

大型电站锅炉燃烧优化技术及其节能效果分析

孙麒

华电滕州新源热电有限公司, 山东 滕州 277500

摘要： 本文针对大型电站锅炉燃烧过程，分析了燃料特性、燃烧设备结构和燃烧过程影响因素，提出了燃烧优化技术方法，包括燃料预处理、燃烧设备改造和燃烧过程控制。具体措施涉及燃料配比、燃烧温度、燃烧气氛、燃烧器结构和烟气排放的优化。实施这些优化技术后，锅炉热效率提高、燃料消耗量降低、烟气排放污染物浓度减少，实现了显著的节能效果。

关键词： 大型电站；锅炉；燃烧；节能

Analysis of Combustion Optimization Technology and Energy-Saving Effect of Large Power Station Boiler

Sun Qi

Huadian Tengzhou Xinyuan Thermal Power Co., LTD. Tengzhou, Shandong 277500

Abstract: This paper aims at the combustion process of large power station boiler, analyzes the fuel characteristics, the structure of combustion equipment and the influencing factors of the combustion process, and puts forward the combustion optimization technology methods, including fuel pretreatment, combustion equipment transformation and combustion process control. Specific measures involve the optimization of fuel ratio, combustion temperature, combustion atmosphere, burner structure and flue gas emission. After the implementation of these optimization technologies, the boiler thermal efficiency is improved, the fuel consumption is reduced, the pollutant concentration of flue gas emission is reduced, and the significant energy saving effect is achieved.

Keywords: large power station; boiler; combustion; energy saving

引言

随着能源需求的不断增长和环保意识的加强，提高电站锅炉的燃烧效率、降低能源消耗和减少污染物排放已成为我国能源领域的重要研究课题。大型电站锅炉作为能源转换的关键设备，其燃烧优化技术的研究与应用对于提高能源利用效率、保障能源安全具有重要意义。

一、燃烧过程分析

(一) 燃料特性分析

电站锅炉常用的燃料包括煤、石油、天然气等。煤的燃料特性包括其水分、灰分、挥发分和固定碳等含量。水分和灰分含量的高低直接影响燃料的热值和燃烧效率，高水分和高灰分的煤燃烧时热值低，燃烧效率差，而且会增加锅炉的腐蚀和积灰^[1]。挥发分含量的多少决定了煤的着火温度和燃烧速度，挥发分含量高的煤易于着火，燃烧速度快。固定碳是煤中不可燃的碳元素，其含量影响煤的燃烧完全程度。石油和天然气的燃料特性分析则侧重于其热值、密度、粘度、硫含量等指标，这些指标决定了燃料的燃烧稳定性、热效率和排放特性。

(二) 燃烧设备结构分析

燃烧设备是锅炉系统的核心组成部分，其结构设计直接影响

燃烧效率和安全性。燃烧设备通常包括燃烧室、燃烧器、空气预热器等。燃烧室是燃料燃烧的主要场所，其体积和形状设计需要保证燃料充分燃烧，同时减少热量损失。燃烧器负责将燃料和空气均匀混合，并提供足够的氧气以维持燃烧，其设计必须考虑到燃料类型、燃烧方式和燃烧效率。空气预热器则是通过预热空气来提高燃烧温度，增强燃烧效率，同时还可以降低燃料的氮氧化物排放。燃烧设备的结构设计中，流道的设计、材料的选用和制造工艺都至关重要，它们决定了燃烧设备的性能和寿命^[2]。

(三) 燃烧过程影响因素分析

燃料的性质是决定燃烧效果的基础，包括燃料的热值、水分、灰分、挥发分等。燃烧设备的结构设计对燃烧过程有重要影响，如燃烧器的型式、燃烧室的尺寸、空气和燃料的混合方式等。此外，燃烧过程中的操作条件也会影响燃烧效果，包括燃烧温度、氧气浓度、燃料和空气的配比、燃烧压力等。温度过高或

