

基于苯甲羟肟酸的三元组合捕收剂浮选分离钛铁矿与橄榄石机理研究

李金辉, 邵延海, 刘承杰, 李睿, 陈红琴, 孟晓

昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093

中图分类号: TD923.13 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2024)03-0057-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2024.03.006

摘要 钛铁矿与橄榄石表面金属位点性质高度相似而难以分离。采用三氯化铝(Al)、苯甲羟肟酸(BHA)、油酸钠(NaOL)组装新型三元组合捕收剂(ABN),用于浮选分离钛铁矿和橄榄石。单矿物浮选实验表明,在Al、BHA和NaOL的摩尔比为2:3:1、pH值=8的条件下,钛铁矿回收率达90.4%,橄榄石回收率为25.9%。相比单一BHA,钛铁矿回收率提升了58.17个百分点。表面Zeta电位测定和XPS分析表明,ABN在Ti(OH)、Fe(OH)位点发生化学吸附导致其表面电位正移了47.32 mV,在橄榄石表面只有少量电性吸附。粉末接触角测量结果显示,ABN使钛铁矿与橄榄石的表面接触角差异由1.01°提升至20.41°。ABN在钛铁矿表面的选择性吸附,增大了其与橄榄石的润湿性差异,利于实现两种矿物的浮选分离。

关键词 钛铁矿; 橄榄石; 浮选分离; 组合捕收剂

引言

钛因其可塑性强、强度高和耐腐蚀等特点而被广泛应用于汽车、航天航空、军事和医学等领域^[1-3]。钛铁矿是钛在自然界的主要存在形式,浮选作为其主要分离方法,表面改性剂的使用必不可少^[3-9]。脂肪酸类捕收剂为应用最早的钛铁矿捕收剂,因捕收性能强但选择性较差而难以单独使用。羟肟酸类捕收剂有良好的选择性而被广泛应用,但其捕收性能弱和经济成本高的问题难以解决。研究表明,药剂组合使用可协同提高浮选分离效果^[9-11]。SOL(脂肪酸盐和磺酸盐的混合物)与十二烷基胺(DDA)组合可以在锂云母表面发生共吸附增强疏水性,浮选效果优于药剂的单独使用^[12]。苯甲羟肟酸(BHA)与DDA产生正协同,在锂辉石表面的吸附量增加,促进了锂辉石与长石的浮选分离^[13]。Pb²⁺、Fe³⁺、Al³⁺等离子可与苯甲羟肟酸(BHA)形成配合物,在氧化矿中存在正协同作用而提高浮选效果^[14-16]。在pH=6的条件下将NaOL与苯乙稀膦酸(SPA)以3:1的比例制成混合捕收剂浮选钛铁矿,NaOL更容易产生致密的吸附结构,SPA具有与更多金属位点相互作用的能力,两者互补实现对钛铁矿

的正协同作用^[17]。

钛铁矿与其伴生的主要脉石矿物(橄榄石或辉石)表面存在Fe、Ti、Ca、Mg等金属位点而表现出相似的浮选特性。采用传统脂肪酸捕收剂难以分离,采用羟肟酸类捕收剂捕收性能偏弱且用量较高。研究表明,铅离子可以通过活化作用强化捕收剂在钛铁矿表面的吸附^[18]。而以往报道中,钛铁矿和橄榄石的分离都需在酸性条件下添加抑制剂进行表面改性,或使用草酸进行表面预处理^[19-20]。硝酸铅-羟肟酸复合捕收剂体系已用于钛铁矿浮选实践,但存在环境污染和药剂用量高的问题。

与Pb相比,Al具有优良的环境友好性,Al-BHA有较低的LUMO能级并且化学活性较高,对钛铁矿的选择性更强,但捕收能力弱于Pb-BHA^[21,22]。有研究将n(Pb):n(BHA):n(NaOL)=240:120:1按顺序混合制成新组合捕收剂PBN,在pH=9的条件下浮选分离白钨矿和萤石,与Pb-BHA相比,PBN拥有更多的活性组分种类,并且降低了20%Pb和BHA的用量^[23]。因此,本研究首次在Al-BHA引入脂肪酸类捕收剂,延长疏水基团碳链并增加活性组分种类。探明Al-BHA-NaOL组合捕收剂(ABN)在钛铁矿和橄榄石

