

## 首钢轧钢加热炉的节能

陈冠军<sup>1</sup>, 张忠结<sup>2</sup>, 陈 军<sup>3</sup>, 向 英<sup>4</sup>, 徐珊玲<sup>5</sup>

(1. 首钢技术研究院, 北京 100043; 2. 首钢型材厂, 北京 100043; 3. 首钢中厚板厂, 北京 100043;  
4. 首钢高速线材厂, 北京 100043; 5. 首钢第一线材厂, 北京 102206)

**摘 要:**结合首钢实例分析了节能技术改造和减产因素对加热炉数量、生产能力、燃料结构、炉型和余热利用等方面的影响, 简述了轧钢系统节能的重点是轧钢加热炉节能。通过加热炉能耗分析和对比表明, 加热炉具有较大的节能潜力。介绍了加热炉炉体节能、钢坯加热制度、热装热送和余热利用等方面的节能途径。

**关键词:** 加热炉; 轧钢; 节能; 能耗

**中图分类号:** TF06    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1001-6988(2011)01-0016-04

## Energy-Saving in Shougang Rolling Reheating Furnace

CHEN Guan-jun<sup>1</sup>, ZHANG Zhong-jie<sup>2</sup>, CHEN Jun<sup>3</sup>, XIANG Ying<sup>4</sup>, XU Shan-ling<sup>5</sup>

(1. Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100043, China; 2. Shougang Bar Plant, Beijing 100043, China; 3. Shougang Medium Sheet Plant, Beijing 100043, China; 4. Shougang High Speed Wire Plant, Beijing 100043, China; 5. Shougang No.1 Wire Plant, Beijing 102206, China)

**Abstract:** The effects of energy-saving technical renovation and production reduction factors on the reheating furnace quantity, the production capacity, the fuel structure, the furnace type and the waste heat utilization were analyzed combining with Shougang example. It is explained that the focus of steel rolling system energy saving was the reheating furnace energy-saving. Through the analysis and comparison of reheating furnace energy consumption, it was shown that the reheating furnace had greater energy saving potential. The energy saving approaches of furnace body energy-saving, the billet thermal regulation, the hot-charging and hot-transportation and the residual-heat utilization were introduced.

**Key words:** reheating furnace; rolling; energy-saving; energy consumption

为实现钢铁工业的可持续发展, 在近年国家“节能减排, 钢铁产业结构调整, 淘汰落后产能”产业政策引导下, 钢铁工业向低能耗、短流程和高附加值产品方向发展<sup>[1-2]</sup>, 轧钢系统由于在整个钢铁综合能耗中比重较低和产品高利润等因素影响, 近年轧钢生产能力增长迅速, 同时由于轧钢产品质量、品种的升级, 深加工层次的不断增长, 部分轧钢系统工序能耗呈上升趋势, 轧钢加热炉能耗占轧钢系统工序能耗的 60%~70%, 是轧钢系统节能的重点<sup>[3]</sup>。首钢近年轧钢系统工序能耗和加热炉能耗如图 1 所示, 轧钢系统工序能耗和加热炉能耗随时间

变化趋势相同, 但加热炉能耗变化幅度较小, 其中轧钢系统工序能耗从 2001 年 99.1 kgce/t 下降到 2007 年 62.5 kgce/t, 之后轧钢工序能耗有所上升, 到 2009 年 65.4 kgce/t<sup>[4]</sup>, 造成 2006 年前后轧钢工序能耗大幅降低的原因是采用新折标电、气系数计算, 而加热炉能耗从 2001 年 58.4 kgce/t 下降到 2007 年 49.7 kgce/t, 2008 和 2009 年能耗略有上升, 可见扣除电、气新折标系数调整因素外, 加热炉能耗是影响轧钢工序能耗的主要因素。首钢共有轧钢加热炉 20 余座, 其中北京厂区原有轧钢加热炉 10 余座, 受产品结构调整、北京厂区减产、搬迁改造和生产力转移等因素影响, 北京厂区部分轧钢加热炉逐年停产, 加热炉数量不断减少, 预计 2010 年底全部停产或撤离北京。

