

文章编号:1674-2869(2010)03-0049-05

广西某赤褐铁矿选矿试验研究

张汉泉, 彭然, 张泽强

(武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:对广西某含铁品位为52.07%、磁性率(FcO/TFc)为2.11%的难选赤褐铁矿石进行理化性能分析和矿物工艺学研究,并进行了强磁选、还原焙烧—磁选选矿试验,确定还原焙烧—磁选可以获得较好的选别指标为:精矿铁品位达63.27%,产率达82.70%,铁回收率95.99%,有害元素硫、磷都较低, SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 的含量都能满足高炉冶炼的要求,属于优质铁精矿。

关键词:难选赤褐铁矿;矿物工艺学;强磁选;磁化焙烧

中图分类号:TF551

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2010.03.013

0 引言

我国钢铁工业高速发展,铁矿石原料的要求也急速增长。所以,采用合理工艺技术,开发国内铁矿山氧化铁矿石资源在我国是非常急需和重要的,也是国家利用有效资源所鼓励的^[1-2]。为开发利用广西某铁矿石资源(原矿铁品位在52%左右),本文对铁矿石化学组成和矿物组成的分析,查明矿石中铁元素的含量及呈何种矿物存在、嵌布粒度特性、有用矿物与脉石矿物间的共生关系;探索铁矿物有效的选矿回收利用的最佳工艺及可能达到的指标进行了研究。通过对该铁矿石进行原矿理化性能研究、强磁选选别试验和磁化焙烧—磁选试验,结果表明,该矿石属弱磁性矿物,单一的强磁选工艺无法实现对铁矿物的回收,采用磁化焙烧—磁选联合工艺,能满足对该矿石铁矿物的有效回收。

1 试样制备

试验所用矿石原矿全铁品位52.07%,磁性铁含量仅为0.059%,赤褐铁矿铁含量48.53%,为典型的氧化铁矿石。原矿样粒度分布范围宽,含泥较多,在0~100 mm范围之间。试验前先进行2 mm筛分分级,粗粒部分用SP-60×100颚式破碎机——XPS-Φ250×150辊式破碎筛分机破至-2 mm,然后进行混匀、缩分、取样,分别进行粒度筛析、化学分析、矿物工艺学研究和选矿工艺考查试验。试样制备流程如图1所示。

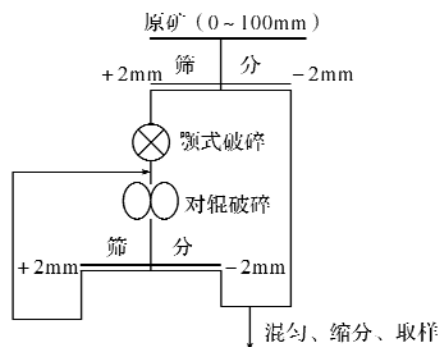


图1 试样制备流程图

Fig. 1 Process flowsheet of test sample preparing

原矿粒度筛析结果见表1。由粒度筛析结果可知,广西铁矿石铁矿物在各粒级分布比较均匀,铁品位均在52%以上,-0.044 mm含量为15%左右,其中铁的占有率也在13%以上,铁品位相对其他粒级含量要低,均具有较高的回收价值,但由于矿石中-0.044 mm含量在15%以上,给分选带来困难。

表1 广西铁矿筛析结果(水筛)

Table 1 Size and Fe distribution of Guangxi iron ore

粒级/mm	产率/%	累积产率/%	铁品位/%	铁分布率/%
+1.00	4.02	4.02	55.19	4.23
-1.00+0.30	39.20	43.22	54.43	40.69
-0.30+0.150	20.25	63.47	53.59	20.70
0.150+0.106	7.96	71.43	52.74	8.01
0.106+0.074	6.25	77.68	52.68	6.28
-0.074+0.044	6.80	84.48	52.40	6.80
-0.044	15.52	100.00	44.91	13.29
合计	100.00		52.43	100.00

收稿日期:2010-01-04

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)(2007CB613502);国家自然科学基金(50674073)

