

迁钢2号高炉热风炉系统高风温技术研究

陈冠军

(首钢技术研究院)

摘要 针对使用单一高炉煤气实现热风炉1250℃以上的风温问题,比较分析国内外各项空煤气预热技术,认为迁钢2号高炉采用高温预热炉和分离式热管换热器等技术相结合工艺方法实现高风温是较佳方案。为此,利用仿真、试验等手段,系统研究了预热热风炉、霍戈文热风炉和混风炉等关键设备的炉内流场、温度场等分布的均匀性问题。研究表明,预热热风炉具有炉顶、炉墙温度低、燃烧完全等优点,能满足高风温热风炉系统使用要求,但中心存在回流问题;霍戈文热风炉流场均匀,但存在偏流,燃烧不完全问题;设计简单的混风炉和改进的高风温管道,均能满足使用要求。通过烟气残氧、CO浓度测试表明,预热炉和霍戈文热风炉的燃烧状况与仿真基本一致。投产应用表明,迁钢热风炉系统实现了高风温,降低高炉焦比、煤比,实现了高炉工序的节能。

关键词 热风炉 高风温 燃烧 仿真

Study of High Blast Temperature Technology for Hot Stove System in Qiangang No.2 Blast Furnace

Chen Guanjun

(Shougang Research Institute of Technology)

Abstract To realize 1250℃ blast temperature by using blast furnace gas only, the author studies and compares various preheating technologies home and abroad with air and gas as media and points out that high temperature preheating stove and separate hot pipe heat exchanger is an ideal solution of realizing high blasting temperature in No.2 BF of Qiangang. Furthermore, the author systematically studies even distribution of flow field and temperature field of some key equipment like preheating hot stove, Hoogoven hot stove and mixed air stove etc. The study result shows that the preheating hot stove features the advantages of lower temperature of stove roof and wall and complete combustion which are required by the hot stove system with high blast temperature, but also has disadvantage of back flow in the center; Hoogoven type hot stove is good at its even flow field except the deviated flow and insufficient combustion. Both the mixed air stove of simple design and the modified high temperature blast pipe can satisfy the production requirement. Measurement of residual O₂ & CO in the off gas show that the actual combustion condition of preheating hot stove and hoogoven type hot stove is almost the same as the production simulation of both. Their application in production also make possible the high blast temperature of hot stove, low coke ratio and coal ratio as well as energy saving.

Key word hot stove high blast temperature combustion simulation

1 引言

高风温可以改善高炉下部热制度,提高能源利用率^[1],降低燃料比。因此,高炉风温高低是衡量高炉节能与否的重要指标。国际上先进高炉最高风温为1300~1320℃,如新日铁君津厂3号高炉(4063m³)年平均风温为1300℃。2006年,我国风温

最高的高炉为宝钢4号高炉(1256℃),风温达到1200℃以上的高炉有7座,首秦2座高炉和迁钢1号高炉均超出风温1210℃。我国热风炉风温取得了很大进步,但与国外先进指标相比还是有很大差距。

为实现高风温,目前国内外主要有掺烧高热值煤气技术、换热器预热煤气助燃空气技术、热风炉自

身预热技术、高温空气燃烧预热技术等^[2]。现在,钢铁企业存在的问题是焦炉煤气不够或缺乏,而高炉煤气却面临富余放散。因此,如何使用单一的高炉煤气实现热风炉 1250℃ 以上的风温是众多钢铁企业关心的课题。高炉煤气发热值较低,要达到风温 1250℃,需预热空气、煤气。采用换热器预热煤气、助燃空气技术,预热后煤气温度可达到 180℃;为了达到 1250℃ 风温,需要将助燃空气预热到 400~600℃ 左右,采用常规的热管换热器无法达到此要求;采用热风炉自身预热法可以实现 1250℃ 风温,但投资成本较高。

通过对国内外现有各种预热助燃空气技术的比较,以理论仿真、冷态试验研究为基础,在迁钢 2 号高炉(2650 m³)霍戈文热风炉系统中,采用高温预热炉预热助燃空气、分离式热管换热器预热高炉煤气等技术。迁钢 2 号高炉于 2007 年 1 月投产,经过 1 年多的生产实践,目前平均风温达到 1230℃ 以上,焦比 300 kg/t 以下。

