

轧钢加热炉燃烧优化及节能技术研究

刘 岩

河南钢铁集团安阳钢铁股份有限公司生产管理处 河南安阳 455000

摘 要：随着钢铁行业的蓬勃发展，轧钢加热炉作为钢铁生产过程中的关键设备，其燃烧效率和节能水平直接关系到钢铁企业的生产成本、产品质量以及环境保护。轧钢加热炉的主要任务是将钢坯加热到适合轧制的温度，而燃烧过程作为加热炉的核心环节，其优化与节能技术的研发与应用显得尤为重要。因此，开展轧钢加热炉燃烧优化及节能技术研究，不仅具有重要的学术价值，还具有广泛的实际应用前景。

关键词：轧钢加热炉；燃烧优化；节能技术

引言

轧钢加热炉是钢铁生产过程中不可或缺的设备，其主要功能是将钢坯加热到轧制所需的温度。加热炉的燃烧效率和能耗水平直接影响到生产成本和产品质量。随着能源价格的上涨和环保要求的提高，如何优化加热炉的燃烧过程，提高能源利用效率，减少污染物排放，成为钢铁企业面临的重要课题。

一、轧钢加热炉燃烧过程分析

（一）燃烧过程的基本原理

轧钢加热炉的燃烧过程涉及燃料与氧气的化学反应，生成热量和燃烧产物。燃料在高温下与氧气接触，发生氧化反应，释放大量热能。这些热量通过辐射、对流和传导等方式传递给钢坯，使其达到所需的加热温度。燃烧产物包括二氧化碳、水蒸气和其他气体，这些气体通过烟道排出炉外。燃烧过程的高效进行依赖于燃料的完全燃烧和热量的有效传递。燃料的完全燃烧可以减少未燃尽燃料的损失，提高热效率。热量的有效传递则确保钢坯均匀受热，避免局部过热或加热不足。

（二）燃烧过程的影响因素

燃料种类对燃烧过程有显著影响，不同燃料的热值和燃烧特性不同，影响燃烧效率和热量释放。燃烧空气量的调节直接影响燃烧的完全程度，空气过多或过少都会导致燃烧效率下降。燃烧温度是决定燃烧速率和热传递效率的关键因素，高温有利于快速燃烧和热量传递。炉内气氛的氧化还原性质影响钢坯的表面质量和内部结构，控制炉内气氛可以优化产品质量。炉体结构的设计影响热量的分布和传递效率，合理的炉体结构可以减少

热量损失，提高热效率。

（三）燃烧过程的优化目标

提高热效率是燃烧过程优化的核心目标，通过减少热量损失和提高燃料利用率，可以显著降低能耗。降低能耗不仅减少生产成本，还有助于减少对环境的影响。减少污染物排放是环保要求的重要方面，通过优化燃烧过程，可以减少有害气体的排放，满足环保标准。提高产品质量是生产企业的核心竞争力，通过精确控制燃烧过程，可以确保钢坯的加热均匀性和表面质量，提高产品合格率。

二、轧钢加热炉燃烧优化技术

（一）燃烧控制优化

1. 模糊控制

模糊控制是一种基于模糊逻辑的控制方法，适用于处理不确定性和非线性问题。在轧钢加热炉燃烧控制中，模糊控制可以根据炉内温度和气氛的变化，实时调整燃料和空气的配比，从而实现燃烧过程的优化。模糊控制的核心在于模糊规则的制定和模糊推理的执行。通过将炉内温度和气氛的变化量化为模糊变量，模糊控制系统能根据预设的模糊规则进行推理，得出相应的控制策略。

2. 神经网络控制

神经网络控制是一种基于人工神经网络的控制方法，具有自学习和自适应能力。在轧钢加热炉燃烧控制中，神经网络控制可以通过学习历史数据，建立燃烧过程的模型，并根据实时数据调整控制参数，实现燃烧过程的优化。神经网络控制的核心在于神经网络的训练和模型的建立。通过将炉内温度、气氛、燃料供应量等参数作为输入，神经网络能够学习到燃烧过程的非线性关系，并输出相应的控制策略。例如，神经网络控制系统可以根据历史数据预测炉内温度的变化趋势，并提前调整燃料和空气的配比，以保持炉内温度的稳定。

作者简介：刘岩，1995年7月18日出生，男，汉族。

3. 模型预测控制

模型预测控制是一种基于模型的控制方法，通过预测未来的燃烧过程状态，优化控制参数。在轧钢加热炉燃烧控制中，模型预测控制可以根据预测结果，实时调整燃料和空气的配比，实现燃烧过程的优化。模型预测控制的核心在于模型的建立和预测算法的执行。通过建立燃烧过程的数学模型，模型预测控制系统能够预测未来一段时间内的炉内温度和气氛变化，并根据预测结果优化控制策略。

