

8-羟基喹啉在微细粒铝硅矿物 浮选分离中的作用

卢毅屏, 谭燕葵, 冯其明, 张国范, 欧乐明

(中南大学 资源加工与生物工程学院, 长沙 410083)

摘要: 通过浮选实验、动电位和红外光谱测定, 考查了 8-羟基喹啉对一水硬铝石和高岭石浮选分离的作用及机理。单矿物浮选结果表明: 8-羟基喹啉的捕收能力较弱, 选择性差。人工混合矿分离实验结果表明: 8-羟基喹啉用量是油酸钠用量的 1/10 或更小时, 可以显著提高 Al_2O_3 精矿的回收率; 其中油酸钠在较低用量水平时, 8-羟基喹啉可基本保持原有的选择性, 实现铝硅分离。动电位测试表明: 8-羟基喹啉用量在 $0\sim 5\times 10^{-4}$ mol/L 范围内, 在两个不同的油酸钠用量下, 高岭石的 ζ 电位均随着 8-羟基喹啉用量的增大而负移; 而对于一水硬铝石而言, 结果却不一样, 这说明 8-羟基喹啉在铝硅矿物表面吸附的模式可能不同。红外分析结果表明: 8-羟基喹啉主要通过氢键作用和络合作用被吸附在矿粒表面, 造成矿物表面的初步疏水, 促进捕收剂对矿物的捕收。

关键词: 一水硬铝石; 高岭石; 8-羟基喹啉; 油酸钠

中图分类号: TD 92

文献标识码: A

Effect of 8-hydroxyquinoline on flotation separation of ultrafine aluminum-silicate minerals

LU Yi-ping, TAN Yan-kui, FENG Qi-ming, ZHANG Guo-fan, OU Le-ming

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

Abstract: The effect of 8-hydroxyquinoline (8HQ) on flotation separation of ultrafine diasporite and kaolinite was investigated through flotation tests, zeta potential measurements and FTIR. Flotation tests for single minerals indicate that both the collection and selectivity of 8HQ to minerals are poor. Flotation tests for artificial mixed minerals show that, the recovery of Al_2O_3 is improved greatly, while the concentration of 8HQ is or less than 1/10 of that of sodium oleate. Under the low concentration of sodium oleate, the selectivity of 8HQ for minerals is maintained, which reaches the separation of aluminum-silicate minerals. The zeta potential tests show that in two different concentrations of sodium oleate, the zeta potentials of kaolinite decline as 8HQ ranges from 0 to 5×10^{-4} mol/L, which is different from diasporite. This suggests that the adsorption of 8HQ on the surface of minerals may be different. The FTIR shows that the adsorption of 8HQ on the minerals is dominant by hydrogen bonding and complexing action, which makes the surface of mineral lyophobic initially and promotes the collection of minerals.

Key words: diasporite; kaolinite; 8-hydroxyquinoline; sodium oleate

我国铝土矿资源丰富, 已探明的含量达 23 亿 t, 居世界第 5 位。一水硬铝石型铝土矿占全国铝土矿总储量的 98.33%, 有高铝、高硅、低铁、A/S 低、矿物结晶粒度细、相互嵌布关系复杂且含硅矿物多、组成

复杂的特点, 大多为铝硅比 4~6 的中低品位矿石, 这些矿石不能满足拜耳法生产氧化铝的要求^[1]。

我国在“九五”攻关期间, 曾进行了阴离子捕收剂浮选分离铝土矿的深入研究^[2-3], 并成功实现正浮选分

离。目前,通过正浮选脱硅技术可使铝硅比达到 10 以上,由此形成的生产氧化铝新工艺——选矿-拜尔法实现了工业应用。铝土矿正浮选主要捕收剂为脂肪酸类,目前最常用的是油酸或油酸钠。但该类捕收剂存在药耗偏高和选择性差等不足,特别是对微细粒级的铝硅矿物浮选,这些不足更加明显。到目前为止,国内外有关铝土矿的浮选研究报道很多^[4-7],但有关微细粒(粒径小于 0.01 mm)铝硅矿物的浮选分离方面的研究较少。8-羟基喹啉是一种很好的络合剂,能与多种金属离子作用,主要作为化学分析试剂,也可作为捕收剂。为此,本文作者选择了含—OH和=N—基的 8-羟基喹啉来考查其活化微细粒铝硅矿物表面后,用油酸钠浮选的可能性和效果,这将为微细粒铝硅矿物的浮选脱硅分离提供参考。

