

试验研究

# 燃料配加工工艺对烧结矿成分及性能的影响

代汝昌,孙艳红,孙明山,韩书新,张永萍

(济南钢铁股份有限公司 炼铁厂,山东 济南 250101)

**摘要:**采用现场工业试验的方法,探索了不同的燃料配加工工艺对烧结矿中FeO、S及残C沿料层厚度方向的分布规律与变化趋势,以及对烧结矿低温冶金性能的影响。结果表明,在燃料全部外加的新工艺条件下,烧结矿中FeO、S及残碳沿料层厚度方向的分布趋于更加均匀,其标准偏差分别为0.39%、0.003%和0.003%,极差分别为0.99%、0.009%和0.004%; $RDI_{3.15}$ (74.90%)、 $RI$ (78.90%)明显改善。分析认为,主要是新工艺的燃料配加方式使烧结料层的热量分布趋于合理,各处透气性更加均匀,对烧结生产产生有利影响。

**关键词:**燃料配加工工艺;烧结矿;成分均匀性;低温冶金性能

中图分类号:TF046.4

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2011)03-0027-03

## 1 前言

烧结矿某些化学成分的稳定性及分布规律,一方面是重要的理化指标,另一方面也直接反应焙烧过程的运行特征与整体水平,关系到烧结矿的强度等质量指标。不同的燃料配加工工艺,不但直接影响到焙烧过程的变化,而且对烧结矿的内在质量稳定性及化学成分均匀性也至关重要。

为了探索节能降耗的新途径,寻求更为合理的燃料配加工工艺,在生产中进行了不同燃料配加工工艺的试验,并确认在合理的工艺参数与操作条件下,实施燃料全部外加工艺时,具有明显的节能效果<sup>[1]</sup>。为进一步探讨不同燃料配加工工艺条件下,烧结矿成分在料层厚度方向的变化规律,进行了现场工业试验,并运用烧结生产理论对试验结果进行分析。

## 2 试验方法

试验过程中,将焦粉的配加工工艺分为3种:普通工艺,即在配料室配加所需的全部燃料(100%);分加工工艺,即在配料室配加所需燃料的50%,燃料分加量为50%;新工艺,即在最后一次圆筒混料机之前配加所需的全部燃料(100%)。其他生产条件不变。

沿台车料层厚度方向不同层次对烧结矿取样,取样位置及试样编号如下:1#样,取自表层烧结矿,即料层厚度650 mm处;2#样,取自料层厚度450 mm处;3#样,取自料层厚度250 mm处;4#样,取自底层烧结矿,即料层厚度50 mm处。分析反映烧结矿烧成特征的FeO、S及残碳沿料层厚度方向的分布规律,并运用统计的方法,计算出同一配加工工艺中不同位

置样品中残碳的平均值( $\bar{x}$ )、标准偏差( $\sigma$ )与极差( $R$ )等特征值,分析焙烧过程的内在特征。

## 3 燃料配加工工艺对烧结矿的影响

### 3.1 对FeO含量的影响

在不同的燃料配加方式工艺条件下,按照试验方法沿台车料层厚度方向取样,各试样烧结矿中FeO含量的分析结果见表1。

表1 对烧结矿中FeO含量的影响 %

燃料配加方式	1#样	2#样	3#样	4#样	$\bar{x}$	$\sigma$	$R$
普通工艺	7.54	8.85	8.19	9.64	8.56	0.78	2.10
分加工工艺	7.31	9.14	8.21	9.28	8.49	0.79	1.97
新工艺	8.50	8.73	7.74	8.01	8.25	0.39	0.99

由表1中各试样FeO含量的标准偏差 $\sigma$ 与极差 $R$ 可以看出,随着焦粉配加工工艺的改变,烧结矿中FeO含量趋于均匀;由每一横行不同层次烧结矿取样分析的结果也可以看出,在不同的燃料配加方式工艺条件下,料层厚度方向自上而下FeO含量的变化趋势也有所不同。

