

Effect of Blending of Blast Furnace Ash and Australian Fine Powder on Direct Reduction Behavior

Shiqin Li, Xiang Yuan, Yang Li

University of Science and Technology Beijing, Beijing
Email: 13051509620@163.com

Received: Jul. 27th, 2017; accepted: Aug. 18th, 2017; published: Aug. 24th, 2017

Abstract

Blast furnace ash is the main by-product of iron making process. It can effectively recover this kind of waste by treating blast furnace ash by turning furnace. In this paper, two kinds of blast furnace ash and Australian powder were prepared and mixed with carbon pellets. The effects of different carbon and oxygen ratios on the reduction behavior were studied by comparing the carbon pellets prepared by pulverized coal and Australian powder. The results showed that with the increase of carbon and oxygen ratio, the metallization rate of the three kinds of carbon pellets increased, but the size of the metallization rate was not always pulverized coal pellets > bag gray pellets > gravity gray pellets. The compressive strength and volume shrinkage of the three pellets are reduced with the increase of the carbon-oxygen ratio. The use of blast furnace ash and Australian powder to prepare metallized pellets is feasible and has a high environmental significance and application prospects.

Keywords

Blast Furnace Ash, Australian Fine Powder, Direct Reduction

高炉灰和澳精粉配比对直接还原行为的影响

李世钦, 袁 骧, 李 洋

北京科技大学, 北京
Email: 13051509620@163.com

收稿日期: 2017年7月27日; 录用日期: 2017年8月18日; 发布日期: 2017年8月24日

摘要

高炉灰是炼铁工艺的主要副产品，通过转底炉法处理高炉灰可以有效的回收这种废弃物。本文用两种高炉灰与澳精粉混合制备成含碳球团，全文通过煤粉与澳精粉制备的含碳球团进行对比，研究不同碳氧比对还原行为的影响，结果表明：随着碳氧比的升高，三种含碳球团金属化率均增大，但是金属化率的大小始终未煤粉球团 > 布袋灰球团 > 重力灰球团。三种球团的抗压强度和体积收缩都随着碳氧比的增加而降低。运用高炉灰与澳精粉制备金属化球团是可行的，具有很高的环保意义和应用前景。

关键词

高炉灰，澳精粉，直接还原

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高炉除尘灰是高炉的主要固体废弃物，约占钢产量的 2%~5% [1] [2] [3]。如果不妥善处理，会对环境造成污染和破坏。同时高炉灰中含有大量 Fe, C, Zn 等元素，具有较高的回收利用价值[4] [5] [6]。一些钢铁企业直接将尘泥反配回烧结工艺，但是这样会造成碱金属循环富集。因此有必要专门用一种工艺处理粉尘。

我国专门处理粉尘的工艺主要为转底炉工艺[7] [8] [9]。它是将粉尘等废弃物与还原剂、粘结剂等制备为压块，然后进行直接还原，得到直接还原铁。对与转底炉直接还原处理粉尘的工艺，过内外很多学者进行过大量研究[10] [11] [12] [13] [14]。

高炉灰含有大量的碳元素，有效利用高炉灰可以减少煤粉等还原剂的消耗，但是目前还没有专门研究过运用高炉灰自身的碳进行直接还原的实验，因此本文用两种高炉灰，即布袋灰和重力灰与澳精粉复合压块，进行还原实验，全文通过煤粉为还原剂的球团进行对比，研究高炉灰和澳精粉配比对还原行为的影响，以期待为工业生产提供参考。

2. 原料及实验

2.1. 原料的准备

本试验的目的主要是为了研究不同高炉灰与澳精粉制备的含碳球团的还原行为，并与煤粉所制备的含碳球团进行对比，主要原料的化学成分如表 1~3 所示。

2.2. 试验方法

试验步骤：

- 1) 将原料灰经过 140 目和 200 目筛子筛分出粒度为 74~105 μm 的部分。
- 2) 将筛分后的原料先放入 105℃ 烘干箱烘干 4 h 后，计算出碳氧比为 0.9、1.0、1.1 时的配比，然后按照配比进行配料并混匀，配比计算结果显示在表 4 中。

