

# 首钢中厚板厂 1# 加热炉蓄热式燃烧技术研究应用

李春生<sup>1</sup> 苗为人<sup>1</sup> 刘燕燕<sup>1</sup> 刘晶志<sup>2</sup> 陈军<sup>2</sup>

(1.北京首钢国际工程技术有限公司 100043 2.首钢中厚板轧钢厂 100043)

**摘要:** 首钢中厚板轧钢厂 1# 加热炉蓄热式改造, 采用了空气单蓄热式燃烧技术, 研究开发了新型、高效、长寿型的空气单蓄热式烧嘴, 改善了加热产量低、加热质量差、氧化烧损率高、燃烧不完全、燃料单耗高、烧嘴使用寿命低等问题。

**关键词:** 蓄热式烧嘴; 节能; 长寿

## Research & Application for Regenerative Combustion Used in Shougang Medium Plate Plant 1# Reheating Furnace

LI Chun-sheng<sup>1</sup> MIAO Wei-ren<sup>1</sup> LIU Yan-yan<sup>1</sup> LIU Jing-zhi<sup>2</sup> CHEN Jun<sup>2</sup>

**Abstract:** The regenerative rebuilding for Shougang Medium Plate Plant 1# reheating furnace used the air regenerative combustion technology. The new style, high efficiency, long-life air regenerative burner was researched and developed for solving the problems such as the low productivity, low reheating quality, high oxidizing burning loss, incomplete combustion, high fuel unit consumption, short burner useful time etc.

**Keywords:** Regenerative burner; Energy conservation; Long life

### 1 概述

首钢中厚板厂 1# 加热炉于 1987 年建成投产, 加热能力为 80t/h, 经挖潜改造, 加热能力提高到 96t/h。加热炉总热耗为 70 千克标煤/t 以上, 与国内较先进的加热炉相比, 存在设备落后、产量低、单耗高、产品质量差、设备维修费用高等问题。

首钢中厚板厂作为首钢总公司产品结构调整的重点厂矿, 为实现 2005 年 100 万吨钢材的奋斗目标, 首钢总公司决定拟利用中修的机会, 对首钢中厚板厂 1# 加热炉进行蓄热式燃烧技术改造。以提高 1# 加热炉产量, 满足轧机生产要求, 同时实现降低能源消耗, 进行清洁化生产, 适应首钢中厚板轧钢厂工艺升级改造整体需要。

2004 年 10 月, 首钢设计院开始了蓄热式改造的方案设计, 在广泛调研和总结国内外蓄热式烧嘴现状的基础上, 对蓄热式燃烧技术进行了大量创新和研发, 11 月初首钢总公司组织了初步设计论证, 2005 年 1 月完成施工图设计, 之后立即开始了设备加工、制造和施工、安装。

于 2005 年 4 月 22 日, 首钢中厚板厂 1# 蓄热式加热炉正式投产。投产后的当天, 1# 加热炉产量就达到了 120t/h 的额定产量(委托设计产量)。之

后, 高产时可达 146t/h, 比额定产量高出 22%。该加热炉升温快, 产量高; 炉内温度均匀; 炉压相对稳定; 空煤气混合好, 燃烧完全; 火焰刚度强; 蓄热式烧嘴和燃烧系统运行稳定; 电控、仪控系统控制准确、运行良好。实现了高产、节能、减排的要求。

### 2 基本技术背景

#### 2.1 蓄热式燃烧技术发展动态

蓄热式燃烧技术是一项效果显著的节能、环保新技术, 近几年在国内外已普遍推广应用。

从目前各个应用实例上看, 第一种应用方式以坑道内置式的蓄热式加热炉为主要代表。该项技术将燃烧器与加热炉一体化, 内置蓄热球, 采用集中换向的方式。其特点是结构相对简单, 阀门数量少。据有关资料介绍及生产实践看, 此种方式存在着一定缺陷:(1) 集中换向使空煤气以及炉膛压力波动大, 自动控制实现困难;(2) 换向阀与烧嘴喷口之间管道内残余煤气量比较多(部分资料介绍达到热耗的 3%), 这部分煤气直接通过引风机排出;(3) 炉墙内置蓄热体箱的方式要求加厚炉墙(1 米以上), 同时对炉墙墙体材

