

电厂锅炉本体水循环系统技改与安全保障

何凯帆

山西漳山发电有限责任公司 山西 长治 046021

摘要: 电厂锅炉本体水循环系统对保障锅炉安全稳定运行意义重大。本文分析了系统现状,指出循环动力不足、热偏差、水质问题及部件老化等现存问题。针对这些问题,提出循环动力优化、热偏差控制、水质管理与防腐蚀、智能化监控与调节等技改方向与技术方案。同时阐述了冗余设计、压力与温度控制、泄漏检测与隔离、防爆与防超压等安全保障措施。最后说明了技改实施步骤,通过全面技改与保障,提升系统运行稳定性与安全性,为电厂稳定运行提供有力支撑。

关键词: 电厂锅炉; 水循环系统; 技改方向; 安全保障; 实施步骤

引言: 在电力生产领域,电厂锅炉本体水循环系统是确保锅炉安全稳定运行的关键环节,其运行状况直接影响电站的发电效率与安全性。随着电力需求的增长与锅炉技术的进步,现有水循环系统面临诸多挑战,如循环动力不足导致循环停滞、热偏差引发局部过热、水质控制不当造成结垢腐蚀以及部件老化磨损等,这些问题不仅影响锅炉运行效率,更埋下安全隐患。因此,对电厂锅炉本体水循环系统进行技术改造与安全保障升级,成为提升电站运行可靠性、保障电力供应稳定性的迫切需求。

1 锅炉本体水循环系统现状分析

1.1 系统组成与功能

锅炉本体水循环系统是保障锅炉安全稳定运行的核心单元,其运行模式主要分为自然循环与强制循环两种^[1]。自然循环依托汽液两相密度差形成循环动力,锅水在下降管中因密度较大自然下沉,在上升管内吸收炉膛辐射热后汽化,汽液混合物密度减小向上流动,最终实现汽液分离与循环往复,适用于中低压锅炉及容量适中的电站锅炉。强制循环则通过循环水泵提供机械动力,推动锅水在系统内快速流动,循环动力不受汽液密度差限制,适用于高压、超高压及大容量电站锅炉,可有效提升系统循环稳定性。系统核心组成部件涵盖汽包、下降管、上升管、水冷壁、省煤器及过热器等。汽包承担汽液分离与锅水储存功能,下降管负责将汽包内的饱和水输送至水冷壁下联箱,上升管将水冷壁内产生的汽液混合物送回汽包,水冷壁直接吸收炉膛热量完成锅水汽化,省煤器利用锅炉尾部烟气余热预热给水,过热器则将汽包产生的饱和蒸汽加热至额定参数后送入汽轮机做功。

1.2 现存问题

当前锅炉本体水循环系统运行过程中存在诸多亟待

解决的问题。循环动力不足是较为突出的一类,自然循环锅炉运行中易出现循环停滞与倒流现象,主要源于循环回路阻力分配不均、汽液两相流动特性异常,导致锅水循环速度无法满足换热需求。热偏差问题普遍存在,由于炉膛热负荷分布不均、循环回路结构差异,使得不同上升管及水冷壁管内的吸热强度与流量存在差异,进而引发局部过热或异常汽化,长期运行会损伤管壁结构。水质控制不当会引发结垢、腐蚀与沉积问题,给水及锅水中的杂质在管壁沉积形成水垢,降低换热效率并加剧局部过热,腐蚀性介质会破坏管壁金属结构,沉积物则会堵塞流通截面,影响循环稳定性。系统长期运行易出现老化与部件磨损,阀门密封性能下降会导致泄漏,管道受温度变化、介质冲刷及应力作用会发生变形,这些问题均会影响水循环系统的正常运行,埋下安全隐患。

2 技改方向与技术方案

2.1 循环动力优化

针对循环动力不足问题,需结合锅炉循环模式针对性制定技改方案^[2]。自然循环锅炉侧重通过回路结构优化提升循环动力,合理调整下降管与上升管直径比,依据流体力学原理优化管径匹配关系,减小循环回路沿程阻力与局部阻力,同时优化循环回路整体设计,缩短无效流电路径,提升汽液两相流动顺畅性,从根本上改善循环停滞与倒流问题。强制循环锅炉则以动力源升级为核心,升级循环泵性能,重点提升循环泵流量与扬程指标,同时强化循环泵运行可靠性,选用高效节能型循环泵降低能耗,增加备用泵配置,构建冗余保障机制,避免单一循环泵故障导致系统停运,确保循环动力持续稳定供应。

2.2 热偏差控制

热偏差控制需从热量分配与受热面结构两方面协同发力,源头减少局部过热与异常汽化风险。优化燃烧器

布置与配风方式,通过调整燃烧器安装角度、间距及数量,实现炉膛内燃料均匀燃烧,同时优化配风逻辑,合理分配一次风、二次风比例,均衡炉膛温度场分布,减少局部热负荷集中现象。优化水冷壁结构,结合锅炉容量与运行参数,采用螺旋管圈或内螺纹管水冷壁设计,螺旋管圈可通过螺旋布置使水冷壁管均匀受热,避免局部受热不均,内螺纹管则能强化管内流体扰动,提升换热效率,同时抑制汽膜形成,有效缓解热偏差带来的管壁过热问题,保障水冷壁安全稳定运行。

