

# 首钢京唐公司铁水包用耐火材料性能评估

范万臣 祝少军 曹 勇

首钢技术研究院 北京 100043

**摘 要** 全面分析了负责承包京唐公司铁水包的 4 个供货厂家的内衬砖的化学组成和物理性能,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** 铁水包,耐火材料,理化性能,脱硫渣

首钢京唐公司炼铁厂高炉容积为 5 500 m<sup>3</sup>,一期工程配有 30 个 300 t 大型铁水包(KR 脱硫预处理)。其高炉出铁温度 ≥ 1 500 ℃,出铁高度落差高达 9 m 以上,因此对铁水包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 1 000 m 左右,铁水在包内净存留时间为 4 ~ 6 h,铁水包周转时间为 5 ~ 8 h,最长时间为 12 h。在铁水包内采用 KR 法脱硫,脱硫周期平均约 42 min。由于采用 KR 法脱硫,铁水包内衬工作面耐火材料与脱硫渣长时间接触,脱硫渣中的 CaO、CaF<sub>2</sub> 以及铁水与炉渣中的 SiO<sub>2</sub> 会加速与内衬砖的化学侵蚀作用。同时,由于在铁水包内进行搅拌,加速了铁水、脱硫渣对内衬耐火材料的冲刷,会造成铁水包的使用寿命进一步降低。

目前,首钢京唐公司对 300 t 大型铁水包采用“一包到底”的使用模式,其内衬耐火材料由 4 个供货厂家承包负责,这在国内还未曾有。因此,在实施初期有必要对这 4 个供货厂家所提供铁水包内衬砖的性能进行分析与评估。

## 1 铁水包内衬耐火材料的性能评估

对负责承包京唐公司铁水包的 4 个供货厂家(代号分别为 S、H、G、X)所提供的铁水包包壁渣线砖(代号 Z)、包壁铁区砖(代号 T)和包底冲击区砖(代号 D)分别取样进行理化性能指标对比分析。由于 1 000 和 1 500 ℃ 是铁水包使用的关键温度,因此,重点进行了 1 000 和 1 500 ℃ 处理后的强度和加热线变化方面的测试。

### 1.1 化学组成

从各厂供货产品的化学组成分析(见表 1)来看:在主要成分中,SiC 含量除 G 厂的偏低以外,其他厂

的比较接近;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量以 H 厂的最高,其他厂的略有差别;C 含量除 X 厂的略微偏低一些以外,其他厂的比较接近;但各厂砖的 SiO<sub>2</sub> 含量差别比较大,最高的为 23.75% (w),最低的为 5.56% (w)。但在杂质成分中,X 厂的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 TiO<sub>2</sub> 含量比其他厂的略微偏高。这说明各厂生产的铁水包内衬砖中三大成分 SiC + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + C 含量基本相似,但在其他原料的选择方面还是有不同之处的。

表 1 S、H、G、X 4 厂家提供的渣线(Z)、铁区(T)和包底砖(D)的化学组成(w) %

产品代号	SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
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

### 1.2 密度和强度

从表 2 所示几个厂家提供内衬砖的理化性能指标来,G 厂生产内衬砖的综合性能最好,说明其生产环节的控制较好。从各项指标的对比来看:体积密度以 G 厂和 H 厂的比较好;显气孔率以 H 厂的偏高一些;烘干耐压强度以 G 厂的最高,其次依次为 X 厂、H 厂和 S 厂的;1 000 ℃ 烧后耐压强度大小顺序为 G > S > X > H;1 500 ℃ 烧后耐压强度除 G 厂的稍高以外,

\* 范万臣:男,1953 年生,高级工程师。

E-mail: gysfanwanchen@163.com

收稿日期:2010-02-04

编辑:柴剑玲

其他厂水平基本接近;这 4 个厂砖的高温抗折强度只有 G 厂的略高些,但都不高,与国内和首钢总公司鱼雷罐目前使用的铝碳化硅-碳砖还有一定的差距;1 000、1 500 ℃烧后常温抗折强度除 G 厂的相对较高