收稿日期: 2010-09-19

作者简介: 陈冠军(1972—), 男, 教授级高工, 主要从事冶金能源科研工作。

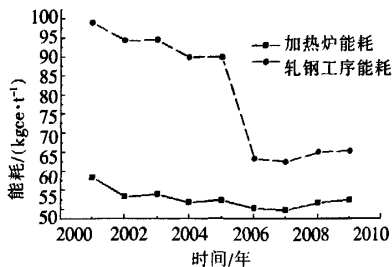


图1 首钢近年轧钢系统工序能耗和加热炉能耗

1 技改和减产对加热炉的影响

以首钢中板、高线、型材和一线材厂为例,近年(从2001年到2009年)首钢轧钢系统主要技改和减产情况如表1所示,技改和减产造成的加热炉变化如表2所示,加热炉数量从10座减少为8座,生产能力由1150 t/h降为1120 t/h。首钢中板厂共有加热炉2座,每座生产能力为75 t/h,2003年和2005年分别完成蜂窝和小球蓄热式加热炉改造,生产能力由原来的150 t/h增加到240 t/h,燃料为高、焦、转混合煤气,原有煤气换热器取消。首钢型材厂原有加热炉3座,2002年完成三区小球蓄热式加热炉改造,但受减产影响,型材二区加热炉于2007年12月停产,故现有推钢式加热炉和蓄热式加热炉各1座,生产能力由原来的450 t/h减少到290 t/h,其中型材一区加热炉原燃料为混油混烧,到2008年取消混油。首钢高线厂原有加热炉2座,2005年新建三区精品棒材140 t/h步进式加热炉,拥有两座步进式

加热炉和1座推钢式加热炉,生产能力由原来的330 t/h增加到470 t/h,燃料为混合煤气。受北京厂区减产和煤气不平衡因素影响,以上轧钢厂加热炉在冬季均混烧部分天然气。首钢一线材厂原有加热炉3座,2005年改1座推钢式加热炉为步进式加热炉,受北京奥运影响,曾全部停产,截止2009年仅剩1座步进式加热炉,生产能力由原来的220 t/h减少到120 t/h,原燃料为重油,2008年改烧天然气。在余热利用方面,现有首钢型材厂、高线厂和一线材厂加热炉均配备煤气换热器和空气换热器。

2 加热炉单耗分析

首钢近年加热炉单耗变化如图2所示,加热炉单耗总体呈下降趋势,2005年以前,高线厂三区的步进式加热炉刚投产,能耗最高为3.36 GJ/t,其次为中板厂蓄热式加热炉,2004年加热炉单耗为2.02 GJ/t,高线厂一区和二区加热炉单耗最低为1.2~1.3 GJ/t,2006年以来,高线三区加热炉单耗迅速下降,到2009年能耗降低1.46 GJ/t处于中等水平。加热炉单耗最高的是中板厂,由于受近年减产、燃料分摊和品种钢加热时间延长等因素影响,加热炉单耗成上升趋势,加热炉单耗从2006年1.97 GJ/t增加到2009年2.28 GJ/t。受此影响的还有型材厂一区加热炉单耗从2006年的1.25 GJ/t上升到2009年1.76 GJ/t,高线厂一区和二区加热炉单耗最低,2009年降至1.14~1.17 GJ/t。从自身加热工艺要求看,中板厂

表1 近年首钢轧钢系统主要技改和减产情况(2001~2009年)

时间	项目内容	加热炉集成节能技术	备注
2002	型材厂三车间蓄热式加热炉改造	小球蓄热、换热	技改
2003	中板厂3 500 mm 轧机改造(包括2号加热炉蓄热式改造)	蜂窝蓄热、汽化冷却、滑块	技改
2005	中板厂1号加热炉蓄热式改造	小球蓄热	技改
2005	高线厂新建三区精品棒材	步进、汽化冷却	新建
2005	一线材厂二车间高速轧机改造	步进	技改
2006	一线材厂加热炉喷涂节能涂料	节能涂料	-
2007	轧钢系统冬季引进天然气	-	减产
2007	型材厂二车间停炉	-	减产
2008	一线材厂一、三车间停炉	-	减产
2008	型材一区取消混油、一线材厂油改气和喷涂节能涂料	-	减产

