



## 首钢调整高炉煤气分布的生产实践

张贺顺, 马洪斌

(首钢股份公司炼铁厂, 北京 100041)

**摘要:** 介绍了首钢调整高炉煤气分布思路“打开中心、稳定边缘”与“稳定中心、照顾边缘”的由来, 根据高炉生产实际, 提出了煤气分布的衡量标准。举例说明了在实际生产中针对不同高炉, 通过对煤气分布形态的判断来调整高炉装料制度, 实现了高炉煤气稳定分布。

**关键词:** 高炉; 煤气分布; 装料制度

**中图分类号:** TF543      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1006-4613(2010)02-0043-05

## Operating Practice on Adjusting Gas Distribution in BF of Shougang

Zhang Heshun, Ma Hongbin

(Ironmaking Plant of Shougang Corporation, Beijing 100041, China)

**Abstract:** This paper introduces the reason why the idea for adjusting the gas distribution in BF is established and carried out based on opening up the gas in the middle and stabilizing the gas on the side together with stabilizing the gas in the middle and giving considerations to the gas on the side, and also puts forward the measuring standards on the gas distribution in BF according to the actual operating conditions. The examples show that the stable gas distribution in BF is achieved by adjusting the charging schedule for the BF based on judging the gas distribution patterns for different BFs in actual operations.

**Key words:** BF; gas distribution; charging schedule

长期以来首钢高炉存在利用装料制度不能实现简单、有效调整煤气分布的问题, 因此, 首钢2号高炉(有效容积为1 780 m<sup>3</sup>)采用“打开中心、稳定边缘”调整煤气分布的思路, 探索出了适合自身特点的高炉送风制度与装料制度。

2006年10月下旬, 随着焦炭高温反应性及反应后强度的改善, 高炉炉内中心煤气流过分发展, 炉况变差, 因此首钢根据实际情况, 调整了高炉装料制度, 即采取减少最外环矿石圈数和取消最内环焦炭的措施, 达到了“稳定中心、照顾边缘”的煤气分布效果, 炉况得到改善。为了更加有效准确调整高炉炉内煤气分布, 本文进一步研讨了首钢高炉煤气分布衡量标准的制定、装料制

度的调整及“打开中心、稳定边缘”与“稳定中心、照顾边缘”的应用, 为其他高炉调整煤气分布提供借鉴。

## 1 建立煤气分布的衡量标准

## 1.1 煤气分布形态的衡量

由于高炉受焦炭负荷变化等因素的影响, 十字测温各点温度会在整体上出现同方向的变化, 为更准确地描绘不同高炉、不同焦炭负荷下的炉喉径向煤气分布特征, 对炉喉径向各点煤气分布比例能准确评价, 定义炉喉径向煤气分布指数为:

$$W_{ST1} = \frac{ST1}{T_{\text{顶}}}, \dots, W_{ST6} = \frac{ST6}{T_{\text{顶}}} \quad (1)$$

式中,  $T_{\text{顶}}$  为炉顶温度, °C;  $ST1 \dots ST6$  为十字测温第1点(边缘)至第6点(中心)温度, °C;  $W_{ST1}$

张贺顺, 高级工程师, 硕士, 1988年毕业于北京钢铁学院钢铁冶金专业, 现任首钢炼铁厂厂长。

…… $W_{ST6}$ 为十字测温第1点(边缘)至第6点(中心)炉喉径向煤气分布指数。

高炉炉喉径向各点的煤气分布指数相互影响,不能简单割裂来看。炉喉径向煤气分布指数相对于单纯的十字测温温度更趋合理,各高炉的炉喉径向煤气分布指数可能存在差异,同一高炉、不同冶炼条件下的炉喉径向煤气分布指数也可能存在差异,各高炉应逐步建立自身的炉喉径向煤气分布指数体系。

2号高炉冶炼实践表明,高炉中心煤气一定要“开”,边缘煤气要“稳”,具体的炉喉径向煤气分布指数与高炉原燃料、冶炼水平等因素有关,在焦比为280 kg/t、煤比为185 kg/t的冶炼条件下,第6点煤气分布指数为2.58,第5点煤气分布指数为1.24,第1点煤气分布指数是第6点的1/3,第3点煤气分布指数最小为0.62。2号高炉炉喉径向煤气分布指数见图1。

