

文章编号:1673-9981(2022)02-0303-08

非洲某钛铁矿初步选矿试验研究

杜延雷, 颜禄康, 黄刚

(绿纱矿业股份有限公司, 刚果民主共和国加丹加省)

摘要: 在实验室条件下,对南非某钛铁矿进行初步选矿试验研究,用以初步确定该类型钛铁矿可选性及选矿工艺方法。该类型原矿 TFe 品位 20.46%, TiO₂ 品位 10.08%, 通过 200 mT 干式磁选进行分选, 获得干式磁选尾矿。随后对该尾矿采用螺旋溜槽-摇床重选-湿式弱磁选工艺进行分选, 最终获得 TiO₂ 品位为 46.4% 的钛精矿。为进一步提高钛精矿品位, 在实验室条件下采用浮选工艺进行分选试验, 在磨矿细度为 -0.074 mm 含量占比为 78% 及粗选捕收剂用量 400 g·t⁻¹ 和起泡剂用量 100 g·t⁻¹ 条件下, 经过一粗、一精、二扫浮选流程进行选别, 最终可获得含 TiO₂ 为 49.1% 的合格钛精矿。通过上述试验研究, 该钛铁矿可采用磁-重-浮联合工艺流程, 以获取合格品位要求的精矿。

关键词: 钛铁矿; 磁选; 重选; 选矿初步试验

中图分类号: TD951.1

文献标志码: A

引文格式: 杜延雷, 颜禄康, 黄刚. 非洲某钛铁矿初步选矿试验研究[J]. 材料研究与应用, 2022, 16(2): 303-310.

DU Yanlei, YAN Lukang, HUANG Gang. Experimental Research on Preliminary Mineral Processing on an Ilmenite Ore in Africa[J]. Materials Research and Application, 2022, 16(2): 303-310.

钛铁矿是金属钛的重要矿产来源, 世界上钛矿产资源主要集中在美国、南非等国家。对钛铁矿的综合回收利用是此类矿石开发的长期趋势, 综合回收低品位钛铁矿, 不仅能使矿产资源得到有效利用, 减少资源浪费, 也可大幅提高开发此类矿产资源的经济效益^[1]。

根据当前钛铁矿的各种选矿形式和方法, 针对非洲某主要矿石成分为岩屑、石英、长石、绿帘石、磷灰石及磁铁矿、钛铁矿等矿物的钛铁矿(含 Ti 量为 6.4%, TiO₂ 为 10.7%, TFe 为 20.46% 左右)进行综合选矿试验研究, 通过磁选、重选及浮选等综合选矿方案, 获得合格品位钛精矿^[2-3], 为该矿开发利用提供选矿方案指导。

1 矿石性质

1.1 矿石样品化学组成

试验样品来自非洲南非东北部某矿区, 表 1 为全元素分析结果。由表 1 可知, 矿石中主要可回收含钛含铁矿物, 金属钒品位较低。表 2 为原矿稀土元素分析结果。由表 2 可知, 原矿属于风化壳离子吸附型稀土矿, 但轻稀土氧化物品位为 0.042%, 低于边界品位。表 3 为钛物相组成分析结果。由表 3 可知, 钛金属主要赋存于钛磁铁矿与钛铁矿中, 金红石与硅酸盐类钛金属的比例较低。

表 1 原矿 ICP+滴定全分析结果

Table 1 Results of full analysis for raw ore with ICP+titration

w/%

元素	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	FeO	Co
含量	7.57	1.51	0.84	0.53	0.35	0.41	0.87	12.49	0.018
元素	Ti	Cr	TFe	SiO ₂	Zn	TiO ₂	V	S	
含量	6.462	0.026	24.22	38.36	0.025	10.77	0.0382	0.11	

收稿日期: 2021-04-16

作者简介: 杜延雷(1988-), 山东泰安人, 硕士, 主要研究方向为有色金属选矿, E-mail: 2908674755@qq.com。

表2 原矿稀土元素分析结果
Table 2 Analysis results of rare earth elements in raw ore $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$

元素	Sc ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃
含量	31.7	25.9	108	209	22.2	69.0	10.8	2.89
元素	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃
含量	10.5	1.29	5.97	1.07	2.93	0.39	2.32	0.32

