

内蒙古某高硫高碱度磁铁精矿球团焙烧工艺研究

张攀, 杨大兵, 李乾坤, 甘杰, 邹冲

(武汉科技大学冶金矿产资源高效利用与造块湖北省重点实验室, 湖北 武汉, 430081)

摘要:以内蒙古某高硫高碱度磁铁精矿为原料进行实验室造球试验,并进行了大量的焙烧试验研究。结果表明,延长预热、焙烧时间均能提高球团抗压强度,且预热时间对球团合格率影响最大;预热温度在900-1000℃为宜,焙烧温度在1200-1280℃为宜,并且温度越高强度越好;在预热段鼓风能有效降低预热时间至18 min,每50 g球团通风量应不低于0.565 L/s;提高气流在球团中的流通性可以有效减少氧化时间;同等重量的大球比小球焙烧效果更好,合理粒径范围为11-16 mm。

关键词:高硫磁铁精矿;球团试验;焙烧;鼓风预热;通风量

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.06.010

中图分类号:TD952 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)06-0044-06

内蒙古巴润铁矿原矿含硫高且波动较大,部分地区高达6%,平均含硫量在1.98%左右,原矿中主要的金属矿物为磁铁矿、假象赤铁矿、黄铁矿和磁黄铁矿,通过弱磁选可抛出大部分黄铁矿,得到含硫量大于0.8%的磁铁精矿,其中含硫矿物主要为嵌布粒度较细的磁黄铁矿^[1],又由于磁黄铁矿具有磁性高、易氧化、易泥化的特点^[2],所以采用常规磁选和浮选技术难以脱除。随着该矿区深入开采,矿山深部矿石含硫更高,嵌布方式更复杂,铁精矿脱硫难度随之加大,并且巴润铁矿所处白云地区的生产用水硬度大,原矿也多含盐类矿物,两者都会使矿浆中Ca²⁺含量升高,进一步抑制磁黄铁矿的浮选。考虑到矿山的经济效益,决定探讨球团法处理高硫磁铁精矿的可行性。

本文主要研究的是高硫磁铁精矿球团最佳焙烧

工艺制度,并针对试验过程中发现的问题进行深入研究,但未涉及到对脱硫尾气的回收利用。

造球优化试验结果为:在外配2.5%包钢自配膨润土、生球水分为8.8%时,可获得落下强度为6.6次/0.5 m,抗压强度为14.0 N/个,爆裂温度为517℃的合格生球(造球盘转速为18 r/min,倾角45°,造球时间为12 min)。

1 试验原料及研究方法

1.1 试验原料

本次试验所用原料为内蒙古某选矿厂磁铁精矿,-0.074 mm 粒级含量为98.3%,其粒度较细不需要润磨,膨润土为包钢自配,原料化学成分见表1。

表1 原料化学成分/%

Table 1 Chemical composition of materials

名称	TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TS	SO ₄ ²⁻	F	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P
铁精矿	66.28	28.45	1.24	0.12	1.24	1.01	0.81	0.32	0.19	0.98	0.11	/	
膨润土	/	/	63.96	11.42	2.03	2.68	0.11				1.00	1.05	0.028

由表1可以看出,原料铁精矿MgO含量较高而

收稿日期:2016-05-17;改回日期:2016-06-22

基金项目:国家重大科学仪器设备开发专项计划“铁矿石成分实时在线监测仪器的应用开发及项目实施”(2013YQ04086107)

作者简介:张攀(1991-),男,硕士研究生,研究方向为球团。

Al_2O_3 、 SiO_2 含量较低, 简单四元碱度 $R_{原矿} = \frac{CaO+MgO}{SiO_2+Al_2O_3} = \frac{1.24+1.01}{1.24+0.12} \approx 1.65$, 碱度较高, 加入

2.5% 膨润土后, 四元碱度 $R = \frac{CaO+0.7MgO}{0.94SiO_2+0.18Al_2O_3} \approx 0.75$, 根据美国钢铁协会判定标准, 碱度超过 0.6 即为碱性球团^[3]。一般铁精矿要求含硫量小于 0.3%, 最高不超过 0.5%^[4], 而该矿含硫量为 0.81%, 实为高硫铁精矿。

1.2 研究方法

试验在两段式管式炉中进行, 在不同氧气氛围、不同焙烧载体的条件下, 通过测定球团抗压强度及化学分析, 考察焙烧制度对球团的影响, 并进一步考察了不同粒径球团的焙烧效果差异。

