

火力发电锅炉节能降耗技术探讨

崔 杰

青海省投资集团有限公司 青海 西宁 810100

摘 要：本文围绕火力发电锅炉节能降耗主题，系统分析了锅炉运行中燃料不完全燃烧、排烟热损失、炉体表面散热及辅机能耗四大核心损耗来源，介绍了燃烧优化调节、烟气余热回收利用、保温及排污优化等常用节能技术的现场应用效果。针对风煤配比动态调节不及时、保温设施老化、辅机与负荷匹配度差等现存问题，提出了建立负荷联动燃烧调控机制、开展全域保温专项巡检与材料升级、加装辅机变频调速装置及优化多机联动逻辑等具体优化措施。多项技术协同实施，可有效降低锅炉各项热损失与厂用电消耗，提升机组整体运行热效率与经济性能。

关键词：火力发电；发电锅炉；节能降耗；技术探讨

引言：火力发电作为我国电力供应的主体来源，锅炉作为能量转换核心设备，其运行能效直接决定机组整体经济性。当前火电厂锅炉普遍面临燃料消耗偏高、排烟温度居高不下、炉体散热严重及辅机电能浪费等突出问题，制约了机组能效水平的进一步提升。在能源结构转型与碳排放约束双重压力下，深入分析锅炉能耗来源，推广应用成熟可靠的节能降耗技术，已成为火电厂降低生产成本、提升市场竞争力的迫切需求。本文结合火电厂锅炉现场实际运行工况，系统梳理主要能耗来源与常用节能技术，剖析现存运行问题，并提出针对性优化措施，旨在为火电厂锅炉节能降耗工作提供技术支撑与实践指导。

1 火力发电锅炉主要能耗来源

结合火电厂锅炉现场实际运行工况，锅炉能耗损耗主要来源于四个方面，这四类损耗构成了日常运行中热量与电能浪费的主要途径，同时也是节能降耗工作的核心管控方向。（1）燃料不完全燃烧损耗。炉膛内风煤配比失衡、一次风与二次风比例失调，加之煤粉颗粒粗细度不达标、均匀性差，导致煤炭在炉膛内无法充分燃烧，出现残碳与未燃尽可燃物浪费，锅炉热效率因此显著降低。该损耗是锅炉运行中占比最大的能耗损失项，也是节能优化的首要控制目标。（2）排烟热损耗。排烟温度长期偏高，烟气中携带大量余热随烟气直接排入大气，造成可观的热能损失。该损耗与过量空气系数偏大、受热面积灰结渣、尾部烟道漏风等因素密切相关，是影响锅炉热效率的关键环节。（3）炉体表面散热损耗。锅炉炉墙、烟道及管道保温层因长期高温运行出现老化、破损、脱落等问题，高温热能向外部环境持续散失，不仅造成直接热量损失，还恶化了锅炉

房工作环境，导致周边设备运行温度升高，增加额外冷却负荷。（4）机组辅机能耗损耗。引风机、送风机、给水泵、循环水泵等配套辅机运行参数与锅炉实际负荷不匹配，存在空载运行或过载运行现象，造成大量电能浪费，拉低了机组整体能效水平，是降低厂用电率的重点攻关方向^[1]。

2 火力发电锅炉常用节能降耗技术及现场应用

2.1 锅炉燃烧优化调节技术

锅炉燃烧优化调节技术主要用于改善炉膛内部燃烧工况，针对煤炭不完全燃烧造成的固体未完全燃烧热损失进行系统性控制。（1）精细化调控一次风与二次风配比，根据锅炉实时运行负荷动态调整各层送风量，确保炉膛内部氧气含量充足且分布均匀，使煤粉在炉膛内充分接触氧气并完成燃烧反应。同时，合理控制各燃烧器的风量分配比例，避免局部缺氧或过量空气系数偏大造成的燃烧效率下降。（2）严格把控煤粉研磨细度，使煤粉颗粒粗细度处于合理区间。煤粉过粗则燃烧不充分、残碳量增大；煤粉过细则增加制粉系统研磨能耗，且易造成制粉设备磨损加剧。因此，需根据煤种特性与锅炉负荷变化，动态调整磨煤机运行参数，在保证燃烧效率的前提下控制制粉能耗。（3）合理调控炉膛燃烧温度，维持稳定且适宜的燃烧温度区间。温度过低会导致煤粉着火困难、燃烧不充分；温度过高则加剧炉膛结渣风险并产生额外热损耗。该技术无需对硬件设备进行改造，仅通过优化运行参数即可有效提升煤炭燃烧效率，降低固体未完全燃烧热损失^[2]。

