

文章编号: 1004-0609(2006)11-1965-06

铁精矿粒度对球团强度的影响^①

范晓慧¹, 袁晓丽¹, 姜涛¹, 袁礼顺¹, 李光辉¹, 庄剑鸣¹, 唐启荣², 杨雪峰²

(1. 中南大学 资源加工与生物工程学院, 长沙 410083;

2. 昆明钢铁集团有限责任公司, 昆明 650302)

摘 要: 以大红山、曼南坎和滇滩等精矿的粒度以及膨润土用量和润磨时间为因子, 以生球落下强度、生球爆裂温度、预热球抗压强度和焙烧球抗压强度为评价指标, 进行了五因子二次回归组合实验研究。结果表明: 随着铁精矿小于 0.074 mm 粒级含量的增加, 生球爆裂温度下降, 预热球和焙烧球抗压强度提高; 当铁精矿小于 0.074 mm 粒级含量小于 75% (质量分数) 时, 生球落下强度逐渐上升, 当小于 0.074 mm 粒级含量为 75% 时, 生球落下强度达到最大值, 之后有下降趋势。并不是铁精矿粒度越细球团强度就会越好, 铁精矿粒度还应该满足一个合适的粒度组成。

关键词: 铁精矿; 粒度; 球团强度

中图分类号: TF 046

文献标识码: A

Effect of particle size distribution of concentrate on palletizing quality

FAN Xiao-hui¹, YUAN Xiao-li¹, JIANG Tao¹, YUAN Li-shun¹,

LI Guang-hui¹, ZHUANG Jian-ming¹, TANG Qi-rong², YANG Xue-feng²

(1. School of Resources Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Kunming Iron and Steel (Group) Co. Ltd., Kunming 650302, China)

Abstract: Orthogonal experiments were done by using different size distribution of Dahongshan concentrate, Man-nankan concentrate, Diantan concentrate, bentonite dosage and time of damp milling and so on as factors, and the drop strength of green pellet, shock temperature of green pellet, compression strength of preheat pellet, compression strength of backing pellet as evaluating index. The results show that as the content of less than 0.074 mm grade iron concentrate increases, the shock temperature of green compression decreases; the strength of preheated pellet and the compression strength of backing pellet are improved; the drop strength of green pellet of iron concentrate increases when the content of less than 0.074 mm grade iron concentrate is lower than 75%; when the content of less than 0.074 mm grade iron concentrate is 75%, the drop strength of green pellet of mixed material is maximum. It can be concluded that the palletizing quality does not become better throughout as iron concentrate size decreases, actually iron concentrate should have a good size distribution.

Key words: iron concentrate; particle size; palletizing quality

球团矿具有改善高炉炉料结构、提高高炉利用系数、降低焦比等优点, 已成为高炉理想炉料结构

必不可少的组成部分, 在炼铁生产中起着越来越重要的作用^[1~9]。目前, 我国球团生产处于快速发展

① 基金项目: 云南省省院省校合作资助项目(2004YX14); 新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-05-0690)

收稿日期: 2006-04-27; 修订日期: 2006-06-26

通讯作者: 范晓慧, 教授; 电话: 0731-8830542; 传真: 0731-8710225; E-mail: CSUfanxiaohui@126.com

阶段, 1999 年以前, 我国球团矿年产量小于 1 000 万 t, 2001 年球团矿产量达到了 1 500 万 t, 2003 年产量突破 3 000 万 t, 2005 年产量超过 5 000 万 t, 据估计 2006 年产量将达到 6 700 万 t 左右^[10~13]。原料合适的粒度组成、适宜的水分及稳定的化学组成是生产优质球团矿的 3 个基本因素^[14]。国外造球原料粒度较细, 小于 0.074 mm 含量一般在 85% 以上; 国内造球原料粒度较粗, 小于 0.074 mm 含量一般在 80% 以下^[15]。昆钢在 2004 年建成了年产 120 万 t 球团矿的链篦机—回转窑生产线, 使用的原料种类多, 粒度比较粗^[16]。本文作者针对昆钢使用的主要原料大红山、曼南坎和滇滩 3 种铁精矿, 研究了铁精矿粒度对球团强度的影响。