2 结果与分析

2.1 自然通风条件下焙烧试验

由于高硫矿的特异性, 球团焙烧过程中发现总是有个别成品球的抗压强度极低, 且压碎后发现内部有大片金色物质, 这对高硫冶炼有极大的恶劣影响, 因此引入了合格率的概念, 合格率按抗压强度大于 2500N 的成品球所占的百分比计算。

2.1.1 预热时间对球团的影响

固定预热温度为 900℃, 焙烧温度为 1250℃, 焙烧时间为 13 min, 考察预热时间对球团的影响, 试验结果见图 1~3。

由图 1、2 可以看出, 延长预热时间可以降低预热球 FeO 含量、提高预热球强度, 虽然预热球 S 含量波动不大, 但其含 S 形态由硫化物逐渐转化为硫酸根离子, 即延长预热时间能改变磁黄铁矿颗粒中硫的存在状态, 使未氧化脱除的硫化物转化为硫酸盐。这是因为 O_2 附着在球团外表面后优先与 S 反应, 生成 SO_2 和铁的氧化物, 之后由于氧气内扩散难度增大及球团外表面形成致密氧化层进一步阻碍 O_2 向内扩散, 使得预热球脱硫速率变得极为缓慢, 又由于 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的存在, 未及时氧化脱除的 S 便与逐渐扩散进来的 O_2 反应生成 SO_4^{2-} , 于是便完成了硫化物中的 S 向 SO_4^{2-} 的转化^[5]。

