

火力发电锅炉节能降耗技术探讨

郑成杰 黄正连 陈金强 王子旻 商艺舟 杨泽坤

华能武汉发电有限责任公司 湖北 武汉 430000

摘要:火力发电锅炉运行中,排烟热损失、机械不完全燃烧损失、散热损失及辅机能耗损失是制约热效率提升的主要因素。本文围绕锅炉节能降耗技术展开系统论述:燃烧系统优化方面,通过精准配风、燃料适配调控及炉膛工况调整,提升燃烧效率并降低排烟与机械燃烧损耗;换热系统改造方面,借助受热面清洁优化、保温系统升级及余热回收设备加装,降低排烟温度与散热损失;辅机系统方面,通过变频调速与启停联动优化,实现辅机负荷与锅炉工况精准匹配,降低厂用电率;运维管控方面,建立常态化检查与仪表校验机制,保障锅炉长期高效运行。上述技术协同应用,可有效降低供电煤耗,提升能源综合利用水平。

关键词:火力发电;锅炉;节能降耗;技术

引言:火力发电仍是当前电力供应体系的重要组成部分,但其锅炉运行过程中存在的排烟热损失、机械不完全燃烧损失、散热损失及辅机能耗损失等问题,导致整体热效率偏低,能源浪费严重。随着“双碳”目标的推进及电力行业节能减排要求的不断提高,锅炉系统节能降耗已成为火电机组提升运行经济性、降低供电煤耗的核心任务。锅炉能耗损耗贯穿于燃烧、换热、排烟及设备散热等各环节,涉及燃烧优化、设备改造、运行调控及运维管理等多个技术层面。本文系统梳理了火力发电锅炉主要能耗损耗类型,从燃烧系统优化、换热系统改造、辅机系统节能及常态化运维管控四个角度,归纳了当前行之有效的节能降耗技术方案,旨在为火电机组运行优化与技术改造提供系统性技术参考。

1 火力发电锅炉主要能耗损耗类型

火力发电锅炉在运行过程中,能量损耗贯穿于燃料燃烧、热量传递、烟气排放及设备散热等各个环节,各类损耗叠加后显著拉低锅炉热效率,这也是当前火电机组能耗偏高的根本原因。结合现场运行实际,能耗损耗主要可划分为四类,也构成了节能降耗技术改造的重点管控方向。(1)排烟热损失是占比最大的一项损耗。燃料燃烧后产生的高温烟气携带大量余热直接排入大气,烟气温度偏高、排烟体积过大或含湿量超标,均会造成可观的热能流失。该问题通常与受热面结垢导致换热效率下降、烟道积灰堵塞引起流阻增大等设备因素密切相关。(2)机械不完全燃烧损失同样不可忽视。部分煤粉在炉膛内未能充分燃尽,残余碳颗粒随炉渣或飞灰排出系统,燃料化学能未被完全释放。造成这一现象的原因

主要包括配风比例不合理、炉膛温度场分布不均以及入炉煤粒径偏离设计值等。(3)散热损失主要来自锅炉本体及附属管道。炉膛外壁、主蒸汽管道、汽包等设备的保温层随服役年限增长逐步老化、破损甚至脱落,设备表面温度偏高,持续向周围环境辐射和对流散热,形成无效热能损耗。(4)辅机能耗损失则体现在引风机、送风机、磨煤机、给水泵等配套设备上。当这些辅机运行参数与锅炉负荷不匹配、启停逻辑不合理或设备本身效率衰减时,会消耗大量厂用电,间接推高整个机组的供电煤耗^[1]。

2 锅炉燃烧系统优化节能技术

2.1 精准配风优化技术

风量配比失衡是导致锅炉燃烧不充分、排烟热损失增大的重要因素。(1)风量过大会稀释炉膛温度,降低燃烧效率,同时增大排烟量与风机能耗;风量过小则会造成燃料缺氧燃烧,产生大量未燃尽碳,增加机械不完全燃烧损失。精准配风优化技术以锅炉实时运行工况为依据,调整一次风、二次风、三次风的风速、风量与配比。(2)通过优化一次风参数,保证煤粉输送稳定、着火及时,避免煤粉提前燃烧或延后燃烧;合理分配二次风,采用分级配风方式,在炉膛内形成梯度燃烧氛围,延长燃料燃烧时间,确保煤粉充分燃尽;微调三次风配比,平衡炉膛烟气温度场,减少局部高温或低温区域。同时结合炉膛氧量实时监测数据,动态调整总风量,将炉膛过量空气系数控制在合理区间,在杜绝缺氧燃烧的同时,避免风量过剩造成的能耗浪费,有效提升燃烧效率,降低排烟与机械燃烧损耗。

