

Application and Research of Full-Oxygen Combustion and Roasting Technology for Steel Molten Slab in the Steelmaking System

Shangdong Fan

Sichuan Dazhou Iron and Steel Co., Ltd., Dazhou, Sichuan, 635012, China

Abstract

The steel water tank is a key container for holding high-temperature liquid metal in the steelmaking system, and it serves as a production link connecting the steelmaking furnace, the refining furnace, and the continuous casting process. The working lining baking process of the steel water tank is an important research topic for steel enterprises. This paper systematically studies the application mechanism of the full-oxygen combustion technology in the baking of the steel water tank, the performance of the equipment, and the on-site data tracking. It analyzes the influence of key parameters such as the oxygen-fuel ratio on the baking effect; by eliminating nitrogen heat loss and improving the thermal efficiency of the steel water tank baking, the baking time of the steel water tank is shortened to 36.5%, and the gas consumption is reduced by 30% to 50%; CO₂ emissions are simultaneously reduced, and the NO_x emissions are cut by more than 80% [1]. This technology provides an effective path for the steel industry to achieve green and low-carbon, as well as cost reduction and efficiency improvement, and has wide application value.

Keywords

Full-oxygen combustion; Steel ladle; Thermal efficiency optimization; Oxygen-fuel ratio; Energy conservation and emission reduction

钢水罐全氧燃烧烘烤技术在炼钢系统的应用及研究

范尚东

四川省达州钢铁有限责任公司, 中国·四川达州 635012

摘要

钢水罐是炼钢系统的盛装高温液态金属的关键容器, 是连接炼钢炉--精炼炉---连铸工序的生产纽带, 对钢水罐工作衬烘烤工艺是钢铁企业持续研究的重要课题。本文系统研究全氧燃烧技术在钢水罐烘烤中的应用机理、设备的性能及现场数据追踪, 分析氧燃比等关键参数对烘烤效果的影响; 通过消除氮气热损失, 提高钢水罐烘烤热效率, 钢水罐烘烤时间缩短至36.5%, 燃气消耗降低30%-50%; CO₂排放同步减少, NO_x排放量削减80%以上^[1]。该技术为钢铁行业实现绿色低碳、降本增效提供了有效路径, 具有广泛的推广应用价值。

关键词

全氧燃烧; 钢水罐; 热效率优化; 氧燃比; 节能减排

1 引言

1.1 研究背景

钢水罐烘烤技术经过直燃式、预热式和蓄热式的发展, 烘烤效率越来越高, 但在长期使用过程中仍然存在以下几方面的问题:

传统钢包烘烤多采用空气助燃方式, 空气中 78% 的氮气不参与燃烧却带走大量热量, 导致热效率低下。

高温下氮气与氧气反应生成大量热力型 NO_x, 造成严

重环境污染。

火焰刚性不足, 温度均匀性差, 为达到烘烤效果不得不延长烘烤时间;

为兼顾火焰刚性, 空气严重过剩, 无法准确控制氧燃比; 随着钢铁行业节能减排压力加大及绿色制造要求提升, 传统烘烤技术已难以满足现代生产对效率、成本及环保的综合需求, 开发高效清洁的烘烤技术成为行业迫切需求。

1.2 研究目的与意义

本文对某钢企钢水罐全氧燃烧技术的作用机理, 优化氧燃比、烘烤曲线等关键工艺参数, 结合工业实践数据验证技术经济性与环保效益, 助力行业实现节能减排、降本增效的绿色发展目标。

【作者简介】范尚东(1972—), 男, 中国四川邻水人, 本科, 工程师, 从事钢铁冶炼研究。

2 全氧燃烧原理与特性

2.1 全氧燃烧的技术原理^[2]

