

# 钢渣碳化反应后尾渣含铁料返烧结研究

赵强, 田颖

(包钢集团节能环保科技产业有限责任公司, 内蒙古包头 014010)

**摘要:** 将钢渣碳化反应后的尾渣含铁料进行磁选, 将选出的磁选精粉和磁选尾粉进行返烧结工艺可行性研究。分析磁选精粉和磁选尾粉的化学成分并计算添加到烧结工艺后对高炉铁水 P 含量的影响。通过磁选精粉烧结杯试验, 分析其对烧结成分和烧结指标的影响, 证明磁选精粉可以返回烧结工序使用。

**关键词:** 碳化反应; 尾渣含铁料; 磁选; 烧结

中图分类号: X757; TF046

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2022)01-0027-04

## Study on Returning to Sintering of Ferric Charge for Tailings after Carbonization Reaction of Steel Slag

Zhao Qiang, Tian Ying

(Baotou Steel Group Energy Conservation and Environmental Protection Technology Industry Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** The ferric charge for tailings after carbonization reaction of steel slag is with magnetic separation, then the feasibility study of returning to sintering for concentrate powder and tail powder of magnetic separation is carried out. Their chemical components are analyzed and the effects of adding them into sintering process on content of P for molten iron of blast furnace are calculated. The effects of concentrate powder of magnetic separation on the sintering components and indexes are analyzed through its sinter pot test. Finally, it is proved that the concentrate powder of magnetic separation can return to sintering process to be used.

**Key words:** carbonization reaction; ferric charge for tailings; magnetic separation; sintering

目前, 钢铁渣主要应用于建材、水泥的生产。现包头市及周边地区建材、水泥市场容量有限, 钢铁渣利用率较低, 导致钢铁渣大量堆存。钢铁渣的堆放不仅要占用大量土地, 而且污染环境, 特别是有害、有毒金属对地表和地下水源的污染, 严重威胁着公众的身体健康。碳化法钢铁渣综合利用能够实现变废为宝, 主要利用钢渣和二氧化碳等原料生产高纯碳酸钙、含铁料等产品。目前高纯碳酸钙价格较高且市场广阔, 尾渣含铁料由于其游离氧化钙全部消

解, 结构稳定可用于水泥或建材, 但收益低且市场容量有限。试验发现碳化后钢渣尾渣铁品位富集明显, 且经磁选后的磁选精粉铁品位可进一步提高, 故对磁选精粉和磁选尾粉能否作为含铁料返回烧结工序进行研究。

### 1 尾渣含铁料

本试验中, 利用某公司提供的热泼渣粉作为原料, 经碳化反应提取了其中的钙镁元素生成碳酸钙、

碳酸镁后<sup>[1]</sup>, 剩余产品称为尾渣含铁料, 再经过磁选工艺后铁品位较高的为“磁选精粉”, 铁品位较低

的为“磁选尾粉”, 与该公司目前用包头市正兴劳务公司提供钢渣精粉对比, 其化学成分见表 1。

表 1 化学成分(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
尾渣含铁料	28.23	20.04	20.13	10.46	9.96	0.241	0.769	0.150	0.055	0.050
磁选精粉	38.54	20.03	12.03	5.07	11.94	0.135	0.498	0.090	0.033	0.034
磁选尾粉	19.54	12.12	25.65	13.60	8.54	0.354	0.900	0.170	0.084	0.081
钢渣精粉	57.10	29.55	24.29	10.31	5.05	0.177	0.673	0.105		

由表 1 可知, 尾渣含铁料的铁品位较低, P、S 含量超过所用钢渣精粉, 从化学成分上看不适用于替代钢渣精粉, 因此对尾渣含铁料进行磁选。

从表 1 数据看, 相比于该公司四烧所用钢渣精粉, 磁选精粉的铁品位较钢渣精粉低, 为 38.54%; CaO、MgO 含量经过提取钙镁元素的工序环节后仍较高, 分别为 12.03%、11.94%, 用于烧结工艺可替代部分熔剂。P、S 含量低于炼铁厂目前正在使用的钢渣精粉的 P、S 含量。K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O 的含量可以满足烧结生产以及高炉冶炼的需求。从化学成分上看, 该磁选精粉可以用于烧结工艺。

