

电站锅炉燃烧系统优化与低氮排放技术应用研究

曹世冬

(陕西延长石油榆林凯越煤化有限责任公司, 陕西 榆林 719000)

摘要 随着环保要求日益严格, 电站锅炉作为主要热能转化设备, 面临着燃烧效率提升与污染物减排的双重严格要求。为了达到低氮排放和高效燃烧效果, 本研究围绕燃烧系统改善工作, 针对燃烧器布局、燃烧室形状以及燃料和空气混合方式进行全面改进, 探索降低氮氧化物生成关键路径。结合理论分析和实际工程应用, 调节燃烧参数, 完善燃烧工艺, 确保火焰稳定并且完全燃烧, 最终取得更好的效果。实验数据和现场应用结果表明, 经过改善后的燃烧系统能提高整体热效率, 同时明显减少氮氧化物排放数量, 顺利实现预定低氮排放目标。

关键词 电站锅炉; 燃烧系统优化; 低氮排放技术; 燃烧工艺改进; 热效率提升

中图分类号: TK223

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.18.003

0 引言

电站锅炉燃烧产生的氮氧化物会直接影响大气环境质量, 对公众健康构成潜在威胁。当前, 我国部分电站锅炉氮氧化物排放量仍偏高, 亟待通过技术革新实现绿色转型。尽管国内外学者在燃烧器配置、燃烧室结构及燃料与空气混合方式优化上做了诸多研究, 但在火焰稳定性、充分燃烧和低氮排放控制等方面仍存在技术瓶颈^[1]。本研究结合理论与工程实践, 通过优化燃烧系统, 实验及现场应用成效显著, 部分指标已达到国家环保要求。

1 电站锅炉运行现状与技术要求

1.1 锅炉运行现状

电站锅炉属于大型热能转化装置, 普遍适用于电力生产和工业流程。伴随能源需求的连续增加以及环保法规的持续强化, 传统锅炉的运行状况与排放指标面临严重考验。现阶段大部分电站锅炉依然用煤炭作为首要燃料, 其燃烧过程中释放的众多氮氧化物(NO_x)和二氧化硫(SO_2)成为引发酸雨和空气污染的首要根源。

传统燃烧方式因为受到燃料特性、设备构造及操作方法的约束, 在燃烧效能与污染物排放管控领域具有明显缺陷。

在运行过程中, 燃烧效率低下、污染物排放大的问题明显限制了传统电站锅炉的经济性与环保性能(见表 1)。某些锅炉于运行中广泛出现热损失大、燃烧不够充分还有火焰稳定性差等现象, 这不但造成能源的浪费, 并且提高了污染物的产生量。特别是于高温燃烧条件下, 氮氧化物的产生量表现为非线性增加, 对环境和人体健康造成即时危害^[2]。

1.2 环保政策驱动与技术要求

氮氧化物是造成大气污染的一个重要原因, 会严重破坏自然环境和危害公众身体健康。对于电站锅炉这类设备, 限制氮氧化物的排放量已经成为国家环保政策中最重要的一部分。锅炉排放氮氧化物的浓度标准越来越低, 对锅炉的运行提出了更加严格的要求。政策让锅炉技术的更新换代得到了很好的推动, 迫使相关企业必须改进燃烧的方法, 研发出能够减少氮氧

表 1 电站锅炉运行现状核心问题

问题类别	具体表现	主要影响
燃烧效率	热损失大、燃烧不充分、火焰不稳定	能源浪费、运行经济性降低
污染物排放	NO_x 和 SO_2 排放量高, 高温下 NO_x 激增	空气污染、酸雨、健康危害
设备与管理差异	设备陈旧、管理水平参差	排放与能效差异大、达标困难

作者简介: 曹世冬 (1986-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 化工厂热电站锅炉日常运行管理。

化物产生的新型燃烧设备,同时使用先进的控制系统来达到环保标准。

2 燃烧机理及低氮调控原理

2.1 燃烧过程基本机理

燃烧过程属于化学反应加上能量转化共同表现出来的一种状态,核心部分停留在可燃物与氧化剂互相作用。电站锅炉燃烧过程主要依靠固体燃料液体燃料或者气体燃料跟空气里面氧气发生化学反应来完成,通常是在温度比较高情况下进行氧化反应(见图1)。燃料具体构成、燃烧周围环境、氧气供应方法等因素都会明显影响到燃烧效率高低以及产物分布情况^[3]。

燃烧反应的根本原理是燃料分子与氧分子发生化学反应,这个过程主要是把燃料分子与氧分子的化学键重新组合一遍,整个过程会分成混合阶段、点火阶段、燃烧阶段这三个步骤来完成。燃料与空气的比例高低、燃料停留在氧气中的时间长短,还有火焰本身的形状结构,这些因素都会明显影响到反应进行的快慢。当燃料与空气完全达到合适的比例,并且燃烧时间足够长的时候,燃料中的碳元素就会变成二氧化碳,而氢元素就会变成水。