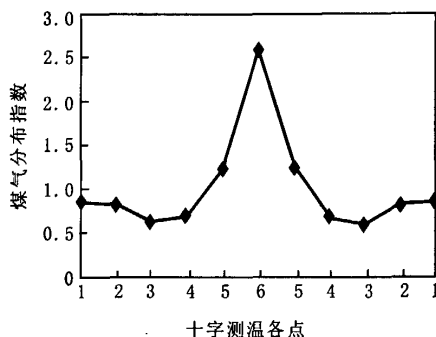


图1 2号高炉炉喉径向煤气分布指数

## 1.2 煤气分布稳定性的衡量

煤气分布形态在很大程度上决定着高炉煤气利用,煤气分布的稳定性则在很大程度上决定着炉况的顺行,在注重对煤气分布形态控制的基础上,煤气分布的稳定性在生产中逐步得到重视,为更准确的描绘不同高炉、不同焦炭负荷下的炉喉径向煤气稳定程度,对炉喉径向各点煤气流速变化幅度有准确的评价,定义炉喉径向煤气波动指数为:

$$\Delta W_{ST1} = \frac{\Delta ST1}{T_{顶}}, \dots, \Delta W_{ST6} = \frac{\Delta ST6}{T_{顶}} \quad (2)$$

式中, $T_{顶}$ 为炉顶温度,℃; $\Delta ST1 \dots \Delta ST6$ 为十字测温第1点(边缘)至第6点(中心)温度波动

幅度,℃; $\Delta W_{ST1} \dots \Delta W_{ST6}$ 为十字测温第1点(边缘)至第6点(中心)炉喉径向煤气波动指数,%。

2号高炉不同炉况下的炉喉径向煤气波动指数见图2。

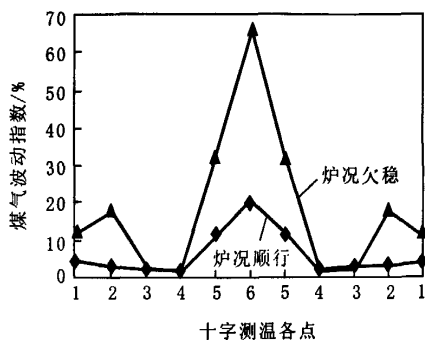


图2 2号高炉不同炉况下的炉喉径向煤气波动指数

相对于高炉煤气分布形态,高炉日常操作中对炉喉径向煤气分布的稳定性重视不足,往往不能及时发现炉况波动的前兆。2号高炉的冶炼实践表明,炉况顺行较差时,十字测温第1点、第2点、第5点、第6点处炉喉径向煤气波动指数大,十字测温第3点、第4点处炉喉径向煤气波动指数与炉况顺行时基本相同,炉况顺行主要取决于对炉喉中心区域与边缘区域煤气流速波动幅度的控制,第5点、第6点炉喉径向煤气波动指数分别不宜超过15%、25%,而第1点、第2点炉喉径向煤气波动指数分别不宜超过5%、4%。

## 2 煤气分布形态的判断和调整

### 2.1 煤气分布形态的判断

煤气分布形态应从下部煤气分布形态和上部煤气分布形态两方面分析,两者相互影响,下部煤气分布形态对煤气分布起决定性作用。下部煤气分布形态需要考虑如何维持炉缸的活跃工作状态及炉缸长寿,下部煤气尽量向中心渗透,对这两者都是有利的,煤气向中心渗透的程度则受送风制度及装料制度的影响;上部煤气分布形态主要是依靠装料制度,实现对下部煤气分布形态下的煤气流进行再分配,避免出现煤气流速过快,导致“管道行程”的情况。

以炉缸初始煤气分布形态进行分类:

(1) 鼓风动能大,风口前回旋区深,下部煤气向中心渗透程度好。这种情况下煤气分布又可分为两类,一是中心煤气宽度小,但力度强、边缘煤气稳定或存在少量虚火;二是中心煤气、边缘煤气宽度都大但力度弱。

(2) 鼓风动能小,风口前回旋区浅,下部煤气向中心渗透程度差。这种情况下煤气分布也可分为两类,一是中心煤气、边缘煤气都宽度大但力度弱;二是中心煤气宽度小、力度弱,边缘煤气有一定力度。

