

# 包钢烧结多品种配矿试验研究

李玉柱<sup>1</sup>, 梁海全<sup>2</sup>, 张 绅<sup>1</sup>, 张 永<sup>1</sup>

- (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. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢炼铁厂, 内蒙古 包头 014010)

**摘要:** 文章研究了包钢烧结在目前铁料配比条件下, 增加配矿种类, 从化学成分、粒度组成及冶金性能等方面对烧结矿进行综合评价, 提出最优的配矿方案。研究结果表明, 方案4(45%自产铁精矿+31%麦克粉矿+11%FMG混合粉矿+5%高硅巴西粗粉矿+4%印度粉矿+3%褐铁矿)烧结矿质量指标达到最优值, 固体燃耗较基准方案降低了3.46 kg/t, 成品率提高了3.09个百分点, 转鼓强度提高了2.54个百分点, 平均粒度增加了0.37 mm, 该方案为首选方案。

**关键词:** 配矿; 评价; 烧结矿

中图分类号: TF046

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2025)05-0014-04

## Experimental Research on Multi-variety Ore Blending in Sintering of Baotou Steel

Li Yuzhu<sup>1</sup>, Liang Haiquan<sup>2</sup>, Zhang Shen<sup>1</sup>, Zhang Yong<sup>1</sup>

- (1. Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;  
2. Rare Earth Steel Iron-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** In this article, the increase of ore types blended under the current condition of proportion of iron concentrate in sintering of Baotou Steel is researched as well as optimal ore blending scheme is proposed through comprehensive evaluation of sinter from such aspects as the chemical composition, size composition and metallurgical performances. The research results showed that the quality indexes of sinter in scheme 4 (45% self-produce iron concentrate + 31% Mac fines + 11% FMG mixed ore fines + 5% high-silicon Brazilian rough ore fines + 4% Indian ore fines + 3% limonite) reached optimal values, solid fuel consumption was decreased by 3.46 kg/t compared with that of benchmark scheme, finished product rate was increased by 3.09 percentage point, drum strength was increased by 2.54 percentage point and average particle size was increased by 0.37 mm so that this scheme was preferred.

**Key words:** ore blending; evaluation; sinter

在整个炼铁生产过程中, 烧结矿占到了入炉原料的70%以上<sup>[1]</sup>, 而在烧结生产过程中, 原料成本

占烧结矿成本的80%左右<sup>[2]</sup>。为进一步降低铁前原料成本, 目前包钢烧结工艺自产铁精矿配比已经

达到了40%~50%，受资源储量、供应能力及白云鄂博矿特殊性的限制，烧结工艺很难进一步提高自产铁精矿的配比。因此提高经济料种在烧结原料中的使用比例，是降低烧结矿成本，进一步降低铁水成本的有效途径。在烧结工艺中如何合理配加部分性价比良好的经济料种对于降低铁前成本，进一步提质增效具有重要的意义<sup>[3]</sup>。本文通过开展不同种类的经济料种在烧结工序的试验研究，开发出适合包钢烧结工艺的经济料种，并制定其在烧结工艺中合理应用的方案，从而进一步降低烧结矿成本。

## 1 试验原料的化学成分

试验原料均取自炼铁厂，含铁原料有混合铁精

矿、麦克粉矿、FMG混合粉矿、高硅巴西粗粉矿、印度粉矿、蒙古中硫粉矿、蒙古高硫铁精矿；熔剂有石灰石、生石灰、白云石，其中石灰石和生石灰用于调节烧结矿碱度，白云石主要用于调节烧结矿MgO含量，采用焦粉作为燃料。蒙古粉矿具有高SiO<sub>2</sub>含量和较高K、Na含量的特点，这决定了其具有较好的同化性，蒙古粉矿的另一个特点就是价格相对便宜，烧结工序适当配加可以改善烧结矿的强度，降低烧结矿成本，提高经济效益。印度粉矿粒度组成理想，冶金性能较好，适当配加可以提高烧结透气性。试验原料化学成分见表1和表2。

表1 试验含铁原料、熔剂的化学成分及烧损(质量分数)

