

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 124.6 kg/t 提高到 149.1 kg/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 170 kg/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 2536m<sup>3</sup>,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 150 kg/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 <sup>3</sup> ·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<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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。

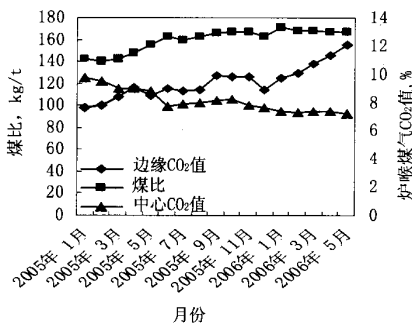


图1 首钢1号高炉炉喉煤气边缘、中心CO<sub>2</sub>值

因此,如果长期维持高煤比或再进一步提高煤比,送风制度可采取减少炉腹煤气量和提高煤粉燃烧率的相应措施,亦或适当缩小风口面积以确保适宜的风速、动能;布料上可考虑对中心进行适当疏

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觉。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,而且往往会伴随着风量、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<sup>3</sup>/h;

$Q_f$ ——风量,m<sup>3</sup>/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,长期的理然温度偏低,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,[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%。

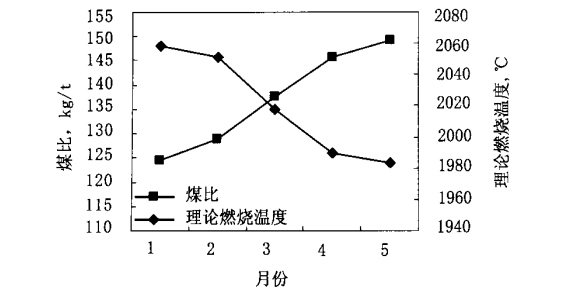


图2 首钢1号高炉2006年1-5月煤比及理论燃烧温度

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,会削弱煤气利用。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°(2)31°(2)33°(1)31°(2)28°(2)调整为028.5°(2)31°(2)33°(1)31°(2)28.5°(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。

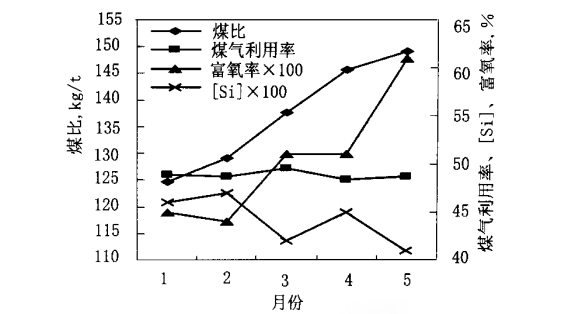


图3 首钢1号高炉2006年1-5月煤气利用率

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。

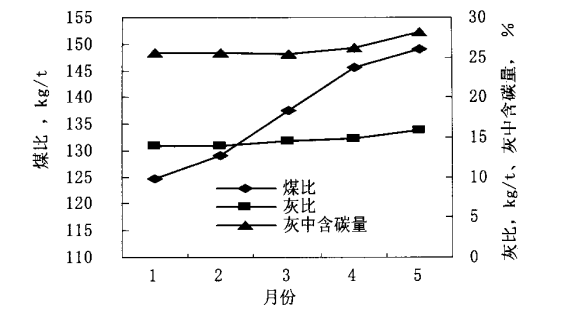


图4 首钢1号高炉2006年1-5月灰比及灰中含碳量

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,可以通过对矿批、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