

浅析火电厂锅炉检修特点及安全管理

徐闫昊

国电投南阳热电有限责任公司 河南 南阳 473009

摘要: 锅炉作为火电厂的核心设备,承担着燃料燃烧、热能转换及蒸汽生产的关键任务,其运行状态直接影响机组的安全性与经济性。然而,锅炉长期处于高温、高压、高负荷工况下,受腐蚀、磨损、结垢等因素影响,设备故障率较高。因此,本文针对火电厂锅炉检修特点及安全管理进行了分析,涉及检修对象的复杂性、检修周期的计划性、检修前的安全准备以及检修过程的安全控制等方面,为提升火电厂锅炉检修安全效能提供参考。

关键词: 火电厂; 锅炉; 检修特点; 安全管理

引言

当前,火电厂锅炉检修面临技术复杂性提升、安全风险加剧、人工操作依赖度高等挑战,而传统检修模式以计划检修为主,存在过度检修或检修不足的问题,而状态检修、智能检修等新技术尚未完全普及。在此背景下,系统分析锅炉检修特点,构建科学的管理体系,成为保障火电厂安全稳定运行的重要课题。

1 火电厂锅炉检修的特点

1.1 检修对象的复杂性

(1) 锅炉本体由炉膛、受热面、燃烧器及汽水系统四大核心模块构成,其中炉膛作为燃料燃烧场所,需承受高温火焰与烟气的直接冲刷,其内壁敷设的耐火材料易因热震循环出现剥落或裂纹。受热面包括水冷壁、过热器、再热器及省煤器,通过管排布置实现热量交换,长期运行下管壁金属在高温蒸汽与烟气侧腐蚀的双重作用下,可能发生壁厚减薄甚至爆管。燃烧器作为燃料与空气混合的关键部件,其喷口结构、风速配比直接影响燃烧效率与火焰稳定性,局部过热或燃料成分波动会加速喷口烧蚀变形。汽水系统则涵盖汽包、下降管、联箱等压力容器,其密封性与强度需满足高温高压工况要求,阀门、管道连接处易因应力集中或介质冲刷导致泄漏。(2) 锅炉运行环境的高温高压特性进一步加剧了设备劣化进程。金属材料在长期服役中会因交变应力产生疲劳裂纹,尤其在受热面管排的弯头、焊缝等应力集中区域,裂纹扩展可能导致泄漏事故;烟气侧的硫化物、氯化物及灰分在高温下形成腐蚀性介质,与金属表面发生电化学或化学腐蚀,降低材料强度;燃料中的矿物质在燃烧后形成灰渣,部分熔融态灰粒粘附在受热面表面形成结焦,不仅降低传热效率,还会因焦层厚度不均引发局部过热,加速金属蠕变。(3) 锅炉系统与辅助系统的关联性则体现在功能协同与风险传导两方面。燃料输送系统

负责将煤或天然气输送至燃烧器,其给料稳定性直接影响锅炉负荷与燃烧工况,若输送管道堵塞或计量装置失效,可能导致炉膛熄火或燃料浪费;除灰除渣系统通过机械或气力方式清除燃烧产生的灰渣,若排渣不畅会引发炉膛结焦或受热面堵塞,甚至被迫停炉清理。

1.2 检修周期的计划性

(1) 定期检修包含大修与小修两类,大修通常每3-5年开展一次,覆盖锅炉本体及辅助系统的全面拆解检查,涉及受热面管排更换、汽水系统压力容器检验、燃烧器喷口修复等核心项目,旨在消除设备累积缺陷并恢复设计性能。小修则按年度或每运行3000-6000小时实施,重点针对易损部件进行局部维护,如阀门研磨、保温层修复、吹灰器清理等,以减少非计划停运风险。(2) 状态检修依托在线监测技术实现预测性维护,通过部署温度传感器、应力应变计、腐蚀监测探头等装置,实时采集受热面金属壁温、汽水系统压力波动、烟气成分等关键参数,结合大数据分析机器学习算法,对设备劣化趋势进行动态评估。当监测数据超出阈值时触发预警并生成检修工单,从而将传统“到期必修”转变为“应修必修”,有效降低过度检修导致的资源浪费。(3) 检修窗口期的确定需紧密衔接机组停运计划,火电厂通常利用负荷低谷期、燃料供应切换或电网检修时段安排锅炉停运。窗口期长度受发电计划、燃料库存及电网调度约束,一般小修窗口为7-15天,大修窗口为30-60天^[1]。窗口期限制要求检修计划具备高度灵活性,需提前6-12个月编制年度检修预案,并根据机组实际运行小时数、缺陷发生率及电网调峰需求动态调整,若遇突发设备故障或能源保供任务,还需通过压缩非关键工序、增加外包队伍等方式缩短检修工期,这对检修资源调配与工序衔接提出更高要求。(4) 备件储备与供应链管理是保障检修计划性的关键环节,锅炉检修涉及管材、阀门、密封件、耐