原料名称	TFe	FeO	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	F	P	S	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	I <sub>g</sub>
混合铁精矿	65.90	27.7	0.98	2.70	0.58	0.31	0.064	0.69	0.11	0.15	0.118	1.46
麦克粉矿	59.77	<0.5	<0.1	4.40	0.16		0.088				2.51	5.99
FMG混合粉矿	58.28	<0.5	0.05	5.30	0.12		0.079				2.72	7.44
高硅巴西粗粉矿	55.01	1.75	1.17	13.4	0.58		0.064	0.036	0.043	0.02	3.18	3.49
蒙古中硫粉矿	55.78	18.86	1.65	6.06	4.30	0.125	0.059	0.968				
蒙古高硫铁精矿	60.57	24.05	1.68	4.45	3.08	0.06	0.04	2.58	0.192	0.11	1.71	2.61
印度粉矿	52.88	0.5	0.19	14.6	0.08	0.05	0.04	0.01			4.84	3.50
褐铁矿	40.91	0.5	2.64	30.5	1.29	0.05	0.05	0.04	0.042	0.051	0.406	7.54
石灰石			51.30	2.58	2.30							42.6
生石灰			84.00	3.65	3.30							7.8
白云石			31.09	2.36	19.86							45.9

表2 燃料工业分析(质量分数)

名称	F <sub>cd</sub>	A <sub>d</sub>	V <sub>daf</sub>	S <sub>t,d</sub>	M <sub>t</sub>
焦粉	82.00	16.18	2.17	0.90	2.4

## 2 试验方案

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6 kPa，烧结负压10 kPa。烧结矿碱度按 $2.05 \pm 0.01$ 控制，烧结矿MgO含量为 $2.0\% \pm 0.1\%$ 。试验以包钢炼铁厂三烧车间当前的铁料配置为基准，通过增加铁料配加种类进行烧结杯试验，具体试验方案见表3。

表3 铁料配置方案(质量分数)

试验方案	自产矿	麦克粉矿	FMG混合粉矿	蒙古高硫铁精矿	高硅巴西粗粉矿	蒙古粉矿	印度粉矿	褐铁矿
1	41	33	15		11			
2	45	30	9		11		5	
3	45	29	8		10	4	4	
4	45	31	9		4	4	4	3
5	45	32	11		5		4	3
6	45	29	8	3	9		6	

共设计了6个烧结杯试验方案，其中方案1(基准点)为当前三烧车间铁料配置，方案2—方案6以

目前烧结工序的铁料种类为基础，通过增加蒙古粉矿、印度粉矿及褐铁矿等经济料种的配比，将三烧车

间铁料的种类增加到 6~7 种,考察烧结料种增加后,烧结矿的质量指标的变化。其中方案 4 和方案 5 中配加褐铁矿是为了保证烧结矿  $\text{SiO}_2$  含量稳定在原有水平。

### 3 烧结杯试验结果分析

#### 3.1 烧结矿化学成分的变化

表 4 不同铁料配比条件下烧结矿化学成分及碱度

试验方案	化学成分(质量分数)/%							二元碱度
	TFe	$\text{SiO}_2$	CaO	MgO	F	P	$\text{Al}_2\text{O}_3$	
1	56.95	4.92	10.08	2.01	0.112	0.071	1.737	2.05
2	56.72	5.07	10.39	2.0	0.120	0.069	1.734	2.05
3	56.95	4.96	10.16	1.98	0.122	0.069	1.681	2.05
4	56.52	5.10	10.45	1.96	0.121	0.069	1.623	2.05
5	56.39	5.15	10.55	2.02	0.119	0.069	1.668	2.05
6	56.97	5.02	10.29	1.97	0.122	0.068	1.732	2.05

#### 3.2 烧结经济技术指标的变化

增加铁料种类后烧结经济技术指标的变化见表 5。由表 5 可以看出,随着烧结铁料种类的增加,烧

化学成分是影响烧结矿质量的因素之一,在烧结工艺参数不变的情况下,适宜的化学成分对改善烧结矿矿相组成以及提高强度尤其重要。对各种配矿方案成品烧结矿取样并检测其化学成分,检测结果如表 4 所示。由表 4 可知,不同铁料配比条件下,烧结矿的化学成分及碱度无明显变化,所以烧结矿指标的变化主要考虑铁料种类的变化。

