

首钢中厚板厂蓄热式燃烧技术的应用研究

陈冠军¹ 王连尉¹ 胡雄光¹ 钱 凯¹ 刘学民² 吴光蜀³

(1 首钢技术研究院 2 首钢设计院 3 首钢中厚板厂)

摘 要 综述了首钢中厚板厂 2 号加热炉蓄热式燃烧技术改造方案,并研究了加热炉流场、烧嘴结构、蓄热体和钢坯加热等内容,同时对其改造后加热炉进行应用效果分析。结果表明,蓄热式加热炉具有较好的节能和环保效果。

关键词 蓄热式 加热炉 节能 应用

APPLICATION AND STUDY OF REGENERATIVE COMBUSTION TECHNOLOGY IN SHOUGANG INTERMEDIATE AND THICK BOARD PLANT

Chen Guanjin¹ Wang Lianwei¹ Hu Xiongguang¹ Qian Kai¹ Liu Xuemin² Wu Guangshu³

(1 Shougang Technical Research Institute 2 Shougang Design Institute 3 Shougang Medium Plate Steel Rolling Plant)

ABSTRACT The regenerative combustion improvement technical project of the No.2 reheating furnace at the Medium Plate Steel Rolling Plant of Shougang has been summarized. The Content of fluency of the reheating furnace, structure of burner, regenerative body and heating steel has been studied, and its applied effect is analysed. It shows that the regenerative reheating furnace owns better effect of saving energy and environmental protection.

KEY WORDS regenerative type, reheating furnace, energy saving, application

1 概述

加热炉是轧钢厂的主要耗能设备,其能耗水平直接影响轧钢生产成本,因此降低燃料消耗,提高燃料利用率,减少钢坯氧化是加热炉设计和开发的主要方向和目标。2002 年,我国钢产量达 1.8 亿 t,拥有 16 万台左右工业炉窑耗标煤 1.6 亿~1.7 亿 t,其中冶金行业加热炉达千余座,热效率 50%~60%,比发达国家低 15%,能耗较高,开发新技术、新工艺,提高产品质量,降低生产成本,是目前钢材市场竞争的需要。蓄热式燃烧技术简称 HTAC,是一项 20 世纪 90 年代初开发的效果显著的节能、环保新一代燃烧技术,具有高效余热回收、高温预热空气及低 NO_x 排放等优点,主要用于钢铁、冶金、机械和建材等工业部门中的各种工业炉,到 1997 年,国际上已经在 800 余台炉窑上

应用这项技术,1998 年日本企业有新日铁、日本钢管、大同制钢、日本窑业、东京煤气等共 58 家企业采用 HTAC 进行改造,我国迄今为止,已建成或正在新建蓄热式加热炉达 50 余座。首钢总公司从 2002 年开始进行型材厂和中厚板厂加热炉蓄热式燃烧技术改造。中厚板厂 2 号加热炉从 2002 年 4 月中旬开始施工,8 月中旬蓄热式烧嘴点火工作,加热炉运行至今,整体使用效果良好。

2 加热炉改造方案

2.1 应用原理和技术关键

蓄热式燃烧的基本原理是将助燃空气预热到 800~1000℃ 以上,在氧浓度低于 15% 的高温贫氧环境下,成对烧嘴在定时或定温等条件下换向燃烧,达到烟气余热的极限回收和助燃空气的高温预

热。其技术关键包括烧嘴结构设计、蓄热体选择、设备选择和合理参数调节等。蓄热式燃烧系统的关键设备有:烧嘴、风机、换向阀、煤气快切阀、烟道闸板等。烧嘴内蜂窝体必须保证其性能及寿命。风机包括引风机与鼓风机,是蓄热式系统不可分割一部分;换向阀有四通换向阀与三通换向阀,必须考虑在不同的情形使用;煤气快切阀必须快速切断煤气以保证安全。以上设备必须保证工作寿命与可靠性。

2.2 改造必要性和改造内容

中厚板厂 2 号加热炉建于 1987 年,是首钢设计院参照武钢热轧板步进式加热炉图纸与首钢第三线材厂步进式加热炉图纸设计的,使用的燃料为重油,后改为 3 段连续式加热炉,平焰烧嘴,燃高焦转混合煤气,设计产量为 75t/h。其主要存在问题有:

(1) 采用管式换热器预热空气,预热空气低于 150℃,能耗较高,加热炉能耗(标煤)在 66kg;

(2) 炉体滑轨标高比授料轨道标高高出 1.43m,致使出料时落差大,有噪声;

(3) 加热炉宽度相对窄,只能加热小规格钢坯,同时区域有限;

(4) 炉子使用水冷方式,水资源利用率低;

(5) 推钢作业时感觉炉体有震动现象,可能是支架炉体的钢结构及地脚螺钉经十几年使用于工况条件恶劣的环境中可能出现腐蚀变形现象,影响了钢结构本身应有强度,产生了不稳定因素。

针对以上问题,并结合首钢中厚板厂实际,对加热炉进行蓄热式燃烧技术、托出机、汽化冷却及滑块等相关技术改造,其中蓄热式燃烧改造主要考虑以下内容:炉型结构、烧嘴结构、蓄热方式和蓄热体材料选择、预热方式和控制方式等。

(1) 炉型结构。由原来 3 段式炉型曲线形式改为平顶式。改造前分预热段、加热一段、加热二段和均热段,改造后分预热段、加热段和均热段 3 段控制。

(2) 烧嘴结构。蓄热式烧嘴是加热炉的关键设备,烧嘴结构设计必须考虑加热炉的整体结构布置、煤气与空气进口位置、进口角度及布置方式等,烧嘴布置由套筒式下面和顶部布置为主改为满足蓄热式燃烧换向要求的上下布置烧嘴。

(3) 蓄热方式。蓄热式燃烧改造采用蜂窝蓄热式。目前国内蓄热式加热炉主要采用球状、蜂窝体两种结构蓄热方式,其中蜂窝体与小球相比具有更大的比表面积,其换向时间大大缩短,更有利于炉内温度场均匀。在气流速度及流通截面积相同的条

件下,蜂窝体的压力损失只有小球的 1/3,可以降低风机的动力消耗。

(4) 蓄热体材料选择。蓄热体性能要求:蓄热量(C_p)大、换热速度(λ)快、高温下材料的黑度大、结构强度高,可承受巨大温差压强和高频变频,无脆裂、脱落和变形等,经济、性价比好。目前蓄热体材料主要采用氧化铝、堇青石、莫来石等陶瓷材料。考虑加热炉炉温较高和要求使用蜂窝体寿命较长和成本情况,主要使用莫来石、堇青石蓄热体。

(5) 预热方式。目前,预热方式主要有空气单预热和空煤气双预热方式,根据中厚板厂加热炉改造实际,主要采用空气单预热方式,煤气预热预留。

(6) 控制方式。主要采用空气三通阀,对烧嘴实现分散控制。目前控制方式主要有其中控制和分散控制两种,在小球蓄热式加热炉上主要采用四通阀控制,为方便单烧嘴控制和调节,本方案主要采用分散控制模式。

(7) 其他。降低加热炉标高,以配合托出机改造,炉子加宽 892mm,满足宽板坯规格需要,水冷改汽化冷却为主,外围空煤气管路也做相应调整,同时增加引风机 1 台及相关检测控制仪表。炉体内衬侧墙采用适用于蓄热式炉型的高铝质浇铸料现场浇铸而成,并采用轻质砖和耐火纤维毡复合绝热,炉顶采用复合预制块吊挂形式。

2.3 改造前后技术性能对比

加热炉改造前和改造后各项设计技术参数见表 1。

3 加热炉研究内容

在加热炉改造方案确定和具体方案实施过程中,重点对加热炉流场、烧嘴结构、蓄热体及钢坯加热均匀性等方面进行研究。

3.1 加热炉流场

结合加热炉改造前和改造后炉型变化,采用 FLUENT 软件对加热炉前后流场进行模拟分析,其改造前和改造后温度场如图 1 和图 2 所示。

流场分析:改造前加热炉内各加热区流场分隔较明显,由于烧嘴分布和角度的关系使大量气流沿炉顶流动,使高温区分布在炉顶而不是钢坯加热区。改造后加热炉由于上下烧嘴均匀布置,炉内温度场分布均匀,并且加热区和均热区间涡流的存在使不同均热区能保持不同的温度,炉内气体主要沿钢坯表面流动,使高温区集中在钢坯附近,能够更好地加热钢坯。

