

电厂汽机摩擦振动故障与诊断分析

张建茹

申能吴忠热电有限责任公司 宁夏 吴忠 751100

摘要：电厂汽机作为电力生产的核心设备，其稳定运行对保障电力供应至关重要。本文聚焦电厂汽机摩擦振动故障，剖析了其危害。阐述常见故障类型及成因，如动静部件、转轴与轴承、密封装置和联轴器摩擦振动。探讨振动监测、频谱分析、神经网络诊断等故障诊断技术与方法。最后从优化设计与安装、规范运行操作、强化日常维护检测三方面提出预防措施，旨在为电厂汽机安全稳定运行提供全面指导，减少摩擦振动故障带来的不良影响。

关键词：电厂汽机；摩擦振动故障类型；诊断方法；预防措施

引言：摩擦振动故障频发，严重威胁机组安全与电厂效益。此类故障不仅会造成设备部件损坏，增加维修成本，还会影响机组运行稳定性，甚至引发安全事故，造成巨大经济损失。针对汽机摩擦振动故障的研究虽取得一定进展，但在故障精准诊断与有效预防方面仍有待深入。系统研究电厂汽机摩擦振动故障，探索科学的诊断方法与预防措施，具有重要的现实意义。

1 电厂汽机摩擦振动故障的危害

电厂汽机摩擦振动故障危害，主要体现在以下方面：（1）在设备部件层面。动静部件摩擦会致使叶片磨损、断裂，轴颈出现沟痕，轴承滚珠与滚道剥落，密封面快速损耗，破坏设备结构完整性与功能。如电厂曾因动静部件摩擦，叶片气动外形受损，最终断裂引发二次破坏，严重影响汽机运行。（2）在机组运行稳定性方面。摩擦振动打破轴系平衡，转轴晃动，产生强烈噪声，导致转速与负荷调节困难，功率输出不稳定。振动还会传导至相邻设备，引发共振，威胁整个电厂生产安全，可能造成设备部件松动脱落，酿成严重事故。（3）经济损失层面。设备损坏后的维修更换成本高昂，尤其是进口零部件；机组停机检修带来巨大发电量损失；电力供应中断还可能引发用户索赔，损害电厂声誉。频繁维修缩短设备寿命，增加全生命周期成本，加重企业经济负担^[1]。

2 电厂汽机摩擦振动故障的常见类型及原因

2.1 动静部件摩擦振动

2.1.1 故障现象表现

动静部件摩擦振动发生时，汽机运行会出现显著异常。声音上，尖锐刺耳、无规律的摩擦声打破正常运转声的平稳，可被巡检人员听觉捕捉或声学传感器监测。振动特征方面，幅值骤增，信号呈复杂非线性，波形紊乱无规律；摩擦生热使部位温度快速上升，严重时部件

表面红热，温度传感器能监测到异常变化。机组功率输出波动，因摩擦阻碍运转，降低能量转换效率。

2.1.2 引发原因

此类故障成因复杂。安装环节，间隙调整过小，运行受热膨胀易引发摩擦；部件对中精度不足，运行时不对中也会导致振动。运行过程中，汽机启停时各部件热膨胀速率不同，破坏合理间隙；蒸汽携带杂质冲刷磨损动、静叶，使其表面粗糙；异常工况如负荷突变、参数波动，加剧机组振动，均可能引发动静部件摩擦。

2.2 转轴与轴承摩擦振动

2.2.1 故障特征展示

转轴与轴承摩擦振动故障有独特表现。振动频率与转轴旋转频率相关，常出现1倍频、2倍频等高倍频信号，幅值变化明显，相位也异于正常状态。温度上，轴承部位因摩擦产热难散，温度显著升高，影响润滑性能，加剧摩擦。机组运行发出低沉摩擦声且逐渐增大，转轴转速波动，干扰机组稳定运行。

2.2.2 形成原因

该故障成因多样。润滑不良是主因，油量不足、品质下降或系统堵塞，致使轴承与转轴间无法形成良好润滑膜，直接接触产生摩擦。轴承自身损坏，如滚珠磨损、滚道划伤、保持架损坏等，破坏结构性能引发振动；轴系平行或角度不对中，使转轴受力不均，加剧摩擦。运行中的异常冲击、过载，也会损伤轴承和转轴，增加振动风险。

2.3 其他部件摩擦振动

2.3.1 密封装置摩擦振动

密封装置摩擦振动表现为密封部位异常振动与泄漏。摩擦产生的振动经支撑结构传递，影响机组稳定性，同时密封失效导致介质泄漏，造成能源浪费与安全隐患。其原因包括密封件材质差，在高温高压下易变形

磨损；安装位置不准，配合间隙不合理；运行中受介质冲刷腐蚀，性能下降引发振动。

2.3.2 联轴器摩擦振动

联轴器摩擦振动时，机组振动强烈，频率与转速相关，两侧轴系振动幅值和相位异常。故障原因主要有对中不良，传递扭矩产生附加力引发摩擦；连接螺栓松动破坏平衡；弹性元件损坏，无法缓冲补偿轴系不对中，加剧部件摩擦导致振动^[2]。

