

首钢1号高炉提高煤比操作实践

霍吉祥 张思斌
(首都钢铁公司)

摘要 首钢1号高炉在风温1140℃、富氧率0.6%的条件下,将煤比由124.6kg/t提高到149.1kg/t。煤比提高过程中高炉产生了一系列变化:边缘煤气流发展,中心煤气流不足;高炉操作惯性大,热滞后时间长;风口理论燃烧温度降低;煤气利用率下降;灰比升高。通过分析,找到了提高煤比的限制因素:原料、富氧率、风温和煤种。如果能充分挖掘潜力,1号高炉煤比可以达到170kg/t。

关键词 大型高炉 煤比 分析

Practice of increasing PCI ratio in No. 1 BF at Shougang Corp.

Huo Jixiang Zhang Sibin
(Shougang General Corp.)

Abstract Under the condition of 1140℃ blast air temperature and 0.6% oxygen enrichment ratio, the pulverized coal injection ratio of No. 1 blast furnace in Shougang is increased from 124.6 kg/t to 149.1 kg/t. The blast furnace experiences a series of change during the increasing of pulverized coal injection ratio: development of edge gas flow; insufficient of central gas flow; higher inertia of BF operation; longer thermo lag; lower theoretical combustion temperature at tuyere; lower availability of gas; higher dust ratio. The analysis reveals many restriction factors which affect the increase of pulverized coal injection ratio: raw materials, oxygen enrichment ratio, blasting air temperature, coal grade, etc. The pulverized coal injection ratio can go up to 170 kg/t by fully bringing out the latent potentialities.

Key words large size blast furnace PCI ratio analysis

1 概况

喷煤降焦是现代高炉冶炼降低成本的主要措施之一,也是一项比较成熟的冶炼技术。各厂高炉生产实践表明,煤比的不断提高需要一些相辅相成的措施及条件为基础,而且,由于炉型的不同、基本制度的不同以及原燃料条件等相关因素的不同,同一煤比水平对高炉的影响及引起的变化趋势和幅度也

不尽相同。

首钢1号高炉有效容积2536m³,进入2006年以来,以“喷煤降焦”为生产主线,通过不断的摸索和实践,在风温水平偏低、富氧率不足0.7%的情况下,实现了煤比的逐步提高,煤比达到了150kg/t,取得了一定的经济效益,但这期间的炉况也产生了一系列的变化,2006年1~5月生产指标见表1。

表1 首钢1号高炉2006年生产指标

月份	平均日产, t/d	焦比, kg/t	煤比, kg/t	利用系数, $t/(m^3 \cdot d)$	燃料比, kg/t	风温, ℃	富氧率, %
1月	6161	331.1	124.6	2.43	476.7	1146	0.45
2月	6291	326.4	129.0	2.48	480.9	1154	0.44
3月	6189	322.7	137.6	2.44	486.6	1138	0.51
4月	6145	325.5	145.7	2.42	492.8	1136	0.51
5月	6153	321.2	149.1	2.43	494.0	1137	0.61

2 煤比提高后的系列变化

2.1 煤气流变化

煤粉在风口带气化燃烧会造成炉腹煤气量的增

加,改变风口回旋区的状态。喷煤量及煤粉燃烧程度会直接影响煤气流的分布,煤比低于一定水平时,喷煤引起的变化不足以打破原有的煤气分布平衡,

但随着煤比的逐步提高,其产生的变化将会加剧或改变煤气流动方向。

随着煤粉在风口前端迅速气化燃烧的加剧,一方面炉腹及炉缸的煤气增加量升高,另一方面由于风口前端区域狭小,大量煤粉急剧气化会使煤气产生很大的朝向高炉中心的激射速度,从而导致中心煤气的发展。从首钢 1 号高炉的实践来看,煤比在 115~140 kg/t 时,中心煤气流较强,主要表现为中心煤气 CO_2 值降低,炉身软水温差降低,炉喉成像中心火束明亮有力。2005 年以来煤比与边缘、中心煤气 CO_2 变化如图 1 所示。随着煤比的进一步提高,当达到一定的水平后,所喷入的煤粉无法在风口前端全部迅速燃烧,大部分煤粉会进入到回旋区进行燃烧,煤量越大,进入回旋区的部分越多,激射速度不但要比风口前端低,而且呈束性不强,导致风口回旋区径向区缩短,流向边缘逸出的煤气量增多;煤比进一步提高,燃烧率相对降低,未燃煤粉将会增加,未燃煤粉吸附在中心焦堆内影响中心焦堆的透气透液性,增加煤气穿透中心的难度,减弱了中心气流,促使边缘煤气流的发展。1 号高炉自 4 月中旬以来,煤比维持在 145~155 kg/t 的水平,边缘与中心煤气趋于平缓,且边缘煤气 CO_2 值略有降低,在炉温低用大喷煤量提高炉温时,边缘发展明显。当个别班次的煤比达到 170 kg/t 时,炉喉成像显示,中心火焰明显减弱,甚至看不到中心火焰,炉身冷却软水温差大幅升高,炉衬温度升高且波动,呈现明显的边缘气流发展之势。

