

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2024.03.001

2023 年浮选药剂研究进展

朱一民

(湖南有色金属研究院,长沙 400100)

摘 要:本文收集了 2023 年国内核心期刊发表的部分浮选药剂的信息,分硫化矿捕收剂、氧化矿捕收剂、调整剂、起泡剂与助磨剂及助滤剂、浮选药剂的结构与性能和废水处理六个方面介绍并略加评论。

关键词:浮选药剂;硫化矿;氧化矿;捕收剂;调整剂;起泡剂与助磨剂及助滤剂;浮选药剂的结构与性能;废水处理

中图分类号:TD923+.1

文献标志码:A

文章编号:1671-9492(2024)03-0001-22

Progress of Flotation Reagents in 2023

ZHU Yimin

(Hunan Research Institute of Non-ferrous Metals, Changsha 400100, China)

Abstract: In this paper, the information of some flotation reagents published in domestic core journals in 2023 is collected, introduced and briefly reviewed in six aspects: sulfide collectors, oxide collectors, regulators, frothers and grinding aids as well as filter aids, structure and performance of flotation reagents and wastewater treatment.

Key words: flotation reagents; sulphide minerals; oxide minerals; collectors; regulators; frothers, grinding aids and filter aids; structure and properties of flotation reagentsand; wastewater treatments

2023 年我国浮选药剂的研发和生产较三年疫情时期迅速复苏,在国家持续发展的矿业领域起着重要作用,在世界选矿界继续保持领跑地位,为我国在世界选矿界保持领先地位和我国选矿事业的健康发展作出了贡献。本文总结了 2023 年我国选矿工作者有关浮选药剂的研究成果,分硫化矿捕收剂、氧化矿捕收剂、调整剂、起泡剂和助磨剂与助滤剂、浮选药剂的结构与性能、废水处理等 6 部分介绍给大家,以利于大家参考与应用。

1 硫化矿捕收剂

2023 年硫化矿捕收剂研究主要朝混合用药方向发展,由于铜价持续上扬和铅锌价格坚挺,导致铜铅锌硫浮选新药剂研究的报道居多。

1.1 环双醚氨基甲酸酯和重芳烃混合使用

研究发现将环双醚氨基甲酸酯和重芳烃混合使用会产生协同效应,可大幅提高铜矿疏水性和铜精矿回收率。对原矿铜品位 0.353% 的低品位铜矿进

行一粗两精两扫的浮选闭路试验,获得铜品位为 19.955% 的铜精矿,铜回收率从 92.79% 提高至 96.10%^[1]。

1.2 BK404 浮选铜混合矿

针对次生富集带含 S 28.73%、Cu 0.61% 的硫铁矿混合矿样,采取水洗+铜优先浮选的试验方案,通过水洗优先回收硫酸铜中的铜,然后对水洗浸渣进行铜优先浮选回收硫化铜矿物。结果表明,对该矿进行水洗试验能有效地回收硫酸铜中的铜,铜回收率为 47.30%;水洗浸渣在磨矿细度为 -0.074 mm 占 70%、石灰用量为 3 000 g/t、硫化钠用量为 3 000 g/t、水玻璃用量为 3 000 g/t、亚硫酸钠用量为 1 800 g/t、BK404 用量为 30 g/t 的条件下,进行浮选闭路试验,最终获得 Cu 品位 14.45%、Cu 回收率 46.94%;硫精矿 S 品位 46.10%、S 回收率 96.22% 的铜精矿^[2]。

1.3 8250 作为铜捕收剂、8194 作为锌捕收剂

针对某铜锌铁多金属矿含铜 0.58%、锌

收稿日期:2024-01-23

作者简介:朱一民(1955—),男,广西平南人,研究员,长期从事选矿及药剂研究工作。

1.44%、全铁 34.96%、金 0.21 g/t、银 5.91 g/t 的矿样,采用“优先选铜,选铜尾矿选锌”的浮选工艺,在磨矿细度—0.074 mm 占 75%的条件下,采用 8250 为铜新型捕收剂,8194 为锌新型捕收剂,石灰、硫酸锌、亚硫酸钠、硫酸铜作为常规调整剂,通过闭路试验可获得含铜 20.801%、铜回收率 88.92% 的铜精矿和含锌 50.86%、锌回收率 75.82% 的锌精矿,铜精矿中金回收率为 48.03%、银回收率为 71.16%^[3]。

1.4 水包油型乳化柴油浮选钼

研究者采用超声法制备水包油型乳化柴油,油水质量比为 1:10,以聚氧乙烯月桂醚为乳化剂,乳化剂用量为油、水总质量的 1.5%,超声功率为 300 W,超声时间为 2 min,制备的乳化柴油用于辉钼矿粗选,可得到 Mo 品位和回收率分别为 7.71%、86.72% 的钼精矿,相较原柴油,浮选精矿 Mo 品位提高 0.19 个百分点、Mo 回收率提高 3.44 个百分点^[4]。

1.5 CJ-201 辉铋矿

采用新型捕收剂 CJ-201 和抑制剂 CJ-5S 对铋品位 24.58%、金品位 76.92 g/t、硫含量 14.46% 的高硫铋金混合精矿进行了降硫提质试验研究,浮选闭路试验获得的铋精矿铋和金品位分别为 42.26% 和 92.36 g/t,回收率分别达到了 88.04% 和 62.18%^[5]。

1.6 YZ-05 铜金捕收剂

对含铜为 0.57%、伴生元素金品位为 1.56 g/t 的样品,研究者以 YZ-05 为捕收剂,采用“铜金硫混合浮选—铜硫分离—硫精矿再磨—金硫分离”的分选试验流程,闭路试验得到了铜精矿 Cu 品位为 19.57%、回收率 88.7%,Au 品位为 36.93 g/t、回收率 65.5%,Ag 品位为 61.00 g/t、回收率 46.70%;金精矿 Au 品位 42.27 g/t、回收率 21.1%,金综合回收率为 86.6%;硫精矿 S 品位为 48.24%、回收率为 69.70% 的指标^[6]。

1.7 捕收剂 KMC-1 浮选铜钼

研究者将捕收剂 KMC-1 用于“铜钼混合浮选—铜钼分离”工艺流程,可以获得产率 0.021%、钼品位 47.79%、钼回收率 89.14% 的钼精矿和产率 1.85%、铜品位 29.87%、铜回收率 91.23% 的铜精矿,钼精矿含铜 0.51%,铜精矿含钼 0.021%,铜钼互含较低,铜钼分离效果良好^[7]。

1.8 P601 浮选铜镍

对含铜 0.28%、镍 1.11% 的铜镍矿石,采用铜镍混合浮选流程和铜镍捕收剂 P601,并采用一次粗

选快速选出部分易浮的铜镍矿得到铜镍混合精矿 1,两段扫选合并中矿再选得到铜镍混合精矿 2 的选矿流程,获得的闭路试验指标为铜镍混合精矿含铜 2.05%、铜回收率为 96.32%,含镍 7.33%、镍回收率 85.50%,铜回收率提高了 3.12 个百分点,镍回收率提高了 4 个百分点^[8]。

1.9 铜钼捕收剂 KMY-2

研究者采用铜钼捕收剂 KMY-2 对含铜 0.42%、含钼 0.007%、含硫 11.87% 的矿样进行钼矿物回收,铜精矿中 Mo 回收率提高 51.79 个百分点,体现了较好的选别效果^[9]。

1.10 A8 及 MK305 混合浮选铜

研究者选用丁基黄药、A8 及 MK305 对选铁尾矿中的铜进行浮选回收试验,确定在 A8:MK305 用量比为 1:1,粗选捕收剂用量为 45 g/t,松醇油为 7.5 g/t 时,选铁尾矿经过一次粗选、一次扫选后,得到的粗精矿经再次磨矿至—0.074 mm 粒级含量大于 85%,添加生石灰 12 kg/t,经过一次粗选、三次精选、两次扫选,闭路试验可以得到铜品位 18.94% 的铜精矿,铜回收率达到 60.88%^[10]。

1.11 8250 和丁基黄药、丁铵黑药混用浮选金银

研究者采用 8250、丁基黄药、丁铵黑药对冶炼砖进行回收金银试验,结果表明,当碳酸钠用量为 4 000 g/t、8250 用量为 75 g/t、丁基黄药用量为 200 g/t、丁铵黑药用量为 75 g/t、松醇油用量为 200 g/t 时,可获得产率为 33.6%,金、银回收率分别为 90.0% 和 86.8% 的金银粗精矿^[11]。

1.12 金辅助捕收剂 A11

研究者研究了强化回收伴生金银的新型高效辅助捕收剂 A11,在铅粗选和扫选作业添加,工业试验在铅精矿品位及铅回收率相当的情况下,伴生金回收率提高了 6.44 个百分点;生产实践时在原矿金银品位比较低的情况下,金回收率提高 5.78 个百分点,银回收率提高 8.61 个百分点^[12]。

1.13 捕收剂 EP 和丁基黄药混用选铜

研究者通过采用选择性捕收剂 EP 并以丁基黄药为粗选辅助捕收剂,在中性矿浆中 EP 药剂粗选加黄药粗扫选流程方案,小型闭路试验获得了铜精矿铜品位 26.21%、铜回收率 87.49% 的选别指标,其总尾矿水 pH 值 < 9,达到属地淡水体排放标准^[13]。

1.14 铜捕收剂 BK916 和铅捕收剂 BK906

针对某低品位铜铅锌硫化矿,研究者采用铜铅顺序优先浮选—锌硫混合浮选再分离工艺及选用高效选择性铜捕收剂 BK916 和铅捕收剂 BK906 进行

浮选试验,并在锌硫分离试验中,利用环保型抑制剂BD和石灰组合作用,有效抑制了锌硫混合精矿中的黄铁矿,获得了铜品位20.68%、铜回收率72.98%的铜精矿,铅品位61.38%、铅回收率73.57%的铅精矿,锌品位46.31%、锌回收率73.17%的锌精矿和硫品位48.54%的硫精矿^[14]。

1.15 O-乙基-N-苯甲酰基硫代氨基甲酸酯(EBZTC)分离铜硫

研究者用O-乙基-N-苯甲酰基硫代氨基甲酸酯(EBZTC)作为黄铜矿和黄铁矿分离的浮选捕收剂。结果表明,与传统捕收剂乙硫氨酯(IPet al)相比,EBZTC表现出对黄铜矿和黄铁矿更好的选择性^[15]。

1.16 捕收剂CYC选铜

研究者对含砷含银复杂难选铜铅锌硫化矿进行浮选试验研究时使用新型高效硫化矿捕收剂CYC和环保型铅抑制剂CYZ,采用粗磨—铜铅混合浮选—分级再磨—脱药—铜铅分离工艺流程,获得了铜品位22.42%、银含量11 549.74 g/t,铜、银回收率分别为73.77%、83.85%的铜精矿,以及铅品位13.96%、锑含量6.61%,铅、锑回收率分别为19.45%、11.10%的铅精矿^[16]。

1.17 捕收剂BK946C选铜

研究者对铜平均品位为0.32%的铜矿采用短流程工艺,结合新型高效捕收剂BK946C,强化对目的矿物的捕收,工业试验结果粗选段铜回收率比原生产工艺提高了1.02个百分点,全流程铜回收率提高了0.92个百分点^[17]。

1.18 A22为铜铅混合浮选捕收剂

研究者原矿铜品位0.21%、铅品位2.37%、锌品位3.01%的条件下,采用铜铅混合浮选—铜铅分离—锌浮选的弱碱工艺流程,以A22为铜铅混合浮选捕收剂,TZ01+硫酸锌为锌、硫矿物抑制剂,CZ08为锌浮选捕收剂,亚硫酸钠+CMC为铜铅分离抑制剂,最终获得了Cu品位22.09%、Cu回收率70.48%的铜精矿,Pb品位59.48%、Pb回收率89.35%的铅精矿和Zn品位45.00%、Zn回收率86.96%的锌精矿^[18]。

1.19 XC作铜捕收剂

研究者为了在较低碱度条件下提高高硫铜矿石的选矿指标,研发了“铜硫等可浮—粗精矿再磨—铜硫分离”工艺和新型XC捕收剂,使铜粗选pH值降至8以下,采用石灰作铜调整剂、XC作铜捕收剂、硫酸铜作硫调整剂、丁基黄药作硫捕收剂,在原矿磨矿细度为-0.074 mm占66%、粗精矿再磨细度为

-0.045 mm占71%的条件下,针对含Cu 0.92%、S 16.84%的原矿,闭路试验获得铜品位19.57%、铜回收率85.56%的铜精矿,硫品位42.02%、硫回收率45.58%的硫精矿1和硫品位37.10%、硫回收率29.96%的硫精矿2^[19]。

1.20 捕收剂XK-512对硫化锌有良好的选择性

研究者针对高碱抑硫浮锌工艺中石灰应用带来的弊端,寻求到适用于低碱抑硫浮锌工艺的高效捕收剂XK-512。在某铅锌矿工业试验中,当碳酸钠用量为500 g/t、硫酸铜用量为200 g/t、捕收剂XK-512用量为20 g/t时,针对含锌3.34%的原矿,获得了锌品位48.54%、锌作业回收率为96.15%的锌精矿^[20]。

2 氧化矿捕收剂

2023年报导的氧化矿捕收剂还是以各类常规脂肪胺、脂肪酸、磷酸、羧酸类捕收剂的改性和复配研究为主,特别是锂矿石的捕收剂发展势头强进。

2.1 椰油胺+SDS浮选铷

研究者对Rb₂O含量为0.046%的铷矿石使用组合捕收剂椰油胺+SDS和抑制剂水玻璃进行浮选,固定磨矿细度为-0.074 mm占65%,采用“一粗两精两扫”浮选回收黑云母和部分钾长石中的铷,浮铷尾矿经磁选—浮选回收长石”的工艺。全流程闭路试验可获得Rb₂O品位0.114%、Rb₂O回收率57.23%的铷精矿和Na₂O品位4.21%、Na₂O回收率48.66%、K₂O品位3.96%、K₂O回收率31.92%,白度为69%的长石精矿^[21]。

2.2 捕收剂SJ-Y2浮选白钨

研究者在钨常温粗选作业采用捕收剂SJ-Y2用量120 g/t、调整剂NaCO₃用量2 000 g/t、抑制剂水玻璃用量4 000 kg/t,钨浮选柱加温精选作业采用调整剂NaOH用量1 000 g/t、抑制剂水玻璃用量50 000 g/t,温度为90℃,经脱硫作业和钨浮选作业获得了产率0.31%的最终钨精矿,钨精矿WO₃品位为58.77%、WO₃回收率为82.77%^[22]。

2.3 煤油与十二胺混用浮选石英

研究者以煤油作为辅助捕收剂部分替代价格昂贵的十二胺,配制不同组成的十二胺-煤油混溶捕收剂,用该药剂对铁矿和石英进行分离,闭路试验结果表明,混溶捕收剂中十二胺的较佳比例为40%,在这个比例下,煤油的增效效果最明显;煤油的加入强化了细粒石英的聚团过程,显著提高了细粒级石英的回收率,可以得到Fe品位68.57%、Fe回收率

