



磷矿反浮选几种胺离子捕收剂脱硅性能对比

闫雅雯¹, 罗惠华¹, 国亚非¹, 赵泽阳¹, 张正虎¹, 张振翼²

(1. 武汉工程大学兴发矿业工程学院, 湖北 武汉 430074;

2. 孝感市天翔矿业科技有限公司, 湖北 孝感 432818)

摘要: 为了较好地实现磷矿反浮选脱硅, 选取适宜的胺类捕收剂及合理的浮选条件是磷矿反浮选脱硅的关键。通过浮选实验, 对比研究脂肪胺类、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。实验表明, 在相同 pH 值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; 实验结果说明, 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。

关键词: 胺类捕收剂; 磷矿; 反浮选; 脱硅

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.06.021

中图分类号: TD985 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 06-0124-07

磷矿浮选包括直接浮选、单-反浮选、反-正浮选、正-反浮选和双反浮选。针对硅质胶磷矿多采用直接浮选, 镁质磷矿多采用单一反浮选, 两步浮选一般应用于硅钙质胶磷矿。磷矿物与硅酸盐矿物的分离多用抑制硅酸盐的正浮选或胺盐的反浮选的工艺, 利用正浮选工艺时, 一般采用加温浮选, 势必提高选矿成本; 在反浮选脱硅时, 多在常温下使用胺类捕收剂^[1]。阳离子胺类捕收剂是反浮选脱硅最常用的捕收剂, 其在水中能解离出 NH_3^+ , 在一定的 pH 值下, $-\text{NH}_3^+$ 能有效捕收石英^[2-4]。但是, 此类药剂的选择性较差, 泡沫产品中的 P_2O_5 含量较高, 致使磷精矿的回收率降低; 同时对矿泥较敏感, 当矿浆中含泥多时, 胺类药剂浮选会出现泡沫多、泡沫发粘、浮选效果变差的情况, 导致磷矿反浮选脱硅的工业生产受到影响^[5]。

因此, 对于磷矿反浮选脱硅的胺类捕收剂的选择, 要了解胺类捕收剂的性质。本文通过实际矿物实验, 研究了脂肪胺 (一胺: 正辛胺、十二胺、异十三胺、椰油胺, 二胺: N-椰油基-1,3-丙二胺)、醚胺 (异十醚胺、C10 醚胺)、胺醚 (椰油胺聚氧乙烯醚、十二胺聚氧乙烯醚)、氧化胺 (椰油酰胺丙基氧化胺) 这 4 类胺类物质对石英的浮选效果, 对比了不同胺类捕收剂对胶磷矿浮选的效果, 为今后胶磷矿浮选脱硅研究, 筛选合适的胺类捕收剂提供依据。讨论了不同药剂及不同捕收剂浓度对石英浮选效果的影响。

1 实验方法

1.1 实验设备及仪器

浮选: XFD 单槽浮选机, 磨矿: XMB-67 型

收稿日期: 2021-08-31

基金项目: 湖北省技术创新重大项目 (编号: 2017ACA187, 2018ACA153)

作者简介: 闫雅雯 (1997-), 女, 硕士研究生, 从事磷矿浮选药剂开发。

通信作者: 罗惠华 (1968-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为磷矿选矿理论与药剂, 矿产资源综合利用。

200×240 mm 棒磨机,过滤: XTL2 φ260/220 mm 多用水环式真空过滤机,干燥: 101-4A 电热鼓风干燥箱。

1.2 实验药剂

矿浆调整剂: LMS 调整剂
胺类捕收剂: 脂肪胺(一胺: 十二胺、正辛胺、椰油胺、异十三胺, 二胺: 椰油二胺(N-椰

油基-1,3-丙二胺)), 胺醚(椰油胺聚氧乙烯醚、十二胺聚氧乙烯醚), 醚胺(Co 醚胺、异十醚胺)氧化胺(椰油酰胺丙基氧化胺)。胺类捕收剂中各种碳数的胺占有的比例见表 1。

