

首秦高炉薄壁炉衬应用实践

丁汝才 李志毅 王效东 郭寂

(首秦金属材料有限公司,河北秦皇岛,066326)

摘 要 由于薄壁炉衬高炉其设计炉型接近于操作炉型,有利于稳定生产和延长高炉寿命,首秦公司两座高炉在设计时全部选取了全软水密闭循环冷却的薄壁炉衬技术。由于是首钢历史上第一次采用薄壁炉衬,因此在基本冶炼规律方面没有经验可循,首秦经过几年的探索,逐渐形成了自己的高炉冶炼制度,其规律对同类钢铁企业炼铁高炉生产具有一定借鉴意义。

关键词 薄壁炉衬;铜冷却壁;高炉操作;

The Practice of Thin Lining in Shouqin Company

Ding Rucai, Li Zhiyi, Wang Xiaodong, Guo Ji

(Shouqin Metal Materials CO., LTD., Hebei Qinhuangdao, 066326)

Abstract The design of the two Shouqin BF's has adopted the thin lining with closed loop soft water cooling system, because the operating profile with the thin lining was close to the designed profile and helped to BF smooth running and extending the BF life. BF smelting systems have come into being and provided guide for the relative iron production, though the operation of the thin lining BF has no experience to refer due to the first use in Shougang in history.

Key words thin lining; copper stave; BF operation;

0 前言

20 世纪 80 年代以来,随着炼铁技术的进步,薄壁炉衬高炉越来越受到炼铁行业的青睐,铜冷却壁成为高炉高热负荷区最有效的冷却设备,其设计炉型容易很快形成操作炉型,有利于稳定生产和延长高炉寿命,是现代高炉设计的发展方向,近几年并在各个钢铁企业得到了迅速推广应用,如济钢 1750m³ 高炉^[1]、潍钢 1080m³ 高炉^[2]、湘钢新 1 号高炉^[3]、水钢 1350m³ 高炉^[4]、柳钢 8 号高炉^[5]、邯钢 1260m³ 高炉^[6]、新钢 7 号炉^[7]、武钢 1 号高炉^[8]、唐钢新 1 号高炉^[9]、邯钢新区 3200m³ 高炉^[10]。

基于以上炼铁技术发展理念,首秦公司两座高炉在设计时全部选取了全软水密闭循环冷却的薄壁炉衬技术,其中 2# 高炉采用了 3 段铜冷却壁。由于是首钢历史上第一次采用薄壁炉衬,因此在基本冶炼规律方面没有经验可循,首秦经过几年的探索,逐渐形成了自己的高炉冶炼制度。

1 高炉炉体冷却结构设计

首秦 1# 高炉 2004 年 6 月 6 日开炉,有效容积 1200 m³,18 个风口,2 个铁口;2# 高炉 2006 年 5 月 31 日开炉,有效容积 1780m³,26 个风口,2 个铁口。两座高炉的炉体冷却结构设计参数如下:

表 1 首秦公司 1# 高炉炉体冷却结构设计参数

应用部位	结构形式	冷却壁材质	壁体厚度	镶砖厚度	喷注料厚度
炉底、炉缸(1~4 段)	光面冷却壁	灰铸铁	170	—	—
风口区(5 段)	光面冷却壁	灰铸铁	170	—	—
炉腹(6~7 段)	双排管冷却壁	球墨铸铁	340	150	180
炉腰(8 段)	双排管冷却壁	球墨铸铁	340	150	180
炉身下部(9~11 段)	双排管冷却壁	球墨铸铁	340	150	180
炉身中上部(12~15 段)	单排管冷却壁	球墨铸铁	265	150	180
炉身上部(16 段)	倒扣冷却壁	球墨铸铁	—	—	—

表 2 首秦公司 2# 高炉炉体冷却结构设计参数

应用部位	结构形式	冷却壁材质	壁体厚度	镶砖厚度	喷注料厚度
炉底、炉缸(1~4 段)	光面冷却壁	灰铸铁	170	—	—
风口区(5 段)	光面冷却壁	灰铸铁	170	—	—
炉腹(6 段)	铜冷却壁	TU 电解铜	170	380	—
炉腰(7 段)	铜冷却壁	TU 电解铜	170	380	—
炉身下部(8 段)	铜冷却壁	TU 电解铜	170	380	—
炉身中下部(9~11 段)	双排管冷却壁	球墨铸铁	265	150	224
炉身中上部(12~15 段)	单排管冷却壁	球墨铸铁	265	150	224
炉身上部(16 段)	倒扣冷却壁	球墨铸铁	—	—	—

