

含硼铁精矿用于巴润精矿氧化球团生产的实验研究

付小佼, 储满生

(东北大学 材料与冶金学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 在实验室条件下,研究了含硼铁精矿对巴润精矿氧化球团制备工艺及冶金性能的影响. 研究表明:球团原料中外配 5.0% 的含硼铁精矿,可将混合料中的巴润精矿配比(质量分数)提高到 40%,制备的氧化球团满足高炉冶炼要求;含硼铁精矿可增加巴润精矿氧化球团的抗压强度和降低还原膨胀率,并可降低球团的焙烧温度;当含硼铁精矿配加量(质量分数)从 0 增加到 7.5% 时,球团抗压强度从 $2\,630\text{ N}\cdot\text{个}^{-1}$ 上升到 $3\,709\text{ N}\cdot\text{个}^{-1}$,还原膨胀率从 25.69% 降低到 15.53%;外配质量分数为 7.5% 的含硼铁精矿时,球团的焙烧温度可从 $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降低至 $1\,150\text{ }^{\circ}\text{C}$,巴润精矿氧化球团满足高炉生产要求.

关 键 词: 高碱负荷铁矿;巴润精矿;含硼铁精矿;氧化球团;冶金性能

中图分类号: TF 046.6

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)01-0052-05

Experimental Study on Preparation of Oxidized Barun Iron Ore Pellets with Boron-Bearing Iron Concentrate Addition

FU Xiao-jiao, CHU Man-sheng

(School of Materials & Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: CHU Man-sheng, E-mail: chums@smm.neu.edu.cn)

Abstract: Under laboratory conditions, experiments on the effect of boron-bearing iron concentrate on the preparation process and metallurgical properties of oxidized Barun iron ore pellets were carried out. The results show that, when the additional addition of boron-bearing iron concentrate is 5.0%, the oxidized iron ore pellets with 40% Barun iron ore content can meet the requirements of blast furnace smelting. Boron-bearing iron concentrate can increase the crushing strength of pellets and decrease the reduction swelling rate. With increasing the additional addition of boron-bearing iron concentrate from 0 to 7.5%, the crushing strength is raised from $2\,630\text{ N}$ to $3\,709\text{ N}$, the reduction swelling rate is decreased from 25.69% to 15.53%. When the additional addition of boron-bearing iron concentrate is 7.5%, the pellets roasting temperature can be decreased from $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $1\,150\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the quality of the oxidized Barun iron ore pellets can still meet the requirements of blast furnace smelting.

Key words: iron ore concentrate with high alkalis load; Barun iron ore; boron-bearing iron concentrate; pellets; metallurgical properties

目前,随着包钢炼铁原料的生产基地白云鄂博西矿的不断开采,其巴润精矿(即白云鄂博西矿铁精矿)产量必然要大量增加,在生产球团矿的原料中配加巴润精矿已成为必然趋势. 由于巴润精矿中的 K, Na, F 等有害组元含量较高,将其用于氧化球团生产,存在着球团还原膨胀率高的

缺点,因此,巴润精矿的开发利用一直受到球团还原膨胀率高的困扰^[1-4]. 包钢在原料中配加巴润精矿,不仅有利于白云鄂博铁矿的合理开发利用,而且对于包钢减少对外矿的依赖,改善包钢高炉炉料结构,降低生铁成本有重要的意义. 因此,如何确保球团还原膨胀率不超标的条件下,最大限

收稿日期: 2013-11-28

基金项目: 教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20100042110004); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N090502004).

作者简介: 付小佼(1989-),女,山东潍坊人,东北大学博士研究生; 储满生(1973-),男,安徽岳西人,东北大学教授,博士生导师.

度地提高球团配料中巴润精矿的配比是一个亟待解决的问题. 目前的研究表明,包钢球团矿中巴润精矿的配比(质量分数)不能超过 30%,当巴润精矿配比超过 30% 时,球团矿的还原膨胀率超过 20%,属于异常膨胀,对高炉生产极为不利^[5].

含硼铁精矿是硼铁矿经磁选后所得到的,含硼铁精矿中含有较高的 MgO , B_2O_3 , 研究表明这两种成分对于人造块矿的性能有一定改善作用^[6-9]. 因此,本研究提出了将含硼铁精矿用于巴润精矿氧化球团的制备,进行了球团原料中配加 40% 的巴润精矿,添加含硼铁精矿制备氧化球团的实验研究,考察了含硼铁精矿对巴润精矿氧化球团冶金性能的影响规律,为现场提高巴润精矿

配比、改善球团性能、优化制备工艺提供参考和理论依据.