由图 3 可以看出延长预热时间能有效提高成品球强度及合格率, 在 22 min 时成品球抗压强度可达 2500 N, 在 28 min 时合格率可达 100%。

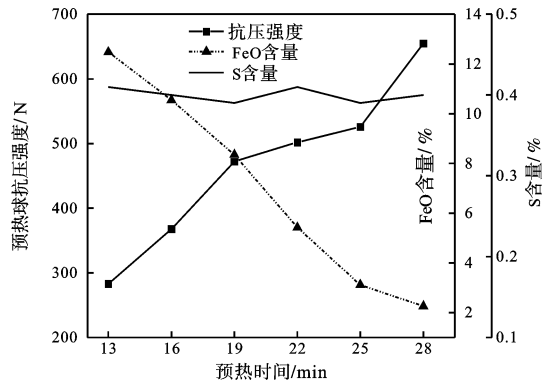


图 1 预热时间对预热球的影响

Fig. 1 Effect of preheating time on preheating pellet

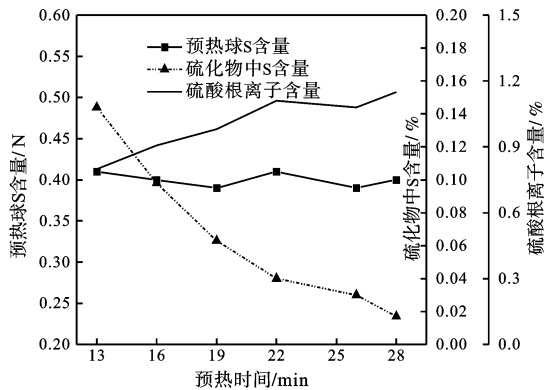


图 2 预热时间对预热球中 S 含量的影响

Fig. 2 Effect of preheating time on the s content in the preheating pellets

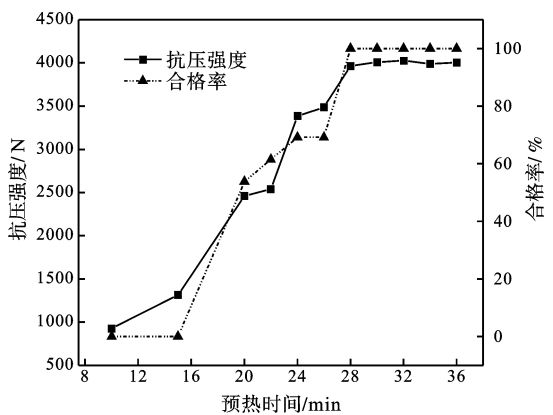


图 3 预热时间对成品球的影响

Fig. 3 Effect of preheating time on the finished pellets

2.1.2 预热温度对球团的影响

固定预热时间为 22 min, 焙烧温度为 1250℃, 焙烧时间为 13 min, 考察预热温度对球团的影响, 试验结果见图 4 和图 5。

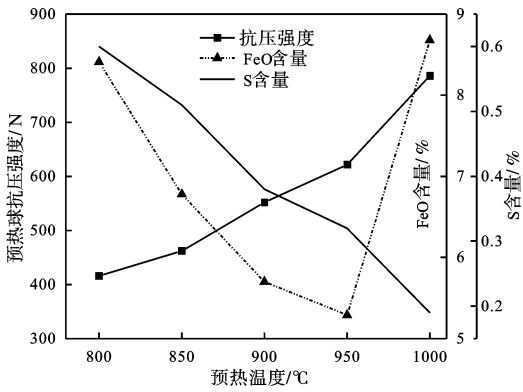


图4 预热温度对预热球的影响

Fig. 4 Effect of preheating temperature on preheating pellets

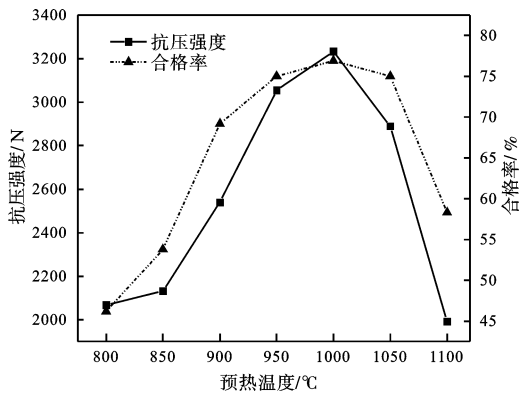


图5 预热温度对成品球的影响

Fig. 5 Effect of preheating temperature on the finished pellets

由图5可知,成品球抗压强度及合格率随温度升高先增加后降低,在1000℃时达到峰值,预热温度在900℃时球团抗压强度才能达到2500N,因此定预热温度最少为900℃,最高不超过1000℃;成品球合格率在峰值处仍低于80%,说明提高预热温度对于合格率的提升有一定影响,但效果并不十分强烈。

由图4可知,预热温度越高,预热球强度越好,S含量也越低,但是温度高于1000℃会导致Fe₂O₃分解,FeO含量升高,球团强度反而下降。

2.1.3 焙烧时间对球团的影响

固定预热温度为900℃,预热时间为22 min,焙烧温度为1250℃,考察焙烧时间对球团的影响,试验结果见图6。

由图6可知,成品球抗压强度及合格率随焙烧时间的延长而逐渐增大,7 min到10 min段增长幅度最大,在10 min时抗压强度达到2200 N,在13 min时抗压强度达到2500 N,而16 min后球团合格率提升较缓,同时可以看到延长焙烧时间并不能使

