

战略性非金属矿产

锂云母浮选捕收剂研究现状及展望

李少平¹, 张俊敏¹, 迪里努尔·阿不都卡得², 王亚莉²

1. 新疆工程学院 矿业工程与地质学院, 新疆 乌鲁木齐 830000;
2. 江西理工大学 资源与环境工程学院, 江西 赣州 341000

中图分类号: TD923⁺.13 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2020)06-0077-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.06.012

摘要 随着我国锂云母资源被大量开发, 贫细杂问题愈发突出, 高效回收锂云母已成为选矿领域的研究热点。本文综述了锂云母浮选存在的问题和捕收剂研究现状, 提出了应加大对捕收剂作用机理研究和新型捕收剂研发工作。

关键词 锂云母; 浮选; 捕收剂

锂是最轻的金属元素, 具有非常强的金属活性。作为高能金属, 其主要应用于核工业、电池行业和固体燃料行业, 同时在航天、陶瓷、冶金、化工、润滑、玻璃和医学等领域也有应用^[1-4]。

全球锂资源非常丰富, 主要来源于盐湖卤水型锂矿和伟晶岩型锂矿, 其中盐湖卤水中的锂约占锂资源总储量的66%^[5]。盐湖卤水提锂具备工艺简单和成本低的特点, 已成为国外锂工业的主要来源, 但由于我国盐湖卤水锂资源存在高海拔、镁锂比高和镁锂分离难的缺点, 目前还没有形成盐湖提锂规模化生产, 因此我国锂工业的锂主要来源仍以伟晶岩型锂矿资源为主。我国主要开采利用的伟晶岩型锂矿资源有新疆可托海和四川西北部地区的锂辉石、江西宜春钽铋矿的锂云母和湖北通城地区的透锂长石等, 其中江西宜春钽铋矿拥有世界最大的伴生锂云母矿资源。锂云母作为我国储量较大的含锂矿物, 是提取锂元素最重要的资源之一^[6-10]。因此提高我国锂云母资源开发水

平, 对促进我国锂工业的发展具有重要意义。

1 锂云母浮选影响因素

锂云母矿石多属于细粒嵌布类型, 锂云母主要与石英和长石等脉石矿物相互共生镶嵌。由于锂云母为硅酸盐矿物, 矿石经单体解离后, 主要呈片状或者鳞片状结构, 粗粒锂云母一般采用手选、风选或摩擦选富集, 细粒锂云母以浮选法回收较为有效。相关的报道中, 锂云母选矿工艺大多采用浮选, 药剂制度研究方面主要是关于捕收剂的研究。锂云母浮选捕收剂存在以下几个问题^[11-14]:

(1) 含锂云母矿石在碎磨阶段常常会引入Fe离子, Fe离子会抑制目的矿物或活化脉石矿物, 恶化锂云母与脉石矿物的分离; 还有学者认为Fe离子使云母表面电荷增加, 有利于脉石矿泥罩盖锂云母表面, 从而影响锂云母浮选。

(2) 实际生产中浮选锂云母的捕收剂多为传统氧化矿捕收剂, 选择性和捕收能力较弱, 已经很难适应低Li₂O品位和矿泥含量高的锂云母矿石; 而新型锂云母捕收剂大多应用于实验室阶段, 并没有考虑环境和药剂成本问题。

(3) 胺类捕收剂对矿浆温度敏感, 在较低温度下易凝固, 使用时需要配入大量的酸, 易对设备造成腐蚀和污染环境, 废水处理的成本较高; 脂肪酸类捕收剂药

表1 主要的含锂矿物

Table 1 Major lithium-containing minerals

Mineral name	Chemical formula	Theoretical content (Li ₂ O/%)
Spodumene	LiAl[Si ₂ O ₆]	8.04
Lepidolite	KLi _{1.5} Al _{1.5} [AlSi ₃ O ₁₀](F, OH) ₂	1.23 ~ 5.90
Amblygonite	LiAl(PO ₃)(FOH)	7.10 ~ 10.10
Petalite	LiAl[Si ₄ O ₁₀]	2.90 ~ 4.80
Eucryptite	LiAlSiO ₄	11.90

