包钢 3# 高炉低风温冶炼实践*[1]

丁 坤, 宋德夫, 齐立山, 方永辉, 郝永强

(内蒙古包钢钢联股份有限公司炼铁厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 包钢炼铁厂 3# 高炉低风温操作实践总结, 通过采取合理的操作制度、合适的理论燃烧温度、标准化操作等措施, 实现了高炉长时间的稳定顺行和主要技术经济指标的进步。

关键词: 风温; 理论燃烧温度; 煤比; 高炉

中图分类号: TF538.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2019)01 - 0024 - 04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.01.007

Smelting Practices for 3# Blast Furnace of Baotou Steel with Low Blast Temperature

Ding Kun, Song De - fu, Qi Li - shan, Fang Yong - hui, Hao Yong - qiang

(*Iron - making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, the operation practices for 3# blast furnace of Baotou Steel with low blast temperature is summarized. The long - term trouble - free operations of blast furnace and improvement of main technological and economic indicators are achieved through such measures as the reasonable operation system, proper theoretical combustion temperature and standard operations.

Key words: blast temperature; theoretical combustion temperature; coal ratio; blast furnace

包钢 3# 高炉 2015 年 10 月 17 日停炉检修。公司根据市场需求和生产组织情况, 安排 2017 年 1 月开始检修。历经半年的时间, 于 2017 年 6 月 28 日投入使用, 有效容积 2 200 m^3, 采用并罐式无料钟炉顶, 使用包钢自主研究的旋转溜槽布料器, 皮带上料, 包钢 3# 高炉热风炉原为传统考贝内燃式, 1993 年大修改为新日铁式外燃式热风炉, 此次中修前从未停炉检修过, 蓄热室格子砖堵塞, 蓄热能力差, 4 座热风炉蓄热室虽更换了上部 10 层硅砖, 送风后效果不好, 三座热风炉送风仅仅能维持 882 ℃的风温。

1 概况

由于风温低, 理论燃烧温度仅 2 030 ℃左右, 造成煤粉置换比和燃烧效率降低, 煤粉量达到一定程度后, 高炉内会出现大量的未燃煤粉, 炉料的透气性恶化, 渣铁流动性降低。严重的会造成炉缸堆积, 影响高炉稳定顺行。风温低, 造成实际鼓风速度降低, 回旋区缩小, 中心不易吹透, 炉内冶炼的进程改变, 软融带上移, 间接还原区域减小, 煤气利用差, 燃料比高, 顶温高, 影响炉顶设备的使用寿命。

通过优化操作制度、加强原燃料管理、执行标准

* 收稿日期: 2018 - 05 - 30

作者简介: 丁 坤(1986 -), 男, 山东省青岛市人, 助理工程师, 现从事炼铁操作技术工作。

化作业等措施有效的改善了风温低带来的不利影响。3#高炉在风温 913 ℃情况下，煤比到达149 kg/t，燃料比逐步下降，产量达到 5 008 t/d，利用系数达到 2.28 t/(m³·d)，具体经济指标见表 1。顶温得到了有效的控制，渣铁流动性良好，炉缸活跃，10 月至今未发生一次悬料管道，实现了高炉稳定顺行。

表 1　开炉以来的主要经济技术指标

日期	产量 /(t·d⁻¹)	利用系数 /(t·m⁻³·d⁻¹)	燃料比 /(kg·t⁻¹)	焦比 /(kg·t⁻¹)	煤比 /(kg·t⁻¹)	风温 /℃	炉温稳定率 /%
2017 年 7 月	4 776	2.17	632	507	125	882	76.00
2017 年 8 月	4 841	2.20	608	494	114	891	81.69
2017 年 9 月	4 563	2.07	639	507	132	908	86.84
2017 年 10 月	4 858	2.21	653	510	143	915	91.53
2017 年 11 月	4 893	2.22	626	488	138	907	92.13
2017 年 12 月	5 008	2.28	636	487	149	913	94.64
2018 年 1 月	4 846	2.20	628	482	146	984	92.20
2018 年 2 月	4 828	2.19	629	485	144	1 025	91.80
2018 年 3 月	5 147	2.34	601	471	130	1 010	98.53
2018 年 4 月	5 204	2.37	597	458	139	1 008	92.00
2018 年 5 月	5 192	2.36	595	450	145	1 030	96.00

