

火力发电厂旋转辅机振动故障诊断技术研究

郭新刚

山西大唐国际神头发电有限责任公司 山西 朔州 036000

摘要：火力发电厂旋转辅机结构复杂，运行环境严苛，振动故障频发。本文阐述了旋转辅机核心结构，包括转子、轴承等部件及其对运行稳定性的影响。分析了转子质量不平衡、不对中及轴承故障等常见振动故障的产生机理与特征。介绍了振动信号分析、油液分析及红外检测等故障诊断技术原理及应用。针对诊断精准度问题，提出优化振动信号采集、推动诊断技术融合应用及优化故障诊断流程等措施，旨在提升旋转辅机振动故障诊断水平，保障设备安全稳定运行，为火力发电厂的高效运维提供理论支持与实践指导。

关键词：火力发电厂；旋转辅机；振动故障；诊断技术

引言：火力发电厂作为能源供应的关键支柱，其旋转辅机的稳定运行至关重要。旋转辅机涵盖一次风机、送风机、引风机等众多核心设备，结构复杂且运行环境恶劣，高速、重载、连续运行使其易受多种因素影响，振动故障频发。振动故障不仅影响设备性能，降低发电效率，严重时甚至导致设备损坏、停机，威胁发电安全。因此，深入研究旋转辅机振动故障的产生机理、诊断技术及优化措施，对于提升设备可靠性、保障火力发电厂稳定运行具有重大意义。

1 火力发电厂旋转辅机的结构与运行特性

火力发电厂旋转辅机种类繁多，核心设备包括一次风机、引风机、送风机、密封风机、汽轮机辅机等，尽管各类设备的用途和结构存在差异，但均具备旋转机械的共性结构特征，主要由转子、轴承、定子、联轴器、密封件等核心部件组成，其运行特性与结构设计、工作负荷、运行环境密切相关。（1）从结构特性来看，转子是旋转辅机的核心部件，承担着能量传递和介质输送的关键作用，其精度直接影响设备的运行稳定性。转子通常由轴、叶轮、叶片等组成，高速旋转时需承受离心力、轴向力等多种作用力，若转子存在质量不平衡、轴线偏移等问题，易引发振动异常。轴承是支撑转子的关键部件，主要分为滚动轴承和滑动轴承，其作用是减少转子旋转时的摩擦阻力，保证转子的平稳旋转，轴承的润滑状态、磨损程度直接影响设备的振动水平。联轴器用于连接转子与驱动电机，其同轴度精度不足会导致动力传递不均，引发振动。定子作为固定部件，与转子之间存在一定的间隙，间隙过大或过小、定子与转子偏心，均会产生振动干扰。（2）从运行特性来看，旋转辅机多处于高速、重载、连续运行状态，运行负荷波动较大，且工作环境复杂，易受到温度、湿度、介质腐蚀等

因素的影响。设备运行过程中，转子高速旋转产生的离心力、介质流动产生的冲击力、部件摩擦产生的激振力等，均会引发设备振动，正常情况下振动幅值处于允许范围之内；当设备出现部件磨损、结构缺陷、运行异常等问题时，振动幅值会超出允许范围，出现振动故障。此外，旋转辅机的振动具有明显的频率特征，不同类型的故障会产生不同频率的振动信号，这也是振动故障诊断的核心依据^[1]。

2 旋转辅机振动故障的产生机理及常见类型

2.1 转子质量不平衡故障机理

转子质量不平衡是旋转辅机最常见的振动故障，其产生机理是转子的质量分布不均，导致转子旋转时产生离心力不平衡，离心力作为激振力作用于设备，引发周期性振动。（1）转子质量不平衡的成因主要包括转子制造精度不足、叶轮磨损或结垢、转子部件松动或脱落等，这些因素会导致转子的质心与旋转轴心不重合，高速旋转时产生的离心力随转速的平方增大，进而引发设备振动。（2）该类故障的振动特征具有明显的规律性：振动频率与转子旋转频率一致，即工频振动，振动幅值随转速升高而显著增大；振动方向以径向振动为主，轴向振动幅值较小；振动信号呈现正弦波形，谐波含量较少，相位稳定；当转子质量不平衡程度加剧时，振动幅值会显著上升，严重时会导致轴承磨损、轴系变形等二次故障。

2.2 转子不对中故障机理

转子不对中主要发生在由联轴器连接的旋转辅机中，其产生机理是转子与驱动电机的轴线不重合，存在平行不对中、角度不对中或综合不对中三种情况，导致动力传递过程中产生附加弯矩和剪切力，形成周期性激振力，引发设备振动。（1）转子不对中的成因主要包

