火力发电锅炉节能降耗技术探讨

蔡帅涛

国电投（滨海）发电有限公司　江苏　盐城　224500

摘　要：火力发电是我国能源供应的核心方式，锅炉作为火力发电核心设备，其运行效率直接影响发电能耗与经济性，节能降耗是提升火力发电行业竞争力的关键路径。本文聚焦火力发电锅炉节能降耗需求，从燃烧系统、热力系统、辅机系统及运行调控四个核心维度，系统梳理各系统节能降耗技术要点，优化燃烧方式、改进设备结构、提升换热效率、强化运行调控，形成全方位节能降耗技术体系，为火力发电锅炉高效、低碳运行提供技术支撑，助力电力行业绿色低碳转型。

关键词：火力发电锅炉；节能降耗；燃烧优化；余热回收；运行调控

引言：随着我国能源结构优化与“双碳”目标推进，火力发电行业面临节能降耗与环保减排双重压力。锅炉作为火力发电过程中能量转换的核心装备，长期处于高负荷、高能耗运行状态，其燃烧效率、换热性能及辅机运行状态均会影响整体能耗水平。当前，部分火力发电锅炉存在燃烧不充分、换热效率偏低、辅机能耗过高、运行调控不合理等问题，导致能源浪费严重。因此，开展火力发电锅炉节能降耗技术探讨，梳理适配的节能技术与调控方法，对降低发电能耗、提升设备运行经济性具有重要工程意义。

1 锅炉燃烧系统节能降耗技术

1.1 燃烧方式优化技术

煤粉燃烧优化技术聚焦煤粉燃尽率提升，通过优化煤粉细度与风粉混合均匀度，减少不完全燃烧热损失[1]。调整煤粉喷入角度与速度，适配炉膛内流场分布，让煤粉在高温区域停留时间延长，促进燃料充分燃烧，降低灰渣可燃物含量。循环流化床燃烧调整技术以工况参数优化为核心，合理调控运行氧量、一二风比率及床压，优化上下层二次风配比，改善床料流化状态。优化调整可减少飞灰与炉渣可燃物含量，提升燃烧经济性，适配不同煤种燃烧需求。分层燃烧与分段燃烧技术依据燃料燃烧特性划分燃烧区域，按煤层厚度与燃烧阶段分配风量。分层布设燃料实现上下层有序燃烧，分段控制温度与风量，避免局部温度过高或燃烧不充分，减少热量散失与燃料浪费。

1.2 燃烧设备改进技术

燃烧器结构优化侧重气流组织与燃料雾化效果提升，改进喷口形状与布置方式，强化风粉混合效率。优化燃烧器出口射流特性，抑制火焰偏斜，减少炉膛局部结渣，提升燃烧稳定性，降低过量空气系数。炉膛结构改进结合燃料燃烧特性调整炉膛几何尺寸与受热面布置，优化炉膛内温度场分布。改进炉拱形状与位置，适配实际燃用煤种，强化辐射换热效果，延长燃料在炉膛内停留时间，促进燃料充分燃尽。煤粉制备系统优化围绕煤粉质量与能耗控制展开，调整磨煤机运行参数，优化煤粉研磨效率。改进煤粉分离与输送环节，减少煤粉损耗，确保煤粉细度与均匀度符合燃烧需求，降低制备系统电能消耗。

1.3 燃料适配与预处理技术

燃料筛选与配比技术通过筛选去除燃料中杂质与不合格颗粒，根据锅炉燃烧需求搭配不同煤种。优化燃料配比方案，平衡燃料热值与燃烧特性，适配锅炉设计参数，避免单一煤种燃烧导致的效率低下。燃料干燥与破碎处理技术降低燃料水分含量，减少燃烧过程中水分蒸发消耗的热量。通过合理破碎使燃料颗粒度均匀，增大燃料与空气接触面积，提升燃烧速率，为燃料充分燃烧奠定基础，减少不完全燃烧损失。

2 锅炉热力系统节能降耗技术

2.1 受热面优化技术

受热面清洁技术聚焦积灰、结渣与结垢清除，采用在线吹灰与定期清灰相结合的方式，针对性选择吹灰介质与吹灰频率。优化吹灰时机与强度，避免吹灰过程中热量损耗，同时防止受热面腐蚀，恢复受热面换热性能，减少换热热阻导致的能量浪费[2]。受热面结构改进与布置优化结合锅炉热力特性，调整受热面管材规格与排列方式，优化受热面间距与布置角度。采用强化换

热管材，增大受热面换热面积，改善炉膛内辐射与对流换热效果，让热量更充分传递至工质，提升热力利用效率。受热面防腐防磨技术通过优化管材材质，选用耐腐蚀、耐磨性能优良的合金材料，适配热力系统高温、高腐蚀工况。改进受热面防护涂层工艺，增强表面防护能力，减少管材腐蚀与磨损导致的换热效率下降，延长受热面服役周期，保障热力系统稳定运行。