收稿日期: 2020-12-05

基金项目: 自治区创新环境(人才、基地)建设专项(自然科学基金计划)项目(2020D01A45)

作者简介: 李少平(1992-), 男, 江西景德镇人, 助教, 硕士研究生, 主要研究方向: 矿物分选理论与工艺、矿冶二次资源与利用。Email: 434303981@qq.com。

剂制度复杂,生产成本低;虽然组合捕收剂的选择性和捕收能力较强,但需要配合大量抑制剂或分散剂使用,易造成后续过滤作业困难。

2 锂云母捕收剂研究现状

常见的锂云母浮选药剂制度有:酸性条件下采用胺类捕收剂浮选锂云母,碱性条件下采用脂肪酸类捕收剂或组合捕收剂浮选锂云母^[15]。由于锂云母为硅酸盐矿物,表面荷负电,阴离子脂肪酸类捕收剂只能捕收经活化后的锂云母,未经活化的锂云母几乎无法浮选;阳离子胺类捕收剂在较宽的pH值范围内,对锂云母有很好的捕收能力,但选择性并不理想;阴阳离子组合捕收剂利用药剂的协同作用,能有效地提高锂云母精矿的品位和回收率;锂云母新型捕收剂的研发和试验处于初始阶段,实际应用较少,目前锂云母生产中大多还是采用单一胺类捕收剂或组合捕收剂浮选锂云母。

2.1 脂肪酸类捕收剂

单一脂肪酸类捕收剂浮选锂云母时,需先加入活化剂活化纯净的锂云母矿物表面,才能捕收锂云母。锂云母常用的活化剂有氢氟酸或锂盐,铜和铝的硫酸盐也可以起活化作用。活化锂云母的方法^[16]为:先将磨细的锂云母矿石与氢氟酸倒入搅拌桶内,充分搅拌20 min,过滤,多次洗涤,然后再用NaOH溶液预处理矿物表面。经活化的锂云母表面离子暴露出来,增加了脂肪酸类捕收剂与锂云母的吸附概率,使得矿物表面疏水性增强,有利于随着浮选泡沫进入精矿中。

脂肪酸类捕收剂有时也作为锂云母反浮选捕收剂,捕收石英和长石等脉石矿物。刘臻等^[17]采用正浮选和反浮选串联法浮选锂云母,反浮选工序先用H7N7活化石英表面,然后采用十二烷基磺酸钠和油酸的脂肪酸类复配药剂捕收脉石矿物石英和长石,最终可获得Li₂O品位4.03%、回收率80.24%的锂云母精矿。脂肪酸类捕收剂更多是作为锂云母浮选的辅助捕收剂,与胺类捕收剂配合使用,提高胺类捕收剂对锂云母的选择性。吕子虎等^[18]研究某锂云母矿石的浮选,碳酸钠调节矿浆pH,采用预先脱泥,“一粗两精两扫”闭路工艺流程,最终获得Li₂O品位3.77%、回收率72.58%的锂云母精矿,有效地改善了十二胺浮选该锂云母矿石存在对矿泥敏感和泡沫量偏多等问题;李利娟等^[19]为回收某钽铌尾矿中的有价矿物锂云母,在试验条件优化的基础上,最终采用“一粗两精两扫”的闭路试验流程,粗选捕收剂氧化石蜡皂用量为400 g/t,与用量40 g/t的十二胺组合,抑制剂水玻璃1 600 g/t,精选段不添加捕收剂,抑制剂用量减半,最终获得Li₂O

