

doi: 10. 20239/j. issn. 1671-9492. 2025. 03. 001

2024 年浮选药剂的进展

朱一民

(湖南有色金属研究院, 长沙 400100)

摘 要: 收集了 2024 年国内核心期刊发表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、助磨剂与助滤剂、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; 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(2025)03-0001-16

Progress of Flotation Reagents in 2024

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 2024 is collected, which is introduced and briefly reviewed in six aspects: sulfide collectors, oxide collectors, regulators, frothers, grinding aids and 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 reagents; wastewater treatments

本文将 2024 年我国浮选药剂研发和生产分硫化矿捕收剂、氧化矿捕收剂、调整剂、助磨剂和助滤剂、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

2024 年硫化矿捕收剂研究随黄金和有色金属价格持续上扬, 浮选新药剂的新研究新报道很多。

1.1 捕收剂 631 浮选铜

研究者对含 3.91% 锌、0.86% 铜的某锌铜矿, 使用 631 取代原项目生产中的捕收剂 TLQ2, 使用 GX4311 取代 SMBS 作为抑制剂, 闭路试验结果得到的铜精矿铜品位为 22.46%、铜回收率为 62.03%、锌品位为 2.76%、锌回收率为 0.87%, 各项指标均优于使用 TLQ2 和 SMBS^[1]。

1.2 捕收剂 PL-307 浮选铜

对斑岩型铜矿铜品位 0.32%, 伴生有钼的矿样, 研究者采用捕收剂 PL-307 和起泡剂 HCLL 对铜浮选, 在原矿磨矿细度 -0.075 mm 占 65%、粗精矿再磨细度 -0.045 mm 占 90%、捕收剂 PL-307 用量

120 g/t、抑制剂石灰用量 300 g/t、起泡剂 HCLL 用量 20 g/t 的最佳参数条件下, 经过闭路试验可获得产率 1.23%、铜品位 22.84%、铜回收率 87.79% 的选矿指标, 铜精矿产品含钼 0.398%、金 4.33 g/t、银 62.50 g/t, 其中钼回收率为 71.99%、金回收率为 66.57%、银回收率为 14.48%^[2]。

1.3 应用乙硫氮、Z-1 浮选剂等进行铅锌电位调控浮选

研究者将石灰添加进球磨机, 通过石灰将矿浆 pH 值调节为 12.5, 使矿浆电位降低并稳定在 -170 mV; 同时应用乙硫氮、Z-1 浮选剂等浮选药剂, 实现了铅锌快速分离浮选。在产能不变的情况下, 浮选作业由两个系列改为单系列运行, 浮选时间由 77.91 min 缩短到 47.66 min, 取得的效果非常明显, 铅精矿主品位由 56% 提高到 65%, 铅锌回收率分别提高了 0.16 和 0.64 百分点^[3]。

1.4 分析气溶胶处理丁基黄药浮选黄铁矿

研究者分析气溶胶处理丁基黄药对黄铁矿浮选效果的影响规律及其机理, 发现气溶胶化丁基黄药可显著提高丁基黄药中的有效成分双黄药分子的含

收稿日期: 2025-01-23

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。

量以及黄铁矿的浮选效果,在丁基黄药质量浓度为15 mg/L时,黄铁矿的回收率为57.20%,与未处理相比,黄铁矿回收率提高16.47百分点^[4]。

1.5 改性黑药类捕收剂CY-1提高银回收率

研究者在磨矿细度为 $-74\ \mu\text{m}$ 占65%时,抑制剂采用亚硫酸钠与硫酸锌,捕收剂采用改性黑药类捕收剂CY-1,闭路试验获得了含Pb 52.05%、Ag 4 866 g/t的铅银精矿,铅、银回收率分别为91.76%和84.43%。与乙硫氮+丁铵黑药为组合捕收剂时的高碱工艺相比,铅、银回收率分别提高了2.5和6百分点^[5]。

1.6 捕收剂ZJ-1浮选铜铅锌

研究者对西藏某高海拔矿区铜多金属矿氧化率较高矿石以JM-1硫化剂、ZJ-1捕收剂、铜铅锌“先硫后氧”混合浮选的浮选工艺,在原矿铜氧化率为38.58%的条件下,试验经两次粗选、三次精选、两次扫选工艺流程,取得混合精矿铅+锌品位之和为41.17%,铜铅锌金属回收率分别为58.74%、80.71%、70.82%的良好指标^[6]。

1.7 捕收剂KM23浮选硫化铜

研究者采用“铜硫混合浮选—混合精矿铜硫分离—混浮尾矿再选氧化铜”流程,在磨矿细度为 $-0.074\ \text{mm}$ 占85%的条件下,应用新型捕收剂KM23和起泡剂730A选出混合铜硫精矿,应用组合抑制剂石灰+LY分离浮选出硫化铜矿物,应用组合活化剂硫化钠+氯化铵浮选出氧化铜矿物,最终获得铜品位为22.56%、铜回收率为42.91%的硫化铜精矿和铜品位为20.64%、铜回收率为27.18%的氧化铜精矿,铜综合回收率为70.09%。有价金属银在铜精矿中得到富集,硫化铜精矿含银145.7 g/t、氧化铜精矿含银91.17 g/t^[7]。

1.8 丁基黄药+EP作为铜、硫混浮的组合捕收剂

有人采用“粗磨粗选抛尾、粗精矿再磨再选”的工艺流程,采用丁基黄药+EP作为铜、硫混浮的组合捕收剂进行低碱度分离试验研究。结果表明,采用低碱工艺闭路试验可获得铜品位24.11%、铜回收率90.71%的铜精矿和硫品位31.83%、硫回收率29.20%的硫精矿,同时提高了铜精矿中伴生金、银的回收率^[8]。

1.9 BK341进行滑石和钼的浮选分离

研究者采用新型滑石抑制剂BK534、钼捕收剂BK341进行滑石和钼的浮选分离,可有效回收预先脱除滑石中损失的钼。通过“预先脱除滑石—滑石产品抑滑石浮钼—钼浮选—钼粗精矿合并精选”工艺,在回水条件下钼浮选全流程闭路试验获得钼精矿品位

42.89%、回收率77.65%^[9]。

1.10 捕收剂S19浮选铅矿物,CZ008捕收剂浮选锌矿物

有人采用S19捕收剂对铅矿物进行较好的回收,用CZ008捕收剂对活化后的含锌矿物进行了回收,浮选尾矿经过摇床重选脱硫后可作为水泥用硅酸盐辅料。试验生产的废水无需处理即可循环利用,且不会对回收指标造成影响^[10]。

1.11 捕收剂P5100C和QBSC有利于铜、铅分离

研究者考察了新型捕收剂4037B、P5100C、QBSC的选别效果。结果表明,P5100C和QBSC更有利于铜、铅分离,在最佳条件下,采用铜快速浮选—铜铅混选—铜铅再磨分离—锌浮选流程,获得铜品位35.56%、铜回收率75.23%的铜精矿,铅品位45.02%、铅回收率71.92%的铅精矿和锌品位41.49%、锌回收率72.58%的锌精矿^[11]。

1.12 酯类硫化矿捕收剂LS-201

研究者用酯类硫化矿捕收剂LS-201与丁基黄药进行协同捕收,浮选闭路试验得到铜品位为21.89%、铜回收率为95.60%的混合精矿^[12]。

2 氧化矿捕收剂

2024年报导的氧化矿捕收剂还是各类常规脂肪酸、脂肪酸、磷酸、羟肟酸类等捕收剂的改性和复配研究为主,随着锂矿价格的下跌和萤石价格的上扬,锂矿捕收剂的研究降温,萤石浮选剂的捕收剂发展势头强进。

2.1 AP作为萤石浮选捕收剂

研究者针对含19.66%CaF₂、45.01%SiO₂、2.99%CaCO₃的钨浮选尾矿,采用AP作为萤石浮选捕收剂,GA作精选抑制剂,经1次粗选7次精选的浮选闭路试验,得到萤石精矿CaF₂品位为95.60%、CaF₂回收率为67.74%的选别指标^[13]。

2.2 甲基异丁基甲醇浮选磷石膏

研究者发现,不同种类的浮选剂对磷石膏的浮选白度影响较大,其中浮选剂A浮(氧烷类化合物)选后样品的白度最低,为34.27%;浮选剂D(甲基异丁基甲醇)浮选后样品的白度最高,为42.9%^[14]。

2.3 苄基胂酸+活化剂B的组合药剂浮选锡

在给矿含锡0.54%的情况下,研究者使用苄基胂酸+活化剂B的组合药剂,获得了锡精矿品位7.864%、作业回收率82.19%的技术指标,在浮选作业回收率相当条件下,较生产上使用的羟肟酸类药

剂精矿品位提高了1.867百分点^[15]。

2.4 苯甲羟肟酸(BHA)和辛基羟肟酸(OHA)以及二者组合浮选稀土

有人用苯甲羟肟酸(BHA)和辛基羟肟酸(OHA)以及二者组合羟肟酸(BHA+OHA)下,对氟碳铈矿、方解石、萤石三种矿物进行了浮选研究。试验结果表明,在pH=9.5、组合捕收剂($n(\text{BHA}):n(\text{OHA})=2:1$)浓度为 3×10^{-4} mol/L和盐化水玻璃 3×10^{-3} mol/L的条件下,氟碳铈矿、方解石和萤石的回收率分别为89.8%、18.5%和13.7%,人工混合矿REO品位由28.90%提升至55.41%,氟碳铈矿的回收率为80.41%^[16]。

2.5 十二胺(DDA)与阴离子捕收剂组合浮选铁

研究者考察了十二烷基磺酸钠(SDS)、十二烷基硫酸钠(SLS)、十二烷基苯磺酸钠(SDBS)以及油酸钠(NaOL)四种阴离子捕收剂分别与阳离子捕收剂十二胺(DDA)组合对浮选分离微细粒(-18 μm)赤铁矿和石英的影响。单矿物试验结果表明,与单一DDA相比,四种阴离子捕收剂分别与DDA组合使用能够降低赤铁矿的浮选回收率,有利于减少赤铁矿的抑制剂用量。十二胺与阴离子捕收剂组合使用时,四种阴离子捕收剂对微细粒赤铁矿和石英分离效果为:SDS>NaOL>SLS/SDBS^[17]。

