

首钢京唐公司铁水预处理脱硫包内衬耐火材料评估概述

范万臣 祝少军 曹勇
(首钢总公司技术研究院,北京,100043)

摘 要 介绍了首钢京唐公司铁水预处理脱硫包内衬耐火材料内衬砖的检测和质量分析,并对包壁砖、渣线砖和底部冲击区砖在不同渣系中的抗渣性进行了评估与概述。

关键词 铁水预处理包;耐火材料;理化性能

The application analysis assessment of Jing-Tang's iron ladle's refractory

Fan Wanchen Zhu Shaojun Cao Yong
(Shougang Research Institute of Technology)

Abstract The testing and quality analyses of Jing-Tang's iron ladle's refractory bricks are introduced. And the physical and chemical properties, the slag resistance and application analysis assessment of all barrel bricks, flux-line bricks and bottom impact pad bricks in different slag systems have carried on.

Key words iron ladle; refractory brick; physical and chemical properties

首钢京唐公司炼铁厂高炉容积为 5500M³,一期工程配有 30 个铁水包,容积为 300 吨,铁水包作为高炉的受铁容器、储运容器、预处理容器和兑入容器形成“四位一体”,运行模式采用“一包到底”技术运输铁水,取消了炼钢倒罐坑,减少一次铁水倒包作业工序,具有缩短工艺流程、紧凑安排布置等特点,可产生较大的经济效益,以达到节能降耗,快速周转的使用目的。

1 铁水包耐火材料构成

京唐公司是首钢总公司投产的项目,300 吨大型铁水包 KR 脱硫预处理“一包到底”的使用,在国内还未曾有过,因此在使用初期有必要对所使用的铁水包内衬砖进行分析与评估。京唐公司铁水包内衬耐火材料砖分别由 4 个供货厂家承包负责(分别为 S、H、G、X 厂家,下同)。

铁水包内衬耐火材料的砌筑分为三层:最外层是保温层,第二层是永久层,最内的一层是工作层。保温层紧贴包壁壳体钢板,其作用是保温及防止铁水包外壳变形,为了减少铁水热损失,采用经硬化处理带弧的硅酸铝质纤维板;永久层的作用是当工作层耐火材料局部侵蚀掉或侵蚀到很薄时,防止漏穿的铁水烧坏金属壳,提高铁水包金属壳体的使用寿命,提高使用的安全性;工作层耐火材料直接接触铁水与炉渣,承受着铁水与炉渣的机械冲刷及高温化学侵蚀。工作层主要是铝碳化硅碳砖,它在铁水包内衬中是最重要的一层,铁水包的寿命高低主要取决于工作层耐火材料的材质、砌筑水平以及铁水与炉渣对此层的机械冲刷、化学侵蚀的程度。因此对工作层的材质选择和砌筑必须给以重视,最大限度的使用工作层,提高铁水包的使用寿命。铁水包内其它部位为围罐砖、砌筑泥浆、包嘴和包底与包壁间填缝所用浇注、砌筑用散状耐火材料。

2 铁水包耐火材料使用环境分析

京唐公司高炉出铁温度 $\geq 1500^{\circ}\text{C}$ ，出铁高度落差达 9 米以上，由于出铁落差较高，因此对包底冲击区砖和底部围罐砖的质量要求很高。从高炉到炼钢厂的运输距离为 1000 米左右，铁水在包内净存留时间为 4~6 小时，铁水包周转时间为 5~8 个小时，最长时间为 12 个小时。在包内采用 KR 法脱硫，脱硫周期平均约 42 分钟。由于采用 KR 法脱硫，铁水包内衬工作面与脱硫渣长时间接触，其中脱硫渣中的氧化钙、氟化钙与铁水以及炉渣中的二氧化硅会加速与内衬砖的化学侵蚀作用。同时由于在包内进行搅拌，加速铁水、脱硫渣对内衬耐火材料的冲刷，会造成铁水包的使用寿命会进一步降低。