1 实验

1.1 实验原料

实验所用的一水硬铝石和高岭石矿样分别取自河南巩义和山西孝义。块矿经手碎、手选后再用破碎机破碎,最后经周期式搅拌球磨机磨细,得到实验矿样。试样粒度见表 1,化学分析结果见表 2。人工混合矿样的铝硅比为 4.30,其中一水硬铝石占 78%、高岭石占 22%。

矿浆 pH 调整剂为盐酸和碳酸钠,均为分析纯。油酸钠为化学纯,8-羟基喹啉为分析纯。实验用水为一次蒸馏水。

表 1 实验矿样粒度

Table 1 Size of mineral samples

Sample	Diameter/mm	Average granularity/mm
Diaspore	<0.010	0.004 8
Kaolinite	<0.009	0.004 1

表 2 实验矿样化学分析结果

Table 2 Results of chemical analysis of samples (mass fraction, %)

Sample	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	A/S
Diaspore	76.80	2.26	1.30	33.98
Kaolinite	38.20	48.98	—	0.78
Artificial mixed minerals	65.99	15.34	—	4.30

1.2 浮选实验

浮选实验在槽容积为 40 mL 的 XFG 型挂槽式浮选机进行,浮选温度为 25 °C。每次实验称取矿样 2 g,与预先配制的 pH 调整剂溶液混合置于浮选槽内,搅拌 3 min,经 PHS-3C 型精密 pH 计测定 pH 值后,再加入捕收剂搅拌 5 min,浮选 5 min,浮选过程采取手工刮泡,浮选完成后将刮出的泡沫(精矿)烘干、称量,计算回收率。实验流程图如图 1 所示。

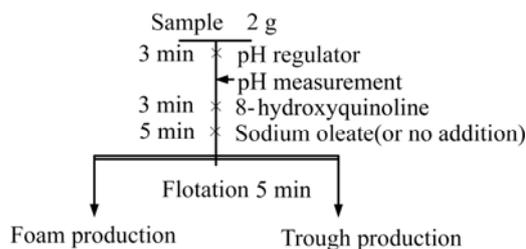


图 1 浮选实验流程图

Fig.1 Process flowsheet of flotation experiment

1.3 矿物表面 ζ 电位测量与红外光谱测定

将矿物磨至粒径小于 0.002 mm,每次称样 30 mg 置于烧杯中,加入 50 mL 一定 pH 值的蒸馏水,按照与浮选实验相同的调浆条件加药剂,用磁力搅拌器搅拌 5 min 后在 Zetaplus Zeta 分析仪上进行矿物表面 ζ 电位测量。

8-羟基喹啉及其与矿物作用前后的红外光谱在 Nicolet FTIR-740 型傅立叶变换红外光谱用漫反射法测定。8-羟基喹啉与矿物作用的试样制备过程为:在一定 pH 值的蒸馏水溶液中,加入一定量的矿物与合适浓度的 8-羟基喹啉溶液,充分搅拌后,静置一段时间,待矿物完全沉降后,用吸管吸出上层清液,然后用相同 pH 值的溶液洗涤矿物两次,固液分离后自然晾干,进行红外光谱检测。

2 结果与讨论

2.1 8-羟基喹啉对一水硬铝石和高岭石的捕收作用

图 2 所示为不同 pH 值下 8-羟基喹啉对单矿物浮选行为的影响。图 3 所示为 pH 7.45 时,8-羟基喹啉用量与单矿物浮选产率的变化关系。图 2 和图 3 所示的实验均没有添加油酸钠,只是为了考查 8-羟基喹啉对一水硬铝石和高岭石的捕收能力。

从图 2 可见,8-羟基喹啉对一水硬铝石和高岭石均有捕收作用,在 pH 7~9 范围内一水硬铝石可浮性最好,最高回收率达到 65%。由图 3 可知,在 pH 7.45