品位4.4%、回收率64.17%的锂云母精矿;王威等^[20]回收赣州某钨尾矿中的锂云母,为后续锂浸出提供合格的物料。尾矿Li₂O品位0.34%,经“一粗三精三扫”浮选工艺流程,采用脂肪酸类捕收剂石油磺酸钠作辅助捕收剂,与十二胺混合使用,可获得Li₂O品位1.18%、回收率58.69%的锂云母精矿。

2.2 胺类捕收剂

锂云母的零电点一般在pH 2.0左右,在矿浆pH>2时,锂云母表面带负电荷,易与阳离子胺类捕收剂产生静力吸引作用,因此胺类捕收剂在酸性条件下(pH>2)易于吸附在锂云母矿物表面上,对锂云母的捕收能力很强。目前国内外锂云母选矿厂也大多采用胺类捕收剂捕收锂云母,美国某风化伟晶岩选矿厂^[21]采用混合胺浮选锂云母,锂云母的回收率高达90%。

宜春钽铌矿是世界最大的伴生锂云母矿山,该矿山综合回收的主要产品有钽铌精矿、长石粉和锂云母精矿。张婷等^[22]研究含Li₂O品位0.95%的钽铌重选尾矿,通过试验方案对比,最终确定采用先磁选后浮选工艺回收锂云母,浮选采用“一粗一精一扫”工艺流程,硫酸调节矿浆pH为3,捕收剂椰油胺用量粗选350 g/t,扫选175 g/t,空白精选,闭路试验下可得品位4.34%、回收率80.86%的锂云母精矿;赖纪全^[23]为提升长石粉产品的质量和附加值,采用先磁选后浮选工艺,从粗长石粉中回收锂云母,采用椰油胺捕收剂,闭路试验可得Li₂O品位3.45%和回收率81.40%的锂云母精矿。李建伟等^[24]研究内蒙古某含锂多金属矿石,92.94%的Li分布于锂云母中,采用椰油胺作捕收剂,盐酸调节矿浆pH,经过“一粗三精一扫”工艺可获得锂云母精矿Li₂O品位在3.51%左右,综合回收率94.85%。

秦伍等^[25]为提高锂云母精矿的品位和回收率,捕收剂选用阳离子捕收剂十二胺,H₂SO₄调节矿浆pH,经过“两粗三精一扫”浮选流程,可获得锂云母精矿Li₂O品位在3.77%左右,理论回收率在76%~86%;刘跃龙等^[26]运用MS软件,对十二胺在锂云母、长石和石英矿物表面的吸附过程进行了分子动力学模拟研究,研究结果表明,十二胺能够选择性吸附于锂云母表面,改变矿物表面接触角,使锂云母疏水性增加,与两种脉石矿物之间产生表面特性差异,有利于锂云母与脉石矿物浮选分离。

龙运波等^[27]研究了甘肃某含铷多金属矿,该矿石嵌布关系复杂,有价元素铷主要赋存于锂云母中。采用阳离子捕收剂浮选回收含铷锂云母,在酸性条件下进行了混合胺、醚胺、十二胺和复配胺类捕收剂对比试验,试验结果表明复配胺类捕收剂可以减少锂云母精

矿中矿泥的含量,锂云母中 Rb_2O 的品位和回收率指标最好。

Junhyun 等^[28]研究了影响锂云母与脉石矿物(石英、长石)浮选分离的因素,通过 Zeta 电位测定锂云母、石英和方解石的等电点分别为 2.0、2.5 和 9.7。结果表明,捕收剂 STAC(硬脂基三甲基氯化铵)在不加抑制剂条件下能浮选分离三种矿物。首先调节矿浆 pH 在 6.3~8.0 范围内,先混合浮选得到锂云母和石英的混合粗精矿,然后混合粗精矿加酸调节矿浆 pH 至 2~4,浮选分离得到锂云母精矿。