2　优化操作制度

2.1　装料制度的调整

(1) 停炉前采取发展中心与边缘两股气流，优点是炉子抗波动能力强，操控性好。缺点是由于包钢原燃料 Zn、碱负荷偏高，Zn 负荷 1.07 kg/t，碱负荷 5.13 kg/t，而行业规定标准为：Zn 负荷 ≤ 0.15 kg/t，碱负荷 ≤3 kg/t，Zn、碱负荷高的原燃料易造成高炉上部结厚甚至结瘤，缩短高炉顺行周期，甚至降低高炉寿命，较强的边缘气流易造成炉墙粘结甚至结瘤，对顺行不利。同时较强的边缘气流易损坏冷却设备，降低高炉寿命。相对发展中心与边缘两股气流不利于煤气利用的提高，造成燃料消耗增加，产量降低。

本次大修开炉后，采用适当抑制边缘和开放中心的装料制度，布料矩阵调整的原则是逐渐增大布料角度，焦炭外跨 0.5°和中心加焦，通过增大布料角度，逐步搭建外环料层的平台，同时抑制了边缘气流，由于焦炭外跨 0.5°保证边缘有一定的焦炭量，又保证了边缘不至于过重，中心加焦保持中心气流合适稳定，达到活跃炉缸的目的。

同时采用适当抑制边缘和开放中心的装料制度降低了 Zn、碱负荷高时在炉身中上部的循环富集效应，抑制其对操作炉型的破坏，也可提高煤气利用。通过调整，3#高炉煤气利用由开炉初期的 38% 提高到目前的 44% 左右，燃料比由开炉初期的 632 kg/t 降低到目前的 590 kg/t 左右。当原燃料变差时，坚持焦炭平台稳定的原则，通过调整边缘矿焦比例，适当疏松边缘气流，配合调整布料档位，适当调整平台的宽窄，控制两股气流的稳定，保证高炉长期的稳定顺行，在顺行的基础上降低燃料消耗。

高炉装料制度调整的大体过程与方向如下：

$$C=\begin{matrix}42.5^\circ & 40.5^\circ & 38.5^\circ & 36.5^\circ & 34^\circ & 31^\circ & 22^\circ\\ 3 & 3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2\end{matrix};$$

$$O=\begin{matrix}40.5^\circ & 38.5^\circ & 36.5^\circ & 34^\circ\\ 2 & 3 & 2 & 2\end{matrix};$$

$$C=\begin{matrix}42.5^\circ & 40.5^\circ & 38.5^\circ & 36.5^\circ & 34.5^\circ & 31^\circ & 22^\circ\\ 3 & 3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2\end{matrix};$$

$$O=\begin{matrix}41.5^\circ & 40.5^\circ & 38.5^\circ & 36.5^\circ & 34^\circ\\ 1 & 2 & 3 & 3 & 2\end{matrix};$$

$$C=\begin{matrix}43^\circ & 41.5^\circ & 39.5^\circ & 37.5^\circ & 35^\circ & 22^\circ\\ 3 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2\end{matrix};$$

$$O=\begin{matrix}42.5^\circ & 41.5^\circ & 39.5^\circ & 37.5^\circ & 35^\circ\\ 2 & 3 & 2 & 2 & 2\end{matrix};$$

$$C=\begin{matrix}43^\circ & 41.5^\circ & 39.5^\circ & 37^\circ & 34.5^\circ & 18^\circ\\ 3 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2\end{matrix};$$

$$O=\begin{matrix}43^\circ & 41.5^\circ & 39.5^\circ & 37^\circ & 34.5^\circ\\ 3 & 2 & 2 & 2 & 3\end{matrix}$$

(2) 停炉前受上料能力及料罐容积的限制，加上传统观念的束缚，认为矿石批重越大气流阻力越大，不利于高炉顺行，停炉前最大矿石批重仅为43.5 t/批。

本次大修改为皮带上料，解决了上料能力不足的问题，利于高炉的强化冶炼，同时将料罐高度增加了1 m，容积由27 m^3 增加至36 m^3，料罐最大可承受矿石批重61 t/批，大修开炉后矿批的使用也是打破传统观念的束缚，批重最大用到60 t/批。调整过程见表2。通过适当增加矿石批重，料层厚度随之增加，软熔带每层焦窗面积增大，原则是保证炉腰处焦层厚度不小于200 mm，这是开炉后一很大的观念转变。焦—矿界面效应减小，炉料的层状结构保持的更好，高炉透气性得到改善[1]。扩大矿石批重前边缘气流不稳定，分叉，东北点温度高出其他方向温度100 ℃，矿石布到中心的量少，中心区域过大，煤气利用低，顶温高达285 ℃，频繁的开炉顶打水。扩大矿石批重后煤气流分布更加均匀稳定，边缘温度分叉现象逐渐消失，见图1。中心温度得到控制，保证中心气流的集中，料层软熔带气窗增大，料柱界面效应减小，高炉料柱透气性改善，炉况抗波动能力提高，同时炉顶温度得到了有效的控制，由285 ℃降低到200 ℃，炉顶打水量由班均60 t到逐步取消，炉顶设备使用寿命延长。

