

采矿与选矿

攀西某选铁尾矿中钛铁矿浮选药剂 优化试验研究

邓建^{1,2}, 杨耀辉^{1,2}, 王洪彬³, 严伟平^{1,2}, 曾小波^{1,2}

(1. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国地质调查局金属矿产资源综合利用技术研究中心, 四川 成都 610041; 3. 攀钢集团矿业有限公司, 四川 攀枝花 617000)

摘要: 针对攀西某选铁尾矿进行了钛铁矿浮选药剂优化试验研究, 其 TiO_2 品位为 16.6%, 主要矿物为钛铁矿、钛磁铁矿、辉石、橄榄石, 次要矿物为斜长石、绿泥石。经过捕收剂、抑制剂、硫酸等药剂优化试验, 利用硫酸+EMA+MOH, 通过磁选除铁-浮选脱硫+一粗一扫五次精选选钛流程, 闭路试验可以获得钛精矿产率 25.18%, TiO_2 品位 46.48%, 回收率 71.31% 的良好指标, 为攀西矿区选铁尾矿中钛铁矿的回收提供技术参考。

关键词: 钛铁矿; 选铁尾矿; 浮选; 药剂

中图分类号: TF823, TD924

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2022)03-0077-07

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2022.03.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者
聊科研

Experimental study on optimization of flotation reagents for ilmenite from an iron dressing tailing in Panxi area

Deng Jian^{1,2}, Yang Yaohui^{1,2}, Wang Hongbin³, Yan Weiping^{1,2}, Zeng Xiaobo^{1,2}

(1. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China; 2. Technical Research Center for Comprehensive Utilization of Metal and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610041, Sichuan, China; 3. Pangang Group Mining Co., Ltd., Panzhihua 617000, Sichuan, China)

Abstract: In this paper, the optimization test of ilmenite flotation reagents was carried out for an iron dressing tailing in Panxi. With a TiO_2 grade of 16.6%, this tailing is mainly composed of ilmenite, titanomagnetite, pyroxene and olivine, and the secondary minerals are plagioclase and chlorite. The types and dosages of collectors, inhibitors and sulfuric acid were optimized. Using the combination of sulfuric acid, EMA and MOH, a five-time titanium concentration process was obtained, including iron removal by magnetic separation, flotation desulfurization, one rough selection and one sweep selection. Under the optimal conditions, a good index of titanium concentrate yield of 25.18%, TiO_2 grade of 46.48% and recovery of 71.31% can be obtained in the closed circuit test, which provides a technical reference for the recovery of ilmenite from iron separation tailings in Panxi mining area.

Key words: ilmenite, iron separation tailings, flotation, reagent

收稿日期: 2022-03-29

基金项目: 国家重点研发计划青年科学家项目(2021YFC2900800); 自然资源部中国地质调查局地质调查项目(DD20221697); 钒钛资源综合利用产业技术创新战略联盟协同项目。

作者简介: 邓建(1994—), 男, 重庆大足人, 硕士研究生, 主要从事钒钛磁铁、萤石等战略矿产资源选矿技术研究, E-mail: 610227647@qq.com。

0 引言

钛是一种重要稀有金属,被广泛应用于化工、电力、冶金、制盐、医药、航空航天、船舰、潜艇以及制造化工、化纤工业等行业,在国民经济发展中起着十分重要的作用^[1-2]。钛主要以化合物的形式赋存于钛铁矿(FeTiO_3)和金红石(TiO_2)中,目前已探明钛资源绝大部分都以钛铁矿的形式存在^[3]。钛铁矿主要分布在亚洲、大洋洲和欧洲,我国(26.14%)与澳大利亚(28.41%)占世界储量一半以上。我国探明的钛铁矿资源分布在 21 个省(自治区、直辖市)共 108 个矿区,主要产区为四川、河北、海南、广东、湖北、广西、云南、陕西、山西等地,其中以四川攀西地区储量最大,钛(TiO_2)储量高达 35 526.6 万 t,约占全国的 90.54%,主要矿区分为攀枝花矿区、白马矿区、攀西矿区和太和矿区^[4-6]。随着资源的开发,攀西矿区的矿石嵌布粒度越来越细,同时随着开采的不断深入,出现辉长岩、辉石岩在矿石中含量逐渐减少,而橄榄岩含量增多的现象,导致选矿难度增加^[7-9]。攀西矿区的钒钛磁铁矿有效利用率低,尤其是钛资源,约 50% 的钛进入铁精矿中没有得到利用,而进入选铁尾矿中的钛铁矿资源由于受选铁制约也导致其利用率不到 30%,这造成了钛资源的巨大浪费^[10]。“强磁选-浮选工艺”是目前攀西地区选矿厂选钛的主要工艺,而浮选是从选铁尾矿中得到合格钛铁矿产品的关键工艺。在浮选工艺中,浮选药剂的选择起到了决定性作用,针对不同的矿石性质药剂制度截然不同,对选矿药剂的性质优化是提高钛

