

火电厂锅炉检修新方法与维护措施探讨

周建峰

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司煤矸石热电厂 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要：随着电力行业对安全生产和高效运行的要求不断提高，火电厂锅炉检修与维护至关重要。红外热成像、超声波探伤、振动监测诊断及大数据分析预测等新方法，凭借非接触、高精度、实时性强等优势，实现对锅炉潜在故障的精准识别与预警。优化巡检监测、加强预防性维护、强化水质与燃烧管理及推进智能化升级等维护措施，可显著提升锅炉可靠性与经济性，为火电厂安全稳定运行提供有力保障。

关键词：火电厂锅炉；检修新方法；维护措施

引言

在能源结构转型与电力需求攀升的双重背景下，火电厂作为电力供应主力，其锅炉运行的稳定性与安全性直接影响发电效率和能源供应。传统检修方式存在滞后性、主观性等局限，难以满足现代火电生产需求。本文聚焦红外热成像检测、超声波探伤等新兴检测技术，结合优化巡检、智能化升级等维护措施，探讨火电厂锅炉高效检修与维护路径，旨在为火电行业提升设备管理水平、降低运维成本提供理论与实践参考。

1 火电厂锅炉检修的重要性

火电厂锅炉作为核心动力设备，持续稳定运行直接决定发电效率与产能输出。其运行环境长期处于高温、高压、高负荷状态，内部部件承受复杂的热力、机械应力，加之燃煤中杂质导致的腐蚀、磨损，极易引发安全隐患与性能衰退。通过系统性检修，可对水冷壁、过热器、省煤器等关键受热面进行深度检测，排查管壁减薄、裂纹萌生等缺陷，避免因局部薄弱引发爆管事故，保障设备结构完整性。燃烧系统作为锅炉能量转换枢纽，其性能直接影响燃料利用率。检修过程中，对燃烧器喷口磨损情况、配风系统调节精度、点火装置可靠性的全面评估与修复，能有效改善燃料与空气的混合效果，减少不完全燃烧导致的热量损失与污染物排放。对送引风机、给水泵等辅助设备的精密维护，可优化系统动力传输效率，降低厂用电率，提升机组整体经济性。随着电力需求波动与环保标准提升，火电厂对锅炉运行的灵活性与适应性提出更高要求。定期检修不仅能恢复设备初始性能，更可通过技术升级实现功能拓展。如对象受热面布置的优化调整，可增强机组变负荷响应能力；对脱硫脱硝装置的维护升级，能确保烟气排放稳定达标。这种预防性维护模式，可显著延长设备服役周期，避免突发故障导致的非计划停机，减少因产能中断造成

的经济损失，同时降低频繁启停对设备造成的疲劳损伤。从经济层面考量，科学的检修策略通过延长设备使用寿命、降低能耗成本，实现长期效益最大化。从安全角度出发，对承压部件的无损检测、对控制系统的功能校验，可有效规避高温高压工况下的灾难性事故。火电厂锅炉检修既是保障设备安全、经济运行的必要手段，更是提升发电企业核心竞争力的关键环节。

2 火电厂锅炉检修新方法

2.1 红外热成像检测法

锅炉运行时，作为高温热源会向外辐射红外线，其辐射强度与温度呈四次方关系，温度越高，红外线辐射越强。红外热成像检测技术利用这一特性，通过探测器将锅炉辐射的红外线转换为电信号，经放大、滤波等处理后，再通过A/D转换为数字信号，利用数字信号处理技术进一步处理，最终形成红外图像。在锅炉检测中，该技术可实时监测火焰温度分布，判断燃烧是否充分，评估燃烧效率。比如，若火焰某区域温度明显低于正常范围，可能意味着该区域燃烧不充分，需调整燃烧器参数。还能监测锅炉表面温度异常，及时发现蒸汽或水泄漏。例如，当锅炉某部位出现温度异常升高或降低的区域，经成像定位，若该区域对应管道或焊缝位置，大概率存在泄漏。通过定期对锅炉进行红外线扫描，可发现潜在的结垢、腐蚀风险。因为结垢、腐蚀部位的热传导与正常部位不同，在红外图像上会呈现出特定的温度特征，为后续维修提供依据，提前消除隐患，减少故障停机时间，提高锅炉运行安全性和稳定性^[1]。

2.2 超声波探伤检测法

超声波探伤基于超声波在介质中传播时，在不同质界面具有反射、折射和散射等特性。当超声波遇到缺陷或底面，部分超声波会反射回来，探伤仪接收并显示反射波，通过分析反射波的时间、幅度、相位等信息，