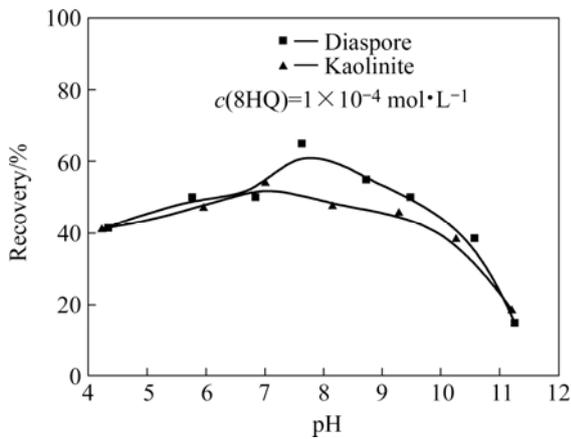


图 2 pH 值与矿物可浮性的关系
Fig.2 Relationship between mineral floatability and pH value

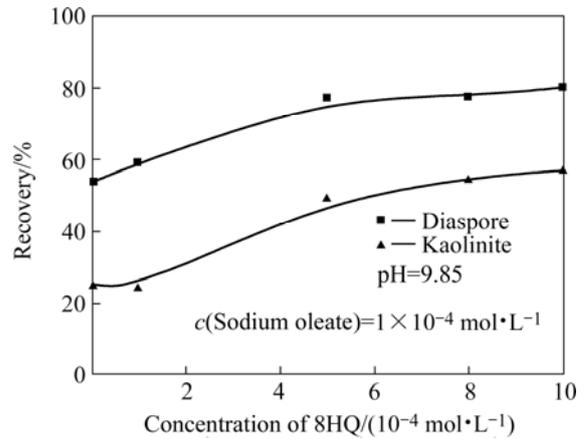


图 4 8-羟基喹啉用量与矿物回收率的关系
Fig.4 Relationship between dosage of 8HQ and recovery of minerals

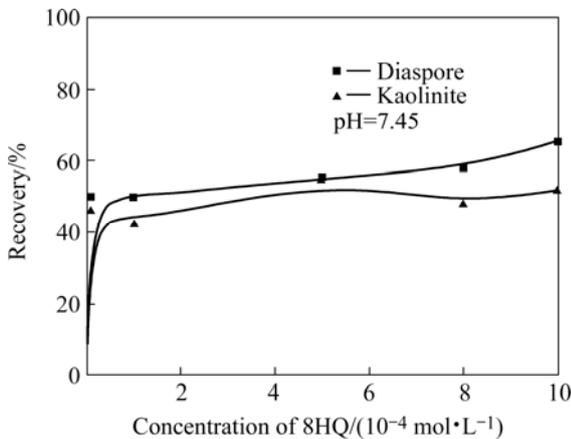


图 3 8-羟基喹啉用量与矿物回收率的关系
Fig.3 Relationship between dosage of 8HQ and recovery of minerals

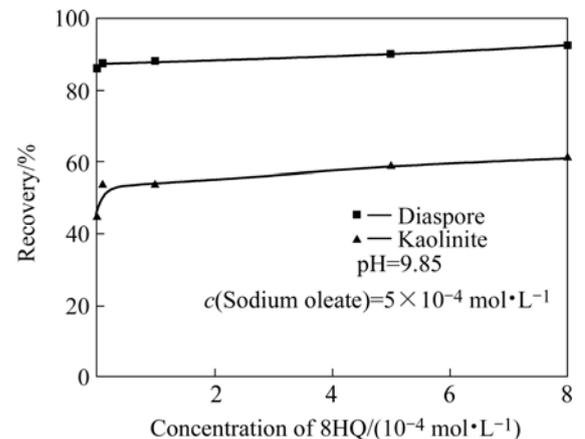


图 5 8-羟基喹啉用量与矿物的回收率关系
Fig.5 Relationship between dosage of 8HQ and recovery of minerals

时,当 8-羟基喹啉用量在 $0 \sim 1 \times 10^{-5}$ mol/L 范围内变化时,铝硅矿物的回收率随着其用量增大而快速提高,但进一步增加其用量时,一水硬铝石和高岭石的回收率只呈缓慢增加,且铝硅矿物回收率的差异较小,这说明 8-羟基喹啉对微细粒一水硬铝石和高岭石浮选分离的选择性较差。

2.2 油酸钠为捕收剂时 8-羟基喹啉对一水硬铝石和高岭石浮选的影响

油酸钠是目前铝土矿正浮选的主要捕收剂,已有研究显示铝土矿正浮选最佳浮选的 pH 值在 8~10 之间。结合上述结果,在 pH=9.85 时,考查 8-羟基喹啉与油酸钠的联合作用。单矿物实验结果如图 4 和 5 所示,人工混合矿实验结果如表 3 和表 4 所示。