焦芬^[29]发明了一种锂云母选矿方法,矿石先进行碎磨至 -0.15 mm 占 90%,经两次脱泥后进行浮选,硫酸调节矿浆 pH 至 3~4,捕收剂十二胺聚氧乙烯醚溶液用量为 120~160 g/t,经“一粗两精一扫”浮选流程,最终可得到 Li_2O 品位 3.17%、回收率 66.38% 的锂云母精矿。十二胺聚氧乙烯醚具有药剂耗量低、对矿泥适应性强、产生的泡沫不发黏、富集比高等特点。

2.3 组合捕收剂

在锂云母复杂的浮选体系中,相关学者发现锂云母单一捕收剂存在用量大、对温度和矿泥适应性差、精矿指标较低等问题,而多种捕收剂组合使用,往往可以改善上述问题,提高锂云母的捕收效率。但由于浮选体系的复杂性所以组合捕收剂在浮选锂云母的合理使用和理论解释依然面临许多难题。目前关于锂云母组合捕收剂的解释主要为^[30-32]:组合捕收剂在复杂的浮选体系中,两者产生协同效应(1+1>2),降低了溶液的表面张力和捕收剂的临界胶束浓度,从而改善了药剂的活性,提高了组合捕收剂对锂云母的选择性和捕收能力。

何桂春等^[33]发明了一种阴阳离子结合浮选锂云母的方法,采用阴离子捕收剂(731 或油酸钠)和阳离子捕收剂(十二胺或椰油胺)的组合,组合捕收剂的阴阳离子之间产生共吸附机理、电荷补偿机理和功能互补机理,通过离子键合或供受体键合,组合捕收剂以稳定化学吸附形式吸附于锂云母表面,以可逆的物理吸附形式吸附于石英、长石等脉石矿物。大量试验研究表明,采用 731 用量 400 g/t 和十二胺用量 90 g/t 的组合,抑制剂水玻璃 1 600 g/t,经“一粗两精两扫”闭路浮选试验流程,最终可获得 Li_2O 品位 4.17% 和回收率 71.23% 的锂云母精矿。机理研究认为阴离子捕收剂(油酸钠或 731)的加入增加了阳离子捕收剂(十二胺或椰油胺)在锂云母矿物表面的吸附量,提高对锂云母的选择性和捕收能力。

王林林等^[34,35]在浮选某低品位的锂云母矿石时,采用组合捕收剂(十二胺+油酸钠)浮选锂云母。浮

选试验结果表明,十二胺与油酸钠用量比为 2:1 时,组合捕收剂对锂云母的吸附作用最强。用 MS 软件对组合捕收剂在锂云母表面的吸附行为进行了分子动力学模拟,结果表明,作用机理可能是十二胺先通过物理吸附在带负电的锂云母表面,油酸钠靠表面异种电荷的静电吸引作用以及非极性碳链间的疏水作用而穿插在十二胺与锂云母之间吸附层中,这种协同作用使得矿物表面疏水性增强,更加有利于锂云母上浮。

杨刚^[36]研究弱酸条件下含铷锂云母与长石浮选分离的机理。通过纯矿物试验结果发现,十二胺和十二烷基磺酸钠组合对浮选分离效果最佳,随着十二烷基磺酸钠浓度增加,脉石矿物在精矿产品中的回收率迅速下降,为锂云母浮选分离提供了可能。在人工混合矿的试验中,当使用摩尔浓度比为 1:1,总浓度为 5×10^{-4} mol/L 的十二胺和十二烷基磺酸钠组合捕收剂,硫酸调节矿浆 pH 至 6,抑制剂草酸用量 300 g/t 时,两者浮选差异最大。XPS 机理分析结果表明,组合捕收剂能在锂云母表面上通过 S 和 Al 元素之间的相互作用形成化学吸附。

