

大型蓄热式加热炉提高出炉板坯温度均匀性研究

毕国喜¹, 高 星², 曹大东³

(1. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司 热轧作业部, 河北 唐山 063200;
2. 北京首钢国际工程技术有限公司, 北京 100043; 3. 布洛姆燃烧器(上海)有限公司, 上海 201209)

摘要: 蓄热式燃烧技术在提高加热炉的出炉板坯长度方向温度均匀性方面与常规燃烧技术相比具有优势。结合首钢京唐 1580 热轧 300 t/h 蓄热式板坯加热炉项目, 为提高出炉板坯温度均匀性, 在供热方案、烧嘴选型和燃烧控制等几个方面进行分析和研究, 确定的优化方案在实际运行中取得了良好的结果, 探讨了蓄热式燃烧技术在温度均匀性方面的特点, 有助于提高热轧产品质量及蓄热式燃烧技术的推广。

关键词: 蓄热式燃烧; 加热炉; 板坯; 温度均匀性

中图分类号: TF061.26 文献标识码: A 文章编号: 1001-6988(2011)01-0020-04

Discharged Slab Temperature Uniformity Research on Large Size Regenerative Fired Reheating Furnaces

BI Guo-xi¹, GAO Xing², CAO Da-dong³

(1. Shougang Jingtang United Iron & Steel Co., Ltd, Tangshan 063200, China;
2. Beijing Shougang International Engineering Technology Co., Ltd, Beijing 100043, China;
3. Bloom Combustion Products Shanghai Co., Ltd, Shanghai 201209, China)

Abstract: The regenerative combustion technology had big advantage on discharged slab temperature uniformity than conventional combustion technology on reheating furnace. To improve the uniformity, based on analysis and research of heating proposal, burner selection and combustion control, the proposal made for the 300 t/h reheating furnaces of Shougang Jingtang 1 580 mm HSM got very good operation results. The ideas talked in this paper were helpful for improving slab temperature uniformity and quality, and prompting regenerative combustion technology.

Key words: regenerative combustion; reheating furnace; slab; temperature uniformity

对热轧加热炉的主要要求是控制炉内板坯的加热工艺即升温过程, 这在总体上容易实现。但对于大型的板坯加热炉, 由于炉膛宽, 火焰组织难, 在实际运行中存在着出炉板坯长度方向温度均匀性问题。如果待轧板坯长度方向温差大, 则有以下影响:

(1) 轧制后的同一钢带不同位置金属特性不同, 产品性能差别大, 钢带薄厚不均匀;

(2) 轧制时轧制力的变化大, 增加轧机的控制难度, 降低轧后产品的精度;

(3) 为保证温度最低点能顺利轧制, 必须提高整

体出炉温度, 炉内加热时的燃料增加, 氧化烧损加大。

所以, 尽量降低该温差, 提高板坯长度方向的温度均匀性, 有利于提高产品质量和精度, 延长轧机寿命, 降低燃料和氧化烧损, 增强产品的市场竞争力。

1 常规加热炉板坯温度均匀性

目前国内加热炉主流供热方式为常规燃烧侧墙布置烧嘴, 这种方式系统简单, 维护方便, 但与轴向布置烧嘴相比难以控制炉宽方向的炉温分布和出炉板坯温度均匀性。

首钢京唐公司热轧部 1# 作业线(2 250 mm)2008 年建成 3 座 350 t/h 板坯加热炉。炉膛内宽 11.7 m, 均热段上部采用炉顶布置的平焰烧嘴, 其余 7 个供

收稿日期: 2010-12-10

作者简介: 毕国喜(1979—), 男, 工程师, 从事加热炉生产技术管理工作。

热段采用侧向布置常规烧嘴,流量控制。投产后,出炉板坯长度方向的温度分布呈现中间高、两侧低的规律,且温差较大。对烧嘴进行一定改动之后,中间温度高的情况有所好转,但整体的均匀性和分布规律仍未达到预期要求。

