

锅炉结垢腐蚀对节能的影响

陈大伟

浙江省特种设备协会 浙江 杭州 310020

摘要：为解决热电厂锅炉运行能耗偏高、热损失量大、能效不达标的问题，本文基于热力学节能理论，剖析锅炉设备、运行、管理层面的能耗短板，重点探究燃烧优化、余热回收、设备改造及智能管控四类核心节能技术。通过工程改造实践验证，系统性节能技术可有效降低各类热损失，提升锅炉热效率，减少煤耗与电耗。研究可为热电厂锅炉节能改造、能效提升及低碳运行提供实操参考。

关键词：热电厂；锅炉；节能技术

引言：在双碳政策落地与能源集约化利用的行业背景下，热电厂作为能源消耗核心主体，锅炉运行能效直接决定企业生产能耗与环保水平。当前多数在运热电厂锅炉存在设备老化、燃烧调控精度不足、余热利用率低、运维管理不精细等问题，能源浪费问题突出。为挖掘锅炉节能潜力，本文结合锅炉运行原理与节能理论，系统分析能耗损耗成因，探究多元化节能技术，并通过工程应用验证节能成效，助力热电行业绿色高效发展。

1 热电厂锅炉运行原理与节能理论基础

1.1 热电厂锅炉系统基本构成与运行原理

(1) 核心设备：炉膛为燃料燃烧区；受热面吸收烟气热量；省煤器预热给水，空气预热器加热送风，降低排烟能耗；送引风系统维持通风，除尘脱硫系统保障环保排放。(2) 运行流程：燃料在炉膛燃烧，化学能转热能；高温烟气经各级受热面换热，产生蒸汽；低温烟气净化后排出；水汽循环持续传递热能，完成能量转换。(3) 运行特性：可长期连续稳定运行，能随电、热负荷调峰；具备电热耦合制约关系，运行调控难度高于普通工业锅炉^[1]。

1.2 锅炉能耗评价核心指标

(1) 锅炉热效率：是核心能耗指标，通过核算燃料输入总热量与工质有效利用热量的比值计算，直观反映锅炉热能转化的整体效率。(2) 各项热损失指标：主要包含排烟、机械不完全燃烧、化学不完全燃烧、散热及排渣热损失，是造成锅炉能量损耗、降低运行效率的主要因素。(3) 能耗与环保辅助指标：以供电煤耗、供热煤耗衡量能源利用水平，以碳排放强度、烟气排放浓度评判锅炉运行环保性能。

1.3 锅炉节能核心理论

(1) 能量守恒与梯级利用理论：依托热力学定律，依据热能品质高低分级利用，实现高品位热能供发电、

低品位热能供供热，减少能量浪费。(2) 燃烧优化理论：燃料充分燃烧需适配合理风煤比、炉膛温度与氧量浓度，精准调控参数可规避不完全燃烧问题，提升燃料燃烧利用率。(3) 余热回收利用理论：通过设备回收低温烟气、废热水、炉渣中的残余热能，将其转化为可用热能二次复用，大幅提升系统整体能效。

2 热电厂锅炉能耗现状及主要问题分析

2.1 热电厂锅炉运行能耗现状调研

(1) 调研对象与方案：本次调研选取区域内典型在运热电联产锅炉机组作为研究对象，结合机组常年运行特点确定常态化调研周期。通过现场实时监测、机组后台数据采集、台账资料统计相结合的方式，全面收集锅炉运行、燃料消耗、烟气排放、能耗损耗等多维度数据，保障调研数据真实有效、贴合实际工况。(2) 机组基础运行参数：调研重点统计锅炉高低负荷交替运行工况、日均及峰值燃料消耗量、主辅蒸汽压力与温度参数、尾部排烟温度、炉膛氧量、送引风机运行参数等核心数据。同时记录机组调峰期间参数波动情况，为后续能耗核算与问题分析提供基础数据支撑。(3) 能耗指标现状分析：基于采集数据核算锅炉实际运行热效率、供电及供热煤耗、各类热损失占比等关键指标。对比行业标准最优工况参数，发现当前机组整体能耗水平偏高，各类热损失叠加导致锅炉运行能效未达到设计标准，节能优化空间较大。

2.2 锅炉主要能耗损耗环节分析

(1) 排烟热损失占比过高：锅炉尾部排烟温度普遍高于标准工况，空气预热器、省煤器长期运行后换热效率下降，低温烟气余热回收不彻底。大量低温余热随烟气直接排放，是当前锅炉占比最大的能耗损耗来源。(2) 燃料燃烧不充分：日常运行中风煤配比调控精度不足，炉膛内部配风分布不均，加之入炉燃料粒度、含水率不