Table 1. The chemical composition of blast furnace dust, wt%**表 1.** 高炉除尘灰的化学成分, wt%

试样名称	TFe	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K	Na	Zn
重力除尘灰	47.52	23.40	5.15	2.45	3.27	0.45	0.054	0.07	0.24
布袋除尘灰	37.45	31.10	4.85	2.58	2.41	1.21	0.476	0.68	1.17

Table 2. Chemical composition of Australian powder, wt%**表 2.** 澳精粉的化学成分, wt%

试样名称	TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Ti	P	S
澳精粉	63.48	25.52	9.37	0.29	0.29	0.48	0.019	0.019	0.007

Table 3. Chemical composition of pulverized coal, wt%**表 3.** 煤粉的化学成分, wt%

固定碳	挥发分	灰分			
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
83.66	8.63	4.28	2.52	0.69	0.22

Table 4. Chemical composition of dust, wt%**表 4.** 含碳球团的配比, wt%

还原剂	还原剂比例, %	澳精粉比例, %	C/O
布袋灰	52.88	47.12	1.1
重力灰	75.14	24.86	1.1
煤粉	19.35	80.65	1.1
布袋灰	48.95	51.05	1.0
重力灰	69.23	30.77	1.0
煤粉	17.93	82.07	1.0
布袋灰	44.80	55.20	0.9
重力灰	63.03	36.97	0.9
煤粉	16.43	83.57	0.9

- 3) 将混匀后的原料加入 0.5% 的 CMC 作为粘结剂, 通过压样机在 50 MPa 压力下将粉料压制成 $\Phi 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 的圆柱。
- 4) 将压制成型的含碳球团放入通有 4 L/min 的 N₂ 作为保护气的卧式炉内焙烧, 卧式炉焙烧示意图如图 1 所示。
- 5) 将焙烧后的球团冷却后, 测量其体积和抗压强度, 然后将其磨粉, 进行化学分析和 X 射线衍射实验。

3. 实验结果与讨论

3.1. 碳氧比对金属化率的影响

还原产物的金属化率能够反应出产物质量的好坏, 它直接关系到产物的后续价值。将还原后的含碳球团磨粉, 通过化学分析测量其中的 M_{Fe} 和 T_{Fe} 含量。通过公式(1)计算出三种不同还原剂制备的含碳球团在不同还原条件下的金属化率。

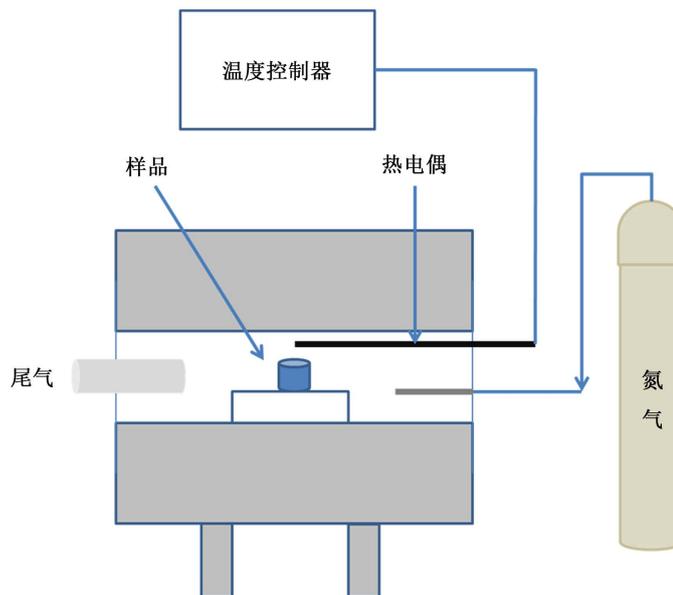


Figure 1. Horizontal furnace reduction schematic diagram
图 1. 卧式炉还原示意图

$$M = \frac{M_{\text{Fe}}}{T_{\text{Fe}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中： M ——金属化率，%；

