

文章编号: 2095-2295(2012)03-0223-04

宝钢高炉本体用耐火材料的应用与发展*

王天球, 张龙来, 夏欣鹏
(宝山钢铁股份有限公司, 上海 201900)

关键词: 高炉; 耐火材料; 应用

中图分类号: TF065.1 文献标识码: A

摘要: 高炉耐火材料内衬应满足高炉冶炼的要求, 高炉设计选择耐火材料时重在结构合理、选材适当、配置优化, 这对高炉长寿至关重要. 介绍宝钢高炉各个区域耐火材料的配置情况及其特点.

Application and development of refractory for blast furnace at Baosteel

WANG Tian-qiu, ZHANG Long-lai, XIA Xin-peng
(Baoshan Iron and Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

Key words: blast furnace; refractory; application

Abstract: The refractory lining of blast furnace should satisfy the requirements of blast furnace iron making process. The choice of refractories in blast furnace design should emphasize reasonable structure, proper selection of materials and appropriate configuration for optimization, which is significant for the long campaign of blast furnace. The configuration of refractory and its characteristics on different parts of blast furnace in Baoshan Iron & steel Co., Ltd. have been introduced.

高炉耐火材料应满足高炉冶炼的要求. 随着高炉冶炼的强化, 研究高炉耐火材料破损机理的进一步深入, 对耐火材料的要求也更高. 高炉设计选择耐火材料时重在结构合理、选材适当、配置优化. 高炉各部位耐材内衬应与各部位的热流强度相适应, 以保持强热流的冲击下内衬的整体性和稳定性, 高炉各部位耐材内衬应与各部位的侵蚀破损机理, 即炉料的磨损、煤气的冲刷、碱金属的侵蚀、渣铁水的熔蚀等相适应, 缓解内衬破损速度, 以达到高炉长寿的目的.

进入第二代炉役, 1号高炉已经进入第三代炉役, 分别于2006年12月、2009年2月投产, 4座高炉设计年产量1440万t. 图1为宝钢4座高炉生产历程.

1 宝钢高炉生产历程

宝钢股份炼铁厂拥有4座4000~5000 m³级现代化大型高炉, 分别于1985年9月、1991年6月、1994年9月、2005年4月投产. 其中2号高炉已经

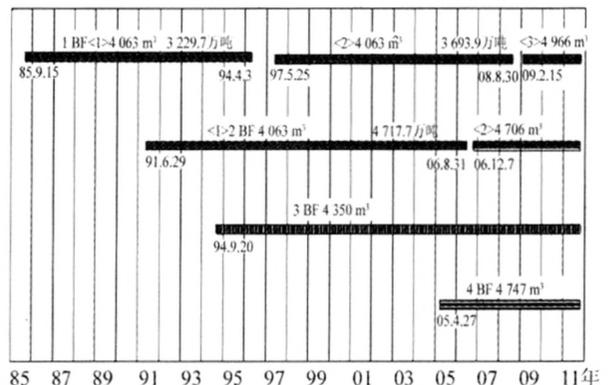


图1 宝钢四座高炉生产历程

Fig. 1 The production process of four blast furnaces of Baoshan Iron & Steel Co., Ltd.

* 收稿日期: 2008-03-06

作者简介: 王天球(1971-), 男, 江西省安福县, 宝山钢铁股份有限公司高级工程师, 主要从事炼铁工艺研究.

2 宝钢高炉用耐火材料特点

高炉用耐火材料通常采用炭质材料,要关注耐

火材料的实物质量以及砌筑质量. 宝钢现役4座高炉各个区域耐火材料的配置情况见表1.

表1 宝钢4座高炉各个区域耐火材料的配置情况

Table 1 The configuration of refractory products of various parts of four blast furnaces of Baoshan Iron & Steel Co., Ltd.

