

新型组合捕收剂浮选回收某铜尾矿中的微细粒锡石

施雨航^{1,2}, 宋宝旭^{1,2}, 王帅^{1,2}, 黄恩铭^{1,2}, 杨光^{1,2}, 周兰^{1,2}

1. 辽宁科技大学 矿业工程学院, 辽宁 鞍山 114001;
2. 辽宁科技大学 智慧矿山研究院, 辽宁 鞍山 114051

中图分类号: TD923; TD926.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2025)02-0102-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2025.02.008

摘要 内蒙古某铜尾矿锡品位为0.47%, 锡主要以锡石的形式存在, 主要赋存于 $-0.043+0.005$ mm细粒级中, 具有较高的回收价值。为提升锡石矿物的浮选回收率, 采用实验室自制的以羟肟酸为主的新型组合捕收剂KDK-1, 对该尾矿开展了浮选实验研究。首先对该尾矿进行脱泥, 然后浮选除硫后浮选锡, 在调整剂六偏磷酸钠120 g/t、捕收剂KDK-1 2 000 g/t、辅助捕收剂PBL 50 g/t、起泡剂松醇油10 g/t的粗选条件下, 采用“一粗三精二扫”的闭路浮选实验流程, 可获得锡品位为6.07%、回收率为73.10%的锡精矿。该组合捕收剂对锡石捕收效果良好, 优于丁胺黑药, 可高效回收铜尾矿中锡资源, 并为今后低品位微细粒锡石的高效回收和新型捕收剂的开发提供了参考。

关键词 羟肟酸; 组合捕收剂; 浮选; 细粒锡石; 铜尾矿

引言

近年来, 我国大量高品位易选矿产资源日趋枯竭, “贫、细、杂、散”成为矿产资源的突出特征^[1]。锡是一种机械性能较为稳定的有色金属材料, 被中国、美国等国家列为重要的战略矿产^[2]。世界锡资源的储量约为460万t, 2022年我国锡资源储量为72万t, 约占全球锡资源储量的15.6%, 位居世界第二, 主要分布在云南、广东、广西、湖南、内蒙古和江西等省区。目前, 已发现的锡矿物已达到60余种, 其中锡石为金属锡主要来源之一^[3-5]。根据相关资料记载, 我国损失的锡金属中80%左右是以微细粒锡石的形式流失在尾矿库中。由于微细粒锡石的比表面积大, 重选回收率低, 浮选成为重要的研究方向^[6-9]。对于复杂难选的低品位矿石而言, 有用矿物嵌布粒度过细且极不均匀, 必须将矿石磨细至20 μm 以下方能实现单体解离, 部分矿物需要细磨至10 μm 以下, 因而产生大量微细粒或超细粒矿物, 由于细粒锡石质量小且比表面积大, 在选矿实践中常面临着回收率低、精矿品质差等问题。

在锡石浮选中捕收剂至为关键。羟肟酸类药剂是常用的锡石捕收剂。孙爱辉等人^[10-11]研究表明, 羟

肟酸类药剂对锡石有较好的捕收能力, 可以很好地在锡石表面产生吸附, 捕收剂的用量低, 同时还可以强化 -5 μm 粒级细颗粒锡石的凝聚, 从而改善泡沫的矿化度。面对复杂的微细粒锡石浮选, 采用组合捕收剂浮选效果往往优于单一捕收剂, 这是由于组合捕收剂会产生协同效应所致。例如, 莫广得等人^[12]利用烷基磺化琥珀酸类与羟肟酸类组合捕收剂浮选回收广西某尾矿中的微细粒锡石, 获得锡精矿品位30.92%、回收率81.13%的选别指标, 该组合捕收剂无毒, 起泡性能好, 用量少。由于羟肟酸药剂价格较高, 因此PBL常被用作锡石浮选时的辅助捕收剂, 主要成分是磷酸三丁酯, 兼具起泡等性能。李英等人^[13-14]在云南某选矿厂细粒锡石回收的实验中发现, 单用捕收剂PBL不能浮选锡石, 将羟肟酸与PBL混用, 不仅能促进捕收剂在锡石上的吸附, 还能产生协同效应, 使锡石表面疏水性增强, 但PBL过量会降低矿浆的表面张力, 导致泡沫表层脆化、不稳定, 影响浮选效果。