表2 技改和减产造成的加热炉变化(2001~2009年)

	加热炉/座	生产能力/t·h <sup>-1</sup>	燃料	炉型	换热器
中板厂	2	150→240	高、焦、转混合煤气→混烧天然气	2座推钢炉→蓄热炉	煤气换热器→无
型材厂	3→2	450→290	混油、转炉煤气混烧→混烧天然气	1座推钢炉→蓄热炉	煤气、空气换热器
高线厂	2→3	330→470	混合煤气→掺烧天然气	步进炉2座,推钢炉1座	煤气、空气换热器
一线材厂	3→1	220→120	重油→天然气	推钢炉→步进炉	煤气、空气换热器
合计	10→8	1150→1120	-	-	-

加热炉出钢温度普遍比型材和线型材加热炉出钢温度高 100 ℃ 以上,故中板加热炉比高线和型材加热炉单耗高,在本案例中,能耗高 0.2~0.5 GJ/t。加热炉单耗的降低体现了近年加热炉节能技术改造和节能措施的落实取得的进步,而部分加热炉单耗的增加也反映了首钢北京厂区减产、能源分摊和品种结构调整带来的影响。

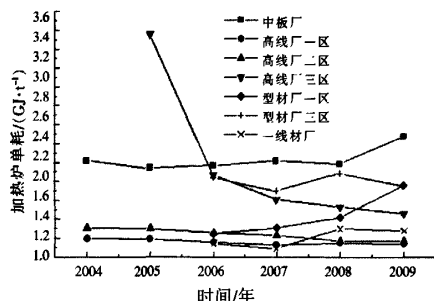


图2 首钢近年加热炉单耗变化图

### 3 节能潜力与途径

#### 3.1 节能潜力分析

以中板厂2号蓄热式加热炉为例,采取蜂窝蓄热式技术,冷却系统采取汽化冷却方式,技术本身较为先进,而其年统计能耗相对偏高,为此,从2002年到2009年期间,多次组织开展热平衡测试,历年热平衡测试与统计能耗对比如图3所示,蓄热式改造前后无论是加热炉热平衡测试还是统计能耗均呈下降趋势,但热平衡测试能耗下降幅度明显,而统计能耗下降幅度较小。

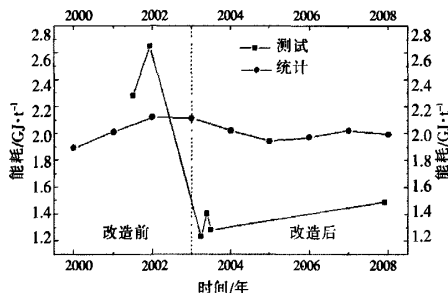


图3 中板厂2号加热炉热平衡测试与统计能耗对比图

在衡量加热炉技术性能时,使用热平衡测试获得的能耗指标相对准确,而在年度能耗评估中,统计能耗相对可靠。另外加热炉待轧问题突出,由于中板厂共有2座加热炉,而仅有一套轧机,从能力考虑,加热炉加热能力大于轧机生产能力,并且实际生产中经常出现辊道、轧机系统方面故障,造成钢坯待

轧现象突出。同时由于近年品种加热质量要求,在炉加热时间由原来的3 h增加到4 h,以上因素均导致近年加热炉统计能耗上升趋势。通过统计能耗与热平衡测试能耗的对比分析,正常情况下中板厂蓄热式加热炉的能耗为1.2~1.5 GJ/t,而年统计能耗为1.9~2.0 GJ/t,具有较大幅度的节能潜力。采用比较分析,其他加热炉均存在一定的节能潜力,而高线厂一区和二区加热炉能耗指标先进,其节能潜力最小。