从图 4 和图 5 中可知,加入 8-羟基喹啉可以进一

步提高一水硬铝石和高岭石单矿物浮选的回收率,尤其是当 8-羟基喹啉用量小于或等于油酸钠用量的 1/10 范围时,回收率明显增加,且 8-羟基喹啉的加入没有明显降低铝硅分离的选择性;而当 8-羟基喹啉用量大于油酸钠用量 1/10 时,加入 8-羟基喹啉一水硬铝石和高岭石的回收率增加不大,且降低了铝硅分离的选择性。人工混合矿的分离结果也证实了这一点。

从表 3 和表 4 可见,当 8-羟基喹啉用量较低时 ($c(8HQ)=1 \times 10^{-5}$ mol/L),人工混合矿的回收率明显提高。在油酸钠用量为 1×10^{-4} mol/L,8-羟基喹啉用量为 1×10^{-5} mol/L 时,人工混合物精矿的回收率从 35.05% 增加到 55.22%,铝硅比仅从 9.24 降低为 8.06;8-羟基喹啉用量相同时,当油酸钠的用量增至 5×10^{-4} mol/L 时,精矿回收率也有明显增加,但铝硅比降低,

表3 pH=9.85, 油酸钠浓度 1×10^{-4} mol/L 条件下人工混合矿浮选实验结果

Table 3 Results of artificial mixed minerals floatation at pH=9.85 and $c(\text{sodium oleate})=1 \times 10^{-4}$ mol/L

$c(8\text{HQ})/$ (10^{-4} mol·L $^{-1}$)	Concentrate				
	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	$w(\text{SiO}_2)/\%$	A/S	Yield/ $\%$	Recovery/ $\%$
0	72.28	7.82	9.24	32.00	35.05
0.1	71.42	8.86	8.06	49.50	55.22
1	69.83	10.30	6.78	58.50	62.12
5	69.15	11.59	5.97	71.50	76.31
8	68.56	11.45	5.98	68.00	71.78
10	67.16	11.23	5.98	69.00	72.50

表4 pH=9.85, 油酸钠浓度 5×10^{-4} mol/L 条件下人工混合矿浮选实验结果

Table 4 Results of artificial mixed minerals floatation at pH=9.85 and $c(\text{sodium oleate})=5 \times 10^{-4}$ mol/L

$c(8\text{HQ})/$ (10^{-4} mol·L $^{-1}$)	Concentrate				
	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	$w(\text{SiO}_2)/\%$	A/S	Yield/ $\%$	Recovery/ $\%$
0	73.79	5.64	13.08	52.00	58.15
0.1	73.61	10.22	7.20	68.00	73.60
1	70.07	10.63	6.59	70.00	74.07
5	70.43	11.47	6.14	71.50	74.92
8	69.66	14.68	4.75	74.50	79.49
10	69.34	15.00	4.62	74.50	75.81

铝硅分离的选择变差。

2.3 8-羟基喹啉对矿物 ζ 电位的影响

图6和图7所示为在pH=9.85下加入8-羟基喹啉后矿物的 ζ 电位变化图。在两个不同的油酸钠用量下,当8-羟基喹啉的用量小于 5×10^{-4} mol/L时,高岭石的 ζ 电位均随着8-羟基喹啉的用量的增大而负移,其负移量也基本一样。而一水硬铝石的情况却不一样,当