通过对铁水包的运行环境和实际使用情况分析可知，影响铁水包使用寿命主要有：铁水包砌筑施工质量、耐火材料砖体本身的质量和如何合理调配使用铁水包等等几个方面，本文主要对铁水包内衬耐火材料进行评估与论述。

3 铁水包内衬材料分析

3.1 原砖成分

京唐公司铁水包内衬砖的包壁渣线砖、包壁铁区砖和包底冲击区砖分别取样做理化性能指标分析对比。从各厂的化学成分组成分析来看，S 厂和 X 厂的渣线砖、铁区砖和包底砖的几项主要指标相近似，可以认为这 2 个厂的三种不同部位用砖的材料基本属于同一材质组成；4 个厂的渣线砖和铁区砖除 G 厂的碳含量略有区别，其他成分分别非常接近，也可以认为铁水包包壁砖化学成分组成是同一种材质。在主要成分组成中，4 个厂内衬砖中 SiC 含量除 G 厂偏低以外，其它 3 厂成分比例接近； Al_2O_3 的含量 H 厂最高，其它各厂略有差别；C 含量基本相似，除 X 厂含量略微偏低一些，其他厂比较接近； SiO_2 含量是 4 个厂中差别比较大的，2 个厂含量 $\leq 10\%$ ，2 个厂含量 $\geq 20\%$ ；微量成分中，X 厂的 Fe_2O_3 含量和 TiO_2 比其他厂略微偏高。这说明了各厂研制生产内衬砖中三大成分 $\text{SiC} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{C}$ 含量基本相似，但在其它的选材方面还是有不同思路之处。

表 1 4 厂渣线、铁区、包底砖成分(%)

组别	SiC	Al_2O_3	C	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2
SZ	10.28	54.99	7.54	23.75	1.09	1.31
ST	8.21	56.99	8.26	23.00	1.16	1.29
SD	9.28	56.27	8.86	22.03	1.13	1.28
HZ	10.01	71.63	6.29	5.56	1.41	2.11
HT	8.61	72.08	6.96	6.56	1.17	1.79
HD	8.75	65.54	6.87	7.34	1.1	1.57
GZ	5.79	62.27	8.06	20.45	1.05	1.29
GT	5.35	60.9	10.98	19.26	0.9	1.05
GD	7.81	58.45	7.78	22.27	0.99	1.24
XZ	10.46	66.36	5.42	10.14	2.24	2.28
XT	10.05	66.36	5.83	11.43	1.86	2.13
XD	10.84	66.99	5.66	10.25	1.70	2.19

注：Z—包壁渣线砖 T—包壁铁区砖 D—包底冲击区砖(下同)

此外，对 4 个厂的砖剖面致密结构与颗粒组成进行分析，S 厂的颗粒组成与其他 3 个厂不一样，没有 $> 5\text{mm}$ 的大颗粒，主要为 3mm 、 $1\sim 3\text{mm}$ 和 $< 1\text{mm}$ 的组成，而其他 3 个厂相似，均为 $5\sim 3\text{mm}$ 、 $3\sim 1\text{mm}$ 和 $< 1\text{mm}$ 的组成。

3.2 物理指标检验结果

3.2.1 常规指标对比(体密、气孔率、耐压、抗折)

对 4 个厂的渣线砖、铁区砖和包底砖进行体密、气孔率、耐压、抗折强度常规理化指标进行对比分析(见表 2)。因 1000℃ 和 1500℃ 是铁水包使用的关键温度,因此在耐压强度、抗折强度和线变化率方面都做了测试。

