包钢6#高炉炉役后期铁口维护实践*

孔德礼，张立明，杨贵仲，刘家振

（内蒙古包钢钢联股份有限公司炼铁厂，内蒙古 包头 014010）

摘 要：文章对包钢6#高炉炉役后期炉前出铁操作进行了总结。针对6#高炉炉役后期高炉炉腹六段冷却壁大量损坏，进而造成的铁口来水、铁口喷溅、漏煤气、铁口卡焦炭及铁流时间短、炉温不稳定等现象，通过改进炉前操作制度，采取有效的预防措施，实现了安全生产，炉前铁口工作得到改善。

关键词：高炉；炉役后期；铁口；维护

中图分类号：TF546.1 **文献标识码**：B **文章编号**：1009－5438(2021)05－0019－03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.05.005

Maintenance Practices on Taphole of 6# Blast Furnace of Baotou Steel in Later Stage of Campaign

Kong De－li, Zhang Li－ming, Yang Gui－zhong, Liu Jia－zhen

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

Abstract: In this paper, the operation of tapping iron in front of 6# blast furnace of Baotou Steel in later stage of campaign is summarized. In view of such problems as the water at taphole, splashing at taphole, coal gas leakage, block of coke at taphole, short iron flow time and unstable furnace temperature caused by a lot of damages of the sixth sections of cooling stave of 6# blast furnace in later stage of campaign, the safe production is realized and the work of the taphole in front of the furnace is improved by improving the operation system in front of the furnace and taking effective preventive measures.

Key words: blast furnace; later stage of campaign; taphole; maintain

包钢6#高炉有效容积2 500 m^3，于2006年底投产。炉前设东，西两个矩形出铁场，东场设1个铁口，西场设2个铁口。东、西出铁场各设1套INBA水渣处理系统。高炉炉缸采用德国西格里炭砖加陶瓷杯，从下往上依次为四层半石墨炭砖、微孔炭砖，最上面为一层陶瓷杯，炉缸冷却壁为1—5段。2020年炉腹六段冷却壁大量损坏，局部出现壁体温度升高现象，严重时超出警戒值。炉腹六段冷却壁的大量损毁，使冷却水进入炉缸造成铁口维护困难，主要表现为铁口浅、涨铁口深度困难、铁口半截漏、铁口泥包脱落、铁口喷溅、炉温突然大凉造成的出铁困难。

1 高炉炉役后期铁口维护的特点

1.1 铁口部位的侵蚀状况

6#高炉铁口区域铁口保护板至炉墙内沿厚度为2.4 m，2016年以后高炉在启、停铁口作业时，铁口第一次深度逐渐变浅，铁口深度不好涨，通过对炉缸

* **收稿日期**：2021－07－06

作者简介：孔德礼(1973－)，男，内蒙古包头市人，高级技师，现从事炼铁工作。

热流强度的计算，根据实际铁口深度、铁口的工作状况，推断铁口区象脚状侵蚀严重，铁口保护板至炉墙厚度为1.8 m。表1为高炉历年启停铁口时铁口深度变化。

表1 高炉启停铁口时铁口深度的变化 m

时间	1#铁口	2#铁口	3#铁口
2016年	2.4	2.4	2.4
2017年	2.4	2.3	2.4
2018年	2.3	2.2	2.2
2019年	2.1	2.0	2.0
2020年	1.9	1.8	1.9

1.2 铁口深度不稳定给高炉造成的影响

铁口深度的不稳定，造成铁口出铁不均匀、渣铁出不净，在铁口堵上后，很容易看到鼓风压力增加，并且持续增加，造成高炉炉况顺行变差。长期铁口浅，造成铁口区域炭砖侵蚀加重，易造成铁口过早喷溅，这样会造成铁口附近的渣铁被排出，而炉缸其他区域的渣铁不能及时排出。当渣铁液从远离铁口区域到铁口区域疏泄较差时，铁口就极易发生喷溅。长期出不净渣铁造成炉缸工作恶化，炉况顺行变差[1]。