项目	1BF(第3代)	2BF(第2代)	3BF	4BF
投产日期	2009.02.15	2006.12.07	1994.09.20	2005.04.27
炉容/m ³	4 966	4 706	4 350	4 747
炉体冷却系统	冷却壁	冷却板	冷却壁	冷却板+冷却壁
炉缸冷却系统	冷却壁	冷却壁	冷却壁	冷却壁
炉身上部	冷却壁镶 Si ₃ N ₄ -SiC 砖	冷却壁镶 Si ₃ N ₄ -SiC 砖	堇青石硅线 石镶砖	冷却壁镶 Si ₃ N ₄ -SiC 砖
炉身中部	冷却壁镶 Sialon-SiC 砖	Sialon-SiC 砖	堇青石硅线石镶砖	Sialon-SiC
炉身下部	冷却壁镶 Sialon-SiC 砖	石墨砖+ Sialon-SiC	Si ₃ N ₄ -SiC 镶砖	石墨砖+ Sialon-SiC
炉腰	冷却壁镶 Sialon-SiC 砖	石墨砖+ Sialon-SiC	Si ₃ N ₄ -SiC 镶砖	石墨砖+Sialon-SiC
炉腹	3段冷却板:石墨砖冷却 壁镶 Sialon-SiC	石墨砖	β-Al ₂ O ₃ -SiC 砖	石墨砖
风口区	自结合碳化硅砖	硅线石砖	普通碳砖 D	硅线石砖
铁口区	小块碳砖 NMD	小块碳砖 NMD	小块碳砖 NMD	小块碳砖 NMD
炉缸	小块碳砖 NMA+NMD 陶瓷垫	小块碳砖 NMA+NMD 陶瓷垫	小块碳砖 NMA	小块碳砖 NMA+NMD 陶瓷垫
炉底	微孔碳砖 普通碳砖 石墨砖	普通碳砖 石墨砖	普通碳砖 石墨化碳砖	陶瓷垫 普通碳砖

2.1 炉身耐火材料

炉身中上部内衬主要受炉料和煤气流的冲刷及碱金属沉积产生的化学侵蚀,工作条件优于炉腹和炉身下部. 宝钢高炉炉身部采用过刚玉砖、Sialon 结合刚玉砖、镶嵌 SiC 砖的冷却壁、Sialon 结合 SiC 砖、Si₃N₄ 结合 SiC 砖、石墨砖等.

随着高炉冶炼技术发展及限制高炉长寿环节的演变,宝钢高炉设计时对炉体耐材的选择发生了较大变化. 3号高炉在炉体耐材配置上炉体冷却壁的镶砖主要为碳化硅结合氮化硅砖,耐磨性能较好;炉体采用了耐磨的赛龙 SiC 砖. 4号高炉、2号高炉(第二代)及1号高炉(第三代)炉体使用导热性能良好的石墨砖和碳化硅相结合.

炉腹至炉身中下部内衬,该部位工作条件恶劣,

但铜冷却壁以其优异的导热性能在热面上形成稳固的渣皮,较好地保护冷却设备. 因此,设计在铜冷却壁热面满镶导热性较高的氮化硅结合碳化硅砖.

炉腹部位内衬承受着化学侵蚀、冲刷、热震,其工作条件恶劣,对高炉寿命影响较大,设计在该区域采用耐磨性能和抗渣碱侵蚀能力良好的氮化硅结合碳化硅砖.

2.2 风口组合砖

高炉风口组合砖采用过自结合 SiC 砖、硅线石砖和 D 级大型组合砖. 4号高炉、2号高炉(第二代)使用的硅线石砖抗剥落性不理想,1号高炉(第三代)使用的自结合 SiC 砖的抗碱性和抗渣侵蚀性都优于前者,3号高炉使用的是 D 级大型组合砖. 风口组合砖的性能如表2所示.

表2 风口组合砖理化性能

Table 2 The physicochemical property of the tuyere combined bricks

高炉炉号	材质	体积密度 /(g·cm ⁻³)	显气孔率 /%	耐压强度 /MPa	荷重软化温度 /°C	导热率/ (W·(m·K) ⁻¹)
3BF	D级大砖	1.58	18	18		10.32
4BF,2BF(2)	硅线石砖	2.65	≤18	≥55	≥1 500	6.0
1BF(3)	自结合 SiC 砖	2.65	≤18	≥100	≥1 700	