燃烧过程包含复杂动力学调控,尤其是高温环境里氮氧化物形成机理。燃烧温度成为决定氮氧化物形成的关键要素。温度上升,氮气分子彼此碰撞次数增加,生成热力型氮氧化物可能性明显加大。燃料中含氮化合物高温分解生成氮氧化物,也需要认真关注。

2.2 氮氧化物生成机制

氮氧化物主要来源于高温燃烧时氮气跟氧气发生化学反应。产生氮氧化物的化学反应过程分为三种方

式:第一种方式是热力型生成方式,氮氧化物主要来源于空气中存在氮分子,当温度变高,氮分子受到激发作用,跟氧原子发生反应,最终形成氮氧化物。第二种方式是快速型生成方式,氮氧化物产生依靠燃烧时碳氢基团与氮分子发生反应,氮氧化物产生速度很快,但是对温度要求比较低。第三种方式是燃料型生成方式,氮氧化物产生数量与燃料本身含氮多少有直接关系,燃料中存在氮化物,燃烧时会分解,与氧气发生反应,最终形成氮氧化物。三种生成方式中,热力型生成方式对燃烧温度变化非常敏感,燃料型生成方式对燃料种类与性质影响特别大。要想降低氮氧化物产生量,燃烧温度不能太高,再调整好空气与燃料比例关系,这样就能明显减少氮氧化物产生总量,最后实现氮氧化物排放量低的理想状态^[4]。

3 燃烧系统优化与工艺改进

3.1 燃烧器布置优化调整

调整好燃烧器的位置对于提高锅炉燃烧效果和减少污染物排放起着非常关键的作用。如果燃烧器布置不科学,就会造成火焰分布不够均匀、燃料与空气混合不理想的情况,这样会导致燃烧不彻底,污染物的控制也会更困难。科学合理布置燃烧器位置,可以改善火焰的稳定程度,让热负荷分布更加平均,同时还能让燃烧室内部的热量传递表现得更好,有效减少氮氧化物的产生。

在研究如何改进燃烧器的摆放方式时,需特别关注燃烧器位置的调整、数量的增加以及角度的调节等重要问题。燃烧器采取分层摆放的设计思路,能够明

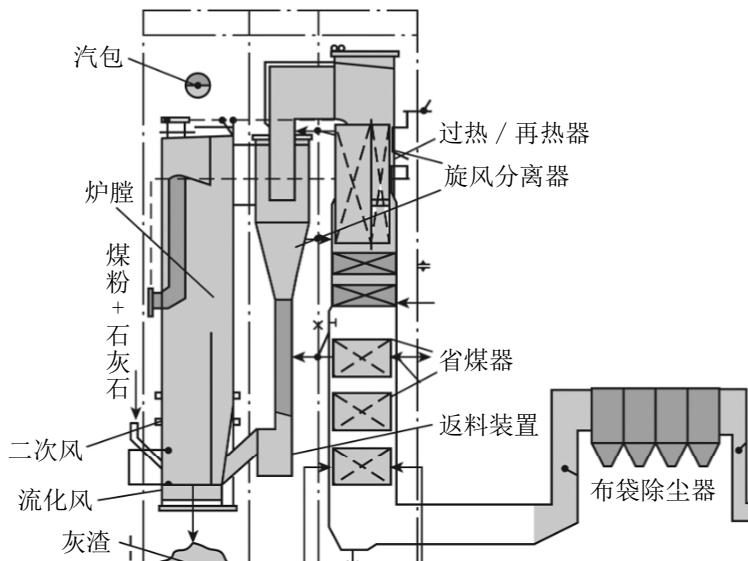


图1 电站锅炉燃烧的基本机理

显减少局部高温区域的出现,这样就能很好地降低氮氧化物产生的量。使用分级燃烧的技术手段,把燃料分成几个阶段在不同的区域进行燃烧,这样可以拉长燃烧的时间,同时减少高温环境中氧气过于强烈的特性,从而有效控制氮氧化物产生的根源。燃烧空气的分配也进行了改进,专门添加了旋流器来提升空气和燃料之间的融合效果,加强火焰的流动特点,让整个燃烧过程变得更加顺畅。

