

文章编号:1005-7854(2007)01-0030-05

## 云南铁锰矿选矿试验

师伟红, 杨波, 刘守信, 杜淑华, 田锋

(昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093)

**摘要:** 本文主要针对云南某铁锰矿的贫矿进行了选矿试验研究, 并与该矿的富矿的选别效果进行了对比。在选矿试验的基础上, 分别提出了贫、富矿处理的原则: 贫铁锰矿可生产中矿; 对于富矿的选别, 采用粗磨跳汰-摇床的技术方案, 得到的锰精矿品位为 40.41%, 回收率为 70.92% 的选别指标。

**关键词:** 选别效果; 铁锰矿; 跳汰; 摇床

**中图分类号:** TD92; TD951 **文献标识码:** A

## A MINERAL PROCESSING TEST OF FERROMANGANESE ORE IN YUNNAN

SHI Wei-hong, YANG Bo, LIU Shou-xin, DU Shu-hua, TIAN Feng  
(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**ABSTRACT:** The paper introduces the research of mineral processing test of somewhere's low-grade ferromanganese ore in Yunan. Test results have been compared low-grade ore with high-grade ore. Based on processing test, the separate principles for low and rich-grade ore have been provided; we may produce middling product by this low-grade ore; For the rich-grade ore, we gain the concentrate ore containing Mn40.41%, the recovery rate of Mn is 70.92% by raw-grinding, jigging and shaking-table

**KEY WORDS:** selective effects; ferromanganese; jigging; shaking-table

## 1 引言

处理锰矿的方法较多, 在国内工业上锰矿石的选矿主要采用焙烧-重选-弱磁选、擦洗-分级-强磁选、浸出-焙烧等处理方法<sup>[1]</sup>。云南某地的铁锰矿石, 铁矿物和锰矿物的密度和比磁化系数相近, 且两者共生紧密, 嵌布粒度细, 所以该铁锰矿石比普通氧化锰矿石难选。该选厂位于环境保护区内, 为避免环境污染, 在处理矿石时, 不宜采用浮选、化学浸出等工艺进行选别。

在该铁锰矿试验中, 我们主要对含锰 18.93% 铁锰矿进行了选别试验。由于委托单位只对金属锰的品位和回收率提出要求, 因此试验中也主要针对

锰指标的提高作了大量的工作。试验结果表明: 金属锰的选别指标能达到要求, 即锰精矿品位不低于 40%, 回收率不低于 60%。又单独取含锰 24.09% 的富矿试样进行选别, 达到锰的品位为 40.41%, 回收率为 70.92% 的指标。

## 2 含锰 18.93% 的铁锰矿物质组成研究

## 2.1 原矿多元素分析及光谱分析

原矿多元素分析结果见表 1, 光谱分析结果见表 2。分析结果表明: Mn、Fe 含量分别为 18.93%、22.85%, SiO<sub>2</sub> 含量为 26.15%, 说明脉石矿物主要以石英或硅酸盐的形式存在。因此, 要获得高品位的锰精矿, 必须有效地脱除含硅矿物, 实现锰和铁的有效分离。

收稿日期: 2006-08-06

作者简介: 师伟红, 在读硕士, 矿物加工工程专业。

表 1 原矿多元素分析结果

Table 1 Analysis results of multi-elements of ore sample

元素	Fe	Mn	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	S	P
含量/%	22.85	18.93	4.66	26.15	0.41	0.019	0.30

表 2 原矿矿石光谱分析结果

Table 2 Analysis results of spectrum of ore sample

元素	As	Al	Ba	Fe	Mn	Mg	Si	Ti
含量/%	0.01	1~10	0.03	>10	≥10	0.03	>10	0.3

## 2.2 矿石物相分析

### 2.2.1 锰的物相分析

为查明 Mn 在矿石中的存在形态,又对其进行物相分析,见表 3。分析结果表明:Mn 主要以软锰矿的形式存在,其分布率占了锰金属率的 82.62%,磁锰矿和褐锰矿,分布率分别占锰金属率的 1.58%、14.53%,有利于锰的回收。

