

# 宝钢2号高炉钛球护炉生产实践

任胜瑜

(宝钢工业技术学校, 上海 200941)

**摘要:** 分析了钛球护炉对高炉生产各种参数的影响。钛矿护炉期间, 渣铁含钛量上升, 增加了铁水粘度, 减小了渣铁对炉缸的机械冲刷; 燃料比上升了 6.7 kg/t; 炉缸热负荷稳步下降, 有效地保护了炉缸; 由于渣铁含钛量增加, 粘度增加, 使平均每炉出铁时间延长了约 18 min; 侧壁温度明显下降。钛球护炉成效显著。

**关键词:** 大型高炉; 钛球护炉; 炉缸侧壁温度

**中图分类号:** TF065.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2010)06-0014-04

## Practice of Protection Effect of Titanium-Bearing Pellet Ore in No.2 Blast Furnace of Baosteel

Ren Shengyu

(Baosteel Industrial Technology School, Shanghai 200941, China)

**Abstract:** Analyzed the effects of protection of titanium-bearing pellet ore on the parameters of blast furnace production. During the protection of titanium-bearing pellet ore, the amount of titanium in the slag and melted iron ascended, the viscosity of melted iron increased and mechanical scouring action decreased, fuel rate went up 6.7 kg/t, thermal load in the hearth steadily declined and effectively protected the hearth. Owing to the amount of titanium in the slag and melted iron ascending and viscosity increasing, the interval time of tapping melted iron delayed about 18 minutes, hearth sidewall temperature obviously decreased. The protection effect of titanium-bearing pellet ore was remarkable.

**Keywords:** large-sized blast furnace; protection of titanium-bearing pellet ore; hearth sidewall temperature

## 0 引言

宝钢2号高炉是我国自行设计、建造的第一座 4 000 m<sup>3</sup>级高炉。2号高炉有效容积为4 063 m<sup>3</sup>, 于1991-06-29建成投产, 经过15年2个月的连续运行, 于2006-08-31顺利停炉大修。2号高炉一代炉役累计产铁4 717.7万t, 单位容积产铁11 611.27 t/m<sup>3</sup>, 跨进了长寿型大高炉的先进行列。

宝钢2号一代高炉于2006年9月份开始大修, 二代于2006-12-07点火投产, 经过扩容使炉容从原来的4 063 m<sup>3</sup>扩大到4 706 m<sup>3</sup>, 在短短一周之内就迅速达产, 其后相当长的时间内指标保持良好, 主要操作指标达

到世界先进水平。表1是2号高炉投产以来主要操作指标。

随着冶炼强度不断增强, 从2009年5月开始, 2号高炉的侧壁温度持续上升, 炉缸寿命受到威胁。为了减少侧壁温度上升, 宝钢采取了一系列措施: 1) 降低产量、减小冶炼强度。2) 将侧壁温度最高处上方的一个风口堵掉。3) 作业方面, 采取了增加打泥量保证铁口深度、炉缸侧壁灌浆、增加炉缸冷却水流量、炉缸冷却水加冰块等手段。4) 气流方面, 保持较强中心气流等活跃炉缸的操作措施, 将炉底温度控制在一定的温度水平以上。因为炉底温度越低, 凝铁层越厚, 死料柱底部贮存铁水量越少, 周边铁水密度越大, 环

收稿日期: 2010-09-04

通信作者: 任胜瑜(1969-), 男, 安徽无为, 宝钢工业技术学校讲师, 硕士, 主要研究方向为钢铁冶金技术,

E-mail: renshengyu@baosteel.com

流越强烈,所以活跃中心气流能有效防止和控制大型高炉侧壁温度攀高,而不影响高炉正常高产和高煤比操作<sup>[1]</sup>。5)高炉操作,采取了加入钛矿来保护炉缸。本文主要介绍钛矿护炉原理及其生产实践。

表1 宝钢2号高炉主要操作指标

Table 1 Main operation indicators of No.2 Blast Furnace of Baosteel

年份	指 标					
	利用系数 / (t·m <sup>-3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	焦比 / (kg·t <sup>-1</sup> )	煤比 / (kg·t <sup>-1</sup> )	小块焦比 / (kg·t <sup>-1</sup> )	燃料比 / (kg·t <sup>-1</sup> )	m <sub>0</sub> /m <sub>c</sub>
2007	2.209	276.70	205.47	17.53	499.70	5.762
2008	2.288	283.78	192.31	22.56	498.65	5.674

