



阴离子-非离子组合药剂对一水硬铝石 浮选和泡沫稳定性的影响

蒋 昊, 彭伟文, 杨沁红, 赵 琛

(中南大学 资源加工与生物工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 采用单矿物浮选实验, 接触角实验, 两相、三相泡沫动态稳定性实验, 研究组合药剂油酸钠(NaOL)-辛醇(OCT)对一水硬铝石浮选行为的影响规律及其作用机理。通过测定组合药剂与一水硬铝石作用前后溶液的 TOC 含量, 分析组合药剂作用下一水硬铝石三相泡沫稳定性的原因。结果表明: 在矿浆 pH=7.0 条件下, 组合药剂与单一 NaOL 浮选一水硬铝石结果相比, NaOL 物质的量在组合药剂总物质的量中所占的摩尔分数 $x(\text{NaOL}) \geq 40\%$ 时有利于提高一水硬铝石的浮选回收率。其中, $x(\text{NaOL})=40\%$ 和 $x(\text{NaOL})=60\%$ 的组合药剂因通过形成更稳定的三相泡沫而提高一水硬铝石的浮选回收率; $x(\text{NaOL})=80\%$ 的组合药剂不仅能增强浮选泡沫稳定性, 还能增大矿物表面疏水性从而提高一水硬铝石浮选回收率。

关键词: 一水硬铝石; 组合药剂; 浮选; 泡沫

文章编号: 1004-0609(2017)-08-1708-07

中图分类号: TD923

文献标志码: A

阴离子捕收剂是浮选工艺中一类十分重要的捕收剂, 常用的阴离子捕收剂主要有脂肪酸及其皂类如油酸钠、氧化石蜡皂等^[1], 其本身具有起泡性。由于它们都含有化学性质活泼的羧基, 所以能够作为大多数矿物的捕收剂, 这些矿物主要是氧化矿物和其他一些非硫化矿物^[2]。在铝土矿正浮选工艺中, 油酸钠等阴离子类药剂是应用最成熟、最有效的捕收剂^[3]。虽然阴离子捕收剂具有应用广泛, 价格便宜, 易于实现浮选工业化等优点, 但是这类药剂在铝土矿浮选工艺中仍然存在诸多技术难题。药剂用量是其中最突出的问题, 药剂用量小, 浮选泡沫极不稳定, 氧化矿物浮选回收率较低; 而药剂用量大则会导致泡沫发粘, 泡沫过稳定, 脉石矿物夹带严重, 选择性差并且对精矿后续处理造成很大困难^[4]。

正确处理阴离子捕收剂用量与浮选泡沫之间的关系是解决上述技术问题的关键。组合用药不仅能够在浮选过程中产生适当稳定的泡沫, 还能大大降低药剂用量, 增强浮选的选择性。张晶^[5]研究 Tween80 在油酸钠浮选一水硬铝石的作用时发现, 加入少量比例的 Tween80 增强了三相泡沫的稳定性, 因此在油酸钠适量减少时也能使一水硬铝石的浮选回收率得到提高。动电位测试, 接触角测试, 红外光谱测试, 吸附量测

试及分子动态模拟(MD)已成为研究组合药剂浮选增效机理的重要手段^[6-9], 许多研究者认为组合药剂强化浮选行为的机理是不同药剂在矿物表面发生共吸附导致组合药剂在液-固界面形成紧密的吸附层^[10]从而提高矿物表面的疏水性。近年来, 也有研究者通过表面张力测试及阴阳离子表面活性剂之间相互作用参数的计算^[11], 发现这些组合药剂之间存在较强的相互作用, 使得气-液表面张力及临界胶束浓度都低于单一表面活性剂^[12], 进一步增大药剂的溶解性及浮选泡沫的稳定性, 从而有利于提高有用矿物的浮选回收率。阴离子-非离子表面活性剂组合药剂广泛用于浮选工艺中, 因其在浮选中既是捕收剂又是浮选起泡剂, 不仅影响矿物的表面疏水性同时也影响着浮选泡沫的稳定性。因此, 用组合药剂吸附理论并不能全面揭示该类组合药剂增强浮选效果的机理。目前, 对于阴离子-非离子表面活性剂所组成的组合药剂对浮选行为影响机理主要集中在固-液界面性质研究, 忽视了气-液界面的性质研究, 阴离子-非离子型组合药剂浮选机理尚不明确, 还有待进一步研究。

本文作者主要考察阴离子-非离子型组合药剂 NaOL-OCT 对一水硬铝石的浮选行为及其两相和三相泡沫稳定性影响。通过接触角测试, 两相和三相泡沫

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50974134)

收稿日期: 2016-07-21; **修订日期:** 2017-01-13

通信作者: 蒋 昊, 副教授, 博士; 电话: 0730-88830545; E-mail: jianghao-1@126.com

稳定性测定, 综合分析不同 $x(\text{NaOL})$ 的组合药剂 NaOL-OCT 对一水硬铝石浮选行为的影响规律及其作用机理。通过测定组合药剂与一水硬铝石作用前后溶液中的 TOC 含量, 分析组合药剂作用下一水硬铝石三相泡沫稳定性的主要原因。