1.3 实际矿物成分及性质
矿物反浮选试验所用样品来自贵州某一磷矿, 其多元素分析见表 2。

表 1 十种胺类药剂中各种碳数的胺占有的比例
Table 1 Proportion of amines with various carbon numbers in ten amines

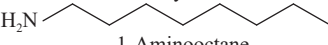
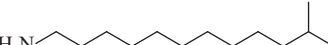
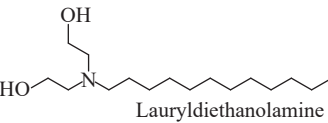
种类	药剂	分子式	结构式	性质
伯胺	十二胺	C ₁₂ H ₂₇ N		溶于乙醇、乙醚、苯、氯仿, 微溶于水
	正辛胺	C ₈ H ₁₉ N		无色液体, 有毒, 有腐蚀性。
	椰油胺	C ₁₆ H ₃₅ N		不溶于水、易溶于酸、无色液体或白色结晶固体
叔胺	异十三胺	C ₁₃ H ₂₉ N		
	椰油二胺	N-椰油基-1,3-丙撑二胺		
胺醚	椰油胺聚氧乙烯醚			
	十二胺聚氧乙烯醚	C ₁₆ H ₃₅ NO ₂		
醚胺	C10醚胺		R-O-CH ₂ CH ₂ CH ₂ NH ₂ (R为脂肪烷基)	无色或淡黄色液体, 具有弱刺激性氨味, 不易溶于水
	异十醚胺		R-O-CH ₂ CH ₂ CH ₂ NH ₂ (R为脂肪烷基)	无色或淡黄色液体, 具有弱刺激性氨味, 不易溶于水
氧化胺 椰油酰胺丙基氧化胺			RCONH(CH ₂)OR=CH-	易溶于水, 无色透明液体

表 2 原矿化学多元素分析/%
Table 2 Chemical multielement analysis of raw ore

MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	CO ₂	TiO ₂	F	Cu	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	SrO
2.24	3.00	21.36	25.26	0.39	1.44	24.05	8.67	0.23	2.16	0.00	0.04	1.84	0.09

1.4 实验方法

取 1 kg 的贵州某磷矿矿样, 用棒磨机磨细至 -0.074 mm 72.4%。然后用湿式分样机分成 6 份, 分别进行反浮选脱硅, 先将矿浆搅拌 4 min, 后加入矿浆调整剂 LMS, 药剂用量 2.5 kg/t, 经过调整后的 pH 值为 8~9, 反应 2 min 后分别添加上述不同的胺类捕收剂进行反浮选脱硅实验, 比较以上几种胺类药剂的浮选性能。

2 实验结果与讨论

磷矿反浮选脱硅主要是利用胺类捕收剂浮选脱出磷矿中的硅酸盐矿物, 实验利用实际矿物浮

选研究脂肪胺(脂肪一胺: 十二胺、正辛胺、椰油胺、异十三胺; 脂肪二胺: N-椰油基-1,3-丙二胺), 胺醚(椰油胺聚氧乙烯醚、十二胺聚氧乙烯醚), 醚胺(C10 醚胺、异十醚胺), 氧化胺(椰油酰胺丙基氧化胺)等四类胺类物质对石英的浮选效果, 考查其药剂浓度和药剂种类对磷矿物浮选的影响。

2.1 脂肪胺类药剂浮选试验

为了探讨胺类捕收剂的浮选性能。在温度 20℃, pH 值为 8~9 的条件下, 进行了捕收剂浓度实验。研究了脂肪一胺与脂肪二胺类阳离子捕收剂的用量与尾矿 SiO₂ 含量、尾矿 P₂O₅ 含量以及