2.6 卤代改性月桂酸捕收剂WN-01用于氟碳铈矿浮选

有人研发了一种卤代改性月桂酸捕收剂WN-01用于氟碳铈矿浮选提纯。试验结果表明,相比改性前的月桂酸,月桂酸卤代改性捕收剂WN-01取得的最佳粗精矿REO品位和回收率可分别提高4.45和36.86百分点^[18]。

2.7 采用硫酸+十二胺浮选含铷矿石

研究者在反浮选脱钙时采用捕收剂CYP+抑制剂SN-1,铷正浮选采用硫酸+十二胺,最终通过反浮选脱钙(两粗三精)一无氟少酸铷正浮选(一粗一扫一精)闭路流程,获得了铷精矿 Rb_2O 品位0.214%、 Rb_2O 回收率71.04%的指标,较好地实现了铷资源的回收^[19]。

2.8 苯丙烯基羟肟酸(PHA)作为萤石矿捕收剂

研究者研究了苯丙烯基羟肟酸(PHA)作为萤石矿捕收剂的浮选特性。研究表明,PHA具有优异的选择捕收性能,在pH为8、PHA用量为15 mg/L、甲基异丁基甲醇(MIBC)用量为20 mg/L的条件下,萤石、白云石和方解石的回收率分别为91%、24.2%

和41%。采用5精2扫的闭路流程,得到 CaF_2 品位为97.63%、回收率为88.58%的萤石精矿^[20]。

2.9 脂肪酸类CY-1为捕收剂、改性水玻璃和有机高分子CYH作为组合抑制剂浮选萤石

研究者以脂肪酸类CY-1为捕收剂、改性水玻璃和有机高分子CYH作为组合抑制剂,采用“浮硫—浮萤石1粗7精—中矿集中返回”流程,获得 CaF_2 品位90.81%、回收率为75.25%的萤石精矿,实现了高钙萤石矿中萤石与方解石、云母的有效分离^[21]。

2.10 捕收剂RA浮选铁矿

研究者针对TFe品位42.44%、 SiO_2 含量35.42%的混合磁选精矿,在磨矿细度为-0.045 mm占97%的情况下,全流程试验获得了产率53.87%、TFe品位67.87%、 SiO_2 含量1.96%、TFe回收率86.15%的高品质铁精矿;在磨矿细度为-0.045 mm占94%的情况下,适当增大捕收剂RA用量,可获得产率54.76%、TFe品位67.14%、 SiO_2 含量2.09%、TFe回收率86.63%的高品质铁精矿^[22]。

2.11 NaOL和Tween-80为组合捕收剂对菱镁矿和白云石进行浮选

有人在 $T=10\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下,以瓜尔胶为调整剂,NaOL和Tween-80为组合捕收剂对菱镁矿和白云石分别进行了浮选试验。结果表明,组合捕收剂体系(Tween-80用量为NaOL用量的2.5%)和20 mg/L瓜尔胶的药剂制度效果更好,使用后菱镁矿回收率从55.5%提高到了87%,白云石回收率从29%升高到30.5%^[23]。

2.12 捕收剂GYLZ、GYM3浮选锂多金属矿

有研究者研究了采用氯化钙和捕收剂GYLZ、GYM3浮选锂铍矿,浮选闭路试验获得了 Li_2O 品位6.10%、回收率94.01%,BeO品位0.12%、回收率88.53%的锂精矿^[24]。

2.13 T-609捕收剂浮选磷石膏

研究者在强酸性条件下,以T-609为捕收剂,采用一粗一扫两精浮选工艺浮选磷石膏,最终精矿产品中二水硫酸钙品位达到99%以上,200 $^\circ\text{C}$ 白度可达到75%^[25]。

2.14 复配的新型脂肪酸类耐低温捕收剂KDB-3反浮选铁

有人采用复配的新型脂肪酸类耐低温捕收剂KDB-3,针对混合磁选精矿进行了低温反浮选试验研究。结果表明,在混合磁选精矿铁品位为50.10%时,采用“一次粗选一次精选三次扫选”的反浮选流程,在

粗选矿浆温度10~15℃、抑制剂苛化淀粉用量650 g/t、活化剂氧化钙用量900 g/t、捕收剂用量1 150 g/t、调整剂氢氧化钠用量为900 g/t(pH=11.5)的条件下,使用油酸钠作为捕收剂仅获得铁精矿铁品位66.57%、回收率67.16%,而相同条件下KDB-3捕收剂获得了铁精矿铁品位67.80%、回收率87.46%,比油酸钠分别高1.23、20.30百分点^[26]。

2.15 多极性基低温捕收剂DZ对混合磁选精矿进行反浮选

研究者采用捕收剂TD-II在浮选温度(40±2)℃、矿浆pH值11,淀粉用量1 000 g/t, CaO用量900 g/t,经过“一粗一精三扫”的浮选闭路试验,可得到铁品位65.47%、铁回收率90.71%的浮选精矿指标^[27]。

2.16 组合捕收剂GXU-Sn2加GXU-Sn3浮选锡石

针对某多金属硫化矿尾矿, Sn品位为1.45%, -0.013 mm粒级含量高达84.76%,采用组合捕收剂GXU-Sn2加GXU-Sn3(1:2)方案进行实验室闭路试验,经“一粗两扫两精”的浮选工艺流程,获得的锡精矿Sn品位30.92%、回收率81.13%、作业回收率为85.06%^[28]。

2.17 双亲矿物结构噁二唑硫酮捕收剂——5-己基二硫代氨基甲酸甲酯-1,3,4-噁二唑-2-硫酮(MHCODT)浮选氧化铜

有人合成出一种新型双亲矿物结构噁二唑硫酮捕收剂——5-己基二硫代氨基甲酸甲酯-1,3,4-噁二唑-2-硫酮(MHCODT),可以与孔雀石表面形成双配位活性中心,从而提高对其的浮选效果。纯矿物和混合矿物浮选试验结果表明, MHCODT的浮选分离效果比辛基羟肟酸(OHA)好,可以实现孔雀石与脉石矿物石英和方解石的高效分离^[29]。

2.18 丁铵黑药、苯并三唑及其组合浮选氧化铜

研究者采用丁铵黑药和苯并三唑混合用药选别氧化铜,可实现将氧化矿和硫化矿一起选别,混合用药最佳药剂用量为600 mg/L,配比为4:1,矿浆pH=9。实际矿样试验结果表明,新药剂适宜在浮选过程中混合添加,浮选尾矿铜品位降低到0.31%,铜的总浮选回收率达到96.69%,浮选铜品位达到22.36%^[30]。

2.19 YM6-1作为捕收剂浮选锂云母

研究者针对某锂云母浮选前脱泥产品(-0.075 mm粒级产率占87.00%,原矿Li₂O品位低至0.38%)进行了锂云母浮选工艺流程试验研究。分别采用“预先脱泥—浮选”、“加药不强搅拌浮选”和“加药强搅拌预处理浮选”三种浮选流程进

行对比试验。研究结果表明,分别使用碳酸钠、六偏磷酸钠和YM6-1作为调整剂、抑制剂和捕收剂,通过“一粗一精两扫”的闭路浮选流程最终可以获得Li₂O品位为2.01%、回收率为60.62%的锂云母精矿^[31]。

2.20 羟肟酸类捕收剂YM203浮选微细粒锡石

研究者认为羟肟酸类捕收剂YM203对微细粒锡石具有良好的捕收能力,同等药剂用量下效果优于水杨羟肟酸、苯甲羟肟酸和C₅₋₉烷基羟肟酸;最终采用“脱泥—浮选”工艺流程,在给矿Sn品位为0.75%的情况下,获得了浮锡精矿Sn品位6.67%、回收率79.77%的技术指标^[32]。

2.21 地沟油制备脂肪酸浮选捕收剂浮选异极矿

研究者采用尿素包合法分离提纯地沟油中的天然脂肪酸作为浮选捕收剂,开展异极矿浮选试验。研究结果表明,尿素和混合脂肪酸质量比为1:1时,经尿素包合法分离制备的不饱和脂肪酸具有优异的浮选性能,在该捕收剂浓度为200 mg/L、矿浆pH为6~10、搅拌转速为200 r/min、充气量为80 mL/min的条件下,单泡浮选管浮选异极矿的回收率超过95%^[33]。

2.22 碳链异构的异硬脂酸钠反浮选钼

有人发现在强碱性异硬脂酸钠体系下,菱锌矿与方解石表现出较好的反浮选分离趋势,在pH=11.5、捕收剂用量1.25×10⁻³ mol/L的条件下,通过反浮选可脱除人工混合矿中62.1%的Ca, Zn的损失率为11.9%^[34]。

2.23 磷锂铝石捕收剂MA和锂辉石捕收剂MY

研究者发现锂矿石中含有磷锂铝石和锂辉石两种有价矿物,采用常规锂辉石浮选工艺,磷锂铝石富集在锂辉石精矿产品中,后期的锂辉石冶炼工艺无法回收磷锂铝石,造成锂资源的极大浪费,同时还会导致锂辉石精矿中的磷含量超标。针对这种情况他们研究通过分步浮选磷锂铝石和锂辉石,采用新型高效的磷锂铝石捕收剂MA和锂辉石捕收剂MY,得到了Li₂O品位为6.04%、回收率为12.09%的磷锂铝石精矿和Li₂O品位为5.65%、Li₂O回收率为72.16%的锂辉石精矿^[35]。

2.24 十四烷基三甲基氯化铵(TTAC)/乳酸合成低共熔溶剂反浮选铁

有人研究了十四烷基三甲基氯化铵(TTAC)/乳酸合成低共熔溶剂作为捕收剂反浮选赤铁矿,结果表明,在pH值为7、TTAC/乳酸用量为0.2 mmol/L的条件下,铁品位提升至66.01%,铁回收率为94.29%,指标优于十二胺^[36]。

2.25 苯甲羟肟酸(BHA)及苯甲羟肟酸+NP_s(羟肟酸类)浮选铌

研究者研究了单一苯甲羟肟酸(BHA)及苯甲羟肟酸+NP_s(羟肟酸类)复合捕收剂对含铌尾矿中铌的浮选分离效果。结果表明,复合捕收剂(BHA+NP_s)对铌矿物浮选的最佳质量配比为 $m(\text{NP}_s):m(\text{BHA})=0.35:0.65$,浮选闭路试验可获得Nb₂O₅品位为3.24%、回收率为83.03%的铌精矿;与采用单一BHA相比,精矿回收率基本一致,精矿品位提高0.53个百分点^[37]。