收稿日期: 2024-05-29

基金项目: 云南省重大科技专项计划(202302AB080012)

作者简介: 李金辉(1998—),男,硕士研究生,研究方向浮选理论与综合资源利用, E-mail: 1250067043@qq.com。

通信作者: 邵延海(1978—),男,副教授, E-mail: shaoyanhai@kust.edu.cn。

表面作用机理,以期实现两者的绿色高效分离。

1 实验

1.1 材料

本研究中采用的钛铁矿和镁橄榄石样品均来自中国四川省攀枝花市。钛铁矿样品的纯度为 95%, 镁橄榄石的纯度为 98%, 均满足实验需求。其样品的化学多元分析结果列于表 1 中。

表 1 钛铁矿和橄榄石单矿物的主要化学成分 /%
Table 1 Chemical multielement analysis of ilmenite and olivine

样品	TiO ₂	TFe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
钛铁矿	50.12	25.36	1.86	0.21	0.09	0.56
橄榄石	0.02	8.47	43.52	0.04	47.23	0.12

实验所用 NaOL、BHA、AlCl₃ 均为分析级试剂, 购自上海 Macklin Biochemical 公司。

1.2 微型浮选实验

采用 XFG5-35 型悬挂槽式浮选机和体积为 40 mL 的 Plexigla 槽进行单一矿物浮选试验, 设定转速为 1 700 r/min。将 2 g 单矿物粉末样品置于装有 38 mL 去离子水的槽中, 搅拌 2min 后加入 H₂SO₄ 和 NaOH 调节 pH 并再次搅拌 2 min。然后, 加入捕收剂, 搅拌 3 min 后手动刮泡 5 min。最后, 对精矿和尾矿进行过滤、干燥、称重, 计算浮选回收率。

1.3 Zeta 电位分析

使用 Zetasizer Pro (Malvern Zetasizer, UK) 仪器对使用浮选试剂处理前后的钛铁矿和橄榄石样品进行 Zeta 电位测量。钛铁矿的折射率为 2.7, 橄榄石的折射率为 2.6。将 0.03 g 粒径小于 17 μm 的矿物样品加入到含有 40 mL 1 mmol/L KCl 的烧杯中。搅拌 1 min 并通过 NaOH 或 H₂SO₄ 将悬浮液调整至所需 pH 值。然后, 加入预先调配好的浮选试剂, 搅拌 5 min。最后, 静置 10 min 后取上清液进行 Zeta 电位测量, 记录至少三次测量结果并取平均值。

1.4 XPS 分析

使用扫描 XPS 微探针系统 (PHI5000 Versaprobe III XPS, ULVAC-PHI, Japan) 对试剂处理前后的两种矿物样品进行 XPS 测量。其 X 射线源为单色化 AlKα 源 (Mono AlKα)、能量 1 486.6 eV、电压 15 kV、束流 4.5 mA, 分析室真空度为 ≤4.78×10⁻⁶ Pa。在 pH=8 的条件下, 采用与浮选实验相同的方式加入浮选试剂。搅拌 5 min 后过滤并用去离子水冲洗三次, 置于真空干燥箱 (40 °C) 中干燥后取得粉末样品进行 XPS 测量。

1.5 粉末接触角测量

通过张力仪 K100(KRÜSS, GER)采用 Washburn 方法测量粉末接触角。样品制备: 将 2 g 矿石样品置于烧杯中, 加入 40 ml 去离子水后搅拌 2 min。根据微浮选实验条件调节矿浆 pH 值, 加入捕收剂搅拌 3 min。最后将样品过滤并干燥 (25 °C 的恒温真空烘箱) 后用于测量。通过公式 1~3 计算样品表面接触角^[24]:

$$m^2 = \frac{C\rho^2\sigma}{\eta}t \quad (1)$$

$$k = \frac{C\rho^2\sigma\cos\theta}{\eta} \quad (2)$$

$$\theta = \arccos \frac{k\eta}{C\rho^2\sigma} \quad (3)$$

式中, m 为毛细管力作用下管内上升液体的质量 (g), C 为粉末毛细管常数 (mm⁵), ρ 为液体的密度 (g/mL), σ 为液体的表面张力 (m N/m), η 为液体的黏度 (mPa·s), t 为时间 (s), k 为 m^2 对时间 t 作直线的斜率, θ 为接触角 (°)。