1.3 铁口来水对铁口的影响

杜绝铁口区域冷却设备漏水是铁口维护的关键环节。冷却水及煤气在炉内压力的作用下，沿炉壳和冷却壁的缝隙以及冷却壁与炭砖之间的捣料向下渗漏，容易在铁口上方聚积，润湿铁口泥套，轻则造成铁口喷溅、铁口出铁差、出不净渣铁、铁口不好维护，严重时铁口在钻开后，向外流水，容易造成出铁时铁口爆炸事故，危及人身和设备安全，高炉被迫休风处理。生产实践中，增设了铁口周围的炉壳排气孔，设置排水阀，定期排水、排气，并进行铁口区域灌浆。

1.4 炉役后期炉温波动

1.4.1 冷却壁漏水导致焦炭消耗增加

理论上1 kg水漏入炉内消耗的热量需要1.117 kg焦炭来补偿。由于1 kg水分解产生的氢气有1/3参加还原反应，1 kg水抵消氢气参加还原反应后要消耗0.753 kg焦炭。因此漏入高炉的水越多，焦炭消耗越高。

1.4.2 影响高炉气流分布

冷却水进入炉缸后造成炉墙粘结，影响煤气流分布。漏水部位煤气量增加，煤气流上升过程中在煤气流增加的部位重新分布，导致气流不稳定，局部方位管道较盛。由于煤气流分布不均匀导致炉温波动增加，造成渣皮频繁脱落进而炉温大幅波动。煤气流不稳定，顶压尖峰多，炉顶温度升高，边缘煤气流较强，一旦炉前出铁不均匀，易引起高炉料慢、憋风现象，特别是铁口上方煤气流很明显，高炉频繁的出现管道、崩料。死料柱焦炭大量沉入炉缸铁水中，造成焦炭不能充分燃烧、渗碳，小颗粒焦炭混合在渣铁液里面，铁口出现卡焦炭现象[2]。

2 高炉炉役后期维护铁口的措施

2.1 加强冷却壁系统的维护

2.1.1 控制合理的冷却参数

6#高炉自开炉投产以来，冷却壁系统最大用水量达5 400 m^3/h，最小用水量3 350 m^3/h。供水温度最低38 ℃，最高62 ℃。正常生产时供水量在4 500～5 100 m^3/h。根据铜冷却壁温度和水温差来调节供水温度，铜冷却壁温度控制在50～80 ℃之间，水温差一般在4～6 ℃范围内。高炉冷却壁热负荷控制在80 000～120 000 MJ/h之内。

2.1.2 加强冷却壁系统的维护

每班检查冷却壁温度及炉底温度，检查冷却壁各区集管的水量、温度及系统补水情况。监控系统补水周期趋势，发现补水曲线变化，立即查明原因。若因冷却设备损坏向炉内漏水，要及时查清是内漏还是外漏。如果是冷却壁漏水，及时组织查漏，找出漏水的准确部位，并且采取措施，避免向炉内漏水，影响高炉顺行。同时冷却水管有气泡产生，影响冷却水流量与流速，这时要及时逐根冷却水管排气，避免因“气塞”而导致冷却壁烧坏。

2.1.3 损坏冷却壁的维护

发现冷却壁损坏后，不要采取把该冷却壁的冷却水关闭并堵死的措施来处理，这样处理的结果会造成该冷却壁过早被烧坏，使高炉炉壳失去保护，并殃及相邻的冷却壁。要判断冷却壁是内漏还是外漏，对内漏的冷却壁要采取穿管修复的方法恢复其冷却功能；如果是外漏等到计划休风时割开冷却壁密封套筒，焊好后打压恢复其正常通水冷却。不要轻易将其断水堵死，这有利于保护炉内冷却壁、减缓冷却壁烧损的速度，从而有利于高炉长寿。

2.2 维护好铁口

2.2.1 把好泥套质量关

铁口泥套是铁口与泥炮接触的端面，要求泥套要完整，堵口时炮头与泥套严密吻合。在实际出铁作业中，若泥套质量不好会造成堵口时冒泥，甚至造

成高炉减风、休风堵口，从而影响铁口正常工作和高炉的正常生产。

对铁口泥套制作技术进行了一系列技术革新。在新泥套的制作过程中，对铁口泥套料材质的选用、旧泥套的解体、泥套料的混匀、压制、烘烤进行了一系列改革，基本消除了因泥套破损而引起的减风堵口事故，延长了泥套的使用寿命，平均寿命达到 460 天以上。

