组合捕收剂提高河南某低品位白钨矿浮选回收率试验研究①

张高杰[1,2], 余新阳[1,3]

(1.江西理工大学 资源与环境工程学院, 江西 赣州 341000; 2.洛阳豫鹭矿业有限责任公司, 河南 洛阳 471500; 3.战略金属矿产资源低碳加工与利用江西省重点实验室, 江西 赣州 341000)

摘 要: 为提高河南某低品位难选白钨矿的低温选矿指标,进行了组合捕收剂浮选试验研究。开发了一种组合捕收剂 HQ-3(95%FX-6+5%PEG-2000)以强化难选白钨矿与含钙脉石矿物的低温浮选分离,探索适合该白钨矿的浮选药剂制度,并进行了全流程闭路试验。结果表明,5~10 ℃,粗选阶段调整剂碳酸钠用量 1 800 g/t、抑制剂水玻璃用量 750 g/t、捕收剂 HQ-3 用量 260 g/t 条件下,低温粗选-高温精选闭路试验获得了 WO_3 品位 28.06%、回收率 85.15%的白钨精矿。与 FX-6 相比,HQ-3 能够在低温条件下使粗选阶段 WO_3 回收率提高 10.89 百分点。

关键词: 钨; 白钨矿; 浮选; 低温浮选; FX-6; 药剂复配; HQ-3; 钨精矿; 捕收剂

中图分类号: TD923;TD952 **文献标志码**: A doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2026.04.015

文章编号: 0253-6099(2026)04-0110-06

Experimental Study on Combined Collector for Improving Flotation Recovery of Low-Grade Scheelite Ore from Henan

ZHANG Gaojie[1,2], YU Xinyang[1,3]

(1.*School of Resources and Environmental Engineering*, *Jiangxi University of Science and Technology*, *Ganzhou* 341000, *Jiangxi*, *China*; 2.*Luoyang Yulu Mining Co., Ltd.*, *Luoyang* 471500, *Henan*, *China*; 3.*Jiangxi Provincial Key Laboratory of Low-Carbon Processing and Utilization of Strategic Metal Mineral Resources*, *Ganzhou* 341000, *Jiangxi*, *China*)

Abstract: To improve low-temperature flotation behavior of the refractory low-grade scheelite ores from Henan, a combined collector HQ-3 (95%FX-6 + 5%PEG-2000) was developed to enhance the low-temperature flotation separation between scheelite and calcium-containing gangue minerals, and then flotation tests were conducted to determine reagent regime suitable for such scheelite. On that basis, a closed-circuit flotation test by adopting a flowchart consisting of low-temperature roughing and high-temperature cleaning was performed at a temperature ranging from 5 ℃ to 10 ℃, with 1 800 g/t of sodium carbonate as the regulator, 750 g/t of water glass as the depressant and 260 g/t of HQ-3 as the collector in the roughing stage. As a result, a scheelite concentrate grading 28.06% WO_3 was obtained at 85.15% recovery. It is shown that compared with FX-6, the combined collector HQ-3 can improve the recovery of WO_3 from the roughing stage at a low temperature by 10.89 percentage points.

Key words: tungsten; scheelite; flotation; low-temperature flotation; FX-6; reagent compounding; HQ-3; tungsten concentrate; collector

作为钨资源大国,中国的钨矿资源储量、钨精矿产量及出口量均位居世界第一[1-2]。钨资源主要分为黑钨矿和白钨矿,我国白钨矿占国内钨资源总储量的 70%以上,处于主导地位,但白钨矿资源普遍表现出成

① **收稿日期**: 2026-04-10
基金项目: 国家自然科学基金(52264023)
作者简介: 张高杰(1990—),男,河南漯河人,硕士研究生,工程师,主要研究方向为矿物加工。E-mail:zhang.gaojie@cxtc.com
通信作者: 余新阳(1979—),男,江西鹰潭人,博士,教授,博士研究生导师,主要研究方向为矿物浮选技术及药剂研发。E-mail:172004588@qq.com

