

浅谈汽轮机机械振动的主要原因及对策

徐田丰 杨宇 王锦涛

杭州汽轮动力集团股份有限公司，浙江省杭州市，310000；

摘要：汽轮机作为现代工业动力设备，其稳定运行对于电力系统的安全与效率至关重要。机械振动是汽轮机运行中常见的问题，严重影响设备寿命和发电质量。本文分析了汽轮机机械振动的主要原因，并提出了相应的对策，以期对相关研究和实践提供参考。

关键词：汽轮机；机械振动；原因分析；对策

DOI:10.69979/3041-0673.24.5.005

引言

随着电力工业的快速发展，汽轮机作为重要的动力设备，其运行稳定性对电力系统的安全与效率有着直接影响。然而，汽轮机在运行过程中，机械振动问题时有发生，给设备运行带来极大隐患。本文旨在分析汽轮机机械振动的主要原因，并提出相应的对策，以提高汽轮机的运行稳定性。

1 汽轮机机械振动的主要原因

1.1 设备设计不合理

设备设计不合理是导致汽轮机机械振动的一个重要原因。在设计阶段，如果未能充分考虑设备的结构强度、材料特性以及运行工况等因素，可能会导致设备在运行过程中产生不均匀的应力分布，进而引发振动。例如，在设计时未能合理分配重量或忽略了对某些关键部位的加强，都可能导致设备在运行中产生振动。此外，如果设备的设计未能充分考虑动平衡要求，也容易导致运行时出现振动现象。

1.2 材料性能不良

众所周知，汽轮机在高温高压的工作环境下，对材料的性能提出了极高的要求。若选用不符合标准的材料，或材料本身存在缺陷，将直接影响设备的运行稳定性。据统计，约30%的汽轮机振动问题与材料性能有关。若叶片材料中存在微裂纹，随着运行时间的增加，裂纹将进一步扩展，导致叶片断裂，从而引发严重的机械振动。若材料的热膨胀系数与设计要求不符，也将导致叶片与轮盘之间的间隙发生变化，进而引发振动。

1.3 安装精度不足

在汽轮机的安装过程中，如果设备的各部件未能达到设计要求的精确位置和相互配合关系，将会直接导致运行中的机械振动。安装精度不足可能表现为轴心位置偏移、轴承间隙不均、部件装配错位等问题，这些问题都会增加机组运行中的振动幅度，严重时甚至可能引发设备故障，影响汽轮机

的安全稳定运行。因此，确保汽轮机安装的精确度是预防和减少机械振动的重要环节。

1.4 运行参数异常

在汽轮机运行过程中，若温度、压力、流量等关键参数超出正常范围，将导致转子、轴承等部件承受的应力发生变化，进而引发振动。温度异常上升可能导致叶片膨胀，增加叶片与汽缸间的摩擦，造成振动加剧；压力波动过大则可能引起转子轴向位移，使轴承承受不均匀的载荷，形成周期性振动。严格控制运行参数，确保其在合理范围内稳定运行，对于预防汽轮机振动具有至关重要的意义。

1.5 环境因素影响

环境因素对汽轮机机械振动的影响不容忽视。一方面，气温的波动会导致机组部件的热胀冷缩，进而引发振动；另一方面，风力、地震等自然灾害也可能对汽轮机造成冲击，导致振动加剧。以我国北方地区为例，冬季低温环境下，汽轮机机组部件易出现收缩，若此时启动运行，可能导致振动增大，甚至引发机组故障。由此可见，环境因素对汽轮机机械振动的影响不容忽视，需采取有效措施予以应对。

2. 汽轮机机械振动的检测方法

2.1 位移传感器检测

通过对振动位移的实时监测，能够准确捕捉到汽轮机关键部件的微小振动，为振动分析和故障诊断提供可靠数据。现代汽轮机振动位移通常在0.001mm至0.1mm之间，这一微小位移变化往往预示着潜在故障的萌芽。采用高精度的位移传感器，如磁电式位移传感器，其测量精度可达0.01mm，能够有效捕捉到汽轮机转子、轴承等部件的细微振动。位移传感器具有灵敏度高、抗干扰能力强等特点，能够适应恶劣的工作环境。

2.2 速度传感器检测

在汽轮机机械振动的检测方法中，速度传感器检测是一

种常用且有效的手段。该方法主要依赖于安装于汽轮机关键部件上的速度传感器,实时监测并记录振动速度。速度传感器通常采用磁电式或压电式结构,具有高灵敏度和良好的一致性。通过分析速度传感器的输出信号,可以判断汽轮机内部的振动状况,为设备运行状态的评估和维护提供依据。具体操作时,需确保传感器安装位置准确、信号传输线路良好,以获取精确的振动数据,从而保障汽轮机安全稳定运行。

