

汽轮机运行中的振动问题防治处理探讨

刘宏伟

(北京上庄燃气热电有限公司, 北京 100094)

【摘要】在燃气热电企业中, 汽轮机组扮演着重要的角色, 在保障整个热力电力系统正常运行方面发挥着重要的动能作用。汽轮机组的结构相对较为复杂, 运行环境条件恶劣, 一旦运行管理不到位, 将会造成不同程度的运行故障。汽轮机在运行过程中振动问题是引发汽轮机运行故障的主要因素, 它能够进一步降低机组的工作效率, 最终影响到企业的正常运行。为了更好地避免汽轮机振动所造成的危害以及提高汽轮机组的工作效率, 就需要从导致汽轮机振动的原因分析, 并加快构建完善的故障诊断系统, 提前采取措施进行有效的防范, 将汽轮机运行振动问题降低到最小程度, 保证汽轮机平稳高效的运行。本次研究探讨了汽轮机运行中的振动问题, 并提出了相应的防治处理措施, 希望对广大同行有所帮助。

【关键词】汽轮机; 振动问题; 防治处理

汽轮机组是燃气热电系统当中的重要动力来源, 运行条件较为苛刻, 同时所处的环境也比较恶劣。汽轮机组在运行过程中需要制定针对性的检修维护方案, 实时掌握汽轮机组的整体运行状态, 并及时发现故障, 及时采取措施进行处理, 将故障的发生率降低到最小程度。汽轮机设备的异常振动会严重影响到设备的正常安全运行, 甚至会因为振动频率过高而导致出现机组停运的现象, 给企业造成较大经济损失。汽轮机振动的问题会受到多方面因素的影响, 在开展机组检修过程中, 如果不能就引发的主要原因进行详细的探讨和分析, 势必会影响到故障诊断的准确性和合理性, 所以就需要对问题产生的原因进行深入细致的探讨, 并制定针对性的解决方案, 有效提高汽轮机的运行效率, 保证电力和热力的稳定、高效生产。

一、燃气热电系统汽轮机组的结构组成和运行特点

燃气热电系统汽轮机是一种将燃气的热能转换为机械能的设备, 广泛应用于发电、热力生产和工业驱动等领域。燃气热电系统汽轮机的结构组成主要包括转子、静止部分、汽封轴瓦。转子是汽轮机的核心部分, 由多个叶轮和叶片组成。叶轮和叶片是实现蒸汽能量转换的关键部件, 叶轮通过高速旋转将蒸汽的热能转化为机械能。静止部分包括隔板、喷嘴、汽缸等。静止部分的主要作用是支撑转子, 并对蒸汽进行导向和分配。汽封是安装在转子和静止部分之间的密封装置, 用于防止蒸汽泄漏, 提高热效率。轴瓦是安装在转子轴颈上的滑动轴承, 用

于支撑转子的重量和减小转子与汽缸之间的摩擦。汽轮机的运行特点主要包括以下几点: 首先, 高效节能。燃气热电系统汽轮机采用先进的通流结构、低压损型阀门和蜗壳式高压进气结构等设计, 使得热效率得到显著提高, 燃料消耗降低。其次, 灵活性高。燃气热电系统汽轮机在变工况情况下具有优良的热力性能和通流效率, 能够快速响应负荷变化, 满足电网调峰需求。再次, 可靠性高。燃气热电系统汽轮机采用了一系列提高可靠性的设计, 如预扭装配式静叶、反动式通流结构等, 确保了机组在长时间运行过程中的稳定性和可靠性。最后, 环保性能好。燃气热电系统汽轮机排放的废气中的有害物质较少, 对环境的影响相对较小。

二、汽轮机运行振动的危害

汽轮机运行振动过大时, 可能导致设备部件的疲劳损伤和磨损加剧, 例如轴承、轴封、叶片等部件的损坏。这不仅影响设备的正常运行, 而且会增加维修成本和停机时间。振动会导致汽轮机的热力学性能下降, 例如压缩比、比热容、传热系数等参数的减小, 从而降低汽轮机的效率, 影响发电厂的经济性。汽轮机运行振动过大, 还会导致系统的运行稳定性受到影响, 例如轴向推力不稳定、负荷波动等, 进而影响发电厂的供电质量和安全性。同时, 振动还会传递到周边设备, 如发电机、冷却塔等, 影响这些设备的正常运行, 甚至导致故障。另外, 汽轮机运行振动过大, 可能引起机组内部部件的松动或脱落, 从而导致油污染、水污染等环境问题。