达标,极易引发化学及机械不完全燃烧问题,造成燃料资源浪费,降低燃烧换热效率^[2]。(3)设备散热与工质损耗:锅炉本体、蒸汽管道及附属设备保温层存在老化、破损、脱落问题,持续产生散热损耗。同时机组运行中存在微量水汽泄漏、排渣携热、废水排热等问题,形成常态化持续性能耗损耗。(4)运行调控不合理:机组多依赖人工经验调控,负荷切换、工况调整时存在调控滞后问题,运行参数无法精准适配实时负荷需求,机组长期偏离最优运行工况,间接增加能耗损失。(5)受热面结垢与腐蚀损耗:炉水品质控制不当或水处理失效时,受热面内壁易结垢、发生腐蚀,形成附加传热热阻,大幅降低换热效率,导致排烟温度升高、燃料消耗增加,严重时引发爆管停炉,造成额外能量损失与维修成本,进一步加剧锅炉运行能耗。

2.3 锅炉节能运行现存核心问题

(1)设备层面:部分锅炉及辅机设备服役年限较长,核心换热设备性能衰退,辅机与主机工况匹配度不足。同时余热回收、节能调控配套设施不完善,老旧设备硬件短板制约节能效果提升。(2)技术层面:现有节能技术应用较为单一,适配性有限,缺乏系统性节能改造方案。机组智能化管控水平偏低,无实时能耗监测与智能调控系统,低温余热深度利用技术匮乏,能源梯级利用率不足。(3)管理层面:企业节能运行管理制度不够健全,日常能耗管控缺乏标准化、精细化规范。操作人员专业技术能力参差不齐,节能运行意识薄弱,工况调整、设备运维操作不规范,进一步加剧能耗浪费。

3 热电厂锅炉核心节能技术研究

3.1 锅炉燃烧优化节能技术

(1)精准风煤比调控技术:该技术以炉膛烟气实时氧量数据为调控依据,摒弃传统固定配比运行模式,动态调节锅炉送风量与给煤量,使风量、煤量实时匹配机组负荷工况。通过精准平衡燃烧配风,有效规避风量不足引发的不完全燃烧问题与风量过剩造成的排烟热损耗,稳定炉膛燃烧工况,大幅降低化学与机械不完全燃烧热损失。(2)燃料预处理优化技术:针对原煤粒度不均、杂质较多、配比不合理等问题,通过筛分、粉碎、均质配比等预处理工艺优化燃料状态。严格控制入炉燃料粒径与含水率,保证燃料颗粒均匀度,改善燃料着火与燃尽性能,缩短燃烧周期,提升炉膛燃料燃烧充分度,从源头减少燃料浪费,提升基础燃烧效率^[3]。(3)炉膛配风结构优化技术:结合锅炉炉膛结构与燃烧流场特性,优化二次风、三次风的送风比例、风速与喷射角度。重构炉膛内部空气流场,消除局部缺氧、高温死角,均衡炉

膛整体温度分布,避免局部高温结焦与低温燃烧不充分问题,进一步降低燃烧热损失,提升炉膛换热稳定性。

3.2 锅炉余热回收节能技术

(1)尾部烟气余热回收技术:针对锅炉排烟温度高、烟气余热浪费严重的问题,在烟道尾部加装低温省煤器、热管换热器等高效换热设备。充分回收低温烟气中的残余热量,用于预热锅炉给水、加热送风,有效降低排烟终端温度,实现烟气余热梯级利用,减少排烟热损耗。(2)排渣余热回收技术:锅炉高温炉渣携带大量热能,通过配套冷渣换热设备对炉渣进行冷却换热,回收固化在炉渣中的余热。回收后的热能可用于机组补水加热或厂区供暖,实现废弃热能二次转化利用,有效降低排渣带来的热损失^[4]。(3)废汽废水余热复用技术:收集机组运行过程中产生的疏水、排汽及高温废水,通过换热装置回收其蕴含的余热,将回收热能接入锅炉给水系统或厂区供热系统。实现废汽废水余热闭环复用,减少外源加热能耗,显著提升系统整体能源利用率。

3.3 设备改造与保温节能技术

(1)受热面优化改造:对老旧省煤器、空气预热器进行结构升级与扩容优化,改良换热片结构与排布方式,增大换热接触面积,提升设备换热系数。强化烟气与工质的热量交换能力,提升设备吸热、换热效率,降低尾部烟气余热残留量。(2)辅机节能改造:针对送引风机、给水泵等大功率辅机工频运行能耗高、工况适配性差的问题,实施变频节能改造。根据锅炉实时负荷动态调节辅机运行频率,避免设备恒速运行造成的电能浪费,有效降低机组厂用电耗。(3)保温密封优化改造:更换锅炉本体、蒸汽管道的老旧破损保温材料,采用高效隔热保温结构,同时修复炉膛、烟道密封缺陷,消除漏风隐患。有效减少设备表面散热损耗与系统漏风热损失,提升设备整体保温密封性能。