2 结果与讨论

2.1 捕收剂浓度和矿浆 pH 对浮选效果的影响

如图 1 所示, 当 pH=8、BHA 浓度为 2.0×10⁻⁴ mol/L 时, 单独使用 BHA 钛铁矿的回收率为 36.27%, 使用 Al-BHA 钛铁矿的回收率为 77.92%, 而 ABN 可取得 94.44% 的回收率, ABN 在低用量下即可取得传统体系无法取得的浮选回收效果。

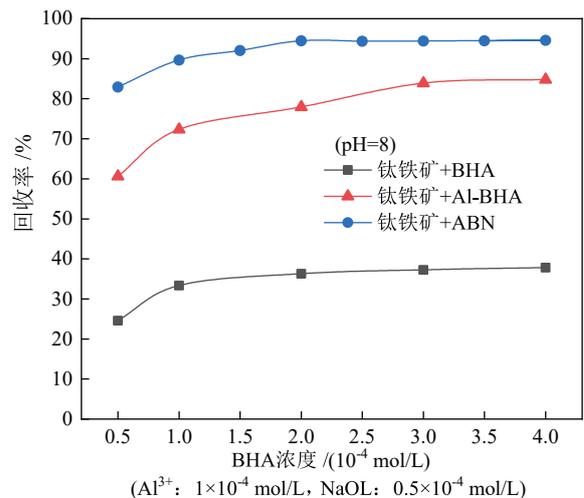


图 1 捕收剂用量对钛铁矿回收率的影响

Fig. 1 Effect of collector dosage on the recovery rate of ilmenite

脂肪酸类捕收剂有捕收性能强、选择性弱的特点。因此, NaOL 的引入在提升组合捕收剂的捕收性能的同时, 会使选择性降低。NaOL 浓度对浮选效果的影响如图 2 所示。当 NaOL 浓度过低时, 药剂的捕收性

能偏弱。NaOL 浓度过高则会导致药剂选择性下降,因为过量的 OL 离子直接吸附于橄榄石表面,而不能很好分离两种矿物。当 NaOL 浓度为 0.5×10^{-4} mol/L 时,钛铁矿回收率为 90.4%,橄榄石回收率为 25.9%。在高效回收钛铁矿的同时,兼具良好的选择性以实现二者分离。

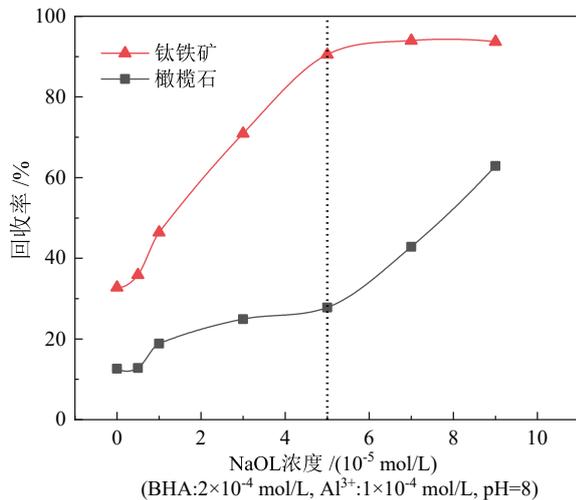


图2 NaOL 浓度对浮选回收率的影响
Fig. 2 Effect of NaOL concentration on flotation recovery

图3显示了矿浆 pH 对回收率的影响,在弱酸性条件下,由于钛铁矿表面溶解,活性位点减少,导致 ABN 在钛铁矿表面吸附减弱。在弱碱性矿浆环境中,钛铁矿表面暴露出的 Fe 位点在水化作用下部分羟基化形成 Fe-OH 结构,ABN 可对其选择性吸附,展现出优良的选择性和捕收性。随着 pH 的升高,ABN 也会在橄榄石表面吸附导致选择性下降,钛铁矿和橄榄石分离效果变差。因此,ABN 在钛铁矿浮选中的最佳浓度为 5×10^{-5} mol/L ($n(\text{Al}^{3+}) : n(\text{BHA}) : n(\text{NaOL}) = 2 : 3 : 1$),最佳浮选 pH 为 8。