2.3 水质管理与防腐蚀

水质管理与防腐蚀技改需兼顾杂质去除与管壁防护,构建全方位水质保障体系。升级水处理系统,采用反渗透、离子交换等高效水处理技术,替代传统低效处理工艺,深度去除给水及锅水中的悬浮物、溶解盐、重金属离子等杂质,降低水质硬度与浊度,从源头减少结垢与腐蚀隐患。强化管壁腐蚀防护,可通过添加专用缓蚀剂,在管壁表面形成致密防护膜,隔绝腐蚀性介质与管壁接触,同时根据系统运行介质特性,选用不锈钢、合金钢等耐腐蚀材料替换传统普通碳钢材料,提升管道与部件抗腐蚀能力,减少腐蚀与沉积现象,延长设备使用寿命。

2.4 智能化监控与调节

依托工业智能化技术,构建全方位、高精度的监控与调节体系,实现水循环系统动态优化运行。部署全覆盖传感器网络,在循环回路关键部位、核心设备处安装流量、压力、温度、水质参数监测传感器,实现各项运行参数实时采集与传输,精准捕捉系统运行异常信号。引入先进自动控制系统,结合PID调节、模糊控制等控制算法,基于传感器采集的实时数据,动态调整循环参数,包括循环泵转速、阀门开度、水处理系统运行参数等,实现水循环系统运行状态自适应调节,及时纠正参数偏差,确保系统始终处于最优运行状态,提升运行稳定性与可靠性。

3 安全保障措施

3.1 冗余设计

冗余设计是提升水循环系统安全冗余度、防范单一设备故障引发安全事故的核心措施,遵循电站锅炉安全运行的工程设计原则。针对循环泵、阀门等关键动力与控制部件,采用双回路或备用设计模式,使关键部件在主用设备出现故障时,备用设备可快速投入运行,避免因单一部件失效导致系统循环中断^[1]。循环泵备用设计需契合系统运行负荷需求,确保备用泵启动后能快速达到额定运行参数,维持系统循环动力稳定;阀门备用设计需优化回路切换逻辑,减少切换过程中的参数波动。同

时配置应急供水系统,选用柴油驱动泵、高位水箱等应急设施,柴油驱动泵具备独立动力供应能力,可在全厂停电等极端情况下正常启动,高位水箱依托重力实现应急供水,两者协同作用,确保系统出现断水工况时,能及时补充锅水,防止水冷壁干烧、管壁过热等恶性安全事故发生,保障锅炉本体结构安全。

3.2 压力与温度控制

压力与温度是水循环系统运行的核心控制参数,其稳定性直接决定锅炉运行安全,需通过完善的控制措施与维护机制实现精准管控。安全阀与泄压装置作为系统超压保护的关键设备,需建立定期校验与维护机制,按照电站设备定期检验规范,定期检测安全阀起跳压力、密封性能,及时排查泄压管路堵塞、阀门卡涩等隐患,确保设备处于良好运行状态,在系统压力超出额定范围时能快速启动泄压,避免超压损坏管道与锅炉本体。针对过热风险,制定科学的过热保护策略,采用喷水减温与旁路系统相结合的控制方式,喷水减温通过向过热蒸汽中喷射合格给水,精准调节蒸汽温度,避免蒸汽温度过高损伤过热器与汽轮机;旁路系统可在系统负荷波动或异常时,将部分蒸汽导入旁路管路,减少过热器受热负荷,防止局部过热,确保系统温度参数维持在额定区间。

3.3 泄漏检测与隔离

泄漏是水循环系统常见安全隐患,易引发介质流失、局部压力下降、腐蚀加剧等连锁问题,需通过精准检测与快速隔离措施防范事故扩大。采用在线泄漏监测技术,结合声发射、红外成像等成熟检测手段,声发射技术可捕捉管道泄漏时产生的弹性波信号,实现泄漏点精确定位,红外成像技术可通过温度场异常分布,快速识别管道、阀门等部位的隐性泄漏,两种技术互补应用,实现泄漏隐患的实时监测与早期预警。同时配置快速隔离阀与分区控制逻辑,将水循环系统划分为多个独立运行分区,每个分区设置专用快速隔离阀,当监测到某一分区出现泄漏时,快速关闭对应隔离阀,切断泄漏分区与系统主体的连接,限制泄漏范围扩大,减少介质流失,为泄漏处置争取时间,降低泄漏对系统整体运行的影响。

