

新疆某钛铁矿重选粗精矿工艺矿物学及分选可行性研究^①

费泽通, 袁致涛, 孟庆有

(东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要:为综合回收新疆某钛铁矿重选粗精矿中铁、钛元素,进行了工艺矿物学及分选可行性试验研究。工艺矿物学研究结果表明,矿样中有用矿物为钛铁矿、含锰钛铁矿、含钛磁铁矿、磁铁矿,脉石多为透闪石、铁钠闪石、石榴石、榍石等含铁钛硅酸盐矿物。采用“磨矿-弱磁选选铁-两段强磁选预富集钛-浮选脱硫-一粗一扫四精浮选选钛”工艺,可获得铁精矿 TFe 品位 63.93%、回收率 69.11% 的良好指标,但钛精矿 TiO₂ 品位仅 32.59%、回收率 28.04%。钛铁矿 TiO₂ 品位低、含铁硅酸盐脉石矿物质量分数高是影响钛选指标的主要因素。

关键词: 钛铁矿; 工艺矿物学; 浮选; 磁选; 铁精矿; 钛精矿

中图分类号: TD952

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2025.01.011

文章编号: 0253-6099(2025)01-0061-04

Process Mineralogy and Separation Feasibility of Rough Concentrate from Gravity Separation of Ilmenite Ore from Xinjiang

FEI Zetong, YUAN Zhitao, MENG Qingyou

(School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, Liaoning, China)

Abstract: The process mineralogy and separation feasibility of an ilmenite ore from Xinjiang were comprehensively studied to recover iron and titanium resources from the gravity separation concentrate. The process mineralogy results show that the valuable minerals therein include ilmenite, manganese-bearing ilmenite, titanium-bearing magnetite and magnetite, while the gangue minerals therein are predominantly tremolite, riebeckite, garnet and sphene. After one stage of grinding, iron minerals were collected with one stage of low intensity magnetic separation. Then, two stages of high intensity magnetic separation were adopted to recover titanium minerals. The titanium rough concentrate was treated by a flotation for desulfurization and a flotation process consisting of one stage of roughing, one stage of scavenging and four stages of cleaning. The whole process produced an iron concentrate grading 63.93% TFe at 69.11% recovery, presenting a good separation index, and a titanium concentrate was obtained with grade of 32.59% TiO₂ at 28.04% recovery. It is found that low TiO₂ content and high content of iron-bearing silicate gangue minerals are the main factors affecting the ilmenite beneficiation indicators.

Key words: ilmenite; process mineralogy; flotation; magnetic separation; iron concentrate; titanium concentrate

钛金属具有强度高、密度低、抗腐蚀、阻尼低、超导性的特点,其氧化物(TiO₂)具有无毒、物理化学稳定性好、折射率高等特征^[1-2],是国家重要的民用产品原料和战略资源^[3]。我国钛矿资源储量大、分布广、品位低、矿物组成复杂^[4],其中95%为原生钛铁矿资源。根据我国钛铁矿矿石特点和选矿技术发展现状,主要采用磁选-浮选、重选-浮选、重选-磁选-浮选等联合工艺对钛铁矿进行分选^[5]。

本文以新疆某钛铁矿重选粗精矿为研究对象,对其进行工艺矿物学研究,查明该矿样的化学成分、矿物组成、嵌布特征、单体解离度等;针对矿样中有用矿物磁铁矿和钛铁矿,采用磁选-浮选联合工艺进行分选可行性试验研究,探讨该矿石中铁、钛的综合利用价值。

1 工艺矿物学研究

通过 X 射线荧光光谱法对矿样主要化学元素进

① 收稿日期: 2024-08-25

基金项目: 国家自然科学基金(52174241)

作者简介: 费泽通(1998—),男,安徽马鞍山人,硕士研究生,主要研究方向为有色金属矿选矿。E-mail:1661925456@qq.com

通信作者: 袁致涛(1971—),男,湖北大冶人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为磁电选矿技术与理论。E-mail:yuanzhitao@mail.neu.edu.cn

行分析,结果如表1所示。由表1可知:矿样中具有回收价值的元素为Fe、Ti;矿样中脉石主要成分为 SiO_2 ,其次为 CaO 、 P_2O_5 及 Al_2O_3 。

表1 矿样主要化学元素分析结果(质量分数)