96.72%的铁精矿^[23]。

2.4 地沟油醇解为生物柴油合成含有羧酸官能团的捕收剂

研究者使用地沟油醇解为生物柴油合成含有羧酸官能团的捕收剂,对低阶煤样品进行浮选试验,结果表明,羧酸捕收剂获得的浮选精煤产率提升了14.63%,灰分下降了12.06%^[24]。

2.5 低温萤石捕收剂 LY13

研究者针对石英型低品位萤石矿开发了低温萤石捕收剂 LY13。当 Na_2CO_3 用量 300 g/t,水玻璃用量 600 g/t,LY13 用量 600 g/t,经“一粗六精一扫”闭路试验流程,获得了 CaF_2 品位为 98.46%、 CaF_2 回收率为 80.75%的萤石精矿^[25]。

2.6 浑浊红球菌微生物作为锡石捕收剂

有人研究了以浑浊红球菌微生物为浮选捕收剂时锡石、方解石和石英砂纯矿物的浮选回收率。结果表明,在 $\text{pH}=4$ 、浑浊红球菌浓度为 1.24 g/L 时,3 种矿物的回收率分别为 82.07%、45.42% 和 13.66%;对实际锡矿石进行开路浮选试验,锡精矿锡品位由 3.98%提高至 23.83%^[26]。

2.7 双酯 Gemini 季铵盐浮选石英

有人研究了 3 种双酯 Gemini 季铵盐捕收剂(DQAS2、DQAS4、DQAS6)的联结基团长度对其捕收性能的影响。结果表明,与十二胺盐酸盐(DDAH)相比,该捕收剂在较宽的 pH 值(3~11)范围内对石英有更好的捕收能力^[27]。

2.8 超声处理过的油酸钠浮选铁

研究者为了改善微细粒菱铁矿对赤铁矿浮选的交互影响作用,分别研究了在正反浮选体系中超声处理对赤铁矿与石英浮选分离的影响。试验结果证明,在菱铁矿含量 5%、超声功率 200 W 的条件下处理矿浆 1 min,油酸钠正浮选体系下精矿铁品位从 37.23%提高至 49.15%,提高了 11.92 个百分点。同时在以淀粉为抑制剂的油酸钠反浮选体系下,处理矿浆 2 min,精矿铁品位从 30.32%提高至 47.36%,提高了 17.04 个百分点。机理研究表明,在适宜的超声处理条件下能够去除微细粒菱铁矿的吸附罩盖,从而有利于促进赤铁矿与石英的分离^[28]。

2.9 醚胺(DYN-1)与十二烷基磺酸钠(SDS)组合浮选石英

研究者将醚胺(DYN-1)与十二烷基磺酸钠(SDS)进行组合(简称 DYN-3),针对石英、赤铁矿、磁铁矿开展单矿物和人工混合矿浮选试验,考察了 DYN-3 用量、矿浆 pH 值、温度、淀粉用量对矿物浮

选行为的影响。结果表明,DYN-3 对石英捕收能力很强,在矿浆 pH 值为 8.0 时,石英回收率为 99.57%,且该药剂对温度适应能力强,经人工混合矿试验可得到精矿铁品位为 68.29%、铁回收率为 95.62%的选别指标^[29]。

2.10 异戊基黄药与水杨羟肟酸组合浮选硅孔雀石

有人研究了异戊基黄药与水杨羟肟酸对硅孔雀石硫化浮选行为的影响,试验结果表明,组合捕收剂的作用效果好于单一捕收剂,可以将硅孔雀石的浮选回收率提高 18.82 个百分点^[30]。

2.11 组合型捕收剂 DGT-P 浮选铁

有人用新型组合捕收剂 DGT-P 针对齐大山铁矿选矿分厂的混合磁选精矿进行了浮选试验研究,在矿浆温度 20 $^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{pH}=10.0$ 、捕收剂 DGT-P 用量 800 g/t、抑制剂玉米淀粉用量 1 200 g/t、不添加活化剂的条件下,采用“一粗一精一扫”的浮选闭路试验流程,当浮选给矿铁品位为 48.22%时,可获得精矿铁品位 69.23%及铁回收率 91.52%的浮选指标^[31]。

2.12 柴油与羧酸类的油酸、月桂酸、正癸酸、正辛酸复配浮选煤

研究者将柴油与羧酸类的油酸、月桂酸、正癸酸、正辛酸复配对大同侏罗纪低阶煤进行浮选试验,试验结果表明,除正辛酸外,油酸、月桂酸、正癸酸的加入均会有效提高浮选效果,其中油酸、月桂酸的提升效果最明显,在达到同等的浮选效果时,相比于单独使用柴油节油率可达 50%^[32]。

2.13 YP-2 作捕收剂浮选萤石

研究者在磨矿细度为 -0.074 mm 占 90%、碳酸钠作调整剂、JK-3 和水玻璃作组合抑制剂、YP-2 作捕收剂的条件下,采用一粗五精一扫、精 I 尾和扫 I 精再选、中矿合并返回的闭路工艺,获得 CaF_2 品位为 97.682%、 CaF_2 回收率为 91.87%的萤石精矿^[33]。

2.14 油酸钠、十二烷基磺酸钠和环烷酸钠与阳离子捕收剂十二胺进行复配浮选锂云母

研究者以某含 Li_2O 1.09%的锂云母矿石为研究对象,将三种阴离子捕收剂油酸钠(NaOL)、十二烷基磺酸钠(SDS)和环烷酸钠(NA)分别与阳离子捕收剂十二胺(DDA)进行复配来浮选锂云母,浮选结果表明,三种阴/阳离子组合捕收剂对锂云母的浮选效果均优于单一捕收剂^[34]。

2.15 BK421B 为捕收剂浮选磷石膏

研究者采用 BK421B 为捕收剂进行磷石膏脱硅

反浮选工艺试验研究。结果表明,当矿浆自然 pH 值为 5.3 时,采用 BK421B 为捕收剂,通过“一粗一精一扫、中矿顺序返回”的反浮选工艺流程,可以获得产率为 89.63%、二水硫酸钙品位为 96.85%、 SiO_2 含量为 1.85%、二水硫酸钙回收率为 96.72% 的石膏精矿^[35]。

2.16 煤油分别与正辛胺、正癸酸、十二烷、油酸甲酯复配作为捕收剂进行煤泥浮选

有人以仲辛醇为起泡剂、煤油与正辛胺、正癸酸、十二烷、油酸甲酯复配为捕收剂,对粒度大于 0.038 5 mm 的煤泥进行浮选试验。结果表明,油酸甲酯与煤油质量比为 1:6 时,浮选结果最佳,精煤产率由煤油的 43.14% 提高至复配捕收剂的 61.70%,对应的灰分由 9.50% 变为 9.61%,可燃体回收率由 42.98% 提高至 61.48%^[36]。

2.17 废机油经氧化改性成捕收剂浮选磷灰石

研究者以重铬酸钾为氧化剂,在通气量为 $0.15 \text{ m}^3/\text{h}$ 、氧化时间为 24 h、氧化温度为 110°C 、重铬酸钾用量为废机油质量的 0.2% 时,废机油经氧化改性成脂肪酸类捕收剂浮选磷灰石。分选结果表明,针对 P_2O_5 品位为 1.72% 的某磷灰石矿,在矿浆温度为 15°C 的条件下,当水玻璃用量为 2 000 g/t、改性废机油捕收剂用量为 400 g/t 时取得较好的分选效果,经一次粗选可获得精矿 P_2O_5 品位为 26.01%、 P_2O_5 回收率为 95.12% 的磷灰石精矿,并且在 $15\sim 40^\circ\text{C}$ 温度范围内,浮选效果基本一致^[37]。

2.18 十二烷基硫酸钠(SDS)作为白云石的捕收剂进行钙镁分离

研究者探索性地将十二烷基硫酸钠(SDS)作为白云石的捕收剂进行钙镁分离,结果表明,在 SDS 浓度为 $20\times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 、矿浆 pH 值为 10 时,白云石与菱镁矿有较好的浮选分离效果^[38]。

2.19 PSK-78 石油磺酸钠为捕收剂进行铁反浮选

研究者以 H_2SO_4 为调整剂、松醇油为起泡剂、PSK-78 石油磺酸钠为捕收剂进行铁反浮选试验,可获得 SiO_2 含量为 99.61%、 Fe_2O_3 含量为 185 $\mu\text{g/g}$ 、回收率为 51.34% 的石英精矿^[39]。

2.20 阴阳离子组合捕收剂 TB-1 和 TB-2 浮选云母

研究者采用无氟无酸法浮选分离钨重选尾矿中的云母、长石和石英。结果表明,采用阴阳离子组合捕收剂 TB-1 和 TB-2,预先浮选脱除云母;再以 TY-1 为抑制剂、TH-1 为活化剂、TB-1 为捕收剂进行石英和长石的浮选分离,获得了产率为 25.43%、 K_2O 品位 10.51%、 Na_2O 品位 3.11%、 Al_2O_3 品位

17.02%、 Fe_2O_3 品位 0.14% 的长石产品以及产率为 27.74%、 SiO_2 品位 98.51%、 Fe_2O_3 品位 0.09% 的石英产品^[40]。

2.21 以十二烷基三甲基溴化铵、十四烷基三甲基溴化铵、十六烷基三甲基溴化铵和十八烷基三甲基溴化铵为捕收剂分离石英和胶磷矿

研究者以十二烷基三甲基溴化铵(DTAB)、十四烷基三甲基溴化铵(TTAB)、十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)和十八烷基三甲基溴化铵(OTAB)为捕收剂,通过纯矿物浮选试验结果表明,随着季铵盐碳链长度的增加,药剂对石英的捕收能力逐渐增强,顺序为 $\text{OTAB} > \text{CTAB} > \text{TTAB} > \text{DTAB}$;季铵盐选择性捕收石英的能力随着碳链长度的增加先增强后减弱,顺序为 $\text{CTAB} > \text{OTAB} > \text{TTAB} > \text{DTAB}$ ^[41]。

2.22 低温组合捕收剂 AG-1

研究者使用新型低温组合捕收剂 AG-1 对混磁精矿在室温(20°C)下进行反浮选试验。结果表明,在矿浆 $\text{pH}=11.5$ 、抑制剂玉米淀粉用量 950 g/t、活化剂 CaO 用量 100 g/t、捕收剂 AG-1 用量 750 g/t 的条件下,采用一粗一精三扫反浮选闭路流程试验可以获得 Fe 品位 68.13%、Fe 回收率为 88.43% 的铁精矿^[42]。

2.23 捕收剂 SGC-01 浮选磷灰石

研究者对中等品位硅钙质胶磷矿进行了捕收剂 SGC-01 的浮选试验研究,采用三粗一精一扫工艺流程,可获得 P_2O_5 品位 34.07%、 P_2O_5 回收率 75.38% 的优质磷精矿^[43]。

2.24 阳离子捕收剂 Y_8 和阴离子捕收剂 $\text{RCH}_2\#$ 混合捕收剂分离长石-石英

研究者以 Y_8 作捕收剂直接浮选云母矿物,浮选尾矿采用阳离子捕收剂 Y_8 和阴离子捕收剂 $\text{RCH}_2\#$ 混合捕收剂无氟浮选分离长石-石英矿物。在原矿含 3.76% Na_2O 、4.46% K_2O 、13.91% Al_2O_3 、74.84% SiO_2 的情况下,获得 K_2O 品位为 1.78%、 K_2O 回收率为 4.48% 的云母精矿, Al_2O_3 品位为 19.11%、 Al_2O_3 回收率为 77.48% 的长石精矿(K_2O 与 Na_2O 分别为 4.72%、7.43%),以及 SiO_2 品位为 99.31%、回收率为 42.97% 的云母精矿^[44]。

2.25 SN-2: TL-1=1:2 组合捕药剂浮选锡石

研究者使用 SN-2: TL-1=1:2 组合捕药剂进行锡石浮选时,能获得锡粗精矿产率 7.46%、锡品位 4.63%、回收率 74.96% 的良好技术指标,与实际生产状况相比,锡作业回收率得到了极大的提升^[45]。

2.26 改性螯合捕收剂 TQ-3 浮选锂辉石和透锂长石

研究者采用改性螯合捕收剂 TQ-3,在低碱性环境下($\text{pH}=8.5\sim 9$)浮选锂辉石,得到含 Li_2O 品位为 6.09%、回收率为 65.27% 的锂辉石精矿,锂的综合回收率为 83.41%^[46]。

2.27 微细粒滑石作为“矿物捕收剂”直接浮选孔雀石

有人研究了以微细粒滑石作为“矿物捕收剂”直接浮选孔雀石的相关规律,在滑石粒径 $d_{50}=96.64\text{ nm}$ 、比表面积为 $505.724\text{ 9 m}^2/\text{g}$ 、作用时间 8 min、用量 800 mg/L、 pH 值为 5 的条件下,对孔雀石的捕收作用最强,此时孔雀石浮选回收率可达到 76.72%,与仅添加起泡剂时比,孔雀石回收率提高了约 54 个百分点^[47]。

2.28 月桂酰胺丙基甜菜碱(LAB)捕收剂用于赤铁矿反浮选脱硅

研究者认为两性表面活性剂月桂酰胺丙基甜菜碱(LAB)溶解性好、毒性低,还具有优异的发泡性能,具备作为捕收剂的基本条件。将 LAB 作为捕收剂引入赤铁矿反浮选脱硅体系中,结果表明,LAB-35 对石英具有良好的可浮性,对赤铁矿的可浮性较弱;在 pH 值为 6.2、LAB-35 用量为 20 mg/L 和淀粉用量为 3 mg/L 的条件下,可获得铁品位为 66.17%、铁回收率为 95.34% 的浮选指标^[48]。

2.29 稀土捕收剂 CMS-1 和萤石捕收剂 CMK-2

研究者采用新型稀土捕收剂 CMS-1 和抑制剂 CAM-1,通过稀土浮选开路试验得到 REO 品位为 10.17%、REO 回收率为 86.15% 的稀土粗精矿。采用新型萤石捕收剂 CMK-2 和抑制剂 CMP-1 和 CMP-2,通过实验室小型闭路试验,得到 CaF_2 品位 90.80%、 CaF_2 回收率 33.00% 的萤石精矿^[49]。

2.30 RF802 浮选稀土

针对某稀土矿,研究者采用捕收剂 RF802、抑制剂水玻璃,经一粗三精一扫的浮选工艺和强磁选工艺,可获得 REO 品位为 53.63%、REO 回收率为 70.54% 的稀土精矿^[50]。

2.31 锂辉石捕收剂 EM-PN10

研究者采用锂辉石捕收剂 EM-PN10,经一粗一扫四精浮选闭路试验流程,获得了 Li_2O 品位 4.32%、 Li_2O 回收率 60.23% 的浮选锂精矿,浮选锂精矿经强磁除铁后,最终获得了 Li_2O 品位 5.07%、 Li_2O 回收率(相对于原矿)59.21% 的锂精矿产品^[51]。