3 电厂汽机摩擦振动故障诊断技术与方法

3.1 振动监测技术

3.1.1 传感器类型与应用

振动监测技术的核心在于传感器的合理应用，不同类型的传感器适用于汽机不同部位的振动监测。加速度传感器是应用广泛的一类，它能够快速响应高频振动信号，常用于监测汽机轴承座、缸体等部位的振动情况。其工作原理基于压电效应，当传感器受到振动加速度作用时，内部的压电晶体产生电荷，通过电荷放大器将微弱电荷信号转换为电压信号，从而实现对振动加速度的测量。位移传感器则更适用于监测转轴的径向和轴向位移，以判断转轴与轴承、密封装置等部件之间的相对位置变化。如电涡流位移传感器利用电涡流效应，通过测量传感器探头与被测导体表面之间的距离变化，精确获取转轴的位移数据，对于发现动静部件摩擦前的间隙变化具有重要意义。此外，速度传感器能够直接测量振动速度，在分析低频振动现象时发挥关键作用，常安装在汽机基础等部位，用于监测基础的振动情况，判断是否存在基础松动引发的振动问题。

3.1.2 数据采集与传输系统

为实现对汽机振动的实时监测，完善的数据采集与传输系统不可或缺。数据采集系统通常由采集模块、信号调理电路等组成，采集模块根据不同传感器的输出信号类型，设定相应的采样频率和分辨率。如对于高频振动信号，采样频率需达到数千赫兹甚至更高，以确保能够完整捕捉振动信号的细节特征。信号调理电路则对传感器输出的原始信号进行放大、滤波等处理，去除噪声干扰，提高信号质量。在数据传输方面，目前广泛采用有线和无线两种传输方式。有线传输如以太网、现场总线等，具有传输稳定、数据量大的优势，适用于将采集到的振动数据传输至控制室的监测主机；无线传输技术如蓝牙、Wi-Fi、ZigBee等，则解决了布线困难、安装位置受限等问题，尤其适用于对老旧机组的振动监测改造。部分先进系统还采用物联网技术，实现振动数据的云端存储与远程访问，方便技术人员随时随地对汽机振

动状态进行分析诊断。

3.2 频谱分析诊断法

频谱分析诊断法以傅里叶变换理论为基石，通过将时域振动信号转换为频域信号，实现对电厂汽机摩擦振动故障的精准剖析。在时域中，振动信号呈现为随时间变化的波形，难以直接分辨特征频率成分；而傅里叶变换能将复杂时域信号分解为不同频率、幅值和相位的正弦波组合，生成频谱图。频谱图以频率为横坐标、幅值为纵坐标，各频率分量的幅值直观反映其在振动信号中的能量占比，借此可识别转轴旋转频率、叶片固有频率等关键特征频率。此外，功率谱密度分析可明确振动能量在各频率的分布，倒频谱分析则能有效提取被调制信号中的故障特征，进一步提升诊断准确性。在电厂汽机摩擦振动故障诊断实践中，频谱分析发挥着核心作用。当动静部件发生摩擦时，频谱图会出现明显变化，除基频外，2倍频、3倍频等高次谐波幅值显著增大，且其幅值与摩擦严重程度呈正相关，可据此判断摩擦发展态势。针对转轴与轴承摩擦振动故障，不同类型的轴承故障（如内圈、外圈、滚动体故障）具有独特的特征频率，通过对比频谱图中特征频率的有无及幅值大小，能够精准判断轴承故障类型与严重程度。通过对不同时间采集的频谱数据进行对比分析，可动态监测故障特征频率变化，提前预警故障发展趋势，为故障诊断与处理争取宝贵时间，保障电厂汽机安全稳定运行。

3.3 神经网络诊断技术

神经网络诊断技术借鉴人类大脑神经元工作机制，是解决电厂汽机摩擦振动故障诊断难题的智能化方案。该技术由大量相互连接的神经元构成网络结构，每个神经元接收输入信号后，经激活函数处理并输出。典型的神经网络包含输入层、隐藏层和输出层：输入层接收振动监测数据等故障特征信息，隐藏层通过多层计算对信息进行抽象和特征提取，输出层则给出故障类型、严重程度等诊断结果。其核心在于通过反向传播算法（BP算法）优化模型，该算法将输出误差从输出层反向传递至输入层，逐层调整神经元间连接权重，使实际输出与期望输出的误差最小化，从而精准识别不同故障模式。在构建电厂汽机摩擦振动故障诊断模型时，需收集涵盖正常运行及各类摩擦振动故障状态下的大量振动数据，对数据进行归一化等预处理，统一数据尺度，提升模型训练效率与稳定性。随后，依据数据特点与诊断需求，确定神经网络结构参数，如输入层节点数对应故障特征数量，输出层节点数对应故障类型数量，合理设置隐藏层数量与节点数。模型训练阶段，将预处理数据划分为训

