

工业汽轮机设备检修要点探讨

王 磊

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油化工安装检修分公司 宁夏 银川 750004

摘要：工业汽轮机设备检修是保障机组安全经济运行的关键。检修要点涵盖前期准备、部件检修及质量验收三方面。检修前需全面收集运行数据，制定合理计划并落实安全措施。检修中，针对转子、叶片、轴承等核心部件实施精准检测与修复，如动平衡调整、裂纹无损探伤。同时，利用振动分析、油液检测等技术实现故障预测。检修后，通过空载试运行、效率对比及安全指标验收，确保设备性能达标、运行稳定，延长机组使用寿命。

关键词：工业汽轮机；设备检修要点；优化策略

引言：工业汽轮机是石油化工、电力等行业不可或缺的动力核心，其运行状态直接影响生产安全与效率。然而，长期处于高温高压及变负荷工况下，设备易出现转子失衡、叶片腐蚀、密封泄漏等故障，不仅降低机组性能，还可能引发严重事故。科学系统的检修维护是保障设备可靠运行的关键。本文围绕检修准备、核心部件检修技术、故障诊断方法及质量验收标准展开探讨，结合智能化技术，旨在提升检修精准度、降低运维成本，为企业设备管理提供参考。

1 工业汽轮机设备概述

1.1 工业汽轮机的分类与结构

(1) 按用途分类可分为驱动型与发电型。驱动型工业汽轮机主要用于驱动风机、水泵、压缩机等工业生产中的机械设备，能根据负载变化灵活调节转速，满足不同生产工艺对动力输出的需求，在石油、化工、冶金等行业应用广泛；发电型工业汽轮机则是火力发电、核电等能源领域的核心设备，通过将蒸汽热能转化为机械能，再带动发电机发电，为社会生产生活提供电力支持。(2) 主要部件包含转子、叶片、轴承、密封系统等。转子是汽轮机的核心旋转部件，承担着传递机械能的重要作用，由主轴、叶轮等组成；叶片安装在叶轮上，蒸汽冲击叶片使转子转动，其形状和材质直接影响汽轮机的效率和可靠性；轴承用于支撑转子，减少旋转时的摩擦，保证转子稳定运转；密封系统可防止蒸汽泄漏，避免能量损失，同时防止空气进入机组内部影响真空度，保障设备高效运行^[1]。

1.2 工作原理与运行特性

(1) 热力循环过程一般为朗肯循环，蒸汽在锅炉中被加热至高温高压状态，进入汽轮机后膨胀做功，推动转子旋转，将热能转化为机械能，做功后的乏汽进入凝汽器冷凝成水，再由给水泵送回锅炉重新加热，完成一

次热力循环，如此循环往复实现能量的持续转化。(2) 常见工况对设备损耗影响显著。当机组处于变负荷工况时，负荷频繁波动会导致转子、叶片等部件承受交变应力，长期运行易引发疲劳损伤；低负荷工况下，蒸汽参数降低，可能造成叶片冲蚀加剧；超负荷运行则会使设备各部件温度、压力升高，加速磨损和老化，缩短设备使用寿命。

1.3 常见故障类型与成因

(1) 机械故障主要有振动、磨损、裂纹。振动多因转子不平衡、轴承间隙过大、联轴器对中不良等导致；磨损通常是由于润滑不良、部件间配合间隙不当、杂质进入设备内部造成；裂纹的产生可能是材料疲劳、焊接质量不佳、运行中温度骤变等因素引发。(2) 热力故障常见的有效率下降、结垢。效率下降可能是因叶片磨损、密封性能变差导致蒸汽泄漏增加，或热力循环参数偏离设计值；结垢主要是蒸汽中含有的杂质在受热面沉积，影响热量传递，进而降低设备效率。(3) 控制与仪表系统故障，可能是传感器损坏、线路故障导致信号传输异常，或控制器参数设置不当、软件故障等，使设备无法按预设程序正常运行，影响机组的稳定性和控制精度。

2 工业汽轮机设备检修的核心要点

2.1 检修前准备

(1) 资料收集是检修工作的基础，需全面整合运行记录与历史故障数据。运行记录应包含设备近期的振动值、轴承温度、蒸汽参数等实时运行数据，以及启停次数、负荷变化曲线等关键信息；历史故障数据需梳理过往故障类型、发生时间、维修方案及效果，例如转子不平衡导致的振动故障处理记录、叶片结垢引发的效率下降修复案例等，为本次检修提供参考依据，避免重复出现同类问题。(2) 检修计划制定需明确周期、人员与工具配置。检修周期需结合设备运行时长、状态监测结

