包钢4 150m^{3}高炉两段式喷煤生产实践*

白文广[1],杨 帆[1],高东辉[2],张国成[1],李玉柱[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢金属制造有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 两段式喷煤技术具有改善高炉料柱透气性、保护炉内焦炭内部组织结构、增加煤粉使用量、强化高炉冶炼强度等特点。该工艺在包钢4 150 m^{3}高炉进行了为期一个半月的工业试验,通过对高炉重要参数、风口焦炭显微结构、风口焦炭转鼓强度的系统研究,结果表明:使用两段式喷煤工艺可有效改善高炉技术经济指标,抑制焦炭在炉内的劣化。

关键词: 两段式喷煤; 焦比; 煤比
中图分类号: TF538.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)06-0018-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.06.006

Production Practices of Bi-PCI for 4 150 m^3 Blast Furnace of Baotou Steel

Bai Wen-guang[1], *Yang Fan*[1], *Gao Dong-hui*[2], *Zhang Guo-cheng*[1], *Li Yu-zhu*[1]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Baotou Steel Metal Manufacturing Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The Bi-PCI technology is with such characteristics as improving the air permeability of stock column for blast furnace, protecting the internal organizational structure of coke in furnace, increasing the usage amount of pulverized coal and enhancing the smelting strength of blast furnace. The industrial test of the process has been carried out for 4 150 m^3 blast furnace of Baotou Steel for one and a half months. The results of systematic study on important parameters of blast furnace, microstructure and drum strength of coke at tuyere showed that the technical and economic indicator of blast furnace could be effectively improved as well as the deterioration of coke in furnace could be restrained with the Bi-PCI process.

Key words: Bi-PCI; coke ratio; PCI ratio

高炉喷吹煤粉工艺是降低炼铁生产成本和充分利用资源的有效手段[1],随着企业成本竞争的加剧,高炉为降低焦炭消耗,充分发挥煤粉的替代作用,高煤比生产已成为当前高炉的普遍现象。但是随着喷吹量的增加,部分煤粉在回旋区内不能充分燃烧,形成未燃煤粉,严重时会导致高炉炉缸局部堆

* 收稿日期:2020-08-20
作者简介:白文广(1973-),男,内蒙古丰镇市人,高级工程师,现从事炼铁工艺研究工作。

积，料柱透气性变差，煤气流分布失常[2]，进一步恶化会出现操作炉型的整体变化，造成炉况失常。为了突破传统工艺限制，消除上述影响，包钢与东北大学在两段式喷煤工艺技术上展开全方位合作，并将研究成果成功应用于包钢 4 150 m³ 高炉，实现了高炉技术经济指标的提升。

1　两段式喷煤的工艺简介

两段式喷煤即在高炉软熔带上部、炉身下部设置新的喷吹口，与风口同时喷吹煤粉，由于煤粉分两段入炉，故而该工艺被称为两段式煤粉喷煤工艺[3]。该工艺在工业实施的过程中，要注重对第二段喷煤装置位置的把控，如果设置在高炉高度较低的位置，则离风口太近不能有效地降低风口回旋区附近的未燃煤粉量和改善高炉内未燃煤粉的分布；如果设置在高炉较高的位置，则会靠近散料区，高炉内温度较低，不利于第二段喷入的煤粉参与高炉内的反应，相应地增加了高炉煤气中的煤粉量，造成散料区的透气性下降。因此，将喷吹位置设置在软熔带上方的炉身下部或炉腰部分较为合理，如图 1 所示。

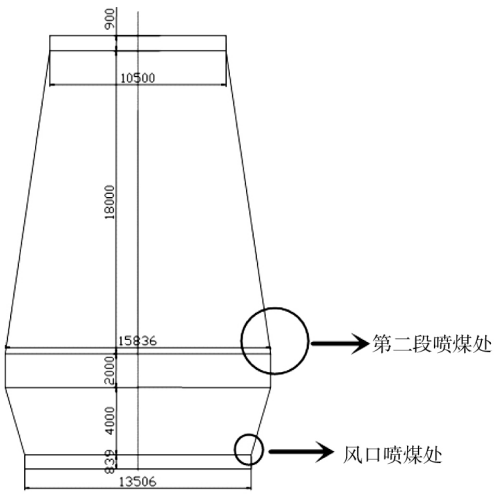


图 1　两段式喷煤工艺示意图

2　工业试验

包钢 4 150 m³ 高炉在修建时已预留了煤粉的炉身喷吹口，这为两段式喷煤工艺的开展奠定了较好的基础。基于此，在炉身第二段喷吹设备正常、计量准确、炉况稳定顺行、原燃料质量稳定、煤粉成分稳定的条件下，包钢 4 150 m³ 高炉开展了 3 期工业试验，其中试验期 1 周期较短，为期 1 周时间，试验期 2 和试验期 3 总计 5 周时间。

(1) 试验期 1，周期 7 天。主要为了考察两段式煤粉喷吹对高炉顺行的影响。炉身喷吹煤比控制在约 4 kg/t，对试验期间的风量、透气性、炉顶煤气温度和成分以及主要技术经济指标进行对比。

