

# 难处理铁矿资源的煤基还原磁化焙烧-磁选试验研究

田 锋

(兰州有色冶金设计研究院有限公司,甘肃 兰州 730900)

**摘要:**本文针对西北某难处理铁矿石的具体情况,进行了多种选别方法探索试验,试验结果表明:采用煤基还原磁化焙烧,在焙烧温度为700℃,焙烧时间为30 min,煤粉配比为6%的条件下进行磁化焙烧,焙烧矿磁选全流程试验可获得铁精矿品位为63.78%,回收率为77.59%,试验取得了较为满意的结果。

**关键词:**难处理铁矿;煤基还原剂;磁化焙烧;磁选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2016.02.015

中图分类号:TD951 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2016)02-0065-05

矿产资源是经济建设和社会生活的重要物质基础。当前,由于国民经济的快速发展,对矿产资源的需求量一直处于快速持续增长状态,使得我国的矿产资源供需矛盾日益突出,对外依存度迅速提高,供应不足已成为制约经济可持续发展的重要瓶颈之一<sup>[1]</sup>。我国属于铁矿石资源较为丰富的国家,但铁矿石大多以“贫、细、杂、难”矿为主,故铁矿石自给率较低。为了提高我国铁矿石的自给率,迫切需要研究开发新技术来最大限度地利用国内现有铁矿资源,尤其是受目前选矿技术限制而不能利用的复杂难选铁矿石,以保障我国钢铁工业持续稳定健康发展。

## 1 矿石性质

该难选铁矿石取自西北某铁矿山,其化学多元素分析结果与铁物相分析结果分别见表1、2。

表1 化学多元素分析结果/%

Table 1 Chemical analysis results of multi-element

TFe	S	P	SiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	烧失量
33.76	0.32	0.072	31.37	3.78	2.35	10.75	11.37

化学多元素分析结果表明,该矿石中的主要金属元素为Fe,品位为33.76%,脉石主要为硅酸盐和铝硅酸盐类矿物,矿石中有害元素S、P的含量较低。

表2 铁物相分析结果

Table 2 Analysis results of iron phase

矿物名称	磁性铁	赤、褐铁	菱铁矿	硫铁矿	硅酸铁	全铁
	中铁	中铁	中铁	中铁	中铁	
含量%	0.55	30.44	1.08	0.62	1.07	33.76
占有率%	1.64	90.18	3.19	1.83	3.16	100.00

铁物相分析结果表明,该矿石中的铁矿物主要以弱磁性的赤、褐铁矿(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)为主,其含量占全铁的90.18%。并有少量菱铁矿(FeCO<sub>3</sub>)和磁铁矿(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)。

## 2 常规物理选矿方法探索试验

由于该铁矿石中所含的主要铁矿物为赤、褐铁矿,我们针对该矿石的具体情况进行了螺旋溜槽-摇床重选和强磁选-摇床重选试验。试验流程见图1、2,试验结果见表3。

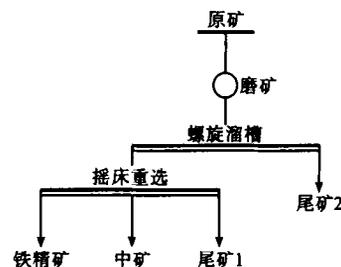


图1 螺旋溜槽-摇床重选探索试验流程

Fig. 1 Exploring test process of spiral chute-tabling gravity separation

收稿日期:2015-05-28

作者简介:田锋(1981-),男,选矿工程师,研究方向为矿产资源综合利用技术及工程设计。

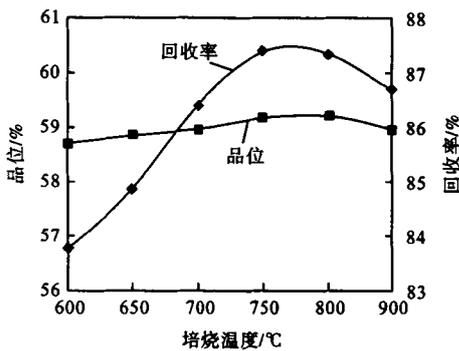


图2 强磁选-重选联合探索试验流程

Fig.2 Exploring test process of high-intensity magnetic separation and gravity separation combination