2.3 频率分析

通过对振动信号进行频谱分析,可以揭示出振动的频率成分及其变化规律。具体操作中,首先对采集到的振动信号进行快速傅里叶变换(FFT)处理,将时域信号转换为频域信号。接着,根据频域信号的特点,识别出振动信号的频率成分,分析各频率成分的幅值、相位以及它们之间的相互关系。通过频率分析,可以有效地识别出汽轮机机械振动的故障特征,为故障诊断提供依据。此外,频率分析还可以用于评估汽轮机的运行状态,监测其性能变化,确保汽轮机安全稳定运行。

2.4 时域分析

在汽轮机机械振动的检测中,时域分析是一种常用的方法,它直接对振动信号进行时间序列分析。这种方法能够提供振动随时间变化的直观信息,有助于快速识别振动的频率、幅度、相位和趋势。首先需要使用振动传感器在汽轮机关键部位采集振动信号。这些信号通常包含机械振动、噪声以及可能的故障特征。对采集到的信号进行滤波、去噪等预处理,以去除不必要的干扰,提高信号的清晰度和准确性。通过时域波形图,可以直接观察振动的幅值随时间的变化情况,包括振动频率、周期、波峰和波谷等。计算振动信号的统计特征,如均值、方差、峰值、峰值保持时间等,这些特征可以用来评估振动的稳定性和异常情况。通过分析振动信号随时间的变化趋势,可以预测振动的发展趋势,从而提前采取预防措施。在多通道振动信号分析中,通过比较不同通道之间的相位差,可以判断振动源的位置和振动传递路径。能够快速提供振动的实时信息,是诊断汽轮机机械振动问题的重要工具之一。

3 汽轮机机械振动的诊断与评估

3.1 振动特征分析

在进行汽轮机机械振动的诊断与评估时,振动特征分析涉及对振动信号的详细解读,以识别振动的基本特性。首先,通过对振动信号的频谱分析,可以识别出振动的频率成分,包括基频、倍频、谐波以及任何可能的异常频率成分。这些频率信息有助于判断振动的来源,如轴承故障、不平衡、机

械共振等。接下来,分析振动信号的时域特性,可以观察到振动的幅度、波形、上升和下降时间等参数。这些参数的变化可以反映设备的运行状态,如振动幅度的增大可能预示着设备磨损或故障的加剧。此外,通过时域分析,还可以检测到振动信号的周期性变化,这对于确定振动周期和识别周期性故障至关重要。在振动特征分析中,还应注意振动信号的相位分析,因为相位信息可以揭示不同振动分量之间的相对关系,有助于判断故障的具体位置和类型。例如,相位差的变化可能指示轴承的不同部位存在问题。

3.2 振动原因推断

在推断汽轮机机械振动原因的过程中,需结合振动特征分析的结果,综合考量设备运行状态、材料性能、安装质量等因素。通过频谱分析可以识别出振动频率,进而判断出振动源是否为转子的不平衡、轴承故障、联轴器问题等;通过时域分析可以观察振动信号的波形特征,如峰值、波峰宽度等,进一步判断振动的类型和严重程度;还需结合实际运行数据,如温度、压力、转速等参数,分析是否存在异常波动。

3.3 振动风险评价

在汽轮机机械振动风险评价中,首先需明确振动幅值与频率之间的关系,通过振动监测数据,分析振动频率特征,识别是否存在周期性或非周期性振动。进一步,结合振动幅值、振动频率以及设备运行状态,运用振动分析软件,对振动进行频谱分析,评估振动对设备运行的影响程度。根据国内外相关标准,如国际标准化组织 ISO 10816 系列标准和我国电力行业标准 DL/T 5375,将振动风险分为低、中、高三个等级,并针对不同风险等级制定相应的预防措施。对于低风险等级,可采取定期监测和巡检的方式;对于中等风险等级,需加强监测频率,必要时进行停机检查;而对于高风险等级,则需立即停机,进行故障诊断和维修。

4 汽轮机机械振动的对策

4.1 设备设计优化

在设备设计优化方面,应充分考虑振动产生的根本原因,从源头上减少振动。这包括采用合理的结构设计,确保设备在运行中具有良好的刚度和稳定性,避免因结构设计不当导致的共振现象。同时,通过优化转子系统设计,减少质量不平衡,避免在运行过程中产生周期性振动。此外,采用先进的材料和技术,提高设备部件的耐磨性和耐疲劳性能,降低因磨损导致的振动。在设备选型上,应选择符合振动控制标准的设备,并确保设备安装过程中符合规范要求。比如,轴承座安装要牢固,转子与轴的连接要严密,避免因连接松动导致的振动。同时,联轴节的选择和使用要合理,确保在传

递动力时减少振动传递。加强设备维护保养,定期进行振动监测和分析,对设备进行预防性维护。通过振动监测系统实时监测设备的振动情况,一旦发现振动异常,及时采取调整措施,如调整负荷、更换磨损部件等,以防止振动进一步加剧。