2.2 换热效率提升技术

换热器结构优化围绕强化换热效果、降低流动阻力展开，改进换热器内部流道设计，采用螺旋管等高效换热结构，利用流体扰动效应增强冷热流体间的热量传递。优化管束排列方式，缩短换热路径，减少流体在换热器内的沿程阻力与局部阻力，提升换热器水力效率。结合创成式设计思路，优化换热器几何参数，实现结构紧凑化设计，在有限空间内提升换热面积，降低换热器运行能耗，适配锅炉热力系统高效运行需求。换热介质流动调整技术通过优化介质流速与流量分配，适配换热器换热需求，避免介质流速过高导致的能耗增加，同时防止流速过低影响换热效果。调整介质流动方向，实现冷热流体逆流换热，最大化换热温差，提升换热效率，减少热量浪费。优化介质输送管路设计，减少管路阻力，确保介质流动顺畅，同时根据锅炉负荷变化动态调整介质流量，让换热过程与锅炉运行工况精准匹配，实现换热效率与能耗的平衡。

2.3 余热回收利用技术

烟气余热回收技术针对锅炉尾部烟气携带的低位热能，在烟道增设余热回收装置，捕捉烟气中的余热资源，降低锅炉排烟温度，减少排烟热损失。将回收的余热用于预热锅炉给水、加热燃烧空气，提升锅炉给水温度与燃烧空气温度，降低燃料燃烧所需能耗，提高锅炉整体热效率。优化余热回收装置结构与布置位置，提升余热捕捉效率，同时避免余热回收过程中对锅炉正常运行造成影响，实现能源二次利用。冷凝水回收利用技术聚焦锅炉产生的冷凝水，优化冷凝水收集与输送系统，去除冷凝水中的杂质与污染物，实现冷凝水回收再利用。将处理后的冷凝水重新作为锅炉给水，减少新鲜水消耗，降低水处理环节能耗。充分利用冷凝水携带的余热，降低锅炉给水加热所需能量，实现热力系统能量循环利用，进一步降低锅炉整体能耗，提升热力系统运行经济性。

3 锅炉辅机系统节能降耗技术

3.1 风机节能技术

风机结构的优化与改造，核心在于降低流动阻力、提升气动性能。优化叶轮形状与叶片弧度，合理调整叶片进出口角度，可有效抑制气流分离现象，减少涡流带来的能量损耗[3]。选用高强度轻质材料制作叶轮，能减轻风机自身负荷，降低固有能耗；优化风机壳体设计，可减少漏风问题，进一步提升运行效率。对于老旧风机，需结合实际工况进行适配性改造，调整通流面积，确保运行状态与锅炉负荷精准契合，避免负荷不匹配造成的能源浪费。风机运行调节需立足负荷适配，依据锅炉实时运行情况，动态调控转速与风量，杜绝风量过剩引发的能耗增加。应用变频调速技术实现转速无级调节，精准匹配燃烧所需风量，降低电能消耗。优化启停流程以减少启停阶段的能量损耗，加强运行状态监测，及时优化参数，保障风机长期在高效区间稳定运转。

3.2 水泵节能技术

水泵选型与改造技术结合锅炉热力系统工况需求，选用高效节能型水泵，优化水泵扬程与流量参数，避免选型过大或过小导致的能耗浪费。改造水泵叶轮与流道结构，采用高效水力模型，减少水流在泵内的沿程阻力与局部阻力，提升水泵水力效率。对老旧水泵进行节能改造，更换低效部件，优化密封结构，减少水泵泄漏损失，提升运行稳定性与节能效果。水泵运行参数调整技术通过优化水泵运行流量与扬程，适配锅炉不同负荷下的用水需求，避免流量过剩或压力过高造成的能耗增加。调整水泵运行台数与运行组合方式，根据用水负荷动态切换运行状态，实现水泵集群高效运行。优化水泵进出口管路布置，减少管路阻力，同时定期清理管路杂质，保障水流顺畅，降低水泵运行能耗。

3.3 其他辅机节能改造技术

除渣除灰系统节能技术聚焦运行能耗与效率优化，改进除渣除灰设备结构，采用高效输送方式，减少输送过程中的能量损耗。优化除渣除灰运行周期，根据锅炉灰渣产生量动态调整运行频率，避免无效运行。改进灰渣输送管路，减少管路堵塞与泄漏，提升输送效率，同时回收灰渣余热，实现能量二次利用，降低系统整体能耗。脱硫脱硝系统节能优化技术围绕降低运行能耗、提升处理效率展开，优化脱硫脱硝剂喷射方式与用量，减少药剂浪费与能耗消耗。改进系统反应装置结构，强化反应效果，缩短反应时间，降低设备运行负荷。优化系统风机与循环泵运行参数，采用节能调控方式，减少电能消耗，同时优化系统换热回收环节，利用反应余热提升系统能源利用效率，实现节能与环保双重目标。