1 实验原料和实验过程

1.1 实验原料

本实验所用铁矿原料为包钢精矿、巴润精矿以及含硼铁精矿,化学成分见表 1. 由表 1 看出,包钢精矿和巴润精矿品位均为 66% 左右,原料中 K , Na , F 含量都高于普通矿,尤其巴润精矿,其碱金属含量更高. 含硼铁精矿中铁的质量分数为 56.05%, B_2O_3 质量分数为 3.86%, MgO 质量分数为 7.84%.

表 1 铁精矿化学成分(质量分数)										
Table 1 Chemical compositions of iron ore concentrate (mass fraction)										%
原料	TFe	FeO	CaO	SiO ₂	MgO	B ₂ O ₃	F	S	K ₂ O	Na ₂ O
巴润精矿	66.50	23.25	1.42	1.18	0.81	—	0.250	0.258	0.128	0.235
包钢精矿	66.90	28.50	0.60	2.83	0.80	—	0.159	0.070	0.120	0.160
含硼铁精矿	56.05	24.29	0.40	5.00	7.84	3.86	—	—	—	—

粒度分析表明,巴润精矿和包钢精矿粒度较细,而含硼铁精矿粒度较粗. 其中,巴润精矿 -0.074 mm 体积分数为 95.0%, -0.045 mm 体积分数为 77.3%; 包钢精矿 -0.074 mm 体积分数为 96.3%, -0.045 mm 体积分数为 76.4%; 含硼铁精矿 -0.074 mm 体积分数为 58.0%, -0.045 mm 体积分数为 38.8%. 仅就原料粒度来说,巴润精矿和包钢精矿是良好的造球原料.

1.2 实验过程

实验过程主要包括生球制备和球团预热、焙烧以及氧化球团的性能检测. 生球制备采用圆盘造球机,直径为 1 000 mm,转速 18 r/min,倾角为 45°. 球团预热、焙烧在马弗炉内进行. 成品氧化球团的抗压强度测定方法采用 GB/T14203—93《铁矿球团抗压强度测定方法》,还原膨胀性能测定采用 GB/T 13240—91《铁矿球团相对膨胀指数的测定方法》.

2 含硼铁精矿加入量对巴润精矿氧化球团质量的影响

2.1 配料方案

本研究中,氧化球团的制备以质量分数 40% 巴润精矿 + 60% 包钢精矿为主原料,膨润土添加量(外配)为 1.0%,通过改变外配含硼铁精矿的

配加量,其配加量(质量分数)分别为 0, 2.5%, 5.0%, 7.5%, 考察含硼铁精矿对巴润精矿氧化球团冶金性能的影响,焙烧温度为 1 200 ℃.

2.2 对生球性能的影响

在本实验范围内,含硼铁精矿以外配形式加入,对生球影响不大,生球落下强度与抗压强度分别稳定在 4 次·个⁻¹, (13~17) N·个⁻¹.

2.3 对成品球团抗压强度的影响

含硼铁精矿配加量对氧化球团抗压强度的影响见图 1. 从图 1 可以看出,随着含硼铁精矿配加量的增加,氧化球团的抗压强度呈逐渐上升的趋势. 当含硼铁精矿配加量从 0 增加到 7.5% 时,球团抗压强度从 2 630 N·个⁻¹ 逐渐上升到 3 709 N·个⁻¹,可以满足高炉生产要求.

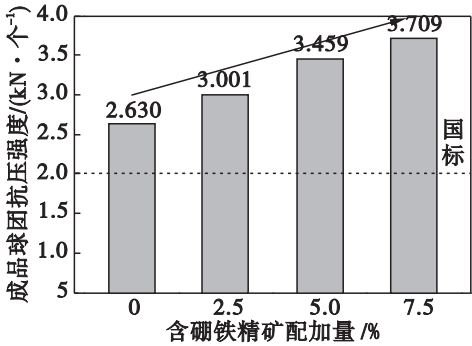
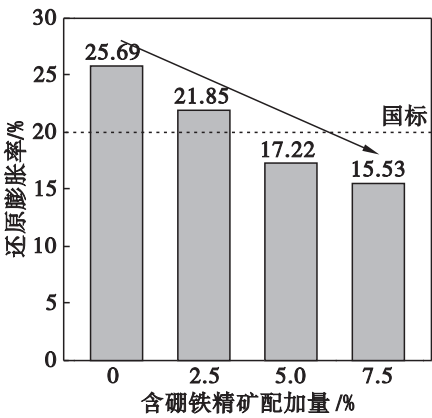