资源利用率的一个重要途径^[11-12]。目前常用的钛铁矿捕收剂有脂肪酸类捕收剂,含磷、砷类捕收剂,羟肟酸类捕收剂等。如:有氧化石蜡皂、塔尔油、石油磺酸钠、苯乙烯膦酸、乳化塔尔油、MOS 及其升级产品 MOH、R-1、R-2、ROB、HO 和 XT 等,大部分可以取得较为理想的指标。常用到的钛铁矿浮选调整剂有硫酸、水玻璃、酸化水玻璃、氟硅酸钠、草酸、CMC、腐殖酸钠等常规的无机调整剂^[13-14]。随着钒钛磁铁矿资源开采不断深入,矿石性质有了巨大变化,矿石的品位变低、可选性变差、脉石矿物成分变复杂,常规调整剂抑制效果越来越差,对于易发生次生蚀变的橄榄石矿物,目前尚缺乏对其有效的选择抑制剂。

鉴于此,笔者以攀西某选铁尾矿的强磁预富集产品为试验矿样(原矿中含钛 16.60%)进行钛铁矿浮选药剂优化试验研究。针对该原料的性质特点,对其开展了常用药剂的优化试验,对捕收剂种类及用量、抑制剂种类及用量、硫酸用量药剂进行了优化,并自研了一种该类钛铁矿脉石矿物的有效抑制剂 EMA。最终,通过优化的磁选除铁-浮选脱硫+一粗一扫五次精选闭路流程获得了合格的钛铁矿精矿,对该地区选铁尾矿中钛铁矿的浮选优化具有借鉴意义。

1 矿石性质

1.1 样品化学成分

浮选原矿样品的 X 荧光光谱(半定量分析)和化学多元素分析结果如表 1、2 所示。

表 1 原矿 X 荧光光谱(半定量)分析结果
Table 1 XRF analysis results of raw ore (semi quantitative)

%

TiO_2	Fe	MgO	SiO_2	Al_2O_3	P_2O_5	S	K_2O	CaO	Na_2O
15.839	15.798	15.779	29.132	2.68	0.030	0.216	0.031	9.451	0.125
Ni	Co	Cu	Zn	Cr_2O_3	Mn	Nb	Sr	Zr	Cl
0.058	0.033	0.016	0.012	0.124	0.300	0.001	0.006	0.006	0.028

表 2 原矿化学多元素分析结果
Table 2 Chemical multi-element analysis results of raw ore

%

TiO_2	TFe	FeO	Fe_2O_3	Cu	Co	Ni	S	P
16.60	16.18	15.78	5.58	0.011	0.030	0.036	0.23	0.016