文献[1]中提到的常规侧向燃烧加热炉也有出炉板坯温度均匀性问题,不同的是该例的板坯温度分布规律为中间低,两侧高。而文献[2]用例的状况与前述京唐公司的类似。

以上温度均匀性问题产生的主要原因是炉内两侧烧嘴的火焰匹配不好:火焰偏长则两侧火焰冲突,板坯中间温度高;火焰短则板坯中间区域加热不足,温度低。而烧嘴的火焰长度,一方面与供热能力有关;另一方面是因为加热炉所用工业烧嘴一般不具备与使用条件完全相同的开发条件,设计预期与实际表现总有一定差别,导致难以精确预测火焰特性,这是任何工业烧嘴无法回避的,也使得烧嘴侧墙布置时的两侧烧嘴的火焰匹配、炉宽方向温度分布和炉内板坯长度方向温度均匀性具有不可预测性,即使采用脉冲控制技术,也只规避了低流量下火焰短的问题,而无法从根本上解决这个问题。

2 蓄热式加热炉温度分布研究

2009年初,京唐公司热轧开始建设1 580 mm热轧生产线,规划3座额定生产能力为300 t/h(冷装)的步进梁加热炉。要求加热炉:①满足各种可能工况的加热需求;②良好的出炉板坯温度均匀性;③低氧化烧损;④节能减排。

基于前述1st作业线加热炉的使用情况和广泛调研后的分析结果,认为从以上要求的角度出发,蓄热式燃烧技术是比较好的选择。

另外,根据加热炉热平衡计算的结果,额定工况下达到要求的出炉温度和断面温差时,均热段的供热量最小。由此初步确定如下方案:在供热量大的预热段和加热段采用蓄热式烧嘴,能够尽可能地利用其节能优势;在供热量小的上部均热段和下部均热段分别采用平焰烧嘴和调焰烧嘴。这是一种6+2的蓄热+常规组合方案。这种组合可以兼顾出炉板坯温度均匀性、节能性和综合性价比。

2.1 蓄热烧嘴运行方式和炉内温度分布

通常,采用高温空气的烧嘴其火焰的温度均匀性比常规冷风烧嘴的好^[3]。另外,蓄热式烧嘴工作在

蓄热模式时,燃烧侧产生的烟气大部分横向流过炉膛进入对侧的烧嘴,沿炉宽方向烟气的流动是连续的。对应地,沿炉膛宽度方向的温度分布是连续的。这种运行方式规避了常规烧嘴侧墙布置方式的两个对冲火焰的匹配、流场和温度场的衔接问题,即从出炉板坯长度方向的温度均匀性来讲,蓄热式燃烧有着天然的优势。

但是文献[4]提到出炉板坯的温度分布特性:中间温度比头尾高出40~50℃甚至更高。也就是说,即使采用蓄热式燃烧技术,也并非能够得到理想的温度均匀性。

2.2 烧嘴的选择

2.2.1 蓄热烧嘴

(1)要求烧嘴具有获得良好的火焰特性,燃气被对侧烧嘴抽吸之前应该已经完全燃烧。文献[7]认为国内常采用的扩散(弥散)燃烧会使得燃烧不完全,炉内气氛不好控制。有多篇文献报道由于燃烧不好导致的烧嘴乃至加热炉损坏的事故。所以未考虑采用这种技术的烧嘴,而倾向于空煤气烧嘴混合技术。

(2)烧嘴要控制灵活、维护方便、故障率低。全分散式控制的蓄热烧嘴比较合适,燃气、空气和抽吸烟气由单独的快切阀控制,任一阀故障均不会影响其它烧嘴的运行,并可实现多种控制模式。