果及行业规范确定,如发电型汽轮机通常每1-2年进行一次大修;人员配置要根据检修任务分工,配备转子检修、控制系统调试等专业人员,并明确各岗位职责;工具准备需涵盖专用工具(如动平衡测试仪、无损探伤设备)、通用工具(如扳手、量具)及安全防护用具,确保工具性能完好、数量充足^[2]。(3)安全措施与风险评估是保障检修安全的关键。安全措施包括设置检修隔离区、切断蒸汽与电源、悬挂警示标识,以及为作业人员配备安全帽、防护服、防毒面具等防护装备;风险评估需识别检修过程中的潜在风险,如高空作业坠落风险、蒸汽泄漏烫伤风险、电气设备触电风险等,并制定应对预案,如高空作业时搭建安全平台、蒸汽管道检修前进行泄压处理。

2.2 关键部件检修技术

2.2.1 转子系统

(1)动平衡检测与调整需精准操作。采用动平衡测试仪检测转子不平衡量,若不平衡量超标,需通过在转子特定位置添加或去除配重块进行调整,确保转子运转时的振动值控制在允许范围内,避免因转子不平衡导致轴承磨损加剧、设备异常振动。(2)裂纹检测主要依赖无损探伤技术,常用方法包括超声波探伤、磁粉探伤与渗透探伤。超声波探伤可检测转子内部隐藏裂纹,磁粉探伤适用于检测表面及近表面裂纹,渗透探伤能发现细微表面裂纹,检测过程中需重点关注转子轴颈、叶轮根部等应力集中部位,若发现裂纹需及时制定修复方案,如焊接修复或更换部件。

2.2.2 叶片与汽封

(1)磨损评估需先通过外观检查、尺寸测量判断叶片磨损程度,若磨损较轻,可采用堆焊、喷涂等工艺修复,恢复叶片原有形状与尺寸;若磨损严重,需更换新叶片,确保叶片能正常承接蒸汽冲击,避免影响汽轮机效率。(2)汽封间隙调整需严格控制精度。通过塞尺测量汽封与转子之间的间隙,若间隙过大,需更换汽封片或调整汽封体位置;若间隙过小,需对汽封片进行打磨处理,确保间隙符合设计标准,减少蒸汽泄漏,提升设备热力效率^[3]。

2.2.3 轴承与润滑系统

(1)油质分析需检测润滑油的黏度、水分、杂质含量等指标,若油质劣化,需及时更换润滑油,并对油路系统进行清洗,清除油路中的杂质、油泥,防止堵塞油路;同时检查油箱、油泵、过滤器等部件,确保润滑系统正常供油。(2)轴承间隙测量需使用塞尺或压铅法,若间隙过大,需更换轴承或调整轴承座位置;若间隙过

小,需对轴承进行刮研处理,保证轴承间隙符合要求,减少轴承运行时的摩擦与发热,延长轴承使用寿命。

2.2.4 控制系统

传感器校准需使用标准仪器对温度、压力、振动等传感器进行校准,确保传感器测量数据准确;软件升级需根据设备厂家提供的升级程序,对控制系统软件进行更新,修复软件漏洞,优化控制算法,提升控制系统的稳定性与控制精度。

2.3 故障诊断与预测性维护

(1)基于振动分析的故障诊断需通过振动传感器采集转子、轴承等部件的振动信号,分析振动频率、振幅等特征参数,判断设备是否存在不平衡、不对中、轴承故障等问题,如转子不平衡会导致特定频率的振动峰值升高。(2)油液分析技术通过检测润滑油中的金属磨粒、污染物含量,判断设备部件的磨损情况,如油液中铁元素含量异常升高,可能表明转子、轴承存在磨损故障,便于提前制定维护计划。(3)红外热成像检测可通过红外热像仪拍摄设备表面温度分布图像,识别温度异常区域,如轴承温度过高可能是润滑不良或轴承损坏导致,汽封部位温度异常可能是蒸汽泄漏引起。(4)大数据与AI在故障预测中的应用需构建设备运行数据库,利用AI算法分析历史运行数据、故障数据,建立故障预测模型,可提前预测设备可能出现的故障类型与时间,实现从“事后维修”向“事前预防”转变^[4]。

2.4 检修质量验收标准

(1)空载试运行需在无负载情况下启动设备,运行1-2小时,检查设备振动、噪音、轴承温度等指标是否正常;负载测试需逐步增加设备负载,检测设备在不同负载工况下的运行稳定性,确保设备能满足设计负载要求。(2)效率与性能参数对比需测量检修后设备的热效率、输出功率等参数,并与检修前及设计值进行对比,确保设备效率提升、性能达标,如发电型汽轮机的发电效率需恢复至设计值的95%以上。(3)安全指标验收需检查设备的安全保护装置(如安全阀、紧急停机装置)是否正常工作,蒸汽、油、水等管道的密封情况是否良好,电气设备的绝缘性能是否达标,确保设备满足安全运行要求。