分析结果表明,原矿主要有用元素 TFe 含量为 16.18%, FeO 含量为 15.78%, Fe_2O_3 含量为 5.58%,

TiO_2 含量为 16.6%, Cu 含量为 0.011%, Co 含量为 0.03%, Ni 含量为 0.036%; 脉石组分 SiO_2 含量为

29.132%, MgO 含量为 15.779%, CaO 含量为 9.451%, Al₂O₃ 含量为 2.68%。

1.2 矿物组成与含量

通过光学显微镜、扫描电子显微镜、能谱探针、X 射线衍射对样品进行了综合鉴定,并统计了矿物量,结果如图 1 所示。

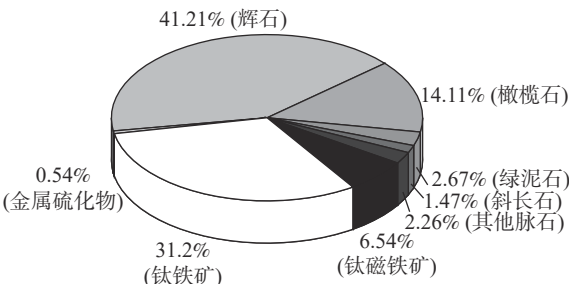


图 1 矿物组成
Fig. 1 Mineral compositions

按照矿物的物理化学特征和工艺特征,将样品中的矿物划分为四种工艺类型:钛磁铁矿(6.54%)、钛铁矿(31.2%)、金属硫化物(0.54%)和脉石矿物(61.72%)。主要矿物包括钛铁矿(31.2%)、钛磁铁矿(6.54%)、辉石(41.21%)、橄榄石(14.11%);次要矿物包括斜长石(1.47%)、绿泥石(2.67%);微量矿物包括金属硫化物(0.54%)等。

1.3 样品粒度分析

浮选原矿样品筛分结果如表 3 所示。

表 3 浮选原矿筛分分析结果
Table 3 Screening analysis results of flotation raw ore

粒级/mm	产 率/%	TiO ₂ 品位/%	TiO ₂ 分布率/%
+0.075	13.49	12.03	9.60
-0.075 ~ +0.038	42.63	14.47	36.50
-0.038 ~ +0.028	14.71	17.56	15.28
-0.028 ~ +0.019	11.01	19.36	12.62
-0.019	18.16	24.20	26.00
原 矿	100.00	16.90	100.00

可以看出,浮选原矿样品中-0.075 ~ +0.038 mm 含量最高,金属分布率 36.50%。粒度越细,TiO₂ 品位越高,原矿-0.019 mm 中 TiO₂ 品位 24.20%,金属分布率 26.00%,含较多的微细粒。

2 试验结果与讨论

通过样品性质分析可以看出,样品中含有一定的钛磁铁矿(6.54%)、金属硫化物(0.54%),为避免

其对精矿产品的影响,在钛铁矿浮选前对样品进行了弱磁除铁、脱硫处理。随后进行了药剂优化条件试验(粗选试验)、全开路与闭路试验。

2.1 药剂种类优化试验

2.1.1 捕收剂种类优化

本次试验选用 MOS、优钛、MOH 三种钛铁矿常用捕收剂进行粗选条件试验,用量均为 2 000 g/t,其中硫酸用量 1 800 g/t,抑制剂(EMA)用量 300 g/t,柴油用量 150 g/t,进行该矿样的捕收剂对比优化试验,试验结果如图 2 所示。

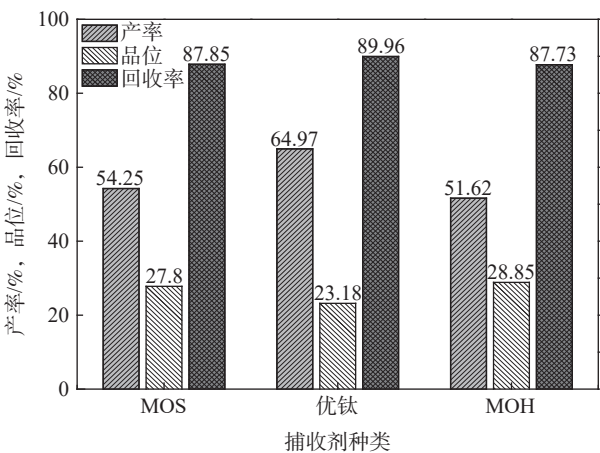


图 2 捕收剂种类试验结果
Fig. 2 Test results of collector types

捕收剂 MOH 具有较好的浮选效果,可获得钛精矿 TiO₂ 品位 28.85%,回收率 87.73% 的浮选指标。MOS 可获得钛精矿 TiO₂ 品位 27.80%,回收率 87.85% 的浮选指标,精矿品位较 MOH 低。优钛捕收能力较强,使得浮选产率较大、粗精矿品位较低,回收率虽然有 89.96%,但 TiO₂ 品位只有 23.18%,不利于后续浮选,对于该样品浮选效果较差。MOH 为该钛铁矿浮选优选捕收剂。

2.1.2 抑制剂种类优化

试验所用抑制剂种类分别为 EMA(自研)、水玻璃、酸化水玻璃,用量均为 300 g/t 进行粗选试验,其中捕收剂 MOH 用量 2 000 g/t,硫酸用量 1 800 g/t,柴油用量 150 g/t,试验结果如图 3 所示。