2 热风炉系统高温研究

2.1 预热热风炉研究

(1) 仿真研究。边界条件和模型:空气煤气入口均采用质量流量入口,炉顶底部的格子砖表面设定为常压压力出口条件,出口压力 100 Pa。湍流模型采用标准 $k-\epsilon$ 模型,辐射模型为 Discrete Ordinates 模型。由于在热风炉换向周期内,炉内流场基本保持稳定状态,故采用定常模型。壁面函数采用标准壁面函数,燃烧模型采用非绝热的 PDF 模型。

通过改变热风炉结构、喷口数目、垂直夹角、水平夹角等条件,自行设计多种热风炉结构方案,利用 fluent 软件研究煤气、空气旋角、位置和布置方式等变化情况下炉内温度场、速度场、压力场和 CO 浓度等分布规律^[3]。通过优选,确定了预热热风炉最佳设计方案。考察预热热风炉炉内温度场分布可知,形成的中心气流在边缘稳定环流的约束下稳定下降,到达格子砖表面后向边缘均匀扩散,形成中心高边缘低的环状温度分布。研究结果表明:预热热风炉具有炉顶、炉墙温度较低、燃烧完全等性能优点,能满足迁钢高炉热风炉系统高温的使用要求。

(2) 流场试验。冷态试验工况和气流分布指数的计算结果见表 1,从表中可以看出随气流流量和压力增加,炉内的气流的分布指数 ξ 也随之增加。其中煤气管道通气试验情况下,格子砖入口不同角度不同位置的气流垂直和水平速度分布如图 1、2 所

示。从图可以看出,边缘气流速度大,中心气流速度小。气流速度从中心向边缘逐步递增,同半径不同夹角的改变对速度影响很小。研究结论如下:垂直切面,靠近炉墙的气流旋流强度大,炉内中心气流旋流强度小,水平切面情况相反,其旋流造成的气流分布的不均匀性还是存在。

表 1 预热热风炉炉内气流分布指数

项目	试验工况	流量	压力	分布指数 ξ_1	分布指数 ξ_2
		万 m ³ /h	kPa		
试验 1	空气管道通气	0.78	1.7	0.68	-
试验 2	煤气管道通气	1.00	1.6	0.79	-
试验 3	空气管道通气	2.00	2.0	0.60	0.80
试验 4	空气管道通气	2.50	2.4	0.74	0.81
试验 5	煤气管道通气	2.00	2.4	0.77	0.80
试验 6	飘带试验	2.00	1.7	-	-

注: ξ_1 表示垂直方向的速度气流分布指数, ξ_2 表示水平方向的速度气流分布指数。

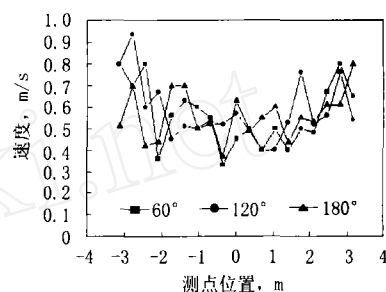


图 1 预热热风炉内气流垂直速度分布

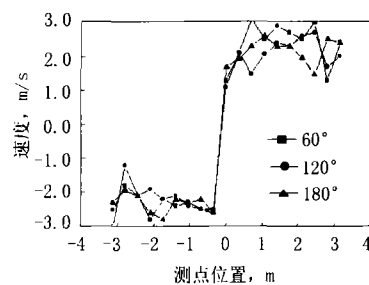


图 2 预热热风炉内气流水平速度分布

2.2 霍戈文热风炉研究

霍戈文热风炉具有高效矩形燃烧器、稳定的眼睛型燃烧室、保温型蘑菇形拱顶结构、高效的蓄热室和耐高温的送风管路系统等优点,是从荷兰引进的可以实现长寿命、高温的热风炉。目前关于其研究很少,早在 2002 年,利用首钢首次引进霍戈文热风炉,对其进行过矩形燃烧器的冷态流场测试。测试结果表明其出口流速均匀,流场分布均匀。有专家指出其在燃烧室隔墙内夹砌绝热砖和耐热钢板,

以及在炉顶加蘑菇形大帽子的办法,无法克服内燃式热风炉在气体力学上的固有缺陷,即火井偏在一侧使气流分布不均匀^[4]。为此,利用 CFD 软件研究了霍戈文热风炉流场分布情况,研究结果表明其气出口速度均匀,但喷出后偏向一边;由于热风炉燃烧器到拱顶的距离很长,故进入格子砖前的温度、压力等参数很均匀,流场十分均匀,但 CO 尚有小部分没有燃烧完全。