本文以内蒙古某选矿厂铜尾矿为研究对象, 先对该尾矿进行脱泥, 然后浮选除硫后浮选锡, 采用最佳的浮选流程, 获得锡精矿, 实现了铜尾矿中锡资源的有效回收, 并为今后低品位的微细粒锡石的高效回收和新型捕收剂的开发提供了参考。

收稿日期: 2024-08-29

基金项目: 辽宁科技大学博士启动基金项目: 复杂稀有及贵金属矿产资源高效综合利用基础理论

作者简介: 施雨航(1999—), 男, 江苏盐城人, 硕士研究生, 研究方向为稀有及贵金属矿产资源综合利用, E-mail: 1824833527@qq.com。

通信作者: 宋宝旭(1987—), 男, 辽宁鞍山人, 博士, 副教授, 高级工程师, 研究方向为稀有及贵金属矿产资源综合利用, E-mail: winsbx@163.com。

1 样品性质与实验方法

1.1 样品性质

样品取自内蒙古某铜尾矿, 样品的化学多元素分析结果如表 1 所示。表 1 结果表明, 该样品中主要有价元素为锡, 含量为 0.47%, 而 SiO₂ 含量达 68.35%, Al₂O₃ 含量为 18.62%, 此外还有少量的硫。

表 1 化学多元素分析结果
Table 1 Chemical multielement analysis results

元素	Sn	S	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O
含量/%	0.47	0.33	18.62	68.35	0.82	0.77	1.62

样品中锡的物相分析结果见表 2。表 2 结果表明, 锡主要以锡石的形式存在, 其分布率是 78.18%, 而 21.82% 的锡以黝锡矿形式存在。为避免黄铜矿、黄铁矿等硫化物对锡石浮选的影响, 需要脱除黄铜矿、黄铁矿等硫化物以保证锡石浮选。

表 2 样品中锡物相分析结果
Table 2 Results of tin phase analysis of ore

锡物相	黝锡矿	锡石	总锡
含量/%	0.12	0.43	0.55
分布率/%	21.82	78.18	100.00

样品粒度组成分析结果见表 3。由表 3 结果可知, 矿样中-0.005 mm 粒级占比 23.49%, +0.043 mm 粒级含量较少, 仅为 9.98%。细粒级中-0.005 mm 产率高 53.45%, 该微细粒级矿样比表面积大, 在浮选过程中会吸附浮选药剂, 导致药剂用量的不断增加, 另外黏附在矿物表面, 导致矿物之间的分离效果降低, 给浮选带来干扰。大量微细粒级矿物的存在, 导致夹带现象严重, 同时影响细粒锡石的重选效果^[15]。

表 3 样品粒度组成分析结果
Table 3 Analysis results of sample particle size composition

粒级/mm	产率/%	Sn品位/%	Sn分布率/%
+0.043	6.36	0.75	9.98
-0.043+0.02	13.53	1.21	34.26
-0.02+0.01	14.13	0.71	20.99
-0.01+0.005	12.53	0.43	11.28
-0.005	53.45	0.21	23.49
小计	100.00	0.48	100.00

1.2 实验方法

直接浮选回收锡石不进行脱硫处理, 不仅会增加浮选药剂用量, 还会导致锡精矿中硫含量过高且影响

锡精矿品位, 因此先进行脱硫实验和脱硫尾矿浮选锡条件实验。分别考察了脱泥量、脱硫实验工艺流程和锡浮选工艺流程对锡的回收率和品位的影响^[16]。

1.3 实验药剂

实验中所使用的起泡剂松醇油为工业纯, 调整剂六偏磷酸钠为分析纯, 捕收剂 KDK-1 为实验室自制的以羟肟酸为主的复配组合药剂, 辅助捕收剂 PBL 是以磷酸三丁酯为主的合成药剂, 活化剂硫酸铜为分析纯, 丁基黄药为工业纯, 所有实验用水均为自来水。

2 实验结果与分析

2.1 脱泥对锡石浮选的影响

水力旋流器脱泥是目前工业上最为常用的脱泥工艺, 本实验采用实验室水力旋流器对-0.005 mm 的细粒级矿样具有较好的脱除效果, 采用水力旋流器脱泥时, 虽锡浮选精矿品位相对较高, 但锡在旋流器的溢流中损失也高, 锡石回收率也严重下降^[17]。因此, 根据该样品矿物组成特点, 进行脱泥实验。脱泥实验结果如图 1 所示。图 1 实验结果说明, 与不脱泥相比, 脱泥 35% 后的浮选锡精矿中锡品位由 0.91% 提升至 1.69%, 粗精矿回收率由 56.95% 上升至 66.22%, 表明脱泥后, 浮选粗精矿细泥夹带现象得以有效减少, 综合考虑浮选粗精矿品位和回收率, 细粒级脱泥产率应为 25%, 得到粗精矿品位为 1.55%, 回收率为 66.5%。