2.26 P8捕收剂浮选氟碳铈矿

有人采用羟肟酸类捕收剂P8、水玻璃作为抑制剂、FM-132作为起泡剂;经一粗两精闭路试验流程,可获得REO品位51.85%、REO回收率79.12%的稀土精矿^[38]。

2.27 常温反浮选捕收剂DPY-4提高铁矿石的品位及回收率

研究者用常温反浮选捕收剂DPY-4针对酒钢选矿厂悬浮磁化焙烧后的三段磁选精矿进行反浮选试验,在矿浆温度25℃、DPY-4用量300 g/t、玉米淀粉用量600 g/t、pH=9.5时,获得闭路浮选精矿铁品位58.35%、铁回收率94.05%、SiO₂含量为4.62%^[39]。

2.28 GH-7、GY-101提高锌浮选指标

研究者采用药剂GH-7、GY-101药剂,可有效的提高锌选矿指标,减少药剂用量,降低选矿成本;当GH-7用量为2 000 g/t、硫化钠用量为20 000 g/t、GY-101用量为300 g/t时,可获得锌品位27.29%、锌回收率77.13%的氧化锌浮选闭路试验指标^[40]。

2.29 2-乙基己基磷酸酯(2ZHP)选择性分离萤石和方解石

有人通过浮选试验研究了2-乙基己基磷酸酯(2ZHP)对萤石和方解石浮选行为的影响,并采用Zeta电位、红外光谱、X射线光电子能谱等分析手段,探究药剂的作用机理。结果表明,在pH值为4~7时,添加 0.75×10^{-5} mol/L的2ZHP,萤石有较好的可浮性,与方解石的可浮性差异较大,有利于实现萤石与方解石的浮选分离^[41]。

3 浮选调整剂

2024年无机调整剂和有机调整剂的研究与应用的报道比前一年还多,浮选调整剂的混合使用引起广大研究者和使用者的关注。

3.1 WF-01反浮选提磷脱镁及无机酸类分散剂YL-1

研究者采用WF-0捕收剂和无机酸类分散剂YL-1,利用一粗一精一扫闭路流程工艺参数,获得了P₂O₅品位为32.80%、MgO含量1.01%、P₂O₅回收率为92.53%的精矿指标^[42]。

3.2 X-43替代硫酸铜活化锌

有人采用锌活化剂X-43替代硫酸铜,针对铅品位4.23%、锌品位8.02%的原矿,在磨矿细度为-0.074 mm占80%的条件下,优先选铅时采用1次粗选、1次扫选和铅粗精矿再磨至-0.045 mm占65.5%后3次精选,可获得铅品位50.19%、铅回收率65.33%的铅精矿;选铅尾矿经活化剂X-43活化后,采用1次粗选、2次扫选和2次精选选锌;经全流程闭路试验可得到铅品位为57.63%、回收率为80.5%的铅精矿,以及锌品位为49.62%、回收率为92.52%的锌精矿^[43]。

3.3 使用BK506替代石灰作硫铁矿抑制剂

有人使用BK506替代石灰作硫铁矿抑制剂、BK305作铜捕收剂,在矿浆pH值9.9(原高碱工艺矿浆pH值为12)的条件下进行低碱度铜硫分离试验。结果表明,低碱工艺指标优于高碱工艺指标,采用低碱工艺闭路试验可获得铜品位22.59%、回收率84.17%的铜精矿和硫品位41.03%、回收率80.78%的硫精矿,铜硫分离效果好。与高碱工艺相比较,低碱工艺铜精矿回收率可提高0.91个百分点;硫精矿回收率可提高2.96个百分点,同时降低了石灰用量,取消了硫浮选前的加硫酸活化作业^[44]。

3.4 萤石抑制剂-二乙烯三胺五甲叉膦酸(DTPMP)

有人研发了一种萤石抑制剂-二乙烯三胺五甲叉膦酸(DTPMP)。单矿物、二元混合矿及实际矿物浮选试验结果表明,在中性pH下,以油酸钠(NaOL)作为捕收剂、低用量的DTPMP作为抑制剂,可实现萤石的反浮选分离^[45]。

3.5 酸化水玻璃和EM-318作抑制剂、EM-OL-3作捕收剂浮选萤石

研究者对萤石-方解石共生矿CaF₂含量31.09%、CaCO₃含量53.23%的矿样进行浮选试验,在原矿磨矿细度-0.074 mm粒级含量占75%,以酸化水玻璃和EM-318作抑制剂、EM-OL-3作捕收剂,采用两粗一扫八精工艺进行闭路浮选,最终得到CaF₂品位97.26%、回收率86.55%的萤石精矿^[46]。

3.6 抑制剂DKCS、FX-1、淀粉分别选择性抑制铁白云石、方解石和重晶石

对脉石矿物为铁白云石、方解石和重晶石的萤石进行回收试验,采用抑制剂DKCS、FX-1、淀粉分别选择性抑制铁白云石、方解石和重晶石,并采用改性油酸FH为萤石捕收剂,实现了萤石与脉石矿物的有效分离,闭路试验获得了 CaF_2 品位90.68%、回收率64.69%的萤石精矿^[47]。

3.7 水玻璃+ZN-P1作为钼和滑石分离剂

研究者对某高滑石型难选辉钼矿脱泥流程中钼损失量大、钼和滑石分离困难的问题,在脱泥工艺中添加一定的ZN-J1有效降低了辉钼矿在脱泥工段中的损失,以水玻璃+ZN-P1作为分离工艺的组合抑制剂,在原矿Mo品位0.116%、硫化钼占比83.53%、滑石相对含量14.0%的条件下,采用“脱泥—钼预浮选—再磨—钼与滑石分离”的工艺流程,全流程闭路试验得到了钼精矿钼品位47.68%、钼回收率75.41%的优良指标^[48]。

3.8 乙二胺四亚甲基磷酸(EDTMP)分离铜砷

研究者用乙二胺四亚甲基磷酸(EDTMP)在铜砷分离时作为一种砷黄铁矿抑制剂,通过单矿物浮选试验以及混合矿浮选试验验证了EDTMP的浮选性能,试验结果表明,使用EDTMP作为抑制剂,在pH为10且SIBX浓度为200 mg/L的条件下,可以有效抑制砷黄铁矿的上浮而几乎不影响黄铜矿^[49]。

3.9 黄原胶(XG)为絮凝剂絮凝氧化铜矿

研究者以黄原胶(XG)为絮凝剂,研究了其对氧化铜矿和石英的选择性絮凝沉降行为及作用机理。结果表明,在pH为4,XG浓度10 mg/L、 Cu^{2+} 浓度20 mg/L时,可获得氧化铜矿铜回收率91.81%、铜品位39.45%的良好效果^[50]。

3.10 木质素磺酸钙(CLS)作为赤铁矿/绿泥石浮选抑制剂

有人研究了木质素磺酸钙(CLS)作为赤铁矿/绿泥石浮选抑制剂的可行性,浮选试验结果证明,在pH=10、CLS用量为60 mg/L情况下能有效选择抑制绿泥石,但对赤铁矿的抑制效果不明显^[51]。

3.11 木质素磺酸钠对3种矿物(锂辉石、长石和石英)的浮选及分离行为的影响

研究者在pH为8~9的条件下,采用油酸/十二烷基三甲基氯化铵(即季铵)阴阳离子混合捕收剂,研究了木质素磺酸钠对3种矿物(锂辉石、长石和石英)

浮选及分离行为的影响,结果表明,木质素磺酸钠对3种矿物的抑制作用具有明显的选择性,是低碱度条件下锂辉石与脉石矿物浮选分离的有效抑制剂^[52]。

3.12 有机抑制剂糊精作为黄铁矿的抑制剂

研究者采用有机抑制剂糊精作为黄铁矿的抑制剂,研究结果表明,在弱碱性条件下,糊精单独作用时,对黄铁矿的抑制效果不佳,但加入钙离子后,糊精对黄铁矿的抑制作用显著增强^[53]。

3.13 抑制剂萘磺酸钠(2-NSS)抑制隐晶质石墨浮选

有人研究了抑制剂萘磺酸钠(2-NSS)对方铅矿、闪锌矿以及隐晶质石墨浮选行为的影响。结果表明,2-NSS对难浮碳质物石墨具有明显的抑制作用^[54]。

3.14 调整剂GY503作锂云母浮选抑制剂

研究者发现对样品 Li_2O 品位为0.276%,主要有价矿物为锂云母(锂白云母)进行浮选时,粗选十二胺、GY503、水玻璃的最佳用量分别为200、2 000和500 g/t,通过“一次粗选一次扫选两次精选”的浮选闭路流程,可获得 Li_2O 品位和回收率分别为1.46%和82.81%的锂云母精矿;对锂云母浮选精矿进一步开展了磁选提质试验,获得了 Li_2O 品位和回收率分别为2.02%和40.71%的磁选精矿^[55]。

3.15 BS001为调整剂,在油酸钠体系下实现了水镁石和蛇纹石的浮选分离

研究者针对水镁石和蛇纹石性质相近、分离困难的难题,通过以新型药剂BS001为调整剂,在油酸钠体系下实现了两者的浮选分离^[56]。

3.16 HS-1用于铜硫浮选抑制剂

研究者采用HS-1作为硫化矿铜硫分离浮选的选择性抑制剂,浮选试验结果表明,在矿浆pH=7、丁胺黑药用量9 mg/L、松醇油用量20 g/t的条件下,当HS-1用量为150 mg/L时可使黄铁矿回收率降低至20%以下,而黄铜矿回收率保持在85%以上^[57]。

3.17 抑制剂YS02和YS04可实现对方铅矿的有效抑制

研究者发现采用抑制剂YS02和YS04可实现对方铅矿的有效抑制,高选择性捕收剂BS09可获得铅品位合格的铜精矿。在磨矿细度—0.074 mm占比65%,选铜作业流程为一次粗选三次扫选,选铅作业流程为一次粗选三次扫选三次精选条件下获得铜品位24.63%、铜回收率81.05%的铜精矿,铅品位45.59%、铅回收率81.32%的铅精矿^[58]。