作者简介:张汉泉(1971-),男,湖北黄冈人,讲师,博士,研究方向:黑色金属矿石加工、造块工艺。

2 原矿理化性质

2.1 铁矿多元素分析

铁矿多元素分析结果见表 2。由表 2 可知,铁矿石中铁含量较高,但磁性率(FeO/Fe)只有 2.11%,应为氧化矿石,属弱磁性矿物,同时烧损较大, SiO_2 和 Al_2O_3 为要分选排除的主要脉石矿物。有害组分硫、磷含量都很低。要实现提铁降杂的目标,单一的传统弱磁选方法难以满足要求。

表 2 广西铁矿多元素分析结果

Table 2 Composition of Guangxi limonite

成分	TFe	FeO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	S	P	烧失
w/%	52.07	1.10	5.18	3.11	1.99	0.27	0.12	0.084	12.01

2.2 铁矿铁物相分析

广西铁矿铁物相分析(表 3)表明,铁矿物以赤褐铁矿为主,占 98% 以上,其他铁矿物铁的分布率均在 0.5% 以下。

表 3 广西铁矿铁物相分析结果

Table 3 Iron mineral analysis on limonite

指标	磁性物 之铁	碳酸盐 之铁	赤褐铁 矿之铁	硫化物 之铁	硅酸盐 之铁	全铁
w/%	0.059	0.16	51.52	0.078	0.25	52.07
占有率/%	0.11	0.31	98.94	0.15	0.48	100.00

2.3 燃料性质

试验用煤粉为武钢乌龙泉矿水泥厂普通燃煤,其主要指标见表 4。

表 4 试验用煤粉工业分析结果

Table 4 Technical analysis of fine coal w/%

煤粉种类	水分	挥发分	灰分	固定碳	硫	热值/($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)
燃煤	4.01	8.80	31.29	55.40	0.49	27 181

3 选矿试验及结果

3.1 强磁选试验

强磁选试验磨矿所用设备为 XMQ 150×50 锥形球磨机上进行,给料质量为 1 kg,固液比为 1:1,磨矿浓度 50%(质量分数),用 200 目标准试验筛进行水筛,测定-0.074 mm 含量。

原矿强磁选试验使用的是 XCSQ-50×70 湿式强磁选机分选,激磁电流为 11.0 A,磁场强度为 875.6 kA/m,给料 50 g,原矿样磨矿时间分别为 5 min、10 min 和 15 min,试验结果如表 5 所示。由表 5 可知,采用强磁选(场强 875.6 kA/m)处理原矿,铁精矿铁回收率均在 75% 以上,但铁精矿品位仅为 55%~56%,尾矿品位仍较高,未实现提高铁品位的目标。因此,单一的强磁选工艺也无法满足该铁矿石的选矿要求。

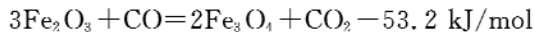
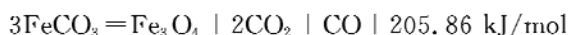
表 5 广西铁矿石强磁选试验结果

Table 5 Test result of magnetic separation at high intensity

磨矿时 间/min	磨矿细度 -0.074 mm/%	产品 名称	产率 /%	铁品位 /%	铁回收率 /%
5	82.20	强磁精矿	80.96	55.70	86.52
		强磁尾矿	19.04	36.91	13.48
		合计	100.00	52.12	100.00
10	97.40	强磁精矿	71.37	56.13	76.10
		强磁尾矿	28.63	43.93	23.90
		合计	100.00	52.64	100.00
15	100.00	强磁精矿	70.82	54.77	75.16
		强磁尾矿	29.18	43.92	24.84
		合计	100.00	51.60	100.00

3.2 磁化焙烧—弱磁选试验研究

处理上述难选氧化铁矿石的最有效方法是磁化焙烧—磁选,国外专家曾进行了大量理论研究^[3-8],前苏联于 1962 年曾建设有 30 台 $\Phi 3.6 \text{ m} \times \text{L}50 \text{ m}$ 的回转窑处理克里沃罗格氧化铁矿石(赤铁矿石英岩),我国鞍钢、酒钢、包钢于 20 世纪 50~70 年代,曾建成 130 多台竖炉对所属难选氧化铁矿石用磁化焙烧—磁选工艺生产铁精矿,起了很大作用。根据热力学及动力学机理分析,氧化铁矿物在焙烧过程中发生的化学反应有^[9-10]:



对于“磁化焙烧—磁选”工艺,在物料稳定的堆积状态情况下,影响氧化铁矿物磁化转化为磁铁矿的主要工艺参数为:温度、还原剂用量、反应时间。为此针对不同工艺参数,进行矿石焙烧条件试验,焙烧矿磨细后,在磁选管中进行焙烧产品磁性检查试验。

广西铁矿石磁化焙烧是在 12 kW 高温箱式电阻炉内进行的,每次装矿量为 50~500 g,通过调节温度、磁化焙烧时间和粉煤配比来考查磁化焙烧效果。所用燃料为武钢褐煤,粒度-1 mm,磁化焙烧后的产物直接进水冷却,然后进行缩分、取样,磨矿在 XMQ $\Phi 150 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 锥形球磨机上,磨矿浓度为 50%(质量分数),磁选试验在磁选管内完成,磁场强度为 119.4 kA/m。

3.2.1 磁化焙烧煤粉配比试验 磁化焙烧—磁选煤粉配比试验磁化焙烧温度为 700 ℃,磁化焙烧时间为 40 min,磁化焙烧矿磨矿时间为 3 min,产品磨矿后-0.074 mm 含量为 84%。试验结果见表 6。

随着磁化焙烧煤粉配比由 4% 增加到 8%,铁回收率大幅度增加,但继续增加煤粉配比至 16%,铁精矿品位和回收率反而下降,同时,随着煤粉配比增加,煤灰混入量增加,导致综合品位下降,由

于磁化焙烧时间较短,磁选尾矿铁品位居高不下,少量赤铁矿未得到充分还原,因而,应在下面的反应过程中进一步改善磁化焙烧条件.

表 6 磁化磁化焙烧 磁选煤粉配比试验结果

Table 6 Result of ratio of coal of magnetizing roasting test

煤粉配比/%	产品名称	产率/%	铁品位/%	铁回收率/%
4	磁选精矿	83.39	63.47	90.55
	磁选尾矿	16.61	33.25	9.45
	合计	100.00	58.45	100.00
8	磁选精矿	85.62	63.92	96.42
	磁选尾矿	14.38	14.13	3.58
	合计	100.00	56.76	100.00
12	磁选精矿	83.51	62.90	95.82
	磁选尾矿	16.49	13.89	4.18
	合计	100.00	54.82	100.00
16	磁选精矿	80.69	62.34	95.33
	磁选尾矿	19.31	12.75	4.67
	合计	100.00	52.76	100.00

3.2.2 磁化焙烧时间试验 磁化焙烧—磁选煤粉配比试验磁化焙烧温度为 700 ℃,磁化焙烧矿磨矿时间为 3 min. 试验结果见表 7,由表 7 可知,在磁化焙烧时间为 20 min 时,磁选精矿铁回收率高达 98.26%,但是铁精矿品位相对较低;当磁化焙烧时间为 40 min 时,铁精矿品位和回收率均较理想,尾矿品位低于 10%. 当磁化焙烧时间为 80 min 时,铁精矿回收率明显下降,尾矿品位高于 20%,存在着明显的过烧现象,精矿铁品位比磁化焙烧时间为 20~40 min 时变化不大. 综合考虑生产率、精矿质量和铁的回收率,确定 40 min 为最好的磁化焙烧时间条件.

表 7 磁化焙烧时间试验结果

Table 7 Result of magnetizing roasting duration test

磁化焙烧时间/min	产品名称	产率/%	铁品位/%	铁回收率/%
20	磁选精矿	87.97	60.91	98.26
	磁选尾矿	12.03	7.88	1.74
	合计	100.00	54.53	100.00
40	磁选精矿	87.29	61.88	97.71
	磁选尾矿	12.71	9.94	2.29
	合计	100.00	55.28	100.00
80	磁选精矿	82.37	61.48	92.91
	磁选尾矿	17.63	21.93	7.09
	合计	100.00	54.51	100.00

