

火电厂汽轮机轴系振动分析与故障诊断

鄢潘伟

国能丰城发电有限公司, 中国·江西 丰城 331100

摘要: 火电厂的汽轮机轴系是影响电厂整体运行效率和安全性的关键部件, 轴系振动问题在长期运行中不可避免。汽轮机在高温、高压条件下运行, 易受负荷波动和机械应力等因素影响, 从而产生振动和故障。论文分析了火电厂汽轮机轴系振动的主要原因, 包括不平衡、对中误差和机械松动等因素, 并探讨了故障诊断的方法和技术。通过振动信号分析、频谱分析及故障特征提取等技术, 能够准确识别轴系故障类型和位置, 为维修提供可靠依据。同时, 针对振动控制和故障修复提出了科学的改善措施, 如动平衡校正、精确对中和机械部件紧固技术等, 为火电厂的安全运行和节能降耗提供支持。

关键词: 火电厂; 汽轮机; 轴系振动; 故障诊断; 振动分析

Vibration Analysis and Fault Diagnosis of Steam Turbine Shaft System in Thermal Power Plant

Panwei Yan

Guoneng Fengcheng Power Generation Co., Ltd., Fengcheng, Jiangxi, 331100, China

Abstract: The turbine shaft system of thermal power plants is a key component that affects the overall operational efficiency and safety of the power plant, and shaft vibration problems are inevitable during long-term operation. Steam turbines operate under high temperature and high pressure conditions and are susceptible to factors such as load fluctuations and mechanical stress, resulting in vibration and malfunctions. The paper analyzes the main causes of vibration in the steam turbine shaft system of thermal power plants, including unbalance, centering error, and mechanical looseness, and explores the methods and techniques for fault diagnosis. Through techniques such as vibration signal analysis, spectrum analysis, and fault feature extraction, it is possible to accurately identify the type and location of shaft faults, providing reliable basis for maintenance. At the same time, scientific improvement measures have been proposed for vibration control and fault repair, such as dynamic balance correction, precise alignment, and mechanical component fastening technology, providing support for the safe operation and energy conservation of thermal power plants.

Keywords: thermal power plant; steam turbine; shaft vibration; fault diagnosis; vibration analysis

0 前言

火电厂汽轮机作为电力生产的核心设备, 其轴系运行状态直接关系到电厂的发电效率、经济性和安全性。汽轮机运行过程中的轴系振动问题, 不仅会影响设备的使用寿命和维护成本, 还会降低整个发电系统的稳定性。随着运行时间的延长, 轴系振动问题日益显现, 且振动原因复杂, 主要由轴心不平衡、对中误差、机械松动、轴承磨损等因素导致。振动问题可能引发汽轮机轴承磨损加剧、润滑不良、密封件失效等, 导致整体效率下降。为了减少振动故障的发生, 火电厂需要采用科学的诊断和监测技术, 实时监控轴系运行状态。论文分析火电厂汽轮机轴系振动的类型和成因, 并提出了振动监测、故障诊断和维护技术。通过深入研究汽轮机轴系振动特性和故障成因, 有助于在早期发现并排查隐患, 实现火电厂设备的长期安全、高效运行。

1 汽轮机轴系振动的类型和成因

火电厂汽轮机轴系的振动问题种类繁多, 常见的包括

轴心不平衡、对中误差和机械松动等。每种类型的振动对设备的影响和振动表现都有所不同, 因此准确识别振动类型对制定有效的维护和修复方案具有重要意义。不同类型的振动不仅影响设备的运行稳定性, 还直接关系到设备的使用寿命和经济效益。

1.1 轴心不平衡的振动

轴心不平衡是引起汽轮机轴系振动的常见原因之一, 通常由于汽轮机叶片的质量分布不均、轴体磨损或制造加工精度不足所致。当汽轮机高速运转时, 不平衡质量会产生离心力, 导致轴系出现显著的周期性振动。此类振动的主要特征是频率接近于转频, 且振幅随转速的增加而明显加大。在振动信号中, 往往可以观察到基频分量的增强, 这种现象对于振动分析人员具有很高的识别价值。轴心不平衡的振动不仅增加了轴承的摩擦和磨损, 还会导致能量消耗增加, 进而缩短设备的使用寿命和提高运维成本。解决轴心不平衡振动的关键在于进行精确的动平衡校正, 即通过在叶片或轴体上添加或去除质量使轴心接近平衡状态, 以降低不平衡振动引

起的损耗。

1.2 对中误差的振动

对中误差指的是在汽轮机的安装和维护过程中，轴系与轴承中心之间的对齐偏差。对中误差在联轴器安装和轴承定位的精度不足时尤为显著，容易引起较大的振动。对中误差振动的特征频率通常为转频的倍频，且振幅较大，对设备的影响较为显著。对中误差不仅会增加轴承的磨损率，还可能引起密封件过早失效、联轴器损坏等问题。通过定期的对中测量和调整可以有效控制对中误差带来的振动。通常，精确的对中调整方法包括激光对中、精密测量工具等，能够帮助运维人员快速识别和修复偏差。此外，对中误差振动往往伴随高温和密封泄漏等现象，因此需定期对轴承组件进行检查和校正，以保障轴系的对齐精度，避免轴承和密封件的过度磨损。