3.18 四聚磷酸钠和氯化钙作为组合抑制剂分离菱锌矿与白云石

有人通过浮选试验,系统研究了以油酸钠、十八胺、苯甲羟肟酸、水杨羟肟酸及其组合为捕收剂,四聚磷酸钠和氯化钙作为组合抑制剂的条件下,菱锌矿与白云石的浮选特性。结果表明,单一捕收剂体系中,菱锌矿与白云石难以有效分选;水杨羟肟酸和油酸钠的捕收剂组合具有良好的协同效应,四聚磷酸钠与氯化钙的抑制剂组合具有较高的选择性,可实现菱锌矿与白云石的高效分选^[59]。

3.19 羧甲基壳聚糖在弱碱性环境下对石英及钾长石浮选的抑制

研究者在新型二胺类捕收剂体系下通过纯矿物浮选探究了羧甲基壳聚糖在弱碱性环境下对石英及钾长石浮选的抑制效果。在pH=9、捕收剂DAM用量为20 mg/L的条件下,120 mg/L的羧甲基壳聚糖可对石英/钾长石体系中的石英产生有效抑制,此时回收率差异可达约52百分点,人工混合矿浮选结果也证明了羧甲基壳聚糖可有效分离石英和钾长石^[60]。

3.20 海藻酸钠-硫化钠组合抑制剂分离铜钼

有人进行了海藻酸钠-硫化钠组合抑制剂分离铜钼的试验研究。试验结果表明,以海藻酸钠+硫化钠为组合抑制剂,水玻璃和氟硅酸钠为调整剂、煤油为捕收剂,采用硫化钠+活性炭+再磨+硫化钠工艺对某铜钼混合精矿进行脱药处理后,1粗1扫4精闭路浮选工艺,可以获得钼品位为44.60%、钼回收率为94.84%的合格钼精矿^[61]。

3.21 离子液体MY进行磷石膏脱硅

研究者用离子液体MY进行磷石膏脱硅,试验结果表明,在矿浆pH值为7、MIBC用量为150 g/t、离子液体MY用量为150 g/t的条件下,采用1次反浮选工艺流程,得到的浮选精矿产率为83.24%、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 品位为93.35%、回收率96.34%, SiO_2 含量降低至1.94%^[62]。

3.22 NaClO 和 KMnO_4 单独使用以及组合使用对黄铜矿和黄铁矿浮选分离的影响

有人等研究了 NaClO 和 KMnO_4 单独使用以及组合使用对黄铜矿和黄铁矿浮选分离的影响。结果表明,在 NaClO 与 KMnO_4 质量比10:1、总质量浓度70 mg/L、矿浆pH=10、氧化时间3 min的条件下,黄铜矿回收率达到92%以上,黄铁矿回收率低于8%,较好地实现了黄铜矿与黄铁矿的选择性分离^[63]。

3.23 2-羟基膦酰基乙酸(HPAA)抑制蛇纹石

研究者使用2-羟基膦酰基乙酸(HPAA)来消除蛇纹石对黄铜矿浮选的负面影响。微浮选试验表明,蛇纹石带正电,黄铜矿带负电,由于静电吸引作用,蛇纹石细泥会吸附在黄铜矿的表面,从而抑制黄铜矿的浮选。加入HPAA后,黄铜矿的浮选回收率由47.85%提高到92.44%^[64]。

3.24 硫酸铜和活化剂KDH01作为复合活化剂活化金浮选

研究者发现,在磨矿细度为-0.074 mm占85%,矿浆pH自然状态,分散剂选用六偏磷酸钠、用量为300 g/t,活化剂选用硫酸铜和活化剂KDH01作为复合活化剂、用量分别为100 g/t和50 g/t,捕收剂选用丁基黄药、用量为200 g/t,起泡剂选用MIBC、用量为40 g/t的条件下,原矿通过“一次粗选两次扫选两次精选”,所有中矿均采用循序返回方式,扫选药剂用量依次按粗选药剂用量减半添加,精选不加药的全流程闭路试验,最终可获得金品位30.63 g/t、回收率86.28%的金精矿产品,尾矿中金品位降低至0.28 g/t^[65]。

3.25 可溶性淀粉为碳抑制剂

有人针对某复杂铅锌矿选矿所得锌精矿含碳量高的问题,进行了锌精矿降碳试验。采用可溶性淀粉为碳抑制剂,闭路试验获得了锌品位48.71%、含碳0.86%、锌回收率90.28%的锌精矿;与原工艺指标相比,在提高锌精矿品位及回收率的同时,碳含量降至1%以下^[66]。

3.26 聚(4-苯乙烯磺酸钠)(PSS)作为新型白云石抑制剂

研究者发现PSS可有效抑制钙镁离子对石英的活化。PSS能以化学吸附的形式吸附在活化石英表面,并阻碍NaOL在活化石英表面的吸附,从而实现活化石英的抑制^[67]。

3.27 有机大分子调整剂糊精、腐殖酸钠、阳离子瓜尔胶和DP115(改性聚丙烯酰胺有机大分子)

研究者研究了Z-200作捕收剂时有机大分子调整剂糊精、腐殖酸钠、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。单矿物浮选试验结果表明,有机大分子调整剂与Z-200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,Z-200先加时,糊精对方铅矿和闪锌矿浮选的抑制作用更强,对黄铜矿浮选的影响很小;腐

殖酸钠对黄铜矿、方铅矿和闪锌矿浮选的抑制作用不同程度减弱;阳离子瓜尔胶对闪锌矿浮选的抑制作用增强,对方铅矿浮选的抑制作用相当,低用量阳离子瓜尔胶对黄铜矿浮选的抑制作用更强,而较高用量时则对黄铜矿浮选的抑制作用相当;DP115对黄铜矿浮选的抑制作用减弱,低用量DP115对方铅矿和闪锌矿浮选的抑制作用更强,较高用量时则对方铅矿和闪锌矿浮选的抑制作用相当;糊精、腐殖酸钠、阳离子瓜尔胶和DP115对黄铁矿浮选的影响很小^[68]。

3.28 黄原胶对微细粒方解石具有选择性絮凝作用

针对高泥质氧化锌矿回收过程中,微细粒方解石导致氧化锌矿物难以高效浮选分离的问题,通过浮选试验、激光粒度分析、光学显微镜观测等手段,研究黄原胶对高泥质氧化锌矿浮选回收的影响与作用机理。结果表明,添加调整剂黄原胶可以有效消除微细粒方解石的不利影响,提高氧化锌精矿中的Zn品位,降低Ca含量,显著提高了氧化锌精矿的质量;硫化锌与氧化锌混合精矿中Zn品位达到26.44%、Zn回收率达到81.09%;黄原胶对微细粒方解石具有选择性絮凝作用,经黄原胶作用后其颗粒粒度(D_{90})由9.48 μm 增大至279.74 μm ,有效降低了微细粒方解石机械夹带进入浮选泡沫的可能性,同时,黄原胶分子中大量的丙酮酸基团与羟基也提高了絮凝颗粒的亲水性,对微细粒菱锌矿的颗粒尺寸无明显影响^[69]。

3.29 铜抑制剂BK510协同硫氢化钠的使用

研究者采用铜抑制剂BK510协同硫氢化钠的使用,BK345+煤油的组合使用,可提高铜钼矿物分选效率,进一步降低硫化钠的用量^[70]。

4 助磨剂及助滤剂

和2023年相比较,助磨剂和助滤剂的研发和使用又有了新发现。

4.1 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 与黄原胶(XG)混用做絮凝剂

基于金属离子配位理论,将 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 与黄原胶(XG)按一定比例混合制备 $\text{Fe(III)}\text{-XG}$ 配合物,采用沉降试验研究了 $\text{Fe(III)}\text{-XG}$ 对赤铁矿和石英的选择性絮凝行为。结果表明,黄原胶主要通过 C=O 与 Fe^{3+} 发生配位作用形成 $\text{Fe(III)}\text{-XG}$ 配合物,在 $\text{Fe(III)}\text{-XG}$ 作用下,赤铁矿颗粒形成较大粒径的絮体,沉降率达到91.50%,而石英颗粒相对分散,沉降率为39.96%^[71]。

4.2 淀粉接枝丙烯酰胺(SAM)作絮凝剂

研究者认为相较于聚丙烯酰胺(PAM)合成单体的毒性,淀粉接枝丙烯酰胺(SAM)合成的单体可降解

性好。为此,以高岭土为研究对象,系统对比了SAM与PAM对高岭土动态絮凝过程的影响。沉降试验和FBRM-PVM测试结果表明,PAM能够形成更多的+100 μm 大絮团,使得PAM具有更好的沉降效果;SAM形成的絮团更稳定,对细颗粒的絮凝效果更好^[72]。

4.3 超声预处理强化三乙醇胺助磨白云母

研究者发现,经超声预处理30 min的三乙醇胺作用后白云母超细磨产品的 d_{90} 和 d_{50} 分别减小了26.2 μm 和7.2 μm ,比表面积则增大了1 199 cm^2/g 。超声预处理可促进三乙醇胺在溶液中的电离程度,并使溶液中羟基的比例发生变化,使得三乙醇胺溶液的电导率增大了1 065 $\mu\text{S}/\text{cm}$,多聚水及二聚水内羟基的比例增大了15.66百分点,醇羟基的比例增大了1.15百分点,从而促进了三乙醇胺溶液中的多聚水及二聚水与白云母表面的水合作用及醇羟基在白云母表面的吸附。上述作用使白云母表面的 ζ 电位负向增大了7.588 2 mV,白云母粉体在料浆中更易分散,其超细磨产品的(001)等晶面衍射峰强度显著减小,(005)晶面发生宽化。当超声预处理三乙醇胺30 min时,白云母超细磨产品的晶粒尺寸和结晶度达到了最小值55.09%和37.41 nm,而微观应变和位错密度达到了最大值5.56%和0.71 nm^{-2} 。与未超声预处理时相比,白云母超细磨产品的晶粒尺寸和结晶度分别减小了3.69%和6.69 nm,微观应变和位错密度则分别增大了0.9%和0.2 nm^{-2} ,从而强化了三乙醇胺对白云母的助磨效果^[73]。

4.4 多元羧酸助磨剂(EGTA)优化菱镁矿的磨浮体系

研究者采用一种多元羧酸助磨剂(EGTA)优化菱镁矿的磨浮体系,并运用浮选、比表面积分析、Zeta电位与ICPOES及SEM-EDS检测手段研究了EGTA的作用机理。试验结果表明,添加500 g/t的EGTA可使磨矿产品74~38 μm 合格粒级产率提高6.6百分点,微细粒级-38 μm 产率降低2.0百分点;在助磨剂EGTA用量200 g/t、 $\text{pH}=10.5$ 、抑制剂STPP用量300 g/t、捕收剂NaOL用量700 g/t的条件下,经一次粗选可获得MgO品位47.1%、MgO回收率69.50%的精矿。与未添加助磨剂相比,精矿MgO品位提高了0.4百分点^[74]。

4.5 复合助磨剂S2(三乙醇胺、乙二醇、1,2-丙二醇的质量比为5:7:7)磨钢渣

研究者用复配的复合助磨剂S2(三乙醇胺、乙二醇、1,2-丙二醇的质量比为5:7:7)粉磨60 min的

粉磨产品比表面积为 $495\text{ m}^2/\text{kg}$, +45、+80 μm 粒级产率分别为8.7%、0.8%;养护3 d和28 d试件的抗压强度比未添加助磨剂情况下分提升53.10%、36.70%^[75]。

5 浮选药剂的结构与性能

2024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的地位,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)研究了3种不同结构的阳离子聚丙烯酰胺片段(EA、EMA、EAA)在高岭石表面的吸附

研究者采用密度泛函理论(DFT)研究了3种不同结构的阳离子聚丙烯酰胺片段(EA、EMA、EAA)在高岭石表面的吸附机理。通过Mulliken布局分析、电子密度差以及吸附原子态密度对吸附体系的成键性质和相互作用类型进行了分析。结果表明,三种阳离子聚丙烯酰胺片段在高岭石(001)Si—O端面吸附能均要大于其在高岭石(001)Al—O端面的吸附能,主要吸附在高岭石(001)Si—O端面,三种阳离子聚丙烯酰胺片段在高岭石表面的吸附能大小顺序为 $\text{EA} > \text{EAA} > \text{EMA}$,经过Mulliken电荷和态密度分析,三种阳离子聚丙烯酰胺片段在高岭石(001)Si—O端面的吸附主要为氢键^[76]。

5.2 密度泛函理论研究了脂肪酸电子结构与性能的关系

研究者为了从微观角度揭示脂肪酸捕收剂结构变化对其反应活性的影响,采用密度泛函理论研究了脂肪酸电子结构与性能的关系。研究表明,油酸分子和油酸根离子中氧原子有很强的反应活性,氧原子是油酸与氧化矿物表面作用的键合原子;油酸根离子的两个氧原子具有相近的化学活性,且在费米能级处的态密度大于油酸分子,使得油酸根离子的活性明显强于油酸分子;碳链长度和烃基不饱和度几乎不影响脂肪酸中氧原子的态密度,其对脂肪酸性能的影响不是通过羧基作用的;脂肪酸与常见金属阳离子的相互作用能与其溶度积常数降低的规律一致,两者存在较好的对应关系^[77]。

5.3 采用密度泛函理论计算方法研究钙离子络合物在2种矿物表面不同位点的吸附亲和性

以白云母、石英矿物为代表,通过浮选试验及Zeta电位测试研究 Ca^{2+} 在白云母、石英表面的吸附行为及对白云母、石英这2种矿物浮选分离行为的影响。采用密度泛函理论计算方法研究钙离子络合物在2种

矿物表面不同位点的吸附亲和性,揭示钙离子络合物在这2种矿物表面的吸附机理。研究结果表明,白云母对 Ca^{2+} 的吸附作用强于石英对 Ca^{2+} 的吸附作用,加入 $4 \times 10^{-5}\text{ mol/L Ca}^{2+}$ 可以将白云母的回收率提升至91.38%,而将石英的回收率降低至1.21%; Ca^{2+} 以 $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ 络合物的形式通过与矿物表面的 O_s 原子结合形成 Ca—O_s 键和氢键,稳定吸附于白云母和石英表面;络合物中Ca原子对AlOSi位点中 O_s 原子的吸附亲和性强于SiOH中 O_s 原子的吸附亲和性,因而, $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ 更倾向于吸附在白云母表面^[78]。

5.4 癸胺(DA)、十二胺(DDA)、十四胺(TDA)和十六胺(HDA)这4种不同疏水基碳链长度的表面活性

选取癸胺(DA)、十二胺(DDA)、十四胺(TDA)和十六胺(HDA)这4种不同疏水基碳链长度的表面活性剂作为研究对象;其次,以石英和赤铁矿作为目的矿物,利用单矿物浮选试验考察了疏水基碳链长度对药剂浮选性能的影响;最后,通过表面张力、接触角、泡沫性能测试分析了药剂临界胶束浓度、起泡能力、泡沫稳定性以及与矿物的吸附能力和疏水能力的变化。研究表明,随着疏水基碳链长度增加,药剂的捕收能力呈先增强后减弱的趋势,其中DDA和TDA对石英和赤铁矿的捕收能力更强;增长疏水基碳链降低了药剂的溶解性,从而导致其最佳浮选pH逐渐降低;随着疏水基碳链长度增加,药剂的临界胶束浓度和表面张力逐渐降低,但是降低幅度逐渐减小,因此,适当增加疏水基碳链长度有利于矿物颗粒与气泡发生黏附;与药剂作用后,矿物表面自由能降低,接触角均有不同程度增大,矿物表面疏水性增强,其中,DDA和TDA体系下矿物表面疏水性变化显著;增加疏水碳链长度和加入石英颗粒有助于提高药剂的起泡性能和泡沫稳定性;当疏水基碳链长度为12和14时,药剂具有适宜的溶解性、疏水性、起泡性和泡沫稳定性,有利于有用矿物的浮选分离^[79]。

5.5 不同接枝率及分子量的PMA-EDTC,并探讨接枝率及分子量对其铜铅分离过程中方铅矿抑制行为

本研究合成了不同接枝率及分子量的PMA-EDTC,并探讨接枝率及分子量对其铜铅分离过程中方铅矿抑制行为的影响,并深入研究PMA-EDTC在方铅矿表面的作用机理。结果表明,PMA-EDTC相对分子质量和接枝率对方铅矿的抑制效果具有显著影响。PMA-EDTC相对分子质量与方铅矿的抑制效

果呈正比。PMA-EDTC不同接枝率进行的测试中, PMA-EDTC的抑铅性能并不与接枝率呈正向增长趋势; 吸附量测试也证明接枝率的大小与PMA-EDTC在方铅矿表面的吸附量并不成正比, 15%接枝率的PMA-EDTC在方铅矿表面的吸附量要高于10%及20%接枝率的PMA-EDTC。进一步利用TOF-SIMS等表征方法研究了PMA-EDTC的抑铅机理, 结果表明, PMA-EDTC能够与方铅矿表面的铅离子发生结合, 生成 $\text{CHC}_6\text{O}_3\text{H}_9\text{N}_2\text{CS}_2\text{Pb}$ 等物质, 从而达到抑制方铅矿上浮的目的^[80]。

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, 2024年仍旧是重要研究方向。

6.1 硫氰酸钾为络合剂, 十六烷基三甲基溴化铵(CTMAB)为浮选剂, 建立了一种三元离子缔合体系分离富集微量 Fe^{3+} 的新方法

研究者利用硫氰酸钾为络合剂, 十六烷基三甲基溴化铵(CTMAB)为浮选剂, 建立了一种三元离子缔合体系分离富集微量 Fe^{3+} 的新方法。分别考察了离子价态、硫氰酸钾溶液用量、CTMAB溶液用量、酸度、盐、放置时间、干扰离子对浮选率的影响, 结果表明, 当体系中 Fe^{3+} 的含量为50 μg 时, 控制体系 $\text{pH}=2$, 加入0.6 mL 0.2 mol/L KSCN溶液, 0.6 mL 0.01 mol/L CTMAB溶液, 震荡静置后, Fe^{3+} 与硫氰酸钾、CTMAB反应生成的离子缔合物定量浮选至溶液上层, 而 Zn^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 等常见金属离子仍留在水相中, 从而实现了 Fe^{3+} 与这些离子的定量分离。方法成功应用于合成水样中 Fe^{3+} 的定量分离, 浮选回收率在93.4%~99.1%^[81]。

6.2 煤气化渣作为吸附剂, 处理矿山废水中的正丁基钠黄药

研究者以煤气化渣作为吸附剂, 处理矿山废水中的正丁基钠黄药, 通过X射线荧光分析仪、扫描电镜、傅里叶红外光谱仪以及比表面积和孔径分析对煤气化粗渣(CGCS)和煤气化细渣(CGFS)的成分、结构特征和表面性质进行了表征, 结果表明, CGFS有着更发达的孔径结构和更大的比表面积。吸附试验研究表明, 两种煤气化渣对正丁基钠黄药的吸附均符合Langmuir吸附等温线模型, 是自发放热的过程, 该吸附过程符合准二级动力学模型, 吸附速率常数 $\text{CGFS}>\text{CGCS}$ 。其中, CGFS对正丁基钠黄药的吸附性能优于CGCS, 其最大吸附量可达181.95 mg/g ^[82]。

6.3 二乙基二硫代氨基甲酸钠(DDTC)为沉淀剂, 十二烷基三甲基溴化铵(DTAB)为捕收剂, 分步沉淀浮选分离去除废水中的 Pb^{2+} 和 Zn^{2+}

研究者采用沉淀浮选法, 以二乙基二硫代氨基甲酸钠(DDTC)为沉淀剂, 十二烷基三甲基溴化铵(DTAB)为捕收剂, 分步沉淀浮选分离去除废水中的 Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 。结果表明, 在废水 $\text{pH}=5$ 的条件下, 20 mg/L 的DDTC与10 mg/L Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 反应30 min后, 去除率分别为97%和1%, Pb^{2+} 首先以沉淀形式从溶液中析出, Zn^{2+} 主要为离子态存在于溶液中。以10 mg/L 的DTAB为捕收剂进行浮选分离, $\text{pH}>5$ 时 Pb^{2+} 浮选去除率高于97%; 随后采用70 mg/L 的DDTC, 在 $\text{pH}=5$ 的条件下反应10 min使 Zn^{2+} 转化为沉淀后, 再加入10 mg/L 的DTAB进行浮选去除, $\text{pH}>4$ 时 Zn^{2+} 浮选去除率高于99%^[83]。

7 结论

1) 硫化矿浮选剂的混合用药经久不衰。随着钼捕收剂中性油的使用受限, 他的替代品混合捕收剂开始涌现开始出现。

2) 氧化矿捕收剂复配与改性, 是氧化矿浮选捕收剂的研究重点。地沟油做氧化矿捕收剂的研究还在继续。

3) 越来越多的小分子有机物和无机盐作为浮选调整剂在实验室和选厂广泛使用, 给选矿厂提高指标提供了新途径。

4) 助滤剂和助磨剂的研发为降低生产成本提供新途径。

5) 浮选药剂的结构与性能研究以密度泛函理论(DFT)计算报道为主, 计算内容日趋广泛。

6) 选矿厂废水处理仍是矿山生产建设的重要课题, 提高回水利用率是选厂废水处理的重要研究工作。

7) 2024年选矿药剂的研究, 新药剂的合成越来越多, 但主要处在实验室阶段, 希望在不久的将来看到工业化成果。

8) 选矿药剂的研究与使用, 知识产权的保护有待于新法规的产生。

参考文献

- [1] 刘泽瑞, 罗鹏, 丁鸣援, 等. 非洲某锌铜矿铜锌分离药剂优化试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(3): 122-127.
LIU Zerui, LUO Peng, DING Mingyuan, et al. Study on optimization of Cu-Zn separation reagents for a

- Zn-Cu mine in Africa[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(3): 122-127.
- [2] 姜美光, 梁泽跃, 吕向文, 等. 云南某低品位斑岩型铜矿浮选回收试验研究[J]. 矿冶, 2024, 33(1): 46-51.
JIANG Meiguang, LIANG Zeyue, LYU Xiangwen, et al. Experimental study on flotation recovery of a low-grade porphyry copper ore in Yunnan[J]. Mining and Metallurgy, 2024, 33(1): 46-51.
- [3] 王洋, 赵彦杰, 左可胜等. 电位调控快速浮选技术在铅锌矿中的应用实践[J]. 矿冶, 2024, 33(2): 217-224.
WANG Yang, ZHAO Yanjie, ZUO Kesheng, et al. Application of potential-controlled rapid flotation technology in lead-zinc mine[J]. Mining and Metallurgy, 2024, 33(2): 217-224.
- [4] 张帅, 王宇斌, 雷大士, 等. 气溶胶化丁基黄药强化黄铁矿浮选回收机理研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(1): 53-60.
ZHANG Shuai, WANG Yubin, LEI Dashi, et al. Research on the mechanism of aerosol gelated butyl xanthate enhanced pyrite flotation recovery[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(1): 53-60.
- [5] 江锋, 何帅, 唐鸿鹄, 等. 改性黑药类捕收剂强化浮选玉龙铅锌矿中伴生银的无碱工艺研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(1): 67-73.
JIANG Feng, HE Shuai, TANG Honghu, et al. A study on the alkali free process of enhanced flotation of associated silver in Yulong lead zinc mine with modified black drug collectors[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(1): 67-73.
- [6] 王黎明, 吴华. 西藏某氧化铜铅锌矿混合浮选工艺[J]. 矿产综合利用, 2024(3): 193-199.
WANG Liming, WU Hua. Mixed flotation process of a copper oxide lead-zinc ore in Xizang[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024(3): 193-199.
- [7] 张锦仙, 马原琳, 杨林, 等. 云南某难选氧硫混合铜矿石的新型药剂浮选试验研究[J]. 金属矿山, 2024, 53(5): 258-263.
ZHANG Jingxian, MA Yuanlin, YANG Lin, et al. Experimental study on flotation of a refractory oxygen-sulfur mixed copper ore in Yunnan with a new reagent[J]. Metal Mine, 2024, 53(5): 258-263.
- [8] 代献仁, 胡晓星. Mirador铜矿低碱铜硫分离试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(7): 93-101.
DAI Xianren, HU Xiaoxing. Study on separation of copper and sulfur under low lime conditions in Mirador copper mine[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(7): 93-101.
- [9] 于志超, 孙志健, 王立刚, 等. 高滑石型难选钼矿选矿新技术研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(7): 102-109.
YU Zhichao, SUN Zhijian, WANG Ligang, et al. Research on new beneficiation technology of high talc refractory molybdenum ore[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(7): 102-109.
- [10] 陈燕清, 雷满奇, 廖幸锦. 广西某含镉铅锌尾矿综合回收利用研究[J]. 矿产综合利用, 2024(4): 111-117.
CHEN Yanqing, LEI Manqi, LIAO Xingjin. Comprehensive recovery and utilization of a cadmium-containing lead-zinc tailings in Guangxi[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024(4): 111-117.
- [11] 赵玉卿, 刘炆, 张培青, 等. 青海某铜铅锌多金属矿选矿工艺研究[J]. 黄金, 2024, 45(5): 34-39.
ZHAO Yuqing, LIU Dao, ZHANG Peiqing, et al. Research on the ore-dressing technology of a copper-lead-zinc polymetallic mine in Qinghai[J]. Gold, 2024, 45(5): 34-39.
- [12] 尹政道, 王涵, 申培伦, 等. 云南某铜炉渣中铜深度浮选回收试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(12): 63-71.
YIN Zhengdao, WANG Han, SHEN Peilun, et al. Experimental study on deep recovery of copper slag flotation[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(12): 63-71.
- [13] 付广钦, 周晓彤, 尚兴科, 等. 某钨多金属矿伴生萤石浮选试验研究[J]. 非金属矿, 2024, 47(1): 67-69, 73.
FU Guangqin, ZHOU Xiaotong, SHANG Xingke, et al. Experimental study on flotation of fluorite associated with a certain tungsten polymetallic mine[J]. Non-Metallic Mines, 2024, 47(1): 67-69, 73.
- [14] 陈佳俊, 刘昌荣, 汪初雷, 等. 浮选剂对磷石膏制备高强石膏性能的影响[J]. 非金属矿, 2024, 47(1): 70-73.
CHEN Jiajun, LIU Changrong, WANG Chulei, et al. The effect of flotation agents on the preparation of high-strength gypsum from phosphogypsum[J]. Non-Metallic Mines, 2024, 47(1): 70-73.
- [15] 王烨, 吕昊子, 胡真, 等. 强化苄基胂酸浮选细粒锡石的研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(3): 38-46.
WANG Ye, LYU Haozi, HU Zhen, et al. Research on enhanced flotation of fine-grained cassiterite by benzyl arsonic acid(BAA)[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(3): 38-46.
- [16] 孙文豪, 蒋昊, 徐艳玲, 等. 组合羟肟酸下方解石和萤石中浮选氟碳铈矿的分离机理[J]. 中国有色金属学报, 2024, 34(2): 611-624.
SUN Wenhao, JIANG Hao, XU Yanling, et al. Separation mechanism of bastnaesite flotation from caland fluorite with combined hydroxamic acid[J]. The

- Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2024, 34(2): 611-624.
- [17] 贾路繁, 罗溪梅, 王云帆, 等. 阴阳离子组合捕收剂对微细粒赤铁矿与石英浮选分离的研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(1): 33-39.
- JIA Lufan, LUO Ximei, WANG Yunfan, et al. Study on the flotation separation of fine-grained hematite and quartz using a combination of anionic and cationic collectors[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(1): 33-39.
- [18] 池汝安, 王楠, 郭文达, 等. 卤代改性月桂酸捕收剂 WN-01 对氟碳铈矿的捕收性能研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(1): 74-81.
- CHI Ru'an, WANG Nan, GUO Wenda, et al. Research on the collection performance of halogenated modified lauric acid collector WN-01 for fluorocarbonite[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(1): 74-81.
- [19] 冯章标, 阳华玲, 王长福. 某高钙钨尾矿反-正浮选工艺回收钨的研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(1): 89-94.
- FENG Zhangbiao, YANG Hualing, WANG Changfu. Research on the recovery of rubidium from high calcium tungsten tailings by reverse positive flotation process[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(1): 89-94.
- [20] 梁毅, 姚旗升, 谢鸿辉, 等. 苯丙烯基羟肟酸捕收剂浮选某萤石矿试验研究[J]. 非金属矿, 2022, 45(2): 63-67.
- LIANG Yi, YAO Qisheng, XIE Honghui, et al. Experimental study on the flotation of a fluorite mine using a phenylpropenyl hydroxamic acid collector[J]. Non-Metallic Mines, 2022, 45(2): 63-67.
- [21] 刘兴华. 某低品位高钙萤石矿浮选试验研究[J]. 非金属矿, 2022, 45(2): 63-67.
- LIU Xinghua. Research on flotation experiment of low grade high calcium fluorite mine[J]. Non-Metallic Mines, 2022, 45(2): 63-67.
- [22] 李贤, 吴承优, 罗良飞. 袁家村微细粒难选磁赤混合铁矿石提铁降硅试验研究[J]. 金属矿山, 2024, 53(1): 197-201.
- LI Xian, WU Chengyou, LUO Liangfei. Yuanjiacun fine-grained refractory magnetic red mixed iron ore experimental study on iron and silicon removal[J]. Metal Mine, 2024, 53(1): 197-201.
- [23] 薛铭, 印万忠. 低温组合药剂对菱镁矿与白云石浮选分离影响[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(4): 124-135.
- XUE Ming, YIN Wanzhong. The effect of low-temperature combination reagents on the flotation separation of magnesite and dolomite[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(4): 124-135.
- [24] 崔振坤, 汪泰, 李汉文, 等. 新型高效浮选捕收剂在伟晶岩锂矿浮选中的应用[J]. 矿冶工程, 2024, 44(2): 47-51.
- CUI Zhenkun, WANG Tai, LI Hanwen, et al. Application of new high-efficient collector in flotation of pegmatite lithium ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024, 44(2): 47-51.
- [25] 张革利, 葛英勇, 陆泽通, 等. 湖北某磷石膏浮选提纯试验研究[J]. 矿冶工程, 2024, 44(2): 63-65.
- ZHANG Geli, GE Yingyong, LU Zetong, et al. Experimental study on flotation and purification of a phosphogypsum in Hubei province[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024, 44(2): 63-65.
- [26] 黄恩铭, 宋宝旭, 南楠, 等. 新型脂肪酸类捕收剂在鞍山式铁矿低温浮选脱硅中的试验研究[J]. 矿产综合利用, 2024(2): 1-6.
- HUANG Enming, SONG Baoxu, NAN Nan, et al. Experimental study on desilication of Anshan iron ore by low temperature flotation with a new type of fatty acid collector[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024(2): 1-6.
- [27] 李杰, 朱一民, 刘杰, 等. 辽宁某铁矿低温捕收剂浮选工艺试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(5): 180-189.
- LI Jie, ZHU Yimin, LIU Jie, et al. Experimental study on flotation process of low temperature collector for an iron ore in Liaoning province[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(5): 180-189.
- [28] 莫广得, 廖幸锦, 陈建华. 广西某尾矿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 Guangde, LIAO Xingjin, CHEN Jianhua. Study on flotation of fine-grained cassiterite from a tailings in Guangxi[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(6): 70-77.
- [29] 王承旺, 何守兴, 李兴实, 等. 双亲矿物结构噁二唑硫酮捕收剂疏水化孔雀石浮选分离理论[J]. 金属矿山, 2024, 53(7): 112-118.
- WANG Chengwang, HE Shouxing, LI Xingshi, et al. Flotation separation theory of hydrophobic malachite with amphiphilic mineral structure and oxadiazole thione collector[J]. Metal Mine, 2024, 53(7): 112-118.
- [30] 黄发兰. 典型氧化铜矿物浮选行为及含铜矿物浮选试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(7): 48-54.
- HUANG Falan. Study on flotation behavior of typical copper oxide minerals and flotation test of copper-containing minerals[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(7): 48-54.
- [31] 李雨晴, 廖宁宁, 姚鑫, 等. 细泥尾矿中浮选回收锂云母试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(7): 79-84.