球团合格率高于90%。说明焙烧时间也不是影响合格率的最主要因素,并且焙烧时间在10~16 min为宜,焙烧时间不用太长。

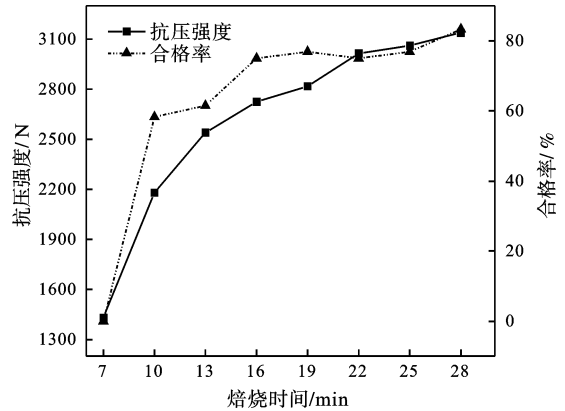


图6 焙烧时间对成品球的影响

Fig. 6 Effect of roasting time on the finished pellets

2.1.4 焙烧温度对球团的影响

固定预热时间为22 min,预热温度为900℃,焙烧时间为13 min,考察焙烧温度对球团的影响,试验结果见图7。

固定预热时间为30 min,预热温度为900℃,焙烧时间为10 min,考察焙烧温度对球团的影响,试验结果见图8。

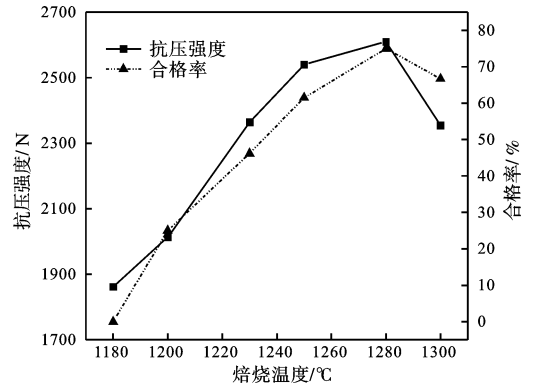


图7 预热22 min时焙烧温度的影响

Fig. 7 Effect of roasting temperature at the preheating time of 22 min

由图7和图8可以看出,成品球抗压强度均随焙烧温度的升高先增大后减小,且都在1280℃达到最高值。当预热时间为22 min时,合理焙烧区间为1250~1280℃,球团合格率在此区间有小幅提升但仍低于80%;当预热时间为30 min且焙烧时间降为10 min时,合理焙烧区间扩大为1200~1300℃,且合格率明显提升。由此可知,延长氧化时间可以有效提高球团合格率,扩大焙烧温度区间,并能减少焙

烧时间。

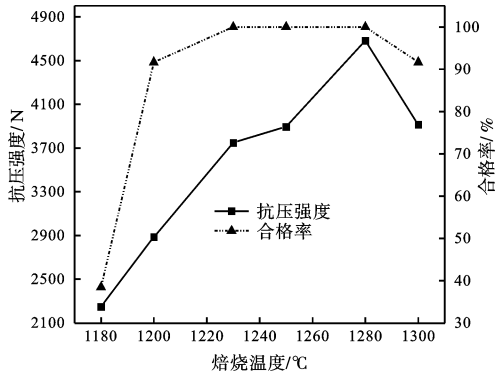


图8 预热30min时焙烧温度的影响

Fig. 8 Effect of roasting temperature at the preheating time of 30 min

从以上实验结果可以发现,预热时间对球团合格率的影响至关重要,在预热22 min时,球团抗压强度已经达到2500 N,但是合格率不高,说明部分球团未充分与氧接触,因此提出在预热段增加鼓风来提高氧气浓度,以节省预热时间。

2.2 不同风量下的焙烧试验

2.2.1 以瓷舟为载体鼓风预热焙烧

在预热段炉口加一个鼓风机,风速 $v = 1.25 \text{ m/s}$,实验室通过调节进风口直径改变通风量,设定三个直径分别为 $d_1 = 16 \text{ mm}$ 、 $d_2 = 24 \text{ mm}$ 、 $d_3 = 48 \text{ mm}$,通风量分别为 0.251 L/s 、 0.565 L/s 、 2.262 L/s 。固定预热温度为 900°C ,焙烧温度为 1250°C ,焙烧时间为 13 min ,每次选取 $12\text{--}14 \text{ mm}$ 球团 50 g 放入瓷舟中进行焙烧,考察鼓风预热对焙烧的影响,试验结果见图9。

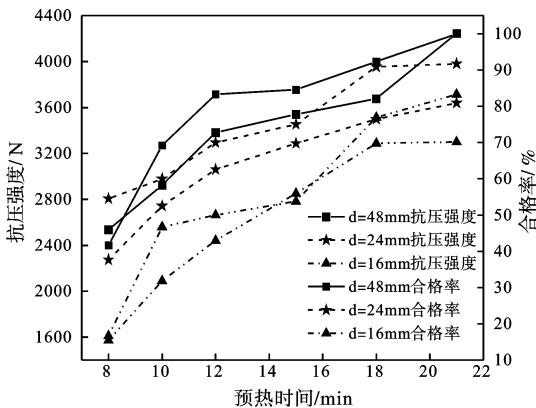


图9 不同通风量对焙烧的影响

Fig. 9 Effect of different ventilation volume on roasting

由图9可知,通风量越大、预热时间越长,焙烧效果越好;在预热时间为 8 min 时,不论风量如何焙

烧效果均不理想;通风直径为 $d_2 = 24 \text{ mm}$ 、 $d_3 = 48 \text{ mm}$ 时,预热时间只需 10 min ,球团抗压强度便可达到 2500 N ,而 $d_1 = 16 \text{ mm}$ 时需预热 15 min ; d_2 、 d_3 之合格率在预热 18 min 时方可达到 90% 以上,而 d_1 之合格率在预热 21 min 时仍低于 85% ,因此合理条件应为每 50 g 球团最少预热 18 min 且通风量应不低于 0.565 L/s 。