括联轴器安装精度不足、设备基础沉降、轴承磨损、轴系变形等,这些因素会导致转子轴线偏移,破坏动力传递的平衡性。(2)该类故障的振动特征具有鲜明的辨识度:振动频率主要为工频的2倍,同时伴有工频和3倍频等谐波成分,谐波含量较多;振动方向同时存在径向和轴向振动,轴向振动幅值较为明显,甚至超过径向振动;振动幅值随负荷变化而变化,负荷增大时,振动幅值通常会上升;当不对中程度加剧时,会导致联轴器磨损、轴承温度升高,振动信号的谐波成分更加复杂^[2]。

2.3 轴承故障机理

轴承是旋转辅机振动故障的高发部件,其产生机理与轴承的润滑状态、磨损程度、装配精度密切相关。

(1)轴承运行过程中,滚动体与内外圈之间、保持架与滚动体之间存在一定的摩擦,若润滑不足,会导致摩擦加剧,产生磨损、剥落、裂纹等缺陷;若装配精度不足,会导致轴承受力不均,加速部件损坏;这些缺陷会引发周期性的激振力,进而导致设备振动。(2)该类故障的振动特征与轴承类型和故障程度相关:对于滚动轴承,振动频率主要为轴承的特征频率,包括滚动体通过频率、内外圈故障频率等,随着故障加剧,特征频率的幅值会显著上升,同时伴有高频谐波成分;对于滑动轴承,振动频率多为工频的分数倍或整数倍,振动信号呈现不规则波形,当轴承磨损严重或出现油膜振荡时,振动幅值会急剧增大,甚至出现混沌振动;轴承故障还会伴随轴承温度升高、润滑脂变质等现象,可作为辅助判断依据。

3 旋转辅机振动故障诊断技术原理及应用

3.1 振动信号分析法

振动信号分析法是应用最广泛、最核心的振动故障诊断技术,其原理是通过传感器采集旋转辅机的振动信号(包括位移、速度、加速度信号),对信号进行滤波、降噪、分解等处理,提取信号的时域、频域特征参数,结合故障特征库,识别故障类型。该技术的核心是通过信号处理,将复杂的振动信号转化为可识别的故障特征,实现故障的精准诊断。

振动信号分析法主要分为时域分析法和频域分析法。(1)时域分析法主要通过分析振动信号的时域参数(如峰值、有效值、峭度、波形因子等),判断设备振动的严重程度和故障趋势,适用于故障的初步筛查;例如,峭度值的升高通常表明设备存在冲击性故障(如轴承剥落、齿轮磨损),有效值的增大则表明振动幅值超出允许范围。(2)频域分析法通过傅里叶变换等方法,将时域信号转化为频域信号,分析信号的频率组成和幅

值分布,根据特征频率识别故障类型,适用于故障的精准定位;例如,工频幅值增大对应转子质量不平衡,2倍频幅值增大对应转子不对中,轴承特征频率幅值增大对应轴承故障^[3]。

3.2 油液分析法

油液分析法是一种间接振动故障诊断技术,其原理是旋转辅机的润滑系统中,油液会携带设备运行过程中产生的磨损颗粒、金属碎屑等杂质,这些杂质的数量、尺寸、成分与设备的磨损程度、故障类型密切相关。通过采集润滑系统的油液样本,对油液中的颗粒进行分析,可判断设备的运行状态和故障隐患,间接辅助振动故障诊断。

油液分析法主要包括油液光谱分析法和油液铁谱分析法。(1)油液光谱分析法通过分析油液中金属元素的含量和种类,判断设备部件的磨损部位和磨损程度;例如,油液中铁元素含量升高,可能表明转子、轴承等铁制部件存在磨损;铜元素含量升高,可能表明滑动轴承的轴瓦存在磨损。(2)油液铁谱分析法通过分离油液中的磨损颗粒,观察颗粒的形状、尺寸和数量,判断故障类型;例如,片状颗粒增多表明存在滑动磨损,块状颗粒增多表明存在严重磨损或部件脱落,可结合振动信号分析法,提高故障诊断的精准度。

3.3 红外检测法

红外检测法是一种非接触式振动故障诊断技术,其原理是利用红外检测设备,采集旋转辅机各部件的红外辐射信号,转化为温度分布图像,通过分析温度分布差异和温度变化趋势,判断设备的运行状态和故障隐患。振动故障通常会伴随设备部件温度升高,因此红外检测法可作为振动故障诊断的辅助手段,尤其适用于难以接触部位的故障排查。

该技术的应用要点是通过红外热像图,识别设备部件的温度异常区域;例如,轴承故障会导致轴承温度显著升高,在热像图中呈现明显的高温区域,且温度分布不均匀;转子不对中会导致联轴器、轴承等部位温度升高,同时伴有振动异常;定子与转子偏心会导致定子绕组温度升高,出现局部高温点。红外检测法的优势是非接触、检测范围广、操作便捷,可实现设备的在线监测和故障初步筛查,与振动信号分析法结合,可进一步提升故障诊断的全面性和精准度。

