包钢5#高炉炉缸侧壁温度升高原因分析和处理*

韩 磊,豆远波,郭卓团,李 磊,刘平均

(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5#高炉炉缸侧壁温度升高的原因进行了分析并总结了治理经验,通过实施护炉措施,配加含钛炉料进行护炉,5#高炉炉缸侧壁温度升高得到了有效的控制,将炉缸侧壁温度控制在安全范围之内,保证了安全生产和高炉长寿。

关键词: 高炉; 炉缸侧壁; 含钛炉料

中图分类号: TF573.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)04-0049-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.04.018

Cause Analysis and Treatment for Temperature Increase of 5# Blast Furnace Hearth Sidewall of Baotou Steel

Han Lei, Dou Yuan-bo, Guo Zhuo-tuan, Li Lei, Liu Ping-jun

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

Abstract: In the paper, it is analyzed the causes and summarized the treatment experiences for temperature increase of 5# blast furnace hearth sidewall of Baotou Steel. As a result, it is effectively controlled within a safe range by implementing the furnace protection measures and adding titaniferous furnace burden for furnace protection so that the safe production and long service life of blast furnace are ensured.

Key words: blast furnace; hearth sidewall; titaniferous furnace burden

包钢5#高炉于2005年1月20日投产,有效容积1 500 m^3,20个风口,2个出铁口。2016年12月炉缸标高7.267 m,西南方向炉缸二段热电偶(里环200 mm)温度开始上升,持续超过警戒线,到2016年12月炉缸热电偶温度最高达到515 ℃,严重威胁高炉正常生产,为消除隐患,对炉缸侧壁温度异常升高进行了原因分析,采取多种有效护炉措施。

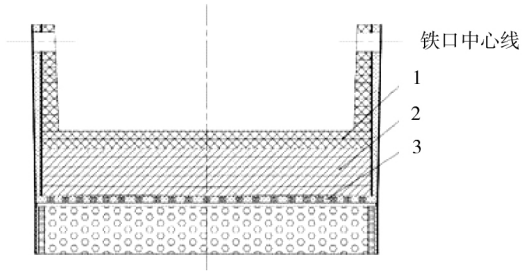
1 包钢5#高炉炉缸和炉底结构

包钢5#高炉采用陶瓷杯微孔炭砖水冷炉底结构(如图1所示)。炉底最下层采用4组36根、管径108 mm并列式水冷管,炉底中下层立砌五层国产微孔炭砖,五层微孔炭砖总高2.005 m,上部砌两层双向错台陶瓷杯,高度0.8 m,炉底和炉缸交接处采用优质耐火材料和微孔炭砖砌筑结构。炉缸采用光面冷却壁,炉腹至炉身采用铸铁镶砖冷却壁,炉缸到炉身采用分层单、双、多联冷却,其中1~5段为单联冷却。

* 收稿日期:2018-05-30

作者简介:韩 磊(1986-),男,内蒙古乌兰察布市人,工程师,现从事高炉生产技术管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net



1－炉底水冷管;2－国产微孔炭砖;3－国产陶瓷杯垫

图1 5#高炉炉缸和炉底结构

2 炉缸侧壁温度升高原因分析

2.1 温度异常升高

自2016年12月起包钢5#高炉炉缸二段8#～12#冷却壁水温差异常升高,热流强度超出警戒值12 kW/m^2,其中二段11#冷却壁热电偶温度上升明显,水温差最高2.02 ℃,热流强度达到25.98 kW/m^2,其对应位置二段标高7.267 m处炉缸侧壁,B点温度从2016年12月初的307 ℃上升至12月30日的515 ℃,日均升高8～10 ℃。包钢5#高炉炉缸B点温度升高趋势如图2所示。

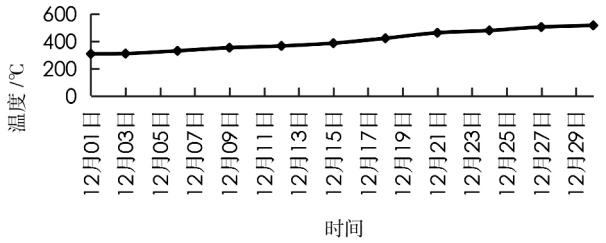


图2 包钢5#高炉炉缸B点温度升高趋势

鉴于包钢5#高炉与2#高炉情况相似,两座高炉都处于炉役后期,且炉缸和炉底水温差、热流强度相似,都超过警戒线。包钢2#高炉投产之初采用进口炭砖,炉底是五层德国希格里进口炭砖加两层法国陶瓷杯,5#高炉采用的是国产普通微孔炭砖(5#高炉和2#高炉炉缸材质对比见表1),在材质方面不如2#高炉,而包钢2#高炉在7.68 m标高处,当时通过北科亿力专家系统数值模拟测定,该处的炭砖残留仅400 mm,所以5#高炉比2#高炉情况危险,必须马上采取有效的护炉措施,确保安全。

