影响球团矿 FeO 含量因素正交试验分析*

王秀瑞[1],段祥光[2],韩 峰[2],郑 凯[2]

(1. 包头钢铁(集团)有限责任公司仓储中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢金属制造有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 根据包钢带式球团矿生产实际用料情况,研究了焙烧温度、焙烧时间、膨润土配比及预热温度4个因素对球团矿FeO含量的影响,采用了4因素4水平正交试验法。试验结果发现,影响球团矿FeO含量的因素由强到弱分别为焙烧时间、焙烧温度、膨润土配比、预热温度;其中,最优水平为焙烧温度1 240 ℃、焙烧时间14 min、膨润土配比2.0%、预热温度600 ℃;最差水平为焙烧温度1 240 ℃、焙烧时间8 min、膨润土配比3.0%、预热温度900 ℃。

关键词: 球团矿; FeO; 正交试验; 参数
中图分类号: TF046.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)01-0026-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.01.008

Analysis on Factors Affecting Content of FeO in Pellet with Orthogonal Experiment

Wang Xiu-rui[1], *Duan Xiang-guang*[2], *Han Feng*[2], *Zheng Kai*[2]

(1. *Storage Center of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Baotou Steel Metal Manufacturing Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, the effects of such four factors as calcination temperature, calcination time, proportion of bentonite and preheating temperature on content of FeO in pellet are studied based on the actual situation of material for the production with belt type pellet firing machine of Baotou Steel. The orthogonal experiment with four factors at four levels is adopted. The experiment results showed that the factors influencing content of FeO in pellet from strong to weak were calcination time, calcination temperature, proportion of bentonite and preheating temperature. It is optimum that calcination temperature is 1 240 ℃, calcination time is 14 min, proportion of bentonite is 2.0% and preheating temperature is 600 ℃ as well as it is the worst that calcination temperature is 1 240 ℃, calcination time is 8 min, proportion of bentonite is 3.0% and preheating temperature is 900 ℃.

Key words: pellet; FeO; orthogonal experiment; parameter

"精料"是炼铁技术发展的基础。我国炼铁精料技术的进步体现之一是高炉炉料结构中的酸性球团矿比例得以提高,带动了入炉含铁原料品位的增加,使得高炉炼铁产质量和经济指标明显改善。为了适应包钢钢铁产能进一步提升,提高球团矿产量,改善其质量成为高炉"精料"重要工作之一。高质

* 收稿日期: 2020-12-01
作者简介: 王秀瑞(1979-),女,辽宁省鞍山市人,助理工程师,现从事技术质量管理工作。

量球团矿应该具有的指标为: w(TFe) ≥ 65%, w(FeO) ≤ 1.0%, w(SiO_2) ≤ 3.0%, w(S) ≤ 0.04%; 粒度在 8 ~ 16 mm 球团矿占比 95% 以上; 转鼓指数(ISO)不小于 96%; 抗压强度不低于 2 500 N[1]。

原料 FeO 含量高、还原性差,高炉炼铁为了更好地利用炉内煤气,充分发展间接还原,要求入炉含铁原料的 FeO 含量要低。相对于烧结矿而言,球团矿具有这方面的优点。为此,球团在焙烧过程中必须得到充分氧化,使其 FeO 含量尽可能控制在 1.0% 以内,不但有利于球团矿还原性的改变,还有利于固结强度的提高[2]。

包钢带式球团生产所用铁矿主要依靠白云鄂博矿及其周边地区资源。由于该矿硫含量较高,导致采用该铁矿焙烧时对其工艺制度有着特殊的要求[3]。

本文通过正交试验,研究了包钢带式球团生产在采用高硫铁精矿的条件下,其焙烧温度、焙烧时间、膨润土配比、预热温度 4 个工艺参数对球团矿 FeO 含量的影响,并在此基础上考虑球团矿的其它性能,从而优化包钢球带式团矿的焙烧工艺。

1　试验方法

正交试验是为了寻求最优化的生产条件。正交试验设计中包括 3 个基本概念,即指标、因素、水平。

用正交表设计试验方案,程序如下。

1.1　确定试验考核指标

试验目的: 寻找最优工艺参数,生产 FeO 含量最小的球团矿。

考核指标: FeO 含量,数值越小球团矿的质量越好。

1.2　制定因素水平表

首先,挑选供试验考察的因素。在原料确定的条件下,影响 FeO 显著的参数有焙烧温度、焙烧时间、膨润土配比和预热温度。选这 4 个工艺参数为试验因素。其次,确定因素变化的水平。焙烧温度是根据文献[2]中球团矿固结最优温度区间 1 100 ~ 1 300 ℃,取 4 个水平值,分别为 1 160 ℃、1 200 ℃、1 240 ℃、1 280 ℃; 焙烧时间 4 个水平值分别为 8 min、10 min、12 min、14 min; 鉴于包钢球团矿还原膨胀率较高的情况,膨润土配比分别选取 1%、2%、3%、4%; 预热温度分别选取 600 ℃、700 ℃、800 ℃、900 ℃。制定因素水平表,见表 1。