过低都会影响燃烧的完全程度和效率。氧气浓度不足会导致燃料燃烧不完全，产生大量污染物；而氧气浓度过高则会导致氮氧化物的生成，影响环保。燃烧过程中的灰分沉积和腐蚀问题也会影响燃烧设备的正常运行和寿命。

二、燃烧优化技术方法

（一）燃料预处理技术

燃料预处理技术主要包括对燃料进行物理和化学处理，以提高燃烧效率。物理处理方面，可以采用筛分、破碎、磨粉等方式，将燃料加工成更细小的颗粒，增加其与空气的接触面积，从而促进燃烧的充分性。例如，对于煤炭，可以采用洗煤技术去除其中的灰分和硫分，提高其发热量。化学处理方面，可以通过添加催化剂或进行化学转化，改变燃料的燃烧特性，如降低着火温度、提高燃烧速度等。建立燃料特性数据库，对入炉燃料进行实时分析，根据分析结果进行配煤，优化燃料的燃烧特性^[2]。采用高效的燃料破碎和磨粉设备，提高燃料的细度。引入先进的洗煤技术，降低煤中的灰分和硫分，提高燃烧效率。

（二）燃烧设备改造技术

燃烧设备的改造技术主要针对燃烧器、炉膛等关键部位进行优化。对于燃烧器，可以通过改变喷嘴形状、调整火焰形状等方式，优化燃料与空气的混合效果，提高燃烧效率。炉膛的改造则侧重于提高燃烧温度和减少热量损失。对燃烧器进行结构优化，如采用多级燃烧技术，提高燃烧的稳定性。对炉膛进行保温处理，减少热量散失。安装烟气再循环系统，降低氮氧化物的生成量。采用先进的燃烧监测系统，实时调整燃烧参数，保证燃烧的稳定性 and 效率。

（三）燃烧过程控制技术

燃烧过程控制技术是通过自动控制系统对燃烧过程进行实时监控和调整，以达到最佳燃烧效果。包括对燃料供应、空气供应和燃烧温度等参数的精确控制。建立燃烧过程控制系统，实时监测燃烧参数，如氧气浓度、燃烧温度等^[3]。采用模糊控制、神经网络等先进的控制算法，对燃烧过程进行智能优化。对燃烧设备进行定期维护和检修，确保其运行在最佳状态。对操作人员进行专业培训，提高其操作技能和应对突发情况的能力。

三、燃烧优化技术具体措施

（一）燃料配比优化

建立燃料数据库，收集不同燃料的特性数据，包括热值、硫分、灰分等。采用先进的燃料分析仪器，实时监测入炉燃料的成分和特性。根据锅炉负荷和燃料特性，通过专家系统或智能优化算法确定最佳的燃料配比方案。采用自动化控制系统，实时调整燃料供应比例，确保燃料配比的精确性^[4]。定期评估燃料配比的效果，根据锅炉运行数据进行调整优化。

（二）燃烧温度优化

通过安装高温监测仪表，实时监测燃烧温度，确保其在最佳

范围内波动。根据燃料类型和锅炉负荷，调整燃烧器的一次风量和二次风量，控制燃烧温度。优化燃烧器设计，如采用多级燃烧技术，使燃料在不同温度下分段燃烧，减少氮氧化物的生成。采用烟气再循环技术，通过将部分烟气返回燃烧室，降低燃烧温度，同时减少污染物排放。利用燃烧过程的实时数据和模型预测，通过智能控制系统动态调整燃烧参数，以保持燃烧温度的稳定性。

（三）燃烧气氛优化

优化空气和燃料的混合比，通过精确控制一次风和二次风的流量，确保氧气与燃料的混合恰到好处，既满足燃烧所需的氧气量，又避免过量空气带来的热量损失。采用分级送风技术，将燃烧过程分为多个阶段，每个阶段提供适量的空气，使燃料在不同温度下充分燃烧，减少不完全燃烧现象^[5]。引入烟气再循环系统，通过将部分低温烟气与新鲜空气混合，降低燃烧温度，减少氮氧化物的生成，同时提高燃烧效率。使用富氧燃烧技术，通过增加氧气浓度，提高燃烧速度和温度，减少有害物质的排放。定期检测和维护燃烧设备，确保燃烧器、炉膛等设备的清洁和良好运行状态，防止积灰和腐蚀影响燃烧气氛。