2.2 烟气余热回收利用技术

锅炉排出的烟气携带大量高温余热，是当前火电厂

锅炉运行中占比最高的热能损耗途径,也是节能降耗技术改造的重点攻关方向。该技术的核心思路是通过在锅炉尾部烟道加装低温省煤器、烟气换热器等专业换热设备,对排烟中尚未被利用的残余热量进行系统性回收与再利用。(1)回收的余热主要应用于两个方面:一是加热锅炉给水,提升进入省煤器前的给水温度,降低锅炉本体对燃料的加热负荷;二是预热进入炉膛的助燃空气,提高助燃空气的初始温度,改善炉膛着火条件与燃烧稳定性。经过尾部换热装置的充分换热后,烟气最终排烟温度显著降低,烟气直接带走的热量大幅减少,锅炉整体热效率得到有效提升。(2)回收后的余热重新参与锅炉水循环与助燃流程,在不额外消耗煤炭的前提下提升了炉膛进气温度与给水温度,从源头上降低了锅炉燃煤消耗量,实现了烟气废热的最大化利用。该技术改造无需对锅炉主体结构进行大幅调整,投资回收周期较短,节能效果显著,是火电厂锅炉节能降耗领域应用最为成熟的技术手段之一。

2.3 锅炉保温及排污优化节能技术

针对炉体、蒸汽管道散热损耗问题,该技术从保温层修复与排污流程优化两个维度同步推进,实现锅炉表面散热损失与排污热损失的综合控制。(1)在保温层修复方面,采用新型耐高温保温材料对老旧破损保温层进行系统性替换,重点对炉墙裂缝、管道接口、阀门法兰等散热量集中的薄弱部位进行封堵处理,消除炉体表面漏热点。通过阻断炉内高温热能向外部环境的散失路径,有效降低锅炉表面散热损失,同时改善锅炉房作业环境温度,减少高温辐射对周边设备及人员的影响。(2)在排污流程优化方面,对锅炉连续排污与定期排污运行模式进行系统改进。传统排污模式直接排放高温高压炉水,不仅造成大量工质损失,还携带可观的余热能量,形成水与热能的双重浪费。采用排污扩容回收装置后,可将排污高温热水中的余热进行有效回收,用于锅炉补给水预热,降低补给水加热所需的燃料消耗。该技术在保障锅炉水质合格、维持炉水含盐量处于安全范围的前提下,显著减少了排污带来的工质损耗与热能损失,兼顾了锅炉运行安全性与节能降耗效果^[3]。

3 火力发电锅炉运行节能降耗现存问题

3.1 风煤配比动态调节不及时

锅炉发电负荷会跟随电网用电需求实时波动,但现场运维人员大多采用固定风煤运行参数,没有跟随负荷变化动态调整进煤量与送风量。低负荷工况下进风过量,会带走炉膛内部大量热量;高负荷工况下进风不足,煤粉燃烧不充分。固定参数运行模式,无法适配变

负荷运行需求,始终存在不必要的燃烧热损耗。

3.2 锅炉本体及管道保温设施老化

锅炉长期处于高温高压运行环境,炉墙保温层、蒸汽管道保温层长期受热老化、开裂、脱落,日常运维巡检侧重锅炉主机运行状态,忽视保温层细节检查。保温破损位置持续向外散失热能,且管道散热不均还会造成蒸汽参数波动,间接影响机组发电效率,形成持续性隐性能耗浪费。

3.3 辅机运行与锅炉负荷匹配度较差

引风机、送风机、循环水泵等辅机为锅炉配套核心用电设备,现阶段多数辅机采用工频恒速运行模式,无论锅炉高低负荷,辅机始终保持固定转速运行。锅炉低负荷运行时,辅机依旧满负荷运转,产生大量空载电能消耗;同时多台辅机联动配合不协调,风压、水压匹配失衡,进一步增加厂用电消耗,拉高锅炉整体能耗水平^[4]。

4 提升火力发电锅炉节能降耗效果的优化措施

4.1 动态优化燃烧工况,精准调控风煤配比

(1)建立负荷联动调节机制。结合锅炉实时发电负荷变化,建立风量与煤量自动联动调节模式,实现燃烧工况随负荷动态适配。负荷升高时同步增加进煤量与各级送风量,负荷降低时同步缩减风量与煤粉供给量,始终维持炉膛内最佳燃烧氧含量区间,避免因风煤配比失调造成的燃烧效率下降。安排专人实时监控炉膛火焰状态、排烟含碳量及各烟道氧量分布等关键燃烧指标,根据燃烧反馈数据及时微调各层一次风与二次风的风量分配比例、给煤机转速等运行参数,彻底杜绝过量空气系数偏大导致的过氧燃烧以及配风不足导致的缺氧燃烧两类典型能耗问题。通过负荷联动与实时微调相结合的调控方式,确保锅炉在全负荷运行区间内均处于高效燃烧状态,最大限度降低固体未完全燃烧热损失与排烟热损失。(2)精细化管控煤粉质量。定期检修维护磨煤机、煤粉分离器及粗细粉分离器等研磨设备,保证煤粉细度始终处于最佳燃烧区间,避免粗煤粉在炉膛内堆积无法燃尽而造成残碳损失,同时防止煤粉过细导致制粉系统电耗增加。根据来煤煤质特性合理搭配不同热值与灰分的燃煤,稳定炉膛燃烧工况,减少因煤质频繁波动带来的燃烧效率下降问题。通过源头把控煤粉质量与煤种搭配方案,保证煤炭在炉膛内充分燃烧,有效降低燃料浪费,从根本上提升锅炉整体运行热效率与经济性能。