2.3 铁口组合砖

目前生产中的4座高炉铁口组合砖采用的是热压小块碳砖,所不同的是3号高炉和1号高炉(第三代)出铁口孔道由热压小碳砖直接砌筑而成,4,2号高炉出铁口孔道由热压小碳砖砌筑后钻孔而成。热

压小块碳砖,除抗氧化性稍差外,其耐碱性、抗剥落性等均较好。宝钢高炉铁口组合砖曾经采用过硅线石砖、Al₂O₃-SiC-C砖、大块超微孔炭 BC-8SR 砖和热压小块碳砖 NMD 的理化性能见表3。

表3 铁口组合砖理化性能

Table 3 The physicochemical property of the tuyere combined bricks

高炉炉号	材质	体积密度 /(g·cm ³)	显气孔率 /%	耐压强度 /MPa	抗折强度 /MPa	导热率/ (W·(m·K) ⁻¹)
1BF(1)	硅线石砖	2.80	15	120	23	6.0
2BF(1)	Al ₂ O ₃ -SiC-C 砖	≥2.60	≤17	≥45	≥15	60
1BF(2)	BC-8SR 砖	1.71	17	63	14	21(400 °C)
1BF(3),2BF(2), 3BF,4BF	小块碳砖 NMD	1.80	18	30.8		45(600 °C)

2.4 炉底炉缸耐材

宝钢炉底炉缸结构有日本 NDK 的大块碳砖结构、美国 UCAR 的大碳块加热压小碳砖结构和法国 SAVOIE 的陶瓷杯加日本 NDK 大碳块结构以及德国 SGL 大碳砖加美国 UCAR 热压小碳砖结构。随着高炉冶炼技术发展,宝钢高炉设计时对炉缸耐材的选择发生了较大变化,高炉炉底采用了陶瓷垫、石墨碳砖结合大块碳砖,炉缸侧壁为热压小块碳砖。热压小块碳砖可以利用砖缝胶泥吸收耐火砖的高温热膨胀,从而减小砖的高温热应力。

的是选择气孔细微的耐火砖。由于通常所用碳砖的气孔孔径较大,铁水渗透甚为严重。微孔碳砖气孔的平均直径由原来一般碳砖的 4~5 μm 降到 0.3 μm,降到 0.05 μm 即称超微孔碳砖,其机械强度、抗铁水性能、高温性能随之提高。表4比较了普通碳砖和微孔碳砖的性能。

对于炉缸炉底易受铁水、锌和碱的渗透,最重要

3 高炉维护用耐火材料

高炉维护用耐火材料主要是喷涂料、灌浆料和硬质压入料等不定形耐火材料。

表4 普通碳砖和微孔碳砖的性能比较

Table 4 The performance comparison between the normal carbon brick and the microporous carbon brick

类别	铁水溶解性 /%	铁水渗透性 /%	气孔分布			平均孔径 /μm
			>10 μm	1~10 μm	<1 μm	
普通碳砖	30	75	5	8	5	4
微孔碳砖	9	8	2	2	14	0.5

3.1 喷涂料

一般是在降低料线情况下对露出的炉墙进行喷补造衬,特别适合高炉上部无料部位与大面积的炉墙修补,必要时料线可降至风口以下,对整个炉墙进行喷补造衬。

从上世纪80年代起,高炉喷补就在日本、西欧等企业广泛应用。摩根、派力固、美国铭得、美国美国美特、日本黑崎等企业具备先进的高炉喷补技术。

随着耐材技术和自动化装备技术的进步,现在可以应用湿法喷涂材料及热态遥控自动喷补技术,不仅可以修补炉身内衬,而且可以造衬,大大延长高炉使用寿命,二者的结合成为高炉喷补先进技术的发展趋势。

高炉喷补是在冷态还是在热态下施工,都有半干法喷补和湿法喷补两种。

半干法喷补:喷补料(骨料、粉料、结合剂、添加剂)