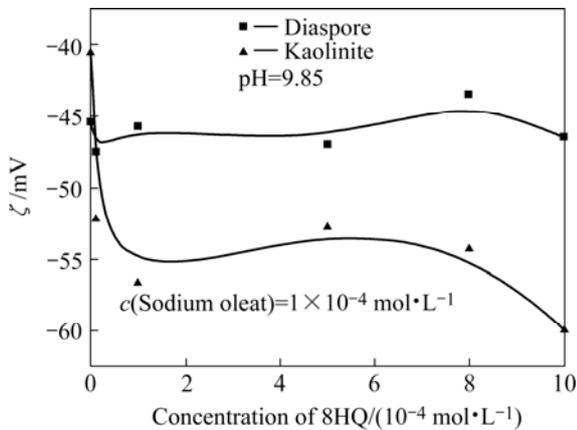


图6 矿物的 ζ -电位与8-羟基喹啉用量的关系

Fig.6 Zeta potential of minerals as a function of dosage of 8HQ

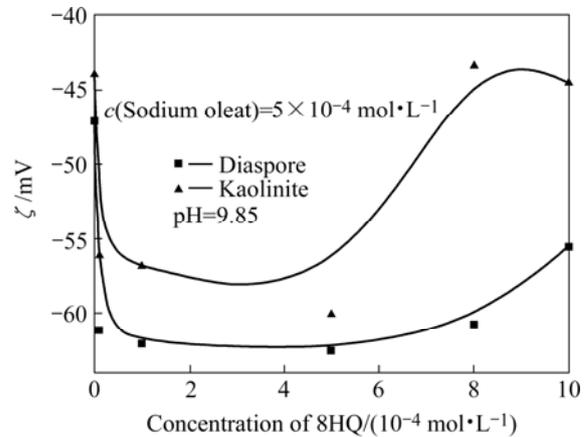


图7 矿物的 ζ 电位与8-羟基喹啉用量的关系

Fig.7 Zeta potential of minerals as function of dosage of 8HQ

油酸钠用量为 1×10^{-4} mol/L时,一水硬铝石的 ζ 电位基本不受8-羟基喹啉用量变化的影响,而油酸钠用量增至 5×10^{-4} mol/L时,随8-羟基喹啉用量的增加,一水硬铝石的 ζ 电位负移。这说明8-羟基喹啉在铝硅矿物表面吸附的模式可能不同。当油酸钠用量为 5×10^{-4} mol/L,8-羟基喹啉的用量大于 5×10^{-4} mol/L时,从实验可以明显看到铝硅矿物经药剂作用后迅速沉下来,这说明矿物发生强烈的疏水聚团,所以测出来的 ζ 电位可能不是矿物的 ζ 电位。

2.4 8-羟基喹啉与矿物作用的红外光谱分析

图 8 和图 9 所示为药剂与一水硬铝石或高岭石矿物作用前后的红外光谱图。在一水硬铝石的红外光谱图中, 2 119 和 1 990 cm^{-1} 处是表面—OH 键伸缩振动吸收峰, 1 072 和 967 cm^{-1} 处为—OH 键的弯曲振动吸收峰, Al—O 的伸缩振动峰在 754 cm^{-1} 处; 在高岭石的红外光谱图中, 在 1 114、1 033 和 1 007 cm^{-1} 处出现了 Si—O 的伸缩振动峰, 913 cm^{-1} 处为表面 O—H 的摆动吸收峰, 796 cm^{-1} 及其后各处的衍射峰为 Si—

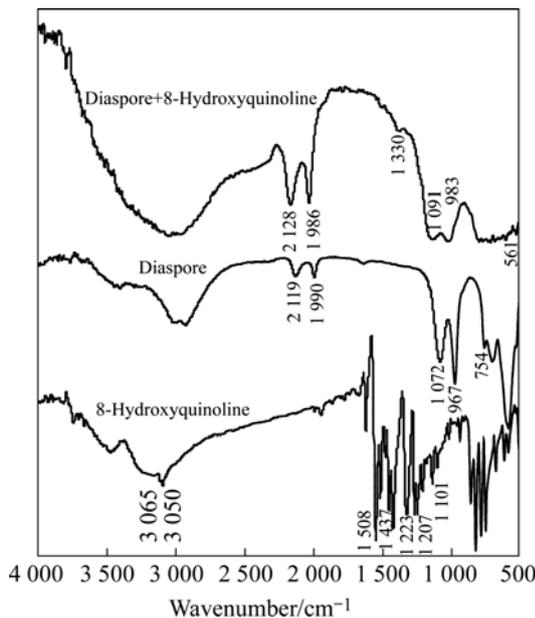


图 8 药剂与一水硬铝石作用前后的红外光谱

Fig.8 Infrared spectra of reagents and diaspore

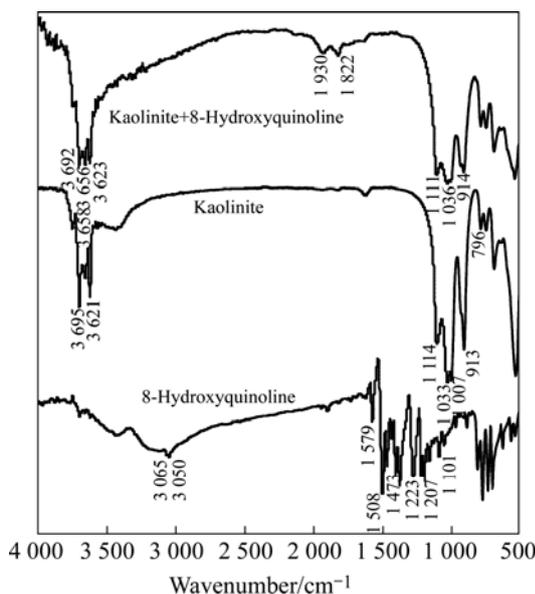


图 9 药剂与高岭石作用前后的红外光谱

Fig.9 Infrared spectra of reagents and kaolinite

O—Si、Al—O—Al 等的振动峰, 其它的衍射峰可能是杂质引起的^[8-10]。8-羟基喹啉分子有如下 5 个特征峰^[11-12]: $\nu_{\text{O-H}}$ (3 065 和 3 050 cm^{-1})、 $\delta_{\text{O-H}}$ (1 223 cm^{-1})、 $\nu_{\text{C=N}}$ (1 579 cm^{-1})、 $\nu_{\text{C=O}}$ (1 101 cm^{-1})、 $\nu_{\text{C=C}}$ (1 508 和 1 473 cm^{-1})。8-羟基喹啉和一水硬铝石和高岭石形成配合物后, $\nu_{\text{O-H}}$ (3 065 和 3 050 cm^{-1})和 $\delta_{\text{O-H}}$ (1 223 cm^{-1})这两个峰均消失, 表明 8-羟基喹啉中的羟基氧原子和矿物中的离子成键。在 8-羟基喹啉和一水硬铝石形成的配合物中, 一水硬铝石的 O—H 伸缩振动峰和 O—H 的弯曲振动峰均发生明显的位移, 且峰的强度也发生相应的变化, 说明 8-羟基喹啉和一水硬铝石间存在氢键作用, 并且作用较强。同时配合物的红外光谱中 1 330 cm^{-1} 处对应 C—N 键的伸缩振动峰, 与 8-羟基喹啉配体 1 410 和 1 381 cm^{-1} 处的衍射峰相比, 峰发生蓝移, 说明氮原子参与了成键, 此外, 在 561 cm^{-1} 处出现了新峰, 为 Al—O 键的振动峰, 表明 8-羟基喹啉去质子化后与 Al^{3+} 发生络合, 故 Al—O 键为离子键^[13-14]。在 8-羟基喹啉和高岭石形成的配合物中, Si—O 伸缩振动峰和表面 O—H 摆动峰都发生明显的减弱和偏移, 说明存在氢键作用, 同时它们的配合物在 1 930 cm^{-1} 和 1 822 cm^{-1} 处出现了新峰, 这可能是 8-羟基喹啉中的苯环发生了取代作用的结果^[15]。从图 8 和图 9 中八羟基喹啉以及它形成的配合物的特征吸收峰的位移和变化的情况表明 8-羟基喹啉对一水硬铝石和高岭石存在氢键的作用, 同时 8-羟基喹啉中的 hq^{-1} 羧基氧和杂氮原子与矿物中的 Al^{3+} 离子配合, 生成五元螯环。

2.5 8-羟基喹啉对一水硬铝石和高岭石浮选的活化作用

8-羟基喹啉($\text{C}_9\text{H}_7\text{NO}$)可与多种金属离子作用, 形成具有不同稳定性的螯合物沉淀。它能与 Al^{3+} 离子形成络合物或螯合物。有人曾在研究中^[16-18]将它作为捕收剂应用。但正如本试验结果所示, 其作为捕收剂单独应用, 捕收能力较弱。这可能是由于芳环构成的非极性基部分造成的疏水性不够。而用 8-羟基喹啉作用后的铝土矿再用油酸钠作捕收剂时, 在 8-羟基喹啉与油酸钠的用量比远小于或等于 1/10 时, 就可以明显提高精矿回收率。从动电位和红外测试可以推测, 由于 8-羟基喹啉吸附于矿物表面, 造成矿物表面的初步疏水性, 促进了油酸钠与矿物表面的作用和疏水聚团的形成; 鉴于 8-羟基喹啉在矿物表面不仅以氢键的形式吸附, 还存在络合作用, 而一水硬铝石表面的铝含量是高岭石的 1.7 倍^[19]。所以其对铝硅矿物有一定的选择性, 但当油酸钠用量高时, 则发生非选择性吸附。