内衬砖理化性能的基本指标体密和气孔率中,体积密度为 G 厂和 H 厂比较好;从气孔率相比较的情况分析, H 厂偏高一些。从现场内衬砖切开的剖面来看,各个厂家都没有发生层裂的现象。从几个厂家的试验指标对比, G 厂生产的内衬砖指标最高,说明生产控制环节较好;常温耐压强度中, G 厂的耐压强度值最高,其次分别为 X 厂、H 厂和 S 厂;烧后耐压强度 1000℃ 的四个厂数据中,耐压强度值也是分别为 $G>S>X>H$; 1500℃ 的五组数据中,除 G 厂稍高以外,其他厂水平基本接近;高温热态抗折强度中 G 厂的指标比其他厂指标略强,其它各厂的指标都不高,应该说,高温热态抗折强度的指标与国内和首钢目前使用的鱼雷罐铝碳化硅碳砖还是有一定的差距。1000℃ 和 1500℃ 的烧后抗折数据分析 G 厂相对较高,而其他 3 个厂的指标太低。因此有必要考虑到铁水包内衬砖在中高温时的强度与氧化状况,容易使铁水包在急冷急热使用过程中,由于中温强度的问题影响使用寿命。

表 2 4 厂渣线、铁区、包底砖常规分析

组别	体密 g/cm ³	气孔率 %	耐压强度 (Mpa)			抗折强度 (Mpa)		
			110℃×8h	1000℃×3h	1500℃×3h	1400℃×0.5h	1000℃×3h	1500℃×3h
SZ	2.80	4.6	44	22	42	4.54	2.0	6.0
ST	2.76	5.8	36	18	27	3.76	1.6	5.8
SD	2.78	4.6	54	38	54	4.10	2.4	8.6
HZ	2.92	7.5	48	10	34	3.78	0	9.4
HT	2.92	6.8	46	0	20	5.92	1.1	10.5
HD	2.92	7.2	40	9	25	3.94	0	11.5
GZ	2.91	4.7	62	24	62	5.88	6.2	15.2
GT	2.93	2.7	112	26	51	6.96	5.9	12.8
GD	2.93	3.0	74	26	72	6.42	5.4	10.3
XZ	2.82	5.3	51	13	49	4.42	3.7	6.8
XT	2.82	4.9	49	10	48	3.39	0	7.4
XD	2.84	4.2	60	17	56	4.03	1.4	5.7

注:抗折强度 1400℃×0.5h 为热态,1000℃ 和 1500℃ 为烧后抗折。

3.2.2 线变化和热震稳定性

在 4 个厂中,低温 600℃ 状态下的内衬砖收缩率差别不大(见表 3),除 G 厂和 H 厂是微收缩外,其余均为微膨胀;中低温 800℃ 和中高温 1000℃ 状态下 G 厂和 H 厂仍为微收缩,另 2 个厂还是微膨胀;在高温 1500℃ 状态下, G 厂和 H 厂的膨胀属于正常,但 S 厂和 X 厂的膨胀就比较高,数据显示接近 2.0%,这给铁水包砌筑带来一定的难度。在砌筑过程中,每一层的沿铁水包内壁弧线砖的砖体宽度为 80mm,如果砖与砖之间的缝隙留小了(砌筑规程规定一般为≤2mm),在高温状态下的使用过程中,砖体会产生较大的膨胀,初步分析判断:砖体宽度 $80\text{mm} \times 2.0\% = 1.6\text{mm}$,这就造成砖与砖之间几乎没有任何膨胀区域,高温下可能会导致砖体本身产生裂纹,直接影响铁水包的使用寿命。

4 个厂的热震稳定性试验效果均不错(见表 3),除 H 厂底部内衬砖在进行第 6 次时突然爆裂(见图 1),其余均超过 10 次以上,从试验前后效果对比来看,热震 10 次以上的样块损失不大,但 H 厂的 3 种砖在热震第 3 次开始表面就有掉颗粒现象,铁区砖在第 6 次时产生爆裂; S 厂的渣线砖、铁区砖和底部砖在第 6 次以后都出现了不同程度的轻微裂纹; G 厂和 X 厂的效果较好,但在第 10 次时表面均有不同程度的轻微裂纹。

