

锅炉低氮燃烧系统改造锅炉运行调整研究

葛啸虎 李冬实

安阳钢铁股份有限公司 河南 安阳 455004

摘要: 为有效降低燃煤锅炉氮氧化物排放,满足环保要求并提升运行效能,本文首先分析了氮氧化物生成机理,阐述低氮燃烧改造技术,包括燃烧器、空气和燃料分级等技术及其他方法。接着研究改造后运行调整策略,涉及燃烧参数、负荷及不同工况调整。然后建立了评估体系,通过现场测试等评估效果。最后针对评估结果提出了持续改进与优化建议,以实现锅炉高效、低氮、稳定且经济运行。

关键词: 燃煤锅炉; 低氮燃烧系统; 运行调整; 氮氧化物生成

引言: 燃煤锅炉运行中氮氧化物排放问题突出,其含有的 NO 、 NO_2 等成分危害人体健康,破坏生态环境。氮氧化物生成途径多样,受燃烧温度、氧气浓度等多种因素影响。为降低排放、提升运行效能,需对锅炉低氮燃烧系统改造及运行调整展开研究。本文将分析氮氧化物生成机理,研究改造后运行调整策略,建立评估体系,并提出持续改进与优化建议,以实现锅炉高效、低氮、稳定且经济运行。

1 燃煤锅炉氮氧化物生成机理分析

改造基于分析氮氧化物生成机理,运用多种低氮燃烧技术实施,同时研究不同工况下运行调整策略,并构建评估体系衡量改造与调整效果。评估内容涵盖氮氧化物排放浓度、锅炉热效率、燃料消耗量等关键指标,依据评估结果从改造技术、运行参数、管理机制等方面提出持续改进与优化建议。改造技术上,可进一步研发更高效低氮燃烧器;运行参数方面,优化风煤配比、炉膛负压等;管理机制上,完善设备维护保养制度、人员培训考核机制。未来要持续探索创新,紧跟环保政策要求与生产实际需求,推动锅炉向高效、低氮、稳定、经济运行方向发展,实现节能减排与经济效益双赢。

2 低氮燃烧系统改造技术研究

2.1 燃烧器改造

低氮燃烧器设计原理是优化燃料与空气混合方式,改变燃烧火焰形状及温度分布以抑制 NO_x 生成。在燃烧时,通过精准调控燃料和空气进入比例、速度及混合路径,让二者充分均匀混合,避免局部高温富氧环境,减少 NO_x 产生。常见低氮燃烧器有旋流、直流和浓淡燃烧器。旋流燃烧器借助特殊旋流结构,使燃料和空气强烈旋转混合,形成稳定回流区,让高温烟气回流预热新混合物,既保证燃烧稳定又降低火焰温度峰值,利于降低 NO_x 排放,适用于对燃烧稳定性和排放要求高的燃煤

锅炉。直流燃烧器结构简单,气流呈直流,通过调节风门或燃料阀门就能改变燃料和空气量,方便适应不同负荷锅炉运行。浓淡燃烧器利用特殊结构设计,如百叶窗式分离器,将燃料分成浓淡两相,浓相氧气浓度低抑制燃料型 NO_x 生成,淡相燃料浓度低降低热力型 NO_x 生成。改造燃煤锅炉时,要综合考虑锅炉燃料特性、容量、负荷变化及排放标准等因素,选合适低氮燃烧器。

2.2 空气分级技术

空气分级燃烧原理是将燃烧所需空气分阶段送入炉膛。主燃烧区仅送入部分空气,营造缺氧环境,燃料在此条件下燃烧速度放缓,化学反应相对不充分,可有效抑制燃料型 NO_x 生成,因为燃料型 NO_x 生成与燃料中氮元素在高温富氧下的氧化反应密切相关,缺氧能减少此类反应发生。燃尽区送入剩余空气,保证未燃尽燃料能充分与氧气接触,实现完全燃烧,提高燃料利用率。其实现方式多样,可通过调整燃烧器风门开度,控制不同阶段进入炉膛的空气量,精准调节主燃烧区和燃尽区的氧气浓度;也能设置二次风喷口,合理布局喷口位置与角度,使二次风在合适时机与主燃烧区烟气混合。合理设计空气分级燃烧,能降低燃烧区域整体氧气浓度,避免局部高温富氧,同时调节燃烧温度,有效减少 NO_x 排放30%-50%。而且,由于主燃烧区未完全燃烧的燃料在燃尽区充分燃烧,提高了锅炉燃烧效率,在环保与节能方面均有良好表现,适用于多种类型锅炉的低氮燃烧改造。

2.3 燃料分级技术

燃料分级燃烧把燃料分为主燃料与再燃燃料。主燃料先在主燃烧区燃烧,生成含 NO_x 的烟气。再燃燃料在再燃区喷入,与主燃烧区烟气混合。再燃区处于缺氧状态,再燃燃料在此燃烧产生大量还原性物质,像 CH 、 CO 等。这些还原性物质化学性质活泼,能与主燃烧区生成的 NO_x 发生化学反应,将其还原成无害的 N_2 ,有效降