2.2 燃料适配调控技术

燃料品质、粒径分布及配比方案与锅炉设计工况之间的匹配程度,直接决定了燃烧效果与能量利用效率。(1)不同煤种在热值、挥发分、灰分及水分等特性上存在明显差异,若燃烧参数未随煤质变化做出相应调整,极易引发燃烧不稳定、燃尽率偏低等问题。燃料适配调控技术的核心思路在于依据入炉煤的实际特性,动态调节磨煤机转速与分离器频率,将煤粉细度控制在合理区间,使颗粒粒径均匀且粗细适中。(2)煤粉偏粗时,颗粒在炉膛内停留时间不足,燃尽率下降,飞灰含碳量随之升高;煤粉偏细虽有利于燃烧,但会显著增大磨煤机电耗,且细粉过多容易在炉膛局部区域积聚形成结焦。为此,实际运行中常采用多煤种掺烧方案,将高挥发分与低挥发分、高热值与低热值煤种按一定比例混合,使炉膛温度场趋于稳定,整体燃尽率得到提升。此外,严格控制入炉燃料中矸石、杂物等杂质含量,减少无效燃料消耗,也是从源头降低能耗损失的重要措施^[2]。

2.3 炉膛燃烧工况调整技术

炉膛内温度场分布、火焰中心位置及燃烧稳定性是决定锅炉整体燃烧效率的核心因素。(1)锅炉经过长期运行后,受热面变形、燃烧器磨损等因素影响,普遍出现火焰中心偏移、局部结焦及燃烧脉动等问题,炉膛内热量分布不均,换热效果明显下降,燃烧效率持续衰减。针对上述状况,可通过调整燃烧器摆角、启停层数及喷射角度等运行参数,精准矫正火焰中心位置,使火焰在炉膛截面内均匀分布,有效消除局部高温结焦与低温燃烧盲区并存的现象,提升炉膛内热量的有效利用率与辐射换热效率。(2)应定期对炉膛水冷壁及燃烧器喷嘴进行积灰与结焦清理,确保燃烧器喷射通道通畅、受热面表面清洁,维持良好的换热条件。在低负荷运行工况下,还需优化燃烧器投运方式与配风策略,采用稳燃技术维持火焰稳定性,防止因燃烧不充分引发机械不完全燃烧损失增大及能耗升高,从而保障锅炉在宽负荷运行范围内均能维持较高的燃烧效率与运行经济性。

3 锅炉设备改造与换热系统降耗技术

3.1 受热面清洁与优化改造

锅炉水冷壁、过热器、省煤器及空气预热器等受热面经过长期高温运行后,管壁表面普遍附着飞灰、结垢与焦渣等沉积物,金属壁面的换热系数因此大幅下降,烟气侧余热无法有效传递至工质侧,排烟温度

逐步升高,排烟热损失在总能耗中的占比持续扩大。常态化开展受热面清洁与结构优化改造,是控制该类损耗的基础性技术手段。在清洁方式上,可引入智能吹灰系统替代传统固定频次吹灰模式,依据受热面积灰厚度监测数据、排烟温度变化趋势及换热效率衰减程度,动态确定吹灰启动时机、持续时长与作用范围,既避免因过度吹灰造成的蒸汽携带损失,又防止积灰堆积对换热性能的持续恶化。对于换热效率已严重衰减的老旧受热面,则需实施结构性改造,包括更换高效换热管材、增设换热面积、优化烟气与工质流道布置等,从根本上提升换热强度,充分回收烟气余热,有效降低排烟温度,将排烟热损失控制在合理水平^[3]。

3.2 设备保温系统优化升级

锅炉本体、主蒸汽管道、给水管道的及烟道等设备的保温层在长期高温运行环境下,普遍出现开裂、脱落、空鼓及老化等问题,设备表面热量持续向周围环境散失,形成不可忽视的散热损失。高温管道的散热损耗尤为突出,长期累积将造成相当可观的能源浪费。对保温系统实施优化升级,是降低该类损失的有效途径。日常运行中,应定期对锅炉及附属管道保温状况进行全面排查,对已开裂、脱落或空鼓的保温层及时予以修补或整体更换,并选用耐高温、导热系数低、保温性能优良的新型材料替代原有低效保温层。在施工工艺上,需严格控制保温层的贴合度与密封性,消除漏热缝隙。此外,针对管道阀门、法兰连接及设备接口等散热薄弱部位,应加装专用保温护罩进行重点防护,从整体上减少设备表面散热,将锅炉系统散热损失控制在较低水平。

3.3 余热回收设备改造

锅炉排烟中蕴含大量低温余热,传统回收设备对这部分热量的利用率普遍偏低,大量热能随烟气直接排入大气,造成显著的能源浪费。加装与优化余热回收设备,是实现余热二次利用、提升能源综合利用率的关键技术手段。在常规改造方面,可对空气预热器与省煤器进行结构优化,通过扩大换热面积、改善烟气与工质之间的换热效率,利用烟气余热预热入炉空气与锅炉给水,从而有效降低燃料消耗。针对排烟余热的深度利用需求,可在尾部烟道加装低温省煤器或烟气换热器,回收排烟中的低温热量,用于机组辅机供暖、给水预处理等场景,进一步拓宽余热利用范围。此外,还可改造烟气循环系统,将部分低温烟气回送至炉膛,起到稳定炉温、稀释氧浓度的作用,减

