白云矿配比条件下实施全精矿烧结生产实践

宫文祥

(内蒙古包钢钢联股份有限公司炼铁厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章主要阐述了在包钢以自产白云鄂博铁精矿为主要含铁原料(85%)条件下实施全精矿烧结的生产实践。结果表明:实施全精矿烧结后,为保证料层透气性,采取提高混合料料温、改善混合料制粒效果,调整布料纵向偏析以及调整松料器角度等措施,使烧结利用系数维持在原有水平;烧结固体燃耗指标升高6.5 kg/t,烧结矿FeO含量升高,烧结矿强度较实施前降低0.15个百分点。

关键词: 白云鄂博特殊矿;全精矿;生产实践;高炉冶炼

中图分类号: TF046.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)06-0011-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.06.004

Production Practices of Sintering with Total Iron Ore Concentrate under Condition of Matching Ore of Bayan Obo

Gong Wen-xiang

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

Abstract: In this paper, the production practices of sintering with total iron ore concentrate under the condition of the self-produced iron ore concentrate of Bayan Obo as the main iron-containing raw material (85%) in Baotou Steel are elaborated. The results showed that the utilization coefficient of sintering was maintained at the original level by such measures as increasing the temperature of compound, improving the granulation effect of compound as well as adjusting the longitudinal segregation of burden distribution and the angle of the stirring machine for ensuring the gas permeability of the bed of material; the burn-up index of sintering solid was increased by 6.5 kg/t, the content of FeO in the sinter was increased and the strength of sinter was decreased by 0.15 percentage points compared with that before the practices.

Key words: special ore of Bayan Obo; total iron ore concentrate; production practices; blast furnace process

钢铁生产进入微利时期,降低生铁生产成本是企业盈利的主要源头,而烧结使用相对廉价的含铁原料是降低生铁成本的主要途径之一。包钢烧结生产用含铁原料主要依靠以自产白云鄂博铁精矿为主,另外还需采购国内铁精矿及进口铁矿粉,从含铁原料采购成本而言,自产铁精矿价格低于周边地区铁精矿的价格,周边地区铁精矿的价格低于进口铁矿粉的采购价格。为降低烧结矿生产成本,采用在210 m^2烧结机实施全精粉烧结,提高自产白云鄂博和周边采购的铁精矿用量,减少进口铁矿粉用量,烧结矿生产成本得到有效的降低。但随着烧结铁精粉率的提高,烧结料层透气性变差,尤其是对于包钢白云鄂博铁精矿特殊矿来讲[1],实施全精粉烧结更具难度。

收稿日期: 2018-06-20

作者简介: 宫文祥(1970-),男,河北省景县人,工程师,现从事烧结技术工作。

中国知网 https://www.cnki.net

1 含铁原料的性能

1.1 含铁原料的化学成分

实施全精粉烧结前后所用含铁原料有：包钢自产白云鄂博铁精矿、外购铁精矿、进口澳粉和杨迪粉，其化学成分见表1。

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	Ig
白云鄂博铁精矿	66.32	27.12	0.85	2.89	0.57	0.305	0.520	0.101	0.213	0.060	0.28	1.18
外购铁精矿	65.30	24.43	0.27	7.01	0.23	0.025	0.050	0.075	0.022	0.022	0.32	1.23
澳粉	61.30	<0.50	<0.10	3.56	<0.06		0.096	0.022	0.019	0.015	2.30	5.98
杨迪粉	57.87	2.42	0.15	4.58	0.20		<0.050	0.075	0.022	0.028	1.39	10.04

由表1可知，白云鄂博铁精矿和外购铁精矿均为磁铁矿。白云鄂博铁精矿属特殊矿，SiO_2 含量(含量为质量分数，下同)较低(2.89%)，且 SiO_2 是以含钾、钠的复杂硅酸盐形式存在[1]。F、K_2O、Na_2O、S含量高，外购铁精矿主要特点 SiO_2 含量高(7.01%)，有害元素含量(F、P、S、K_2O、Na_2O)低。

澳粉属赤铁矿，杨迪粉属褐铁矿，除此之外，澳粉品位、Al_2O_3 含量高于杨迪粉，SiO_2 含量和烧损含量低于杨迪粉。

1.2 含铁原料的粒度组成(见表2)