为了保证铁口泥套质量，日常的出铁操作非常重要。出铁前要及时清理干净铁口附近的残渣铁，遇有假泥套应及时处理，保持泥套整洁。开口时保证铁口眼在设计的铁口中心线上。钻铁口时，防止钻歪、钻坏泥套。根据出铁过程中铁口的工作状况，选择合适的炮泥及钻头直径，防止出铁过程中由于炮泥质量差、钻头直径使用不当，造成铁口跑大流、铁口浅、堵口冒泥现象发生。

2.2.2　选用合理的钻头进行开口作业

正常生产时，在保证高炉及时出净渣铁的前提下，选用合适的钻头直径，控制铁流速度在 4.5 ~ 5.0 t/min，以达到均匀出净渣铁的目的。不同钻头直径对铁口孔道截面积的影响见表 2。

表 2　钻头直径对铁口孔道截面积的影响

钻头直径/mm	45	50	55	60
面积/m^2	0.001 59	0.001 96	0.002 37	0.002 83

由表 2 可知，钻头直径每增加 5 mm，钻头截面积增加 20% 左右，所以选择合适的钻头直径也是铁口维护的关键因素之一。针对钻头直径对铁口孔道的影响，制定了高炉炉役后期，不同炉温钻头使用操作规定，以达到均匀出净渣铁的目的，见表 3。

表 3　铁水温度与钻头直径

铁水温度/℃	出铁间隔时间/min	钻头直径/mm
1 480 ~ 1 500	15	50 ~ 55
1 460 ~ 1 480	20	60
<1 460	25	65

2.2.3　铁口二次压入技术的使用

高炉炉役后期，因炉腹六段冷却壁大量损坏，冷却水进入炉缸，导致铁口喷溅，严重时钻开铁口有水渗出。为了保证漏水铁口不对出铁造成影响，采用在出铁前 40 min 将铁口钻至一定深度，然后使用液压泥炮进行堵口打泥作业，使打泥压力上升至 20 MPa以上，并保证不出现冒泥现象。此操作方法的应用能有效对铁口孔道内的潮泥进行置换，并对渗水孔道、高炉煤气产生的通道及炭砖裂隙进行有效的填充，使铁口能够安全顺利的出净渣铁。

2.2.4　提高炮泥质量

炮泥质量直接影响铁口的工作状况。因此选用炮泥要兼顾炮泥的抗拉强度、开口性能，使得炮泥既要与炉前设备的能力相匹配，又要与高炉冶炼水平相适应，即保证足够的铁口深度、良好开口性能、不喷溅，同时满足及时出净渣铁的要求，避免高炉出现受憋。针对包钢炉渣含氟高、渣铁流动性好、侵蚀能力强的特点，对炮泥配方进行了调整，提高了炮泥的烧结强度和抗渣性。在增加炮泥体积密度的基础上，提高炮泥的粘结性能及铁口孔道的光滑度。根据季节不同调整炮泥的塑性值，冬季一般控制在 0.68 ~ 0.72 MPa，夏季控制在 0.75 ~ 0.80 MPa。

2.2.5　稳定铁口深度

合适的铁口深度为铁口保护板到炉墙内沿长度的 1.2 ~ 1.5 倍。稳定铁口深度能有效的降低铁口区域象脚状侵蚀及降低炉缸侧壁温度。实践证明稳定打泥量、控制打泥速度、延长打泥时间、控制打泥压力对稳定铁口深度具有很好的作用。主要原因与泥包的形成机理有关，当打泥速度过快时，炮泥向炉缸内推进速度比较快，向炉墙四周扩散，附着较差。因铁水浮力作用及高温煤气流的搅动，铁口泥包就会自然上翘，不但泥包不固定，而且易被铁水漂浮。如何使泥包向下方生成，主要受打泥量和铁口前焦炭的“松弛程度”有关。堵口打泥操作流程见表 4。