表 1　因素水平表

水平	因素 A (焙烧温度) /℃	因素 B (焙烧时间) /min	因素 C (膨润土配比) /%	因素 D (预热温度) /℃
1	1 160	8	1	600
2	1 200	10	2	700
3	1 240	12	3	800
4	1 280	14	4	900

1.3　选用正交表

制定出因素水平表后,应遵循下列原则选择正交表。

(1) 先按水平数选表。所有因素均为 4 个水平,故选用 4 水平正交表。

(2) 根据试验特点要求选表。当试验成本低、时间短、条件好时,可选试验次数多的表。当试验要求精度高、结果要求准确时,选试验次数多的表。当试验成本高、难度大、时间长时,选试验次数少的表。

(3) 球团试验工艺简单,精度要求不高,没有必要进行多次试验,确定选用 $L_{16}(4^5)$ 正交表。

2　试验研究

2.1　配料

试验所用原料为包钢带式球团焙烧机主要铁料结构,其化学成分见表 2。

表 2　原料化学成分(质量分数)　　%

种类	TFe	FeO	SiO_2	S	P	F	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO
A 矿	66.8	27.7	1.92	0.53	0.490	0.28	0.81	0.130	0.085	1.63	1.12
B 矿	67.4	28.3	3.22	0.70	0.054	0.07	0.16	0.081	0.082	0.68	0.32

试验的配料过程中,以包钢实际生产为参考,以 A 矿、B 矿质量比为 4∶6 进行配料、混匀,配料前原料先进行烘干、筛分。在配好的原料中缩取 4 份,每份 5 kg。接着分别按质量百分比 1%、2%、3%、4%

配入膨润土，并进行混匀。

2.2 球团焙烧过程

干燥设置温度200 ℃；预热焙烧过程通入氧气。其它参数依据上述正交表做16组试验设计。

3 试验结果与分析

试验结果及分析表3、表4。

表3 正交试验结果

编号	A	焙烧温度/℃	B	焙烧时间/min	C	膨润土配比/%	D	预热温度/℃	FeO含量/%	排序
(1)	A1	1 160	B1	8	C1	1.0	D1	600	4.35	7
(2)	A1	1 160	B2	10	C2	2.0	D2	700	1.20	2
(3)	A1	1 160	B3	12	C3	3.0	D3	800	1.70	3
(4)	A1	1 160	B4	14	C4	4.0	D4	900	3.05	6
(5)	A2	1 200	B1	8	C2	2.0	D3	800	5.30	11
(6)	A2	1 200	B2	10	C1	1.0	D4	900	5.05	10
(7)	A2	1 200	B3	12	C4	4.0	D1	600	4.40	8
(8)	A2	1 200	B4	14	C3	3.0	D2	700	2.10	4
(9)	A3	1 240	B1	8	C3	3.0	D4	900	8.20	16
(10)	A3	1 240	B2	10	C4	4.0	D3	800	2.80	5
(11)	A3	1 240	B3	12	C1	1.0	D2	700	6.85	14
(12)	A3	1 240	B4	14	C2	2.0	D1	600	0.65	1
(13)	A4	1 280	B1	8	C4	4.0	D2	700	7.65	15
(14)	A4	1 280	B2	10	C3	3.0	D1	600	4.90	9
(15)	A4	1 280	B3	12	C2	2.0	D4	900	5.50	13
(16)	A4	1 280	B4	14	C1	1.0	D3	800	5.50	12

表4 正交试验结果分析 %

指标	焙烧温度	焙烧时间	膨润土配比	预热温度
K_1	10.300	25.500	21.750	14.300
K_2	16.850	13.950	12.650	17.800
K_3	18.500	18.450	16.900	15.300
K_4	23.550	11.300	17.900	21.800
R(极差)	3.313	3.550	2.275	1.875

3.1 最优化结果处理

3.1.1 确定关键因素

关键因素和重要因素是指由于它的变动会对试验结果有较大影响的因素。极差的大小说明相应因素作用的大小。极差大，说明该因素是活泼的，它的变化对结果影响很大。极差小，说明该因素是保守的，它的变化对结果影响较小。

根据极差，因素影响顺序：B > A > C > D。焙烧时间和焙烧温度是其关键因素。

3.1.2 确定最优方案

可能最优方案是指在已选用的各因素的水平中，导致结果最好的水平组合成的试验方案。

(1) 直接观察。直接观察可以发现：在16个结果中，第12号FeO含量最低，为0.65%。所以直接观察的最优水平方案是$A_3B_4C_2D_1$。即当焙烧温度为1 240 ℃、焙烧时间为14 min、膨润土配比为2%、预热温度为600 ℃时球团矿的FeO含量最小；第9号FeO含量最高，为8.20%。所以直接观察的最差水平方案是$A_3B_1C_3D_4$。即当焙烧温度为1 240 ℃、焙烧时间为8 min、膨润土配比为3.0%、预热温度为900 ℃时球团矿的FeO含量最大。