表2 原料的粒度组成(质量分数) %

原料名称	>10 mm	10~7 mm	7~5 mm	5~3 mm	3~1 mm	<1 mm	-200目
白云鄂博铁精矿							85.7
外购铁精矿							76.3
澳粉	9.39	5.43	6.16	11.72	27.44	39.86	
杨迪粉	4.29	4.95	11.42	9.60	23.64	46.10	

由表2可知，包钢烧结生产实施全精矿烧结所用的铁精矿主要有自产白云鄂博铁精矿和外购铁精矿，外购铁精矿的粒度较白云鄂博铁精矿粗些。实施全精矿烧结前所用的两种进口粉矿中，澳粉的粒度较杨迪粉粗。

2 烧结生产实践结果及分析

2.1 铁料配置方案(见表3)

表3 含铁原料配置的调整方案(质量分数) %

精矿率	含铁原料结构			
	白云鄂博铁精矿	外购铁精矿	澳粉	杨迪粉
84.02	84.02		15.98	
91.53	85.79	5.74	8.11	0.37
94.55	83.68	10.87		5.45
96.75	86.25	10.50		3.25
100.00	83.72	16.28		

由表3可知，实施全精矿烧结期间，精矿比例由84.02%逐步提高，分别为91.53%、94.55%、96.75%，最终达到100%。期间，白云鄂博铁精矿配比基本保持在85%左右的水平，余下15%的铁料种类及配比随着精矿率的增加而发生变化。工业试验在“84.02%白云鄂博铁精矿+15.98%澳粉”铁料配置基础上，逐步分别用外购高硅含量的铁精矿和杨迪粉替代澳粉，直到实现全精矿烧结，其铁料配

中国知网 https://www.cnki.net

置为“83.72% 白云鄂博铁精矿 + 16.28% 外购铁精矿”。

工业试验期间，烧结矿碱度、MgO 含量均保持不变，烧结矿 SiO_2 含量相应提高，控制在 5.0% 左右。

2.2 烧结混合料制粒效果(见表 4)

表 4　实施全精矿烧结前后混合料制粒效果的变化(质量分数)　%

精矿率/%	>8 mm	5~8 mm	3~5 mm	<3 mm
84.02	5.30	19.30	26.10	49.30
100.00	4.90	17.50	24.00	53.60
差值	-0.40	-1.80	-2.10	4.30

从表 4 可知，精矿率由 84.02% 提高至 100%，大于 8 mm、5~8 mm、3~5 mm 粒级的占比均减少，小于 3 mm 粒级占比由 49.3% 增加至 53.6%，增加 4.3 个百分点，也就是说，精矿率增加至 100% 后，混合料中小粒级占比也随之增加，会恶化料层的透气性。

2.3　烧结技术指标及烧结矿质量指标的变化

2.3.1　烧结工艺参数的调整(见表 5)

表 5　烧结工艺参数的变化

精矿率/%	机速/(m·min^{-1})	料层厚度/mm	点火温度/℃	终点温度/℃	主管温度/℃	主管负压/kPa
84.02	1.78	700	1 038	436	143	-12.7
100.00	1.75	694	1 042	443	147	-13.2
差值	-0.03	-6	4	7	4	-0.5

从表 5 可知，实施全精矿烧结后，烧结工艺参数也进行了相应的调整，主要有：降低烧结机机速，降低料层厚度，提高点火温度等。尽管采取了上述措施，烧结主管负压仍较实施前升高 0.5 kPa，说明全精矿烧结料层透气性有变差的趋势。

2.3.2　烧结主要技术指标的变化(见表 6)

表 6　烧结主要技术指标、烧结矿化学成分及强度的变化

精矿率/%	烧结主要指标			烧结矿化学成分(质量分数)/%				烧结矿碱度	烧结矿转鼓/%	烧结矿平均粒径/mm	固体燃耗/(kg·t^{-1})
	作业率/%	台时产量/(t·h^{-1}·台)	利用系数/(t·m^{-2}·h^{-1})	TFe	FeO	SiO_2	MgO				
84.02	96.44	222.78	1.061	55.76	9.24	4.92	2.22	1.98	74.18	22.65	60.26
91.53	99.90	222.58	1.060	55.82	9.21	4.91	2.14	1.98	74.38		63.74
94.55	99.96	222.41	1.059	55.07	9.14	5.19	2.28	2.01	74.15		65.43
96.75	100.00	222.46	1.059	55.94	9.13	5.28	2.30	2.02	74.28		65.93
100.00	99.84	222.67	1.060	55.42	9.37	5.07	2.26	2.03	74.03	20.32	66.76