总的趋势是,FeO含量在同一工艺条件下,沿料层厚度方向的变化是上部低、下部高,而且随着工艺的变化(指焦粉的配加工工艺由普通工艺到新工艺的变化,下同),FeO含量的极差变小,平均值也变小;在新工艺条件下,FeO含量基本趋于上下均匀状态。

烧结矿中FeO含量与焦粉多少相关。无论是在哪种工艺条件下,FeO含量的变化趋势都反映了燃料的变化与分布趋势。在新工艺条件下,FeO含量的变化趋势是各点的极差变小,料层上下部的含量基本趋于均匀状态,正好反映了该工艺条件下燃料沿料层厚度的分布趋势。

### 3.2 对残碳含量的影响

在不同工艺条件下,烧结矿中残碳含量的高低,反映了在焙烧过程中固体燃料的燃烧程度,而

收稿日期:2011-05-13

作者简介:代汝昌,男,1955年生,1982年毕业于东北大学炼铁专业。现为济钢炼铁厂首席工程师,研究员,从事钢铁冶金、原料加工、资源综合利用等方面的研究。

在同一工艺条件下,烧结矿中残碳含量的高低及变化情况,则反映了不同料层厚度处的均匀程度。3种不同焦粉配加工工艺各试样烧结矿中的残碳含量及特征值见表2。

表2 对烧结矿中残碳含量的影响 %

燃料配加方式	1*样	2*样	3*样	4*样	$\bar{x}$	$\sigma$	R
普通工艺	0.130	0.045	0.060	0.175	0.103	0.053	0.130
分加工工艺	0.067	0.041	0.029	0.049	0.047	0.014	0.038
新工艺	0.023	0.029	0.032	0.028	0.028	0.003	0.009

由表2可看出,采用新工艺后,呈现出以下特征:

1)残碳含量明显下降,平均值由0.103%下降到0.028%,说明燃烧条件明显改善,氧化性气氛增强。

2)不同位置烧结矿中残碳含量标准偏差由0.053%下降到0.003%,极差也由0.130%下降为0.009%,说明烧结过程的均匀性得到改善。

3)在同一工艺条件下,残碳含量沿料层厚度方向的变化基本上是上下部两端高,中部低,而且随着工艺的变化,各点残碳含量逐渐趋于均匀,其极差与平均值也在变小;在新工艺条件下,各点的残碳含量基本趋于均匀状态。

4)在每一工艺过程中,残碳含量都是上部与下部较高,中间最低。从动力学条件分析,上部残碳含量较高的主要原因是透气性太好,高温保持时间太短,在较低温度条件下,使碳在较短时间内难以完全燃烧,因而,烧结矿中留有较多的残碳;下部残碳含量较高的原因,则主要是因透气性太差,虽然温度较高,但氧位较低,也难以使碳完全燃烧。

### 3.3 对烧结矿中S含量的影响

影响烧结矿中S含量的因素很多,但主要因素有碱度、气氛及原料中的S含量。在其他条件相同的情况下,烧结过程越均匀,氧化性气氛越强,越有利于焙烧过程的脱S,残留在烧结矿中的S含量越少。不同焦粉配加工工艺各试样烧结矿中的S含量及特征值见表3。

表3 不同层次烧结矿中的S含量 %

燃料配加方式	1*样	2*样	3*样	4*样	$\bar{x}$	$\sigma$	R
普通工艺	0.027	0.015	0.014	0.018	0.020	0.008	0.013
分加工工艺	0.025	0.016	0.018	0.016	0.019	0.006	0.009
新工艺	0.016	0.013	0.014	0.017	0.014	0.003	0.004

由表3可知,新工艺烧结矿中S含量明显下降(平均含量由0.020%下降到0.014%),极差逐步缩小(由原来的0.013%下降到0.004%),标准偏差也减小(由0.008%下降到0.003%),说明焙烧过程逐步趋于均匀,脱硫效果改善。