结矿成品率整体上较基准点有增加的趋势,其中方案 4 烧结铁料种类达到 7 种,烧结矿成品率达到 74.76%,较基准点提高了 3.09 个百分点。

表 5 烧结经济技术指标的变化

试验方案	混合料水分 /%	干烧成率 /%	成品率 /%	利用系数 $/(t \cdot m^{-2} \cdot h^{-1})$	固体燃耗 $/(kg \cdot t^{-1})$	垂速 $/(mm \cdot min^{-1})$	转鼓强度 /%
1	6.80	89.63	71.67	1.15	64.60	15.56	70.13
2	7.10	92.74	71.21	1.08	62.84	14.64	70.93
3	7.10	90.44	73.35	1.14	62.56	14.95	70.93
4	7.10	90.79	74.76	1.19	61.14	15.41	72.67
5	7.08	90.07	73.40	1.11	62.77	14.68	70.53
6	7.10	90.23	73.79	1.14	62.33	15.05	71.87

增加蒙古粉矿、印度粉矿等经济料种配比,混合料水明显增加,烧结垂速整体较基准点小幅下降,因此烧结利用系数较基准点有不同程度的降低,只有方案 4 利用系数较基准点增加了  $0.04 t/(m^2 \cdot h)$ 。

增加烧结铁料种类后,烧结固体燃耗整体较基准点有降低的趋势,方案 4 降低幅度最高,方案 2 降低幅度最低,整体降低的幅度为  $1.76 \sim 3.46 \text{ kg/t}$ 。

增加烧结铁料种类后,烧结矿转鼓强度有增加的趋势,其中方案 4 中烧结矿的转鼓强度最高,达到 72.67%,较基准点提高了 2.54 个百分点。

综合分析,增加烧结铁料种类后,烧结矿成品率、固体燃耗及转鼓强度等质量指标有改善的趋势。分析认为,不同的铁矿粉之间存在着烧结行为和作用的互补关系,存在互补关系的铁矿粉配加越多,烧结经济技术指标相对越好<sup>[4]</sup>。在方案 4 的铁料配比条件下,烧结矿各项质量指标最好。从方案 3 和方案 4 的试验结果来看,降低高硅巴西粗粉矿配比,采用褐铁矿调节烧结矿中  $\text{SiO}_2$  含量,有利于提高烧结矿的成品率、转鼓强度等质量指标,因此仅从烧结矿成品率、转鼓强度等质量指标分析,推荐最优的铁料

配置方案为“45% 自产铁精矿 + 31% 麦克粉矿 + 9% FMG 混合粉矿 + 4% 高硅巴粗 + 4% 蒙古粉矿 + 4% 印度粉矿 + 3% 褐铁矿”。

### 3.3 烧结矿粒度组成的变化

增加铁料种类后烧结矿粒度组成的变化见表6。

由表6可知,增加铁料种类后,烧结矿平均粒度较基准点有增加的趋势,提高的幅度为0.37~1.74 mm,主要表现为大于25 mm 粒级增加。方案4较方案3增加了褐铁矿的配比,由于褐铁矿在烧

结过程中结晶水分解,发生爆裂,易形成大孔薄壁结构,所以40~25 mm 粒级较基准点增加了5.84个百分点,平均粒度较基准点增加0.37 mm。不同粒级的烧结矿理想占比为:小粒级(<10 mm)应控制在30%以下,以确保高炉的稳定顺行和良好的冶金性能;中间粒级(40~10 mm)应占较大比例,以保持良好的透气性;大粒级(>40 mm)适量即可,过多会影响高炉炉料的均匀性。对表6中各方案中烧结矿粒度进行分析,方案4烧结矿粒度组成最为合理。

表6 烧结矿粒度组成的变化

试验方案	粒度组成(质量分数)/%					平均粒度 /mm
	>40 mm	40~25 mm	25~16 mm	16~10 mm	10~5 mm	
1	9.56	37.94	25.81	20.70	5.99	25.54
2	14.30	39.64	21.04	19.19	5.82	27.28
3	11.61	41.42	20.64	20.17	6.16	26.58
4	7.90	43.78	23.24	19.70	5.38	25.91
5	12.10	42.00	21.11	18.73	6.05	26.92
6	14.48	37.97	21.18	20.93	5.44	27.05

### 3.4 烧结矿高温冶金性能分析

不同配比条件下烧结矿冶金性能检测数据见表7。

由表7可知,从烧结矿的软熔、滴落性能数据上整体分析,烧结矿自产矿比例提高后,烧结矿的滴落温度( $T_d$ )提高,较基准点提高了24~33℃,滴落区间( $T_d - T_s$ )较基准点提高了4~23℃,软融区间较基

准点提高了5~38℃。从方案2、方案6的软融性能综合分析,方案2的软化温度最低,软融区间最宽,因此不推荐,方案3的软融、滴落性能整体最优,但烧结矿转鼓强度较方案4差,方案4、5、6的冶金性能整体变化不大,综合烧结矿的质量指标,推荐方案4为三烧的铁料配比。

