镁质熔剂性球团强度影响因素分析

韩闯闯[1a],李 杰[1a],杨爱民[1b],刘卫星[1c],张玉柱[1a]
(1. 华北理工大学 a. 冶金与能源学院; b. 理学院; c. 继续教育学院,河北 唐山 063009)

摘 要: 为了改善镁质熔剂性球团矿质量,通过调整 SiO_2 含量、MgO 含量和碱度等,采用正交设计实验研究其对镁质熔剂性球团性能的影响。结果表明:在改变的6个因素中,对抗压强度影响由大到小分别为碱度、焙烧温度、焙烧时间、MgO 含量、SiO_2 含量和矿粉1配比,其中碱度为高度显著性因素,其余均为不显著因素;随着碱度的提高,抗压强度逐渐降低,碱度每提高0.1%,抗压强度降低141.35 N/P 球。

关键词: 镁质熔剂性球团; 正交设计; 碱度; 抗压强度
中图分类号: TF046.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8764(2018)01-0050-07
doi: 10.13403/j.sjqt.2018.01.011

Analysis on influencing factors of magnesia fluxed pellets strength

Han Chuangchuang[1], Li Jie[1], Yang Aimin[2], Liu Weixing[3], Zhang Yuzhu[1]
(1. *College of Metallurgy and Energy, North China University of Science and Technology, Tangshan* 063009, *Hebei*;
2. *College of Science, North China University of Science and Technology, Tangshan* 063009, *Hebei*;
3. *College of Continuing Education, North China University of Science and Technology, Tangshan* 063009, *Hebei*)

Abstract To improve the quality of magnesia fluxed pellets by adjusting SiO_2 content, MgO content and basicity, the effect on the properties of magnesia fluxed pellets was analyzed by orthogonal design experiment. The results showed that within the 6 changing factors, the compressive strength following descending order are basicity, roast temperature, roast time, MgO content, SiO_2 content and ratio of iron powder 1. Among all the factors, basicity is a highly significant factor, and the rest are less significant factors, with the increase of basicity, the compressive strength decreases gradually. Every 0.1% increase in basicity can cause a decrease in the compressive strength of 141.35 N/P.

Key words magnesia fluxed pellets; orthogonal design; basicity; compressive strength

1 前 言

酸性球团矿是高炉生产的重要原料,但因其高温冶金性能差,特别是软化开始温度低、软化区间窄,严重影响高炉的透气性。因此,国内外研究学者尝试探索添加熔剂生产熔剂性球团矿来改善酸性球团矿的种种缺陷,尤以 MgO 球团矿应用最广,这样既可以提高球团矿的冶金性能,又改善了炉渣的流动性[1~3]。朱德庆[4]等研究了碱度及 MgO 含量对球团焙烧及冶金性能的影响,得到当 MgO 含量为0.25%~1.50%时,随着碱度升高,球团抗压强度先升高后下降,当 MgO 含量升高到2.5%时,球团抗压强度随着碱度升高而急剧下降,当碱度固定时,随着 MgO 含量增加,球团抗压强度呈下降趋势。吕志义[5]等研究发现碱度 $R \geq 1.0$ 时,球团需高温焙烧才能满足生产要求;当碱度 $R < 1.0$ 时,其焙烧温度只需1 250 ℃左右。对于含 MgO 球团,随着 MgO/SiO_2 比值的增加,其焙烧温度显著提高,通过配加含硼矿物可降低含 MgO 球团的焙烧温

收稿日期: 2017-08-10
基金项目: 国家自然科学基金(51674121);河北省科技计划项目(15214104D);河北省青年拔尖人才项目(BJ2017021)
作者简介: 韩闯闯(1991-),男,在读硕士,研究方向:烧结球团及冶金节能与资源综合利用。

中国知网 https://www.cnki.net

度，即在 1 200 ~ 1 250 ℃之间就能满足球团生产工艺的要求。为研究碱度、焙烧温度、焙烧时间、MgO 含量、SiO_2 含量和矿粉 1 配比对镁质熔剂性球团强度的影响，以唐山钢铁集团的 4 种矿粉为原料，采用正交设计实验研究各因素对镁质熔剂性球团强度的影响。