张慧婷^[37]模拟了组合捕收剂在锂云母矿物表面吸附的分子动力学,结果表明,捕收剂与矿物表面作用的体系的能量越低,捕收剂与矿物反应越剧烈。作用构型表明捕收剂分子与锂云母(001)面发生相互作用的络合构型中,中间隔着水分子层,组合捕收剂分子(十二胺+油酸)借助 -COOH 和 -NH₂ 官能团吸附于锂云母(001)面的水分子层上,利用烃链的疏水性实现锂云母附着于气泡上。在自然条件下,十二胺和油酸质量配比为 1:1 时,与锂云母表面的作用能相对较低,当组合捕收剂用量为 10^{-4} mol/L 时,锂云母回收率可达到 77.41%。

2.4 新型捕收剂

相比于常规捕收剂,锂云母新型捕收剂研究取得了不错的进展,新型捕收剂可以改善常规捕收剂存在的药剂用量大、适应性差、选择性差、泡沫发黏和腐蚀设备严重等诸多问题^[38-43]。但由于生产成本高和研发周期长的缺点,导致锂云母新型捕收剂在锂矿山中应用并不广泛,大部分还处于实验室试验阶段。

宜春钽铌矿浮选回收锂云母工艺一直采用 HCl+椰油胺药剂制度,该药剂制度存在锂云母精矿品位和回收率偏低等问题。黄万抚和陈小爱^[44,45]采用新型捕收剂 HT+椰油胺的方案代替原来的 HCl+椰油胺,不仅改善了椰油胺的溶解性问题,而且可以获得锂云母精矿 Li_2O 品位 4.65%、回收率达 60% 以上,提高了企业的效益。苏建芳等^[46]针对椰油胺冬季易凝固和需配药的缺点,采用新型捕收剂 BK414 浮选回收钽铌重

选尾矿中的锂云母,工业对比试验中获得锂云母精矿回收率提高了8.07%;刘书杰等^[47]为解决锂云母浮选时需配入大量酸,而造成设备腐蚀严重的问题,自制改性阳离子捕收剂YC-1,在pH 7.2条件下浮选分离锂云母和长石,最终可获得锂云母精矿Li₂O品位4.01%,回收率69.42%。

周高云等^[48]研发了一种锂云母浮选新型捕收剂BK307,与混合胺对比试验结果表明,捕收剂用量相同时,新型捕收剂BK307提高了锂云母精矿Li₂O品位,回收率从69.50%提高到77.10%;锂云母回收率相同时,新型捕收剂BK307不仅提高了锂云母精矿Li₂O品位,而且捕收剂用量减少约28%。通过捕收剂浮选性能比较,证明BK307是一种适用于锂云母浮选的新型高效捕收剂。

何桂春等^[49]在实验室中采用新型药剂LZ-00+椰油胺(质量比2:1)的组合,经过“一粗一精一扫”浮选流程可获得Li₂O品位4.12%、回收率70.37%的锂云母精矿,与实际生产的锂云母精矿指标相比有较大的提高。红外光谱分析结果表明,组合捕收剂LZ-00+椰油胺的组合药剂在锂云母表面存在化学吸附和物理吸附,同时还存在氢键作用,该组合捕收剂对锂云母具有高效选择性。

锂云母矿石易泥化,传统脱泥—浮选回收工艺易造成锂云母损失率大,周贺鹏等^[50]为解决锂云母在矿泥中的损失,研发了一种以-CO-NH-为主要作用官能团的高效锂云母捕收剂ZL-01,浮选回收试验结果表明,含Li₂O品位0.42%的原矿,磨矿细度在-0.074 mm占50%,不脱泥直接浮选锂云母,在捕收剂ZL-01和抑制剂六偏磷酸钠的药剂制度下,最终可获得Li₂O品位3.38%,回收率为73.50%的锂云母精矿。机理分析表明官能团-CO-NH-能降低溶液表面张力,提高药剂的表面活性。