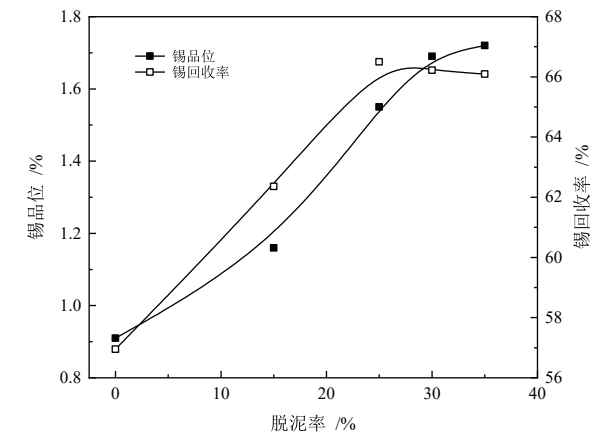


图 1 矿泥脱除产率对浮选锡精矿指标的影响
Fig. 1 Effect of slime removal yield on flotation tin concentrate index

2.2 脱硫对锡石浮选的影响

锡石浮选给矿为选硫尾矿经过脱硫和分级后得到的产品, 其中硫品位只有 0.33%。直接浮选回收锡石不进行脱硫处理, 浮选时药剂用量增加, 且锡精矿中硫含量增加, 锡精矿品位降低。由于硫化矿可浮性好, 在选锡过程中硫化矿极易与锡石同步富集^[18-22], 既影响锡石的浮选效果, 又导致浮锡精矿品位下降, 含

硫量高,难以获得高品位的浮锡精矿产品。此外考虑到生产上,选硫化矿作业的控制难以保证长时间稳定,难免会出现波动,则导致选硫尾矿含硫偏高^[23-24]。以丁基黄药为捕收剂、松醇油为起泡剂、硫酸铜为活化剂进行脱硫实验研究。实验流程见图2,实验结果见表4。

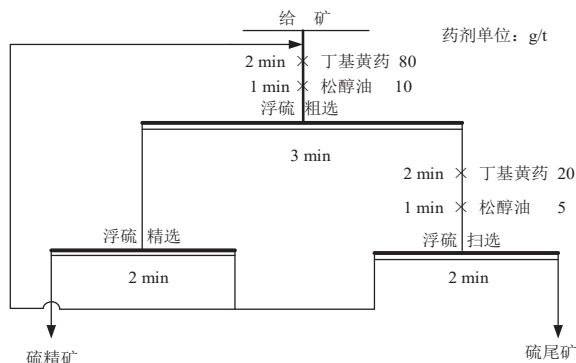


图2 脱硫浮选实验流程

Fig. 2 Desulphurization flotation experimental process

表4 脱硫闭路实验结果

Table 4 Desulfurization closed-circuit experimental results

产品名称	产率	品位		回收率	
		Sn	S	Sn	S
硫精矿	3.93	0.73	8.25	4.87	84.92
硫尾矿	96.07	0.58	0.06	95.13	15.08
给矿	100.00	0.59	0.38	100.00	100.00

由表4可知,经浮选后硫去除率为84.92%,脱硫效果显著。脱硫浮选后的尾矿将作为锡石浮选实验给矿,进行锡浮选条件实验研究。

2.3 锡浮选

2.3.1 调整剂六偏磷酸钠用量

固定捕收剂KDK-1用量2000 g/t,辅助捕收剂PBL用量60 g/t,起泡剂松醇油用量为10 g/t,调整剂六偏磷酸钠用量实验结果见图3。

图3表明,在用量小于120 g/t的条件下,随着六偏磷酸钠用量增加,浮选锡精矿中锡品位由1.39%升高至1.64%;回收率由67.44%升高至68.64%,六偏磷酸钠用量变化对回收率无明显影响。当用量超过120 g/t后,锡品位由1.64%下降至1.51%;回收率由68.64%明显下降至47.15%,六偏磷酸钠用量拐点为120 g/t。因此综合考虑,锡石浮选六偏磷酸钠适宜用量为120 g/t。