三、汽轮机运行振动的原因

（一）油膜失稳

汽轮机运行振动的油膜失稳是指在轴承等润滑油膜中，由于某些因素的影响，油膜无法保持稳定的局面。轴承的几何结构对油膜的稳定性有重要影响。例如，轴承的径向和轴向间隙、角接触点的位置、表面粗糙度等因素都可能导致油膜的失稳。润滑油的黏度、温度和压力等性质对油膜稳定性起着关键作用。若黏度过高或温度过高，可能导致油膜过厚或过薄；而压力不足则可能导致油膜断裂。当轴承承受大负载时，如过大的径向载荷、冲击负载或不平衡负载，会破坏轴承油膜的稳定性。过高的转速和特定的振动频率可能干扰油膜的形成和维持，导致失稳。轴承和润滑油膜表面的磨损或腐蚀，例如氧化、污染物、颗粒等，可能引发油膜的不稳定。由于轴承或周围部件的温度分布不均匀，会导致油膜温度梯度产生，从而干扰油膜稳定性。

（二）受热膨胀不均匀

在汽轮机运行过程中，由于各部位的温度传感器安装位置、热传导性能等因素的影响，可能导致汽轮机内部温度分布不均匀。当温度较高时，材料的热膨胀系数会发生变化，从而引起汽轮机的弯曲变形和振动。由于温度分布不均匀，汽轮机各部位的热应力分布也会出现不均匀现象。在高温区域，材料的热膨胀较大，热应力也相对较大；而在低温区域，热应力较小。这种热应力分布的不均匀性会导致汽轮机的弯曲和振动。汽轮机运行过程中，汽缸和转子的热膨胀可能会出现不匹配的情况。由于汽缸和转子的材料、热传导性能等存在差异，当温度变化时，两者之间的热膨胀量可能不同，从而导致汽轮机的弯曲和振动。同时，汽轮机启动过程中，由于暖机时间不够、升速或加负荷太快等原因，可能导致汽缸受热膨胀不均匀。此外，在启动过程中，调节系统可能存在卡涩现象，使汽缸不能自由膨胀，进而导致汽轮机的振动。此外，在汽轮机停机过程中，由于冷却速度不同，各部位的热膨胀量可能不同，导致汽轮机的弯曲和振动。

（三）动静摩擦

汽轮机运行振动的主要因素之一是动静摩擦。动静摩擦是指在汽轮机运行过程中，转子和静止部分之间的相对运动产生的摩擦力。这种摩擦力会导致机组振动，影响汽轮机的运行稳定性和安全性。在汽轮机运行过程中，转子和静止部分之间的间隙会随着温度、压力等工况的变化而发生变化。当间隙减小时，

动静摩擦力会增加，导致振动加剧。由于转子在运行过程中受热不均匀，会导致转子产生热弯曲。热弯曲会使转子和静止部分之间的相对位置发生变化，增加动静摩擦力，从而导致振动加剧。润滑和冷却条件对动静摩擦的影响也非常重要。润滑条件不良或冷却不足会导致转子和静止部分之间的摩擦力增加，进而引起振动。另外，在汽轮机运行过程中，转速波动会导致转子和静止部分之间的相对运动发生变化，从而影响动静摩擦力，使振动加剧。此外，转子质量不平衡是导致汽轮机振动的一个重要原因。不平衡的转子在运行过程中会产生离心力，增加动静摩擦力，导致振动加剧。

（四）气流震荡

汽轮机运行振动的气流震荡是指在汽轮机内部空气流动过程中，由于某些因素的影响，引起气流产生不稳定的振动现象。在高速旋转的汽轮机中，气流速度较高，会导致气流压力分布不均匀。当气流通过各种导叶、转子叶片等构件时，可能发生气动不稳定现象。汽轮机内的导叶和叶片相对柔性较大，容易受到气流的激励作用而发生振动。这可能导致气流与结构之间的相互作用，进一步引发气体振动。如果汽轮机内部存在气动异物（如残渣、颗粒）或污染物（如腐蚀产物、沉积物），它们可能扰乱气流，并导致气流不规则振动。另外，汽轮机运行时产生的噪声会引起气流的涡旋振荡，从而导致气流的不稳定。在汽轮机运行的特定工况下，气流的频率可能与结构的共振频率相匹配，产生共振现象。这将导致振动被放大，加剧气流震荡问题。

四、汽轮机运行中振动问题的防治处理措施

（一）建立基于神经网络的汽轮机振动诊断系统

首先收集汽轮机振动信号的数据集，包括正常运行和故障状态下的振动信号。这些数据可以从历史故障案例、现场监测数据等渠道获取。对收集到的振动信号数据进行预处理，包括去除噪声、去除异常值、数据归一化等操作，以提高神经网络的训练效果。对预处理后的振动信号数据进行特征提取，例如计算均值、方差、峭度等统计特征，或者使用傅里叶变换、小波变换等方法提取频域特征。选择合适的神经网络模型，如BP神经网络、RBF神经网络、LSTM等，对经过特征提取的振动信号数据进行训练。训练过程中需要设置合适的网络参数，如学习率、迭代次数等，以提高网络的预测准确性。将训练好的神经网络模型与汽轮机振动诊断系统其他模块（如数据采集、数据

