包钢烧结矿配加 FMG 西部粉矿试验研究

刘周利[1]，吕斌斌[2]，张国成[1]，陈 革[1]，白晓光[1]

（1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心，内蒙古 包头 014010；
2. 内蒙古科技大学材料与冶金学院，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 文章利用烧结杯开展了 FMG 西部粉替代毛塔粉试验研究，对不同替代比例的烧结矿质量指标以及高温冶金性能进行了系统研究。研究结果表明：FMG 西部粉可以替代毛塔粉用于烧结生产，在保证烧结矿质量指标以及高温冶金性能指标稳定的前提下，建议 FMG 西部粉替代毛塔粉的比例控制在 12% 以内。

关键词： FMG 西部粉；毛塔粉；替代；试验研究

中图分类号： TF046.4 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2017)03－0032－04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.03.010

Experimental Study on Adding FMG Western Ore Fines into Sinter Ore in Baotou Steel

LIU Zhou－li[1], *LV Bin－bin*[2], *ZHANG Guo－cheng*[1], *CHEN Ge*[1], *BAI Xiao－guang*[1]

(1. *Technical Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*;
2. *School of Material and Metallurgy*, *Inner Mongolia University of Science and Technology*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: In this paper, the experimental study on FMG western ore fines substituting for Maota ore fines is carried out by using the sintering cup, and the sinter quality indicators and high temperature metallurgical properties of different substitution ratio are systematically studied. The results show that the FMG western ore fines can be used to substitute Maota ore fines in sintering production. On the premise of ensuring the stability of sinter quality indicators and high temperature metallurgical properties, it is suggested that the substitute proportion of FMG ore fines for Maota ore fines should be controlled within 12%.

Key words: FMG western ore fines; Maota ore fines; substitute; experimental study

包钢烧结主要铁料结构为白云鄂博自产精矿搭配部分外购粉矿，由于粉矿运输距离的原因，导致外购铁料进价较高，从而使得炼铁成本居高不下。本试验用 FMG 西部粉属于澳矿的一种，而且 P 含量较其他澳矿低，对于包钢目前钢水脱磷成本的降低具有一定现实意义。而且 FMG 西部粉中的微量元素含量低，可以满足当前包钢的生产需求。通过本试验的研究，可以有效降低烧结配矿成本以及炼钢脱磷成本。

1 试验原料、方案及参数控制

包钢烧结矿主要铁料结构为白云鄂博自产精矿搭配部分外购粉矿，本试验用 FMG 西部粉属于澳矿的一种。

1.1 试验原料

试验用铁料包括精矿 A、精矿 B、澳粉、毛塔粉、FMG 西部粉矿以及钢渣；熔剂包括石灰石、生石灰、轻烧白云石，燃料为焦粉。试验原燃料的化学成分见表 1。

收稿日期：2017－04－11

作者简介：刘周利(1984－)，男，陕西省宝鸡市人，工程师，现从事炼铁原料相关技术工作。

表 1　试验用所用原料的化学成分(质量分数)　%

原料名称	TFe	FeO	CaO	SiO_2	MgO	Al_2O_3	P	S	K_2O	Na_2O	F	*Ig*
精矿 A	66.46	28.92	1.21	1.72	0.810	0.414	0.050	1.710	0.056	0.046	0.074	2.30
精矿 B	65.9	27.77	1.08	2.48	0.850	0.124	0.063	0.680	0.112	0.209	0.272	1.82
澳粉	61.44	<0.50	0.08	4.22	0.073	2.170	0.104	0.019				5.15
毛塔粉	60.32	11.32	0.69	10.33	0.830	1.140	0.064	0.024				1.15
FMG 西部粉	60.04	<0.50	0.06	8.15	0.095	2.150	0.076	0.012	0.014	0.017		3.65
钢渣	21.64	15.81	33.98	13.62	7.820		0.900	0.120				
轻烧白云石			37.45	1.01	21.740							38.70
石灰石			48.9	3.33	1.290							39.74
生石灰			81.59	2.19	2.300	0.610						6.88
焦粉	固定碳: 82.00; 灰分: 16.18; 挥发分: 2.17; 硫分: 0.9; 水: 2.4											