尾矿 P_2O_5 损失率之间的关系, 结果见图 1 (a、b、c)。

由图 1 (a) 可知, 在低药剂用量时, 椰油二胺捕收硅酸盐矿物的能力优于其他的捕收剂, 正辛胺和十二胺捕收硅酸盐矿物的能力相当, 异十三胺的捕收能力较弱, 在药剂用量大于 0.9 kg/t 时, 椰油胺捕收硅酸盐矿物的能力较强, 由图 1 (b), 在五种胺类药剂里, 正辛胺和椰油二胺均对磷矿物的捕收能力较弱, 即尾矿中 P_2O_5 品位较低, P_2O_5 损失率较小, 随着药剂用量的增加, 尾矿中 P_2O_5 含量也随之增加, 尾矿中 P_2O_5 含量集中在 $13\% \sim 16\%$ 。由图 1 (c) 可知, 随着药剂用量的增

加, 尾矿损失率也增高。其中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。综上所述, 椰油二胺浮选脱硅性能优于正辛胺、十二胺、椰油胺, 脱硅性能较差的捕收剂异十三胺。

2.2 胺醚捕收剂

为了探讨胺醚类捕收剂的浮选性能。在温度 20°C , pH 值为 $8 \sim 9$ 条件下, 进行了椰油胺聚氧乙烯醚与十二胺聚氧乙烯醚两种捕收剂实验。研究了此两种捕收剂的用量与尾矿 SiO_2 含量、 P_2O_5 含量以及尾矿磷损失率之间的关系, 结果见图 2。