图 1 含硼铁精矿对球团抗压强度的影响
Fig. 1 Effect of boron-bearing iron concentrate on the crushing strength of pellets

2.4 对球团还原膨胀率和还原冷却后强度的影响

图 2 为含硼铁精矿对球团还原膨胀率和还原冷却后强度的影响. 从图 2 可以看出,随着含硼铁精矿配加量的增加,氧化球团的还原膨胀率呈逐渐降低的趋势,还原冷却后强度呈上升的趋势. 当含硼铁精矿配加量从 0 增加到 5.0% 时,球团的还原膨胀率从 25.69% 逐渐降低到 17.22%,达到



了二级品球团的要求 (根据中国黑色冶金行业标准 YB/T 005—2005《酸性铁球团矿》的球团品质要求,二级品膨胀率不大于 20%),可以满足高炉生产要求. 因此,含硼铁精矿外配量为 5.0% 时,巴润精矿配比可提高到 40%. 进一步提高含硼铁精矿配加量至 7.5%,还原膨胀率可降低至 15.53%. 同时,球团还原冷却后强度从 174 N·个⁻¹逐渐上升到 543 N·个⁻¹.

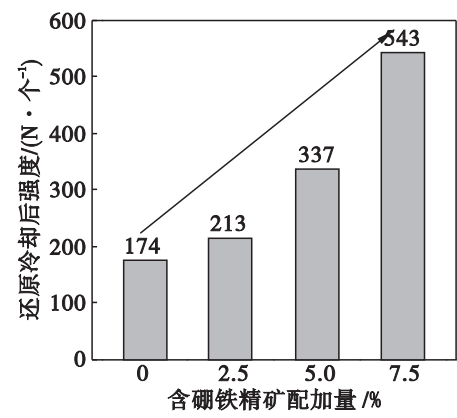


图 2 含硼铁精矿对球团还原膨胀率和还原冷却后强度的影响
Fig. 2 Effect of boron-bearing iron concentrate on the reduction swelling rate and crushing strength after reduction of pellets

2.5 机理探讨

为了探讨含硼铁精矿改善球团性能的机理,本研究对还原前后的含硼铁精矿外配量(质量分

数)为 0,2.5%,5.0%,7.5% 的实验组进行了微观结构分析. 图 3 和图 4 分别为该实验组的还原前和还原后 SEM 图像.

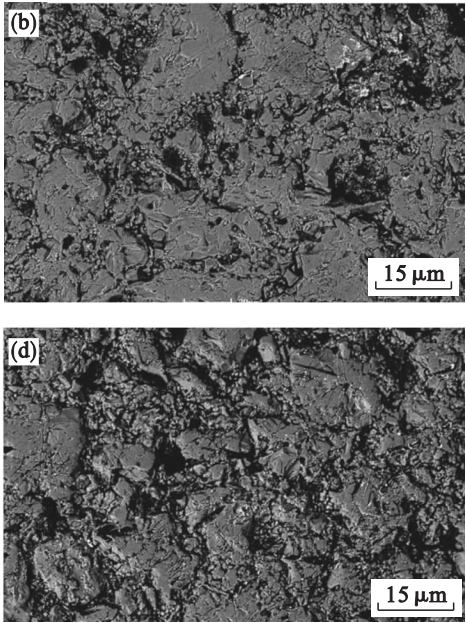
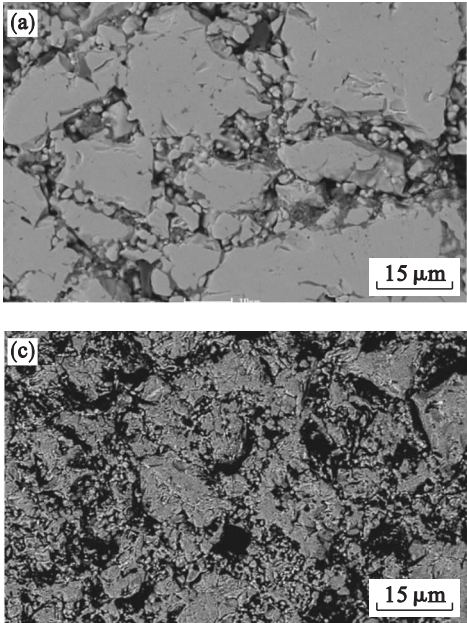


图 3 加入不同量含硼铁精矿的球团还原前 SEM 图像
Fig. 3 SEM images of pellets with different contents of boron-bearing iron concentrate
(a)—0; (b)—2.5%; (c)—5.0%; (d)—7.5%.