分复杂、嵌布粒度微细、原矿品位偏低的特征,使得白钨矿选矿难度大、回收成本高[3-4]。由于长期以来对高品位、易采选黑钨矿资源的持续开采,我国钨矿品位已由 2004 年的 0.42%下降至 2020 年的 0.28%[5],钨矿资源向“贫、细、杂”方向发展。高效开发低品位白钨矿和复杂黑白钨共生矿已成为保持我国钨资源长期优势的关键。我国白钨矿选矿厂大部分采用常温粗选-加温精选的浮选工艺处理白钨矿,主要使用脂肪酸类、羟肟酸类以及螯合类等阴离子捕收剂[6-7]。白钨矿的加温精选,例如彼得罗夫法,流程冗长、能耗高且药剂用量大[8]。为了获得理想的选矿指标,当气温较低时,特别是冬天,现有的钨矿浮选药剂需要在加热状态使用,这无疑会增加能耗、升高选矿成本[9-12]。因此开发低温浮选药剂势在必行。FX-6 是一种常用的脂肪酸皂类捕收剂,具有较高的捕收性能[13-14]。不同类型的捕收剂复配使用,通常会产生协同效应,可以改善捕收剂的溶解性、分散性以及起泡能力,从而提高选矿指标。本文以河南某低品位白钨矿为研究对象,针对现有捕收剂 FX-6 在低温环境下分散性不足的问题,以药剂复配为主要手段,采用不同类型的表面活性剂与 FX-6 复配,改善 FX-6 在低温条件下的分散性能和捕收能力,从而提高整个选矿厂的选矿指标。

1　试验

1.1　矿样性质

试验矿样由河南某白钨矿选矿厂提供。该选矿厂主要回收的目的矿物为白钨矿,原矿中的钼金属主要由上游的钼选矿厂进行回收利用,因此本试验使用的试验矿样为钼选矿厂选钼后的尾矿。该尾矿中主要含有硅灰石、钙铁榴石、石英、长石、方解石、黄铁矿等矿物。对矿样进行化学成分和原矿中钨化学物相分析,结果分别见表 1 和表 2。由表 1 可知,矿石中可供选矿富集回收的主要目标组分为 WO_3,其品位极低,直接利用工业价值低。由表 2 可知,矿石中 WO_3 主要赋存于白钨矿相中,钨在黑钨矿中分布率较低。

表 1　矿样化学成分分析结果(质量分数)

Table 1　Chemical composition of ore sample　%

WO_3	Mo	Fe	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO
0.076	0.17	6.34	46.21	4.21	38.01	1.91
Na_2O	K_2O	S	F	C	烧失	
0.48	1.08	0.39	1.54	0.75	2.83	

表 2　矿样中钨化学物相分析结果

Table 2　Chemical phases of tungsten in ore sample

相态	WO_3 品位/%	WO_3 分布率/%
钨华	0.001	1.02
白钨矿	0.067	88.78
黑钨矿	0.008	10.20
合计	0.076	100.00

为实现复杂低品位钨矿石的高效回收利用,必须通过选矿排除脉石组分,从而富集钨矿物。矿石中脉石组分主要是 SiO_2 和 CaO,还含有一定量的 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 等;选矿回收白钨矿影响较大的有害元素是 CaO 和 F。

1.2　试验设备与药剂

试验用浮选设备为 XFD 型 1.5 L、0.75 L、0.5 L 挂槽浮选机。试验所用药剂包括 FX-6 捕收剂(洛阳振北工贸有限公司生产),表面活性剂 Surfynol 465、PEG-2000、Tween-80(均购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司),调整剂碳酸钠、水玻璃(均购于国药集团化学试剂有限公司)等。