1.3 机械松动的振动

机械松动是指因长期运行或振动导致的轴系部件、螺栓、支撑结构等的固定性下降而引发的振动。机械松动多见于轴承座、支撑架和固定架等部件。由于部件松动，振动信号中容易出现非线性成分，并且在振动频谱中常见多个倍频。松动问题往往表现为振动振幅的不规则增加，且随载荷和运行条件的变化而加剧。机械松动的振动会使设备结构件发生微小位移甚至变形，严重时可能引起材料的疲劳失效。为减少机械松动问题，火电厂在日常检修和维护工作中应加强对关键紧固件的检测，尤其是设备的螺栓、支撑件等部位。定期进行紧固处理或更换关键部件的紧固件，可以有效防止机械松动带来的风险，并确保轴系的稳定性和安全性。

2 汽轮机轴系振动故障诊断技术

故障诊断技术是识别和排除汽轮机轴系振动问题的重要手段，旨在通过振动信号的采集、分析和解读，及时发现并解决潜在故障，保障设备的稳定运行。常用的诊断方法包括振动信号分析、频谱分析、包络分析和智能化诊断系统等。

2.1 振动信号分析技术

振动信号分析是汽轮机故障诊断的基础技术。通过在汽轮机轴承和关键部位安装加速度传感器、位移传感器等设备，可实时采集振动信号。这些数据可以用于识别设备的运行状态，快速发现振动异常并加以分析。振动信号分析的常用方法包括时域分析和频域分析。时域分析基于振动波形和峰值等特征参数，可以揭示振动强度的变化，帮助识别是否存在异常。频域分析则通过快速傅里叶变换（FFT），将振动信号分解为频谱成分，分析其中的主频和倍频分量，从而识别常见的故障类型，如轴心不平衡和对中误差等。通过振动信号分析，可以对振动特性进行深入研究，准确判断故障根源，为设备的诊断和维护提供坚实的数据基础。

2.2 频谱分析与故障特征提取

频谱分析技术是一种基于振动信号频率特征的故障诊

断方法，通过将时域信号转换到频域，观察频谱图中不同频率分量的变化，从而判断设备是否处于正常状态。利用频谱分析，可以准确识别振动信号中的特定频率成分，帮助诊断常见的轴系故障。例如，轴心不平衡通常在转频频率出现较强的能量分布，而对中误差则表现为倍频特征。频谱分析还可以结合特征频率提取技术，进一步细化频谱图中的关键频率成分，提供丰富的数据支持，特别适用于早期故障的检测和定位。此外，频谱分析还可以检测到多种复合故障，为运维人员提供更全面的振动特征信息，便于制定针对性维护方案，从而减少停机时间，提高汽轮机运行的可靠性和稳定性。

2.3 包络分析技术

包络分析是一种敏感度较高的故障检测方法，主要用于检测轴承和齿轮等旋转部件的早期故障。与一般振动分析不同，包络分析专注于振动信号的高频分量，通过提取信号包络来识别微弱的振动特征。包络分析技术通过对信号的幅值变化进行分析，可在故障初期检测到异常信号变化，如微小裂纹、局部磨损或机械松动等现象。包络分析的独特优势在于其对早期故障极为敏感，能够在轴承出现裂纹、磨损、齿轮啮合异常等现象的早期阶段发出预警。因此，包络分析技术在轴承监测和齿轮故障诊断中得到广泛应用。通过精确的信号解读，包络分析能够有效提高故障诊断的灵敏度和准确性，为火电厂汽轮机设备的预防性维护和运行管理提供有力支持。

3 振动监测系统的应用与技术实现

振动监测系统是保障火电厂汽轮机轴系安全运行的重要工具，通过传感器和数据处理技术的应用，可以对汽轮机轴系的振动状态进行实时监测。振动监测系统能够及时识别振动异常，帮助运维人员采取措施以避免故障的进一步发展，为设备的长期稳定运行提供保障。以下从传感器与数据采集系统、数据分析与智能诊断系统以及远程监控与预警技术等方面具体阐述振动监测系统的应用。

3.1 传感器与数据采集系统

传感器和数据采集系统是振动监测系统的核心组成部分，用于获取并传输振动信号。火电厂汽轮机通常安装多种类型的传感器，如加速度传感器、速度传感器和位移传感器，以实现不同振动参数的测量。这些传感器安装在轴承、轴系等关键部位，能够捕捉到最具代表性的振动信息。加速度传感器用于检测高频振动，速度传感器适合中低频振动的测量，而位移传感器则能够测量振动的相对位移。传感器采集到的振动信号通常为模拟信号，通过数据采集系统将这些模拟信号转换为数字信号，并进行数据存储和传输。数据采集系统通过高频采样可以确保对振动信号的实时分析，并将数据发送到监测系统中进行进一步处理。通过高效的数据采集，火电厂能够获得高精度的振动数据，为设备的健康状态评估和故障预警提供实时信息。