表 4　打泥操作流程

打泥方式	第一阶段	第二阶段
堵口打泥量/L	0 ~ 100	150
打泥压力/MPa	>14	>18
活塞速度/%	100	60
堵口打泥时间/s	>30	>30
堵口情况	堵口正常(无冒泥现象)	

3　高炉炉温的监管

唐钢提出了物理热指数 K_{tp}(炉温与铁水温度的对应关系)：以铁水物理温度(为使数据具有参考性，取出铁中期的测量结果) 与化学热(ω[Si]) 的

(下转第 57 页)

热影响区强度降幅较大且低于 1#材料。

4　结论

(1) 采用低碳 Nb、Ti 微合金化成分设计原则，配合控轧控冷工艺得到以针状铁素体为主的抗拉强度 650 MPa 热轧钢带，产品性能满足车轮轻量化需求。

(2) Nb、Ti 微合金化高强钢 650 MPa 级产品以细晶强化和析出强化为主要强化机制，材料经焊接热循环后，组织分别经历不同程度的回复、再结晶和晶粒长大以及析出物的回溶和二次析出，析出物越细小、位错密度越大、热影响区强度降幅越大。

(3) 高强钢经闪光焊和滚压等工序制作轮辋，热影响区硬度相比基体和焊缝降幅大，导致其低于轮辋扩径整形过程材料协调形变力时，产生热影响区开裂或缩颈质量缺陷。

参　考　文　献

[1] Jun Hu, Lin – Xiu Du, Jian – Jun Wang. Cooling Process and Mechanical Properties Design of Hot – Rolled Low Carbon High Strength Microalloyed Steel for Automotive Wheel Usage [J]. Materials and Design, 2014, 53(12): 332 – 337.

[2] 李晓林，肖宝亮，崔阳，等. Ti、Nb 微合金钢中碳氮化物固溶与再析出的研究 [J]. 材料导报，2017，31(1): 107 – 109.

[3] 张洪博，谭峰亮，陈志国. 闪光留量对 510 MPa 级车轮钢闪光对焊接头组织与性能的影响 [J]. 材料研究学报，2017，31(2): 154 – 155.

[4] 董现春，张楠，陈延清，等. 高 Ti、Nb 析出强化高强钢接头强度及焊接热影响区软化行为分析 [J]. 焊接学报，2012，33(11): 75 – 77.

[5] 陈茂爱，孙文涛，唐逸民，等. 焊接热循环对 Ti – V – Nb微合金钢中第二相粒子的影响 [J]. 机械工程学报，2000，36(10): 99 – 103.

[6] 尹桂丽，周立岱，林成，等. 微合金钢中第二相粒子在焊接 HAZ 溶解行为的价电子结构分析 [J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版)，2014，34(2): 124 – 127.

(上接第 21 页)

对应关系，衡量铁水物理温度是否处于合理范围，结合炉缸活性指数，监测炉缸活性的变化。物理温度指数的计算方法:

$$K_{tp} = [(tp - 1400)/100] \times 2/\omega[Si]$$

式中: tp 为铁水物理温度，℃; $\omega[Si]$ 为铁水硅含量(化学热)。

这一指数的变化趋势，能够及时反映铁水物理温度的变化趋势，$K_{tp} > 1.9$ 得满分。通过高炉炉温的监管能有效的预测炉温趋势，为炉前出铁操作提供有效的技术支持。

4　结束语

随着高炉进入炉役后期，炉前铁口维护难度进一步加大，加强铁口的维护是高炉护炉措施的一项重要内容。6#高炉通过稳定铁口深度，杜绝铁口喷溅，改进炮泥质量，进行不断的技术创新，为高炉炉役后期生产提供了有力的支撑。良好的铁口维护是保证高炉安全顺行、稳定长寿的关键之一。

参　考　文　献

[1] 孙树峰，程朝晖. 马钢 10 号高炉冷却壁漏水影响及应对措施 [J]. 安徽冶金科技职业学院学报，2016，26(3): 15 – 18.

[2] 尹卫国，罗晓兵，刘向辉，等. 重钢 5 号高炉频繁塌料的原因及处理 [J]. 炼铁，2010，29(6): 49 – 51.