1.3　试验方法

试验矿样为浮选钼矿后的尾矿,其细度为-0.074 mm 粒级占 62.14%,粒度满足试验需要,无需磨矿。每次试验固定干矿量 500 g,浮选试验在 XFD 型 1.5 L 单槽浮选机中进行。试验所用矿浆浓度和细度与企业现场保持一致。对浮选所得泡沫产品和槽内产品分别过滤、干燥、称量、制样、化验并进行相关计算。表面活性剂筛选试验在低温条件下进行,对矿浆和补加水进行降温处理以保持其温度为 5~10 ℃,对试验过程中的温度和泡沫现象进行记录。

试验原则流程如图 1 所示,试验中采用碳酸钠调节矿浆 pH 值,考察碳酸钠、抑制剂水玻璃、捕收剂 FX-6 及其他系列表面活性剂(Surfynol 465,PEG-2000,Tween-80)复配用量对白钨矿石回收率、品位和富集比的影响。

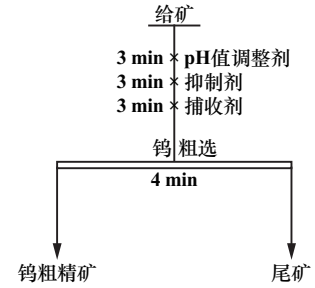


图 1　试验原则流程

Fig. 1　Flowchart of roughing test

2 结果与讨论

2.1 碳酸钠用量试验

碳酸钠在白钨矿浮选过程中作为调整剂,通过分散矿泥、选择性抑制含钙脉石及活化白钨矿表面,为白钨矿与脉石的有效分离创造有利条件。同时碳酸钠的添加会对矿浆 pH 值产生影响,因此需要首先考察碳酸钠用量。抑制剂水玻璃用量 500 g/t、捕收剂 FX-6 用量 200 g/t,粗选阶段碳酸钠用量对白钨矿回收指标的影响见图 2。从图 2 可知,随着碳酸钠用量增加,钨粗精矿 WO_3 品位呈持续下降趋势,而回收率则先升后降再回升;碳酸钠用量 1 800 g/t 时,WO_3 品位为 0.358%、回收率达 74.93%,此时综合指标优,说明该用量可在有效抑制脉石矿物的同时,减少对白钨矿的过度抑制,兼顾了回收率与精矿品位。

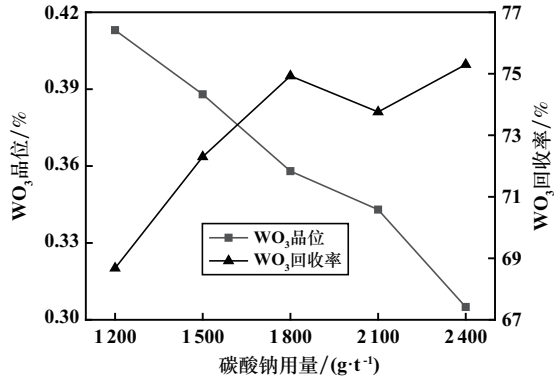


图 2 粗选阶段碳酸钠用量对白钨矿回收指标的影响

Fig. 2 Influence of sodium carbonate dosage on recovery of scheelite in roughing stage

2.2 抑制剂用量试验

抑制剂水玻璃的水解产物具有较强的亲水性,可以增强脉石矿物表面的亲水性,从而选择性抑制石英、萤石、方解石及硅酸盐脉石矿物的可浮性,改善钨矿石的浮选效果。碳酸钠用量 1 800 g/t、捕收剂 FX-6 用量 200 g/t 条件下,粗选阶段水玻璃用量对白钨矿回收指标的影响如图 3 所示。随着抑制剂水玻璃用量增加,钨粗精矿中 WO_3 品位显著提升后趋于稳定,WO_3 回收率先升后降。早期抑制剂用量少,不足以抑制脉石上浮;抑制剂用量过高时则会同时抑制白钨矿并增大药剂消耗。水玻璃用量 750 g/t 时,粗精矿 WO_3 品位保持在较高水平,为 0.73%,同时 WO_3 回收率达到峰值,为 75.32%;之后继续增大水玻璃用量,WO_3 品位位于较高水平,WO_3 回收率则回落。适宜的水玻璃用量为 750 g/t。