表7 烧结矿的冶金性能

试验 方案	RDI <sub>+3.15 mm</sub> /%	软融性能								
		$T_4$ /℃	$T_{10}$ /℃	$T_{40}$ /℃	$T_{40} - T_{10}$ /℃	$T_s$ /℃	$T_d$ /℃	$T_d - T_s$ /℃	$T_d - T_{10}$ /℃	最大压差 /Pa
1	80.0	1 170	1 203	1 302	99	1 323	1 541	218	338	8 282
2	79.3	1 156	1 189	1 293	104	1 325	1 565	240	376	22 742
3	89.5	1 196	1 224	1 313	89	1 335	1 557	222	333	21 050
4	75.8	1 176	1 207	1 308	101	1 332	1 569	237	362	26 504
5	83.4	1 180	1 211	1 308	97	1 333	1 574	241	363	12 897
6	88.4	1 177	1 208	1 308	100	1 338	1 569	231	361	7 887

## 4 结论

(1) 烧结杯试验研究结果表明,降低烧结中高硅巴西粗粉矿和FMG混合粉矿配比的同时增加蒙

古粉矿和印度粉的配比,并采用褐铁矿调节烧结中SiO<sub>2</sub>含量有利于提高烧结矿的成品率、转鼓强度等质量指标。

(下转第28页)

### 3 结论

(1)通过采取台车加宽、主抽风机升级改造、制粒系统优化等措施,烧结机生产能力显著提高。改造后单台烧结机烧结矿日产量提高约 1 000 t,利用系数提高 0.152 t/(m<sup>2</sup>·h)。

(2)烧结料层厚度提高后,自动蓄热效应增强,固体燃料降低 1.19 kg/t,烧结矿 FeO 含量降低。

(3)烧结矿物理性能改善,烧结矿转鼓强度提高 0.30 个百分点,平均粒径提高 0.58 mm,大块烧结矿数量显著增加,中小粒级占比呈下降趋势。

(4)增产后烧结成本降低,能源介质成本降低 3.29 元/t,烧结矿制造费用降低 4.76 元/t。

#### 参 考 文 献

[1] 王莺莺. 浅议马钢 380 m<sup>2</sup> 烧结机进一步扩容

改造技术方案[J]. 冶金动力, 2021(4): 87-89.

[2] 花伟,向迎春. 中天钢铁 330 m<sup>2</sup> 烧结主抽风量提升及脱硫烟道振动生产实践[J]. 冶金信息导刊, 2023(1): 35-38.

[3] 冯二莲,李飞,刘继强. 现代烧结生产实用技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2018.

[4] 吴丹伟,莫龙桂. 柳钢 2<sup>#</sup> 360m<sup>2</sup> 烧结机布料系统优化实践[J]. 内燃机与配件, 2018(17): 62-63.

[5] 杨善续. 厚料层烧结工艺中提升混合料温度对燃料消耗的影响分析[J]. 冶金管理, 2025(1): 52-58.

[6] 裴元东,史凤奎,吴胜利,等. 烧结料面喷洒蒸汽提高燃料燃烧效率研究[J]. 烧结球团, 2016, 41(6): 16-20.

(上接第 17 页)

(2)方案 4 烧结矿质量指标达到最优值,固体燃料较基准降低了 3.46 kg/t,成品率和转鼓强度分别提高了 3.09 和 2.54 个百分点,平均粒度增加了 0.37 mm。因此铁料配比为“45% 自产铁精矿 + 31% 麦克粉矿 + 11% FMG 混合粉矿 + 5% 高硅巴西粗粉矿 + 4% 印度粉矿 + 3% 褐铁矿”的配矿方案为首选方案。

#### 参 考 文 献

[1] 傅菊英,姜涛,朱德庆. 烧结球团学[M]. 长

沙:中南大学出版社, 1996.

[2] 杨东进,陈继国,于忠念,等. 烧结配料优化分析[J]. 烧结球团, 2000, 25(1): 14-71.

[3] 于勇,姚志超,杨世山,等. 烧结、高炉配矿结构优化研究与应用[J]. 钢铁, 2004, 39(8): 46-48.

[4] 吴胜利,戴宇明, Dauter Oliveira, 等. 基于铁矿粉高温特性互补的烧结优化配矿[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(6): 719-724.