

# 燃气轮机轴承振动异常分析及处理

亓 贺, 万 瑞, 马 力

(聊城市产品质量监督检验所, 山东 聊城 252000)

**摘 要** 燃气轮机作为现代工业中不可或缺的动力设备, 其可靠性和运行效率直接关系到能源供应、电力生产等关键领域的安全稳定运行。本文以 M701F4 燃气轮机为研究对象, 分析了燃气轮机轴承振动异常的原因, 并提出了相应的预防措施。通过对轴承振动测量数据的分析, 结合 TSI 系统诊断结果, 确定了轴承振动异常的根源, 并针对性地提出了解决方案。研究表明, 及时监测轴承振动, 并采取有效的预防措施, 可以有效地提高燃气轮机的可靠性和运行效率。

**关键词** 燃气轮机; 轴承; 振动异常; TSI 系统

**中图分类号**: TK47

**文献标志码**: A

**文章编号**: 2097-3365(2024)09-0031-03

M701F4 燃气轮机作为一款高性能燃气轮机, 其结构复杂, 运行参数众多, 燃气轮机由进口可调导叶、17 级轴流压气机、20 只轴流压气机组成的燃烧器以及 4 级反动式透平段构成, 其压比高达 17, 排气温度达到 586 °C, 具有强大的动力输出能力。然而, 高性能也意味着更高的运行风险, 燃气轮机轴承作为关键部件, 其健康状态直接影响着整个设备的运行稳定性, 轴承振动异常会导致设备故障, 甚至造成停机事故, 需要做好燃气轮机轴承振动监测和分析工作。为了保障 M701F4 燃气轮机的安全稳定运行, 该机组配备了 Bently Nevada 公司提供的 3500 保护系统, 作为 TSI (Turbine Supervisory Instrumentation) 监测仪表, 该系统能够对机组转速、轴系振动和触发机组零转速等关键参数进行实时监测, TSI 监测工具能够对燃气轮机运行参数进行实时监测, 并在发生故障时发出停机信号, 立即切断燃气轮机, 有效地防止事故发生, 保障设备安全。本文将 M701F4 燃气轮机为研究对象, 深入分析轴承振动异常的原因, 并结合 TSI 系统监测数据, 提出有效的预防措施, 为提高燃气轮机可靠性和运行效率提供参考。

## 1 轴振动测量的作用

轴振动测量作为一种重要的非侵入式检测技术, 可用在旋转机械的运行状态监测和故障诊断, 通过对轴承振动信号的采集和分析, 可以及时发现旋转机械的异常情况, 为设备维护提供依据, 避免重大故障的发生。振动值是反映旋转机械运行状态的重要参数。在正常运行情况下, 旋转机械的振动值保持在一个相对稳定的范围内, 一旦振动值超过标准规定值, 就表明存在运行故障, 例如轴承磨损、不平衡、错位等。

轴振动测量可以采集到不同类型的振动数据, 例如径向振动、轴向振动, 径向振动是指轴承在垂直于轴线方向上的振动, 通常由轴承间隙、轴承磨损、转子不平衡等因素引起; 轴向振动是指轴承在沿轴线方向上的振动, 通常由轴承过热、轴承座面不平整等因素引起, 通过分析不同类型的振动数据, 可以更准确地判断旋转机械的故障类型和严重程度<sup>[1]</sup>。

M701F4 燃气轮机只提供轴承振动检测数值, 不提供轴承座振动检测数据, 对燃气轮机运行情况的分析需要更加依赖轴承振动数据。TSI 系统可以实时采集燃气轮机各个部件的运行参数, 包括轴承振动、温度、压力等, 通过对这些数据的分析, 可以更全面地了解燃气轮机的运行状态, 及时发现潜在的故障隐患。转子通过滚珠轴承等支撑在轴承座上。当轴承间隙在 0.01 ~ 0.02 mm 范围内时, 会使转子轴振动与轴承座振动存在差异, 通过分析轴承振动数据, 可以对汽轮机转子偏移情况进行评价。轴振动测量是评价燃气轮机轴承健康状态的重要手段, 通过对轴承振动信号的分析, 可以及时发现轴承磨损、疲劳、过热等异常情况, 为设备维护提供依据, 避免重大故障的发生。M701F4 燃气轮机虽然只提供轴承振动检测数值, 但结合 TSI 系统提供的其他运行参数, 仍然可以对燃气轮机运行状态进行有效的分析和诊断<sup>[2]</sup>。