1 实验

1.1 矿样与试剂

一水硬铝石取自山西孝义, 块矿经手碎后用实验室瓷磨机磨碎, 筛分出 38~74 μm 纯矿物备用。对样品进行 XRD 分析, 纯度极高符合纯矿物实验要求。油酸钠(NaOL)和辛醇(OCT)均为分析纯, 用作捕收剂兼起泡剂。pH 调整剂盐酸和氢氧化钠均为化学纯。实验用水为去离子水。

1.2 单矿物浮选实验

浮选实验是在 SFG 挂槽浮选机中进行, 实验前, 每次称取 2.0 g 矿物放入 35 mL 浮选槽中, 并加入适量的去离子水。调浆 1 min 后, 加入 pH 调整剂搅拌 2 min, 加入油酸钠和辛醇搅拌 2 min 后测定 pH 值, 浮选 3 min, 泡沫产品和槽内产品分别过滤、烘干、称取质量后并计算回收率。纯矿物实验泡沫产品的产率等于浮选的回收率。所有浮选实验均在 25 $^{\circ}\text{C}$ 下进行的。

1.3 接触角测定

接触角测定采用悬滴法。测量仪器配备注射成滴系统、高性能 CCD 视频照相机和根据液滴在矿物表面形状计算的接触角软件, 测量的精度为 $\pm 2^{\circ}$ 。接触角测定是在 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下进行的。在接触角测定前, 将经抛光的一水硬铝石块矿置于规格为 100 mL 烧杯中, 并向杯中加入特定浓度的药剂, 放在恒温磁力搅拌器上搅拌 15 min, 取出后用蒸馏水洗净表面残留溶液, 然后将样品放入真空干燥箱干燥 20 min, 保持温度为 40 $^{\circ}\text{C}$ 。样品制备完成后, 将块矿置于样品台上测量接触角。

1.4 两相及三相动态泡沫稳定性测定

目前, 对于泡沫稳定性的评价尚没有统一标准^[13], 泡沫的稳定性一般分为静态泡沫稳定性和动态泡沫稳定性。静态泡沫稳定性是指在重力作用下, 泡沫消泡所需的时间。动态泡沫稳定性是指泡沫在重力及其他外界扰动作用下(如搅拌, 充气等)泡沫稳定时所形成的最大高度^[14]。因此, 在矿物浮选中, 用动态

泡沫稳定性评价浮选泡沫的稳定性更能综合评价浮选的实际过程中各因素对泡沫的影响。本研究采用 Bikerman 法^[15]测定泡沫的动态稳定性。为更好地模拟浮选泡沫, 用于测定三相泡沫的矿浆采用浮选机调浆。称取 2 g 矿样, 在 SFG 挂槽浮选机中进行调浆, 调浆时间为 5 min, 调整剂和组合药剂的药剂制度与单矿物浮选一致^[16]。

泡沫稳定性装置是由一个长为 85 cm, 内径为 4 cm 的玻璃管组成, 在玻璃管底部设有一个进气阀, 并连有气流控制器, 保持空气流量为 0.14 L/min。向玻璃柱里加入已制备好的 35 mL 待测液体或一定浓度的矿浆打开充气阀门, 每隔一定的时间读下泡沫的高度以及液面的高度, 动态泡沫稳定性可以表示为^[17]

$$\varepsilon = \frac{V_f}{Q} = \frac{H_{\max} A}{Q} \quad (1)$$

式中: ε 为泡沫稳定性因素; V_f 为泡沫体积; $H_{\max}$ 为泡沫上升的最大高度; A 为泡沫稳定性测定柱的横截面积; Q 为空气的体积流速。 ε 值越大, 表明两相或者三相泡沫越稳定。

1.5 矿浆残余 TOC 测定

实验采用 TOC 总有机碳分析仪直接测定溶液中的有机碳量。每次称取 2.0 g 单矿物试样, 放入 200 mL 锥形瓶中, 加入 40 mL 已知浓度的混合表面活性剂溶液, 置于磁力搅拌器上搅拌 5 min。随后将悬浮液用 9000 r/min 的高速离心机进行离心 15 min, 取上层清液进行 TOC 测量。所有 TOC 分析实验均在 25 $^{\circ}\text{C}$ 下进行的。

2 结果与讨论

2.1 组合药剂对一水硬铝石浮选的影响

组合药剂中油酸钠(NaOL)的摩尔分数对一水硬铝石的浮选行为产生重要影响。图 1 所示为组合药剂总浓度为 $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 、pH=7.0 条件下 NaOL 的摩尔分数对一水硬铝石浮选回收率的影响。结果表明: 随着 $x(\text{NaOL})$ 增大, 一水硬铝石的浮选回收率逐渐增大。当 $x(\text{NaOL})=60\%$ 时, 回收率达到相对较大值 93.65%; 继续增大 $x(\text{NaOL})$ 值, 一水硬铝石的浮选回收率呈下降趋势; 当 $x(\text{NaOL}) \geq 40\%$ 时, 组合药剂对一水硬铝石的浮选表现出明显的正协同效应, 表明组合药剂特定配比条件下表现出更高的活性, 对浮选更有利^[18]。