年份	指 标					
	w(Si)/ %	w(S)/ %	风温 / ℃	CO 利用率 / %	湿份 / (g·m <sup>-3</sup> )	渣铁比 / (kg·t <sup>-1</sup> )
2007	0.41	0.026	1 239	50.77	13.98	263
2008	0.44	0.026	1 245	51.30	12.66	271

## 2 钛矿护炉原理和钛矿加入方法

### 2.1 钛矿护炉的原理

侵蚀炉缸、炉底的主要原因有:渣铁和煤气流的机械冲刷;热应力破坏;煤气中CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O和漏入炉内水形成水蒸气的氧化作用;铁水的侵蚀;铁和碱金属的渗透引起炭砖变质,并在渗透层和炭砖间产生环形裂缝<sup>[2]</sup>。

在高炉内的高温还原气氛下,熔渣中TiO<sub>2</sub>发生还原反应,形成高温熔点的TiC(熔点3 140℃)和TiN(熔点2 293℃)及Ti(C,N)固溶体,这些固态质点分散在熔渣中,裹挟渣、铁、焦形成高熔点、高粘度的多相粘结物,在出铁时随炉内液面的降低而粘附于炉缸衬体被侵蚀部位,另一部分固态质点进入铁水中,当铁水中Ti和C的活度积达到一定值时,便有过饱和TiC析出。大部分Ti(C,N)晶体在温度梯度较大的低温端形成并团聚,并且在炉壁与铁水界面呈现出强烈团聚的倾向<sup>[3]</sup>。侵蚀严重部位衬体的表面温度较低,故钛的碳、氮化物在此由于溶解度下降而析出沉淀,并由于产生浓度差而使TiC、TiN连续向该处迁移、积聚,最后形成以钛的氮、碳化物为主的钛物积层。钛物积层与炉缸炉底的耐火材料间有很强的附着能力,从而保护了炉缸<sup>[4]</sup>。

### 2.2 钛矿加入的方法

目前高炉加入钛矿的方法主要有:从高炉顶部随炉料一起加入;把含钛物料从风口喷入高炉;在炮泥中加入含钛物料<sup>[5]</sup>。风口喷吹钛矿护炉方法的效果难以预测,而且炉缸仍有烧穿的隐患,另外日本加古川和我国首钢、鞍钢、梅钢等厂风口喷钛的实践证明,风

口存在严重磨损。在泥炮中加入钛矿的方法只能保护出铁口周围的炉缸区域,并不能有效遏制较大范围内的侧壁温度上升。顶部加入含钛物料护炉法操作方便,而且能对炉缸整体起到全面保护作用<sup>[6]</sup>,所以普遍采用炉顶加入钛矿护炉法。

加入钛矿的方式,先期是烧结生产中配加钛矿。钛球团矿由于品位高、渣量少,在达到同样护炉效果的情况下,较之使用钛块矿更利于炉况顺行和接受风量。另外,由于钛球团矿冶金性能的提高以及渣量减少,炼铁生产的综合焦比呈降低趋势<sup>[7]</sup>,所以护炉后期采取直接加入钛球团矿的方式。

本文就2009-08-21—09-24加入钛球护炉期间,使用钛球护炉对高炉操作和作业的影响进行分析,以期找出钛球护炉与高炉生产的关系。

## 3 钛球护炉期各项生产参数变化

### 3.1 渣、铁中钛含量的变化

2009-08-21—09-24,2号高炉加入钛球护炉。图1为钛球护炉期间炉渣中TiO<sub>2</sub>含量、铁中Ti含量和入炉Ti负荷随时间变化的关系图。从图中可看出,从8月24日起入炉钛球用量减少,入炉钛负荷从8月23日的14.1 kg/t逐步下降至9月4日的4.57 kg/t,炉渣中TiO<sub>2</sub>的质量分数从2.94%下降至1.15%,铁中Ti的质量分数从0.2%下降至0.076%。9月5日起入炉钛球用量增加,渣、铁中钛含量也随着入炉钛负荷的增加而增加。9月7日起入炉钛负荷基本保持在10 kg/t左右,炉渣中TiO<sub>2</sub>的质量分数基本稳定在2.4%,铁中Ti的质量分数也基本稳定在0.16%的水平。9月24日钛球停用后,炉渣中TiO<sub>2</sub>的质量分数降低至0.6%,铁中Ti的质量分数降低至0.04%。