表1 包钢5#高炉和2#高炉炉缸材质对比

对比项	包钢5#高炉	包钢2#高炉
炉底材料	炭砖(国产科瑞)	炭砖(德国希格里)
炉缸材料	炭砖(国产科瑞)	炭砖(德国希格里)
陶瓷杯	巩义中原陶瓷杯	法国陶瓷杯
设计炉龄	12年	12年
炉缸结构	炭砖+陶瓷垫	炭砖+陶瓷垫
投产时间	2005年1月新建	2004年7月大修

2.2 原因分析

2.2.1 原燃料质量下降

5#高炉2016年8月由于原燃料质量变差,主要是外购西区焦炭质量变差,灰分和挥发分上升,水分上升,*CRI*升高*CSR*下降(见表2)。同时入炉有害元素升高,其中入炉碱负荷由6.15 kg/t Fe上升到6.50 kg/t Fe,入炉锌负荷由1.435 kg/t Fe上升到2.308 kg/t Fe,包钢高炉有害元素的含量长期高于同行业标准。碱金属、锌等有害元素进入炉缸,形成蒸汽渗入炭砖气孔和砖缝,大大加速炭砖中的炭素熔损、炉缸耐材的体积膨胀、砖缝的扩大,炭砖表面受碱金属气化侵蚀,1 150 ℃等温线上炭砖的反应最为剧烈,使炭砖的密度变差,强度降低,更容易被破坏[1],最终导致炉缸局部侵蚀。

表2 焦炭质量变化情况 %

时间	灰分	挥发分	水分	*CRI*	*CSR*
变化前	12.75	1.42	5.58	27.8	65.5
变化后	13.45	1.45	8.55	32.5	58.5

2.2.2 炉缸串煤气炭砖粉化严重

炉缸炭砖和冷却壁之间的炭捣料出现空隙,高温煤气在空隙中窜动,2016年9月30日5#高炉计划休风处理西铁口区域冒煤气情况,拆除铁口框架内浇筑料后发现,西铁口区域的炭砖粉化比较严重。将铁口重新浇筑、灌浆处理,但是铁口周围炭砖仍存在粉化现象,无法处理,这种情况阻碍了炭砖正常传热,导致侧壁温度升高。

2.2.3 象脚状侵蚀加剧

5#高炉现处于炉役后期,炉缸陶瓷杯破损后铁液直接与炭砖表面接触,通过长期的冲刷和侵蚀,铁水反复接触炭砖,由于没有凝结层的保护加快了炭砖侵蚀。5#高炉炉缸二段B点标高7.267 m,正是铁水环流象脚状侵蚀最严重的地方,象脚状侵蚀造成炉缸侧壁温度升高。

中国知网 https://www.cnki.net

3　采取的措施

3.1　优化热制度

炉缸侧壁温度升高的初期，5#高炉采取提高炉温控制水平，温度较高的铁水进入炉缸，有利于增加炉缸的热储备，降低炉底凝铁层厚度，利于减弱铁水环流，同时提高炉温适当增加铁水黏度，减轻铁水对炉缸侧壁的冲刷作用。5#高炉 w [Si] 由 0.50% ~ 0.70% 提高到 0.60% ~ 0.80%，铁水物理热由 1 480 ℃提高到 1 490 ~1 500 ℃。

3.2　提高冷却强度

5#高炉炉缸二段共有 48 个水头，2016 年 12 月 15 日将 1# ~12#冷却壁常压水改为高压水冷却，达到强化冷却的目的，同时对重点部位炉皮进行喷淋冷却，提高热量导出的效率，每天对炉缸二段及炉缸三段水头进行水温差及水量测量，计算热流强度，如果发现高压水量小于 11 t/h，及时组织酸洗，以达到规定的冷却强度。