表3 原矿钛物相组成分析结果
Table 3 Analysis results of titanium phase composition in raw ore

钛物相	全 Ti	金红石 Ti	钛磁铁矿 Ti	钛铁矿	榍石硅酸盐 Ti
含量 w/%	7.26	0.17	1.84	4.46	0.67
占有率/%	100	2.36	25.35	61.48	9.21

1.2 试验样品主要矿物物化性质及嵌布特征

通过对原矿不同样品点进行岩矿鉴定分析确认,不同岩矿鉴定的矿样中矿物种类相似,只是不同样品中矿物的相对含量不同,主要为砂质、含铁质粘土岩,似砂状,边部不规则。鉴定结果显示,矿石样品主要为透明矿物(约95%)和部分不透明矿物(一般约5%,部分约10%)。在透明矿物中,主要成分为岩屑(5%~70%)、石英(15%~95%)、长石(1%~5%),部分含有绿帘石(10%~30%)及少量角闪石、磷灰石等。不透明矿物中,主要成分为磁铁矿(2%~10%)、钛铁矿(少)、赤铁矿(2%~10%)、褐铁矿(1%~5%)。原矿为砂质、含铁质粘土岩,90%以

上为透明矿物,10%左右为不透明矿物。在不透明矿物中磁铁矿占绝大部分,钛铁矿、赤铁矿、褐铁矿较少。原矿中主要金属矿物为钛铁矿、磁铁矿,主要非金属矿物为辉石、角闪石、长石、石英、磷灰石、绿泥石等矿物。

表4为粒度筛析数据。由表4可知:−0.074 mm 粒级中 TiO₂ 的分布率仅占 2.96%, +0.074 mm 粒级占 97.04%, 其中 +0.85 mm 级别占 16.15%, −0.85~+0.1 mm 级别占 76.47%, −0.1~+0.074 mm 级别占 4.42%; −0.1 mm 粒级中 TFe 金属分布率仅占 8.3%, +0.1 mm 级别占 91.7%, +0.15 mm 级别占 82.1%, 表明矿物中 Ti 元素主要分布在粗粒级中。

表4 原矿粒级筛析试验结果
Table 4 The results of particle size sieve analysis test of the raw ore

粒级/mm	重量/g	产率/%	品位/%		分布率/%	
			TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
+0.85	37.08	24.8	21.92	6.63	26.58	16.15
−0.85~+0.45	37.27	24.9	25.55	8.23	31.10	20.13
−0.45~+0.3	15.06	10.1	25.41	11.90	12.55	11.81
−0.3~+0.15	31.61	21.2	11.45	15.41	11.87	32.10
−0.15~+0.1	13.24	8.9	22.06	14.22	9.60	12.43
−0.1~+0.074	6.43	4.3	17.87	10.46	3.76	4.42
−0.074	8.71	5.8	16.06	5.19	4.55	2.96
合计	149.4	100	20.45	10.18	100	100

2 试验结果与讨论

2.1 磁重试验

根据上述部分矿物性质和粒度分布组成分析,首先进行干式磁选,磁选精矿中 Ti 品位提升至 16.61%, TFe 品位提升明显,但尾矿 Ti 品位仍偏

高。对此结果,分别对干磁选精矿采用干式磁选-弱磁选流程进行试验,干磁选尾矿采用洗矿-螺旋溜槽-摇床-弱磁选流程进行试验。最终获取 TFe 品位 54% 的铁精矿, TiO₂ 品位 46.4% 的钛精矿。综合选矿流程如图 1 所示。