两座高炉炉腹及以上区域采用砖壁合一的薄炉衬结构形式,炉衬厚度约是普通炉衬的 1/2,耐火砖内衬采用冷镶方式与冷却壁砌成一体,1# 高炉冷却壁全部为铸铁材质,2# 高炉六、七、八段为铜冷却壁,砖衬和冷却壁之间采用燕尾槽连接,铸铁冷却壁和铜冷却壁燕尾槽深均为 78mm,耐火砖凸出冷却壁内表面 150mm,镶砖在炉外进行,镶砖完毕并固定好后再进行安装;冷却壁与冷却壁之间的水平缝和竖缝采用捣打料进行填充和捣固。

在炉体镶砖和喷涂料方面,第六、七段采用 SIALON 结合 SiC 砖镶嵌,第八至十一段采用 Si3N4 结合 SiC 砖镶嵌,炉身中、上部第十二段至十五段采用磷酸浸渍的高密度粘土砖镶嵌。镶砖内面采用喷涂料进行喷涂保护。1# 高炉从炉腹以上各段冷却壁镶砖内面采用喷注料保护,厚度为 180mm;2# 高炉炉腹、炉腰及炉身下部采用烧成微孔铝碳砖与高密度粘土砖交替砌筑,其余以上各段冷却壁镶砖内面采用喷注料保护,厚度为 224mm。

2 高炉冶炼规律摸索

2.1 冷却制度的探索

薄壁高炉炉衬的特点是,相对于正常高炉炉衬,其内部不具备形成稳定的 300~400℃等温线界面的条件,外部冷却作用造成单位炉衬厚度的温度下降梯度要大,约是正常高炉的 1.5 倍,即其接受的冷却强度要高一些,并且随着使用期限延长,炉衬变薄,这种冷却作用所带走的热量成倍增加,对软熔带高度的炉墙温度稳定和边缘煤气温度造成显著影响,因此,采用薄壁炉衬的高炉其冷却制度控制非常重要。首秦两座薄壁炉衬高炉的炉身冷却制度的演变,与各自冷却设备特点密切相关。

1# 高炉全部为铸铁冷却壁,除了在炉况异常和长时间检修及恢复外,均采用全流量冷却,冷却水量基本不作调整,软水温差过高时,采取调整煤气抑制边缘的措施,以保持操作炉型稳定和避免冷却壁损坏。

2# 高炉除铸铁冷却壁外在 6、7、8 段使用了铜冷却壁,铜冷却壁是较新、较先进的一种冷却设备,其导热性好,冷却能力强,在炉内易形成光滑、稳定的炉型,可减轻煤气流的冲刷和炉料的磨损,且有利于渣皮的快速形成(文献表明,铜冷却壁能在 15min 内完成渣皮的重建,而双排水管球墨铸铁冷却壁则需要 4h)。根据 2# 高炉冷却壁水管间距小的特点,2007 年 6 月以后,4~15 段软水冷却流量长期稳定在 2400~2800 m³/h,仅在 2008 年 4~5 月因焦炭水份高、为提高顶温而适当发展边缘煤气,软水冷却流量有时达到 3000~3100m³/h。2# 高炉调整炉体冷却水量的依据是冷却壁后温度、砖衬温度及软水温差变化,主要有以下几

点:

- (1)4~15 段软水流速控制 1.5~1.7m/s,极限值控制为 1.4~1.9m/s。
- (2)铜冷却壁温度控制在 55~65℃,极限温度为 50~70℃。
- (3)来水温度控制在 42~46℃,上限不允许超过 50℃。
- (4)4~15 段软水温差正常控制在 3~6℃,新喷补造衬使用初期不大于 3.5℃。
- (5)炉体调整软水流量,采用分流管直接回水给总管,不降低炉缸的冷却强度。