组合药剂 NaOL-OCT, 单一 NaOL、OCT 的浓度

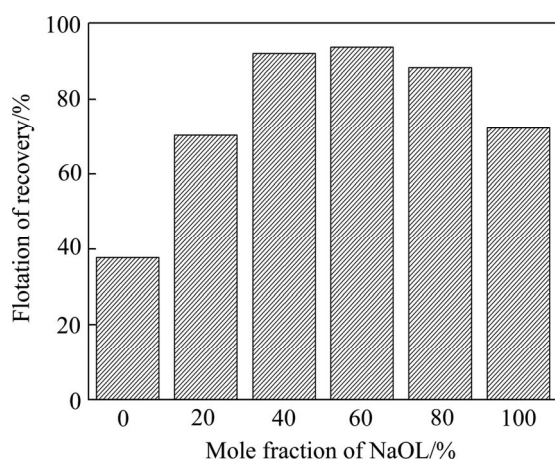


图1 不同 $x(\text{NaOL})$ 的组合药剂对一水硬铝石浮选回收率影响

Fig. 1 Effect of $x(\text{NaOL})$ of mixed reagents (NaOL-OCT) on flotation recovery of diaspore ($c_i=10^{-4}$ mol/L, pH=7.0)

对一水硬铝石浮选回收率的影响见图2。其中组合药剂 $x(\text{NaOL})=60\%$ ，矿浆 pH=7.0。从图2中可以看出，辛醇在整个浓度范围内对一水硬铝石的捕收能力都很差，回收率在40%以下；在浓度小于 1×10^{-4} mol/L 时，一水硬铝石的浮选回收率随组合药剂和 NaOL 的浓度增大而急剧增大。组合药剂的捕收能力在该浓度范围内大于单一药剂的捕收能力；当浓度大于 8×10^{-4} mol/L，组合药剂与单一油酸钠捕收能力大致相等。

图3所示为矿浆 pH 对单一药剂组合药剂浮选一水硬铝石的影响。其中药剂总浓度为 1×10^{-4} mol/L，组合药剂 $x(\text{NaOL})=60\%$ 。浮选结果表明：随着矿浆 pH 的增大，单一 NaOL 及组合药剂浮选一水硬铝石的回收率总体上呈增大的趋势。此外，从图3中可以看出，

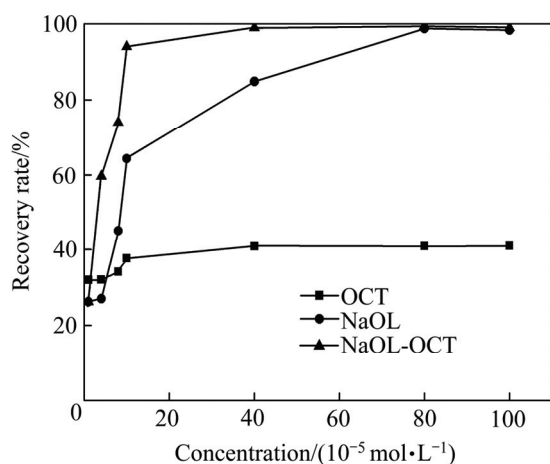


图2 不同组合药剂的浓度对一水硬铝石浮选回收率的影响

Fig. 2 Effect of different individual and mixed reagents concentration on flotation of diaspore ($x(\text{NaOL})=60\%$, pH=7.0)

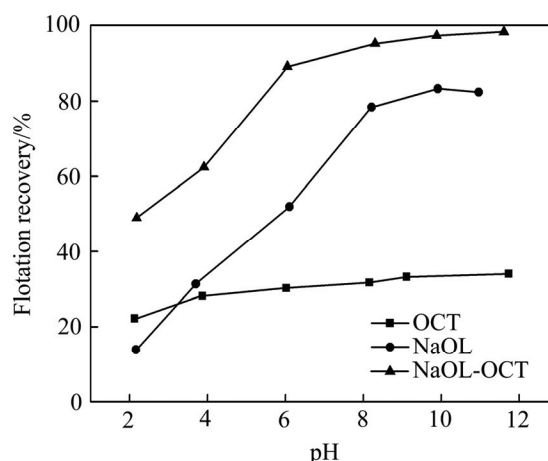


图3 pH 对不同组合药剂浮选一水硬铝石的影响

Fig. 3 Effect of pH value on flotation recoveries of different diaspores with individual collector OCT, NaOL and mixed collectors NaOL/OCT ($x(\text{NaOL})=60\%$, $c_i=1 \times 10^{-4}$ mol/L)