表 3 矿石锰物相分析结果

Table 3 Analysis results of manganese phase of ore sample

相态	磁锰矿	水锰矿	褐锰矿	软锰矿	全锰
含量/%	0.30	2.75	15.64	18.93	
分布率/%	1.58	14.53	82.62	100	

### 2.2.1 铁的物相分析

表 5 试样粒度分析结果

Table 5 Analysis results of the particle size of ore sample

粒级/mm	产率/%		品位/%				金属率/%	
	个别	累计	Mn	Fe	Mn	Fe		
-2+1	14.29		21.53	22.52	16.00	14.05		
-1+0.5	31.70	45.99	20.44	22.22	33.70	31.84	45.89	
-0.5+0.25	21.56	67.55	20.02	22.42	22.45	22.35	68.24	
-0.25+0.1	14.19	81.74	19.06	22.22	14.06	86.21	82.49	
-0.1+0.074	3.40	85.14	17.02	22.98	3.01	89.22	86.02	
-0.074+0.037	5.27	90.41	15.84	20.98	4.34	93.56	91.02	
-0.037+0.019	2.33	92.74	14.46	23.16	1.75	95.31	93.46	
-0.019	7.26	100.00	12.42	19.23	4.69	100.00	6.54	
合计	100.00		19.25	22.2	100.00	100.00		

表 4 为矿石铁物相分析结果。铁物相分析结果表明:赤褐铁矿中存在的铁,其分布率占了铁金属率的 91.85%,而以磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿存在的铁,其分布率仅分别占了铁金属率的 0.44%、0.87%、6.84%,赤褐铁矿含量高,对锰矿物和铁矿物的分选非常不利。

表 4 矿石铁物相分析结果

Table 4 Analysis results of iron phase of ore sample

相态	磁黄铁矿	黄铁矿	磁铁矿	赤褐铁矿	全铁
含量/%	0.1	0.2	1.57	21.08	22.95
分布率/%	0.44	0.87	6.84	91.85	100

### 2.3 试样粒度组成及金属分布

将矿石破碎至 -2.0mm 后进行分级,共分为 +1.0mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.1mm, 0.074mm, 0.037mm, 0.019mm, -0.019mm 等八个级别,对相应粒级的有价元素锰、铁含量和金属分布进行考察,见表 5。结果表明:锰主要分布于 +0.1mm 以上的四个级别中,其占了锰金属率的 86.21%,主要分布在粗粒级,而铁的分布较均匀,各粒级的品位都在 20% 以上。由此看出在碎矿时,铁矿物较锰矿物易碎。

## 3 选矿试验

目前在世界范围内,对难选的低品位铁锰矿石的机械选矿方法及工艺,多趋向几种选矿方法组成的联合流程:强磁选-浮-重联合流程<sup>[2]</sup>、跳汰-湿式强磁选<sup>[3]</sup>、氧化还原-酸浸-磁选<sup>[4]</sup>、洗矿-跳汰-强磁选-浮选<sup>[1]</sup>、焙烧-重选-弱磁选<sup>[1]</sup>、强磁粗选-跳汰精选-强磁扫选<sup>[5]</sup>等。

### 3.1 含锰 18.93% 的铁锰矿的选矿试验

在该试样的选矿试验中,根据矿石的性质,采用对辊机把矿石细碎为 -2mm 后,进行不磨矿直接分

选、不同磨矿细度的摇床选别试验、磁选、中矿再磨再选等选矿试验。其试验流程和结果如下。

#### 3.1.1 不磨矿直接分选

原矿本身的粒度较细,在不磨矿直接分选方案中进行分级摇床选别和跳汰选别两种流程试验。对分级摇床重选,首先采用 0.5mm、0.1mm 的筛子进行分级,分级产品直接给摇床进行重选。考虑到通过跳汰可以脱除含硅等的脉石,所以又对原矿直接进行跳汰选别。流程分别见图 1 和图 2,选别结果见表 6。