## 2.2 煤气稳定分布的判断

十字测温各点温度的波动幅度反应了炉喉径向各点煤气流速的变化情况,温度波动幅度越大,该点煤气流速的波动越大,原因是固体散料层的不规则运动,造成固体散料层在炉内径向各点的矿焦比出现变化,从而径向各点固体散料对煤气的阻力发生变化,引起径向各点煤气流速的波动。

固体散料层不规则运动的原因:一是炉喉径向料面分布不稳定,由于焦炭平台宽度小,造成矿石没有稳定的分布,这种情况下,从十字测温温度看,温度存在波动,但波动幅度较小,对风压与风量关系稳定性产生一定的影响,但对料尺工作影响不大。二是炉内局部出现管道行程,由于局部煤气流速过高造成散料流化,出现管道行程后,势必造成塌料。从十字测温温度看,温度波动幅度大,对风压与风量关系、料尺工作有明显影响,从而影响炉况顺行,不利于高炉稳定生产。

## 2.3 煤气分布的调整

高炉炉喉布料基础是形成一个合理的焦炭平台,在此基础上实现对炉喉径向矿焦比的准确控制,有效调整炉内煤气分布,合理焦炭平台已成为有效实现“打开中心、稳定边缘”与“稳定中心、照顾边缘”的基础。

现代高炉装料制度中,边缘平台与中心漏斗是最重要的组成部分,两者的分界线直接关系焦炭平台的宽度和中心漏斗的深度,是影响炉内煤气分布的关键因素。焦炭平台过宽,则中心漏斗浅,不能充分起到对中心煤气的引流作用;焦炭平台过窄,则矿石易在中心漏斗内滚动,加剧布料的不稳定,通过2号高炉的冶炼实践看,焦炭平台宽度一般为炉喉半径的40%左右。

多环布料可以利用溜槽角度的改变,将炉料

直接分布在炉喉径向的任何位置上,任何单环布料所要达到的目的,多环布料都能达到,而且效果要比单环布料好。多环布料与单环布料的区别在于是否能够直接将炉料分布在炉喉径向位置,单环布料主要依靠炉料的溜动实现炉料在炉喉径向的二次分配,但二次分配的可控性差,不利于炉内煤气分布的有效调整,无论在正常生产期间,还是在炉况恢复期间,多环布料均优于单环布料。

高炉布料角度是否合适也关系到能否将炉料直接分布在炉喉径向相应位置,因此应从实践与理论两方面对高炉装料角度与对应位置的关系进行研究,确定高炉布料档位,确保高炉布料角度能够满足将炉料直接分布到炉喉径向相应位置的需要,建立以布料位置决定布料角度的思路,切忌不顾炉料在炉喉径向的实际落点位置,人为设定布料角度,单纯依靠炉料的溜动实现炉料在炉喉径向的二次再分配。

## 3 高炉装料制度对煤气分布的影响

### 3.1 瘦长型高炉装料制度对煤气分布的影响

2号高炉有效容积为1780 m<sup>3</sup>,高径比为2.46,是典型的瘦长型高炉,在炉型方面与1号、3号高炉存在差异,但装料制度与1号、3号高炉基本一致,2号高炉装料制度见表1。

表1 2号高炉装料制度

高炉	矿石		焦炭	
	布料角度/(°)	布料圈数	布料角度/(°)	布料圈数
2号高炉	33	2	40	5
(矿批44 t、焦炭负荷6.00)	35	2	38	3
	37	2	35	1
	39	2	32	2
	40	2	28	1

2号高炉取得过非常好的经济技术指标,但同时炉内煤气稳定性差的问题也始终困扰着2号高炉,“北尺深,有炉温”、“西南有火,关系松”等操作现象,从侧面反应出炉内煤气稳定性差。

2号高炉装料制度转变到档位布料 $\alpha J_{322121}^{876543}$ 之后,煤气分布稳定性增强,2号高炉布料档位见表2。第6点炉喉径向煤气波动指数小于25%,第5点炉喉径向波动指数小于15%,第1点、第2点煤气波动指数分别在5%、4%以内