2.32 捕收剂 EM-PN51 浮选铌钽锂

研究者采用捕收剂 EM-PN51,经一粗一扫三精的浮选闭路试验流程浮选某铌钽锂矿,最终获得 Li_2O 品位 5.36%、 Nb_2O_5 含量 0.071%、 Ta_2O_5 含量 0.044% 的含铌钽锂精矿, Li_2O 回收率为 87.38%、 Nb_2O_5 回收率为 87.33%、 Ta_2O_5 回收率为 88.26%^[52]。

2.33 螯合捕收剂 ST-12 浮选铍

研究者采用无机组合活化剂 MD-2 以及螯合捕收剂 ST-12 浮选 BeO 品位为 0.089% 的原矿,在磨矿细度为 -0.074 mm 占 89.1% 的条件下,经“一次粗选、一次扫选、六次精选”的浮选闭路试验,获得了 BeO 品位 4.09%、BeO 回收率 89.60% 的铍精矿。闭路浮选铍精矿经磁场强度为 0.8 T 的一段强磁选后,可将 BeO 品位由 4% 提高到 5% 以上,达到合格铍精矿品位要求,最终获得 BeO 品位为 5.47%、BeO 回收率为 78.09% 的铍精矿^[53]。

2.34 阴阳离子组合捕收剂 SDI-101 浮选锂云母

研究者采用有机胺类和多官能团羧酸类捕收剂组成的新型阴阳离子组合捕收剂 SDI-101 浮选锂云母。试验结果表明,在组合捕收剂 SDI-101(阳离子与阴离子捕收剂质量比 1:1)用量为 500 g/t 时,锂云母的回收率超过 90%,高于传统组合捕收剂 DDA+NaOL 的 40%,其对锂云母的捕收性能更强,而长石回收率仅为 12.5%,石英回收率低于 2%,基本不浮^[54]。

2.35 CY-30 为捕收剂进行重晶石浮选

研究者在磨矿细度为 -0.075 mm 占 90% 的条件下,采用煤油和松醇油脱碳,然后以碳酸钠为 pH 调整剂、水玻璃为抑制剂、CY-30 为捕收剂进行重晶石浮选,闭路试验获得了重晶石精矿产率 75.92%、 BaSO_4 品位和回收率分别为 93.55% 和 87.85% 的选别指标^[55]。

2.36 柴油与油酸钠、OP4、甲基萘的复配产物作为捕收剂浮选碳

研究者选用了柴油与油酸钠、OP4、甲基萘的复配产物作为捕收剂,MIBC、仲辛醇、松醇油、聚乙二醇作为起泡剂,进行了煤气化细渣的浮选对比试验,浮选试验结果表明,当捕收剂用量相同时,复配捕收剂浮选效果优于柴油捕收剂,其中 OP4 与柴油复配的捕收剂浮选效果最好。当柴油质量占比为 80%、OP4 质量占比为 20%、捕收剂用量为 35 kg/t、MIBC 用量为 6 kg/t 时,浮选残炭产率提高了 23.93%、浮选残炭灰分增加了 5.81%^[56]。

2.37 HZ-00 和十二胺作为组合捕收剂浮选锂云母

有人采用 HZ-00 和十二胺作为组合捕收剂浮选

锂云母,在以 Na_2CO_3 为 pH 调整剂、水玻璃为抑制剂的条件下,采用“一粗一扫一精”的浮选工艺流程,闭路试验可获得锂云母精矿 Li_2O 品位为 3.02%、 Li_2O 回收率为 72.41% 的试验指标^[57]。

2.38 餐饮废油浮选磷灰石

研究者通过以餐饮废油为原料配制出的一种新型脂肪酸类磷矿反浮选捕收剂,并对其进行了实验室反浮选评价试验。经一系列试验探索,该新型脂肪酸捕收剂成品作用于原矿(P_2O_5 品位为 24.83%)进行单一反浮选后,能得到 P_2O_5 品位为 31.08% 的精矿产品^[58]。

2.39 氧化石蜡皂+油酸钠为捕收剂浮选锂辉石

研究者以碳酸钠为调整剂、氧化石蜡皂+油酸钠为捕收剂经二粗三精一扫的浮选闭路试验,可获得 Li_2O 品位为 5.11%、 Li_2O 回收率为 70.04% 的锂精矿指标^[59]。

2.40 亚硝基苯胺浮选金红石

有人研究,当 pH=6.8 且亚硝基苯胺用量一定时,金红石浮选回收率可达到 81.5%^[60]。

2.41 脂肪胺类、胺醚类、醚胺类和氧化胺浮选石英

研究者通过浮选试验,对比研究了脂肪胺类、胺醚类、醚胺类和氧化胺共 4 类不同胺类捕收剂对石英的捕收效果。试验结果表明,在相同 pH 值条件下不同胺类捕收剂对胶磷矿浮选性能不同,在弱碱性介质中,脂肪胺类药剂对 SiO_2 的捕收能力的基本排序为:椰油二胺浮选捕收硅酸盐矿物性能优于正辛胺、十二胺、椰油胺、异十三胺,但是异十三胺药剂对磷的损失率较低,椰油二胺次之,十二胺、椰油胺和正辛胺对磷的损失较大。胺醚类药剂对 SiO_2 的捕收能力强弱为:椰油胺聚氧乙烯醚对硅酸盐矿物的捕收能力强于十二胺聚氧乙烯醚,十二胺聚氧乙烯醚浮选尾矿 P_2O_5 损失率高于椰油胺聚氧乙烯醚;醚胺类药剂对 SiO_2 的捕收能力强弱为:异十醚胺较 C10 醚胺对硅酸盐矿物的捕收能力较弱,对异十醚胺浮选尾矿 P_2O_5 的损失率高于 C10 醚胺。试验结果说明,相同类型的胺类药剂的浮选性能基本相似,同时存在一些较小差异,碳链组成相同的脂肪二胺对胶磷矿的捕收能力比脂肪一胺强,浮选性能由强到弱基本排序为:二胺>一胺>醚胺>胺醚>氧化胺^[61]。

2.42 油酸钠(SO)和羟肟酸类药剂协同浮选金红石

研究者研究了三种药剂对金红石捕收能力的大小顺序为:油酸钠(SO)>苯甲羟肟酸钠(BHA)>水杨羟肟酸钠(SHA)。药剂添加顺序对组合体系中金

红石的浮选行为影响较大,油酸钠分子中富电子的双键与羟肟酸类药剂分子中缺电子的苯环之间具有电子共轭效应,该效应可引起组合药剂发生缔合并生成缔合物从而对金红石产生协同作用。苯甲羟肟酸钠与油酸钠组合体系中金红石浮选回收率与药剂作用后矿物的带隙大小成正比比例关系,而在水杨羟肟酸钠和油酸钠组合体系中则成反比例关系^[62]。

2.43 合成了新型捕收剂-烷基羟肟酸磺酸(MES)

研究者用脂肪酸甲酯磺酸钠和盐酸羟胺为原料,合成了捕收剂-烷基羟肟酸磺酸(MES)。单矿物浮选试验结果表明,与油酸相比,MES 对白钨矿的选择性优于方解石和萤石^[63]。

3 浮选调整剂

2023 年无机调整剂和有机调整剂的研究与应用是浮选药剂研究的重头戏。

3.1 铁闪锌矿的活化剂 X-46 及硫铁矿抑制剂 BK526

研究者采用锌硫混浮再锌硫分离工艺,以铁闪锌矿的选择性活化剂 X-46 与硫铁矿选择性抑制剂 BK526 相互配合,获得锌精矿锌品位为 46.27%、锌回收率为 80.35%,含金 8.24 g/t、含银 103 g/t;硫精矿硫品位为 46.54%、硫回收率为 87.63%,含金 3.00 g/t、含银 29.80 g/t 的指标^[64]。

3.2 柠檬酸对萤石和方解石的抑制

研究者研究了柠檬酸对萤石和方解石在浮选中的作用。结果表明,在油酸钠体系下,柠檬酸对萤石的抑制效果强于方解石,柠檬酸抑制两种矿物受 pH 值的影响较小^[65]。

3.3 KP 抑制剂对重晶石的抑制

研究者在实验室小型试验研究中对比利苛性淀粉、栲胶、麦芽糊精、自主改性纤维素与有机磺酸盐加工制成 KP 抑制剂对重晶石的抑制效果,最终采用 KP 为重晶石的高效抑制剂,闭路试验获得了萤石精矿 CaF_2 品位为 95.41%、 CaF_2 回收率为 90.65% 的综合指标,萤石精矿 CaF_2 品位提高了 15.41 个百分点、回收率提高了 20.65 个百分点^[66]。

3.4 过硫酸铵(APS)抑制黄铜矿

研究者通过浮选试验研究了过硫酸铵(APS)氧化对黄铜矿和辉钼矿可浮性及铜钼分离性能的影响。结果表明,APS 可以氧化黄铜矿表面生成亲水的氧化物与氢氧化物,使黄铜矿受到抑制,而对辉钼矿的疏水性和表面性质几乎没有影响,从而实现铜钼的有效浮选分离^[67]。

3.5 石灰和 8372CN 组合抑硫

有人针对某含泥高的银铅锌硫化矿,在低碱环境下采用 25 号黑药与苯胺黑药组合捕收铅,锌浮选采用石灰和 8372CN 组合抑硫,闭路试验获得了铅品位 67.18%、铅回收率 94.57%、银品位 2 560.37 g/t、银回收率 80.54%、锌含量 3.60% 的铅精矿和锌品位 51.63%、锌回收率 93.27% 的锌精矿^[68]。

3.6 EDTA 作为钕铁矿浮选中的石英抑制剂

研究者采用 EDTA 作为钕铁矿浮选中的石英抑制剂。浮选试验结果表明,针对钕铁矿和石英质量比为 1:1 的人工混合矿,在 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 浓度为 20 mg/L、EDTA 用量为 0.2 mmol/L、矿浆 pH 值为 9.0、OHA 浓度为 0.05 mmol/L 的条件下,可较好地实现钕铁矿和石英的浮选分离,钕铁矿精矿中 Nb_2O_5 品位为 56.84%、 Nb_2O_5 回收率为 72.54%,石英品位为 13.17%、石英回收率为 12.83%^[69]。

3.7 絮凝剂 FX-3

研究者为提高低品位微细粒钕铁矿的回收指标,采用选择性分散絮凝—高冲次高梯度磁选的新工艺对微细粒钕铁矿进行预处理,并研究了选择性分散絮凝药剂的种类、用量以及磁选的冲次等主要因素对低品位微细粒钕铁矿回收指标的影响。试验结果表明,在选择性分散絮凝药剂 FX-3 用量为 700 g/t、强磁磁选冲次为 350 次/min 的最佳试验条件下,精矿钕(TiO_2)产品的品位和回收率分别为 30.18% 和 55.79%。在磁选前添加选择性分散絮凝药剂 FX-3,使微细粒钕矿物和脉石颗粒稳定地分散在矿浆中,并相互作用形成不稳定的矿物颗粒,并通过“桥联”效应逐渐变成絮状物,在持续搅拌作用下形成更稳定的絮团,从而增加目标矿物颗粒的表观尺寸,有效地提高强磁分选效果和作用在钕矿物颗粒上的分选力^[70]。

3.8 调整剂糊精、腐植酸钠、阳离子瓜尔胶和 DP115(改性聚丙烯酰胺有机大分子)

有人研究了乙硫氮作捕收剂时有机大分子调整剂糊精、腐植酸钠、阳离子瓜尔胶和 DP115(改性聚丙烯酰胺有机大分子)不同加药顺序对典型硫化矿物黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和黄铁矿浮选行为的影响。浮选试验结果表明,有机大分子调整剂与捕收剂乙硫氮的加药顺序对硫化矿物浮选的影响不同。与调整剂先加时相比,乙硫氮先加时,糊精对黄铜矿、方铅矿和闪锌矿浮选的抑制作用更强;腐植酸钠对黄铜矿和方铅矿浮选的抑制作用不同程度增强,

较低用量腐植酸钠对闪锌矿浮选的抑制作用减弱,而较高用量时则强烈抑制闪锌矿;阳离子瓜尔胶对黄铜矿和方铅矿浮选的抑制作用减弱,对闪锌矿浮选的抑制作用略强;DP115 对黄铜矿浮选的抑制作用减弱,低用量 DP115 对方铅矿浮选的抑制作用相当而对闪锌矿浮选的抑制作用减弱,较高用量时对方铅矿浮选的抑制作用更强而对闪锌矿浮选的抑制作用相当;糊精、腐植酸钠、阳离子瓜尔胶和 DP115 对黄铁矿浮选的影响很小^[71]。

3.9 抑制剂木质素磺酸钠对白云石抑制

研究者研究了白云石抑制剂木质素磺酸钠对白云石、磷灰石单矿物和人工混合矿浮选行为的影响,试验结果表明,木质素磺酸钠可以有效地抑制白云石,而几乎不影响磷灰石的浮选^[72]。

3.10 抑制剂 BK508C

有人用浮选试验的方法研究了 BK508C 对辉钼矿与方铅矿浮选行为的影响,人工混合矿分离试验分离系数达到 6.32,分离效果高于磷诺克斯,说明 BK508C 可以替代磷诺克斯试剂实现钼铅分离^[73]。

3.11 柠檬酸抑制剂对钕铁矿和石英浮游特性的影响

研究者用柠檬酸为抑制剂对人工混合矿进行浮选分离,可以高效地实现钕铁矿和石英的浮选分离,钕铁矿中 Nb_2O_5 回收率为 76.03%,钕铁矿中 Nb_2O_5 品位为 58.38%^[74]。

3.12 巯基类新型铜钼分离抑制剂 CG4039、CG4006 与 NaHS 组合用药进行铜钼分离

有人针对铜钼混合精矿,采用巯基类新型铜钼分离抑制剂 CG4039、CG4006 与 NaHS 组合用药进行了铜钼分离,小型闭路浮选试验和 MPP 扩大连续浮选试验结果表明,在抑制剂总用量为 20.80 kg/t 的条件下,铜钼分离小型闭路浮选试验可以获得钼品位为 53.24%、钼回收率为 90.86% 的钼精矿;相同条件下利用 MPP 进行铜钼分离扩大连续浮选试验,可获得钼品位 48.92%、钼回收率 87.92% 的钼精矿和铜精矿中钼含量为 0.41% 的选别指标^[75]。

3.13 超声波预处理氧化钙对改善黄铜矿的浮选效果

研究者采用超声预处理的氧化钙为调整剂进行了黄铜矿的浮选试验。试验结果表明,适宜超声功率处理的氧化钙溶液对黄铜矿浮选效率的影响较为明显,500 g/t 的氧化钙经输出功率为 216 W 的超声波处理后,精矿中铜的回收率达到了 83.23%,与未处理时相比,铜的回收率提高了 9.48 百分点^[76]。