2.1.1 原矿干式磁选试验

取经过实验室干燥后原矿样品,设置场强 200

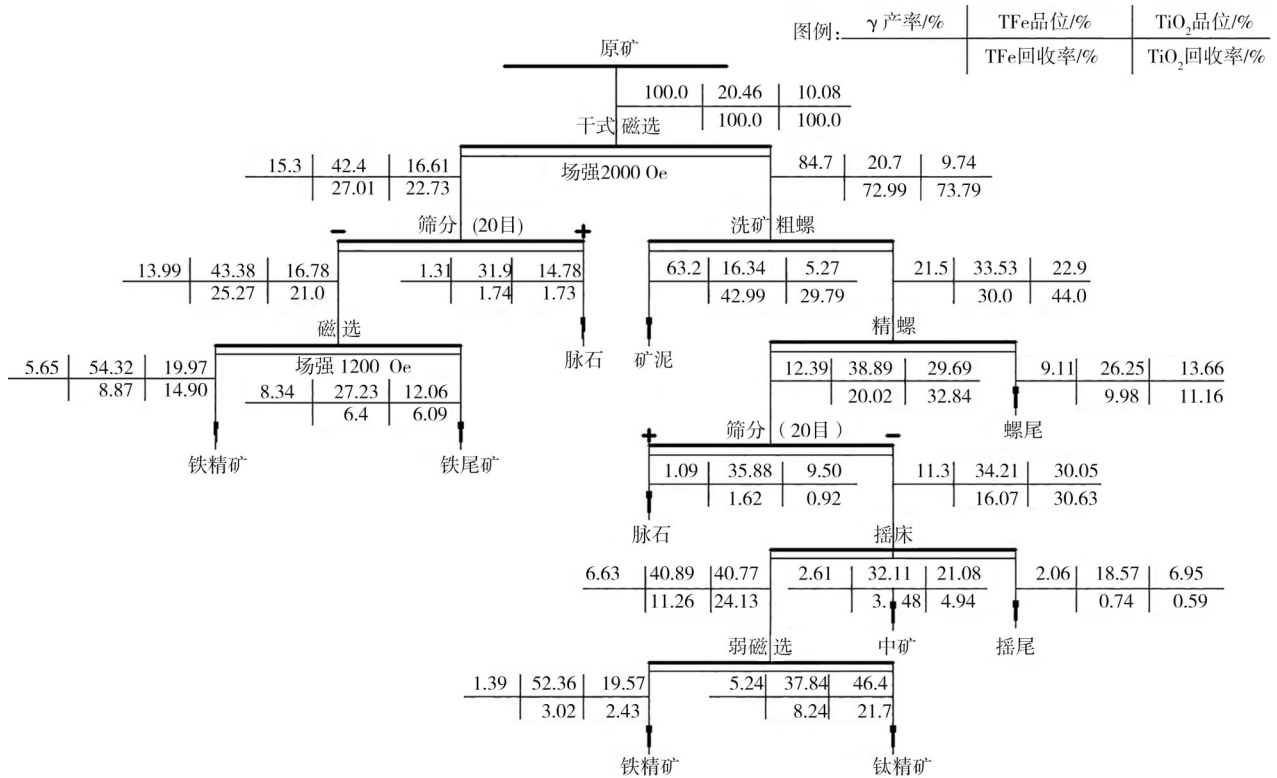


图 1 选矿试验数量质量流程图

Fig. 1 Flow chart of quantity and quality of beneficiation test

mT,进行干式磁选试验,试验结果列于表5。表5可知,在场强 200 mT 的条件下,对原矿直接干式磁选,可获得干选精矿产率 15.3%、TFe 品位 42.4%、

TiO₂ 品位 16.61%,以及 TFe 回收率 27.01%、TiO₂ 回收率 22.73% 的选别指标。

表 5 干式磁选试验结果
Table 5 Test results of dry magnetic separation

场强/mT	项目	产率/%	品位/%		回收率/%	
			TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
	原矿	100	24.02	11.18	100.0	100.0
200	干选精矿	15.3	42.4	16.61	27.01	22.73
	干选尾矿	84.7	20.7	9.74	72.99	73.79

2.1.2 干选精矿-弱磁选试验

取干式磁选后精矿,用0.085 mm筛筛分,对筛下产品进行湿式弱磁选试验,场强 120 mT。筛分及弱磁试验结果分别列于表 6 和表 7。

由表 6 可知:干式磁选精矿经 0.85 mm 筛进行筛分,筛下产品的 TFe 品位 43.38%、TiO₂ 品位 16.78%,以及 TFe 回收率 93.57%、TiO₂ 回收率 92.4%,表明有用元素主要集中在 0.85 mm 粒级

表 6 干选精矿 0.085 mm 筛分试验结果
Table 6 Screening test results of dry concentrate with 0.085 mm sieve

项目	产率/%		品位/%		TFe 回收率/%		TiO ₂ 回收率/%	
	作业	对原矿	TFe	TiO ₂	作业	对原矿	作业	对原矿
干磁精	100	15.3	42.4	16.61	100	27.01	100	22.73
+0.85 mm	8.54	1.31	31.9	14.78	6.43	1.74	7.60	1.73
-0.85 mm	91.46	13.99	43.38	16.78	93.57	25.27	92.40	21.0