3.2 燃烧室构型改进

老式的燃烧室都存在火焰温度分布很不均匀、局部温度高的问题。针对燃烧室内部结构的设计,通过合理规划燃料和空气的配比方式,改善气流的流动路径,打造温度分布更均匀的燃烧环境,这样就能有效阻止高温区域的形成。另外,还要重视燃烧室内部壁面材料的选择和排列方式的规划,选用能承受高温且不易生锈的优质材料,确保燃烧过程更加平稳顺畅。利用壁面降温的技术手段,能够很好地控制辐射出来的过高热量,让整个燃烧系统一直维持在一个合适的温度区间内。实验数据表明,经过优化后的燃烧室明显减少了最高火焰温度,氮氧化物的生成量也有了大幅下降,燃料的燃烧效率得到了很大提升^[5]。

4 电站锅炉优化改造后的应用示范与效能提升

4.1 现场运行表现

现场测试结果证明,改进之后的燃烧器配置和燃烧室结构有效地优化了燃料同空气的混合均匀程度,燃烧过程更为平稳,炉膛内温度分布趋向一致,没有彻底燃烧的碳含量显著减少。火焰监影系统显示改进之后的火焰形态更为集聚,燃烧强度显著加强,证明系统可以于多工况中维持高性能燃烧状态。氮氧化物排放检测数据证实了低氮燃烧技术的应用成效。和未改进之前的系统对照,经过改良的锅炉氮氧化物排放浓度明显降低,高效抑制了高温区域氮氧化物产生的因素。实验表明,污染物排放指标已经符合本地以及全球规范的严格标准,为电厂持久绿色达标运营提供了保障。运行期间的锅炉热效率检测更深入证实了该改进方案的经济价值,燃烧系统的更新不但缩减了燃料用量,并且平稳了蒸汽供应,提升了设备运作的可信度。现场监测资料呈现了改进措施在运作效果上的整体优势,阐明了高性能、少污染燃烧技艺在电厂锅炉改造升级中的关键意义和创新空间。

4.2 热效率提高与排放降低成果

改进后的燃烧系统在热效率提升和氮氧化物排放量降低方面获得了明显成效。借助实验测定与现场使

用数据解析,改良后的燃烧器布局和燃烧室结构完善明显增强了燃料与空气混合的均衡性,推动了燃料的彻底燃烧,使锅炉整体热效率增加了大约 35%。改良设计的燃烧参数保证了火焰的平稳性,减少了燃烧过程中产生未燃尽燃烧的风险,因此削减了能量损失。

燃烧器采用分级布置方式可以合理调节燃料高温区域氧含量水平,从而减小热力型氮氧化物以及燃料型氮氧化物生成速度。烟气再循环技术加入之后可以有效降低燃烧温度水平,达到氮氧化物排放总量大幅减少目的。经过改进系统能够在各种运行工况条件下保持氮氧化物排放数值比较低。这项改进燃烧系统的办法明显提高锅炉工作效果并且大幅降低污染物排放量,完全符合现在环保要求越来越严格的实际情况,显示出很大的实际使用价值和未来发展的广阔前景。

5 结束语

本研究聚焦发电厂锅炉燃烧系统面临的环保与低氮排放难题,开展理论分析与实操探索。通过改进燃烧器位置、调整燃烧室形状、改变燃料与空气混合方式,建立改进设计方案并调节燃烧参数,实现火焰稳定、燃料充分燃烧及二者平衡。实验与运行数据显示,改进后系统热效率提升、氮氧化物排放降低,满足低排放标准,为老旧设备更新提供可行方法。但是,研究还存在不足,如燃烧参数精准度未达最佳,燃烧室复杂流动与反应机制部分环节难以完全掌握,限制了改进方案适用性。未来可扩大试验样本、延长试验时间,用高级计算模拟工具探究燃烧机理,结合人工智能优化控制逻辑。同时,深入解析燃烧过程构建智能控制模型、扩展实验验证、引入大数据与仿真技术完善参数调整方法,为电站锅炉燃烧系统改进提供坚实的技术支持,推动绿色低碳排放技术广泛应用。

参考文献:

- [1] 薛建伟,于春洋.电站锅炉水冷壁熔覆堆焊防护技术研究现状[J].焊接,2025(10):49-57.
- [2] 彭学文,胡智浩,王坤,等.超超临界二次再热电站锅炉蒸汽吹管泄漏原因分析[J].江西电力,2025,49(05):63-67.
- [3] 姜龙,李金晶,姚宣,等.基于数据提质的电站锅炉脱硝运行优化技术研究及应用[J].热力发电,2025,54(10):149-156.
- [4] 袁生明,江子波,马利民,等.330 MW 锅炉燃烧系统灵活性优化改造[J].电站系统工程,2024,40(05):28-30.
- [5] 赵秀良,崔立明,刘平,等.燃煤电站锅炉掺氨燃烧系统安全风险识别及防控机制[J].洁净煤技术,2024,30(S2):547-554.