2.2.2 调焰烧嘴

均热段下部侧向燃烧调焰烧嘴具有良好的火焰调节性能,在烧嘴出力不变的情况下可大范围调节火焰长度;另外火焰温度分布要均匀。

综合考虑,选用了Bloom公司的1150系列低NO_x蓄热式烧嘴和1610系列超低NO_x调焰烧嘴。

2.3 加热炉供热方案和烧嘴能力确定

在前期的考察中发现,有些采用蓄热式燃烧技术的加热炉出炉板坯的RT2温度曲线中间温度高于头尾温度且温差较大。文献[5]中实例的实际运行数据和数值计算结果均为出炉板坯的温度中间高两侧低,相差30~50℃,高者有60~70℃。原因可能有两个:一是预热段和加热段烧嘴设计额定负荷偏大导致火焰偏长;二是烧嘴实际火焰长度大于实验室测得数据。最终的表现是两侧烧嘴火焰产生的高温区有重叠,导致无论哪侧烧嘴燃烧,炉膛轴线区域都处于火焰产生的高温区,平均温度高,即出现图1中虚线所示的温度分布。

CFD计算得到的火焰匹配良好的蓄热式燃

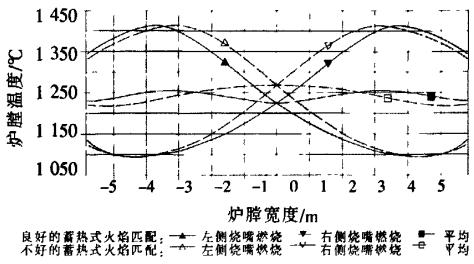


图 1 蓄热式加热炉炉宽方向钢坯温度分布参考图

的炉宽方向炉温分布如图 1 中实线所示。要求本例采用的烧嘴燃烧所产生的高温区比较该曲线的稍短, 避免出现中间区域的平均温度过高, 使得整个周期的平均温度曲线均匀性达到设计要求。

根据表 1 的加热炉基本设计条件和要求, 保证出炉板坯断面温差小于 30 ℃, 并且优化各段温度设定, 以使单位燃耗尽量低, 计算得到炉内板坯升温曲线。根据板坯在各段的温度变化, 计算出额定工况各供热段所需的供热量。

表 1 京唐 1580 热轧 1#、2#、3# 加热炉技术参数

主要生产钢种	碳素结构钢、船用钢、管线用钢等
额定生产能力/t·h ⁻¹	300, 冷装
标准板坯/mm×mm×mm	230×1 250×10 500
板坯加热温度/℃	板坯出钢温度: 1 250±20
钢坯温度均匀性/℃	厚度方向: <30 (不包括黑印) 长度方向: ≤20 (不包括黑印)
炉膛有效尺寸/mm	砌砖长度 46 520 炉膛内宽 11 700
燃气参数/kJ·m ⁻³	混合煤气, 低位热值=2 000×4.18 煤气预热, 最高温度 250 ℃

然后综合以下因素确定各段额定供热能力:

(1) 考虑炉子折旧后效率降低的供热能力裕量, 从低温段到高温段逐渐增大, 且下部段大于上部段;

(2) 考虑炉子对实际运行各种工况, 包括长时间待轧后突然快节奏出钢情况的适应能力;

(3) 蓄热式烧嘴火焰不能偏长。每只烧嘴火焰的高温覆盖区为 1.4 倍火焰长度, 对于 11.7 m 宽的炉膛, 要求烧嘴额定出力下的火焰长度为 4.3 m 或略短, 以保证高温区不重合。

(4) 均热段下部的调焰烧嘴, 火焰的高温覆盖区为 1.3 倍火焰长度, 要求烧嘴额定出力下的火焰长度为 4.5 m, 并可以调节火焰强化对钢坯头尾的加热。

最后确定的方案为蓄热式烧嘴: 预热段上下部各 3 对, 一加热段上下部各 4 对, 二加热段上下部各 4 对; 均热段上部 30 只平焰烧嘴, 下部每侧各 5 只调焰烧嘴。所有蓄热式烧嘴的额定供热能力很接近, 火焰长度均为 4.3 m 左右。