由试验结果可以看出,加入抑制剂后均对钛精矿的品位有所提升,其中水玻璃效果最差,酸化水玻璃次之,其中 EMA 回收率最高,因此选择抑制剂为 EMA 作为试验最佳抑制剂,MOH 用量为 2 000 g/t、硫酸用量为 1 800 g/t,EMA 用量为 300 g/t 时,可达到粗选钛精矿 TiO₂ 品位 28.85%、回收率 87.73%

的浮选指标。EMA 为该样品浮选的较优抑制剂。

2.2 药剂用量优化试验

2.2.1 捕收剂用量优化

试验捕收剂采用 MOH, 其用量分别为 1 000、1 500、2 000、2 500 g/t 进行试验, 确定较优捕收剂用量, 其中硫酸用量 1 800 g/t, 柴油用量 150 g/t, 抑制剂用量 300 g/t, 试验结果见图 4。

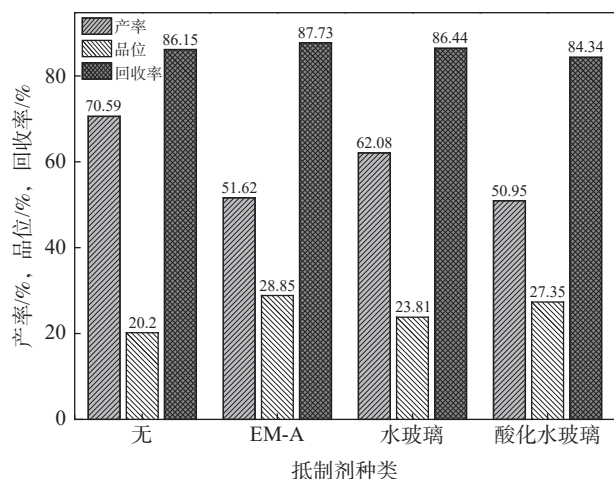


图 3 抑制剂种类试验结果

Fig. 3 Test results of inhibitor types

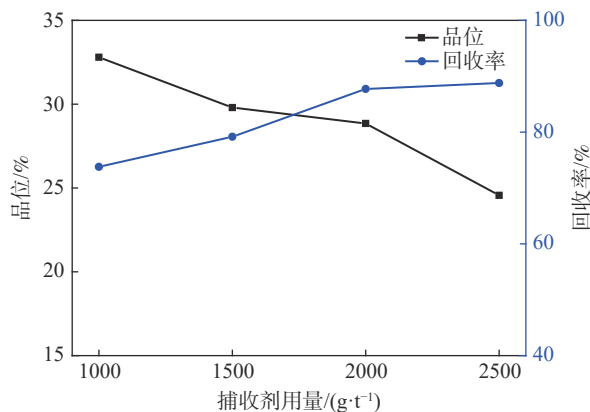


图 4 捕收剂用量试验结果

Fig. 4 Test results of collector dosage

结果表明, 随着捕收剂量的增加, 浮选回收率逐渐增加, 但也伴随着浮选钛精矿品位的下降, 当捕收剂用量 2 000 g/t 后, 增加捕收剂用量回收率增加变缓, 精矿品位下降变快, 说明此时捕收剂已达到相对适宜的水平, 增加其用量浮选效果变差。因此最佳捕收剂用量为 2 000 g/t, 可达到精矿 TiO_2 品位 28.85%, 回收率 87.73% 的浮选指标。