由表 1 可知,FMG 西部粉 $w(TFe)/w(FeO)=120.1$,属于假象赤铁矿。若用 FMG 西部粉替代毛塔粉,FMG 西部粉的 $w(SiO_2)$ 较毛塔粉约低 4.18 个百分点,$w(P)$ 高 0.012 个百分点,$w(Al_2O_3)$ 高 1.01 个百分点,而且 FMG 西部粉烧损略高。因此,从化学成分上看,用 FMG 西部粉替代毛塔粉,会增加烧结矿 $w(P)$ 和 $w(Al_2O_3)$。

试验采用石灰石和生石灰调整烧结矿碱度,采用轻烧白云石调整烧结矿的 $w(MgO)$。

1.2　进口铁矿粉的粒度组成

试验用三种进口铁矿粉的粒度组成见表 2。

表 2　铁料粒度组成(质量分数)　%

名称	粒径/mm						
	>10	10~7	7~5	5~3	3~1	1~0.5	<0.5
澳粉	4.0	8.9	10.3	13.5	10.5	14.3	27.6
毛塔粉	10.5	7.9	6.2	7.6	7.1	11.7	49.0
FMG 西部粉	22.1	9.9	9.7	12.4	10.1	9.5	17.5

由表 2 可以看出,三种进口铁矿粉中,FMG 西部粉粒度较粗,毛塔粉粒度较细,澳粉居中。对于 -0.5 mm 粒级的粘附粉,毛塔粉占比为 49.0%,该粒级颗粒在烧结混合制粒过程中容易粘附在核心表面形成小球,对改善烧结过程具有重要的作用;而 FMG 西部粉的 -0.5 mm 粒级占比较低,仅为 17.5%,不利于混合料的制粒[1]。

1.3　试验方案

试验以稀土钢炼铁厂铁料配置为基准,用 FMG 西部粉分别以 6%、12%、18% 的比例部分或全部替代毛塔粉,同时为保证烧结矿 $w(SiO_2)$ 达到控制水平,铁料配置中澳粉的配比要进行适当的调整。试验方案见表 3。

表 3　试验方案

试验编号	铁料配置/%					
	精矿 A	澳粉	毛塔粉	FMG 西部粉	精矿 B	钢渣
1#	39	40	12		6	3
2#	39	38	8	6	6	3
3#	39	36	4	12	6	3
4#	39	34		18	6	3

注: 1# 为基准点,2#、3#、4# 为试验点。

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 的烧结杯,料层厚度 700 mm,点火负压为 4.9 kPa,烧结负压 9.8 kPa。

烧结矿碱度按 2.0 ± 0.08 控制,烧结矿 $w(MgO)$ 按 2.0% 控制,烧结矿 $w(SiO_2)$ 按照 4.85%~4.90% 控制。

2　进口粉矿的烧结基础性能

(1) 同化性: 澳粉、毛塔粉和 FMG 西部粉的最低同化温度分别为 1 210 ℃、1 294 ℃和 1 250 ℃,即 FMG 西部粉的同化性介于澳粉和毛塔粉之间。

(2) 液相流动性: 澳粉最低流动温度为 1 230 ℃,液相流动性指数 *FI* 为 0.24;毛塔粉最低流动温度为 1 225 ℃,液相流动性指数 *FI* 为 0.89;FMG 西部粉最低流动温度为 1 210 ℃,液相流动性指数 *FI* 为 1.155;因此,从液相流动性比较,由好到差的排序为: FMG 西部粉 > 毛塔粉 > 澳粉。

3 试验结果及分析

3.1 烧结矿化学成分的变化

烧结矿化学成分分析结果列于表4。

由表4可知:4个试验点的 $w(MgO)$ 和 $w(SiO_2)$ 与设计值在正常误差范围之内。

表4 烧结矿化学成分(质量分数%)及碱度

试验编号	TFe	FeO	CaO	SiO_2	MgO	F	P	S	K_2O	Na_2O	Al_2O_3	R
1#	56.41	9.05	10.59	5.02	2.00	0.118	0.091	0.034	0.104	0.142	1.32	2.08
2#	56.83	8.35	9.69	4.94	1.86	0.125	0.098	0.028	0.096	0.154	1.31	1.92
3#	56.83	8.22	9.65	4.80	1.96	0.123	0.094	0.033	0.098	0.154	1.29	1.97
4#	57.11	8.13	9.45	4.80	1.91	0.125	0.101	0.027	0.093	0.176	1.32	1.93