表3 螺旋溜槽-摇床重选、强磁选探索试验结果

Table 3 Exploring test process of spiral chute-tabling gravity separation and high-intensity magnetic separation

试验流程	产品名称	产率/%	Fe品位/%	Fe回收率/%
螺旋溜槽-摇床重选	铁精矿	5.54	49.25	8.08
	中矿	11.83	37.86	13.27
	尾矿1	22.65	37.09	24.89
	尾矿2	59.98	30.25	53.76
	原矿	100.00	33.75	100.00
强磁选-摇床重选	铁精矿	10.20	46.51	14.05
	中矿	22.03	36.57	23.86
	尾矿1	54.53	30.66	49.52
	尾矿2	13.24	32.05	12.57
	原矿	100.00	33.76	100.00

表3结果表明,无论是采用螺旋溜槽-摇床重选,还是采用强磁选-摇床重选,都未能获得较好的试验指标。其主要原因是该矿石中的铁矿物大多呈细粒级、微细粒级形态存在,且与脉石矿物紧密连生,有的甚至以微细粒级包裹在脉石矿物中,即使在细磨的情况下,该矿石中铁矿物的单体解离也比较困难。

重、磁选探索试验结果可以看出,常规物理选矿方法难以从该铁矿石中选出合格的铁精矿。因此,试验探索了采用还原磁化焙烧-磁选的方法来提高该铁矿选矿指标的可能性。

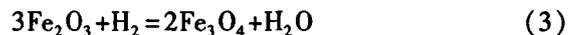
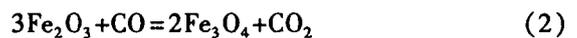
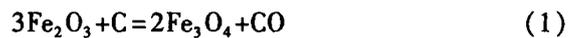
### 3 还原磁化焙烧-磁选试验

磁化焙烧试验采用箱式电阻炉,间歇式操作。还原剂采用新疆哈密烟煤,按一定比例与矿石混合好,人工定时加入箱式电阻炉内。出炉的焙烧矿采用水冷方式进行冷却。

#### 3.1 磁化焙烧基本原理

磁化焙烧的原理<sup>[2]</sup>是:将弱磁性铁矿石置于焙烧炉(竖炉、回转窑等)中加热并在适宜的气氛中进行处理的物理化学过程。铁矿石经磁化焙烧后,铁矿物的磁性显著增强,脉石矿物大多情况下磁性变化不大,利用两类矿物的磁性不同,采用磁选方法进行有效分离。

其反应原理如下:



褐铁矿在加热过程中首先排出化合水,变成不含水的赤铁矿,然后按上述反应被还原成磁铁矿。

#### 3.2 磁化焙烧条件试验

在还原磁化焙烧效果的判断方面,采用磁化率或焙烧矿的磁性组分分析均能作为判断磁化焙烧效果的依据,因此,本试验采用磁选管进行磁性组分分析以判断还原磁化焙烧效果。焙砂磨矿细度定为-0.045 mm 80%,磁选磁场强度定为128 kA/m。

##### 3.2.1 焙烧温度对磁化焙烧效果的影响

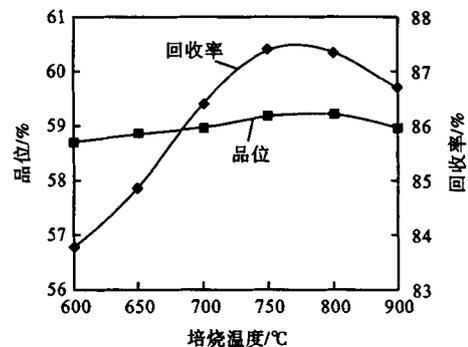


图3 焙烧温度对磁化焙烧效果的影响

Fig.3 Effect of roasting temperature on magnetizing roasting

磁化焙烧温度对该铁矿石磁化焙烧效果的影响见图 3。试验结果表明,随着焙烧温度从 600℃ 升高到 750℃,煤基还原剂中的挥发份分解挥发和炭质物的气化反应逐步加速,使矿石表面与气体还原剂之间得到了充分的接触,增加了还原磁化焙烧反应接触面和还原反应速度,使得赤、褐铁矿还原成磁铁矿的热力学及动力学条件得到明显改善。当焙烧温度  $\geq 750^\circ\text{C}$  时,磁化焙烧效果较好。再提高焙烧温度则对改善磁化焙烧效果作用不明显,且增加了能耗。因此,确定适宜的磁化焙烧温度为 750℃。

