

Engineering Practice Analysis of Turbine Shaft Alignment and Maintenance Quality Control

Baoyan Shan

Datang Qitaihe Power Generation Co., Ltd., Qitaihe, Heilongjiang, 154600, China

Abstract

Shaft alignment and maintenance quality control are key components for ensuring the safe and efficient operation of turbine units. The level of engineering practice in this area directly affects equipment reliability and economic benefits. Currently, within the industry, there are still many practical operational challenges, such as unreasonable benchmark selection, insufficient measurement accuracy, and non-standard maintenance procedures. These challenges restrict the improvement of unit operation quality. This paper takes engineering practice scenarios as the starting point, systematically reviews common issues in shaft alignment and maintenance quality control, and proposes targeted scientific management strategies to form a comprehensive, precise control plan. This provides technical support for on-site maintenance operations and helps enhance the operational stability and service life of turbine units.

Keywords

Turbine; Shaft alignment; Maintenance quality

汽轮机轴系对中与检修质量控制的工程实践分析

单宝岩

大唐七台河发电有限责任公司，中国·黑龙江 七台河 154600

摘要

轴系对中以及检修质量控制属于保障汽轮机机组可安全且高效运行的关键部分，其工程实践水平会直接对设备可靠性以及经济效益产生影响，当前在行业内部该领域依然存在基准选择不合理、测量精度欠缺、检修工艺不规范等诸多实际操作方面的难题，这些难题对机组运行质量的提升形成了制约。本文以工程实践场景作为立足点，系统地梳理轴系对中以及检修质量控制的常见问题，并针对性地提出科学的管控对策，来形成全流程精准管控方案，为现场检修作业给予技术支持，帮助提升汽轮机机组运行稳定性以及使用寿命。

关键词

汽轮机；轴系对中；检修质量

1 引言

汽轮机在火电、核电等能源领域里是核心动力设备，它运行的稳定性直接关系到能源供应的安全以及生产效益。轴系是汽轮机动力传输的关键载体，其中，对中精度与检修质量是决定机组运行效率、寿命以及故障风险的核心要素。在当前的工程实践当中，轴系对中基准失当、测量出现偏差以及检修工艺不规范等问题经常发生，容易引发振动、磨损等故障，造成停机损失。针对这类问题展开实践研究，构建科学的管控体系，有着迫切的行业实践需求。

2 汽轮机轴系对中与检修质量控制工程实践常见问题

2.1 轴系对中工程实践核心问题

轴系对中对在汽轮机机组稳定运行保障方面处于核心地位。然而，在工程实践进程里，它容易受到基准选择、测量精度、工况适配以及调整方案等多种因素的作用，滋生出各种各样的质量隐患。基准选择不合理是最为主要的问题所在。在一些工程当中，存在将静止部件错误地用作对中基准的情况，没有充分考虑到汽轮机运行时热胀冷缩会对基准位置产生改变；基准面清理得不够彻底，残留有油污、铁屑等杂质，这直接造成了基准偏差，对后续的对中精度产生影响。

测量精度不足的问题也较为明显。一方面，部分项目依旧使用精度有限的传统百分表，与激光对中仪等高精度设备相比较，测量误差明显增大；另一方面，现场振动、温度波动等环境干扰没有得到有效的控制，再加上操作人员技能

【作者简介】单宝岩（1993-），男，中国吉林公主岭人，本科，工程师，从事火电厂汽轮发电机组研究。

欠缺所引发的读数偏差,降低了测量数据的可靠性。

热态与冷态对中不协调的问题容易被忽略。多数工程仅仅关注冷态对中数据的校准,没有充分考虑机组运行时各个部件热膨胀差异所引发的轴系偏移。而且,热态对中测试工况的设置缺乏科学性,无法精确模拟实际运行状态,致使冷态校准数据与热态运行需求不匹配。

对中调整方案不合理直接影响整改效果。部分作业存在调整顺序混乱、单次调整量把控不当等问题,并且没有结合轴系整体刚度特性来优化调整策略,导致调整后的轴系仍然存在隐性偏差,在运行过程中容易引发振动、磨损等故障。

2.2 检修质量控制工程实践核心问题

检修质量控制对于汽轮机机组安全稳定运行而言非常关键,是关键的保障所在。然而,在其工程实践过程当中,存在着多维度的管控漏洞,这直接对检修成效以及机组运行可靠性产生了影响。零部件装配精度管控方面的缺失是其中一个核心隐患,具体体现为:联轴器螺栓孔配合间隙超出标准范围,在传动过程中使得受力不均匀;轴承装配存在过紧或者过松的状况,破坏了润滑系统的稳定性,还加剧了部件的磨损;转子轴向窜动量的调整不合适,容易引发动静部件之间的摩擦,埋下故障隐患。

检修工艺规范性不足同样对质量提升起到了制约作用。在转子清理环节存在残留油污、杂质等情况,影响了装配精度以及密封性能;密封件安装流程不规范,压缩量控制不当,容易导致泄漏故障;焊接、紧固等关键工序没有严格依照工艺要求执行,出现螺栓力矩不均匀等问题,降低了连接的可靠性。