3 结论

1) 8-羟基喹啉对微细粒一水硬铝石和高岭石的捕收能力较弱,但其很低的用量就可以促进以油酸钠为捕收剂的一水硬铝石和高岭石的浮选。人工混合矿分离结果显示,油酸钠用量在较低水平,且8-羟基喹啉用量小于或等于油酸钠的1/10时,8-羟基喹啉可以显著提高精矿的 Al_2O_3 回收率,而其选择性基本不变。

2) 8-羟基喹啉用量在 $0\sim 5\times 10^{-4}$ mol/L范围内,在两个不同的油酸钠用量下,高岭石的 ζ 电位均随着8-羟基喹啉用量的增大而负移,而一水硬铝石的 ζ 电位却不一样,这说明8-羟基喹啉在铝硅矿物表面吸附的模式可能不同。

3) 8-羟基喹啉主要通过氢键作用及其络合作用吸附于矿粒表面,从而造成矿物表面初步疏水,促进油酸钠与矿物表面的作用和疏水聚团的形成,提高了浮选回收率。其中络合作用是其具有一定选择性的主要原因。

REFERENCES

- 王恩孚, 马朝建, 陆钦芳, 李耀吾. 选矿一拜耳法处理中国高硅铝土矿生产氧化铝的探讨[J]. 轻金属, 1996(7): 3-6, 20.
WANG En-fu, MA Chao-jian, LU Qin-fang, LI Yao-wu. The discuss of alumina produce by mineral processing-bayer processing of the China high sillcous bauxite[J]. Light Metals, 1996(7): 3-6, 20.
- 蒋玉仁, 薛玉兰, 张立人. 铝土矿浮选产品中捕收剂的分析[J]. 中南工业大学学报, 2000, 31(6): 493-496.
JIANG Yu-ren, XUE Yu-lan, ZHANG Li-ren. Quantitative analysis of collector in flotation products of bauxite by solvent extraction combined with UV spectrophotometry[J]. Journal of Central South University of Technology, 2000, 31(6): 493-496.
- 刘广义, 张国范, 卢毅屏. 捕收剂 RL 浮选铝土矿研究[J]. 矿产保护与利用, 2000(2): 33-36.
LIU Guang-yi, ZHANG Guo-fan, LU Yi-ping. A new collector RL for flotation of bauxite [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2000(2): 33-36.
- 蒋 昊, 李光辉, 胡岳华. 铝土矿的铝硅分离[J]. 国外金属矿选矿, 2001, 38(5): 24-29.
JIANG Hao, LI Guang-hui, HU Yue-hua. The aluminum silicon of the aluminum soil mineral separate[J]. Metallic Ore Dressing Abroad, 2001, 38(5): 24-29.
- Hu Y, Liu X. Chemical composition and surface property of kaolins[J]. Minerals Engineering, 2003, 16(11): 1279-1284.
- OU Le-ming, FENG Qi-ming, CHEN Yun, LU Yi-ping, ZHANG Guo-fan. Disintegration mode of bauxite and selective separation of Al and Si[J]. Minerals Engineering, 2007, 20(2): 200-203.
- 胡岳华, 陈湘清, 王毓华. 磷酸盐对一水硬铝石和高岭石浮选的选择性作用[J]. 中国有色金属学报, 2003, 13(1): 222-228.
HU Yue-hua, CHEN Xiang-qing, WANG Yu-hua. Influences of phosphates on diaspore and kaolinite flotation[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2003, 13(1): 222-228.
- 张国范, 陈启元, 冯其明, 张平民. 温度对油酸钠在一水硬铝石矿物表面吸附的影响[J]. 中国有色金属学报, 2004, 14(6): 1042-1046.
ZHANG Guo-fan, CHEN Qi-yuan, FENG Qi-ming, ZHANG Ping-min. Influence of temperature on absorption of sodium oleate on surface of diaspore[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2004, 14(6): 1042-1046.
- 蒋 昊, 胡岳华, 徐 竞, 王淀佐. 阴离子捕收剂浮选一水硬铝石溶液化学机理[J]. 中国有色金属学报, 2001, 21(2): 27-33.
JIANG Hao, HU Yue-hua, XU Jing, WANG Dian-zuo. Solution chemical mechanism of diaspore flotation using anionic collectors[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 21(2): 27-33.
- 李海普, 胡岳华, 蒋玉仁, 王淀佐. 变性淀粉在铝硅矿物浮选分离中的作用机理[J]. 中国有色金属学报, 2001, 11(4): 697-701.
LI Hai-pu, HU Yue-hua, JIANG Yu-ren, WANG Dian-zuo. Interaction mechanism between modified starches and aluminum-silicate minerals[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 11(4): 697-701.
- 张丽霞, 梁利芳, 莫艺娟, 陈超球. 稀土-苯氧乙酸二元、三元配合物的表征及其对植物铅、镉污染的影响[J]. 稀土, 2006, 27(2): 66-69.
ZHANG Li-xia, LIANG Li-fang, MO Yi-juan, CHEN Chao-qiu. Characterization of rare earth complexes with phenoxyacetic acid and their effect on plant Pb, Cd pollution[J]. Chinese Rare Earths, 2006, 27(2): 66-69.
- 李乐乐, 苏海全, 秦建芳. 铈-8-羟基喹啉-噻吩甲酰基三氟丙酮三无固体配合物的合成和表征[J]. 中国稀土学报, 2006, 24(2): 241-243.
LI Le-le, SU Hai-quan, QIN Jian-fang. Synthesis and characterization of ternary solid complex of europium-8HOQ-TTA[J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2006, 24(2): 241-243.
- 梁福沛, 唐献兰, 胡瑞祥, 蒙衍强, 潘恩霆. 稀土-烟酸-8-羟基喹啉三元配合物合成、表征及其抑菌活性[J]. 稀有金属, 2000, 24(4): 265-269.
LIANG Fu-pei, TANG Xian-lan, HU Rui-xiang, MENG Yan-qiang, PAN En-ting. Synthesis, characterization and research on bioactivity of ternary complexes of rare earth with nicotinic acid and 8-hydroxyquinoline[J]. Rare Metals, 2000, 24(4): 265-269.
- 郝玉英, 郝海涛, 王 华, 周禾丰, 刘旭光, 许并社. 2 (8-羟

