

首钢 250t/h 步进梁式加热炉燃烧控制技术

陈迪安 苗为人 余威 刘志民
(北京首钢设计院, 首钢迁钢热轧分厂)

摘要 板坯加热质量好坏直接关系到轧制的稳定性、产品的外形质量和机械性能, 因此板坯加热炉的燃烧控制技术显得尤为重要。首钢迁钢 2160mm 热轧加热炉适应多种装炉模式。本文重点介绍具有首钢特色的板坯加热炉燃烧控制技术。

关键词 加热炉 超长火焰燃烧技术 间拔控制技术 加热质量 燃料消耗

The combustion control technology of the 2160 hot rolling mill

Chen Di'an Miao Weiren Yu Wei Liu Zhimin
(Beijing Shou Gang Design Institute the 2160 hot rolling mill)

Abstract The heating quality of the slab has direct relation with the stability of rolling, the quality of product figure, and the mechanical performances of the product, therefore combustion control technology of the slab is especially important. The heating furnace of the 2160 hot rolling mill is seasoned with many kinds of charging pattern. This article introduces particularly Shougang characteristics of combustion control technology.

Keywords heating furnace longest flame combustion technology control technology of interval cutting off heating quality consumption of fuel

1 加热工艺特点

2160 热轧从 2003 年开始设计, 到 2006 年年底建成投产, 设计产量为 400 万 t/a, 共配备 3 台结构相同的 250t/h 步进梁式加热炉, 其有效尺寸为 40.7m × 11.1m。加热炉均热段上部采用平焰烧嘴, 其余全部采用侧向调焰烧嘴供热。平焰烧嘴为 BMP 型(共 24 个), 采用空煤气双旋流技术; 侧烧嘴为低 NO_x 超长火焰(SDF 型)烧嘴(共 48 个), 侧烧嘴的超长火焰可覆盖整个炉宽。加热炉共设置 6 个炉温自动控制段, 分别为第一加热段上、第二加热段上、均热段上、第一加热段下、第二加热段下、均热段下。国内外同类宽度板带加热炉为保证板坯长度方向的温

度均匀均设置纵向烧嘴供热, 2160 热轧加热炉是国内继上钢一厂 1780 热轧加热炉后不设纵向烧嘴供热的厂家。为满足集中批量轧制和混合轧制生产的需要, 加热炉需要经常转换生产模式, 既有 DHCR → CCR → DHCR (直接热装 → 冷装 → 直接热装)、HCR → CCR → HCR (间接热装 → 冷装 → 间接热装) 不同装钢模式的转换, 又有双相钢、高强合金钢及碳钢等不同钢种加热的转换。可以加热冷装坯料和不同入炉温度的热坯。

2 燃烧控制技术

2.1 平焰燃烧技术

均热段炉顶采用双旋流平焰燃烧技术, 煤气由顶部引入烧嘴内管, 经导流片使气流旋转, 然后从烧嘴头部成一定角度喷出。空气由侧部进入烧嘴外管, 按比例分两股流入烧嘴本体, 经切向布置的导流孔后, 旋转的气流在烧嘴头部与旋转

收稿日期: 2007-03-22
陈迪安(1978 ~), 工程师; 100043 北京市石景山区。

的煤气气流混合燃烧，由于贴附效应，气流沿特殊设计的烧嘴砖内壁向四周铺展，从而形成贴附于炉顶的一层平焰。在均热段采用平焰燃烧技术，可有效调整板坯在长度方向的温度均匀性，减少头尾温差对轧制质量的影响。

2.2 超长火焰燃烧技术

低 NO_x超长火焰（SDF型）烧嘴用在加热炉的第一加热段上、下部；第二加热段上、下部；均热段下部。该技术为日本中外炉 CRO 公司最新的燃烧技术，采用二级燃烧机理，增长火焰长度，并降低炉内 NO_x 的产生。该技术最大特点是调节比大，在小流量燃烧状态下火焰长度长、刚性好，可以满足超宽板坯的加热要求。它采用特殊的燃烧供风（见图 1）技术，中心风、一次风和二次风分别从三个平行的喷口喷出，通过调节一、二次风的比例调节火焰长度。