(2) 试验期 2，周期 17 天。适当提高炉身喷煤比，考察增加喷煤量后对高炉指标的影响。此阶段炉身喷吹煤比控制在 6 kg/t 以上，稳定达 10 天以上。

(3) 试验期 3，周期 18 天。探索包钢最适宜的炉身喷煤比及其对应的技术经济指标。通过对试验期 1和试验期 2 的比较进而确定试验期 3 的喷煤量。对试验期间的风量、透气性、炉顶煤气温度及主要技术经济指标进行对比。同时，利用试验期间的休风时间，取不同风口的风口焦(炉身喷枪下方正对风口和上方没有炉身喷枪的风口)，对比风口焦的显微结构和转鼓强度。

2.1　试验过程高炉指标变化

本次试验由于设备调试、技术优化等因素影响，试验期 1 与试验期 2、3 的开展间隔较长时间，为了保证数据分析的可靠性，基准期以试验前的10～20 天均值为准，生产参数变化如表 1、表 2 所示。

表 1　试验期 1 高炉部分生产参数对比

指标	基准期 1 (12 天)	试验期 1	差值
炉身小时喷煤量/(t·h⁻¹)	0	1.5	1.5
炉身喷煤比/(kg·t⁻¹)	0	4	4
喷煤量/(t·h⁻¹)	56.0	50.1	-5.9
炉身下部热负荷/(MJ·h⁻¹)	34 210	35 480	1 270
风量/(m³·min⁻¹)	6 530	6 531	1
热风压力/MPa	0.439	0.443	0.004
压差/MPa	0.205	0.209	0.004
K 值	2.79	2.93	0.14
炉顶温度/℃	245	232	-13
焦比/(kg·t⁻¹)	375	379	4
煤比/(kg·t⁻¹)	146	129	-17
燃料比/(kg·t⁻¹)	558	547	-11
平均日产量/t	9 036	9 183	147

由表1可知，第二段炉身喷煤使用量在1.5 t/h时，高炉风压、风量关系变化并不明显，总喷吹量呈下降趋势，产量较基准期提高147 t/d，燃料比下降11 kg/t，主要受煤比下降导致。虽然试验期1时间较短，但经济指标总体向好的趋势发展，这也为后续调整指明了方向。

由表2可以看出：

(1) 在试验期2炉身小时喷煤量由1.5 t/h提高到了2.5 t/h，从指标上分析总体呈现下降趋势，产量下降149 t/d，燃料比与基准期持平，主要指标不及试验期1，从炉况稳定性、指标经济性角度考虑，在试验期3将炉身小时喷煤量调整回至1.5 t/h。

(2) 试验期3高炉稳定顺行，风压、风量关系宽松，技术经济指标进步显著，其中产量较基准期升高234 t/d，焦比下降17 kg/t，燃料比下降15 kg/t，煤气利用率升高0.6个百分点，喷煤量基本可以稳定在50 t/h以上。

表2 试验期2、3高炉部分生产参数对比

指标	基准期2(20天)	试验期2	试验期2与基准期2的差值	试验期3	试验期3与基准期2的差值
炉身小时喷煤量/(t·h^{-1})	0	2.5	2.5	1.5	1.5
炉身喷煤比/(kg·t^{-1})	0	6.6	6.6	4	4
喷煤量/(t·h^{-1})	48.6	50.5	1.9	50.3	1.7
炉身下部热负荷/(MJ·h^{-1})	40 670	38 600	-2 070	39 590	-1 080
风量/(m^3·min^{-1})	6 404	6 292	-112	6 455	51
热风压力/MPa	0.442	0.437	-0.005	0.438	-0.004
压差/MPa	0.209	0.207	-0.002	0.208	-0.001
K值	3.12	3.22	0.1	3.13	0.01
炉顶温度/℃	243	240	-3	238	-5
煤气利用率/%	40.8	41.1	0.3	41.4	0.6
焦比/(kg·t^{-1})	389	384	-5	372	-17
燃料比/(kg·t^{-1})	564	564	0	549	-15
煤比/(kg·t^{-1})	135	142	7	137	2
平均日产量/t	8 574	8 425	-149	8 808	234

2.2 试验过程风口焦炭指标变化

抑制焦炭在高炉内的强度劣化是两段式喷吹煤粉工艺的基本要点。高炉内的机械摩擦损耗是焦炭强度下降的原因之一，但导致高炉内焦炭强度下降的主要因素是高炉内焦炭参与碳的气化反应，焦炭内部显微组织结构遭到严重破坏，致使强度劣化。在采用了两段式喷煤技术后，对试验期3的风口焦炭的主要性能进行了分析，包括焦炭的显微结构分析，焦炭的转鼓强度分析。

