# 包钢3#高炉使用顶装焦生产冶炼实践*

杨 帆[1],郑占斌[2],王 淳[2],丁 坤[2],田 凯[2]

(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. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼铁厂,内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 文章以炼铁厂炼铁一部3#高炉使用顶装焦替换捣固焦为契机,对3#高炉上下部调剂进行了系统总结,重点分析了入炉燃料改善时,高炉炉况的变化。

**关键词:** 高炉; 焦炭质量改善; 调剂措施
**中图分类号:** TF543.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)03-0027-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.03.007

# Smelting Practices of Production with Top Charging Coke for 3# Blast Furnace of Baotou Steel

*Yang Fan*[1], *Zheng Zhan-bin*[2], *Wang Chun*[2], *Ding Kun*[2], *Tian Kai*[2]

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

**Abstract:** In this paper, it is systematically summarized the adjustment of upper and lower 3# blast furnace as well as emphatically analyzed the changes of furnace condition when the fuel in furnace is improved by taking replacing tamping coke with top charging coke for 3# blast furnace in 1# Iron-making Workshop of Iron-making Plant as an opportunity.

**Key words:** blast furnace; coke quality improvement; adjustment measures

包钢现有焦炉14座,在产12座,大修2座,其中10座焦炉生产顶装焦,4座焦炉生产捣固焦。受顶装焦产能有限和5#—6#焦炉大修等因素影响,包钢7座高炉并不能同时使用顶装焦。为平衡公司焦炭,保证高炉正常生产,包钢庆华生产的捣固焦炭由炼铁厂炼铁一部3座高炉长期使用。按照检修计划安排,7#高炉于9月16日焖炉项修15天,富余出的新体系顶装焦将倒运至炼铁厂供3#高炉使用。在9月18日新体系焦炭倒运至3#高炉,后分步替换,19日新体系焦炭比例增加至1/3,20日增加至2/3,21日完成捣固焦到顶装焦的全部替换,该焦炭使用至9月30日,共计12天。期间高炉可操控性向好,壁体温度趋稳,渣皮脱落次数减少,风量稳中升高,两股气流合适,炉缸活跃性改善明显,同时结合上下部的积极调整,高炉增产263.4 t/d,燃料比降低26 kg/t。

## 1 捣固焦与新体系顶装焦的对比

### 1.1 工艺及性能对比

现代炼焦工艺包含洗煤、配煤、炼焦和成品四道工序,配合煤在进入焦炉后经过干燥、热解、熔融、固

* 收稿日期:2019-12-04
作者简介:杨 帆(1989-),男,内蒙古乌海市人,助理工程师,现从事炼铁工艺研究工作。

化、形成半焦、收缩后最终形成焦炭。包钢高炉目前所使用的焦炭共分为两种: 一种是煤焦化分公司生产的顶装焦,另一种是包钢庆华生产的捣固焦( 西区焦炭) 。

顶装炼焦法由焦炉顶部装煤孔装入配合煤,经炭化室干馏后成焦,包钢生产的顶装焦配煤结构以焦煤、肥煤、1/3 焦煤为主。采用干法熄焦,即在密闭的系统中用循环使用惰性气体将红焦冷却,温度约1 000 ℃的红焦在干熄炉的冷却室内与循环风机鼓入的冷惰性气体进行热交换,吸收了红焦显热的惰性循环气体温度上升到800~900 ℃,焦炭温度则降低到200 ℃以下。

捣固炼焦法是在焦炉炭化室外使用机械捣锤把配合煤捣成煤饼后,从焦炉的机侧推入炭化室的非常规炼焦方法。配合煤的堆积密度由常规炼焦散装煤的0.75 t/m$^3$ 左右提高至1.1 t/m$^3$ 左右,因为煤粉颗粒之间的空隙减少,即使弱黏煤的比例多一些,焦煤在软化过程中产生的液相也可以很好地包裹煤颗粒从而增加颗粒之间的结合力,该项技术可有效解决弱粘结性煤利用率低的问题,因此在我国得到了较为广泛的应用。包钢生产的捣固焦主要采用湿法熄焦,因其淋水不均匀造成焦炭水分波动较大。配煤结构以1/3 焦煤、焦煤、部分弱黏煤为主。

