

电厂锅炉燃烧效率优化及节能措施研究

何江

国家能源集团宁夏煤业公司烯烃一分公司 宁夏 银川 750000

摘要: 随着能源需求的不断增长和环保要求的日益严格,电厂锅炉的燃烧效率优化及节能措施成为研究热点。本文深入探讨了电厂锅炉燃烧效率的基本原理与计算方法,提出了基于先进检测技术、燃烧器改造以及智能控制算法的燃烧效率优化策略。同时,研究了设备改造升级、运行参数优化、照明与水资源管理以及燃料管理与采购等方面的节能措施。旨在为电厂锅炉的高效运行与节能减排提供科学指导与实践路径。

关键词: 电厂锅炉; 燃烧效率优化; 节能措施

引言: 随着全球能源需求的持续增长及环境保护意识的普遍提升,电厂锅炉作为能源消耗与排放的重要源头,其燃烧效率的优化及节能措施的实施显得尤为关键。本研究深入剖析电厂锅炉的燃烧过程,探索通过技术创新与管理改进,实现燃烧效率的大幅提升与能源消耗的有效降低。旨在提出一套科学、可行的优化方案,为电厂锅炉的高效、环保运行提供理论支撑与实践指导,推动能源利用的可持续发展。

1 电厂锅炉燃烧效率优化的理论基础

1.1 锅炉燃烧过程的基本原理

(1) 燃料的燃烧特性。电厂锅炉常用燃料为煤、天然气等,其燃烧特性直接影响燃烧效率。如煤的挥发分含量决定着火难易,挥发分高的煤易点燃且燃烧速度快;固定碳含量影响燃尽程度,含量高需更长燃烧时间;灰分和水分会降低燃料发热量,增加热损失,需在燃烧前通过干燥、筛选等预处理减少其影响。(2) 燃烧过程中的化学反应。燃烧本质是燃料与氧气的剧烈氧化反应,以煤为例,主要反应包括碳与氧气生成二氧化碳($C+O_2=CO_2+热量$)、碳不完全燃烧生成一氧化碳($2C+O_2=2CO+热量$),以及氢与氧气生成水($2H_2+O_2=2H_2O+热量$)等。反应需满足温度、氧气浓度、反应时间三要素,温度需达到燃料着火点,氧气浓度需充足,同时保证燃料在高温区停留足够时间,确保反应充分。

(3) 燃烧产物的生成与排放。燃烧产物主要为二氧化碳、水、氮气,同时伴随氮氧化物(NO_x)、二氧化硫(SO_2)、烟尘等污染物。氮氧化物源于燃料中氮元素氧化和高温下空气中氮气与氧气反应;二氧化硫来自燃料中硫元素燃烧;烟尘则是未燃尽的碳颗粒和燃料灰分。这些产物的生成量与燃烧温度、氧气浓度、燃料成分相关,需通过优化燃烧控制其排放。

1.2 燃烧效率的定义与计算方法

(1) 燃烧效率的概念。燃烧效率是指燃料燃烧后实际利用的热量与燃料理论发热量的百分比,反映燃料能量的利用程度。高燃烧效率意味着燃料能充分燃烧,减少未燃尽物质,降低热损失,是电厂节能降耗的关键指标。(2) 燃烧效率的计算公式与影响因素。计算公式为:燃烧效率(η)=(燃料理论发热量-燃烧热损失)/燃料理论发热量 $\times 100\%$ 。其中燃烧热损失包括未燃尽燃料热损失(如未燃碳损失)、排烟热损失(排烟带走的热量)、散热损失等。影响因素主要有燃料特性(如挥发分、灰分)、送风量(氧气浓度)、燃烧温度、燃烧时间、锅炉结构等,送风量不足会导致不完全燃烧,过量则增加排烟热损失^[1]。

1.3 燃烧效率优化的基本原则与目标

(1) 保持稳定的燃料供给与送风量。燃料供给需均匀,避免流量波动导致燃烧工况不稳定;送风量需与燃料量匹配,根据燃料成分和负荷变化实时调节,确保燃烧时氧气浓度适宜,既满足完全燃烧需求,又避免风量过量增加热损失,维持最佳空燃比。(2) 维持稳定的压力、温度和蒸发量。锅炉炉膛压力需稳定在合理范围,避免压力过高或过低影响燃烧稳定性;燃烧温度需控制在燃料着火点以上且适宜区间,过高易产生结渣和污染物,过低则燃烧不充分;蒸发量需与外界负荷匹配,确保锅炉输出稳定,为高效燃烧提供良好工况。(3) 提高燃料利用率,降低成本,减少污染物排放。通过优化燃烧,减少未燃尽燃料,提高燃料能量利用效率,降低燃料消耗,从而减少购煤成本;同时,通过控制燃烧温度、氧气浓度等,减少氮氧化物、二氧化硫、烟尘等污染物生成,满足环保标准,实现经济与环保双赢。