由于瓷舟属于四周封闭结构,鼓风时气流在瓷舟上部流通较快,而下部氧气的置换较慢,因此为保证鼓风气流均等穿过球团层,将瓷舟换成特制耐高温半圆柱体金属笼(半圆柱长 50 mm ,直径 40 mm),再度进行了鼓风试验。

2.2.2 以耐高温金属笼为载体鼓风预热焙烧

固定预热温度为 900°C ,焙烧温度为 1250°C ,焙烧时间为 10 min ,改变通风量及预热时间,金属笼每次放置 $12\text{--}14 \text{ mm}$ 球团 50 g ,试验数据见表3。

表3 不同通风量对球团焙烧的影响

Table 3 Effect of different ventilation volume on roasting

通风直径/mm	预热时间/min	抗压强度/N	合格率/%
$d_1 = 16$	10	1966	40
	12	2690	73.3
	14	2859	80
$d_2 = 24$	16	3127	93.7
	10	2202	62.5
	12	3017	93.3
$d_3 = 48$	10	2511	68.7
	12	3409	93.7

比较图9和表3可知,金属笼载体焙烧的球团达到合格质量所需的预热时间明显少于瓷舟载体。通风直径为 $d_3 = 48 \text{ mm}$ 和 $d_2 = 24 \text{ mm}$ 时, 12 min 可达到合格质量要求,相比于瓷舟载体缩短了 6 min ; 通风直径为 $d_1 = 16 \text{ mm}$ 时,预热 16 min 可使球团合格率达到 93.7% ,而此风量下的瓷舟载体在 21 min 时合格率也仅为 83.3% 。

由此可知,通风量及气体流通的顺畅性对于高硫铁矿的焙烧有着重要的影响,预热段鼓风可明显缩短预热时间,而保障气流良好流通于球团层则可有效减少不合格球团的比例。

在试验过程中发现,球团焙烧数量的不同,也会导致抗压强度和合格率产生差异,因此对不同粒径的球团也进行了试验研究,以确定较佳粒径范围。

2.3 不同粒径球团焙烧试验

2.3.1 不同粒径球团在自然通风条件下的焙烧试验

根据前期试验结果,对成品球合格率影响最大的因素为预热时间,因此以预热时间为主要考察指标,选取 8~10 mm、10~12 mm、12~14 mm、14~16 mm 四个粒径范围的球团进行试验,固定预热温度为 900℃,焙烧温度为 1250℃,焙烧时间为 13 min,每次选取 50 g 左右球团放入瓷舟中,在自然通风条件下进行焙烧试验,试验结果见图 10~13。

从四幅趋势图可以看出,不论粒径大小,成品球抗压强度均随预热时间的延长而逐渐增大,但都在第 34 min 时有一个小的降幅,其后又开始上升,说明预热时间最高应不超过 32 min;同时也可以看出粒径越大,成品球抗压强度越高。

