

火力发电厂热能动力装置的检测与维护

张远兴

441424*****377X

摘要: 随着我国能源结构的转型与优化,火力发电在保障电网安全稳定运行中仍发挥着“压舱石”的关键作用。热能动力装置作为火力发电厂的核心,其运行状态直接关系到电厂的经济性、安全性与环保性。本文系统论述了火力发电厂热能动力装置检测与维护的重要性与体系构成。文章首先阐述了热能动力系统的基本组成与工作原理,进而深入分析了其关键设备(锅炉、汽轮机、辅机系统)的主要故障模式与特征。在此基础上,本文重点探讨了当前主流的检测技术,包括状态监测与在线诊断、无损检测技术以及性能试验与效率分析。最后,综合现代维护管理理念,对比了传统计划维修、状态检修(CBM)及以可靠性为中心的维修(RCM)等策略的优缺点,提出了构建智能化、预测性维护体系的未来发展路径。本研究旨在为火力发电厂提升设备管理水平、保障长周期安全经济运行提供理论参考与实践指导。

关键词: 火力发电;热能动力装置;故障诊断;状态监测;预测性维护;RCM;设备管理

DOI: 10.69979/3060-8767.26.04.006

引言

作为全球电力供应的主要来源之一,火力发电技术经过长期发展,已形成以煤炭、天然气等化石燃料为能源,通过燃烧将化学能转化为热能,进而驱动热力机械产生电能的成熟体系。其核心热能动力装置,是一个庞大而复杂的系统集成,主要包括锅炉设备、汽轮机设备以及众多辅助系统。这些设备在高温、高压、高速的严苛工况下长期运行,不可避免地面临材料劣化、部件磨损、结垢腐蚀等一系列问题。任何关键设备的失效都可能导致非计划停运、发电量损失,甚至引发重大安全事故,造成巨大的经济损失和社会影响。因此,建立科学、高效、经济的检测与维护体系,不仅是保障发电企业安全生产的基石,也是提升其市场竞争力、实现节能减排目标的内在要求。传统的“定期检修、故障维修”模式已难以适应现代化电厂对可靠性、经济性和灵活性运行的需求。

1 热能动力装置概述与关键设备故障分析

热能动力装置是实现能量三次转换的复杂系统。首先,在锅炉中,燃料的化学能通过燃烧转换为高温烟气的热能;其次,该热能被锅炉受热面内的水和水蒸气吸收,产生高温高压的过热蒸汽,热能随之传递给工质;最后,在汽轮机中,蒸汽的热能膨胀做功,转化为汽轮机转子旋转的机械能,进而驱动发电机产生电能。整个过程涉及热力学、流体力学、材料学、机械学等多学科的协同作用。

1.1 锅炉系统主要故障模式

锅炉是能量转换的起点,其工作环境最为恶劣。主要故障包括:

受热面积灰、结渣与腐蚀: 燃料中的灰分在高温下熔化,附着于水冷壁、过热器、再热器及省煤器管壁,降低传热效率,导致排烟温度升高、锅炉效率下降,严重时引发局部过热爆管。烟气中的硫分、氯分等还会导致高温腐蚀和低温腐蚀。

“四管”泄漏: 水冷壁、过热器、再热器和省煤器管道因磨损(如飞灰冲刷)、腐蚀、疲劳或材料老化发生泄漏,是导致锅炉非计划停运的首要原因^[1]。

燃烧系统故障: 燃烧器烧损、点火失败、火焰不稳定、炉膛压力波动大等,影响燃烧效率,并可能引发炉膛爆燃或灭火事故。

汽水系统故障: 给水泵故障、水位控制失灵(满水或缺水)、汽水共腾等,威胁锅炉安全运行。

1.2 汽轮机系统主要故障模式

汽轮机是高速旋转的精密机械,其故障影响更为直接和严重。

叶片损伤包含多种类型,如固体颗粒侵蚀(固体颗粒冲击、摩擦叶片表面)、水蚀(水流长时间侵蚀叶片)、疲劳断裂(叶片长期工作反复承受应力致断裂)、围带和拉筋脱落。叶片故障会引发连锁反应,如动静碰磨(叶片故障打破动静部分间隙)、转子失衡(引发严重振动)。

振动异常是汽轮机运行中综合且敏感的故障征兆,

原因多样,常见的有转子质量不平衡(制造或使用中质量分布不均)、对中不良(部件未精确对准中心产生额外力矩和振动)、轴承磨损或油膜振荡(轴承长期使用磨损,油膜振荡与润滑油特性和轴承结构有关)、汽流激振(蒸汽流动产生不稳定激振力)、动静部件摩擦(破坏设备运行状态引发振动问题)^[2]。