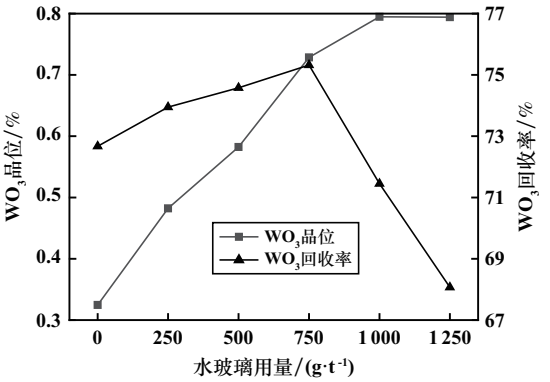


图 3 粗选阶段水玻璃用量对白钨矿回收指标的影响

Fig. 3 Influence of sodium silicate dosage on recovery of scheelite in roughing stage

2.3 捕收剂试验

2.3.1 单一捕收剂试验

矿浆温度控制在 5~10 ℃,碳酸钠用量 1 800 g/t、水玻璃用量 750 g/t 时,系统探究粗选阶段单一捕收剂 FX-6 用量对白钨矿粗选指标的影响,结果如图 4 所示。随着 FX-6 用量增加,粗精矿 WO_3 回收率呈上升趋势,WO_3 品位呈下降趋势;FX-6 用量超过 260 g/t 后,粗精矿 WO_3 品位下降较明显,而 WO_3 回收率先小幅上升后呈下降趋势。适宜的 FX-6 用量为 260 g/t。

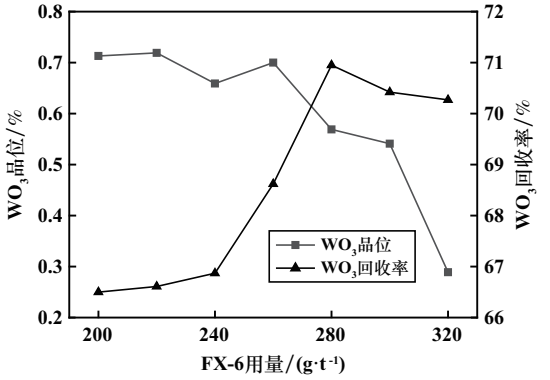


图 4 粗选阶段 FX-6 用量对白钨矿粗选指标的影响

Fig. 4 Influence of FX-6 dosage on recovery of scheelite in roughing stage

2.3.2 表面活性剂与 FX-6 复配

使用 FX-6 分别与表面活性剂 Surfynol 465、PEG-2000、Tween-80 复配,各表面活性剂复配比例均为 3%(质量比,下同)。Surfynol 465 为炔二醇-聚醚"双子型"非离子表面活性剂,主要靠双子炔二醇官能团帮助脂肪酸或羟肟酸快速铺展,提高对白钨矿的捕收速率;PEG-2000 是分子量约2 000 的聚乙二醇,依靠—O—CH_2—CH_2—低温分散脂肪酸;Tween-80 是一种非离子型聚醚类表面活性剂,主要依靠聚氧乙烯醚

官能团对脂肪酸进行分散[15-16]。以单一捕收剂 FX-6 作为对照组,考察 3 种表面活性剂与 FX-6 的复配药剂在低温环境下的捕收能力与泡沫现象。在碳酸钠用量 1 800 g/t、水玻璃用量 750 g/t、FX-6 用量 260 g/t 条件下,粗选阶段捕收剂种类对白钨矿浮选指标的影响见表 3。从表 3 可以看出,低温条件下,Tween-80 复配捕收剂对白钨矿浮选指标提升不大,WO_3 回收率和富集比均有所下降。PEG-2000和 Surfynol 465 复配捕收剂均可提高白钨矿回收率,其中 PEG-2000 复配捕收剂获得的 WO_3 回收率较单一捕收剂 FX-6 提高了4.29 百分点,富集比降低较小,总体浮选指标效果好。后续采用 PEG-2000 与 FX-6 复配成捕收剂进行试验研究。