而磁选尾粉的铁品位低, 为 19.54%, CaO、MgO 的含量较高, 但 P、S 含量高于炼铁厂目前正在使用的钢渣精粉的 P、S 含量。对烧结配加磁选尾粉和磁选精粉后高炉铁水 P 含量进行测算。

## 2 尾渣含铁料对高炉铁水 P 含量影响

### 2.1 磁选尾粉

分别测算了一烧、二烧和五烧配加磁选尾粉的最大允许配加比例, 以及配加后烧结矿铁品位和 P 含量, 对应高炉铁水 P 含量, 结果见表 2、表 3。

表 2 烧结矿化学成分测算(质量分数) %

车间	磁选尾粉配比	TFe	P
一烧	0	57.24	0.059
	2	57.09	0.076
二烧	0	56.76	0.071
	0.5	56.71	0.075
五烧	0	56.09	0.068
	2	55.92	0.075

注: 磁选尾粉 P 含量按照 0.9% 测算。

表 3 对应高炉 P 含量测算(质量分数) %

高炉	磁选尾粉配比	铁水 P 含量	备注
3 <sup>#</sup>	0	0.122	一烧供料
3 <sup>#</sup>	2.0	0.142	
5 <sup>#</sup>	0	0.122	一烧供料
5 <sup>#</sup>	2.0	0.141	
4 <sup>#</sup>	0	0.133	二烧供料
4 <sup>#</sup>	0.5	0.140	
6 <sup>#</sup>	0	0.135	二烧供料
6 <sup>#</sup>	0.5	0.142	
7 <sup>#</sup>	0	0.131	五烧供料
7 <sup>#</sup>	2.0	0.140	
8 <sup>#</sup>	0	0.132	五烧供料
8 <sup>#</sup>	2.0	0.141	

由表 2、表 3 可以看出, 在要求铁水 P 含量小于 0.140% 的前提下, 一烧磁选尾粉配比在 2% 时铁水 P 含量已超标, 二烧磁选尾粉配比 0.5% 时, 铁水 P 含量达到临界值, 五烧磁选尾粉配比 2% 时, 铁水 P 含量达到临界值。经测算一烧、二烧每增加 1% 的磁选尾粉, 烧结矿铁品位下降约 0.075 个百分点, 对应高炉铁水 P 含量升高约 0.008 5 个百分点; 五烧烧结每增加 1% 的磁选尾粉, 7<sup>#</sup>、8<sup>#</sup> 高炉铁水 P 含量增加约 0.004 4 个百分点。为了保证高炉铁水 P 含量保持稳定, 不建议烧结配加磁选尾粉。

### 2.2 磁选精粉

目前烧结用包头市正兴劳务公司提供的钢渣精粉, 四烧按照 2% 配加。在保证铁水 P 含量小于 0.140% 的前提下, 分别测算了一烧、二烧、五烧配加磁选精粉的最大允许配加比例, 以及配加后烧结矿铁品位和 P 含量, 对应高炉铁水 P 含量, 结果见表 4、表 5。



### 3.3 试验结果及分析

配加磁选精粉替代钢渣精粉后烧结矿化学成分

#### 3.3.1 烧结矿化学成分的变化

测算结果见表 7, 实际分析值见表 8。

表 7 烧结配加磁选精粉后烧结矿化学成分测算

磁选精粉 配比/%	烧结矿化学成分(质量分数)/%							烧结矿 碱度
	TFe	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	F	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
0	56.74	5.0	10.25	2.0	0.173	0.071	1.26	2.0
2	56.41	5.0	10.27	2.0	0.172	0.069	1.25	2.0
3	56.38	5.0	10.25	2.0	0.173	0.071	1.23	2.0
4	56.33	5.0	10.26	2.0	0.174	0.073	1.21	2.0

由表 7 可知, 由于磁选精粉的品位较钢渣精粉低, 当用磁选精粉替代钢渣精粉后, 烧结矿品位随着磁选精粉配比的增加而呈降低趋势, 当替代比例为 2% 时, 烧结矿 P 含量降低; 当替代比例为 3% 时, 测算烧结矿 P 含量与基准点相当; 当替代比例为 4%