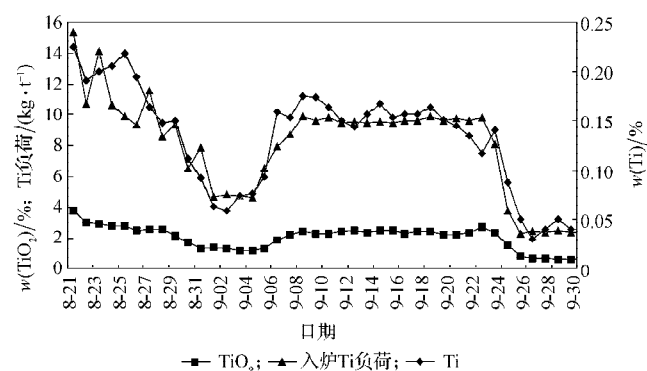


图1 渣、铁中钛含量变化曲线

Fig. 1 Variation curve of titanium content in slag and hot metal

由以上分析可知,渣、铁中的钛含量会随着入炉钛负荷的增加而增加,当入炉钛负荷减小时,渣、铁中的钛含量也会随之减少。随着渣、铁中钛含量的增

加,渣、铁的粘度增加,能减少渣、铁对炉缸的机械冲刷,有利于保护炉缸<sup>[6]</sup>。选择合适的入炉  $\text{TiO}_2$  负荷,将提高含钛物料护炉效率,获得较好的护炉效果<sup>[8]</sup>。

### 3.2 钛球使用期间燃料比的变化

图2是2009-08-21—09-29燃料比变化的关系图。从图中可看出,除去9月18日定修和9月19日、20日炉况恢复期间的数据,在8月21日至9月24日加入钛球护炉期间的燃料比,高出9月24日后钛球停用时期的燃料比。在8月21-23日,入炉钛负荷在14~15 kg/t左右,燃料比在498 kg/t,随着后来入炉钛负荷的减小,燃料比也逐渐降低,9月7日起,入炉钛负荷基本稳定,燃料比也基本稳定。钛球停用后,燃料比也下降至486.6 kg/t左右的水平。

钛球护炉期间的平均燃料比为493.3 kg/t,钛球停用后的平均燃料比为486.6 kg/t,使用钛球增加了6.7 kg/t的燃料比。钛球护炉期间,要选择合适的热制度来保证钛球护炉的效果,一般要求提高炉温,这有两重作用:一是有利于炉料中  $\text{TiO}_2$  的还原,二是有利于铁水中Ti的熔解以形成  $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$  沉积层<sup>[8]</sup>。另外钛元素是以  $\text{TiO}_2$  的形式存在于钛球中,钛球加入高炉后,  $\text{TiO}_2$  会被C还原,同时消耗高炉内的热量,从而造成燃料比的升高。

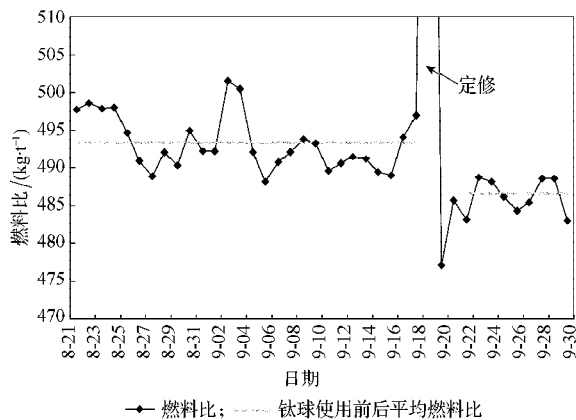


图2 燃料比变化曲线

Fig. 2 Variation curve of fuel rate

### 3.3 钛球使用期间炉缸热负荷的变化

图3是2009-08-21—09-29炉缸热负荷变化的关系图。从图中可看出,除去9月18日定修和9月19日、20日炉况恢复期间的数据,炉缸热负荷从8月21日的  $988 \times 10^7 \text{ J/h}$  稳步下降至9月29日的  $641 \times 10^7 \text{ J/h}$ 。

钛球护炉期间,  $\text{TiO}_2$  不断被还原后,生成  $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$ , 大部分  $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$  晶体在低温端形成并团聚,并在炉缸熔损部位沉淀析出,形成以钛的氮、碳化物为主的钛物积层。钛物积层与炉缸炉底的耐火材料之间有很强的附着能力,保护了炉缸,从而使炉缸热负荷稳步