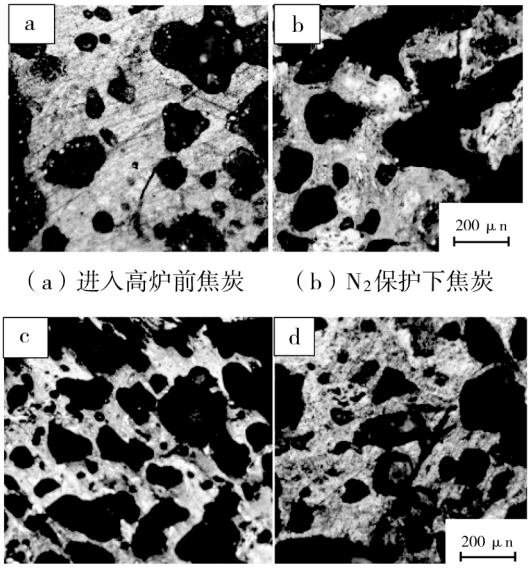
2.2.1 焦炭显微结构

在研究过程中，对进入高炉前焦炭和风口前焦炭进行了显微结构分析，在图2中，(a)是进入高炉前焦炭的显微照片，(b)是N_2保护下将焦炭加热到1 100 ℃冷却后的显微照片，(c)是无第二段喷煤时风口焦的显微照片，(d)是有第二段喷煤时风口焦的显微照片。

对比分析4张照片可以看出，进入高炉前焦炭或未参加碳的气化反应(N_2保护)的焦炭具有致密的显微结构，而参加碳的气化反应的焦炭内部致密结构明显被破坏，从而使得焦炭强度明显劣化。图2(c)与(d)在高炉内所处的温度和气氛等反应条件相同，由于后者与未燃煤粉共存，其焦炭内部的显微结构虽然不及进入高炉前焦炭，但远好于前者。

可见，由于高炉炉身下部至软熔带上部区域是

焦炭参与气化反应使焦炭强度下降的主要区域，第二段喷枪喷入的未燃煤粉可以有效地代替该区域焦炭参与碳的气化反应，使焦炭的反应量减少，从而保护焦炭的组织结构和显微强度，所以说两段式喷吹煤粉工艺具有抑制焦炭强度劣化的作用。



（a）进入高炉前焦炭　（b）N_2保护下焦炭

（c）正常喷煤下风口焦　（d）二段喷煤下风口焦

图 2　焦炭显微照片

2.2.2　焦炭转鼓强度

在对显微结构进行了对比分析后，为了进一步验证两段式喷煤工艺对焦炭的保护作用，分别对进入高炉前焦炭、正常风口焦炭、两段式喷煤下风口焦炭的转鼓强度 *DI* 进行了测定。本转鼓强度 *DI* 定义为：将随机抽取的试样破碎成 20 ~ 25 mm 的颗粒，取 200 g 试样装入内径 Φ130 mm，长 700 mm 的 I 型转鼓内，以 20 r/min 的转速，转动 30 min，而后用 10 mm标准筛进行筛分，最终大于 10 mm 的筛上试样质量占装入转鼓的试样总质量的百分比，计为试样的转鼓强度 *DI*。试验结果见表 3。

表 3　焦炭转鼓强度检测结果

焦炭种类	m_0/g	m_{+10}/g	*DI*/%
进入高炉前焦炭	200.4	171.0	85.33
正常风口焦	200.4	159.6	79.64
两段喷煤下风口焦	200.4	159.9	81.75

注：m_0 表示装入转鼓焦炭总质量，m_{+10} 表示大于 10 mm 的焦炭质量，*DI* 表示焦炭转鼓强度。

由表 3 可以看出，进入高炉前焦炭由于没有经历高炉内的溶损反应，其转鼓强度最高。有两段喷煤时，煤粉代替焦炭参与了部分碳溶损反应，较好的保护了焦炭强度，*DI* 高于正常风口焦炭 2.11 个百分点。

3　结论

（1）高炉炉身下部至软熔带上部区域是焦炭参与气化反应使焦炭强度下降的主要区域，第二段喷枪喷入的未燃煤粉可以有效地代替该区域焦炭参与碳的气化反应，使焦炭的反应量减少，从而保护焦炭的组织结构，试验测得有第二段喷煤工艺时的焦炭转鼓强度 *DI* 高于正常喷煤工艺风口焦炭 2.11 个百分点。

（2）工业试验过程中要注重对炉身小时喷煤量的把控，第二段喷煤量为 1.5 t/h 时效果最好，其中试验期 3 产量较基准期升高 234 t/d，焦比下降 17 kg/t，燃料比下降 15 kg/t，煤气利用率升高0.6 个百分点，喷煤量基本可以稳定在 50 t/h 以上。

参　考　文　献

[1] 徐万任，李荣王，钱晖. 宝钢高炉大量喷煤时煤粉在炉内的利用状况 [J]. 钢铁，2000，35(5)：5 - 9.

[2] 沈峰满，杨文光，姜鑫，等. 两段式喷吹煤粉工艺的实践研究 [J]. 钢铁，2009，44(5)：6 - 10.

[3] 沈岩松，朱蒙，沈峰满. 高炉喷煤新技术——两段式喷煤工艺 [J]. 材料与冶金学报，2002，(2)：124 - 127.