全氧燃烧技术的基本原理可以从燃烧反应机现清晰体现：

转炉煤气主要成分为 CO,CO₂

空气助燃时： $2CO+O_2+3.76N_2=2CO_2+3.76N_2+$ 热量

氧气助燃时： $2CO+O_2=2CO_2+$ 热量

全氧燃烧减少了既不参加燃烧反应，也不促进燃烧反应的 N₂ 量，从而减少了烟气中 N₂ 带走的热量，达到节能的目的。

理论计算表明（图 2.1），在以转炉煤气为燃料，排烟温度达到 ~ 1000℃ 的钢包烘烤装置，采用全氧燃烧可以减少烟气体积 ~ 50%。

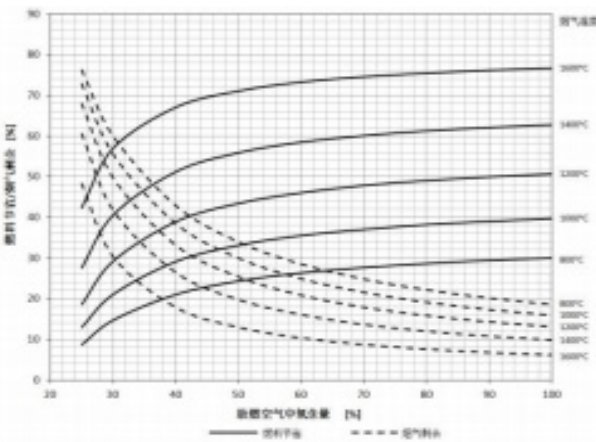


图 2.1 烟气量和节约燃料量对比

2.2 全氧燃烧技术特性

全氧燃烧采用稀氧燃烧技术，将燃气和氧气分别以高速喷射，使燃料和氧气与高温烟气快速混合，产生均匀的温度场，降低火焰温度，有利于实现包内温度

均匀和抑制热力型氮化物的产生。此外，还可以灵活调节火焰形状和温度分布（图 2.2）。

与常规燃烧烘烤相比，全氧燃烧烘烤具有以下特性：

采用全氧燃烧技术，改善了钢包内的温度分布，有利于炉衬的均匀加热和延长炉衬寿命。

采用全氧燃烧技术，提高了燃烧温度和火焰辐射能力，减少了钢水罐的烘烤时间。

完善的自动控制系统，减少工人操作难度，并确保烘烤按照工艺曲线进行。

精确的氧燃比（一般按 0.7~1.0 控制），有助于气氛调节，保证炉内气氛按照工艺要求控制。

高效的自动点火和火焰检测系统，严格的安全连锁逻辑控制，保证使用安全。

高效的节能效果，少量的燃烧产物和污染物，满足节能减排的环保要求^[3]，同时有利于改善炉前和厂房内操作环境。



图 2.2 全氧烘烤火焰及装置

2.3 全氧燃烧的特殊技术要求

全氧燃烧节能效果明显，但是由于氧气是比转炉煤气更危险的气体，因此对燃烧的过程管控及设备稳定要求更高，安全管控属于本技术最重要事项。

全氧燃烧流速高，属于急速燃烧，必须有长明火，且长明火火焰刚性要强。

氧燃比必须控制稳定，如果氧燃比控制偏差过大，可能会出现微爆现象，整个烘烤过程氧燃比实时监测控制。

安全连锁多，阀门的稳定运行、控制精度要求高，要做到免维护状态。

氧气属于危险气体，对管道清洁度及焊接有特殊要求，同时对法兰等密闭有严格要求，管材选择及管路施工必须按照规范实施。

3 全氧燃烧设备系统组成

全氧燃烧设备采用专用设备，对燃烧的控制方式与常规的更加严格^[3]。分为氧气阀组、燃气阀组、燃烧器、预接线控制柜等部分。

3.1 氧气及燃气控制阀组

燃烧控制阀组要实现如下功能（图 3.1）

3.1.1 泄漏检测

系统每次启动都进行泄漏检测，确保系统时刻处于安全稳定状态。

3.1.2 流量控制及监测

可按照烘烤曲线及设定流量的要求，准确控制氧气及燃气流量，并稳定氧燃比例，确保系统可以按照设定曲线及流量运行。

3.1.3 安全保护

当系统压力及流量出现波动，或者火焰出现异常，按照设定程序进行报警及提示，紧急情况可以立即关闭系统。

3.1.4 火焰监测

启动系统及运行系统过程中，全程监控燃烧情况，出现异常立即关闭系统。



图 3.1 框架式控制阀组

3.2 燃烧器

燃烧器由烧嘴本体、点火枪、纯氧点火烧嘴、中心主烧嘴、火焰检测、高温烧嘴砖、特殊绝缘绝热件组成。该燃烧器是经过特殊设计的，能耐高温，不需要水冷。

3.3 预接线控制柜

燃烧控制柜主要包含就地 PLC 控制，带触摸屏的 HMI 组态界面，系统开关和报警指示灯。

3.4 烘罐控制

由于整个烘烤受制于热电偶反馈的稳定情况，根据钢水罐烘烤工艺，整个控制方式分为三种：