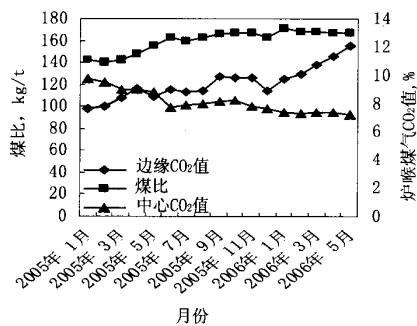


图 1 首钢 1 号高炉炉喉煤气边缘、中心 CO_2 值

导。

2.2 高炉操作惯性加大,热滞后时间延长

从高炉喷煤生产实践发现,随着煤比的提高,高炉操作惯性尤其是提温、降温的惯性加大。主要原因是:提温初期,为尽快提高炉温,在本身负荷较重,煤比较高,风温(1140℃)和富氧率(0.6%)较低的情况下,短时间内大幅增加的煤量不但导致煤粉燃烧率的急剧降低,而且会使局部时间内的理论燃烧温度大幅降低,使炉缸温度下降,给人一种提温困难或提温时间延长的感觉;而当大煤粉量提温转热后,降温初期,煤粉量虽然有所减少,但其燃烧率及理论燃烧温度会增加,又给操作者一种小幅降温不起作用的感受。一旦高炉操作工在操作上把握不及时、增减煤不适量,就会造成日常调剂幅度大、炉温波动幅度大的恶性循环。1 号高炉在 4 月份生产过程中,此种现象明显:提温时,煤粉量会达到 47 t/h 甚至更高,此时的风口理论燃烧温度一般不足 1930℃;降温时煤粉量则又会降至 32 t/h 的水平,而且往往伴随着风量、氧气、风温的一起波动,造成了操作被动和炉况的不稳定。进入 5 月份以后,通过多次强调:调整高炉工长的操作心态,加强技术指导,提高实操能力,日常调剂趋于稳定。

2.3 风口理论燃烧温度降低

随着煤比的逐步提高,风口理论燃烧温度不断降低已经成为 1 号高炉生产的重要问题。根据首钢炼铁厂的经验公式,1 号高炉一般正常的风口理论燃烧温度维持在 2050℃ 的水平。首钢铁厂理论燃烧温度经验公式如下:

$$T = 1530 + 0.763 \times T_f + 4970 \times Q_o / (1.088 \times 60 \times Q_f) - 3770 \times 1000 \times Q_m / (1.088 \times 60 \times Q_f)$$

式中 T —风口理论燃烧温度,℃;

T_f —风温,℃;

Q_o —氧气量, m^3/h ;

Q_f —风量, m^3/min ;

Q_m —喷吹煤量, t/h 。

由于 1 号高炉风温不足、富氧偏低的实际情况,风口理论燃烧温度近期降低较多,严重偏离了正常水平,近期理论燃烧温度趋势如图 2 所示。特别是在大煤粉量提温时,理论燃烧温度往往在 1950℃ 以下,长期的理论温度偏低,必然造成炉缸热能的损耗。从近期生产情况观察,整体的铁水温度水平已经有所下降, $[\text{Si}] < 0.25\%$ 和铁水温度不足 1490℃ 次数明显增多,炉渣的流动性亦有所变差,一级品率

明显降低。鉴于此种情况,1号高炉生产人员正在积极采取措施尽量提高热风温度,比如更换热风炉空气预热器、改善及增加煤气脱水器、热风炉富氧烧炉等,有望进一步提高热风温度。另外,在加强监测与巡检的基础上逐步提高富氧率,目前最高水平已达到1%。