在投产试轧初期，由于火焰没有达到相应长度，板坯长度方向的温差偏大，影响了轧线的生产和试轧调整。通过反复测量数据，不断分析，得知火焰长度和刚度与烧嘴前空、煤气压力以及一次风、二次风开启度有很大关系。一次风的开启度与火焰长度成反比，在烘炉或低温（≤ 800℃）时一次风一定要打开，确保与二次风的比例关系为 3: 7。烧嘴前中心风压力要保持稳定，一般保持在 4000kPa 左右。图 2 为火焰长度与助燃风的关系。

经实践证明，在烧嘴能力为额定能力的 100% ~ 40% 时，火焰长度和刚度良好，炉膛宽度方向的温度均匀，板坯长度方向温度差小于 30℃。

2.3 间拔控制技术

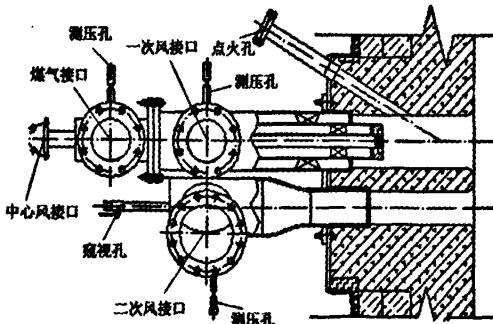


图 1 SDF 型超长火焰烧嘴

为了保证在低负荷生产时炉宽方向的温度均匀，我们采用侧烧嘴间拔控制技术，并取得了良好的使用效果。

2.3.1 间拔燃烧控制的原理和优势

顾名思义，间拔燃烧控制是一种间断切断侧烧嘴的燃烧方式，当加热炉低产时，各控制段需要的空、煤气流量相应降低，为了保证烧嘴火焰外形不变，各控制段需要切断部分烧嘴，各控制段需要间拔的烧嘴数量为：

$$n = \text{int}\left(n_1 - \frac{V_{\text{气}}/2}{V_{\text{烧嘴}}}\right)$$

式中：n——各控制段每侧要切断烧嘴数量

n_1 ——各控制段每侧烧嘴数量

$V_{\text{气}}$ ——各控制段燃料流量

$V_{\text{烧嘴}}$ ——侧烧嘴最大燃烧能力时燃料流量

烧嘴一旦工作，就处于高负荷状态（50% ~ 100%），保证烧嘴火焰最长、最稳定，出炉板坯炉宽方向的温度均匀。当需要增加产量时，燃料消耗量增大，需要间拔的烧嘴数量相应减少；当需要减小产量时，燃料消耗量减少，需要间拔的烧嘴数量相应增加，控制图见图 3。

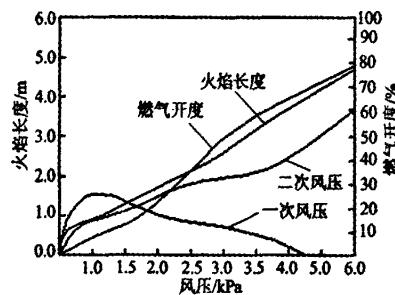


图 2 火焰长度与烧嘴嘴前压力关系

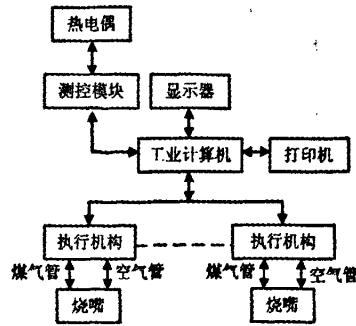


图 3 间拔燃烧控制示意图

间拔燃烧控制的主要优点为：

- (1) 热效率高，大大降低能耗。
- (2) 可提高炉宽方向温度场的均匀性。
- (3) 通过在线调整实现炉内燃烧气氛的精确控制。
- (4) 可提高烧嘴的负荷调节比。
- (5) 系统简单可靠，造价低。
- (6) 减少 NO_x 的生成。