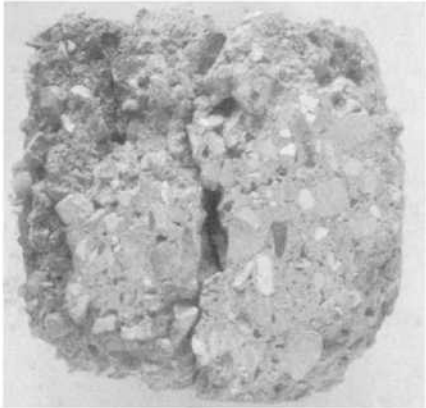


图 1 H 厂底部砖热震 6 次爆裂图

表3 4厂渣线、铁区、包底砖线收缩变化和热震稳定性

组别	线变化%				热震稳定性 次
	600℃	800℃	1000℃	1500℃	
SZ	0.36	0.34	0.39	1.84	10
ST	0.21	0.23	0.49	1.99	10
SD	0.37	0.28	0.23	1.68	10
HZ	0.01	-0.18	-0.34	0.76	10
HT	0.03	-0.11	-0.22	0.46	10
HD	0.17	-0.09	-0.25	0.86	6
GZ	-0.02	-0.10	-0.01	0.63	10
GT	0.02	-0.29	-0.02	0.52	10
GD	-0.06	-0.12	-0.02	0.31	10
XZ	0.35	0.28	0.40	1.94	10
XT	0.24	0.38	0.33	1.83	10
XD	0.16	0.36	0.44	1.80	10

3.2.3 抗氧化检验

此次抗氧化试验仅在中低温到中高温的状态下进行,其目的是要了解和该种砖在强度最低时的氧化状态,从4个厂渣线砖和铁区砖的抗氧化试验数据结果和渣线砖实际图例(见表4)与数据对比分析可以看出:

表4 4厂渣线、铁区砖的抗氧化变化

组别	抗氧化指数%		
	600℃	800℃	1000℃
SZ	83	72	59
ST	75	67	60
HZ	55	59	52
HT	47	58	53
GZ	68	58	46
GT	61	55	50
XZ	80	68	56
XT	78	65	54

注:抗氧化指数%=未脱碳面积/断面面积;指数越高说明抗氧化效果越好。

在中低温600℃时,只有H厂和G厂的数值偏低,S厂与X厂较好;在中温800℃时,S厂较好,其他厂偏低;在中高温1000℃时,G厂数值偏低,其他厂接近,从实际使用情况来看,在同等条件下,铁水包内衬砖的抗氧化指数越高,实际使用寿命越高,因此可以初步判断,仅就抗氧化方面来讲,S厂和X厂要优于G厂和H厂。

3.2.4 抗渣试验

抗渣试验采用静态坩埚法,主要模拟铁渣与内衬砖在铁水高温状态下的反应情况,冷却以后测量剖面侵蚀状况,即切制适当的样品,并在样品中间钻成高度35mm,直径 ϕ 42mm孔洞,填入相同重量的试验渣,放入高温炉内控制升温,在1500保温3个小时,出炉冷却以后从中间切开,并测量剖面(见图2)。抗渣试验高炉铁渣和脱硫渣的主要化学成分见表5。

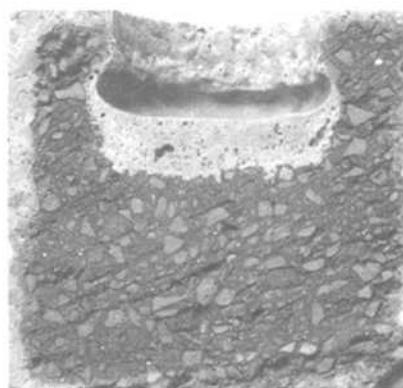


图2 抗渣试验示意图

表5 高炉铁渣和脱硫渣成分

名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	S	CaF	P	烧碱
高炉铁渣	32.22	13.14	0.86	40.92	8.99	0.18	0.57	0.94	—	—	—
脱硫渣	1.85	0.44	—	65.88	9.51	—	—	0.19	6.20	0.005	12.8

