

文章编号:1000-582X(2010)03-114-05

高炉钒钛球团矿炉料结构试验

杜云贵^{1a}, 贺媛媛^{1b}, 郑慧敏^{1b}, 刘清才^{1b}, 陈黔湘², 敖万忠²

(1. 重庆大学 a. 资源及环境科学学院; b. 材料科学与工程学院, 重庆 400044;

2. 首钢水城钢铁(集团)有限责任公司, 贵州 六盘水 553028)

摘要:针对水钢现有原料条件,通过对单一矿石冶金性能的测试,研究了水钢烧结矿搭配钒钛球团矿的合理性;在烧结矿配比不变的条件下,用进口块矿对钒钛球团矿配比的加入进行调节,研究了炉料结构的还原性,低温还原粉化性和荷重软化及高温熔滴性能的变化规律。试验结果表明,水钢烧结矿还原度(RI)达到了90.68%,钒钛球团矿的加入有利于综合炉料低温还原粉化性能RDI和软熔性能的改善,其中当钒钛球团配入量为20%时,炉料结构软化开始温度为1147℃,软化区间156℃,滴落温度1349℃,最大压差2223Pa,透气性良好,为最佳炉料组成。

关键词:高炉;冶金性能;炉料结构;钒钛球团

中图分类号:TF521

文献标志码:A

Experiment study of adding V-Ti pellet in burden structure of blast furnace

DU Yun-gui^{1a}, HE Yuan-yuan^{1b}, ZHENG Hui-min^{1b}, LIU Qing-cai^{1b}, CHEN Qian-xiang², AO Wan-zhong²

(1a. College of Resource and Environmental Science; b. College of Materials Science and

Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China; 2. Shougang

Shuicheng Iron & Steel Corporation, Liupanshui 553028, Guizhou, P. R. China)

Abstract: In allusion to the existing material conditions of blast furnace in Shuicheng I & S Corporation, rationality of sinter with V-Ti pellets is studied through metallurgical performance tests of single ore. Regularity for change of reducibility, reduction degradation index, melting and dropping index changes of burden structure are researched, at increased V-Ti pellets in the same proportion of sinters and different proportion of imported lump ores. The results show that sinter RI reaches 90.68%, integrated charge RDI and soft melting index are improved by adding vanadium-titanium pellets. The charge structure is the best when V-Ti pellets ratio at 20%, which softening starting temperature is 1147℃, softening range is 156℃, dripping temperature at is 1349℃, maximum pressure is 2223 Pa and has a good permeability.

Key words: blast furnace; metallurgical property; burden structure; V-Ti pellets

提高熟料比和入炉矿石品位,优化炉料结构是高炉强化冶炼的一个有力手段,合理的炉料结构能获得高产、低耗、长寿的冶炼效果。高炉配加酸性球团矿是较为合理的炉料结构,目前国内许多钢铁企业的主要炉料结构基本上都是高碱度烧结矿配加酸性球团矿、块矿^[1-6]。

首钢水城钢铁(集团)公司(简称“水钢”)目前高炉炼铁炉料,烧结矿占入炉炉料的80%左右,其余均用块矿(主要是进口块)和球团矿(包括普通球团矿和钒钛球团矿)进行补充。由于进口块矿受限制的因素多,因此降低进口块矿的比例,提高球团矿比例,特别是用一部分钒钛球团矿来替代进口块矿不

收稿日期:2009-10-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50774107)

作者简介:杜云贵(1964-),男,重庆大学副教授,主要从事环境工程研究,(E-mail)donglas_2002@163.com.

仅能为优化原料结构、改善高炉稳定顺行提供理论基础和依据,而且还能为水钢高炉冶炼钒钛磁铁矿提供理论和实践依据。

1 试验主要内容

1.1 试验原料特性

试验中所使用原料取自水钢高炉原料场,主要

为烧结矿、钒钛球团矿和3种进口块矿(澳块、南非块和63印度块),其主要化学成分列入表1。

3种进口块矿的铁品位均高于烧结矿和钒钛球团矿,烧结矿中 TiO_2 为0.405%,属于低钛烧结矿系列。澳块矿烧损最大,表明其是天然块矿结构最疏松的^[7]。水钢烧结矿为熔剂性烧结矿,天然块矿和钒钛球团矿都呈酸性。