整个 pH 范围内组合药剂 NaOL-OCT 对一水硬铝石的捕收能力明显强于其他两种单一药剂的捕收能力。

2.2 一水硬铝石的润湿性测定

矿物表面润湿性是影响矿物浮选分离的主要原因，浮选药剂的加入会显著改善矿石表面的润湿性能^[19]。图4所示为 pH=7.0 条件下组合药剂浓度-接触角的关系曲线。图4结果表明，当浓度低于 8×10^{-4} mol/L，一水硬铝石的接触角随药剂浓度的增大而急剧增大。当浓度高于 8×10^{-4} mol/L，经 $x(\text{NaOL})=80\%$ 、 $x(\text{NaOL})=60\%$ 、 $x(\text{NaOL})=40\%$ 的组合药剂作用后的一水硬铝石的接触角基本保持不变，而经单一 NaOL 作用后的一水硬铝石接触角继续增大。这一结果与药剂浓度对浮选回收率影响结果一致。当浓度小于 8×10^{-4} mol/L，经 $x(\text{NaOL})=80\%$ 的组合药剂作用后的一水硬铝石接触角比经单一 NaOL 作用过后的一水硬铝石的接触角要大 3° 以上，表明组合药剂在一定浓度范围内对矿物浮选表现出更优的特性。离子-非离子型组合药剂增强一水硬铝石表面疏水性的机理可用“插层理论”解释为离子型表面活性剂中加入非离子表面活性剂能够减少离子型表面活性剂分子带电头部的静电斥力，从而促进离子型表面活性剂在矿物表面的吸附，在矿物表面形成紧密的吸附层，进而表现出更强的疏水性能^[20]。

以上结果表明，当浓度低于 8×10^{-4} mol/L，一水硬铝石经 $x(\text{NaOL})=60\%$ 及 $x(\text{NaOL})=40\%$ 的组合药剂作用后的接触角略低于 (2° 以内) 单一 NaOL 的作用后的接触角，这一结果并不能解释混合药剂 $x(\text{NaOL})=$

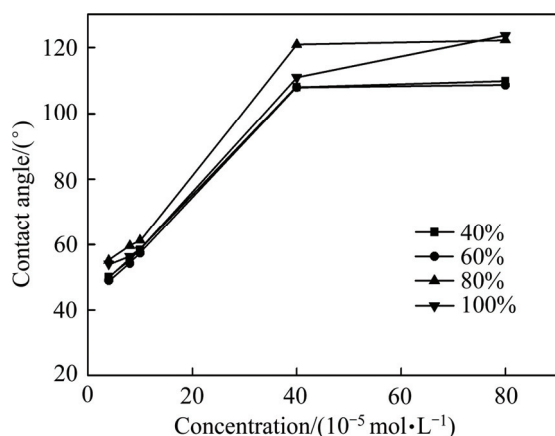


图 4 不同 $x(\text{NaOL})$ 的组合药剂浓度对一水硬铝石接触角的影响

Fig. 4 Effect of reagents concentrations mixed with different $x(\text{NaOL})$ on contact angle of diasporite at $\text{pH}=7.0$

60%, $x(\text{NaOL})=40\%$ 时对一水硬铝石的促进作用。这可能是由于油酸钠浮选铝土矿时, 浮选效果不仅取决于组合药剂的吸附行为(矿物的润湿性), 还取决于药剂作用下泡沫的稳定性, 因为在该浮选过程中 NaOL 及 OCT 既是捕收剂也是起泡剂^[21]。在该浮选体系下, 药剂吸附于一水硬铝石表面后, 矿物表面改性及矿浆体系中药剂组分对泡沫稳定性产生直接影响。为进一步考察混合表面活性剂对一水硬铝石浮选行为的作用机理, 测定了不同比例组合药剂($x(\text{NaOL})=80\%$, $x(\text{NaOL})=60\%$, $x(\text{NaOL})=40\%$)及单一 NaOL 两相及三相泡沫稳定性。

2.3 动态泡沫稳定性

在浮选过程中, 适当的泡沫稳定性对浮选极为重要。高稳定性泡沫会显著提高有用矿物的浮选回收率, 而过低稳定性泡沫则会增大矿化气泡破裂并坠落重新回到矿浆中概率, 使浮选回收率降低^[22]。

图 5 所示为不同 $x(\text{NaOL})$ 组合药剂浓度对两相动态泡沫稳定性的影响。由图 5 可知, 在整个浓度范围内, 组合药剂及 NaOL 的两相动态泡沫稳定性均随着浓度的增加而增大。两相动态泡沫稳定性由大到小依次为 $x(\text{NaOL})=100\%$ 、 $x(\text{NaOL})=80\%$ 、 $x(\text{NaOL})=60\%$ 、 $x(\text{NaOL})=40\%$ 。可能是由于 NaOL 的表面活性要明显强于 OCT, 导致 NaOL 在组合药剂中对两相泡沫稳定性控制占主导地位^[23]。这与浮选结果并不一致。