(见图 2)。煤气利用率 49.5%, 炉内压差 0.17 MPa, 但料尺工作好, 炉内渣皮脱落较少。

表 2 2 号高炉布料档位

档位	1	2	3	4	5	6	7	8	9
角度/(°)	22	27.5	31.5	34.5	37.5	40.5	43	45.5	47.5

3.2 矮胖型高炉装料制度对煤气分布的影响

首钢 1 号、3 号高炉有效容积为 2 536 m<sup>3</sup>, 高径比为 1.98, 是典型的矮胖型高炉, 其炉喉直径为 8.2 m, 2 座高炉在装料制度方面极为类似。1 号和 3 号高炉装料制度见表 3。

表 3 1 号和 3 号高炉装料制度

高炉	矿石		焦炭	
	布料角度/(°)	布料圈数	布料角度/(°)	布料圈数
1 号高炉 (矿批 62 t、 焦炭负荷 5.50)	37	2	38	5
	35	2	36	2
	33	2	33	2
	31	2	30	2
	29	1	27	1
3 号高炉 (矿批 65 t、 焦炭负荷 5.30)	31	1	23	2
	37	1	38	5
	35	2	36	2
	33	2	33	2
	31	2	30	2
	29	2	27	1
	31	1	24	2

焦炭最大角度的布料位置在径向距中心 3.0 m 处, 利用最大角度布料位置处的 5 圈焦炭, 使最大角度布料位置与炉墙之间形成一定坡度, 但由于两者之间的径向距离较小, 炉墙处的深度较小; 在径向距中心 2.1 m 处, 焦炭开始形成中心漏斗, 中心漏斗深度由开始形成位置与炉喉中心距径向的距离决定。绝大部分矿石直接布在焦炭平台上, 依靠矿石的滚动, 实现矿石在焦炭料面的再分配, 10% ~ 20% 的矿石布在中心漏斗的斜坡上, 这部分矿石的滚动力度较直接布在焦炭平台的矿石要大, 随着炉料的下移, 料面逐步趋于平坦。

虽然将焦炭在最大布料角度位置布 5 圈不十分科学, 但在一定程度上弥补了焦炭布料角度偏小的问题。矿石实现了平铺, 但其平铺的范围集

中在 0.9 m 的宽度内, 虽然通过矿石的滚动实现了矿石在料面再分配, 但由于矿石滚动在径向经过的距离较长, 在炉料再分配过程中易产生分布不均匀的现象, 从而导致炉内圆周方向煤气不均匀分布。

从 1 号和 3 号高炉冶炼实践看, 2 座高炉都取得了较好的经济技术指标, 因此认为布料方式并不能完全决定炉内煤气分布是否合理以及高炉是否能够取得较好的经济技术指标, 但是其决定着高炉是否能够简单、有效的调整炉内煤气分布, 实现“打开中心、稳定边缘”与“稳定中心、照顾边缘”的调整目标, 使炉况保持顺稳, 避免因装料制度调整不到位而导致炉况波动。

4 3 号高炉调整装料制度的实例探讨

4.1 装料制度的实例分析

2009 年 5 月 5 日夜班, 3 号高炉炉况波动, 渣铁分离困难, 大幅度减少炉内焦炭负荷、加入集中焦, 炉前组织大量人员清理沟内积满的渣铁、争取尽早出铁。5 月 7 日白班后期, 炉况好转, 风口工作均匀、明亮, 炉温逐步升高, 炉渣流动能力增强。5 月 8 日夜班开始, 炉内随着风量水平的上升, 扩矿批, 并逐步提高焦炭负荷。现对 3 号高炉炉况恢复过程中的一套装料制度进行探讨, 其装料制度实例见表 4。

表 4 3 号高炉装料制度实例

矿石		焦炭	
布料角度/(°)	布料圈数	布料角度/(°)	布料圈数
28	3	37	6
31	5	35	2
33	3	32	2
		29	2
		25	1
		18	2

焦炭最大角度的布料位置在径向距中心 2.9 m 处, 在径向距中心 2.0 m 处, 焦炭开始形成漏斗, 在距炉喉中心半径 0.8 m 范围内, 形成中心焦炭堆台。73% 的矿石直接布在焦炭平台上, 依靠矿石的滚动, 实现矿石在焦炭料面的再分配, 但由于 27% 的矿石直接布在漏斗的斜坡之上, 再分配至炉喉径向 0.8 ~ 1.9 m 之间狭小的圆环面积