通过间拔加热段烧嘴数量，控制不供热的热回收段的长度，尤其适应不锈钢加热工艺的需要，并有效回收烟气余热。

普通烧嘴的调节比一般为 4 左右，当烧嘴在高负荷工作时，燃气流速、火焰形状、热效率均可达到最佳状态。但当烧嘴流量接近其最小流量时，热负荷最小，燃气流速大大降低，火焰形状达不到要求，热效率急剧下降。普通烧嘴工作在负荷流量为 50% 以下时，上述各项指标距设计要求就有了较大的差距。间拔燃烧控制则不然，无论在何种情况下，烧嘴只有两种工作状态，一种是高负荷（50% ~ 100%）工作，另一种是不工作，当加热炉热负荷变化时，相应调整各段烧嘴工作状态，进行温度调节。所以采用间拔燃烧可弥补烧嘴调节比低的缺陷，需要低产控制时仍能保证烧嘴工作在最佳燃烧状态。当烧嘴在高负荷工作时，燃气喷出速度快，周围形成负压，将大量炉内烟气吸入火焰根部，并进行充分搅拌混合，延长了燃气和空气接触时间，火焰长度以及高温区拉长，减少 NO_x 的生成，增加了烟气与坯料的接触时间，从而提高了对流传热效率。另外，炉内烟气与燃气充分搅拌混合，使火焰温度与炉内烟气温度接近，提高炉内温度场的均匀性，减少高温火焰对坯料的直接热冲击，避免坯料局部过热、过烧，提高成品率，减少氧化烧损，有明显的经济效益。

燃烧气氛的调节是提高工业炉窑性能必不可少的一个环节，间拔控制技术是在传统的连续燃烧控制上在烧嘴前增加切断阀，通过开关各控制段侧烧嘴工作的数量来精确控制炉内的燃烧气氛。采用间拔燃烧控制方式，只要加热炉产量恒定，高负荷工作的烧嘴数量就恒定，烧嘴前切断阀工作频率比较低，因此系统工作稳定可靠。并可以根据系统的实际情况采取全自动控制或人工

手动控制。

2.3.2 间拔燃烧控制在首钢迁钢热轧加热炉上的应用

2160 热轧加热炉在常规双交叉限幅控制六个供热段的基础上，辅以炉尾预热段，在第一加热段、第二加热段有低负荷自动切断控制功能，即间拔燃烧控制。在第一加热段上（J1）、下（J2）二段，两侧均布置有五对烧嘴，其中各有四对烧嘴带间拔控制阀；第二加热段上（J3）、下（J4）二段，两侧也各布置有五对烧嘴，其中各有四对烧嘴带间拔控制阀；均热段上加热 24 个平焰烧嘴及下加热的 8 个侧烧嘴都不能进行间拔控制。

可根据热负荷情况，分别对 J1、J2 段及 J3、J4 段部分烧嘴进行切断控制。当热负荷低于某一值 Q_1 时，自动切断一对烧嘴，当热负荷继续低于某一值 Q_2 时，再自动切断一对烧嘴（负荷低于 50% 必须进行切断控制），直到该段关闭，以保证烧嘴始终处在正常要求的工作负荷（100% ~ 40%）下。当加热炉处于低负荷生产时，为了保护切断的烧嘴不被炉膛高温烟气侵蚀氧化，我们只切断烧嘴的煤气支管及一、二次风支管阀门，中心风管道始终保持全开状态，以高流速空气冷却烧嘴，烧嘴中心风的风量约占烧嘴额定燃烧风量的 3% ~ 5%。