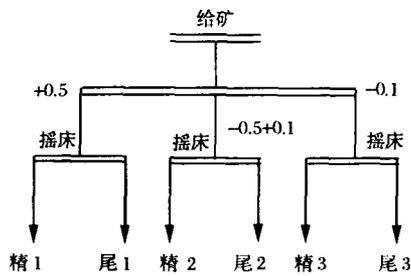


图 1 分级摇床重选流程

Fig. 1 Gravity flowsheet of classification and shaking-table

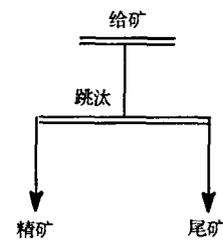


图 2 跳汰试验流程

Fig. 2 The flowsheet of jiggling

表 6 分级摇床重选试验和跳汰试验结果

Table 6 Test results of classification - shaking table and jiggling

作业名称	产品名称	品位/%		回收率/%	
		Mn	Fe	Mn	Fe
分级摇床重选试验	精矿	29.04	23.20	35.62	22.20
	尾矿	16.10	22.02	64.38	75.80
不磨矿直接分选	给矿	19.13	22.23	100.00	100.00
	精矿	29.55	22.13	35.12	21.79
	尾矿	15.71	23.06	64.88	78.21
跳汰试验	给矿	18.93	22.85	100.00	100.00

试验结果表明:不磨矿直接进行选别,无论是分级摇床选别试验,还是跳汰试验,其所获得的锰精矿品位均在 29%左右,且摇床选别和跳汰选别的回收率相近。所以不磨矿直接进行分选,不能达到要求的指标,主要原因是矿物没有单体解离。

### 3.1.2 不同磨矿细度的摇床选别试验

根据表 6 试验结果可知,必须对原矿进行适宜的磨矿细度考察。流程如图 3,试验结果见图 4。

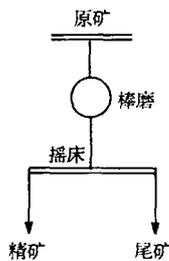


图 3 摇床重选流程

Fig. 3 Gravity flowsheet of shaking-table

试验结果表明:随着磨矿细度的增加,精矿中锰的品位在增加,从 27.10%增加到 33.57%。说明随着磨矿细度的增加,锰矿物和铁矿物以及其它脉石矿物的单体解离度有所改善,但精矿回收率在磨矿细度提高到 -0.074mm 占 71.40%时,降为 40.26%,表明有相当多的锰矿物以微细粒的形式损失在尾矿中,因此,为保证金属锰的回收率,不应磨得太细。

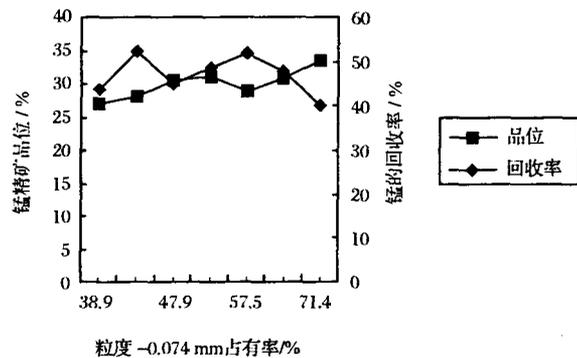


图 4 摇床重选磨矿细度试验

Fig. 4 Grinding fineness test of shaking-table

### 3.1.3 磁选试验

根据矿石的性质,碳酸锰或者锰的氧化物,均属于弱磁性矿物。因该矿含锰矿物与脉石矿物以及含有害杂质矿物的比磁化系数有较大的差异。考虑到磁选有可能把磁性较强的铁矿物选出,从而提高精矿中锰的品位。因此,采用双盘干式磁选机对摇床所产的两种不同品位的粗精矿进行选别,磁选流程见图 5,磁选试验结果见表 7。

磁选流程试验结果表明:非磁性产品中锰的品位提高幅度不大,有大量的锰矿物在磁性产品中,其中金属铁的品位也不高,锰、铁分离效果不好。主要是因为软锰矿 ( $3.4 \times 10^{-7}$ ) 和褐铁矿 ( $3.1 \sim 4 \times 10^{-7}$ ) 的比磁化系数相近,所以采用磁选方案不能使该锰铁有效分离。

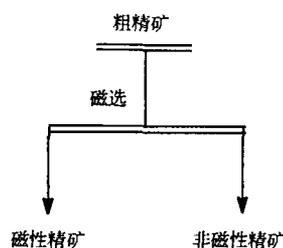


图 5 磁选试验流程

Fig. 5 Flowsheet of magnetic separation

表 7 磁选试验结果

Table 7 Test results of magnetic separation

试样编号	产品名称	品位/%		回收率/%	
		Mn	Fe	Mn	Fe
1	磁性精矿	23.74	32.30	15.17	24.02
	非磁性精矿	29.15	22.42	84.83	75.98
	给矿	28.18	24.20	100.00	100.00
2	磁性精矿	25.70	32.66	14.72	25.48
	非磁性精矿	31.82	20.40	85.28	74.52
	给矿	30.75	22.56	100.00	100.00