由表 6 看出，随着精矿率的提高，烧结台时产量及利用系数指标均无显著变化，固体燃耗指标呈显著升高的趋势。当精矿率为 84.02% 时，固体燃耗为 60.26 kg/t，当精矿率为 100% 时，固体燃耗为 66.76 kg/t，增加了 6.5 kg/t。说明在包钢烧结以自产白云鄂博特殊铁矿为含铁原料条件下实施全精矿烧结，由于原料嵌布粒度细、SiO_2 含量水平低以及复杂的赋存状态均是造成燃耗升高的原因。

2.3.3　烧结矿化学成分强度(见表 6)

由表 6 看出，随着精矿率的提高，烧结矿品位无变化，烧结矿精矿 SiO_2 含量略有升高，主要是在实施全精矿烧结期间，可通过提高烧结矿 SiO_2 含量，

中国知网　https://www.cnki.net

使烧结过程尽可能多的产生液相量，从而保证烧结矿的强度指标维持原有水平。当烧结率为84.02%时，烧结矿 SiO_2 含量为4.92%；当精矿率为100%时，烧结矿 SiO_2 含量为5.07%，提高了0.15个百分点；同时由于燃耗的增加，导致烧结矿 FeO 含量由9.24%升高至9.37%，增加0.13个百分点。

实施全精矿烧结期间，尽管采取提高烧结矿 SiO_2 含量、增加燃料消耗等措施，烧结矿强度还是较84.02%精矿率烧结矿的强度低0.15个百分点。说明包钢原料条件下实施全精矿烧结对烧结燃耗指标以及烧结矿强度指标有一定影响。

2.3.4 烧结矿冶金性能及配矿成本变化(见表7)

表7 烧结矿冶金性能及配矿成本

精矿率/%	烧结矿冶金性能				直接材料成本/(元·t^{-1})
	RI/%	$RDI_{+3.15mm}$/%	软化区间($T_{40}-T_4$)/℃	熔融区间/℃	
84.02	82.1	52.6	179	253	614.93
100	82.3	66.5	167	268	556.51

由表7可知，实施全精矿烧结后，烧结矿还原度(RI)无变化，烧结矿低温还原粉化指数($RDI_{+3.15mm}$)显著改善。这是由于以赤铁矿为原料的烧结矿的低温还原粉化指数要差于以磁铁矿为原料的烧结矿，主要原因是烧结矿中再生 Fe_2O_3 在低温(450~550 ℃)时，由 $\alpha-Fe_2O_3$ 还原成 $\gamma-Fe_2O_3$，在还原气的作用下发生晶格的改变，造成结构的扭曲，产生极大的内应力，导致在机械作用下发生碎裂[2]。

另外，实施全精矿烧结后，由于自产白云鄂博铁精矿的特殊性，矿物组成复杂[1]，导致烧结矿熔融区间呈加宽的趋势。

由于进口铁矿价格高于包钢自产铁精矿，实施全精矿烧结后，每吨烧结矿降低直接材料成本58.42元。

2.3.5 实施全精矿烧结期间所采取的措施

(1)改造了一次混合制粒机的水箱，在其内部增加了蒸汽盘管，既提高了加热效率，又提高了预热混合料的蒸汽使用量。改造后，混合料的料温达到40 ℃左右，较改造前提高了5 ℃，这样可以更有效地减少过湿层的危害。

(2)通过控制混合料水分进一步加强混合料的制粒效果，实施全精矿烧结后，将混合料的水分由实施前的7.0%提高到7.1%。

(3)通过调整松料器的角度(端部升高20 mm)来改善料层的透气性。

(4)通过调整十辊布料器的转速来改善混合料的偏析。实施全精矿烧结期间，减小混合料纵向偏析，减少大颗粒物料在台车料层底部的聚集。

3 烧结期间高炉冶炼效果

实施全精矿烧结期间，烧结矿进入包钢3#高炉，其高炉冶炼效果见表8。

表8 实施全精矿烧结前后高炉冶炼指标的变化

烧结精矿率/%	风量/(m^3·min^{-1})	透气性指数	热风温度/℃	喷煤粉量/(t·h^{-1})	煤气利用/%	渣比/(kg·t^{-1})	煤比/(kg·t^{-1})	利用系数/(t·m^{-3}·d^{-1})	炉渣碱度
84.02	4 312	2.594	1 072	27.6	36.79	0.36	135.55	2.249	1.00
100.00	4 200	2.490	1050	26.3	40.45	0.38	130.63	2.191	1.04
差值	-112	-0.104	-22	-1.3	3.66	0.02	-4.92	-0.058	0.04