时, 由于麦克粉矿和 FMG 混合粉矿配比各降低 1 个百分点, 且这两种粉矿的 P 含量较磁选精粉低, 所以, 烧结矿 P 含量较基准点高。从测算结果可以看出, 烧结每配加 1 个百分点的磁选精粉, 影响烧结矿 P 含量 0.002 个百分点。

表 8 烧结配加磁选精粉后烧结矿化学成分实际分析值

磁选精粉配比 /%	烧结矿化学成分(质量分数)/%											烧结矿 碱度
	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>	
0	56.55	8.98	10.20	5.06	2.00	0.113	0.084	0.027	0.129	0.122	1.61	1.98
2	56.47	8.77	10.23	5.03	2.01	0.145	0.085	0.033	0.130	0.117	1.67	1.99
4	56.29	8.98	10.48	5.04	2.06	0.142	0.088	0.025	0.131	0.121	1.70	2.04

由表 8 可知, 对于试验烧结矿的实际分析值, 配加磁选精粉后, 烧结矿品位也是随着磁选精粉配比的增加而呈降低趋势, 与基准点相比, 配加 2% 磁选精粉, 烧结矿品位降低 0.08 个百分点; 配加 4% 磁选精粉, 烧结矿品位降低 0.26 个百分点。配加磁选

精粉后, 烧结矿的 P 含量呈上升趋势, 磁选精粉配比提高至 4%, 烧结矿 P 含量较基准点增加 0.004 个百分点。

#### 3.3.2 烧结指标的变化

配加磁选精粉后烧结指标的变化见表 9。

表 9 烧结配加磁选精粉后烧结指标的变化

磁选精粉配比 /%	成品率 /%	利用系数 /(t · m <sup>-2</sup> · h <sup>-1</sup> )	返矿平衡系数	燃烧 /(kg · t <sup>-1</sup> )	垂速 /(mm · min <sup>-1</sup> )	烧结矿强度 (+6.3 mm)/%
0	69.39	1.261	0.95	61.98	17.76	67.47
2	68.58	1.280	0.96	62.51	18.42	67.73
4	68.75	1.292	0.95	62.83	18.54	68.00

由表 9 可知, 烧结配加磁选精粉后, 烧结成品率有所降低, 利用系数提高, 固体燃烧指标略有增加, 且随着磁选精粉配比的增加而增加。与基准点相比, 具体分析如下:

后, 成品率降低 0.81 个百分点, 利用系数提高 1.51%, 固体燃烧指标增加 0.53 kg/t。

(2) 配加 4% 的磁选精粉后, 成品率降低 0.64 个百分点, 利用系数提高 2.46%, 固体燃烧指标增加 0.85 kg/t。

(1) 用相同比例(2%)磁选精粉替代钢渣精粉

(下转第 88 页)

$$I_{v\text{焦}} = (Q_{\text{混热值}} - Q_{\text{高热值}}) / (Q_{\text{焦热值}} - Q_{\text{高热值}}) \quad (6)$$

混合煤气中高炉煤气所占体积比公式:

$$I_{v\text{高}} = (Q_{\text{焦热值}} - Q_{\text{混热值}}) / (Q_{\text{焦热值}} - Q_{\text{高热值}}) \quad (7)$$

混合煤气密度计算公式:

$$\rho_{\text{混}} = I_{v\text{焦}} \times \rho_{\text{焦}} + I_{v\text{高}} \times \rho_{\text{高}} \quad (8)$$

式中:  $I_{v\text{焦}}$  为混合煤气中焦炉煤气所占体积比;  $I_{v\text{高}}$  为混合煤气中高炉煤气所占体积比;  $Q_{\text{混热值}}$  为混合煤气热值;  $Q_{\text{高热值}}$  为高炉煤气热值;  $Q_{\text{焦热值}}$  为焦炉煤气热值。

将(6)、(7)、(8)式联立求解,即可算出  $\rho_{\text{混}}$ , 通过  $\rho_{\text{混}}$ , 可以计算出混合煤气的流量。这一方法用于轧钢加压站送轨梁 2<sup>#</sup> 线、制氢站送薄板冷轧、罩式炉、焙烧炉及宽厚板加压站送宽厚板加热炉的混合煤气流量测量。同样,焦炉、转炉混合煤气只需要将高炉煤气的参数替换成转炉煤气的参数即可。