3.14 铈离子对萤石和方解石浮选行为的影响

有人研究了油酸钠体系中铈离子对萤石和方解石浮选行为的影响。结果表明,在油酸钠体系中,较低浓度的铈离子在酸性以及中性条件下以 $\text{CeF}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 形式存在于萤石表面,为油酸钠的吸附提供了更多的活性位点,可对萤石产生活化作用;同时也会以 $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 形式存在于方解石表面,虽然也提供了更多的活性位点,但 $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ 的亲水性以及结晶水的空间位阻效应阻碍了油酸钠在方解石表面的吸附,对方解石产生抑制作用。铈离子在碱性条件下多以 $\text{Ce}(\text{OH})_3(\text{s})$ 形式存在于矿浆体系中,消耗了油酸钠,减少了油酸钠在萤石和方解石表面的吸附量,对二者均产生抑制作用^[77]。

3.15 酸性水玻璃作为抑制剂浮选锂云母细泥

研究者针对选矿厂尾泥中 Li_2O 含量为0.20%、含锂矿物为锂云母和铁锂云母原料,其中81.18%的锂云母和89.38%的铁锂云母的粒度小于 $38\text{ }\mu\text{m}$,采用酸性水玻璃作为抑制剂,同时使用新型高效组合捕收剂对该尾泥进行浮选试验,试验结果表明,该尾泥经“沉降脱泥—1次粗选—1次扫选—4次精选—中矿集中处理后返回”的选矿工艺流程,可获得产率为6.03%, Li_2O 含量为1.51%、 Li_2O 回收率为45.58%的精矿产品,实现了该尾泥中微细粒含锂云母的回收^[78]。

3.16 阳离子聚丙烯酰胺(CPAM)作为抑制剂抑制一水硬铝石

研究者以Gemini 12-3-12为捕收剂,阳离子聚丙烯酰胺(CPAM)作为抑制剂,研究了反浮选过程中一水硬铝石与高岭石的分离。浮选试验结果表明,未加CPAM抑制剂时,捕收剂对一水硬铝石和高岭石均表现出较好的捕收性能;在加入CPAM抑制剂后,一水硬铝石的回收率大幅降低,而高岭石的回收率降低较小^[79]。

3.17 膦酸盐乙二胺四亚甲基膦酸钠(EDTMPS)作抑制剂抑制方解石

研究者采用膦酸盐乙二胺四亚甲基膦酸钠(EDTMPS)作抑制剂强化萤石与方解石的浮选分离,研究结果表明,在矿浆pH值为7~9的条件下,EDTMPS可有效抑制方解石的上浮,而对萤石的浮选行为影响较小,人工混合矿浮选试验验证了采用EDTMPS作为抑制剂可实现方解石与萤石的分离^[80]。

3.18 黄原胶与Ca(Ⅱ)配比使用分离磁铁矿与石英

研究者使用黄原胶与Ca(Ⅱ)配比及控制矿浆pH值,可实现赤铁矿和石英矿物颗粒选择性絮凝分离,为赤铁矿选择性絮凝分选提供新的方法^[81]。

3.19 GYSH和GY51作为抑制剂浮选萤石

研究者采用GYSH作为硅矿物抑制剂,适宜用量为3000 g/t;GY51作为碳酸盐矿物抑制剂,适宜用量为150 g/t;GYOZ作为萤石捕收剂,适宜用量为150 g/t。在适宜的药剂制度条件下,全流程闭路试验可获得 CaF_2 品位96.37%、 CaF_2 回收率84.58%、 CaCO_3 含量1.57%的萤石精矿^[82]。

3.20 半乳甘露聚糖在十二胺体系下对镜铁矿的抑制

有人研究了半乳甘露聚糖对十二胺体系下镜铁矿与石英可浮性的影响。单矿物浮选试验结果表明,当pH=10、十二胺浓度为20 mg/L、半乳甘露聚糖浓度为48 mg/L时,石英单矿物回收率较镜铁矿高58.53个百分点,以半乳甘露聚糖为镜铁矿抑制剂可实现镜铁矿与石英的有效分离。混合矿浮选试验获得了铁品位53.17%、铁回收率78.4%的指标^[83]。

3.21 氨基三亚甲基磷酸(ATMP)作闪锌矿抑制剂

有研究者认为可作为一种潜在的闪锌矿抑制剂,有实现闪锌矿和方铅矿浮选分离的潜力^[84]。

3.22 氟硅酸钠抑制石榴石

有人研究抑制剂氟硅酸钠对金红石与石榴石浮选分离的影响,认为浮选过程中氟硅酸钠在石榴石上的吸附强度明显高于金红石,石榴石与氟硅酸钠发生了化学吸附从而起到抑制石榴石的作用^[85]。

3.23 田菁胶抑制镜铁矿

研究者通过单矿物浮选试验表明,田菁胶粉对镜铁矿具有明显的选择抑制效果,在pH=10、抑制剂浓度30 mg/L的条件下,镜铁矿回收率仅为22%,石英仍保持较高可浮性,回收率高达78%,两矿物回收率差异为56个百分点^[86]。

3.24 螯合抑制剂2-膦酸基-1,2,4-三羧酸丁烷(PBTCA)抑制白云石

有人采用螯合抑制剂2-膦酸基-1,2,4-三羧酸丁烷(PBTCA)对菱镁矿和白云石进行单矿物和人工混合矿浮选试验研究,当油酸钠用量为80 mg/L、PBTCA用量为40 mg/L、矿浆pH=9.3时,得到的混合矿浮选精矿 MgO 品位为46.95%、 MgO 回收率为82.21%,菱镁矿与白云石可实现有效分离^[87]。

3.25 N 甲基 9 十七烯酰胺基乙磺酸钠和 N-甲基脂 肪酰胺基乙酸盐抑制铍矿物

有人研究了 N 甲基 9 十七烯酰胺基乙磺酸钠和 N-甲基脂肪酰胺基乙酸盐作清洗剂时矿物表面清洗浮选对铍矿物可浮性及铍分离效果的影响,并对矿物表面清洗浮选的试验条件进行了优化。闭路试验结果表明,在磨矿细度为 -0.074 mm 占 72% 的条件下,清洗浮选可以获得铍精矿 Li_2O 品位为 6.01%、 Li_2O 回收率为 87.60%,铍精矿 BeO 品位 6.57%、 BeO 回收率 62.90% 的良好指标。其中,铍精矿中 BeO 品位为 0.049%、 BeO 回收率为 31.20%,较好地实现了铍分离^[88]。

3.26 石灰+CD-2 作为黄铁矿抑制剂

研究者采用石灰+CD-2(800 g/t+300 g/t)为黄铁矿抑制剂、CD-1+水玻璃(600 g/t+600 g/t)为脉石抑制剂、硫化钠(500 g/t)为硫化剂、硫酸铜(500 g/t)为活化剂、丁基黄药(200 g/t)为捕收剂、松醇油(21 g/t)为起泡剂,经两段粗选、两段扫选、一段精粗选、两段精选、两段精扫选的优化浮选闭路试验流程,获得的混合精矿中铅品位和回收率分别为 16.25% 和 65.05%、锌品位和回收率分别为 27.69% 和 92.49%。与原工艺流程生产指标相比,铅品位和回收率分别提高了 2.24 和 9.36 个百分点、锌品位和回收率分别提高了 1.57 和 5.14 个百分点^[89]。

3.27 次氯酸钙与石灰复配作为硫抑制剂

研究者对铜矿进行了浮选试验研究,试验结果表明,当磨矿细度为 -0.074 mm 占 75.2% 时,采用一粗三精三扫闭路试验流程,选择丁基黄药、Z-200、乙硫氮作为组合捕收剂,次氯酸钙与石灰复配作为调整剂,在原矿铜品位 0.42% 的条件下,获得了铜精矿铜品位 12.15%、回收率 85.05% 的技术指标^[90]。

3.28 卵清蛋白抑制镜铁矿

有人研究了卵清蛋白抑制剂在镜铁矿和石英阳离子反浮选分离过程中的选择性抑制作用。在 $\text{pH}=10$ 、捕收剂十二胺(DDA)浓度为 2 mg/L、卵清蛋白浓度为 60 mg/L 的条件下,镜铁矿与石英回收率差值最大,为 61 个百分点。人工混合矿浮选试验结果表明,在矿浆 $\text{pH}=10$ 、DDA 用量为 20 mg/L、卵清蛋白浓度为 60 mg/L 的条件下,获得了铁品位为 51.23%、铁回收率为 79.66% 的铁精矿^[91]。

3.29 臭氧氧化法抑制铜

研究者用臭氧氧化法对某铜钼混合精矿进行了铜钼分离试验研究。结果表明,在适宜臭氧氧化条

件下,经过一次粗选三次精选闭路试验,可获得钼品位 47.46%、钼回收率 94.96%、铜含量 0.10% 的钼精矿^[92]。

3.30 羧甲基纤维素钠和水玻璃为组合抑制剂抑制 铜镍矿中的镁

研究者对低品位高泥高镁硫化铜镍矿进行了浮选试验研究。以羧甲基纤维素钠和水玻璃为组合抑制剂、以丁基黄药和丁胺黑药为组合捕收剂,采用铜镍混合浮选—铜镍分离工艺流程,闭路试验可获得铜品位 25.11%、铜回收率 79.90%、含氧化镁 2.02% 的铜精矿以及镍品位 6.98%、镍回收率 75.01%、含氧化镁 5.32% 的镍精矿^[93]。

3.31 ZJ-H02 为活化剂活化硫浮选

研究者以 ZJ-H02 为活化剂,当矿浆 pH 值为 4.5 时,对黄铁矿界面活化 1 h 后调整矿浆 pH 值为 6.5,固定异戊基钠黄药用量为 350 g/t,矿浆浓度为 33%,可以获得硫品位为 48.32%、硫回收率为 93.37% 的硫精矿^[94]。

3.32 抑制剂 EMY-515 提高金精矿品位

研究者采用捕收剂 EMB-506、绿色高效抑制剂 EMY-515 及新型起泡剂 EMP-01,并在新药剂体系下开展了浮选提质降杂试验,通过浮选试验在原矿 Au 品位为 2.41 g/t 时,采用新药方,通过一粗二精三扫浮选闭路试验流程,可以获得 Au 品位 33.97 g/t、Au 回收率 87.73% 的金精矿^[95]。

3.33 刺槐豆胶抑制镜铁矿

研究者通过试验认为刺槐豆胶可以作为分离镜铁矿/绿泥石的潜在选择抑制剂^[96]。

3.34 有机抑制剂 HG-1 提高萤石品位

研究者采用有机抑制剂 HG-1 代替酸化水玻璃,在原矿 CaF_2 品位为 17.65% 的条件下,获得 CaF_2 品位 97.26%、 CaF_2 回收率 63.15% 的高品质萤石精矿,实现了该尾矿中萤石资源的综合回收^[97]。

3.35 铝离子与淀粉的作用产物抑制方解石

有人研究了铝离子与淀粉的作用产物;通过单矿物及实际矿石浮选试验,与苛化淀粉对比,揭示了 Al-淀粉的选择性抑制效果;通过 Zeta 电位、X 射线光电子能谱,剖析了 Al-淀粉对微细粒方解石的选择性抑制机理。结果表明, Al^{3+} 最容易与淀粉反式分子支链 O_6 和邻近 O_1 原子反应,生成键长最短的 $\text{O}_1\text{—Al—O}_6$ 结构。苛化淀粉对白钨矿和方解石均产生抑制作用,而 Al-淀粉只对微细粒方解石的浮选产生抑制效果,将钨精矿 WO_3 品位由苛化淀粉的 31.44% 提升至 40.51%,从而实现白钨矿与方解石

的浮选分离^[98]。

3.36 组合抑制剂改性水玻璃+腐植酸钠提高萤石品位

为实现四川某萤石与稀土的混合中矿里稀土氧化物(REO)和萤石有效分离以及综合回收,基于两种矿物的性质差异,采用稀土磁选—萤石浮选的选矿工艺,给矿经过“一次粗选一次精选一次扫选”的磁选流程,可获得 REO 含量为 66.32%、REO 回收率为 80.01%的稀土精矿,稀土磁选尾矿在调整剂碳酸钠用量为 200 g/t、组合抑制剂改性水玻璃+腐植酸钠用量为 300+100 g/t、改性脂肪酸类捕收剂 YK-6 用量为 400 g/t 的条件下,经过一次浮选作业可获得 CaF_2 品位为 98.29%、 CaF_2 回收率为 91.69%的萤石精矿^[99]。

3.37 马来酸-丙烯酸共聚物(PMAA)在浮选分离重晶石与萤石中的作用

有人研究了油酸钠体系下抑制剂马来酸-丙烯酸共聚物(PMAA)在浮选分离重晶石与萤石中的作用与机理。单矿物浮选试验结果表明,油酸钠对重晶石与萤石均具有很好的捕收性能,PMAA 对萤石具有显著的选择性抑制作用;人工混合矿浮选结果证实了油酸钠体系下 PMAA 能实现重晶石与萤石的分离^[100]。

3.38 氧化铜矿活化剂 DX-2

研究者以 2,5-二硫酚-1,3,4-硫代二唑为基础,通过一锅法合成了新型高效氧化铜矿活化剂 DX-2。浮选试验结果表明,针对含铜 1.23%、氧化率为 90.24%的难选氧化铜矿,采用 DX-2 为活化剂、硫化钠为硫化剂,在 pH=8 的条件下,以戊基黄药、烷基羟肟酸钠为捕收剂,松油醇为起泡剂,得到了铜品位为 18.37%、铜回收率为 82.59%的铜精矿,为难处理氧化铜矿的高效浮选提供了新的技术途径^[101]。

4 起泡剂与助磨剂、助滤剂

和去年相比较,起泡剂的研发和使用又有了新报道。为了阅读的方便,笔者把助磨剂和助滤剂也放在本节。

4.1 高速摄像技术研究起泡剂作用下悬浮液中气泡上升时的行为特性

研究者利用高速摄像技术研究了起泡剂作用下悬浮液中气泡上升时的行为特性。观察到了在起泡剂作用下气泡脱离管口后 0~100 ms 内气泡上升形态与尺寸的演变过程。对比分析了正戊醇、聚乙二醇 200 和甲基异丁基甲醇三种起泡剂对固液悬浮液

中气泡上升特性的影响规律差异。揭示了不同正戊醇浓度对悬浮液中气泡形态、尺寸、运动速度和上升轨迹的影响规律。研究结果表明,三种起泡剂相比之下,正戊醇抑制气泡形变、减小气泡尺寸、降低气泡垂直速度、抑制气泡水平运动、规范气泡上升轨迹的能力强于其他两种起泡剂。随着正戊醇浓度的增大,对气泡上升时的形变、尺寸、垂直速度、水平运动、上升轨迹的作用增强,但效果逐渐不明显,在同一正戊醇浓度作用下增加颗粒浓度以及减小颗粒粒度会使气泡上升时的形态趋于球形或椭球形,气泡尺寸增大^[102]。

4.2 起泡剂酯-22

研究者采用“优先选出部分高品质钼精矿—钼铅混浮—混合粗精矿再磨后精选—钼铅分离”工艺及对钼铅矿物捕收能力强的捕收起泡剂酯-22,分别获得钼品位为 49.82%的高品质钼精矿 1 和钼品位为 45.65%的钼精矿 2,两钼精矿钼总回收率为 90.91%,所得铅精矿铅品位为 46.08%、铅回收率为 82.58%,与“全混浮再分离”工艺相比,不仅钼精矿和铅精矿产品互含低,且能获得钼品位为 49.82%的高品质钼精矿^[103]。

4.3 三聚磷酸钠助磨磁铁矿

有人以微细粒嵌布磁铁矿石为研究对象,采用三聚磷酸钠为助磨剂进行二段磨矿助磨剂条件试验,结果表明,在试验给定的相同磨矿条件下,加入 1 kg/t 三聚磷酸钠可使磨矿产品中 $-30\ \mu\text{m}$ 含量提高 12.65 个百分点, $-30\ \mu\text{m}$ 粒级比生产率和磨矿效率分别提高了 36.36%和 34.54%,同时磨矿产品中磁铁矿的解离度提高了 5.81 个百分点,磁选精矿的品位提高了 2.55 个百分点。三聚磷酸钠通过降低矿浆的黏度、改变矿粒表面的吸附特性、减少矿粒表面吸附的微细矿粒、增加矿粒表面的微细裂隙等方式促进磁铁矿颗粒的粉碎,提高了磨矿效率^[104]。

4.4 石英矿的 6 种助磨剂

研究者以石英为磨机给料,通过添加 6 种助磨剂(无机类助磨剂焦磷酸钠、硫酸铝以及三聚磷酸钠;有机类助磨剂丙三醇、柠檬酸以及乙基黄原酸钾)进行湿式磨矿试验,建立了助磨剂添加前后石英粉磨的 m 阶磨矿动力学模型,系统分析了助磨剂对模型参数和磨矿速率的影响。研究表明,经过磨矿时间 10 min 后,用量 0.5%的三聚磷酸钠使得磨矿产品中 $-0.074\ \text{mm}$ 参数 k 和 m 的值,整体磨矿效果取决于 k 和 m 的综合效应;三聚磷酸钠作用下, $-1+0.45\ \text{mm}$ 粒级石英磨矿速率的增量最大,柠檬

酸作用下, -0.45 ± 0.18 mm 粒级石英磨矿速率的增量最大^[105]。

4.5 CYG-1 助滤剂

有人采用添加助滤剂的方法进行了脱水试验研究。结果表明, 助滤剂 CYG-1 能提高过滤效果, 与不添加助滤剂相比, 当 CYG-1 用量为 500 g/t 时, 铁精矿滤饼水分下降了 2.31 个百分点^[106]。

4.6 液态聚醚助滤剂

有人针对铁精矿滤饼颗粒微细、孔道狭窄、过滤脱水困难这类问题, 采用 5 种不同类型的助滤剂, 对铁精矿进行助滤脱水试验。结果表明, 液态聚醚的助滤效果优于其余助滤剂, 在铁精矿中添加 150 g/t (按干物料计) 液态聚醚, 滤饼水分从 14.74% 降至 10.2%, 过滤速度提高 1.3 倍。为进一步优化过滤性能, 对液态聚醚进行复配试验。结果表明, 液态聚醚与丙二醇配合使用时(液态聚醚: 丙二醇质量比 7: 3), 助滤效果最佳, 当药剂投加量为 150 g/t 时, 滤饼水分降至 8.35%, 过滤速度提高 1.5 倍^[107]。

4.7 絮凝剂 AX868

有人对铅锌矿选铅尾矿开展絮凝沉降实验室试验研究, 并将筛选的絮凝剂以药剂添加的方式给入浮选系统进行铅锌硫浮选评价试验。结果表明, 阴离子型 PAM 絮凝剂 AX868 沉降效果较好, 添加絮凝剂后的浮选体系所得浮选指标与使用清水所得浮选指标相当, AX868 用量 20 g/t 即可满足工业生产中直径 36 m 浓密机沉降要求^[108]。

4.8 陶瓷过滤机的清洗剂 FD-602

研究者在铜精矿陶瓷过滤机上开展了清洗剂 FD-602 与硝酸清洗滤板的对比试验。结果表明, FD-602 清洗陶瓷滤板后滤板表面干净、过滤时滤饼吸附均匀; FD-602 和硝酸清洗陶瓷过滤机时, 滤饼平均产量分别为 6.63 t/h 和 5.85 t/h, 滤饼平均水分分别为 11.21% 和 11.58%, 清洗剂单耗分别为 0.16 kg/t_{滤饼} 和 1.78 kg/t_{滤饼}, 清洗剂成本分别为 6.4 元/t_{滤饼} 和 5.696 元/t_{滤饼}。FD-602 作清洗剂的清洗水与生活水按 1: 5 配制的回用水用于浮选, 对浮选指标无明显影响^[109]。

4.9 羟丙甲基纤维素、羧甲基纤维素、3-氯-2-羟丙基三甲基氯化铵纤维素醚三种泡沫调整剂

研究者以甲基异丁基甲醇(MIBC)为起泡剂, 研究羟丙甲基纤维素(HPMC)、羧甲基纤维素(CMC)和 3-氯-2-羟丙基三甲基氯化铵纤维素醚三种泡沫调整剂对起泡剂 MIBC 泡沫的稳定性、表面张力、气泡尺寸和数量等特性的影响。结果表明, 随着泡沫调

整剂浓度的增加, 表面张力降低, 泡沫稳定性增强, HPMC 对泡沫稳定性的增强效果最好。通过自建图像法测量系统、采用 Image-Pro-Plus 软件测定、分析气泡数量和尺寸, 试验结果显示, 泡沫调整剂的加入减少了气泡的数量、减小了泡沫尺寸、增大颗粒与气泡的碰撞概率。透射电镜表明, 在纤维状纤维素醚分子链上吸附了 MIBC 颗粒。黄铁矿纯矿物的浮选试验结果表明, 泡沫调整剂的加入提高了黄铁矿纯矿物的回收率^[110]。

5 浮选药剂的结构与性能

2023 年我国在浮选药剂的结构与性能这一领域的研究继续保持世界领先地位, 特别是密度泛函理论(DFT)计算的使用越来越多。

5.1 采用密度泛函理论(DFT)计算, 研究了磷酸根离子/油酸根离子在白云石表面缺陷处的吸附

有人采用密度泛函理论(DFT)计算, 研究了磷酸根离子/油酸根离子在白云石(104)表面 CO_3^{2-} 缺陷处的吸附。结果表明, 白云石溶解产生 CO_3^{2-} 缺陷导致表面金属原子活性增强, 有利于阴离子与矿物表面相互作用。 H_2PO_4^- 在理想白云石表面、缺陷白云石表面与钙原子的吸附能分别为 -183.30、-561.24 kJ/mol。态密度计算结果表明, H_2PO_4^- 与缺陷白云石表面钙原子吸附后, 相邻镁原子仍具有较强活性, 油酸根离子在理想白云石表面、缺陷白云石表面与镁原子的吸附能分别为 -52.29、-489.43 kJ/mol。磷酸和油酸离子可以共同吸附在白云石表面, 导致白云石上浮^[111]。

5.2 强碱硫抑制剂化学假说

研究者基于“化学反应假说”和“电化学反应假说”介绍含硫矿物的上浮机理, 总结含硫矿物的一般浮选行为; 然后基于“电化学反应假说”, 含硫化物通过在含硫矿物表面, 取代阳极上的双黄药氧化生产反应, 达到抑硫效果; 最后分别总结了硫化物、硫氧化物和含硫低聚物的抑硫机理和行为。基于以上研究现状, 总结含硫化物作为低碱硫抑制剂的优劣势, 指出应完善多硫化物对不同氧化程度、不同晶体结构含硫矿物的抑制行为和机理研究, 开发新型含硫化物结构、进行组合抑制剂研究, 强化多硫化物的抑硫效果^[112]。

5.3 苯甲羟肟酸(BHA)浮选体系中锌组分活化钙石表面的机理

有人利用 Material Studio 软件中 CASTEP 模块探明了在苯甲羟肟酸(BHA)浮选体系中锌组分活

化锡石表面的机理。计算结果表明,锡石(110)面上O(顶位)原子活性较强,可作为药剂吸附位点。以 $\text{Zn}(\text{OH})^+$ 为代表的锌组分均可在锡石(110)面上以不同形式与O(顶位)原子位点间发生吸附作用,形成 $\text{Zn}-\text{O}$ 键;且在双桥形式吸附中,生成的 $\text{Zn}-\text{O}$ 键稳定性更好。在BHA浮选锡石体系中,BHA以双键O原子与锡石(110)面的Sn直接吸附,未形成螯合吸附,吸附稳定性差;然而,加入 $\text{Zn}(\text{OH})^+$ 对锡石(110)面作用后,BHA分子中双键O原子和 $-\text{OH}$ 基团与Zn原子作用形成稳定的五元环螯合结构,提高了BHA在锡石(110)面的吸附能力和稳定性^[113]。

6 选矿废水处理

选矿厂废水处理和药剂继续受到选矿药剂研究者广泛的重视,2023年仍旧是重要的研究方向。

6.1 废水石灰混凝—Fenton氧化的PAM絮凝试验处理废水

研究者对选厂废水排放SS、COD超标等问题,进行了选矿废水水质分析、废水石灰混凝—Fenton氧化—PAM絮凝试验研究。得到了选矿废水在石灰脱稳沉降后,SS的去除率高达98%以上;在反应初始 $\text{pH}=3$ 、 H_2O_2 用量1 000 mg/L、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 用量1 000 mg/L,搅拌60 min,COD去除率可高达86.98%;在 $\text{pH}=7.5\sim 8.5$ 、2 mg/L PAM的用量可加速氧化产物颗粒絮凝沉降的结果^[114]。

6.2 絮凝沉降—化学除钙法进行废水处理

研究者针对某钨多金属矿选矿废水中固体悬浮物(SS)和 Ca^{2+} 含量较高的情况,采用絮凝沉降—化学除钙法进行废水处理,考察了絮凝剂用量、搅拌时间、搅拌速度、反应温度及反应pH值等因素对絮凝—沉淀效果的影响,优化了废水絮凝沉降—化学除钙法处理工艺。将处理水回用于萤石浮选,闭路试验结果表明,处理水浮选指标与清水指标相当,表明絮凝—沉淀工艺处理后的废水可用于萤石浮选生产^[115]。

6.3 射流曝气耦合臭氧/过氧化氢协同氧化工艺处理选矿废水

研究者针对臭氧氧化工艺处理选矿废水在高污染物负荷条件下氧化性能不足及曝气设备易于结垢堵塞的问题,采用射流曝气耦合臭氧/过氧化氢协同氧化工艺处理选矿废水,考察了澄清预处理、水力停留时间、臭氧和过氧化氢投加量等工艺条件对处理

效果的影响,并分析了不同污染物负荷条件下耦合工艺药剂投加量及直接运行成本。结果表明,射流曝气耦合臭氧/过氧化氢协同氧化工艺处理选矿废水效果良好,抗冲击能力强,原水需经沉淀预处理再氧化,可根据原水水质变化灵活调整氧化药剂的投加量,将废水处理至不影响回用程度的工艺条件为:臭氧投加量110~240 g/m³、过氧化氢投加量为2~4 L/m³,水力停留时间约30 min。不同污染物负荷条件下处理成本为3.0~8.8元/吨水^[116]。

6.4 天然黄铜矿(CuFeS_2)作为催化剂活化过硫酸盐(PS)处理丁基黄药废水

研究者以天然黄铜矿(CuFeS_2)作为催化剂活化过硫酸盐(PS)处理丁基黄药废水,考察了 CuFeS_2 用量、PS用量和溶液初始pH值对 CuFeS_2 /PS体系中丁基黄药去除率的影响,并对 CuFeS_2 可重复利用性进行了评价。结果表明, CuFeS_2 对PS有显著的活化作用,在 CuFeS_2 用量4 g/L、PS用量5 mmol/L、溶液初始 $\text{pH}=3$ 条件下反应10 min,丁基黄药去除率达99.23%,TOC去除率仅31.29%;继续增加反应时间至60 min,TOC去除率达到68.31%,且 CuFeS_2 重复利用5次后仍有较好的催化活性。丁基黄药废水降解过程的紫外-可见吸收光谱研究结果表明,丁基黄药首先被氧化为醇类有机物,后被分解矿化为二氧化碳和水。XRD和FTIR分析结果表明, CuFeS_2 与PS反应后表面没有发生钝化,可重复利用。自由基猝灭试验和电子自旋共振分析(ESR)结果表明,黄药的去除机理包括自由基的化学降解作用和 CuFeS_2 的物理吸附作用,其中,硫酸根自由基($\text{SO}_4^{\cdot-}$)和羟基自由基($\text{HO}^{\cdot}$)是促使黄药降解的主要活性物质,且 $\text{SO}_4^{\cdot-}$ 起主导作用^[117]。

6.5 工业回水调浆浮选硫

研究者在工业回水调浆条件下,对矿浆流体性质进行调控,提高矿浆分散性,并采用适应性较强的丁胺黑药和煤油组合捕收剂代替原有黄药体系。在优化的条件下,获得了硫精矿S品位79.52%、S回收率91.06%,尾矿Ag品位446.4 g/t、Ag回收率82.63%。相比生产指标,硫精矿S品位和回收率分别提升了9.40和22.10个百分点,Ag的回收率提升了35.88个百分点。研究结果未改变利用工业回水的现状^[118]。

6.6 新药剂降低尾矿水COD

研究者为解决钨捕收剂生产过程中产生高COD废水的问题,研制了新型环保钨捕收剂,并进行了工业试验。工业试验获得钨精矿含 WO_3

40.10%, WO_3 实际回收率为71.73%, WO_3 回收率比2016、2017年的钨全年累计生产指标平均提高3.41个百分点;工业试验尾水COD 28.39 mg/L,比2016、2017年GY作捕收剂的平均COD下降14.53%^[119]。

7 结论

1)硫化矿浮选药剂的研究重点是铜铅锌矿捕收剂,这与2023年铜铅锌价居高有联系。由于钼捕收剂中性油的使用受到特殊要求,硫化钼的捕收剂也开始受到重视。混合用药经久不衰。

2)氧化矿捕收剂复配与改性,特别对具体实际矿山选厂药剂的复配日趋成熟,浑浊红球菌为微生物作锡石捕收剂浮选锡石为氧化矿浮选药剂的使用开拓了新思维。虽然碳酸锂价格下挫,但锂矿浮选捕收剂的研究报道依旧很多。煤浮选捕收剂的研究受到极大关注,对煤的品质提高将起到积极的推动作用。地沟油作为氧化矿捕收剂,其使用继续受到研究者的深入考察。微细粒滑石作为“矿物捕收剂”直接浮选孔雀石的报道值得进行实践。

3)东北大学研发了大量的小分子有机物和无机盐并将其作为浮选调整剂在实验室使用,这给选矿厂提高指标提供了新途径。调整剂的混合使用对复杂矿石分选越来越成熟。

4)酯类起泡剂的研发对提高有色金属产品品质有明显作用。

5)“化学反应假说”和“电化学反应假说”介绍含硫矿物的上浮机理对寻找合适的浮选药剂有帮助。

6)选矿厂废水处理和提高回水利用率是选厂废水处理研究的重要工作,依旧是是矿山生产建设的重要课题,期待着越来越多低成本的处理方法付诸工业化实施。

参考文献

- [1] 张琦,姜效军,崔波,等.环双醚硫代氨基甲酸酯和重芳烃协同浮选硫化铜矿[J].有色金属(选矿部分),2023(1):146-151.
ZHANG Qi,JIANG Xiaojun,CUI Bo,et al. Synergistic separation of copper sulfide ore with cyclic diether carbamate and heavy aromatic hydrocarbons [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(1):146-151.
- [2] 朱国庆,吴磊,杜淑华,等.某难选次生富集带含铜硫铁矿综合回收试验研究[J].金属矿山,2023,52(1):188-193.
ZHU Guoqing, WU Lei, DU Shuhua, et al. Experimental study on comprehensive recovery of copper-bearing pyrite in a refractory secondary enrichment zone[J]. Metal Mine,2023,52(1):188-193.
- [3] 王朝,杨延宙,谢兰馨,等.提高铜锌铁矿石中伴生金银指标的试验研究[J].金属矿山,2023,52(1):194-198.
WANG Zhao, YANG Yanzhou, XIE Lanxin, et al. Experimental study on improving the associated gold and silver index in copper-zinc-iron ore[J]. Metal Mine, 2023,52(1):194-198.
- [4] 王森,王志远,宛鹤,等.水包油型乳化柴油制备及其对辉钼矿浮选的强化[J].金属矿山,2023,52(1):204-209.
WANG Sen, WANG Zhiyuan, WAN He, et al. Preparation of oil-in-water emulsified diesel oil and its enhancement in molybdenite flotation[J]. Metal Mine, 2023,52(1):204-209.
- [5] 丁林芳,刘有才,符剑刚,等.俄罗斯某高硫锑金混合精矿降硫提质试验研究[J].矿冶工程,2023,43(1):77-79.
DING Linfang, LIU Youcai, FU Jiangang, et al. Sulfur reduction and upgrading of high-sulfur antimony-gold bulk concentrate from Russia [J]. Mining and Metallurgical Engineering,2023,43(1):77-79.
- [6] 冯泽平,李国利,杨紫洋,等.某含金铜硫矿浮选分离试验研究[J].矿产保护与利用,2023,43(1):112-119.
FENG Zeping, LI Guoli, YANG Ziyang, et al. Experimental study on flotation separation of a gold-bearing copper-sulfur ore [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources,2023,43(1):112-119.
- [7] 张琳,张晶,简胜,等.新型捕收剂KMC-1浮选分离某铜钼矿试验研究[J].矿产保护与利用,2023,43(1):120-127.
ZHANG Lin, ZHANG Jing, JIAN Sheng, et al. Experimental study on flotation separation of a copper-molybdenum ore with a new collector KMC-1 [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023,43(1):120-127.
- [8] 霸慧文,熊馨,陈攀.采用新型捕收剂提高铜镍回收率试验研究[J].黄金,2023,44(3):38-42.
BA Huiwen, XIONG Xin, CHEN Pan. Experimental research on a new collector to improve the recovery rate of copper and nickel[J]. Gold,2023,44(3):38-42.
- [9] 唐鑫,简胜,张晶,等.某含钼高硫细粒嵌布矽卡岩型铜矿选矿试验研究[J].有色金属(选矿部分),2023(3):49-57.
TANG Xin, JIAN Sheng, ZHANG Jing, et al. Experimental study on beneficiation of a high sulfur molybdenum-bearing fine grained disseminated skarn copper ore[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section),2023(3):49-57.

- [10] 张作金,周振华,吴天来,等.河北某钒钛磁铁矿尾矿中回收铜试验研究[J].矿产综合利用,2023(3):27-30,37.
ZHANG Zuojin, ZHOU Zhenhua, WU Tianlai, et al. Study on copper recovery from tailings of a vanadium titanomagnetite in Hebei[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2023(3): 27-30, 37.
- [11] 文堪,李耀山,周华荣,等.微细粒级炼铅贵冶废炉砖中金银综合回收试验研究[J].有色金属(选矿部分),2023(5):67-72.
WEN Kan, LI Yaoshan, ZHOU Huarong, et al. Experimental study on comprehensive recovery of gold and silver from fine particles waste furnace bricks of lead smelting [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(5): 67-72.
- [12] 张发军,许永伟,周华荣,等.提高锡铁山铅锌矿伴生金银回收率的试验研究及生产实践[J].有色金属(选矿部分),2023(5):100-105.
ZHANG Fajun, XU Yongwei, ZHOU Huarong, et al. Experimental study and production practice on improving recovery of associated gold and silver in Xitieshan lead-zinc mine [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(5): 100-105.
- [13] 李利涛,邓久帅.厄瓜多尔 Mirado 铜矿在弱碱性矿浆中选铜的浮选试验研究[J].有色金属(选矿部分),2023(5):106-112.
LI Litao, DENG Jiushuai. Experimental study on flotation of Mirado copper mine in Ecuador in weak alkaline slurry [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(5): 106-112.
- [14] 赵杰,赵志强,罗思岗,等.某低品位铜铅锌硫化矿浮选分离试验研究[J].矿冶,2023,32(4):40-45,63.
ZHAO Jie, ZHAO Zhiqiang, LUO Sigang, et al. Experimental study on flotation separation of a low-grade copper-lead-zinc sulfide ore [J]. Mining and Metallurgy, 2023, 32(4): 40-45, 63.
- [15] 黄小平,杨惠芳,曹小玉,等.酰基硫氨酯对黄铜矿和黄铁矿的吸附机理[J].中国有色金属学报,2023,33(6):2004-2014.
HUANG Xiaoping, YANG Huifang, CAO Xiaoyu, et al. Adsorption mechanism of acylthiocarbamate on chalcopyrite and pyrite [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2023, 33(6): 2004-2014.
- [16] 鲁新州,林东建,曲思思,等.某铅锌银多金属矿浮选试验研究[J].黄金,2023,44(8):58-62.
LU Xinzhou, LIN Dongjian, QU Sisi, et al. Experimental study on flotation of a lead-zinc-silver polymetallic ore[J]. Gold, 2023, 44(8): 58-62.
- [17] 吴承优.某复杂难选多金属硫化矿铜铅浮选分离试验研究[J].矿冶工程,2023,43(4):73-77.
WU Chengyou. Experimental study on copper-lead flotation separation of refractory polymetallic sulfide ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023, 43(4): 73-77.
- [18] 余玮,叶岳华,王立刚.某低品位铜矿短流程优化工艺技术及工业试验[J].有色金属(选矿部分),2023(6):197-204.
YU Wei, YE Yuehua, WANG Ligang. Short-flowsheet optimization technology and industrial test of a low grade copper mine [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(6): 197-204.
- [19] 魏宗武,杨谦,黄涛,等.某低品位难选铜铅锌硫化矿浮选分离试验研究[J].矿冶工程,2023,43(5):58-61.
WEI Zongwu, YANG Qian, HUANG Tao, et al. Flotation of low-grade refractory copper-lead-zinc sulfide ore for mineral separation [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023, 43(5): 58-61.
- [20] 付广钦,周晓彤,尚兴科,等.某高硫铜硫矿石低碱度浮选试验研究[J].金属矿山,2023,52(12):132-137.
FU Guangqin, ZHOU Xiaotong, SHANG Xingke, et al. Experimental study on low basicity flotation of a high-sulfur copper-sulfur ore[J]. Metal Mine, 2023, 52(12): 132-137.
- [21] 李少平,李白英,何桂春,等.某极低品位含铷矿石选矿试验研究[J].有色金属(选矿部分),2023(1):35-40.
LI Shaoping, LI Baiying, HE Guichun, et al. Experimental study on beneficiation of a very low-grade rubidium-bearing ore [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(1): 35-40.
- [22] 陈红兵,郑其方,刘殿文,等.云锡某矽卡岩白钨矿新工艺试验研究[J].矿冶,2023,32(1):32-37.
CHEN Hongbing, ZHENG Qifang, LIU Dianwen, et al. Experimental study on a new process of skarn scheelite ore in Yunnan[J]. Mining and Metallurgy, 2023, 32(1): 32-37.
- [23] 石婷,刘安,樊民强.煤油辅助十二胺浮选尖山铁矿试验[J].矿产综合利用,2023(1):162-167,176.
SHI Ting, LIU An, FAN Minqiang. Experimental study on flotation of Jianshan Iron using DDA assisted with kerosene [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2023(1): 162-167, 176.
- [24] 隋文浩,刘传彝,李慧焕,等.由地沟油制备羧酸捕收剂强化低阶煤浮选的研究[J].矿产综合利用,2023(1):185-190.
SUI Wenhao, LIU Chuanben, LI Huihuan, et al. Study on low rank coal flotation enhancement by carboxylic acid collector prepared from gutter oil[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2023(1): 185-190.

- [25] 黄健,彭伟,李武斌,等. 新型捕收剂浮选石英型低品位萤石矿试验研究[J]. 金属矿山,2023,52(1):223-225.
HUANG Jian, PENG Wei, LI Wubin, et al. Experimental study on flotation of quartz-type low-grade fluorite ore with a novel collector [J]. Metal Mine,2023,52(1):223-225.
- [26] 蓝丽红,马忻狄,郑锡瀚,等. 浑浊红球菌对锡石的浮选性能及作用机理[J]. 矿冶工程,2023,43(1):67-71.
LAN Lihong, MA Xindi, ZHENG Xihan, et al. Flotation performance and separation mechanism of cassiterite with *rhodococcus opacus* [J]. Mining and Metallurgical Engineering,2023,43(1):67-71.
- [27] 陆泽通,李洪强,刘丹章,等. 联结基团长度对双酯 Gemini 季铵盐的捕收性能影响[J]. 金属矿山,2023,52(4):73-78.
LU Zetong, LI Hongqiang, LIU Danzhang, et al. The effect of the length of the linking group on the collecting property of the quaternary ammonium salt of double ester Gemini [J]. Metal Mine, 2023, 52 (4): 73-78.
- [28] 蔡立政,印万忠. 超声处理改善赤铁矿浮选体系中菱铁矿交互影响的研究[J]. 金属矿山,2023,52(4):86-91.
CAI Lizheng, YIN Wanzhong. Study on improving siderite interaction in hematite flotation system by ultrasonic treatment [J]. Metal Mine, 2023, 52 (4): 86-91.
- [29] 杨晓峰,马玉宁,陈宇,等. 组合捕收剂 DYN-3 在铁矿石浮选脱硅中的性能研究[J]. 金属矿山,2023,52(4):103-109.
YANG Xiaofeng, MA Yuning, CHEN Yu, et al. Study on performance of combined collector DYN-3 in desilication of iron ore flotation[J]. Metal Mine,2023,52(4):103-109.
- [30] 马英强,李诗澜,宋振国,等. 异戊基黄药与水杨羟肟酸对硅孔雀石硫化浮选行为的影响[J]. 金属矿山,2023,52(4):117-123.
MA Yingqiang, LI Shilan, SONG Zhenguo, et al. Effect of isoamyl xanthate and salicylic hydroxamic acid on sulfidation flotation of malachite[J]. Metal Mine,2023,52(4):117-123.
- [31] 谷晓恬,朱一民,刘杰,等. 新型低温捕收剂 DGT-P 对齐大山铁矿石的反浮选应用研究[J]. 矿产综合利用,2023(2):1-6.
GU Xiaotian, ZHU Yimin, LIU Jie, et al. Application of a new low-temperature collector DGT-P in reverse flotation of Qidashan iron ore [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2023(2):1-6.
- [32] 王晖,李志红,樊民强,等. 羧酸对低阶煤泥浮选的促进作用研究[J]. 矿产综合利用,2023(2):45-51.
WANG Hui, LI Zhihong, FAN Minqiang, et al. Study on promoting effect of carboxylic acid on flotation of low-rank coal [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2023(2):45-51.
- [33] 李凤久,孔亚然,贾清梅. 某萤石矿选矿试验研究[J]. 矿产综合利用,2023(2):81-86,124.
LI Fengjiu, KONG Yaran, JIA Qingmei. Experimental study on beneficiation of a fluorite ore [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2023(2):81-86,124.
- [34] 白阳,崔万顺,文伟翔,等. 阴阳离子组合捕收剂在锂云母浮选气液界面的协同作用机理[J]. 矿产保护与利用,2023,43(1):44-49.
BAI Yang, CUI Wanshun, WEN Weixiang, et al. Synergistic effect mechanism of anion-cation combination collector on gas-liquid interface of lithium mica flotation [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources,2023,43(1):44-49.
- [35] 李俊旺,张云海,呼振峰. 四川磷石膏浮选脱硅试验研究[J]. 矿产综合利用,2023(3):139-142.
LI Junwang, ZHANG Yunhai, HU Zhenfeng. Desilication research of sichuan phosphogypsum by flotation [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2023(3):139-142.
- [36] 陈嘉亮,朱文耀,常梦洁,等. 煤油/油酸甲酯复配捕收剂浮选南梁煤矿煤泥的试验研究[J]. 矿产保护与利用,2023,43(2):20-26.
CHEN Jialiang, ZHU Wen Yao, CHANG Mengjie, et al. Experimental study on flotation of coal slime in Liang dynasty coal mine with kerosene-methyl oleate complex collector [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources,2023,43(2):20-26.
- [37] 汪国辉,刘文刚,李维超. 改性废机油常温浮选磷灰石矿的试验研究[J]. 矿产保护与利用,2023,43(2):40-45.
WANG Guohui, LIU Wengang, LI Weichao. Experimental study on normal temperature flotation of apatite ore with modified waste oil [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources,2023,43(2):40-45.
- [38] 陈英铭,马鹏举,柴文翠,等. 烷基硫酸盐捕收剂对菱镁矿和白云石的浮选性能研究[J]. 矿产保护与利用,2023,43(2):53-59.
CHEN Yingming, MA Pengju, CHAI Wencui, et al. The flotation performance of magnesite and dolomite with alkyl sulfate collector was studied [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources,2023,43(2):53-59.
- [39] 李晓慧,任子杰,高惠民,等. 甘肃某石英岩矿选矿提纯试验研究[J]. 矿产保护与利用,2023,43(2):93-98.
LI Xiaohui, REN Zijie, GAO Huimin, et al. Experimental study on beneficiation and purification of a quartzite ore in Gansu province [J]. Conservation and

- Utilization of Mineral Resources, 2023, 43(2): 93-98.
- [40] 孙宁, 李爱民, 孙伟, 等. 从某钨重选尾矿中浮选分离石英和长石的试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(2): 112-116.
- SUN Ning, LI Aimin, SUN Wei, et al. Experimental study on flotation separation of quartz and feldspar from a tungsten heavy concentration tailings [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023, 43(2): 112-116.
- [41] 何东升, 陈飞, 李智力, 等. 季铵盐碳链长度对石英和胶磷矿浮选分离影响[J]. 非金属矿, 2023, 46(1): 61-64.
- HE Dongsheng, CHEN Fei, LI Zhili, et al. Effect of carbon chain length of quaternary ammonium salt on flotation separation of quartz and colloidal phosphate rock[J]. Non-Metallic Mines, 2023, 46(1): 61-64.
- [42] 董振海, 智慧, 满晓霏, 等. 新型低温捕收剂反浮选齐大山选厂混磁精矿工艺研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(2): 52-56.
- DONG Zhenhai, ZHI Hui, MAN Xiaofei, et al. Study on reverse flotation of mixed magnetite concentrate with a new type of low temperature collector[J]. Mining and Metallurgy Engineering, 2023, 43(2): 52-56.
- [43] 梁群, 徐伟, 田言, 等. 正浮选捕收剂 SGC-01 的浮选性能及其吸附行为研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(2): 57-60, 65.
- LIANG Qun, XU Wei, TIAN Yan, et al. Study on flotation performance and adsorption behavior of positive flotation collector SGC-01 [J]. Mining and Metallurgy Engineering, 2023, 43(2): 57-60, 65.
- [44] 钟志刚, 李宗蔚, 罗良飞, 等. 新疆白云母花岗伟晶岩矿综合回收工艺研究[J]. 非金属矿, 2023, 46(3): 67-69.
- ZHONG Zhigang, LI Zongwei, LUO Liangfei, et al. Research on comprehensive recovery process of muscovite granite pegmatite ore in Xinjiang[J]. Non-Metallic Mines, 2023, 46(3): 67-69.
- [45] 马爱鹏, 普久然, 石丽芬. 某重选尾矿细粒锡石浮选试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(4): 163-168.
- MA Aipeng, PU Jiuran, SHI Lifan. Experimental study on flotation of fine cassiterite from gravity tailings[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(4): 163-168.
- [46] 邓星星, 殷志刚. 非洲某含透锂长石伟晶岩锂辉石矿综合回收锂的选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(5): 87-92.
- DENG Xingxing, YIN Zhigang. Beneficiation experimental study on comprehensive recovery of lithium from a pegmatite spodumene ore containing petalite in Africa [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(5): 87-92.
- [47] 印万忠, 龙恺云, 张西山, 等. 矿物捕收剂滑石对孔雀石的捕收作用及其机理[J]. 金属矿山, 2023, 52(8): 50-57.
- YIN Wanzhong, LONG Kaiyun, ZHANG Xishan, et al. The effect of mineral collector talc on malachite and its mechanism[J]. Metal Mine, 2023, 52(8): 50-57.
- [48] 郭颖, 刘文宝, 刘文刚, 等. 月桂酰胺丙基甜菜碱对赤铁矿反浮选性能及机理研究[J]. 金属矿山, 2023, 52(8): 74-79.
- GUO Ying, LIU Wenbao, LIU Wengang, et al. Study on reverse flotation performance and mechanism of lauramide propyl betaine on hematite[J]. Metal Mine, 2023, 52(8): 74-79.
- [49] 曹阳, 刘殿文. 白云鄂博西矿工艺矿物学及稀土、萤石浮选试验研究[J]. 矿冶, 2023, 32(4): 55-63.
- CAO Yang, LIU Dianwen. Study on technological mineralogy and flotation of rare earth and fluorite in Baiyueboxi Mine [J]. Mining and Metallurgy, 2023, 32(4): 55-63.
- [50] 周政, 熊文良, 张丽军, 等. 四川某低品位稀土尾矿回收稀土试验研究[J]. 矿产综合利用, 2023(4): 66-70.
- ZHOU Zheng, XIONG Wenliang, ZHANG Lijun, et al. Experimental study on the recovery of rare earth from a low grade rare earth tailings in Sichuan [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2023(4): 66-70.
- [51] 梅亚军, 李潇雨, 李成秀, 等. 四川可尔因选锂尾矿锂辉石再选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2023(4): 83-87, 94.
- MEI Yajun, LI Xiaoyu, LI Chengxiu, et al. Re-election of spodumene from lithium processing tailings in Keeryin, Sichuan [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2023(4): 83-87, 94.
- [52] 程仁举, 李成秀, 刘星, 等. 新疆某伟晶岩型锂辉石矿浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2023(4): 88-94.
- CHENG Renju, LI Chengxiu, LIU Xing, et al. Flotation of a pegmatite type spodumene ore in Xinjiang [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2023(4): 88-94.
- [53] 邓伟, 徐妍博. 川西九龙地区低品位铍矿选矿试验[J]. 矿产综合利用, 2023(4): 103-113.
- DENG Wei, XU Yanbo. Mineral processing of low grade beryllium ores in the Jiulong area of Western Sichuan [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2023(4): 103-113.
- [54] 刘文宝, 甘琦强, 刘文刚, 等. 新型组合捕收剂对锂云母、钠长石和石英的浮选性能研究[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(3): 34-42.
- LIU Wenbao, GAN Qiqiang, LIU Wengang, et al. Study

- on flotation performance of new combined collector for lithium mica, albite and quartz[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023, 43(3): 34-42.
- [55] 张立刚, 缪亚兵, 张茂, 等. 某微细粒难选含碳重晶石矿选矿技术研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(4): 65-68.
ZHANG Ligang, MIAO Yabing, ZHANG Mao, et al. Beneficiation technology for microfine refractory carbon-containing barite ore [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023, 43(4): 65-68.
- [56] 李振, 刘洋, 朱张磊. 复配捕收剂强化煤气化细渣浮选试验研究[J]. 金属矿山, 2023, 52(10): 111-118.
LI Zhen, LIU Yang, ZHU Zhanlei. Experimental study on flotation of coal gasification fine slag enhanced by compound collector [J]. Metal Mine, 2023, 52(10): 111-118.
- [57] 李晓波, 许浩, 王航, 等. 江西某钽铌尾矿中锂云母的浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2023(5): 36-40.
LI Xiaobo, XU Hao, WANG Hang, et al. Flotation research on recovery of lithionite from Ta-Nb tailing in Jiangxi[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2023(5): 36-40.
- [58] 赖婧怡, 魏以和. 基于餐饮废油的磷矿捕收剂性能试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(5): 162-167.
LAI Jingyi, WEI Yihe. Experimental study on the performance of phosphate rock collector based on waste cooking oil[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(5): 162-167.
- [59] 于保强, 何荣权, 邓朝安, 等. 新疆某锂辉石矿粗粒浮选探索试验研究[J]. 金属矿山, 2023, 52(12): 111-116.
YU Baoqiang, HE Rongquan, DENG Chaoan, et al. Experimental study on coarse flotation of spodumene ore in Xinjiang[J]. Metal Mine, 2023, 52(12): 111-116.
- [60] 肖巍, 余俊甫, 陈阳, 等. 亚硝基苯胍铵在金红石表面的吸附机制及其对浮选行为的影响[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2023, 54(11): 4219-4227.
XIAO Wei, YU Junfu, CHEN Yang, et al. Adsorption mechanism of n-nitrophenylhydroxylammonium on rutile surface and its effect on flotation behavior[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2023, 54(11): 4219-4227.
- [61] 闫雅雯, 罗惠华, 国亚非, 等. 磷矿反浮选几种胺离子捕收剂脱硅性能对比[J]. 矿产综合利用, 2022(6): 124-130.
YAN Yawen, LUO Huihua, GUO Yafei, et al. Comparison of desilication performance of several amine ion collectors in reverse flotation of phosphate rock[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(6): 124-130.
- [62] 郭万中, 印万忠, 刘明宝, 等. 油酸钠与含苯环类羟肟酸盐对金红石可浮性的影响及协同作用机理研究[J]. 矿产综合利用, 2022(6): 142-149.
GUO Wanzhong, YIN Wanzhong, LIU Mingbao, et al. Rutile flotation properties and its mechanism in synergistic systems composed by sodium oleate and hydroxamic acid-type reagents bearing benzene ring[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(6): 142-149.
- [63] 刘硕, 李方旭, 戴子林. 新型双极性捕收剂烷基羟肟酸磺酸对白钨矿的浮选性能及吸附机理研究[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(5): 11-18.
LIU Shuo, LI Fangxu, DAI Zilin. Study on flotation performance and adsorption mechanism of scheelite by new bipolar collector alkyl hydroxamic sulfonic acid[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023, 43(5): 11-18.
- [64] 段胜红, 周光浪. 某铜铅浮选尾矿中金银锌硫高效综合回收试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(1): 98-103.
DUAN Shenghong, ZHOU Guanglang. Experimental study on efficient comprehensive recovery of gold, silver, zinc and sulfur from a copper-lead flotation tailings [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(1): 98-103.
- [65] 张少杰, 何嘉宁, 李沛, 等. 柠檬酸对萤石和方解石的抑制效果研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(1): 138-145.
ZHANG Shaojie, HE Jianing, LI Pei, et al. Study on the inhibitory effect of citric acid on fluorite and calcite[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(1): 138-145.
- [66] 肖舜元, 欧阳林莉, 翟旭东, 等. 提高某重晶石-萤石伴生矿的综合回收率试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(1): 152-157.
XIAO Shunyuan, OUYANG Linli, ZHAI Xudong, et al. Study on improving comprehensive recovery and utilization of a barite-fluorite associated ore [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(1): 152-157.
- [67] 严海, 杨丙桥, 曾梦媛, 等. 过硫酸铵在硫化铜钼矿分离中的应用及机理[J]. 中国有色金属学报, 2023, 33(1): 279-285.
YAN Hai, YANG Bingqiao, ZENG Mengyuan, et al. Application and mechanism of ammonium persulfate in separation of copper-molybdenum sulphide ore[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2023, 33(1): 279-285.
- [68] 蔡锦鹏, 苏超, 申培伦, 等. 某含泥高银铅锌硫化矿高效综合利用研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(1): 55-58.

- CAI Jinpeng, SU Chao, SHEN Peilun, et al. High-efficient comprehensive utilization of mud-bearing high-silver lead-zinc sulfide ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023, 43(1): 55-58.
- [69] 李侠, 张倩, 陈世岭, 等. EDTA在钨铁矿和石英浮选分离中的选择性抑制作用机理[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(1): 37-43.
- LI Xia, ZHANG Qian, CHEN Shiling, et al. Selective inhibition mechanism of EDTA in flotation separation of niobite and quartz[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023, 43(1): 37-43.
- [70] 梁雪崑, 叶国华, 胡渝杰, 等. 微细粒级钛铁矿的选矿预处理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(3): 70-75.
- LIANG Xueyin, YE Guohua, HU Yujie, et al. Research on beneficiation pretreatment stage for fine-grained ilmenite[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(3): 70-75.
- [71] 谭欣, 孙传尧. 乙硫氮作捕收剂时有机调整剂加药顺序对典型硫化矿物浮选的影响[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(3): 83-93.
- TAN Xin, SUN Chuanyao. Influence of the addition order of organic regulators on flotation of typical sulfide minerals using diethyldithiocarbamate as collector[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(3): 83-93.
- [72] 李毓豪, 刘华, 杨丙桥, 等. 木质素磺酸钠在磷矿正浮选脱镁中的应用及其机理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(3): 152-157.
- LI Yuhao, LIU Hua, YANG Bingqiao, et al. Application and mechanism of sodium lignosulfonate in the direct flotation of apatite from dolomite[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(3): 152-157.
- [73] 卢通, 吴桂叶, 朱阳戈, 等. 方铅矿新型抑制剂BK508C及其作用机理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(3): 158-165.
- LU Tong, WU Guiye, ZHU Yangge, et al. Study on the action mechanism of a new depressant BK508C for galena[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(3): 158-165.
- [74] 张倩, 李侠, 陈世岭. 柠檬酸对钨铁矿和石英浮选分离的影响[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(3): 174-180.
- ZHANG Qian, LI Xia, CHEN Shiling. Influence of citric acid on flotation separation of niobite and quartz[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(3): 174-180.
- [75] 康秋玉, 金世斌, 郑艳平, 等. 新型抑制剂在铜钼分离浮选中的应用研究[J]. 黄金, 2023, 44(3): 43-47.
- KANG Qiuyu, JIN Shibin, ZHENG Yanping, et al. Study on the application of new inhibitors in copper-molybdenum separation flotation[J]. Gold, 2023, 44(3): 43-47.
- [76] 赵鑫, 彭祥玉, 王宇斌, 等. 超声波预处理氧化钙对改善黄铜矿浮选效果的机理分析[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(2): 87-92.
- ZHAO Xin, PENG Xiangyu, WANG Yubin, et al. Mechanism analysis of improving chalcopyrite flotation by ultrasonic pretreatment of calcium oxide[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023, 43(2): 87-92.
- [77] 汤家焰, 何嘉宁, 鲁向锦, 等. 油酸钠体系中铈离子对萤石和方解石浮选的影响油酸钠体系中铈离子对萤石和方解石浮选的影响[J]. 矿冶工程, 2023, 43(2): 48-51.
- TANG Jiayan, HE Jianing, LU Xiangjin, et al. Effect of cerium ion on floatation of fluorite and calcite in sodium oleate system effect of cerium ion on floatation of fluorite and calcite in sodium oleate system[J]. Mining and Metallurgy Engineering, 2023, 43(2): 48-51.
- [78] 俊玮, 郭文萍, 王守敬, 等. 选矿尾泥中高效回收微细粒含锂云母试验研究[J]. 非金属矿, 2023, 46(3): 63-66.
- JUN Wei, GUO Wenping, WANG Shoujing, et al. Experimental study on high-efficiency recovery of fine-grained lithium-bearing mica from tailings[J]. Non-Metallic Mines, 2023, 46(3): 63-66.
- [79] 任锦婷, 张素红, 邵秀峰. Gemini 12-3-12浮选分离一水硬铝石与高岭石的机理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(5): 153-161.
- REN Jintong, ZHANG Suhong, SHAO Xiufeng. Study on flotation separation mechanism of diasporite and kaolinite by using Gemini 12-3-12[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(5): 153-161.
- [80] 周贺鹏, 吴寒丹, 龚磊, 等. 新型有机抑制剂对萤石和方解石浮选分离的影响及作用机理[J]. 金属矿山, 2023, 52(5): 122-128.
- ZHOU Hepeng, WU Handan, GONG Lei, et al. Effect and mechanism of novel organic inhibitors on flotation separation of fluorite and calcite[J]. Metal Mine, 2023, 52(5): 122-128.
- [81] 杨志超, 韩英棋, 滕青, 等. $\text{Ca}(\text{II})$ -XG配合物选择性絮凝赤铁矿与石英的作用机理[J]. 金属矿山, 2023, 52(5): 129-136.
- YANG Zhichao, HAN Yingqi, TENG Qing, et al. Mechanism of selective flocculation of hematite and quartz with $\text{Ca}(\text{II})$ -XG complexes[J]. Metal Mine, 2023, 52(5): 129-136.
- [82] 汪志平, 王成行, 邹坚坚, 等. 磁-浮联合工艺回收矽卡岩型钨尾矿中萤石试验研究[J]. 金属矿山, 2023, 52(5): 260-265.
- WANG Zhiping, WANG Chenghang, ZOU Jianjian, et al.