表 3　粗选阶段捕收剂种类对白钨矿浮选指标的影响

Table 3　Influence of collector type on flotation indicators of scheelite in roughing stage

表面活性剂种类	样品名称	产率/%	WO_3 品位/%	WO_3 回收率/%
无	钨粗精矿	5.45	0.684 9	68.42
	尾矿	94.55	0.018 2	31.58
	给矿	100.00	0.054 6	100.00
Surfynol 465	钨粗精矿	7.45	0.506 5	70.71
	尾矿	92.55	0.016 9	29.29
	给矿	100.00	0.053 4	100.00
PEG-2000	钨粗精矿	6.23	0.597 4	72.71
	尾矿	93.77	0.014 9	27.29
	给矿	100.00	0.051 2	100.00
Tween-80	钨粗精矿	6.68	0.541 8	68.07
	尾矿	93.32	0.018 2	31.93
	给矿	100.00	0.053 2	100.00

2.3.3　PEG-2000 与 FX-6 复配比例和用量试验

碳酸钠用量 1 800 g/t、水玻璃用量 750 g/t、PEG-2000 与 FX-6 总用量为 260 g/t 条件下,探索了 PEG-2000 复配比例对白钨矿浮选指标的影响,结果见图 5。由图 5 可知,随着 PEG-2000 复配比例增大,粗精矿 WO_3 品位逐渐减小,WO_3 回收率先增大后减小。试验过程中发现,PEG-2000 复配比例为 10%时,泡沫量极为丰富;PEG-2000 复配比例降至 5%时,泡沫量仍较为丰富。综合考虑,PEG-2000 复配比例 5%为宜。

以 95%FX-6 与 5%PEG-2000 复配,得到组合捕收剂 HQ-3。在相同条件下进行了 HQ-3 用量试验,结果见图 6。随着 HQ-3 用量增加,粗精矿 WO_3 品位逐渐减小,WO_3 回收率先增大后减小。HQ-3 用量达到白钨矿饱和吸附量后,捕收剂的选择性会降低,造成精矿品位降低和药剂浪费。综合考虑,确定适宜的 HQ-3 用量为 260 g/t。

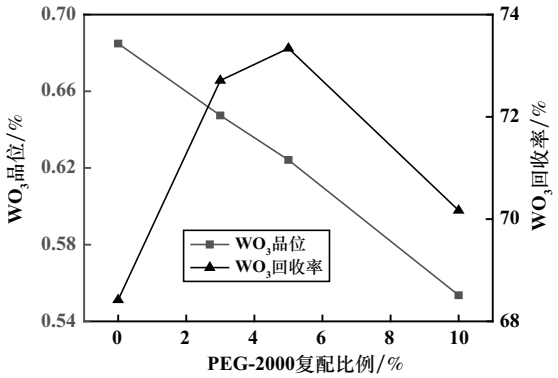


图 5　PEG-2000 复配比例对白钨矿浮选指标的影响

Fig. 5　Influence of PEG-2000 combination ratio on flotation indicators of scheelite

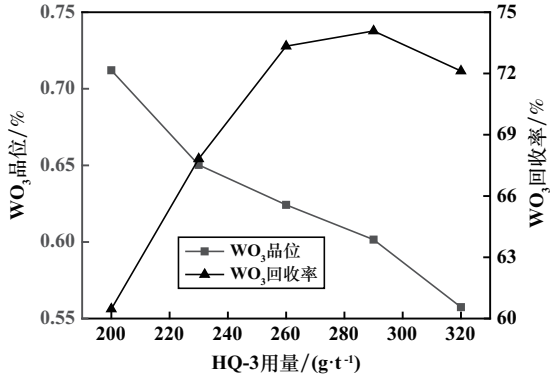


图 6　HQ-3 用量试验结果

Fig. 6　Test result of HQ-3 dosage

2.4　FX-6 与 HQ-3 对比试验

基于开路试验确定的流程与药剂制度,采用闭路试验进一步对比单一捕收剂 FX-6 与组合药剂 HQ-3 的低温浮选性能,捕收剂对比试验流程见图 7,结果见表 4。低温和室温环境分别控制在 5~10 ℃和 25~30 ℃。FX-6 为捕收剂时,室温环境下能够获得 WO_3 品位 0.898 7%、