Table 1 Analysis results of main chemical elements of ore sample %

Fe_2O_3	TiO_2	SiO_2	CaO	P_2O_5	Al_2O_3	MgO	MnO	V_2O_5
58.95	6.57	18.43	7.63	2.94	2.06	1.72	1.01	0.057

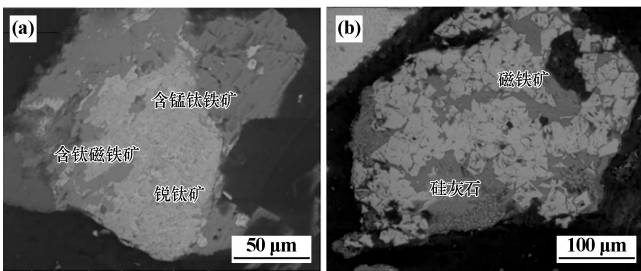
矿样矿物组成见表2。矿样中金属矿物主要为钛铁矿、含锰钛铁矿、含钛磁铁矿、磁铁矿及钙菱铁矿等,其中磁铁矿、含钛磁铁矿、含锰钛铁矿含量较高;脉石矿物主要为透闪石、铁钠闪石、磷灰石、石榴石、榍石等,其中透闪石、铁钠闪石含量较高。可以看出,考虑回收的钛有用矿物为(锰)钛铁矿,铁有用矿物为(钛)磁铁矿。

表2 矿样矿物组成(质量分数)

Table 2 Mineral composition of ore sample %

钛铁矿	含锰钛铁矿	含钛磁铁矿	磁铁矿	钙菱铁矿	黄铁矿	透闪石
0.17	9.74	9.88	51.59	0.98	0.82	6.74
铁钠闪石	磷灰石	石榴石	榍石	长石	铁辉石	钙铁辉石
4.93	3.06	2.76	2.15	1.64	2.20	0.05

矿样中含锰钛铁矿和磁铁矿 SEM 照片见图1。由图1可知:部分含锰钛铁矿为致密集合体,在 $50\ \mu\text{m}$ 区域内与含钛磁铁矿和锐钛矿三者构成连生体,连生关系复杂;部分磁铁矿呈粒状聚集体分布,在 $100\ \mu\text{m}$ 区域内与硅灰石构成连生体。



(a) 含锰钛铁矿; (b) 磁铁矿

图1 主要矿物 SEM 照片

Fig.1 SEM image of major minerals

2 分选可行性研究

2.1 试验方案

工艺矿物学研究结果表明,该矿样中主要有用矿

物为磁铁矿和钛铁矿。根据现行磁铁矿和钛铁矿分选工艺,拟采用“磨矿-弱磁选选铁-强磁选预富集钛、浮选选钛”的原则流程进行铁、钛分选回收的可行性试验研究,原则流程见图2。钛铁矿分选过程中,为提高对钛铁矿的选择性捕收效果,选用水玻璃和羧甲基纤维素钠(CMC)为组合抑制剂,选用铁岭选矿药剂有限公司生产的TW-705(主要成分为苯甲羟肟酸)^[6-7]为捕收剂。

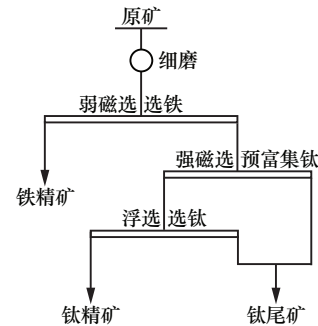


图2 试验原则流程

Fig.2 Principle flowchart of test

2.2 磁铁矿弱磁选试验

钛铁矿重选粗精矿中(钛)磁铁矿含量(质量分数)高达61%,具有较高的回收利用价值。磁场强度 $200\ \text{kA/m}$ 条件下,磨矿细度对磁铁矿湿式弱磁选效果的影响如图3所示。随着磨矿细度增加,弱磁选精矿TFe品位增大、回收率逐渐降低,弱磁选尾矿 TiO_2 品位变化幅度不大、回收率呈增大趋势。磨矿细度 $-0.074\ \text{mm}$ 粒级占90%时,精矿产率52.50%,精矿TFe品位63.93%、TFe回收率69.11%,说明提高磨矿细度有利于提高精矿铁品位,弱磁选对磁铁矿的回收效果较好。综合考虑,确定磨矿细度 $-0.074\ \text{mm}$ 粒级占90%为宜,在此条件下制备钛铁矿分选试验样品。