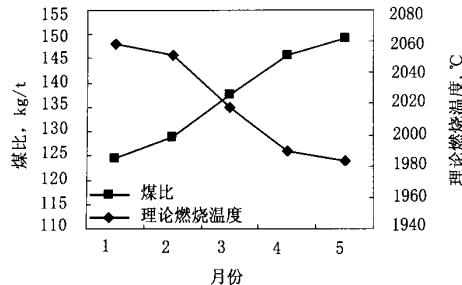


图2 首钢1号高炉2006年1-5月煤比及理论燃烧温度

2.4 煤气利用率下降

煤比提高,炉腹煤气量增加,煤气的流速增加,会消弱煤气利用。另外,为了克服煤比升高带来的压降增高,装料制度上往往也会做一些引诱疏导煤气的调整,也会使煤气利用率有所下降。一般来讲,在偏高的煤气利用率下提高煤比难度是非常大的,煤气利用较高时,高炉的透气性指数相对偏低,此时高炉将难以承受进一步提高喷吹煤比所造成的料柱压降的增加,而较高的压差也会抑制进一步加重焦炭负荷,焦炭负荷上不去则又会限制煤比的提高。1号高炉在3月份根据实际的炉况表现,将装料制度 $028^{\circ}(2)31^{\circ}(2)33^{\circ}(1)31^{\circ}(2)28^{\circ}(2)$ 调整为 $028.5^{\circ}(2)31^{\circ}(2)33^{\circ}(1)31^{\circ}(2)28.5^{\circ}(2)$,活跃中心煤气的同时,煤气利用率由50.5%下降到48.7%,压差关系缓解。从后期实践看,此次调整对煤比的提高起到了积极作用。

煤气利用的不断变差,又意味着高炉热能及化学能的浪费,因此,怎样协调好煤比与煤气利用的关系,以达到最佳的经济效益是提高煤比的关键。1号高炉在实际生产中并不是刻意去追求单一煤比的提高,而是在综合考虑炉况顺行及经济指标等情况下,取得了比较好的绩效,至目前的煤比水平,综合燃料比仍维持在495 kg/t以下。从1号高炉近几个月生产实践观察,煤气利用率在煤比升高过程中有所波动,整体趋势略有下降,适当地提高炉温水平、增加富氧量有利于煤气流的稳定及其利用率的提高。近期煤气利用率(为煤气自动分析值)变化如

图3所示。

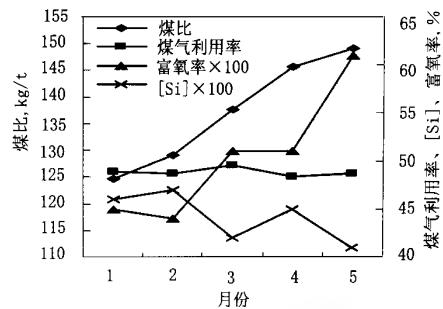


图3 首钢1号高炉2006年1-5月煤气利用率

2.5 灰比及灰中含碳量增加

从1号高炉实践来看,当煤比在135 kg/t以上时,随着煤比的提高,除尘灰比及灰中含碳量增加趋势明显(如图4所示)。过早的出现此种状况,也进一步说明了目前的生产条件与煤比水平不太匹配。

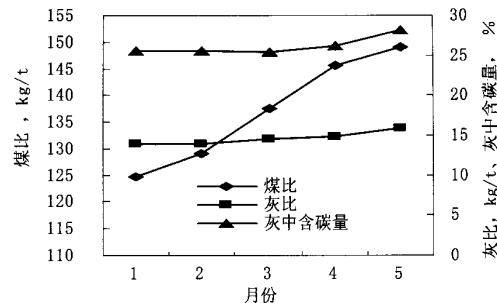


图4 首钢1号高炉2006年1-5月灰比及灰中含碳量

3 提高煤比的限制因素

1号高炉以前喷煤能力主要限制在输煤上,但通过技术改造,目前最高能力可达到50 t/h,计算理想最高煤比为190 kg/t(按日产铁6200 t/d),因为须留有一定的操作空间,所以能达到的煤比约为170~175 kg/t,当然,这需要高炉的顺行及其他相应条件成熟。

3.1 原燃料质量

随着煤比的提高,炉内矿焦比也随着升高,高炉顺行对原燃料质量的要求会更高,尤其焦炭的骨架作用尤显突出。进入2005年以来,首钢炼铁厂原燃料质量逐步改善,这也正是1号高炉煤比能达到150 kg/t的基础条件。但就目前而言,所用焦炭仍存在品种变化频繁,质量参差不齐的现象。况且,5月中旬以来,外购焦炭质量有下降的趋势,因此,要想长期维持住较高的煤比水平,原燃料质量还需进一步提高和稳定。1号高炉2006年以来所用焦炭性能见表2。