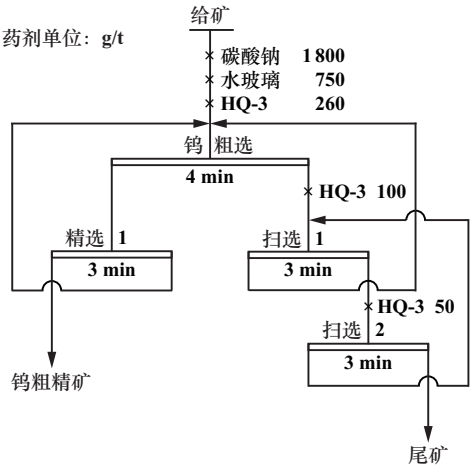


图 7　对比试验流程

Fig. 7　Flowchart for comparative test

表 4 对比试验结果

Table 4 Comparative test results

试验条件	产品名称	产率/%	WO_3 品位/%	WO_3 回收率/%
FX-6 25~30 ℃	钨粗精矿	5.02	0.898 7	76.98
	尾矿	94.98	0.014 2	23.02
	给矿	100.00	0.058 6	100.00
FX-6 5~10 ℃	钨粗精矿	5.97	0.685 7	71.33
	尾矿	94.03	0.017 5	28.67
	给矿	100.00	0.057 4	100.00
HQ-3 25~30 ℃	钨粗精矿	7.92	0.830 5	78.55
	尾矿	92.08	0.019 5	21.45
	给矿	100.00	0.083 7	100.00
HQ-3 5~10 ℃	钨粗精矿	6.07	0.786 9	82.22
	尾矿	93.93	0.011 0	17.78
	给矿	100.00	0.058 1	100.00

WO_3 回收率 76.98%的钨粗精矿;但低温环境下,WO_3 品位和回收率明显下降,说明 FX-6 抗低温性能较差。捕收剂 HQ-3 抗低温性能显著提升,即使在 5~10 ℃的低温环境下也能获得 WO_3 品位 0.786 9%、WO_3 回收率82.22%的钨粗精矿,比相同条件下 FX-6 为捕收剂获得的钨粗精矿回收率提高了 10.89 百分点,表明复配药剂 HQ-3 在低温环境下对白钨矿回收有良好的效果,可用作寒冷地区的工业浮选药剂。

2.5 闭路试验

钨粗精矿中仍含有大量的含钙脉石,需要进一步提高品位,且研究表明精选阶段采用加温方法对改善药剂作用效率和选择性很有效。为考察新药剂 HQ-3 在加温精选中的效果,粗选矿浆温度 5~10 ℃,将钨粗精矿矿浆浓缩至 65%左右,矿浆温度升至约 90 ℃,加温精选阶段添加水玻璃 3 000 g/t,加入新药剂 HQ-3 和抑制剂水玻璃搅拌混合 1 h,闭路试验结果见表 5,闭路试验流程如图 8 所示。对 WO_3 品位 0.069 2%的给矿,采用复配药剂 HQ-3 为捕收剂,经低温粗选-加热精选,可获得 WO_3 品位 28.06%、WO_3 回收率 85.15%的钨精矿。加温尾矿 WO_3 品位较尾矿明显降低,WO_3 回收效果良好。这为在寒冷地区的白钨选矿厂抗低温药剂复配提供了技术参考。