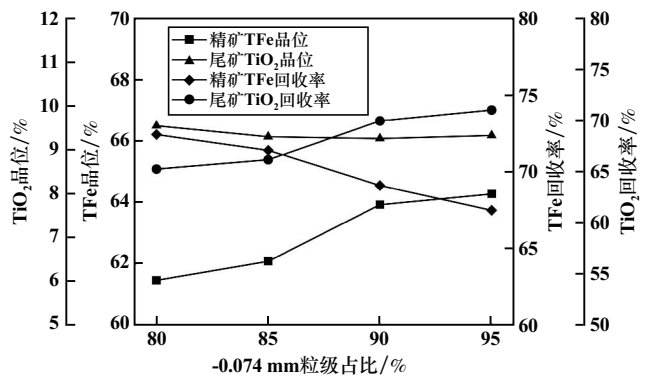


图3 磨矿细度对磁铁矿湿式弱磁选效果的影响

Fig.3 Effect of grinding fineness on wet low intensity magnetic separation indices of magnetite

2.3 钛铁矿分选试验

2.3.1 强磁选预富集试验

强磁选预富集不仅能提高钛铁矿入选品位,而且能减少矿泥对浮选过程的干扰,对细粒钛铁矿分选具有重要影响^[8]。对弱磁选选铁的尾矿进行了二段钛铁矿强磁选预富集试验,一段磁场强度为 1 600 kA/m、二段磁场强度为 1 400 kA/m,试验结果如表 3 所示。由表 3 可知,经两段强磁选预富集,钛铁矿强磁选精矿 TiO₂ 品位提升至 11.21%,TiO₂ 作业回收率 78.94%、相对原矿的回收率为 52.89%,两段强磁选对钛铁矿的预富集效果不佳,说明脉石矿物磁性可能与钛铁矿相近。

表 3 钛铁矿强磁选预富集试验结果

Table 3 Results of ilmenite preconcentration by high intensity magnetic separation

产品名称	产率/%		TiO ₂ 品位/%	TiO ₂ 回收率/%	
	作业	对原矿		作业	对原矿
精矿	65.26	31.00	11.21	78.94	52.89
尾矿	33.74	16.50	5.62	21.06	14.11
给矿	100.00	47.50	9.26	100.00	67.00

2.3.2 浮选选钛闭路试验

在前期条件试验基础上,确定了钛铁矿浮选药剂制度和流程结构,采用“浮选脱硫—粗—扫—四精选钛”工艺对钛铁矿强磁选精矿进行浮选闭路试验,试验结果见表 4,试验流程及药剂制度如图 4 所示。浮选闭路试验仅获得钛精矿 TiO₂ 品位 32.59%、作业回收率 53.00%、对原矿回收率 28.04%的浮选指标。钛铁矿精矿品位并不理想,通过光学显微镜观察,发现精矿中仅存在少量钛铁矿连生颗粒,仍存在较多细粒单体脉石颗粒。

表 4 浮选闭路试验结果

Table 4 Results of closed-circuit flotation test

产品名称	产率/%		TiO ₂ 品位/%	TiO ₂ 回收率/%	
	作业	对原矿		作业	对原矿
精矿	18.23	5.65	32.59	53.00	28.04
尾矿	72.93	22.61	10.32	46.03	24.35
硫精矿	8.84	2.74	1.23	0.97	0.51
给矿	100.00	31.00	11.21	100.00	52.90

2.4 铁、钛全流程试验

采用“磨矿-弱磁选选铁-两段强磁选预富集钛-浮选脱硫—粗—扫—四精浮选选钛”工艺进行铁、钛全流程试验,试验结果见表 5,试验流程见图 5。全流程试验可获得产率 52.50%、TFe 品位 63.93%、TFe 回收率 69.11%的铁精矿。钛精矿(浮选精矿)产率为 5.65%,TiO₂ 品位仅 32.59%,回收率 28.04%,钛铁矿选矿指标较差。