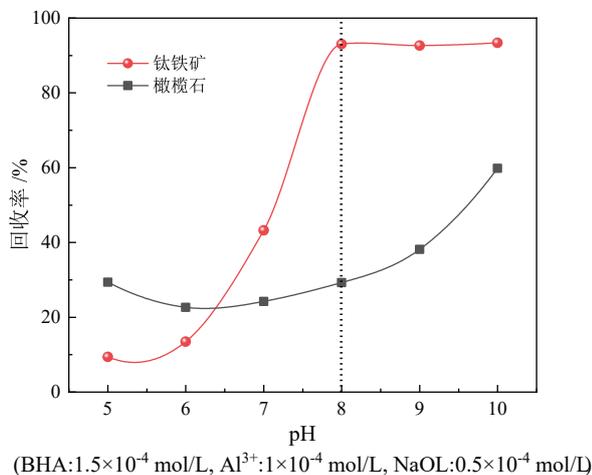


图3 pH 对浮选回收率的影响
Fig. 3 Effect of pH on flotation recovery

2.2 Zeta 电位分析

通常浮选试剂在矿物表面的吸附决定了矿物的表面电位,图4显示了不同 pH 条件下,试剂处理前后的两种矿物的 Zeta 电位结果。

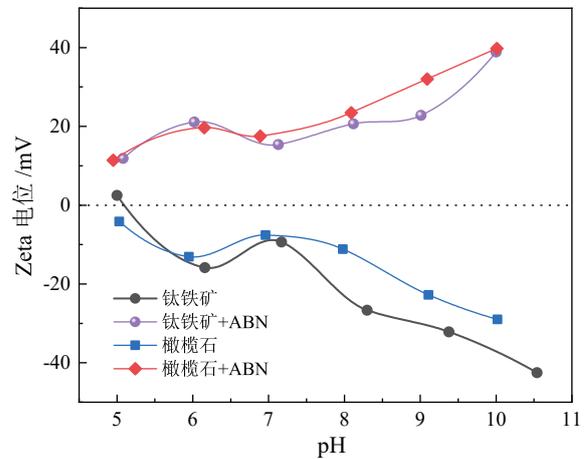


图4 钛铁矿与橄榄石在 ABN 作用前后的表面 Zeta 电位
Fig. 4 Surface Zeta potential of ilmenite and olivine before and after ABN treatment

由图4可以看出,纯钛铁矿的等电点 (IEP) 约为 5.3,纯橄榄石的等电点在 5 以下,与文献报道一致^[25-26]。在浮选试剂 ABN 加入后,两种矿物的 Zeta 电位都发生了正偏移。在 pH=5~7 时,两种矿物的偏移量都相对较小,ABN 在矿物表面只有少量吸附。在大约 pH=8 时,钛铁矿和橄榄石的 Zeta 电位分别是 -26.69 mV 和 -11.2 mV。在 ABN 处理后钛铁矿的 Zeta 电位发生了 47.32 mV 的正偏移,而橄榄石的偏移量为 34.64 mV。表明 ABN 在钛铁矿表面的吸附要比橄榄石更强。当 pH=9~10 时,钛铁矿和橄榄石的 Zeta 电位都发生了正偏移,且偏移量相近。此时 ABN 同时在两种矿物表面吸附,导致其选择性下降,验证了微浮选实验结果。

2.3 XPS 分析

钛铁矿和橄榄石药剂处理前后的 XPS 全谱如图5所示,表2总结了4个样品经 XPS 分析得到的表面元素浓度。纯钛铁矿样品没有发现明显的 N 污染,而经过 ABN 处理后的钛铁矿样品在 400 eV 处出现了 N 1s 峰,来自含有 BHA 的吸附物。纯钛铁矿中 Al 2p 含量为 2.96%,为钛铁矿在自然风化的时候引入的 Al 元素。而经过 ABN 试剂处理之后,钛铁矿表面的 Al 2p 含量增加到 3.56%,表明在钛铁矿表面存在 Al^{3+} 的吸附。在 484.8 eV 处观察到 C 1s 的谱峰,在 ABN 处理过后 C 含量由 22.18% 增加到 25.06%,这是由于 BHA 与 NaOL 的非极性基团在样品表面。进一步验证了浮选试剂在钛铁矿表面吸附。