2.2.2 抑制剂用量优化

试验抑制剂采用 EMA, 其用量分别为 0、150、300、450、600 g/t 进行试验, 确定较优抑制剂用量,

其中捕收剂 MOH 用量 2 000 g/t, 硫酸用量 1 800 g/t, 柴油用量 150 g/t, 试验结果见图 5。

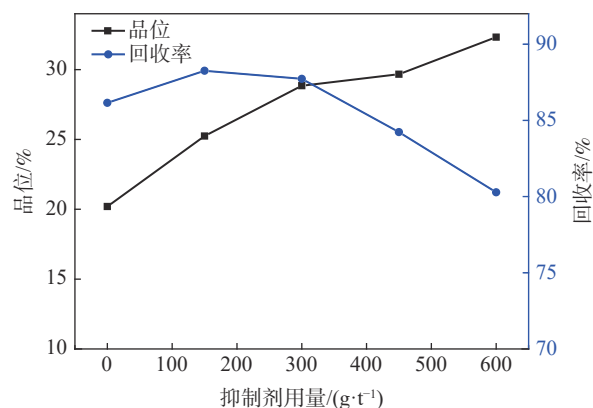


图 5 抑制剂 EMA 用量试验结果

Fig. 5 Test results of inhibitor EMA dosage

由图 5 可知, 随着抑制剂的增加, 钛铁矿粗精矿的品位呈明显上升趋势, 钛铁矿回收率呈先增加后下降的趋势。由此可知, 抑制剂可以有效提高粗精矿的品位, 同时加入抑制剂对回收率也有一定的提升, 综合可以看出抑制剂用量在 300 g/t 时, 浮选效果较优, 因此确定抑制剂用量为 300 g/t。

2.2.3 硫酸用量优化试验

根据以往经验钛铁矿的浮选 pH 在 5.5 ~ 4.5 调整为宜, 试验对应硫酸用量为 1 500 ~ 2 000 g/t, 捕收剂 MOH 用量 2 000 g/t, 抑制剂用量 300 g/t, 柴油用量 150 g/t, 试验结果见图 6。

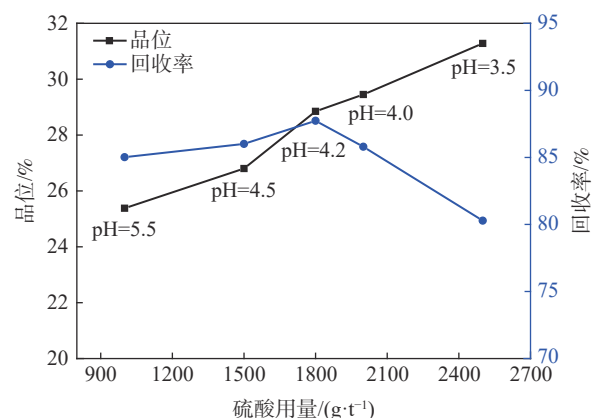


图 6 硫酸用量试验结果

Fig. 6 Test results of sulfuric acid dosage

结果表明, 随着硫酸用量的增加, 矿浆 pH 随之降低, 钛铁矿精矿的品位有显著的提升, 但硫酸用量过多对回收率也有一定的影响。其中, 硫酸用量为 1 800 g/t, 此时矿浆 pH 为 4.2, 钛铁矿浮选指标较好, 钛精矿 TiO_2 品位 30.10%, 回收率 85.53%。