少燃料投入,进一步降低锅炉运行能耗。

4 锅炉运行及辅机系统节能优化

4.1 精细化运行参数调控

锅炉运行参数的波动与设定偏差,是日常运行中能浪费的主要诱因。汽压、汽温、水位及炉膛压力等核心参数一旦偏离最优运行区间,将直接拉低锅炉热效率,增加无效能耗,并可能对设备安全运行构成威胁。推行精细化运行参数调控,核心在于依据机组负荷变化动态匹配各项运行参数,使锅炉始终工作在高效状态。在机组变负荷运行过程中,需提前研判负荷变化趋势,平缓调整燃料量、送风量及给水量,避免参数大幅波动引发的燃烧不稳定与效率衰减。锅炉水位应严格控制在设计最优区间内,水位偏高将增加蒸汽带水损耗并影响蒸汽品质,偏低则可能导致水冷壁局部过热、换热安全受到威胁;主蒸汽温度与压力同样需要精准把控,超温超压运行不仅造成能量浪费,还会加速高温承压部件的蠕变损伤与设备老化。此外,炉膛压力的稳定控制同样关键,负压偏大会增加冷风漏入量、抬高排烟热损失,负压偏小则可能造成炉膛向外喷火,影响运行安全。通过建立常态化的参数精细化管控机制,使锅炉在各种工况下均能维持较高的运行效率,有效减少变工况运行带来的额外能耗损失^[4]。

4.2 辅机系统联动优化

锅炉配套的送风机、引风机、磨煤机及一次风机等辅机均属于高耗能设备,传统运行模式下辅机多以固定转速和固定负荷方式工作,在机组处于低负荷工况时,大量电能被无效消耗,厂用电率明显偏高。辅机系统联动优化的核心目标在于使辅机负荷与锅炉实际运行工况实现精准匹配,从根本上降低辅机能耗。具体措施包括:对各类风机与水泵加装变频调速装置,以变速调节替代传统节流调节方式,依据锅炉对风量、水量及烟气量的实时需求自动调节辅机转速,有效消除节流阀调节带来的能量损失及低负荷下的空转能耗。在启停控制层面,需优化辅机联动逻辑,根据锅炉负荷变化自动匹配运行台数与负荷分配,杜绝多台辅机在低负荷下并联运行的低效工况。此外,还应调整磨煤机启停与加载运行逻辑,使磨煤出力与锅炉燃料需求保持高度一致,降低制粉系统单耗,从辅机侧实现系统整体节能降耗。

4.3 设备常态化运维管控

设备故障频发、部件严重磨损及管道泄漏等问题,均会导致锅炉运行效率持续下降,能耗出现异常升高。建立常态化、精细化的运维管控机制,是保障锅炉长期维持高效低耗运行状态的根本保障。在日常维护层面,需定期对锅炉炉膛、燃烧器、受热面、风道及烟道进行系统性全面检查,及时处理积灰、结焦、泄漏与磨损等隐患,确保各部件工况完好,换热性能不受影响。在仪表管理层面,应定期校验温度、压力、氧量及流量等关键监测仪表,保证运行数据的准确性与可靠性,为运行参数调控及燃烧工况优化提供真实依据,避免因数据偏差导致的调控失误与无效能耗增加。在操作规范层面,需严格执行设备启停操作流程,杜绝违规操作及频繁启停造成的设备机械损耗与能耗攀升。通过稳定、规范的设备运维管理,使锅炉系统始终保持最优运行状态,持续降低各类无效能耗^[5]。

结束语

锅炉节能降耗是一项需要多技术协同、多环节联动的系统性工程,单一技术手段难以取得显著效果,需将燃烧优化、设备改造、运行调控与运维管理有机融合,构建全链条能效管控体系。实际应用中,应结合机组运行工况与设备状态,分阶段实施改造方案,优先推进投资回报周期短、节能效果突出的技术措施。随着智能控制与大数据技术的持续发展,锅炉运行参数自适应调节、受热面智能清洁及辅机联动优化等技术将逐步成熟,为火电机组能效提升提供更强技术支撑。持续推进锅炉系统节能技术迭代升级,是火电行业实现绿色低碳转型的重要路径。

参考文献

- [1] 曹鹏飞. 火力发电厂锅炉节能降耗的对策研究 [J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(7):105-108.
- [2] 关旭菁. 火力发电厂电气节能降耗的问题与措施分析 [J]. 能源与节能,2025(12):88-90+107.
- [3] 卓鑫成. 火力发电厂锅炉节能降耗的策略研究 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A,2025(4):115-118.
- [4] 常松. 火力发电厂锅炉安装工艺及技术措施探讨 [J]. 电力设备管理,2025(22):245-247.
- [5] 黄升志. 关于火力发电厂锅炉安装工艺及其技术应用探讨 [J]. 家电维修,2025(10):113-115.