低NO_x排放。该技术优势显著,能在不大幅改动锅炉主体结构的前提下实现减排。在实际燃煤锅炉改造中,合理选择再燃燃料种类很关键,要选择挥发分合适、含碳量适中的燃料,确保产生足够还原性物质。精准确定再燃燃料喷入位置,一般选在主燃烧区下游合适处,保证与烟气充分混合。优化再燃区燃烧条件,如控制氧气浓度、温度等,让还原反应充分进行。通过这些操作,可使燃煤锅炉NO_x排放降低50%以上,满足环保要求,提升锅炉运行环保性与经济性,在工业锅炉减排领域有广泛应用前景。

2.4 其他低氮燃烧技术

烟气再循环技术是把锅炉尾部部分烟气引入炉膛,以此降低燃烧区域氧气浓度与燃烧温度,进而抑制NO_x生成。在燃烧过程中,引入的低温低氧烟气与新鲜空气及燃料混合,改变了燃烧初始条件,使燃烧反应相对缓和,减少了高温富氧环境下NO_x的生成量。该技术能有效降低NO_x排放20%-30%,不过也存在弊端,引入烟气会使锅炉排烟量增加,导致排烟损失增大,影响锅炉热效率,所以要合理控制再循环烟气量,在减排与效率间找到平衡。富氧燃烧技术是用高纯度氧气替代空气进行燃烧,因氧气浓度高,燃料能更充分燃烧,提高燃烧效率,同时烟量大幅减少。而且燃烧环境中氮气含量降低,破坏了热力型NO_x生成的高温富氧条件,有效抑制其生成。但此技术需配备专门的制氧设备,制氧过程能耗大,设备投资高,后期运行维护成本也增加,对企业的经济实力和运行管理能力有较高要求,在实际应用中需综合考虑减排效果与成本投入。

3 改造后锅炉运行调整策略研究

3.1 燃烧参数调整

依据锅炉负荷变化,合理调控二者,维持合适过量空气系数。若过量空气系数过大,会使排烟量增多,排烟热损失增大,同时高温富氧环境会促进NO_x生成;若系数过小,燃料无法充分燃烧,会增加不完全燃烧损失。要通过实验确定不同负荷下最佳过量空气系数,保障锅炉高效低氮运行。燃烧器风门开度调整也至关重要,其直接影响燃料和空气混合比例及燃烧火焰形状。通过调节风门开度,能优化燃烧器燃烧工况,降低NO_x排放,如减小主燃烧区风门开度,增加再燃区或燃尽区风量,可达成空气分级燃烧效果。燃烧温度控制同样不容忽视,它是影响NO_x生成的关键因素之一。可借助调整燃料量和空气量、采用烟气再循环等技术手段,将燃烧温度控制在合理范围,通常把燃烧温度控制在1000-1200℃之间,能有效抑制热力型NO_x生成,实现锅炉稳

定、高效且低氮排放运行。

3.2 负荷变化时的运行调整

低负荷运行时,锅炉燃烧稳定性欠佳,易出现不完全燃烧,NO_x排放也可能增多。此时要适当提高燃料浓度,提升燃烧区域温度,同步调整空气量确保燃烧充分,可采用浓淡燃烧器或燃料分级燃烧技术,改善燃烧状况以降低NO_x排放。高负荷运行时,锅炉燃烧强度增大、温度升高,会促使NO_x生成增加。这时应强化空气分级燃烧,增加再燃区或燃尽区风量,降低主燃烧区氧气浓度与燃烧温度,同时控制燃料量,防止锅炉超负荷运行。在负荷变化过程中要进行动态调整,及时改变燃烧参数保障锅炉稳定运行与低氮排放。负荷增加时,先增大空气量再增加燃料量,让空气先到位为燃料充分燃烧提供条件;负荷降低时,先减少燃料量再减少空气量,避免因燃料减少而空气过多导致燃烧不稳定,防止NO_x排放突增,通过合理调整实现锅炉在不同负荷下的高效低氮运行。

3.3 不同工况下的运行调整

启停炉工况中,启炉时燃烧条件不稳定易致NO_x排放高,应采用低温慢速启动,控制燃烧温度与氧气浓度,规避局部高温区产生过多热力型NO_x;停炉时要及时调整燃料量和空气量,确保燃料完全燃烧,减少未燃尽物质在炉膛积聚。煤质变化工况下,燃煤锅炉燃料质量有差异,不同煤质含氮量、挥发分含量和热值等特性不同,会影响NO_x生成与燃烧效率,煤质改变时需及时调整燃烧参数,如燃料量、空气量和风门开度等,维持锅炉稳定低氮运行。异常工况下,锅炉运行可能出现燃烧器故障、炉膛结焦等问题,此时要及时处理,像切换故障燃烧器、进行炉膛吹灰等,保障锅炉安全稳定运行,同时尽力降低对NO_x排放的影响,通过全面且精准的工况调整,确保锅炉在各类运行条件下都能高效、低氮作业。