### 3.3 直接测量密度法

管道上既安装流量测量仪表,又安装带比重计的热值仪,由于热值仪配备了比重计,比重计可以测量出混合煤气与空气密度之比,空气密度为 1.29 g/cm<sup>3</sup>, 将比重计的测量值与空气密度相乘,即可得到混和煤气的密度。比重计输出的 4~20 mA 直流电流信号,通过信号隔离器引入 PLC,在 PLC 上做一个简单的运算即可求出混合煤气流量,此方法用于炼钢厂 3 座麦窑的混合煤气测量。

### 3.4 三种测量方法的优劣比较

理论计算密度法、测量热值计算密度法这两种方法,密度的测量需要通过中间变量  $\rho_{\text{高}}$ 、 $\rho_{\text{焦}}$ 、 $Q_{\text{高热值}}$ 、 $Q_{\text{焦热值}}$  来计算,当转炉、高炉、焦炉煤气成分波动较大时,会产生较大的误差。如果要得到满意的测量结果,需要每周人工输入采样所得到的煤气成分,工作量较

(上接第 30 页)

(3) 烧结配加磁选精粉后,烧结矿转鼓强度变化不明显。

## 4 结论

(1) 磁选精粉铁品位低、SiO<sub>2</sub> 含量低,有害元素 F、P、S 的含量也低。四烧配加磁选精粉后,烧结利用系数提高,固体燃耗略有增加,烧结矿转鼓强度变化不明显。利用 2% 的磁选精粉替代钢渣精粉后,烧结矿 P 含量与基准点相当。综合考虑烧结矿指标和 P 含量,建议烧结磁选精粉的配比控制在 2% 以内比较适宜。

大,而第三种方法的比重是实时测量的,虽然采样时间存在一定的滞后,但是可以通过加装采样泵、优化算法来补偿,测量结果误差小,是最理想的测量方法。

3 种方法的测量结果在炼钢厂 3<sup>#</sup> 麦窑进行了比对试验,在人工采样化验完成后,马上进行比对,3 个测量值误差不超过 2%,在工况变化较大的情况下,前两种方法和第三种方法测量结果比较,偏差变大。通过窑膛升温曲线可以计算出窑膛升温所需要的理论热值,以 3 种方法测出的混合煤气流量计算出的热值相比较,第三种方法计算热值与窑膛升温曲线所需要的理论热值最为接近,说明将比重计用于混合煤气流量测量是最好的方法。3<sup>#</sup> 麦窑在引入比重计测量后,根据混合煤气流量参数进行操作,3 个月吨白灰消耗标煤量下降了 0.1%,为 3<sup>#</sup> 麦窑生产节能减排起到了关键作用。

## 4 结束语

三种混合煤气流量的测量方法在包钢内部不同产线的应用,解决了此前未采用这些方法时混合煤气流量测量失准、无法自动调控热值这一难题。在宽厚板加压站与麦窑加压站实现了混合煤气热值的自动调节,有效降低了转炉煤气与焦炉煤气的消耗量。

## 参 考 文 献

- [1] 孙淮清,王建中. 流量测量节流装置设计手册 [M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 李夕平,李莉芝,刘伟. 莱钢混合煤气的密度补偿计算[J]. 中国设备工程,2011,(8):19-20.
- [3] 李宝树,王慧敏,林婕. 混合煤气流量计量的密度修正[J]. 工业计量,2002,(S1):30-31.

(2) 磁选尾粉铁品位低,仅为 19.54%,P 含量高达 0.9%,且有波动,为保证高炉铁水 P 含量指标稳定,综合考虑不建议烧结配加该类产品。

## 参 考 文 献

- [1] 吕文杰,郭建伟,崔卫华,等. 钢渣醋酸法生产轻质碳酸钙产品研究进展[J]. 现代化工,2009,29(2):15-18.
- [2] 李玉柱,刘周利,张永. 配加钢渣对包钢烧结矿指标的影响[J]. 包钢科技,2014,40(2):23-25.