料要求高,尤其是抗裂性能,(4)内置蓄热球后造成清理灰渣困难;(5)集中供风和煤气的方式不利于各个喷口的流量均匀分布,存在偏流现象。由于上述问题,目前新建蓄热式加热炉一般不再建内置式结构的加热炉。

根据蓄热式燃烧的实际使用情况,又开发了一种在加热炉上应用的改进型蓄热燃烧技术,即蓄热式烧嘴技术。这种技术将蓄热体外置并单独形成一个燃烧器,控制方式上同样分为了集中控制与分散控制两种形式。蓄热体外置后带来了结构布置灵活,维护检修方便等优点,同时无需增大炉墙的厚度,与传统炉墙结构基本相同,适合于旧炉改造及场地布置空间紧张的情况。

通过深入研究,决定首钢中厚板轧钢厂 1# 加热炉上采用球体单蓄热式燃烧技术。

## 2.2 目前蓄热式燃烧技术普遍存在的问题

近 10 年来蓄热式燃烧技术得到长足发展,很多国家都在研究各种蓄热式烧嘴和高效蓄热式燃烧技术以及高风温燃烧技术。近年来国内蓄热式燃烧技术的研究和发展迅速,各种蓄热式加热炉不断涌现,但依然存在各种问题。现在主要存在的问题有:

(1) 加热炉产量逐渐下降,运行一段时间后,产量逐渐降低,经常停轧待温,严重影响轧钢生产的顺利进行。

(2) 当煤气压力低时,空气、煤气混和不充分,燃烧不完全。

(3) 排烟温度偏高或偏低,排烟温度不均匀。

(4) 炉型结构较复杂,炉墙偏厚,对耐火材料的理化指标性能要求高,蓄热箱容易出现漏火现象,若炉墙出现问题,维修时间长。

(5) 换向阀易故障问题。

基于上述燃烧技术存在的问题,我们在中厚板轧钢厂 1# 加热炉蓄热式改造方案设计时,在合理确定加热炉炉型、供热制度、热量分配的基础上,决定采用与设计相适应的新型高效、长寿单蓄热式烧嘴。

## 3 蓄热式改造方案设计与研究

### 3.1 设计方案

(1) 炉型的选择

加热炉采用三段炉型结构,即由均热段、二加热段和一加热段组成,上、下加热可单独调节。各段蓄热室的供热能力调整灵活,可适应各种加热要求。装出料方式为端进、端出。

(2) 加热炉助燃空气预热方式的确定

应用蓄热式燃烧技术,将空气预热至 1000 左右,以满足炉温要求,且能长期稳定运行,同时应用该技术,排烟温度 150,可大幅度降低能耗。

本加热炉的助燃空气预热确定为蓄热式。

(3) 炉温制度

加热炉采用三段炉温控制制度,均热段炉温 1300~1250,二加热段炉温 1250~1100,一加热段炉温 1100~1000。

(4) 供热点分布及供热量分配

供热点分布:供热点分布在炉子两侧墙上。供热量:按最大 120 t/h 计算,考虑中板加热温度高等因素,加热炉煤气耗量最大为 20160 m<sup>3</sup>/h。供热量分配:均热段 25%,一加热段 40%,二加热段 35%。上加热和下加热供热比例为 40:60。

(5) 蓄热式烧嘴

根据以上方案及目前蓄热式燃烧技术普遍存在的问题,我们进行了深入的研究与分析,结合首钢中厚板厂的实际情况,在对整个蓄热式燃烧系统进行优化的基础上,我们认为蓄热式烧嘴结构是整个蓄热式燃烧系统的中心环节。其主要原因是:传统空气单蓄热式烧嘴的蓄热箱置于炉墙内,煤气管走侧部或上部或下部,造成空气、烟气容易短路,蓄热效率低和控制紊乱;空气、煤气混合不好,燃烧不完全;或煤气管走中心,煤气管完全置于高温环境中,寿命很短,一般 2~3 个月就需要更换。传统空气单蓄热式烧嘴不设烧嘴砖或设烧嘴砖而不是旋流,造成空、煤气不能充分混合,组织不好火焰形状,不能达到完全燃烧,不能满足加热工艺要求。