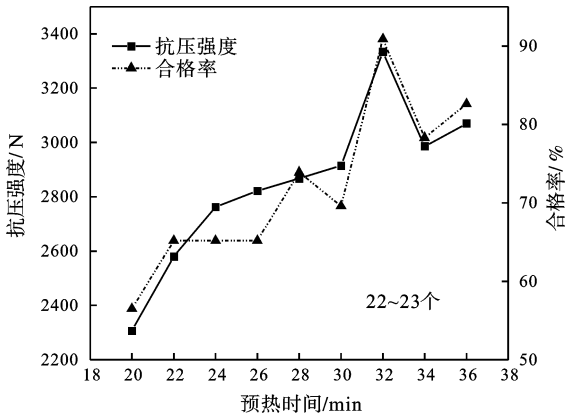


图 10 粒径 8~10 mm 球团焙烧强度

Fig. 10 Particle size 8~10 mm pellets roasting strength

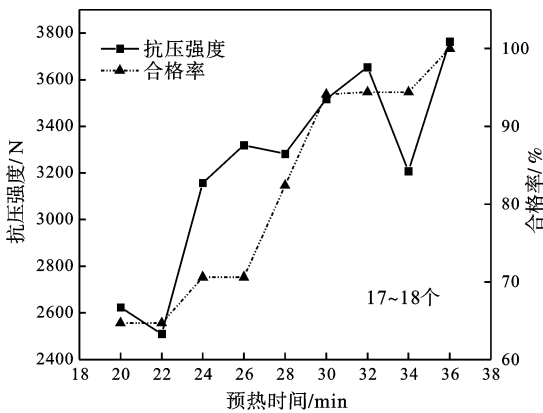


图 11 粒径 10~12 mm 球团焙烧强度

Fig. 11 Particle size 10~12 mm pellets roasting strength

8~10 mm 球团只有在 32 min 时合格率才达到 90%,其后反而降低;10~12 mm 球团在预热 30 min 以上时合格率才能超过 90%;12~14 mm 球团在预热 28 min 以上时合格率可达 100%;14~16 mm 球

团在预热 24 min 以上时合格率便可达 100%。

由此可知,在相同供氧条件下,同等重量的大球比小球更有利于焙烧。

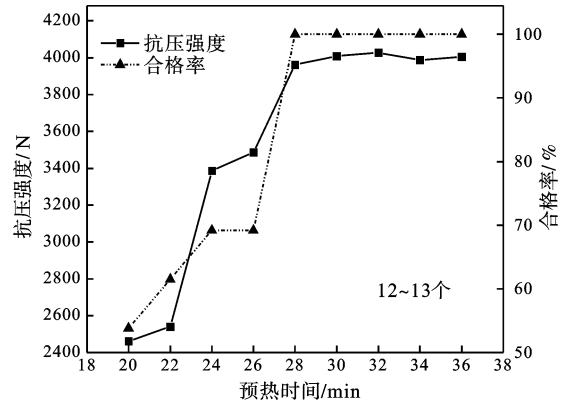


图 12 粒径 12~14 mm 球团焙烧强度

Fig. 12 Particle size 12~14 mm pellets roasting strength

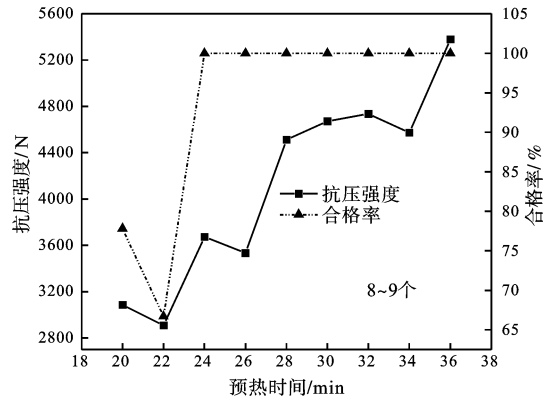


图 13 粒径 14~16 mm 球团焙烧强度

Fig. 13 Particle size 14~16 mm pellets roasting strength

2.3.2 不同粒径球团在鼓风预热条件下的焙烧试验

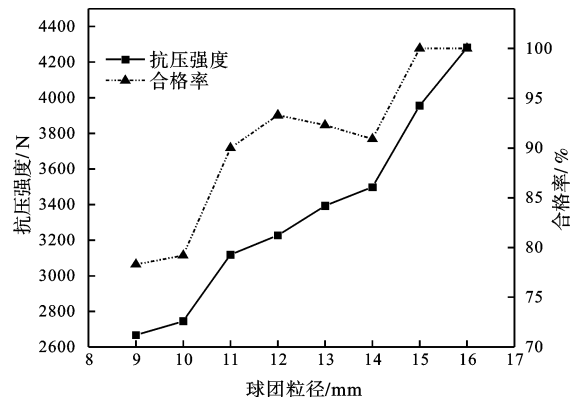


图 14 不同粒径球团鼓风预热焙烧结果

Fig. 14 The results of preheating roasting of different particle size pellets

固定预热温度为 900℃, 焙烧温度为 1250℃, 通风口直径选取 $d_2 = 24$ mm, 鼓风预热时间为 18 min, 焙烧时间为 13 min, 每次选取一定粒径球团 50 g 左右放入瓷舟中进行焙烧, 考察不同粒径球团在鼓风预热条件下的焙烧效果, 试验结果如图 14。

由图可知, 球团粒径越大抗压强度越高, 合格率总体呈上升趋势, 粒径在 11 mm 以上的球团合格率均高于 90%, 粒径在 10 mm 以下的球团合格率均低于 80%, 因此应尽量减少小球比例, 合理粒径范围为 11 ~ 16 mm。