4.2 定期检修保温系统,封堵散热盲区

(1)开展全域保温专项巡检。制定并落实月度锅炉

保温专项巡检制度,由专业技术人员对炉墙外壁、烟道外表面、高温蒸汽管道、阀门法兰接口、人孔门、膨胀节及异径管段等部位实施系统性排查。巡检中对保温层出现的开裂、脱落、厚度减薄、受潮结露等劣化点位逐一标记定位,建立保温缺陷台账,按紧急程度划分缺陷等级,明确修复优先级与整改时限,第一时间安排修补或更换。重点对阀门、法兰、仪表接头、疏水点等易损耗小件保温结构逐项检查,消除零散散热盲区,全面降低锅炉表面散热损失。通过常态化巡检机制,将保温缺陷控制在早期阶段,避免局部散热问题扩大导致整体能效下降。(2)升级高性能保温材料。针对炉膛、过热器区域、再热器区域等高温运行部位,将原有普通保温材料更换为耐高温、低导热系数的新型保温岩棉与复合防护板材,显著提升保温隔热能力,有效阻断炉内高温热能向外部环境的传导与辐射散失。同步做好保温层外部防水防潮防护处理,加装金属外护板与密封胶条,防止水汽侵入保温结构内部造成材料性能劣化。通过材料升级与防护措施并举,延长保温层使用寿命,减少因保温层反复损坏带来的维修成本与非计划停机损失,长期稳定控制炉体表面散热能耗,保障锅炉运行经济性能^[5]。

4.3 优化辅机运行模式,降低厂用电消耗

(1)加装变频调速控制装置。为锅炉引风机、送风机、循环水泵及给水泵等主要耗能辅机全部加装高压变频调速控制装置,彻底摒弃传统工频定速运行方式。通过变频控制系统实时采集锅炉运行负荷、炉膛负压、风压需求及水循环流量等关键参数,自动调节各辅机电机运行转速,实现按需供风、按需供水。在低负荷运行时段有效降低辅机转速,避免定速运行造成的大量节流损失;在高负荷时段精准提升输出功率,避免辅机过载运行。大幅削减辅机无效电能消耗的同时,变频调速可有效降低辅机启停过程中的冲击电流,减轻对厂用电系统的扰动,延长辅机电机及机械传动部件使用寿命,提升辅机系统整体运行可靠性与稳定性。(2)优化多辅机联动逻辑。统一调试所有配套辅机运行参数,使其与锅炉燃烧节奏精确匹配,合理平衡送风机与引风机之间

的风压差值,避免因两侧风压不协调导致的风压互抵问题,消除由此造成的额外电能浪费。定期对辅机轴承、叶轮、导叶及过滤器等转动与过流部件进行清灰保养,清除积灰与结垢,降低设备运行机械阻力,减少设备自身运行能耗。通过变频改造与联动优化双管齐下,全方位压缩锅炉配套系统用电损耗,显著降低厂用电率,提升锅炉整体运行经济性能。

结束语

火力发电锅炉节能降耗是火电厂提升能效、降低运营成本的核心课题。本文系统梳理了锅炉运行中燃料不完全燃烧、排烟热损失、炉体表面散热及辅机能耗四大主要损耗来源,针对性提出燃烧优化调节、烟气余热回收、保温及排污优化等常用节能技术及其现场应用要点。同时,深入剖析了风煤配比动态调节滞后、保温设施老化、辅机与负荷匹配度差等现存问题,并从动态燃烧调控、保温系统检修、辅机变频改造三个角度给出具体优化措施。上述技术手段与管理措施相互配合,可有效降低固体未完全燃烧热损失与排烟热损失,封堵炉体散热盲区,压缩厂用电消耗,实现锅炉全负荷区间内的高效经济运行,为火电厂节能降耗工作提供系统性参考。

参考文献

- [1] 徐嘉成.火力发电厂集控运行节能降耗技术措施探究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026(1):141-145.
- [2] 胡涛.火力发电厂集控运行中节能降耗技术的应用[J].中国科技期刊数据库工业A,2026(1):181-184.
- [3] 彭鹏.基于电气自动化技术的火力发电厂节能降耗研究[J].电力设备管理,2026(6):247-249.
- [4] 贾浩浩.火力发电厂燃煤锅炉节能优化控制技术的集成方案与效果探析[J].中国科技期刊数据库工业A,2026(2):144-147.
- [5] 毕嘉成.火力发电厂集控运行过程节能降耗技术研究[J].产品可靠性报告,2025(12):93-94.