黄志强等^[51]为脂肪胺类捕收剂在低温下捕收锂云母效果差的缺点,发明了一种新型捕收剂2-丁烯-1,4-双(十二烷基吡咯烷基溴化铵),该捕收剂分子中具有两个亲矿基团、两个疏水基团和不饱和烯基,使其具有更强的捕收性、疏水性和Krafft特性。采用新型捕收剂2-丁烯-1,4-双(十二烷基吡咯烷基溴化铵)浮选回收江西某锂云母矿,浮选矿浆温度5~8℃下,H₂SO₄调节pH至4.8,捕收剂用量为130 g/t,经“一粗两精一扫”浮选流程,最终可获得Li₂O品位4.52%,回收率70.05%的锂云母精矿,相比于同温度下椰油胺的浮选效果,锂云母精矿品位提高了0.33个百分点,回收率提高了16.13个百分点。说明该新型捕收剂在低温矿浆环境下对锂云母具有较强的捕收能力。

3 结论

近年来随着新能源汽车行业的快速崛起,极大地推动了锂产业链的发展,锂云母的选矿研究取得了不错的进展。但随着锂云母资源开发,锂云母贫细杂问题愈发突出,如何高效地从锂云母矿石中回收锂云母精矿已成为选矿领域的研究热点。浮选法作为锂云母最主要的选矿方法,选用高效浮选药剂成为提高锂云母资源开发和利用的关键因素。

(1)深入对锂云母捕收剂作用机理研究。探究捕收剂对锂云母的吸附方式和组合机制,改善浮选环境,提高胺类捕收剂的选择性和组合捕收剂间的协同作用,有利于提高常规捕收剂在锂云母选矿厂的应用。

(2)加大新型捕收剂的研发和推广。进一步研究锂云母晶体结构与药剂性能关系,为制备适用于回收锂云母的高效低价新型捕收剂提供理论依据,将高性能新型捕收剂面向锂云母矿山推广。

(3)丰富锂云母浮选药剂种类和药剂制度。强化活化剂和抑制剂方面的应用研究,在复杂的浮选体系下,通过活化目的矿物锂云母或抑制脉石矿物,增加矿物之间的可浮性差异,提高锂云母浮选指标。

参考文献:

- [1] 李承元,李勤,朱景和.世界锂资源的开发应用现状及展望[J].国外金属矿选矿,2001(8):22-26.
- [2] 谭秀民,张永兴,张利珍,等.能源金属锂资源开发利用现状及发展建议[J].矿产保护与利用,2017(5):87-92.
- [3] 袁剑鹏,申军.新能源背景下的锂资源分类、开发及工业应用[J].化工矿物与加工,2016,45(6):82-84.
- [4] HANNA V, SIMON D, MIKAEL H. Lithium availability and future production outlooks[J]. Applied Energy, 2013, 110(110): 252-266.
- [5] 刘丽君,王登红,刘喜方,等.国内外锂矿主要类型、分布特点及勘查开发现状[J].中国地质,2017,44(2):263-278.
- [6] 朱文龙,黄万抚.国内外锂矿物资源概况及其选矿工艺综述[J].现代矿业,2010,26(7):1-4.
- [7] 方霖,郭珍旭,刘长森,等.云母矿物浮选研究进展[J].中国矿业,2015,24(3):131-136.
- [8] JAERYEONG L. Extraction of Lithium from Lepidolite Using Mixed Grinding with Sodium Sulfide Followed by Water Leaching[J]. Minerals, 2015, 5(4): 737-743.
- [9] THI T, VAN T, RETO G, et al. Extraction of lithium from lepidolite via iron sulphide roasting and water leaching[J]. Hydrometallurgy, 2015, 153: 154-159.
- [10] PANKAJ K. C, MIN-SEUK K, RAJIV R. S, et al. Advance review on the exploitation of the prominent energy-storage element: Lithium. Part I: From mineral and brine resources[J]. Minerals Engineering, 2016, 89: 119-137.
- [11] 胡熙康.浮选理论与工艺[M].长沙:中南工业大学出版社,1991:231-237.
- [12] 纪国平,张迎棋.浅析铁介质磨矿对云母浮选的影响[J].新疆有色金属,2009,32(1):46-47.