含硼铁精矿改善球团性能机理与硼镁复合添加剂相似,可以看出:随着含硼铁精矿配比的提高,还原前球团的颗粒逐渐减小,颗粒之间空隙增

多,渣相也随着增多,其分布更加均匀,综合作用使得球团还原前强度提高;由于还原前球团内部结构对还原后性能有重要影响,氧化铁颗粒逐渐

变小,渣相增多,分布均匀,可以缓冲体积膨胀时产生的应力,同时生成的低熔点渣相可以黏结膨胀过程中可能出现的缝隙裂纹,因此使得还原后球团膨胀率得以降低.不同之处在于,含硼铁精矿实验组球团的空隙较之前硼镁添加剂实验组少,

空隙无聚集现象,还原后球团中的 Fe_2O_3 含量较硼镁添加剂实验组中的多.因此,不难得出结论:含硼铁精矿与硼镁添加剂改善球团性能机理相似,不同之处在于还原前后球团改善程度大小上的差别,前者改善作用优于后者.

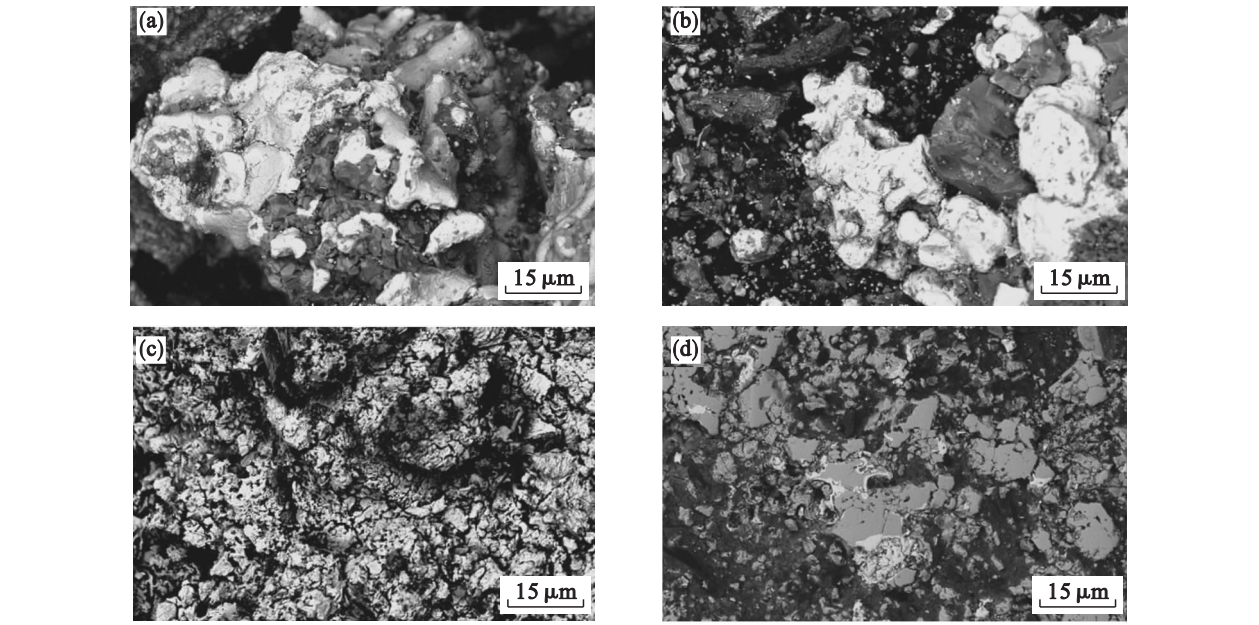


图 4 加入不同量含硼铁精矿的球团还原后 SEM 图像
Fig. 4 SEM images of reduced pellets with different contents of boron-bearing iron concentrate
(a)—0; (b)—2.5%; (c)—5.0%; (d)—7.5%.

3 降低球团焙烧温度研究

3.1 实验方案

从图 1 和图 2 可以看出,巴润精矿氧化球团中配加含硼铁精矿可以明显提高球团的抗压强度和降低球团还原膨胀率.同时,相关研究表明,含硼添加剂可以降低普通氧化球团的焙烧温度^[8-10].因此,进行了含硼铁精矿降低巴润精矿氧化球团焙烧温度的实验研究,探索降低球团焙烧温度下,巴润精矿氧化球团冶金性能变化情况.氧化球团的制备以质量分数 40% 巴润精矿 + 60% 包钢精矿为主原料,膨润土外配量 1.0%,含硼铁精矿外配量 7.5%,焙烧温度分别为 1 200, 1 170, 1 160, 1 150 ℃.