### 3.1.4 中矿再磨试验

为了提高锰的品位,同时尽可能提高回收率,摇床选别过程中,产生一个精矿和一个中矿,并对中矿进行再磨再选试验。试验流程见图 6,试验结果见图 7。

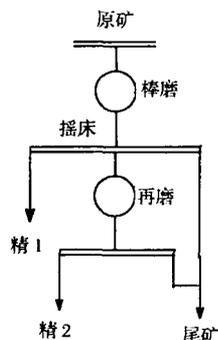


图 6 中矿再磨再选流程

Fig. 6 Flowsheet of the middling regrinding-recleaning

试验结果表明:当产出品位为 40% 以上的锰精矿时,回收率不超过 15%。中矿再磨再选,可以回收一部分锰,但随着回收率的提高,总精矿品位下降,当再磨时间为 6min 时,精矿的合计品位为 38.37%,回收率仅达到 30.77%,未能达到要求的指标。

## 3.2 富矿试样选矿试验

### 3.2.1 试样主要元素分析

鉴于含锰 18.93% 的铁锰矿样的选别困难,不能获得理想指标。对锰品位较高的矿样进行试验,

根据分析,试样主要成分为: Mn 24.09%, Fe 12.79%, SiO<sub>2</sub> 34.28%, P 0.22%。由于试样中锰和二氧化硅的含量比含锰 18.93% 铁锰矿试样高,而含铁较低,因此,该富矿样相对易选。

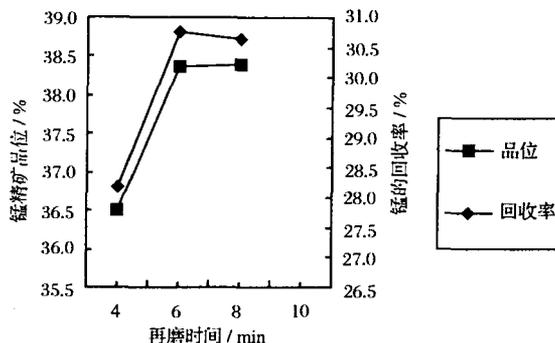


图 7 中矿再磨再选试验结果

Fig. 7 Test results of the middling regrinding-recleaning

试验中,对富矿样进行了粗磨。磨矿有利于脉石与软锰矿的分离,但是磨矿过细,选别时细粒级的锰就会损失在尾矿中,而且也使得选矿成本提高;因此,适度磨矿对有利于选别指标的提高。

### 3.2.2 摇床选别试验

为使目的矿物与脉石矿物单体解离而又避免过粉碎,同时使给矿粒度适宜于摇床分选,将矿样用棒磨机磨至 -0.074mm 占 60%,用摇床进行选别,并对中矿再选。试验流程见图 8,试验结果如表 8。

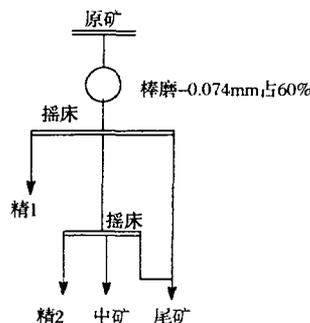


图 8 摇床重选试验流程

Fig. 8 Gravity flowsheet of shaking-table

试验结果表明:精矿 1 中锰的品位最高,达到 44.40%,回收率为 33.54%。综合精矿 1 和精矿 2,金属锰的品位为 41.62% 时,回收率为 52.09%。综合精矿 1、精矿 2 和中矿后,锰的品位为 37.97% 时,回收率为 69.36%。