外,而其他厂的都较低。因此,有必要考察铁水包内衬砖在中高温时的强度与氧化状况,以避免铁水包在急冷急热的使用过程中由于中温强度的问题而影响使用寿命。

表 2 S、H、G、X 4 厂家提供的渣线(Z)、铁区(T)和包底砖(D)的密度和强度

产品 代号	体积密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	显气孔 率/%	常温耐压强度/MPa			常温抗折强度/MPa		高温抗折强度/MPa 1 400 ℃ 0.5 h
			110 ℃ 8 h	1 000 ℃ 3 h	1 500 ℃ 3 h	1 000 ℃ 3 h	1 500 ℃ 3 h	
SZ	2.80	4.6	44	22	42	2.0	6.0	4.54
ST	2.76	5.8	36	18	27	1.6	5.8	3.76
SD	2.78	4.6	54	38	54	2.4	8.6	4.10
HZ	2.92	7.5	48	10	34	0	9.4	3.78
HT	2.92	6.8	46	0	20	1.1	10.5	5.92
HD	2.92	7.2	40	9	25	0	11.5	3.94
GZ	2.91	4.7	62	24	62	6.2	15.2	5.88
GT	2.93	2.7	112	26	51	5.9	12.8	6.96
GD	2.93	3.0	74	26	72	5.4	10.3	6.42
XZ	2.82	5.3	51	13	49	3.7	6.8	4.42
XT	2.82	4.9	49	10	48	0	7.4	3.39
XD	2.84	4.2	60	17	56	1.4	5.7	4.03

1.3 加热线变化率和抗热震性

从表 3 所示不同温度烧后的线变化率可知:4 个厂的内衬砖在低温(600 ℃)下的加热线变化率差别不大,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(1 000 ℃)下 G 厂和 H 厂仍为微收缩,另 2 个厂的是微膨胀;在高温(1 500 ℃)下,G 厂和 H 厂的膨胀量较小,但 S 厂和 X 厂的膨胀量比较高,接近 2.0%,这可能给铁水包砌筑带来一定的难度。

表 3 S、H、G、X 4 厂家提供的渣线(Z)、铁区(T)和包底砖(D)的加热线变化率和抗热震性

组别	线变化率/%				抗热震 性/次
	600 ℃	800 ℃	1 000 ℃	1 500 ℃	
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

抗热震试验采用 1 100 ℃水冷法。表 3 的试验结果表明,4 个厂内衬砖在的抗热震效果均不错,除 H 厂的包底砖在进行第 6 次热震时突然爆裂外,其余厂的热震 10 次后均未出现大裂纹。但从试验前后样块的外观对比来看,H 厂的渣线砖和铁区砖在热震 3 次

时就开始有表面掉颗粒现象;S 厂的渣线砖、铁区砖和底部砖在热震 6 次时都出现了不同程度的轻微裂纹;G 厂和 X 厂内衬砖的抗热震效果相对是最好的,但在热震 10 次时,其表面也都出现了不同程度的轻微裂纹。

1.4 抗氧化性

抗氧化试验仅在中低温到中高温下进行,其目的是要了解和分析砖在强度最低时的氧化情况。从表 4 所示各厂家的渣线砖和铁区砖在不同温度氧化后的抗氧化指数(抗氧化指数=未脱碳面积÷截面面积×100%,其值越高,抗氧化效果越好)可以看出:在 600 ℃(中低温)氧化时,H 厂和 G 厂的抗氧化性较差,S 厂与 X 厂较好;在 800 ℃(中温)氧化时,S 厂的抗氧化性较好;在 1 000 ℃(中高温)氧化时,G 厂抗氧化性数值较差。因此,仅就抗氧化性来讲,S 厂和 X 厂要优于 G 厂和 H 厂的。

表 4 S、H、G、X 4 厂家提供的渣线(Z)和铁区(T)砖在不同温度氧化后的抗氧化指数

产品代号	抗氧化指数/%		
	600 ℃	800 ℃	1 000 ℃
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