虽然捣固焦在降本增产、煤种选择等方面具有较明显优势,但其在高炉内部反应来看仍存在部分不足,其中包括: 捣固焦和顶装焦真密度差距较小,而捣固焦的显密度明显高于顶装焦,从而引起捣固焦的堆密度高于顶装焦,因此同等质量的两种焦炭下,顶装焦所形成的焦窗厚度大于捣固焦; 同时由于顶装焦的气孔呈较均匀的球状,捣固焦的气孔部分呈“盲肠状”,导致碱金属对捣固焦的催化作用大于顶装焦[1] 。上述两者的影响会随着炉容的增大愈发明显。

### 1.2 两焦种质量指标对比

在此替换期间焦炭指标对比见表1。

表1 两焦种指标对比

| 焦炭 | *CSR* /% | *CRI* /% | $M_{40}$ /% | $M_{10}$ /% | 水分 /% | 灰分 /% | 挥发分 /% | 硫分 /% | 平均粒度 /mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 西区焦 | 64.49 | 28.62 | 86.58 | 6.14 | 6.0 | 13.09 | 1.36 | 0.90 | 45.98 |
| 新体系焦 | 65.36 | 24.30 | 89.21 | 5.82 | 3.0 | 12.90 | 1.17 | 0.92 | 43.16 |
| 对比 | 0.87 | -4.32 | 2.63 | -0.32 | -3.0 | -0.19 | -0.19 | 0.02 | -2.82 |

注: 由于5#干熄焦中修35天,给3#高炉所使用的焦炭全部为水熄,检测水分大约在3%。

从表1可以看出,新体系焦炭在热性能和冷态机械强度上均优于西区焦炭,其中 *CRI* 和 $M_{40}$ 差值较大,分别相差4.32百分点和2.63百分点,灰分、挥发分、硫分差别不大。受倒运和落地等因素影响,造成3#高炉入炉新体系焦炭粒度偏碎,平均粒度下降约2.82 mm,最低值达到40.73 mm,造成焦丁槽存量明显升高。

## 2 炉况变化

### 2.1 生产主体指标变化

随着炼铁技术的进步,以及高风温、高富氧、大喷吹的使用,焦炭在发热剂、还原剂等可替代作用在逐渐减弱,而料柱骨架作为不可替代作用,由于焦比的下降,焦层的变薄,焦炭质量的好坏在目前生产冶炼过程中显得越来越重要[2] 。

在焦种替换后,3#高炉稳定性明显向好,压量关系合适,下料顺畅,偏尺、滑尺现象有所减轻,对9月份使用新体系焦炭前后3#高炉生产数据做对比分析,具体见表2。

表2 指标对比

| 时间 | 日产量 /t | 风量 /( m$^3$ · min$^{-1}$) | 燃料比 /( kg · t$^{-1}$) | 焦比( 含焦丁) /( kg · t$^{-1}$) | 综合负荷 /( t · t$^{-1}$) | 鼓风动能 /( kJ · s$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 使用前( 9月1日—18日) | 4 947.7 | 3 916 | 597 | 446.4 | 2.79 | 90.4 |
| 使用后( 9月19日—28日) | 5 211.1 | 3 953 | 571 | 421.2 | 2.94 | 93.6 |
| 对比 | 263.4 | 37 | -26 | -25.2 | 0.15 | 3.1 |

由表 2 可以看出，在使用了新体系焦炭后，高炉各项生产指标均有所改善，冶炼强度增加明显，其中风量升高 37 $m^3$/min，鼓风动能增加 3.1 kJ/s，综合负荷向重 0.15 t/t，经济指标取得了较大提升，产量提高了 263.4 t/d，燃料比降低了 26 kg/t，焦比(含焦丁)降低了 25.2 kg/t。主要原因是由于新体系焦炭在热强度和冷强度均明显向好，进一步改善了焦炭在高炉内的骨架作用，高炉抗波动能力有所增强，同时新体系焦炭显气孔率大且均匀，这也为死料柱的透气透液性、活跃炉缸提供了充足条件。

### 2.2　重要控制参数变化

3#高炉在焦种逐步替换后，气流分布更加趋于合理，炉顶温度区间收窄，分叉现象减轻，顶温由之前的 245 ℃下降到 224 ℃，降幅 21 ℃；煤气利用率同步向好，由平均 40.68% 的水平升高至 43.2% 的水平，K 值由 6.11 下降至 5.98，压量关系宽松，Z 值由 2.02 升高至 2.52，十字测温中心温度和边缘温度充足且合适。中心气流的明显向旺，也为边缘气流调整预留了充足的空间。伴随着布料矩阵的调整，壁体温度逐渐趋整，发散形态、波动拐点和图像红点明显减少，具体见图 1。