火材料等数千种备件,其储备量需平衡库存成本与停机风险。大修备件通常按设备BOM清单的10%~20%进行安全库存设置,关键部件如汽包人孔门、过热器联箱则需保持100%可用率。

1.3 检修技术的专业性

(1) 特种作业要求涵盖高空作业、有限空间作业及焊接与热处理等高风险环节。高空作业需搭建稳固脚手架或使用防坠落装置,作业人员必须系挂双钩安全带并确保高挂低用;有限空间作业如进入炉膛、烟道前,需彻底通风并检测氧气、可燃气体及有毒气体浓度,同时设置专人监护与应急通讯设备;焊接与热处理作业需针对锅炉承压部件的材质特性选择工艺参数。(2) 检测技术多样性是保障检修质量的核心手段,无损检测技术中,超声波相控阵检测可精确定位管排焊缝内部缺陷,渗透检测用于发现表面裂纹,磁粉检测则针对铁磁性部件的近表面缺陷。红外热成像技术通过热辐射分布图识别受热面管壁超温、保温层破损等问题,结合温度场分析可预判氧化皮脱落风险。金属光谱分析技术通过元素含量检测判断锅炉受热面管材是否发生错用或高温蠕变导致的成分偏析,为部件寿命评估提供数据支持。(3) 环保检修需求要求检修过程与脱硝、脱硫、除尘设备维护深度协同。脱硝系统检修需重点检查催化剂模块堵塞、磨损情况,利用声波清灰或高压水冲洗恢复活性,同时校验氨逃逸监测装置准确性。脱硫系统维护需确保吸收塔浆液循环泵、氧化风机等设备运行稳定,通过pH值与密度监测优化石灰石供浆量,检修期间需防止石膏雨与异味扩散。

1.4 检修风险的多发性

火电厂锅炉检修风险的多发性源于其复杂工况与多环节协同特性,主要体现在高温高压介质泄漏、机械与电气伤害隐患及交叉作业管理难度三方面。(1) 高温高压介质泄漏是锅炉检修的核心风险之一,蒸汽系统管道因长期热胀冷缩或焊接缺陷可能产生裂纹,检修时若隔离措施不到位,高压蒸汽喷出会造成严重烫伤。烟气侧泄漏多发生于炉膛密封处或烟道膨胀节,高温含尘烟气外溢会灼伤人员并污染作业环境^[2]。燃料系统泄漏涉及煤粉或天然气,煤粉积聚遇明火可能引发爆燃,天然气泄漏则与空气形成爆炸性混合物,检修前需通过氮气置换确保可燃气体浓度低于爆炸下限。(2) 机械伤害与触电事故隐患贯穿检修全过程,转动设备如给煤机、磨煤机、引风机等在检修时需断开电源并挂牌上锁,但若误送电或联轴器防护罩未复位,可能引发绞伤或卷入事故。电气设备检修涉及高压开关柜、变压器等,需严格执行

停电验电挂接地线流程,潮湿环境或绝缘工具老化可能增加触电风险。(3) 交叉作业与协同管理难度是锅炉检修的典型挑战,检修任务通常涉及锅炉本体、汽水系统、燃料输送、除灰除渣及环保设备等多专业协同,不同工种作业区域重叠时易因安全边界模糊导致碰撞或坠物伤害。多部门协作中,运行部门负责系统隔离与设备启停,检修部门执行缺陷处理,安全部门监督措施落实,若信息传递滞后或职责划分不清,可能引发误操作或监护缺失。

2 火电厂锅炉检修的安全管理要点

2.1 检修前的安全准备

(1) 风险评估与JSA编制是首要步骤,需组织运行、检修、安全专业人员对检修任务进行分解,识别高温高压介质泄漏、机械伤害、触电、火灾爆炸等潜在风险,结合设备历史缺陷数据与作业环境特点,评估风险等级并制定针对性控制措施。(2) 检修方案审批与安全技术交底需形成闭环管理,检修方案应包含作业步骤、质量标准、安全措施及应急预案,经设备管理、生产技术、安全监督等部门联合审查通过后实施^[3]。审批通过后需组织全体作业人员开展安全技术交底,重点讲解作业风险、控制措施及应急逃生路线,交底过程需录音录像并留存书面签字记录,确保人员知悉风险并掌握应对方法。(3) 人员资质审核与特种作业许可是保障作业合规性的关键,锅炉检修涉及高空作业、有限空间作业、焊接与热处理、电工等特种作业,需严格审核作业人员持证情况,确保高处作业证、焊接资格证、电工证等在有效期内,同时对起重指挥、叉车操作等特种设备作业人员进行资格复核,未经审核通过或未取得许可的人员严禁参与相关作业。(4) 工具设备检查与安全防护用品配置是消除物的不安全状态的最后防线,检修前需对电动工具、起重机械、气割设备等进行全面检查,确认绝缘性能、制动装置、安全附件等符合标准,对存在缺陷的工具设备立即停用并张贴禁用标识。并且,根据作业风险类型配置安全防护用品,通过“工具定置管理”与“防护用品穿戴检查表”确保物防措施落实到位。