表 1 加热炉改造前后主要技术参数对比

Tab.1 Main technical parameter fro-and-aft contrast of reheating furnace improvement

序 号	项 目	改 造 前	改 造 后
1	型 式	3 段连续推钢式加热炉	端进端出连续推钢式加热炉
	有效长度/mm	28708	29278
	砌砖长度/mm	30784	30478
2	炉体主要尺寸		
	有效宽度/mm	6068	6960
	砌砖宽度/mm	7216	8108
3	有效炉底强度/kg·(m ² ·h) ⁻¹	500	634
4	设计能力/t·h ⁻¹	75	100 (最大 120)
5	加热钢种	碳素钢、低合金钢及特殊要求的钢	碳素钢、低合金钢及特殊要求的钢
6	钢坯规格/mm	长:2000~2600;宽:600~1600;厚:150~250	长:2200~3000;宽:1200~1800;厚:150~250
7	炉膛加热温度/℃	1270±30	1270±30
8	钢坯出炉温度/℃	1100~1250	1150~1250
9	钢坯装炉型式	中板双排装料炉	中板双排装料炉
10	燃料类型	高焦转炉混合煤气	高焦转炉混合煤气
11	燃料热值/kJ·m ⁻³	8373.6	6270~9196
12	燃料用量/m ³ ·h ⁻¹	20625	20000
13	煤气接点压力/kPa	≥2.9	≥2.8
14	空气用量/m ³ ·h ⁻¹	49200	26600
15	空气预热温度/℃	400	≥1000
16	空气过剩系数	1.1	1.1
17	废气出炉温度/℃	800~900	<200 (占烟气量: 70%)
18	废气量/m ³ ·h ⁻¹	53400	42200
19	换热方式	金属片状管式逆流式	蜂窝蓄热式



图 1 原加热炉温度场分布

Fig.1 The temperature distribution of old reheating furnace

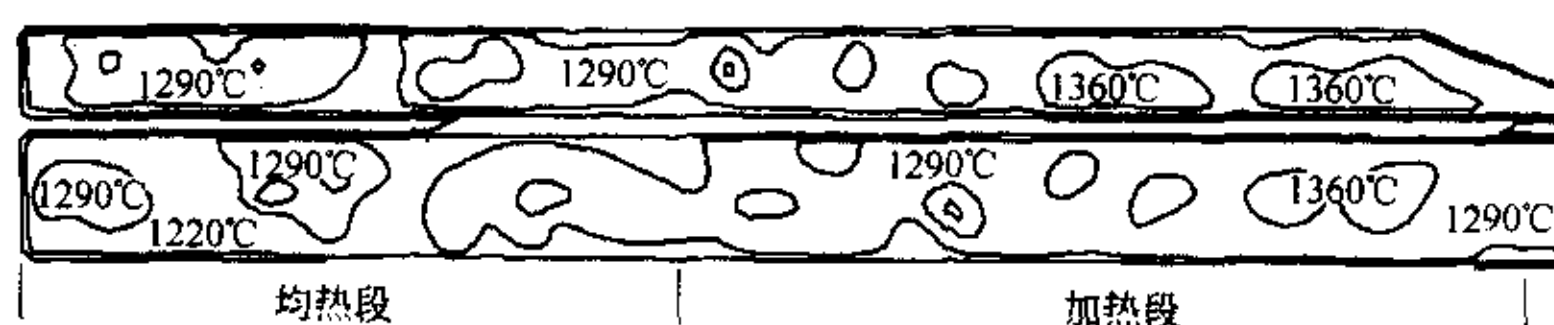


图 2 改造后加热炉温度场分布

Fig.2 The temperature distribution of new reheating furnace

3.2 烧嘴结构

加热炉整体结构如图 3 所示。主要设计了烧嘴结构的 3 种方案,为达到优选的目的,对加热炉的 3 种烧嘴方案进行仿真计算;为达到研究目的,改变烧嘴负荷及建模要求,对烧嘴两种工况进行解算分析,并进行实际应用。