质量检测环节较为薄弱放大了质量风险。部分工程对于关键尺寸没有进行复核检测,无法及时发现装配偏差;超声、磁粉等无损检测的覆盖面不够,难以排查隐蔽部位的缺陷;检测数据记录不完整或者失真,导致质量问题追溯存在险阻。

人员与管理层面存在的短板是问题产生的深层原因。检修人员专业技能培训不足,对于新工艺、新设备的操作熟练程度不够;质量责任制没有得到有效落实,责任划分模糊导致问题出现后相互推诿;多个班组协作时流程衔接不顺畅,存在交接验收漏洞,形成了质量管控的盲区。

3 汽轮机轴系对中与检修质量控制工程实践解决对策

3.1 针对轴系对中常见问题的解决对策

科学地挑选以及处理对中基准,乃是保障对中精度的关键起始点。在工程实践里,应当摒弃传统的静止部件基准模式,优先选用转子中心孔、轴颈等动态基准。这类基准可同步跟随着转子的运行姿态,切实规避台板变形、基础沉降等因素所引发的基准偏移。在基准确立之前,需要进行精细化处理:运用120目砂纸对基准面进行环形打磨,去除氧化

皮、划痕以及油污;打磨之后,用无水乙醇擦拭干净,保证基准面平面度误差 $\leq 0.02\text{mm/m}$;结合机组设计参数以及历史运行数据,借助热力计算来确定基准补偿系数,着重考量高压缸、中压缸等关键部件的热膨胀量。比如,300MW机组一般需要预留0.15-0.25mm的热态补偿量,达成冷态基准与热态运行状态的精确适配,从根源上消除基准偏差隐患^[1]。

要提升测量精度,就得构建“设备-环境-人员”三位一体的管控体系。在设备选型方面,全面推行激光对中仪来替代传统百分表,它的测量精度可达到0.001mm,而且拥有数据自动记录与偏差分析功能,可有效地降低人为读数误差;建立设备全生命周期校准机制,每季度委托第三方计量机构开展精度校验,日常存放需要放置在恒温干燥环境中,避免振动与湿度变化对设备性能产生影响。在环境优化方面,测量作业要避免开邻近设备启停时段,对现场振动源采取铺设隔振垫的措施,同时将环境温度波动控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 范围内,必要时搭建临时保温棚,防止温度梯度致使轴系形变。在人员能力提升方面,开展专项技能培训,内容包含激光对中仪操作规范、误差识别技巧、数据修正方法等;培训之后,需要依靠实操考核,考核合格才可以上岗;定期组织案例研讨,分析典型测量偏差案例,总结现场实操经验,提升人员应对复杂工况的测量能力。

构建热态与冷态协同对中体系,是解决工况适配问题的核心所在。借助有限元仿真软件搭建轴系热力模型,输入机组在不同负荷以及不同蒸汽参数状况下的运行数据,以此精确预判各个轴承座、转子的热膨胀量以及轴系的偏移趋势,形成热态对中预判报告。依据预判结果开展多工况热态对中测试,测试期间运用在线监测系统实时采集轴系对中数据、轴承温度、振动值等参数,着重记录满负荷稳定运行两小时后的对中数据,形成热态对中数据库。凭借对比热态与冷态对中数据,反向修正冷态对中参数。像某600MW机组热态运行时高压转子轴向膨胀量为2.8mm,依据此将冷态对中时的轴向偏差调整量设定为0.3mm,保证机组热态运行时轴系处于最优对中状态,彻底解决冷态校准与热态运行脱节的问题。

优化对中调整流程,要遵循“有序精准、分步实施”的原则,防止盲目调整造成二次偏差。首先,制定标准化调整流程,明确“先粗调后精调、先两端后中间”的操作顺序:粗调阶段,借助调整轴承座垫片厚度实现轴系大致对中,控制径向偏差 $\leq 0.1\text{mm}$ 、轴向偏差 $\leq 0.05\text{mm/m}$;精调阶段,采用百分表实时监测,结合激光对中仪数据进行微量调整,实施分步微量调整策略,每次调整量控制在0.02mm以内,调整后静置40分钟,等轴系完全稳定后再进行测量,避免调整后轴系回弹引发的偏差。同时,开展轴系整体刚度测试,采用脉冲激振法获取轴系刚度分布曲线,针对刚度较弱区域适当减小单次调整量,提高调整稳定性;对刚度较强区域可适度优化调整节奏,提升调整效率。调整完成后,需进行多