M_{Fe} ——还原后团块中化验出的金属铁含量，%；

T_{Fe} ——还原后团块中化验出的全铁含量，%。

图 2 所示为不同的碳氧比对含碳球团还原后的金属化率的影响。可以看出，随着碳氧比的增大，含碳球团的金属化率呈现增大的趋势。这是因为碳氧比增大，含碳球团中的还原剂增多，与球团中的铁氧化物接触面积更大，在还原的时候，还原剂与铁氧化物能够更多的接触，促进还原反应，使更多的铁氧化物被还原。但是无论在哪个碳氧比下，三种球团的金属化率大小始终未煤粉球团 > 布袋灰球团 > 重力灰球团。且布袋灰球团与煤粉球团金属化率较为接近，而重力灰球团的金属化率较低。因此布袋灰相较于重力灰更适合用来进行还原。

3.2. 碳氧比对抗压强度的影响

图 3 所表示的是在 1200℃、还原时间为 10 min 时，不同还原剂所制备的含碳球团碳氧比和抗压强度的关系。试验结果表明，球团还原后的抗压强度随着碳氧比的升高而呈现降低趋势。碳氧比从 0.9 升至 1.1 时，重力灰和布袋灰制备的含碳球团强度分别从 2457 N 和 2220 N 降低到 749 N 和 484 N，煤粉制备的含碳球团降低的趋势要缓和一些，从 787 N 降低到 377 N。在任意一种碳氧比下，抗压强度的大小顺序始终未重力灰球团 > 布袋灰球团 > 煤粉球团。因此运用重力灰所制备的球团在抗压强度方面要优于布袋灰球团。

图 4 为不同碳氧比下三种球团的宏观形貌。从图中可以看出，对于同一种球团，碳氧比越大的团块，表面产生裂纹更多，形状的变化也更大。结合图，碳氧比越大，抗压强度越低，这种物理变化导致了其强度的劣化。这是由于随着碳氧比的升高，还原反应更加剧烈，因此产生更多的裂纹，进而导致抗压强度降低。

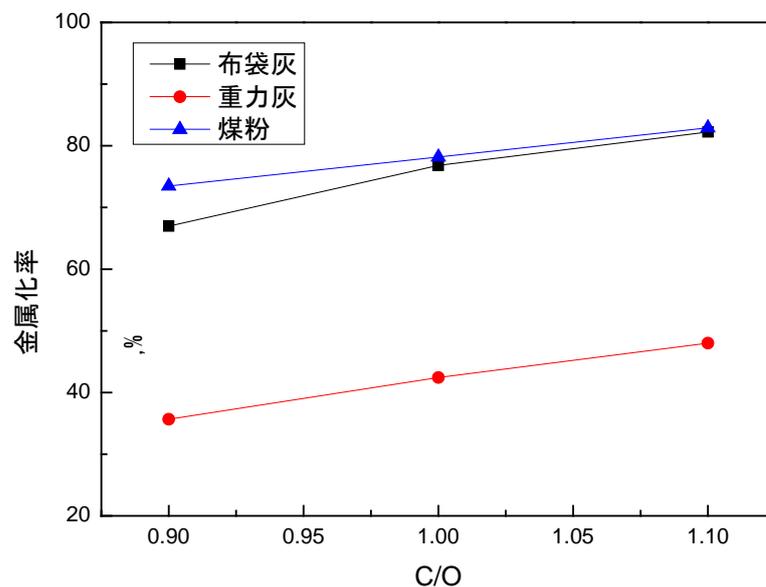


Figure 2. The relationship between metallization rate and C/O

图 2. 金属化率与碳氧比的关系

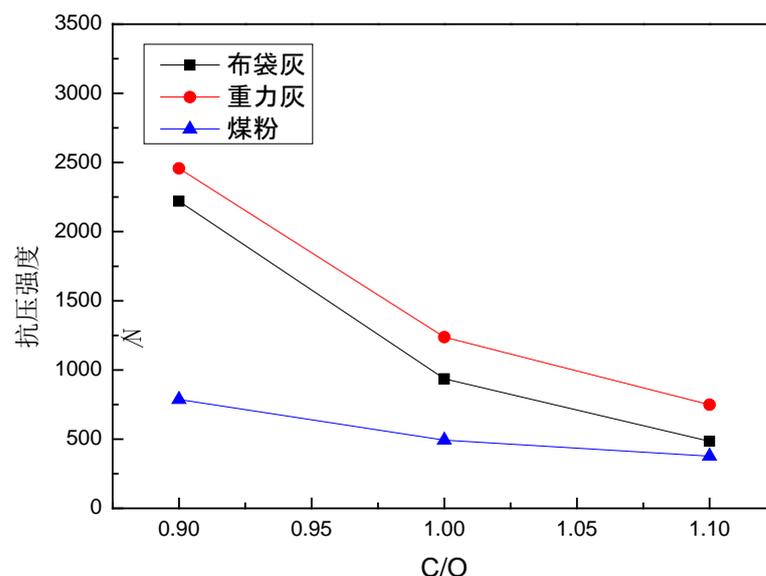


Figure 3. The compressive strength under different C/O

图 3. 不同碳氧比下的抗压强度

3.3. 碳氧比对体积收缩率的影响

在实际的钢铁生产中，料层的厚度会影响到热量的传输，所以对于球团的体积收缩率的研究也是非常必要的。在试验中，我们进行了球团还原前后的体积测量，研究含碳球团在还原过程中体积的变化情况，以期对相关问题提供参考。

图 5 所表示的是不同还原剂所制备的含碳球团还原后的体积收缩率与碳氧比的关系。由结果可知，在 1200℃，还原时间为 10 min 的条件下，随着碳氧比的增大，球团还原后体积收缩率是呈现降低趋势的。从碳氧比为 0.9 到碳氧比为 1.1，重力除尘灰和布袋除尘灰所制备的含碳球团体积收缩率分别从 0.53 和