3 种方案的烧嘴设计主要考虑煤气通道靠近钢坯面,不同主要煤气与空气通道夹角在 0°~30°变

化及布置位置变化。图 4 表示两煤气通道进口、两空气通道进口、煤气与空气通道夹角较大的烧嘴结构方案。

边界条件采用煤气、空气的速度流量入口,压力出口,物理模型主要采用标准的 K-ε 紊流模型,壁面函数采用标准壁面函数,燃烧模型采用非绝热的 PDF 模型,辐射模型选用 DO 模型。

烧嘴速度场、温度分布如图 5、图 6 所示,通过仿真,选择了较佳空煤气夹角烧嘴结构设计,并

943

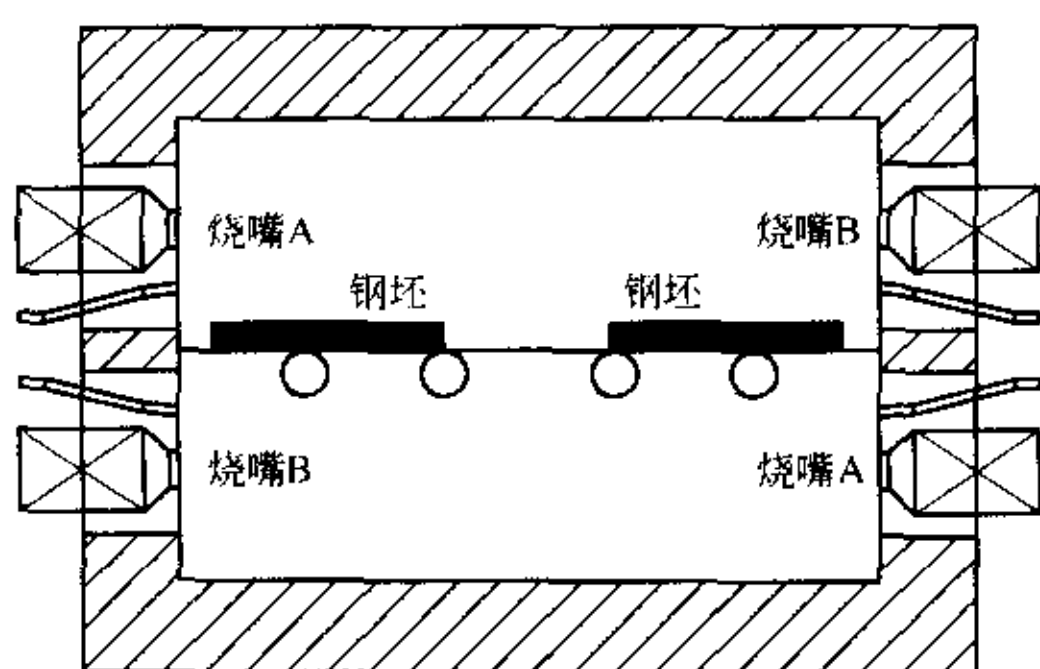


图3 加热炉整体图
Fig.3 Reheating furnace on the whole

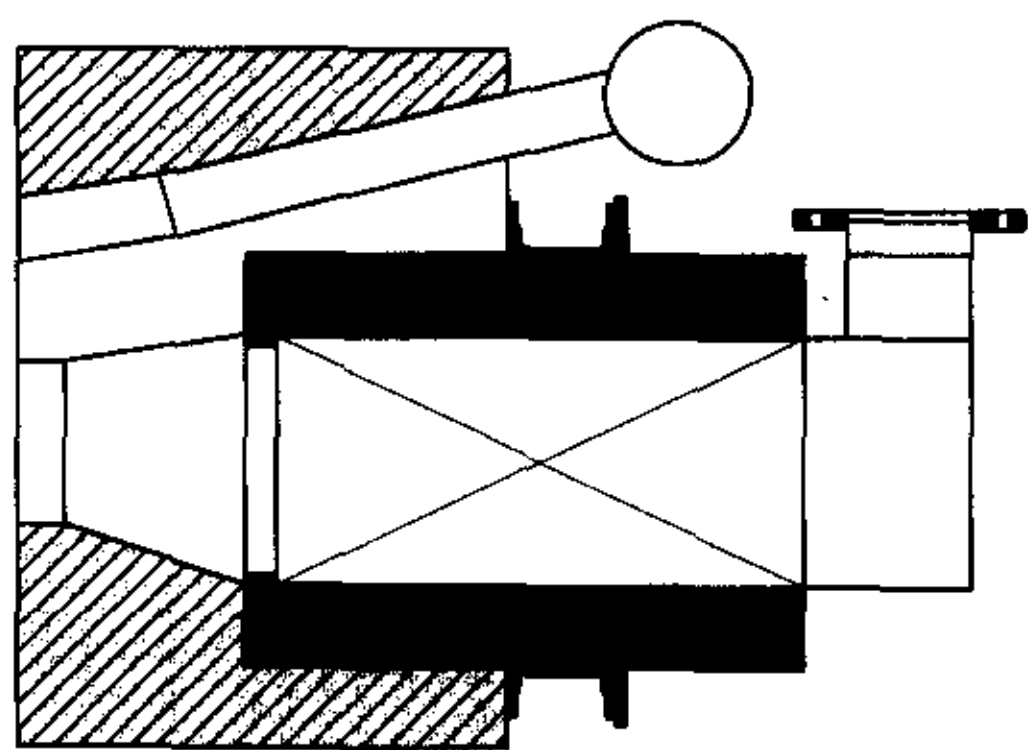


图4 烧嘴方案
Fig.4 Burner project

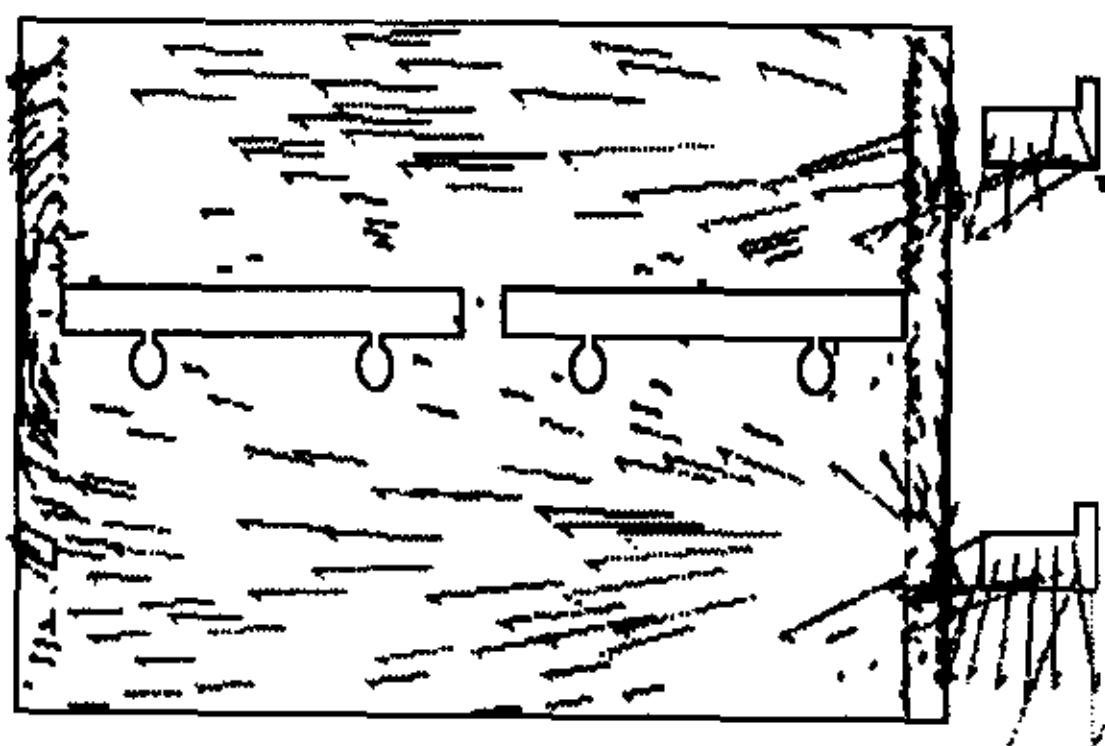


图5 烧嘴速度场分布
Fig.5 Velocity of project burner

应用在加热炉改造中,从目前实际使用情况看,其燃烧温度、火焰状况、燃烧效果及炉温均匀性等指标与仿真计算的结果基本一致,达到了设计目的。

3.3 蓄热体