3.2.3 磁化焙烧温度试验 为了考查不同温度条件下的磁化焙烧效果,进行了温度为 650~800 ℃的条件下的磁化焙烧,试验结果见表 8. 磁化焙烧温度试验条件为:配煤 8%,磁化焙烧时间为 40 min. 试验结果见表 8. 当磁化焙烧温度为 650~700 ℃时,弱磁选铁精矿产率均在 87%以上,铁回收率在 96%以上,磁化焙烧效果较好;当磁化焙烧温度为 800 ℃以上时,弱磁选铁精矿铁

品位增加了 1 个百分点,但产率和铁回收率均大幅下降,尾矿铁品位上升 5~6 个百分点,磁化焙烧效果明显恶化. 温度达到 800 ℃时,尾矿品位急剧上升,尾矿 FeO 含量急剧上升,出现了过还原现象. 由于考虑到下面的试验焙烧矿量会增加,为确保磁化焙烧充分,因此采用的焙烧温度为 700 ℃.

表 8 磁化焙烧温度试验结果

Table 8 Result of magnetizing roasting temperature test

磁化焙烧温度/℃	产品名称	产率/%	铁品位/%	铁回收率/%
650	磁选精矿	87.67	63.54	96.61
	磁选尾矿	12.33	15.87	3.39
	合计	100.00	57.66	100.00
700	磁选精矿	87.37	62.73	96.35
	磁选尾矿	12.63	16.43	3.65
	合计	100.00	56.88	100.00
750	磁选精矿	86.44	62.43	95.64
	磁选尾矿	13.56	18.16	4.36
	合计	100.00	56.43	100.00
800	磁选精矿	83.16	64.52	93.56
	磁选尾矿	16.84	21.93	6.44
	合计	100.00	57.35	100.00
850	磁选精矿	83.62	65.53	92.40
	磁选尾矿	16.38	27.51	7.60
	合计	100.00	59.30	100.00

3.2.4 磁化焙烧—磁选磨矿细度试验 磁化焙烧矿磨矿粒度试验所用磁化焙烧矿的条件:在 700 ℃条件下,配加褐煤 8%,磁化焙烧时间为 40 min. 磨矿试验是在 XMQ Φ150 锥行球磨机上进行,磨矿浓度为 1:1,试验结果见表 9. 由表 9 可知,磨矿粒度为-0.074 mm 84.00%时,铁精矿品位为 62.73%,铁精矿回收率达 96.35%,选别效果较好. 磨矿粒度为-0.074 mm 93.50%时,铁精矿品位和回收率下降约 1 个百分点;当磨矿粒度为-0.047 mm 超过 90%时,尾矿铁品位升高,精矿铁回收率急剧下降;过磨造成磁选分离效果下降. 故选择磁化焙烧矿的磨矿粒度为-0.074 mm 含量 85%以下,磁选效果较为理想.

表 9 磁化焙烧—磁选磨矿细度试验

Table 9 Granularity test of magnetic separation

磨矿细度/%	产品名称	产率/%	铁品位/%	铁回收率/%
84.0 (-0.074 mm)	磁选精矿	87.37	62.73	96.35
	磁选尾矿	12.63	16.43	3.65
	合计	100.00	56.88	100.00
93.5 (-0.074 mm)	磁选精矿	86.60	61.89	95.42
	磁选尾矿	13.40	19.18	4.58
	合计	100.00	56.17	100.00
89.0 (-0.047 mm)	磁选精矿	87.23	61.79	95.17
	磁选尾矿	12.77	21.41	4.83
	合计	100.00	56.64	100.00
95.5 (-0.047 mm)	磁选精矿	86.91	61.50	94.59
	磁选尾矿	13.09	23.35	5.41
	合计	100.00	56.51	100.00

