包钢烧结配加低硫蒙古精矿试验研究*

李顺喜[1],刘周利[2],杨 雪[1],赵 彬[2],何晓义[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术质量部,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章采用微型烧结法对低硫蒙精基础特性进行研究,并利用烧结杯开展了烧结配加低硫蒙古精矿替代自产精矿试验研究。研究结果表明:低硫蒙古精矿具有同化性温度高、液相流动性能差、粘结相强度高等特点;随着替代比例的增加,烧结成品率、利用系数以及烧结矿转鼓强度呈先增加后降低的趋势,固体燃耗呈先降低后增加的趋势,当替代比例为20%时,烧结综合指标最优。

关键词: 烧结;蒙古精矿;试验研究
中图分类号: TF046.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)01-0018-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.01.006

Experimental Study on Adding Low Sulfur Mongolian Concentrate in Sintering of Baotou Steel

Li Shun-xi[1], *Liu Zhou-li*[2], *Yang Xue*[1], *Zhao Bin*[2], *He Xiao-yi*[2]

(1. *Technology and Quality Dept. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the basic characteristics of low sulfur Mongolian concentrate are studied with micro sintering method and the experimental study on adding low sulfur Mongolian concentrate instead of self-produced concentrate in sintering with sinter pot is carried out. The study results showed that the low sulfur Mongolian concentrate was with such characteristics as high assimilation temperature, poor liquidity of liquid phase and high strength of bond phase; with the increase of proportion for low sulfur Mongolian concentrate replacing self-produced concentrate, the sintering yield, utilization coefficient and drum strength of sinter showed a trend of first increasing and then decreasing, solid fuel consumption showed a trend of first decreasing and then increasing as well as composite sintering indicator was optimum when the proportion was 20%.

Key words: sintering; Mongolian concentrate; experimental study

随着进口海运铁矿石(澳大利亚铁矿、巴西铁矿)价格不断飙升,包钢高炉原料成本也随之增加,从而导致企业利润不断下降。如何降低包钢高炉冶炼的原料成本,改善烧结矿产质量成为技术人员亟需解决的问题。自产精矿作为烧结生产主要的粘附粉,含F、K_2O、Na_2O、S、P等有害杂质,对烧结的产质

* 收稿日期:2020-12-30
作者简介:李顺喜(1986-),男,内蒙古包头市人,硕士,工程师,现从事铁前系统质量管理工作。

量以及高炉技术经济指标产生不利影响。为了减轻自产精矿对烧结、高炉的影响，从资源和成本两方面考虑，在不改变烧结粘附粉总量的前提下[1]，引进一种有害杂质较少的低硫蒙古精矿（简称低硫蒙精），缓解自产精矿的不利影响。蒙古矿作为包钢的战略资源，经二连浩特口岸进口，运距短，可以降低烧结配矿成本，属于真正意义上“物美价廉”的铁矿资源。本文通过使用低硫蒙精同比例替代自产精矿后烧结矿质量指标变化的研究，为包钢烧结合理利用低硫蒙精提供理论依据。

1　试验原燃料

试验用铁料包括自产精矿、澳矿粉、FMG 粉矿、WPF 粉矿、以及低硫蒙精；熔剂包括蛇纹石、石灰石、生石灰、白云石；燃料为焦粉。试验用原料化学成分见表 1，燃料工业分析见表 2。

表 1　原料化学成分及烧损（质量分数）　%

名称	TFe	FeO	CaO	SiO_2	MgO	Al_2O_3	P	S	K_2O	Na_2O	F	I_g
自产精矿	66.46	28.83	0.92	2.50	0.83	0.12	0.064	1.030	0.133	0.116	0.38	1.74
澳矿粉	60.46	<0.50	<0.10	3.93	0.12	2.41	0.102					5.80
FMG 粉矿	58.15	<0.50	0.03	5.27	0.06	2.51	0.083					7.45
低硫蒙精	65.76	25.77	0.58	3.35	3.73	0.43	<0.050	0.023	0.046	0.027	0.152	1.01
蛇纹石			1.00	38.00	35.00							10.00
石灰石			51.50	2.84	1.86							39.91
生石灰			87.67	3.63	4.07							2.31
白云石			31.09	2.36	19.86							45.87

由表 1 可以看出：低硫蒙精 TFe/FeO = 2.55 < 3.5，按照 TFe/FeO < 3.5 为磁铁矿的标准，该低硫蒙精属于磁铁矿。铁品位较自产精矿低，为 65.76%，P、Al_2O_3 含量以及 I_g 低，MgO 和 SiO_2 含量较高，从化学成分上看，低硫蒙精可以用于烧结工艺。替代自产精矿后，预测烧结矿 P 和 Al_2O_3 含量降低，蛇纹石和白云石配比降低。