- LI Yuqing, LIAO Ningning, YAO Xin, et al. Experimental study on flotation recovery of lithium mica in fine mud tailings[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(7): 79-84.
- [32] 付广钦,周晓彤,邓丽红,等. 湖南某多金属矿钨锡同步浮选回收试验研究[J]. 矿冶工程, 2022, 42(2): 66-69.
- FU Guangqin, ZHOU Xiaotong, DENG Lihong, et al. Synchronized recovery of tungsten and tin resources from polymetallic ore in Hunan[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2022, 42(2): 66-69.
- [33] 姜远婷,胡萌,张臻悦,等. 地沟油脂脂肪酸捕收剂对异极矿的浮选机制研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(8): 142-150.
- JIANG Yuanling, HU Meng, ZHANG Zhenyue, et al. Flotation mechanism of fatty acid collector separated from gutter oil on hemimorphite[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(8): 142-150.
- [34] 张晓亮,朱阳戈,赵志强,等. 异硬脂酸钠体系下菱锌矿与方解石反浮选分离行为及机理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(8): 151-160.
- ZHANG Xiaoliang, ZHU Yangge, ZHAO Zhiqiang, et al. Study on the reverse flotation separation behavior and mechanism of smithsonite and calcite using sodium isooctadecanoate as a collector[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(8): 151-160.
- [35] 张辉,孟庆波,王洪岭,等. 复杂多组分锂矿综合回收试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(9): 65-71.
- ZHANG Hui, MENG Qingbo, WANG Hongling, et al. Experimental study on comprehensive recovery of a complex multi-component lithium ore[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(9): 65-71.
- [36] 袁颖杰,于晓东,牛福生,等. 十四烷基三甲基氯化铵乳酸捕收剂对赤铁矿反浮选性能及机理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(9): 97-104.
- YUAN Yingjie, YU Xiaodong, NIU Fusheng, et al. Study on the reverse flotation performance and mechanism of tetradecyltrimethylammonium chloride/lactic acid collector for hematite[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(9): 97-104.
- [37] 贺宇龙,赵增武,贾艳,等. 复合捕收剂浮选回收白云鄂博某尾矿中的铌及其机理分析[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(5): 40-46.
- HE Yulong, ZHAO Zengwu, JIA Yan, et al. Recovery of niobium from a tailings of the Bayan Obo mine by flotation with a composite collector and its mechanism[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(5): 40-46.
- [38] 王翔,赵增武,贾艳,等. 内蒙古某尾矿回收稀土试验及吸附动力学研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(2): 104-110.
- WANG Xiang, ZHAO Zengwu, JIA Yan, et al. Rare earth recovery experiment and adsorption kinetics of a tailings in Inner Mongolia[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(2): 104-110.
- [39] 朱一民,丛璐,陈培宇,等. 新型捕收剂DPY-4反浮选酒泉铁矿焙烧后的磁选精矿[J]. 金属矿山, 2024, 53(11): 81-87.
- ZHU Yimin, CONG Lu, CHEN Peiyu, et al. Reverse flotation of roasted magnetic concentrate of Jiuquan iron mine with new collector DPY-4[J]. Metal Mine, 2024, 53(11): 81-87.
- [40] 杨俊龙,郭艳华,马立成,等. 氧化铅锌矿浮选尾矿回收氧化锌技术攻关[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(12): 84-90.
- YANG Junlong, GUO Yanhua, MA Licheng, et al. Research on recovery technology of zinc oxide from flotation tailings of lead-zinc oxide mine[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(12): 84-90.
- [41] 汤家焰,赵芳,何嘉宁,等. 2-乙基己基磷酸酯对萤石和方解石浮选行为的影响及机理[J]. 金属矿山, 2024, 53(12): 125-131.
- TANG Jiayan, ZHAO Fang, HE Jianing, et al. The influence and mechanism of 2-ethylhexyl phosphate on the flotation of fluorite and calcite[J]. Metal Mine, 2024, 53(12): 125-131.
- [42] 潘伟晓,徐伟,田言,等. 云南某钙镁质胶磷矿反浮选工艺研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(3): 47-54.
- PAN Weixiao, XU Wei, TIAN Yan, et al. Study on reverse flotation process of a calcium-magnesium phosphate rock in Yunnan[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(3): 47-54.
- [43] 胡尚军,谢贤,李博琦,等. 贵州某硫化铅锌矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(3): 68-75.
- HU Shangjun, XIE Xian, LI Boqi, et al. Experimental study on mineral processing of a lead-zinc sulfide ore in Guizhou[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(3): 68-75.
- [44] 李超,凌石生. 内蒙古某铜矿低碱度铜硫分离浮选试验研究[J]. 矿冶, 2024, 33(1): 39-45.
- LI Chao, LING Shisheng. Experimental study on separation and flotation of low alkalinity copper and sulfur from a copper mine in Inner Mongolia[J]. Mining and Metallurgy, 2024, 33(1): 39-45.
- [45] 吴望妮,陶黎明,范瑞华,等. DTPMP在萤石和方解石浮选分离中的应用及机理[J]. 中国有色金属学报, 2024, 34(2): 598-610.

- WU Wangni, TAO Liming, FAN Ruihua, et al. Application and mechanism of DTPMP in flotation separation of fluorite and calcite[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2024, 34(2): 598-610.
- [46] 李维斯, 严伟平, 曾小波, 等. 某萤石-方解石共生矿浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2024, 44(1): 68-71.
- LI Weisi, YAN Weiping, ZENG Xiaobo, et al. Experimental study on flotation of fluorite-calcite symbiotic ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024, 44(1): 68-71.
- [47] 刘春光, 李宏静, 王丽明, 等. 包头某铁矿尾矿综合回收萤石试验研究[J]. 矿冶工程, 2024, 44(1): 84-88.
- LIU Chunguang, LI Hongjing, WANG Liming, et al. Experimental study on recovery of fluorite from tailings of Baotou iron mine[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024, 44(1): 84-88.
- [48] 吴奕彤, 焦芬, 魏茜, 等. 低品位高滑石型钼矿高效分离工艺研究[J]. 矿冶工程, 2024, 44(2): 43-46.
- WU Yitong, JIAO Fen, WEI Qian, et al. Efficient separation process for low-grade high-talc molybdenum ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024, 44(2): 43-46.
- [49] 葛瑞琦, 杨丙桥, 罗惠华, 等. 乙二胺四亚甲基磷酸对铜砷分离效果评价及机理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(6): 124-131.
- GE Ruiqi, YANG Bingqiao, LUO Huihua, et al. Study on the evaluation and mechanism of the effect of ethylenediamine tetramethylene phosphoric acid in the Cu-As separation[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(6): 124-131.
- [50] 方淑华, 滕青, 杨志超, 等. 黄原胶选择性絮凝分离微细粒氧化铜矿和石英[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(6): 132-144.
- FANG Shuhua, TENG Qing, YANG Zhichao, et al. Selective flocculation of xanthan gum separates fine-grained copper oxide ore and quartz[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(6): 132-144.
- [51] 郭风芳, 朱智超, 张鹏鹏, 等. 新型抑制剂木质素磺酸钙在赤铁矿和绿泥石浮选分离中的应用[J]. 金属矿山, 2024, 53(7): 87-93.
- GUO Fengfang, ZHU Zhichao, ZHANG Pengpeng, et al. Application of a new depressant calcium lignosulfonate in flotation separation of hematite and chlorite[J]. Metal Mine, 2024, 53(7): 87-93.
- [52] 崔曼, 胡阳, 邓朝政, 等. 木质素磺酸钠在锂辉石与脉石矿物低碱度浮选分离中的作用[J]. 中南大学学报, 2024, 55(6): 2074-2083.
- CUI Man, HU Yang, DENG Chaozheng, et al. Role of sodium lignosulfonate in flotation separation of spodumene and gangue minerals at low basicity[J]. Journal of Central South University, 2024, 55(6): 2074-2083.
- [53] 刘润清, 翟启林, 文晓飞, 等. 低碱条件下糊精与钙离子协同作用对闪锌矿与黄铁矿浮选分离的影响[J]. 中南大学学报, 2024, 55(7): 2447-2455.
- LIU Runqing, ZHAI Qilin, WEN Xiaofei, et al. Effect of dextrin and calcium ion interaction on flotation separation of sphalerite and pyrite under low alkali conditions[J]. Journal of Central South University, 2024, 55(7): 2447-2455.
- [54] 曹正强, 刘润清, 李杰, 等. 萘磺酸钠对硫化铅锌矿中碳质物的选择性抑制[J]. 中国有色金属学报, 2024, 34(6): 2059-2071.
- CAO Zhengqiang, LIU Runqing, LI Jie, et al. Selective inhibition of sodium naphthalenesulfonate on carbon in lead-zinc sulphide ore[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2024, 34(6): 2059-2071.
- [55] 吕昊子, 王成行, 李强, 等. 江西省某尾矿回收锂云母试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(3): 89-94.
- LYU Haozi, WANG Chenghang, LI Qiang, et al. Experimental study on recovery of lithium mica from tailings in Jiangxi province[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(3): 89-94.
- [56] 薛斐嘉, 顾畔, 姚金, 等. 新型调整剂BS001对水镁石和蛇纹石浮选分离的影响[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(8): 131-141.
- XUE Feijia, GU Pan, YAO Jin, et al. Effect of the new regulator BS001 on flotation separation of brucite and serpentine[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(8): 131-141.
- [57] 王智聪, 徐宝金, 黄丽亚, 等. 抑制剂HS-1在铜硫分离中的作用机理研究[J]. 金属矿山, 2024, 53(8): 106-111.
- WANG Zhicong, XU Baojin, HUANG Liya, et al. Study on the mechanism of depressant HS-1 in the separation of copper and sulfur[J]. Metal Mine, 2024, 53(8): 106-111.
- [58] 孙文祥. 西藏某次生铜矿铜铅分离试验研究[J]. 黄金, 2024, 45(8): 75-80.
- SUN Wenxiang. Experimental study on separation of copper and lead from a secondary copper deposit in Xizang[J]. Gold, 2024, 45(8): 75-80.
- [59] 白俊智, 陈逸凡, 陈享享, 等. 组合药剂提升菱锌矿与白云石分选效果的机理研究[J]. 金属矿山, 2024, 53(9): 85-91.
- BAI Junzhi, CHEN Yifan, CHEN Xiangxiang, et al. Study on the mechanism of improving separation effect of magnesite and dolomite by combined reagent[J]. Metal Mine, 2024, 53(9): 85-91.