2.3 混风炉研究

混风炉将预热高温空气与冷空气混合,为热风炉提供合适的预热助燃空气。主要设计了 2 种混风炉方案,采用仿真模拟,以了解其混风效果。方案 1 主要采用冷空气从中部周边多喷口进入的混合方式,方案 2 采用冷空气从下部 1 通道进入的混合方式。研究表明,采用方案 1 出口温差较小,温度较低,混合效果较好。但考虑迁钢热风炉混合出口管道较长,约 80m,故又进一步对较长管道的混合情况进行研究,研究表明出口管道大于 25 m 情况下,冷热空气完全达到混合均匀目标,混合效果理想。故混风炉采用混合设计简单的方案 2。

3 迁钢 2 号高炉热风炉系统工艺流程

通过对预热带热风炉、霍戈文热风炉和混风炉的研究,在迁钢 2 号高炉热风炉系统采用的优化的工艺设计和关键技术,其工艺流程如图 3 所示。具体配置如下:迁钢 2 号高炉配置 3 座霍戈文改造型高温内燃式热风炉,配置 2 座高温预热炉,对霍戈文热风炉的助燃空气进行高温预热,预热温度 520 ~ 600℃。采用干法除尘的高炉煤气经分离式热管换热器预热后温度基本达到 130 ~ 180℃;提供满足 1250℃ 风温要求的燃烧条件。其中高温预热炉采用自主研发的新型顶燃式热风炉,预热炉配备 1 座

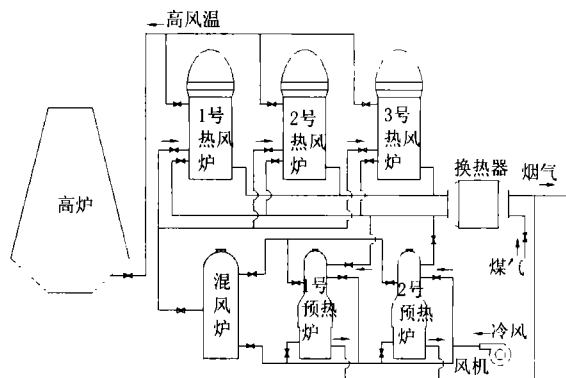


图 3 迁钢 2 号高炉热风炉系统工艺流程

混风炉。霍戈文热风炉的助燃空气量中预计有约 54% 进入预热炉,预热到 1050℃;然后在混风炉中与未预热的约 46% 的冷助燃空气混合,将温度调整到 600℃ 左右,送到霍戈文热风炉使用。此外,高温管道通过耐火材料、耐火衬结构、钢结构、管道设备等方面的改进,满足了送风管道温度 1250℃ 的使用要求。系统设计主要工艺参数见表 2。

表 2 迁钢 2 号高炉热风炉系统设计主要工艺参数

项目	预热带热风炉	霍戈文热风炉
形式	顶燃式	内燃式
座数	2	3
操作方式	一烧--送	二烧--送
送风时间, min	60	45
燃烧时间, min	45	75
换炉时间, min	15	15
炉壳直径, mm	φ8940	φ10200
蓄热室断面积, m ²	34.11	44
蓄热室格子砖段数	2	3
拱顶温度, ℃	1270	1450
热风温度, ℃	1050	1250
冷风温度, ℃	20	170
助燃空气温度, ℃	20	600
煤气温度, ℃	45	180

4 迁钢 2 号高炉热风炉系统的投产应用

4.1 投产概况

迁钢 2 号高炉自 2007 年 1 月开炉后,热风炉风温稳步提高。大致可分为三个阶段:第一阶段为 1 月,风温较低,范围在 950 ~ 1100℃;第二阶段为 2 月,风温在 1150 ~ 1200℃;第三阶段,3 月开始,热风炉月平均风温在 1230℃ 以上,为进一步实现 1300℃ 平均风温奠定基础。迁钢 2 号高炉 2007 年各季度风温与焦比、煤比等指标变化如图 4 所示。除刚投产一季度热风炉指标较低外,其余季度的风温较高,焦比、煤比较低,可知提高风温,大大降低焦比、煤比,实现了高炉节能。

4.2 燃烧性能分析

为研究迁钢预热带热风炉和霍戈文热风炉的燃烧情况,利用残氧分析仪和 CO 分析仪,分别对其燃烧期进行数据采集,每 10min 记录一次,迁钢预热带热风炉和霍戈文热风炉烟气的残氧、CO 指标见表 3、4。

