

# 高炉热风炉高温预热工艺设计与应用

毛庆武 张福明 黄晋 张建 倪苹

(北京首钢设计院)

**[摘要]** 首钢2号高炉技术改造设计采用了高温预热及高风温长寿热风炉技术。助燃空气高温预热炉及煤气热管换热器投入使用后的第一个月,助燃空气预热到 $630^{\circ}\text{C}$ ,高炉煤气预热到 $200^{\circ}\text{C}$ ,高炉月平均利用系数 $2.502\text{t}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 、焦比 $296.9\text{kg}/\text{t}$ 、煤比 $169.8\text{kg}/\text{t}$ 、焦丁 $14.3\text{kg}/\text{t}$ 、燃料比 $481\text{kg}/\text{t}$ 、风温 $1220^{\circ}\text{C}$ 。实现了“高效、低耗、长寿、优质、清洁”的设计目标。

**[关键词]** 高炉 热风炉 高温预热 高风温

## Design and application of high temperature preheating process for hot blast stove of BF

Mao Qingwu Zhang Fuming Huang Jin Zhang Jian Ni Ping

(Beijing Shougang Design Institute)

**Abstract** The technology of high temperature preheating and high temperature and long campaign life hot blast stove had been adopted during the Shougang's No.2 BF technology rebuild design. The one month after high temperature preheating combustion air stove and gas preheating equipment were used, combustion air was heated to  $630^{\circ}\text{C}$ , BF gas was heated to  $200^{\circ}\text{C}$ , monthly average productivity  $2.502\text{t}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ , coke ratio  $296.9\text{kg}/\text{t}$ , coal ratio  $169.8\text{kg}/\text{t}$ , coke nut ratio  $14.3\text{kg}/\text{t}$ , fuel ratio  $481\text{kg}/\text{t}$ , blast temperature  $1250^{\circ}\text{C}$ . Achieved design target of “high efficiency, low consumption, long campaign life, high quality, cleaning”.

**Key words** BF hot blast stove high temperature preheating high temperature blast

### 1、概述

随着高炉大型化和高效化,高炉炼铁技术正向高效、长寿、高风温、大喷煤量方向发展。提高风温、增大高炉喷煤量是降低生铁能耗和成本最有效的技术措施,可以带动炼铁技术的全面提高,不仅可以代替昂贵的焦炭,节约宝贵的炼焦煤资源,降低炼焦所产生的环境污染;同时还可以促进高炉稳定顺行,强化高炉冶炼,因此受到世界各国的普遍重视。

### 2、国内外高炉提高风温的技术措施

热风炉是为高炉加热鼓风的设备,是现代高炉不可缺少的重要组成部分。在高炉实际生产中提高风温所受到的限制因素主要是热风炉承受高风温的能力及燃料的发热值。由于炼铁技术和工艺的不断发展,热风炉的结构型式和使用的耐火材料等项技术日臻完善,热风炉已能承受 $1250^{\circ}\text{C}$ 或更高的风温<sup>[1]</sup>。

为了提高热风温度,目前在热风炉上采用了多项提高风温的技术。基本有以下几种:

#### 2.1 采用富化煤气技术

国外热风炉基本上采用了富化高炉煤气的措施,常用的富化气为焦炉煤气(也有用转炉煤气及天然气等进行富化)。

## 2.2 利用换热器对煤气、助燃空气进行预热的技术

这是目前普遍采用的技术。换热器的型式主要有回转式换热器、固定板式换热器、热管换热器及管式换热器等。热管换热器的热管内热循环媒质主要为纯水、热煤油等。目前国内大多数厂家采用以纯水为热循环媒质的热管换热器。

## 2.3 热风炉自身预热技术

这项技术是通过设置四座热风炉和配套的管道、阀门等设施,利用其中一座热风炉送风后的余热预热助燃空气,供给其它热风炉燃烧用,采用“两烧一送一预热”的工作制度。

## 2.4 助燃空气高温预热技术

助燃空气高温预热技术是在总结现有用于提高热风温度的各项技术的基础上,从而提出一种能够满足热风温度大于  $1250^{\circ}\text{C}$  的需要,工艺简单,工作可靠,适应各种型式的热风炉使用的助燃空气高温预热装置。