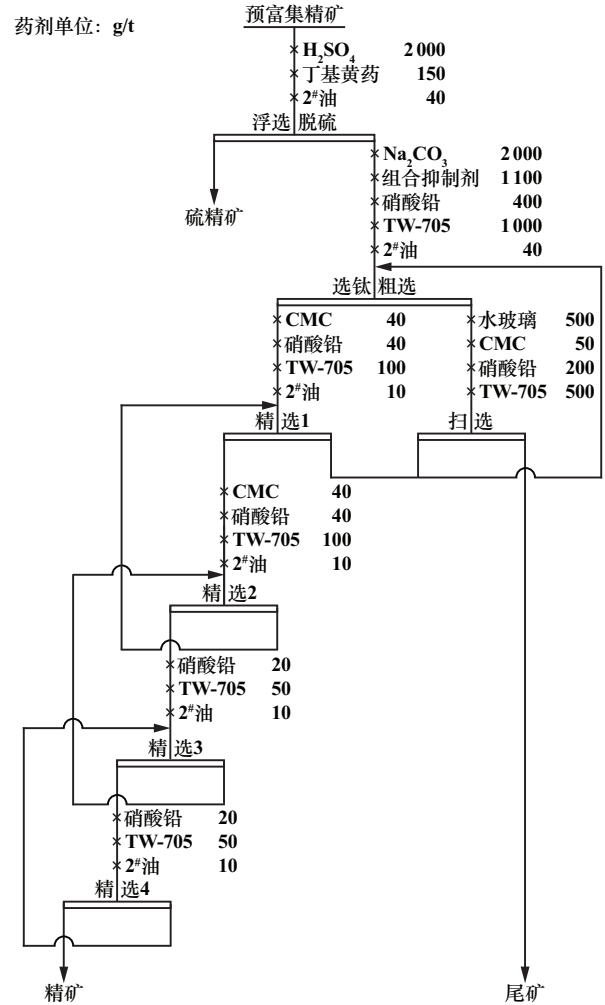


图 4 浮选闭路试验流程

Fig.4 Flowchart of closed-circuit flotation

表 5 全流程试验结果

Table 5 Results of whole-process flow test

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
弱磁选精矿(铁精矿)	52.50	63.93	4.13	69.11	33.00
强磁选尾矿	16.50	—	5.62	—	14.10
浮选精矿	5.65	—	32.59	—	28.04
浮选尾矿	22.61	—	10.32	—	24.35
硫精矿	2.74	—	1.23	—	0.51
原矿	100.00	48.56	6.57	100.00	100.00

2.5 矿物学影响因素分析

造成钛铁矿选矿指标不理想的矿物学因素包括以下两个方面:① 钛铁矿中 TiO₂ 含量低,且存在以类质同象形式出现的 Mn 元素,对钛铁矿精矿品位的提升影响较大;② 原矿中脉石矿物如透闪石、铁钠闪石、石榴石、铁辉石等硅酸盐矿物中含铁很高,一定程度上增大了脉石矿物的磁性,造成钛铁矿强磁选过程无明显