3.3　调整装料制度

在炉缸侧壁温度快速升高期间调整 5#高炉装料制度，保证中心气流顺畅，加快死料柱的更新有利于死料柱整体的疏松和凝铁层厚度的降低，从而减少铁水炉缸径向的阻力，使更多的铁水通过死料柱或其下方区域流出铁口，减少铁水环流的强度。期间调整装料制度中心焦角度，由第 3 档过渡到第 1 档，布料矩阵由 $C^{98765}_{232222.5}O^{98765}_{23222}$ 调整为 $C^{987651}_{232222.5}O^{98765}_{23222}$，同时煤比由 170 kg/t 降低到 150 kg/t，进而改善炉缸区死料柱的状态。

3.4　加钒钛矿护炉

5#高炉从 2016 年 12 月 21 日开始配加 2% 钒钛矿护炉，将铁水中 w [Ti] 提高到 0.120% 以上，高时可达 0.200%，之后根据炉况决定是否提高入炉钛矿量进行强化护炉或停止加入钛矿，减少对炉况顺行的影响。在此期间 5#高炉钛矿加入保持 2% 的水平，钒钛矿护炉取得了很好的效果(见表 3)。

表 3　包钢 5#高炉钛矿加入量

加入时间	钛矿量 /(kg·t^{-1})	w [Ti] /%
2016 年 12 月 21 日—2017 年 1 月 11 日	32	0.138
2017 年 3 月 30 日—5 月 9 日	32	0.145
2017 年 5 月 31 日—6 月 20 日	32	0.150
2017 年 7 月 27 日—8 月 21 日	32	0.162
2017 年 9 月 13 日—11 月 7 日	48	0.186
2017 年 11 月 22 日—12 月 29 日	32	0.156
2018 年 1 月 10 日—2 月 28 日	48	0.172

3.5　细化炉前工作

通过细化炉前作业开口时间、渣铁出净程度和打泥量，控制合理的铁口深度，减少炉缸渣铁积存，减少环流冲刷，有利于稳定炉缸工作状态。通过调整炉前操作方针，控制合适的铁口深度，铁口深度由 2.4 m 逐步上升至 2.6 m，杜绝潮铁口出铁和铁口动氧气，出铁间隔时间控制在 35 min，保证及时出净渣铁。

通过数据分析比对，5#高炉东铁口出铁时炉缸侧壁温度累计上升 33 ℃，西铁口出铁时累计上升 175 ℃，平均每次上升 35 ℃，由于西铁口位于炉缸二段 B 点附近，西铁口出铁对二段 B 点温度影响较大，故采取措施控制西铁口出铁时间，改西铁口为备用铁口，东铁口修补期间，短期使用西铁口，减少了西铁口对炉缸侧壁温度的影响。

3.6　改善原燃料质量

加强原燃料的管理，联系烧结做好原燃料监管和烧结矿质量攻关工作，高炉槽下优化备料程序尽量减少烧结粉末入炉，达到保证过筛的效果。改善焦炭质量，每天及时掌握焦炭的热性能、冷强度的变化，加强预判及时调整，通过现场取样、筛分等，积极与公司协调改善焦炭质量。跟踪入炉原燃料中有害元素含量，计算有害元素收支情况，发现异常及时跟生产厂矿反馈，降低有害元素对高炉的影响，从源头上控制有害元素，同时定期做碱平衡计算，做好定期排碱工作。

3.7　降低冶炼强度

5#高炉富氧量由 9 000 m^3/h 降低到6 000 m^3/h，热风压力由 0.335 Mpa 降低到 0.332 Mpa，高炉利用系数降低 0.2 t/(m^3·d)，控制冶炼强度，达到控制炉缸侧壁温度升高的目的。数据统计表明休风堵风口对 5#高炉炉缸二段 B 温度下降影响较大，同时在计划休风时凉炉也能有效地降低侧壁温度，2017 年 1 月 5 日 5#高炉计划休风堵 5#风口，B 点温度下降 175 ℃，2017 年 5 月 5 日计划休风 B 点温度下降 58 ℃，8 月 11 日计划休风 B 点温度下降 96 ℃，10 月 18 日计划休风 B 点温度下降 70 ℃。