助燃空气高温预热的工艺原理是:设置两座助燃空气高温预热炉,通过燃烧低热值的高炉煤气将预热炉加热后,再用来预热热风炉使用的助燃空气。预热炉燃烧温度在  $1000^{\circ}\text{C}$  以上,助燃空气可以被预热到  $600^{\circ}\text{C}$  以上。由于供热风炉使用的助燃空气的物理热被显著提高,热风炉的加热能力也被相应提高。同时利用热风炉烟气余热预热高炉煤气到  $200^{\circ}\text{C}$ ,使采用全烧高炉煤气的热风炉风温达到  $1250^{\circ}\text{C}$  以上。助燃空气高温预热工艺流程图见图 1:

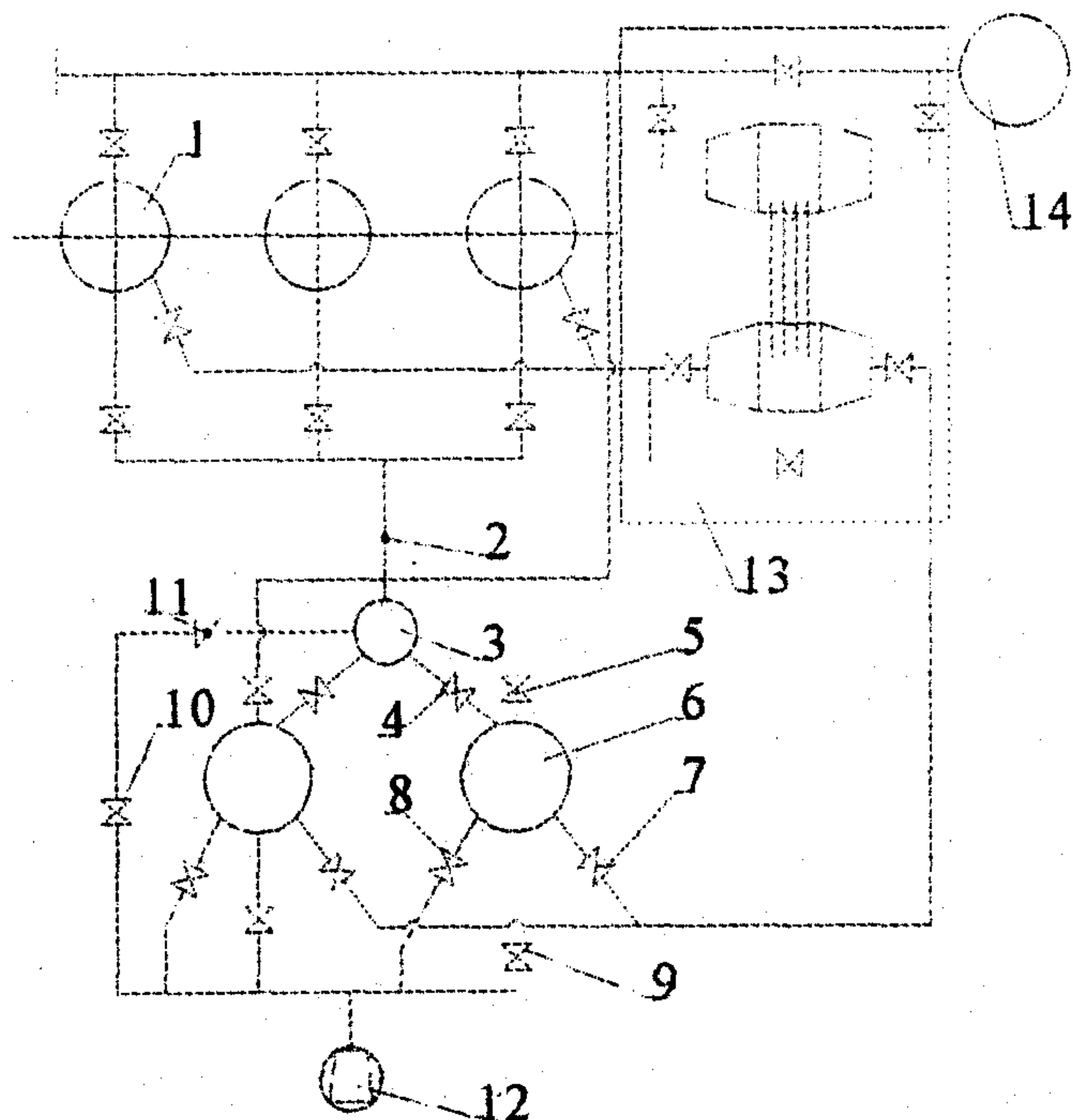


图 1 助燃空气高温预热工艺流程图

Drawing 1 The process flow sheet of high temperature preheating

注:1.热风炉 2.温度检测点 3.混合室 4.热助燃空气切断阀 5.烟气切断阀  
6.助燃空气高温预热炉 7.煤气切断阀 8.空气切断阀 9.冷助燃空气切断阀  
10.助燃空气旁通阀 11.助燃空气调节阀 12.助燃风机 13.煤气预热器 14.烟囱

助燃空气高温预热装置具有温度调节简便灵活;操作成熟,可靠;提供的高温预热助燃空气温度稳定,可达到 600℃ 以上,具备通用的余热预热设备无法达到 300℃ 以上预热温度的优点。而且助燃空气高温预热装置可以是各种型式的热风炉或加热炉,在高炉扩容大修改造时,其原有热风炉可改造成助燃空气高温预热炉,助燃空气高温预热装置的使用寿命可达到高炉热风炉的使用寿命。同时,能广泛适应高炉各种生产状况的操作需要。

### 3、工艺开发与设计

#### 3.1 工艺技术方案的确

2000 年,根据首钢总公司的发展规划,决定于 2002 年对首钢 2 号高炉进行一次现代化新技术改造,要求热风温度达到 1250℃。首钢 2 号高炉的热风炉系统为 1979 年建成的 4 座顶燃式热风炉,已经使用了 20 多年,也经历了两代高炉炉役,无论是从炉壳结构强度、拱顶内衬、管道设备均已无法适应现代高炉使用风温 1250℃、高炉一代炉役大于 15 年(无中修)的要求。因此,热风炉系统必须进行新建或大修改造,才能实现热风温度 1250℃ 的要求。如果在原地进行大修改造,将对高炉的正常生产产生影响,延长高炉停炉后大修工期,而且受场地限制,很难进行彻底完善的大修改造;而采用原有顶燃式热风炉高温预热助燃空气,要求的拱顶温度和压力不高,可以安全稳定的生产;新建热风炉必须满足全烧高炉煤气的条件,既要适应助燃空气高温预热及高炉煤气低温预热,又要适应助燃空气及高炉煤气不预热的条件,同时要求高的换热效率及较小的占地面积。基于以上原因,结合 2 号高炉的现场情况,决定在首钢 2 号高炉停炉前,先在南面场地上新建 3 座霍戈文改造型高风温内燃式热风炉,并相应配套建设助燃风机、煤气热管换热器、烟囱等设施;高炉停炉后,4 座顶燃式热风炉拆除 2 座(1# 及 2#),改造 2 座热风炉(3# 及 4#)作为高温预热助燃空气的预热炉,达到合理利用原有设施、减少投资的目的。通过采用助燃空气高温预热技术,在全烧高炉煤气的条件下使热风温度达到 1250℃。

#### 3.2 新建热风炉系统工艺设计

新建 3 座霍戈文改造型高风温内燃式热风炉呈一列式布置。热风炉主要技术参数及不同条件下的计算结果比较详见表 1 及表 2:

表 1 热风炉主要技术参数

Table 1 The main technical parameters of hot blast stove

项 目	设计值	项 目	设计值
热风炉炉壳内径, mm	φ9200/φ10468	每座热风炉总蓄热面积, m <sup>2</sup>	48879
热风炉总高度, mm	41590	燃烧器长度, m	3.4
热风炉高径比	4.521	每 m <sup>3</sup> 高炉容积具有的加热面积, m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	82.38
热风炉蓄热室断面积, m <sup>2</sup>	35.8	每 m <sup>3</sup> /min 高炉鼓风的加热面积, m <sup>2</sup> /(m <sup>3</sup> /min)	34.9(按风量 4200m <sup>3</sup> /min)
热风炉燃烧室断面积, m <sup>2</sup>			

表 2 计算结果比较

table 2 The comparability of calculate results

序号	项 目	单位	高温预热	煤气富化	煤气预热	不预热
1	热风炉座数	座	3	3	3	3
2	风量	Nm <sup>3</sup> /min	4200	4200	4200	4200
3	热风温度	℃	1250	1250	1150℃	1050
4	拱顶温度	℃	1420	1420	1310	1220
5	火焰温度	℃	1442	1442	1325	1235
6	湿度	g/Nm <sup>3</sup>	14	14	14	14
7	焦炉煤气用量	%	0	11.4	0	0
8	送风时间	min	45	45	45	45
9	燃烧时间	min	80	80	80	80
10	格子砖高度	m	32.4	32.4	32.4	32.4
11	助燃空气温度	℃	600	20	20	20
12	高炉煤气温度	℃	200	45	200	45
13	高炉煤气中含水	%	10.98	10.98	10.98	10.98
14	高炉煤气热值	kJ/m <sup>3</sup>	3368	3130	3368	3130
15	冷风温度	℃	170	170	170	170
16	烟气操作温度	℃	398	398	383	330
17	烟气最高温度	℃	398	398	400	400
18	一座热风炉煤气最大流量	Nm <sup>3</sup> /h	73840	61231	79160	75340
19	一座热风炉助燃空气最大流量	Nm <sup>3</sup> /h	56190	71070	51770	49870
20	一座热风炉烟气最大流量	Nm <sup>3</sup> /h	121400	123700	121700	116420

### 3.3 热风炉预热工艺设计

热风炉的预热系统设计了低温预热及高温预热两套系统,通过预热高炉煤气及助燃空气,在全烧高炉煤气的条件下,使热风温度达到 1250℃。

#### 3.3.1 低温预热工艺设计

利用热风炉烟气余热,通过分离式热管换热器对热风炉用高炉煤气进行预热。预热后,高炉煤气温度可达 200~250℃。分离式热管换热器的烟气、煤气 2 个箱体分散布置,通过外联管传输水媒质换热介质。

#### 3.3.2 高温预热工艺设计

2号高炉原有 4 座首钢式顶燃热风炉于 1979 年建成投产,在 1991 年 2 号高炉大修时,高炉扩容为 1726m<sup>3</sup>,仅更换了 3 座热风炉的内衬、格子砖、燃烧器、部分工艺管道及设备,其中 1 号热风炉的格子砖仍为 5 孔格子砖。此次 2 号高炉技术改造,充分发挥顶燃热风炉具有投资省,占地面积少,耐火材料结构合理的技术优势,以节省投资、缩短建设工期、满足工艺要求为目的,仍然采用顶燃热风炉作为助燃空气高温预热炉,充分利用了 4 座热风炉矩形布置的优势<sup>[2]</sup>,重点进行了助燃空气高温预热工艺的改造设计,主要有以下方面:(1)拆除已经运行 23 年多的 1# 和 2# 两座旧顶燃热风炉,利旧改造 3#、4# 顶燃热风炉作为高

温预热助燃空气的预热炉。(2)原有热风竖管作为预热炉的混风室,原有倒流休风管改为冷助燃空气入口,原热风出口改造为热助燃空气出口。(3)降低原3#、4#顶燃热风炉的标高,设计合理的高径比,热风炉中下部(标高22.800m以下)的内衬及格子砖利旧,保护性拆除热风炉中上部10.098m炉壳、内衬及格子砖。拆下的格子砖进行筛选,重新砌筑。热风炉内衬及格子砖材质设计上部为低蠕变高铝质、中部为高铝质、下部为粘土质。(4)按照助燃空气 $\geq 600^{\circ}\text{C}$ 进行设计计算燃烧器的能力,每座热风炉由4套燃烧器改为2套燃烧器,在减少设备数量的同时,保证加热燃烧的均匀性。(5)在原综合楼一层新建2台预热炉用助燃风机。改造后的助燃空气高温预热炉技术参数详见表3:

表3 改造后的助燃空气高温预热炉技术参数

table 3 The technical parameters of rebuild combustion air high temperature preheating stove after

项 目	设计值	项 目	设计值
热风炉炉壳内径, mm	$\phi 7000$	蓄热室格子砖段数, 段	3
蓄热室直径, mm	$\phi 5792$	热风炉座数, 座	2
热风炉总高度, mm	38882	每个燃烧器能力, $\text{m}^3/\text{h}$	21000
热风炉高径比	5.555	热助燃空气温度, $^{\circ}\text{C}$	$\geq 600$
热风炉蓄热室断面积, $\text{m}^2$	26.35	拱顶温度, $^{\circ}\text{C}$	1200
每座热风炉总蓄热面积, $\text{m}^2$	26691	烟道温度, $^{\circ}\text{C}$	300

#### 4、生产实践与应用

首钢2号高炉于2002年5月23日点火投产,助燃空气高温预热炉于2002年9月8日投入运行。助燃空气高温预热炉及煤气热管换热器投入使用后,运行良好,达到了设计要求。预热炉及煤气热管换热器的投入运行后的高炉技术经济指标详见表4。

表4 首钢2号高炉2002年10月主要技术经济指标

Table 4 The main technical and economic index for Shougang's No.2 BF in October 2002

项 目	指标	项 目	指标
高炉有效容积, $\text{m}^3$	1780	渣量, $\text{kg}/\text{t}$	292
利用系数, $\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$	2.502	入炉风量, $\text{Nm}^3/\text{t}$	1108
焦比, $\text{kg}/\text{t}$	296.9	富氧率, %	0.3
煤比, $\text{kg}/\text{t}$	169.8	送风压力, $\text{MPa}$	0.304
焦丁, $\text{kg}/\text{t}$	14.3	风温, $^{\circ}\text{C}$	1220
燃料比, $\text{kg}/\text{t}$	481	顶温, $^{\circ}\text{C}$	204
综合焦比, $\text{kg}/\text{t}$	444.2	顶压, $\text{MPa}$	0.166
综合冶炼强度, $\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$	1.111	热助燃空气温度, $^{\circ}\text{C}$	630
综合入炉矿品位, %	59.79	高炉煤气预热温度, $^{\circ}\text{C}$	200
熟料率, %	89.26	热风炉拱顶温度, $^{\circ}\text{C}$	1370

通过2号高炉的生产实践证明,只燃烧低热值的高炉煤气,再好的热风炉也无法获得

高风温,对助燃空气和煤气进行预热是获得高风温的有效手段和途径。由于首钢2号高炉(1780m<sup>3</sup>)助燃空气高温预热技术的成功应用,因此在首秦1号高炉(1200m<sup>3</sup>)也采用了助燃空气高温预热技术,而且将应用于首秦2号高炉(1780m<sup>3</sup>)及迁钢2号高炉(2650m<sup>3</sup>)。

### 5、结语

大型高炉助燃空气高温预热技术工艺开发与设计在首钢2号高炉上得到了成功应用,该工程投产后解决了首钢风温不足的矛盾,2号高炉最高煤比达到190kg/t,煤比得到了大幅度地提高,在没有富氧的条件下,最高月平均煤比达到了169.8kg/t。该项工程投产后,节约了焦炭等资源消耗,实现了清洁化生产,改善了劳动条件,取得了显著的经济效益、社会效益和环境效益。

大型高炉助燃空气高温预热技术的建成投产,为首钢进一步提高风温及喷煤量,扩大喷吹煤种,创造了必要的先决条件。助燃空气高温预热完全采用国产化技术和设备,对我国高炉助燃空气高温预热技术改造提供了有益的借鉴和参考。

### 参考文献

- 1.吴启常 张建梁 苍大强.我国热风炉的现状 & 提高风温的对策.炼铁,2002(5):1~4;
- 2.黄东辉 韩向东.首钢2号高炉利用旧热风炉预热助燃空气的实践.炼铁,2004(2):15~18;