通过冷却制度的探索,2#高炉开炉至今未发生冷却水管损坏情况。

2.2 煤气分布的探索

首秦高炉开炉四年以来,炉内煤气调整大约经历了三个阶段:

第一阶段:2004 年 6 月到 2005 年初

1#高炉主要适应外围原燃料(尤其是结矿粒度差)和后道工序影响,矿石角度采用多环形式(有时采用单环)布料,焦炭角度向边缘和中心侧重,以保持“煤气两头开”的形状,保证炉况基本的顺行局面。

第二阶段:2005 年下半年到 2007 年 2 月

两座高炉利用焦炭质量稳定的优势,不失时机加重焦炭负荷,适当扩大矿批,相应地把矿石角度逐渐增加到 3~4 个站位,不断改善煤气以求得更好的冶炼指标,焦炭布料角度变化不大,仍不采用中心加焦。随着焦比降低、煤比升高,炉腹煤气量随之增大,在装料调整过程中,虽然不断采取抑制边缘的措施,但边缘发展较充分,而边缘点温度高时能达到 350~400℃,顶温异常活跃,两座高炉焦炭负荷此阶段达到 6.0 水平,取得了满意的强化效果。

第三阶段:2007 年下半年到 2008 年上半年

此阶段原燃料质量一般,煤气调整上采取“坚决开中心”的方针,中心加焦最多时达到 3~4 环,最小焦角用到 14°,十字测温中心点温度到 500~600℃,边缘控制温度为 200~300℃。由于靠中心加焦疏导中心煤气,在焦炭质量变差时,中心煤气易堵塞,炉内压差高,关系不稳定,顶温水平偏低,活跃度不够,高炉技术指标在此阶段比第二阶段要差一些。

针对薄壁炉衬使用后后期侵蚀变薄的情况,为了减少冷却水对炉墙区域热量稳定的影响,应保持中心煤气通路,适当抑制边缘,降低炉内热量损失,但边缘不能压得过死,保证气流分布均匀,否则,渣皮脱落、粘结过程中易造成边缘管道发生,影响炉况稳定。

3 高炉生产运行情况

2005—2006 年,首秦 1#高炉在“提升产能、节能降耗、兼顾长寿”的方针指导下,首秦薄壁炉衬高炉积极探索冶炼规律,在送风制度方面逐步扩大风口面积,提高风量和鼓风动能(实际风速按 230~250 m/s 控制),并且随着喷煤量达到 150kg/t 以上,富氧率由不足 1.0%逐步增加到 1.5%;在装料制度方面积极疏导中心,引导煤气流适当向中心发展,边沿也不过分抑制,保持中心和边沿两条煤气都顺畅;在热制度方面,随着焦炭负荷达到 5.5 以上水平,[Si] 由 0.5~0.8%逐步过渡到 0.30~0.45%范围,风温稳定在 1200℃以上,保证了铁水物理热充足,铁水温度保持在 1470~1510℃的较高水平,炉缸工作活跃,适应外界突变的能力增强,最终取得了月均焦比 278.87kg/t(2006 年 5 月)、27 个月不坏风口优异成绩;并且,除了 2005 年 3 月出现两个水箱烧坏(此两块水箱分别为 7 段 26 号和 27 号水箱,其损坏的主要原因为施工安装时不能到位,人工打磨处理后露出了水管)外,未再发生水箱烧坏现象。

2#高炉开炉初期,利用原燃料质量相对较好、外围条件完善和操作炉型与设计炉型符合较好等有利条件,迅速打出好指标,2#高炉开炉三天内达到设计产量目标,当月完成焦比为 349.39t/kg,当月最高焦炭负荷达到 5.50,取得了快速强化的好成绩,这也是薄壁炉衬的一个鲜明特点。

由于薄壁炉衬单位炉衬厚度温度下降梯度大的特点,随着使用期限延长,炉衬会变薄,高炉炉型发生一定变化,高炉对原燃料质量的变化会比较敏感。生产实践表明,两座高炉容积大小不同,对原燃料敏感程度也不一样,2#高炉在原燃料质量恶化时,炉况会有发生较大变化,透气性、炉墙温度等表现的非常直接,渣皮