以下。

由表7可知:对干选精矿进行湿式弱磁选后,获得弱磁精矿的产率5.65%、TFe品位54.32%、TiO₂品位19.97%,以及TFe回收率18.87%、TiO₂回收率14.9%;弱磁尾矿的TFe品位27.23%、TiO₂品位12.06%,其与原矿相近。

取弱磁选后精矿,用套筛筛分,其筛析试验结果列于表8。由表8中数据可知:弱磁精矿中-0.074 mm粒级中TFe金属分布率占0.88%,TiO₂金属分布率占0.62%;+0.15 mm粒级中TFe金属分布率占91.79%,TiO₂金属分布率占93.23%。结果表明,有用矿物嵌布粒度较粗。

表7 干选精矿-弱磁试验结果

Table 7 Test results of dry concentrate-weak magnetic separation

场强/mT	项目	产率/%		品位/%		TFe回收率/%		TiO ₂ 回收率/%	
		作业	对干选精	TFe	TiO ₂	作业	对干选精	作业	对干选精
120	干选精	100	13.99	43.38	16.78	100	25.27	100	21.0
	弱磁精矿	59.63	5.65	54.32	19.97	74.67	18.87	70.97	14.90
	弱磁尾矿	40.37	8.34	27.23	12.06	25.34	6.40	29.01	6.09

表8 弱磁精矿粒级筛析试验结果

Table 8 The results of the particle size sieve analysis test of weak magnetic separation

粒级/mm	产率/%	品位/%		分布率/%		累积分布率/%	
		TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
+0.85	11.67	50.82	19.01	11.04	11.27	11.04	11.27
-0.85~+0.45	39.57	52.92	20.76	38.97	41.71	50.01	52.98
-0.45~+0.3	16.36	54.73	19.97	16.66	16.59	66.67	69.57
-0.3~+0.15	24.41	55.29	19.09	25.12	23.66	91.79	93.23
-0.15~+0.1	5.61	56.13	17.41	5.86	4.96	97.65	98.19
-0.1~+0.074	1.41	56.13	16.53	1.47	1.18	99.12	99.37
-0.074	0.88	53.62	13.93	0.88	0.62	100	100
合计	99.89	54.32	19.97	100	100	—	—

2.1.3 干式弱磁尾矿-洗矿-溜槽试验

取干式磁选后尾矿,首先用搅拌槽搅拌10 min,矿浆浓度30%,然后用螺旋溜槽重选,对螺旋精矿

再选,对螺旋精矿用0.85 mm筛子筛分,试验结果分别列于表9和表10。

表9 干选尾矿洗矿-螺溜试验结果

Table 9 Test results of dry separation tailings with washing-spiral chute

项目	产率		品位		TFe回收率		TiO ₂ 回收率	
	作业	对干选尾	TFe	TiO ₂	作业	对干选尾	作业	对干选尾
干选尾矿	100	84.7	20.7	9.74	100	72.99	100	73.79
重选精矿	14.6	12.39	38.89	29.69	27.43	20.02	44.51	32.84
重选尾矿1	74.62	63.2	16.34	5.27	58.90	42.99	40.37	29.79
重选尾矿2	10.78	9.11	26.25	13.66	13.67	9.98	15.12	11.16

表10 螺溜精矿0.85 mm筛分试验结果

Table 10 Screening test results of spiral chute concentrate with 0.085 mm sieve

项目	产率/%		品位/%		TFe回收率/%		TiO ₂ 回收率/%	
	作业	对重选精	TFe	TiO ₂	作业	对重选精	作业	对重选精
重选精矿	100	12.39	38.89	29.69	100	20.02	100	32.84
+0.85 mm	8.76	1.09	35.88	9.50	8.08	1.62	2.80	0.92
-0.85 mm	91.24	11.3	34.21	30.35	80.26	16.07	93.27	30.63

由表 9 可知,采用洗矿-粗螺-螺旋溜槽重选的工艺,抛掉了产率为 63.2% 及 TFe 品位 16.34% 和 TiO₂ 品位 5.27% 的尾矿,同时损失 TFe 回收率 42.99% 及 TiO₂ 回收率 29.79%。