2.3 全流程优化试验

根据粗选优化试验,对物料进行全流程试验优化,确定较优的浮选流程并进行闭路试验。试验进

行了一粗一扫四次精选、一粗一扫五次精选流程进行浮选试验,以及闭路试验。最终优化得浮选流程如图7所示。

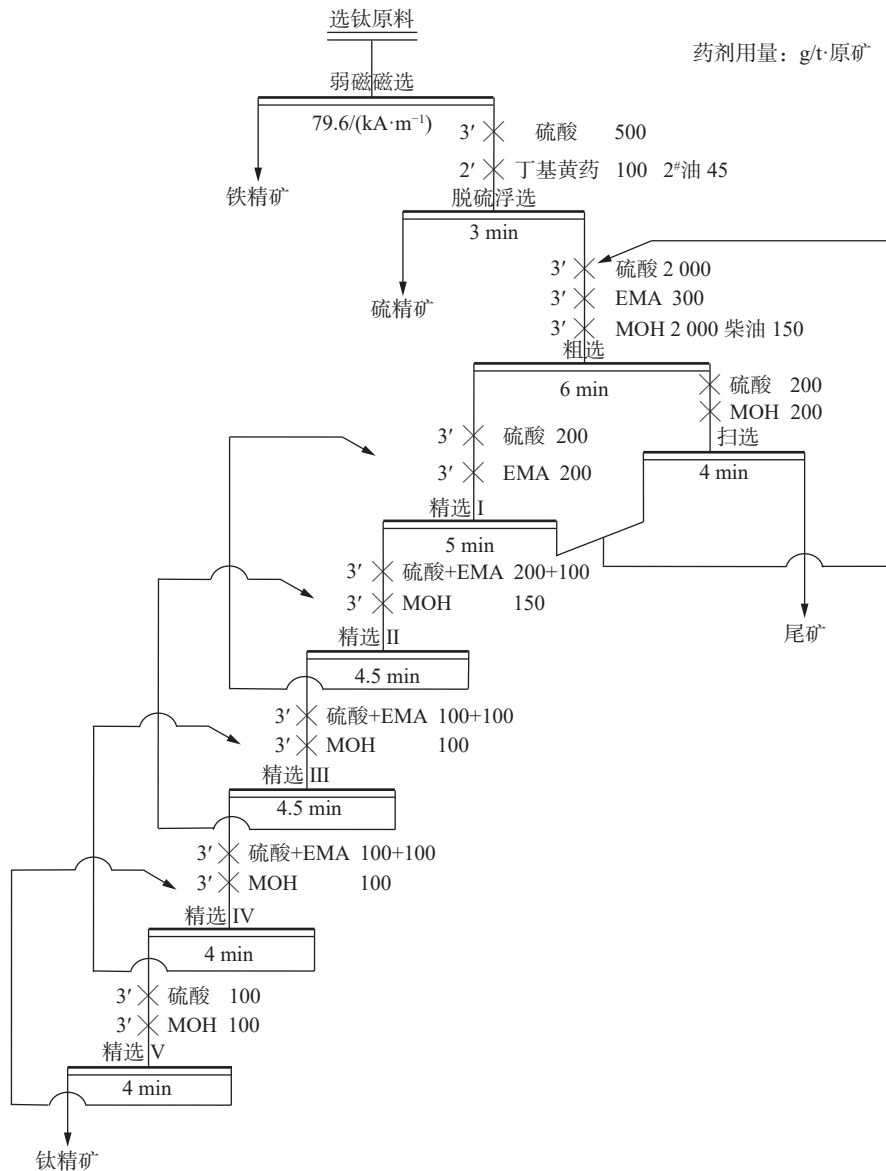


图7 浮选闭路试验流程及条件

Fig. 7 Flotation closed circuit test process and conditions

混合样原矿通过磁选除铁-浮选脱硫+一粗一扫四次精选选钛的全开路可获得钛精矿 TiO_2 品位 45.50%, 回收率 61.73% 的指标。混合样原矿通过磁选除铁-浮选脱硫+一粗一扫五次精选选钛的全开路试验可获得钛精矿 TiO_2 品位 46.56%, 回收率 51.52% 的指标。基于磁选除铁-浮选脱硫+一粗一扫五次精选的闭路试验可以获得钛精矿产率 25.18%, TiO_2 品位 46.48%, 回收率 71.31% 的良好指标。

2.4 指标评价与产品分析

对获得的精矿产品进行粒度分析与各粒级 TiO_2 品位分析,并与原矿进行对比,用以对浮选产品指标进行评价,结果如图8所示。由图8可知,原矿主要粒度分布在 $-0.075 \sim +0.038 \text{ mm}$ 和 -0.028 mm ,随着粒度的减小,原矿中 TiO_2 品位增大,表明大部分的钛铁矿集中在细粒级中,这给浮选回收带来了一定的困难。钛精矿粒度主要分布在 $-0.075 \sim +0.028 \text{ mm}$,随着粒度的减小,原矿中 TiO_2 品位减

小,说明粗粒钛铁矿被有效回收且与脉石得到了较好的分选。众多研究表明,粒度较细时药剂对矿物的选择性降低,这致使细粒中存在较多脉石矿物,导致其品位下降,细粒钛铁矿的回收率较低。综上,该

药剂制度总体指标优异,但对微细粒钛铁矿的回收有待加强,这也是目前钛铁矿选矿普遍存在的问题,在工业实践时适当减少微细粒进入浮选系统可得到更好的浮选效果,同时减少药剂成本。