处理、报警机制等)集成,构建完整的汽轮机振动诊断系统。使用已知故障案例对系统进行验证,评估系统的预测准确性。

(二) 注重做好汽轮机组的安装与检修

1. 明确汽轮机组的安装技术规程与标准

首先,明确安装流程。安装前检查基础是否符合设计要求,如尺寸、平整度、强度等。将汽轮机设备按照设计图纸要求就位,注意设备的重心位置和支撑面的平衡。安装轴承时,要保证轴承与轴承座之间的配合良好,轴承润滑油加注适量。转子安装前要进行动平衡试验,确保转子在高速运行时稳定可靠。汽缸安装时,要保证其内部清洁、无杂物,密封件安装正确。按照设计图纸要求,连接汽轮机的进出口阀门、管道,确保密封性能,然后连接汽轮机的电气、仪表系统,确保接线正确、牢固。规范安装润滑油系统,保证润滑油的供给和循环。最后安装冷却水系统,保证汽轮机运行时冷却水的供给。安装完成后,进行汽轮机的试运行,检查设备运行是否正常、各项参数是否符合设计要求。其次明确操作技术规范。在启动汽轮机前,要检查设备各部件的连接、润滑、冷却等系统是否正常。按照规定的启动顺序,逐步升速,观察设备运行情况,确保安全可靠。在汽轮机运行过程中,要密切关注主汽压、温度、转速等参数,确保其在规定范围内。

2. 建立完善的汽轮机组检修制度

根据汽轮机组的运行特点和振动特性,制定合理的振动标准。这些标准应包括振动幅值、振动速度和振动加速度等参数,以及相应的警戒值和停机值。安装振动监测仪器,实时监测汽轮机组的振动状态。监测数据应包括振动幅值、振动速度、振动加速度等参数,以及振动波形和频谱等。定期对汽轮机组的振动状态进行检查和分析,识别异常振动现象,并分析其原因。这可以通过专业人员定期巡检、数据分析等方式实现。根据振动监测和分析结果,制定相应的振动检修计划。计划应包括检修项目、检修周期、检修人员等。对检修人员进行振动监测、分析和故障诊断等方面的培训,提高他们的专业技能和素质。

(三) 加强汽轮机油膜失稳防护

选用具有良好抗泡性、抗氧化性和抗乳化性的润滑油,以保证油膜的稳定性和润滑性能。同时,要根据汽轮机的运行条件,选择合适的粘度等级的润滑油。对润滑油进行过滤,清除油中的杂质和金属屑,以减少油膜失稳的可能性。同时,要定期检查油位,确保润滑油的充足。轴承的设计应考虑热胀冷缩、轴

向和径向载荷等因素,以减少油膜失稳的风险。此外,可以采用双轴承设计,或者采用液压油膜轴承等,提高轴承的稳定性。合理调整汽轮机的运行参数,如负荷、转速、进口汽温等,以减少油膜失稳的可能性。在启动和停机过程中,要控制好速度变化,避免过快升速或降速导致油膜失稳。对汽轮机的振动、温度等运行参数进行实时监测,及时发现并处理异常情况。当出现油膜失稳的迹象时,可以采取降低负荷、调整转速等措施,以恢复油膜的稳定性。

(四) 气流振荡防治

在设计阶段,充分考虑气流分布的均匀性,优化进、出口管道设计,降低气流阻力,减少气流震荡的可能性。运行过程中,合理调整汽轮机的运行参数,如进、出口压力、温度等,以降低气流震荡的风险。在汽轮机进、出口管道上安装汽流消振器,以降低气流震荡对机组的影响。改善燃烧过程,降低燃烧产生的气流湍流,从而减少气流震荡的可能性。定期检查汽轮机及其附属设备的运行状态,确保设备维护良好,无异常情况。采用先进的运行控制策略,如模糊控制、神经网络控制等,对汽轮机的运行进行实时监控和调整,降低气流震荡的风险。

结语

综上所述,在燃气热电系统日常的运行维护中,汽轮机是最重要的核心动力设备,它是确保电力热力工作正常的决定性因素。作为检修或者维修工作人员,应该对汽轮机组振动问题的原因进行深入细致的探讨和分析,明确各种故障的简单有效的诊断方法,并提前采取措施进行有效防治,保证汽轮机的运行稳定和电力热力的正常生产,切实提高企业的生产效益。

参考文献:

- [1] 李毅,张军.汽轮机振动原因分析及处理[J].广东化工,2012,39(11):174-175.
- [2] 刘湘萍.汽轮机运行中的振动及防止技术研究[J].当代化工研究,2020,0(1):56-57.
- [3] 廖申丁.火力发电厂汽轮机轴承振动大的原因分析及处理措施[J].机电信息,2019,0(35):83-84.
- [4] 刘恩天,赵志发,徐国峰,张俊敏.某公司1000 MW 机组低压缸轴向振动大原因分析及解决措施[J].机电信息,2019(30):64-65.
- [5] 柳磊,马国伟,王新良,王东,刘成.基于轴瓦稳定性分析的合缸汽轮机1号轴瓦振动故障研究[J].东北电力技术,2020,41(10):55-58.