ABN 处理后的橄榄石 XPS 全谱中,没有明显的新峰出现且表面元素含量变化较小。其中,Al 2p 含

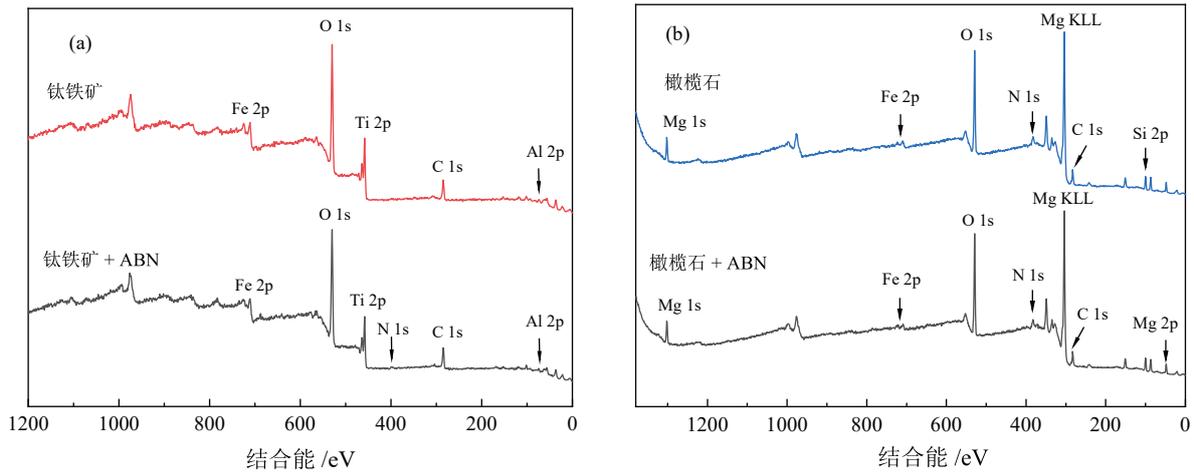


图 5 样品经 ABN 处理前后的 XPS 全谱图 (a—钛铁矿; b—橄榄石)
 Fig. 5 XPS full spectrum of the samples before and after ABN treatment (a—ilmenite; b—Olivine)

表 2 钛铁矿和橄榄石表面元素浓度 /%
 Table 2 Relative concentration of elements on the ilmenite and olivine surface

Samples	C 1s	O 1s	Fe 2p	Ti 2p	Al 2p	N 1s
钛铁矿	22.18	57.62	6.99	10.12	2.96	—
钛铁矿 + ABN	25.06	54.91	5.76	9.03	3.56	1.67

Samples	C 1s	O 1s	Fe 2p	Mg 2p	Al 2p	N 1s	Si 2p
橄榄石	18.4	52.9	1.7	15.1	0.2	1.6	10.1
橄榄石 + ABN	18.5	53.3	1.1	15.3	0.6	1.4	9.6

量增加了 0.2 百分点, O 1s 增加了 0.4 百分点。表明 ABN 在橄榄石表面只有少量吸附, 以 Al 氢氧化物为主。

图 6(a) 显示了钛铁矿表面的 Fe 2p 轨道 XPS 谱峰, 在经过 ABN 试剂的处理后, 钛铁矿的两个 Fe 2p_{3/2} 谱峰分别位移了 0.39 eV 和 0.53 eV, 这表明 ABN 与钛铁矿表面的 Fe 位点发生了强烈的化学反应, 钛铁矿表面的 Fe 位点表现为更饱和的状态。图 6(b)

为试剂处理前后钛铁矿表面 Ti 2p 轨道的高分辨率图谱。在经过 ABN 处理后, Ti 2p_{3/2} 的两个谱峰分别偏移了 0.26 eV 和 0.2 eV, 表明 ABN 也会在钛铁矿表面的 Ti 位点发生化学吸附。

2.4 粉末接触角测量

测量样品表面接触角可直观判断其表面润湿性变化。与浮选实验相同的环境制得测试样品, 使用无水乙醇为润湿液测得样品毛细管常数后, 使用去离子水测量得到粉末接触角结果显示于图 7。由公式(2)所得, 曲线斜率越大接触角越小, 曲线斜率越小接触角越大。计算结果显示, 纯钛铁矿与镁橄榄石的接触角分别为 42.21°和 41.20°。这表明两种矿物的润湿性非常接近, 天然可浮性较差且疏水性相似。经过 ABN 试剂处理后的钛铁矿与镁橄榄石接触角分别上升到了 51.86°和 72.27°, ABN 试剂的作用增大了两种矿物的疏水性差异并极大地提高了钛铁矿的可浮性, 验证了浮选结果。