根据上述分析,我们决定创新研制一种适应设计方案的结构合理的高效、长寿空气单蓄热式燃烧装置,开展了新型蓄热箱、新型煤气喷管、新型烧嘴转的研究。

### 3.2 技术研究内容

#### 3.2.1 外挂耳式蓄热箱研究

蓄热式燃烧装置是由蓄热箱、气流通、换

向阀、管道、自动化控制等部分组成。当烟气通过时将热量传给蓄热体，使其温度升高进行蓄热；随后切断烟气通以预热气体，蓄热体将热量传给预热气体，使其温度降低，进行释热，然后再切断预热气体通以烟气，如此反复进行将烟气热量通过中间介质蓄热体传给预热气体。蓄热箱的结构形式对传热过程和使用寿命影响很大。为此，我们研究了外挂耳式蓄热箱。

所谓外挂耳式蓄热箱，其主要特征是：蓄热室为外挂式，空气通道分开走两边，像是两只“耳朵”，煤气流走中心。煤气流走中心，保证空、煤气的充分混合，即便是在煤气压力较低的情况下，空、煤气也能充分混合，达到完全燃烧；煤气和空气分开后没有串气的可能，安全性好，杜绝烟气走短路，检修方便；煤气管暴露在外面即外置式煤气喷管不受高温烘烤，使用寿命长，安装、检修方便。

外挂耳式蓄热箱在炉墙外面，气流呈上下互换方式流动，不在炉墙内，安装、检修方便。该结构彻底杜绝蓄热球装不满、烟气走短路、炉墙裂缝被蓄热球撑开、空气预热温度不高、炉膛温度低、加热能力不足等一系列问题。保证了可将助燃空气预热至 1000 以上，降低燃料消耗，减少污染排放，实现了高效节能、减排。

### 3.2.2 组合式煤气喷管研究

煤气流走中心，保证空、煤气的充分混合，即便是在煤气压力较低的情况下，空、煤气也能充分混合，达到完全燃烧。为了实现煤气流走中心，且保证使用寿命，煤气中心喷管的结构和材质是关键环节。所谓组合式煤气喷管，其主要特征是：煤气喷管由两部分材质组合而成，与烧嘴砖接触的高温段材质为碳化硅管，低温段为 1Cr18Ni9Ti 耐热钢材质。中心煤气喷管不受高温烘烤，使用寿命长，一般可达 2 年以上，比传统的单蓄热烧嘴煤气喷管的寿命高 8~12 倍。煤气和空气通道分开，煤气流走中心，保证了空、煤气的充分混合，即便是在煤气压力较低的情况下，空、煤气也能充分混合，达到完全燃烧。

### 3.2.3 旋流式烧嘴砖研究

烧嘴砖是燃料燃烧装置的重要组成部分。为了稳定燃烧过程、组织火焰形状、满足加热工艺要求，研究设置了旋流式烧嘴砖。旋流式烧嘴砖特征是：迷宫结构的旋流式烧嘴砖与外挂耳式蓄

热箱的通道相连接；烧嘴砖是由耐高温耐火材料制成，且带有空气旋流通道。燃料在烧嘴砖内加热至着火温度，使其易点燃并迅速燃烧，成为高温点火源，稳定燃烧过程；此烧嘴砖能够组织良好的火焰形状，满足加热工艺要求，确保空、煤气进一步混合。

## 4 生产实践与应用

首钢中厚板轧钢厂 1#加热炉蓄热式燃烧技术改造项目，技术先进合理，实用可靠，投产后，加热炉产量就达到了 120t/h 的额定产量，高产时可达 146t/h，比额定产量高出 22%。该加热炉升温快，产量高；炉内温度均匀；炉压相对稳定；空煤气混合好，燃烧完全；火焰刚度强；蓄热式燃烧系统运行稳定；电控、自控系统正常。经过两年多的运行，降低了能源消耗，提高了加热炉自动化控制，降低劳动强度，同时减少工业废气的排放，特别是烟气中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等有害气体排放，经济效益和环境效益显著。主要技术经济指标如下：

- (1) 改造后产量由 96t/h 提高到 120t/h；
- (2) 改造后总热耗由 70 千克标煤/吨钢降至 64 千克标煤/吨钢，燃料单耗达到 48 千克标煤/吨钢以下；
- (3) 改造后钢坯温度均匀性 $\leq 29.5$ ；
- (4) 改造后钢坯氧化少损率由 1.5% 降低到 1.1%；
- (5) 改造后空气预热到 800~1000；
- (6) 改造后平均废气排放温度为 $\leq 150$ ；
- (7) 改造后减少 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 的排放量。