工况验证,依次开展空载、半负荷、满负荷试运行,实时监控轴系振动、轴承温度等参数,保证调整效果契合机组运行要求。

另外,要建立对中质量长效管控机制,把对中数据纳入机组检修档案,定期对比分析不同检修周期的对中数据,预判轴系偏移趋势。针对老旧机组,结合设备老化程度制定差异化对中策略,适当缩短对中检测周期。借助基准精准管控、测量精度提升、热冷态协同适配及调整流程规范的协同实施,可全面解决轴系对中工程实践中的各类问题,提升对中质量。实践说明,采用上述对策后,机组轴系振动值可控制在 2.5mm/s 以下,轴承温度稳定在 75°C 以内,有效降低故障停机率,延长机组使用寿命,为汽轮机机组安全高效运行提供核心技术保障。

3.2 针对检修质量控制常见问题的解决对策

强化装配精度管控,对于提升检修质量而言是极为关键的环节,需要从工艺、工具以及检验这三个方面构建起闭环管理。在工艺管控方面,应当制定出非常详细且有针对性的装配工艺卡,清晰地明确各个关键部件的装配技术参数,着重标注出联轴器螺栓孔配合间隙、轴承装配间隙以及转子轴向窜动量等核心指标所允许的偏差范围,附上装配步骤的示意图以及关键控制点的说明,以此为现场操作提供精确的依据。在工具选用方面,大力推广力矩扳手、百分表以及千分尺等精密装配工具。针对关键螺栓紧固作业,运用数显力矩扳手来保证紧固力矩均匀且一致,防止出现人工操作偏差;建立起工具全生命周期管理台账,定期开展精度校准工作,杜绝不合格工具投入使用。在检验制度方面,严格推行装配前零部件的复检制度,组织专业人员对零部件的尺寸精度、表面质量以及配合公差进行全面的复核,重点排查运输以及存放过程中可能出现的变形、损伤问题。对于不合格零部件坚决不给予装配,从源头上规避装配精度方面的隐患^[2]。

规范检修工艺标准,应以核心工序为基础,打造一种包含“操作规范、过程管控以及标准引领”的管理模式。首先,要对核心工序展开梳理,针对像转子清理、密封安装、焊接紧固这类关键环节,制定专门的操作规范:转子清理要运用高压清洗并结合人工精细打磨的办法,将表面的油污、积碳、杂质彻底清除,以此保证表面粗糙度契合装配要求;密封安装要严格把控密封件的压缩量,依据密封材质以及工况参数精确调整安装间隙,防止因压缩量不足而造成泄漏或者因过度压缩致使密封件损坏;焊接紧固工序要明确焊接材料选型、焊接电流、电压等参数,螺栓紧固采用“分次对称

紧固”工艺,保证连接可靠性。其次,要设置工艺控制点,对关键工序实施旁站监督,安排技术骨干全程跟踪操作流程,及时纠正不规范的操作行为,对工序质量进行实时确认。编制标准化作业指导书,整合各工序的操作规范、质量要求、安全注意事项等内容,发放给每一位检修人员,借助岗前培训、现场交底等方式保证全员掌握,达成检修工艺的标准化、规范化执行。

完善质量检测体系,是把控检修质量的关键防线。要构建“全流程覆盖+重点强化+数据追溯”的检测网络,建立“全流程检测+重点复核”机制,把检测环节贯穿检修全过程,从零部件入库检验开始,经过装配过程检测,直至检修完成后的整体测试,形成无死角检测链条。针对轴系对中精度、转子跳动量、轴承间隙等关键指标,实行“双人复核”制度,保证检测结果准确。扩大无损检测覆盖面,结合汽轮机结构特点,着重强化对转子叶片、联轴器焊缝、轴承座等隐蔽部位的检测,合理选用超声检测、磁粉检测、渗透检测等技术手段,精确排查内部缺陷、表面裂纹等问题。依据机组运行年限、工况条件,制定差异化无损检测方案,对高负荷、易损耗部件适当增加检测频次。规范检测数据记录与追溯流程,建立电子台账与纸质存档双重记录模式,详细记录检测时间、检测人员、检测设备、检测结果等信息,保证数据完整可追溯。搭建检测数据管理平台,对检测数据进行分类整理、分析,依靠数据趋势研判提前识别潜在质量风险,为后续检修优化提供数据支撑^[3]。

4 结语

围绕汽轮机轴系对中与检修质量控制的工程实践问题展开分析,构建了“问题梳理-靶向施策”的完整管控体系。通过科学选择基准、提升测量精度、规范检修工艺等对策协同发力,可有效解决实践中的核心痛点。该研究成果贴合现场实操需求,能为检修作业提供明确技术指引,显著降低机组故障风险,延长设备寿命,对提升能源领域汽轮机设备运行效益与安全保障水平具有重要实践意义。

参考文献

- [1] 岑国宝.浅析电厂汽轮机轴振大的原因及检修对策[J].家电维修,2024,(12):83-85.
- [2] 韩威.火电厂汽轮机辅机检修管理现状及对策探讨[J].中国设备工程,2022,(23):59-61.
- [3] 吕泰萍,马壮,滕九洋.火电厂汽轮机运行存在的问题与对策[J].现代工业经济和信息化,2021,11(11):235-237.