4 锅炉运行调控节能降耗技术

4.1 运行参数优化技术

汽压汽温调控技术核心是维持锅炉运行参数稳定，适配负荷变化需求，减少参数波动引发的能量损耗[4]。结合锅炉热力循环特性，根据实时负荷动态调整燃料供给量与燃烧强度，精准控制炉膛温度，避免汽压过高导致的蒸汽放散损失，杜绝汽压过低需额外补燃带来的能耗增加。汽温调控通过优化受热面换热状态，调整烟气流通路径与流量，合理分配减温水量，避免汽温偏差超出规范范围，保障过热蒸汽品质，提升锅炉热力利用效率，降低无效能耗消耗。炉膛负压与风量调控技术围绕燃烧经济性优化，精准控制炉膛负压数值，避免负压过大导致冷空气渗入炉膛，增加排烟热损失与燃料消耗；防止负压过小造成烟气外漏，破坏燃烧稳定性，引发局部燃烧不充分。结合燃料燃烧特性，动态调整一次风与二次风配比，确保燃料与空气充分接触，在保障燃料燃尽的前提下，减少过量空气带入的热量散失，平衡燃烧效率与能量消耗，实现节能降耗目标。

4.2 负荷调节节能技术

结合锅炉实际出力情况制定运行优化方案，科学规划负荷调整方式，缓和出力大幅波动对机组构件带来的不良作用。结合现场出力变动走向提前安排燃料输送量，调整风煤配比数值以及受热面换热相关参数，让机组运行工况平稳切换，长期处于高效运转区间。调整煤粉加工粒度改善燃烧条件，让负荷变动过程中燃料充分燃尽，缩减燃烧不充分带来的热能损耗，提升不同出力状态下能源利用水准，满足电网调峰工作实际需求。机组启停阶段做好能源管控工作，完善现场操作流程来缩短整体启停时长，有效减少燃料耗用与热能散失。设备升温期间把控升温快慢，利用系统留存余热预热供水与助燃气体，改善低温环境下燃烧条件，循序渐进增加燃料投放量减少能耗支出。设备停机期间放缓降温节奏，回收内部余热完成介质预热处理，减少热能向外散发，减轻温度急剧变化带来的设备损伤，实现节能管控与设备养护同步落实。

4.3 运行维护节能技术

日常维保检修工作以维持设备最优运行工况为主要目标，依照机组实际运转周期落实各项养护工作。及时清除受热表面堆积灰渣与附着垢层，恢复原有换热能力，降低热阻形成的能源消耗。全面排查各类辅助机械运行实况，及时更替老化失效零部件，改良设备密封构造，降低通风输水设备出现的介质外泄与机械运转损耗。常态化排查管路及阀件使用状态，杜绝流体介质外泄问题，维持热力系统密闭程度，保障热能输送顺畅，减少无用能源消耗[5]。依托实时监测手段掌握锅炉整体运转情况，快速捕捉各类异常运行信号，提前排查潜藏故障隐患，规避故障持续发展引发的停机问题与能源消耗。搭建成熟的故障判定处置体系，针对燃烧工况失衡、运行参数偏移及辅机异常等常见问题制定对应处置方案，缩短问题处置耗时。理顺现场故障处置流程，严控处置期间出现的能源消耗，让锅炉始终维持稳定高效的运转模式，稳步提升整体运行经济收益。

结束语

火电锅炉实现节能减耗需要统筹燃烧调控、热能利用、辅助设备管控及现场运行调节等多项实操技术，各类技术应用环节彼此相互影响相互配合。燃烧工况优化可以有效提升整套机组热力循环水平，做好受热面清理以及余热回收工作能够进一步挖掘能源利用潜力。对辅助设备开展调速升级并细化现场运行参数管控，可稳步提高整套机组综合运转效率。各类节能方式相互配合落实，能够在控制成本投入的基础上有效削减锅炉运行能源消耗，也能为火电产业向着低碳环保方向稳步转型提供可靠实践依据。

参考文献

[1] 王子铭. 火力发电厂节能降耗管理与技术研究 [J]. 电力设备管理,2024(4):244-246.

[2] 郝广宁. 基于电气自动化技术的火力发电厂节能降耗研究 [J]. 电气技术与经济,2024(9):96-98.

[3] 尹冬年. 电厂锅炉运行中节能降耗技术的应用 [J]. 电力设备管理,2024(24):258-260.

[4] 马震. 火力发电厂锅炉节能降耗策略探讨 [J]. 电脑采购,2025(5):120-122.

[5] 杜继鲁. 关于火力发电厂锅炉节能降耗的几点探讨 [J]. 科学与财富,2021(3):252.