印度粉矿在包钢烧结工艺的应用研究*

赵 欣,雷 霆,侯广君

(内蒙古包钢钢联股份有限公司炼铁厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章主要阐述了包钢目前原料条件及铁料配置模式下配加印度粉矿实验室试验研究和生产应用结果。结果表明:在包钢目前自产白云鄂博铁精矿占40%的条件下,配加一定比例的印度粉矿有利于改善烧结料层透气性。配加印度粉后,烧结矿 $RDI_{+3.15\ mm}$ 无变化,但 *RI* 和软熔性能有变差的趋势。

关键词: 烧结; 印度粉矿; 同化性; 液相流动性

中图分类号: TF046.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)04-0012-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.04.004

Application Study on Indian Fine Ore in Sintering Process of Baotou Steel

Zhao Xin, Lei Ting, Hou Guang-jun

(*Iron-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, it is mainly elaborated the laboratory test research and production application results of adding Indian fine ore with the present raw material condition and allocation mode of iron charge of Baotou Steel. The results showed that it was beneficial to improve the air permeability of sinter bed to add some Indian fine ore with the present condition that self-produced Bayanobo iron concentrate accounts for 40%. The $RDI_{+3.15\ mm}$ of sinter was unchanged, but *RI* and softening-melting properties tended to become worse after added Indian fine ore.

Key words: sintering; Indian fine ore; assimilability; liquid phase fluidity

随着包钢烧结产能的增加,越来越多品种的进口铁矿应用到包钢烧结生产工艺当中。与包钢目前采购的其它进口矿相比,印度粉矿在价格和现货供应上具有优势,2017年包钢采购该铁矿粉并应用于烧结工艺。由于印度粉矿具有高 Al_2O_3 含量特性,烧结配加比例过高会造成烧结矿 Al_2O_3 含量升高,影响高炉炉渣性能,影响高炉正常生产。本文基于包钢白云鄂博特殊矿为主要含铁原料的条件下,通过研究印度矿粉矿物理性能、烧结基础特性及烧结性能,实现印度粉矿在烧结生产的合理利用[1]。

1 实验室试验研究

1.1 试验原料方案及参数控制

1.1.1 试验用含铁原料的化学成分

试验用含铁原料有:自产白云鄂博铁精矿(简称"矿A")、进口澳粉1(简称"矿B")、进口澳粉2(简称"矿F")、进口矿粉(简称"矿M")、进口印度粉以及钢渣,其化学成分见表1。

* 收稿日期:2018-05-30

作者简介:赵 欣(1982-),男,内蒙古包头市人,工程师,现从事烧结技术管理工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　原燃料的化学成分(质量分数)　%

原料名称	TFe	FeO	CaO	SiO_2	MgO	F	P	S	K_2O	Na_2O	Al_2O_3
矿 A	66.74	28.69	1.19	1.42	0.80	0.239	0.052	0.764	0.081	0.101	0.11
矿 B	60.74	<0.50	0.18	3.44	0.08		0.100	0.023	0.017	0.045	2.00
矿 F	57.52	<0.50	0.17	5.13	0.09		0.080	0.038	0.022	0.043	2.54
矿 M	61.06	12.53	1.00	9.61	0.77		0.059	0.031	0.092	0.066	1.08
印度粉	56.83	0.58	0.28	5.78	0.10		0.068	0.020	0.055	0.024	4.68
钢渣	21.64	15.81	33.98	13.62	7.82		0.900	0.121			

由表 1 可知,5 种铁矿的特性分别为: 矿 A 为磁铁矿,品位最高(66.74%),SiO_2 含量最低(1.42%),含有有害元素 F、K_2O、Na_2O、S 含量较高(0.764%),Al_2O_3 含量最低(仅 0.11%);矿 B 为赤铁矿,P、Al_2O_3 含量高,分别为 0.1%、2%;矿 F 为褐铁矿,品位较低(57.52%),P、Al_2O_3 含量也偏高,分别为 0.08%、2.54%;矿 M 属假象赤铁矿,SiO_2 含量较高(9.61%),P、S、Al_2O_3 含量均较低;印度粉为赤铁矿,品位最低(56.83%),SiO_2 含量略高(5.78%),Al_2O_3 含量最高(4.68%)。因此,烧结配加印度粉矿比例过高会影响烧结矿的品位和 Al_2O_3 含量。

