

火电厂锅炉燃烧优化及节能减排技术分析

姚卫涛

(济南热电集团有限公司, 山东 济南 250002)

摘 要 为了提高火电厂的能源利用效率, 减少污染物排放, 实现可持续发展, 本文阐述了火电厂锅炉燃烧的基本原理和影响燃烧效率的关键因素, 如燃料特性、空气供给、炉膛温度等。详细探讨了常见的燃烧优化技术, 包括燃烧器改造、配风调整、智能控制系统应用等。同时, 介绍了多种节能减排技术, 如燃料预处理、余热回收利用、烟气净化处理等。通过节能减排技术的综合应用, 旨在为有效提升火电厂锅炉的性能、降低能耗与污染排放提供参考。

关键词 火电厂; 锅炉; 燃烧效率; 燃烧优化; 节能减排

中图分类号: TM621.2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.19.022

0 引言

在能源需求不断增长且环保要求日益严格的背景下, 火电厂锅炉燃烧效率不仅直接关系到能源的有效利用, 还对环境质量有着重大影响^[1]。然而, 当前火电厂锅炉燃烧中存在许多问题, 使得锅炉的燃烧效率很难得到有效提升。一方面, 由于低质量煤不能完全燃烧, 导致资源浪费; 另一方面, 由于送风量和燃煤之间的配比不合理, 导致锅炉内不能充分燃烧。同时, 原有控制方式为固定式控制, 不能及时地对实际情况做出调整。基于此, 开展火电厂锅炉燃烧优化及节能减排技术的研究具有重要的现实意义。

1 火电厂锅炉燃烧概述

火电厂锅炉燃烧是指将燃料所含有的化学能转变为热能的复杂过程, 其基本原理是在炉膛内燃料与空气混合后进行剧烈的氧化反应, 产生大量热量, 将水加热变成高温高压的水蒸气, 进而带动发电机发电。

对于燃料来说, 不同品种的燃料, 如煤、燃气等, 有着不同的燃烧性质, 其中煤中挥发分、固定炭等比例的不同, 会直接影响着火的难易程度和燃烧的稳定性的。高挥发分的煤很容易被点燃, 而且燃烧完全。而天然气有燃烧速度较快、清洁等优点。

空气供应是燃烧的重要因素。足够的空气可使燃料得到完全燃烧, 但空气量过大将带出大量热量, 降低锅炉的热效率; 空气量过小则会使燃料不能完全燃烧, 造成 CO 等有毒气体生成, 并影响其燃烧效率。因此, 对风粉比例进行精准控制, 是提高燃烧效率的关键^[2]。

在炉膛内温度方面, 足够的高温度可以加快燃料的着火和燃烧速度, 让燃料更加完全地发挥其作用。但温度过高会导致炉内结焦等情况的发生, 影响到锅炉的正常工作。此外, 燃料的粒度、形状等物理性质也会影响其燃烧效果, 粒度越小, 燃料比表面积越大, 与空气的接触越充分, 燃烧越快。

2 火电厂锅炉燃烧优化

2.1 燃烧器改造

在火电厂锅炉燃烧中, 对燃烧器进行改造后可改善这些问题的发生情况, 因此, 可通过喷嘴改进、燃烧器布置优化等方式实现燃烧效率提升目标。喷嘴改进可利用旋流喷嘴实现燃料与空气的有效混合。旋流喷嘴可以使进入的空气发生旋转, 增加空气与燃料之间的混合程度。旋转的气流使得燃料颗粒在炉膛中的分布更加均匀, 提高了燃料与氧气体积比, 增大了燃料与氧的接触面, 在一定程度上提升了燃料的完全燃烧情况。此外, 通过合理设置旋流强度以及旋流的方向, 可有效地控制火焰形状及火焰长度, 使得火焰更加平稳地在炉膛内进行燃烧, 进一步提高燃烧效率^[3]。

在燃烧器布置中, 可以通过对冲布置的方式实现, 即把前后墙燃烧器对冲布置, 在炉膛内部形成燃料及空气的强烈对撞以及混合作用。这种布置形式可以让燃料与空气得到更加充分的接触, 加强其稳定性与均匀性; 当两个方向上的气流发生碰撞的时候, 会形成一个强大的扰动作用, 促进煤粉均匀分布于炉内, 有利于完全燃尽。

作者简介: 姚卫涛 (1997-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 热能动力工程。

2.2 配风调整优化

火电厂锅炉燃烧配风调整主要是根据锅炉运行工况、分级配风来调整。对于锅炉运行工况，负荷变动的时候配风也要随之发生改变，在锅炉低负荷工作的情况下，燃料也会相对地减少，这时应当减小一次风和二次风的风量，并确保空气中所占比例不会导致燃烧不稳定。锅炉满负荷后，在加煤的同时也要加大送入二次风，保证燃料完全燃烧。分级配风即将燃烧所需要的空气分为一次风、二次风甚至是三次风，并按照一定比例及送入时间进行送入，实现燃料能够实现分级燃烧（见图 1），这种方式可以有效降低氮氧化物（ NO_x ）的生成。其中，一次风先将煤粉送入炉膛中，供给一部分氧以供煤粉初步燃烧，二次风在适当位置及时间送入，能够提供燃烧所必需的大量氧气，促使燃烧的完全；三次风可以进一步调整燃烧过程，使燃烧更加稳定和高效。