- [13] CALGAROTO S, AZEVEDO A, RUBIO J. Separation of amine-insoluble species by flotation with nano and microbubbles[J]. *Minerals Engineering*, 2016, 89: 24-29.
- [14] NATHÁLIA V, FERNANDO O. D, CARLOS G, et al. Grade-recovery modelling and optimization of the froth flotation process of a lepidolite ore[J]. *International Journal of Mineral Processing*, 2016(157): 184-194.
- [15] 孙传尧. 硅酸盐矿物浮选原理[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 468-469.
- [16] 冯金妮. 锂云母高效捕收剂的选择及机理研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2013.
- [17] 刘臻. 锂云母浮选过程试验与分子模拟研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2015.
- [18] 吕子虎, 赵登魁, 沙惠雨, 等. 阴阳离子组合捕收剂浮选锂云母的试验研究[J]. *矿产保护与利用*, 2017(2): 81-84.
- [19] 李利娟, 张凡. 某钽铌重选尾矿中的锂云母浮选试验研究[J]. *矿业研究与开发*, 2013, 33(2): 57-59.
- [20] 王威, 常学勇, 柳林, 等. 赣州某钨尾矿中锂的浮选回收与浸出试验[J]. *金属矿山*, 2018(11): 185-188.
- [21] Roberts J. UN sets out Latin America's lithium agenda[J]. *Industrial Minerals*, 2011(520): 42-43.
- [22] 张婷, 李平, 李振飞. 某钽铌矿重选尾矿中锂云母回收试验研究[J]. *矿冶*, 2017, 26(6): 22-26.
- [23] 赖纪全. 粗长石粉中回收锂云母的试验研究[J]. *中国金属通报*, 2019(7): 144-145.
- [24] 李建伟, 张忠伟, 张晓鹏, 等. 内蒙古某锂多金属矿石选矿试验研究[J]. *世界有色金属*, 2018(8): 158-160.
- [25] 秦伍, 李同其, 王念峰, 等. 提高锂云母精矿品位及回收率的浮选工艺研究[J]. *佛山陶瓷*, 2018, 28(8): 27-31.
- [26] 刘跃龙, 王林林, 刘够生. 十二胺捕收剂在三种不同矿物表面吸附的分子动力学模拟[J]. *有色金属工程*, 2020, 10(7): 82-87.
- [27] 龙运波, 朱昌洛, 杨磊. 甘肃某钨多金属矿浮选锂云母选矿试验研究[J]. *矿产综合利用*, 2016(4): 74-77.
- [28] JUNHYUN C, WANTAE K, WOORI C, et al. Electrostatically controlled enrichment of lepidolite via flotation[J]. *Materials transactions*, 2012, 53(12): 2191-2194.
- [29] 焦芬, 覃文庆, 王云帆, 等. 一种锂云母浮选方法: 201710322482. 6 [P]. 2019-01-25.
- [30] FILIPPOV L. O, FILIPPOVA I. V, SEVEROV V. V. The use of collectors mixture in the reverse cationic flotation of magnetite ore: The role of Fe-bearing silicates[J]. *Minerals Engineering*, 2009, 23(2): 91-98.
- [31] SANTANU P, KHILAR K C. A review on experimental studies of surfactant adsorption at the hydrophilic solid-water interface[J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2004, 110(3): 75-95.
- [32] HANUMANTHA RAO K, FORSSBERG K. S. E. Mixed collector systems in flotation[J]. *International Journal of Mineral Processing*, 1997, 51(1): 67-79.
- [33] 何桂春, 黄开启, 安占涛, 等. 一种新型锂云母浮选方法. 中国: 201310163993 [P], 2013-08-14.
- [34] 王林林, 朱灵燕, 刘跃龙, 等. 混合捕收剂在锂云母表面吸附行为的分子动力学模拟研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2019(2): 108-114.
- [35] 王林林, 朱灵燕, 刘跃龙, 等. 阴阳离子混合捕收剂用于中低品位锂云母的浮选试验研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2019(3): 86-92.