- Experimental study on recovery of fluorite from skarn type tungsten tailings by magnetic and flotation combined process [J]. *Metal Mine*, 2023, 52 (5): 260-265.
- [83] 王亚琴,张鹏鹏,李明阳. 半乳甘露聚糖对镜铁矿和石英可浮性的影响及机理研究[J]. *金属矿山*, 2023, 52(6):101-106.
- WANG Yaqin, ZHANG Pengpeng, LI Mingyang. Effect of galactomannan on floatability of vitrinite and quartz and its mechanism [J]. *Metal Mine*, 2023, 52 (6): 101-106.
- [84] 王子豪,丰奇成. 氨基三亚甲基膦酸在闪锌矿和方铅矿浮选分离中的应用[J]. *金属矿山*, 2023, 52(8):87-95.
- WANG Zihao, FENG Qicheng. Application of amino trimethylene phosphonic acid in flotation separation of sphalerite and galena [J]. *Metal Mine*, 2023, 52 (8): 87-95.
- [85] 肖巍,杨娟,李和付,等. 氟硅酸钠对金红石和石榴石浮选分离的影响及作用机理[J]. *金属矿山*, 2023, 52(8): 119-124.
- XIAO Wei, YANG Juan, LI Hefu, et al. Effect and mechanism of sodium fluorosilicate on flotation separation of rutile and garnet [J]. *Metal Mine*, 2023, 52(8):119-124.
- [86] 张鹏鹏,杨诚,高翔鹏,等. 田菁胶对镜铁矿/石英浮选分离效果及作用机理研究[J]. *金属矿山*, 2023, 52(8): 125-130.
- ZHANG Pengpeng, YANG Cheng, GAO Xiangpeng, et al. Separation effect and mechanism of sesbania gum on vitrinite/quartz flotation [J]. *Metal Mine*, 2023, 52(8): 125-130.
- [87] 朱奥妮,唐远,李倩倩,等. 抑制剂 PBTCA 对菱镁矿与白云石浮选分离的影响[J]. *金属矿山*, 2023, 52(8): 131-136.
- ZHU Aoni, TANG Yuan, LI Qianqian, et al. Effect of depressant PBTCA on flotation separation of magnesite and dolomite [J]. *Metal Mine*, 2023, 52(8):131-136.
- [88] 张迎棋. 大红柳滩某低品位锂铍矿石表面清洗浮选工艺研究[J]. *矿冶*, 2023, 32(4):46-54.
- ZHANG Yingqi. Study on surface cleaning flotation process of a low-grade lithium beryllium ore in Dahongliutan [J]. *Mining and Metallurgy*, 2023, 32(4): 46-54.
- [89] 周艳飞,王建安,沈发明,等. 某高氧化率硫化铅锌矿混合浮选试验研究[J]. *矿冶工程*, 2023, 43(4):78-81.
- ZHOU Yanfei, WANG Jian'an, SHEN Faming, et al. Experimental study on bulk flotation of highly oxidized lead-zinc sulfide ore [J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2023, 43(4):78-81.
- [90] 苟浩然,曾海鹏,黄红军,等. 湖北某复杂低品位铜矿浮选试验研究[J]. *矿冶工程*, 2023, 43(4):85-88.
- GOU Haoran, ZENG Haipeng, HUANG Hongjun, et al. Experimental study on flotation separation of low-grade copper ore from Hubei [J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2023, 43(4):85-88.
- [91] 曹鹏飞,张鹏鹏,刘军,等. 卵清蛋白在镜铁矿反浮选脱硅中的应用[J]. *金属矿山*, 2023, 52(10):94-99.
- CAO Pengfei, ZHANG Pengpeng, LIU Jun, et al. Application of ovalbumin in reverse flotation desilication of vitrinite [J]. *Metal Mine*, 2023, 52(10): 94-99.
- [92] 张红涛,宋翔宇,黄业豪,等. 某铜钼混合精矿臭氧氧化浮选分离试验研究[J]. *矿冶工程*, 2023, 43(5):50-53.
- ZHANG Hongtao, SONG Xiangyu, HUANG Yehao, et al. Application of ozone oxidation in flotation separation of copper-molybdenum bulk concentrate [J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2023, 43(5):50-53.
- [93] 曹杨,孙磊,孙伟,等. 低品位高泥高镁硫化铜镍矿浮选试验研究[J]. *矿冶工程*, 2023, 43(5):62-65.
- CAO Yang, SUN Lei, SUN Wei, et al. Flotation of low-grade copper-nickel sulfide ore with high content of mud and magnesium oxide [J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2023, 43(5):62-65.
- [94] 杨鹏,王杰,周元浩. 氰渣浮选尾矿回收硫试验研究[J]. *黄金*, 2023, 44(11):35-38.
- YANG Peng, WONG Dave, CHOW Yuenho. Experimental study on recovery of sulfur from flotation tailings of cyanide residue [J]. *Gold*, 2023, 44 (11): 35-38.
- [95] 赵开乐,张文谱,杨耀辉,等. 柴达木盆地某金矿石提质降杂试验[J]. *金属矿山*, 2023, 53(4):110-116.
- ZHAO Kaile, ZHANG Wenpu, YANG Yaohui, et al. Quality improvement and impurity reduction test of a gold ore in Qaidam Basin [J]. *Metal Mine*, 2023, 53(4): 110-116.
- [96] 张鹏鹏,陈洲,杨诚,等. 刺槐豆胶在镜铁矿/绿泥石浮选分离中的作用[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2023, 54(12):4631-4639.
- ZHANG Pengpeng, CHEN Zhou, YANG Cheng, et al. Role of locust bean gum in flotation separation of specularite and chlorite [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2023, 54 (12): 4631-4639.
- [97] 吴迪,王洪岭,孟庆波,等. 内蒙古某多金属矿尾矿回收萤石试验研究[J]. *矿产综合利用*, 2022 (6): 155-158,166.
- WU Di, WANG Hongling, MENG Qingbo, et al. Experimental research on recovery of fluorite from a

- polymetallic mine tailing in Inner Mongolia [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(6):155-158,166.
- [98] 王若林,韩海生,孙文娟,等. Al-淀粉配合物对白钨矿浮选中微细粒方解石的选择性抑制行为及机理[J]. 矿产保护与利用,2023,43(5):1-10.
- WANG Ruolin, HAN Haisheng, SUN Wenjuan, et al. Selective inhibition of Al-starch complex on fine calcite in scheelite flotation and its mechanism [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023,43(5):1-10.
- [99] 李加文,谢贤,杨兵,等. 从四川某稀土-萤石中矿中分离萤石与稀土的试验研究[J]. 矿产保护与利用,2023,43(5):19-24.
- GAVIN LEE, PATRICK TSE, YANG Bing, et al. Experimental study on the separation of fluorite and rare earth from a rare earth-fluorite ore in Sichuan[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023,43(5):19-24.
- [100] 刘诚,韩立伟,王田雨,等. 抑制剂马来酸-丙烯酸共聚物在浮选分离重晶石与萤石中的作用及机理[J]. 矿冶工程,2023,43(6):62-65.
- LIU Cheng, HAN Liwei, WANG Tianyu, et al. Action and mechanism of copolymer of maleic acid and acrylic acid as a depressant in flotation separation of barite and fluorite[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023,43(6):62-65.
- [101] 魏清成,汪浩翔,苏超,等. 难处理氧化铜矿活化剂 DX-2 的合成及浮选试验研究[J]. 矿产保护与利用,2023,43(5):25-31.
- WEI Chingshing, WANG Hocheung, SCOTTISH P L, et al. Study on synthesis and flotation of refractory copper oxide activator DX-2 [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023,43(5):25-31.
- [102] 王正阳,吴恒,魏楠,等. 起泡剂作用下悬浮液中气泡的上升特性试验[J]. 有色金属(选矿部分),2023(1):127-137.
- WANG Zhengyang, WU Xuan, WEI Nan, et al. Experiment on the rising characteristics of bubbles in suspension under the action of foaming agent [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(1):127-137.
- [103] 陈杜娟,王婷霞,刘坤,等. 某嵌布特性复杂高钼低铅矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2023(4):107-112.
- CHEN Dujuan, WANG Tingxia, LIU Kun, et al. Beneficiation experimental study of a high molybdenum and low lead ore with complex disseminated characteristics [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(4):107-112.
- [104] 周文波,朱照强,王永刚,等. 三聚磷酸钠对微细粒嵌布磁铁矿磨矿效果的影响[J]. 金属矿山,2023,52(1):228-232.
- ZHOU Wenbo, ZHU Zhaoqiang, WANG Yonggang, et al. Influence of sodium tripolyphosphate on grinding effect of fine-grained embedded magnetite [J]. Metal Mine, 2023,52(1):228-232.
- [105] 田鹏程,王泽红,毛勇,等. 无机/有机助磨剂对石英磨矿动力学模型参数的影响研究[J]. 矿产保护与利用,2023,43(3):112-119.
- TIAN Pengcheng, WANG Zehong, MAO Yong, et al. Effect of inorganic/organic grinding AIDS on parameters of quartz grinding kinetic model [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023,43(3):112-119.
- [106] 赵文坡,李文凤,薛珂,等. 酒钢铁精矿助滤脱水试验研究[J]. 矿冶工程,2023,43(4):89-91.
- ZHAO Wenpo, LI Wenfeng, XUE Ke, et al. Experimental study on dewatering of JISCO iron concentrate by adding filtration aid [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023,43(4):89-91.
- [107] 李蕊,潘昱嵩,冯泽宇,等. 液态聚醚/丙二醇提高铁精矿滤饼结构渗透性[J]. 金属矿山,2023,52(10):133-139.
- LEE Re, PAN Yuhao, FENG Zeyu, et al. Liquid polyether/propylene glycol to improve the permeability of iron concentrate filter cake structure [J]. Metal Mine, 2023,52(10):133-139.
- [108] 缪亚兵,薛珂,赵文坡,等. 某铅锌矿选铅尾矿絮凝沉降及溢流水回用于浮选评价试验研究[J]. 矿冶工程,2023,43(5):80-84.
- MIAO Yabing, XUE Ke, ZHAO Wenpo, et al. Experimental study on flocculation sedimentation of lead tailings from a Pb-Zn mine and evaluation of flotation with recirculated overflow [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023,43(5):80-84.
- [109] 郑银珠,杨哲辉,崔瑞. FD-602 清洗剂清洗陶瓷过滤机生产试验及清洗水回用浮选试验[J]. 矿冶工程,2023,43(5):85-88.
- ZHENG Yinzhu, YANG Zhehui, CUI Rui. On-site test on cleaning ceramic filter with detergent FD-602 and flotation test using recycled cleaning water [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023,43(5):85-88.
- [110] 曾慧强,李梦瑶,高赫,等. 纤维素醚调整剂对 MIBC 起泡剂泡沫性能影响研究[J]. 有色金属(选矿部分),2023(3):166-173.
- ZENG Huiqiang, LI Mengyao, GAO He, et al. Study on foam performance of foaming agent MIBC by

- cellulose ether foam modifying agent[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023 (3): 166-173.
- [111] 卯松,章铁斌. 基于密度泛函理论的含 CO_3^{2-} 缺陷白云石表面性质研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(2): 66-68,73.
- MAO Song, ZHANG Tiebin. Study on surface properties of dolomite with CO_3^{2-} defects based on density functional theory[J]. Mining and Metallurgy Engineering, 2023, 43(2): 66-68, 73.
- [112] 贺壮志,朱阳戈,肖巧斌,等. 低碱下含硫化物的抑硫机理和行为研究现状[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(4):156-162.
- HE Zhuangzhi, ZHU Yangge, XIAO Qiaobin, et al. Research status of depressing mechanism and behavior of sulfocompounds at low basicity [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023 (4): 156-162.
- [113] 代龙富,刘建,李达,等. BHA 浮选锡石体系中锌组分活化机理的量子化学计算研究[J]. 金属矿山, 2023, 52(8):111-118.
- DAI Longfu, LIU Jian, LI Da, et al. Study on activation mechanism of zinc component in cassiterite flotation system by quantum chemical calculation [J]. Metal Mine, 2023, 52(8):111-118.
- [114] 许道刚,韩海生,孟祥松,等. 湖南柿竹园多金属矿选矿废水处理试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(1):51-56.
- XU Daogang, HAN Haisheng, MENG Xiangsong, et al. Experimental study on treatment of ore dressing wastewater from Shizhuyuan polymetallic mine in Hunan [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(1):51-56.
- [115] 冯青舒,薛珂,陈文胜,等. 高浊度钨多金属矿选矿废水处理及回用试验研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(2): 74-77.
- FENG Qingshu, XUE Ke, CHEN Wensheng, et al. Experimental study on treatment and reuse of mineral processing wastewater from high turbidity tungsten polymetallic ore [J]. Mining and Metallurgy Engineering, 2023, 43(2): 74-77.
- [116] 张凯,乔继扬,刘峰彪. 射流曝气耦合臭氧-过氧化氢协同氧化强化处理选矿废水试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(4):74-79.
- ZHANG Kai, QIAO Jiyang, LIU Fengbiao. Experimental study on enhanced treatment of mineral processing wastewater by the synergistic oxidation process of jet aeration coupled with ozone/hydrogen peroxide[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(4):74-79.
- [117] 文晓飞,吴美荣,翟一澎,等. 黄铜矿活化过硫酸盐处理丁基黄药废水的研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(3): 61-66.
- WEN Xiaofei, WU Meirong, ZHAI Yipeng, et al. Treatment of butyl xanthate wastewater with chalcopyrite activated persulfate [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023, 43(3): 61-66.
- [118] 王琪森,谢庭芳,于洋,等. 工业回水体系下硫化锌氧压浸出渣中硫磺和含银矿物分选回收试验研究[J]. 矿冶, 2023, 32(6):35-43.
- WANG Qimiao, XIE Tingfang, YU Yang, et al. Experimental study on separation and recovery of sulfur and silver-bearing minerals from zinc sulfide oxygen pressure leaching residue under industrial backwater system[J]. Mining and Metallurgy, 2023, 32(6):35-43.
- [119] 刘进,张红英. 新型环保钨捕收剂的工业化应用研究[J]. 矿产综合利用, 2022(6):138-141,154.
- LIU Jin, ZHANG Hongying. Industrial application of new environmentally friendly tungsten collector[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(6):138-141,154.

(本文编辑 刘水红)