2.3.2 组合捕收剂KDK-1用量

组合捕收剂性能通常优于单一捕收剂,这是由于组合捕收剂产生协同效应所致^[25-26]。为确定最佳捕收

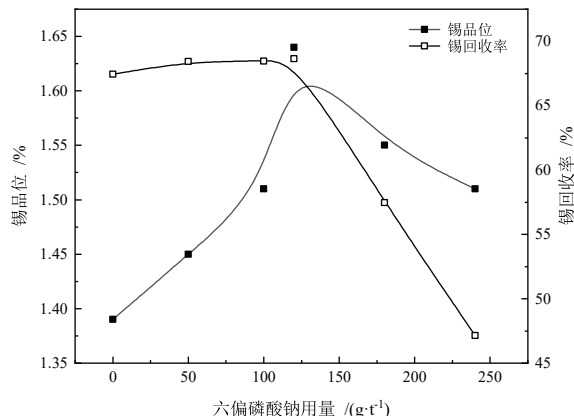


图3 六偏磷酸钠用量对锡浮选精矿指标的影响

Fig. 3 Effect of sodium hexametaphosphate dosage on index of tin flotation concentrate

剂,进行不同种类的捕收剂条件实验(分别以KDK-1、丁铵黑药为捕收剂)。固定调整剂六偏磷酸钠用量120 g/t,辅助捕收剂PBL用量60 g/t,起泡剂松醇油用量为10 g/t。实验结果见图4。

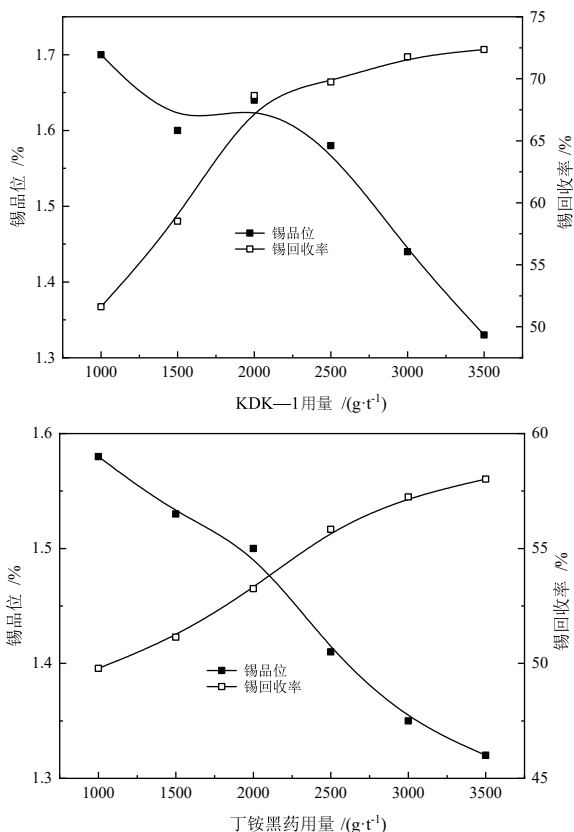


图4 捕收剂种类对锡浮选精矿指标的影响

Fig. 4 Effect of collector type on index of tin flotation concentrate

图4表明,随着捕收剂KDK-1用量增加,粗精矿产量增加,锡回收率呈上升趋势,药剂用量小于1500 g/t时锡品位呈下降趋势,1500~2000 g/t时锡品位无明显变化,当用量超过2000 g/t后锡品位明显呈下降趋势,回收率趋于稳定。捕收剂丁铵黑药用量的

增加,粗精矿的产量增加,锡回收率呈上升趋势,药剂用量在 1 000~3 500 g/t 时锡品位呈快速下降趋势,回收率呈缓慢上升趋势。KDK-1 浮选指标优于丁铵黑药,综合考虑粗精矿品位和回收率,选择适宜的 KDK-1 用量为 2 000 g/t。

2.3.3 辅助捕收剂 PBL 用量

由于组合捕收剂 KDK-1 的起泡性能突出,在选锡作业时产生的泡沫过于丰富,会夹带部分脉石矿物而影响锡精矿品质,PBL 对浮选泡沫层具有良好的调节作用^[27-29],并可以辅助捕收剂提高精矿品质,选矿工作者常用 PBL 辅助捕收剂应用于选锡工业中。