### 3.2.2 跳汰-摇床试验

通过大量的试验证明,跳汰对于脱硅比较好,还有一定的除铁效果。取富矿样,在磨矿细度为 -0.074mm 占 31.70% 时,采用试验流程见图 9,试验

结果见表 9。

表 8 摇床重选流程试验结果

Table 8 Gravity test results of shaking - table

样品名称	产率/%		品位/%				回收率/%			
	个别	累计	Mn		Fe		Mn		Fe	
精矿 1	18.20		44.40		11.26		33.54		16.74	
精矿 2	11.95	30.15	37.40	41.62	15.00	13.05	18.55	52.09	14.02	30.76
中矿	13.85	44.00	30.04	37.97	16.22	20.57	17.27	69.36	17.56	48.31
尾矿	56.00	100.0	13.18		11.80		30.64	100.0	51.69	100.00
给矿	100.00		24.09		12.79		100.00		100.00	

表 9 跳汰摇床流程试验结果

Table 9 Test results of the jigging and shaking - table

样品名称	产率/%		品位/%				回收率/%			
	个别	累计	Mn		Fe		Mn		Fe	
精矿 1	18.65		47.06		9.06		36.43		13.21	
精矿 2	5.93	24.58	41.00	45.59	12.13	9.80	10.09	46.52	5.62	18.83
精矿 3	17.70	42.28	35.11	40.41	16.74	13.02	24.40	70.92	24.20	43.03
中矿	3.75	46.03	23.55	38.51	18.86	13.49	2.67	73.59	5.53	48.56
尾矿	53.97	100.00	11.79	24.09	12.19	12.79	26.41	100.00	51.44	100.00
给矿	100.00		24.09		12.79		100.00		100.00	

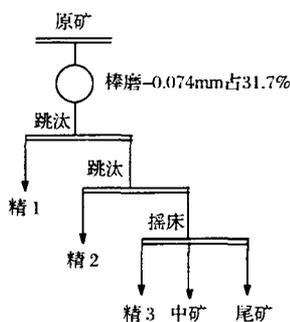


图 9 跳汰 - 摇床试验流程

Fig. 9 Flowsheet of jigging and shaking-table

试验结果表明:采用两次跳汰,一次摇床扫选,金属锰的品位已达到要求的指标。精矿 1 中锰的品位为 47.06%,综合精矿,锰的品位为 40.41%,回收率达到 70.92%。

#### 4 结 语

(1)在含锰 18.93%的低品位铁锰矿试样中,锰主要以软锰矿形式存在,其分布率占 82.62%,采用重选比较有利;含铁为 22.85%,主要以赤褐铁矿形式存在,占铁矿物的 91.85%,其比重和比磁化系数与软锰矿非常相似,采用重选和磁选方案难以达到理想效果;二氧化硅的含量为 26.15%,因此脱除含硅矿物非常必要,由于锰、铁矿物的比重大于含硅矿物,采用重选方案分离较为经济。

(2)含锰 18.93%的低品位铁锰矿选矿试验表

明:不磨矿直接进行粗粒分选,不论采用分级摇床重选还是跳汰重选,均不能达到理想的分选指标。

(3)不同磨矿粒度下摇床选别试验表明,随着磨矿细度的增加,精矿中锰的品位逐渐增高,但随着磨矿细度的提高,回收率下降,主要原因是细粒矿物损失于尾矿中。

(4)中矿再磨后可以提高回收率,但精矿品位达不到要求,分选指标不好。

(5)富矿矿样选矿试验表明:粗磨后,直接采用两次跳汰分选,一次摇床扫选,可获得混合精矿品位为 40.41%,回收率为 70.92%的理想分选指标。

(6)建议对该矿山的开发,应采用贫、富矿分别处理的原则,对富矿可生产精矿和一部分中矿,而低品位的铁锰矿可生产中矿,这样可保证对矿石的最大程度利用。

#### 参考文献:

- [1] 张去非. 国外锰矿选矿工艺概述[J]. 中国矿山工程, 2004, 33(6): 16-18.
- [2] 曹志良, 张径生, 王运正. 中国锰矿磁选新进展[J]. 中国锰业, 2005, 23(2): 1-4.
- [3] S·B·卡龙戈. 印度安得拉邦低品位高磷锰矿石联合选矿工艺[J]. 刘维平, 译. 国外金属矿选矿, 2001: 13-17.
- [4] 张小云, 田学达, 刘树根, 等. 铁锰多金属矿综合利用新工艺[J]. 中国有色金属学报, 2005, 15(4): 650-654.
- [5] 黎贵亮, 张丽云. 广西大新锰矿选矿厂流程技术改造[J]. 中国锰业, 1999, 17(2): 6-8.