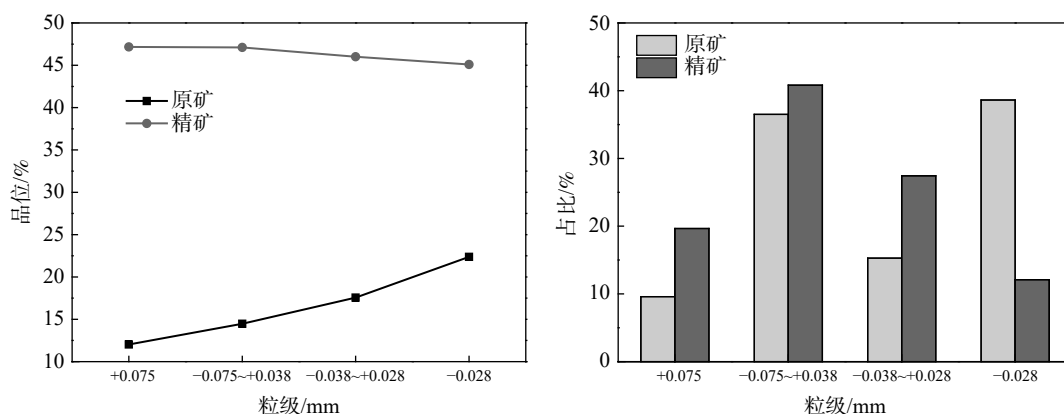


图8 产品的品位及粒度分布评价

Fig. 8 Evaluation of product grade particle size distribution

2.5 试验小结

浮选粗选条件试验对浮选抑制剂种类、捕收剂种类以及用量进行了系统的试验研究。试验结果可知,当捕收剂采用MOH,用量2000 g/t,硫酸用量1800 g/t和抑制剂采用EMA用量为300 g/t条件下,钛铁矿的浮选效果最好,可达到粗选精矿钛品位28.85%,回收率87.73%的效果。入浮物料,利用硫酸+EMA+MOH,通过磁选除铁-浮选脱硫+一粗一扫五次精选选钛流程,闭路试验可以获得钛精矿产率25.18%,TiO₂品位46.48%,回收率71.31%的良好指标。

3 结论

针对TiO₂品位为16.6%,主要矿物为钛铁矿、

钛磁铁矿、辉石、橄榄石,次要矿物为斜长石、绿泥石的攀西某选铁尾矿进行了选钛药剂优化试验研究。对其开展了捕收剂种类及用量、抑制剂种类及用量、硫酸用量药剂优化试验,以及全开路、闭路优化试验,获得以下结论:

1) 该原料粗选条件试验研究表明,其粗选最优捕收剂为MOH,用量为2000 g/t;最优抑制剂为EMA,用量为300 g/t;最优硫酸用量为1800 g/t。

2) 通过最优化的磁选除铁-浮选脱硫+一粗一扫五次精选闭路试验可以获得钛精矿产率25.18%,TiO₂品位46.48%,回收率71.31%的良好浮选指标。

参考文献

- [1] Wang Xiangdong, Lu Fusheng, Jia Hong, *et al.* 2003 China titanium industry development report[J]. *Titanium Industry Progress*, 2004, (2): 30-36.
(王向东, 逯福生, 贾翊, 等. 2003年中国钛工业发展报告[J]. *钛工业进展*, 2004, (2): 30-36.)
- [2] Wang Changsong, Yao Wenjun, Lu Xiaohua. Overview of comprehensive utilization of ilmenite resources[J]. *Inorganic Salt Industry*, 2014, 46(1): 4-7.
(王昌松, 姚文俊, 陆小华. 钛铁矿资源综合利用概述[J]. *无机盐工业*, 2014, 46(1): 4-7.)
- [3] Zhang Xiaowei, Zhang Wanyi, Tong Ying, *et al.* Current situation and utilization trend of global titanium resources[J]. *Mineral Protection and Utilization*, 2019, 39(5): 68-75.
(张晓伟, 张万益, 童英, 等. 全球钛矿资源现状与利用趋势[J]. *矿产保护与利用*, 2019, 39(5): 68-75.)
- [4] Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. China mineral resources report [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
(中华人民共和国国土资源部. 中国矿产资源报告[M]. 北京: 地质出版社, 2017.)