脱落与形成也较正常炉况更为频繁。两座薄壁炉衬高炉近几年生产运行主要指标情况如表 3 和表 4 所示。

表 3 首秦公司 1# 高炉 2004~2009 年主要指标完成情况

项 目	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
利用系数, t/(m ³ ·d)	1.920	2.427	2.434	2.261	2.443	2.386
入炉焦比, kg/t	452	346	296	360.45	334.85	318.67
煤比, kg/t	51	134	183	130.4	141.5	159.88
综合冶炼强度, t/(m ³ ·d)	1.02	1.11	1.10	1.083	1.147	1.109
富氧率, %	—	1.00	1.15	1.038	1.071	0.932
风温, °C	943	1154	1227	1163	1193	1208

表 4 首秦公司 2# 高炉 2007~2009 年主要指标完成情况

项 目	2007 年	2008 年	2009 年
利用系数, t/(m ³ ·d)	2.354	2.421	2.332
入炉焦比, kg/t	364.92	349.88	320.78
煤比, kg/t	125.03	127.22	158.49
综合冶炼强度, t/(m ³ ·d)	1.127	1.127	1.085
富氧率, %	1.236	0.826	0.902
风温, °C	1198	1213	1223

4 结论

首秦采用薄壁炉衬的高炉生产具有以下特点：

- (1)薄壁炉衬的炉型,与实际操作炉型基本一致,在生产中能够长期保持稳定、平滑,有利于稳定煤气分布和炉料下降,可以最大限度地强化冶炼(大风量、重负荷),从而取得优异的经济技术指标,1#高炉 2005 年、2006 年的生产实践充分验证了这一点。
- (2)在薄壁炉衬未过分侵蚀前,采用适当抑制边缘煤气强化冶炼是非常经济有效的,抑制边缘煤气要与炉墙热负荷相匹配,首秦高炉的实践表明,软水温差控制在 3~6℃水平,铜冷却壁温度控制在 50~60℃较为合理,通过冷却制度的探索,2#高炉开炉至今,未发生冷却水管损坏情况
- (3)在薄壁炉衬使用末期,打开中心煤气(十字测温中心点温度 450℃左右)、适当减少边沿煤气量(十字测温边缘点 200℃左右)和减少软水冷却强度相结合,有利于减少炉内热量损失和炉墙区域温度稳定,建议铜冷却壁温度控制在 55~65℃。
- (4)较之传统冷却结构的高炉,由于薄壁炉衬单位炉衬厚度温度下降梯度大的特点,薄壁炉衬对原燃料质量更为敏感,在原燃料质量允许条件下,开炉初期可以快速实现重负荷、高强度冶炼,迅速达到设计指标,但原燃料质量变差情况下,薄壁炉衬高炉对原燃料敏感度强,更容易造成炉况失常。

参考文献

[1] 李传辉,安铭,法泉营,刘德楼,董龙果. 济钢 1750m³ 高炉薄壁炉衬操作技术[J]炼铁,2004(6).

[2] 祁四清,王大彦. 潍钢 1080m³ 高炉设计特点[J]炼铁,2003(2).

[3] 杨子江. 湘钢新 1 号高炉采用的新技术[J]炼铁,2007(4).

[4] 翟勇强. 水钢 1350m³高炉工艺装备特点[J]炼铁,2006(2).

[5] 廖玉通,闭立钢,杨剑,黄金堂. 柳钢 8 号高炉应用薄壁炉衬生产实践[J]柳钢科技,2009(3).

[6] 刘志朝,侯金姝,董艳忠. 邯钢 1260m~3 高炉薄炉衬操作实践[J]炼铁,2004(2).

[7] 陈建华,胡淋,张武刚. 新钢 7 号炉薄炉衬操作实践[C]2005 中国钢铁年会论文集,2005.

[8] 杨佳龙,潘协田. 武钢 1 号高炉铜冷却壁薄炉衬操作特点[J]炼铁,2004(6).

[9] 牛江峰,米舰君,周静,刘士朝,张浩. 唐钢新 1 号高炉的技术装备及生产效果[J]炼铁, 2009(8).

[10] 侯金姝,董艳忠,路军. 邯钢新区 3200m~3 高炉工艺装备及特点[C]2008 年全国炼铁生产技术会议暨炼铁年会文集, 2008