1 实验

1.1 原料

大红山矿、曼南坎矿、滇滩矿的化学成分和粒度组成分别列于表 1 和表 2。

从表 1 可知, 大红山和滇滩矿为磁铁矿类型, 曼南坎 FeO 为 8.22% (质量分数), 经过物相分析, 其含磁铁矿 17.13%, 假象赤铁矿 31.43%, 赤、褐铁矿 15.68%; 3 种铁精矿的 TFe 均较低, 大红山矿 SiO₂ 最高为 7.74%。

由表 2 可知, 大红山矿最细, 小于 0.074 mm 为 72.95%; 曼南坎和滇滩矿较粗, 小于 0.074 mm

只有 52.95% 和 27.50%。所以, 对于造球来讲, 曼南坎和滇滩矿都偏粗。

1.2 研究方法

实验流程包括磨矿、配料、混匀、润磨、造球、干燥、预热和焙烧等几个环节。磨矿采用 $d\ 500\text{ mm}\times 600\text{ mm}$ 球磨机。造球配料以 5 kg 含铁原料(润磨时为 6 kg)为基准, 膨润土按一定比例外加, 进行人工混匀。润磨采用 $d\ 500\text{ mm}\times 500\text{ mm}$ 无级调速润磨机, 润磨机的转速为 35~40 r/min, 介质充填率为 12%。造球圆盘主要技术参数为: 直径 800 mm, 转速 38 r/min, 边高 150 mm, 倾角 47°。

2 结果与分析

铁精矿的配矿方案为: $m(\text{滇滩矿}): m(\text{大红山矿}): m(\text{曼南坎矿}) = 46: 29: 25$ 。

2.1 回归实验设计与结果

为了考察铁精矿的粒度对造球性能的影响, 按五因子二次回归组合实验设计进行了实验研究, 实验条件为: 盐亭 3 号膨润土、润磨水分 4%、造球时间 10 min、造球水分 8%、预热温度 900 °C、预热时间 10 min、焙烧温度 1 280 °C、焙烧时间 10 min。回归实验因子和水平及实验结果分别列于表 3 和表 4。

表 1 铁精矿的化学成分

Table 1 Chemical composition of iron concentrates (mass fraction, %)

Mineral	TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	Ig
Dahongshan	64.26	25.16	7.74	1.29	0.49	0.10	0.041	0.017	0.40
Diantan	62.72	21.59	3.96	0.89	0.49	5.17	0.021	0.016	1.40
Mannankan	65.05	8.22	3.28	1.54	0.31	0.076	0.180	0.016	2.10

表 2 铁精矿的粒度组成

Table 2 Particle size distribution of iron concentrates (mass fraction, %)

Mineral	> 0.50 mm	0.50~0.25 mm	0.25~0.15 mm	0.15~0.10 mm	0.10~0.074 mm	0.074~0.044 mm	< 0.044 mm	< 0.074 mm
Dahongshan	0.15	0.87	5.49	10.19	10.34	25.45	47.50	72.95
Diantan	8.15	13.51	29.44	16.00	5.47	15.87	14.56	27.50
Mannankan	3.25	8.97	18.53	10.90	5.40	15.34	37.61	52.95

表 3 回归实验的因子及水平编码

Table 3 Factors and levels of orthogonal experiment

Level	X_1 (Diantan [*])/ %	X_2 (Dahongshan [*])/ %	X_3 (Mannankan [*])/ %	X_4 (Bentonite dosage)/ %	X_5 (Time of damp milling)/ min
- 1. 718	27. 50	72. 950	52. 950	0. 500	0
- 1	40. 46	77. 520	61. 528	0. 918	2. 09
0	58. 50	83. 875	73. 475	1. 500	5. 00
1	76. 54	90. 230	85. 422	2. 082	7. 91
1. 718	89. 59	94. 800	94. 000	2. 500	10. 00

* —Content of less than 0. 074 mm grade iron concentrates.