主要进行国内耐火材料厂生产的不同尺寸和规格和不同蓄热体材料试用,同时配制了以堇青石、

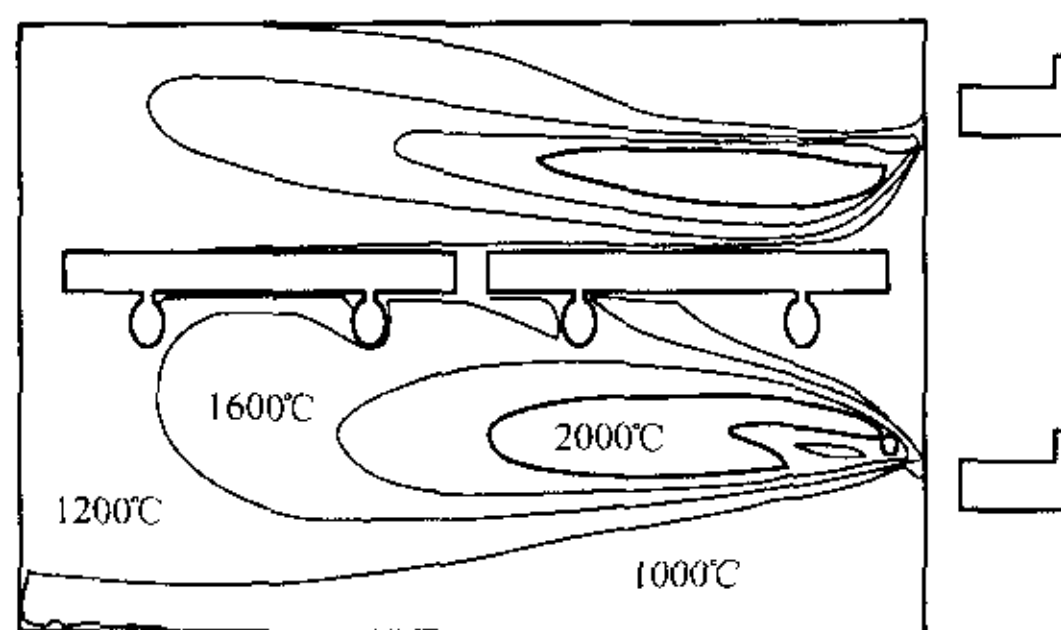


图6 烧嘴燃烧温度分布
Fig.6 Temperature of project burner

黏土和莫来石等为主要原料,不同组合的试样,进行了物理性能的检测。

通过对耐火度和热震稳定性的试验,以及比重和耐压试验,确定了以莫来石为主,添入少量堇青石作为蜂窝体的原料。

3.4 钢坯加热均匀性

利用红外热成像仪对改造前与改造后加热炉各3块出炉钢坯的表面随机取点,每块钢坯取15点进行分析,其各点表面温度与位置点关系如图7、图8所示。

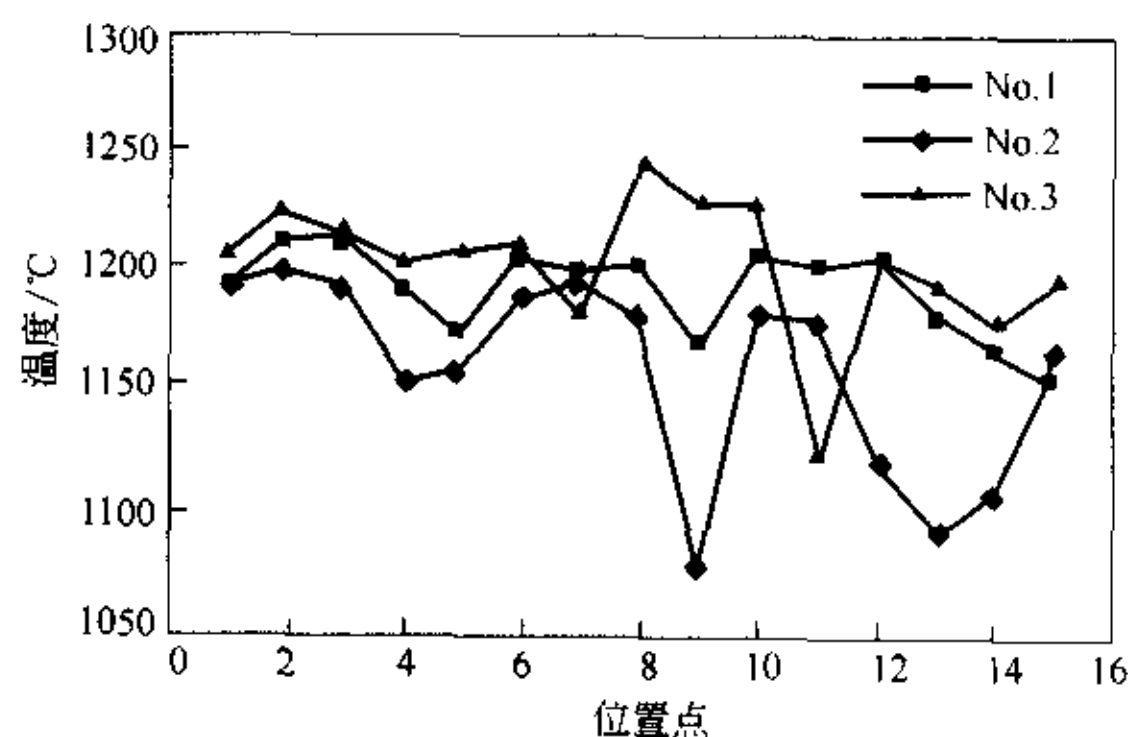


图7 原加热炉钢坯表面温度分布
Fig.7 The steel temperature distribution of old furnace

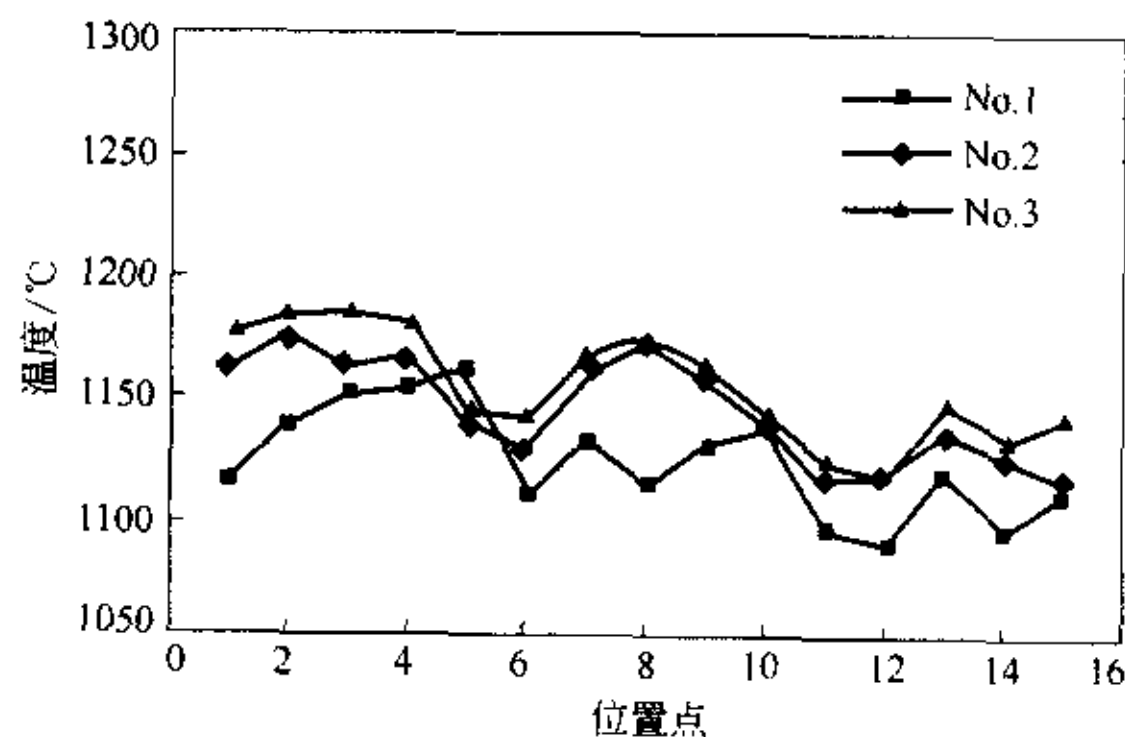


图8 新加热炉钢坯表面温度分布
Fig.8 The steel temperature distribution of new furnace