由表 10 可知,螺溜精矿的有用矿物主要集中于 -0.85 mm 产品中,其 TFe 回收率 16.07%、TiO₂ 回

收率 30.63%。

2.1.4 螺精筛下-摇床-弱磁选试验

取螺溜精矿筛下产品 200 g 进行摇床试验,分别对摇床精矿、中矿进行弱磁选,场强 100 mT,试验结果列于表 11。

由表 11 可知:对摇床精矿进行弱磁选,仍有产

表 11 摇床-弱磁试验结果

Table 11 Test results of shaker-weakening magnetic separation

/%

项目	产率		品位		TFe 回收率		TiO ₂ 回收率	
	作业	对溜精	TFe	TiO ₂	作业	对溜精	作业	对溜精
溜精矿	100	11.3	34.21	30.35	100	16.07	100	30.63
钛精矿	46.33	5.24	37.84	46.4	51.25	8.24	70.83	21.70
铁精矿	12.29	1.39	52.36	19.57	18.81	3.02	7.92	2.43
中矿	23.1	2.61	32.11	21.08	21.68	3.48	16.04	4.91
尾矿	18.28	2.06	18.57	6.95	8.97	0.74	2.74	0.59

率为 1.39% 和 TFe 品位 52.36% 的铁精矿,说明在干选过程中有一部分铁精矿进入尾矿中;钛精矿产率 5.24%, TiO₂ 品位达到 46.4%、TiO₂ 回收率 21.7%。

通过采用磁选、重选等综合流程开路试验,最终获取钛精矿品位 46.4%。为进一步提高钛精矿品位和回收率,对磁选重选流程获取的钛精矿进行物相分析,并根据物相分析结论采用浮选方法进一步提高钛精矿品位。

2.2 钛精矿物相分析试验

对试验获得的钛精矿进行岩矿鉴定,钛精矿鉴定结果如图 2 所示。从图 2 可见,钛精矿中未发现金红石存在,但含有磁铁矿、赤铁矿及部分含有褐铁矿、黄铁矿,这些矿物的存在会影响钛铁矿品位,此外有小部分钛铁矿与透明矿物蠕状交生,也在一定程度上会影响钛精矿的综合品位。

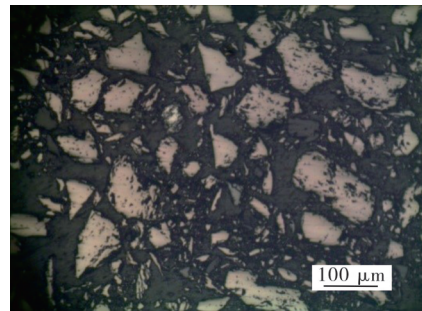
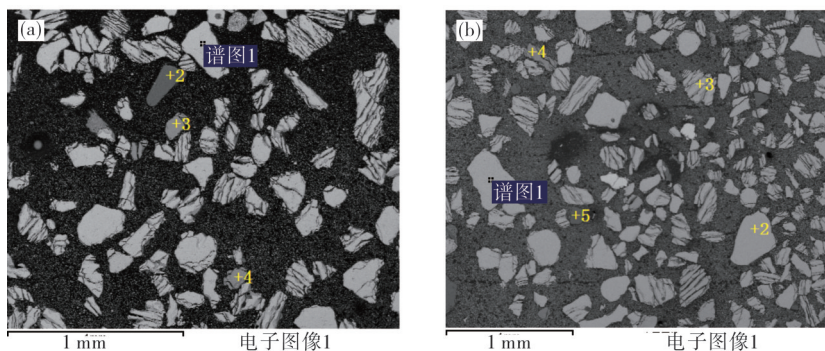


图 2 钛精矿岩矿鉴定图像

Fig. 2 Ilmenite concentrate rock and mineral identification image

对试验获得的钛精矿进行 SEM-EDS 分析,结果如图 3 所示。从图 3 可见:在选区范围内呈现的能谱可见有 5 种矿物,矿物类型包括钛铁矿、含 Mn 钛铁氧化物、含 Mg 钛铁氧化物、磷灰石和夕线石,其中 Mg 和 Mn 以类质同象替代 Fe;另外,精矿中出现



(a) 样品点 1; (b) 样品点 2。

(a) sample point 1; (b) sample point 2.