内,在此聚集了大量矿石,且随着矿批的增加,此处聚集的矿石量随之增加。依靠在最大布料角度位置 6 圈焦炭与炉墙之间形成坡度,矿石依靠滚动方式进入该区域,矿石直接分布的位置在径向距离中心 2.4 m 处,矿石需要较长距离的滚动才能到达炉墙位置,矿石滚动的距离越长,越易造成矿石在边缘环带分布不均,在加料间隙炉内易产生气流,从而使风压与风量波动、料尺工作变差。

因此,高炉对矿批增加的适应性不强,矿批增加后,中心矿焦比增加,影响中心的整体透气性能;另外,矿批增加后料速变慢,边缘环带矿焦比的不均匀易导致薄弱地带在加料间隙产生气流。两方面的影响导致炉内边缘煤气发展、中心煤气弱化,这从“顶温发散”、“料尺深浅不一”等现象可以得到证明。炉内煤气调整思路应该是随矿批

的增加,“打开中心、稳定边缘”调整的幅度参考 3 号高炉的煤气分布指数,与正常生产的煤气分布指数相比,炉况恢复期间的第 6 点、第 1 点煤气分布指数可以适当提高,但要保持一定得比例关系。

4.2 调整装料制度的探讨

根据 3 号高炉的装料设备情况、操作习惯,将 3 号高炉档位布料分为 9 档(见表 5),并确定分档角度。坚持装料制度的原则是:焦炭要形成稳固的边缘平台、适当深度的中心漏斗、取消中心加焦。装料制度  $\alpha J \overset{8765432}{3222211} \alpha K \overset{876543}{22221}$  在炉喉径向距中心 2.55 m 处开始形成中心漏斗,兼顾边缘平台宽度和中心漏斗的深度,且直接布至中心漏斗内的矿石量只有 9%,随着原燃料条件的变化,可以通过矿石圈数的调整达到微调煤气分布的效果。

表 5 高炉布料档位(理论计算)

档位	1	2	3	4	5	6	7	8	9
角度/(°)	16.3	24.9	29.4	33.0	35.9	38.6	41.1	43.4	45.5
落点/m	0.68	1.65	2.15	2.55	2.89	3.20	3.48	3.74	3.98

5 结语

(1)“打开中心、稳定边缘”与“稳定中心、照顾边缘”是根据炉内煤气分布的变化有针对性的利用装料制度调整煤气分布的过程,是一个动态的调整过程,而不仅仅是一个调整目标。

(2)清楚认识高炉煤气分布的变化,有必要建立煤气分布衡量标准,炉喉径向煤气分布指数与炉喉径向煤气波动指数是一种较好的衡量手段。

(3)按高炉布料档位实现多环布料是更直接、有效实现“打开中心、稳定边缘”与“稳定中

心、照顾边缘”煤气调整思路的基础。

(4)在科学分析的基础上,正确认识高炉煤气的实际分布状态,清楚判明高炉煤气的调整方向,对在生产中应用“打开中心、稳定边缘”与“稳定中心、照顾边缘”的调整思路至关重要,有助于稳定高炉炉况,实现高炉喷煤降焦的目标。目前首钢实现了焦比为 280 kg/t、煤比为 185 kg/t、利用系数为 2.5 t/(m<sup>3</sup>·d)的经济技术指标。

(编辑 贺英群)

收稿日期:2009-12-21

+++++

鞍钢节能减排达全国重点钢铁企业先进水平

目前,鞍钢除建成国内最大的烧结机烟气脱硫装置外,还先后完成了二发电厂 1 号机组烟气脱硫工程、一发电厂北区电站烟气脱硫工程等项目。至此,鞍钢吨钢综合能耗、吨钢新水消耗、万元产值能耗目标均达到了全国重点钢铁企业先进水平。

据了解,鞍钢去年全年组织协调规划立项和实施节能改造及专项治理项目 27 项,其中在建项目 5 项,竣工项目 18 项,调整或取消 4 项。

——摘自“中国钢铁技术网”