#### 3.2 节能途径

针对首钢北京厂区加热炉新老技术并存的情况,考虑近年结构调整和减产等因素,加热炉设备老化、问题增多和无法进一步技术改造情况下<sup>[9]</sup>,采用热平衡测试和加热炉单项指标检测等手段,及时了解加热炉燃烧、散热和能源利用情况,采用管理、检修等手段及时解决影响加热炉单耗问题,最大程度发挥加热炉的技术性能,达到降低加热炉单耗的目标,从而实现加热炉节能。主要节能途径如下:

(1)加强炉内氧含量、炉压和尾部烟气监控,保持炉内微正压操作,合理控制炉内氧气氛和烟气残氧量。在确保燃烧完全的情况下,尽可能降低空燃比(检测数据表明,首钢厂区大部分加热炉空气系数大于1.5以上),控制空气系数为1.05左右,烟气残氧应低于3%(不考虑漏风),炉压应控制在0~10 Pa,可以降低烟气带出的热损失和减少炉头炉尾吸冷风和防止冒火问题。

(2)加强炉墙保温。加热炉炉墙表面温度超温,既不符合加热炉炉墙温度限制要求,容易造成人员经过烫伤和炉体表面散热损失增加,其原因主要是炉内侧墙、炉顶局部耐火材料脱落,对此应及时修复和附粘耐火材料,如采用快干浇注料<sup>[9]</sup>,炉顶粘贴纤维毡,裂缝处采用喷补灌浆法处理。

(3)炉内定期喷涂节能涂料。国外有日本热放材研究所,日本化学工业公司,美国宾夕法尼亚特兰斯耐火材料公司,英国的MH德蓓克公司都研制生产各种类型的高辐射涂料<sup>[7]</sup>,如日本CRC公司的H.R.C辐射涂料,英国CRC公司ET-4型红外辐射涂料;国内有几十家单位研究和生产红外辐射涂料,如慧敏公司“杰能王”微纳米高温远红外节能涂料,湖南娄底市新材料研究所研制、新材料实验工厂生产的高温远红外涂料,中国科学院上海硅酸盐研究所研制的HT-1耐高温高辐射节能涂料等<sup>[9]</sup>。在加热炉上使用可实现节能率5%~10%左右,可提高加热炉热

效率2%~4%。首钢一线材厂定期使用韩国和北京考特公司的节能涂料,收到一定节能效果。鉴于节能涂料在短时间内具有的节能效果,可以进一步推广使用,由于节能效果随时间下降,故需定期使用。

(4)提高热装、送率和热送温度,在满足轧制要求情况下尽可能降低出钢温度,减少钢坯在炉时间<sup>[9]</sup>。为此需制定不同品种钢的热装热送温度,开展不同品种交叉入炉的加热制度优化,在待炉时间较长时,布置加热时间长的钢坯,而产量较大时可安排加热时间短的钢坯入炉,采用缓加热和快速加热相结合的方法,尽可能减少钢坯待轧现象,降低加热炉单耗和降低钢坯氧化烧损。

(5)定期交错检修和达产。由于北京厂区的减产,高炉和焦炉的停产,煤气由富余转为不足,煤气方面主要存在夏季富余、冬季不足,白天富余、晚上不足的情况,产量与能耗的关系是产量较少,能耗偏高,产量提高,能耗降低,故适当增加产量,有利于能耗降低<sup>[10]</sup>。为此,必须合理安排检修时间,交错达产,如此可以尽可能保持生产产量稳定和煤气资源的合理使用,提高自有资源的利用率,减少煤气放散和天然气引进量,达到降低生产成本和系统节能的目标(天然气引进对清洁生产、减少CO<sub>2</sub>排放有利<sup>[11]</sup>,但增加能源成本)。

(6)加强余热余能的回收利用。在现有基础上,进一步回收利用高温排放烟气(如中板厂尾部高温排放烟气(约800~900℃),提高煤气预热温度(300℃以上)和空气预热温度(400℃以上),特别是部分换热器损坏应及时更换,确保烟气余热的回炉利用,在满足加热炉自身循环外,应用余热锅炉生产蒸汽并与副产煤气一同发电等。