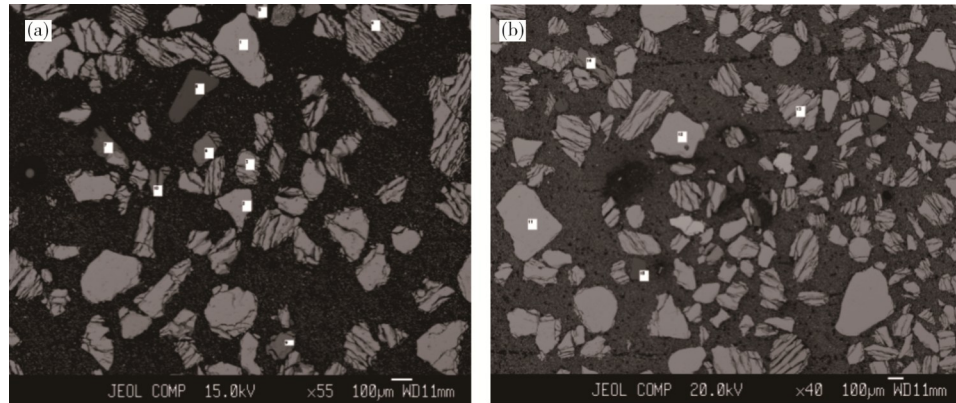
图 3 钛精矿 SEM-EDS 图像

Fig. 3 SEM-EDS images of ilmenite concentrate

粒度较大的夕线石(粒度约0.4 mm),但是数量较少;同时,钛精矿出现较多的磷灰石,粒度较小(0.1~0.2 mm),且与含钛矿物连生。

用电子探针针对钛精矿中含钛矿物点进行进一步检测分析,结果如图4所示。从图4电子探针分析可

以看出,15个点位检测均未发现金红石,发现的矿物包含类型有钛铁矿、矽线石、绿泥石、磷灰石,并且矿物多数为钛铁矿。对含钛铁矿进行点检测,确定精矿样品中 TiO_2 平均含量为52.19%。



(a) 加速电压 15 kV;(b)加速电压 20 kV。

(a) accelerating voltage 15 kV;(b)accelerating voltage 20 kV.

图4 钛精矿电子探针分析图像

Fig. 4 Electron probe analysis images of ilmenite concentrate

根据上述检测鉴定分析发现:钛精矿中主要矿物为钛铁矿,没有发现有金红石(TiO_2);钛铁矿理论品位为52%,电子探针分析钛铁矿理论品位为52.19%。结果表明,该精矿中的矽线石、磷灰石、绿泥石等其他矿物是影响钛品位的主要原因,磷灰石(0.1~0.2 mm)造成P及Ca元素成分增高,矽线石(0.4 mm)造成Al和Si等含量增高。

2.3 钛精矿浮选试验

2.3.1 磨矿细度试验

磁选、重选获取的钛精矿原矿粒度较粗,根据物相分析,部分钛精矿原矿中含有其他矿物的连生体,采用油酸类捕收剂、2号油作起泡剂、硫酸做pH调整剂,对不同细度钛精矿原矿进行浮选试验。磨矿流程示意图如图5所示,试验结果如图6所示。

从图6可明显看出:随着磨矿细度的增加,浮选

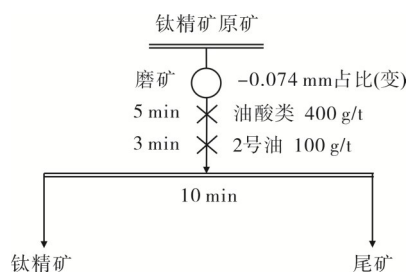


图5 磨矿细度试验流程示意图

Fig. 5 Schematic diagram of grinding fineness test flow chart

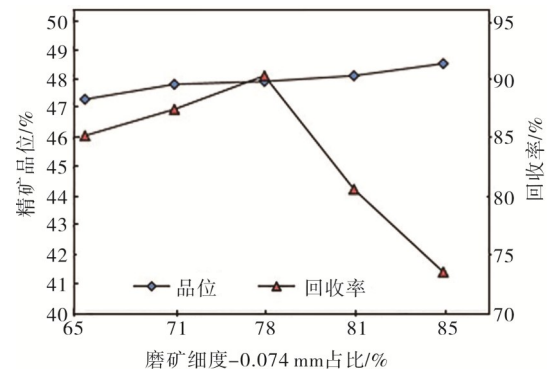


图6 磨矿细度试验结果

Fig. 6 Grinding fineness test results

钛精矿品位持续增加,但是增长趋势缓慢;随着磨矿细度增加,钛精矿回收率先增加后快速降低,当细度为-0.074 mm占比为78%时,钛精矿回收率最大,此时品位为47.9%。