烧结矿中S的含量与残碳含量的变化趋势基本一致,即在同一工艺条件下,沿料层厚度的变化是上下部两端高、中部低,而且随着工艺的变化,各点

的S含量逐渐趋于均匀,其极差与平均值也变小;在新工艺条件下,各点的S含量基本趋于均匀状态;其机理也可以解释为:脱硫反应也需要一定的高温 and 氧位,与残碳情况类似。

### 3.4 对低温冶金性能的影响

按照上述相同方法取样,在试验条件下进行低温还原粉化率(RDI)与还原度(RI)检测,结果如下(因限于条件,对普通工艺燃料配加方式条件下的烧结矿没做测试):分加工工艺,RDI<sub>4.3.15</sub>为67.57%,RI为74.45%;新工艺,RDI<sub>4.3.15</sub>为74.90%,RI为78.90%。

## 4 新工艺的影响机理分析

采用新工艺的燃料配加方式,烧结料层的热量分布得到优化,无论对改善生产过程还是节能降耗,都具有明显效果。

1)有利于焙烧过程的均匀化。在传统工艺条件下,因固体燃料的偏析作用,使烧结机头部(刚出点火器的一段距离)料层的透气性较好,尾部料层透气性较差,不但因此造成焙烧过程的不均匀,而且也使有效风量(即通过料层的风)分布不均匀而造成浪费。实施新工艺后,这种弊端得到明显改善。从微观上讲,可以使料层厚度方向不同位置的垂直烧结速度、高温保持时间、烧结矿内在质量、产品化学成分等更加趋于均匀。

2)有利于降低固体燃料消耗。首先是改善了焦粉的分布,优化了焙烧过程的热量梯度,使热量得到更为合理有效的利用;其次是改善了焦粉的赋存方式,强化了燃烧的动力学条件,有利于燃料的充分燃烧;第三是改善了焙烧条件,使整个生产过程更趋均匀化,提高了成品率,最终折合吨矿单耗明显下降。

3)有利于改善产品质量。传统工艺条件下<sup>[2]</sup>,烧结矿表层因热量不足及垂直烧结速度太快等原因,致使焙烧过程中生成液相少,高温保持时间短,所形成的液相难以充分结晶,从而导致上层烧结矿强度低,下层则因温度过高焙烧时间短,虽然液相较多但却没有充分结晶而导致强度低。新工艺的燃料配加方式,台车前后端的垂直烧结速度明显趋于均匀,致使上下层的烧结矿微观结构及强度也更加均匀化。体现在指标方面,则包括转鼓强度与成品率的提高等都有所改善。

4)有利于改善烧结矿冶金性能。在传统生产中,烧结矿中FeO含量极不均匀,底层含量明显升高,上层含量极低,这既影响到烧结矿的强度,也会造成烧结矿在炉内还原性等高温冶金性能指标的不均匀。新工艺的燃料配加方式对冶金性能的影响

响主要体现在因烧结矿的组织及成分更加均匀稳定,提高了强度,降低了FeO含量,有利于冶金性能指标的改善。

## 5 结论

5.1 随着燃料配加工艺的变化,烧结矿中FeO、S、残碳等化学成分沿料层厚度方向的分布也随之发生相应变化,但总的趋势是趋于均匀。

5.2 新工艺条件下,引起焙烧过程中的热量分布也

更加趋于合理,使各处透气性更加均匀,这与烧结矿有关成分的变化规律及机理相吻合。

5.3 采用新的燃料配加工艺,随着热量分布沿料层厚度方向的优化,也有利于固体燃料的降低,使烧结矿的有关指标得到改善,促进生产过程的强化。

### 参考文献:

- [1] 王振海,代汝昌,王兴璞,等.烧结热量梯度优化技术的研究与应用[J].烧结球团,2008,33(5):1-4.
- [2] 何友多.炼铁学[M].北京:冶金工业出版社,1986.

