

## 高温技术在迁钢高炉上的应用

陈冠军<sup>1</sup>, 马泽军<sup>1</sup>, 蔡景春<sup>2</sup>, 国宏伟<sup>3</sup>, 郑敬先<sup>2</sup>, 贾国利<sup>2</sup>

(1. 首钢技术研究院, 北京 100043; 2. 河北迁安钢铁有限责任公司, 河北 迁安 064404; 3. 北京科技大学, 北京 100083)



**摘要:** 通过历年我国钢铁企业、宝钢和首钢风温变化, 反映了我国近年的风温现状和技术进步, 特别指出了首钢风温的巨大进步。从热风炉高温、热风管输送高温和高炉接受高温三方面介绍了高温技术研究进展。通过高温技术在迁钢 2 号高炉的应用, 首钢在 2008 年高温试验基础上, 2009 年取得重大突破, 实现日均风温最高 1 283 ℃, 连续 4 月月均 1 270 ℃ 以上风温, 年均风温为 1 258.7 ℃。通过分析 2008 和 2009 试验风温均匀性, 表明风温均匀指数有所提高。并分析了热风炉炉顶温度、混风、空煤气预热温度、操作制度等风温影响因素, 从高炉原燃料、技术指标和操作方面, 阐述了高温在高炉使用情况, 反映了高温受热风炉系统、热风管和高炉等因素制约。提出了本次高温试验存在的风温潜力、高温节能作用和风温稳定性等问题, 为进一步高温研究提供指导。

**关键词:** 高炉; 热风炉; 高温; 操作

**中图分类号:** TF538.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1639(2010)04-0017-19

### Application of High Blast Temperature on Qiangang's Blast Furnace

CHEN Guan-jun<sup>1</sup>, MA Ze-jun<sup>1</sup>, CAI Jing-chun<sup>2</sup>, GUO Hong-wei<sup>3</sup>, ZHENG Jing-xian<sup>2</sup>, JIA Guo-li<sup>2</sup>

(1. Shousteel Research Institute of Technology, Beijing 100043; 2. QIAN'an Steel Limited Corp., Qian'an 064404; 3. University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** With the historical changes of blast temperature in Chinese steel enterprises: Baosteel and Shougang, present status and technology progress of blast temperature in China in recent years are showed, especially, great progress of blast temperature in Shougang is pointed out. Study progress of high blast temperature technology is introduced from three aspects such as high blast temperature of hot blast stove, high blast temperature transport of hot pipe and high blast temperature accepted by blast furnace. By the application of high blast temperature technology to Qiangang's No. 2 blast furnace, and on the base of high blast temperature test in 2008, great progress is made in 2009. The highest daily average blast temperature is 1 283 ℃, monthly average blast temperature is above 1 270 ℃ for continuous 4 months, yearly average blast temperature is 1 258.7 ℃. By the analysis of blast temperature equality of experimentations in 2008 and 2009, it shows that equality index of blast temperature is improved. Effect factor of blast temperature is analyzed such as top temperature of stove, mixed blast, preheated temperature of gas and air, stove operation system and so on, high blast temperature used in blast furnace based on raw and fuel material, technique index and operation, and it is restricted by stove system, hot pipe and blast furnace. The problems in high blast temperature test such as blast temperature potential, energy-saving function and blast temperature stability are pointed out. This will offer reference for more high temperature studies.

**Key words:** blast furnace; hot blast stove; high blast temperature; operation

随着近年炼铁技术的进步, 现代高炉向大型化、高效长寿和高温等方向发展。受国际金融危机影响, 国内外钢铁企业面临生产成本和市场的压力, 高炉能耗占钢铁能耗的大部分, 是钢铁节能的关键。由于高温具有降焦、降成本等作用, 在近年炼铁生产中越来越受重视。据中钢协统计数据, 历年全国重点钢铁企业、宝钢与首钢风温变化如图 1 所示, 全国重点钢铁企业的年平均风温成正增长趋势<sup>[1-2]</sup>, 反映了我国高炉风温的技术进步, 但是与国际先进高炉 1 250 ℃ 风温比较, 尚有一定差距<sup>[3]</sup>。2006 年以前, 我国风温最高的是宝钢高炉, 年平均风温为 1 248 ℃, 近年在企业兼并过程, 平均风温有所下滑 (其先进高炉仍保持 1 240 ~ 1 250 ℃ 风温水平)。首