2 电厂锅炉燃烧效率优化的主要技术

2.1 基于先进检测技术的燃烧优化

(1) 炉膛火焰温度、烟气含氧量、飞灰含碳量、

NO_x浓度等参数的实时检测。炉膛火焰温度反映燃烧核心区域热强度,实时检测可避免温度过高导致结焦或过低造成燃烧不充分;烟气含氧量直接关联空燃比,检测数据能判断送风量是否适配燃料量,预防缺氧不完全燃烧或过量送风增加热损失;飞灰含碳量是燃料燃尽程度的关键指标,高含碳量意味着燃料浪费,实时监测可及时调整燃烧工况;NO_x浓度检测则为控制污染物排放提供依据,助力平衡效率与环保。(2)火焰检测技术、红外热像技术、声波测温技术的应用。火焰检测技术通过摄像头与光谱分析,实时捕捉火焰形态、亮度与脉动频率,判断燃烧稳定性,如火焰闪烁异常时及时预警;红外热像技术可生成炉膛横截面温度场分布图,精准定位局部高温或低温区域,为调整喷燃器角度提供参考;声波测温技术利用声波在烟气中传播速度与温度的关联,实现炉膛多点无接触测温,弥补传统测温点少的局限,全面掌握燃烧温度分布^[2]。(3)检测数据对燃烧调整的指导作用。检测数据形成实时反馈闭环,当烟气含氧量偏高时,系统自动减少送风量,降低排烟热损失;飞灰含碳量超标时,可增大二次风比例或延长燃料在炉膛停留时间,提升燃尽率;NO_x浓度过高时,通过降低局部燃烧温度或调整分级送风,抑制其生成。依托数据精准调整,避免盲目操作,确保燃烧始终处于高效低耗状态。

2.2 基于锅炉燃烧器改造的燃烧优化

(1)低氮燃烧器改造与空气分级燃烧、燃料分级燃烧、烟气再循环燃烧技术。低氮燃烧器通过优化喷口结构,使燃料与空气分级混合,降低局部高温区,减少热力型NO_x生成;空气分级燃烧将助燃空气分为一次风与多次二次风,延迟燃料与空气完全混合,抑制NO_x;燃料分级燃烧将部分燃料作为还原剂,在炉膛特定区域还原已生成的NO_x;烟气再循环燃烧将部分低温烟气掺入助燃空气,降低燃烧温度与氧浓度,双重减少NO_x排放,同时提升燃烧均匀性。(2)改造方案的设计与实施。改造前需结合锅炉型号、燃料特性与现有工况,通过数值模拟预测改造效果,确定燃烧器喷口角度、分级风比例等参数;实施阶段先拆除旧燃烧器,安装新设备并校准位置,同步改造风烟管道以适配新燃烧系统;改造后进行冷态调试,检查风门开关灵活性与气流分布,再通过热态试运行,逐步调整参数至最佳状态。(3)改造对锅炉稳定性、水冷壁结焦、飞灰含碳量、运行效率等方面的影响与调整。改造后燃烧更均匀,锅炉负荷波动时稳定性提升;但局部温度降低可能减少水冷壁结焦,若出现气流冲刷不均,需微调喷口角度;飞灰含碳量通常下降5%-10%,若仍偏高,可优化二次风配风;运

行效率提升2%-3%,若效率未达预期,需检查燃料与空气混合是否充分,及时调整风煤比^[3]。

2.3 基于智能控制算法的燃烧优化

(1)锅炉智能燃烧优化系统的结构与工作原理。系统由数据采集层、算法分析层与执行控制层构成:数据采集层通过传感器收集燃料量、风量、温度等参数;算法分析层依托智能算法建立燃烧模型,模拟不同工况下的效率与排放;执行控制层根据算法输出,自动调节给煤机、送风机等设备参数,形成“采集-分析-控制”的智能闭环,无需人工频繁干预。(2)开环操作指导与闭环监控两种优化方式。开环操作指导通过算法分析历史与实时数据,生成最优操作建议,由运行人员手动调整,适用于老旧锅炉或需人工监控的场景;闭环监控则实现全自动控制,系统实时对比实际参数与算法优化目标值,自动修正设备运行参数,响应速度快,可避免人工操作延迟,适用于自动化程度高的锅炉系统。(3)神经网络算法、遗传算法、粒子群算法等智能优化算法的应用与效果。神经网络算法可精准拟合燃烧参数与效率、排放的复杂非线性关系,预测误差率低于5%,为优化提供可靠模型;遗传算法通过模拟生物进化筛选最优参数组合,在多目标优化(如兼顾效率与低NO_x)中,能找到平衡解,使NO_x排放降低15%以上,效率提升1%-2%;粒子群算法收敛速度快,可实时动态调整参数,在负荷突变时,能快速稳定燃烧工况,减少效率波动幅度,保障锅炉持续高效运行。