## Influences of Fuel Appending Modes on Component Uniformity and Performance of Sinter

DAI Ru-chang, SUN Yan-hong, SUN Ming-shan, HAN Shu-xin, ZHANG Yong-ping

(The Ironmaking Plant of Jinan Iron and Steel Co., Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** By the industry tests, the authors discussed the distribution rule and change trend in the bed thickness direction of the FeO, S and residual carbon in the sinter ore, and the influences on the low temperature metallurgy capability of the sinter ore. The results showed that using appending additional fuel, the distribution in the thickness direction of the FeO, S and residual carbon more uniformity; their standard deviations were 0.39%, 0.003% and 0.003% respectively and the ranges were 0.99%, 0.009% and 0.004% respectively; The  $RDI_{+3.15}$ (was 74.90%) and  $RI$ (was 78.90%) were improved obviously. Analyses think that appending additional fuel made heat distributing of bed layer more reasonable and everywhere permeability more even, being good to the sinter production.

**Key words:** fuel appending mode; sinter; component uniformity; low temperature metallurgy capability

(上接第26页)石资源供求环境的变化,适时做出相应的战略调整,同时也为采购部门提供了决策支持。

通过烧结生产系统中主辅料的输入特性中的配比研究,可以分析配比对烧结矿产量、质量影响,如利用系数、成品率、煤耗、转鼓指数等。针对目前企业主要关心的成本问题,该模型有效解决了最低配矿成本问题。辅料资源在配合主料资源的转换过程中形成了复杂的时空特性,各辅料资源在主线上加入时间、空间、方式等属性不一样会如何影响主辅料资源的转化效率,并影响系统的资源消耗和环境排放问题是本文后续研究重点。

### 参考文献:

- [1] 胡长庆,张玉柱,张春霞.烧结过程物质流和能量流分析[J].烧结球团,2007,32(1):16-20.
- [2] 叶匡吾.烧结过程、球团过程的能量流和优化选择[J].烧结球团,2010,35(1):1-6.
- [3] 习乃文.烧结配料数模的建立和应用[J].烧结球团,1988(5):33-44.
- [4] 周明顺,刘万山.鞍钢烧结优化配矿研究[J].钢铁,2006,39(6):10-13.
- [5] 李云涛,范晓慧.基于综合神经网络的优化配矿系统模拟模型及应用[J].烧结球团,2003,28(6):7-10.
- [6] 潘开灵,程曦.炼铁配矿集成配比优化模型的应用研究[J].武汉科技大学学报,2009,32(6):583-586.

## Study and Application of Sources Ratio Optimization Model of Sintering

FENG Zhao-hui, ZHANG Hua, WANG Yan-hong, JIANG Zhi-gang

(College of Machinery and Automation, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of unstable raw material supply, too many kinds of raw material, various contents, huge resource consumption and high production costs, a model of sintering resource matching based on optimal cost was presented. Linear programming algorithm was used in this model to have an accurate calculation of optimum proportion of low cost and intelligent use raw material with the limiting condition of meeting the technological requirements and available resources. Applications showed that the sintering ore produced with optimized blending ratio by the optimization model had higher basicity; At the same time, every producing one ton sinter ore, the costs of the raw material was reduced by 25.54 Yuan, the consumption of the raw material was saved by 5.59 kg and the iron-containing material saved by 23.45 kg.

**Key words:** sintering; resource matching; optimization model; optimal cost

信息园地

## 常见单位符号大小写混淆示例

单位名称	错误符号	标准符号	单位名称	错误符号	标准符号	单位名称	错误符号	标准符号
米	M	m	帕[斯卡]	pa	Pa	摩尔[尔]	Mol	mol
秒	S	s	瓦[特]	w	W	升	l	L
吨	T	t	赫兹	HZ, Hz	Hz	千克	Kg	kg