表2 3#高炉开炉后批重调整过程

调整日期	矿批/t	焦批(焦炭+焦丁)/t	焦炭负荷
开炉	46.5	15.5	3.00
2017年7月2日	48.1	15.8	3.04
2017年9月18日	49.2	15.6	3.15
2017年10月4日	50.2	16.3	3.08
2017年10月14日	51.2	16.5	3.10
2017年10月19日	53.0	17.0	3.12
2017年10月25日	55.0	17.3	3.18
2017年11月15日	56.8	17.3	3.28
2017年11月27日	58.0	17.6	3.30
2017年12月6日	59.0	18.2	3.24
2018年4月10日	60.0	17.5	3.43
2018年6月15日	58.0	16.1	3.60

(3) 提高炉顶压力，控制合适的煤气流速，改善顺行和降低消耗。提高炉顶压力可进一步稳定了气流，降低了煤气流速和炉尘的吹出量，利于间接还原的改善，提高煤气利用率，降低了燃料比，同时炉顶压力提高使高炉煤气体积得到压缩，降低了高炉下部压差，一定条件下允许加大风量，进而提高冶炼强度增加产量，高炉的稳定顺行周期也得到有效的延长，3#高炉中修前炉顶压力控制在165～168 kPa，压差控制在165～170 kPa，下料不好，两尺偏差大、时有滑尺、崩料现象，顺行周期短。中修后，随着开炉时间的推移，炉况和原燃料质量的稳定，冶炼强度的逐步提高，顶压也逐渐上调，目前顶压已加到188 kPa，压差控制在160～165 kPa，两尺偏差减小，下料无滑尺、崩料现象，下料明显好转，开炉自10月份至今未发生管道、崩料、悬料现象。计划2018年中下旬炉顶压力逐步提高到190 kPa。

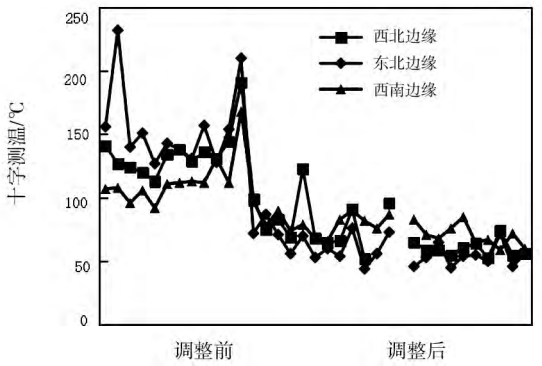


图1 调整前后十字测温边缘温度的变化

2.2 选择合适的热制度

包钢含氟炉渣，矿石软化温度低，流动性能好，大量FeO流入炉缸进行直接还原，所以 $w[Si]$ 要比普通矿冶炼高些。如 $w[Si]$ 太低，由于热量不足而造成炉缸堆积，过高对排碱不利，且石墨碳析出多，也会造成炉缸堆积[2]。规定 $w[Si]$ 控制在0.50%～0.70%，物理温度控制在1 480～1 510 ℃，3#高炉开炉至今，炉温稳定率达到92.77%，炉缸温度充足，高炉抗波动的能力增强。

控制合适的炉渣碱度，3#高炉控制二元碱度1.03～1.06，可有效的降低炉渣粘度，改善未燃粉末增多、渣铁流动性向差对高炉冶炼的影响，同时可达到活跃炉缸，确保炉缸热量充沛，增强炉况抗波动能力，为高炉的稳定顺行打下基础。

2.3 渣铁排放制度

炉前作业直接影响高炉生产的稳定顺行，如不能及时出净渣铁，炉缸中液态渣铁面升高后恶化炉

缸料柱的透气性，会引起高炉风压升高，甚至导致顶压冒尖或悬料等异常炉况发生，铁口维护不好，会出现断铁口、漏铁口、打泥压力低或打不进泥等情况，造成铁口浅、出铁时间短、出不净渣铁，破坏炉前作业的正常，恶化炉况。

因此对渣铁排放做如下要求:

(1) 铁口状态管理。要求精心处理铁口，稳定打泥量、杜绝冒泥、潮铁口作业，维持合适的铁口深度 2.8 ~ 3.0 m，力求一次开铁口率达到 80%，保持孔道的直线度，避免过多的烧铁口，对铁口孔道、泥包造成危害，维护好铁口泥套，减少堵铁口冒泥，避免大吹铁口和不吹堵口，及时出尽渣铁。

(2) 出渣铁状态管理。确定合适的铁水流速及出铁次数，保证高炉的出铁速度大于高炉内铁水的生成速度，确保高炉风压平稳、透气性良好。出铁速度 = 现阶段日产量 t/1 440 min = 5 000 t/1 440 min = 3.5 t/min，出铁次数 = 现阶段日产量 × 出铁量波动系数/炉缸安全容铁量 = 5 000 × 1.2/446 = 14 次，根据合适的铁水流速和全天出铁次数安排铁间间隔，同时根据铁口状态和出渣铁情况，适当的调整铁间间隔，必要时重叠出铁，保证及时出净渣铁，保证高炉的稳定顺行。

2.4　控制合适的理论燃烧温度

理论燃烧温度过低，煤粉燃烧不好，易造成炉凉及炉缸不活，理论燃烧温度过高，高炉下部压差高，下料不顺畅，对高炉顺行不利。理论燃烧温度控制原则不低于 2 050 ℃，不高于 2 250 ℃，见图 2。3# 高炉停炉前，理论燃烧温度控制过高，基本维持在 2 300 ℃左右，造成下部压差高，下料不顺畅，顺行周期短。3# 高炉大修开炉后严格控制理论燃烧温度 (2 150 ± 50) ℃。由于热风炉在大修期间未进行彻底改造，仍存在格子砖堵塞现象，造成热风炉开炉后风温能力不足。最终公司决定逐个更换格子砖工作。造成开炉后仅 3 座热风炉工作，采取 2 烧 1 送的送风方式，风温仅 880 ℃，导致理论燃烧温度不足。因此 3# 高炉为控制合适的理论燃烧温度，同时兼顾燃料成本，选择煤比稳定在 140 ~ 150 kg/t，通过控制合适的综合负荷，同时通过调节富氧量来控制理论燃烧温度，富氧率由 1.91% 提高到 3.10%，理论燃烧温度由 2 027 ℃提高到2 150 ℃，并保持稳定的水平。既保证了煤粉的充分燃烧，又有效的控制了下部压差，利于高炉的长期稳定顺行。

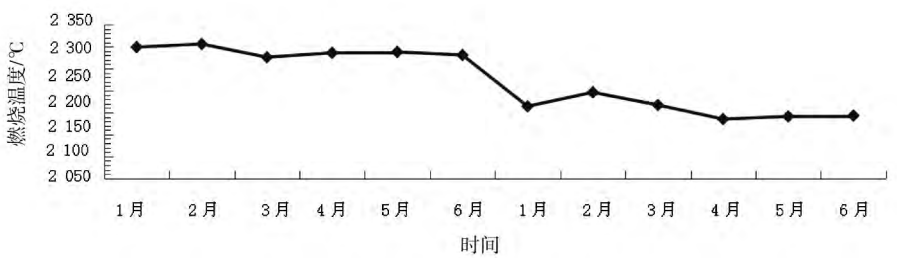


图 2　2015—2018 年停炉前后理论燃烧温度对比

3　加强原燃料管理

加强原燃料筛分管理，减小给料机闸口，尽量筛除入炉粉末，保证 < 5 mm 粉末不大于 3.5%。实行半仓装料，要求槽存不低于 50%。槽下按时清理筛网，加强入炉粒度组成筛分自查。准确及时调整称值在误差范围内，保证上料的准确性，每 15 天校称一次，并做好记录。原燃料成分及性能的变化及时告知高炉，为高炉尽早提供信息，有效的应对原燃料质量波动带来的影响。通过以上措施，可有效的改善高炉上部的透气性，降低未燃煤粉对料柱透气性的影响，提高煤气利用率，降低燃料消耗，保证高炉的稳定顺行。

4　加强设备管理降低休风率

提高设备维护质量，加强设备点检，保证设备运行安全，降低高炉休风率。加强喷吹系统的巡视，调整好枪位，减轻对风口的冲刷，减少风口漏水，配管工监护好风口各套工作状况，确保半小时巡检一次，发现异常及时处理。上料系统设置定时巡检仪器，保证一班检查上料系统 3 次，避免上料系统耽误，造成高炉低料线甚至休减风。炉前水渣设置专业的机械点检，加强对水渣系统的管理，定期对其检修，减

(下转第 36 页)

参 考 文 献

[1] 李培静. 钢铁企业能耗分析评价与预测[D]. 沈阳: 东北大学,2012.