4 改造及运行调整效果评估

4.1 评估指标体系建立

该体系涵盖多个关键指标,NO_x排放浓度是核心指标之一,其数值高低直接反映低氮燃烧技术应用的成效,浓度越低表明对NO_x生成的抑制效果越好,越能满足日益严格的环保排放要求。锅炉热效率是衡量锅炉能源利用水平的关键,它体现了锅炉将燃料化学能转化为热能的能力,热效率越高,能源浪费越少,对节能减排意义重大。燃烧稳定性关乎锅炉安全运行,稳定的燃烧能避免出现火焰闪烁、熄火等异常情况,保障锅炉及相关设备的使用寿命和运行安全。运行成本则从经济角度

考量改造与运行过程,涵盖设备改造费用、燃料消耗成本、维护保养费用等,合理的运行成本能确保改造方案在经济上可行。这些指标相互关联、相互影响,共同构成评估体系,全面准确地评估改造及运行调整效果,为后续优化改进提供有力依据。

4.2 评估方法与数据采集

现场测试时,需全面考虑锅炉不同负荷和工况,因为不同状态下锅炉燃烧情况有别,对各项指标影响不同。在各负荷和工况下,采集烟气样品是关键步骤,通过专业设备准确测量其中NO_x排放浓度,以此判断低氮燃烧措施是否有效降低NO_x生成。运用锅炉热效率测试仪器测量锅炉热效率,该仪器能精准获取锅炉能量转化相关数据,反映能源利用水平。完成数据采集后,对所得数据进行系统整理,去除异常数据,保证数据准确性和可靠性。接着深入分析数据,依据既定公式和标准,计算各项评估指标数值,如根据NO_x排放浓度数据计算平均排放浓度,依据热效率测试数据计算锅炉整体热效率等。全面、准确地评估改造及运行调整效果,为后续优化决策提供坚实数据支撑。

4.3 评估结果分析

重点关注NO_x排放浓度这一关键指标,若其数值显著降低,表明所采用的低氮燃烧技术、空气分级或燃料分级等改造措施有效抑制了NO_x的生成,达到了环保减排的预期目标。同时查看锅炉热效率数据,若热效率有所提高,说明改造优化了燃烧过程,减少了热量损失,提升了能源利用效率。燃烧稳定性也是重要考察点,若燃烧稳定,火焰均匀、无频繁闪烁或熄火现象,能保障锅炉安全可靠运行。另外,运行成本需在合理范围内,涵盖设备改造、燃料消耗、维护保养等费用,确保经济可行。当NO_x排放浓度降低、热效率提高、燃烧稳定且运行成本合理时,说明改造及运行调整成效良好。反之,若未达到预期效果,则要深入分析原因,可能是改造技术选择不当、运行参数设置不合理等,进而针对性地优化改造技术和运行调整策略,以实现锅炉高效、低氮、稳定且经济的运行。

4.4 持续改进与优化建议

若NO_x排放浓度未达环保要求,需深入剖析现有低氮燃烧系统,从燃料与空气混合方式、燃烧火焰形态等方面找不足,进而优化改造方案,引入如分级燃烧与浓淡燃烧结合等更先进低氮燃烧技术,强化对NO_x生成的抑制。当锅炉热效率有提升空间时,一方面加强锅炉保温措施,减少热量散失,降低排烟热损失;另一方面优化燃烧参数,依据不同负荷和煤质,精准调整燃料量、空气量及过量空气系数等,使燃烧更充分高效。此外,建立长效运行管理机制不可或缺,制定详细定期维护检修计划,明确维护项目、周期与标准,及时更换老化部件、清理受热面积灰等。加强对运行人员的培训,提升其操作技能与应急处理能力,保证锅炉运行参数稳定在合理范围,实现锅炉长期稳定运行与持续低氮排放,适应不断变化的环保要求与生产需求。

结束语

综上所述,燃煤锅炉低氮燃烧系统改造及运行调整对环保与运行效能意义重大。通过分析氮氧化物生成机理,采用多种低氮燃烧技术改造,并研究不同工况下运行调整策略,建立评估体系评估效果。针对评估结果提出持续改进与优化建议,涵盖改造技术、运行参数、管理机制等方面。未来需不断探索创新,以适应更严格环保要求与生产需求,实现锅炉高效、低氮、稳定且经济运行。

参考文献

- [1]吕臣旗.火电厂锅炉低氮燃烧改造与运行优化调整探究[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(4):005-008.
- [2]胡鹏飞,徐晨鹏.工业锅炉低氮燃烧改造技术研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(11):005-008.
- [3]骆绍山.循环流化床锅炉低氮燃烧技术研究[J].中国设备工程,2025(8):202-204.
- [4]刘朝永.低氮燃烧技术在锅炉热动系统中的应用与效果探究[J].产品可靠性报告,2025(3):103-104.
- [5]赵银凤.环保低氮燃烧技术在燃煤锅炉中的应用[J].化工安全与环境,2025,38(5):55-58.