2　实验原料及方法

2.1　原料化学成分及理化指标

实验选用了 4 种矿粉，其中矿粉 1、矿粉 2 和矿粉 3 均以磁铁矿为主，而矿粉 4 主要以褐铁矿为主，熔剂使用轻烧镁粉，粘结剂为皂土，具体成分见表 1。

表 1　原料化学成分及烧损检测结果(%)

原料	烧损	w_{TFe}	w_{FeO}	w_{SiO_2}	w_{CaO}	w_{MgO}	$w_{Al_2O_3}$	w_{TiO_2}
矿粉 1	-2.40	66.32	25.35	6.40	0.073	0.31	0.70	0.066
矿粉 2	-2.52	63.92	26.69	1.46	0.53	3.42	0.72	2.20
矿粉 3	-2.83	66.04	28.07	6.34	0.14	0.68	1.04	0.094
矿粉 4	14.61	44.90	0.096	1.96	0.050	0.50	9.28	0.36
石灰石	44.08			3.61	49.50	0.48	1.12	0.084
轻烧镁粉	7.66			5.98	1.45	85.08	0.80	0.075
皂土	11.16			52.58	3.82	2.46	8.98	0.35

为了改善造球特性，提高生球质量，对造球原料的比表面积、孔结构及粒度进行了分析，结果见表 2。

表 2　原料比表面积及孔结构

原料	比表面积/$m^2 \cdot g^{-1}$	平均孔径/nm	孔容/$ml \cdot g^{-1}$
矿粉 1	1.061	5.16399e +01	2.739e -03
矿粉 2	0.533	7.63418e +01	2.035e -03
矿粉 3	1.096	4.55754e +01	2.497e -03
矿粉 4		4.66222e +01	2.070e -01
石灰石	3.782	7.07807e +01	1.338e -02
轻烧镁粉	9.976	1.48524e +02	7.408e -02
皂土	65.953	4.40587e +01	1.453e -01

由表 2 可知，铁矿粉中矿粉 3 的比表面积较大，矿粉 1 次之，矿粉 4 最小，而熔剂的比表面积较高，添加过多后可能降低爆裂温度；铁矿粉中矿粉 2 平均孔径较大，矿粉 1 次之，矿粉 3 最小；矿粉 2 的孔容与矿粉 3 相比，矿粉 3 孔容较大，说明矿粉 2 大孔较多，而矿粉 3 小孔较多，孔分布较密集。

表 3　原料粒度分布(%)

矿粉	>0.15 mm	0.15 ~ 0.074 mm	0.074 ~ 0.045 mm	<0.045 mm	<0.074 mm
矿粉 1	0.6	21.7	58.0	19.7	77.7
矿粉 2	28.2	40.0	21.4	10.4	31.8
矿粉 3	1.5	14.9	69.9	13.8	83.6

中国知网　https://www.cnki.net

续表3

矿粉4	41.7	27.8	18.8	11.7	30.5
石灰石	1.4	81.4	13.4	3.8	17.2
轻烧镁粉	0.1	41.4	48.8	9.7	58.5
皂土	0.0	5.6	21.8	72.6	94.4

注:100目 -0.15 mm;200目 -0.074 mm;325目 -0.045 mm。

粒度组成是铁精粉原料特性的一个重要方面,也是影响造球的主要因素之一。由表3可知,四种铁精粉中 -200目以下的颗粒分别占到了77.7%、31.8%、83.6%及30.5%;石灰石熔剂的粒度组成主要集中在100~200目之间,而小于-200目的颗粒占17.2%;轻烧镁粉熔剂的粒度组成主要集中在100~325目之间。在造球过程中,配加适量的轻烧镁粉,可以改善铁矿粉粒度组成,提高铁矿粉的成球率,但过多的加入可能造成爆裂温度降低。

2.2 实验方法

(1)造球条件:造球实验采用∅500 mm×150 mm圆盘造球机,线速度为0.98 m/s,倾角为48°。造球后对生球进行抗压强度、落下强度及爆裂温度测定。

(2)焙烧过程:球团焙烧实验在竖式电炉中进行,高温吊篮装入1 kg左右生球,待电炉温度升至设定温度,将吊篮放入电炉炉顶,然后使吊篮缓慢下行。干燥预热约20 min,焙烧约15 min,均热和冷却约20 min,全过程共计55 min。焙烧后按照"铁矿球团抗压强度测定方法"(GB/T14201-1993)进行抗压强度测定[6]。