3.4 智能运行管控节能技术

(1)智能监测系统搭建:依托温度、压力、氧量、流量等高精度传感设备,全方位实时采集锅炉燃烧、换热、排烟、辅机运行等核心参数。实现机组能耗状态、运行工况、设备隐患的全天候精准监测,为节能调控提供数据支撑。(2)自动优化调控技术:引入PID智能调控与预测控制算法,替代传统人工经验调控模式。根据外界供热、供电负荷变化,自动动态校准风煤比、炉膛温度、给水流量等关键参数,让机组始终维持在最优高效运行工况。(3)故障预警与节能运维:搭建智能故障诊断系统,实时分析设备运行数据,精准识别积灰、漏风、换热异常等潜在能耗隐患,实现故障提前预警、及时处置。

通过常态化智能运维,规避异常工况造成的额外能耗,保障机组长期高效节能稳定运行。

4 热电厂锅炉节能技术工程应用与效果分析

4.1 节能改造方案整体设计

(1) 改造基本原则:本次节能改造遵循经济性、适配性、稳定性与环保性原则,在不改动锅炉主体结构、不影响机组安全稳定运行的基础上优化设计。方案贴合机组原有工况与调峰特点,选用成熟可靠、性价比高的节能技术,兼顾节能增效与超低排放标准,满足机组长期生产运行需求。(2) 组合节能技术选型:针对锅炉能耗偏高、燃烧不充分、余热浪费及管控滞后等问题,采用多技术耦合一体化节能方案。融合精准燃烧优化、尾部余热回收、辅机及保温改造、智能运行管控技术,构建软硬件结合的系统性节能体系,全面降低机组能耗损耗。(3) 改造实施流程:按照标准化流程施工,先完成老旧设备更换、节能设备加装及智能系统布设等硬件改造,再开展系统调试、参数标定与工况优化,最后实施机组带负荷试运与性能校验,确保改造合规落地、机组稳定达标运行。

4.2 改造前后运行数据对比分析

(1) 能耗指标对比:通过改造前后实测数据对比,改造后锅炉有效热效率显著提升,供电煤耗、供热煤耗大幅下降,尾部排烟温度明显降低,燃料与电能资源消耗得到有效控制,核心能耗指标得到全方位优化,节能效果直观显著。(2) 热损失指标对比:改造后锅炉各类热损失均出现不同程度下降,其中排烟热损失降幅最为明显,燃料不完全燃烧热损失、设备散热损失及排渣热损失同步降低,各类能量损耗问题得到有效改善,能量利用效率大幅提升。(3) 运行稳定性对比:节能改造完成后,机组负荷调节适配性显著增强,各运行参数波动幅度减小,工况调控精度提升,设备异常故障发生率明显降低,有效改善了机组调峰工况下的运行稳定性与可靠性^[5]。

4.3 节能改造综合效益分析

(1) 经济效益:改造后机组煤炭消耗量与厂用电耗显著减少,有效降低热电厂日常生产运营成本。结合改造成本与年度节约能耗费用核算,项目投资回收期合理,长

期连续运行可稳定产生良好的经济收益。(2) 环保效益:能耗降低同步减少煤炭燃烧总量,有效降低厂区碳排放与烟气污染物排放浓度,使机组排放指标更贴合超低排放标准与双碳政策要求,具备良好的生态环保价值与社会价值。(3) 运维效益:节能改造优化了设备运行状态,减少设备磨损与故障频次,大幅降低设备检修、维护成本。同时智能化管控系统提升机组运行精细化水平,降低人工操作误差与运维工作量。

4.4 现存不足与优化建议

(1) 技术应用现存不足:本次改造仍存在一定局限性,深度低品位余热利用技术尚未完全落地,极端低负荷工况下燃烧调控适配性不足。同时配套智能化运维体系尚未完善,操作人员专项节能运维能力有待提升。(2) 后续技术优化建议:后续可开展深度余热回收节能改造,完善低负荷自适应调控程序,升级智能监测管控系统。同时建立常态化节能运维管理制度,定期开展人员技能培训,持续挖掘机组节能潜力,实现长效节能运行。

结束语

本文系统完成热电厂锅炉能耗问题分析与节能技术研究,通过多技术耦合改造,有效优化锅炉运行工况,降低能耗与污染物排放,实现经济、环保与运维多重效益。同时指出当前改造存在低品位余热利用不足、低负荷调控适配性差等短板。后续需持续优化智能调控体系、深化余热深度回收技术,完善标准化运维制度,持续挖掘机组节能空间,推动热电锅炉长效节能、稳定低碳运行。

参考文献

- [1]史平.节能降耗技术在锅炉运行中的应用[J].山西冶金,2023,42(10):116-119.
- [2]刁洪虎,赵钦,陈显.节能降耗技术在锅炉运行中的应用研究[J].科技风,2022,4(20):112-115.
- [3]李钰.燃气锅炉的节能运行与控制技术探析[J].新型工业化,2022,12(3):177-179.
- [4]赵越.燃气锅炉供热系统节能运行设计探析[J].产品可靠性报告,2023,31(5):113-115.
- [5]李洪伟.燃气锅炉的节能运行与技术控制探析[J].中国设备工程,2021,14(20):229-232.