## 2 TSI 系统

### 2.1 TSI 系统构成

TSI (Turbine Supervisory Instrumentation) 系统是燃气轮机的重要组成部分, 用于实时监测和分析燃气

轮机的运行参数,为设备安全运行提供保障。M701F4燃气轮机配备了Bently Nevada公司提供的3500保护系统,作为TSI系统,能够对机组转速、轴系振动和触发机组零转速等关键参数进行实时监测。TSI系统由电涡流传感器、电缆、前置器、输入/输出卡件和框架等构成。其中,电涡流传感器是TSI系统的核心部件,它将机械振动值、位移值、转速值等转换为电信号。电涡流传感器的工作原理是:传感器前端提供高频交变电流,当转子间隙改变时,振荡频率也会相应改变,从而得到物体振动值。电涡流传感器无需接触即可测量位移值,其频率区间为 $0\sim 10\text{ Hz}$ ,能够准确可靠地获取轴承振动数据。电缆将传感器采集到的信号传输到前置器,前置器对信号进行放大和滤波,然后将信号传输到输入/输出卡件,最后将数据传输到TSI系统的控制中心。TSI系统控制中心对数据进行实时分析和处理,并根据预设的阈值,在发生故障时及时发出警报,提醒操作人员采取措施,保障燃气轮机的安全运行<sup>[3]</sup>。

## 2.2 轴振测量原理

为了对M701F4燃气轮机轴振进行监测,将涡流传感器安装在轴承壳上,可以得到转子轴对轴承壳径向振幅。在垂直、水平方向各安装 $45^\circ$ 探头,要确保探头保持垂直,具体见图1所示。在汽轮机转子运行时,传感器端部与转轴间隙会发生改变,传感器输出的信号也会发生相应的变化。根据信号改变情况求出间隙变化值,也就得到了振动值。电缆将传感器采集到的信号传输到前置器,前置器对信号进行放大和滤波,然后将信号传输到输入/输出卡件,最后将数据传输到TSI系统的控制中心。TSI系统控制中心对数据进行实时分析和处理,并根据预设的阈值,在发生故障时及时发出警报,提醒操作人员采取措施,保障燃气轮机的安全运行<sup>[4]</sup>。