表 5 闭路试验结果

Table 5 Closed-circuit flotation test results

产品名称	产率/%	WO_3 品位/%	WO_3 回收率/%
钨精矿	0.21	28.06	85.15
加温尾矿	29.44	0.006	2.65
尾矿	70.35	0.012	12.20
给矿	100.00	0.069 2	100.00

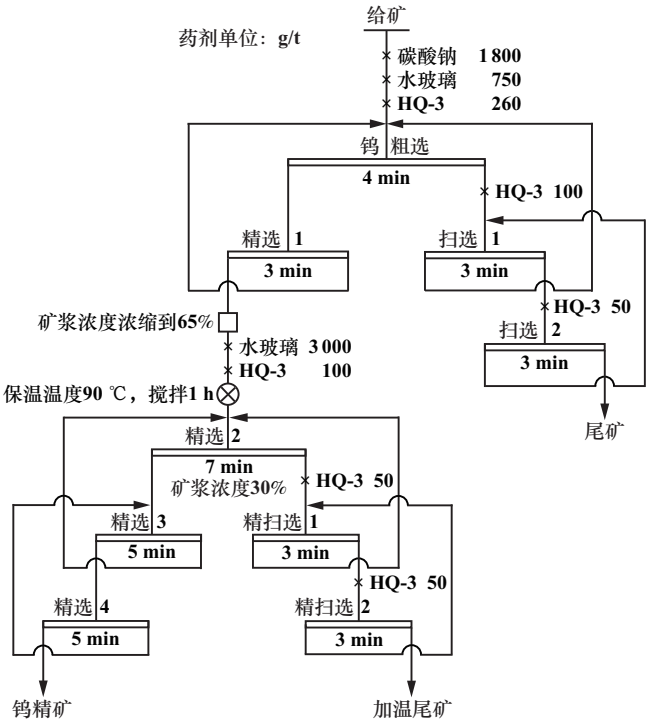


图 8 闭路试验流程

Fig. 8 Flowchart for closed-circuit flotation test

3 结论

1) 河南某低品位白钨矿中 WO_3 主要以白钨矿形式存在;矿样中矿物组成复杂,其中硅灰石、钙铁榴石、石英、长石、方解石等矿物对白钨矿浮选不利。

2) 复配药剂 HQ-3(95% FX-6+5% PEG-2000)具有耐低温性,可以在低温环境下高效捕收白钨矿。HQ-3 低温浮选的钨粗精矿品位为 0.786 9%,WO_3 回收率可达 82.22%,比 FX-6 为捕收剂时回收率提高 10.89 百分点。采用 HQ-3 的低温粗选-高温精选闭路浮选试验可获得 WO_3 品位 28.06%、WO_3 回收率 85.15%的白钨精矿。研究成果为寒冷地区同类型难选白钨矿选矿提供了良好的技术参考。

参考文献(References):

[1] 仇巍巍,李政,陈从喜,等. 全球钨矿资源形势及中国开发利用现状分析[J]. 中国矿业, 2025,34(2):429-437.
Qiu Weiwei, Li Zheng, Chen Congxi, et al. Analysis of the situation of global tungsten resources and the current status of development and utilization in China[J]. China Mining Magazine, 2025,34(2):429-437.

[2] 车文芳,候凯,闵湘川,等. 白钨矿资源开发利用现状及发展趋势[J]. 现代矿业, 2025,41(3):94-99.
Che Wenfang, Hou Kai, Min Xiangchuan, et al. Current status and development trends of development and utilization of scheelite resource[J]. Modern Mining, 2025,41(3):94-99.

[3] 高玉德. 我国钨矿资源特点及选矿工艺研究进展[J]. 中国钨业, 2016,31(5):35-39.
Gao Yude. Tungsten resource characteristics of China and research advances of tungsten processing technologies[J]. China Tungsten Industry, 2016, 31(5): 35-39.

[4] Yang X S. Beneficiation studies of tungsten ores: a review[J]. Minerals Engineering, 2018,125:111-119.

