换等一系列措施后,该压缩机组的振动水平显著降低,有

效确保了装置的长周期平稳运行。本案例凸显了在复杂工况下开展设备故障诊断, 必须综合运用转子动力学、流固耦合等多学科知识, 并在海量振动数据的支撑下, 构建包含设备全生命周期的智能诊断知识库与预测模型。

表 2 化工装置 XX 压缩机组振动异常的诊断要点简表

振动主频	伴生特征	初判故障模式	关键诱因
转频 (1X)	2X/3X	转子不平衡、不对中	高速重载, 轴承游隙增大
齿轮啮合频率	调制边带	齿轮磨损	齿侧间隙不均, 局部硬点
叶片通过频率	宽带噪声	流场脉动引起喘振	齿侧间隙不均, 局部硬点

此表 2 从异常频率特征入手, 辅以故障模式判断和原因分析, 形成了由现象到机理、再到处置的逻辑路径, 为类似压缩机组的故障诊断提供了参考, 具有一定的普适性。

通过以上两个典型案例分析可以看出, 将设备振动数据进行系统采集、科学分析与综合判断, 是准确诊断关键设备故障的前提。构建涵盖设备全生命周期的监测数据管理体系, 并在大数据分析 with 专家经验融合的基础上, 建立智能诊断知识库与预测模型, 将是提升装置本质安全水平和可靠性的重要举措。

3. 化工装置关键设备振动分析诊断策略优化

3.1 针对性选择振动诊断技术手段的策略

基于对化工装置关键设备特点、故障机理和演化规律的系统分析, 采用针对性的振动诊断技术至关重要。应充分考虑设备类型、结构特征、转速范围、运行工况等因素, 综合运用时域分析、频域分析、阶次分析、包络谱分析等方法, 重点关注转频、倍频、啮合频率及其边带、故障特征频率等敏感参数^[2]。针对复杂工况, 可融合多参数综合分析, 如结合声发射、油液污染度等构建多源异构数据协同诊断模型。对于转子系统, 需重点关注临界转速、不平衡量、不对中量等因素引起的振动异常。对于往复式压缩机, 则需重点分析活塞杆侧向振动、交叉头区振动等。此外, 还应针对性地选用先进的信号处理方法, 如小波变换、经验模态分解、循环平稳分析等, 挖掘深层次的故障特征。

3.2 结合工艺、设备特点优化振动监测布点方案

振动监测布点方案的优劣直接影响诊断的精准性和及时性。化工装置工况复杂多变, 设备型号繁多, 监测布点需因地制宜、动态优化。应充分考虑装置的工艺特点, 重点监测存在高温高压、腐蚀磨损、多相介质等苛刻工况的关键设备。针对长周期连续运行的大型旋转设备, 可结合其结构对

称性、应力分布规律, 在轴承座、轴瓦、机架等处布置多测点, 实现全面监测; 对于易发生泄漏、多相流扰动的离心泵, 需在泵体、轴封处等布点。在布点时, 还应兼顾测点的可达性和安全性, 并做好防爆防腐措施。此外, 监测频率和数据采集策略也应根据设备特性、运行阶段等灵活设置, 对于状态频变设备可适度加密。通过动态迭代优化, 不断提升监测方案的性价比和效果。

3.3 构建基于大数据的振动故障诊断知识库

海量的振动监测数据蕴藏着设备健康状态的奥秘, 亟待用大数据理念和方法去挖掘。通过采集各生产环节、各类设备的振动信号, 并与工艺参数、维修记录等多源数据关联存储, 可构建起涵盖全装置、全生命周期的振动大数据集^[3]。在此基础上, 利用机器学习算法对典型故障模式进行挖掘, 总结故障的振动特征和演化规律, 形成从数据到信息、从信息到知识的提炼过程。知识库应包括设备基础信息、监测参数、健康指标、故障案例、诊断规则、处置方案等内容, 并不断更新迭代。通过将知识库嵌入到诊断软件和专家系统中, 实现从数据分析到辅助决策的闭环, 形成 " 边学边用边完善 " 的良性循环, 为后续智能诊断提供强大的知识与经验支撑。