[2] 郭同来. 高炉喷吹焦炉煤气低碳炼铁新工艺基础研究[D]. 沈阳: 东北大学,2015.

[3] 方觉. 非高炉炼铁工艺与理论[M]. 北京: 冶金工业出版社,2002.

[4] 沙永志. 高炉喷吹焦炉煤气[A]. 第七届(2009)中国钢铁年会论文集[C]. 北京: 中国金属学会,2009.

[5] 胡俊鸽,周文涛,郭艳玲,等. 世界高炉喷吹焦炉煤气技术的研究进展[N]. 中国冶金报,2011-11-15(C02).

[6] 佚名. 鞍钢九高炉喷吹焦炉煤气[J]. 钢铁,1966,(3):64-65.

[7] 高建军,郭培民. 高炉富氧喷吹焦炉煤气对CO_2减排规律研究[J]. 钢铁钒钛,2010,31(3):1-5.

[8] 饶昌润,毕学工,田志兵,等. 高炉喷吹焦炉煤气降焦效果的数值分析[J]. 炼铁,2011,30(4):52-55.

[9] 李昊堃,刘克明,沙永志. 高炉喷吹焦炉煤气热平衡规律研究[J]. 钢铁钒钛,2011,32(1):1-5.

[10] 陈永星,王广伟,张建良,等. 高炉富氧喷吹焦炉煤气理论研究明[J]. 钢铁,2012,47(2):12-16.

[11] 唐钰,储满生,毕传光,等. 梅钢2#高炉喷吹焦炉煤气风口回旋区的数值模拟[A]. 第十一届中国钢铁年会论文集[C]. 北京: 中国金属学会,2017.

[12] 郭同来,柳政根,储满生. 高炉喷吹焦炉煤气风口回旋区的数学模拟[J]. 东北大学学报(自然科学版),2012,33(7):987-991.

[13] 李永超,白国成,高欣波,等. 承钢6#高炉喷吹焦炉煤气试验浅析[A]. 2012年全国炼铁生产技术会议暨炼铁学术年会文集(下)[C]. 无锡: 中国金属学会,2012.

[14] 王月秋,赵冬云,刘颖. 鞍钢鲅鱼圈高炉喷吹焦炉煤气技术[A]. 第九届中国钢铁年会论文集[C]. 北京: 中国金属学会,2013.

(上接第27页)

少炉前和水渣设备故障对高炉出渣排铁工作的影响。

5 严格执行标准化作业

根据每日炉况的变化,制定当天合理的操作方针,设定具体的工艺操作参数的控制范围,统一四班高炉工长的操作思想,保证炉温、料批、碱度、气流的稳定。同时可指导高炉工长,细化操作,提高高炉工长的操作水平和特殊炉况的处理能力。避免了高炉工长误操作对高炉冶炼的影响,延长了高炉的稳定周期,保证高炉长期的稳定顺行。

6 结论

(1) 通过调整装料制度,适当抑制边缘,保持煤气流稳定并开放中心气流,同时配合上批重,解决了未燃煤粉多,料柱透气性恶化及风温低,实际鼓风速度降低,回旋区缩小,中心不易吹透,造成冶炼进程改变对高炉冶炼的影响,达到活跃炉缸的目的,为低风温高煤比提供条件,同时也能改善煤气利用降低燃料比,控制炉顶温度。

(2) 控制合适的炉温,相对较低的炉渣碱度,可改善渣铁流动性,保证炉缸活跃,增强高炉抗波动能力。

(3) 控制稳定合适的煤比、提高富氧量可有效的提高理论燃烧温度,可提高煤粉的置换比和燃烧效率,减少未燃煤粉数量。

(4) 提高炉顶压力,可降低炉内煤气流速,利于间接还原,提高煤气利用率,降低燃料消耗,同时稳定气流,降低高炉下部压差,利于高炉的长期稳定顺行。

(5) 通过加强原燃料质量管理,可改善高炉上部透气性,降低上部压差,减少未燃煤粉对炉况的影响。针对原燃料变化,可以提前做出应对方案,以有效的应对原燃料质量波动带来的影响,保证高炉长期稳定顺行。

参 考 文 献

[1] 周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M]. 北京: 冶金工业出版社,2002.

[2] 王筱留. 高炉生产知识问答[M]. 北京: 冶金工业出版社,2011.