(7)加强加热炉管理和操作节能。在防止跑、冒、滴、漏的基础上,推广加热炉的优化操作,如“三勤”(勤观察、勤联系、勤调整)操作法,精品棒材步进式加热炉精细化操作、精准控制的佳操作法,蓄热式加热炉的“供热量与排烟量、蓄热室温度与炉温、空燃比与排烟温度”三协调操作法等<sup>[12]</sup>。建立加热炉的晋等升级、节能降耗与奖励挂钩的机制。

## 4 结语

(1)受产品结构调整、北京厂区减产、搬迁改造和生产转移等因素影响,首钢北京厂区近年轧钢加热炉数量减少,轧钢系统工序能耗在加热炉节能

技术进步基础上总体呈下降趋势。

(2)技改和减产因素分析表明,首钢北京厂区轧钢加热炉尽管在数量减少情况下,生产能力下降幅度并不大,加热炉技术改造应用步进、蓄热和汽化冷却等节能技术,并带来重油改天然气与原高、焦和转炉煤气混烧的燃料变化,

(3)加热炉单耗分析表明,高线厂一区和二区加热炉单耗最低,中板厂加热炉由于生产品种轧制要求,能耗最高,受首钢北京厂区减产、能源分摊和品种结构调整等因素影响,部分加热炉单耗呈现升高趋势。

(4)通过中板厂2号加热炉热平衡测试和统计能耗对比表明,中板厂加热炉具有较大幅度的节能潜力,而高线厂加热炉能耗最低,能耗指标最先进。

(5)在首钢北京厂区新老节能技术并存的加热炉上,加强炉内氧含量、炉压和尾部烟气监控,合理控制空燃比,加强炉体保温,定期喷涂节能涂料,提高热装热送率和热送温度,降低出钢温度和减少在炉时间,定期交错检修和达产,加强高温烟气利用和蒸汽发电等措施均可有效降低加热炉能耗,达到加热炉节能降耗目标。

## 参考文献:

- [1] 殷瑞钰.钢铁制造流程的本质、功能与钢厂未来发展模式[J]. 中国科学 E 辑: 技术科学, 2008, 38(9): 1365-1377.
- [2] 翁宇庆. 我国轧钢生产技术近年来的进步与发展[J]. 轧钢, 2008(5): 1-18.
- [3] 陈冠军, 王连尉, 胡雄光, 等. 首钢中厚板厂蓄热式燃烧技术的应用研究[J]. 钢铁, 2005, 40(12): 76-80.
- [4] 唐荻, 蔡九菊, 吴道洪. 钢铁工业节能减排新技术 5000 问(下)[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2009.
- [5] 陈冠军. 简谈轧钢加热炉问题及节能[J]. 冶金能源, 2008(6): 32-35.
- [6] 孙力, 冯九芹. 轧钢加热炉节能新技术初探[C]//全国能源与热工学术年会论文集. 北京: 中国金属学会能源与热工委员会, 2002.
- [7] 冯胜山, 粤晓勇, 许顺红. 高温红外辐射节能涂料的研究现状与发展趋势[J]. 工业加热, 2007(1): 10-15.
- [8] 周惠敏, 高庆昌, 陈凤祥. “杰能王”高温远红外节能涂料的研制[J]. 节能与环保, 2003(7): 48-50.
- [9] 陈冠军. 钢坯加热的数值模拟[J]. 中国工程科学, 2010, 2(2): 59-63.
- [10] 介宏, 陈来正, 司相彦. 中型厂加热炉节能实践[J]. 莱钢科技, 2005(6): 134-136.
- [11] 徐匡迪. 低碳经济与钢铁工业[J]. 钢铁, 2010, 45(3): 1-17.
- [12] 罗国民, 张少忠. 蓄热式轧钢加热炉的“三协调”操作法[J]. 轧钢, 2006, 23(2): 65-66.