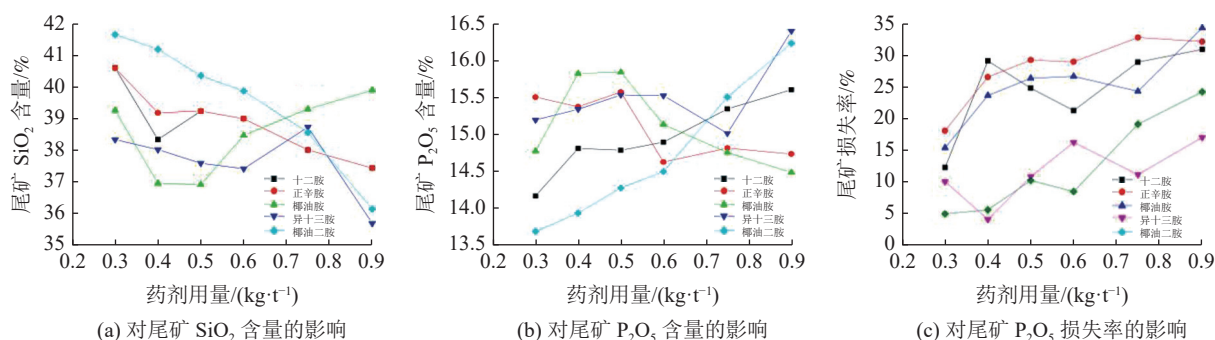


图 1 脂肪胺类捕收剂用量对浮选指标的影响

Fig.1 Effect of fatty amine collector dosage on flotation index

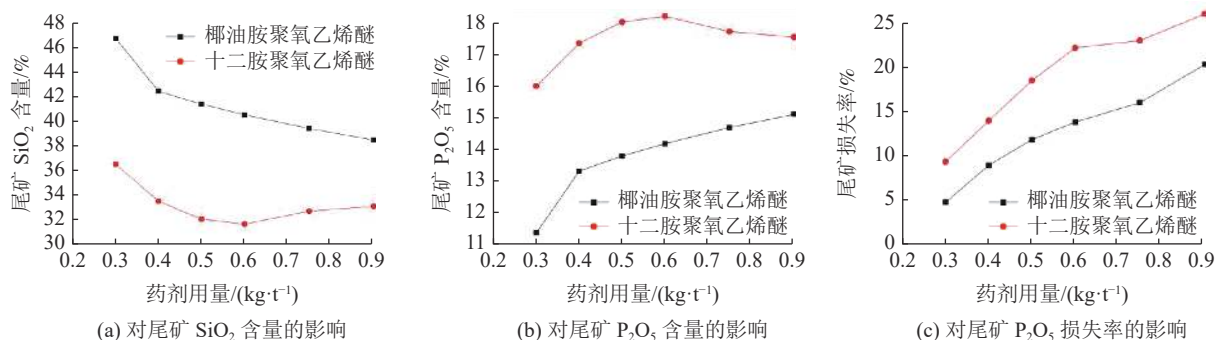


图 2 胺醚类药剂用量对浮选指标的影响

Fig.2 Effect of amine ether reagent dosage on flotation index

由图 2 (a) 可知, 椰油胺聚氧乙烯醚作为捕收剂, 浮选尾矿中 SiO_2 含量大于 40% , 可以达到 47% 以上, 而十二胺聚氧乙烯醚浮选尾矿中 SiO_2 含量低于 38% ; 图 2 (b) 可知十二胺聚氧乙烯醚作为捕收剂时, 尾矿中 P_2O_5 含量大于 16% , 最高达到 18% 以上, 采用椰油胺聚氧乙烯醚作为捕收剂时, 尾矿中 P_2O_5 含量低于 15% , 图 2 (c) 说明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, 进一步说明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。

2.3 醚胺类捕收剂

在温度 20°C , pH 值为 $8 \sim 9$ 条件下, 进行了异十醚胺、C10 醚胺两种捕收剂用量试验, 研究了该两种阳离子捕收剂的用量与尾矿 SiO_2 含量、 P_2O_5 含量以及尾矿回收率之间的关系, 结果见图 3。

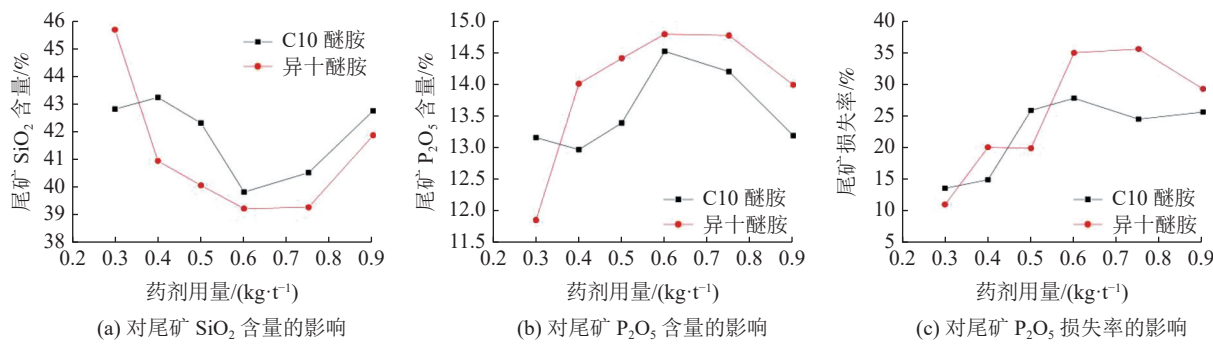


图 3 异十醚胺、C10 醚胺捕收剂用量对浮选指标的影响

Fig.3 Effect of isodecanetramine and C10 ether amine collector dosage on flotation index

图 3 (a) 可知, 整体而言异十醚胺较 C10 醚胺对硅酸盐矿物的捕收能力较弱。但是, 在捕收剂用量为 0.3 kg/t 时, 异十醚胺浮选尾矿的 SiO₂ 含量高于 C10 醚胺, 而图 3 (b) 表明尾矿的 P₂O₅ 含量低于 C10 醚胺, 说明低用量时, 异十醚胺脱硅性能优于 C10 醚胺。捕收剂用量大于 0.3 kg/t 时, 异十醚胺浮选尾矿的 SiO₂ 含量低于 C10 醚胺, 而尾矿的 P₂O₅ 含量高于 C10 醚胺, 图 3 (c)