[5] 中国钨业协会. 中国钨工业发展规划(2021—2025 年)(简化版)[J]. 中国钨业, 2022,37(1):6-11.
China Tungsten Industry Association. Development plan for China tungsten industry (2021—2025) [J]. China Tungsten Industry, 2022,37(1):6-11.

[6] 杨长安,廖德进,李春娜,等. 高钙白钨粗精矿加温精选捕收剂优化研究[J]. 中国钨业, 2024,39(5):15-18.
Yang Chang'an, Liao Dejin, Li Chunna, et al. Optimization of collectors for heated concentration of high-calcium scheelite rough concentrate[J]. China Tungsten Industry, 2024,39(5):15-18.

[7] 刘红尾. 难处理白钨矿常温浮选新工艺研究[D]. 长沙:中南大学, 2010:27-31.
Liu Hongwei. Study on a new technology of refractory scheelite flotation at room temperature[D]. Changsha: Central South University, 2010:27-31.

[8] Kang J H, Liu Y C, Ahmed Khoso S, et al. Significant improvement in the scheelite heating flotation with sodium sulfide[J]. Minerals, 2018,8(12):587.

[9] 郑业超,赵通林,依爽,等. 新型耐低温捕收剂对齐大山铁矿石的反浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(3):99-103.
Zheng Yechao, Zhao Tonglin, Yi Shuang, et al. Experimental study on reverse flotation of Qidashan iron ore with novel low-temperature collector[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(3):99-103.

[10] 王波,林辉,赵冠飞. 难处理白钨矿浮选组合捕收剂的应用及机理研究[J]. 中国钨业, 2025,40(4):77-83.
Wang Bo, Lin Hui, Zhao Guanfei. The application and mechanism of a combined collector in the flotation of refractory scheelite[J]. China Tungsten Industry, 2025,40(4):77-83.

[11] 徐敏,辛百军,周旭东,等. 新型药剂制度在某难选白钨矿的试验与应用研究[J]. 中国钨业, 2025,40(2):23-28.
Xu Min, Xin Baijun, Zhou Xudong, et al. Experimental and industrial application of a novel reagent regime in refractory scheelite processing[J]. China Tungsten Industry, 2025,40(2):23-28.

[12] 辛百军,王旭,车文芳,等. 河南某难选白钨矿可选性试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(6):92-96.
Xin Baijun, Wang Xu, Che Wenfang, et al. Beneficiability of refractory scheelite ore from Henan[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023,43(6):92-96.

[13] 张政权,焦芬,覃文庆,等. 白钨矿捕收剂 FX-6 的浮选作用机制研究[J]. 稀有金属, 2021,45(4):446-454.
Zhang Zhengquan, Jiao Fen, Qin Wenqing, et al. Flotation mechanism of scheelite collector FX-6[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2021,45(4):446-454.

[14] 李卫,王旭,焦芬,等. 新型捕收剂 SCA 在河南某白钨选矿厂的应用研究[J]. 矿冶工程, 2022,42(6):57-60.
Li Wei, Wang Xu, Jiao Fen, et al. Application of new collector SCA in scheelite concentrator in Henan[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2022,42(6):57-60.

[15] 朱玉霜,朱建光. 浮选药剂的化学原理[M]. 2 版. 长沙:中南工业大学出版社, 1996.
Zhu Yushuang, Zhu Jianguang. Chemical principles of flotation reagents[M]. 2nd ed. Changsha: Central South University of Technology Press, 1996.

[16] 见百熙. 浮选药剂[M]. 北京:冶金工业出版社, 1981.
Jian Baixi. Flotation reagents[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1981.

引用本文:张高杰,余新阳. 组合捕收剂提高河南某低品位白钨矿浮选回收率试验研究[J]. 矿冶工程, 2026,46(4):110-115.
Zhang Gaojie, Yu Xinyang. Experimental study on combined collector for improving flotation recovery of low-grade scheelite ore from Henan[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2026,46(4):110-115.