### 3.2.2 焙烧时间对磁化焙烧效果的影响

焙烧时间对该铁矿石磁化焙烧效果的影响见图 4。

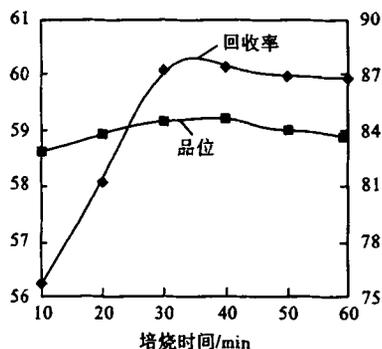


图 4 焙烧时间对磁化焙烧效果的影响

Fig. 4 Effect of roasting time on magnetizing roasting

试验结果表明在 700℃ 的高温下,磁化焙烧的前 30 min,马弗炉内煤基还原剂的挥发份分解挥发及炭质物气化反应逐步进行,与矿石表面充分接触反应,磁化焙烧效果得到显著的提高。但当焙烧时间再延长时,焙烧时间对磁化焙烧效果的改善作用不明显,磁选磁性组分中铁的品位和回收率变化不大。因而当煤粉比例为 6% 时,焙烧时间控制在 30 min 较为适宜。

### 3.2.3 还原剂的种类对磁化焙烧效果的影响

试验采用煤基还原剂为磁化焙烧提供还原性气氛。磁化焙烧反应常用的煤基还原剂主要为烟煤和褐煤,分别选择了甘肃靖远烟煤、新疆哈密烟煤、山西大同烟煤进行试验。煤粉种类对该铁矿石磁化焙烧效果的影响见表 4。

试验结果表明,在焙烧温度 700℃、时间 30

min、煤粉比例为 6% 的条件下,采用新疆哈密烟煤磁化焙烧的效果明显优于其他两种烟煤。这可能是因为哈密烟煤焙烧过程中产生了较多的还原性气体 (CO、H<sub>2</sub> 及炭质物的气化),其反应性较其他两种烟煤好。故试验最终选择新疆哈密烟煤做磁化焙烧用的还原剂。

表 4 还原剂种类对磁化焙烧效果的影响试验结果

Table 4 Test results of the effect of types of reductant on magnetizing roasting

还原剂种类	产品名称	产率 /%	Fe 品位 /%	Fe 回收率 /%
甘肃靖远烟煤	铁粗精矿	47.93	58.97	76.33
	尾矿	52.07	16.83	23.67
	焙烧矿	100.00	37.03	100.00
山西大同烟煤	铁粗精矿	51.36	59.07	82.15
	尾矿	48.64	13.55	17.85
	焙烧矿	100.00	36.93	100.00
新疆哈密烟煤	铁粗精矿	54.47	59.19	87.39
	尾矿	45.53	10.22	12.61
	焙烧矿	100.00	36.89	100.00

### 3.2.4 还原剂的比例对磁化焙烧效果的影响

还原剂比例对该铁矿石磁化焙烧效果的影响见图 5。试验结果表明,随着煤粉比例的提高,焙烧过程中的挥发份及炭质物的数量相应增加,改善了铁矿物与还原剂的接触条件。当煤粉比例达到 6% 以后,炭质物气化及挥发份分解产生 CO、H<sub>2</sub> 基本能提供磁化焙烧所需的还原性气氛,使得该铁矿石的磁化焙烧效果趋于稳定,磁性组分中铁的品位和回收率变化不大。再提高煤粉比例,对磁化焙烧的效果改善不大。故磁化焙烧适宜的煤粉比例为 6%。