3.3 磁化焙烧—磁选—再磨磁选综合试验

按照焙烧矿样的选矿工艺条件及工艺流程试验,对焙烧矿进行了粗磨—弱磁选—精矿再磨—弱磁选流程的验证试验,试验流程见图 2。

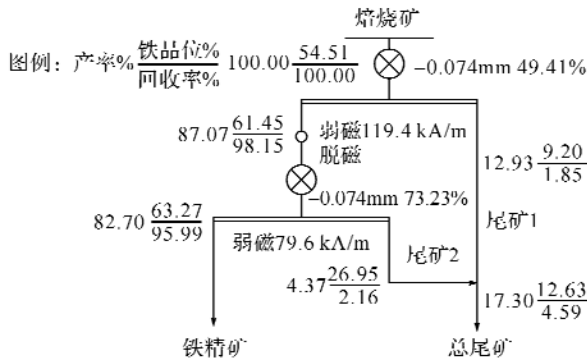


图 2 弱磁选精矿再磨再选流程数质量流程图

Fig. 2 Quality and quantity flow chart of magnetic separation at low intensity

原矿焙烧条件:在 700 ℃ 条件下,配加褐煤 8%,磁化焙烧时间为 40 min。磁化焙烧矿量为 1 000 g。焙烧矿磨矿设备为:XMQ Φ240 mm×90 mm 锥形球磨机;弱磁选使用的是 Φ400 mm×300 mm 鼓形弱磁选机,筒体表面磁场强度≤0.25 T,磁场强度分别为 119.4 kA/m、79.6 kA/m,为防止粗精矿发生磁团聚现象,磁选粗精矿再磨前用 Φ50 mm 退磁器进行退磁。试验结果见图 2 数质量流程图。

由图 2 可知,在一段磨矿粒度为-0.074 mm 49.41%、二段磨矿粒度为-0.074 mm 73.23%的条件下,可以得到铁精矿品位为 63.27%,铁回收率 95.99%的较好选矿指标。说明广西铁矿石经过磁化焙烧后,可选性大大增强,可以达到经济利用的目的。

3.4 产品分析

广西铁矿磁化焙烧矿经过磁选—再磨磁选得到的铁精矿铁品位为 63.27%,为考察精矿产品中有害杂质的含量,对最终铁精矿作了化学多元素分析铁物相分析。结果见表 10、11。

表 10 最终铁精矿化学多元素分析结果

Table 10 Chemical composition of concentrate

成分	TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	烧失
w/%	63.27	29.15	3.27	2.17	1.51	0.54	0.074	0.081	/

由表 10 可以看出,最终铁精矿中铁品位达 63.27%,有害元素硫、磷都较低,Al₂O₃、CaO、MgO 的含量都能满足高炉冶炼的要求,是优质铁精矿。SiO₂ 为 3.27%,是由于考虑磨矿成本,磨矿细度较粗(-0.074mm 73.23%),少量脉石没有单体解离。但进一步提高精矿铁品位的空间不大。通过对铁精矿产品多元素分析表明,四元碱度(CaO

+MgO)/(SiO₂+Al₂O₃)为 0.377,属于典型的酸性矿石,可用于生产烧结矿或氧化球团矿。

表 11 样品中铁的化学物相分析结果

Table 11 Iron mineral analysis on roasting product and ore %

样品	铁相	磁性物 之铁	碳酸盐 之铁	赤褐铁 矿之铁	硫化物 之铁	硅酸盐 之铁	全铁
原矿	铁含量	0.059	0.16	51.52	0.078	0.25	52.07
	分布率	0.11	0.31	98.94	0.15	0.48	100.00
焙烧矿	铁含量	51.31	0.50	1.29	0.84	0.57	54.51
	分布率	94.13	0.92	2.37	1.54	1.04	100.00

由表 11 得出:

a. 通过焙烧,焙烧矿中铁的品位提高了 2.12 个百分点,这主要是原矿中褐铁矿结晶水、吸附水的挥发所致。

b. 原矿中铁的赋存状态较为复杂,分布在磁铁矿中的铁所占的比例很低只有 0.11%,而以赤褐铁矿和碳酸盐形式存在的铁分布率合计高达 98.94%。通过焙烧后,铁的赋存状态发生了较大改变,磁性铁矿物占了 94.13%,与之对应的赤褐铁矿和碳酸盐中的铁所占的比例明显降低,说明焙烧过程中原矿中绝大部分赤铁矿、褐铁矿都已转化为磁铁矿^[11]。