3.2 对成品球团抗压强度的影响

图 5 给出了含硼铁精矿降低巴润精矿氧化球团焙烧温度的实验结果.从图 5 可以看出,随着焙烧温度的降低,球团的抗压强度呈逐渐降低的趋势.当焙烧温度从 1 200 ℃降低到 1 150 ℃时,球团的抗压强度从 3 709 $\text{N} \cdot \text{个}^{-1}$ 逐渐降低到 2 748 $\text{N} \cdot \text{个}^{-1}$,仍然可以满足高炉生产要求.

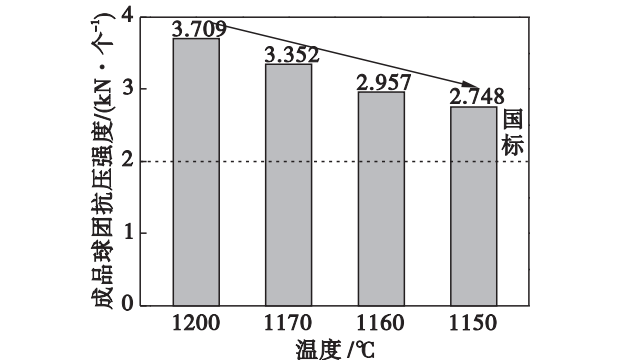


图 5 焙烧温度对氧化球团抗压强度的影响
Fig. 5 Effect of roasting temperatures on the crushing strength of pellets

3.3 对球团还原膨胀率和还原冷却后强度的影响

图 6 给出了降低焙烧温度对配加含硼铁精矿氧化球团还原膨胀率和还原冷却后强度的影响.从图 6 可以看出,随着焙烧温度的降低,球团的还原膨胀率呈逐渐增加的趋势,而还原冷却后强度呈总体降低的趋势.当焙烧温度从 1 200 ℃降低到 1 150 ℃时,球团的还原膨胀率从 15.53% 逐渐增加到 19.05%,球团的还原冷却后强度从 453 $\text{N} \cdot \text{个}^{-1}$ 降低到 317 $\text{N} \cdot \text{个}^{-1}$.

球团抗压强度的降低、还原膨胀率的增加以及还原冷却后强度的降低对于高炉操作会产生不

利的影响. 根据中国黑色冶金行业标准 YB/T 005—2005《酸性铁球团矿》的球团品质要求: 一级品抗压强度不小于 $2\,000\text{ N}\cdot\text{个}^{-1}$, 膨胀率不大于 15%; 二级品抗压强度不小于 $1\,800\text{ N}\cdot\text{个}^{-1}$, 膨

胀率不大于 20%. 因此, 对于外配 7.5% 含硼铁精矿的巴润精矿氧化球团而言, 其焙烧温度应不低于 $1\,150\text{ }^{\circ}\text{C}$. 当球团焙烧温度高于 $1\,150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 球团品质至少满足二级品对抗压强度和还原膨胀性能的要求.

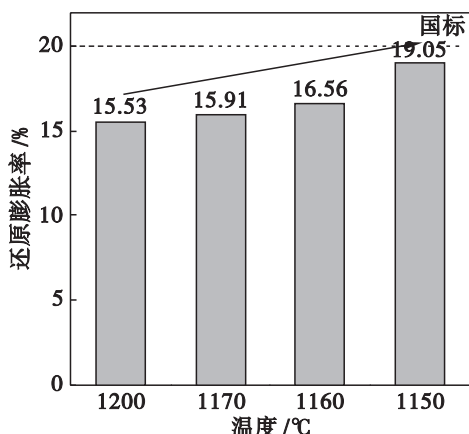
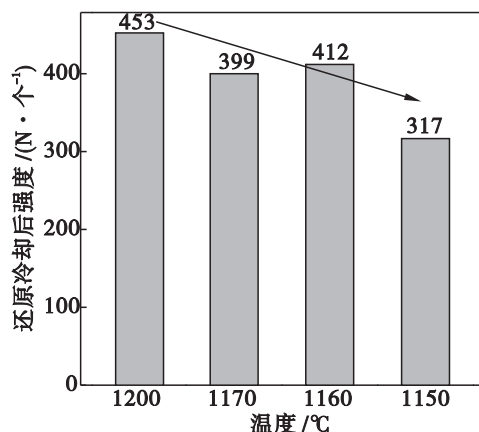