3 实验方案

为了研究SiO_2含量、MgO含量、碱度、焙烧温度、高温区焙烧时间以及矿粉1配比对球团性能影响规律,本实验采用L25(5^6)正交设计的方法[7],固定矿粉4配比为3%、皂土为0.7%,通过矿粉2、矿粉3调整SiO_2含量为3.5%~5.5%,通过石灰石调整碱度为0.6~1.4,通过轻烧镁粉调整MgO含量为1.8%~3.0%,根据正交设计表设计实验方案。

4 实验结果与分析

4.1 实验结果

根据正交设计实验方案得到实验结果如表4所示。

表4 正交设计实验结果

序号	实验编号	生球粒度分布/%			成球率/%	水分/%	生球抗压强度/N·P^{-1}	落下/次·(0.5 m)$^{-1}$	爆裂温度/℃	熟球抗压强度/N·P^{-1}
		>16	12.5~16	10~12.5						
1	$Si_{3.5}Mg_{1.8}R_{0.6}T_{1220}t_5Y_5$	8.98	40.23	43.75	93.0	7.4	9.6	4.6	603	2 603
2	$Si_{3.5}Mg_{2.1}R_{0.8}T_{1240}t_{10}Y_{10}$	11.47	48.39	37.99	97.8	7.7	10.0	5.9	602	2 537
3	$Si_{3.5}Mg_{2.4}R_{1.0}T_{1260}t_{15}Y_{15}$	5.86	17.19	57.81	80.9	7.5	10.1	6.0	602	2 224
4	$Si_{3.5}Mg_{2.7}R_{1.2}T_{1280}t_{20}Y_{20}$	2.94	25.00	63.24	91.2	8.1	10.1	5.7	427	2 242
5	$Si_{3.5}Mg_{3.0}R_{1.4}T_{1300}t_{25}Y_{25}$	21.72	32.38	38.93	93.0	7.9	10.3	6.6	400	1 753
6	$Si_{4.0}Mg_{1.8}R_{0.8}T_{1260}t_{20}Y_{25}$	8.98	21.88	60.16	91.0	8.0	10.2	5.1	610	2 949
7	$Si_{4.0}Mg_{2.1}R_{1.0}T_{1280}t_{25}Y_5$	28.19	38.83	28.19	95.2	7.9	11.1	6.2	510	2 548
8	$Si_{4.0}Mg_{2.4}R_{1.2}T_{1300}t_5Y_{10}$	11.79	17.48	53.25	82.5	8.2	11.2	7.8	481	2 038