表明捕收剂用量较大时, 异十醚胺的磷损失率较高, 甚至在药剂用量 0.75 kg/t 时磷的损失率更是达到了 35%, 异十醚胺脱硅性能劣于 C10 醚胺。

2.4 不同胺类药剂脱硅性能对比

为了进一步说明这几种胺类捕收剂浮选脱硅的性能的优劣, 表 3 对比用量均为 0.6 kg/t 浮选尾矿的指标, 椰油二胺的用量为 0.3 kg/t。

表 3 胺类药剂反浮选试验结果
Table 3 Results of amine reagent reverse flotation test

捕收剂	产率/%	SiO ₂ 含量/%	脱硅率	P ₂ O ₅ 含量/%	P ₂ O ₅ 损失率/%	脱硅P ₂ O ₅ 损失系数
椰油二胺	13.34	43.18	22.80	14.5	8.53	0.37
十二胺	40.05	41.65	66.04	15.38	27.31	0.41
椰油胺	38.73	40.62	62.28	15.14	26.85	0.43
异十醚胺	44.86	40.34	71.64	14.79	34.97	0.49
C10醚胺	38.69	39.22	60.07	14.52	27.83	0.46
正辛胺	30.18	38.44	45.93	14.9	21.4	0.47
异十三胺	21.48	36.66	31.17	15.53	16.37	0.53
椰油胺聚氧乙烯醚	22.38	32.44	28.74	14.19	13.85	0.48
十二胺聚氧乙烯醚	31.26	31.36	38.81	18.23	24.22	0.62
椰油酰胺丙基氧化胺	38.73	30.32	46.49	17.48	31.99	0.69

从表 3 中可知, 这十种药剂中对石英的捕收能力不同。反浮选脱硅率大于 60% 的捕收剂依次为异十醚胺、十二胺、椰油胺、C10 醚胺, 其脱硅率分别为 71.64%、66.04%、62.28%、60.07%, 但是四种捕收剂的反浮选尾矿的 P₂O₅ 损失率较高, 依次分别为 34.97%、27.31%、26.85%、27.83%。说明这四种捕收剂的捕收能力较强, 浮选中用量不宜较大, 用量过大将使得磷矿损失率较高。反浮选脱硅率大于 45% 的捕收剂为正辛胺、椰油酰胺丙基氧化胺, 正辛胺的反浮选尾矿 P₂O₅ 损失率为 21.4%, 而椰油酰胺丙基氧化胺的反浮选尾

矿 P₂O₅ 损失率达到 31.99%, 说明椰油酰胺丙基氧化胺浮选性能低于正辛胺, 不宜用于磷矿反浮选脱硅。椰油胺聚氧乙烯醚与十二胺聚氧乙烯醚作为反浮选脱硅捕收剂, 脱硅尾矿中 SiO₂ 的含量为 30% 左右, 且尾矿中 P₂O₅ 损失率较高, 说明胺醚脱硅捕收剂性能较差。采用用量为 0.6 kg/t 椰油二胺反浮选脱硅捕收剂, 脱硅尾矿中 SiO₂ 的含量为 43% 左右, 尾矿 P₂O₅ 损失率仅为 8.53%, 但是脱硅率仅为 22.8%, 因此, 只有增到捕收剂的用量, 有利于提高脱硅, 为了进一步说明这几种胺类捕收剂的脱硅性能, 利用脱硅 P₂O₅ 损失

系数来评价,脱硅 P_2O_5 损失系数为 P_2O_5 损失率与脱硅率的比值,即脱出 1% 的 SiO_2 尾矿 P_2O_5 的损失率。表 3 中,脱硅 P_2O_5 损失系数较低的药剂为椰油二胺,该系数为 0.37,依次为十二胺、椰油胺、C10 醚胺、正辛胺、椰油胺聚氧乙烯醚、异十醚胺、异十三胺、十二胺聚氧乙烯醚、椰油酰胺丙基氧化胺的脱硅 P_2O_5 损失系数最高,达到 0.69 说明此药剂不宜作为脱硅捕收剂。对硅酸盐矿物具有较强的捕收能力的胺类捕收剂,也对磷矿具有较好的捕收能力,因此,捕收能力强的胺类捕收剂的用量不宜较大,为了较好分离磷矿物与硅酸盐脉石矿物,必须合理使用调整剂,以加强分选的选择性,才能有效分离磷矿物与脉石矿物。