图 6 焙烧温度对氧化球团还原膨胀率和还原冷却后强度的影响

Fig. 6 Effect of roasting temperature on the reduction swelling rate and crushing strength of pellets after reduction



4 结 论

1) 将含硼铁精矿作为包钢精矿与巴润精矿的造球添加剂, 当其外配量(质量分数)为 5.0%, 可将混合料中的巴润精矿配比(质量分数)提高至 40%, 此时巴润精矿氧化球团满足高炉生产的要求.

2) 在本研究范围内, 含硼铁精矿配加量对巴润精矿生球性能影响较小, 其落下强度与抗压强度分别为 $(3.5\sim4.2)$ 次 $\cdot\text{个}^{-1}$, $(13.6\sim17.2)\text{ N}\cdot\text{个}^{-1}$.

3) 造球中外配含硼铁精矿, 可增加巴润精矿氧化球团的抗压强度和降低还原膨胀率, 当含硼铁精矿配加量从 0 增加到 7.5% 时, 球团抗压强度从 $2\,630\text{ N}\cdot\text{个}^{-1}$ 逐渐上升到 $3\,709\text{ N}\cdot\text{个}^{-1}$, 还原膨胀率从 25.69% 逐渐降低到 15.53%, 还原冷却后强度从 $174\text{ N}\cdot\text{个}^{-1}$ 逐渐上升到 $543\text{ N}\cdot\text{个}^{-1}$.

4) 巴润精矿氧化球团中配加含硼铁精矿可以降低球团的焙烧温度, 当外配 7.5% 的含硼铁精矿时, 球团的焙烧温度可从 $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降低至 $1\,150\text{ }^{\circ}\text{C}$, 巴润精矿氧化球团满足高炉生产的要求.

参考文献:

[1] 苏胜旺, 唐绍义, 赵德贵. 白云鄂博西矿氧化矿选矿新工艺[J]. 矿冶工程, 2010, 30(4): 36–39.
(Su Sheng-wang, Tang Shao-yi, Zhao De-gui. Novel techniques for mineral processing of oxide ore in Baiyunebo west mine[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2010, 30(4): 36–39.)

[2] Frazer F W, Westenberger H, Boss K H, et al. Relationship between basicity and swelling on reduction of iron-ore pellets

[J]. *International Journal of Mineral Processing*, 1975, 2 (4): 353–365.

[3] 张凯, 杨兆祥. $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Fe}_3\text{O}_4$ 系固结块的抗压强度和还原性[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 1997, 18(6): 589–592.

(Zhang Kai, Yang Zhao-xiang. Compressive strength and reducibility of $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Fe}_3\text{O}_4$ agglomerate [J]. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 1997, 18(6): 589–592.)

[4] Volzone C, Cavalieri A L. Influence of smectites on magnetite pellet strengths[J]. *Journal of Materials Science Letters*, 1996, 15(17): 1532–1535.

[5] Sharma T, Gupta R C, Prakash B. Effect of gangue content on swelling of behavior of iron ore pellets [J]. *Minerals Engineering*, 1990, 3(5): 509–516.

[6] Osman S, Ali I A. The bonding/strengthening mechanism of colemanite added organic binders in iron ore pelletization [J]. *International Journal of Mineral Processing*, 2012, 110/111: 90–100.

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

[8] 陈世强, 储满生, 柳政根, 等. 氧化球团使用硼镁复合添加剂的实验研究[C] // 第七届中国钢铁年会论文集. 北京: 中国金属学会, 2009: 407–412.

(Chen Shi-qiang, Chu Man-sheng, Liu Zheng-gen, et al. Experimental study on application of boron and magnesium additives to oxidized pellet [C] // 2009 CSM Annual Meeting Proceedings. Beijing: Chinese Society of Metals, 2009: 407–412.)

[9] Sharma T, Gupta R C, Prakash B. Effect of the reduction rate on the swelling behaviour of iron ore pellets [J]. *ISIJ International*, 1992, 32(7): 812–818.

[10] Yu W, Zhu D Q, Chun T J, et al. Enhancing the pellation of Brazilian hematite by adding boron bearing additives [C] // The 2nd International Symposium on High-Temperature Metallurgical Processing. San Diego: American Iron and Steel Institute, 2011: 199–210.