3.4 建立振动诊断分析结果与维修策略的快速响应机制

当今化工装置追求长周期安全平稳运行, 亟须通过设备智能诊断与精准维修来提升本质安全水平。一方面, 应建立起基于振动大数据分析的设备健康评估体系, 形成从异常征兆捕捉、到故障定位、再到失效预测与寿命预估的完整链条, 尽早发现和预警设备的退化趋势, 为预测性维修决策提供依据。另一方面, 要打通从异常诊断到维修处置的 " 最后一公里 ", 建立标准化的诊断报告和维修建议输出机制, 通过移动终端、工单系统等渠道实现与检修人员的无缝对接, 确保第一时间启动针对性的维修工作, 减少决策延误。同时, 还应加强设备诊断与工艺优化、备件管理、定期检修等业务的协同联动, 实现维修资源的精准调度, 切实提高故障处置的及时性和有效性。

4. 振动分析诊断技术在化工设备领域的创新实践

近年来, 振动分析诊断技术在化工设备领域得到了广泛应用和创新发展。先进的信号处理方法、专家智能诊断系统、全生命周期管理理念, 以及与工艺优化、设备改造的深度融合, 极大地提升了化工装置的安全性、可靠性和经济性。

(1) 创新应用先进的振动诊断分析方法与工具: 振动信号中蕴藏着丰富的设备健康信息, 提取和解读这些信息需要创新算法和先进工具的支持。基于压缩感知、奇异值分解等方法可实现振动信号的稀疏化和降噪, 基于经验模态分解、变分模态分解等可自适应提取多尺度振动特征, 基于深度学习可构建端到端的智能诊断模型。MEMS 传感器、无线传输等硬件工具的应用, 则可实现更灵活、更经济的状态监测。

(2) 构建面向设备全生命周期的振动健康管理体系: 设备从设计、制造、安装、使用到报废的全生命周期中, 健康状态是动态演变的。构建贯穿设备全生命周期的振动监测与故障诊断体系, 实现状态数据的持续采集、同步传输、自动分析和趋势预测, 形成电子设备档案。对比分析不同状态下的振动模式, 评估振动对设备材料、部件的影响, 优化运维策略。这种动态监管模式可显著提升设备管理的主动性、经济性和长周期安全性。

(3) 将振动诊断与工艺优化、设备改造等深度融合: 设备振动与工艺参数、生产状态密切相关, 因此开展振动诊断时, 需要从系统的角度考虑工艺、设备、环境等多因素的交互作用。将振动诊断与工艺优化深度融合, 通过实时评估设备振动对产品质量的影响, 优化工艺参数, 在确保产品质量的同时降低设备振动水平。此外, 振动分析可以揭示设备

固有的结构缺陷, 为设备选型、改进提供参考, 与新材料、新工艺、新结构的应用相结合, 从源头消除引发振动的隐患。

结束语: 振动分析诊断技术在化工装置设备维护中不可或缺, 大有可为。通过优化诊断策略、创新应用手段、积累知识经验、完善管理机制, 可显著提高故障诊断的及时性和准确性, 为制定经济有效的维修决策提供可靠依据。未来, 融合工业互联网、大数据分析、人工智能等新兴技术, 建设智能化振动诊断平台和全生命周期健康管理体系, 将为保障化工装置长周期安全平稳运行、实现减量化和智能化生产注入新动力。

参考文献:

- [1] 陈俊霞. 振动分析诊断技术在化工装置设备维护中的应用[J]. 自动化应用, 2025,66(01):151-154.
- [2] 王晓晖, 陈俊杰, 李军锋, 等. 电厂主要辅机振动分析与三维可视化应用研究[J]. 中国高新科技, 2024,(20):54-56.
- [3] 郑洋. 基于振动分析的发动机异响故障诊断[J]. 专用汽车, 2024,(09):109-112.

作者简介:

姓名: 贾奋玉; 出生年 --: 1985年; 性别: 男; 民族(汉族略): 汉族; 籍贯(省、市/县): ; 陕西省榆林市靖边县; 学历: 大专; 目前职称: 助理工程师; 研究方向: 化工设备与维护。