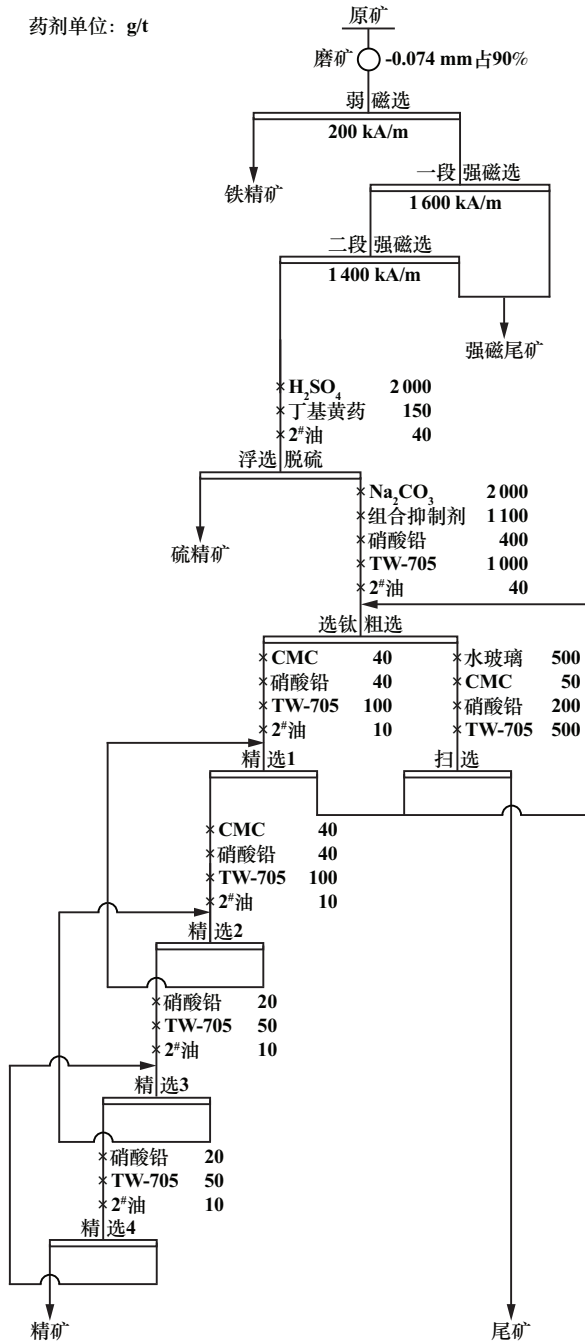


图5 全流程试验流程

Fig.5 Whole-process flowchart

分离效果;含铁钛硅酸盐矿物表面暴露出的活性质点与钛铁矿相似,钛铁矿与脉石矿物可浮性差异减小,浮选药剂选择性差,难以实现浮选的选择性分离。

3 结语

1) 新疆某钛铁矿重选粗精矿中金属矿物主要为钛铁矿及含锰钛铁矿、含钛磁铁矿及磁铁矿等,可考虑综合回收;脉石矿物主要为透闪石、铁钠闪石、石榴石、榍石等含铁硅酸盐矿物。

2) 采用“磨矿-弱磁选选铁-强磁选预富集钛、浮选选钛”工艺流程,在磨矿细度-0.074 mm 粒级占90%、磁场强度200 kA/m 条件下,可获得 TFe 品位63.93%、回收率69.11%的铁精矿;但后续浮选所得钛铁矿 TiO₂ 品位仅32.59%、回收率28.04%,分选效果不理想。

3) 原矿中钛铁矿 TiO₂ 含量低、含铁硅酸盐脉石矿物含量高是影响钛铁矿选矿指标的主要因素,含铁钛硅酸盐矿物多呈弱磁性,表面性质与钛铁矿相似,造成强磁选和浮选难以选择性分离钛铁矿与脉石矿物。

参考文献(References):

- [1] 邓国球. 钛冶金[M]. 北京:冶金工业出版社, 2010. DENG Guozhu. Titanium metallurgy[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2010.
- [2] CHEN L Z, XIONG D H, HUANG H C. Pulsating high-gradient magnetic separation of fine hematite from tailings[J]. Minerals & Metallurgical Processing, 2009,26(3):163-168.
- [3] 张喜燕,赵永庆,白晨光. 钛合金及应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2005. ZHANG Xiyang, ZHAO Yongqing, BAI Chengguang. Titanium alloys and its applications[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [4] 吴贤,张健. 中国的钛资源分布及特点[J]. 钛工业进展, 2006(6): 8-12. WU Xian, ZHANG Jian. Geographical distribution and characteristics of titanium resources in China[J]. Titanium Industry Progress, 2006(6): 8-12.
- [5] 张崇辉,高晨鑫,卜显忠,等. 钛铁矿粗精矿直接还原分离钛铁试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(4):99-102. ZHANG Chonghui, GAO Chenxin, BU Xianzhong, et al. Experimental study on separation and recovery of iron and titanium from ilmenite rough concentrate by direct reduction[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023,43(4):99-102.
- [6] 王洪彬,张红先. MOH 捕收剂浮选攀枝花微细粒级钛铁矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2007(5):27-30. WANG Hongbin, ZHANG Hongxian. Experimental study on the floatation of the micro-fine ilmenite in panzhihua using MOH collectors[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2007(5):27-30.
- [7] 刘能云,陈超,张裕书,等. 从尾矿中回收钛铁矿的试验研究[J]. 矿冶工程, 2020,40(1):65-68. LIU Nengyun, CHEN Chao, ZHANG Yushu, et al. Experimental study on recovery of ilmenite from tailings[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2020,40(1):65-68.
- [8] 高煜,卢东方,刘振强,等. 某选钛厂入库尾矿选矿工艺研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(6):74-78. GAO Yu, LU Dongfang, LIU Zhenqiang, et al. Beneficiation of tailings in tailings pond of titanium processing plant[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023,43(6):74-78.

引用本文:费泽通,袁致涛,孟庆有. 新疆某钛铁矿重选粗精矿工艺矿物学及分选可行性研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(1):61-64.

FEI Zetong, YUAN Zhitao, MENG Qingyou. Process mineralogy and separation feasibility of rough concentrate from gravity separation of ilmenite ore from Xinjiang[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(1):61-64.