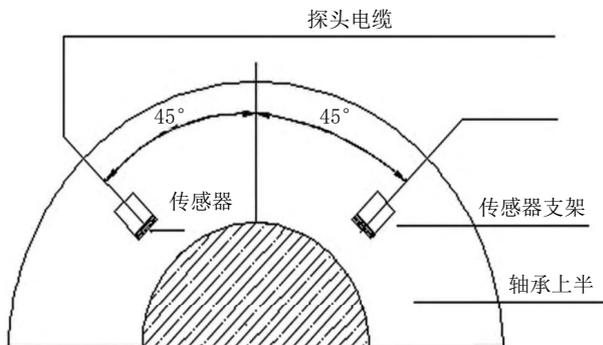


图1 轴振测量安装图

## 3 燃气轮机轴承配置

M701F4燃气轮机采用滚动轴承,并配置多个轴承以确保转子稳定运行,不同的轴承承担着不同的负载,并对应不同的振动特性,因此需要重点关注每个轴承的振动状态,及时发现异常情况。M701F4燃气轮机自身安装有两个径向支持轴承,用于支承转子运转。这两个轴承分别设置于进气端和排气端。进气端轴承位于燃气轮机本体仓内,而排气端轴承则暴露在高温环境中,燃气轮机正常运行时排气温度可达到 $586\text{ }^\circ\text{C}$ 。为了避免传感器探头因高温受损,在防护套管内采用压缩空气进行冷却,保障传感器正常工作。发电机组轴系由五个轴承提供支承,它们共同承担着转子运行的负载,确保发电机组的稳定运转,为了确保发电机组的安全运行,设置了轴承振动报警和跳机保护机制,当轴承单点振幅超过 $125\text{ }\mu\text{m}$ 时,系统会发出报警信号,提醒操作人员注意。如果相同轴承的 $x$ 、 $y$ 振动值超过 $200\text{ }\mu\text{m}$ ,则会触发跳机保护机制,立即切断发电机组的运行,避免更大的事故发生。通过对燃气轮机轴承的振动情况进行实时监测,并结合报警和跳机保护机制,能够有效地保障燃气轮机和发电机组的安全运行,避免因轴承故障导致的停机事故,提高设备的可靠性和运行效率。

## 4 振动异常原因分析

燃气轮机轴承振动异常的原因多种多样,需要根据具体情况进行分析判断。以下结合M701F4燃气轮机运行数据,分析可能出现的振动异常原因。在机组启动过程中,随着负载的提升,轴承温度平稳增长,这表明轴承润滑良好,温度变化处于正常范围内。然而,在转速 $1\ 400\sim 1\ 800\text{ r/min}$ 时,轴承振动存在一定程度的波动,波动值高达 $73\text{ }\mu\text{m}$ ,最低值为 $17\text{ }\mu\text{m}$ 。值得注意的是,转速在 $1\ 638\text{ r/min}$ 、 $1\ 733\text{ r/min}$ 时都不存在明显峰值。同时,在该转速范围内,轴承金属温度正常。结合以上信息可知,振动波动与转速密切相关,可能与临界转速有关, $1\ 400\sim 1\ 800\text{ r/min}$ 范围内存在临界转速,导致振动出现波动,但未超过报警值,轴承温度正常,排除了轴承过热或润滑不良导致的振动异常。

历史数据显示,轴振测点存在偶发性振动突增和波动,最高值为 $143\text{ }\mu\text{m}$ ,在某日停机时,在转速为 $189\text{ r/min}$ 时,轴振存在着峰值,达到 $64\text{ }\mu\text{m}$ 。结合以上信息,可以推测振动突增和波动可能与外部干扰或故障有关,偶发性振动突增可能与外部振动源、电

磁干扰或传感器故障有关, 低速时的峰值振动可能与转子不平衡、轴承磨损或安装偏差有关<sup>[5]</sup>。

## 5 检查结果

为了查明 M701F4 燃气轮机轴承振动异常的原因, 机组在调停检修期间, 对燃气轮机进行了冷却, 待达到检查温度规定时, 对轴承振动探头、前置器和电缆进行了全面检查。

检查发现, 电缆屏蔽层接地情况良好, 电压值在正常范围内。这排除了电缆接地不良导致的信号异常问题。为了进一步排查, 对振动测点进行了调换检查, 结果也没有出现异常, 说明测点本身不存在故障。在对振动测量电缆进行更仔细的检查时, 发现测量探头线缆没有对接头部位进行处理, 没有达到绝缘防护的要求, 在压缩空气进行冷却时, 接头部位没有得到有效的保护, 容易受到高压气流的扰动。进一步分析发现, 由于接头部位没有绝缘处理, 在压缩空气冷却时, 高压气流会扰动接头部位, 使其与防护套管接触, 从而产生接地故障。正是由于这个接地故障, 导致采集到的振动数据异常, 出现了波动和突增现象。