表 4 铁精矿粒度回归实验结果

Table 4 Results of regression expirment of iron concentrates

No.	Particle size distribution of iron concentrate [*] / %	X_1 Particle size distribution of Daintan [*] / %	X_2 Particle size distribution of Dahongshan [*] / %	X_3 Particle size distribution of Mannankan [*] / %	X_4 Bentonite dosage/ %	X_5 Time of damp milling/ min	Y_1 Drop strength/ (times • (0. 5m) ^{- 1})	Y_2 Shock temperature/ ℃	Y_3 Compression strength of preheated pellet/ N	Y_4 Compression strength of backing pellet/ N
1	47. 51	27. 50	75. 30	52. 10	2. 00	5. 00	8. 40	600	1 071	4 137
2	55. 04	27. 50	81. 50	75. 00	2. 00	5. 00	16. 70	450	1 126	3 248
3	62. 80	48. 50	78. 60	70. 80	1. 39	8. 11	23. 10	390	1 114	2 946
4	62. 80	48. 50	78. 60	70. 80	2. 11	1. 89	17. 00	330	886	3 818
5	64. 66	48. 50	85. 00	70. 80	1. 39	1. 89	10. 60	355	954	3 744
6	64. 66	48. 50	85. 00	70. 80	2. 61	8. 11	24. 40	360	1 193	2 690
7	65. 27	62. 20	81. 50	52. 10	1. 50	5. 00	15. 50	405	1 112	3 807
8	66. 13	48. 50	78. 60	84. 10	1. 39	1. 89	5. 50	370	860	3 949
9	66. 13	48. 50	78. 60	84. 10	2. 11	8. 11	19. 50	370	998	2 854
10	67. 99	48. 50	85. 00	84. 10	1. 39	8. 11	19. 90	415	725	2 598
11	67. 99	48. 50	85. 00	84. 10	2. 11	1. 89	22. 00	360	1 179	3 320
12	69. 20	62. 20	75. 30	75. 00	1. 50	5. 00	12. 90	420	1 016	3 538
13	71. 00	62. 20	81. 50	75. 00	0. 50	5. 00	8. 90	425	1 150	3 722
14	71. 00	62. 20	81. 50	75. 00	0. 80	5. 00	9. 90	470	960	2 458
15	71. 00	62. 20	81. 50	75. 00	1. 50	0. 00	4. 30	520	334	3 384
16	71. 00	62. 20	81. 50	75. 00	1. 50	5. 00	14. 80	380	1 096	3 470
17	71. 00	62. 20	81. 50	75. 00	2. 50	5. 00	21. 00	350	1 206	2 780
18	71. 00	62. 20	81. 50	75. 00	1. 50	10. 00	21. 70	370	1 246	3 048
19	71. 00	62. 20	81. 50	75. 00	1. 50	10. 00	21. 70	370	1 113	2 784
20	75. 00	62. 20	94. 80	75. 00	1. 50	5. 00	17. 20	380	1 200	3 305
21	75. 75	62. 20	81. 50	94. 00	1. 50	5. 00	22. 20	405	895	2 999
22	79. 41	84. 60	78. 60	70. 80	1. 39	1. 89	15. 30	415	1 130	3 675
23	79. 41	84. 60	78. 60	70. 80	2. 11	8. 11	29. 50	355	1 330	2 120
24	81. 27	84. 60	85. 00	70. 80	1. 39	8. 11	11. 10	425	1 183	3 311
25	81. 27	84. 60	85. 00	70. 80	2. 61	1. 89	28. 90	395	1 174	2 970
26	82. 74	84. 60	78. 60	84. 10	1. 39	8. 11	25. 50	365	1 299	2 075
27	82. 74	84. 60	78. 60	84. 10	2. 11	1. 89	22. 00	360	1 261	3 633
28	83. 56	89. 50	81. 50	75. 00	1. 50	5. 00	20. 70	360	1 218	2 818
29	84. 59	84. 60	85. 00	84. 10	1. 39	1. 89	12. 60	420	1 163	2 950
30	84. 59	84. 60	85. 00	84. 10	2. 61	8. 11	26. 10	365	1 124	1 938

2.2 铁精矿粒度对球团强度的影响

在膨润土用量 0.8%，润磨时间 4 min，预热温度 900 ℃，预热时间 10 min，焙烧温度 1280 ℃，焙烧时间 10 min 的条件下，研究了铁精矿粒度对球团强度的影响。