(2) 计算分析。一般计算分析见表3数据，可

能最优方案为 $A_1B_4C_2D_1$。试验条件为焙烧温度 1 160 ℃、焙烧时间 14 min、膨润土配比 2%、预热温度 600 ℃。

(3) 水平趋势考察。考察水平趋势是通过水平与结果的内在联系，探寻在试验中并没有选取而可能是更好的水平，并以此总结出可能更优秀的试验方案。考察水平趋势使用趋势图。用因素的水平值做横坐标，用相应的水平导致结构之和为纵坐标。其结果见图 1—图 4。

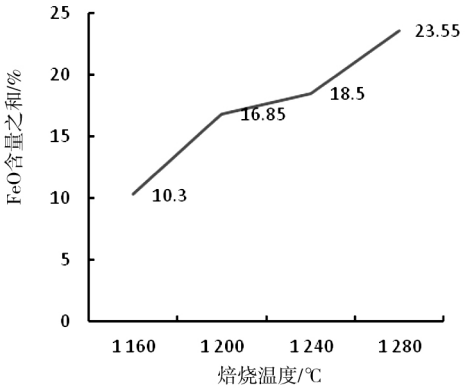


图 1　焙烧温度对 FeO 含量影响

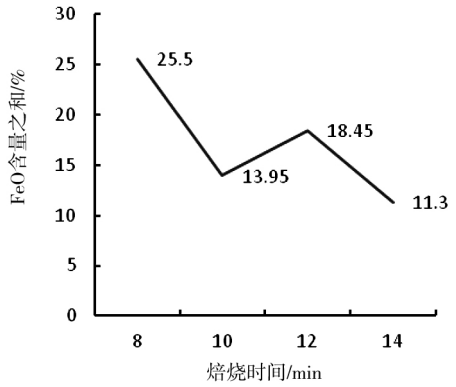


图 2　焙烧时间对 FeO 含量影响

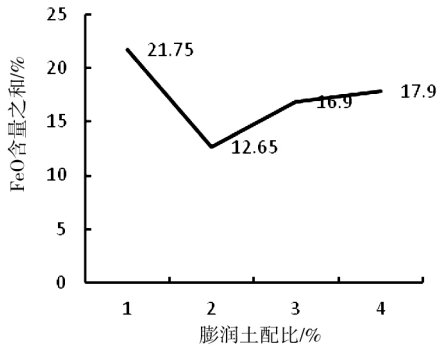


图 3　膨润土配比对 FeO 含量影响

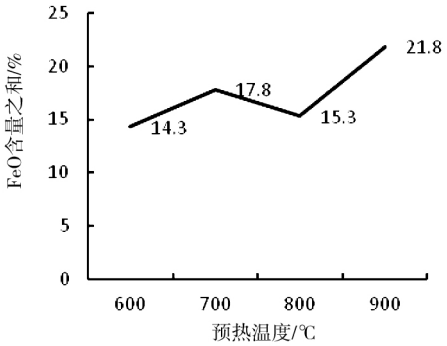


图 4　预热温度对 FeO 含量影响

如图 1 所示，FeO 含量随焙烧温度上升而逐渐增加；如图 2 所示，FeO 含量随焙烧时间的增加总体趋势是逐渐下降，综合考虑保证 10 min 焙烧时间即可；如图 3 所示，FeO 含量先随膨润土配比增大而下降，随后缓慢上升，在满足生球质量前提下，膨润土配比应维持 2% 左右；如图 4 所示，FeO 含量随预热温度上升而增加，预热温度应控制在 800 ℃以下。

4　结论

(1) 影响球团矿 FeO 含量的因素由强到弱为焙烧时间、焙烧温度、膨润土配比、预热温度；焙烧时间和焙烧温度是其关键因素。

(2) 通过正交试验得出针对球团矿 FeO 含量的最优工艺参数为焙烧温度为 1 240 ℃、焙烧时间为 14 min、膨润土配比为 2%、预热温度为 600 ℃；最差水平方案是焙烧温度为 1 240 ℃、焙烧时间为 8 min、膨润土配比为 3.0%、预热温度为 900 ℃。

(3) 水平趋势综合考察，FeO 含量随焙烧温度上升而逐渐增加，在保证球团矿成品强度的前提下，应适当降低焙烧温度；FeO 含量随焙烧时间的增加总体趋势是逐渐下降，综合考虑保证 10 min 焙烧时间即可；FeO 含量先随膨润土配比增大而下降，随后缓慢上升，在满足生球质量前提下，膨润土配比应维持 2% 左右；FeO 含量随预热温度上升而增加，预热温度应控制在 800 ℃以下。

参　考　文　献

[1] 叶匡吾. 关于我国球团矿质量问题的探讨[J]. 烧结与球团，2005，30(5)：1－3.

[2] 崔玉元. 高硫低氟铁精矿生产球团矿工艺制度的探索[J]. 包钢科技，1999，(4)：52－54.

[3] B. M. 阿布扎罗夫. 在带式焙烧机上焙烧较高碱度含硫精矿球团的特点[J]. Сталь，1988，(2)：5－10.