根据磨矿细度初步试验可以看出,采用油酸类捕收剂,一段浮选钛精矿品位可以有明显提高,选定磨矿细度为78%基础上,进行进一步浮选试验。

2.3.2 精矿浮选试验

在磨矿细度-0.074 mm为78%及起泡剂用量为 $50 g \cdot t^{-1}$ 条件下,进行油酸类捕收剂用量试验,试验结果如图7所示。从图7可以看出:随着捕收剂用量增加,浮选精矿品位持续下降,回收率不断增加;当捕收剂用量达到 $400 g \cdot t^{-1}$ 时,再增加捕收剂用

量,浮选精矿品位降幅较大。因此,确定浮选粗选的捕收剂用量为 $400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 。

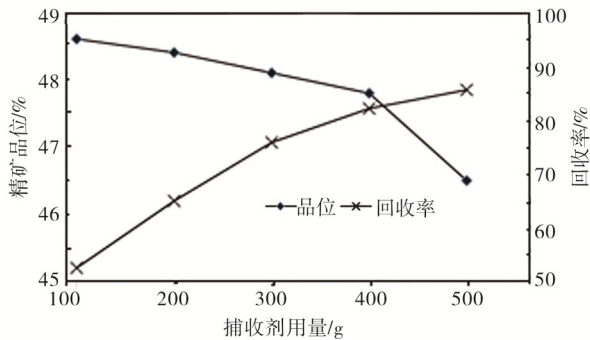


图7 捕收剂用量试验结果

Fig. 7 Test results of collector dosage

在磨矿细度 -0.074 mm 为 78% 及捕收剂用量为 $400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 条件下,进行起泡剂用量试验,试验结果如图 8 所示。从图 8 可见,当起泡剂用量为 $50 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 时,浮选精矿品位最高,浮选回收率接近 80% 。因此,选择捕收剂用量为 $50 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 作为浮选粗选起泡

剂用量。

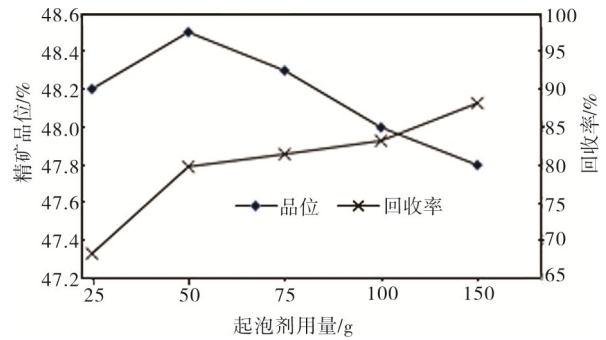


图8 起泡剂用量试验结果

Fig. 8 Test results of foaming agent dosage

2.3.2 精矿浮选开路试验

在钛精矿原矿磨至 -0.074 mm 细度含量 78% ,油酸类捕收剂用量 $400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 、2号油起泡剂用量为 $50 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$,矿浆 pH 值为 5 的条件下,采用一段粗选、一段精选、两段扫选流程进行浮选开路试验。浮选试验流程及药剂制度如图 9 所示,开路浮选试验结果列于表 12。