图 6 所示为不同 $x(\text{NaOL})$ 的组合药剂浓度与三相动态泡沫稳定性关系曲线。从图 6 中可以看出, 随着组合药剂浓度的增大, 一水硬铝石动态泡沫的稳定性

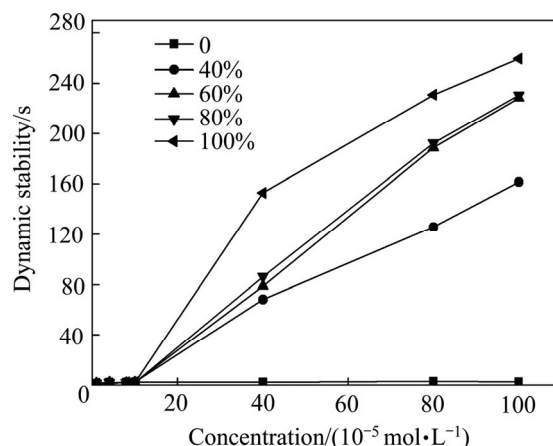


图 5 不同 $x(\text{NaOL})$ 组合药剂浓度对两相动态泡沫稳定性的影响

Fig. 5 Effect of reagents concentrations mixed with different $x(\text{NaOL})$ on foam dynamic stability at $\text{pH}=7.0$

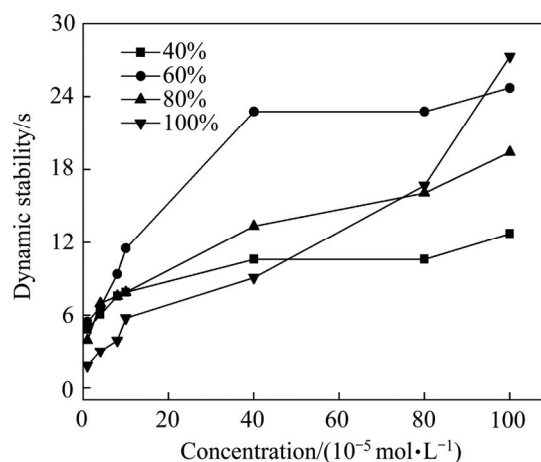


图 6 不同 $x(\text{NaOL})$ 组合药剂的浓度对一水硬铝石三相动态泡沫稳定性的影响($\text{pH}=7.0$)

Fig. 6 Effect of reagents concentrations mixed with different $x(\text{NaOL})$ on froth dynamic stability at $\text{pH}=7.0$

逐渐增大。当药剂总浓度小于 $8 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 时, 三相泡沫稳定性在 $x(\text{NaOL})=60\%$ 最好, 与浮选结果一致。结合接触角测试结果, 说明 $x(\text{NaOL})=60\%$ 和 $x(\text{NaOL})=40\%$ 的组合药剂提高一水硬铝石浮选回收率的原因是形成了更稳定的三相泡沫。

图 7(a)所示为 NaOL、OCT 及组合药剂与一水硬铝石作用前溶液中的总有机碳(TOC)含量曲线。由图 7(a)可知, 组合药剂的 $x(\text{NaOL})$ 值越大, 溶液中 TOC 含量就越大。并且溶液的 TOC 含量随浓度的增大而增大。

图 7(b)所示为 NaOL、OCT 及组合药剂与一水硬铝石作用后溶液中 TOC 含量曲线。当组合药剂及

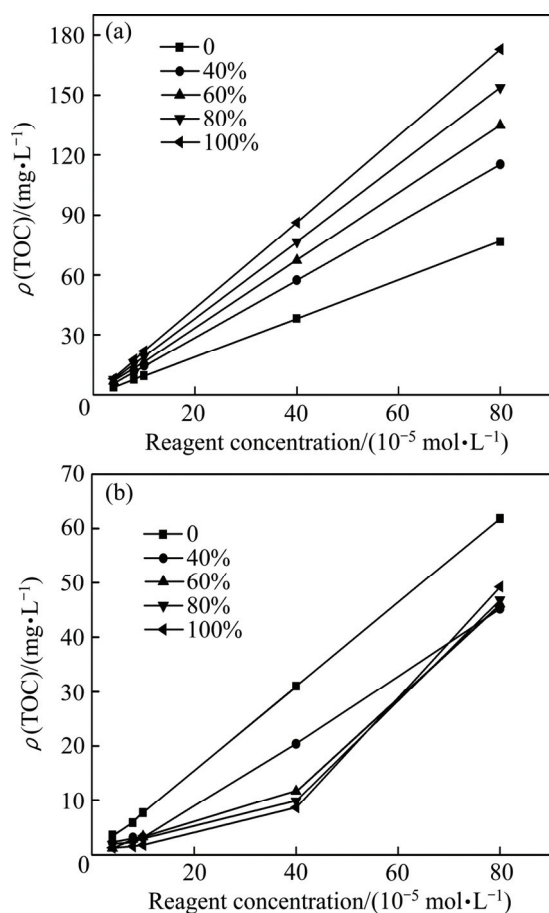


图7 NaOL、OCT及组合药剂与一水硬铝石作用前和作用后溶液中的TOC含量(pH=7.0)