1.5 抗渣性

抗渣试验是针对铁水包内衬渣线砖和铁区砖进

行的,主要模拟铁渣与内衬砖在高温铁水中的反应情况。抗渣试验采用静态坩埚法,试验渣采用高炉铁渣和脱硫渣,其主要化学组成见表5。从各厂的供货砖上取样,在样品中间钻出  $\phi 42\text{ mm} \times 35\text{ mm}$  的孔洞,并

在孔中分别填入相同量的高炉铁渣或脱硫渣,放入高温炉内于  $1\ 500\text{ }^{\circ}\text{C}$  保温  $3\text{ h}$ ,出炉冷却后沿坩埚孔的轴向切开,并测量坩埚孔剖面的相关数据,具体见表6。从表6可见:

表5 高炉铁渣和脱硫渣的化学组成

名称	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>	S	CaF	P	灼减
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

表6 经高炉铁渣和脱硫渣侵蚀后的坩埚剖面数据( $1\ 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

项目		SZ	ST	HZ	HT	GZ	GT	XZ	XT
侵蚀前后渣	高炉铁渣	2.6	1.8	1.4	1.7	1.1	0.8	0.6	1.1
底部直径差/mm	脱硫渣	4.5	4.3	3.2	3	1.1	2.1	1.2	3.1
侵蚀前后渣反应	高炉铁渣	11.5	12.1	4.3	5.2	3.2	5.1	11.1	12.9
面直径差/mm	脱硫渣	9.8	10.8	12.7	12.8	7.1	7.8	12.1	11.6

对于高炉铁渣:①在渣层底部(即坩埚孔底部),在高温、不与空气接触状态下,4个厂的渣线砖和铁区砖的内孔表面都与高炉铁渣发生了反应,造成所有坩埚孔的内径都有扩大的趋势,这可从侵蚀前后底部直径的差值看出,其中S厂的渣线砖(SZ)最为明显,其余3个侵蚀状况基本接近;②在渣层表面,从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(见图1),H厂的反应程度较小,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。可见,S、H、G、X四厂家提供的耐火材料对高炉铁渣的抗侵蚀能力排序为: $G>H>S\approx X$ 。

对于脱硫渣:①在渣层底部,所有砖都与脱硫配渣反应了,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,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  $7\sim 8\text{ mm}$  之间,而其他3个厂凹进深度均  $>10\text{ mm}$ 。可见,S、H、G、X 4厂家提供的耐火材料对KR法配渣的抗侵蚀能力的排序为: $G>S>X\approx H$ 。



图1 抗渣试验后S厂坩埚试样照片

2 结语

负责承包京唐公司铁水包的4个供货厂家(S、H、G、X)的铁水包内衬砖的所有检测指标相比较,G厂提供的产品理化指标最好,其次为S厂和X厂的,最差的是H厂的。但这4个供货厂家的铁水包工作层内衬铝碳化硅碳砖的质量都还有改进和提高的空间,特别是在抗渣侵蚀方面与国内先进钢铁公司所用的还有一些差距。

· 征订启事 ·

欢迎订阅2011年《水泥》杂志

《水泥》杂志是由中国建筑材料联合会主管、建筑材料工业技术情报研究所主办的全国性建材科技期刊,1974年创刊,以“面向生产,注重实用”为办刊宗旨,适合于水泥及相关企业、科研院所、大专院校及设计单位的技术人员阅读参考。为国家期刊奖百种重点期刊、全国优秀科技期刊、中文核心期刊、中国科技论文统计源期刊。

主要栏目:生产技术,生产设备,试验研究,收尘环保,标准介绍,电气控制,计量监测,分析测试,专题报道,技改交流,行业动态等。

本刊为国际大16开,全部采用高档铜版纸印刷,正文超过64页,每月10日出版。订价:2.3元/期,全年27.6元。订阅2011年全年《水泥》杂志的读者,可申请获赠《水泥》网站会员充值卡(详情请参见《水泥》杂志或网站)。

全国各地邮局均可订阅,邮发代号2-325

地址:北京市朝阳区管庄东里 邮编:100024 电话(传真):(010)65765526 65767042 51164621

E-mail:edit@c-m.com.cn http://www.cementmagazine.com