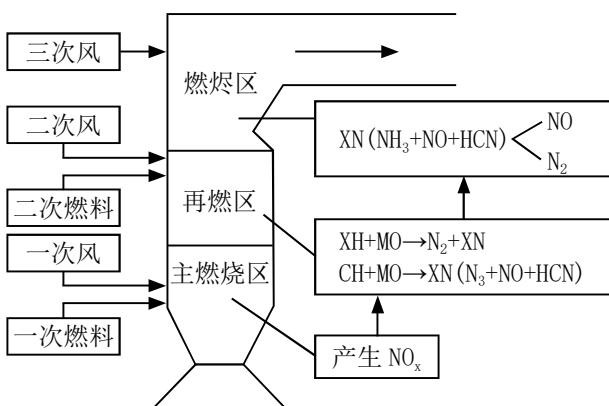


图 1 火电厂锅炉燃烧分级配风技术

2.3 智能控制系统应用

火电厂锅炉燃烧智能控制系统可对锅炉的运行参数（温度、压力、流量等）进行动态监控，并依据这些状态信息自动调节锅炉的燃烧状况，以达到最优燃烧状态。因此，可以采用分层式结构分为采集层、控制层和执行层进行智能化控制。

采集层的主要作用是实时、准确地采集锅炉各处的关键参数信息，包括温度、压力、流量、氧量、燃料量等，通过在锅炉不同的部位设置大量的高精度传感器，如在炉膛、过热器、省煤器等位置，保证数据可以全面、准确地获取各项数据。这些传感器将锅炉运行的细微变化及时转化为电信号或数字信号传输至控制层^[4]。

控制层接收到采集层传来的数据后，采用 PID 算法、模糊控制算法、大数据分析技术等，对锅炉运行参数进行深层次挖掘和分析，根据建立好的燃烧模型

模拟并预测不同条件下锅炉最优的燃烧情况。该模型会综合考虑燃料特性、空气供给、炉膛温度等多种因素，按照当前工况自动调节控制参数，实现最佳燃烧状态及最少污染排放量。

执行层按照控制层给出的命令，对燃烧器、风门、给煤机等实施控制。通过对燃烧器的喷油量和配风的比例及给煤机的给煤速度进行控制来达到对燃烧过程的控制。此外，执行层也具有一定的故障诊断和应急处理的功能，在发现有设备异常或者参数超过安全值的时候，可以及时做出相关处理，保证锅炉安全平稳运行。

3 火电厂锅炉燃烧节能减排技术

3.1 燃料预处理技术

为了提升火电厂锅炉的燃烧效果及降低污染气体的排放量，在实际运行中可采取对燃料进行预先处理的技术来实现这一目标。对于煤炭燃料，可通过洗选、制型煤以及制作水煤浆等方式对其进行预先处理。其中，洗选就是将煤块中所含有的矸石、硫分等杂质剔除出去，以达到提高煤炭质量、增加热值的目的，减少燃烧过程中 SO_2 等污染物的排放。型煤加工是指在粉煤中加入黏结剂等制成有一定形状及强度的型煤，以改善煤质的燃烧性状，使燃烧更为充分，减少烟尘排放量的过程。水煤浆制备则是将煤炭磨碎后与水、添加剂等混合制成水煤浆，具有良好的流动性和雾化性能，能提高燃烧效率，减少污染物生成^[5]。

天然气中通常会混有一些硫化物、水以及一些固体颗粒等，它们的存在会影响气体的燃烧效果，并对发动机造成腐蚀作用。因此，利用脱硫系统除去其中的硫化物，利用干燥系统将水分除去，再利用滤网清除掉其中的固体物质，则可以有效保证天然气的洁净程度，确保燃烧稳定性及充分性；结合锅炉燃烧工况特点对燃气中 CH_4 、 C_2H_6 等碳氢化合物进行控制，从而更好地满足燃烧需求，降低污染程度。

3.2 余热回收利用技术

火力发电厂锅炉余热回收利用，不仅能够提升能源利用率，还能够一定程度上降低能源浪费现象的发生概率，从而达到节能减排的目的。因此，可以采用烟气余热回收和排污水余热回收进行余热利用。

烟气余热回收是指利用热交换装置把锅炉排出的烟气所含有的热量传递给低温介质，在锅炉尾部的烟道上装设省煤器、空气预热器等装置来降低锅炉的排烟温度，提高空气和水的温度。其中，省煤器可以对烟气中蕴含的热量进行吸收，加热进入锅炉内部的给水，从而降低燃料使用量；而空气预热器则是将烟气