训练集与测试集,利用训练集反复迭代优化权重,使模型在训练集上具备高诊断准确率;再通过测试集验证模型泛化能力,确保其在实际复杂工况下的可靠性^[3]。

4 电厂汽机摩擦振动故障的预防措施

4.1 优化汽机设计与安装环节

在电厂汽机摩擦振动故障的预防体系中,设计与安装环节是筑牢安全运行根基的首要防线。(1)设计阶段。综合考虑汽机运行工况,运用先进的计算流体动力学和有限元分析技术,对动静部件的气动性能、热应力分布和振动特性进行模拟分析。如通过优化叶片的叶型设计和布置方式,降低气流激振力;在密封结构设计上,采用可退让式蜂窝密封、刷式密封等新型结构,既能保证密封效果,又能在发生轻微摩擦时具备缓冲能力,减少振动产生。(2)安装过程中。轴系对中是安装的核心步骤,利用激光对中仪等高精度测量设备,将轴系各部件的同轴度误差控制在极小范围内,避免因对中不良导致的轴系受力不均引发振动。精确调整动静部件的间隙,考虑到汽机运行时的热膨胀因素,预留合理的热膨胀间隙,确保机组在不同工况下动静部件均不会发生摩擦。(3)安装完成后需进行全面的验收检测,包括振动测试、气密性测试等,只有各项指标均符合设计标准,方可投入运行。

4.2 规范运行操作流程

以下科学合理的运行操作流程是预防汽机摩擦振动故障的关键保障。(1)在机组启动阶段,严格遵循升温、升压、升速曲线,控制好各参数的变化速率。如蒸汽温度的上升速度不宜过快,防止因部件受热不均产生过大的热应力;升速过程中要避开临界转速区域,快速平稳通过,避免共振的发生。(2)停机过程同样需要规范操作,按照规定的程序逐步降低负荷、转速,做好停机后的保养工作,如投入盘车装置,防止转子因受热不均产生弯曲变形。(3)运行过程中,维持稳定的运行参数是重中之重。密切监测蒸汽的温度、压力、流量等参数,避免出现大幅度波动。如当蒸汽温度过低时,可能会导致汽机部件产生热变形,增加动静部件摩擦的风险;蒸汽压力不稳定则会引起气流激振。加强对机组振动、温度、轴承油膜压力等关键指标的实时监测,一旦发现异常,及时分析原因并采取调整措施,将故障隐患

扼杀在萌芽状态。(4)制定完善的应急预案,针对可能出现的异常振动情况,明确应急处理流程和操作步骤,确保运行人员在突发情况下能够迅速、有效地应对。

4.3 强化日常维护与检测工作

以下日常维护与检测措施是保障汽机安全稳定运行的重要手段。(1)建立定期维护制度,对汽机的关键部件进行全面检查和保养。定期检查轴承的磨损情况、润滑油的品质和油位,及时更换老化或变质的润滑油,确保轴承的良好润滑;对密封装置进行密封性检测,修复或更换磨损的密封件,防止蒸汽泄漏引发振动。(2)利用先进的检测技术,实现对汽机运行状态的精准监测。振动监测系统通过在汽机关键部位安装加速度传感器、位移传感器等,实时采集振动数据,并运用频谱分析、小波分析等方法对数据进行处理,提取故障特征信息,判断是否存在摩擦振动故障以及故障的严重程度。红外热成像技术能够检测设备表面的温度分布,及时发现因摩擦导致的局部过热现象;超声波检测技术则可用于监测轴承、密封装置等部件的运行状态,通过分析超声波信号的变化,判断部件是否存在异常磨损或泄漏。(3)建立设备运行档案,记录每次维护检测的结果和设备的运行状况,通过对历史数据的分析,总结故障发生规律,为后续的维护和改进提供依据^[4]。

结束语:电厂汽机摩擦振动故障对电力生产安全与稳定构成严重威胁。本文全面剖析了该故障的危害、常见类型及成因,详细介绍了振动监测、频谱分析、神经网络诊断等多种先进诊断技术与方法,并从设计安装、运行操作、日常维护检测等环节提出针对性预防措施。通过深入研究与实践应用,可有效提升汽机摩擦振动故障的诊断准确率与预防效果,降低故障发生率。

参考文献

- [1]徐军锋.电厂汽机摩擦振动故障分析与诊断[J].设备管理与维修,2019(21):158-160.
- [2]何升旗.电厂汽机摩擦振动故障分析与诊断[J].电力系统装备,2021(8):90-91.
- [3]刘惠逢.电厂汽机摩擦振动故障分析与诊断研究[J].电力设备管理,2022(15):109-111.
- [4]司龙星.电厂汽机摩擦振动故障分析与诊断研究[J].数码-移动生活,2023(9):466-468.