1.1.2　试验用进口粉矿的同化性和液相流动性

4 种进口粉矿的同化性和液相流动性试验结果见表 2。

表 2　进口铁粉矿的同化性和液相流动性

铁矿名称	最低同化温度/℃	液相流动性	
		最低流动温度/℃	液相流动性指数,FI
矿 B	1 210	1 230	0.240
矿 F	1 200	1 220	0.898
矿 M	1 294	1 225	0.890
印度粉	1 255	1 180	0.843

由表 2 可知:

(1) 同化性——通过最低同化温度来判断铁矿石同化性的优劣,最低同化温度越高,同化性越差;最低同化温度越低,同化性越好[1]。由此判断,4 种进口铁矿粉同化性优劣排序为: 矿 F > 矿 B > 印度粉 > 矿 M。

(2) 液相流动性——液相流动性的判断一是最低流动温度,二是最低流动温度条件下的液相流动性指数 FI。印度粉的液相流动性在 4 种进口铁矿粉中居优,在 1 180 ℃就产生流动现象,且 FI 为 0.843。由此判断,4 种进口铁矿粉液相流动性优劣排序为: 印度粉 > 矿 F > 矿 M > 矿 B。

1.1.3　铁料配置方案

铁料配置方案以包钢 500 m^2 烧结机为基准,采用“40% 矿 A + 25% 矿 B + 26% 矿 F + 5% 矿 M + 4% 钢渣”,试验点分别用印度粉全部替代矿 M,部分替代矿 B 或矿 F,见表 3。

表 3　铁料配置方案(质量分数)　%

试验编号	矿 A	矿 B	矿 F	矿 M	印度粉	钢渣
基准点	40	25	26	5	0	4
SY-10	40	20	26	0	10	4
SY-15	40	20	21	0	15	4
SY-18	40	20	18	0	18	4

由表 3 可见,试验点设计印度粉矿配比分别占铁料的 10%、15%、18%。

1.1.4　烧结杯试验工艺参数及烧结矿参数控制

试验采用直径 300 mm 烧结杯,料层厚度 700 mm,点火负压为 4.9 kPa,烧结负压 9.8 kPa。

烧结矿碱度控制为 1.97 ± 0.08,MgO 含量 2.0% ±0.1%,SiO_2 含量为 4.8%。

1.2　试验结果及分析

1.2.1　烧结矿化学成分的变化(见表 4)

表 4　烧结矿化学成分

试验编号	质量分数/%								R
	TFe	FeO	CaO	SiO_2	MgO	P	S	Al_2O_3	
基准点	57.60	11.06	9.52	4.85	2.01	0.106	0.030	1.61	1.94
SY-10	57.80	11.71	9.36	4.72	2.02	0.097	0.025	1.96	1.95
SY-15	57.25	11.41	9.51	4.77	2.05	0.107	0.028	2.10	1.97
SY-18	57.25	10.24	9.30	4.58	2.10	0.098	0.110	2.12	2.00

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由表4可知，由于印度粉品位低，Al_2O_3 含量高，配加印度粉后，随着其配比的增加，烧结矿品位呈下降趋势，Al_2O_3 含量呈上升趋势。与基准点比，配加10%印度粉，烧结矿 Al_2O_3 含量增加0.35个百分点；配加15%印度粉，烧结矿 Al_2O_3 含量增加0.49个百分点；配加18%印度粉，烧结矿 Al_2O_3 含量增加0.51个百分点。