因此,实验固定调整剂六偏磷酸钠用量 120 g/t、

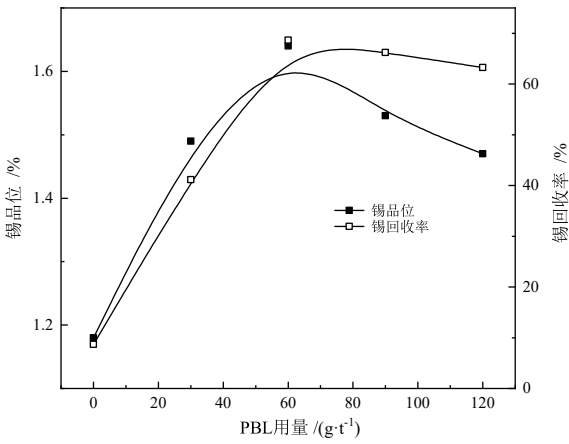


图 5 PBL 用量对锡浮选精矿指标的影响
Fig. 5 Effect of PBL dosage on index of tin flotation concentrate

捕收剂 KDK-1 用量为 2 000 g/t、起泡剂松醇油用量为 10 g/t 的条件下开展 PBL 用量实验,实验结果见图 5。图 5 实验结果表明,不加入辅助捕收剂锡的回收率和品位比加入 PBL 要低,PBL 的加入有利于提高锡的回收率,随着药剂用量从 0 g/t 增加到 60 g/t,锡的回收率由 8.7% 提高至 68.64%。当 PBL 用量超过 60 g/t 后,锡作业回收率趋于稳定;品位呈现下降的趋势,由于精矿泡沫脆、泡沫层薄,所以操作难度大。因此 PBL 的适宜用量为 60 g/t,可以提高精矿品位和回收率。

2.3.4 锡浮选闭路实验

在粗选中调整剂六偏磷酸钠用量为 120 g/t、辅助捕收剂 PBL 用量为 50 g/t、组合捕收剂 KDK-1 用量为 2 000 g/t、起泡剂松醇油用量为 10 g/t 的条件下,进行“一粗三精二扫”的浮选闭路实验,工艺流程如图 6 所示,结果见表 5。

由表 5 可知,浮选闭路可获得锡品位 6.07%、回收率 73.10% 的锡精矿,实现该尾矿中锡的高效回收。

3 结论

组合捕收剂具有起泡性好、无毒、环境友好等优势,充分利用药剂之间的协同效应、溶剂效应、盐析效应,能同时提高药剂对锡石矿物的选择性。新型组合捕收剂 KDK-1 对锡石具有较强的捕收能力。在调整剂六偏磷酸钠用量为 120 g/t、辅助捕收剂 PBL 用量