2.2.1 铁精矿对生球落下强度的影响

由回归实验结果经回归分析建立了生球落下强度的回归模型为

$$Y_1 = 162.21 + 3.73X_1 - 3.19X_2 - 3.77X_3 - 40.223X_4 + 11.32X_5 - 4.665975 \times 10^{-2}X_1X_2 - 2.22 \times 10^{-3}X_1X_3 + 9.04 \times 10^{-2}X_1X_4 - 5.50 \times 10^{-3}X_1X_5 + 3.76 \times 10^{-2}X_2X_3 + 0.67X_2X_4 - 0.14X_2X_5 - 0.10X_3X_4 + 4.60 \times 10^{-2}X_3X_5 - 1.18X_4X_5 + 1.68 \times 10^{-3}X_1^2 + 1.73 \times 10^{-2}X_2^2 + 5.93 \times 10^{-3}X_3^2 + 0.29X_4^2 - 3.14 \times 10^{-2}X_5^2 \quad (1)$$

铁精矿粒度对生球落下强度的影响如图 1 所示。当铁精矿小于 0.074 mm 粒级含量从 50% 增加到 75%，铁精矿的生球落下强度逐渐上升，因为颗粒逐渐变细，又有合适的粒度组成，球内颗粒之间接触点愈多，则生球中粒子排列愈紧密，其形成的毛细管平均直径也愈小，所以产生的毛细压愈高，生球落下强度就愈高；在铁精矿小于 0.074 mm 粒级含量为 75% 时，生球落强度达到最大值，这时大红山矿、曼南坎矿和滇滩矿的小于 0.074 mm 粒级含量分别为 62.2%、94.8% 和 75%，大红山矿小于 0.074 mm 粒级含量达到最大值；之后，有下降的趋势，这是因为随着粒度的进一步细化，铁精矿的粒度组成发生变化，所以影响了生球落下强度的提高。

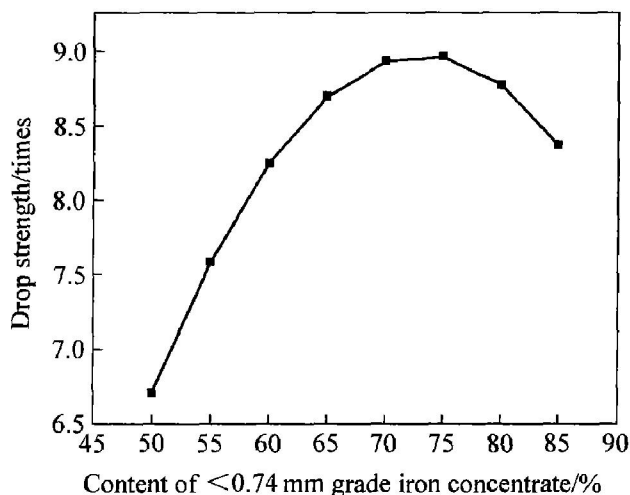


图 1 铁精矿粒度对生球落下强度的影响

Fig. 1 Effect of particle size distribution of iron concentrate on drop strength of green pellet

2.2.2 铁精矿粒度对生球爆裂温度的影响

由回归实验结果经回归分析建立了生球爆裂温度的回归模型为

$$Y_2 = 6175.96 - 6.31X_1 - 92.44X_2 - 45.26X_3 - 8.26X_4 - 11.55X_5 + 0.12X_1X_2 - 0.10X_1X_3 - 0.78X_1X_4 - 0.18X_1X_5 + 0.45X_2X_3 - 2.50X_2X_4 - 0.15X_2X_5 - 0.59X_3X_4 + 2.06 \times 10^{-2}X_3X_5 + 5.37X_4X_5 + 4.69 \times 10^{-2}X_1^2 + 0.33X_2^2 + 0.10X_3^2 + 68.39X_4^2 + 2.16X_5^2 \quad (2)$$

铁精矿粒度对生球爆裂温度影响如图 2 所示。当铁精矿小于 0.074 mm 粒级含量从 50% 增加到 70%，生球爆裂温度逐渐降低，这是因为小于 0.074 mm 粒级含量增加，生球变得更紧密，生球表里的湿度差也更大，因表里收缩不均匀，易产生裂纹，同时，细颗粒形成的生球，其内部毛细管孔径非常小，水分迁移慢，容易形成干壳，蒸汽向外扩散的阻力愈大，过剩蒸汽就愈多，生球产生爆裂的可能性也就越大，故生球爆裂温度降低；之后，爆裂温度变化不大，这是因为铁精矿粒度超过一定细度后，粒度细度进一步提高对爆裂温度影响也较小。