按照包钢高炉目前的炉料结构75%烧结矿+25%球团矿，高炉指标分别为焦比400 kg/t(焦炭灰分12.76%)，煤比130 kg/t(煤粉灰分7.5%)，计算结果表明，烧结配加10%印度粉，高炉炉渣中 $w(Al_2O_3)$ 增加1.19个百分点；烧结配加15%印度粉，高炉炉渣中 $w(Al_2O_3)$ 增加1.9个百分点；烧结配加18%印度粉，高炉炉渣中 $w(Al_2O_3)$ 增加1.98个百分点。尽管配加印度粉后，高炉炉渣中 Al_2O_3 呈逐渐增加趋势，但高炉炉渣 MgO/Al_2O_3 却随着炉渣 Al_2O_3 的增加而下降，可以满足高炉炉渣排碱及脱硫需求。

1.2.2 烧结工艺指标的变化(见表5)

表5 烧结工艺指标

试验编号	水分/%	干烧成率/%	成品率/%	利用系数/(t·m^{-2}·h^{-1})	垂速/(mm·min^{-1})	返矿平衡系数	燃耗/(kg·t^{-1})	转鼓+6.3 mm/%
基准点	7.78	90.77	67.07	1.298	20.59	1.00	65.70	58.40
SY-10	7.88	93.36	65.50	1.554	25.23	1.07	67.15	54.93
SY-15	7.38	92.41	66.07	1.484	23.87	1.05	66.86	54.80
SY-18	6.98	91.34	68.78	1.271	19.72	0.95	64.79	62.00

由于印度粉矿平均粒径仅次于矿F，且液相流动性最优，烧结配加印度粉矿后，有利于改善料层透气性，提高烧结垂速。一方面由于烧结垂速加快，导致烧结过程的反应速度加快，影响烧结矿成矿时间，从而影响烧结矿强度指标；另一方面，由于印度粉矿 Al_2O_3 含量高，铁料遇水粘性大；因此，随着印度粉矿配比的增加，应适当控制混合料水分，试验结果表明，印度粉矿配比增加至18%时，水分由基准点的7.8%降低至6.98%。

与基准点相比，配加10%印度粉，在保持混合料相同水分含量的条件下，利用系数提高0.256 t/(m^2·h)，燃耗增加1.45 kg/t，同时由于烧结垂速过快，烧结矿强度降低3.47个百分点。配加15%印度粉，为保证烧结反应过程，混合料水分较基准点降低0.4个百分点，利用系数较10%印度粉配比低0.07 t/(m^2·h)，但高于基准点0.186 t/(m^2·h)；燃耗较10%印度粉配比下降0.29 kg/t，但较基准点增加1.16 kg/t；烧结矿转鼓强度较基准点降低3.6个百分点。配加18%印度粉，混合料水分进一步降低，为6.98%，利用系数与基准点持平，该试验点的燃耗指标和烧结矿强度指标均好于基准点。

1.2.3 烧结矿冶金性能的变化(见表6)

表6 烧结矿冶金性能

试验编号	RI/%	$RDI_{+3.15\ mm}$/%	软融性能/℃						
			T_4	T_{10}	T_{40}	$T_{40}-T_{10}$	T_S	T_D	T_D-T_S
基准点	80.72	82.3	1 128	1 165	1 271	143	1 276	1 412	136
SY-10	79.23	83.0	1 131	1 165	1 260	129	1 266	1 413	147
SY-15	72.63	81.5	1 123	1 160	1 262	139	1 265	1 441	176
SY-18	70.72	83.5	1 110	1 149	1258	148	1 262	1 441	180

由表6可知：

(1)烧结矿还原性(RI)随着印度粉矿配比的增加而呈逐渐下降趋势。与基准点相比，印度粉矿配比为10%，RI 降低1.49个百分点；印度粉矿配比为15%，RI 降低幅度较大，为8.09个百分点；印度粉矿配比为18%，RI 降低10个百分点；其原因是随

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

着印度粉矿配比的增加，属于褐铁矿的矿 F 配比降低，而褐铁矿的还原性好于赤铁矿[2]，导致烧结矿还原性随印度粉矿配比增加而下降。

(2) 烧结矿 $RDI_{+3.15\ mm}$ 指标与印度粉矿配比的增加而无变化。

(3) 烧结矿软熔性能随着印度粉矿配比的增加呈变差趋势，当印度粉配比为 18% 时，烧结矿初始软化温度(T_{10}) 较基准点降低 16 ℃，软化区间增加 5 ℃，熔融区间增加 44 ℃。