## 6 振动异常预防措施

为了预防 M701F4 燃气轮机轴承振动异常, 保障设备安全稳定运行, 需要从多个方面采取预防措施, 包括日常维护保养、定期检查、合理操作以及预防性维修等。

### 6.1 日常维护保养

定期更换轴承润滑油, 确保油液清洁度和润滑性能, 防止油液污染导致的轴承磨损和振动, 做好轴承油路清洗工作, 清除油路中的杂质和沉淀物, 保证油液畅通, 防止油路堵塞导致的润滑不良和轴承过热。定期检查轴承润滑油的温度和压力, 确保油液温度和压力处于正常范围内, 防止油液温度过高或压力不足导致的轴承损坏, 定期清洁轴承座, 清除轴承座上的灰尘、杂质和油污, 防止异物进入轴承, 导致轴承磨损和振动。

### 6.2 定期检查

定期检查轴承间隙, 确保间隙处于合理范围内, 防止间隙过大导致的振动增加和轴承磨损, 检查轴承的滚珠、滚道和保持架, 及时发现磨损情况, 避免磨损加剧导致的振动异常和轴承失效。定期检查轴承的安装情况, 确保轴承安装牢固, 预紧力合适, 防止安装不当导致的振动异常和轴承损坏, 检查振动测量电缆和传感器的连接状态, 确保连接牢固, 接触良好, 避免接触不良导致的信号异常, 检查压缩空气冷却系

统的运行状态, 确保冷却效果良好, 防止冷却效果不足导致的传感器损坏。

### 6.3 合理操作

避免燃气轮机过载运行, 防止轴承承受过大的负荷, 导致轴承磨损和振动加剧, 防止燃气轮机超速运行, 防止轴承承受过大的离心力, 导致轴承损坏和振动异常。控制启动和停止过程, 避免过快加速或减速, 防止转速变化剧烈导致的振动波动, 避免频繁启停燃气轮机, 防止频繁启停导致的轴承磨损加剧和振动增加。

### 6.4 预防性维修

即使轴承没有出现明显的磨损, 也需要定期更换轴承, 防止轴承老化导致的振动异常和轴承失效, 对轴承进行预防性维护, 例如清洗、润滑、检查等, 延长轴承的使用寿命, 避免轴承故障的发生。及时更换损坏的轴承、电缆、传感器等部件, 避免故障部件导致的振动异常和设备故障。

## 7 结束语

本文以 M701F4 燃气轮机为例, 深入分析了轴承振动异常的原因, 并结合 TSI 系统监测数据, 提出了有效的预防措施。文章介绍了轴振动测量的作用, 以及 TSI 系统的工作原理和重要性, 分析了 M701F4 燃气轮机的轴承配置, 以及可能导致振动异常的常见原因, 包括转速波动、外部干扰、轴承磨损和安装偏差等。通过对实际案例的分析, 文章阐明了轴承振动异常的危害性, 并指出及时发现和处理异常是保障设备安全运行的关键。为了预防轴承振动异常, 可采取多项预防措施, 包括定期更换油液、清洗油路、检查轴承间隙和磨损情况, 以及进行预防性维修等, 还需要做好日常维护保养、定期检查和合理操作的重要性, 并建议根据实际运行情况不断完善预防措施, 确保燃气轮机安全稳定运行。

## 参考文献:

- [1] 吴善跃, 王嘉志, 郭宁馨, 等. 对某船用燃气轮机异常振动故障的分析与研究 [J]. 燃气轮机技术, 2024, 37(01): 42-47.
- [2] 陈延柏. M701F4 燃气轮机轴承振动异常分析及处理 [J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(02): 121-124.
- [3] 陈明华, 李政. 燃气轮机发电机组轴承高振动故障机理分析 [J]. 设备管理与维修, 2023(23): 135-136.
- [4] 胡君友, 周辉, 赵卫正, 等. 9E 燃气轮机冷态启动静碰磨故障处理 [J]. 能源工程, 2023, 43(03): 28-31.
- [5] 于洋, 张智博, 赵文华, 等. 某型燃气轮机圆柱滚子轴承失效原因分析 [J]. 燃气轮机技术, 2023, 36(02): 50-56.