中国知网 https://www.cnki.net

续表 4

9	$Si_{4.0}Mg_{2.7}R_{1.4}T_{1220}t_{10}Y_{15}$	14.96	52.55	27.01	94.5	8.9	11.6	8.9	481	1 498
10	$Si_{4.0}Mg_{3.0}R_{0.6}T_{1240}t_{15}Y_{20}$	12.05	38.96	44.18	95.2	8.3	11.1	7.0	535	2 368
11	$Si_{4.5}Mg_{1.8}R_{1.0}T_{1300}t_{10}Y_{20}$	14.62	14.23	52.96	81.8	7.8	10.9	4.1	508	2 523
12	$Si_{4.5}Mg_{2.1}R_{1.2}T_{1220}t_{15}Y_{25}$	7.64	26.18	58.55	92.4	8.9	10.6	5.6	529	1 687
13	$Si_{4.5}Mg_{2.4}R_{1.4}T_{1240}t_{20}Y_{5}$	10.30	50.21	36.91	97.4	8.7	11.1	8.7	520	1 368
14	$Si_{4.5}Mg_{2.7}R_{0.6}T_{1260}t_{25}Y_{10}$	6.11	17.36	57.88	81.4	8.9	10.3	5.5	543	2 631
15	$Si_{4.5}Mg_{3.0}R_{0.8}T_{1280}t_{5}Y_{15}$	6.69	16.74	60.67	84.1	8.8	10.4	4.6	459	2 182
16	$Si_{5.0}Mg_{1.8}R_{1.2}T_{1240}t_{25}Y_{15}$	7.37	9.68	64.06	81.1	8.8	11.1	4.1	371	1 834
17	$Si_{5.0}Mg_{2.1}R_{1.4}T_{1260}t_{5}Y_{20}$	10.66	11.07	60.66	82.4	9.0	11.2	4.2	379	1 389
18	$Si_{5.0}Mg_{2.4}R_{0.6}T_{1280}t_{10}Y_{25}$	8.54	23.58	61.38	93.5	8.6	11.0	6.0	486	2 041
19	$Si_{5.0}Mg_{2.7}R_{0.8}T_{1300}t_{15}Y_{5}$	12.76	42.80	40.74	96.3	9.1	11.7	6.6	501	2 798
20	$Si_{5.0}Mg_{3.0}R_{1.0}T_{1220}t_{20}Y_{10}$	7.42	39.93	49.47	96.8	8.9	11.0	8.6	441	2 323
21	$Si_{5.5}Mg_{1.8}R_{1.4}T_{1280}t_{15}Y_{10}$	7.25	31.16	56.16	94.6	7.8	13.1	8.0	441	1 848
22	$Si_{5.5}Mg_{2.1}R_{0.6}T_{1300}t_{20}Y_{15}$	6.99	30.51	56.99	94.5	9.1	11.5	6.4	508	2 926
23	$Si_{5.5}Mg_{2.4}R_{0.8}T_{1220}t_{25}Y_{20}$	4.92	25.76	64.02	94.7	9.0	11.2	9.2	466	2 220
24	$Si_{5.5}Mg_{2.7}R_{1.0}T_{1240}t_{5}Y_{25}$	7.49	32.96	56.93	97.4	9.3	11.7	7.6	449	1 769
25	$Si_{5.5}Mg_{3.0}R_{1.2}T_{1260}t_{10}Y_{5}$	8.66	23.47	63.54	95.7	8.8	13.2	6.2	447	1 576

4.2 方差分析

按正交表做完实验后，对实验结果做简要的运算和分析，从而确定主要和次要影响因素以及最佳实验条件等。数据分析采用统计分析（亦称方差分析）法。考虑各因素对球团性能指标的影响用单因素方差分析法。其相应分析结果如表 5、表 6 所示。

表 5　实验结果直观分析表

序号	SiO_2（A）	MgO（B）	碱度（C）	温度（D）	时间（E）	矿粉 1（F）	熟球抗压/N·P^{-1}
1	3.5	1.8	0.6	1 220	5	5	2 603
2	3.5	2.1	0.8	1 240	10	10	2 537
3	3.5	2.4	1	1 260	15	15	2 224
4	3.5	2.7	1.2	1 280	20	20	2 242
5	3.5	3	1.4	1 300	25	25	1 753
6	4	1.8	0.8	1 260	20	25	2 949
7	4	2.1	1	1 280	25	5	2 548
8	4	2.4	1.2	1 300	5	10	2 038
9	4	2.7	1.4	1 220	10	15	1 498
10	4	3	0.6	1 240	15	20	2 368
11	4.5	1.8	1	1 300	10	20	2 523
12	4.5	2.1	1.2	1 220	15	25	1 687
13	4.5	2.4	1.4	1 240	20	5	1 368