表 2　燃料工业分析（质量分数）　%

名称	F_{cad}	A_{ad}	V_{ad}	$S_{t,d}$	M_t
焦粉	82	16.18	2.17	0.9	2.4

由表 2 可以看出，焦粉的固定碳含量为 82%，灰分较高，为 16.18%，硫含量较高，为 0.9%。

2　铁精矿烧结基础特性

不同品种铁精矿烧结基础特性试验结果见表 3。

表 3　基础特性试验结果

矿种	同化性温度/℃	液相流动性指数	铁酸钙含量/%	粘结相强度/N
自产精矿	1 305	0	2	868
低硫蒙精	1 310	0	0	5 000

注：液相流动性指数测定条件为：碱度 4.0，温度 1 300 ℃。

由表 3 可以看出：同化性温度自产精矿为 1 305 ℃，低硫蒙精为 1 310 ℃；两种精矿液相流动指数均为零；铁酸钙生成量自产精矿为 2%，低硫蒙精为零；粘结相强度自产精矿为 868 N，低硫蒙精为 5 000 N。

同化性温度反映的是铁精矿与 CaO 反应生成液相（粘结相）的难易程度[2]，同化性温度越高，同化反应能力越差，反之亦然。从矿物结构方面分析，两种铁精矿均属于磁精矿，结构致密，与熔剂的矿化能力差；从化学成分角度分析，自产精矿含 F、K_2O、Na_2O 等元素，F 在烧结过程中反应生成枪晶石，由于 CaF_2 液相黏度低，流动性好，容易消化石灰而形成枪晶石，使烧结液相生成温度明显降低，低硫蒙精 F 含量低，而且 MgO 含量高，MgO 属于高熔点物质，有使同化性温度升高的作用，所以，低硫蒙精同化性温度高于自产精矿。

液相流动特性是指烧结过程中生成液相的流动能力，以流动性指数表示，它反映了烧结液相的有效粘结范围，对烧结矿强度有一定影响。低硫蒙精同化性温度高，生成液相需要的温度较高，而且 MgO 含量较高，MgO 显著降低铁矿粉的液相流动性，一方面 MgO 使烧结液相生成温度升高，铁矿粉的同化

能力降低;另一方面,MgO 抑制铁酸钙液相的生成,导致液相中气孔增加,使液相黏度升高[2]。

铁酸钙(SFCA)生成特性是指铁矿粉在烧结过程中生成复合铁酸钙的能力,两种磁精矿铁酸钙生成能力均很差,主要由矿物结构决定,磁铁矿在生成铁酸钙之前首先氧化为赤铁矿,然后与 CaO 反应生产铁酸钙,在烧结过程中,高温保持时间短,动力学条件不足所致。

粘结相强度表征铁矿粉在烧结过程中形成的液相对其周围的核矿石进行固结的能力。一方面,低硫蒙精在 1 280 ℃条件下液相量少,主要矿物结构为磁铁矿、玻璃相以及少量的赤铁矿,磁铁矿本身具有很高的强度,而且氧化后生成的赤铁矿强度较高,最终导致粘结相强度高;另一方面,自产精矿 F 含量为 0.38%、碱金属总量($K_2O + Na_2O$)为 0.249%,而低硫蒙精 F 含量为 0.152%,碱金属总量($K_2O + Na_2O$)为 0.073%,低硫蒙精 F 含量、碱金属总量明显低于自产精矿低,所以,低硫蒙精替代自产精矿后 F、碱金属对烧结矿强度的破坏作用减弱。

3 试验方案及参数控制

3.1 试验方案

试验以炼铁厂烧结二部的铁料配置为基准点,利用低硫蒙精替代自产精矿开展烧结杯试验。试验方案见表4。

表4 铁料配比(质量分数) %

试验编号	自产精矿	澳矿粉	FMG	低硫蒙精
0#	41	45	14	0
1#	31	45	14	10
2#	21	45	14	20
3#	0	45	14	41

注:0#—基准点,1#—10% 低硫蒙精,2#—20% 低硫蒙精,3#—40% 低硫蒙精

粘附粉为混合料中小于 0.5 mm 的部分,作为烧结液相的主要成分,其化学成分和性能指标直接影响烧结矿的产质量,各方案粘附粉化学成分见表5。

表5 粘附粉化学成分、碱度及 CaO/Fe_2O_3 摩尔比

试验编号	化学成分(质量分数)/%							碱度(R_o)	CaO/Fe_2O_3 摩尔比
	TFe	SiO_2	CaO	MgO	F	P	Al_2O_3		
0#	53.01	3.80	15.76	1.83	0.23	0.07	1.08	4.06	0.68
1#	52.48	4.06	16.41	2.00	0.20	0.07	1.06	3.97	0.71
2#	51.93	4.34	17.02	2.23	0.17	0.07	1.04	3.86	0.75
3#	50.60	5.05	18.70	2.65	0.09	0.06	0.99	3.68	0.85