减小。

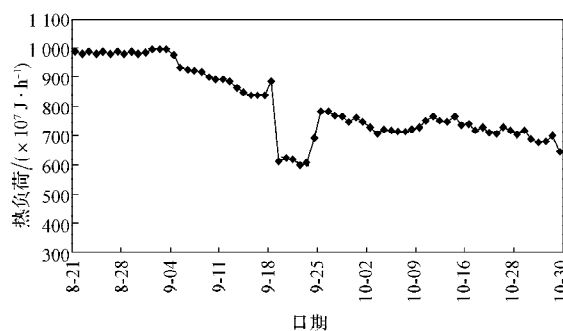


图3 炉缸热负荷的变化

Fig. 3 Variation of thermal load in the hearth

### 3.4 钛球护炉期间出铁次数的变化

图4是使用钛球护炉前后出铁次数变化的关系图。从图4中可看出,除去9月18日定修和9月19日、20日炉况恢复期间的数据,在钛球使用期间的平均出铁次数为11.8次/d,出铁时间在2.0~2.5 h/次。钛球停用后的平均出铁次数为13.8次/d,出铁时间在1.5~2.0 h/次。在钛球使用期间,平均每炉的出铁时间比钛球停用期间的出铁时间延长约18 min。使用钛球护炉对炉前出渣、铁时间产生了比较显著的影响。

因为钛球加入后,渣、铁的粘度增加,渣、铁的流动性随之降低,从而渣、铁不易从出铁口流出,造成出铁时间延长,出铁次数降低。钛球护炉期间,要采取合适的造渣制度。由于渣铁中钛含量增加后,会增加渣铁的粘度,从而使渣铁的流动性变差,不易出尽渣铁,渣铁不易分离。为了应对渣铁粘度增加,所以作业上要求采用大钻杆、重叠5~10 min出铁等措施来保证出尽渣铁。另外,造渣制度方面要求碱度降低,使渣铁的粘度减小。

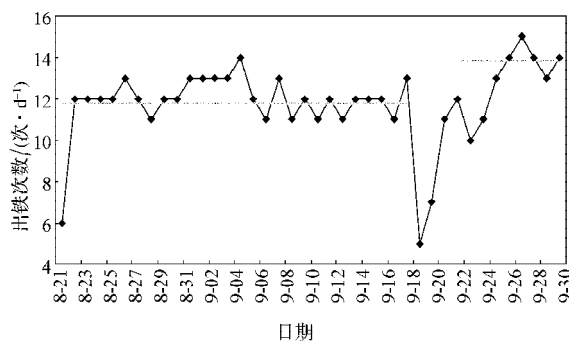


图4 钛球护炉对出铁次数的影响

Fig. 4 Effect on tapping times during protection of titanium-bearing pellet ore

### 3.5 钛球护炉期间炉缸侧壁温度的变化

图5所示的是钛球护炉前后,几个比较高的炉缸侧壁电偶温度的变化情况。从图中可看出,在钛矿护炉前后,侧壁温度呈现逐步下降的趋势,T3368, T3370,

T3401 (侧壁热电偶 T3368 为标高 9.88 m, 90°; T3370 为标高 9.88 m, 135°; T3401 为标高 10.735 m, 90°) 分别从 455 °C, 436 °C, 409 °C 下降到 127 °C, 114 °C, 167 °C。钛球护炉期间, 生成的  $Ti(C,N)$  使炉缸侧壁得到有效保护, 从而使侧壁温度稳步下降。可见, 钛球护炉的效果是十分明显的。

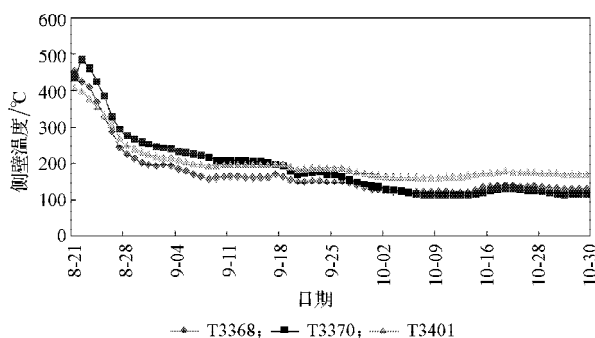


图5 钛球护炉期间炉缸侧壁温度的变化

Fig. 5 Variation of hearth sidewall temperature during protection of titanium-bearing pellet ore

