

# 青钢6#高炉提高煤比分析与实践

刘玉猛, 张建述, 徐安坡

(青岛钢铁控股集团有限责任公司, 山东 青岛 266043)

**摘要:**制约高炉提高煤比的主要因素是:高煤比后煤气分布变化,引起中心煤气流不足,边缘发展;高煤比容易造成温度不足,恶化炉缸工作状态;高炉操作变化大。青钢6#高炉采取改善并稳定原燃料条件,加强操作与管理,提高理论燃烧温度,合理改善煤气分布等措施,煤比逐渐由140 kg/t提高到175 kg/t,且煤比仍有进一步提高的能力。

**关键词:**高炉;喷煤;煤比;燃料比

**中图分类号:**TF538.6<sup>3</sup>

**文献标识码:**B

**文章编号:**1004-4620(2010)03-0016-03

## 1 前言

高炉喷吹煤粉是国内外炼铁节能降耗的重要技术措施,焦化工序能耗大约为122 kg标准煤/t,而喷吹煤粉工序能耗仅为20~35 kg标准煤/t。喷吹1 t煤粉可降低炼铁系统能耗约80~100 kg标准煤/t<sup>[1]</sup>,有效降低炼焦过程CO<sub>2</sub>及硫化物等的排放,实现环境友好;缓解炼焦煤紧缺的现状,有效降低炼铁成本。近年来,由于受市场的制约,炼铁成本大幅上升,炼铁原料、焦炭、喷吹用煤的质量下降。因此,探讨提高煤比的措施、方法成为炼铁系统降成本的当务之急。青钢6#高炉(有效容积500 m<sup>3</sup>)受各种条件限制,特别是富氧率偏低,煤比一直维持在140 kg/t左右,因此,提高煤比、降低成本还有较大的余地。

## 2 喷煤引起的炉况变化及制约因素分析

煤粉进入高炉后必然会因燃烧而增加炉腹的煤气量,鼓风动能增加,燃烧带扩大。由于煤粉温度低且煤粉中的碳氢化合物分解等原因能够降低风口的燃烧温度,加大煤量后料柱阻损增加,压差升高。不同煤比条件对高炉的影响情况是不相同的,从分析中可以找出制约喷煤量的因素。

### 2.1 喷煤对煤气流的影响

煤粉作用根据煤量多少可分为3个阶段:一是煤比较低,喷煤后对煤气流的影响不足以打破原来的煤气分布平衡,煤粉燃烧充分,置换比高;二是煤比到一定程度后,煤粉在风口区的气化分解作用开始明显,大量煤粉急剧气化产生朝向中心的激射气流,导致中心气流发展;第三阶段,随着煤比进一步提高,喷入的煤粉不能完全燃烧,未燃煤粉一部分随煤气上升,一部分吸附在中心料柱上,恶化中心料柱

透气性,减弱中心气流,使边缘气流发展。这种情况下煤粉再提高就必须采取一定措施,否则可能引起炉况不顺。

### 2.2 喷煤对炉缸热状态的影响

由于煤粉从风口跟随热风直接入炉,实践证明煤粉每提高10 kg/t,风口理论燃烧温度降低20~25℃,而适宜的理论燃烧温度在2100~2300℃<sup>[2]</sup>,一般不低于2050℃,所以提高风口区温度对提高煤比有利。高风温、富氧成为高煤比必须的辅助手段。

### 2.3 喷煤对高炉操作的影响

提高煤比后高炉操作出现许多新特点,主要表现在高炉需要热补偿,操作存在热滞后性。高炉喷吹煤粉时,它的挥发分加热分解致使理论燃烧温度下降,炉缸热量显得不足。为了保持良好的炉缸热状态,需要给予热补偿。在喷煤的实践中发现,增加喷煤量后,炉缸出现先凉后热的现象,这一过程所经历的时间叫做“热滞后”时间。高炉操作惯性加大,调剂不易扭转。

### 2.4 制约提高煤比的因素

制约高炉提高煤比的主要因素是:1)高煤比后煤气分布变化,可能引起中心煤气流不足,边缘发展;2)高煤比容易造成温度不足,恶化炉缸工作状态,必须提高理论燃烧温度;3)高炉操作变化较大,对高炉工长提出更高要求。

## 3 提高煤比的措施

### 3.1 改善原燃料条件

由于受市场等条件的限制,青钢6#高炉精料条件有所下降。首先是入炉原料化学成分波动大,机烧近期进行配矿调整,碱度调整大;生矿比例不断提高,且矿种、成分变化较大,熟料率降低;恶化喷煤最严重的是炉品位降低,渣量上升约40 kg/t,2009年5月吨铁渣量>390 kg。这些变化对提高喷煤有不利影响。为降低原料的不利影响,对入炉原料加强筛分,控制粉末入炉,提高高炉透气性,入炉机烧粉末

收稿日期:2010-02-04

作者简介:刘玉猛,男,1975年生,1998年毕业于东北大学钢铁冶金专业。现为青钢6#高炉副炉长、工程师,从事高炉炼铁生产工艺技术工作。

率( $\leq 5\%$ ) $\geq 3\%$ ;另外,从改善燃料方面入手,稳定并提高焦炭及煤粉质量,抵消了炉料结构调整的不利影响。6#高炉主要以兖州焦和本厂焦为骨干,焦炭质量得到较好的保障,热风炉废气预热焦炭技术的应用,也使焦炭粉末入炉基本为0,改善透气性,减弱原料不利影响。为提高喷煤比,煤粉质量也有较大改善,灰分降低约1%,硫含量降低约0.28%,为煤比提高创造了良好条件。

表1 6#高炉风口小套调整前后长度 mm

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
调整前	115	120	120	120	120	115	120	120	120	120	115	120	115	120	115	115
调整后	115	120	115	120	120	115	120	115	115	120	115	120	115	120	115	115

### 3.3 调整基本制度发展中心气流

增大煤量后,为减弱炉腹煤气量的增加,6#高炉操作参数进行了调整,降低上限风压约5 kPa,减小风量,控制炉腹煤气量,保证炉况顺行。6#高炉采取大矿批定差料线一车一布料的装料制度,利用矿批的灵活性,可以有效调剂炉内气流分布。针对目前的生产实际,配合风量、风口的调整,6#高炉矿批重从最初22 t不断缩小至现在的16 t,以开放疏通上部气流,增加料柱透气性。调整结果表明,合理缩小矿批使中心气流得到发展,改善了煤气利用,抑制了边缘气流,达到了预期效果。

### 3.4 提高理论燃烧温度

富氧、高风温和喷吹煤粉对高炉冶炼过程大部分参数的影响是相反的(见表2),互相结合可扬长避短,更好地发挥高炉富氧喷煤的效率。6#高炉采用卡鲁金顶燃式热风炉,热效率较高,风温平均在1 160 ℃。在提高富氧水平后,风温可以提至1 180 ℃,这样有利于提高煤比;富氧率由于受条件限制一直不到1%,煤比达到150 kg/t时计算理论燃烧温度低于2 030 ℃,进一步提高煤比受到限制。2009年4月中旬开始提高富氧率,基本维持在1.5%,富氧率约提高1%。煤比从135 kg/t提高到165 kg/t,计算理论燃烧温度降低约80 ℃,通过提高风温和富氧率完全弥补了温度损失,6#高炉缸热状态得到保障,为提高煤比提供良好的热基础,保证了炉况顺行。

表2 富氧、喷煤、高风温对高炉影响对比

项目	碳燃烧	理论燃烧温度	热量收入	燃烧1 kg碳产生煤气量	气体力学因素	焦比
喷煤		降低	减少	增加	变差	降低
富氧	加快	升高	减少	减少	变好	基本不变
高风温	加快	升高	增加	不变	变差	降低

### 3.5 加强高炉操作管理

1)加强高炉操作,减少炉温波动,解决喷吹煤粉热滞后性。提高煤比后,在操作中发现高炉热滞后性更加严重,表现在提炉温时加煤不起作用或提炉

### 3.2 均匀并缩小风口发展中心气流

6#高炉共16个风口,由于各种原因风口调整不均匀(见表1),整个北侧风口长度基本以120 mm为主,不但煤气流偏行,且3#风口上冷却壁损坏较为严重。为此,把3#、8#、9#风口调小,不但均匀了风口,而且风口面积从0.175 m<sup>2</sup>降为0.172 m<sup>2</sup>,利于吹透中心,提高煤比后减弱边缘气流的发展。

温很慢,或是炉温正常后,继续呈上升趋势,这样操作往往滞后,调剂跟不上高炉走势,出现质量问题。观察发现喷煤后约2.4 h才能看到结果,是煤粉热滞后性所致。同时提炉温时一般物理热偏低,这又使煤粉燃烧率降低,置换比降低,使炉温提高困难;反之,当炉况返热时,降低煤比又使煤粉燃烧率升高,短期内炉况显示更热。

针对这些特点,6#高炉主要采取稳定燃料比来控制炉温。①规定正常情况下燃料比每2 h核算1次,前后2 h燃料比差距不超过 $\pm 5$  kg。②当炉温偏高或低时,按计算降低[Si]水平([Si]每波动0.1,调5 kg燃料比),减煤降低燃料比,但超高或低的燃料比不超过4 h。③炉温偏低时,控制速降强度,尽量不减氧,通过减低风量调剂;当煤已经在极上限时,加净焦提炉温。通过这些规定,控制高炉高煤比后因热滞后性带来的影响,使炉温稳定性大大提高,减少因操作对喷煤带来的影响。

2)制定非正常条件下喷煤应急预案。提高煤比后炉内焦炭明显减少,焦比下降约30 kg,这样停煤、减煤的作用更加明显,一旦出现长时间停煤或无计划休风,必须做好应急预案,防止炉凉等事故发生。6#高炉一般短时间停煤按50%~70%的加焦率补加净焦,超过4 h按60%~90%补加。停煤必须停氧减风,时间越长的停煤减风越大。轻负荷时必须考虑煤粉灰分和炉温正常后撤风温的影响,全焦冶炼燃料比大约比喷煤时燃料比上升30 kg。从6#高炉几次休风来看,恢复炉况所加焦炭一般不足,所以可以按上限附加净焦。

### 3.6 分阶段逐步提高煤比

采取各项提煤比措施后,6#高炉具备了提高煤比的条件。鉴于6#高炉煤比长期维持在135 kg/t左右,制约因素主要是喷煤量增加后燃料比没有降低且渣铁物理热低,提炉温比较困难;又因为炉料结构的调整,给煤比提高带来许多不确定因素。因此,按

阶段逐步提高煤比。2009年3月开始煤比从135 kg/t 逐渐提至150 kg/t 以上,在145 kg/t 时加富氧,富氧率约为0.7%。从4月中旬煤比从150 kg/t 又提至165 kg/t 以上。在煤比逐渐提高的过程中,富氧得以保证,从3月份的0.66%提高到1.3%,同时,提高煤比对煤粉燃烧率及炉况没有明显的不良影响。从图1的煤比-焦比变化趋势可以看出,随着煤比逐渐提高,焦比呈明显下降趋势。这说明煤比提高后,煤粉的置换比并没有降低,煤粉燃烧率情况良好。图2是煤比-综合焦比变化趋势,从图2可以看出,在煤比提高的过程中,煤比在150 kg/t 以下时,综合焦比呈缓慢下降趋势;继续提高煤比,综合焦比没有大的波动,基本维持在480 kg/t 左右。这说明在6#高炉生产条件下,150 kg/t 以下煤比不但能置换焦炭,而且有利于气流穿透中心,改善煤气利用;当煤比提高到150 kg/t 以上时,煤粉对改善煤气利用的作用减弱,主要起到置换焦炭的作用。

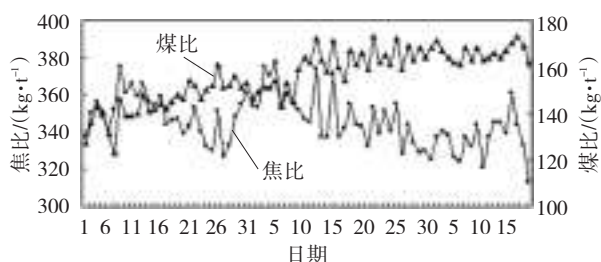


图1 2009年4、5月6#高炉煤比-焦比变化趋势

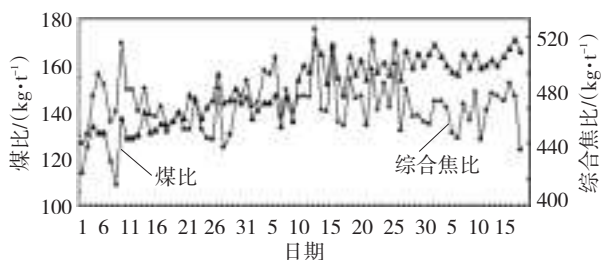


图2 2009年3~5月6#高炉煤比-综合焦比变化趋势

采取针对性的措施后,6#高炉煤比从135 kg/t 提高到166 kg/t。表3是6#高炉提高煤比过程的相关参数及指标。表4是6#高炉2009年燃料消耗情况。从调整后各参数来看,6#高炉仍然还有提高煤比的能力。

## Analysis and the Practice of Increasing Coal Ratio of Qingdao Steel's No.6 BF

LIU Yu-meng, ZHANG Jian-shu, XU An-po

(Qingdao Iron and Steel Holding Group Co., Ltd., Qingdao 266043, China)

**Abstract:** The main factors that restrict the coal ratio increase were as follows: after the coal ratio increased, the change of gas distribution caused deficient centre gas flow and expanding peripheral gas flow; easily causing not enough temperature and worsening operation state of the hearth; and large change of BF operation. Through taking a series of measures such as improving and stabilizing the conditions of raw materials and fuel, increasing theoretical combustion temperature and improving the gas distribution in reason, the coal ratio of Qingdao Steel's No.6 BF increased to 175 kg/t from 140 kg/t gradually, and the No.6 BF will suffice to increase the coal ratio to higher level.

**Key words:** blast furnace; pulverized coal injection; coal ratio; fuel ratio

表3 2009年2~6月青钢6#高炉各项相关指标

指标	2月	3月	4月	5月	6月
风量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	1 494	1 435	1 449	1 456	1 461
风温/℃	1 142	1 143	1 167	1 177	1 181
理论燃烧温度/℃	2 091	2 083	2 091	2 103	2 077
鼓风动能/(J·s <sup>-1</sup> )	4 700	4 540	4 753	4 914	5 127
煤气利用率/%	43.69	43.80	44.35	44.67	44.25
富氧率/%	0.35	0.45	1.30	1.70	1.65
煤比/(kg·t <sup>-1</sup> )	139	145	161	166	177
综合焦比/(kg·t <sup>-1</sup> )	490	480	486	479	472

表4 2009年青钢6#高炉燃料消耗 kg/t

燃料消耗	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
焦比	344	351	350	348	336	304	324	311	327	297	296	307
煤比	134	139	145	161	166	177	158	171	151	175	175	175
综合焦比	491	490	480	486	479	472	484	479	480	474	472	484

注:7月及9月喷煤系统出现故障。

## 4 结语

炉料结构调整给提高煤比带来困难,减少入炉粉末,提高高炉透气性,焦炭、煤粉质量保障是6#高炉能够提高煤比的3个最重要的基础。煤粉在高炉中的作用可以分为3种情况,分别反映了高炉喷吹煤粉的水平,6#高炉煤比175 kg/t 的水平下煤粉仍然能有效置换焦炭,在稳定现有水平的情况下,可以进一步提高煤比。高风温、保证富氧是6#高炉煤比上升的重要保障,进一步提高煤比必须保证富氧率,以提高风口燃烧温度,提高煤粉燃烧率。提高煤比后,高炉操作发生改变,操作者必须更好地把握炉况走势,提前调剂,对各种喷煤故障做好应急预案。

另外,青岛地区冬夏季空气湿度差别较大,理论燃烧温度夏季要低于冬季水平,所以煤比提高在夏季必须考虑空气湿度影响;高煤比下富氧作用明显,但富氧不能作为调剂产量的手段,必须总结停送氧时高炉操作的变化,有条件富氧率应不低于2%。

### 参考文献:

- [1] 刘全兴.炼铁系统提高风温和喷煤特征及价值分析[J].炼铁交流,2008(1):21-25.
- [2] 杨天钧.高炉富氧煤粉喷吹[M].北京:冶金工业出版社,1996.