3 结 论

(1) 一定范围内延长预热、焙烧时间和提高预热、焙烧温度均能提高成品球抗压强度, 且预热时间对球团合格率的影响最为明显; 预热温度在 900 ~ 1000℃ 为宜, 焙烧温度在 1200 ~ 1280℃ 为宜; 焙烧时间对球团合格率的影响不大, 在预热充分时只需焙烧 10 min 即可。

(2) 延长预热时间可以降低预热球 FeO 含量、提高预热球强度, 改变磁黄铁矿颗粒中硫的存在状态, 使未氧化脱除的硫化物转化为硫酸盐; 预热温度越高, 预热球强度越好、S 含量也越低, 但是温度高于 1000℃ 会导致 Fe_2O_3 分解, FeO 含量升高, 球团强度反而下降。

(3) 以瓷舟为载体时, 自然通风预热 28 min 以上合格率才能高于 90%; 鼓风预热焙烧通风直径为 $d_2 = 24$ mm、 $d_3 = 48$ mm 时, 只需预热 10 min 球团抗

压强度便可达到 2500 N, 而 $d_3 = 16$ mm 时需预热 15 min; d_1 、 d_2 之合格率在预热 18 min 时可达 90% 以上, 而 d_3 之合格率在预热 21 min 时仍低于 85%, 因此合理条件应为每 50 g 球团最少预热 18 min 且通风量应不低于 0.565 L/s。

(4) 以半圆柱金属笼为载体鼓风预热焙烧, 通风直径为 $d_2 = 24$ mm、 $d_3 = 48$ mm 时, 成品球合格率达到 90% 的预热时间均为 12 min, 相比于瓷舟载体缩短了 6 min; $d_3 = 16$ mm 时, 预热 16 min 可使合格率达到 93.7%, 由此可知, 通风量及气流在料层中的顺畅性对于高硫磁铁矿的焙烧有着重要的影响。

(5) 无论自然通风焙烧还是鼓风预热焙烧, 同等重量下, 球团粒径越大, 合格率越高, 成品球抗压强度也越高, 因此应尽量减少小球比例, 合理粒径范围为 11 ~ 16 mm。

参考文献:

- [1] 耿郑州. 难处理高硫铁矿浮选脱硫及其机理研究[D]. 内蒙古: 内蒙古科技大学, 2014.
- [2] 樊丽琴. 蒙古矿工艺矿物特性及降硫的研究现状[J]. 包钢科技, 2013, 39(5): 20-23.
- [3] 蒋大军, 林千谷, 何木光. 不同碱度与配矿结构对球团矿性能的影响[J]. 四川冶金, 2009, 31(5): 7-11, 14.
- [4] 张一敏. 球团理论与工艺[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.
- [5] Forsmo S. P. E., Samskog P. -O., Björkman B. M. T. A study on plasticity and compression strength in wet iron ore green pellets related to real process variations in raw material fineness[J]. Powder Technology. 2008, 181(3): 321.

Research on Pellets Roasting Process for a High-sulphur and High-basicity Magnetite Concentrate from Inner Mongolia

Zhang Pan, Yang Dabing, Li Qiankun, Gan Jie, Zou Chong

(Wuhan University of Science and Technology, Key Laboratory of Efficient Utilization of Metallurgical Mineral Resources and Agglomeration of Hubei Province, Wuhan, Hubei, China)

Abstract: High-sulfur and high-basicity magnetite from Inner Mongolia as raw material was chosen for laboratory pelletizing test and lots of roasting tests. The results show that the extension of the preheating and roasting time both can improve the compressive strength of the pellets, and the preheating time had the greatest influence on the qualified rate of finished pellets; the suitable preheating temperature is beyond 900℃ and 1000℃, the suitable roasting temperature is beyond 1200℃ and 1280℃, the high the temperature, the better the strength; adding an air blower in the preheating section can effectively reduce the preheating time to 18 min, and every 50 g pellets should have more than 0.565 L/s ventilation rate; improve the air flow performance in the pellets can effectively reduce oxidation time; under the condition of equal weight, the roasting effect of big balls is better than small balls, the suitable particle size range is 11-16 mm.

Keywords: High-sulfur magnetite concentrate; Pelletizing test; Roasting; Blast preheating; Ventilation rate