所蕴含的热量传递给锅炉所需要的燃烧空气，提高炉膛温度，加强燃烧，提高锅炉热效率。

排污水余热回收则是利用热交换的方式，把排污水中的热量传递给其他需要热量的介质。火电厂排污水一般都有很高的温度，蕴藏着很多的热量，可以通过安装合适的热交换装置，如板式热交换器等，将排污水中的热量传递给进锅炉的给水或者其他低温度的流体。这样一来，排污水温度下降的同时，被加热的介质温度上升，将这部分余热进行有效回收利用，既减少了排污水带走热量造成的损失，也减少了用来加热其他介质如给水所消耗的燃料，提高能源利用率。

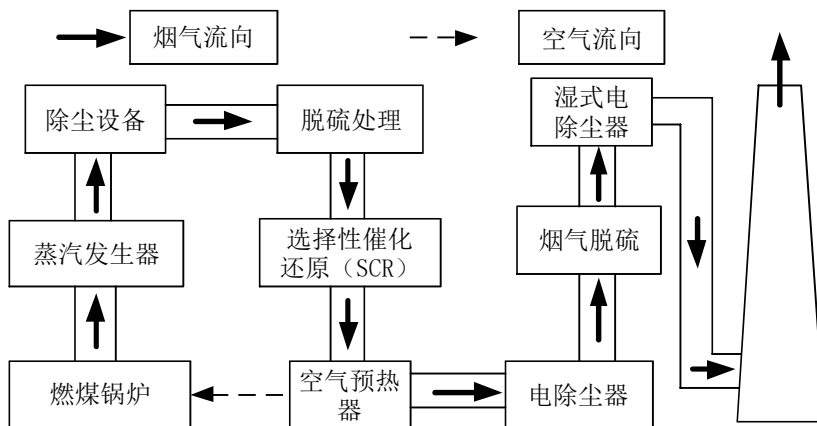


图 2 烟气净化处理流程

除去 SO_2 的方法，其特点是设备简单、占地少，但是脱硫率低。

脱硝技术主要分为选择性催化还原 (SCR) 和选择性非催化还原 (SNCR)，其中 SCR 就是利用催化剂，在催化剂作用下，将氨或者尿素作为还原剂，喷入烟气之中，使得 NO_x 还原成 N_2 和 H_2O ，其脱硝效率可达到 80% ~ 90%；SNCR 是在较高温度下，将还原剂直接喷射到烟气之中，不需要使用催化剂。但脱硝效率偏低，一般为 30% ~ 50%。

除尘方式可分为静电除尘法和电袋复合除尘法。静电除尘法是利用高压电场使烟气中的颗粒物荷电，在电场力作用下被吸附在集尘板上而实现除尘的方法；电袋复合除尘技术将静电除尘及布袋除尘有机结合在一起，充分发挥各自的优势，进一步提升除尘效率，可实现更高的排放指标要求。

4 结束语

火电厂锅炉燃烧是一个复杂且关键的过程，涉及燃料、空气、温度等多方面因素。通过燃烧器改造、配风调整优化、智能控制系统优化等燃烧优化技术，

3.3 烟气净化处理技术

火力发电厂锅炉燃烧过程中会产生大量二氧化硫 (SO_2)、氮氧化物 (NO_x)、颗粒物 (PM) 等，这些污染物对环境和人体健康造成严重危害。因此，采用高效的烟气净化技术进行处理。烟气净化处理技术主要有脱硫、脱硝和除尘三个方面 (见图 2)。

脱硫可分为湿式脱硫及干式脱硫。湿法脱硫即使用碱性吸收剂，如石灰石—石膏法，将烟气中的 SO_2 经过吸收塔与吸收剂发生化学反应生成 CaSO_4 而被去除的技术手段。此方式脱硫效果较好，但设备投资大、运行费用高。干法脱硫是采用固体吸收剂或者吸附剂来

可有效提升燃烧效率。而燃料预处理、余热回收利用及烟气净化处理等节能减排技术，能在提高能源利用效率的同时，减少污染物排放。未来应持续深入研究这些技术，结合先进的科技手段，进一步优化火电厂锅炉燃烧过程，实现高效、清洁、绿色的发电目标，为能源可持续发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 田琪. 基于火电厂锅炉燃烧优化技术的关键探究 [J]. 科技与创新, 2026(04):210-212.
- [2] 戴江涛. 火电厂锅炉燃烧优化与能效提升 [J]. 能源新观察, 2025(11):74-75.
- [3] 方路林. 火电厂锅炉燃烧优化调控技术在降低煤耗中的应用研究 [J]. 锅炉制造, 2025(05):33-35.
- [4] 邱禄全. 基于人工智能的火电厂锅炉燃烧系统故障预测与诊断 [J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(10):131-133.
- [5] 乔建文. 火电厂锅炉节能减排技术研究 [J]. 科技创新导报, 2019, 16(19):122-123.