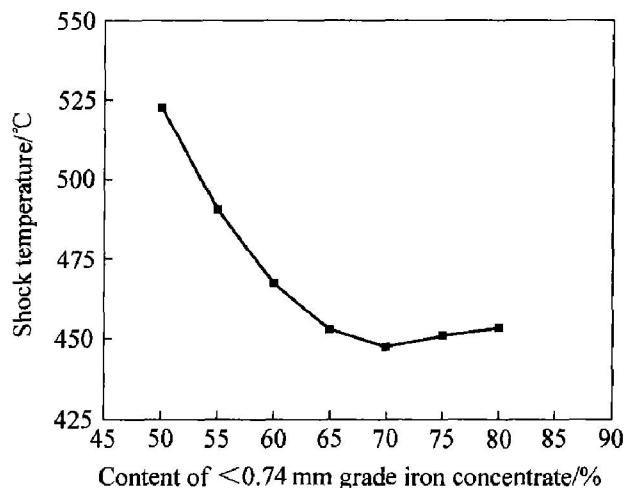


图 2 铁精矿粒度对生球爆裂温度的影响

Fig. 2 Effect of particle size distribution of iron concentrate on shock temperature of green pellet

2.2.3 铁精矿粒度对预热球抗压强度的影响

由回归实验结果经回归分析建立了预热球抗压强度的回归模型为

$$Y_3 = -2978.29 + 37.50X_1 - 18.69X_2 + 51.43X_3 + 487.09X_4 + 436.56X_5 - 0.66X_1X_2 + 20X_1X_3 - 5.96X_1X_4 + 0.57X_1X_5 - 0.65X_2X_3 - 3.02X_2X_4 - 3.04X_2X_5 + 1.23X_3X_4 - 1.27X_3X_5 - 24.43X_4X_5 + 0.11X_1^2 + 0.79X_2^2 - 6.63 \times 10^{-2}X_3^2 + 81.19X_4^2 - 6.12X_5^2 \quad (3)$$

铁精矿粒度对预热球抗压强度的影响如图 3 所示。当铁精矿小于 0.074 mm 粒级含量由 50% 增加到 85%, 铁精矿的预热球的抗压强度明显提高, 由 718 N 提高到 1 305 N。这是因为预热过程中磁铁矿迅速氧化成 Fe_2O_3 并形成颗粒之间的粘结相。同时, 磁铁矿氧化生成的 Fe_2O_3 晶粒表面原子具有较高的迁移能力, 促进相邻颗粒之间形成晶键。颗粒越细, 形成的晶键越多, 预热球抗压强度越大。

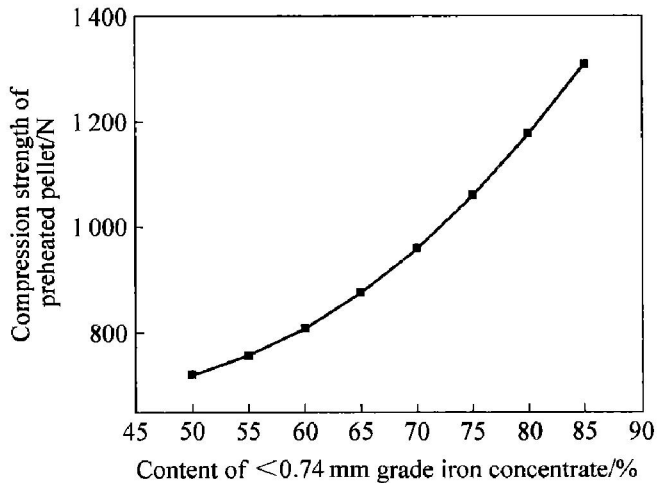


图 3 铁精矿粒度对预热球抗压强度的影响

Fig. 3 Effect of particle size distribution of iron concentrate on compression strength of preheat pellet