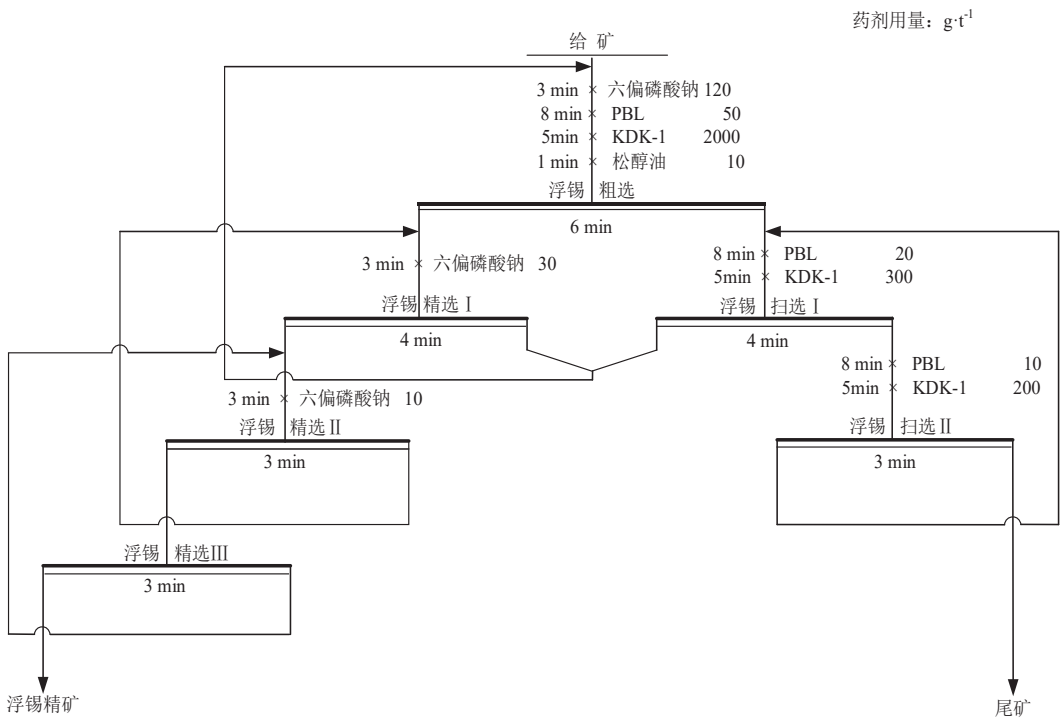


图 6 浮选闭路实验流程
Fig. 6 Flotation closed circuit experimental process

表 5 闭路实验结果
Table 5 Closed circuit experimental results

产品名称	产率	Sn品位	Sn回收率
浮锡精矿	7.02	6.07	73.10
尾矿	92.98	0.17	26.90
给矿	100.00	0.58	100.00

为 50 g/t、组合捕收剂 KDK-1 用量为 2 000 g/t、起泡剂松醇油用量为 10 g/t 的条件下,采用“一粗三精二扫”流程的闭路实验,最终获得了锡品位 6.07%、回收率 73.10% 的锡精矿,实现了尾矿中锡石的较好回收和矿产资源的综合利用。

参考文献:

[1] 郑其方,刘殿文,李佳磊,等. 锡石浮选捕收剂机理研究进展[J]. 中国有色金属学报, 2021, 31(3): 785-795.
ZHENG Q F, LIU D W, LI J L, et al. Research progress on collector mechanism of cassiterite flotation[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021, 31(3): 785-795.

[2] 莫峰,蓝卓越,曹阳,等. 铅组分活化锡石促进辛基羟肟酸吸附的量子化学计算研究[J]. 中国矿业大学学报, 2022, 51(6): 1193-1200.
MO F, LAN Z Y, CAO Y, et al. Quantum chemical calculation of lead-activated cassiterite promoting the adsorption of octyl hydroxamic acid[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2022, 51(6): 1193-1200.

[3] 常自勇,李玉娇,沈政昌,等. 微细粒矿物浮选捕收剂的应用及其机理研究进展[J]. 工程科学学报, 2023, 45(11): 1807-1819.
CHANG Z Y, LI Y J, SHEN Z C, et al. Research progress on application and mechanism of flotation collectors for fine-grained minerals[J]. Chinese Journal of Engineering, 2023, 45(11): 1807-1819.

[4] MIAO Y Q, HE J Y, ZHU X R, et al. Hardness of surface hydroxyls and its pivotal role in the flotation of cassiterite from quartz via lead ions activation[J]. Separation and Purification Technology, 2024, 347: 127565.

[5] MIAO Y C, FENG Q C, WEN S M. Experimental and MD study on the effect of SDS/OHA mixed collector co-adsorption on cassiterite flotation[J]. Separation and Purification Technology, 2024, 339: 126635.

[6] YAO C Y, LI Y C, LI P, et al. Flotation Separation of cassiterite from calcite using low molecular weight citrus pectin as depressant[J]. Separations, 2024, 11(4).

[7] 曾勇,程恺,韩海生,等. 苯甲羟肟酸在浮选中的应用及作用机理研究进展[J]. 中国有色金属学报, 2024, 34(3): 877-898.
ZENG Y, CHENG K, HAN H S, et al. Research progress on the application and mechanism of benzohydroxamic acid in flotation[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2024, 34(3): 877-898.

[8] 杨波,王晓,谢贤,等. 云南某含锡多金属矿尾矿回收微细粒锡石实验[J]. 矿物学报, 2023, 43(4): 433-440.
YANG B, WANG X, XIE X, et al. Experiment on recovering fine cassiterite from tailings of a tin-containing polymetallic ore in Yunnan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2023, 43(4): 433-440.