从图中温度点分布可以看出,两炉的钢坯温度随钢坯的位置而变化,其规律是钢坯的里侧温度相对较高,而外侧温度较低;根据红外拍摄的图像,钢坯表面的氧化铁皮,其温度较低,在取点的温度值中,有一些异常点就是由于其靠近氧化铁皮或其本身就是氧化铁皮,从具体位置看,氧化铁皮温度比钢坯温度低 50℃,同时内侧到外侧温度梯度约 20~30℃,两加热炉钢坯相比,改造前加热炉钢坯温度较高,平均高 45℃,其氧化铁皮相对比较严重。

结论:改造后加热炉钢出钢温度较低,但其温度均匀性相对较佳。

4 应用效果分析

4.1 加热炉运行概况

加热炉自运行半年以来,烧嘴燃烧、换向基本正常,引风机和鼓风机自运行以来尚无故障,煤气快切阀和空气三通阀能基本正常工作,蜂窝蓄热体使用良好。工作参数为:风压为 3.3kPa,煤气压力 5.614kPa,多数烧嘴经引风机抽烟后其支管排烟温度在 150℃ 以下,炉尾烟气温度在 700~900℃ 之间,炉温为 1100~1250℃,热电偶测量的空气预热温度在 600~800℃ 之间,炉体表面温度在 100~200℃,换向时间设定为 30~50s,空煤比设定为 1.4~3.3。

4.2 改造效果分析

加热炉改造前后各项技术指标对比见表 2。从表 2 中可知改造后加热炉效率和可比能耗均有较大提高。另外,从改造后其他几次测量数据分析,加热炉能耗与钢坯规格、生产产量有较大关联,在产量较低和加热窄钢坯时,能耗较高,从近期打产情况看,超过额定产量后,其能耗也会增加。