2.2.4 铁精矿粒度对焙烧球抗压强度的影响

由回归实验结果经回归分析建立了焙烧球抗压强度的回归模型为

$$Y_4 = 14\,032.31 - 108.44X_1 - 287.53X_2 + 194\,594X_3 + 1884.73X_4 - 918.29X_5 + 1.59X_1X_2 - 7.61 \times 10^{-2}X_1X_3 - 6.56X_1X_4 - 0.85X_1X_5 - 3.67X_2X_3 - 34.78X_2X_4 + 16.84X_2X_5 + 22.67X_3X_4 - 5.66X_3X_5 - 74.24X_4X_5 - 8.13 \times 10^{-2}X_1^2 + 2.53X_2^2 + 0.54X_3^2 - 44.49X_4^2 + 4.27X_5^2 \quad (4)$$

铁精矿粒度对焙烧球抗压强度的影响如图 4 所示。当铁精矿小于 0.074 mm 粒级含量从 50% 增加到 65%, 焙烧球抗压强度逐渐提高, 但提高的幅度不大, 之后, 有较大的提高幅度, 由 2 766 N 增加到 3 500 N。这是因为随着铁精矿粒度的细化, 一方面磁铁矿氧化成新生的 Fe_2O_3 , 形成微晶键, 另一方面赤铁矿晶粒扩散增强, 并产生再结晶和聚晶长大, 颗粒之间的孔隙率下降, 球体积收缩, 球内各颗粒连接成一个致密的整体。颗粒越细, 球内颗粒之间接触点越多, 有利于质点的扩散和粘结, 因而

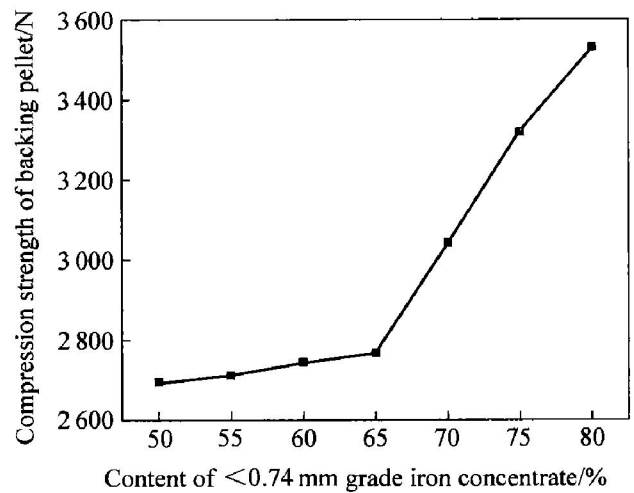


图 4 铁精矿粒度对焙烧球抗压强度的影响

Fig. 4 Effect of particle size distribution of iron concentrate on compression strength of backing pellet

焙烧球的抗压强度提高。

3 结论

1) 当铁精矿小于 0.074 mm 粒级含量小于 75% 时, 生球落下强度逐渐提高; 当铁精矿小于 0.074 mm 粒级含量为 75% 时, 生球落下强度达到最大值, 之后有下降的趋势。

2) 当铁精矿中小于 0.074 mm 粒级含量小于 70% 时, 铁精矿的生球爆裂温度随着粒度变细而降低; 之后, 变化不大。

3) 铁精矿的预热球和焙烧球抗压强度随着粒度的细化逐渐上升。

REFERENCES

- [1] 姜昌伟, 傅菊英, 李思导, 等. 凹山磁铁精矿球团焙烧特性研究[J]. 中南工业大学学报, 1998, 29(3): 435 - 437.
JIANG Chang-wei, FU Ju-ying, LI Si-dao, et al. Studies on the induration property of Aoshan magnetite concentrate pellets[J]. J Cent South Univ Technol, 1998, 29(3): 435 - 437.
- [2] 许满兴, 张宗旺, 冯根生. 中国高炉炉料的新发展[J]. 烧结球团, 1998, 23(1): 3 - 7.
XU Man-xing, ZHANG Zong-wang, FENG Gen-sheng. A new progress of rational burden design for the blast furnace in China[J]. Sintering and Pelletizing, 1998, 23(1): 3 - 7.