中国知网　https://www.cnki.net

续表5

14	4.5	2.7	0.6	1 260	25	10	2 631
15	4.5	3	0.8	1 280	5	15	2 182
16	5	1.8	1.2	1 240	25	15	1 834
17	5	2.1	1.4	1 260	5	20	1 389
18	5	2.4	0.6	1 280	10	25	2 741
19	5	2.7	0.8	1 300	15	5	2 798
20	5	3	1	1 220	20	10	2 323
21	5.5	1.8	1.4	1 280	15	10	1 848
22	5.5	2.1	0.6	1 300	20	15	2 926
23	5.5	2.4	0.8	1 220	25	20	2 220
24	5.5	2.7	1	1 240	5	25	1 769
25	5.5	3	1.2	1 260	10	5	1 576
平均值$\overline{X_1}$	2 271.8	2 351.4	2 653.8	2 066.2	1 996.2	2 178.6	
平均值$\overline{X_2}$	2 280.2	2 217.4	2 537.2	1 975.2	2 175	2 275.4	
平均值$\overline{X_3}$	2 078.2	2 118.2	2 277.4	2 153.8	2 185	2 132.8	
平均值$\overline{X_4}$	2 217	2 187.6	1 875.4	2 312.2	2 361.6	2 148.4	
平均值$\overline{X_5}$	2 067.8	2 040.4	1 571.2	2 407.6	2 197.2	2 179.8	

(1) 计算实验误差 S_e: 用 A 表示 Si 含量，A1 表示 A 因素的 1 水平，在 A1 条件下的偏差平方和 S_{A1} 表示 1 水平下实验数据的波动值。

$S_{A1}=(2603-2271.8)2+(2537-2271.8)2+(2224-2271.8)2+(2242-2271.8)2+(1753-2271.8)2=452\ 350.8$

同理: $S_{A2}=1\ 197\ 216.8$; $S_{A3}=1\ 171\ 630.8$; $S_{A4}=1\ 455\ 646$; $S_{A5}=1\ 139\ 132.8$

计算公式相应为:

$$\overline{X_i}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}X_i$$

$$S_i=\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X_i})^2$$

将 A 因素各水平下的偏差平方和相加得:

$$S_e=S_{A1}+S_{A2}+S_{A3}+S_{A4}+S_{A5}=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(X_{ij}-\overline{X_i})$$

将实验数据代入上式得: $S_e=5\ 415\ 977.2$

该值表示实验误差在这组实验中引起的数据的总波动值，称为误差的偏差平方和。

(2) 确定因素水平改变引起的偏差平方和 $S_{因}$。当因素 A 在不同水平时，其平均值$\overline{X_i}$也不相同，这种数据平均值的波动不仅与实验误差有关，也包含有因素 A 的水平不同所引起的波动。若用 $X_{\overline{ij}}$表示实验数据的总平均值，则:

$$\overline{X_{ij}}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\overline{X_i}$$

因素 A 各水平平均数之间的偏差平方和为:

$$S_{因}=n\sum_{i=1}^{m}(\overline{X_i}-\overline{X_{ij}})^2$$

将有关数据代入上式得: $S_{因}=213\ 716.8$，它刻画了因素 A 水平不同引起的数据波动值，称为因子 A 的偏差平方和。

如果记

$$S_{总}=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}(X_{ij}-\overline{X_{ij}})^2$$

则 $S_{总}$ 表示所有数据围绕它们的总平均值的波动值，称为总的偏差平方和，它也可用下式计算:

$$S_{总}=S_{因}+S_e$$

当数据个数多时，偏差平方和就大，即偏差平方和不仅与数据本身变动有关，还与数据个数有关。为了消除数据个数的影响，可采用平均偏差平方和 $S_{因}/f_{因}$、S_e/f_e，来比较，这里 $f_{因}$ 和 f_e 分别为偏差平方和 $S_{因}$ 和 S_e 的自由度。所谓自由

中国知网 https://www.cnki.net

度，就是独立数据的个数，当有 n 个数据时，独立数据的个数为(n－1) ，因为剩余的一个数，受(n－1) 个数的约束，故称 n 个数据的自由度为(n－1) 。在 S_A 中，其中 f_A 为水平数－1，即 $f_A = 5 - 1 = 4$。在 $S_{总}$ 的 25 个数据中，其 $f_{总} = 25 - 1 = 24$。

与偏差平方和一样，自由度的关系为:

$$f_{总} = f_{因} + f_e$$

其中: $f_{总} = N - 1$(N 为总实验次数) 。

$f_{因}$ = 因素的水平数－1

$$f_e = f_{总} - f_{因}$$

(3) 求方差。偏差平方和的平均值称为方差，以 σ^2 表示，依次有:

$S_{因}/f_{因} = \sigma_{因}^2$……因素的平均变动

$S_e/f_e = \sigma_e^2$……误差的平均变动

(4) 求方差比。用 $\sigma_{因}^2$ 与 σ_e^2 的比值大小才能看出因素和误差引起的数据波动影响的大小，此比值俗称 F 比，即

$$F_{比} = \sigma_{因}^2/\sigma_4^2$$

(5) 讨论方差比(或均方比) ，分清影响指标的主次。当 $F_{0.01} > F_{比} \geqslant F_{0.05}$时，说明是显著性因素; 当 $F_{比} \geqslant F_{0.01} >$ 时，说明是高度显著性因素; 当 $F_{比} < F_{0.05}$时，说明是非显著性因素。F 值可根据 F 分布表查得。

表 6　方差分析表

方差来源	$S_{因}$	S_e	$F_{因}$	f_e	F 值	$F_{0.01}$	$F_{0.05}$	显著性
SiO_2 含量	213 717	5 415 977	4	20	0.197	4.22	2.78	不显著
MgO 含量	270 484	5 359 210	4	20	0.252	4.22	2.78	不显著
碱度	4 124 693	1 505 001	4	20	13.703	4.22	2.78	高度显著
焙烧温度	624 068	5 005 626	4	20	0.623	4.22	2.78	不显著
焙烧时间	335 309	5 294 385	4	20	0.317	4.22	2.78	不显著
矿粉 1 配比	61 423	5 568 271	4	20	0.055	4.22	2.78	不显著

由以上分析可知，各因素对熟球抗压的影响大小为: 碱度 > 焙烧温度 > 焙烧时间 > MgO 含量 > SiO_2 含量 > 矿粉 1 配比。

4.3　碱度对抗压强度的影响

为研究碱度对球团抗压强度的影响规律，提取表 5 中球团强度随碱度变化的实验结果进行分析，结果绘于图 1 中。

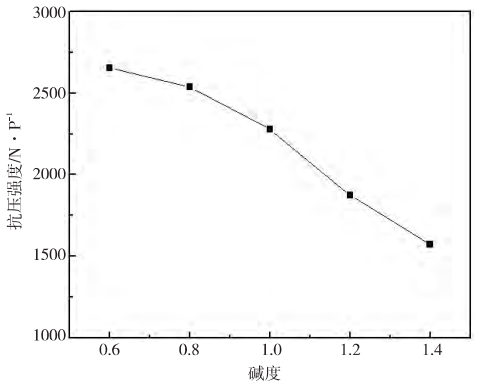


图 1　碱度对抗压强度的影响

由图 1 可知，随着碱度的提高，球团抗压强度整体呈现下降的趋势，为了确定碱度与球团抗压强度间的定量关系，采用线性回归的方法，建立了碱度与抗压强度间的数学模型: $y = 3596.5 - 1413.5x$，$R^2 = 0.95839$，碱度每提高 0.1%，抗压强度降低 141.35 N/P。分析可知，碱度提高后，液相中的铁酸镁逐渐被 CaO 替代，生成铁酸钙和 MgO，使液相变得粘稠，抑制了液相中元素的扩散，也阻碍了液相周围物质的溶解，导致液相生成量降低，进而抗压强度降低[图]。

5　结　论

(1) 采用正交试验，研究不同水平下的 SiO_2 含量、MgO 含量、碱度、焙烧温度、焙烧时间和矿粉 1 配比对球团抗压强度的影响，得到对抗压强度影响由大到小分别为碱度、焙烧温度、焙烧时间、MgO 含量、SiO_2 含量和矿粉 1 配比。

中国知网　https://www.cnki.net

(2) 随着碱度的提高,液相中的铁酸镁逐渐被 CaO 替代,生成铁酸钙和 MgO,使液相变得粘稠,抑制了液相中元素的扩散,也阻碍了液相周围物质的溶解,导致液相生成量降低,进而抗压强度降低。

参考文献

[1] 周明顺,沈峰满,翟立委,等. MgO 添加方式对改善球团矿冶金性能的影响[J]. 钢铁,2012,04:14-18.

[2] 王天雄. 熔剂性球团的生产试验[J]. 烧结球团,2012,02:45-47,74.

[3] 李坤,王昌华. 石灰石熔剂性球团试验研究[J]. 烧结球团,2015,02:32-35.