3.4.1 全自动曲线控制

完全按照设定烘烤曲线进行烘烤，也就是一键式烘烤。

3.4.2 分段比例烘烤

按照小、中、大火三个阶段进行烘烤，每个阶段的流量和时间锁定。

3.4.3 半自动人工烘烤

根据设定流量直接启动小、中、大火三种模式，每种模式可以独立设定。

3.5 管路流量及电气节点

管路系统分为氧气管路、转炉煤气管路、压缩空气/氮气管路，由于氧气的特殊性，对纯氧燃烧的管路系统详细要求如下。

氧气：TOP 点压力 ~10Bar，管道材料采用不锈钢材质。必须进行脱脂和酸洗处理，且焊接采用氩气保护。与烧嘴采用金属软管连接。

压缩空气（氮气）：TOP 点压力 6~8kg，管道材质为镀锌管，与烧嘴采用金属软管连接。

阀组控制电源：接入点为 220V，转换后 PLC 控制电压 24V。

4 全氧燃烧技术经济指标

某钢厂采用转炉煤气烘烤 80t 钢水罐跟踪数据。

改前（压缩空气 + 转炉气）烘烤器指标（见表 4-1）

改后（全氧燃烧）烘烤指标（见表 4-2）

对比能源消耗指标，单个钢水罐烘烤用燃气可节约 7080m³，全年能节约能源耗消约 110 万元，年减少 CO₂ 排放 1.5 万吨以上，烟气排放减少 70%

表 4-1

序号	烘烤状态	时间(h)	烘烤温度(℃)	煤气用量(m ³)
1	小火	~60	~350	~5800
2	中火	~48	~650	~9680
3	大火	~24	~900	~7600
4	合计	~132	/	23080

表 4-2

序号	烘烤状态	时间(h)	烘烤温度(℃)	煤气用量(m ³)
1	小火	~48	~350	~4700
2	中火	~36	~750	~7200
3	大火	~12	~1100	~4100
4	合计	~84	/	16000

5 技术应用注意事项与展望

5.1 应用注意事项

人员培训：操作人员需熟悉全氧燃烧原理与智能控制系统操作，避免人为失误导致参数偏离。

设备适配：传统烘烤器改造需更换高效节能型烧嘴，配套升级流量控制与温控系统，确保各组件协同运行；

安全防护：氧气管道需严格密封，避免泄漏引发安全事故；烘烤初期控制升温速率，防止钢水罐内衬因热应力过大产生裂纹；

5.2 全氧燃烧技术展望

未来在钢包烘烤中的应用将向三个方向发展：一是余热回收集成，采用蓄热或换热技术回收烟气余热，预热氧气或燃气，推动热效率突破 60%；二是智能化升级，结合大数据与 AI 技术实现烘烤曲线自适应优化，进一步提升控温精度与节能效果；三是随着低碳冶金政策的深入推进^[4]，全氧燃烧技术将与钢水罐预热、精炼工艺协同优化，构建全流程节能降碳体系。

6 结语

全氧燃烧技术的核心优势在于消除氮气热损失、提升燃烧效率与火焰温度，烘烤钢水罐的时间缩短 30%-50%，NO_x 排放削减 90% 以上；

通过优化氧燃比及烘烤曲线，精准操作参数控制，可进一步提升技术应用效果，兼具经济、环境与生产效益。

未来通过智能化升级、余热回收集成与多燃料适配，全氧燃烧技术在钢水罐烘烤中的应用将更加广泛深入，为钢铁行业实现高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 山西建龙. 钢包全氧燃烧技术改造降碳效果分析[EB/OL]. 2021.
- [2] 全氧燃烧技术在钢包烘烤过程中的应用研究[J]. 维普期刊, 2025.[3]泰航全氧烤包器实现降本增效和低排环保的核心技术[EB/OL]. 搜狐网, 2025.
- [4] 泰航全氧烤包器怎样做到降本增效和减排环保[EB/OL]. 网易新闻, 2025.