

首钢熔剂球团及炉料结构冶金性能试验研究

王学峰 单泊华

(首钢技术研究院)

摘要: 研究了首钢试验室及工业试验熔剂球团的冶金性能及含有熔剂球团的高炉炉料结构的冶金性能和熔滴性能。

关键词: 熔剂球团 炉料结构 冶金性能

1 前言

为探讨熔剂球团本身及高炉使用熔剂球团后炉料冶金性能及熔滴性能的变化情况, 研究了试验室及工业试验熔剂球团以及烧结矿加熔剂球团的炉料结构的冶金性能和熔滴性能。试验表明, 熔剂球团及配有熔剂球团的高炉炉料冶金和熔滴性能优良。采用熔剂球团的高炉冶炼初步试验取得了较好的效果。

2 试验球团理化性能及试验方法

试验研究了四种由试验室制取的不同碱度的球团(表1中的试验球团1到4), 以及首钢矿业公司1号球团生产线试生产的熔剂球团即表1中的工业熔剂球团。为了对比, 同时对首钢矿业公司日常生产的酸性球团进行了检验分析。

表1 试验球团理化性能 (%)

	TFe	FeO	CaO	SiO ₂	R	抗压强度 (N/p)
试验球团 1	62.92	0.38	2.92	4.85	0.60	2664
试验球团 2	62.33	0.18	3.89	4.76	0.82	2332
试验球团 3	61.26	0.22	5.82	4.76	1.04	2773
试验球团 4	61.87	0.43	5.87	4.87	1.21	2440
工业熔剂球团	61.70	1.51	5.20	5.00	1.04	2208
酸性球团	65.42	0.81	0.3	4.82	0.06	2198

表2 炉料结构组成 单位: %

试样名称	矿烧结矿*	二烧结矿**	熔剂球团	酸性球	澳矿
基础样	39.30	39.3	0	8.5	11.1
炉料 1	35.72	35.72	7.70	0	18.68
炉料 2	34.50	34.50	12.52	0	16.26
炉料 3	32.74	32.74	20.00	0	12.30

注: *碱度 1.83, **碱度 1.80

炉料结构熔滴性能的检验以首钢 3 号高炉的基本原料为基础，熔剂球团为工业熔剂球团（见表 1）。配入熔剂球团的炉料中，烧结矿的比例固定不变，以澳块矿配加量来调整炉渣的碱度以满足冶炼要求，具体组成见表 2。

还原度指数采用国家标准 GB/T13241-91 实验装置及检验方法；低温还原粉化率采用国家标准 GB/T13242-91 实验装置及检验方法检验；还原膨胀指数的测定装置与测定还原度指数的装置相同，测定时随机取 18 个 10-12.5mm 的球团，从三个不同轴向测量每个球团的直径，以三个值的平均值计算球团体积，即为球团的原体积，被检验的球团分三层放入特制的还原盘中，在还原炉内还原 1 小时，然后在 N₂ 保护下冷却至常温。取出还原后的球团按入炉前同样的方法测定球团还原后的体积，以体积膨胀值作为还原膨胀指数。

熔滴性能采用北京科技大学设定的方法，其主要工艺参数：反应管尺寸（mm） $\phi 48 \times 300$ ；试样粒度 10~12.5 mm；试样在反应管内高度 65 \pm 5mm；荷重：9.8（N/cm²）；还原气体成分：30%CO+70%N₂，气体流量 12.0L/min；升温速度：0~950℃：10℃/分，950℃恒温 60 分钟，>950℃：5℃/分。

3 试验结果

3.1 熔剂球团单种矿的冶金性能

熔剂球团的低温还原粉化指数、还原度指数及还原膨胀指数见表 3。可以看到，四种试验室熔剂球团样品的 RDI_{+3.15} 最低为 87.05%，最高为 93.86%，工业熔剂球团的 RDI_{+3.15} 为 91.50%，均好于酸性球团的 82.46%，说明熔剂球团抗还原粉化性能优良。

表 3 熔剂球团还原粉化指数、还原度指数及还原膨胀指数

试样名称	还原粉化指数 (%)			还原度指数	还原膨胀指数
	RDI _{+6.3}	RDI _{+3.15}	RDI _{-3.15}	RI (%)	RSI (%)
试验室球团 1	87.89	90.13	9.87	69.95	22.83
试验室球团 2	81.41	87.05	12.95	73.28	17.00
试验室球团 3	85.67	91.18	8.82	75.72	15.57
试验室球团 4	88.96	93.86	6.14	78.05	14.91
工业熔剂球团	86.67	91.50	8.50	75.03	16.21
酸性球团	80.12	83.46	16.54	60.96	11.00

如表 3，熔剂球团的还原度指数 RI 也比酸性球团高很多，其中碱度为 1.2 的试验球团 4 还原度指数接近首钢烧结矿。不难看出，随着球团碱度的增加，其还原性提高（见图 1），这一点很好理解：熔剂球团在焙烧过程中由于碳酸钙分解放出 CO₂，使球团的开气孔率增加，随着球团中熔剂量的增加，开气孔率会更高，更有利于还原过程的进行；另一方面，熔剂球团的矿物组成中有一定数量的易于还原的铁酸钙，且随球团碱度的提高，铁酸钙的数量增加，还原性也相应提高。文献[1]表明，综合炉料的冶金性能介于烧结矿和球团矿之间，从这一点看，熔剂球团加烧结矿的综合炉料的冶金性能会更优越。