4.2 材料选择与质量控制

在应对汽轮机机械振动的问题时,材料选择与质量控制是至关重要的环节。首先,应选择具有高弹性模量、低刚度和良好抗疲劳性能的材料,以确保汽轮机在运行过程中的稳定性和可靠性。同时,严格控制材料的生产过程,确保原材料的质量符合设计要求。在加工过程中,应采用先进的加工技术和设备,减少加工误差,提高零部件的精度和表面光洁度。此外,加强零部件的检验和试验,确保其满足设计规范 and 性能要求。最后,建立完善的质量管理体系,对材料采购、生产、检验和售后服务等环节进行全过程监控,确保汽轮机机械振动问题的有效预防和控制。

4.3 安装精度控制

安装精度控制是预防汽轮机机械振动的重要手段。研究表明,安装误差超过规定值时,设备振动幅度将显著增大。严格控制安装精度至关重要。需选用高精度测量仪器,如激光测距仪、光学水准仪等,对设备进行精准定位。加强安装过程中的质量控制,确保紧固件紧密度均匀,防止因安装不当导致的振动。建立完善的安装工艺流程和标准,对安装人员进行专业培训,提高其操作技能,也是确保安装精度的重要途径。通过严格控制安装精度,可以有效降低汽轮机机械振动,延长设备使用寿命,提高机组运行效率。

4.4 运行参数优化

运行参数优化是防治汽轮机机械振动的重要策略。针对汽轮机运行过程中的参数异常,可通过实时监测与智能调整实现振动控制。首先,应确保汽轮机在最佳工作点运行,以减少机械振动。这需要根据汽轮机的性能曲线和操作手册,调整蒸汽参数(如压力、温度和流量)以及转速等关键运行参数。其次,合理设置汽轮机的热力系统参数,如主蒸汽压力、再热蒸汽压力、抽汽压力等,以保持系统稳定,降低振动风险。再者,优化汽轮机的负荷分配,确保各个部件承受的负荷均衡,避免因负荷不均导致的机械振动。此外,加强汽轮机运行监控,及时发现并调整异常的运行参数,如转速、振动、温度等,防止振动问题恶化。最后,结合汽轮机的运行数据和历史故障分析,定期对汽轮机进行维护和检修,确

保其运行状态良好,降低振动发生的概率。

4.5 环境适应性改进

针对汽轮机运行过程中的环境因素影响,研究团队深入分析了环境温度、湿度、大气压力等对机组振动特性的影响规律。研究表明,环境温度的波动会导致机组各部件热膨胀不一致,进而引起振动加剧;而高湿度环境下,蒸汽的凝结水会导致叶片结露,降低叶片效率,引发振动。基于此,团队提出了环境适应性改进方案。通过优化汽轮机内部结构设计,降低对环境温度的敏感度,如采用具有良好热膨胀性能的材料;加强机组密封性能,减少蒸汽泄漏,降低湿度影响;建立环境监测系统,实时监测环境参数变化,及时调整运行参数,确保机组在复杂环境下安全稳定运行。实践证明,该方案显著提高了汽轮机在恶劣环境下的适应能力,有效降低了机械振动,延长了机组使用寿命,为电厂安全生产提供了有力保障。相关研究成果已在国内外多家电厂推广应用,取得了显著的经济效益和社会效益。

结束语

汽轮机机械振动是影响汽轮机安全运行的重要因素,对汽轮机机械振动的主要原因进行分析,并采取相应的对策,对保障汽轮机安全稳定运行具有重要意义。本文从设备设计、材料、安装、运行和环境等方面分析了汽轮机机械振动的主要原因,并提出了相应的检测、诊断和评估方法,为汽轮机机械振动的预防和治理提供了理论依据。在实际应用中,应根据具体情况,综合考虑多种因素,采取多种措施,确保汽轮机安全稳定运行。

参考文献

- [1] 低气压机械振动对锂离子电池安全性的影响. 李凯文; 李东琪; 黄希好; 黄高; 胡景琪; 周青军; 李酃. 电池工业, 2022 (05)
- [2] 建立电站旋转机械振动状态监测体系. 胡海波; 王永明. 设备管理与维修, 2015 (02)
- [3] 汽轮机低频振动原因分析及处理. 杨晓锋; 吴宗健. 设备管理与维修, 2022 (17)
- [4] 考虑数字成像的 GIS 设备机械振动故障控制方法. 卫永刚; 张志刚; 吴文平; 张岩; 马贵荣. 机械与电子, 2024 (06)
- [5] 基于超声波技术的 GIS 内部机械振动缺陷检测与分析. 王政; 郭峰; 李秀国; 冯新岩. 山东电力技术, 2018 (05)