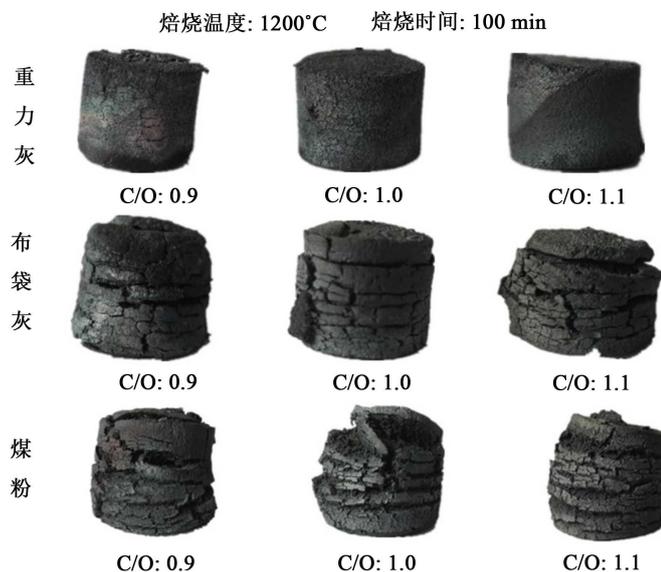


Figure 4. Different C/O after the reduction of the morphology

图 4. 不同碳氧比下还原后的形貌

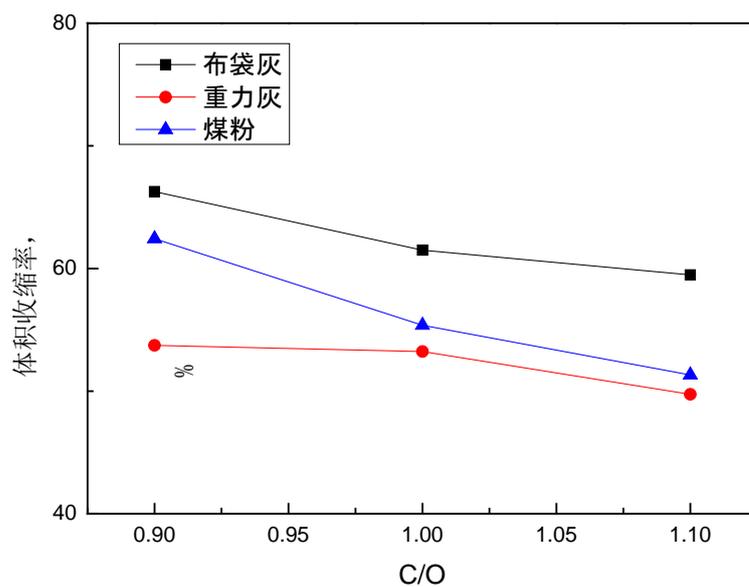


Figure 5. Volume reduction after reduction under different C/O

图 5. 不同碳氧比下还原后的体积收缩率

0.66 降到了 0.49 和 0.59；煤粉所制备的含碳球团体积收缩率从 0.62 降低到了 0.48。结合图 5 可以看到，随着碳氧比的增大，还原后球团表面产生多裂纹更多，形貌发生的改变更大。这是因为碳氧比越高，含碳球团含有的还原剂越多，所以在反应球团的还原反应进行的比较充分，在还原 10 min 的时候，外部裂纹增加，内部空隙增加，所以体积发生了膨胀，对于球团整体而言，则是抑制了体积收缩率的增加。

4. 结论

1) 随着碳氧比的升高，三种含碳球团的金属化率都是逐渐升高的，而且金属化率的大小排序始终未煤粉球团 > 布袋灰球团 > 重力灰球团。

2) 随着碳氧比的升高, 三种含碳球团的抗压强度是逐渐降低的。整体而言, 煤粉的抗压强度是低于布袋灰和重力灰的, 这是其材料的本身性质差异导致的。

3) 三种含碳球团的体积收缩率随着碳氧比的升高而降低。

4) 运用布袋灰和重力灰制备的含碳球团进行还原时可行的, 布袋灰含碳球团的还原更好, 具有更高的回收利用价值。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(U1260202)。

参考文献 (References)

- [1] 张汉良. 高炉瓦斯泥综合利用评述[J]. 金属矿山, 2008, 11(增刊): 131-136.
- [2] 王涛. 国外钢厂含锋粉尘的循环利用[J]. 炼钢, 2002, 18(5): 50-54.
- [3] 杨丽芬. 国外含铁尘泥的处理与利用技术简介[J]. 冶金环保情报, 1992(3): 12.
- [4] 郭延杰. 日本钢铁厂含锌粉尘的综合利用[J]. 中国资源综合利用, 2003(1): 4-5.
- [5] 余雪峰, 薛庆国, 董杰吉, 等. 钢铁厂典型粉尘的基本物性与利用途径分析[J]. 过程工程学报, 2009, 9(1): 7-12.
- [6] 巨建涛, 党要均. 钢铁厂含锌粉尘处理工艺的现状与发展[J]. 材料导报, 2015, 28(5): 109-113.
- [7] 胡晓军, 郭婷, 周国志. 含锌冶金粉尘处理技术的发展和现状[J]. 钢铁研究学报, 2011, 23(7): 1-5.
- [8] 许海川, 周和敏, 齐渊洪, 等. 转底炉处理钢厂固废工艺的工程化及其生产实践[J]. 钢铁, 2012, 47(3): 89-93.
- [9] 王东彦, 陈伟庆, 周荣章, 等. 处理含锌铅钢铁厂粉尘的 Inmetco 工艺[J]. 环境工程, 1997, 15(3): 49-52.
- [10] 孟巍, 王传琳. 高炉含锌粉尘综合利用的研究[C]//第八届(2011)中国钢铁论文集: 2011 年卷. 北京, 2011: 2078-2084.
- [11] 张建良, 闫永芳, 徐萌, 等. 高炉含锌粉尘的脱锌处理[J]. 钢铁, 2006, 41(10): 78-81.
- [12] 巨建涛, 党要均, 赵忠宇, 等. 高炉除尘灰和转炉尘泥的还原脱锌试验[J]. 钢铁钒钛, 2013, 34(4): 36-40.
- [13] 邢相栋, 张建良, 曹明明, 等. 高炉含锌粉尘中铁资源的富集回收[J]. 矿业工程, 2012, 32(3): 86-88.
- [14] 刘瑜, 刘秉国, 邢晓钟. 高炉瓦斯泥碳热还原脱锌研究[J]. 无机盐工业, 2013, 45(10): 39-41.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: meng@hanspub.org