通流部分结垢与效率衰减密切相关,蒸汽品质不佳时,盐分在喷嘴和动叶栅沉积,通流面积减小,导致机组出力和热效率下降,不利于机组运行。

轴承与油系统故障需重点关注,包括轴承巴氏合金磨损、脱落(影响轴承功能),润滑油温异常(过高或过低影响润滑效果),油质劣化(影响润滑性能和承载能力,影响转子支撑稳定性)。

汽封磨损后果严重,会使蒸汽泄漏量增加,破坏密封结构,导致机组内效率降低,影响机组性能和经济性。

1.3 主要辅机系统故障模式

辅机系统的可靠性同样至关重要。

给水泵与凝结水泵:轴承振动大、机械密封泄漏、汽蚀等。

风机(引、送风机):叶片磨损、积灰造成转子不平衡、轴承故障、喘振等。

高压加热器:管束泄漏、疏水不畅等,影响给水温度和回热效率。

冷却系统(凝汽器):铜管或不锈钢管腐蚀泄漏、结垢导致真空度下降,严重影响机组出力和煤耗。

除上述设备外,其他辅机如磨煤机也易出现故障,常见的有磨辊磨损、衬板损坏、煤粉细度超标等,这会影响到燃料的研磨质量和燃烧效率;输煤系统的皮带跑偏、撕裂、电机故障等问题,可能导致上煤中断,影响锅炉的稳定燃烧;除氧器若出现压力波动、水位异常或除氧效果不佳,会使给水中溶解氧含量超标,加剧热力设备的腐蚀;灰渣处理系统的阀门堵塞、输送管道磨损泄漏等故障,则会影响电厂的环保排放和灰渣的综合利用^[3]。

2 热能动力装置的主要检测技术

现代检测技术正从“离线、定期、解体”向“在线、实时、无损”方向发展,为精准掌握设备状态提供了可能。

2.1 状态监测与在线诊断技术

这是实现预测性维护的数据基础。通过在关键设备上安装永久性传感器网络,实时采集并分析运行参数。

振动监测与分析:在汽轮机、泵、风机等旋转机械的轴承座上安装振动传感器,采集振动速度、加速度、

位移信号。通过频谱分析、时域分析、趋势分析,可以精确诊断不平衡、不对中、松动、轴承缺陷、齿轮啮合等问题。

温度监测:包括关键轴承温度、润滑油温、电机绕组温度、锅炉管壁温度、烟气温度等。温度的异常升高往往是故障早期征兆^[4]。

性能参数监测:实时监测主蒸汽压力/温度、再热蒸汽参数、排烟温度、真空度、汽耗率、锅炉效率等。这些参数的趋势性变化能够揭示设备整体性能的衰减(如结垢、泄漏等)。

油液分析:定期对润滑油、抗燃油取样,进行理化指标分析(粘度、酸值、水分)和污染度分析(颗粒计数)。光谱分析和铁谱分析可以检测磨损金属颗粒的成分、尺寸和形貌,从而判断内部磨损部位和严重程度。

2.2 无损检测技术

NDT技术在不损伤被检对象的前提下,对部件内部和表面缺陷进行检测与评价,广泛应用于停机检修期间。

超声波检测:主要用于检测锅炉“四管”、主蒸汽管道、汽轮机叶片、转子中心孔等的内部裂纹、夹渣和壁厚减薄。相控阵和TOFD等先进技术提高了检测精度和效率。

射线检测(X/γ射线):用于检测焊缝内部缺陷(气孔、夹渣、未焊透等),对体积型缺陷敏感。

磁粉与渗透检测:用于检测铁磁性材料(如汽轮机转子、轴类)和非多孔性材料表面的裂纹等开口缺陷。

红外热像检测:通过检测设备表面温度场分布,可发现电气设备接触不良、锅炉炉墙保温缺陷、管道堵塞或内漏等问题。

2.3 性能试验与效率分析

定期进行标准化的性能试验(如ASME PTC标准),是评估和量化设备性能衰减、指导优化检修的必要手段。

锅炉热效率试验:通过反平衡法,测定排烟热损失、固体/气体未完全燃烧热损失等各项损失,计算锅炉效率,指导燃烧优化和受热面清理。

汽轮机热耗试验:精确测定汽轮发电机组在特定工况下的热耗率,是衡量汽轮机通流部分健康状态和机组经济性的核心指标。通过试验数据与设计值的对比,可以量化结垢、汽封磨损等导致的效率损失。