Fig. 7 TOC content of NaOL, OCT and mixed reagents solution before(a) and after(b) diasporite adsorption at pH=7.0

NaOL浓度小于 8×10^{-4} mol/L,不同 α_{NaOL} 的组合药剂及单一NaOL与一水硬铝石作用后的TOC含量按从大到小次序依次为 $x(\text{NaOL})=40\%$ 、 $x(\text{NaOL})=60\%$ 、 $x(\text{NaOL})=80\%$ 、 $x(\text{NaOL})=100\%$ 。结果表明: $x(\text{NaOL})$ 值越大,药剂与一水硬铝石作用后溶液中的TOC含量越小即用于起泡剂的总浓度就越少,因而,三相泡沫稳定性就越差。

当组合药剂及单一NaOL的浓度小于 8×10^{-4} mol/L,组合药剂及单一NaOL与一水硬铝石作用前后溶液中TOC含量存在显著差异即作用后的溶液TOC含量显著低于作用前的TOC含量。表明该体系下,两相动态泡沫与三相动态泡沫稳定性次序之间存在较大差异是由于矿浆中的起泡剂的减少。药剂中加入的一水硬铝石对药剂产生了吸附作用,矿浆中作为起泡剂的表面活性剂的浓度随组合药剂的 $x(\text{NaOL})$ 增大而减少,使组合药剂及单一NaOL的两相动态泡沫稳定性次序与三相动态泡沫稳定性次序不一致,进而导致组

合药剂及单一NaOL的两相动态泡沫稳定性次序与浮选结果不一致。

组合药剂浓度低于 8×10^{-4} mol/L时, $x(\text{NaOL})=80\%$ 的组合药剂与一水硬铝石作用后比同浓度单一NaOL作用后的一水硬铝石的接触角增大为 $3^\circ \sim 10^\circ$ 。同时,三相泡沫稳定性实验表明 $x(\text{NaOL})=80\%$ 的组合药剂三相泡沫稳定性大于同浓度的单一NaOL三相泡沫稳定性。因此,与单一NaOL浮选一水硬铝石结果相比, $x(\text{NaOL})=80\%$ 的组合药剂提高一水硬铝石的浮选回收率是增强了矿物表面疏水性和形成了更稳定的浮选泡沫的结果; $x(\text{NaOL})=60\%$ 和 $x(\text{NaOL})=40\%$ 的组合药剂与一水硬铝石作用后的接触角略小于 (2°) 以内同浓度的单一NaOL与一水硬铝石作用后的接触角。但该摩尔分数($x(\text{NaOL})=60\%$, $x(\text{NaOL})=40\%$)组合药剂的一水硬铝石三相泡沫稳定性与浮选结果一致,即 $x(\text{NaOL})=60\%$ 和 $x(\text{NaOL})=40\%$ 的组合药剂三相泡沫比同浓度的单一NaOL的三相泡沫更稳定。说明组合药剂的加入并未增大一水硬铝石的疏水性,而是增加了三相泡沫的稳定性。

浮选泡沫稳定性主要受起泡剂的种类和浓度,矿物颗粒的物理化学性质^[24]等因素的影响。在一定浓度范围内,起泡剂的黏度、表面活性及浓度越大^[25],泡沫越稳定。三相泡沫中一水硬铝石对药剂产生了吸附作用,导致矿浆中作为起泡剂的药剂浓度比初始的起泡剂浓度低而不能形成适当稳定的浮选泡沫,从而回收率相对较低,这种现象在浓度低于 8×10^{-4} mol/L尤为明显。以 $x(\text{NaOL})=60\%$ 的组合药剂与单一NaOL为例,由于相同浓度条件下,经两者($x(\text{NaOL})=60\%$ 组合药剂及单一NaOL)作用后的一水硬铝石的接触角相差 2° 左右。该测量结果属于测量误差范围内,可认为它们的接触角是相等的。因此,影响两者($x(\text{NaOL})=60\%$ 的组合药剂与单一NaOL)的三相泡沫稳定性因素(矿物的理化性质和浮选操作条件)是相同的。由此可以确定使组合药剂及单一NaOL三相泡沫稳定性由大到小依次为($x(\text{NaOL})=60\%$ 、 $x(\text{NaOL})=80\%$ 、 $x(\text{NaOL})=40\%$ 、 $x(\text{NaOL})=100\%$),与两相泡沫稳定性由大到小依次为($x(\text{NaOL})=100\%$ 、 $x(\text{NaOL})=80\%$ 、 $x(\text{NaOL})=60\%$ 、 $x(\text{NaOL})=40\%$),其原因是由于矿浆中起泡剂浓度和组合药剂中油酸钠摩尔分数不同。