对 4 个厂铁水包内衬渣线砖和铁区砖进行实验室静态抗渣试验,试验样品砖的内孔直径、高度与外添渣重量基本一致,试验数据见表 6。

对于高炉铁渣:从表 6 的直观比较分析:①在渣层底部,4 个厂渣线砖和铁区砖在高温、不与空气接触状态下,孔内砖表面就与高炉铁渣发生了反应,造成所有内径都有扩大的趋势,这从底部直径的变化可以看出,其中 S 厂渣线砖最为明显,其余 3 个厂的反应状况基本接近;②在渣层表面,与空气接触的反应面直径差可以看出,S 厂和 X 厂的反应比较大,造成渣线高度处两边凹进较深, H 厂的反应较小,凹进范围不大, G 厂渣线砖凹进最少,内径基本处于一个垂直状态,2 个厂的数据与首钢鱼雷罐渣线砖接近;③在孔口周围,由于入炉前在孔径内渣量的高度处于离孔口 10mm 左右,因此在高温状态下的高炉渣处于液态的沸腾状况,对孔口周边也会有反应,几个厂与首钢的数据相似。其高炉原渣抗渣侵蚀的排列次序为:G>H>S≈X。

表 6 1500℃ 高炉铁渣和脱硫渣剖面数据

渣系	厂家代号	底部直径 mm	底部直径差 mm	反应面直径 mm	反应面直径差 mm
高炉铁渣	SZ1	44.6	2.6	53.5	11.5
	ST1	43.8	1.8	54.1	12.1
	HZ1	43.4	1.4	46.3	4.3
	HT1	43.7	1.7	47.2	5.2
	GZ1	43.1	1.1	45.2	3.2
	GT1	42.8	0.8	47.1	5.1
	XZ1	42.6	0.6	53.1	11.1
	XT1	43.1	1.1	54.9	12.9
脱硫渣	SZ2	46.5	4.5	51.8	9.8
	ST2	46.3	4.3	52.8	10.8
	HZ2	45.2	3.2	54.7	12.7
	HT2	45	3	54.8	12.8
	GZ2	43.1	1.1	49.1	7.1
	GT2	44.1	2.1	49.8	7.8
	XZ2	43.2	1.2	54.1	12.1
	XT2	45.1	3.1	53.6	11.6

对于脱硫渣,此表 6 中可以看出:①在渣层底部,4 个厂渣线砖和铁区砖在高温、不与空气接触状态下,孔内砖表面都与脱硫配渣形成反应,造成所有内径都有扩大的趋势,这从底部直径的变化可以看出,其中 G 厂和 X 厂反应较小,其余 2 个厂的反应状况相似,但 S 厂的反应最大;②在渣层表面,所有砖与脱硫配渣的反应都比较大,两边凹进较深,这从所有与空气接触的反应面直径差可以看出,虽然 G 厂渣线砖凹进最少,但也在 7mm~8mm 之间,而其他 3 个厂凹进深度均>10mm;③在孔口周围,由于配渣重量较轻,因此入炉前在孔径内渣量的高度与孔口持平,但从烧后的图中反应可以看到,总渣量已经处于非常少的状态,说明大部分脱硫配渣与砖体试样在高温状态下发生了反应。其 KR 法配渣抗渣侵蚀的排列次序为:G>S>X ≈ H。

4 结论

- 1. 从 4 个供货厂家渣线砖数据以及现场使用条件对比分析:4 个供货厂家铁水包内衬砖所有检验项目的结论相比较,按理化指标 G 厂家最高,其次为 S 厂家和 X 厂家基本相似,第三为 H 厂家。
- 2. 4 个供货厂家铁水包内衬的工作层铝碳化硅碳砖都有改进和提高质量的空间,特别是在抗渣侵蚀方面与国内先进的钢铁公司还是有一些差距。