## 4 结论

从以上分析可以得出如下结论:

- 1) 随着入炉钛负荷的增加, 渣铁中含钛量也随之增加。
- 2) 钛球护炉期间的燃料比, 较钛球停用后的燃料比增加了 6.7 kg/t。
- 3) 钛球护炉期间, 炉缸热负荷稳步下降了约 34%。
- 4) 在钛球使用期间平均出铁次数为 11.8 次/d, 钛球停用后平均出铁次数为 13.8 次/d, 使用钛球护炉期间平均每炉的出铁时间约增加 18 min。
- 5) 钛球护炉期间, 炉缸侧壁温度稳步下降, 护炉效果十分显著。

宝钢2号高炉侧壁温度升高后, 高炉操作上采取了众多的应对方法, 以期遏制不断上升的侧壁温度。加入钛矿护炉是其中的一种应对方法, 对降低侧壁温度起到了重要作用。同时, 加入钛球后, 会对高炉其他生产因素产生影响。所以, 必须稳定适宜的热制度、造渣制度和合理的冶炼参数, 以避免钛矿护炉冶炼带来的负面影响。既要达到护炉的效果, 又要高效生产, 实现真正意义上的长远经济炼铁。

## 参考文献:

[1] 徐万仁, 朱仁良, 张龙来, 等. 宝钢2号高炉炉缸侧壁侵

蚀原因及控制实践[J]. 钢铁, 2007, 42(1): 8-12.

Xu Wanren, Zhu Renliang, Zhang Longlai, et al. Reason and Control Practice of Hearth Sidewall Erosion of No.2 BF at Baosteel[J]. Iron and Steel, 2007, 42(1): 8-12.

[2] 雷有高, 魏功亮, 赵仕清. 重钢5号高炉钒钛矿护炉冶炼研究与实践[J]. 炼铁技术通讯, 2006(12): 2-4.

Lei Yonggao, Wei Gongliang, Zhao Shiqing. Smelting Study and Practice with Schreyerite in No.5 Blast Furnace of Chongqing Iron and Steel Co. with Furnace Protection Effect [J]. Ironmaking Technology Correspondence, 2006(12): 2-4.

[3] 李永全, Li Yun, Fruehan R J. 高炉钛矿护炉的机理研究 [J]. 宝钢技术, 2002(1): 12-16.

Li Yongquan, Li Yun, Fruehan R J. Study on Protection Mechanism of Titanium Bearing in Blast Furnace Hearth[J]. Baosteel Technology, 2002(1): 12-16

[4] 黄秀芳, 孟世民. 含钛物料护炉的机理及应用[J]. 河北冶金, 1995(2): 13-17.

Huang Xiufang, Meng Shimin. Mechanism and Application of Protecting BF Lining with Ti-Bearing[J]. Hebei Metallurgy, 1995(2): 13-17.

[5] 胡俊鸽. 高炉使用含钛物料护炉技术的发展[J]. 鞍钢技术, 1996(3): 5-8.

Hu Junge. Development of Protecting Blast Technology by Titanium-Containing Material in Blast Furnace[J]. Angang Technology, 1996(3): 5-8.

[6] 付卫国, 谢俊勇, 何群, 等. 攀钢高炉配加钒钛氧化球团矿试验研究[J]. 四川冶金, 2004(5): 31-34.

Fu Weiguo, Xie Junyong, He Qun, et al. Experimental Study of Adding the V-Ti Pellet in BF at Panggang[J]. Sichuan Metallurgy, 2004(5): 31-34.

[7] 周国凡, 蔡鄂汉, 杨福, 等. 钒钛球团矿取代钒钛块矿进行护炉的工艺研究[J]. 武汉科技大学学报, 2007, 30(3): 531-533.

Zhou Guofan, Cai Ehan, Yang Fu, et al. Protecting Blast Furnace by Replacing Vanadium-Titanium Lump Ore with Vanadium-Titanium Pellet[J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology, 2007, 30(3): 531-533.

[8] 侯兴. 含钛护炉料的选择和新钢高炉护炉操作[J]. 四川冶金, 2005, 27(5): 82-84.

Hou Xin. The Protecting Furnace Operation and Selecting Titanium Ore in Xisteel BF[J]. Sichuan Metallurgy, 2005: 27(5): 82-84.

(责任编辑: 李玉珍)