3 结论

1) 在矿浆pH=7.0条件下,与同浓度单一NaOL浮选一水硬铝石结果相比,组合药剂NaOL的摩尔分

数 $x(\text{NaOL}) \geq 40\%$ 时,组合药剂 NaOL 与 OCT 之间表现出明显的正协同效应,有利于一水硬铝石的浮选。在浓度小于 $8 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 时,一水硬铝石的浮选回收率随组合药剂和 NaOL 的浓度增大而增大。在该浓度范围内,组合药剂的捕收能力大于单一药剂的捕收能力。此外,组合药剂在整个 pH 范围内对一水硬铝石的捕收能力明显强于单一药剂的捕收能力。

2) 当浓度低于 $8 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$,一水硬铝石经组合药剂 NaOL 的摩尔分数 $x(\text{NaOL})=60\%$, $x(\text{NaOL})=40\%$ 作用后的疏水性略低于单一 NaOL 的作用后的疏水性。组合药剂 NaOL 的摩尔分数 $x(\text{NaOL})=80\%$ 时,对一水硬铝石表面疏水性大于经单一 NaOL 作用过后的疏水性。

3) 当浓度低于 $1 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$,组合药剂 NaOL 的摩尔分数 α_{NaOL} 越大两相泡沫稳定性越好。三相泡沫稳定性从大到小顺序依次为 $x(\text{NaOL})=60\%$ 、 $x(\text{NaOL})=80\%$ 、 $x(\text{NaOL})=100\%$ 。

4) 当浓度低于 $8 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$, $x(\text{NaOL})=40\%$ 和 $x(\text{NaOL})=60\%$ 的组合药剂通过形成了更稳定的浮选泡沫而提高一水硬铝石的浮选回收率; $x(\text{NaOL})=80\%$ 的组合药剂不仅能增强浮选泡沫稳定性,还能增大矿物表面疏水性从而提高一水硬铝石浮选回收率。

REFERENCES

- [1] 蒋昊,胡岳华,徐竞,王淀佐. 阴离子捕收剂浮选一水硬铝石浮选机理[J]. 矿冶工程, 2001, 21(2): 27-29.
JIANG Hao, Hu Yue-hua, XU Jing, WANG Dian-zuo. Solution chemical mechanism of diaspore flotation using anionic collectors [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2001, 21(2): 27-29.
- [2] 牛福生,刘瑞芹,郑卫民,闫满志. 选矿知识600问[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012: 137-138.
NIU Fu-sheng, LIU Rui-qin, ZHENG Wei-ming, YAN Man-zhi. 600 questions in mineral processing knowledge[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2012: 137-138.
- [3] 冯运伟,王毓华,张倩,胡岳华,卢东方. 利用亚油酸组分选择性浮选分离一水硬铝石与叶腊石[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(2): 393-397.
FENG Yun-wei, WANG Yu-hua, ZHANG Qian, HU Yue-hua, LU Dong-fang. Selective flotation of diaspore from pyrophyllite using linoleic acid component[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2016, 45(2): 393-397.
- [4] 冯其明,穆泉,张国范. 浮选生产过程中的泡沫及消泡技术[J]. 矿产保护与利用, 2005, 4(5): 32-34.
FENG Qi-ming, MU Xiao, ZHANG Guo-fan. Foaming and defoaming technology in flotation processes[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2005, 4(5): 32-34.
- [5] 张晶. 表面活性剂在油酸钠浮选一水硬铝石中的作用[D]. 长沙: 中南大学, 2010: 74.
ZHANG Jing. Effect of surfactants on flotation of diaspore by sodium oleate[D]. Changsha: Central South University, 2010: 74.
- [6] WANG Li, HU Yue-hua, LIU Jia-peng, SUN Yong-sheng, SUN Wei. Flotation and adsorption of muscovite using mixed cationic-nonionic surfactants as collector[J]. Power Technology, 2015, 276: 26-33.
- [7] XU Long-hua, WU Hou-qin, DONG Fa-qin, WANG Li, WANG Zhen, XIAO Jun-hui. Flotation and adsorption of mixed cationic/anionic collectors on muscovite mica[J]. Minerals Engineering, 2013, 41: 41-34.
- [8] WANG Li, SUN Wei, HU Yue-hua, XU Long-hua. Adsorption mechanism of mixed anionic/cationic collectors in Muscovite-Quartz flotation system[J]. Minerals Engineering, 2014, 64: 44-50.
- [9] CAO Qin-bo, CHENG Jin-hua, WEN Shu-ming, LI Cheng-xiu, BAI Shao-jun, LIU Dan. A mixed collector system for phosphate flotation[J]. Minerals Engineering, 2015, 78: 114-121.
- [10] RAO K H, EFORSSBERG K S. Mixed collector systems in flotation[J]. International Journal of Mineral Processing, 1997, 51(6): 67-69.
- [11] XU Long-hua, HU Yue-hua, JIA Tian, WU Hou-qin, LI Wang, YANG Yao-hui. Synergistic effect of mixed cationic/anionic collectors on flotation and adsorption of muscovite[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2016, 492: 181-189.
- [12] 刘三军,覃文庆,刘维,王军,张雁生. 铝土矿中 Tween-20 对油酸的增效机理[J]. 中国有色金属学报, 2013, 23(8): 2284-2289.
LIU San-jun, QIN Wen-qing, LIU Wei, WANG Jun, ZHANG Yan-sheng. Synergistic mechanism of Tween-20 to oleic acid in bauxite flotation[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2013, 23(8): 2284-2289.
- [13] FARROKHPAY S. The significance of froth stability in mineral flotation-A review[J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2011, 166(2): 1-7.
- [14] BARBIAN N, HADLER K, VENTURA-MEDINA E, CILLIERS J J. The froth stability column: linking froth stability and flotation performance[J]. Minerals Engineering, 2005, 18(2): 317-324.
- [15] BIKERMAN J. Applied physics and engineering[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1973: 98-100.
- [16] 冉进财,李国胜,曹亦俊,刘畅. 无机盐阳离子对粉煤灰浮选泡沫稳定性的影响研究[J]. 煤炭学报, 2015, 40(3): 646-651.
RAN Jin-cai, LI Guo-sheng, CAO Yi-jun, LIU Chang. Influence of inorganic salt on flotation froth stability of coal fly ash[J].