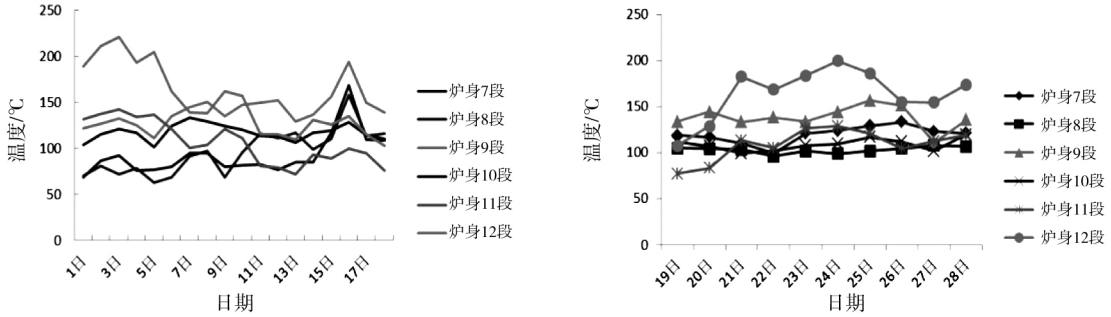



图 1　炉身 7 – 12 段壁体温度对比

同时炉缸活跃性改善明显，出铁更为均匀，两场铁量偏差有所减轻，炉温 [Si] 和物理温度对应性更加合理，KTP 和二段水温差呈升高趋势。具体见图 2、图 3，其中在图 2 箭头处，出现了 [Si] 为 0.5%，物理温度达到 1 500 ℃以上的对应关系，这在 3#高炉使用西区焦炭时是比较少见的。

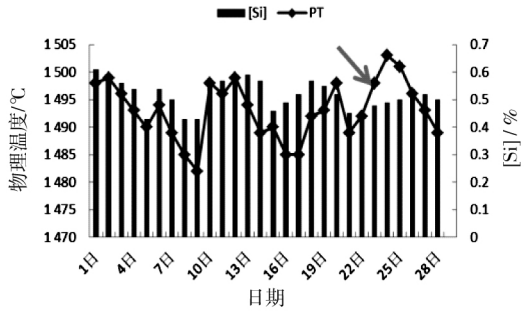



图 2　[Si] 和物理温度变化趋势

## 3　总体思路演变

此次焦种替换后，3#高炉在操作上主要对以下方面进行了调整，首先是送风制度，在允许条件下，尽可能保持大风量，控制鼓风动能在合理区间上限；其次是布料制度的及时跟进，通过中心焦环数外移，减少中心加焦量来改善煤气利用率；最后是负荷的找准与控制，通过气流变化、料速反应及炉温表现逐步加重负荷。

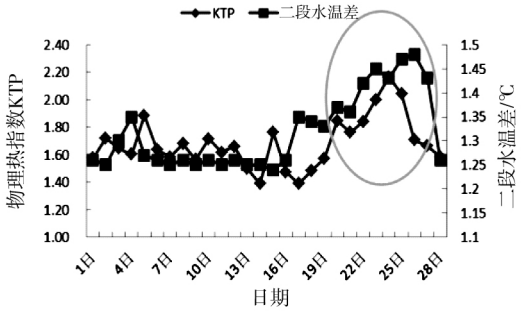



图 3　KTP 和二段水温差变化趋势

### 3.1　初始煤气流控制

根据国内外较为成熟的经验表明，风口回旋区深度所覆盖的炉缸截面积应占整个炉缸截面积的 50% 左右[3]，根据相关数据计算，可得出 3#高炉风口回旋区理论深度为 1.575 m，鼓风动能为

74.5 kJ/s，而根据经济指标线性关系得出，3#高炉鼓风动能合理控制区间在83.3～93.1 kJ/s，此次鼓风动能控制均值在93.6 kJ/s，满足控制范围。