表1 试验所用水钢炼铁原料的化学成分

试样	$w(TFe)$	$w(FeO)$	$w(CaO)$	$w(SiO_2)$	$w(MgO)$	$w(Al_2O_3)$	$w(MnO)$	$w(S)$	$w(P)$	$w(TiO_2)$	$w(Ig)$
烧结矿	53.42	8.17	11.62	6.26	2.19	3.35	0.38	0.025	0.077	0.405	0.001
钒钛球团矿	53.72	0.62	1.17	5.69	2.53	2.19	0.108	0.006	0.033	9.87	0.91
澳块	55.7	0.31	0.387	7.72	0.101	1.94	0.098	0.012	0.037	0.114	10.13
南非块	65.9	0.31	0.237	3.64	0.001	1.15	0.137	0.024	0.024	0.058	0.59
63印度块	61.1	0.23	0.482	4.41	0.048	3.06	1.99	0.01	0.054	0.102	3.06

1.2 试验方案设计

1)进行单种矿高温冶金性能试验,主要考察烧结矿、钒钛球团矿、澳块、南非和63印度块的900℃还原度,以及烧结矿和钒钛球团矿的500℃低温还原粉化率和荷重还原软化及熔滴性能。

2)固定烧结矿配比为75%,用进口块进行调节,钒钛球团矿配入量分别为10%、15%、20%、25%条件下,考察各炉料结构的还原性能、低温还原粉化特性以及高温熔融滴落性能,其中3种天然块矿在混合矿

中的比例为1:1:1。混合炉料结构组成见表2,通过计算得出各种混合炉料结构的化学成分,如表3所示。

表2 混合炉料质量分数组成

混合矿	烧结矿	钒钛球团矿	澳块	南非块	63印度块
1	75	10	5	5	5
2	75	15	3.34	3.33	3.33
3	75	20	1.67	1.66	1.66
4	75	25			

表3 混合炉料结构的化学成分

混合矿	$w(TFe)$	$w(FeO)$	$w(CaO)$	$w(SiO_2)$	$w(MgO)$	$w(Al_2O_3)$	$w(MnO)$	$w(S)$	$w(P)$	$w(TiO_2)$	$w(Ig)$
1	54.57	6.23	8.887	6.053	0.407	3.039	0.407	0.021	0.067	1.304	0.780
2	54.15	6.25	8.927	6.074	0.375	3.044	0.375	0.021	0.066	1.793	0.592
3	53.91	6.27	8.968	6.096	0.344	3.055	0.344	0.02	0.066	2.282	0.417
4	53.50	6.28	9.008	6.118	0.312	3.060	0.312	0.02	0.066	2.771	0.228

1.3 试验方法

1.3.1 铁矿石900℃还原性能试验方法

900℃还原实验采用国标(GB/T13241—91)标准方法,将质量为500g、试样粒度为10.0~12.5mm的矿石置于固定床中,在900℃通入CO和N₂组成的还原气体连续还原180min,以三价铁状态为基准,以还原180min后矿石的失氧量计算矿石的还原度“RI”。在试样升温阶段和还原性能测试后的降温阶段,通入氮气进行保护,防止氧化。

1.3.2 铁矿石500℃低温还原粉化性能试验方法

500℃低温还原粉化实验采用900℃还原实验的标准方法及同质量同粒度的矿石,在500℃用

CO、CO₂、N₂组成的混合气体等温还原60min,经冷却后用转鼓(130mm×200mm)转10min,取出试样用6.30、3.15、0.50mm的方孔进行筛分。在试样升温和降温阶段,通入氮气进行保护,防止氧化。实验结果以RDI_{+3.15}为考核目标,RDI_{+6.3}、RDI_{-0.5}只做参考指标。

1.3.3 软化和熔滴性能试验方法

该性能的实验方法目前国内外尚无统一标准。本实验是在分析比较国内外试验方法的基础上所确定的。试样粒度为10.0~12.5mm,质量约200g,上焦炭15g,下焦炭20g,荷重0.5kg/cm²,石墨坩埚内径为60mm,气体流量为15L/min,还原气体

成分: $m(\text{CO})/m(\text{N}_2)=30/70$; 升温速度: 小于 $900\text{ }^\circ\text{C}$, $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$; $900\text{ }^\circ\text{C}$ 时恒温 60 min ; 大于 $900\text{ }^\circ\text{C}$, $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 。在 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 以下, 通 N_2 气保护试样, $400\text{ }^\circ\text{C}$ 通还原气体。分别以试样收缩率达到 4% 和 40% 所对应的温度作为软化开始温度 (T_a) 和软化终了温度 (T_r); 以压差陡升温度为开始熔融温度 (T_s), 试样渣铁开始滴落时的温度作为矿石熔滴温度 (T_m); 矿石软化温度区间 $\Delta T_{ra}=(T_r-T_a)$; 矿石熔融温度区间 $\Delta T_{ms}=(T_m-T_s)$; ΔP_{\max} 为试验过程中出现的最大压差。