## 5 结论

(1) 首钢中厚板轧钢厂 1# 加热炉蓄热式改造项目，较好的利用了改造现场有限的空间，加热炉点火、运行及使用情况良好、设备可靠性、运行安全性等达到预期效果。(2) 外挂耳蓄热箱在炉墙外面，安装、检修方便。该结构彻底杜绝蓄热球装不满、烟气走短路、炉墙裂缝被蓄热球撑开、空气预热温度不高、炉膛温度低、加热能力不足等一系列问题。保证了可将助燃空气预热至 1000 以上，降低燃料消耗，减少污染排放，实现了高产、节能、降耗、减排的目标。(3) 煤气和空气通道分开，煤气流走中心，保证了空、煤气的充分混合，即便是在煤气压力较低的情况下，空、煤气也能充分混合，达到完全燃烧。中心煤

气管不受高温烘烤，使用寿命长，一般可达 2 年以上，比传统的单蓄热烧嘴煤气喷管的寿命高 8~12 倍。(4) 旋流式烧嘴砖带有空气旋流通道，使其易点燃并迅速燃烧，成为高温点火源，稳定燃

烧过程，组织良好的火焰形状，以满足加热工艺要求，确保空、煤气完全混合、燃烧，实现了高效的要求。

## 采用多孔介质燃烧器的双室式加热炉内的热过程数值分析

田溪岩<sup>1</sup> 许学成<sup>1</sup> 李本文<sup>1</sup> 饶文涛<sup>2</sup>

(1. 东北大学材料电磁过程研究教育部重点实验室 沈阳 110004

2. 宝山钢铁股份有限公司技术中心环境与资源工程研究所 上海 201900)

**摘要：**利用商业软件 Fluent 对双室式加热炉内热过程进行模拟。通过改变热负荷、燃烧器布置方式、燃烧器结构尺寸等参数对双室式加热炉内的辐射传热、对流换热以及钢坯内部的导热等非稳态耦合过程进行了数值分析。通过对结果的比较分析，确定了适合于该室式炉燃烧器的结构参数和操作参数。为更均匀有效的加热钢坯，提高双室式炉的热效率提供了理论依据。

**关键词：**多孔介质燃烧器；双室式加热炉；非稳态；数值分析

### Numerical Analyses of Thermal Process in Dual Chamber Reheating Furnace with Porous Media Burner

TIAN Xi-yan XU Xue-cheng LI Ben-wen RAO Wen-tao

(Key Laboratory of National Education Ministry for

Electromagnetic Processing of Materials of NEU, Shenyang 110004)

**Abstract:** Numerical simulations of transient thermal process in the dual chamber reheating furnace have been made using the commercial software Fluent. Radiation, convection and conduction are coupled in the simulation. Some main parameters (gas fuel consumption, burner arrangement and structure) are taken into account. From the results of present simulations, the reasonable operating and structure parameters corresponding to the more uniform temperature of the being heated steel billet and high thermal efficiency of the furnace are suggested. The models and numerical method may provide theoretical foundation for industrial production.

**Key words:** Porous media burner; Dual chamber reheating furnace; Transient state; Numerical analyses

#### 1 前言

加热炉是冶金工厂和机械制造厂的基本设备。炉内加热过程中的温度变化情况以及被加热物料的升温情况在很大程度上会影响钢坯最终的内部和表面质量。由于数值模拟不直接使用物理实体，只考虑输入和输出变量，通过数学模型和计算机就可以方便的研究，因此被广泛的用来对加

热炉或热处理炉的热过程进行研究分析。

截至目前为止，加热炉普遍采用的是以射流或平焰烧嘴为传统的燃烧器，燃烧方式主要是扩散燃烧。这些燃烧器的燃烧效率较低，热损失较大，CO、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等气体排放量较高造成对环境的污染。而多孔介质作为燃烧器能够进行超绝热燃烧，不仅能提高燃烧效率，加快燃烧速度，还可以降低污染物的排放量<sup>[1-3]</sup>。因此本文设计多