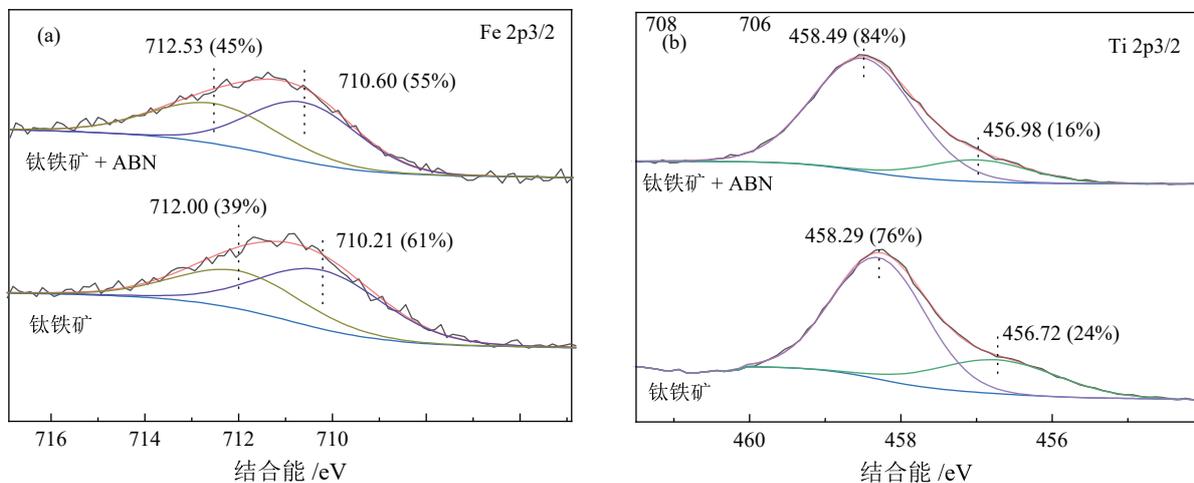


图 6 钛铁矿经 ABN 处理前后表面的 Fe 2p 与 Ti 2p 精细谱
 Fig. 6 Fine spectra of Fe 2p and Ti 2p on the surface of ilmenite before and after ABN treatment

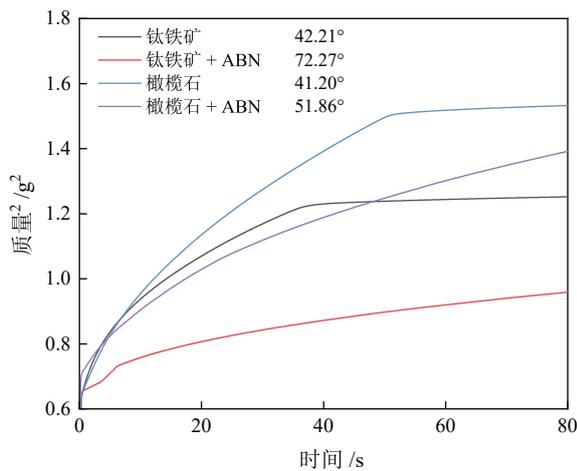


图7 样品添加 ABN 前后的粉末接触角

Fig. 7 Contact angle of sample powder with and without ABN was measured

3 结论

具有环境友好性的 Al 离子被证实实在 BHA 捕收剂浮选钛铁矿时有良好的活化作用,但因为捕收性能不足而无法实现对钛铁矿的有效回收利用。经过一系列实验研究发现,少量 NaOL 的加入可形成新的优势组分,在兼具高选择性的同时大幅提高了对钛铁矿的回收效果。

(1) 与单独使用 BHA 和 Al-BHA 相比,三氯化铝 (Al)、苯甲羟肟酸 (BHA)、油酸钠 (NaOL) 以 2 : 3 : 1 的摩尔比预组装,在弱碱环境下保证其选择性的同时获得了更高的浮选回收率,并节约了 50% 以上的 BHA 用量。

(2) Zeta 电位结果显示,在 pH=8~9 的条件下,ABN 优先吸附于钛铁矿表面,强碱性环境会使 ABN 对橄榄石吸附而降低选择性。

(3) XPS 分析结果显示,ABN 在钛铁矿表面 Ti、Fe 位点发生化学吸附,Fe 位点的吸附更加强烈。在橄榄石表面只有较为微弱的吸附,未观察到化学吸附。

(4) 粉末接触角测量结果表明,ABN 可极大地增强钛铁矿表面疏水性,增大其与橄榄石的润湿性差异。

参考文献:

[1] CHEN D S, SHENG ZHAO L S, QI T, et al. Desilication from titanium-vanadium slag by alkaline leaching[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2013, 23 (10): 3076-3082.