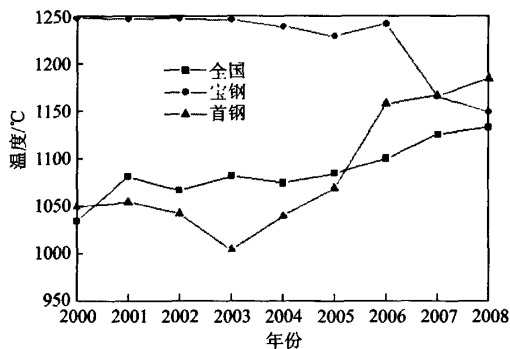


图 1 历年全国重点钢铁企业、宝钢与首钢风温变化

钢风温由于首秦和迁钢等高炉的新建投产, 年平均风温进步很快, 到 2008 年首钢风温排名为全国第二名, 仅次于太钢。首钢高炉风温的进步, 与首钢近年高温技术的实施紧密关联。

收稿日期: 2010-05-04

基金项目: 国家发改委(2008 技—22); 教育部资助(20090006120004)

作者简介: 陈冠军(1972—), 男, 浙江永康人, 高级工程师, 研究方向为冶金能源。

## 1 高温技术研究进展

高温技术是高炉强化冶炼和降低焦比的技术措施,可以改善高炉下部热制度,提高能源利用率<sup>[4]</sup>。实现高温重点解决热风炉高温、热风管道输送高温和高炉接受高温三方面的技术问题。

热风炉高温是高炉高温的基础,实现热风炉高温首先要确保热风炉承受高温,为此,高效燃烧器、高效格子砖设计是高温热风炉的关键,不仅可以有效解决炉内流场均匀,满足高效长寿热风炉的需要,同时也可以有效提高热风炉热效率。在引进和消化国际先进的荷兰霍戈文内燃式热风炉和俄罗斯卡卢金顶燃式热风炉基础上,完成自主顶燃式热风炉的研制<sup>[5]</sup>,同时,采取的高效燃烧、高性能耐材、废气预热、自动烧炉等技术满足了热风炉高温的使用需要。由于焦炉煤气成本问题,近年在热风炉上普遍采取低热值煤气烧炉,而采用低热值煤气实现高温的方法很多,可以采取掺烧高热值煤气、换热器预热、热风炉自身预热、高温空气燃烧预热等技术<sup>[6]</sup>,通过国内外多种实现高温工艺技术方案的研究,首钢采用全烧高炉煤气的附加预燃炉和热管换热器相结合的工艺流程<sup>[7]</sup>,实现高温空气燃烧预热,满足高温空气和煤气预热的要求。

针对热风管道输送高温问题,重点改进热风管道耐火材料、耐火衬结构、钢结构、热风管道设备等<sup>[8]</sup>,如高铝砖改为蠕变小,高温稳定性好的红柱石砖;孔口处采用整体稳定性好的组合砖;波纹补偿器处的耐火衬膨胀缝口处增加一环镶嵌式保护砖;高温热风阀采用软水冷却及异型水腔结构,阀内镶嵌耐高温的高强耐火衬等措施,满足了热风管道输送高温的使用要求。

高炉接受高温是最终实现高温的关键环节,风温提高后,体积膨胀,风速和鼓风动能增加,高炉炉缸温度上升,理论燃烧温度升高,若超过一定限度会造成高炉难行<sup>[9]</sup>。为确保高炉使用高温,重点改善原燃料条件,采用低硅炉料,满足“精料”要求,通过喷煤、富氧等手段合理控制理论燃烧温度,通过调整装料制度和送风制度,合理上下部调剂,调整煤气流分布,改善高炉透气性,保证炉况的稳定顺行,从而达到高炉使用高温提高煤比和降低焦比的目标。

## 2 高温技术应用研究

根据首钢高炉的实际情况,选择迁钢高炉开展高温技术研究。由于迁钢 2<sup>#</sup>高炉 2007 年投产以来具有技术优势,因此在迁钢 2<sup>#</sup>高炉上开展高温技术的基础和应用研究,2008 年首钢高温技术研究取得很大进展<sup>[10]</sup>。特别是 2009 年,迁钢 2<sup>#</sup>高炉高温技术取得重大突破,实现短时间内最高风温 1 289 ℃,日均风温最高为 1 283 ℃,连续 4 月实现月均 1 270 ℃以上风温,年均风温为 1 258.7 ℃。

### 2.1 高温试验情况

由于迁钢 2<sup>#</sup>高炉设计风温为 1 250 ℃,原有系统存在

很多风温薄弱环节,尽管 2008 年 10 月和 12 月高温试验期间,取得最高瞬时风温 1 280 ℃和日均风温 1 270 ℃水平,但也出现了 1、2 个风口吹管损坏的问题,为此,一直控制迁钢 2<sup>#</sup>高炉最高风温 1 270 ℃以下,加上 2009 年上半年原燃料质量和雨季等影响因素,进一步的高温试验受限制。