- Journal of China Coal Society, 2015, 40(3): 646–651.
- [17] AKTAS Z, CILLIERS J J, BANFORD A W. Dynamic froth stability: Particle size, airflow rate and conditioning time effects[J]. International Journal of Mineral Processing, 2008, 87(3): 65–71.
- [18] 丁明辉. 铝土矿浮选脱硅组合捕收剂的研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012: 77.
- DING Ning-hui. Research of the combination collector on bauxite flotation desilicication[D]. Changsha: Central South University, 2012: 77.
- [19] 高志勇. 三种含钙矿物晶体各向异性与浮选行为关系的基础研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013: 145.
- GAO Zhi-yong. Investigation on the relationship between anisotropic crystal surface characteristics and flotation behaviors of three calcium-bearing minerals[D]. Changsha: Central South University, 2013: 145.
- [20] WANG Li, HU Yue-hua, SUN Wei, SUN Yong-sheng. Molecular dynamics simulation study of the interaction of mixed cationic/anionic surfactants with muscovite[J]. Applied Surface Science, 2015, 327: 364–370.
- [21] JIANG Hao, SUN Zhong-cheng, XU Long-hua. A comparison study of the flotation and adsorption behaviors of diaspor and kaolinite with quaternary ammonium collectors[J]. Minerals Engineering, 2014, 65(4): 124–129.
- [22] SUBRAHMANYAM T V, FORSSBERG E. Froth characteristics and grade-recovery relationships in the flotation of lead-zinc and copper ores[J]. Minerals Engineering, 1988, 1(1): 41–52.
- [23] GELINAS S, FINCH J A, GOUET-KAPLAN M. Comparative real-time characterization of frother bubble thin films[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2005, 291(1): 181–191.
- [24] FAMEAU A L, SALONEN A. Effect of particles and aggregated structures on the foam stability and aging[J]. Competes Rendus Physique, 2014, 15(8/9): 748–760.
- [25] SHOBHANA D, SANTOSH P, RATNAKAR S. Study of interactions of frother blends and its effect on coal flotation[J]. Powder Technology, 2014, 260(1): 78–83.

Effect of mixed anionic-nonionic reagents on flotation of diaspor and stability of froth

JIANG Hao, PENG Wei-wen, YANG Qin-hong, ZHAO Chen

(School of Mineral Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The synergistic effects of the mixed anionic sodium oleic acid and nonionic octanol reagents on the flotation of diaspor were investigated by flotation test, contact angle, foam and froth dynamic stability measurement. The reason for the froth dynamic stability was studied by TOC content of mixed reagents solution before and after diaspor adsorption. The results show that the mole fraction of NaOL greater than 40% is beneficial to improve the flotation recovery of diaspor at pH=7.0. Compared with single NaOL, the froth dynamic stability is higher than the froth stability of NaOL alone at $x(\text{NaOL})=40\%$ and $x(\text{NaOL})=60\%$, thus, the recovery of flotation increases. Moreover, the surfactants at $x(\text{NaOL})=80\%$ enhance the flotation of diaspor because of forming more stable froth and more hydrophobic surface on minerals.

Key words: diaspor; mixed reagents; flotation; froth

Foundation item: Project(50974134) supported by the National Natural Science Foundation of China

Received date: 2016-07-21; **Accepted date:** 2017-01-13

Corresponding author: JIANG Hao; Tel: +86-730-88830545; E-mail: jianghao-1@126.com

(编辑 李艳红)