3.2 烧结工艺指标的变化

烧结杯试验结果见表5。

表5 烧结工艺指标

试验编号	成品率 /%	利用系数 /(t·m^{-2}·h^{-1})	垂速 /(mm·min^{-1})	燃耗 /(kg·t^{-1})	转鼓强度 +6.3 mm /%
1#	67.6	1.19	18.75	65.2	68.5
2#	68.0	1.18	18.42	64.8	66.9
3#	67.8	1.12	17.18	64.5	68.0
4#	65.6	1.02	16.56	67.1	64.0

由表5可知:

(1) 成品率:用FMG西部粉替代毛塔粉,以6%和12%比例部分替代,烧结矿成品率无显著变化;以18%比例全部替代,烧结矿成品率显著降低。分析认为,FMG西部粉烧损较高,在烧结过程中需要消耗更多的燃料,在配加焦粉相同的条件下,导致烧结矿成品率降低。

(2) 利用系数:随着FMG西部粉替代毛塔粉比例的增加,烧结时间延长,从而导致烧结利用系数有降低的趋势,尤其是18%替代后,利用系数降低明显。

(3) 固体燃耗:与基准点相比,6%、12%替代烧结固体燃耗没有明显变化,18%替代后配比固体燃耗增加明显。

(4) 转鼓强度:与基准点相比,替代比例在12%以内时,烧结矿转鼓强度变化不明显。18%替代后转鼓强度最低。

3.3 烧结矿冶金性能的变化

烧结矿冶金性能试验结果见表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 /℃	$\triangle P_{max}$ /Pa
1#	81.8	68.5	1 061	1 101	1 233	132	1 245	1 513	268	11 293
2#	79.0	62.4	1 048	1 091	1 227	136	1 231	1 504	273	12 849
3#	79.8	62.4	1 053	1 091	1 237	146	1 249	1 510	261	14 401
4#	83.1	57.5	1 061	1 095	1 235	141	1 238	1 489	251	13 540

由表6可知:与基准点相比,6%,12%替代后,烧结矿软化温度(T_4、T_{10})有降低的趋势,软化区间变宽,熔融区间变化不明显,最大压差升高。之后,随着18%替代后,软化温度(T_4、T_{10})有降低的趋势,软化区间变宽,低温还原粉化指数恶化,还原性改善。

3.4 烧结矿矿物组成和显微结构

烧结矿矿物组成分析结果见表7、显微结构见照片1—8。

表7 烧结矿的矿物组成(体积分数) %

试样编号	磁铁矿	赤铁矿	铁酸钙	硅酸二钙	玻璃相	其它(少量,未定量)
1#	32	18	34	2	14	残余熔剂
2#	31	22	32	2	13	残余熔剂
3#	30	25	29	3	13	残余熔剂
4#	30	30	28	3	11	残余熔剂