[2] AKBAR MEHDILO, MEHDI IRANNAJAD, BAHRAM REZAI. Effect of chemical composition and crystal chemistry on the zeta potential of ilmenite[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2013, 428: 111-119.

[3] RITESH PRAKASH, SUBRATA KUMAR MAJUMDER, ANUGRAH SINGH, et al. Flotation technique: Its mechanisms and design parameters[J]. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification, 2018, 127: 249-270.

[4] 张松, 文书明, 刘建, 等. 微细粒钛铁矿选矿技术研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(1): 131-137.

ZHANG S, WEN S M, LIU J, et al. Research on mineral processing status of fine ilmenite[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2019, 39(1): 131-137.

[5] 余攀, 丁湛, 李春龙, 等. 我国钛铁矿矿石浮选药剂研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2020, 40(2): 82-87.

YU P, DING Z, LI C L, et al. Research progress on flotation agents of ilmenite in china[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2020, 40(2): 82-87.

[6] ABHYARTHANA PATTANAIK, R. VENUGOPAL, Investigation of Adsorption mechanism of reagents (surfactants) system and its applicability in iron ore flotation - an overview[J]. Colloid and Interface Science Communications, 2018, 25: 41-65

[7] 高虎林, 刘建, 罗德强, 等. 钛铁矿和辉石浮选分离试验研究及抑制剂作用机理[J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(1): 61-67+4.

GAO H L, LIU J, LUO D Q, et al. Experimental study on flotation separation of ilmenite and pyroxene and action mechanism of depressants[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2022, 42(1): 61-67+4.

[8] ZHAI J H, CHEN P, SUN W, et al. A review of mineral processing of ilmenite by flotation[J]. Minerals Engineering, 2020, 157: 106558.

[9] LUO Y J, ZHANG G F, MAI Q Y, et al. Flotation separation of smithsonite from calcite using depressant sodium alginate and mixed cationic/anionic collectors[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2020, 586: 124227.

[10] LI Y J, XIA W C, PENG Y L, et al. A novel coal tar-based collector for effective flotation cleaning of low rank coal[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 273: 123172.

[11] XU L, JIAO F, JIA W H, et al. Selective flotation separation of spodumene from feldspar using mixed anionic/nonionic collector[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2020, 594: 124605.

[12] WEI Q, FENG L Q, DONG L Y, et al. Selective co-adsorption mechanism of a new mixed collector on the flotation separation of lepidolite from quartz[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2021, 612: 125973.

[13] SHU K Q, XU L H, WU H Q, et al. In situ adsorption of mixed collectors BHA/DDA in spodumene-feldspar flotation system[J]. Separation and Purification Technology, 2020, 251: 117325.

[14] TIAN M J, ZHANG C Y, HAN H S, et al. Effects of the preassembly of benzohydroxamic acid with Fe (III) ions on its adsorption on cassiterite surface[J]. Minerals Engineering, 2018, 127: 32-41.

[15] FANG S, XU L H, WU H Q, et al. Adsorption of Pb(II)/benzohydroxamic acid collector complexes for ilmenite flotation[J]. Minerals Engineering, 2018, 126: 16-23.

[16] XIAO W, SHAO Y H, YU J Y, et al. Activation of ilmenite flotation by Al³⁺ in the benzohydroxamic acid (BHA) system[J]. Separation and Purification Technology, 2022, 299: 121770.

[17] YANG S Y, XU Y L, LIU C, et al. Investigations on the synergistic effect of combined NaOI/SPA collector in ilmenite flotation[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2021, 628: 127627.

[18] 肖玮, 邵延海, 尉佳怡, 等. 钛铁矿浮选药剂研究现状及展望[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(5): 160-167.

XIAO W, SHAO Y H, YU J Y, et al. Research status and prospect of ilmenite flotation reagents[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41(5): 160-167.