为进一步实现迁钢 2<sup>#</sup>高炉 1 280 ℃风温,在 2008 年取得高温初步成果的基础上,2009 年 9—10 月开展提高风温试验,其中,9—10 月的日均风温变化如图 2 所示。9 月 1—7 日为温升期,从 8 日开始,日均风温达到 1 280 ℃,期间,短时间内风温最高达到 1 289 ℃,从 8 日到次年 9 日,连续一个月的平均风温约为 1 280 ℃,1 280 ℃风温延续到 10 月 27 日,从 10 月 28 日开始风温逐渐回落。其中,试验期两月内 1 280 ℃以上的风温为 29 天。

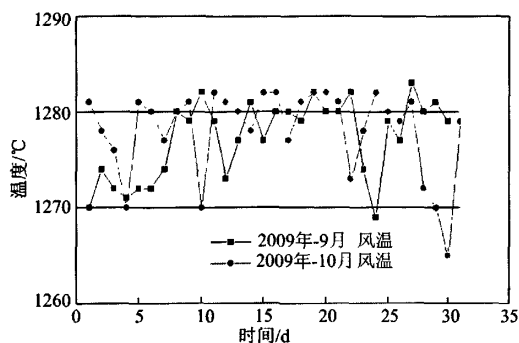


图 2 迁钢 2 号高炉 2009 年 9—10 月日均风温变化

### 2.2 高温技术分析

#### 2.2.1 风温均匀性分析

为了解月风温变化的均匀情况,引入温度均匀指数,其值越大,表示越均匀,计算式如(1)所示:

$$\xi = 1 - \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - T_p)^2}{N}}}{T_p} \quad (1)$$

式中:  $T_i$  为第  $i$  天温度, ℃;  $T_p$  为平均温度, ℃;  $N$  为天数。

2008 年 10 月与 2009 年 9 月和 10 月的温度均匀指数比较见表 1 所示,由表可知,2009 年 9 月和 10 月的月温度均匀指数大于 2008 年 10 月的月均匀指数,可见风温均匀性有一定提高,但是,从 2009 年 9—10 月的日风温变化可以看出,风温以锯齿波的规律变化,故短时间内的风温稳定性还有待提高。

表 1 温度均匀指数

日期	2008-10	2009-09	2009-10
温度均匀指数 $\xi$	0.993	0.996 8	0.996 4

#### 2.2.2 风温影响因素分析

(1) 热风炉最高炉顶温度: 控制热风炉最高拱顶温度 1 420 ℃,由于高炉煤气热值的下降,目前热风炉最高拱顶温度为 1 410 ℃,比试验前热风炉最高拱顶温

度 1 390 ℃ 提高了 20 ℃。

(2) 混风量: 与 2008 年高温试验比较, 混风阀开度由最大 30% 降为 10%, 送风后期, 阀门开度全关, 即冷风流量为 0, 故在混风方面已无法进一步提高风温。

(3) 煤气预热温度和空气预热温度: 控制煤气预热温度 180 ℃ 和空气预热温度 700 ℃ 以下, 在实现上述高温情况下, 煤气预热温度接近 180 ℃, 空气预热温度为 660 ~ 680 ℃。

(4) 温度和位移监测: 在 280 多点的无线表面温度监测中, 主要有 2 个鹅颈管表面温度超 400 ℃, 8 个热风吹管表面温度超 400 ℃, 进入二级报警, 激光位移监测进入一级报警。

(5) 热风炉操作制度: 热风炉系统燃烧、送风时间变化如表 2 所示。由表可知, 在实现 1 280 ℃ 以上风温情况下, 燃烧期与送风期分别比试验前缩短 5 ~ 10 min。

表 2 燃烧、送风时间变化

风温/℃	燃烧期/min	送风期/min
< 1 280	105 ~ 110	65 ~ 70
> 1 280	90 ~ 95	55 ~ 60

### 2.2.3 原燃料和高炉操作分析

#### 1) 月均指标对比

2009 年 9—10 月与试验前平均风温、焦比和煤比指标对比见表 3, 由表可知, 9—10 月均风温提高 35 ~ 36 ℃, 焦比下降 5 ~ 6 kg/t, 煤比提高 7 ~ 8 kg/t, 可见提高风温具有增加煤比和降低焦比作用。但是与 2008 年高温试验比较, 还有待进一步提高煤比和降低焦比。