由表5可以看出:随着替代比例的增加,粘附粉铁品位、F 和 Al_2O_3 含量以及 R_o 呈降低的趋势,SiO_2 含量、CaO 含量、MgO 含量、CaO/Fe_2O_3 摩尔比呈升高的趋势。

3.2 烧结参数控制

烧结试验采用包钢技术中心炼铁研究所直径 200 mm 烧结杯,料层厚度 700 mm,点火负压为 4.9 kPa,烧结负压为 9.8 kPa。

烧结矿碱度控制为 2.0 ± 0.1,烧结矿 MgO 含量控制为 2.0% ± 0.1%,SiO_2 含量按5.0% ± 0.1% 控制。采用石灰石、生石灰调整烧结矿碱度,白云石和蛇纹石调整烧结矿 MgO 含量。

4 烧结杯试验结果及分析

4.1 烧结矿化学成分

配加不同比例低硫蒙精烧结矿化学成分见表6。

表6 烧结矿化学成分及碱度

试验编号	化学成分(质量分数)/%								碱度(R_o)
	TFe	FeO	CaO	SiO_2	MgO	Al_2O_3	P	F	
0#	56.97	9.44	10.54	5.04	2.01	1.88	0.082	0.081	2.07
1#	56.55	9.43	10.21	5.08	2.00	1.83	0.077	0.09	1.98
2#	56.69	9.52	10.31	5.02	2.04	1.83	0.077	0.079	2.03
3#	57.12	9.48	10.15	5.00	2.04	1.76	0.073	0.110	2.00

由表 6 可以看出: 与基准点相比,低硫蒙精替代自产精矿后烧结矿 FeO 含量稳定,P 和 Al_2O_3 含量降低,碱度在 2.0 ±0.1 范围之内。

4.2　烧结工艺指标

配加不同比例低硫蒙精烧结工艺指标变化情况见表 7。

表 7　烧结工艺指标

试验编号	水分 /%	配碳量 /%	成品率 /%	利用系数 /(t·m^{-2}·h^{-1})	固体燃耗 /(kg·t^{-1})	垂速 /(mm·min^{-1})	转鼓强度 (+6.3 mm) /%
0#	6.9	4.15	71.18	1.49	67.30	20.69	65.87
1#	6.9	4.15	72.52	1.60	66.47	21.88	66.53
2#	6.8	4.15	72.46	1.56	66.12	19.49	67.20
3#	7.0	4.15	68.19	1.53	66.40	21.17	66.13

由表 7 可以看出: 在烧结配碳不变的条件下,与基准点相比,随着低硫蒙精替代比例的增加,烧结矿成品率、利用系数以及转鼓强度呈先增加后降低的趋势,固体燃耗呈先降低后增加的趋势。当替代比例小于 20% 时,烧结粘附粉中 SiO_2 含量、MgO 含量、CaO/Fe_2O_3 摩尔比增加,碱度略有下降,由于 CaO/Fe_2O_3 摩尔比的增加使得优质铁酸钙粘结相的生成量增加,从而使得烧结成品率、利用系数以及烧结矿转鼓强度增加,固体燃耗降低。当替代比例进一步提高至 41%,粘附粉中 SiO_2 含量进一步增加,导致液相碱度降低,而此时液相中 MgO 含量增加较明显,MgO 对铁酸钙液相的抑制作用突显,从而导致烧结成品率、利用系数以及烧结矿转鼓强度降低,固体燃耗增加。所以,当替代比例为 20% 时,烧结各项指标最优。

5　结论

(1) 低硫蒙古精矿具有同化温度高,液相流动性差,粘结相强度高等特点,与自产精矿的高温性能基本相近,P 含量较低,用于烧结生产,烧结矿 P 含量降低,可以有效降低高炉入炉 P 负荷。

(2) 随着低硫蒙精替代比例由零增加至 41%,烧结成品率、利用系数以及烧结矿转鼓强度呈先增加后降低的趋势,固体燃耗呈先降低后增加的趋势,当替代比例为 20% 时,烧结综合指标最优。

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]　罗果萍,孙国龙,赵艳霞,等. 包钢常用铁矿粉烧结基础特性 [J]. 过程工程学报,2008,8(S1):198 -201.