2 试验结果及分析

2.1 矿石还原性能试验结果分析

2.1.1 单一矿还原性能

水钢烧结矿以及使用的钒钛球团矿以及 3 种天然块矿的还原性能测试结果如表 4 所示。

表 4 单一矿的还原度 (RI) %

试样	烧结矿	钒钛球团矿	澳块	南非块	63 印度块
RI	90.68	77.11	90.03	67.57	87.67

由表 4 的试验结果可以看出在考察的水钢炉料中, 烧结矿还原性能最好, RI 达到 90.68% , 本试验烧结矿还原性好主要由于烧结矿物相中铁酸钙成分为主和多气孔组织易于还原反应。钒钛球团矿 RI 为 77.11% , 因其结构比烧结矿致密, 还原性能相对而言较差。

3 种天然块矿都属于高品位铁矿石。其中澳块矿和 63 印度块还原性能都比较好, 这是因为澳块主要矿物为易还原的褐铁矿和赤铁矿, 63 印度块主要矿物是赤铁矿。澳块矿的烧损 (10.13%) 比 63 印度块矿的烧损 (3.06%) 高很多, 表明其结构更加疏松, 多孔。因此, 澳块矿的还原性比 63 印度块矿的还原性更好些。南非块矿还原性则稍差, 其结构较其他两种块矿相对致密些, RI 只有 67.57% 。

2.1.2 混合矿还原性能

对于 4 种不同比例钒钛球团混合矿, 其还原性试验结果见图 1 所示, 试验结果表明, 随着钒钛球团矿配比增加, 混合矿的还原性能变差, 但总体变化不大, 从 87.16% 减为 85.72% , 影响不是很明显。4 种混合矿的还原性都比较好, 其原因是主要组分烧结矿的还原性能好, 而其他组分除了南非块和钒钛球团矿稍差外, 澳块和 63 印度块都较好。

2.2 低温还原粉化性试验结果分析

低温还原粉化试验结果见表 5。水钢烧结矿

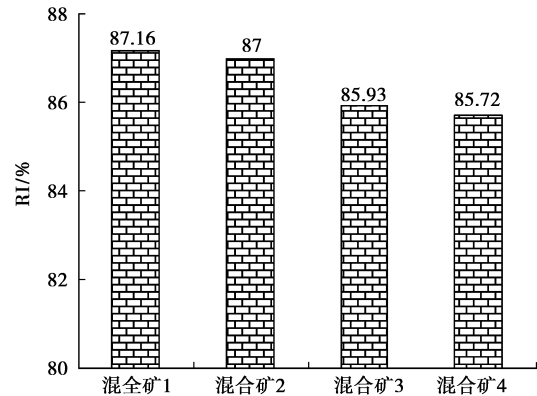


图 1 混合矿还原性能

$\text{RDI}_{+3.15}$ 为 65.99% , $\text{RDI}_{-0.5}$ 良好, $\text{RDI}_{+6.3}$ 只有 37.50% , 这是由于水钢烧结矿 $m(\text{Al}_2\text{O}_3)/m(\text{SiO}_2)$ 比值高达 0.535 , 大量的 Al_2O_3 使得烧结矿形成多孔微观结构, 从而强度变弱^[8-10]。钒钛球团矿 $\text{RDI}_{+3.15}$ 为 77.04% , $\text{DRI}_{-0.5}$ 却高达 21.59% , 过多细小的粉状物入炉会对高炉的顺行产生极为不利的影响。钒钛球团矿中 TiO_2 的含量很高, 这是造成低温还原粉末严重的主要因素。

表 5 低温还原粉化性能

试样	低温还原粉化/%		
	$\text{RDI}_{+6.3}$	$\text{RDI}_{+3.15}$	$\text{RDI}_{-0.5}$
烧结矿	37.50	65.99	7.95
钒钛球团矿	74.33	77.04	21.59
混合矿 1	46.16	67.08	9.69
混合矿 2	50.51	71.83	9.66
混合矿 3	52.92	71.47	9.84
混合矿 4	53.73	72.29	10.66

