

燃气轮机轴系振动监测与故障预警技术应用

张启成

广东大唐国际肇庆热电有限责任公司 广东 肇庆 526105

【摘要】：燃气轮机轴系振动直接影响机组安全稳定运行，传统监测预警模式适配性不足，满足高可靠性运维需求时力不从心。针对轴系结构匹配度低、振动信息采集传递不规范、故障预判标准缺失等问题，本文从结构适配优化、信息流程规范、预判模式完善三方面构建优化体系，融合多源数据与智能算法，搭建多参数耦合判定模型并建立动态预警机制。该优化体系可提升振动监测精准度与故障预警可靠性，推动运维模式升级，为燃气轮机轴系安全运维提供技术支撑。

【关键词】：燃气轮机；轴系振动；振动监测；故障预警；运维优化

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.099

引言

新型能源体系下，燃气轮机充当高效清洁发电的核心装备，轴系振动稳定性直接决定机组运行效能与安全水平；长期高负荷运行中，轴系结构动态衰减、数据采集标准化缺失、故障判定体系不完善等问题日益凸显，制约监测预警效能发挥。立足智能化运维发展理念，聚焦轴系振动监测全流程关键短板，构建系统性优化路径以破解传统模式技术瓶颈，为燃气轮机轴系振动监测预警技术迭代与工程应用提供参考，推动设备运维向精准化、智能化方向升级。

1 燃气轮机轴系振动监测发展概况与实际作用

燃气轮机轴系振动监测历经人工巡检、单点参数记录、多源数据融合三个阶段，已从传统被动运维向智能化预测预警转型。早期依赖人工定期抄录 DCS 振动数值、凭经验判断异常，仅能应对显性故障，无法捕捉振动缓变趋势。随着传感技术与智能算法发展，当前监测体系可在压气机、透平等关键轴承部位布设加速度传感器，实时采集振动位移、速度、加速度及温度、转速、功率等多维度参数，构建轴系全状态感知网络^[1]。其核心作用在于精准捕捉轴系早期劣化特征，提前识别轴承磨损、动平衡偏移等潜在故障，为计划性检修提供数据支撑，规避非计划停机风险、降低运维成本、保障机组长期稳定高效运行，推动燃气轮机运维模式实现从事后抢修到事前预警的根本性变革。如图 1。



图 1 燃气轮机轴系振动监测技术演进路径与体系架构

2 燃气轮机轴系振动监测预警现存不足

2.1 机组自身结构运转匹配度不足

燃气轮机轴系由多段转子及轴承支撑系统组成，长期在高转速、强振动、大温差工况下运行，结构动态匹配性能会逐步衰减。轴承在持续载荷作用下易发生接触面轻微磨损，使轴承间隙偏离设计区间、削弱油膜支撑刚度，进而诱发轴系振动缓慢升高；转子长期承受热力变形与机械交变应力，易产生微量形变与重心偏移，动平衡状态因此劣化，工频振动分量持续上升^[2]。轴系各段转子同轴度、支撑刚度分布一致性下降，会加剧联轴器附加载荷并放大高频振动能量，传统结构设计偏静态强度校核，缺乏对长期运行动态匹配衰减的系统考虑，结构适配缺陷由此成为振动异常的根本诱因之一。

2.2 振动信息采集传递标准不足

燃气轮机轴系振动监测在测点布置、信号采集、传输处理方面缺乏统一行业标准，数据质量与同步性难以保证；振动传感器安装位置、数量及工艺不统一，关键轴承区域测点覆盖不全，易遗漏局部振动异常信息。信号采样频率、量程、滤波参数缺乏规范，原始振动信号易混入电磁干扰与背景噪声，有效特征提取困难。振动数据、温度、压力、转速等运行参数分散存储于独立系统，数据接口格式不统一，标准化传输协议与时间同步机制缺失，多源数据无法实时融合关联，振动变化与工况变化难以对应，无法完整反映轴系真实振动演化规律。

2.3 故障预判判定运行标准不足

燃气轮机轴系振动故障预判体系缺乏科学、量化、可操作的统一运行标准，预警可靠性与实用性偏低；现有判定多依赖单一振动阈值与人工经验，未建立振动幅值、频率、相位与工况参数耦合的综合判定模型，正常工况波动与早期故障劣化趋势难以区分。预警阈值为固定值，未随机组运行阶段、负荷区间、环境条件动态调整，误报或漏报情况时有发生。故障等级