- [3] 刘杨发, 龚发泉. 球团工艺及生产[J]. 江西冶金, 1997, 17(5): 4-7.
LIU Yang-fa, GONG Fa-quan. Pelletizing process and industry[J]. Jiangxi Metallurgy, 1997, 17(5): 4-7.
- [4] 王晶平. 球团鼓风环冷机的设计与实践[J]. 球团技术, 2005(3): 21-24.
WANG Jing-ping. Design and practice of pelletizing pressure circular cooler[J]. Pelletizing Technology, 2005(3): 21-24.
- [5] 黎前程, 朱德庆, 潘建. 南非HI磁铁精矿球团试验[J]. 烧结球团, 2005, 20(3): 1-4.
LI Qian-cheng, ZHU De-qing, PAN Jian. Pelletizing test of HI magnetite concentrate[J]. Sintering and Pelletizing, 2005, 20(3): 1-4.
- [6] 孔令坛. 中国球团矿的发展[J]. 球团技术, 2005(1): 2-4.
KONG Ling-tan. Development of pelletizing of China[J]. Pelletizing Technology, 2005(1): 2-4.
- [7] 徐矩良. 我国高炉合理炉料结构探讨[J]. 炼铁, 2004, 23(4): 25-26.
XU Ju-liang. Discussion of our country blast furnace rational loading frame[J]. Iron Making, 2004, 23(4): 25-26.
- [8] 刘国防, 江巨贞. 稳定生产过程提高球团矿产量[J]. 烧结球团, 2001, 26(3): 42-43.
LIU Guo-fang, JIANG Ju-zhen. Smoothing the pelletizing operation to increase pellet output[J]. Sintering and Pelletizing, 2001, 26(3): 42-43.
- [9] 崔智馨, 范晓慧, 姜涛, 等. 巴西卡拉加斯赤铁矿球团还原膨胀性能研究[J]. 矿业工程, 2004, 24(3): 53-58.
CUI Zhi-xing, FAN Xiao-hui, JIANG Tao, et al. A study on the reduction-swelling behaviors of Brazilian Carajas hematite pellets[J]. Mining and Metallurgical, 2004, 24(3): 53-58.
- [10] 黄柱成, 江源, 韩志国, 等. 球团矿中膨润土的作用机理研究[J]. 化工矿物与加工, 2005, 34(8): 13-34.
HUANG Zhu-cheng, JIANG Yuan, HAN Zhi-guo, et al. Study on the mechanism of using bentonite as binder in spheric agglomeration of iron ores[J]. Chemical Mineral Processing, 2005, 34(8): 13-34.
- [11] 李蒙, 任伟, 陈三凤. 国内外球团矿生产现状及展望[J]. 球团技术, 2005(2): 2-13.
LI Meng, REN Wei, CHEN San-feng. The present state and the forecasting of our country and national pelletizing industry[J]. Pelletizing Technology, 2005(2): 2-13.
- [12] 朱德庆, 熊守安, 王昌安, 等. 大冶铁矿竖炉球团润磨工艺的研究[J]. 烧结球团, 2002, 27(4): 15-18.
ZHU De-qing, XIONG Shou-an, WANG Chang-an, et al. Damp milling for improving the stabilization of disc pelletizer and strength of green pellet[J]. Sintering and Pelletizing, 2002, 27(4): 15-18.
- [13] 许满兴. 国内外几种球团矿的冶金性能及质量分析[J]. 球团技术, 2005(3): 2-5.
XU Man-xing. Metallurgy capability and quality analysis of international and national several pelletizing[J]. Pelletizing Technology, 2005(3): 2-5.
- [14] 王昌安, 罗廉明. 铁精矿粒度组成对球团矿的影响[J]. 武汉化工学院学报, 2005, 27(2): 38-41.
WANG Chang-an, LUO LIAN-ming. The influence of pelletizing size distribution quality by using different size of concentrate[J]. J Wuhan Inst Chem Tech, 2005, 27(2): 38-41.
- [15] 傅菊英, 姜涛, 朱德庆. 烧结球团学[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996: 308-309.
FU Ju-ying, JIANG Tao, ZHU De-qing. Study on Sintering and Pelletizing[M]. Changsha: Press of Central South University of Technology Press, 1996: 308-309.
- [16] 王远. 昆钢“十五”期间原燃料科研工作综述[J]. 昆钢科技, 2005(3): 39-42.
WANG Yuan. Original fuel scientific research job summarize of Kunming Iron and Steel during “fifteen”[J]. Kunming Iron and Steel Science and Technology, 2005(3): 39-42.

(编辑 陈爱华)