- [60] 许辉, 张鹏鹏, 胡义明, 等. 弱碱环境下羧甲基壳聚糖对石英/钾长石浮选抑制性能的影响[J]. 金属矿山, 2024, 53(10): 98-101.
- XU Hui, ZHANG Pengpeng, HU Yiming, et al. Effect of carboxymethyl chitosan on flotation and inhibition of quartz feldspar[J]. Metal Mine, 2024, 53(10): 98-101.
- [61] 张鹏羽, 陈伟, 袁水平, 等. 海藻酸钠-硫化钠在铜钼混合精矿浮选分离中的抑制研究[J]. 金属矿山, 2024, 53(10): 98-101.
- ZHANG Pengyu, CHEN Wei, ZHONG Shuiping, et al. Inhibition of sodium alginate-sodium sulfide in the separation of copper-molybdenum mixed concentrates[J]. Metal Mine, 2024, 53(10): 98-101.
- [62] 严强, 梅光军, 任浏祯, 等. 离子液体反浮选磷石膏脱硅工艺及机理研究[J]. 金属矿山, 2024, 53(10): 125-131.
- YAN Qiang, MEI Guangjun, REN Liuyi, et al. Study on the process and mechanism of silica removal from phosphogypsum by ion liquid reverse flotation[J]. Metal Mine, 2024, 53(10): 125-131.
- [63] 龙逸云, 印万忠, 龙恺云. NaClO 和 KMnO_4 协同氧化对黄铜矿与黄铁矿浮选分离的影响及其机理[J]. 矿冶工程, 2024, 44(5): 51-56.
- LONG Yiyun, YIN Wanzhong, LONG Kaiyun. Effect of NaClO and KMnO_4 synergistic on the flotation separation of chalcopyrite and pyrite and its mechanism[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024, 44(5): 51-56.
- [64] 姚冬冬, 焦芬, 贾文浩, 等. 2-羟基膦酰基乙酸消除蛇纹石对黄铜矿浮选不利影响[J]. 矿产综合利用, 2024(5): 1-8.
- YAO Dongdong, JIAO Fen, JIA Wenhao, et al. 2-hydroxyphosphonoacetic acid to eliminate the adverse effect of serpentine on chalcopyrite flotation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024(5): 1-8.
- [65] 卢意恺, 陈伟华, 柳林. 河南某微细粒复杂难选金矿回收金试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(9): 49-56.
- LU Yikai, CHEN Weihua, LIU Lin. Experimental study on recovery of gold from a complex and refractory gold mine in Henan province[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(9): 49-56.
- [66] 梁治安. 某复杂铅锌矿锌精矿降碳试验研究[J]. 矿冶工程, 2024, 44(2): 71-73.
- LIANG Zhi'an. Experimental study on reducing carbon content in zinc concentrate of complex lead-zinc ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024, 44(2): 71-73.
- [67] 吴康, 杨丙桥, 葛瑞奇, 等. 聚(4-苯乙烯磺酸钠)对活化石英的浮选性能及机理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(10): 29-37.
- WU Kang, YANG Bingqiao, GE Ruiqi, et al. Study on flotation performance and mechanism of poly(sodium 4-styrenesulfonate) on activated quartz[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(10): 29-37.
- [68] 谭欣, 孙传尧. Z-200 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), 2024(10): 20-28.
- TAN Xin, SUN Chuanyao. Effect of adding order of organic regulators on flotation of typical sulfide minerals using Z-200 as collector[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(10): 20-28.
- [69] 张政权, 覃文庆, 焦芬, 等. 黄原胶在氧化锌矿浮选中的作用机理及应用[J]. 中南大学学报, 2024, 55(11): 4164-4174.
- ZHANG Zhengquan, QIN Wenqing, JIAO Fen, et al. Mechanism and application of xanthan gum in zinc flotation[J]. Journal of Central South University, 2024, 55(11): 4164-4174.
- [70] 周利华. 西藏巨龙含钼铜精矿综合回收钼试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(11): 123-130.
- ZHOU Lihua. Experimental study on comprehensive recovery of molybdenum from a molybdenum bearing copper concentrate in Xizang Julong[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(11): 123-130.
- [71] 韩英棋, 杨志超, 滕青, 等. Fe(III) -XG 配合物选择性絮凝微细粒赤铁矿与石英及其机理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(1): 116-125.
- HAN Yingqi, YANG Zhichao, TENG Qing, et al. Fe(III) -XG complex selective flocculation of fine-grained hematite and quartz and its mechanism[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(1): 116-125.
- [72] 高博, 刘新辉, 姚雷, 等. 淀粉接枝丙烯酰胺与聚丙烯酰胺对高岭土动态絮凝差异的研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(1): 24-32.
- GAO Bo, LIU Xinhui, YAO Lei, et al. A study on the differences in dynamic flocculation of kaolin by starch grafted acrylamide and polyacrylamide[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(1): 24-32.
- [73] 田家怡, 赵鑫, 彭祥玉, 等. 超声预处理强化三乙醇胺对白云母助磨效果的作用机理[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(7): 62-70.
- TIAN Jiayi, ZHAO Xin, PENG Xiangyu, et al. Strengthening mechanism of ultrasonic pretreatment on the grinding-aid effect of triethanolamine on muscovite[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing

- Section), 2024(7): 62-70.
- [74] 刘文宝, 郑杰, 王子芊, 等. 多元羧酸助磨剂强化低品级菱镁矿石分选行为及机制研究[J]. 金属矿山, 2024, 53(10): 85-91.
- LIU Wenbao, ZHENG Jie, WANG Ziqian, et al. Study on the enhanced flotation behavior and mechanism of low-grade magnesite ore with multi-carboxylic acid grinding aid[J]. Metal Mine, 2024, 53(10): 85-91.
- [75] 刘淑贤, 黄宏, 徐平安, 等. 助磨剂对钢渣基胶凝材料性能的影响[J]. 金属矿山, 2024, 53(11): 269-275.
- LIU Shuxian, HUANG Hong, XU Ping'an, et al. Effect of grinding aids on the properties of steel slag-based cementitious[J]. Metal Mine, 2024, 53(11): 269-275.
- [76] 刘连平, 刘崇峻, 李伟涛, 等. 阳离子型絮凝剂片段在高岭石表面的吸附机理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(3): 128-134.
- LIU Lianping, LIU Chongjun, LI Weitao, et al. Study on adsorption mechanism of cationic flocculant fragment on kaolinite surface[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(3): 128-134.
- [77] 李显波, 张覃, 柯宝霖, 等. 脂肪酸捕收剂分子结构与性能的密度泛函理论研究[J]. 矿产综合利用, 2024(3): 167-173.
- LI Xianbo, ZHANG Qin, KE Baolin, et al. Density functional theory of molecular structure and properties of fatty acid collectors[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024(3): 167-173.
- [78] 刘艳, 徐芮, 孙伟, 等. 钙离子对白云母与石英选择性分离影响的量子化学研究[J]. 中南大学学报, 2024, 55(11): 4151-4163.
- LIU Yan, XU Rui, SUN Wei, et al. Quantum chemical study on the effect of calcium ions on the selective separation of musite and quartz[J]. Journal of Central South University, 2024, 55(11): 4151-4163.
- [79] 郭颖, 刘文刚, 刘文宝, 等. 疏水基碳链长度对胺类表面活性剂浮选性能的影响[J]. 中南大学学报, 2024, 55(11): 4175-4183.
- GUO Ying, LIU Wengang, LIU Wenbao, et al. Effect of hydrophobic carbon chain length on the flotation performance amine surfactants[J]. Journal of Central South University, 2024, 55(11): 4175-4183.
- [80] 曾红, 卢通, 孙传尧, 等. PMA-EDTC接枝率及分子量对铜铅分离过程中方铅矿抑制行为的影响[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(12): 139-147.
- ZENG Hong, LU Tong, SUN Chuanyao, et al. The influence of PMA-EDTC grafting rate and molecular weight on the inhibitory behavior of galena in copper lead separation process[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(12): 139-147.
- [81] 左国强, 牛海云, 刘改云, 等. 硫氰酸钾-十六烷基三甲基溴化铵-水体系浮选分离 Fe^{3+} [J]. 有色金属(选矿部分), 2024(1): 126-131.
- ZUO Guoqiang, NIU Haiyun, LIU Gaiyun, et al. The flotation separation of Fe(III) with potassium thiocyanate-CTMAB-water system[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2024(1): 126-131.
- [82] 陈嘉懿, 牛纪达, 吕剑桥, 等. 煤气化渣对矿山废水中黄药的吸附性能研究[J]. 矿产综合利用, 2024(2): 190-200.
- CHEN Jiayi, NIU Jida, LYU Jianqiao, et al. Study on the adsorption properties of coal gasification slag to xanthate in mine wastewater[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024(2): 190-200.
- [83] 杨星, 张素红, 高晨, 等. 分步沉淀浮选分离废水中铅锌离子的研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2024(7): 134-144.
- YANG Xing, ZHANG Suhong, GAO Chen, et al. Study on separation of lead and zinc ions from wastewater by stepwise precipitation flotation[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(7): 134-144.

(本文编辑 刘水红)