### 3.2 初期调整

新体系焦炭替换初期，在9月19日—20日3#高炉风量由最初的3 923 $m^3$/min逐渐加大至4 028 $m^3$/min，增加风量后热风压力较为平稳，无突升现象，维持在0.350～0.353 MPa，K值呈下行趋势由5.99→5.69，下料均匀稳定。中心气流向好，十字测温中心温度由557 ℃→608 ℃，Z值1.98→2.39，壁体温度整体下行趋稳。此时判断在使用新体系焦炭后，高炉料柱中心气流改善明显，整体透气性向好，高炉接受风量能力增强，具备提高冶炼强度的条件，于是对相关调剂措施进行了及时跟进。①对富氧量进行了相应提高，富氧率由3.0%提高至3.2%；②中心焦外移$C_3^{17°}\rightarrow C_3^{18°}$、$C_1^{33°}\rightarrow C_1^{33.5°}$；③矿石批重由57.4 t/批提高至58.6 t/批；④焦批量由15.5 t/批缩减至14.9 t/批。经过调整后综合负荷由2.83 t/t加重至2.93 t/t。

在批重增加后，料柱层数往往会减少，矿焦界面效应相应减小，炉料的层状结构保持的更均匀。但需要注意的是，在减焦调负荷的过程中要保证焦窗透气性的稳定，更要注重对炉腰焦层厚度的控制，3#高炉焦层厚度长期控制在不小于200 mm，炉况反应效果较好。经计算，此次换焦后，最小焦批应保持在13.99 t/批，在减焦过程中也严格按照此制度执行。

### 3.3 后期调整

经过初期的调整后，3#高炉风量仍能维持在3 950 $m^3$/min的较高水平，Z值稳定在2.28左右，K值在5.85～6.0之间波动，压量关系无异常波动，在21日全部替换为新体系焦炭后，高炉具备继续上强度的条件，此时在布料制度上$C_3^{18°}\rightarrow C_3^{19°}\rightarrow C_{2.5}^{19°}$，角度进一步外移，同时环数有所减小；矿石批重继续提高，由58.6 t/批→59.2 t/批→60 t/批；焦批量由14.9 t/批最低减小至14.3 t/批，综合负荷最多达到3.0 t/t。制度调整具体见表3。

表3 布料矩阵调整

| 日期 | | 制度调整 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 43.5° | 43° | 41° | 39° | 36° | 33° | 18° | END | 料线/m |
| 9月19日 | C | 4 | | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 31 | 1.2 |
| | O | | 2 | 3 | 3 | 2 | | | 37 | |
| | | 43.5° | 43° | 41° | 39° | 36° | 33.5° | 18° | END | 料线/m |
| 9月20日 | C | 4 | | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 31 | 1.2 |
| | O | | 2 | 3 | 3 | 2 | | | 37 | |
| | | 43.5° | 43° | 41° | 39° | 36° | 33.5° | 19° | END | 料线/m |
| 9月22日 | C | 4 | | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 31 | 1.2 |
| | O | | 2 | 3 | 3 | 2 | | | 37 | |
| | | 43.5° | 43° | 41° | 39° | 36° | 33.5° | 19° | END | 料线/m |
| 9月24日 | C | 4 | | 3 | 3 | 2 | 1 | 2.5 | 31 | 1.2 |
| | O | | 2 | 3 | 3 | 2 | | | 37 | |

经过连续对中心焦角度、环数和矿石、焦炭批重的调整，3#高炉在近一周的时间内炉况保持稳定顺行，冶炼强度持续提高，说明新体系焦炭较西区焦炭对3#高炉经济指标的改善有促进作用，同时匹配合理的操作制度，是完全可以取得较为理想的调整效果的。

## 4 结论

(1) 高炉在日常生产过程中，当焦炭质量稳中向好时，可尝试通过上部调剂来改善煤气利用率，在兼顾气流变化的同时，要细化各作业岗位的操作和管理，从而达到理想的效果。

(2) 3#高炉在使用新体系焦炭后，经济指标改善明显，几次调整基本符合预期效果，说明顶装焦较捣固焦在增产降耗方面可以为高炉提供更好的保障。

## 参 考 文 献

[1] 孔德文，高冰，陈永星，等. 捣固焦与顶装焦在高炉内行为的对比分析 [J]. 燃料与化工，2017，48(4)：3－4.

[2] 郭艳玲，胡俊鸽，周文涛，等. 焦炭质量对高炉炼铁的影响 [J]. 上海金属，2014，36(3)：51－52.

[3] 朱仁良. 宝钢大型高炉操作与管理 [M]. 北京：冶金工业出版社，2015.