[4] 朱德庆,高子富,潘建,等. 碱度及 MgO 质量分数对球团焙烧及冶金性能的影响[J]. 中南大学学报(自然科学版),2013,(10):3963-3970.

[5] 吕志义,陈革,马利,等. 不同碱度及含氧化镁球团矿实验研究[J]. 包钢科技,2003,04:1-3,11.

[6] GB/T14201-1993. 铁矿球团抗压强度测定方法[S]. 包头:包头钢铁公司,1993.

[7] 闫东杰,柳青,黄学敏,等. 基于正交实验的颗粒移动床烟气脱硫工艺参数优化[J]. 环境工程学报,2014,(09):3899-3904.

[8] 田铁磊,李杰,邢宏伟. 液相量对高镁碱性球团强度的影响[J]. 烧结球团,2015,(03):22-24.

(上接第43页)

4 结 论

在实验室条件下,通过对大粒度镁橄榄石进行不同时间的预磨改变其粒度,添加到球团中进行造球及预热焙烧试验,得到镁橄榄石粒度对含镁熔剂性球团强度及孔隙率的影响及机理。

(1) 大颗粒镁橄榄石可在球团中起到骨架作用,提高造球原料成球性能;随着镁橄榄石预磨时间增加,镁橄榄石粒度逐渐变细,可填充在矿粉颗粒间,减少颗粒之间的摩擦力,从而增加颗粒间的分子力,提高球团强度;添加不同预磨时间镁橄榄石的生球抗压强度和落下强度随预磨时间增加均呈现先降低后增加的大致趋势。

(2) 球团中孔隙有两种存在形式:一种为圆形大气孔,由于球团在预热焙烧过程中产生液相而产生,在球团中分布不均匀,会一定程度上降低球团的抗压强度;另一种孔隙存在于大片的赤铁矿连晶中间,孔隙较小且分布均匀。

(3) 随着镁橄榄石预磨时间增加,铁矿粉颗粒与镁橄榄石之间反应变得充分,球团孔隙率先降低后增加,抗压强度呈现相反趋势。球团中大气孔形状和分布逐渐变得均匀,气孔直径逐渐变大,利于提高球团还原度;赤铁矿连晶间孔隙尺寸逐渐变小且孔隙变少,对提高球团抗压强度有利。镁橄榄石最佳预磨时间为 40 min。

参考文献

[1] 杨天钧,张建良,刘征建,等. "新常态"下高炉炼铁技术转型升级和创新之路[C]//宝钢学术年会. 2015.

[2] 许贵宾. 熔剂性球团矿的生产实践[C]//全国炼铁生产技术会暨炼铁学术年会. 2014.

[3] 许贵宾. 生产高 MgO 熔剂性球团的优势[C]//2015 京津冀钢铁业清洁生产、环境保护交流会论文集. 2015.

[4] 张金良. 熔剂性赤铁矿球团焙烧特性及高炉还原行为研究[D]. 长沙:中南大学,2012.

[5] Dwarapudi S, Sekhar C, Paul I. Effect of fluxing agents on reduction degradation behaviour of hematite pellets [J]. Ironmaking & Steelmaking, 2015, 43(3).

[6] Dwarapudi S, Ghosh T K, Tathavadkar V. Effect of MgO in the form of magnesite on the quality and microstructure of hematite pellets [J]. International Journal of Mineral Processing, 2012, 112-113(4):55-62.

[7] Dwarapudi S, Ghosh T K, Shankar A. Effect of pellet basicity and MgO content on the quality and microstructure of hematite pellets [J]. International Journal of Mineral Processing, 2011, 99(1-4):43-53.

[8] Dwarapudi S, Ghosh T K, Shankar A. Effect of pyroxenite flux on the quality and microstructure of hematite pellets [J]. International Journal of Mineral Processing, 2010, 96(1-4):45-53.

[9] 周国凡,杨福. 添加 MgO 对球团矿成球性能及强度的影响[J]. 钢铁研究,2009,37(2):10-12.

[10] 张一敏. 球团理论与工艺[M]. 北京:冶金工业出版社,1997.

中国知网 https://www.cnki.net