3 机理分析

石英颗粒是亲水性固体,为了实现它在泡沫中的富集,通常使用胺类捕收剂来改变它的表面特性。由于在矿浆呈现弱碱性时,石英表面显电负性,胺主要呈两种离子形式存在:一种是阳离子 RNH_3^+ ,另一种是离子-分子二聚物 $(RNH_2)_2H^+$ 的形式存在,所以在固体表面的双电层内,石英靠静电力发生吸附属物理吸附^[6]。

在铵离子 RNH_3^+ 与胺分子 RNH_2 的非极性更有利于发生相互缔合作用,使它们在石英颗粒表面产生共吸附,或者形成以胺分子及其离子二聚体 $(RNH_2)_2H^+$ 组成的半胶束吸附基团。当胺分子与石英颗粒发生吸附时,既不中和石英颗粒表面的负电性,也不受颗粒表面电位大小的影响,因此在浮选矿浆 pH 值低于零电位点时可以达到良好的浮选指标。

(1) 脂肪胺类

椰油二胺对石英的捕收能力高于脂肪一胺类捕收剂。当药剂用量在 0.4~0.8 kg/t 时,椰油二胺的捕收能力明显优于其他四类捕收剂。椰油二胺的质量浓度试验表明,质量浓度在 0.6 kg/t 时,脱硅率可达到 22.80%,脱硅 P_2O_5 损失系数为 0.37,当用量为 0.9 kg/t,脱硅率可达到 51.5% 脱硅 P_2O_5 损失系数仅为 0.40,主要原因是由于椰油二胺中含有两个氨基基团,更加容易与石英颗粒表面产生物理吸附,其次是其含有混合碳链,包含 C12、C14、C16 等,多种碳链复合药剂导致硅酸盐上浮

量较大,但是磷的损失率也较高。

(2) 胺醚类

此类药剂中有两个极性基团,聚氧乙烯基团难以夺取质子而阳离子化,与矿物形成有效吸附的仍只有胺基,但醚键易于水分子形成氢键,使电子性增大,当吸附在矿物表面后,矿物表面电性会发生较大改变。因此,醚胺类药剂能明显改变石英表面电性。醚键与水分子结合成氢键后,大大增加了亲水性,捕收能力减弱了,这种影响较大,造成胺醚类药剂捕收能力较弱。

(3) 醚胺类

醚胺的结构组成是在脂肪胺中插入一个醚氧基,亲水基团醚氧基的引入增加了药剂的溶解性,使药剂在气-液界面上的吸附增强,进一步改善了起泡性能,这使得醚胺对硅酸盐矿物的捕收能力和选择性均优于脂肪胺。醚胺是随着碳链长度增加,直链醚胺(多胺)的捕收能力优于支链醚胺(多胺),但直链醚胺(多胺)浮选剂的泡沫的稳定性更强。因此,在浮选指标相差不大时,应尽量降低阳离子反浮选泡沫量和稳定性,选择带有支链的多胺,浮选效果会更加好^[7]。

(4) 氧化胺

产生以上现象的主要原因是由于氧化胺分子中的氧,带有较多的负电荷,能与氢质子结合,是一种弱碱,但碱性要比母体叔胺弱。这就使得氧化胺的弱碱性使其在中性和碱性溶液中显出非离子特性,在酸性介质中呈阳离子性,是一种多功能两性表面活性剂。且在各自的临界胶束浓度时,氧化胺的表面张力比常规胺盐低得多,所以氧化胺的表面活性比普通胺盐好得多。所以氧化胺的捕收能力较强,但这也存在一个弊端,选择性不够好,容易造成较大的磷矿损失率。含有长链烷基的脂肪烷基氧化胺是典型的表面活性剂,其疏水基为长链烷基,亲水基为 $-N \rightarrow O$,氧化胺可显著降低水的表面张力,而且在碱性介质中,显示非离子表面活性剂氢键的增溶性能。完全可与阴离子复配,且其中极性基团酰胺基的引入使得引入的分子结构中含有两个键级较弱的 C-N 键,因此可能存在一种使得 C-N 键断裂的较为容易的降解途径^[8],符合环境可持续发展,其对石英的捕收能力较弱,但是未来可以与阴离子表面活性剂复配也将是一个未来新型药剂的发展方向^[9]。