4 旋转辅机振动故障诊断的优化措施

4.1 优化振动信号采集环节

振动信号的质量直接决定故障诊断的精准度,因此需优化信号采集环节,确保采集到的信号真实、有效。

(1) 合理布置传感器,根据旋转辅机的结构特点和故障易发生部位,选择合适的传感器类型(位移传感器、速度传感器、加速度传感器)和安装位置;例如,监测转子振动时,将传感器安装在轴承座径向和轴向,监测轴承振动时,将传感器安装在轴承端盖处,确保能够采集到最能反映设备运行状态的振动信号。(2) 优化采集参数,根据设备的运行转速、振动频率范围,合理设置采样频率、采样时长和采样间隔,避免采样频率过低导致信号失真,或采样频率过高造成数据冗余;同时,采取有效的滤波、降噪措施,减少环境干扰、电磁干扰对振动信号的影响,提高信号的信噪比。此外,定期对传感器进行校准和维护,确保传感器的测量精度,避免因传感器故障导致采集信号不准确,影响故障诊断结果^[4]。

4.2 推动诊断技术融合应用

单一诊断技术存在各自的局限性,例如,振动信号分析法难以诊断早期轻微故障,油液分析法无法精准定位故障位置,红外检测法只能作为辅助诊断手段。因此,需推动各类诊断技术的融合应用,发挥各自的优势,提升故障诊断的精准度和全面性。具体而言,以振动信号分析法为核心,结合油液分析法和红外检测法,

(1) 构建多技术融合的故障诊断体系:通过振动信号分析法,精准识别故障类型和故障位置;(2) 通过油液分析法,判断设备部件的磨损程度,辅助确认故障成因;

(3) 通过红外检测法,排查难以接触部位的故障隐患,监测设备温度变化,及时发现潜在故障。(4) 建立故障特征数据库,整合各类故障的振动特征、油液特征和温度特征,通过数据融合分析,实现故障的精准识别和故障严重程度的评估,提高故障诊断的效率和可靠性。

4.3 优化故障诊断流程

优化故障诊断流程,可提升故障诊断的规范性和效率,确保故障能够及时排查和处理。故障诊断流程应贯穿设备运行的全过程,分为前期监测、故障筛查、精准诊断、故障验证四个环节。(1) 前期监测阶段,通过在线监测设备,实时采集振动信号、油液数据和温度数据,建立设备运行状态档案,跟踪运行状态变化趋势,

及时发现异常信号。(2) 故障筛查阶段,对采集到的各类数据进行初步分析,通过时域分析法、红外检测法,筛查出存在异常的设备和部位,确定故障排查重点。

(2) 精准诊断阶段,针对异常部位,采用频域分析法、油液铁谱分析法等技术,提取故障特征,结合故障特征数据库,精准识别故障类型、故障位置和故障严重程度,分析故障产生的成因。(3) 故障验证阶段,通过停机检查、部件检测等方式,验证诊断结果的准确性,确保故障诊断无误,为故障处理提供可靠依据。同时,建立诊断结果反馈机制,将诊断过程中发现的问题和经验,融入故障特征数据库,持续优化诊断模型,提升故障诊断的水平^[5]。

结束语

综上所述,火力发电厂旋转辅机振动故障诊断是一项复杂且关键的工作。通过深入剖析其结构与运行特性,明确振动故障产生机理与常见类型,为故障诊断奠定基础。振动信号分析、油液分析及红外检测等诊断技术各有优势,融合应用可提升诊断精准度与全面性。同时,优化振动信号采集环节、推动诊断技术融合及优化故障诊断流程等措施,能有效提高故障诊断效率与可靠性。未来,随着技术不断发展,应持续完善故障诊断体系,加强新技术应用,进一步提升旋转辅机运行稳定性,保障火力发电厂安全高效运行,为能源行业可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 吴玥,王志雄,范海水.火电机组一次风机变频改造节能效果算法研究[J].能源科技,2025,23(4):90-92.
- [2] 沈艳,贾欢渝,何艳.火力发电厂锅炉房通风效果的模拟分析[J].山西建筑,2025,51(5):113-116.
- [3] 王凯,徐世江,安波.火力发电厂双引风机出力自平衡控制设计优化[J].自动化应用,2025,66(3):16-18.
- [4] 刘海峰.火力发电厂燃煤锅炉节能优化控制方法[J].中国新技术新产品,2025(6):75-77.
- [5] 马新喜.火力发电厂锅炉风机变频器故障自动诊断技术研究[J].电工技术,2023(11):222-224.