划缺乏明确量化依据,不同故障模式对应的振动特征边界模糊,轴承磨损、动平衡劣化、支撑松动等典型故障无法精准识别,分级预警与针对性检修建议难以提供,故障预判的指导价值因此受限。

3 燃气轮机轴系振动监测预警优化路径

3.1 优化机组结构运转适配方式

燃气轮机轴系长期处于高转速、强载荷与复杂热力场耦合工况,结构动态适配性衰减作为振动异常的核心诱因,需从设计、制造到运维全维度展开适配方式的优化。设计阶段要强化轴系动态匹配设计,充分考虑长期运行下轴承磨损、转子形变、支撑刚度衰减等动态因素,借助高精度同轴度设计与柔性支撑结构来降低运行过程中的结构失配风险。制造环节严格把控轴承巴氏合金材质与加工精度,保证轴承间隙、紧力符合通用设计标准,由此提升油膜稳定性与承载能力。运维阶段建立轴系动态适配性定期复核机制,定期开展转子跳动、轴承间隙、轴系对中精度检测,及时校正因磨损、形变导致的匹配偏差,同步建立运行参数动态监测档案以跟踪轴系关键指标变化规律,提前识别潜在结构失配隐患。通过全周期结构适配优化,可有效抑制轴系振动缓变趋势,从根源上降低结构失配引发的振动故障概率,保障轴系长期稳定运行。

3.2 规范振动信息采集传递流程

燃气轮机轴系振动信息采集传递流程不规范,易导致数据失真、时序错位、多源脱节,制约监测预警有效性,需建立全流程标准化体系。测点布置遵循全覆盖、关键优先原则,在压气机侧、透平侧轴承等核心振动敏感部位统一布设高精度加速度传感器,保证测点数量、位置与安装工艺一致,消除测点差异带来的数据偏差。信号采集统一设定采样频率、量程与滤波参数,采用标准化滑动平均滤波算法,有效滤除电磁干扰与背景噪声,提升原始信号信噪比,保障振动位移、速度、加速度

等特征参数采集精准^[1]。数据传输采用统一接口协议与时间同步机制,打通振动、温度、转速、负荷等多源数据壁垒,实现跨系统实时同步传输与标准化存储,建立统一数据校验机制以识别并剔除异常数据,确保多源数据时序一致、格式统一、质量可靠,为后续融合分析与故障诊断提供高质量数据支撑。

3.3 完善故障预判判定运行模式

燃气轮机轴系振动故障预判缺乏科学量化、动态适配、分级精准的运行模式,易出现误警、漏警及预警指导性不足的问题,需构建多参数耦合的智能化预判体系。建立振动特征与工况参数耦合判定模型,整合振动幅值、频率、相位及温度、转速、负荷等关键参数,摒弃单一阈值判定方式,借助多维度数据关联分析来精准区分正常工况波动与早期故障劣化趋势。设定动态预警阈值,随机组运行阶段、负荷区间、环境条件实时调整基准值,以此提升阈值适配性并减少误报漏报。细化分级判定标准,明确不同等级预警对应的振动劣化速率、特征区间与故障概率范围,精准识别轴承磨损、动平衡劣化、支撑松动等典型故障类型。完善预警联动机制,根据预警等级输出针对性运维建议,指导制定差异化检修策略,实现故障从被动处置向主动预判、精准处置的转变,从而提升故障预判的实用性与指导性。

4 结语

燃气轮机轴系振动监测与故障预警构成保障机组安全高效运行的核心技术,针对轴系结构适配不足、振动信息采集不规范、故障判定标准缺失这些突出问题,从结构优化、流程规范、模式完善三方面提出系统性解决方案。构建多源数据融合机制与智能化预判体系,轴系动态适配能力与预警精准度得以强化。该优化路径能够有效抑制振动劣化趋势、降低故障发生概率,推动燃气轮机运维从被动处置向主动预警转变,为同类设备振动监测技术升级及安全运维提供实践参考。

参考文献:

- [1] 康宇航.基于信息融合的燃气轮机机械故障诊断研究[D].哈尔滨工程大学,2024.
- [2] 许辉,夏亚磊,纪冬梅.微型燃气轮机转轴振动特性分析[J].机械工程师,2023,(05):39-42.
- [3] 陈金云.重型燃气轮机拉杆转子故障智能诊断[D].中南大学,2022.