（四）燃烧器结构优化

改进燃烧器喷嘴设计，通过优化喷嘴形状和大小，提高燃料与空气的混合效率，促进燃料的充分燃烧。增加燃烧器调节功能，燃烧器应具备调节燃料和空气流量的能力，以适应不同的锅炉负荷和燃料类型。采用多级燃烧技术，通过多级燃烧，实现燃料在不同温度下的分段燃烧，减少氮氧化物的排放^[6]。增强燃烧器的耐磨性和耐腐蚀性，选择合适的材料和表面处理技术，延长燃烧器的使用寿命。智能化燃烧器控制系统，通过安装传感器和智能控制系统，实时调整燃烧参数，确保燃烧过程的稳定性和效率。

（五）烟气排放优化

安装脱硫脱硝装置，通过湿式或干式脱硫、选择性催化还原（SCR）或选择性非催化还原（SNCR）等技术，减少二氧化硫和氮氧化物的排放。优化锅炉尾部受热面设计，通过增加受热面积或改进尾部受热面的结构，提高烟气的冷却效率和污染物去除效果。采用活性炭喷射技术，在烟气中喷射活性炭，吸附烟气中的重金属和有机污染物，减少其排放^[7]。定期清洗和维护排放设备，确保排放设备的清洁和良好运行状态，避免污染物排放浓度超标。实施烟气在线监测，安装烟气排放连续监测系统（CEMS），实时监控污染物排放浓度，确保排放达标。

四、燃烧优化技术的节能效果

（一）节能效果评价指标

热效率是衡量锅炉燃烧节能效果最直接的指标，它反映了锅炉将燃料的化学能转化为热能的效率。热效率越高，能源利用率越高，节能效果越显著。计算公式为：热效率 = (锅炉有效利用热量 / 燃料总热量) × 100%。燃料消耗率是指单位时间内锅炉消耗燃料的量，通常以千克 / 小时或吨 / 天计。通过比较优化前后的

燃料消耗率，可以直观地评价节能效果。排放指标包括氮氧化物（NO_x）、二氧化硫（SO₂）、颗粒物（PM）等排放浓度和排放量。优化后的燃烧技术应能显著降低这些污染物的排放，减少对环境的影响。锅炉运行参数包括炉膛温度、烟气温、过量空气系数等参数。这些参数的优化可以反映出锅炉燃烧过程的改善，进而评估节能效果。经济性指标包括投资回收期、运行成本、维护成本等。通过计算这些指标，可以评估燃烧优化技术的经济效益。可靠性指标包括锅炉运行稳定性、故障率、停机时间等。优化技术的实施应能提高锅炉的可靠性和运行效率。通过这些评价指标，可以全面、客观地评估大型电站锅炉燃烧优化技术的节能效果，为企业提供决策依据，并为行业提供参考标准。

（二）节能效果分析

1. 锅炉热效率提高

通过对燃烧过程的优化，如改善燃料与空气的混合效果、提高燃烧温度、减少热量损失等措施，可以使锅炉的热效率得到显著提升。优化燃烧器设计和操作参数可以确保燃料在炉膛内充分燃烧，减少未燃尽燃料的损失。例如，通过调整燃烧器的喷射角度和喷射速度，可以使燃料与空气更均匀地混合，提高燃烧效率。采用多级燃烧技术，可以根据燃料的不同燃烧特性分段控制燃烧过程，有效提高热效率^[9]。在锅炉运行过程中，通过实时监测和调整燃烧参数，如过量空气系数、炉膛温度等，可以确保锅炉在最佳状态下运行，减少热量损失。同时，优化尾部受热面的设计和运行，如增加受热面积、改进烟气冷却方式等，可以提高锅炉的热交换效率，进一步增加热效率。