(下转第25页)

中国知网 https://www.cnki.net

表 6　烧结矿冶金性能

名称	RI /%	$RDI_{(+3.15\ mm)}$ /%	软熔性能/℃						
			T_4	T_{10}	T_{40}	$T_{40}-T_4$	T_s	T_d	T_d-T_s
基准期	68.95	76.55	1 083	1 130	1 251	167	1 239	1 492	253
方案 1	65.90	77.50	1 123	1 166	1 269	146	1 265	1 472	206
方案 2	73.95	76.20	1 129	1 165	1 273	144	1 268	1 523	255
方案 3	72.10	77.10	1 102	1 144	1 262	160	1 265	1 502	237

据资料[2]，褐铁矿有利于改善烧结矿的还原性（RI）已被广泛认可，但对低温粉化性能（RDI）的影响而言，结论并不一致。因为影响冶金性能的因素自身在配加褐铁矿后就可能有多种变化。从表 6 可以看出，配加褐铁矿后，烧结矿还原性指标是随着褐铁矿配比的增加而呈现改善的趋势，低温还原粉化指数略有改善，软化温度（T_4、T_{10}、T_{40}）均高于基准期，软化区间和熔融区间也略低于基准期，也就是在包钢铁料条件下，配加褐铁矿有利于改善烧结矿冶金性能。

4　结论

（1）对于包钢烧结以自产铁精矿为主要含铁原料的条件下，且该铁精矿同化性较差，与同化性好的褐铁矿搭配既达到降低烧结矿生产成本的目的，同时还有利于改善包钢高精粉烧结料层透气性，改善烧结过程中矿化反应能力，有利于铁酸钙的生成。

（2）在包钢目前铁料结构条件下，配加褐铁矿后，除烧结矿品位和平均粒径有变差的趋势外，烧结利用系数、固体燃耗以及烧结矿的冶金性能（RI、$RDI_{+3.15\ mm}$、软熔性能）均有改善，烧结矿转鼓强度维持原有水平。

参　考　文　献

[1] 陈付振，孙俊波. 国内褐铁矿烧结技术发展现状及影响因素分析[J]. 鞍钢技术，2015，(4)：8－12.

[2] C. E. LOO. A Perspective of Goethitic Ore Sintering Fundamentals [J]. ISIJ. International，2005，45(4)：436－448.

（上接第 14 页）

由表 8 可知，与烧结 84.02% 精矿率高炉冶炼相比，高炉使用全精矿烧结的烧结矿冶炼期间，高炉主要指标有恶化的趋势，主要表现在：①高炉受风能力变差，高炉风量减小 112 m³/min，透气性指数下降 0.104；②煤气利用升高 3.66 个百分点，煤比下降 4.92 kg/t；③高炉中心气流不足，风温下降22 ℃；④渣比有升高趋势，炉渣碱度也升高 0.04；⑤高炉调整频繁，炉缸不活跃。

4　结论

（1）由于包钢自产白云鄂博铁精矿的特殊性，其在铁料中占比为 85% 的全精矿烧结期间，主要表现是，混合料粒度组成变差，烧结固体燃耗指标升高 6.5 kg/t，导致烧结矿 FeO 含量升高。

（2）实施全精矿烧结期间，为保证料层透气性，采取提高混合料料温、改善混合料制粒效果，调整布料纵向偏析以及调整松料器角度等措施，使烧结利用系数维持在原有水平。

（3）实施全精矿烧结期间，通过提高燃料消耗、提高烧结矿 SiO_2 含量、提高烧结碱度等措施，以保证烧结矿强度指标维持原有水平，试验结果表明，烧结矿强度较实施前降低 0.15 个百分点。

参　考　文　献

[1] 林东鲁，李春龙，邬虎林. 白云鄂博特殊矿采选冶工艺技术攻关与技术进步[M]. 北京：冶金工业出版社，2007.

[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.

中国知网　https://www.cnki.net