3.4 防爆与防超压措施

防爆与防超压措施需围绕汽包运行安全与系统压力管控展开,契合电站锅炉防爆防超压的工程技术要求。采用汽包水位三冲量控制模式,以水位、蒸汽流量、给水流量三项参数为控制依据,通过联动调节给水流量,维持汽包水位稳定,避免水位过高导致蒸汽带水、水位过低引发汽包干烧,进而防范汽包超压、防爆等安全事故。同时配置爆破片与防爆门等超压释放设备,爆破片具备精

准的爆破压力设定值,在系统出现极端超压且安全阀失效时,可快速爆破释放超压能量,降低系统压力;防爆门主要布置于炉膛、烟道等与水循环系统关联部位,可在内部压力骤升时自动开启泄压,防止压力传导至水循环系统引发管道破裂,两者与安全阀协同构成多层次超压保护体系,全面防范超压与防爆安全风险,保障系统整体运行安全。

4 技改实施步骤

4.1 前期准备

前期准备是技改工程有序推进、保障技改质量与施工安全的基础性环节,严格遵循电站锅炉技改工程的标准化流程与技术规范。开展全面系统诊断与精准数据采集工作,聚焦循环倍率、流速分布等核心运行参数,同步采集压力、温度、水质等关联参数,通过数据整合、分析与校验,明确系统现存问题根源,精准掌握系统运行特性与薄弱环节,为技改方案设计提供科学、可靠的数据支撑^[4]。基于采集的精准数据与系统诊断结果,推进技改方案设计工作,结合锅炉实际运行负荷、现有设备工况及既定技改目标,优化技改工艺细节与实施路径,确保方案兼具可行性、针对性与经济性。同步开展风险分析工作,聚焦技改过程中可能出现的设备适配性不足、施工安全隐患、运行参数波动等潜在风险,梳理风险产生的各类诱因,制定切实可行的防控措施,为后续技改实施规避风险、减少损耗,不涉及具体案例与相关法规内容。

4.2 分阶段改造

分阶段改造遵循优先级优化原则与节能降耗理念,兼顾技改实施效果与电站生产连续性,最大限度缩短锅炉停机时间,保障电站正常供电需求。优先推进关键部件升级工作,聚焦循环泵、水冷壁等对水循环系统运行稳定性起决定性作用的核心部件,此类部件性能直接影响循环动力供给与换热效率,优先升级可快速提升系统核心运行性能,降低技改过程中系统突发故障的风险。关键部件升级完成并经检验确认运行稳定后,逐步开展老化管道与阀门的替换工作,结合锅炉停机检修窗口合理规划替换顺序与施工进度,避免集中替换导致停机时间过长。替换过程中严格规范施工流程,注重管道对接精度与阀门密封性能,减少施工过程中对现有系统的干

扰,确保替换后的管道与阀门能够精准适配技改后系统的运行参数,进一步提升系统整体密封性与运行稳定性。

4.3 调试与运行

调试与运行是检验技改实施效果、确保系统达到设计运行标准的关键环节,严格按照电站锅炉调试规范与水循环系统运行要求开展相关工作。开展冷态启动调试,全面检查系统各部件连接密封性、设备运行灵活性,细致排查管道堵塞、阀门卡涩等各类潜在问题,确认无异后逐步推进热态参数调整,依据锅炉额定运行参数,逐步提升系统运行负荷,实时监测并调整循环流量、压力、温度等核心参数,确保各项参数匹配合理,系统运行平稳,无循环停滞、局部过热等异常情况。开展智能化系统调试工作,完成各项运行参数初始化,合理配置基础控制逻辑,精准校准传感器监测精度,调试自动控制系统联动性能,确保传感器实时采集的数据准确可靠,自动控制系统可根据参数变化实现自适应动态调节,使水循环系统充分适配智能化运行需求,最终实现技改后系统安全、稳定、高效运行。

结束语

电厂锅炉本体水循环系统技改与安全保障措施的实施,是提升锅炉运行稳定性与安全性的的重要举措。通过循环动力优化、热偏差控制、水质管理与防腐蚀及智能化监控与调节等技改方向,可有效解决现有系统存在的问题,提升系统运行效率。同时,冗余设计、压力与温度控制、泄漏检测与隔离及防爆与防超压等安全措施,为技改后系统提供了全方位的安全防护。在技改实施过程中,严格遵循前期准备、分阶段改造及调试与运行的步骤,确保技改工程有序推进。

参考文献

- [1]黄伟.火电厂循环流化床锅炉运行中节能降耗技术的应用[J].电力设备管理,2025(14):264-266.
- [2]吴华新.电厂锅炉余热回收结合有机朗肯循环发电技术分析[J].中国新技术新产品,2025(18):123-125.
- [3]马旭,韩松,倪斌,等.循环排污水全膜法处理工艺在电厂锅炉补给水中的应用[J].给水排水,2025,51(6):73-78.
- [4]张赶年,于大海,许峰.热电厂循环流化床锅炉协同处置固废研究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(17):98-99,105.