2. 燃料消耗量降低

通过优化燃烧过程，减少燃料的不完全燃烧和热量损失，可以有效降低锅炉的燃料消耗量。优化燃料配比和燃烧条件，可以使燃料在锅炉内充分燃烧，减少燃料的浪费。例如，通过精确控制燃料和空气的混合比例，可以确保燃料在最佳氧气条件下燃烧，减少因氧气不足或过量导致的燃料浪费^[9]。通过改进锅炉的自

动化控制水平，可以实时调整燃烧参数，使锅炉始终保持在最优的工作状态。这样的优化措施不仅可以提高锅炉的热效率，还可以降低燃料消耗量。

3. 烟气排放污染物浓度降低

通过燃烧优化技术，可以减少有害污染物的生成。例如，通过精确控制燃烧温度，可以避免高温下的氮氧化物（NO_x）生成。在燃烧过程中，通过调整燃料和空气的比例，控制燃烧速度，可以在较低的温度下完成燃烧，从而减少 NO_x 的生成。优化燃烧设备结构，如改进燃烧器设计和安装，可以增加燃料与氧气的接触面积，促进燃料的完全燃烧，减少一氧化碳（CO）和未燃尽的碳氢化合物（HC）等有害气体的排放。对于二氧化硫（SO₂）的排放控制，可以采用脱硫技术，如湿法脱硫（FGD）或半干法脱硫系统。这些技术通过化学反应或物理吸收，从烟气中去除 SO₂，从而降低其排放浓度。通过安装高效除尘器，如静电除尘器、袋式除尘器或旋风除尘器，可以有效捕捉烟气中的颗粒物，减少其排放。同时，通过优化燃烧室的设计，减少飞灰的生成，也是降低颗粒物排放的有效途径^[10]。对于二噁英等持久性有机污染物（POPs），可以通过低温燃烧技术和选择性催化还原（SCR）等技术来降低其生成和排放。低温燃烧技术通过控制燃烧温度，减少了二噁英的前体物质的生成，而 SCR 技术则通过催化反应将氮氧化物转化为氮气，间接减少了二噁英的排放。

五、结语

本文通过深入分析大型电站锅炉的燃烧过程，提出了一系列燃烧优化技术措施，并在实际应用中取得了显著的节能效果。未来，我们应继续加强燃烧优化技术的研究，推动电站锅炉的高效、清洁、可持续发展，为我国能源结构的优化和环保事业作出更大贡献。

参考文献

- [1] 陈华锋. 基于近端策略优化算法的煤粉锅炉燃烧优化研究 [D]. 浙江大学, 2022.
- [2] 林康威. 燃煤电站锅炉燃烧与脱硝过程建模及优化控制研究 [D]. 广东工业大学, 2022.
- [3] 徐万超. 考虑时延因素的电站锅炉燃烧多目标优化控制研究 [D]. 东北电力大学, 2022.
- [4] 刘晓鹏. 电厂锅炉燃烧优化控制的设计方式分析 [J]. 电力设备管理, 2021, (08): 163-165.
- [5] 邢莉华. 基于锅炉温度场分布的风量优化控制 [J]. 冶金动力, 2021, (04): 49-52.
- [6] 李峥. 火力电厂锅炉燃烧运行优化策略 [J]. 科技创新与应用, 2021, 11(23): 129-131.
- [7] 齐宜超. 分析锅炉运行中优化调整降低煤耗 [J]. 冶金管理, 2021, (13): 150-151.
- [8] 康俊杰. 电站锅炉燃烧和 SCR 脱硝系统一体化建模与优化控制研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2021.
- [9] 尹成宇. 燃煤电站的锅炉燃烧建模及多目标优化研究 [D]. 南昌大学, 2021.
- [10] 王腾. 电站锅炉燃烧控制系统的优化策略分析 [J]. 智能城市, 2019, 5(14): 208-209.