3 实际运行效果

1580 轧线的 3 座加热炉于 2010 年 3 月份陆续投产, 至今运行良好。烧嘴出力采用流量控制。除蓄热式烧嘴外, 调焰烧嘴也装配了空气和煤气快切阀。系统可以实现如下控制:

(1) 对蓄热式烧嘴, 运行人员可以根据具体工况选择集中换向、分组延迟换向和交叉换向工作模式;

(2) 所有侧烧嘴在负荷低的时候均可实现间拔或脉冲控制。

在低负荷时采用了一种简单实用的间拔控制: 如果一个段有 4 对烧嘴, 则运行在 100%~75% 段额定负荷时, 4 对烧嘴全部运行; 75%~50%, 3 对烧嘴运行; 50%~25%, 2 对烧嘴运行; 低于 25%, 1 对烧嘴运行; 低于 1 只烧嘴的最高调节比, 烧嘴全关。根据各段烧嘴数量以此类推。间拔的烧嘴可任意选择, 也可置于自动轮换间拔模式以使全段的温度均匀。

加热炉运行已近一年, 各运行参数均比较理想, 炉温均匀性和出炉板坯温度均匀性很好, 二级的计算温度比较准确, 故到目前还没有做埋偶实验来进行更精确的调整。

3.1 炉宽方向温度

加热炉上部各段在炉顶设 2 只或两侧墙每侧 1 只热电偶, 下部各段在两侧墙每侧各设 1 只热电偶。每个段两个热电偶的测温差值, 虽不能完全显示出炉宽方向的温度分布, 但可作为判断温度均匀性的参考。

图 2 是加热炉日常运行中热电偶测温曲线。图中(a)、(b) 为蓄热式第一加热段的炉膛温度, 炉温稳定时, 左右侧炉温差小于 3 ℃; 当炉温波动频繁时温差小于 8 ℃, 可见本例中蓄热式供热段炉宽方向的炉温分布非常均匀。图中(c) 为均热段下部的两只热电偶测温曲线, 该段为常规燃烧的调焰烧嘴。两支热电偶不同, 非轧机侧的温度响应快, 所以波动较大。两支热电偶的测温差值一般小于 5 ℃, 炉温分布均匀。

三幅曲线图进行比较, 可以看出常规供热段的炉温响应比蓄热式供热段的快, 蓄热式燃烧供热段炉温更稳定。

3.2 板坯温度分布

目前没做板坯的埋偶实验, 所以没有出炉板坯的详细温度分布。但是, 粗轧结束后的 RT2 温度代表实际产品的温度分布情况, 具有实际的参考意义,

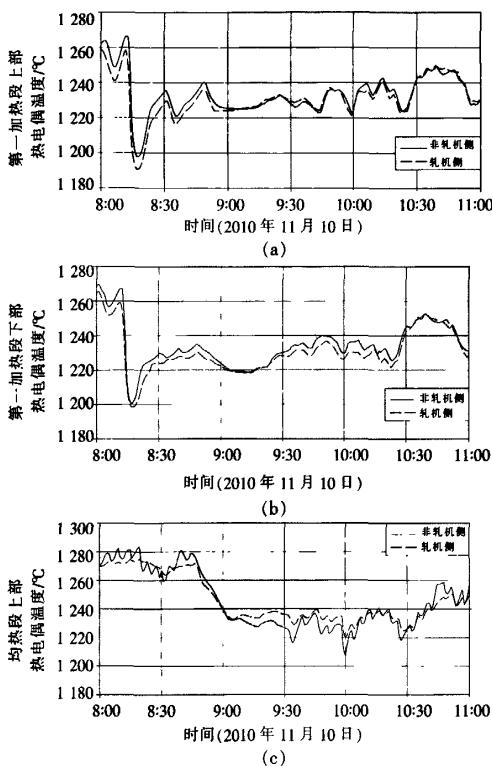


图2 1580热轧2#加热炉温曲线

也能代表板坯在炉内的真实温度分布趋势。图3中曲线(a)和(b)分别为冷装产量为280 t/h和230 t/h工况下出炉板坯粗轧结束后的RT2曲线,板坯尺寸均为230 mm×1 250 mm×10 500 mm。