同时,由于节能减少了加热炉煤气用量,降低烟气有害物排放量较大,同时改造后加热炉生成 NO_x 较少。炉体表面散热损失比改造前有下降,加热的钢坯温度质量有一定提高,汽化冷却节约了加热炉用水,其提供的蒸汽供采暖和洗澡使用。

4.3 存在问题

通过对加热炉监控及测试评估情况看,目前

加热炉从总体上说,其工作状况良好,实现节能 20% 以上,具有较好的节能效果,但也存在一些问题。主要表现在快切阀及三通阀工作的可靠性。

表 2 改造前后加热炉主要技术经济指标对比

Tab.2 Main technical economical guideline from and after contrast of reheating furnace

序号	指 标	改造前	改造后
1	小时产量 $/\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$	82.7	84
2	炉底强度 $/\text{kg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$	442.7	549
3	供热强度 $/\text{MJ}\cdot\text{h}^{-1}$	189	102.5
4	单位热耗 $/\text{MJ}\cdot\text{h}^{-1}$	2.285	1.226
5	过剩空气系数	1.9	1.2
6	炉膛热效率 $(Q_1'/\Sigma Q)/\%$	30	62
7	单位可比能耗(标煤) $/\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	77.9	42

注:改造前测试时间为 2001 年 6 月,改造后测试时间为 2003 年 3 月。

目前部分快切阀及三通阀工作由于要求切换速度比较快,电气部分工作一段时间后出现不正常,阀位检测信号反馈不及时,造成不能正确按程序设定换向,往往造成空煤气配比出现问题,煤气燃烧不完全。这一点在一定时间后检查蓄热体时得到验证,有些烧嘴蜂窝体体积炭堵塞,特别是下烧嘴表现比较突出。

5 结论

(1) 采用蜂窝蓄热式技术,首钢中厚板厂 2 号加热炉结构紧凑,点火、运行及使用情况良好。

(2) 应用蓄热式加热炉技术改造可实现节能 20% 以上。

(3) 该技术在加热炉上应用,降低了其烟气中有害物排放量,具有一定的环保效益。

(4) 通过高温预热空气、合理分布上下加热能力等综合技术应用,可保证加热炉炉温均匀,加热钢坯温度均匀。

(5) 蓄热式燃烧技术尚需在其配套设备和蓄热体、烧嘴等关键部件深入摸索,使其技术更加成熟,以便进一步推广应用。