[9] 肖静晶,吴经芝,刘思思,等. 二丁基(2-(羟基氨基)-2-氧乙基)膦酸酯的制备及在锡石浮选中的吸附机理(英文)[J]. Journal of Central South University, 2023, 30(5): 1569-1580.
XIAO J J, WU J Z, LIU S S, et al. Preparation of dibutyl (2-(hydroxyamino) -2-oxoethyl) phosphonate and its adsorption

mechanism in cassiterite flotation[J]. Journal of Central South University, 2023, 30(5): 1569-1580.

[10] 孙爱辉,彭志兵. 某摇床尾矿中细粒锡石的回收实验[J]. 有色金属(选矿部分), 2013(6): 40-44.
SUN A H, PENG Z B. Recovery test of fine cassiterite in a shaking table tailings[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2013(6): 40-44.

[11] 江时锋,童雄,谢贤,等. 微细粒锡石浮选药剂及工艺研究进展[J]. 有色金属工程, 2023, 13(10): 61-73.
JIANG S F, TONG X, XIE X, et al. Research progress of fine cassiterite flotation reagents and process[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2023, 13(10): 61-73.

[12] 莫广得,廖幸锦,陈建华. 广西某尾矿回收微细粒锡石浮选试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(6): 70-77.
MO G D, LIAO X J, CHEN J H. Experimental study on flotation of fine cassiterite recovered from a tailings in Guangxi[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(6): 70-77.

[13] 袁帅,刘杰,李艳军,等. 内蒙古某铜锡硫化矿石选矿实验[J]. 金属矿山, 2016(2): 87-90.
YUAN S, LIU J, LI Y J, et al. Mineral processing test of a copper-tin sulfide ore in Inner Mongolia[J]. Metal Mine, 2016(2): 87-90.

[14] 李英,董天龙. 提高云南某选矿厂细粒锡石回收率的实验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2019(2): 46-50.
LI Y, DONG T L. Experimental study on improving the recovery rate of fine cassiterite in a concentrator in Yunnan[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2019(2): 46-50.

[15] ZHAO G, ZHOU X T, LI F X, et al. Study on the flotation performance of a new fennel hydroxamic acid collector for tungsten and tin minerals[J]. Journal of Central South University, 2022, 29(11): 3645-3655.

[16] 陈国浩,任浏祎,曾维能,等. 微细粒锡石的微泡浮选及动力学研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2022(3): 20-25.
CHEN G H, REN L Y, ZENG W N, et al. Study on microbubble flotation and kinetics of fine cassiterite[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2022(3): 20-25.

[17] 曾国旺,庄故章,张校熔,等. 微细粒锡石浮选药剂研究现状[J]. 金属矿山, 2019(1): 115-119.
ZENG G W, ZHUANG G Z, ZHANG J R, et al. Research status of fine cassiterite flotation reagents[J]. Metal Mine, 2019(1): 115-119.

[18] 熊宗彪,蒋泽斌,李春林,等. 用新型锡石捕收剂 CS-6 优化广西某细粒锡石的回收[J]. 金属矿山, 2018(9): 117-120.
XIONG Z B, JIANG Z B, LI C L, et al. A new cassiterite collector CS-6 was used to optimize the recovery of fine cassiterite in Guangxi[J]. Metal Mine, 2018(9): 117-120.

[19] 杨凯志,汪泰,胡真,等. 云南某低品位难选铁锡矿选矿实验研究[J]. 金属矿山, 2021(9): 72-78.
YANG K Z, WANG T, HU Z, et al. Experimental study on beneficiation of a low-grade refractory iron-tin ore in Yunnan[J]. Metal Mine, 2021(9): 72-78.

[20] 张文杰,华中宝,谢贤,等. 锡石选别工艺和药剂研究进展[J]. 金属矿山, 2021(8): 116-121.
ZHANG W J, HUA Z B, XIE X, et al. Research progress of cassiterite separation process and reagent[J]. Metal Mine, 2021(8): 116-121.

[21] 郑永兴,宁继来,吕晋芳,等. 云南某铜锡尾矿脱硫选锡实验研究[J]. 金属矿山, 2021(5): 103-108.
ZHENG Y X, NING J L, LV J F, et al. Experimental study on desulfurization and tin separation of a copper-tin tailings in Yunnan[J]. Metal Mine, 2021(5): 103-108.