判断缺陷的位置、大小、形状和性质。在火电厂锅炉检修中,该方法适用于检测多种部件。例如,对于锅炉小径管对接焊缝,尽管存在直径小、曲率大、管壁薄、耦合差等难题,且管壁厚度常处于探头近场区内,但通过选用专用探头,如楔块与管外壁吻合良好的曲面探头、小尺寸晶片(一般不大于 $6\times 6\text{mm}$)、较高频率(常用 5MHz)、短前沿(一般不大于 5mm)、根据管壁厚度选择合适大K值(如管壁厚度 $4\text{--}8\text{mm}$,探头折射角选用 $70^\circ\text{--}75^\circ$)的探头,并制作灵敏度补偿试块,可提高检测准确性。对于管座角焊缝,由于结构紧凑,70%的缺陷常出现在支管侧焊缝熔合区,特别是根部和中部,在联箱外壁采用直射波法和一次反射波法检测,能有效发现缺陷。超声波探伤还可用于检测转子轴、叶轮、叶片、汽缸、高温紧固件等部件内部的裂纹、夹杂物等缺陷,确保锅炉各部件安全可靠运行。

2.3 振动监测诊断法

火电厂锅炉运行时,各部件会产生振动,其振动特性与设备运行状态紧密相关。振动监测诊断法通过在关键部件,如引风机的轴承座等位置设置振动传感器,实时采集振动信号。采集到的原始振动信号经频谱分析,提取电机、风机转子等不同部件的特征信号。对于电机,可建立定子故障引起的振动分类指标,提取气隙不均引起的电磁振动故障特征,建立转子导条异常引起的电磁振动分类指标。例如,当电机定子出现故障时,振动频谱会在特定频率处出现异常峰值;气隙不均会导致电磁振动频率呈现特定变化规律。对于风机,可提取转子不平衡引起的机械振动故障特征,建立各轴承座滚动轴承异常产生的机械振动分类指标,提取安装对中不良引起的机械振动故障特征。比如,风机转子不平衡时,振动信号会在转子旋转频率及其倍频处出现较大幅度值;轴承座滚动轴承异常时,振动频谱会在与轴承故障相关的特征频率处产生异常。通过对这些特征信号的分析,能实时监测锅炉设备的运行状态,及时发现电机和风机的各类缺陷,给出故障预警,确保电站锅炉设备正常运行,避免因部件故障引发的停机事故,提高生产效率。

2.4 大数据分析预测法

随着火电厂智能化发展,大数据分析预测法在锅炉检修中发挥重要作用。锅炉运行过程中,各类传感器持续采集大量数据,包括温度、压力、流量、振动等多参数信息。大数据分析预测法利用先进的数据挖掘和机器学习算法,对这些海量数据进行深度分析。通过建立锅炉运行状态模型,将实时采集的数据与模型对比,可及时发现异常情况。例如,当监测到的蒸汽温度、压力数

据偏离正常运行范围,且在一段时间内呈现特定变化趋势,结合历史数据和机器学习算法,能预测可能出现的设备故障,如过热器结垢可能导致蒸汽温度异常升高,提前发出预警,提示检修人员及时检查处理。还能根据大数据分析结果,优化锅炉运行参数。例如,分析不同负荷下的燃料消耗、热效率等数据,找到最优运行参数组合,提高锅炉燃烧效率,降低能源消耗。通过长期对数据的积累和分析,可预测设备的剩余使用寿命,合理安排检修计划,避免过度检修或检修不及时,降低维护成本,保障火电厂安全、高效、经济运行^[2]。

3 火电厂锅炉维护措施

3.1 优化日常巡检与监测

(1)构建覆盖锅炉全系统的立体巡检网络,以设备运行参数为核心,对炉膛温度、蒸汽压力、烟气流速等关键指标实施高频次动态追踪。采用便携式红外热成像仪对锅炉本体、管道焊缝及阀门连接处进行温度场扫描,通过温度异常分布识别潜在泄漏点与局部过热隐患,结合振动监测仪捕捉转动设备轴承、叶轮的振动频谱,精准定位机械故障早期征兆。(2)建立基于历史数据与实时工况的智能预警模型,将巡检数据导入大数据分析平台,运用机器学习算法构建设备运行健康曲线。针对锅炉汽包水位、主蒸汽温度等波动区间,通过统计学方法设定自适应阈值,当数据偏离正常范围时,系统自动生成包含异常类型、影响程度及处置建议的诊断报告,实现从被动响应到主动预判的转变。(3)推行巡检流程标准化与可视化管理,编制包含设备结构、检查要点、风险提示的三维可视化巡检手册。借助增强现实(AR)技术,在巡检终端实时叠加设备内部构造与历史缺陷信息,指导操作人员快速定位关键检查点,同时利用电子签名与轨迹追踪系统确保巡检数据的真实性与可追溯性,杜绝漏检、误检现象。