- 基喹啉)-2(苯酚)合锆薄膜的制备与性能研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2004(12): 1524-1527.
- HAO Yu-ying, HAO Hai-tao, WANG Hua, ZHUO He-feng, LIU Xu-guang, XU Bing-she. Preparation and characterization of 2(8-hydroxyquinoline)-2(phenol) zirconium thin film[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2004(12): 1524-1527.
- [15] 卢涌泉, 邓振华. 实用红外光谱解析[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1992.
- LU Yong-quan, DENG Zhen-hua. Practical infrared spectrum analysis[M]. Tianjing: Tianjing Science & Technology Press, 1992.
- [16] Kusakd E, Maeqawa K, Fukunaka Y, Ninae M, Nakahiro Y. Two-liquid flotation of fine oxide particles with 8-hydroxyquinoline[J]. Can J Chem Eng, 1999, 77(1): 62-68.
- [17] 刘文刚, 魏德洲, 周东琴, 朱一民, 贾春云. 螯合捕收剂在浮选中的应用[J]. 国外金属选矿, 2006, 43(7): 4-8.
- LIU Wen-gang, WEI De-zhou, ZHOU Dong-qin, ZHU Yi-min, JIA Chun-yun. Application of flotation by chelate collector[J]. Metallic Ore Dressing Abroad, 2006, 43(7): 4-8.
- [18] SUN Y C, Mierzwa J, LAN C R. Direct determination of molybdenum in seawater by adsorption cathodic stripping square-wave voltammetry[J]. Talanta, 2000, 52(3): 417-424.
- [19] 张国范. 铝土矿浮选脱硅基础理论及工艺研究[D]. 长沙: 中南大学, 2001.
- ZHANG Guo-fan. Theory and technology of floatation on bauxite desilicate[D]. Changsha: Central South University, 2001.

(编辑 龙怀中)