(二) 余热回收利用

1. 烟气余热回收

烟气余热回收是通过回收加热炉排放的烟气中的热量，用于预热燃烧空气或生产蒸汽。提出了基于热交换器的烟气余热回收技术，通过热交换器将烟气中的热量传递给燃烧空气或水，从而提高能源利用效率。烟气余热回收技术的核心在于热交换器的设计和优化。通过合理设计热交换器的结构和材料，能够最大限度地回收烟气中的热量，并将其传递给燃烧空气或水。

2. 炉体余热回收

炉体余热回收是通过回收加热炉炉体散失的热量，用于预热燃烧空气或生产蒸汽。提出了基于热管技术的炉体余热回收技术，通过热管将炉体散失的热量传递给燃烧空气或水，从而提高能源利用效率。炉体余热回收技术的核心在于热管的设计和优化。通过合理设计热管的结构和材料，能够最大限度地回收炉体散失的热量，并将其传递给燃烧空气或水。例如，在轧钢加热炉中，炉体余热回收系统可以通过热管将炉体散失的热量传递给燃烧空气，从而提高燃烧空气的温度，降低燃料消耗。

3. 钢坯余热回收

钢坯余热回收是通过回收钢坯在加热过程中散失的热量，用于预热燃烧空气或生产蒸汽。提出了基于热管技术的钢坯余热回收技术，通过热管将钢坯散失的热量传递给燃烧空气或水，从而提高能源利用效率。钢坯余热回收技术的核心在于热管的设计和优化。通过合理设计热管的结构和材料，能够最大限度地回收钢坯散失的热量，并将其传递给燃烧空气或水。例如，在轧钢加热炉中，钢坯余热回收系统可以通过热管将钢坯散失的热量传递给燃烧空气，从而提高燃烧空气的温度，降低燃料消耗。

(三) 炉膛结构改进

1. 炉膛结构优化

炉膛结构优化是通过改进炉膛的形状和尺寸，提高燃烧效率和热传递效率。提出了基于计算流体动力学(CFD)的炉膛结构优化方法，通过模拟炉膛内的燃烧和

热传递过程，优化炉膛的结构设计。炉膛结构优化的核心在于CFD模拟和结构设计的优化。通过CFD模拟，能够分析炉膛内的燃烧和热传递过程，找出影响燃烧效率和热传递效率的关键因素，并优化炉膛的结构设计。例如，在轧钢加热炉中，炉膛结构优化可以通过改变炉膛的形状和尺寸，提高燃烧空气的流动性和热传递效率，从而提高燃烧效率和热传递效率。

2. 炉墙保温改进

炉墙保温改进是通过改进炉墙的保温材料和技术，减少炉体热损失。提出了基于纳米材料的炉墙保温改进技术，通过使用纳米保温材料，提高炉墙的保温性能，减少炉体热损失。炉墙保温改进的核心在于纳米材料的选择和保温技术的优化。通过使用纳米保温材料，能够显著提高炉墙的保温性能，减少炉体热损失。例如，在轧钢加热炉中，炉墙保温改进可以通过使用纳米保温材料，提高炉墙的保温性能。

3. 炉门密封优化

炉门密封优化是通过改进炉门的密封结构和技术，减少炉门热损失。提出了基于弹性密封材料的炉门密封优化技术，通过使用弹性密封材料，提高炉门的密封性能，减少炉门热损失。炉门密封优化的核心在于弹性密封材料的选择和密封技术的优化。通过使用弹性密封材料，能够显著提高炉门的密封性能，减少炉门热损失。例如，在轧钢加热炉中，炉门密封优化可以通过使用弹性密封材料，提高炉门的密封性能，减少炉门热损失。

三、轧钢加热炉节能技术

(一) 高效燃烧技术

1. 富氧燃烧技术

富氧燃烧技术的核心在于通过提高燃烧介质中的氧气含量，强化燃料与氧气的混合效率，缩短燃烧反应时间，提升火焰温度及热辐射强度。与传统空气燃烧相比，该技术减少了氮气等惰性气体的稀释作用，降低烟气排放量，同时提高热能利用率。膜分离技术是实现富氧的关键手段，通过选择性渗透膜分离空气中的氧气和氮气，生成高浓度氧气输入燃烧系统。

2. 低氮燃烧技术

低氮燃烧技术旨在通过抑制氮氧化物生成路径实现清洁燃烧，其核心机理包括降低燃烧区氧浓度、控制燃烧温度及缩短高温停留时间。烟气再循环是典型实现方式，通过将冷却后的部分烟气重新引入燃烧区，稀释氧气浓度并吸收热量，从而抑制热力型氮氧化物的生成。燃烧器结构优化可进一步划分燃烧区域，形成贫氧燃烧与富氧燃烬的分级反应模式。