4　护炉理念与实施效果

4.1　护炉理念

含钛物料在炉内还原析出金属钛后与 C、N 结合，生成 TiC、TiN 和固溶体。它们的熔点都很高，这些高熔点钛的氮化物和碳化物在炉缸、炉底生成和

中国知网　https://www.cnki.net

集结，与铁水及铁水中析出的石墨等形成黏稠状物质，凝结在离冷却壁较近的被侵蚀严重的炉缸、炉底的砖缝和内衬表面，进而对炉缸、炉底内衬起到保护作用[2]。包钢5#高炉护炉经验显示，物理温度提高到1 490～1 500 ℃，生铁中 w [S] 达到0.030%～0.040%，铁水 w [Ti] 在0.15%～0.18%之间，保证渣铁有良好的流动性，护炉能起到很好的效果，而更高的含Ti量，虽然补炉效果甚佳，但是容易形成炉缸堆积，破坏炉况顺行[3]。

4.2 实施效果

4.2.1 第一阶段(2016年12月—2017年7月)

5#高炉炉缸侧壁温度在护炉初期，采取常压改高压水加强冷却、加钒钛矿护炉，由于初始钛在炉缸中沉积比较少，加之时间短，所以效果并不明显，高炉于1月5日休风堵风口后，炉缸侧壁温度下降明显，B点温度从515 ℃下降至298 ℃。3月在认真总结分析护炉经验的基础上，制定了《炉缸特护方案》同时在二段B点温度上升至420 ℃时有计划的加2%钒钛矿，保证生铁中 w [Ti] 达到0.150%。护炉实践表明，生铁中 w [Ti] 达到0.150%时，钒钛矿15天左右能起到明显护炉作用(第一阶段炉缸侧壁温度和 w [Ti] 的变化见图3)。

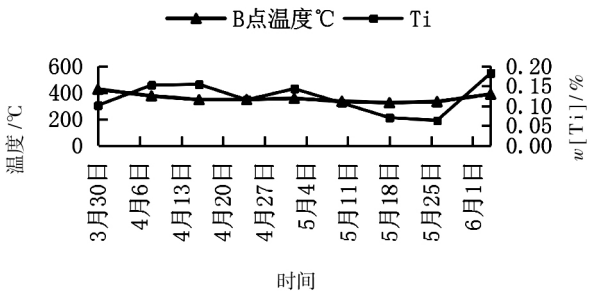


图3 第一阶段炉缸侧壁温度和 w [Ti] 的变化

4.2.2 第二阶段(2017年8月—2018年2月)

2017年7月12日5#高炉用部分乌海焦炭，8月22日开始全部用乌海焦炭，焦炭质量较西区焦炭差，水分波动大，热性能下降，焦炭质量下降使炉缸透液性变差，铁水环流加剧，同时造成热制度波动，B点温度上升态势明显，护炉工作的难度加大。为此针对乌海焦炭的特点，采取逐步延长加钛矿时间的护炉措施，并且增加钒钛矿比例，钛矿由2%增加到3%，保持 w [Ti] 在0.150%～0.200%，作用明显，二段B点温度无明显上升趋势，保持较稳定状态。

5 结论

(1) 随着炉龄的增加，炉缸侧壁砖衬会受到逐步侵蚀，炉缸侧壁温度将出现一定程度的升高和不稳定性，这时可配用钒钛矿同时采取提高炉缸热量和强化炉缸冷却并举的措施，必要时控制冶炼强度能有效稳定侧壁温度的升高趋势。

(2) 炉缸侧壁温度升高后，可调整装料制度，保证中心气流通畅，适当降低煤比，改善焦炭质量，加快炉缸中心焦的置换，改善料柱的透气、透液性。

(3) 炉缸侧壁温度持续性大幅升高，在采取提高冷却强度、控制冶炼强度、加钛护炉等多项措施作用不明显时，果断休风凉炉，堵死持续升高区域的风口，以确保高炉安全。

(4) 造成炉缸侧壁温度升高的因素很多，出现异常升高后要认真分析造成升高的原因，逐一排查，采取有针对性的措施，重点改善和调整，能迅速控制炉缸侧壁温度的升高。

参 考 文 献

[1] 祁成林，张建良，林重春，等. 有害元素对高炉炉缸侧壁炭砖的侵蚀[J]. 北京科技大学学报，2011，33(4)：492.

[2] 项钟庸，王筱留. 高炉设计——炼铁工艺设计理论与实践(第2版)[M]. 冶金工业出版社，2014.

[3] 周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M]. 北京：冶金工业出版社，2012.

中国知网 https://www.cnki.net