3.2 加强部件预防性维护

(1)基于锅炉部件失效模式与影响分析(FMEA)结果,对高温承压部件实施寿命预测管理。针对水冷壁、过热器等易受高温腐蚀与磨损的区域,采用超声波测厚仪定期测量壁厚减薄量,结合材料蠕变数据建立剩余寿命预测模型,提前规划更换周期。对燃烧器喷嘴、吹灰器喷头等易损件,通过工况模拟测试评估磨损速率,制定动态更换策略。(2)开展关键部件的性能恢复性维护,针对积灰结焦严重的省煤器与空气预热器,采用高压水射流与声波清灰相结合的复合清灰技术,在保障受热面完整性的前提下提升传热效率。对磨损超限的风机叶片、给水泵叶轮,运用激光熔覆技术进行表面强化处

理,通过添加耐磨合金涂层恢复部件几何精度与机械性能,降低因部件失效引发的非计划停机风险。(3)建立部件维护知识库与经验反馈机制,将每次检修过程中的故障现象、处理方法及改进措施进行结构化存储。利用知识图谱技术关联不同部件的故障案例,当出现相似异常时,系统自动推送历史解决方案供技术人员参考。通过定期组织部件维护案例研讨会,促进维护经验在团队内的共享与传承,提升整体故障处置能力^[3]。

3.3 强化水质与燃烧管理

(1)构建精细化的水质全过程管控体系,在锅炉补给水处理环节采用反渗透(RO)与离子交换树脂深度除盐工艺,将水中溶解固形物含量控制在极低水平。对循环水系统实施动态加药控制,根据水质硬度、pH值变化自动调整缓蚀阻垢剂投加量,利用在线浊度仪与电导率仪实时监测水质波动,确保炉水品质符合热力设备运行要求,减少结垢、腐蚀对锅炉效率的影响。(2)优化燃烧调整策略以实现高效低耗运行,通过安装在炉膛不同位置的火焰探测器与光谱分析仪,实时监测火焰形状、温度分布及燃烧产物成分。基于燃料特性与负荷变化,采用先进的燃烧优化算法动态调整一、二次风配比、煤粉细度与燃烧器摆角,确保燃料在炉内充分燃烧,降低飞灰可燃物含量与NO_x生成量,同时减少因不完全燃烧导致的受热面结焦与烟道积灰问题。(3)实施燃煤质量的精细化管理,建立入厂煤质全流程溯源系统,对煤质采样、制样、化验环节进行严格质量控制。利用近红外光谱分析仪快速检测煤质成分,结合锅炉设计参数与运行工况,建立燃煤适配性评价模型,根据煤质波动及时调整燃烧控制参数。通过混配不同煤种优化燃料特性,在保障锅炉安全稳定运行的前提下,提升能源利用效率与经济效益。

3.4 推进智能化系统升级

(1)部署基于物联网(IoT)的锅炉设备健康管理平台,通过在关键设备上加装高精度传感器,实现温度、压力、振动等数据的实时采集与无线传输。运用边缘计算技术在本地完成数据预处理,减少数据传输延迟与云

端存储压力,同时通过5G网络将核心数据上传至数据中心,构建设备运行的数字孪生模型,实现对锅炉系统运行状态的全维度、可视化监控。(2)引入人工智能(AI)技术提升故障诊断与决策支持能力,利用深度学习算法对海量运行数据进行特征提取与模式识别,构建能够自动识别锅炉常见故障(如汽水共腾、爆管泄漏)的智能诊断模型。结合强化学习算法,针对不同故障场景生成最优处置方案,通过虚拟仿真验证方案可行性后,向运行人员推送操作指导,缩短故障处理时间,降低人为决策失误风险。(3)推动锅炉控制系统的智能化改造,将传统分散控制系统(DCS)与先进过程控制(APC)技术结合,开发自适应控制策略。针对锅炉负荷频繁变动工况,运用模型预测控制(MPC)算法提前预测蒸汽需求,自动精准调整燃料供应、给水流量和风机转速,达成多变量协同优化控制。通过搭建数字孪生仿真平台,在虚拟环境迭代优化策略,确保锅炉高效、稳定运行^[4]。

结语

综上所述,红外热成像检测、大数据分析预测等新方法为火电厂锅炉检修带来了技术革新,优化巡检、智能化升级等维护措施有效提升了锅炉运行可靠性。随着火电技术发展,锅炉设备日益复杂,未来需持续探索更先进的检测技术与维护策略,加强多技术融合应用,以适应能源行业高质量发展要求,推动火电厂向绿色、高效、智能化方向迈进。

参考文献

- [1]马建云.火电厂锅炉检修运行与维护要点[J].电力系
统装备,2023(5):125-127.
- [2]王永涛.火电厂锅炉运行检修与维护技术分析[J].数
码-移动生活,2023(9):403-405.
- [3]李连喜.火电厂锅炉检修运行与维护技术分析[J].商
品与质量,2020(4):165.
- [4]孙忠航.火电厂锅炉检修中注意的问题及维护对策
分析[J].科学与财富,2023(36):4-6.