凝汽器性能试验:测试凝汽器的端差、过冷度、真空严密性等,评估其热交换性能和真空系统的严密性^[5]。

3 现代维护策略与管理体系

基于先进的检测与诊断技术,维护策略也从被动应对向主动预防、乃至预测优化演进。

3.1 传统维护策略及其局限性

事后维修:设备故障后才进行修理。成本看似最低,但导致的非计划停运损失巨大,且可能引发次生损坏,总体成本最高,适用于次要设备。

预防性计划维修:基于固定时间或运行周期进行检修,不论设备实际状态如何。优点是计划性强,能预防部分故障。缺点是易产生“过度维修”(增加备件和人力成本)或“维修不足”(两次检修间仍可能故障),经济性不佳。

3.2 以状态为基础的检修

状态检修(Condition-Based Maintenance, CBM)是通过持续或定期监测设备状态参数,只有当数据分析表明性能下降或有故障征兆时,才安排维护活动。其核心是“该修才修”。CBM高度依赖前述的在线监测和诊断技术。实施CBM能显著减少非计划停机,优化维修资源,延长设备使用寿命。例如,通过振动趋势分析,可以精准安排转子动平衡或轴承更换时间,避免突发故障。

3.3 以可靠性为中心的维修

以可靠性为中心的维修(Reliability-Centered Maintenance, RCM)是一种系统性的工程方法,它通过分析设备的功能、功能故障模式、故障影响及后果,来制定最有效、最经济的维修策略组合。RCM的分析过程包括:明确设备功能及性能标准;识别功能故障;分析故障模式及原因;评估故障后果(安全、环境、生产、维修成本);最后,针对不同后果的故障模式,选择适当的维修任务(如定期更换、状态监测、定期功能检查或故障后修理)。RCM不是一种单一的维修策略,而是为电厂所有关键设备“量身定做”一套包括CBM、计划维修甚至事后维修在内的综合性维修大纲,确保将有限的资源投入到对安全、环境和经济性影响最大的环节。

3.4 智能化与预测性维护的未来发展

随着工业互联网、大数据和人工智能技术的成熟,火力发电厂的检测与维护正迈向智能化、预测性新阶段。

数字孪生技术:构建关键设备的数字化镜像模型,实时映射物理设备的运行状态。通过模型仿真,可以预

测设备在特定运行条件下的性能演化与剩余寿命。

大数据分析与人机智能诊断:整合海量的实时运行数据、历史检修记录、同类型设备故障库,利用机器学习算法(如深度学习、随机森林)进行模式识别和关联分析。AI可以更早、更准地发现人眼难以察觉的微弱故障征兆,并实现故障根源的自动推理。

预测性维护平台:集成IoT数据采集、云存储、大数据分析和可视化展示,形成从状态感知、智能诊断、寿命预测到维修决策支持、工单闭环管理的全流程智能运维平台,最终实现从“预防故障”到“预测风险”、从“计划检修”到“动态优化”的根本性转变。

4 结语

火力发电厂热能动力装置的检测与维护是一门综合性极强的系统工程,关乎电厂的生命线。传统的维护理念和技术已难以满足新时代对电力生产安全性、经济性和环保性的苛刻要求。本文系统梳理了从关键设备故障分析、先进检测技术到现代维护策略的完整链条。研究表明,以在线监测、无损检测和性能试验为支撑的精准状态感知,是实施高级维护策略的前提。而以可靠性为中心的维修(RCM)与状态检修(CBM)相结合的管理体系,则是实现设备全寿命周期成本最优的科学方法论。展望未来,以数字孪生、大数据和人工智能为驱动的智能化工况、预测性维护,代表着行业发展的必然方向。我国火力发电企业应积极拥抱技术变革,加大在智能传感、数据治理和算法模型方面的投入,推动检测维护体系从“经验驱动”向“数据与模型驱动”的深刻转型,从而在能源结构转型的大背景下,确保庞大的火电资产持续、可靠、高效、清洁地运行,为构建新型电力系统提供坚实稳定的支撑力量。

参考文献

- [1]王阳杰. 火力发电厂热能动力装置自动检测技术[J]. 自动化应用, 2024, 65(23): 120-122.
- [2]黄磊. 火力发电厂热能动力装置的检测与维护[J]. 新疆有色金属, 2024, 47(01): 73-74.
- [3]李明洋. 火力发电厂热能动力装置的检测与维护方法研究[J]. 海峡科技与产业, 2022, 35(02): 81-83.
- [4]姚帅. 火力发电厂热能动力装置的检测与维护探究[J]. 科学技术创新, 2021, (23): 26-27.
- [5]荆凯. 火力发电厂热能动力装置的检测与维护方法分析[J]. 电力设备管理, 2021, (06): 90-91+127.