3 工业汽轮机设备检修的优化策略

3.1 检修模式创新

(1)从定期检修向状态检修转型是提升检修效率的关键方向。定期检修易存在“过度检修”或“检修不足”问题,而状态检修依托设备实时运行数据(如振动、温度、油液指标),通过分析设备实际健康状态确

定检修时机。例如,当振动传感器监测到转子振动值接近阈值、油液分析显示金属磨粒含量异常时,再启动针对性检修,避免盲目停机,减少非必要生产中断,同时降低因提前检修造成的资源浪费。(2)全生命周期管理理念需贯穿设备检修全程。从设备采购初期的参数选型,到运行中的日常维护、故障检修,再到后期的报废评估,形成完整管理闭环。在检修环节,需结合设备使用年限、累计运行时长、历史故障规律,制定差异化检修方案:新设备侧重基础参数校准与隐患预防,老旧设备则加强关键部件磨损检测与性能恢复,延长设备整体服役周期,提升资产利用率^[5]。

3.2 智能化检修技术应用

(1)物联网传感器实时监测为检修提供数据支撑。在汽轮机转子、轴承、汽封等关键部位安装温度、振动、压力等物联网传感器,数据通过云端平台实时传输,检修人员可远程监控设备运行状态。当传感器监测到轴承温度骤升、汽封蒸汽泄漏量异常时,系统自动发出预警,实现“被动维修”向“主动预警”转变,缩短故障响应时间。(2)数字孪生技术可模拟检修过程并优化方案。通过构建与实体设备1:1的数字模型,在虚拟环境中模拟转子拆装、汽封间隙调整等检修流程,提前发现操作中的难点与风险点。例如,模拟不同叶片修复工艺对设备性能的影响,筛选最优修复方案;或模拟高空作业场景,规划安全操作路径,减少实体检修中的试错成本,提升检修准确性与安全性。

3.3 人员技能与培训体系

(1)检修人员资质认证需规范化与专业化。建立分级认证制度,要求检修人员通过理论考核(如汽轮机原理、无损探伤技术)与实操评估(如动平衡调整、传感器校准),取得对应等级资质后方可上岗。针对特殊检修作业(如高压蒸汽系统检修、AI故障诊断系统操作),需开展专项认证,确保人员技能与检修任务难度匹配,避免因操作不当引发设备损坏或安全事故。(2)仿真培训与应急演练可提升人员实战能力。利用虚拟现实(VR)技术搭建模拟检修场景,让人员在虚拟环境中练习转子裂纹检测、轴承更换等操作,反复熟悉流程与工具使用;定期组织应急演练,模拟蒸汽泄漏、控制系统故障等突发情况,训练人员快速制定抢修方案、协同

配合的能力,确保在实际故障发生时能高效处置。

3.4 成本控制与效益分析

(1)检修周期优化与备件管理需平衡成本与风险。通过分析设备运行数据与故障规律,优化检修间隔:对非关键部件适当延长检修周期,减少停机次数;对易损部件(如叶片、密封件)建立库存预警机制,采用“最小安全库存+即时采购”模式,避免备件积压或短缺。同时,对备件进行分类管理,重要备件预留备用件,普通备件通过集中采购降低成本。(2)需合理平衡停机损失与检修成本。检修前需测算设备停机一天的生产损失(如发电量减少、下游生产线停工损失)与检修投入(如人工、备件、工具成本),制定性价比最优方案。例如,若停机损失远高于检修成本,可适当缩短检修周期,优先保障设备稳定运行;若检修成本过高,可通过优化检修流程、复用部分可修复部件(如经探伤合格的转子)降低投入,实现“检修成本最低化、设备效益最大化”目标。

结束语

工业汽轮机设备检修是保障其安全稳定运行、提升生产效能的重要环节。通过系统梳理检修前准备、关键部件检修技术、故障诊断与预测性维护等核心要点,并结合智能化技术手段与全生命周期管理理念,可实现检修效率与质量的双重提升。未来,随着物联网、数字孪生等技术的深化应用,检修模式将向智能化、精准化方向持续演进。企业需紧跟技术发展趋势,优化检修策略、强化人员技能,在控制成本的同时最大限度延长设备寿命,为工业生产的高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]石泽红.火力发电厂汽轮机的常见故障与检修处理方式研究[J].价值工程,2019,38(25):205-207.
- [2]薛龙.分析电厂汽轮机检修中油系统常见故障与应对[J].冶金与材料,2022,42(02):97-98.
- [3]刘刚.火力发电厂汽轮机常见故障分析与检修研究[J].中国设备工程,2022(02):43-44.
- [4]周季明.火力发电厂汽轮机检修过程的精细化管理分析[J].产业科技创新,2021,3(01):83-85.
- [5]王志超.火力发电厂汽轮机检修过程的精细化管理分析[J].现代工业经济和信息化,2020,10(10):126-127.