- [5] Zhu Fuxing, Jiao Yu, Li Liang, *et al.* Current situation and development trend of beneficiation technology of Panxi vanadium titanomagnetite[J]. *Mining and Metallurgy*, 2021, 30(4): 26–32,40.
(朱福兴, 焦钰, 李亮, 等. 攀西钒钛磁铁矿的选矿技术现状及发展趋势[J]. *矿冶*, 2021, 30(4): 26–32,40.)
- [6] Xu Lijun, Li Liang, Chen Liuxian, *et al.* Current situation and development direction of comprehensive recovery and utilization of vanadium titanium magnetite in Panxi area[J]. *Sichuan Nonferrous Metals*, 2011, (1): 1–5.
(徐丽君, 李亮, 陈六限, 等. 攀西地区钒钛磁铁矿综合回收利用现状及发展方向[J]. *四川有色金属*, 2011, (1): 1–5.)
- [7] Yang Yaohui, Hui Bo, Liao Xiangwen, *et al.* Beneficiation test of Hongge low-grade refractory olivine pyroxene type vanadium titanium magnetite ore[J]. *Metal Mine*, 2016, (10): 77–82.
(杨耀辉, 惠博, 廖祥文, 等. 攀西低品位难选橄辉岩型钒钛磁铁矿石选矿试验[J]. *金属矿山*, 2016, (10): 77–82.)
- [8] Deng Bing, Zhang Yuan, Xu Ming, *et al.* Iron separation test of a vanadium titanomagnetite deep ore in Panxi[J]. *Modern Mining*, 2013, 29(12): 23–26.
(邓冰, 张渊, 徐明, 等. 攀西某钒钛磁铁矿深部矿石选铁试验[J]. *现代矿业*, 2013, 29(12): 23–26.)
- [9] Luo Jinhua. Distribution of main elements of Hongge vanadium titanomagnetite in mineral processing[J]. *Comprehensive Utilization of Mineral Resources*, 2015, (3): 55–58.
(罗金华. 红格钒钛磁铁矿主要元素在选矿中的分布[J]. *矿产综合利用*, 2015, (3): 55–58.)
- [10] Fang Shuai. Study on efficient and clean flotation separation mechanism of Panxi ilmenite [D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2020.
(方帅. 攀西钛铁矿高效清洁浮选分离机制研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2020.)
- [11] Xiao Wei, Shao Yanhai, Wei Jiayi, *et al.* Research status and prospect of ilmenite flotation reagent[J]. *Mineral Protection and Utilization*, 2021, 41(5): 160–167.
(肖玮, 邵延海, 尉佳怡, 等. 钛铁矿浮选药剂研究现状及展望[J]. *矿产保护与利用*, 2021, 41(5): 160–167.)
- [12] Dong Wenchao, Liu Jian, Bai Xu, *et al.* Mechanism and progress of ilmenite flotation reagents[J]. *Mineral Protection and Utilization*, 2019, 39(4): 7.
(董文超, 刘建, 白旭, 等. 钛铁矿浮选药剂作用机理及进展[J]. *矿产保护与利用*, 2019, 39(4): 7.)
- [13] Chen Mingjie, Wen Shuming, Hu Tianxi. Current situation and progress of ilmenite flotation research in China[J]. *Foreign Metal Ore Dressing*, 2005, (7): 17–22.
(陈名洁, 文申明, 胡天喜. 国内钛铁矿浮选研究的现状与进展[J]. *国外金属矿选矿*, 2005, (7): 17–22.)
- [14] Feng Qiming, Xi Zhenwei, Zhang Guofan, *et al.* Study on flotation performance of ilmenite with fatty acid collector[J]. *Metal Mine*, 2009, (5): 46–45.
(冯其明, 席振伟, 张国范, 等. 脂肪酸捕收剂浮选钛铁矿性能研究[J]. *金属矿山*, 2009, (5): 46–45.)

编辑 杨冬梅

攀钢研究院研发的新产品实现在川藏线上批量应用

(2022年6月7日消息)近日,攀钢研究院研发的新产品—铁路隧道用锚杆钢实现在川藏铁路上的批量应用。

川藏铁路东起成都,西经康定、昌都、林芝至拉萨,全长1567 km,其中新建雅安至林芝段1011 km,桥隧占比高达94.6%,在铁路建设中,用于岩土体加固的杆件体系结构锚杆必不可少。

锚杆用钢与其他材料不同,加工、成形更为复杂,其加工工序包括分条-焊管-加热-辊压-淬火。锚杆用钢的技术难点在于,在保证材料高强度的同时还要保证其韧性,同时需要保证材料淬火后的高强度,且须消除后续使用中分层、焊接焊缝热影响区开裂、拉伸断口分层和辊丝分层等质量问题。对此,攀钢研究院研究人员集智攻关,开展锚杆用钢成分、工艺及性能设计,形成了锚杆用钢质量性能的控制技术,成功开发出了适用于川藏铁路高寒环境的锚杆用钢,实现了在川藏线铁路上的批量应用。用户反馈,攀钢供应的铁路隧道用锚杆用钢性能稳定,性价比优质,支撑了川藏铁路的建设。

(胡云凤 供稿)