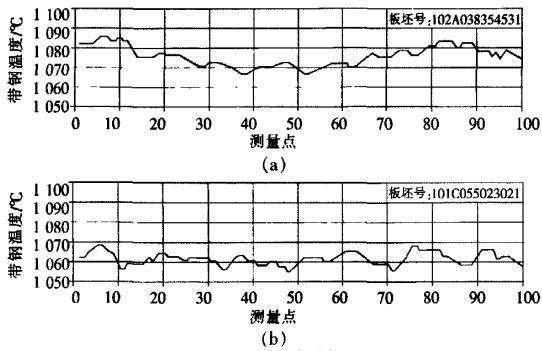


图3 1580热轧加热炉出炉板坯RT2曲线

图中(a)的工况接近设计的额定工况。曲线中的板坯温度分布趋势与图1中火焰匹配良好的炉温分布趋势相近,呈马鞍形,只是头部和尾部的高温区更靠近炉膛两侧,这体现出了开始的设计思路;基于蓄热式运行原理,炉膛轴线区域温度不会过低,故蓄热式烧嘴的火焰可以略短于图1中良好匹配曲线的火焰,以保证板坯中间段温度不过高。虽然中间部位

温度稍低,但板坯长度方向RT2的温差:从头到尾整体温差为18 °C,满足设计和生产要求。

图中(b)显示负荷稍低工况下的RT2曲线。因为低流量下烧嘴运行采用了自动间断控制,没有出现火焰短的情况。整体温差17 °C,满足设计和生产要求。

其它各类工况的板坯RT2曲线均与以上类似。可见,实际运行中本例的加热炉沿炉宽方向的温度均匀性和出炉板坯长度方向温度均匀性都很好,为获得这些良好参数所制定的供热方案得到了很好的结果,其设计指导思路是正确的。

4 结论

通过对大型板坯加热炉应用实例的分析,认为蓄热式燃烧技术在提高出炉板坯长度方向温度均匀性方面与常规燃烧技术相比具有天然优势,但在制定供热方案和烧嘴选型和设计时要注意控制火焰尺寸的匹配:火焰可以稍短但不能偏长。

蓄热式烧嘴、常规平焰烧嘴和常规调焰烧嘴结合的供热方式既有利于保证出炉板坯温度均匀性,也具有很好的性价比。

所选择的烧嘴对火焰的控制及简单实用的低流量下烧嘴运行自动间断控制技术效果很好。

基于以上几点,设计的京唐1580热轧三座加热炉获得了良好的出炉板坯温度均匀性,提高了热轧板卷产品质量,同时为推广蓄热式燃烧节能技术提供了新的思路。

参考文献:

- [1] 曹大东.空气单蓄热式燃烧技术在武钢加热炉上的应用[J].工业炉,2009,31(3):22-24.
- [2] 张延平.迁钢公司热轧板坯加热温度均匀性测试研究[J].首钢科技,2009(2):18-20.
- [3] NABIL RAFIDI. Heat transfer characteristics of HiTAC heating furnace using regenerative burners [J]. Applied Thermal Engineering, 2006(26): 2027-2034.
- [4] 秦建超.蓄热式烧嘴在宝钢2050热轧2号加热炉上的应用[C]//全国能源与热工2006学术年会论文集.北京:中国金属学会能源与热工分会,2006.
- [5] 刘训良.空气单蓄热式烧嘴燃烧过程的数值模拟及其参数优化[J].冶金能源,2009,28(3):19-21.
- [6] SCHALLES D G. Proper application of low-NO_x technology to reheating furnaces: environmental and advantages [J]. Iron & Steel Technology, 2005, 2(4): 128-132.
- [7] 朱理.国内加热炉蓄热式燃烧系统分析[J].冶金能源,2010, 29(2):40-42.