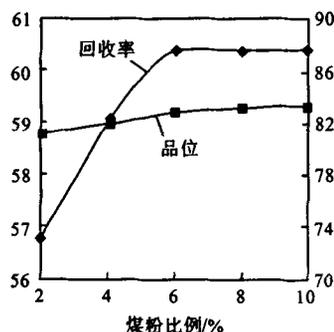


图 5 煤粉比例对磁化焙烧效果的影响

Fig. 5 Effect of the ratio of coal powder on magnetizing roasting

### 3.2.5 焙烧矿磨矿细度对磁选的影响试验

将在较优的磁化焙烧工艺参数条件下焙烧的试验样进行磨矿细度试验,试验流程见图6,试验结果见图7。试验结果表明,随着磨矿细度的增加,有用矿物的单体解离度得到了较大的提高,铁精矿品位逐渐提高,但铁的回收率略有下降。当磨矿细度达到-0.045 mm 80%时,分选指标较佳,如再增加细度,铁粗精矿磁团聚现象愈发明显,磁团聚中夹杂的脉石矿物和连生体较多,影响了铁粗精矿的品位。故试验确定磨矿细度为-0.045 mm 80%。

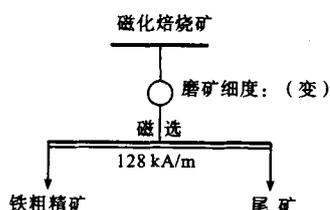


图6 粗选磨矿细度试验流程及条件  
Fig.6 Process and condition of grinding fineness test in roughing

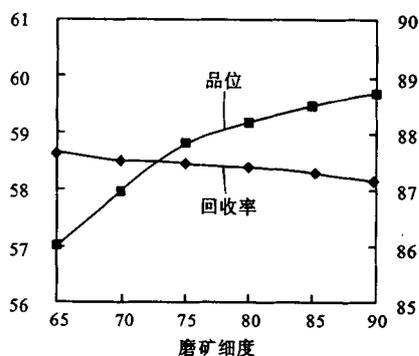


图7 磨矿细度对焙烧矿磁选影响试验  
Fig.7 Effect of the grinding fineness on magnetic separation

### 3.2.6 磁场强度对磁选的影响试验

磁场强度对磁选的影响试验见图8。试验结果表明:随着磁场强度的增加,一些磁性较弱的铁矿物或铁矿物与脉石矿物的连生体亦被吸附而进入精矿中,磁性矿物产率呈增加态势,铁的回收率提高,但铁精矿品位下降,综合考虑,适宜的粗选磁场强度确定为128 kA/m。

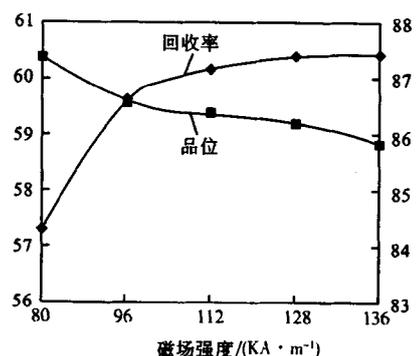


图8 磁场强度对焙烧矿磁选的影响

Fig.8 Effect of the field of magnetic field on magnetic separation

### 3.2.7 磁化焙烧磁选全流程试验

试验选择最优的条件进行焙烧磁选全流程试验,试验结果见表5,试验流程见图9。从表5中可以看出,全流程试验所获得的铁精矿品位达到63.78%,回收率达到77.59%。经对产品分析得知,铁精矿含硫、磷均较低,符合钢铁工业对铁精矿的基本要求。

表5 磁化焙烧磁选全流程试验结果

Table 5 Full process test results of magnetizing roasting magnetic separation

产品名称	产率/%	Fe 品位/%	Fe 回收率/%
精矿	45.07	63.78	77.59
尾矿	54.93	15.12	22.41
焙烧矿	100.00	37.05	100.00