通过高压空气送至枪口附近,同时水也输送至该处,水与料经过快速混合,喷射到需修补的高炉内衬表面。

湿法喷涂:喷补料与水事先在搅拌机内混合好,成为可以泵送的自流料,再通过高压泵、管道等运送至喷补枪头。在枪头喷出同时加入液态的促凝剂,与湿料迅速混合,喷至修补面。

3.2 灌浆料

高炉生产以后,炉缸周围碳砖逐渐受到侵蚀。当炉缸侧壁电偶温度上升或铁口周围冒煤气火大的时候,需要对炉底炉缸进行灌浆(向耐火砖与炉皮之间灌浆)。目的是防止炉壳与耐火砖之间产生间隙,保证良好的导热性能,以便冷却发挥效果。

压入料根据使用的不同部位,结合不同的耐材内衬,从材质上可分为:铝硅系、铝硅隔热系、碳-碳化硅系、碳质系。从使用部位分为炉身上部水系、非水系;炉身下部至炉缸处非水系。见表5。

表5 各种压入料使用部位

Table 5 The using place of all kinds of injection mix

牌号	SC-8YK 水系	SC-8YK 非水系	CB-SP1	CB-SP2	CB-SP	GN-8YK
部位	炉身上部	炉身下部等冷却壁与炉壳	风口与冷却板	铁口、炉缸、炉身下部冷却壁与炉壳	冷却板和 SiC 砖之间	炉底板下

3.3 硬质压入料

传统的压入维修:一般选用水泥结合的高铝质压入料,泵侧压力一般2~3 MPa,炉侧压力一般小于0.5 MPa。压入料施工体硬化迟缓,高水分蒸发容易炸裂,材料气孔率高,强度低,因而寿命较短。由于压入料受到炉内温度和压力设备的限制,进行压入维修的部位在高炉炉身中部以上全部有炉料的部位。

硬质压入维修:机侧压力18.8 MPa,炉侧压力为5 MPa。相当于普通压入设备的10倍,压入维修后使用寿命3个月以上,使用在炉身中下部、炉腰、炉腹部位有炉料的区域,采用复合树脂为结合剂,强调材料的耐磨性、施工作业性、适当的硬化时间、扩展性和与内衬良好的粘结性。1992年宝钢从日本引进硬质压入技术,利用高炉定修,对铁壳红热及温度较高部位(炉身中下部)进行了压入造衬作业。随着宝钢高炉休风周期的延长(从最初的1个月到现在的4个月),压入工艺也作了一定的改进,体现在:压入设备的改进,压入料的改进等。

硬质压入造衬技术,以其简便、快捷、有效的特点,已成为宝钢高炉内衬日常维修最常用的手段之

一。高炉每次休风时炉身开孔,压入硬质压入料。

宝钢的硬质压入技术,不仅适用冷却板式高炉,而且经过近几年的努力,已经可以适用于冷却壁式高炉,并结合微型冷却器技术的应用,大大提高了硬质压入造衬技术的适用范围及造衬效果。

4 结论

(1)高炉耐火材料的改进,目的是高炉寿命更长、更安全、无事故。

(2)高炉耐火材料的选择是与高炉炉底、炉缸和炉身各部位的冷却系统相一致的。

(3)宝钢为延长高炉寿命,不仅重视筑炉耐火材料的研究,而且还很重视修补用耐火材料的研究。

(4)对炉缸以下炭砖质量及砌筑方法的研究,是高炉炉缸炉底寿命可以延长至15 a以上的基础。

参考文献:

- [1] 吴金源. 宝钢高炉用耐火材料的发展[J]. 炼铁, 1995, 14(3): 41-45.
- [2] 甘菲芳. 宝钢内衬耐火材料的使用和发展[J]. 世界钢铁, 2006, (5): 1-7.

宝钢高炉本体用耐火材料的应用与发展

作者: [王天球](#), [张龙来](#), [夏欣鹏](#), [WANG Tian-qi](#), [ZHANG Long-lai](#), [XIA Xin-peng](#)
作者单位: [宝山钢铁股份有限公司, 上海, 201900](#)
刊名: [内蒙古科技大学学报](#)
英文刊名: [Journal of Inner Mongolia University of Science and Technology](#)
年, 卷(期): 2012, 31(3)

参考文献(2条)

1. [吴金源](#) 宝钢高炉用耐火材料的发展 1995(03)
2. [甘菲芳](#) 宝钢内衬耐火材料的使用和发展 2006(05)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_btgtxyxb201203005.aspx