由表 7 矿相组成可知: 随着 FMG 西部粉矿配比的增加，1#到 4#铁酸钙的生成量呈明显的下降趋势，分析原因主要是由于 FMG 西部粉矿本身的颗粒较大，在烧结过程中难以矿化，因此，参与生成复合铁酸钙的赤铁矿含量降低。同时由于颗粒较大，在烧结过程中大部分以原生赤铁矿的形式存在，从而导致赤铁矿含量呈增加的趋势。1#主要以磁铁矿和铁酸钙形成的溶蚀交织结构(照片 1) 为主，且结构致密，孔隙含量较低。2#主要以磁铁矿和铁酸钙形成的溶蚀交织结构(照片 2) 为主，局部可见磁铁矿和玻璃相及少量铁酸钙形成的杂斑状构结(照片 3) 。3#主要以磁铁矿和铁酸钙构成的熔蚀交织结构(照片 4) 和磁铁矿与赤铁矿及液相构成的杂斑状结构(照片 5) 为主，局部可见液相富集(照片 6) 。4#以磁铁矿和铁酸钙构成的熔蚀交织结构(照片 7) 与赤铁矿和玻璃相及磁铁矿形成的杂斑状结构(照片 8) 两种形貌特征为主，且液相发育，孔隙率高，这种结构容易引起烧结矿强度变差。铁酸钙含量较低，同时赤铁矿含量明显高于其他试验点，所以，势必会引起烧结矿低温还原粉化变差，还原性改善。所以，从矿相组成以及显微结构照片分析 1#、2#、3#三个方案还原性和转鼓强度应该变化不大。与 1#方案相比，4#方案铁酸钙与赤铁矿的总量增加 6 个百分点，对于烧结矿还原性以及转鼓强度的改善有积极作用[2] 。

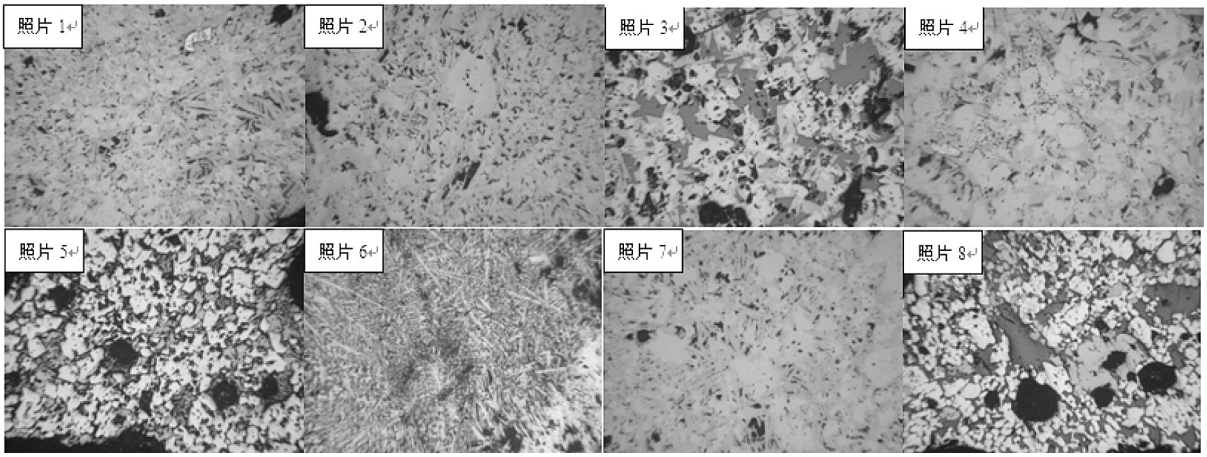


图 1　烧结矿岩相照片

4　结论

(1) 从烧结工艺指标试验结果看，利用 FMG 西部粉矿替代毛塔粉后，替代比例在 12% 以内烧结矿成品率没有明显变化。烧结垂速有降低的趋势，但是变化不明显，相对应的利用系数降低; 固体燃耗、转鼓强度变化不明显。当 FMG 粉矿配比为 18% 时，烧结工艺指标明显恶化，烧结矿质量指标恶化。

(2) 从冶金性能看，采用 6%、12% FMG 西部粉矿替代毛塔粉，其烧结矿冶金性能除软化温度(T_4、T_{10}) 有降低的趋势，软化区间变宽外其它指标无明显变化。18% 全部替代后，低温还原粉化指数恶化，还原性改善。

综合考虑烧结工艺指标和冶金性能指标，FMG 西部粉矿可以替代毛塔粉用于烧结生产。建议替代比例应该控制在 12% 以内。以保证烧结矿质量稳定。

参　考　文　献

[1]　范晓慧. 铁矿烧结优化配矿原理与技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社，2013.

[2]　贾燕，李文兴. 铁矿粉烧结生产 [M]. 北京: 冶金工业出版社，2013.