钒钛球团矿配比由 10% 到 25% , 混合矿的低温还原粉化性能向好的方面发展, 钒钛球团矿的加入使得混合矿的低温还原粉化性能得到改善。4 种混合矿 $\text{RDI}_{-0.5}$ 都不是很好, 这主要是因为钒钛球团矿 $\text{RDI}_{-0.5}$ 高达 21.59% , 从 10% 到 20% 变化不大, 20% 到 25% , $\text{RDI}_{-0.5}$ 上升到 10.66% , 超过 10% , 将会影响到高炉上部的炉料顺行。总之, 不同的混合炉料其冶金性能都有各自的特点, 因此采用什么样的结构不能只由一种性能来确定, 要全面地兼顾各种性能加以确定, 高炉生产技术经济指标是检验炉料结构合理性的唯一依据^[1,3,11]。

2.3 软化、熔滴性能分析

对于高炉生产操作来说, 较高的软化温度、窄的软熔带、较高的熔滴温度是比较理想的状态^[12-15]。从表 6 所示的试验结果可知钒钛球团矿的软熔性能比水钢烧结矿好, 但熔融滴落性能比烧结矿差, 水钢

烧结矿的软化开始温度为1 142 ℃,软化开始温度与烧结矿的碱度有很大的联系,高碱度烧结矿优越的冶金性能之一也就是其软化开始温度高且稳定。试验中,钒钛球团矿软化开始温度和滴落温度与水钢烧结矿相差不大,这对水钢炉料结构的优化是有

利的。水钢烧结矿软化区间为156 ℃,钒钛球团矿软化区间为103 ℃,明显优于水钢烧结矿。因此水钢配加钒钛球团矿会使综合炉料结构的高温冶金性能得到改善。钒钛球团矿最大压差 ΔP_{\max} 比烧结矿小,证明其透气性较水钢烧结矿性能好。

表6 不同炉料的荷重软化及高温熔滴性能结果

试样	$T_a/^\circ\text{C}$	$T_r/^\circ\text{C}$	$T_s/^\circ\text{C}$	$T_m/^\circ\text{C}$	$\Delta T_{rs}/^\circ\text{C}$	$\Delta T_{ms}/^\circ\text{C}$	$\Delta P_{\max}/\text{Pa}$
烧结矿	1 142	1 298	1 314	1 346	156	32	2 916
钒钛球团矿	1 139	1 242	1 245	1 335	103	90	2 492
混合矿 1	1 107	1 311	1 327	1 379	204	52	2 430
混合矿 2	1 135	1 315	1 315	1 352	180	37	2 369
混合矿 3	1 147	1 303	1 321	1 349	156	28	2 223
混合矿 4	1 128	1 266	1 289	1 339	138	40	2 284

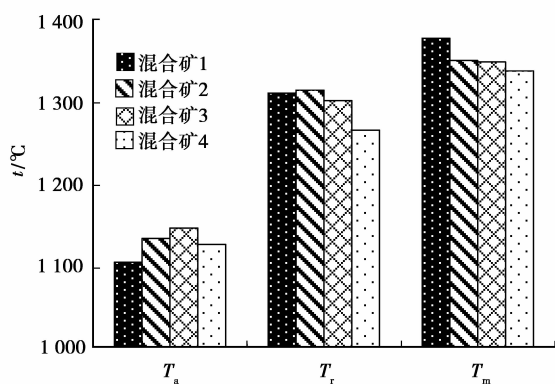
图2 混合矿 T_a 、 T_r 及 T_m 对比

表6及图2表明:4种混合矿中,混合矿3的软化开始温度最高, T_a 为1 147 ℃,混合矿1最低, T_a 是1 107 ℃,钒钛球团矿配比从10%到25%,软化开始温度变化40 ℃。软化温度区间随钒钛球团矿配比的增加,逐渐变窄,软化温度区间为138~204 ℃。钒钛球团矿配比的增大令混合矿的开始滴落温度降低,混合矿1最高(1 379 ℃),混合矿4(1 339 ℃)最低,高的滴落温度有利于渣中脱硫反应。最大压差 ΔP_{\max} 在试验结果中呈现:混合矿3的 ΔP_{\max} 最小,其他三种混合矿变化不是很明显。综合混合矿荷重软化及高温熔滴性能的试验结果分析,混合矿3的软熔性能相对较其他3种优越。

3 结 论

1)在水钢目前使用的铁矿石中,烧结矿还原性最好,其次为进口块矿中的澳矿。钒钛球团矿

RDI_{-0.5}为21.59%,因此,应该控制合理的钒钛球团矿入炉百分比。钒钛球团矿软化开始温度高,软化温度区间窄,高温熔滴性能好,并且与烧结矿性能相近,因此,以水钢烧结矿为主,配加钒钛球团矿的混合炉料具有良好的高温软熔性能。

2)4种混合矿随着钒钛球团矿配比的变化,它们的总体冶金性能变化不是很显著,但从混合料还原性、低温还原粉化、高温软熔性能来看,混合矿3的炉料结构具有较好的还原性能和低温还原粉化性能,特别是高温熔滴性能良好,因此,在目前水钢原料和冶炼制度条件下,混合矿3是相对合理的炉料结构组成,即烧结矿比例为75%,钒钛球团矿配入量为20%,其他块矿为5%便是最佳炉料组成。

参考文献:

- [1] 王筱留. 钢铁冶金学:炼铁部分[M]. 2版. 北京:冶金工业出版社,2004.
- [2] 徐矩良. 我国高炉合理炉料结构探讨[J]. 炼铁,2004,23(4):26-28.
XU JU-LIANG. Discuss of optimized charge composition in china blast furnace[J]. Iron Making, 2004,23(4):26-28.
- [3] 许满兴. 中国高炉炉料结构的进步与发展[J]. 烧结球团,2001,26(2):6-9.
XU MAN-XING. Improvement and development of blast furnace burden design in China[J]. Sintering and Pelleting, 2001, 26(2): 6-9.
- [4] STERNELAND J, ANDERSSON M A T, JONSSON P G. Comparison of iron ore reduction in experimental

- blast furnace and laboratory scale simulation of blast furnace process[J]. *Iron making and Steelmaking*, 2003, 30(4):313-327.
- [5] 叶匡吾. 高炉炉料结构与精料[J]. *烧结球团*, 2001, 26(3):6-7.
YE KANG-WU. Charge composition and concentrated material on blast furnace[J]. *Sintering and pelleting*, 2001, 26(3):6-7.
- [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, 26(5):13-16.
FU WEI-GUO, XIE JUN-YONG, He QUN, et al. Experimental study of adding the V-Ti pellet in BF at Pangang[J]. *Sichuan Metallurgy*, 2004, 26(5):13-16.
- [7] HIGUCHI K, HEEREMA R H. Influence of artificially induced porosity on strength and reduction behavior of hematite compacts[J]. *ISIJ International*, 2005, 45(4):574-581.
- [8] DAWSON P R. Research studies on sintering and sinter quality [J]. *Ironmaking and Steelmaking*, 1993, 20(2):137-143.
- [9] HSIEH L H. Effect of raw material composition on the sintering properties [J]. *ISIJ International*, 2005, 45(4):551-559.
- [10] 杨华明, 邱冠周. Al_2O_3 对烧结矿 RDI 的影响规律[J]. *钢铁研究学报*, 1999, 11(2):2-5.
YANG HUA-MING, QIU GUAN-ZHOU. Influence of Al_2O_3 on RDI of sinter [J]. *Journal of Iron and Steel Research*, 1999, 11(2):2-5.
- [11] JASIENSKA S, OREWYCZYK J, LEDZKI A, et al. Effect of reduction conditions on structure and phase composition of blast furnace charge composed of alkaline sinters and acidic pellets [J]. *Solid State Ionics*, 1999, 117(1/2):129-143.
- [12] BAKKER T, HEEREMA R H. Determination of the fundamental softening and melting characteristics of blast furnace burden materials[C]// *Proceedings of the 1997 56th Ironmaking Conference*, April 13-16, 1997, Chicago, IL, USA. [S. l.]: Warrendale, PA, 1997:365-373.
- [13] 王海涛, 李光辉, 范晓慧, 等. 几种高炉炉料冶金性能的对比研究[J]. *钢铁*, 2006, 41(1):23-27.
WANG HAI-TAO, LI GUANG-HUI, FAN XIAO-HUI, et al. Comparative study on metallurgical properties of Blast Furnace burdens[J]. *Iron and Steel*, 2006, 41(1):23-27.
- [14] ELGEASSY A A, NASR M I, KHEDR M H. Reduction behavior of iron ore fluxed pellets under load at 1023-1273K[J]. *ISIJ International*, 2004, 44(3):462-469.
- [15] BORINDER T, BI, X Q. Softening-melting properties of pellets under simulated blast furnace conditions[J]. *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 1989, 18(6):280-287.

(编辑 王维朗)