4 结 论

(1) 在相同 pH 值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, 捕收硅酸盐矿物性能较差的捕收剂异十三胺。对 P_2O_5 的损失率由低到高排序为: 其中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 醚脂; 椰油二胺脱硅 P_2O_5 损失系数为 0.37 较低, 依次为十二胺、椰油胺、C10 醚胺、正辛胺、椰油胺聚氧乙烯醚、异十醚胺、异十三胺、十二胺聚氧乙烯醚、椰油酰胺丙基氧化胺的脱硅 P_2O_5 损失系数最高, 达到 0.69 说明此药剂不宜作为脱硅捕收剂。

(2) 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, 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, 浮选性能由强到弱基本排序为: 二胺>一胺>醚胺>胺醚>氧化胺, 另一方面, 对硅酸盐矿物具有较强的捕收能力的胺类捕收剂, 也对磷矿具有较好的捕收能力, 因此, 捕收能力强的胺类捕收剂的用量不宜较大, 为了较好分离磷矿物与硅酸盐脉石矿物, 必须合理使用调整剂, 以加强分选的选择性, 才能有效分离磷矿物与脉石矿物。

参考文献:

- [1] 王涛, 付磊, 李宁. 某硅钙质胶磷矿正反浮选试验研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(2):91-95.
WANG T, FU L, LI N. Study on direct-reverse flotation of a silica calcinate phosphate ore[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(2):91-95.

- [2] 阿布拉莫夫 A A. 矿物浮选中阳离子捕收剂作用机理的理论基础和规律性[J]. *国外金属选矿*, 2007(8):9-13.
Abramoff A A. Theoretical basis and regularity of cationic collector in mineral flotation[J]. *Metallic Ore Dressing Abroad*, 2007(8):9-13.
[3] 朱一民, 杨雪莹, 乘舟越洋, 等. 不同胺类捕收剂泡沫性能及其机理研究[J]. *金属矿山*, 2020(7):99-104.
ZHU Y M, YANG X Y, CHENG Z Y Y, et al. Properties and mechanism research of different amine collector foam[J]. *Metal Mine*, 2020(7):99-104.
[4] 余新文, 喻福涛, 杨晓军, 等. 四川某地石英长石矿高效利用选矿试验研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(5):87-91.
YU X W, YU F T, YANG X J, et al. Experimental study on the efficient utilization of quartz-feldspar ore in Sichuan[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(5):87-91.
[5] 吴中贤, 姜效军, 陶东平. 新型胶磷矿反浮选脱硅阳离子捕收剂试验研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(5):115-119.
WU Z X, JIANG X J, TAO D P. Experimental study on a novel cationic collector for reverse flotation of collophane for silica removal[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(5):115-119.
[6] 刘鸣. 醚多胺磷矿反浮选钾长石的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2018.
LIU M. Study on reverse flotation of potassium feldspar from ether polyamine phosphate mine[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2018.
[7] 刘文刚, 王鑫阳, 刘文宝, 等. 高降解性月桂酰基丙基氧化胺的合成及浮选性能研究[J]. *金属矿山*, 2021(2):65-70.
LIU W G, WANG X Y, LIU W B, et al. Synthesis and flotation performance of highly degradable lauroyl propyl amine oxide[J]. *Metal Mine*, 2021(2):65-70.
[8] 李莉, 孙保兴. 氧化胺的性能、应用及其工艺改进[J]. *表面活性剂工业*, 1998(3):15-21.
LI L, SUN B X. Performance, application and process improvement of amine oxide[J]. *Surfactant Industry*, 1998(3):15-21.
[9] 葛英勇. 新型捕收剂烷基多胺醚 (GE-609) 的合成及浮选性能研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
GE Y Y. Synthesis and flotation performance of a new collector, alkyl polyamine ether (GE-609)[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010.