从表 3、4 可以看出,残氧浓度降低时,其烟气中 CO 浓度有所上升。故需要合理控制其残氧量,迁钢 2 号预热带热风炉的烟气残氧百分比大于 1.45%,而其 CO 达到 0×10^{-6} ,实现完全燃烧,效果较好。霍戈文热

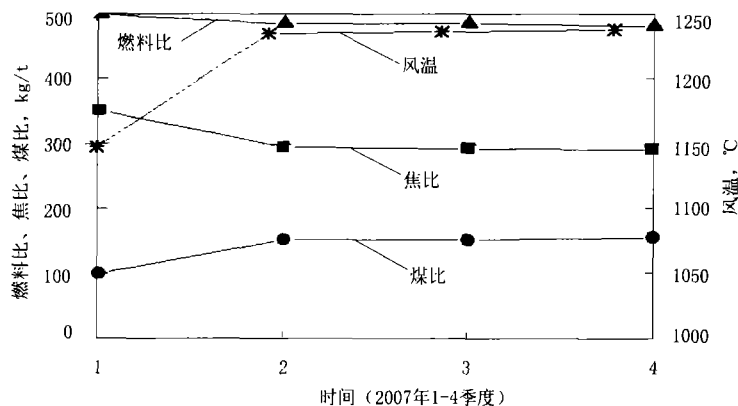


图4 迁钢2号高炉2007年各季度风温与焦比、煤比等指标变化

表3 迁钢预热炉烟气残氧和CO浓度分布

项目	残氧, %		CO, 1×10^{-6}	
	1号炉	2号炉	1号炉	2号炉
10min	0.42	3.33	14	0
20min	1.30	2.69	15	0
30min	0.98	1.88	13	0
40min	1.22	1.45	15	0
50min		1.08		35
平均	0.98	2.10	14	7

表4 迁钢霍戈文热风炉烟气残氧和CO浓度分布

项目	残氧, %		CO, 1×10^{-6}	
	1号炉	3号炉	1号炉	3号炉
10min	2.80	0.86	369	129
20min	2.39	0.46	369	369
平均	2.60	0.66	369	249

风炉CO浓度明显比较高,存在不完全燃烧问题,故需进一步控制其残氧量。

4.3 风温措施

迁钢2号高炉顺利达到目前1230~1250℃高风温的技术措施,主要有以下两点:

- (1) 采用预热炉风温阶梯升温的烧炉方法;
- (2) 加快预热炉操作周期。调整换向时间由4h改为3.5h,换炉次数由2次改为3次。

5 结论

(1) 迁钢2号高炉采用高温预热炉预热助燃空气和分离式热管换热器等技术的热风炉系统工艺流程,满足了单一高炉煤气实现1250℃高风温的要求,满足了高炉生产的实际需要。

(2) 从理论仿真、冷态试验研究表明:预热热风炉具有炉顶、炉墙温度较低、燃烧完全等优点,但旋流造成的气流分布不均匀性还是存在;霍戈文热风炉和混风炉能满足使用要求。

(3) 投产应用表明:热风炉风温的提高,大大降低高炉焦比、煤比,提高了生产水平和炼铁生产的综合实力,并且实现了节能降耗、清洁生产、降低成本的目标,同时也为今后高炉新建和大修设计工作积累了经验,也为老企业的技术改造提供了高效、低成本和节约资金的经验。

(4) 为实现全烧高炉煤气热风炉1300℃以上风温,需要在结构,耐火材料、材质上进一步改进,继续研究、优化、完善热风炉操作技术。

6 参考文献

- 1 宋文刚,林成城. 宝钢高炉热风炉新技术的开发与应用. 炼铁, 2005(24):63-66
- 2 毛庆武,张福明. 高炉热风炉高温预热工艺设计与应用. 设计通讯, 2005(2):6-10
- 3 陈冠军,胡雄光等. 新型顶燃式热风炉燃烧技术研究. 中国钢铁年会,北京,2007
- 4 黄晋等. 首钢大型顶燃式热风炉设计. 首钢科技, 1999(4):189-196

联系人:陈冠军 高级工程师 电话:010-88297770

E-Mail: chenguanjun2002@yahoo.com.cn

(100043)北京市石景山区首钢技术研究院

基金项目:国家发改委和北京市科委资助(国家发改委高技[2007.]3194号)

修回日期:2008-10-09