2.2 检修过程的安全控制

(1) 现场安全隔离措施是防止能量意外释放的首道防线,检修前需对锅炉系统实施能量隔离,包括蒸汽管道阀门关闭并加装盲板、电气设备停电并验电挂接地线、燃料输送系统停运并物理隔离,同时对隔离点实施挂牌上锁管理,明确标识设备状态、隔离范围及责任人,防止误操作导致高温蒸汽喷出、电气触电或燃料泄漏等事故^[4]。对存在残留能量的设备,如压力容器、蓄能部件,需通过泄压、排空或安装泄放装置确保能量完全释放。

(2) 危险作业监护制度针对高空、动火、有限空间等高风险作业,需设置专职监护人全程值守,监护人需具备相应资质并熟悉应急处置流程,高空作业监护人需实时观察作业人员安全带使用情况及下方环境,防止坠物伤人。动火作业监护人需持续监测可燃气体浓度,确保作业区域氧含量与易燃物浓度符合安全标准。(3) 实时监测与应急响应通过技术手段实现风险预警与快速处置,检修现场需部署可燃气体检测仪、氧含量分析仪、红外热成像仪等设备,对作业环境关键参数进行连续监测,数据超限时自动触发声光报警并推送至监护人与管理人员终端。消防设施需保持联动状态,检修区域周边配置消防栓、泡沫灭火系统及移动式灭火器,动火作业点附近设置消防水带并保持通水状态,确保火灾初期能够迅速扑救。(4) 作业许可与工作票管理流程优化是提升安全管控效率的关键,需建立数字化作业许可平台,实现风险评估、措施制定、审批签发、过程执行的全流程线上管理,通过电子围栏、人脸识别等技术确保作业人员与许可范围一致。工作票需明确作业内容、安全措施、危险点及控制责任人,检修过程中严格执行“工完料尽场地清”验收制度,对跨班次作业实施交接班安全交底,确保安全措施延续性。

2.3 检修后的安全验收

(1) 设备试运与泄漏检查是验收的核心内容,检修完成后需分阶段开展水压试验与风压试验,水压试验针对锅炉承压部件,通过缓慢升压至设计压力的1.25倍并保压20分钟,检查焊缝、法兰连接处及阀门密封面有无渗漏,同时监测压力下降值是否符合标准。风压试验用于验证炉膛、烟道及除尘系统的严密性,通过风机送风使系统内压力升至500Pa左右,用肥皂水或烟雾发生器检测人孔门、膨胀节、防爆门等部位的泄漏情况,确保泄漏率低于设计值。(2) 安全设施恢复验证需对检修过程中拆除的防护装置进行全面复位检查,包括锅炉平台护栏、设

备孔洞盖板、转动机械防护罩等,确认其安装牢固且符合安全规范^[5]。同时对警示标识进行更新与补充,在高温高压区域、有限空间入口、电气危险点等位置重新张贴警示牌,确保标识清晰可见且内容准确,防止因安全设施缺失导致人员误入危险区域或发生机械伤害。(3) 检修记录归档与缺陷闭环管理是追溯检修质量的重要依据,需将检修过程中的风险评估报告、作业许可票、质量检验单、设备异动单等资料分类整理并电子化存档,形成完整的设备检修档案;对检修中发现的缺陷进行分级管理,明确责任人与整改期限,通过缺陷管理系统跟踪处理进度,确保所有缺陷均已消除或制定监控措施,实现“发现-分析-处理-验收”的全流程闭环。

结语

综上所述,火电厂锅炉检修是保障电力供应安全的关键环节,其特点决定了检修工作必须兼顾技术专业性与安全系统性。安全管理需贯穿检修全周期,通过风险预控、技术监督、人员培训、应急管理等手段构建多层次防控体系。未来,随着物联网、大数据、人工智能等技术的深入应用,锅炉检修将逐步实现状态监测智能化、故障诊断精准化、作业管控自动化,从而显著提升检修安全效能。

参考文献:

- [1]魏新平.热电厂锅炉检修特点及其安全管理措施探究[J].设备管理与维修,2021,(18):75-77.
- [2]张珂.热电厂锅炉检修特点及其安全管理问题研究[J].中国高新技术企业,2024,(12):109-110.
- [3]孙伟.热电厂锅炉检修特点及其安全管理问题研究[J].工程技术:全文版,2024,(7):00037.
- [4]程超.关于火电发电厂锅炉检修与维护措施研究[J].工程技术:全文版,2023,(10):00166.
- [5]于奎.关于发电厂机械动力设备检修管理的思考分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021,(4):16-19.