表 2 2006 年首钢 1 号高炉所用焦炭主要性能及变炭次数

月份	变炭次数	M_{40} , %	M_{10} , %	灰分, %	CRI, %	CSR, %
1	12	81.35	7.78	12.46	27.94	63.43
2	20	81.28	7.51	12.31	27.27	63.68
3	18	81.65	7.45	12.26	26.66	64.2
4	16	81.64	7.31	12.21	25.82	65.5
5	20	81.59	7.24	12.31	27.11	63.96

3.2 风温

由于设备老化、焦炉煤气紧张、预热能力不足等客观因素的存在,1号高炉平均风温水平约为1140℃,无法满足进一步提高煤比的需要。如果相关设备能够得到改善(包括更换空气预热器、增加旋流脱水器等),富氧烧炉试验能够成功,风温水平就会有所突破,这将有利于进一步喷煤降焦的实现。

3.3 富氧

富氧是维持高煤比不可替代的重要措施之一,据不完全统计,国内煤比在150 kg/t以上的高炉一般富氧率在2%~3%,甚至更高。1号高炉氧气量虽然充足,但考虑到送风管道的老化,富氧率一直维持在不足0.7%的水平,也限制了煤比的提高。如按目前的煤比、风温水平计算,维持2050℃的风口理论燃烧温度,富氧率需达到2%。1号高炉目前正在逐步向上平衡富氧率,在保证及时对热风管道灌浆、加强送风管道巡检的前提下,充分考虑送风设备及管道现状,预计富氧率可以达到1.3%的水平。

3.4 配煤

一般情况下,国内外通常采用含碳量高、发热值高的无烟煤同挥发分高、燃烧性好的烟煤配合,使配煤的平均挥发分控制在20%左右,首钢2、3号高炉所配煤挥发分也在16.5%左右。据相关试验得知,高煤比水平下,挥发分的高低对煤粉在风口燃烧区的燃烧率影响很大。而首钢1号高炉所使用的煤种为阳泉煤和太西煤的混合无烟煤,挥发分不足10%(见表3),明显偏低,造成了煤粉的燃烧率偏低,限制了煤比的进一步提高,如改喷烟煤和无烟煤的混煤的话,则需进行大量的工艺改造,花费大量资金,因此,使用好风温、提高富氧率就更显重要。

表 3 首钢 1 号高炉喷吹用煤成分, %

煤种	灰分	挥发分	硫
阳泉	11.01	9.47	0.71
太西	5.93	7.74	0.21
混煤	10.08	8.80	0.42

4 应重视的问题

4.1 铁水物理热

铁水温度(物理热)是反应炉缸热状态的重要参数,1号高炉在实际生产当中,把它作为一个极为重要的参数加以重视,一般要求日常铁水温度为1490~1520℃,尤其是在目前风温、富氧不足,煤比较高的情况下,铁水温度的高低已成为1号高炉进退的一项重要参数。一般来讲,虽然风口理论燃烧温度偏低,但如果铁水温度充沛,渣铁明亮且流动性好,说明炉缸温度充足活跃,炉况可维持。一旦铁水温度不足,炉渣黏稠,应考虑减轻焦炭负荷,以确保炉缸工作的正常。

4.2 燃料比

高炉生产并不是煤比越高越好,提高煤比的最终目的是降低消耗及冶炼成本。根据生产条件,应有一个较为合理的煤比水平,从而维持一个较为合理的燃料消耗,取得最佳经济效益。因此,在提高煤比的过程中应重视燃料比的增加幅度,避免因燃料比增加幅度过大而消弱了喷煤降焦的效果或效益。1号高炉的实践证明,通过对矿批、布料及其他基本制度的适当调剂,缓解提高煤比与提高煤气利用率之间的矛盾,达到煤比和煤气利用率的合理平衡。

5 结语

(1)原燃料质量是提高煤比的基础条件。

(2)高煤比时,煤气分布会有所变化,应控制好低焦比下的炉料分布,使边缘与中心煤气流分布合理。

(3)在外围条件不好的情况下,应避免长期追求高煤比;另外,提高煤比应充分考虑喷煤取得的经济效益。

(4)如果能充分挖掘限制因素的潜力,改善基础条件,1号高炉煤比可以实现170 kg/t左右的水平。

联系人:霍吉祥 工程师 电话:010-88296195

E-mail:hjx_lt@yahoo.com.cn

(100041)北京市石景山区首钢炼铁厂1号高炉

收稿日期:2006-08-24