- [22] 曾维能. 微纳米气泡对微细粒锡石浮选的影响及其机理[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2021.
ZENG W N. Effect of micro-nano bubbles on flotation of fine cassiterite and its mechanism[D]. Wuhan: Wuhan university of technology, 2021.
- [23] 葛英勇, 鱼光辉, 邓坤, 等. 新型锡石捕收剂 SN-705 浮选实验研究[J]. 金属矿山, 2020(10): 184-189.
GE Y Y, YU G H, DENG K, et al. Experimental study on flotation of new cassiterite collector SN-705[J]. Metal Mine, 2020(10): 184-189.
- [24] GONG G C, LIU J, HUA Y X, et al. Study on flotation performances and adsorption mechanism of 2-carboxyethylphenylphosphinic acid to cassiterite[J]. Separation Science and Technology, 2019, 54 (11): 1815-1828.
- [25] 陈华萍, 黄渝芝, 王丛正, 等. 高效细粒锡石捕收剂 YK-Sn 实验研究[J]. 世界有色金属, 2023(22): 143-147.
CHEN H P, HUANG Y Z, WANG C Z, et al. Experimental study on high efficient fine cassiterite collector YK-Sn[J]. World Nonferrous Metals, 2023(22): 143-147.
- [26] 罗红莹, 张英, 陈荣, 等. 细粒锡石浮选组合药剂研究与应用进展[J]. 金属矿山, 2019(3): 30-34.
LUO H Y, ZHANG Y, CHEN R, et al. Research and application progress of combined reagents for fine cassiterite flotation[J]. Metal Mine, 2019(3): 30-34.
- [27] MATVEEVA N T, GETMAN V V, RYAZANTSEVA V M, et al. Rebellious tin ore processing with new agents for nonferrous and noble metal recovery[J]. Journal of Mining Science, 2019, 55(10): 832-838.
- [28] QI J, DONG Y, LIU S, et al. A selective flotation of cassiterite with a dithiocarbamate-hydroxamate molecule and its adsorption mechanism[J]. Applied Surface Science, 2021, 538: 147996-148014.
- [29] ZHENG Q, ZHOU Y, QIAO L, et al. Selective adsorption of soluble starch on the cassiterite surface for effective flotation separation of scheelite from cassiterite[J]. Surfaces and Interfaces, 2024, 48: 104238-104249.

Flotation Recovery of Fine-grained Cassiterite from a Copper Tailings Using a Novel Combined Collector

SHI Yuhang^{1,2}, SONG Baoxu^{1,2}, WANG Shuai^{1,2}, HUANG Enming^{1,2}, YANG Guang^{1,2}, ZHOU Lan^{1,2}

1. School of Mining Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114001, Liaoning, China;

2. Intelligent Mine Research Institute of University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051, Liaoning, China

Abstract: The flotation recovery of tin minerals in copper tailings with a tin grade of 0.47% was investigated through an experiment conducted in Inner Mongolia. Cassiterite, the primary form of tin, predominantly occurred in the fine grain size range of $-0.043+0.005$ mm and exhibited significant recovery potential. In order to improve the flotation recovery rate of cassiterite, a novel combined collector named KDK-1, composed mainly of hydroxamic acid and synthesized in the laboratory, was employed for conducting flotation experiments on the tailings. The tailings were first deslimed, followed by sulfur removal and subsequent tin flotation processes. Using 120 g/t sodium hexametaphosphate as a regulator, 2000 g/t KDK-1 as a collector, 50 g/t PBL as an auxiliary collector, and 10 g/t pine oil as a frother, closed circuit flotation experiments using "one rougher-three cleaners-two scavengers" process resulted in a tin concentrate with a grade of 6.07% and a recovery rate of 73.10%. The combined collector has a good collection effect on cassiterite, which is better than ammonium butyrate black, and can efficiently recover tin resources in copper tailings. It also provides a reference for the efficient recovery of low-grade fine cassiterite and the development of new collectors in the future.

Keywords: hydroxamic acid; combined collector; flotation; fine cassiterite; copper tailings

引用格式: 施雨航, 宋宝旭, 王帅, 黄恩铭, 杨光, 周兰. 新型组合捕收剂浮选回收某铜尾矿中的微细粒锡石[J]. 矿产保护与利用, 2025, 45(2): 102-107.

SHI Yuhang, SONG Baoxu, WANG Shuai, HUANG Enming, YANG Guang, ZHOU Lan. Flotation recovery of fine-grained cassiterite from a copper tailings using a novel combined collector[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2025, 45(2): 102-107.