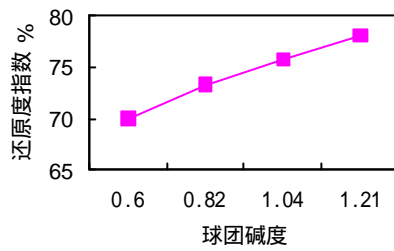


图 1 熔剂球团还原度指数与球团碱度的关系

关于还原膨胀指数 RSI，除试验球团 1 外，都低于 20%。虽然熔剂球团的膨胀指数要比酸性球团高，但在优质球团的指标范围内。试验球团 1 的还原粉化指数之所以较高，是由于其碱度值处于还原膨胀指数的高峰区 [2]。从上述试验结果也可以看到，在首钢原料条件下，如生产熔剂球团，球团碱度应高于 0.6。

3. 2 熔剂球团矿熔滴性能

表 4 是球团单种矿熔滴性能检验结果，试验中只检验了碱度为 1.04 的试验球团 3、工业生产熔剂球团及对比样酸性球团。可以看到，与酸性球团相比，熔剂球团的软化及熔化开始温度都明显提高，且软化温度区间 ΔT_1 与熔滴温度 ΔT_2 区间变窄，这些都有利于高炉的顺行。工业生产的熔剂球团最大压差略高于对比样酸性球团，而试验球团 4 的最大压差则低于酸性球团。根据以往的大量检验数据，三者之间的最大压差并没有本质的差别。

表 4 熔剂球团熔滴性能

试样名称	$T_{10\%}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{50\%}$ ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_1 ($^{\circ}\text{C}$)	T_s ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH_s (mm)	ΔP_m (Pa)	T_d ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_2 ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH (mm)
试验球团 1#	1164	1309	145	1392	46	2738	1416	24	11
工业熔剂球团	1148	1294	146	1300	36	3626	1385	85	25
酸性球团	981	1217	236	1259	38	3528	1425	166	23

3. 3 配加熔剂球团的炉料结构

配加熔剂球团的炉料熔滴性能检验结果见表 5。可以看到，随着熔剂球团比例的增加，炉料开始软化温度呈升高趋势，开始熔化温度也呈升高趋势，软化温度区间 ΔT_1 有所变窄，熔滴温度区间 ΔT_2 变化不规律，其中炉料 2 有所升高，其余两个则低于基准样，但无论是升高还是降低，幅度都不是很大。最大压差 ΔP_m 的变化与 ΔT_2 的变化相似，炉料 2 的最大压差较高，其余两个则比基准样低。

表 9 综合炉料

试样名称	T _{10%} (°C)	T _{50%} (°C)	ΔT ₁ (°C)	T _s (°C)	ΔH _s (mm)	ΔPm (Pa)	T _d (°C)	ΔT ₂ (°C)	ΔH (mm)
基础样	1079	1288	209	1362	46	2744	1435	73	15
炉料 1	1163	1346	183	1419	46	1274	1467	48	10
炉料 2	1161	1335	174	1368	43	2989	1466	98	16
炉料 3	1134	1328	194	1406	47	1862	1466	60	13

由本检验结果可以看到，综合来讲，熔剂球团的冶金性能和熔滴性能都好于酸性球团，更好于澳矿块矿[3]，由于炉料结构的高温冶金性能界于各单矿的性能之间，所以用性能较好的熔剂球团代替酸性球团和澳块矿后，炉料的熔滴性能也相应改善。

4 熔剂球团在高炉冶炼中的试用情况

2002 年 10 月到 11 月进行了两个阶段的高炉冶炼熔剂球团试验，试验在首钢 3 号高炉进行，两个阶段熔剂球团加入比例分别为 5.7%和 9.3%，共计 19 天。试验期间送风制度、热制度和造渣制度保持稳定。但试验后期焦炭水份和灰分指标变差，其中水份达 14.0%，灰份 13.97%，转鼓 79.6%，均比基准期差，导致焦比有所升高，尽管这样，试验期间仍保持了较高的日产水平。试验期间高炉主要技术经济指标见表 5。

表 5 工业试验主要技术经济指标

	综合入炉品位 %	校正日产 t/d	综合焦比 kg/t	燃料比 kg/t	风量 m ³ /min	透气性指数	[Si]%	铁水温度 °C	η co%
基准期	59.25	5796	493	523	4741	3586	0.420	1488	43.35
试验一期	59.19	5917	496	527	4810	3625	0.389	1488	43.54
试验二期	59.41	5877	499	528	4771	3592	0.380	1494	43.16

5 结论

- 5.1 不同碱度熔剂球团的还原性明显好于酸性球团，抗低温还原粉化性能也好于酸性球团，除碱度较低的球团外，熔剂球团的还原膨胀指标较好。
- 5.2 试验熔剂球团的软化和熔滴温度区间较窄，综合看高温冶金性能较好。
- 5.3 熔剂球团矿加烧结矿的综合炉料的熔滴性能总体上是改善的。
- 5.4 炉料中配加熔剂球团在 5.7%和 9.3%的情况下，高炉工业试验取得了较好的效果。
- 5.5 考虑高炉炉料中烧结矿碱度与球团矿碱度差值₍₁₎不宜过高的情况，首钢炉料中球团矿比例增加后，熔剂球团加烧结矿的炉料结构不失为一种可供选择的方案，高炉更大比例使用熔剂球团的效果有待于进一步工业试验来检验。

参考文献

[1] 胡宾生 杜鹤桂，高炉合理炉料结构的研究，炼铁，1991 年第六期。

[2] Meyer, 铁矿球团法, 冶金工业出版社, 1986年。

[3] 唐善莉等, 首钢高炉炉料结构的研究, 首钢科技, 1999年第四期。