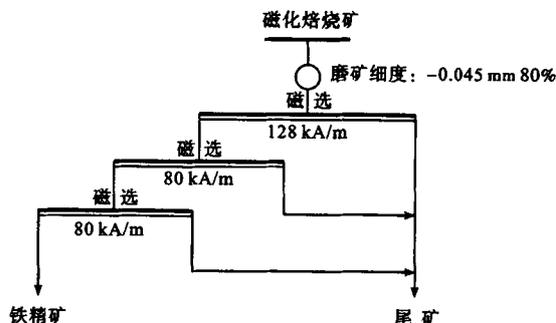


图9 还原磁化焙烧-磁选全流程试验

Fig.9 Full process test of reduction magnetizing roasting-magnetic separation

### 3 结 论

(1) 铁矿石中的有价金属元素为铁, 铁矿物主要是以赤、褐铁矿的形态存在, 是该矿石中的主要回收对象, 该矿石中还含少量的菱铁矿和磁铁矿。

(2) 通过螺旋溜槽-摇床重选和强磁选-摇床重选探索试验, 未能获得较好的选别指标, 表明该铁矿石采用常规物理选矿方法基本不能进行有效的选别回收。

(3) 通过煤基还原磁化焙烧-磁选试验, 获得了较为满意的选别指标。即采用新疆哈密烟煤, 在焙烧温度为 700℃, 煤粉比例为 6%, 焙烧时间为 30 min 的条件下进行还原磁化焙烧, 并对焙烧矿进行

磁选全流程试验, 获得的铁精矿品位为 63.78%, 回收率为 77.59%。

(4) 磁化焙烧效果的众多影响因素中, 焙烧温度对磁化焙烧效果影响最大; 煤基还原剂的种类影响次之。因此, 在焙烧试验中, 除了选择较佳的焙烧温度外, 还应该选择适宜的, 反应性较好的煤基还原剂。

### 参考文献

- [1] 李剑. 我国矿产资源勘查工作“十五”期间进展综述与“十一五”期间部署思路[J]. 国土资源情报, 2006(1): 1-5.
- [2] 王常任. 磁电选矿[M]. 北京, 冶金工业出版社, 1977. 219-220.

## Study on Coal Base Reduction Magnetization Roasting-Magnetic Separation of Refractory Iron Ore Resources

Tian Feng

(Lanzhou Engineering & Research Institute of Nonferrous Metallurgy Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, China)

**Abstract:** In this paper, according to the specific condition of a refractory iron ore in the northwest, exploring test was carried out by using a variety of methods. The test results showed when ng coal base reduction magnetization roasting is used, the calcination temperature is 700℃, calcination time is 30 min, the ratio of pulverized coal is 6% under the condition of magnetization roasting, the roasting ore magnetic separation full process can obtain the iron concentrate with the grade of 63.78% and the recovery of 77.59%. The result is satisfactory.

**Keywords:** Refractory ore; Coal bade reductant; Magnetization roasting; Magnetic separation

(上接 64 页)

## Study on Dissolving Kinetics of Titania Slag Roasted by Ammonium Sulfate

Sui Lili<sup>1</sup>, Zhai Yuchun<sup>2</sup>

(1. Shenyang Medical College, Department of Chemistry, Shenyang, Liaoning, China;

2. School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang, Liaoning, China)

**Abstract:** Through single factor experiments, the effects of stirring rate, mass ratio of water-to-ore, dissolving time, and dissolving temperature on dissolving ratio of the grog of roasting titania slag with ammonium sulfate were investigated. The optimum dissolving technological conditions were obtained as stirring rate of 500 r/min, mass ratio of water-to-ore of 5 : 1, dissolving time of 60min and dissolving temperature of 70℃. The dissolving ratio of TiO<sub>2</sub> was about 92% under the optimum conditions. The dissolving kinetics of the grog of roasting titania slag with ammonium sulfate was studied. The results showed that the dissolving process of the grog was controlled by the internal diffusion on the solid product layer and the apparent activation energy for the dissolving reaction was 20.96 kJ/mol.

**Keywords:** Dissolving kinetics; Ammonium sulfate; Titania slag; Grog