

济钢1750 m³高炉高 Al₂O₃ 炉渣性能研究与冶炼实践

李荣¹ 郭江¹ 王玉莲²

(1 济源职业技术学院冶金与化学工程系, 济源 454650; 2 济南钢铁集团有限责任公司, 济南 250101)

摘要 根据对高 Al₂O₃ (20%) 炉渣性能的实验室研究结果分析, 得出通过控制二元炉渣碱度 1.15 ~ 1.20、四元炉渣碱度 0.95 ~ 1.05, 控制 MgO 含量 10.0% ~ 11.5%, 渣温 1500 ~ 1510 ℃, 可以有效改善炉渣流动性, 提高透气性指数和高炉稳定性。并提出了配入蛇纹石、上下部调剂、控制入炉原燃料等适合高 Al₂O₃ 炉渣冶炼的措施, 保证了高炉稳定顺行, 提高了技术经济指标。

关键词 1750 m³ 高炉 高 Al₂O₃ 炉渣 冶炼

Study on Performance of High Al₂O₃ Slag and Smelting Practice of 1750 m³ Blast Furnace at Jiyuan Steel

Li Rong¹, Guo Jiang¹ and Wang Yulian²

(1 Dept of Metallurgical and Chemical Engineering, Jiyuan Vocational and Technical College, Jiyuan 454650; 2 Jinan Iron and Steel Group Co Ltd, Jinan 250101)

Abstract Based on the analysis results of study on performance of high Al₂O₃ (20%) slag in lab, results show that it is available to improve the flowability of slag, increase permeability index and improve stability of blast furnace (BF) by controlling basicity of binary slag 1.15 ~ 1.20, basicity of quaternary slag 0.95 ~ 1.05, controlling MgO content in slag 10.0% ~ 11.5% and temperature of slag 1500 ~ 1510 ℃, and the corresponding measures for smelting by high Al₂O₃ slag are proposed including adding serpentine, conditioning upper and lower parts and controlling charging crude fuel to ensure BF stability run and increase technical-economic indexes.

Material Index 1750 m³ Blast Furnace, High Al₂O₃ Slag, Smelting

近些年来,随着高炉炼铁生产规模的扩大,铁矿石供应日益紧张,我国高炉炼铁原料来源日趋广泛。2008年11月以来,济钢烧结配加低品位高铝印度粗粉,使得1750 m³高炉渣中 Al₂O₃ 不断升高,由2008年的16.77%升至2009年的19.24%,渣比持续上升(表1)。高铝渣冶炼导致燃料比升高,料柱透气性恶化,风量萎缩,严重影响高炉的稳定性。本研究工作通过对炉渣性能分析,提出了适合高 Al₂O₃ 炉渣冶炼的有效措施,实现了高炉的稳定和顺行,降低了吨铁成本。

1 高 Al₂O₃ 炉渣对高炉冶炼的影响

1.1 风量萎缩

由于渣中 Al₂O₃ 达到 19.24%, 最高达 22.3%。对渣铁流动性的影响很大,渣铁粘稠排放困难,不易放净,恶化了高炉下部的透气性,恶化了炉缸工作状态,进风量萎缩严重,具体见图 1(a)。

1.2 高炉稳定性下降

高黏度的炉渣影响了成渣带以下料柱的透气性,渣铁在滴落

带流动性差,降低了料柱的空隙度,增加煤气上升阻力,影响高炉的顺行。渣铁排放的不畅造成炉缸堆积,中心吹不透,煤气流不稳定,透气性指数变差,高炉稳定性下降。见图 1(b)。

1.3 燃料比高

配料中的 Al₂O₃ 过高,以提高渣比增加渣量的方式来降低渣中 Al₂O₃ 含量,渣比升高导致燃料比上升。同时炉渣粘稠,炉温升高,渣铁的物理热水平,也是导致燃料比上升的原因之一。

2 炉渣流动性能分析

影响炉渣黏度的主要因素是温度和炉渣成分。在实际高炉冶炼过程成分主要是指占炉渣总组成 95.00% 以上的 CaO、SiO₂、Al₂O₃ 和 MgO 四个组元。

2.1 Al₂O₃ 对炉渣黏度的影响

表 1 经济料冶炼后渣铁成分的变化 / %

Table 1 Change in composition of slag and iron after smelting with economic materials / %

年份	C	Si	S	P	Mn	Ti	SiO ₂	CaO	S	MgO	Al ₂ O ₃	FeO
2008	4.58	0.56	0.02	0.08	0.32	0.07	33.01	36.64	1.21	10.10	16.77	0.29
2009	4.56	0.52	0.02	0.10	0.50	0.06	31.74	36.49	1.23	10.93	19.24	0.29

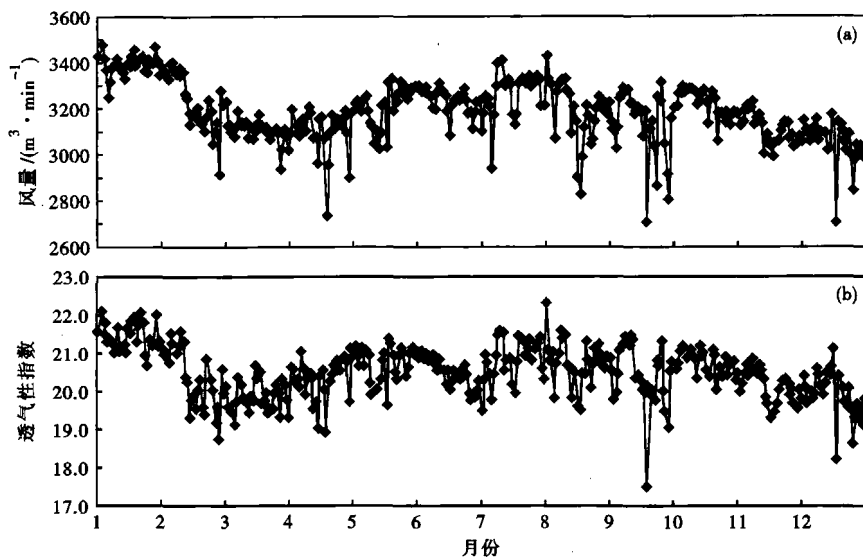


图 1 2009 年逐月 1 750 m³ 高炉风量(a)和透气指数(b)的变化

Fig. 1 Change of blast volume (a) and permeability index (b) of 1 750 m³ BF month by month in 2009

不同 Al₂O₃ 含量下炉渣黏度与温度的关系见图 2。由图 2 可以看出,在相同温度下随着 Al₂O₃ 含量的增加,炉渣黏度逐渐增加,(Al₂O₃) < 16.5% 时,Al₂O₃ 含量上升,黏度上升缓慢;当 (Al₂O₃) > 16.5% 时,Al₂O₃ 含量上升,黏度上升加快;在 1 500 °C 炉渣含 17.5% Al₂O₃ 时黏度是 0.28 Pa·s;当炉

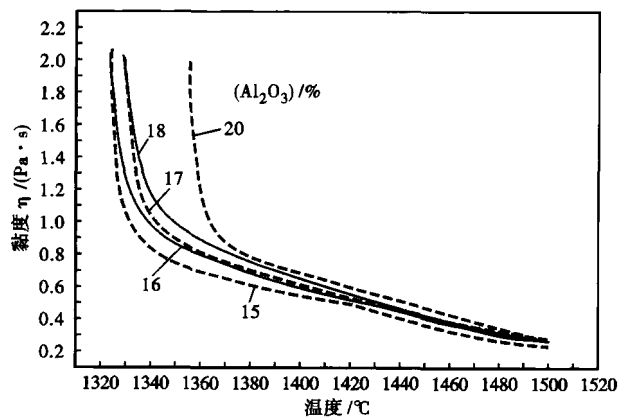


图 2 Al₂O₃ 含量和温度对炉渣黏度的影响,10% MgO

Fig. 2 Effect of Al₂O₃ content and temperature on slag viscosity, 10% MgO

渣 Al₂O₃ 增加到 17% ~ 20% 时,炉渣黏度会增加 0.02 ~ 0.06 Pa·s。尤其是在 (Al₂O₃) ≥ 17% 时,炉渣的黏度会随着温度的降低增加较快,炉渣的稳定性会明显变差^[1]。

2.2 MgO 对炉渣黏度的影响

不同温度下炉渣黏度与 MgO 含量的关系见图 3,在渣中 Al₂O₃ 含量和炉渣二元碱度 (R₂) 均确定时,炉渣黏度随 MgO 含量升高而降低,流动性改善明显。因为渣中 MgO 含量增加带入较多的 O²⁻ 离子,降低了 (AlO₄)⁵⁻ 复阴离子团的聚集体度,破坏了他们的三维网络结构,形成了简单的单、双四面体结构;同时 MgO 还能与 Al₂O₃ 形成一系列低熔点物质,改善炉渣的流动性。但高的 (MgO) 会带来渣量的增加。另外,根据相图与参考文献 [2] 介绍,在高炉渣系中当 (MgO) ≥ 12% 时,且随其进一

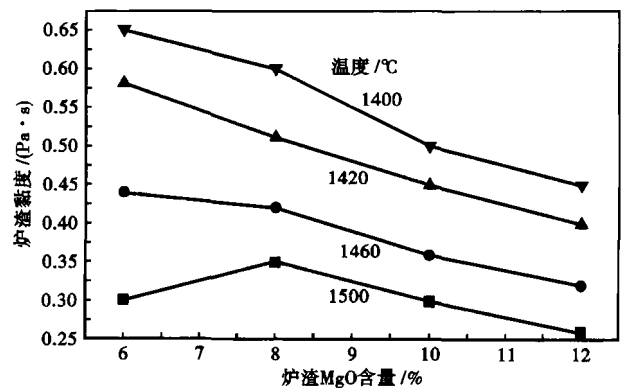


图 3 温度和 MgO 含量对炉渣黏度的影响,20% Al₂O₃

Fig. 3 Effect of temperature and MgO content on slag viscosity, 20% Al₂O₃

步提高也易导致熔渣热稳定性变差、融化性温度提高、低黏度区变窄、炉渣性能变差。

结果表明,当渣中 (Al₂O₃) ≤ 17% 时,(MgO) 为 9% ~ 10% 即能明显降低炉渣黏度;当渣中 (Al₂O₃) ≥ 17% 时,(MgO) 达到 10% 以上能明显降低炉渣黏度,改善炉渣流动性。

2.3 碱度对炉渣黏度的影响

对于低 (Al₂O₃) 的渣,可用炉渣的 R₂ 表征、判断其冶金与理化性能(包括黏度、脱硫性能等)。但对于高 (Al₂O₃) 的渣,R₂ 对炉渣黏度的相关性不明显,此时不能由 R₂ 对其冶金与理化性能做出确切的评估。

图2为实验测定的不同 (Al₂O₃) 与四元炉渣碱

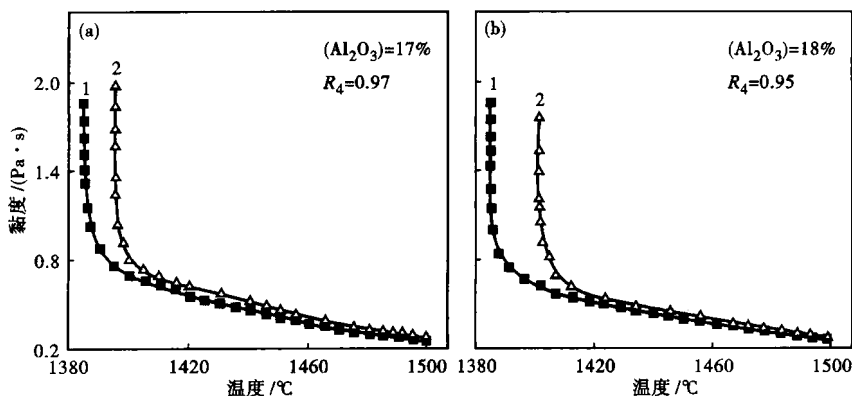


图4 R₄ 相同时炉渣黏度曲线对比: (a) 1- R₂ = 1.15, (MgO) = 10.5%, 2- R₂ = 1.20, (MgO) = 8.5%; (b) 1- R₂ = 1.15, (MgO) = 10.5%, 2- R₂ = 1.20, (MgO) = 8.5%

Fig. 4 Comparison of slag viscosity curves at same R₄: (a) 1- 1.15R₂; 10.5% (MgO), 2- 1.20R₂; 8.5% (MgO); (b) 1- 1.15R₂; 10.5% (MgO); 2- 1.20R₂; 8.5% (MgO)

度(R₄)的温度与黏度的关系曲线。由图2可见,当(Al₂O₃) (17%或18%)与四元炉渣碱度(R₄ = 0.97或R₄ = 0.95)确定时,降低R₂(从1.2降到1.15),同时提高(MgO)(从8.5%增加到10.5%),则炉渣的黏度和熔化性温度降低,炉渣的流动性得到改善,低黏度区域扩大,炉渣的稳定性提高;比较图4(a, b)两图可以看出(Al₂O₃)的含量越高,降低R₂和提高(MgO)对炉渣流动性的改善越明显,但降低R₂和提高(MgO)相当于减少了(CaO),这会影响炉渣的脱硫能力。因此对于(Al₂O₃)较高的高炉渣系可通过提高(MgO)来提高渣系的R₄,以降低炉渣的黏度和熔化性温度,扩大其低黏度区域以提高炉渣的稳定性。但是当渣中Al₂O₃ > 17%时,R₄尽量维持在1.0 ± 0.05,有利于炉渣黏度的降低以及低黏度区域的扩大,炉渣稳定性的提高。

2.4 温度对炉渣黏度的影响

在满足脱硫能力的前提下,合理的渣系组成应有优良的高温性能,尤其是高温黏度与热稳定性。高Al₂O₃渣系随着渣温的降低MgO和R₄降低,炉渣黏度的综合作用能力下降明显,Al₂O₃对其影响的权重迅速增大,影响的权重在1 475℃时Al₂O₃升高1%是1 500℃时的2倍,这时调整MgO和R₄效果已不明显,而在1 440℃时则达到5倍以上,这时的黏度主要受Al₂O₃控制了。因此,高Al₂O₃渣系热稳定性差,操作时渣温要适当提高,考虑炉温的波动渣温最好控制在1 500℃以上,只有这样才能通过调整MgO和R₄。优化出低的高温黏度和热稳定性好的炉渣组成^[3]。

3 高 Al₂O₃ 的应对措施

为了减轻高Al₂O₃给高炉带来的影响,济钢1 750 m³高炉确定了合理选择渣系,提高渣铁物理热,稳定热制度控制,确保渣铁良好流动性,减少高黏度渣铁在炉缸滞留,提高湿区透气透液性为主的操作制度,逐步形成了适合高Al₂O₃渣系的冶炼技术。

3.1 配入蛇纹石冶炼,改善炉渣性能

配加少量的蛇纹石(主要含SiO₂和MgO)来适当增加渣量和提高渣中MgO含量,达到改善炉渣性能和降低黏度的目的,同时又能机动的调节渣比适应炉况变化。

3.2 上下部调剂,改善料柱透气性

3.2.1 调整中心加焦布料制度

根据炉顶布料规律^[4]调整中心加焦布料制度:

焦(C)	42.5°	38.8°	35.8°	32.8°	29.8°	14°	矿(O)	42.5°	38.8°	35.8°	32.8°	29.8°	8°	→
批次	1	2	2	2	2	5	批次	4	4	3	2	1		
焦(C)	39.5°	36.5°	33.5°	30.5°	14°	矿(O)	42.5°	39.5°	36.5°	33.5°	30.5°	5°	→	
批次	2	2	2	2	5	批次	4	4	3	2	1			
焦(C)	39.5°	36.5°	30.5°	27.5°	14°	矿(O)	42.5°	39.5°	36.5°	33.5°	30.5°	27.5°	→	
批次	2	2	2	2	4	批次	4	4	3	2	2	1		

矿批由原来的46 t逐步缩小至42~43 t,拓宽边缘平台,拉宽角差,适当平铺,近中心环带适当增加矿焦比,形成窄而有力畅通的中心气流。

3.2.2 优化送风制度

调整风口配置是优化送风制度的最佳方法,济钢3座1 750 m³高炉都采取了缩小风口直径和加长风口长度的措施,具体如下:风口直径以Φ120 mm为主,进风面积0.265~0.270 m²;风口长度由580 mm加长到600 mm,风口小套伸入炉内的长度由380 mm加长到400 mm,同时保持220~230 m/s的高风速、1 100℃高风温和高富氧率将热量导入中心无矿区死料柱并破坏其结构,减少中心高Al₂O₃渣铁滞留。

3.3 控制入炉原燃料,降低燃料比

(1)槽下焦炭分粒级入炉^[5]。焦筛全部采用高效焦筛,根据焦炭入炉顺序,先入炉的1、2号焦筛筛棒间距缩为20 mm(原23 mm),后入炉的3、4号焦

筛筛棒间距扩为 25 mm(原 23 mm),保证中心大块焦的输送;降低焦丁量,增加炉内焦层厚度,提高焦层透气、透液性,降低焦比、燃料比。

(2)槽下烧结矿分粒级入炉。合理搭配使用 4.0 mm 筛子与 4.5 mm 的筛子,保证性能与粒度好的烧结矿布入近中心、中间环带,开放中心气流,抑制边缘气流,改善高炉稳定性。

3.4 炉前加强管理

(1)加强过程控制。严格执行操作规程和工艺纪律,对与高炉生产密切相关的各个环节(原燃料、设备与操作)加强跟踪与分析,防止过程失控影响炉况的稳定和顺行。

(2)量化操作参数。制定严格合理的参数调剂范围(见表 2),防止人为操作失误引起炉况波动。

表 2 1750 m³ 高炉操作参数范围

Table 2 Range of operating parameters for 1750 m³ BF

MgO/ %	R ₂	R ₄	风温/ ℃	渣温/ ℃	生铁 [Si]/ %	见渣间 隔时间/ min	铁口 深度/ m
10.0 ~ 11.5	1.15 ~ 1.20	1.0 ± 0.05	> 1 100	1 500 ~ 1 510	0.45 ~ 0.55	<30	>2.8

4 效果分析

(1)技术经济指标得到提升。从表 3 可以看出,2009 年上半年平均值与 2008 年下半年平均值主要技术经济指标在不断优化。利用系数从 2.443 提高到 2.296,燃料比从 553 下降到 550,返粉率也

表 3 2009 年 1~6 月 1750 m³ 高炉主要技术经济指标

Table 3 Main economic technical index of 1750 m³ BF in Jan-June, 2009

时间	利用系数/ (t·m ⁻³ ·d)	焦比/ (kg·t ⁻¹)	煤比/ (kg·t ⁻¹)	燃料比/ (kg·t ⁻¹)	风温/ ℃	铁水含 硅/%	返粉/ %	富氧率
1 月	2.507	385	159	544	1 209	0.528		1.482
2 月	2.399	379	162	541	1 205	0.498		0.544
3 月	2.215	385	164	549	1 204	0.489		0.416
4 月	2.183	384	163	547	1 195	0.493		1.006
5 月	2.292	402	163	566	1 203	0.518		1.429
6 月	2.307	388	168	561	1 201	0.500		1.494
2009 年上 半年平均值	2.296	349	164	550	1 201	0.510	11.8	0.980
2008 年下 半年平均值	2.443	351	164	553	1 206	0.530	13.6	1.650

注:1)1月~6月的数据是剔除了“非正常操作和设备异常状况”后的数据平均值;2)2009年上半年和2008年下半年的平均值是指1月~6月所有操作数值(包括非正常操作和异常设备)。

得到提升。

(2)炉况的稳定性得到了加强。在摸索高 Al₂O₃ 渣冶炼的初期,由于经验不足,炉况经常出现周期性的波动(每月 1~2 次),炉型恶化,风量萎缩 3%~5%。随着经验的不断积累,逐步摆脱了这种困境,稳定了炉况。

5 结论

(1)济钢 1750 m³ 高炉高 Al₂O₃ 冶炼,导致炉渣流动性差,风量萎缩,高炉稳定性下降。

(2)通过控制炉渣二元碱度在 1.15~1.20,四元碱度在 1.0±0.05, MgO 含量控制在 10.0%~11.5%,渣温在 1500~1510℃,可以有效改善炉渣流动性;提高透气性指数和高炉稳定性。

(3)通过配加少量的蛇纹石,增加渣中 MgO 量,改善炉渣流动性;通过调整中心加焦布料制度、优化送风制度等上下部调剂措施,改善料柱透气性;通过槽下焦炭分粒级、烧结矿分粒级入炉等方法控制入炉原燃料,降低燃料比。通过加强过程控制、量化操作参数等方式加强炉前管理,实现高炉稳定顺行。

河南省自然科学基金项目资助(2010C450002)

参考文献

- 胡夏雨,林李全,李辽沙.高 Al₂O₃ 炉渣性能的研究[J].中国冶金,2006,16(2):36-41.
- 危尚友.济钢高炉高 Al₂O₃ 炉渣冶炼实践[J].钢铁,2009,28(4):40-44.
- 宋亚超,王平,李家新.马钢 4000m³ 高炉高 Al₂O₃ 炉渣渣系优化实验研究[J].安徽工业大学学报,2009,26(4):327-332.
- 刘琦.谈无钟炉顶布料规律[C]//中国金属学会.沈阳:第八届全国大高炉炼铁学术年论文集,2007:1-12.
- 熊亚飞,舒文虎,董遵敏.武钢 6 号高炉炉渣高 Al₂O₃ 的冶炼实践[J].炼铁,2009,28(1):17-21.

李荣(1980-),女,硕士,讲师,冶金工艺和技术研究。
E-mail:lirong_025@163.com

收稿日期:2012-06-02