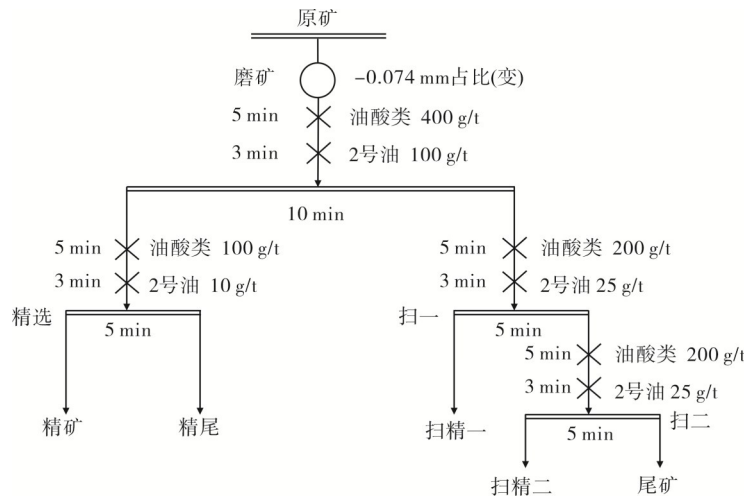


图9 浮选开路流程示意图

Fig. 9 Schematic diagram of open circuit flotation process

表 12 浮选开路试验结果

Table 12 Flotation results of open circuit test /%

产品	产率	品位	回收率
钛精矿原矿	100.00	45.25	100.00
钛精矿	68.10	49.10	73.89
精尾	12.70	44.20	12.41
扫精1	10.70	37.90	8.96
扫精2	3.10	36.20	2.48
尾矿	5.40	18.90	2.26

从图 9 可以看出,对经磁选、重选流程处理后获取的钛精矿原矿进行一粗、一精、二扫浮选流程进行选别,可以进一步提高钛精矿品位,最终获取含 TiO_2 为 49.1% 的合格钛精矿。

3 结论

(1)非洲某钛铁矿原矿为砂质含铁质粘土岩,主要金属矿物为钛铁矿、钛磁铁矿,主要非金属矿物为

辉石、角闪石、长石、石英、磷灰石、绿泥石等矿物。

(2)采用磁选和重选方式对原矿进行干式磁选,所获得的干磁选的精矿和尾矿分别进行初步选矿试验,可以获取品位46.4%的钛精矿及TFe品位为54.32%左右的铁精矿,表明常规磁选、重选可以获取品位较高精矿产品。

(3)对磁选、重选获取的钛精矿进行矿物学分析发现:主要钛矿物为钛铁矿、钛磁铁矿,金红石占比少;脉石矿物为硅线石、磷灰石、绿泥石等部分含钛矿物与脉石蠕虫交生而影响了钛精矿的品位。

(4)采用磨矿-浮选方式,对钛精矿细磨,提高矿

物解离度,在常规浮选方式下进行浮选,最终可以获取49.1%的钛精矿。

(5)通过初步系列试验研究,该钛铁矿采用选矿方法可以取得较好指标的精矿产品。

参考文献:

- [1] 熊堃,文书明,郑海雷. 钛铁矿资源加工研究现状[J]. 金属矿山,2010(4):93-96.
- [2] 王立刚,陈金中. 某钛粗精矿提高品位选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2007(3):1-4.
- [3] 刘万峰,于梅花,滕根德. 河北某钛铁矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2008(4):10-14.

Experimental Research on Preliminary Mineral Processing on an Ilmenite Ore in Africa

DU Yanlei, YAN Lukang, HUANG Gang

(Green Yam Mining Co., Ltd., Katanga Province, Democratic Republic of Congo)

Abstract: Under laboratory conditions, a preliminary beneficiation test was conducted on an ilmenite in South Africa to preliminarily determine the selectivity and beneficiation process of this type of ilmenite. This type of raw ore has a TFe grade of 20.46% and a TiO₂ grade of 10.08%. It is separated by 200 mT dry magnetic separation to obtain dry magnetic separation tailings. The tailings are processed by spiral chute-shaker gravity separation-wet weak magnetic separation process. After sorting, the titanium concentrate with TiO₂ grade of 46.4% was finally obtained. In order to further improve the grade of the titanium concentrate, the flotation process was used to conduct a sorting test under laboratory conditions. Under the condition of the dosage of 100 g·t⁻¹ of agent, the qualified titanium concentrate with TiO₂ content of 49.1% can be finally obtained though a coarse, a fine, and a second sweep flotation process. Through the above-mentioned experimental research and analysis, it is confirmed that the ilmenite adopts a feasible combined process magnetic-gravity-floating process flow, and can obtain the concentrate with qualified grade requirements.

Key words: ilmenite; magnetic separation; gravity separation; preliminary beneficiation test

(学术编辑:黎小辉)