Comparison of Desilication Performance of Several Amine Ion Collectors in Reverse Flotation of Phosphate Rock

Yan Yawen¹, Luo Huihua¹, Guo Yafei¹, Zhao Zeyang¹, Zhang Zhenghu¹, Zhang Zhenyi²

(1.Xingfa School of Mining Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan, Hubei, China; 2.Xiaogan Tianxiang Mining Technology Co., Ltd., Xiaogan, Hubei, China)

Abstract: In order to realize the desilication of phosphate rock by reverse flotation, the selection of appropriate amine collectors and reasonable flotation conditions are the key to the desilication of phosphate rock by reverse flotation. Through flotation experiments, the collection effects of four different amine collectors, including fatty amines, amine ethers, ether amines and oxidized amines, on quartz were compared. The experiments show that different amine collectors have different flotation properties for collophanite at the same pH value. In weakly alkaline medium, the basic order of the collection capacity of fatty amine reagents for SiO_2 is as follows: the flotation collection performance of coconut diamine for silicate minerals is better than that of n-octylamine, dodecylamine, coconut diamine and isothirteen amine, but the loss rate of phosphorus by isothirteen amine reagent is lower, followed by coconut diamine, dodecylamine, coconut oil amine and n-octylamine had greater loss of phosphorus. The collection capacity of amine ethers for SiO_2 is as follows: the collection capacity of coconut amine polyoxyethylene ether for silicate minerals is stronger than that of dodecylamine polyoxyethylene ether, and the P_2O_5 loss rate of flotation tailings of dodecylamine polyoxyethylene ether is higher than that of coconut amine polyoxyethylene ether; The collection capacity of ether amine reagents for SiO_2 is as follows: the collection capacity of isodecanetramine for silicate minerals is weaker than that of C10 ether amine, and the loss rate of P_2O_5 of isodecanetramine flotation tailings is higher than that of C10 ether grease; The test results show that the flotation performance of the same type of amine reagent is basically similar, and there are some small differences. The collection capacity of fatty diamine with the same carbon chain composition for collophanite is stronger than fatty monoamine. The basic order of flotation performance from strong to weak is diamine > monoamine > ether amine > amine ether > oxide amine.

Keywords: Amine ion collectors; Phosphate rock; Reverse flotation; Desilication

(上接第 103 页)

different particle sizes (<0.25, 0.25~0.5, 0.5~1, 1~2, 2~5, >5 mm) during the ecological restoration process. The results showed that the plant nutrients in the waste residue were mainly distributed in the small particle size waste residue <1 mm; the organic matter and total nitrogen content in the plant rhizosphere and non-rhizosphere waste residues generally increased first and then decreased with the increase in the size of the waste residue. The content of available nitrogen and available phosphorus decreased with the increase of the particle size of the waste residue; the improvement effect of the two herbaceous plants on the nutrients of the waste residue was mainly expressed as clover> ryegrass> control, and showed obvious rhizosphere effects (rhizosphere> non rhizosphere). Two phytoremediation effects significantly affect the heavy metal content of waste residues and the distribution of their occurrence forms in different particle sizes: (1) The content of Pb and Cu in clover rhizosphere waste residue was significantly lower than that of the control, and promoted the conversion of Cd to residue; (2) The content of Cu and Cd in ryegrass rhizosphere waste residues with different particle sizes is redistributed, and the content in the fine particle size (<0.5 mm) waste residues is significantly reduced; (3) The ratio of acid soluble Cu, Pb, Cd, and Zn of the two plant rhizosphere waste residues decreased significantly, and the ratio increased with the increase of the waste residue particle size. In conclusion, *trifoliumrepens* and *loliumperenn* as pioneer plants in ecological rehabilitation of waste slag yards, can create good planting conditions for the natural settlement of dominant plants, and are of great significance to the control of the ecological risk of the diffusion and migration of fine-sized waste slag.

Keywords: Lead-zinc smelting slag; Pioneer herbs; Particle size; Nutrient; Heavy metal; Micro domains in the rhizosphere