2　印度粉矿的生产应用

印度粉矿于 2017 年 4 月 15 日—2017 年 6 月 30 日在包钢炼铁厂 210 m^2 烧结机上应用，在实际生产当中铁料种类及配置与实验室有一些差异。配加印度粉矿前后铁料配置变化见表 7。

表 7　210 m^2 烧结机配加印度粉矿前后铁料配置的变化(质量分数)　%

阶段	矿 A	矿 B	矿 M	矿 D*	矿 F	印度粉	精粉率
2017 年 1 月 1 日—2017 年 4 月 14 日(使用前)	67.28	6.58	10.41	8.97	6.75		67.28
2017 年 4 月 15 日—2017 年 6 月 30 日(使用后)	51.76	2.41	2.30	17.71	17.93	7.88	51.76
差值	-15.52	-4.17	-8.11	8.74	11.18	7.88	-15.52

注: 矿 D 为进口磁铁矿粉，其主要化学成分 TFe 含量为 61.05%，SiO_2 含量为 5.46%，S 含量为 0.622%。

由表 7 可见，配加印度粉前后，烧结精粉率(矿 A) 降低 15.52 个百分点，矿 B 和矿 M 分别降低 4.17 个百分点和 8.11 个百分点，矿 D 和矿 F 分别增加 8.74 个百分点和 11.18 个百分点。

由于印度粉矿 Al_2O_3 含量高，跟普通铁矿粉相比，遇水粘性较大，在混合制粒过程中易造成粘槽现象，为此，生产期间通过采取控制一混、二混之间制粒槽的料位，更换大功率振动器，以便及时处理所粘结的混合料，保证生产的稳定顺行。配加印度粉矿前后主要技术指标及烧结矿质量指标变化见表 8。

表 8　2017 年 210 m^2 烧结机配加印度粉矿前后主要技术指标及烧结矿质量指标

阶段	烧结成分/%				烧结矿碱度	烧结矿强度/%	固体燃耗/(kg·t^{-1})
	TFe	FeO	SiO_2	MgO			
2017 年 1 月 1 日 - 2017 年 4 月 14 日(使用前)	57.04	9.70	4.92	2.24	1.95	74.67	45.68
2017 年 4 月 15 日 - 2017 年 6 月 30 日(使用后)	57.24	9.64	4.84	2.27	1.94	74.44	52.04
差值	0.20	-0.06	-0.08	0.03	-0.01	-0.23	6.36

由表 8 可知，配加印度粉矿后，利用系数无显著变化。由于高硅含量的矿 M 配比的降低，导致烧结矿 SiO_2 含量水平有所降低，影响烧结矿强度指标以及燃耗指标，配加印度粉矿后，烧结矿强度降低 0.23 个百分点，燃耗增加 6.36 kg/t。

3　结论

(1) 包钢使用的印度粉矿具有品位低(56.83%)，Al_2O_3 含量高(4.68%)，平均粒径偏粗，同化性劣于进口澳粉，液相流动性优于进口澳粉的特性。

(2) 烧结杯试验结果表明，在包钢烧结自产白云鄂博铁精矿占 40% 条件下，配加一定比例的印度粉矿有利于改善烧结料层透气性; 同时，烧结矿还原性和软熔性能有变差的趋势。

(3) 印度粉矿在包钢 210 m^2 烧结机应用结果表明，其配比低于 10% 时，对烧结技术指标及烧结矿质量指标影响较低。

参　考　文　献

[1] 马蕾，曹丽华. 几种低品质进口粉烧结性能的研究[J]. 烧结球团，2012，37(4)：15-17.

[2] 周取定，孔令坛. 铁矿石造块理论及工艺[M]. 北京：冶金工业出版社，1989.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net