基于仪控双交叉限幅控制系统的间拔控制技术，确保了低温供热段的燃烧稳定。在确保该炉区炉宽方向温度场均匀分布的前提下，最大限度地优化了供热分配，可以灵活设定该区域的加热温度，尤其适合不锈钢板坯低温时缓慢加热的工艺要求。控制精度高，操作灵活，确保了不锈钢板坯的加热质量、同时提高了加热效率，降低了燃料消耗。

加热炉燃烧间拔控制技术使加热炉二级燃烧最佳化控制得以实现，加热炉二级控制模型的控制思想是把加热炉的高温区段尽可能设定在加热炉出料端，让坯料在低温段吸收尽可能多的热量，最大限度降低排烟温度，提高加热炉的热效率，节约燃料。

间拔燃烧控制技术根据加热炉二级系统温度设定值控制各控制段空、煤气流量，并根据流量的变化控制各加热段需要间拔烧嘴的数量，而各

加热段间拔烧嘴的规律是从装料端向出料端依次间拔，保持各加热段靠近出料端烧嘴高负荷燃烧，满足加热炉二级控制模型设定的温度曲线，使二级模型燃烧控制策略得以实现，并保证了烧钢质量。在加热炉低产或保温待轧时，烧嘴间拔控制技术保持炉宽方向温度均匀性的同时，改善了操作环境，提高了炉底面积利用率和加热效率，降低了燃料消耗。间拔燃烧作为一项新技术有着广阔的应用前景，在首钢 250t/h 步进梁式加热炉上的成功应用，对提高产品质量、降低能耗、减少污染将发挥重大作用，是工业炉行业燃

烧自动控制的一次革新，将成为未来工业炉燃烧控制技术发展的一个方向。

3 结论

首钢迁钢 2160mm 热轧加热炉不设纵向烧嘴供热，而采用平焰烧嘴和全侧向烧嘴供热方式，完全满足其复杂、多变加热工艺的要求。其独特的燃烧控制技术，在保证加热质量的同时，改善了操作环境，提高了加热效率，降低了混合煤气消耗。

张长保 编辑

(上接第 54 页)

的监测次数； C_i 为时间为 T_i 时监测的一氧化碳浓度； C_{i+1} 为时间为 T_{i+1} 时监测的一氧化碳浓度； T 为一个周期中一氧化碳总的排放时间。

通过对几个不同周期的监测，基本上可以得出一氧化碳的平均排放浓度。然后根据实际排风量计算出每炉钢的一氧化碳排放量或小时排放量，从而根据年运行时间或年生产炉数计算出一氧化碳年排放总量。其它污染物的总量计算与一氧化碳计算雷同。

4 结论及建议

(1) 总量监测工作既是为企业服务，又是管理部门进行总量收费所必不可少的依据，总量

排污核准在总量收费中起着至关重要的作用。

(2) 监测人员必须按照监测规范，在完全保证质量的情况下对企业排放的污染物进行监测，在监测过程当中要掌握企业污染物排放规律，明确处理过程，确定是不是连续排放，最好将整个的污染源进行全面的掌握和了解。

(3) 总量计算要做到合理、合法、透明，对计算结果要经过企业认同，使所监测数据和计算结果代表企业的实际情况。因此监测人员在监测的同时也要对整个企业的污染源进行调查，为管理部门提供准确可靠的监测数据，为管理部门的收费工作奠定良好的基础。

张长保 编辑

(上接第 58 页)

参考文献

- 1 张景来, 王剑波等. 冶金工业污水处理技术及工程实例. 北京: 化学工业出版社. 2003. 7: 141
- 2 单明军等. 生物脱氮新技术在焦化废水处理中的应用. 冶金能源, 2005, 7 (4): 51~53

- 3 周少奇, 周吉林. 生物脱氮新技术研究进展. 环境污染治理技术与设备, 2000, 12 (6): 11~19
- 4 王建龙. 生物脱氮新工艺及其技术原理. 中国给水排水, 2000, 16 (2): 25~28
- 5 单明军等. 焦化废水亚硝化过程的动力学研究. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38 (2): 312~314

张长保 编辑

节能减排，科学发展。