3 电厂锅炉节能措施研究

3.1 设备改造与升级

(1)选择高能源利用率、技术更新的锅炉设备。选购时优先选择热效率达90%以上的高效锅炉,如循环流化床锅炉,其燃料适应性强且燃烧效率高,相比传统煤粉锅炉可降低5%-8%的燃料消耗。同时,优先选用配备智能控制系统、高效换热元件的设备,如采用螺纹烟管、膜式水冷壁的锅炉,能强化传热效果,减少散热损失,从设备源头提升能源利用效率。(2)现有锅炉系统的技术改造与升级。对老旧锅炉进行针对性改造,如更换磨损的炉膛耐火材料,减少热量散失;加装省煤器、空气预热器,利用排烟余热加热给水和助燃空气,降低排烟温度,可使锅炉热效率提升3%-5%。此外,改造锅炉除尘脱硫系统,采用高效电除尘器或袋式除尘器,减少烟气阻力,降低引风机能耗,实现系统整体节能。

3.2 运行参数的优化调整

(1)辅机的启停安排与节能降耗。根据锅炉负荷变化合理安排辅机运行,如低负荷时停运部分送引风机、

给水泵,避免“大马拉小车”现象。例如,当锅炉负荷低于50%时,可停运一台引风机,减少电能消耗。同时,优化辅机启停顺序,启动时先开风机后开泵,停运时反之,避免设备启停冲击造成的能量浪费,延长设备寿命。(2)变频调速技术的应用与推广。在送引风机、给水泵等辅机上安装变频器,根据锅炉实际负荷调节电机转速,替代传统节流调节方式。当负荷下降时,电机转速降低,能耗随之减少,通常可实现辅机节能20%-30%。例如,引风机采用变频调速后,在70%负荷下运行,耗电量仅为额定负荷的34.3%(按功率与转速三次方关系计算),节能效果显著,应在电厂锅炉系统中全面推广。

3.3 照明与水资源管理措施

(1)照明设备的设计与节能效果。锅炉车间及附属区域采用LED节能灯具替代传统白炽灯、荧光灯,LED灯能耗仅为白炽灯的1/10、荧光灯的1/3,且寿命长达5万小时以上。同时,设计智能照明控制系统,根据车间光照强度和人员活动情况自动开关灯,如无人区域30分钟内自动关灯,可降低照明能耗40%左右,减少不必要的能源消耗。(2)余汽热能回收利用法与蒸汽热泵回收利用法的应用。采用余汽热能回收利用法,收集锅炉排污扩容器、汽轮机疏水等产生的余汽,用于加热厂区生活用水或锅炉补水,减少蒸汽浪费;蒸汽热泵回收利用法则利用热泵技术,将低温余汽热量提升后,用于预热锅炉给水或加热空气,可回收余汽热量的70%以上,降低锅炉燃料消耗,提升能源综合利用率^[4]。(3)日常锅炉使用水的质量检测与处理。定期检测锅炉给水、锅炉水的硬度、酸碱度、溶解氧等指标,避免水质不达标导致锅炉结垢、腐蚀。结垢会使传热效率下降,增加燃料消耗(水垢厚度每增加1mm,热效率下降2%-3%),因此需添加阻垢剂、除氧剂等水处理药剂,确保水质符合GB/T1576-2018《工业锅炉水质》标准,减少设备损耗与能源浪费。

3.4 燃料管理与采购策略

(1)燃料的存储、采购与运输成本管理。存储时采用封闭式煤场,配备防风抑尘网,减少燃料风吹雨淋造成的损耗(露天存储损耗率约3%-5%,封闭存储可降至1%以下);采购时通过集中招标方式选择优质供应商,争取批量采购折扣,降低采购单价;运输环节优先选择铁路或水路运输,相比公路运输可降低20%-30%的运输成本,同时优化运输路线,减少空驶里程,控制整体燃料成本。(2)提高采购质量,降低燃料损耗。采购前明确燃料质量标准,如煤的发热量需 $\geq 20\text{MJ/kg}$ 、灰分 $\leq 25\%$,避免采购低质燃料导致燃烧效率下降。到货后严格检验燃料质量,不合格燃料不予接收;存储过程中定期翻动燃料,防止板结,减少自燃损耗;输送时检查输送带、给煤机等设备,避免漏煤,将燃料综合损耗率控制在2%以内,提升燃料利用效率。

结束语

综上所述,通过对电厂锅炉燃烧效率优化及节能措施的深入研究,我们得出了一系列有效的改进措施和技术手段。这些措施的实施不仅显著提高了锅炉的燃烧效率,降低了能源消耗,还有效减少了环境污染物的排放,推动了电厂的绿色发展。未来,我们将继续关注电厂锅炉领域的技术动态,不断探索更加高效、环保的燃烧技术和节能方法,为构建清洁、低碳的能源体系贡献力量。

参考文献

- [1]李晓艳.浅析燃煤锅炉的节能环保改造技术[J].能源与节能,2024,(07):79-80.
- [2]田宇,赵海燕.锅炉技术在火力发电厂中的应用与研究[J].当代化工研究,2023,(13):111-113.
- [3]吴家欢,李志涛.锅炉燃烧器低负荷超低排放的优化改造[J].锅炉技术,2024,(05):48-49.
- [4]刘波.浅谈节能降耗技术在电厂锅炉运行中的应用[J].锅炉制造,2025,(03):30-32.