[19] YANG Y H, XU L H, TIAN J, et al. Selective flotation of ilmenite from olivine using the acidified water glass as depressant[J].

- International Journal of Mineral Processing, 2016, 156: 73–79.
- [20] PARISA SEMSARI PARAPARI, MEHDI IRANNAJAD, AKBAR MEHDILO. Effect of acid surface dissolution pretreatment on the selective flotation of ilmenite from olivine and pyroxene[J]. International Journal of Mineral Processing, 2017, 167: 49–60.
- [21] XIAO W, SHAO Y H, YU J Y, et al. Adsorption differences and mechanism of Pb-BHA and Al-BHA in the flotation separation of ilmenite and titanite[J]. Minerals Engineering, 2023, 197: 108072.
- [22] LI J H, SHAO Y H, XIAO W, et al. Novel insights into the microstructure of Al-BHA on the surface of ilmenite[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2023, 677: 132341.
- [23] WANG J J, GAO Z Y, HAN H S, et al. Impact of NaOL as an accelerator on the selective separation of scheelite from fluorite using a novel self-assembled Pb-BHA-NaOL collector system[J]. Applied Surface Science, 2021, 537: 147778.
- [24] S. P. MAGALHÃES DA SILVA, J. M. OLIVEIRA, Cork powders wettability by the Washburn capillary rise method[J]. Powder Technology, 2021, 387: 16–21.
- [25] YUAN Z T, ZHAO X, MENG Q Y, et al. Adsorption mode of sodium citrate for achieving effective flotation separation of ilmenite from titanite[J]. Minerals Engineering, 2021, 171: 107086.
- [26] FANG S, XU L H, WU H Q, et al. Influence of aluminum-sodium silicate on olivine flotation with sodium oleate[J]. Minerals Engineering, 2019, 143: 106008.

Study on the Mechanism of Flotation Separation of Ilmenite and Olivine by Ternary Combination Collector based on Benzohydroxamic Acid

LI Jinhui, SHAO Yanhai, LIU Chengjie, LI Rui, CHEN Hongqin, MENG Xiao

School of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China

Abstract: The properties of metal sites on the surface of ilmenite and olivine are highly similar and are considered difficult to separate. A new ternary combined collector (ABN) was assembled using aluminum trichloride (Al), benzohydroxamic acid (BHA), and sodium oleate (NaOL) for the flotation separation of ilmenite and olivine. Single mineral flotation experiments showed that ilmenite was recovered at 90.4% and olivine at 25.9% under the condition of pH = 8 and a molar ratio of Al, BHA, and NaOL at 2 : 3 : 1. In comparison with the BHA system, the recovery rate of ilmenite was increased by 58.17%. Surface Zeta potential measurement and XPS analysis revealed that the chemical adsorption of ABN at Ti (OH) and Fe (OH) sites resulted in a positive shift of the surface potential by 47.32 mV, with only a small amount of electrical adsorption on the surface of olivine. The results of powder contact angle measurement indicated that ABN increased the surface contact angle difference between ilmenite and olivine from 1.01° to 20.41°. The selective adsorption of ABN on the surface of ilmenite led to an increased wettability difference between ilmenite and olivine, thereby facilitating the flotation separation of the two minerals.

Keywords: ilmenite; olivine; flotation separation; combined collectors

引用格式: 李金辉, 邵延海, 刘承杰, 李睿, 陈红琴, 孟晓. 基于苯甲羟肟酸的三元组合捕收剂浮选分离钛铁矿与橄榄石机理研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(3): 57–62.

LI Jinhui, SHAO Yanhai, LIU Chengjie, LI Rui, CHEN Hongqin, MENG Xiao. Study on the mechanism of flotation separation of ilmenite and olivine by ternary combination collector based on benzohydroxamic acid[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(3): 57–62.

投稿网址: <http://kcbhyly.xml-journal.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn



通信作者简介:

邵延海, 中南大学矿物加工工程博士, 昆明理工大学副教授。研究方向为选矿工艺及理论、资源综合利用。主持国家自然科学基金青年基金、云南省科技重大专项、云南省应用基础研究项目等 10 余项。发表 10 余篇 SCI、多篇中文核心期刊论文, 获得多项研究专利。曾获 2021 年中国有色金属工业科学技术一等奖, 2012 年中国有色金属工业科学技术二等奖, 2021 年度中国有色金属十大进展等奖项。