- [36] 杨刚. 弱酸条件下含铷锂云母与长石的浮选分离研究[D]. 北京: 北京有色金属研究总院, 2020.
- [37] 张慧婷. 十二胺和油酸组合捕收剂在锂云母表面吸附的分子动力学模拟[D]. 赣州: 江西理工大学, 2017.
- [38] 丰丽琴, 王云帆, 覃文庆, 等. 江西某低品位锂云母矿浮选试验研究[J]. *非金属矿*, 2019, 42(1): 60-62.
- [39] 刘勇, 黄霞光, 陈果. 某钽铌磨重尾矿中锂云母的回收试验研究[J]. *中国非金属矿工业导刊*, 2016(2): 28-30.
- [40] 艾光华, 严华山, 吴艺鹏, 等. 综合回收某含钽铌锂云母矿的选矿试验研究[J]. *非金属矿*, 2014, 37(4): 4-6.
- [41] 郭文萍, 刘述春. 低品位难选锂云母浮选工业试验[J]. *矿业工程*, 2019, 17(6): 27-29.
- [42] BULATOVIC S M. Beneficiation of lithium ores - science direct[J]. *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory & Practice*, 2015, 3: 41-56.
- [43] BOGALE T, FIDELE MI, BORIS A, et al. The beneficiation of lithium minerals from hard rock ores: A review[J]. *Minerals Engineering*, 2019, 131: 170-184.
- [44] 陈小爱. 提高锂云母精矿品位及回收率的试验探讨[J]. *江西有色金属*, 2007(1): 18-19.
- [45] 黄万抚, 肖莞华, 李新冬, 等. HT选锂剂提高锂云母精矿品位及回收率研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2012(4): 76-78.
- [46] 苏建芳, 王中明, 刘书杰, 等. BK414在宜春钽铌矿浮选锂云母的工业试验[J]. *中国矿业*, 2016, 25(7): 114-117.
- [47] 刘书杰, 王中明, 陈定洲, 等. 某钽铌尾矿锂云母、长石分离试验研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2013(1): 177-179.
- [48] 周高云. 浮选锂云母的新捕收剂研究[J]. *北京矿冶研究总院学报*, 1992(1): 60-63.
- [49] 何桂春, 冯金妮, 毛美心, 等. 组合捕收剂在锂云母浮选中的应用研究[J]. *非金属矿*, 2013, 36(4): 29-31.
- [50] 周贺鹏, 耿亮, 郭亮, 等. 江西宜春低品位锂云母矿综合回收工艺研究[J]. *非金属矿*, 2020, 43(4): 59-61.
- [51] 黄志强, 何桂春, 邱廷省, 等. 一种新型表面活性剂在锂云母矿浮选上的应用方法: 201910748299. 1 [P]. 2019-12-03.

Research Status and Prospect of Lepidolite Flotation Collectors

LI Shaoping¹, ZHANG Junmin¹, Dilinuer · Abudukade², WANG Yali²

1. School of Mining Engineering and Geology, Xinjiang Institute of Technology, Urumqi 830000, China;

2. School of Resource and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China

Abstract: With the large-scale development of lepidolite resources in China, the problem of poor fine and impurities has become more prominent. The efficient recovery of lepidolite has become a research hotspot in the field of mineral processing. This paper summarizes the main influencing factors and research status of lepidolite flotation collectors. The research on the mechanism of collectors and the development and promotion of new collectors should be increased.

Key words: lepidolite; flotation; collectors

引用格式: 李少平, 张俊敏, 迪里努尔·阿不都卡得, 王亚莉. 锂云母浮选捕收剂研究现状及展望[J]. 矿产保护与利用, 2020, 40(6): 77-82.

Li SP, Zhang JM, Dilinuer · Abudukade, and Wang YL. Research status and prospect of lepidolite flotation collectors[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(6): 77-82.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn