

# 首钢1号高炉降低焦比实践

曹 锋

(首钢总公司炼铁厂,北京 100041)

**摘要:**首钢1号高炉由于采取了改善原燃料条件、优化高炉操作、提高风温、富氧喷煤等措施,使得煤比大幅度提升、焦比显著下降。2005年11月,1号高炉煤比提高到136 kg/t,平均焦比降低到322 kg/t。

**关键词:**高炉;焦比;实践

中图分类号:TF526+.1 文献标识码:A 文章编号:1006-9356(2006)07-0006-04

## Practice on Decreasing Coke Ratio of No. 1 BF at Shougang

CAO Feng

(Ironmaking Plant of Shougang, Beijing 100041, China)

**Abstract:** The coal ratio of No. 1 BF at Shougang is enormously increased and its coke ratio is greatly decreased by a series of measures, such as improving material quality, optimizing BF operation, enhancing blast temperature, injecting pulverized coal with enriched oxygen and so on. As a result, the coal ratio reached 136 kg/t and the coke ratio lowered to 322 kg/t in November, 2005.

**Key words:** blast furnace; coke ratio; practice

首钢炼铁厂1号高炉于1994年8月9日大修扩建后开炉,有效容积为2536 m<sup>3</sup>。自其2004年10月喷补以来,该厂抓住炉型较规整的有利时机,在强化原燃料质量的基础上,通过积极调整各项操作制度,认真贯彻合理冶炼强度、低硅冶炼等冶炼方针,加强技术、设备的管理和革新,使1号高炉2005年前11个月的煤比较2004年提高了55.9 kg/t,焦比降低了91.7 kg/t。

## 1 取得的主要技术经济指标

首钢1号高炉2004年技术经济指标为:利用系数2.16 t/(m<sup>3</sup>·d),焦比449 kg/t,煤比58.9 kg/t,风温1012 °C,煤气利用率42.4%,1级品率86.26%,合格率100%,损坏风口89个,铁水w(Si)=0.60%。2005年1—11月主要技术经济指标见表1。

表1 首钢1号高炉2005年1—11月主要技术经济指标

Table 1 Main production indexes of No. 1 BF at Shougang in 1—11, 2005

时间	利用系数/ (t·m <sup>-3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	焦比/ (kg·t <sup>-1</sup> )	煤比/ (kg·t <sup>-1</sup> )	风温/°C	富氧率/%	煤气利用率/%	1级品率/%	合格率/%	坏风口/个	w(Si)/%
1月	2.30	377.4	97.9	1120	0	42.9	99.29	100	0	0.55
2月	2.36	369.7	99.6	1127	0	42.8	96.35	100	1	0.53
3月	2.36	369.0	107.9	1114	0	42.8	94.96	100	0	0.51
4月	2.30	364.3	116.4	1110	0	42.6	96.88	100	0	0.50
5月	2.31	368.0	109.3	1098	0	42.5	95.47	100	3	0.49
6月	2.27	362.3	115.7	1104	0	42.7	97.62	100	0	0.50
7月	2.26	360.6	112.8	1117	0	42.9	96.33	100	5	0.45
8月	2.32	361.1	114.2	1113	0.29	43.3	97.43	100	0	0.46
9月	2.43	335.0	126.7	1140	0.72	43.4	97.41	100	4	0.48
10月	2.38	340.6	126.3	1145	0.57	43.2	97.43	100	1	0.48
11月	2.46	322.0	136.0	1136	0.71	43.5	97.22	100	0	0.46

注:2005年11月下旬1号高炉计划检修,11月指标为前20日统计值。

## 2 采取的主要技术措施

### 2.1 精 料

1号高炉所用含铁原料主要包括烧结矿(自产、矿烧)、球团矿(氧化球)和生矿(澳矿);燃料主要包括焦炭(自产焦、外购焦)、煤粉(阳泉煤)。采用优质原料和燃料后,入炉粉末减少,渣量大幅度下降,焦比降低。

#### 2.1.1 提高综合入炉矿品位

近年来,首钢通过对进厂原料严格把关,提高自产精矿粉品位并配加含铁高的进口矿粉,烧结矿含铁品位逐渐升高,渣量逐渐降低。并用低二氧化硅进口生矿,进一步提高了入炉矿品位,降低了渣比,节约了因造渣而消耗的大量能源,降低了焦比。1994年以来,1号高炉入炉矿品位与渣量的变化见图1。

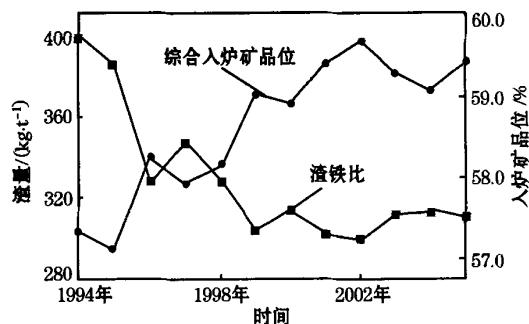


图 1 1号高炉 1994 年以来渣量和入炉品位变化情况

Fig. 1 Variation of slag and ferrous content of ore since 1994

### 2.1.2 改善焦炭质量

首钢 1 号高炉所用 70% 的入炉焦炭为外购,由于其供应厂家多、质量波动大,使得炉况波动、焦比升高。为此,在制定了严格采购标准和提高外购焦质量的同时,加强了对原煤进厂质量的管理,使自产焦炭的水分、灰分( $A_d$ )和硫分( $S_d$ )等大幅度降低,整体质量得到显著提高。另外,还加强了生产组织管理,合理分配各高炉焦炭用量,提高用焦炭的固定比例,确保单一焦种波动不超过 10%,以确保炉况顺行和稳定。2004 年,水分为 7.8%,  $A_d = 12.97\%$ ,  $S_d = 0.78\%$ ,  $CSR = 59.6\%$ ,  $M40 = 80.0\%$ 。2005 年 1—11 月焦炭质量变化情况见表 2。焦炭质量的改善,为 1 号高炉降低焦比提供了必要条件。

### 2.1.3 加强入炉原燃料的筛分

近年来,1号高炉加大了技术投入,仓下下料口完成了自动联锁气动闸口改造,并对振动筛逐步进行了聚氨酯梳齿形筛及棒条筛的改造。筛分系统改造后筛分效率明显提高,入炉粉末( $\leq 5 \text{ mm}$ )只有 3% 左右,炉况顺行,为降低焦比创造了有利条件。同时,还加强了对入炉原燃料的检查与管理,工段要求值班作业长每班向供料处了解原燃料情况不得少于 2 次,查看原燃料实物不得少于 3 次,严密注意原燃料质量变化,强化槽下筛分管理,严格检查料仓下闸门开度和筛子按时清理情况,详细记录考核筛分时间,真正做到了薄料层筛分,降低了入炉原燃料的粉末。

表 2 首钢 1 号高炉 2005 年 1—11 月焦炭质量变化情况

Table 2 Change of coke quality in 1—11, 2005

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
水分/%	7.2	7.6	6.7	6.2	5.9	7.3	7.0	7.8	6.7	6.9	6.4
$A_d$ /%	13.04	13.00	12.99	13.06	12.96	12.85	12.92	12.71	12.58	12.66	12.54
$S_d$ /%	0.77	0.77	0.76	0.75	0.76	0.75	0.78	0.76	0.77	0.75	0.73
CSR/%	60.5	61.4	58.6	59.6	61.5	59.3	59.7	63.2	61.3	61.9	62.7
$M40$ /%	80.6	79.6	79.8	79.8	79.6	79.8	80	81	80.5	81.4	82.5

### 2.2 不断优化入炉原燃料结构

2004 年生矿配比为 10.40%。由于喷吹煤粉、天然富块矿的矿源等时有变化,因此在及时掌握变料的情况下,结合季节、天气等变化,积极地调整生矿配比(表 3),适量配用焦丁,同时相应调整焦炭,以稳定料柱透气性。1号高炉的合理配料,既保证了合适的生矿比和较高的综合入炉品位,又解决了炉渣碱度波动的问题。优化的炉料结构,保证了炉况的长期顺行和稳定,为降低焦比起到了重要作用。

### 2.3 选择合理的操作制度

扩容改造后的 1 号高炉属于典型的矮胖型高炉。1号高炉经长期的生产摸索,找出了适宜的基本操作制度。近 1 年来,通过不断优化高炉操作,发现灵活地控制 2 条煤气通路的煤气流分布,能实现高炉炉况长期稳定顺行,这也是高炉获得良好指标的关键。2004 年,1 号高炉炉喉煤气  $\varphi(\text{CO}_2)$  边缘为 12.0%、中心为 6.5%。2005 年 1—11 月高炉炉喉煤气  $\varphi(\text{CO}_2)$  变化情况见表 4。

表 3 首钢 1 号高炉 2005 年 1—11 月生矿配比

Table 3 Variation of ore ratio in 1-11, 2005

矿比%	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
%	12.93	13.07	13.61	13.58	13.69	13.40	12.86	12.00	14.03	13.93	13.49

表 4 首钢 1 号高炉 2005 年 1—11 月炉喉 CO<sub>2</sub> 变化情况Table 4 Change of throat CO<sub>2</sub> in 1-11, 2005

炉喉煤气	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
边缘 $\varphi(\text{CO}_2)/\%$	11.1	10.9	11.1	11.5	12.1	12.7	12.4	12.7	12.9	13.0	13.0
中心 $\varphi(\text{CO}_2)/\%$	9.7	9.5	9.0	9.0	8.8	7.7	7.9	8.0	8.1	8.2	7.8

### 2.3.1 送风制度的选择

随焦炭负荷的不断加重和煤粉喷吹量的不断加大,1号高炉制定了以提高入炉风量、提高风速、提高鼓风动能、吹透中心、活跃炉缸、控制煤气圆周均匀分布为主的操作方针。就具体炉况来说,即适当加大风口面积,全部采用下倾斜风口,灵活调整小风口的位置,实际风速由 260 m/s 提高至 275 m/s,鼓风动能保持在 128~140 kJ/s。在日常工作中还特别强调风口要干净、保证进风均匀顺畅和稳定进风面积。1号高炉合理稳定的送风制度使回旋区深度合适、原始煤气分布合理、炉缸圆周工作均匀活跃、热量充足,保证了高炉的稳定顺行,为降低焦比创造了重要条件。

### 2.3.2 装料制度的选择

1号高炉结合自身特点和现有条件,在保证炉况顺行的前提下,摸索出了大矿批、多环位、往复式布料的基本装料制度。在原燃料、风量、风温、富氧、喷吹量等各方面条件得到改善后,果断将矿批由 50 t 左右扩大到 60 t。但 1号高炉的大矿批并不是一成不变的大矿批,而是视各项具体参数的变化不断调整的相对大矿批。在扩大矿批的同时,适当增加矿石布料环位,加宽了矿石布料面积。矿角最外环由以往的 32°,29°档位扩展到 34°,32°,29°,28°档位,矿石布料环位由 9 环增加到 10 环;并进一步发展了往复式多环布料,各环位布料圈数视炉况情况灵活调整;但考虑对布料平台形成的影响,焦炭布料角度及各环布料圈数一般不做调整。实践证明,这种装料制度可适当增大焦窗面积、减少矿焦界面效应,利于形成稳定的边缘、中心两道煤气流,降低煤气阻损,改善料柱透气性,减少炉墙热损失,增加炉缸热储备,稳定炉况,提高煤气利用率,降低焦比。

### 2.3.3 热制度和造渣制度的选择

1号高炉在坚持合适稳定的热制度前提下,适当降低生铁硅的质量分数,进行低硅冶炼。1号高炉低

硅冶炼最成功的经验是保证足够的炉缸温度,以铁水温度来衡量炉温的高低,指导高炉操作。根据长期的生产实践并结合一定的理论计算,1号高炉以理论燃烧温度  $t_{\text{li}} \geq 2050^{\circ}\text{C}$ ,铁水温度  $t_{\text{ts}} \geq 1490^{\circ}\text{C}$  为原则,通过规定炉温底线 0.25% ( $t_{\text{ts}} \geq 1450^{\circ}\text{C}$ ) 和目标  $w(\text{Si}) = 0.45\% \sim 0.50\% (t_{\text{ts}} = 1490 \sim 1510^{\circ}\text{C})$ ,使之在逐步降低生铁硅的同时,依然能保证炉缸工作的稳定活跃;并严格控制硅的偏差,杜绝炉况大的波动,以降低硅偏差作为对作业长操作考核的主要内容之一。同时,重视渣型的变化,以保证热制度的稳定性;在参照实际化验数据的同时,要求作业长勤看渣铁实样,实时掌握渣型变化,及时调整配料,保持合适稳定的碱度。造渣制度兼顾了铁水质量和渣铁流动性,结合原燃料数据分析,把炉渣碱度控制在 1.050 左右。合理的热制度和造渣制度不仅使铁水温度充足和生铁的 1 级品率提高,且确保了高炉渣铁有良好的流动性,有利于炉外操作,为 1号高炉长期稳定顺行和降低焦比创造了条件。

### 2.4 保持合理的操作炉型

1号高炉于 2004 年 10 月对炉腹以上部位进行了喷补造衬,获得一相对合理规整的操作炉型,有利于控制煤气流分布。在日常操作中,作业长根据仪表检测结果和操作经验对高炉操作炉型状况做出判断,密切注意炉墙、冷却壁等的温度变化,结合补水量、温差 (2.0 °C 左右) 等适当并适时地调整冷却水流量和装料制度等。良好的边缘煤气流和炉体热负荷的控制,既减轻了对炉墙的冲刷侵蚀又防止了出现炉墙粘结,这不但有利于高炉炉体长寿和保持合理稳定的操作炉型,而且使炉内煤气流和料流运动顺利、接触良好,促进炉况稳定,提高煤气利用率,这对降低焦比来说极为重要。

### 2.5 确保高炉全风作业

随点检定修制和业主负责制全员设备管理的实行,使设备管理得以加强,因设备原因的非计划休风

逐步得到控制。炉况稳定程度的提高也减少了高炉慢风操作的时间。合理控制煤气流分布又减少了风口套等的损坏数量,进一步降低了休、慢风率,这反过来又促进了高炉炉况的稳定顺行。2005年1—11月,高炉利用系数较2004年提高8.4%,单位生铁的热损失大幅度降低,高炉热效率提高。这对降低焦比大有裨益。

## 2.6 最大限度使用高风温

高风温利于提高煤粉燃烧率、增加喷煤量、降低焦比。1号高炉有4座热风炉,实行“2烧2送”的送风制度。近年来,在热风炉系统安装了煤气脱水器、空气预热装置,2000年接通了焦炉煤气管道,实现了煤气富化的目标,风温得到一定提高。另外,利用高炉检修的机会检修热风炉,2005年工段加强了对热风炉烧炉情况的考核,注意了协调4班操作,操作者的岗位责任心明显加强;还进行认真巡检、精心操作,积极开展学习与交流活动,优化了烧送风时间,适当加快了换炉频率。同时,工段要求作业长全风温操作,减少撤风温,把开混风时间的长短和幅度作为对作业长动态考核的一项重要内容。2005年10月的风温破纪录地达到了1145℃。大幅度提高风温水平,减少人为波动,达到了稳定炉况、降低焦比的目的。

## 2.7 喷煤降焦

2000年再次试验喷吹阳泉煤成功并在1号高炉上应用,扩大了喷吹煤种,制粉能力提高了10%,解决了堵枪问题。2004年初,1号高炉完成了上出料单管路加分配器浓相输送工艺的改造,实现了远距离浓相输送,匀喷、广喷、连续浓相喷吹可满足45t/h的喷煤量;2005年8月,1号高炉富氧设备再次投入使用,富氧率见表1。氧气的使用改善了高炉顺行状况,提高了煤粉燃烧率、置换比和风口理论燃烧温度,有利于扩大喷煤量和降低焦比,且富氧后可富化煤气又有利于风温的提高。

## 2.8 适当提高冶炼强度

随原燃料的好转、风温水平的提高、富氧喷煤的实现和其他冶炼条件的改善,1号高炉在现有装备条件下,维持了中等偏高的冶炼强度,实现了适当提高冶炼强度和降低焦比的统一,冶炼强度由2004年的1.121t/(m<sup>3</sup>·d)提高到目前的1.165t/(m<sup>3</sup>·d),高炉利用系数较为合理地控制在2.42t/(m<sup>3</sup>·d)左右。适宜的冶炼强度,改善了炉况,保持了高炉顺

行,也有利于降低焦比。

## 2.9 提高顶压水平稳定压差操作

伴随矿批的扩大、喷煤量的增加和风量的近上限使用,风压使用水平也有所提高。1号高炉根据炉顶设备的承受能力和操作要求,在根据炉况灵活调节顶压的同时,适当地将炉顶压力由195kPa提高到196~197kPa。日常调剂实行定压差操作,稳定了炉况,提高了产量,降低了焦比。

## 2.10 加强岗位技术管理

加强岗位技术管理包括:①实行作业长岗位责任制。在要求各班作业长统一操作思想的基础上,适当放宽当班作业长的调剂幅度和手段。日常调剂注意避免连续低炉温、高碱度作业,强调低炉温的处理须一步到位,炉温向低温过渡则要逐步到位。对炉况维护要无病防治、小病早治、发现问题及时根治。将安全操作、产品质量、现场管理等定性考核,将料速、顺行、产量、生铁硅等定量评价,使各作业长更加关心自己的操作效果,在总结中提高操作水平,增强对高炉的控制能力,保证炉况长期稳定顺行。②改进炉前作业。1号高炉通过完善炉前操作制度,加大对炉前指标完成情况的奖惩力度,充分调动了员工的生产积极性。随喷煤量的增加、焦比的降低和冶炼强度的提高,尽量缩短喷补大沟和倒场用时,加强铁口维护,堵口泥全部改用无水炮泥,日出铁次数由15次减少到13.5次,出铁时间由65min左右延长到88min,间隔时间由35min左右缩短到20min,缓解了炉内的压力,保证了渣铁及时出净,解决了炉内憋风的问题,降低了风口的损坏数量,大幅度降低了慢、休风率。

## 3 结语

装备水平的提高和持续改善的原燃料质量,为首钢1号高炉焦比的降低奠定了坚实的物质基础。合理灵活的操作制度,确保了高炉的长期稳定顺行。结合高炉自身情况,采用高风温、富氧喷煤等操作及更合理的冶炼方针,在提高高炉产量的同时,大幅度降低了焦比。不断地进行技术革新和加强科学管理,为高炉焦比的降低提供了强大的原动力和有力保障。

感谢张思斌高级工程师、霍吉祥工程师及马国良工程师等在成文过程中给予的帮助和指导。