3.2 数据分析与智能诊断系统

数据分析和智能诊断系统通过对振动数据的实时处理,分析频谱特征并识别潜在的故障特征,帮助运维人员进行故障排查。基于大数据技术的智能诊断系统可以利用大量的历史振动数据和故障案例,通过机器学习和深度学习技术进行自适应学习,从而不断优化故障诊断模型。这种自适应能力使得智能诊断系统可以在识别故障类型和位置方面更加精确。例如,智能系统可以将当前振动信号与历史数据库中的正常信号和故障信号进行比对,自动识别出设备可能的故障类型及其严重程度。通过对频谱、包络以及趋势分析等多种数据处理方式,智能诊断系统能够高效准确地检测到早期故障。运用智能化数据分析系统,火电厂可以显著提高诊断效率,降低故障发生的频次,提升设备的健康管理水平,延长其使用寿命。

3.3 远程监控与预警技术

远程监控与预警技术是振动监测系统的重要组成部分,通过网络技术将振动数据实时传输至远程监控中心,便于管理人员跨区域监测设备的运行状态。远程监控系统中设有报警和预警功能,运维人员可以根据设定的预警阈值设置自动报警。当设备的振动参数超出设定的安全范围时,系统会立即发出报警信号,提醒相关人员及时采取措施,以避免振动问题对设备造成进一步损害。远程预警系统不仅提升了故障响应速度,也使管理人员能够在任意位置掌握设备状态,从而大幅提高火电厂的运维效率。通过实时的远程监控和预警管理,火电厂能够有效预防突发性故障的发生,减少因设备故障带来的经济损失,确保设备安全、稳定地运行。

4 汽轮机轴系振动控制与维护措施

保持火电厂汽轮机轴系的稳定性和高效性,需依赖系统化的振动控制技术与维护策略,这些措施能减少振动带来的设备损耗,确保设备运行的高效性和安全性。以下是针对汽轮机轴系振动的主要控制方法及其应用。

4.1 动平衡校正技术

动平衡校正是消除轴系不平衡振动的有效方法。轴心不平衡通常产生离心力,引发周期性振动。动平衡校正通过测试轴系的动态平衡情况,确定偏差位置和大小,并通过配重调整达到平衡。火电厂通常在汽轮机运行初期及定期维护检修中进行动平衡校正,确保轴系平衡。校正不仅能减少不平衡振动引起的轴承磨损,延长设备寿命,还能提升运行的平稳性和减少振动引发的能量损耗,从而有效节省运行成本。

4.2 对中精度优化

对中精度优化是减少对中误差振动的关键措施。汽轮机安装或检修中,对中误差会因位置不准、支架不稳或基础

沉降而出现,导致轴系不同心,引发较大振动。使用高精度对中设备如激光对中仪,可以更准确地调整轴系和轴承的位置,确保对中的精确性。火电厂在安装和维护时严格控制对中精度,并通过调节手段及时修正误差,确保轴承均匀受力,降低振动。对中精度的优化不仅降低了设备磨损,提高了稳定性和寿命,还使设备在长期运行中更加安全。

4.3 机械部件紧固与防松

机械松动是高频和非线性振动的常见原因,尤其在汽轮机长时间运转后,螺栓松动风险增加。机械松动会引发异常振动和运转噪声,增加运行隐患。火电厂需定期检查和紧固机械部件,确保轴系结构稳固。防松措施包括使用防松螺母、锁紧垫圈及自锁螺栓技术,这些方法有效提高连接部件的稳固性,减少因机械松动引发的振动。定期检查和紧固工作能够预防振动损坏,延长设备维修周期,降低频繁检修带来的停机时间和维护成本。

5 结语

火电厂汽轮机轴系振动的分析与故障诊断对于设备的安全运行和延长使用寿命至关重要。科学的振动监测、故障诊断和预警技术能够有效识别汽轮机的振动特征及故障类型,为设备维护提供数据支持。针对不同振动原因,火电厂应结合实际情况采取相应的控制措施,如动平衡校正、优化对中精度和机械紧固等,以减少振动故障的发生。未来,随着智能监测技术和大数据分析的广泛应用,汽轮机轴系振动的诊断和控制技术将更加智能化和高效化,进一步提高火电厂设备的运行效率和安全性。

参考文献:

- [1] 滕鲁.火电厂汽轮机常见的振动故障分析及故障诊断技术[J].电力设备管理,2024(15):69-71.
- [2] 武茂松,俞聪,孟凡垚,等.联合循环深度调峰汽轮机低压末级叶片断裂故障分析[J].热能动力工程,2024,39(6):185-190+198.
- [3] 杨振强.汽轮机振动监测与故障预防技术研究[C]//中国电力设备管理协会.全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(一),2024:3.
- [4] 张朋业.基于机器学习的火电厂锅炉风烟系统故障诊断研究[D].禹州:郑州轻工业大学,2024.
- [5] 李建飞.火电厂汽轮机异常振动故障排查技术的研究[J].中国设备工程,2024(7):207-209.
- [6] 王杰.火电厂汽轮机振动故障和诊断技术研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(1):17-19.

作者简介: 鄢潘伟(1995-),男,中国江西丰城人,本科,从事火电厂汽轮机研究。