

汽轮机轴系振动故障诊断与检修处理对策

张 勇

陕西彬长文家坡发电有限公司 陕西 咸阳 713500

摘 要：轴系振动是汽轮机运行中高发的典型故障，直接影响火电机组运行稳定性与安全性。本文结合机组实际运行工况，系统梳理转子不平衡、轴系不对中、油膜振荡、动静摩擦等各类振动故障的形成机理与运行特征，依托频谱分析、参数比对等成熟检测技术，构建高效精准的轴系振动故障诊断体系，快速定位故障类型与诱因。针对不同故障工况制定分级检修处置方案，优化轴系检修工艺与日常运维管控机制。实践表明，科学规范的故障诊断与检修策略，能够有效抑制轴系振动异常，降低设备故障概率，保障汽轮机安全长效稳定运行。

关键词：汽轮机；轴系振动；故障诊断；检修对策

引言

汽轮机是火电、热电联产机组的核心动力设备，轴系运行状态直接关乎机组安全与发电效率。机组长期高负荷、变工况运行，易受安装偏差、设备磨损、工况波动等因素影响，出现轴系振动超标故障。本文结合现场运维经验，系统探究轴系振动典型故障的诊断方法与检修策略，通过优化运维与检修流程，规避振动引发的停机与设备损坏问题，保障电力生产平稳开展。

1 汽轮机轴系振动概述

汽轮机轴系由转子、轴承、联轴器、主轴等核心运转部件构成，轴系振动是机组运行中最为常见的故障，直接影响设备运行安全与电网供电稳定性。机组出现轻微振动超标时，会加速各类零部件磨损，降低机组发电效率，增加运行能耗；若长期存在大幅振动问题，极易引发轴承烧毁、主轴弯曲、联轴器断裂、叶片脱落等重大设备缺陷，造成机组非计划停机，不仅显著增加设备运维成本，扰乱正常供电秩序，还会引发管道、基座共振，损坏各类附属设备，滋生安全生产隐患。当前电力行业依据相关设备规范与汽轮机技术标准，以轴振峰值、轴承振动速度有效值为核心判定指标，对轴系振动状态进行分级管控^[1]。大型汽轮机正常运行状态下，轴振峰值需控制在 $80\mu\text{m}$ 以内，轴承振动速度有效值不超过 2.8mm/s ； $80\sim 120\mu\text{m}$ 为轻微超标区间，需及时排查设备隐患； $120\sim 180\mu\text{m}$ 为中度故障区间，需降低机组负荷开展专项检修；数值超过 $180\mu\text{m}$ 为重度故障，必须立即停机处置，振动频谱特征与波动规律可用于故障精准判定。

2 汽轮机轴系典型振动故障及成因分析

2.1 转子不平衡故障

转子不平衡是汽轮机轴系振动中最频发的故障，占振动故障总量 60% 以上，分为质量不平衡与热不平衡两类。质量不平衡源于设备制造、安装精度偏差，转子材质不均、加工误差、叶片装配偏移均会造成质量偏心，机组长期运行产生的叶片结垢、磨损、部件松动等问题，会进一步加剧故障。热不平衡多发生在机组变工况阶段，汽轮机启停时转子受热不均产生热变形、轻微弯曲，最终引发振动超标。该故障特征典型，振动频率与转子转速频率一致，幅值随转速、负荷升高线性增大，相位整体稳定。转子长期不平衡运行会持续冲击轴承，造成磨损、间隙超标，让振动故障持续恶化，形成恶性循环，严重威胁机组安全稳定运行。

2.2 轴系不对中故障

轴系不对中故障是汽轮机常见振动故障，指汽轮机与发电机主轴、转子联轴器同轴度偏差超标，主要分为平行、角度及综合不对中三类。该故障成因主要包括设备安装检修精度不足，联轴器找正偏差超标；机组运行中基础沉降、支架变形造成轴系支撑偏移；机组启停与负荷切换时设备热膨胀不均，引发轴系相对位置偏移；长期振动致使联轴器螺栓松动、垫片磨损，破坏原有对中精度。该故障振动特征十分鲜明，以二倍转速频率为主频，伴随少量一倍频、三倍频分量，故障初期振动幅值较小，机组高负荷工况下振动显著加剧，振动相位随负荷呈现规律性波动。长期不对中运行会造成联轴器磨损、主轴疲劳损伤、轴承载荷不均，极易诱发轴系断裂、轴承烧毁等重大设备故障，严重威胁机组运行安全。

2.3 油膜振荡故障

油膜振荡是汽轮机滑动轴承特有的振动故障，轴承

润滑油膜的稳定状态是轴系安全运行的重要保障,油膜压力失衡、厚度不均是该故障的核心诱因,润滑油品质不达标、油温油压异常、轴承间隙超标、轴颈磨损等问题均会破坏油膜成型条件。当润滑油粘度、清洁度不足,或是油温过高、油压过低时,油膜承载能力会大幅下降,难以稳定支撑转子运转,先引发油膜涡动,逐步发展为油膜振荡,轴承间隙过大、轴颈偏心磨损会进一步加剧故障程度^[2]。该故障具备突发性、持续性的特点,振动频率稳定在转子转速频率的0.4~0.48倍,振动幅值波动较大,且不受机组小幅负荷调整影响,故障发生后轴系振动长期处于高位,若未能及时检修处置,会严重磨损轴承瓦面,造成油膜完全失效,引发轴系抱死故障,直接导致机组停机,严重危害汽轮机运行安全。

2.4 动静摩擦振动故障

汽轮机转子属于高速运动部件,汽缸、隔板、汽封等为固定静止结构,二者间隙过小、部件偏移或变形时,极易引发动静摩擦振动故障。该故障主要源于检修间隙调整不当、转子与汽缸形变、汽封积垢磨损以及机组启停速率过快引发的热变形不均等,启停过程中转子与汽缸升温速率存在差异,会产生相对位移造成局部摩擦,机组长期运行产生的汽封结垢、磨损也会持续缩小动静间隙,引发持续性轻微摩擦。动静摩擦振动具备复杂的频谱特征,涵盖基频、倍频、分频等多重频率分量,振动波形存在明显畸变。轻微摩擦仅会造成振动小幅波动,机组稳定运行后可小幅缓解,重度摩擦则会造成转子局部过热、弯曲变形,振动幅值急剧攀升,直接损伤动静结构部件,严重威胁汽轮机整体运行安全。

2.5 基础与支撑系统故障

汽轮机基础基座、支撑垫块、地脚螺栓等支撑结构异常,也是引发轴系振动的重要原因。机组长期运行过程中,混凝土基座老化、开裂、沉降不均,支撑垫块磨损、松动,地脚螺栓紧固力矩不足、锈蚀松动,均会导致轴系支撑刚度不足。高速运转的转子会因支撑不稳定产生周期性振动,同时引发基座共振,放大振动幅值。此类故障的振动特征为整机振动分布均匀,各轴承振动幅值同步变化,振动频率以低频为主,机组转速稳定时振动无明显衰减。

3 汽轮机轴系振动故障诊断技术

3.1 振动频谱分析法

频谱分析法是当前汽轮机轴系振动故障诊断的核心技术,通过振动采集设备收集轴系振动信号,利用信号处理技术将时域振动信号转化为频域频谱图,通过分析频谱

频率、幅值、相位特征,精准判定故障类型。不同故障对应专属频谱特征,转子不平衡以一倍频峰值突出为核心特征;轴系不对中以二倍频幅值显著升高为主要依据;油膜振荡存在固定低频分量;动静摩擦呈现多频叠加特征。该技术诊断精度高、响应速度快,可实现故障的提前预判与精准定位,广泛应用于机组在线监测工作中。

3.2 运行参数比对诊断法

依托汽轮机集散控制系统,采集机组转速、负荷、蒸汽温度、压力、润滑油温油压、轴承温度等运行参数,通过对比实时参数与额定参数、历史正常运行参数的差异,结合振动数据变化规律,排查故障诱因^[3]。例如,润滑油温异常升高伴随低频振动,可判定为油膜振荡故障;机组负荷升高同步出现二倍频振动增大,可判定为轴系不对中故障。该方法操作简便,可实现故障初步筛查,为精准诊断提供数据支撑。

3.3 离线检测诊断法

对于在线监测无法精准判定的隐蔽性故障,需采用离线检测技术开展专项诊断。通过停机后转子动平衡检测、轴系对中精度检测、轴承间隙测量、转子弯曲度检测、部件无损探伤等手段,全面排查轴系部件的尺寸偏差、结构损伤、装配误差等问题。离线检测精度极高,可精准定位隐蔽性故障缺陷,是机组大修、故障深度排查的核心手段,能够有效弥补在线监测的技术短板。

4 汽轮机轴系振动故障检修处理对策

4.1 转子不平衡故障检修对策

针对转子质量不平衡故障,机组停机检修后,需对转子整体及叶片、轮盘等关键部位开展精细化清理作业,彻底祛除表面积灰、油污、水垢及腐蚀氧化层,对轻微磨损、微变形叶片进行校正修复,对破损严重、无法复用的叶片进行同型号更换,保证转子构件完好规整。清理修复工作完成后,严格遵循设备技术规范开展高精度转子动平衡校验试验,通过精准增减配重块、调整配重位置的方式修正质量偏差,将转子不平衡量严格控制在行业规范允许区间。针对热不平衡故障,需进一步优化机组启停标准化流程,严格管控升温、升压、升速梯度,杜绝参数骤变,规避转子局部过热与不均匀热变形。日常运行中建立转子常态化监测机制,定时排查叶片积垢、轻微磨损等隐患,提前处置缺陷,从源头有效规避热不平衡振动故障。

4.2 轴系不对中故障检修对策

轴系不对中故障检修核心在于精准找正、校正偏移、稳固支撑体系。机组停机检修期间,需采用高精度

激光对中仪完成联轴器精细化找正作业,严格把控同轴度与端面平行度偏差,各项参数均需契合机组出厂技术标准,杜绝人工找正产生的精度误差。检修过程中需全面拆解检查联轴器组件,及时更换老化破损、厚度不均的密封垫片,按标准力矩紧固连接螺栓,保证联轴器整体连接刚度均匀,避免局部受力不均引发偏移^[4]。针对基座不均匀沉降、支撑支架形变导致的被动不对中问题,需对老化开裂的混凝土基座进行修补加固,微调支撑垫块的高度与水平度,精准校正轴系支撑点位。同时建立常态化校验机制,每季度开展轴系对中抽样检测,机组每次大修、故障修复后必须完成二次精准找正,从检修与运维层面彻底杜绝不对中故障反复滋生。

4.3 油膜振荡故障检修对策

油膜振荡故障整改核心在于优化润滑油运行工况、修复轴承本体结构,从根源保障轴瓦油膜成型稳定。检修作业中,需全面取样检测润滑油的粘度、洁净度与抗氧化性能,对变质、含水、含杂超标的润滑油进行彻底更换,同步拆解清洗润滑油滤网、油路管道及储油装置,清除沉积油泥、金属杂质,避免杂质破坏油膜完整性。运行阶段严格标准化管控润滑油参数,将油温恒定维持在 38~45℃标准区间,匹配机组工况调整供油压力,确保油膜厚度均匀、压力稳定。同时拆解滑动轴承开展精细化检修,打磨修复轴颈、轴瓦的磨损与划痕缺陷,依据设备规程精准校准轴承装配间隙,杜绝间隙超标引发的油膜涡动。针对油膜稳定性差的设备,可升级抗扰动性能更强的轴承结构。日常运维需建立油品定期化验、参数实时监测机制,提前预判并规避油膜失稳引发的振动故障。

4.4 动静摩擦振动故障检修对策

动静摩擦振动故障检修以矫正构件形变、精准把控动静间隙、规范运行操作为核心要点。机组停机后,需对转子、汽缸、隔板、汽封等核心动静部件开展全方位检测,精准排查转子弯曲、汽缸偏移、汽封变形破损等缺陷,对形变超标的构件进行校正修复,更换老化失效、破损严重的汽封配件。严格遵循汽轮机设备检修规程,精细化调整动静部件配合间隙,在规避间隙过小引发摩擦碰撞的基础上,兼顾机组密封效果与运行能耗,保障设备工况均衡稳定。同时优化机组启停管控流程,放缓升温、升压及升速速率,减小转子与汽缸的热变形

差值,有效规避启停阶段高频次动静摩擦问题。日常运维中定期开展汽封积垢、磨损清理排查,及时清除附着杂质,避免积垢堆积缩小动静间隙,从运维与检修双重维度根除摩擦振动隐患。

4.5 基础支撑系统故障检修对策

针对汽轮机基础支撑系统诱发的轴系振动故障,需采用全方位排查、精细化整改的方式开展检修作业。首先全面检测混凝土基座的完整状态,细致排查表面开裂、表层老化、沉降不均及空鼓等缺陷,对破损部位进行凿除修补与加固处理,有效提升基座整体刚性与承载稳定性,杜绝基座形变引发的振动放大问题^[5]。逐一检查各支撑垫块、承重支架,及时更换磨损、变形、失效的垫块构件,重新精准校准支撑水平度与标高,均衡分配各轴承点位的支撑载荷,避免单点受力异常产生振动扰动。系统排查地脚螺栓、固定连接件,对松动螺栓按照标准力矩重新紧固,更换锈蚀、滑丝、损坏的配件,保障整体支撑结构的紧固性与稳定性。此外,需建立长效化基座监测机制,定期检测基座沉降数据、结构形变及支架工况,及时整改微小隐患,从根本上消除支撑系统缺陷引发的轴系振动故障。

结束语

综上所述,汽轮机轴系振动故障成因多元,转子不平衡、轴系不对中、油膜振荡、动静摩擦为主要故障类型,各类故障具备独特的振动频谱与运行特征。本文通过梳理精准的故障诊断技术,配套针对性的检修处置方案,同时落实常态化预控运维措施,可有效解决轴系振动超标问题,提升汽轮机运行稳定性与可靠性,为火电设备安全长效运行提供有力支撑。

参考文献

- [1] 邵向明. 汽轮机轴系振动多源故障识别方法[J]. 今日制造与升级,2026,(3):10-13.
- [2] 赵伟. 汽轮机轴系振动故障成因及排查方法研究[J]. 现代工业工程,2026,(12):28-30.
- [3] 张毅. 大型汽轮机轴系振动故障诊断与动平衡关键技术实践[J]. 科技视界,2025,15(27):89-92.
- [4] 谢舒凯,吴斌,邓永康,等. 汽轮机轴振波动原因分析与应对措施[J]. 冶金动力,2026,(2):40-44.
- [5] 纪云峰. 汽轮机振动超标故障诊断及减振策略研究[J]. 设备管理与维修,2026,(4):136-138.