c. 通过焙烧,赤褐铁矿还原率达到 98% 以上,含铁矿物转化规律与预计的一致,完全能够满足磁化焙烧工艺的要求。

4 结 语

a. 广西铁矿石中铁含量较高,但磁性率(FeO/Fc)只有 2.11%,应为氧化矿石,属弱磁性矿物,同时烧损较大, SiO₂ 和 Al₂O₃ 为要分选排除的主要脉石矿物。有害组分硫、磷含量都很低。通过焙烧后,铁的赋存状态发生了较大改变,磁性铁矿物占了 94.13%,与之对应的赤褐铁矿和碳酸盐中的铁所占的比例明显降低,焙烧过程中 98% 以上的赤铁矿、褐铁矿都已转化为磁铁矿。

b. 通过对广西铁矿石进行矿物化学分析、强磁选选别试验和焙烧—磁选试验,结果表明,该矿石属弱磁性矿物,单一的强磁选工艺无法实现对铁矿物的回收,采用焙烧—磁选工艺,铁精矿产率达 82.70%,回收率 95.99%,基本满足对该矿石铁矿物的有效回收。铁精矿中铁品位达 63.27%,有害元素硫、磷都较低,Al₂O₃、CaO、MgO、SiO₂ 的含量都能满足高炉冶炼的要求,是优质铁精矿。要真正实现对该铁矿石的选别回收,建议进行扩大试验或半工业试验研究,进一步优化工艺技术指标,提高铁资源的利用效果,力争最大的经济效益。

参考文献:

- [1] 任亚峰,余永富.难选红铁矿磁化焙烧技术现状及发展方向[J].金属矿山,2005,353(11):20-23.
- [2] 罗立群,乐毅.难选铁物料磁化焙烧技术的研究与发展[J].中国矿业,2007,16(3):55-58.
- [3] Youssef M A, Morsi M B. Reduction Roast And Magnetic Separation Of Oxidized Iron Ores For The Production Of Blast Furnace Feed [J]. Canadian Metallurgical Quarterly, 1998, 37(5):419-428.
- [4] Thurnhofer A, Schachinger M, Winter F, et al. Iron Ore Reduction In a Laboratory-Scale Fluidized Bed Reactor-Effect Of Pre-Reduction on Final Reduction Degree[J]. ISIJ International, 2005, 45 (2): 151-158.
- [5] El-Abdouni H, Modarressi A, Heizmann J J. Chemical reaction[J]. Reactiv Solids, 1988, (5):108.
- [6] Adam F, Dupre B, Gleitzer C. Cracking of hematite crystals during their low temperature reduction into magnetite[J]. Solid State Ionics, 1989, 32(1):330-333.
- [7] Et-Tabirou M, Dupre B, Gleitzer C. Hematite Single Crystal Reduction Into Magnetite With CO-CO₂ [J]. Metallurgical Transactions B (Process Metallurgy), 1988(4):311-317.
- [8] Nasr M I, Omar A A, Khadr M H, et al. Analysis of Solid-State Reduction of Iron Ore From a Couple of Experimental Measurements[J]. Scandinavian Journal of Metallurgy, 1994(6):119-125.
- [9] 兰正学. 化学热力学计算[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1986:61-263.
- [10] 申柯连科. 黑色金属选矿手册[M]. 殷俊良译. 北京:冶金工业出版社,1985:23-30.
- [11] 张汉泉,任亚峰,管俊芳.难选赤褐铁矿焙烧-磁选试验研究[J].中国矿业,2006,15(5):44-48.

Experimental study on mineral processing of Guangxi hematite limonite

ZHANG Han-quan, PENG Ran, ZHANG Ze-qiang

(School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Physicochemical property, technique of mineralogy and test of mineral processing such as magnetic separation at high intensity and reducing roasting-magnetic separation were completed on the refractory hematite limonite of Guangxi with iron content about 52.07%, rate of magnetism(FeO/TFe) about 2.11%. Tests of reducing roasting-magnetic separation could attain good results such as: concentrate iron grade are 63.27%, productivity above 82.70%, recovery of iron above 95.99%, content of SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO and deleterious composition such as S and P are as low as to be well fitted with demand of ironmaking in blast furnace. So the iron concentrate is a kind of product with high quality.

Key words: refractory hematite limonite; technique of mineralogy; magnetic separation at high intensity; magnetization roasting

本文编辑: 龚晓宁