3. 分级燃烧技术

分级燃烧技术通过空间或时间维度划分燃烧阶段，实现燃料与空气的梯度混合。多级燃烧器系统将燃烧过程分解为主燃区、再燃区和燃烬区，通过调节各区域燃料与空气配比，延长燃烧反应路径。主燃区采用富燃料燃烧降低局部温度峰值，再燃区补充二次空气完成完全燃烧。这种分段供能方式不仅提升燃烧稳定性，还通过延长高温烟气停留时间增强热交换效率。

(二) 智能控制系统

1. 模糊控制

模糊控制基于专家经验建立模糊规则库，通过隶属度函数将温度偏差、气氛浓度等连续变量转化为模糊量进行逻辑推理。系统实时采集炉内多维度参数，运用模糊决策算法动态调整燃气阀位、风门开度等执行机构。其优势在于处理非线性、时变系统的强鲁棒性，特别适用于存在滞后特性的加热炉热工控制。控制策略可融合工艺约束条件，实现燃烧效率与温度均匀性的多目标优化，无需依赖精确数学模型即可完成复杂工况下的自适应调节。

2. 神经网络控制

神经网络控制利用深度学习方法构建燃烧过程的非线性映射模型，通过历史运行数据训练网络权值参数。系统采用递归神经网络结构处理时序数据，捕捉加热炉动态特性与多变量耦合关系。在线控制阶段，神经网络根据实时传感器数据预测燃烧状态，生成最优控制量序列。

3. 模型预测控制

模型预测控制基于滚动时域优化原理，利用燃烧过程的动态数学模型预测未来多个采样周期的系统行为。在每个控制周期内，求解有限时域内的最优控制问题，并实施首步控制指令。该技术能够显式处理多输入多输出系统的约束条件，如阀门行程限制、安全温度阈值等。预测模型可采用机理建模与数据驱动的混合建模方法，结合在线校正机制提升模型精度。

(三) 能源管理系统

1. 实时监测

实时监测系统集成热电偶、红外热像仪、气体分析仪等传感装置，通过工业物联网架构实现毫秒级数据采集与传输。无线传感网络采用自组网协议解决高温环境下的布线难题，配置冗余节点保障监测连续性。数据预处理模块完成噪声滤波、异常值剔除及特征提取，生成多维度的设备健康状态指标。

2. 数据分析

数据分析模块运用聚类分析、关联规则挖掘等机器

学习方法，从海量运行数据中识别能耗异常模式。时间序列分析技术解析加热周期内的能源消耗规律，建立基准能耗模型用于偏差诊断。特征重要性评估算法定位影响能效的关键工艺参数，揭示设备老化、操作不规范等潜在问题。基于强化学习的动态优化框架可自主生成参数调整策略，通过虚拟仿真验证后反馈至控制系统，形成数据驱动的持续改进闭环。

3. 优化控制

优化控制算法结合加热炉热力学模型与实时运行数据，构建以单位能耗最小化为目标的多约束优化问题。采用遗传算法、粒子群算法等智能优化方法搜索全局最优解，协调燃料供给、空气预热、钢坯传热等关联变量。动态优化策略考虑生产节奏变化，根据轧制计划自动调整炉温曲线，避免空载能耗损失。系统集成边际效益分析模块，量化评估技术改造的经济性阈值，指导节能措施的优先级实施。

结束语

综上所述，在轧钢加热炉燃烧优化及节能技术方面进行了深入研究，提出了多种有效的优化策略和节能技术。通过综合应用这些技术，可以显著提高加热炉的热效率，降低能耗，减少环境污染。未来，随着技术的不断进步，轧钢加热炉燃烧优化及节能技术将会有更广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 贾伟腾. 轧钢加热炉烧钢优化燃烧控制技术及节能减排措施探讨[J]. 山西冶金, 2024, 47(12): 227-229.
- [2] 张波, 温红. 轧钢加热炉中燃烧工艺参数对温度均匀性的影响及优化[J]. 冶金与材料, 2024, 44(05): 148-150.
- [3] 于孟晗. 连续式轧钢加热炉优化燃烧控制策略的研究[D]. 华北理工大学, 2022.
- [4] 焦吉成. 轧钢加热炉节能优化控制系统的应用. 山东省, 山东钢铁集团日照有限公司, 2018-12-24.
- [5] 耿欣, 牛洪海, 陈俊. 轧钢加热炉燃烧优化控制系统的设计与应用[C]// 中国计量协会冶金分会, 《冶金自动化》杂志社. 中国计量协会冶金分会2018年会议论文集. 南京南瑞继保电气有限公司研究院, 2018: 3.
- [6] 向海晟. 轧钢加热炉分段燃烧优化控制系统实践[J]. 科技风, 2018, (30): 153.
- [7] 周本胜, 刘向阳, 唐荣彬, 等. 轧钢加热炉优化燃烧系统开发与应用[J]. 科技视界, 2014, (31): 290+329.