表 3 试验前后月均风温、焦比和煤比指标对比

名称	试验前	9 月平均	10 月平均
风温/℃	1 242	1 277.2	1 278.1
焦比/kg · t <sup>-1</sup>	295	289	290
煤比/kg · t <sup>-1</sup>	164	171	172

#### 2) 原燃料条件

2008 年 10 月和 2009 年 9—10 月焦炭、烧结矿和煤粉部分指标对比见表 4 所示。与去年相比, 其中焦炭灰分基本持平, 转鼓 M40 从 88% 提高至 88.35%, 但焦炭硫分由 0.70% 升至 0.77%; 烧结矿碱度由 1.94 上调至 1.96 时, 但品位由 56.97% 下降至 56.30%; 煤粉灰分由 10.71% 降至 10.20%, 挥发分由 19.19% 逐步提高至 19.70%。由上可知, 除煤粉质量有所改善外, 焦炭和烧结矿质量均出现一定程度下滑。

表 4 焦炭、烧结矿和煤粉部分指标对比

日期	焦炭					烧结矿		煤粉		
	灰分/%	w(S)/%	w(M <sub>40</sub> )/%	w(M <sub>10</sub> )/%	w(TFe)/%	R/倍	灰分/%	挥发分/%		
2008-10	12.66	0.70	88.00	6.49	56.97	1.94	10.71	19.19		
2009-09	12.65	0.76	88.33	6.34	56.30	1.95	10.15	19.25		
2009-10	12.66	0.77	88.35	6.38	56.29	1.96	10.20	19.70		

### 3) 高炉操作

通过采用平坦式布料, 调整焦矿角, 稳定风口回旋区长度等高炉优化操作, 高炉接受了高温。由于本次试验原燃料质量的问题, 影响了高炉使用高温的效果, 具体表现在高炉喷煤受一定影响。

#### 2.2.4 存在问题分析

通过高温技术在迁钢 2<sup>#</sup>高炉的应用和试验, 主要有以下几个问题:

(1) 尽管高炉接受了高温考验, 但是热风炉系统在混风和空煤气预热温度方面, 已基本无提高潜力。

(2) 风温来回波动不稳定, 影响高炉使用效果, 高温风温的稳定性还有待提高。

(3) 受原料质量和高炉操作等因素影响, 高温的以煤代焦的节能作用还有待发挥。

## 3 结 论

(1) 历年全国钢铁重点企业、宝钢与首钢风温变化表明, 首钢近年的风温取得巨大进步, 但与国际先进风温有一定差距。

(2) 高温技术研究进展表明, 首钢实现了自主高温热风炉、高温空气燃烧预热技术开发和高温管道的改进, 并提高高炉接受高温能力。

(3) 高温技术的应用和试验表明, 迁钢 2<sup>#</sup>高炉取得了日均风温最高实现 1 283 ℃, 连续 4 月实现月均 1 270 ℃ 以上国际先进的风温水平。

(4) 高温技术分析表明, 高温受热风炉系统、管道设备和材料、高炉原燃料和操作等因素制约, 高温的节能作用和稳定性还有待提高。

#### 参考文献:

- [1] 杨天钧, 左海滨. 中国高炉炼铁技术科学发展的途径 [J]. 钢铁, 2008, 43 (1): 1.
- [2] 吴启常, 张建梁, 苍大强. 我国热风炉的现状 & 提高高温的对策 [J]. 炼铁, 2002, 21 (5): 1.
- [3] 王维兴. 高温是节能降耗工作的重点 [J]. 中国钢铁业, 2008 (3): 35.
- [4] 林成城, 徐宏辉. 热风炉高温新技术开发 [J]. 钢铁, 2005, 40 (11): 9.
- [5] 陈冠军. 迁钢 2 号高炉热风炉系统高温技术研究 [J]. 炼铁, 2008 (6): 10.
- [6] 刘全兴. 我国高炉热风炉新技术应用回顾与展望 [J]. 山东冶金, 2007 (2): 4.
- [7] 陈冠军, 赵民革. 首钢高炉热风炉高温技术进步 [J]. 中国冶金, 2009, 19 (9): 18.
- [8] 陈冠军, 赵民革, 丁汝才, 等. 首钢高温热风炉技术研究 [J]. 钢铁研究学报, 2009, 21 (8): 59.
- [9] 周传典. 高炉炼铁生产技术手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- [10] 陈冠军, 竺维春, 胡雄光, 等. 迁钢 2 号高炉高温研究 [J]. 钢铁, 2010 (3): 92.