

# 电化学预处理提高柠檬酸对白云母可浮性的抑制效果

王宇斌<sup>1</sup>, 王妍<sup>1</sup>, 文堪<sup>1,2</sup>, 李淑芹<sup>1</sup>, 鱼博<sup>1</sup>

1. 西安建筑科技大学 资源与工程学院, 陕西 西安 710055;  
2. 青海西钢矿冶科技有限责任公司, 青海 西宁 810000

中图分类号: TD923<sup>+</sup>.14; TD977 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2020)02-0036-07  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.02.005

**摘要** 利用电化学预处理前后的柠檬酸进行白云母纯矿物浮选试验, 采用 XPS、Zeta 电位和 FITR 等方法对白云母样品进行表征, 在此基础上研究了油酸钠体系下电化学预处理的柠檬酸与白云母浮选行为的作用机理。结果表明, 电化学预处理可明显改善柠檬酸对白云母选别效果, 且在矿浆 pH 值为 7、油酸钠浓度为  $9.20 \times 10^{-4}$  mol/L 的条件下, 对浓度为  $2.38 \times 10^{-6}$  mol/L 的柠檬酸溶液进行电化学预处理, 白云母回收率仅为 3.4%。柠檬酸强化白云母抑制能力的原因在于: 电化学预处理增大了柠檬酸的水解及电离程度, 使溶液中有效抑制成分  $C_6H_7O_7^-$  和  $C_6H_6O_7^{2-}$  的含量升高, 强化其在白云母表面的吸附, 削弱油酸根在云母表面的静电吸附, 导致白云母可浮性下降。研究可为改善提高白云母的分选效率提供一种新思路, 也为电化学预处理药剂在浮选中的应用提供一定的参考。

**关键词** 电化学预处理; 柠檬酸; 白云母; 作用机理

电化学浮选工艺作为近几十年来选矿界研究的热点, 相关研究主要围绕电化学预处理浮选介质、矿浆或药剂等方面展开, 即对浮选介质、矿浆、药剂进行外加直流电或交流电处理, 从而改变药剂化学组成、pH 值和氧化还原电位数, 以及浮选药剂溶液中离子、分子和胶粒形成的比例, 进而影响目的矿物的浮选效果<sup>[1-3]</sup>。研究也表明, 该工艺在提高浮选精矿指标的同时还对改善浮选工艺起到了较大的推动作用<sup>[4-6]</sup>。如梅山铁矿<sup>[7]</sup>通过在浮选中加入乙基黄药 40 g/t, 2#油 100 g/t, 电化学调整剂 DH-1# 150 g/t, 得到了 S 品位为 39.03%、回收率为 78.53% 的硫精矿, 并且可节省乙基黄药用量 58% 以上, 大大提高了该选厂的经济效益。王宇斌<sup>[8]</sup>等采用正交试验方法以陕西某钨铋重选粗精矿为原料进行了电化学浮选分离试验。结果表明: 在电化学调整剂用量为 140 g/t 的药剂制度下, 采用一粗—一精—二扫的流程可获得 Bi 品位为 23.40% 和回收率为 90.757% 的铋精矿和  $WO_3$  品位为 66.03% 和回收率为 98.697% 的白钨精矿, 试验指标良好。安士杰<sup>[9]</sup>研究指出电化学控制浮选工艺技术不仅提高了乌拉嘎金矿的浮选回收率还提高了其精矿品位, 氰化浸出率也可提高 0.87 个百分点, 大幅度改善了企业的

经济效益。欧阳坚等<sup>[10]</sup>对电化学预处理药剂在非金属矿选矿中的应用进行了研究, 发现电化学预处理能改善水玻璃的作用效果。他们还发现在硅钙质磷块岩的浮选过程中可使精矿品位提高 1%~2%, 回收率提高 4%~8%。白云母常规浮选的方法有酸性阳离子法、碱性阴、阳离子法以及二者联合浮选法<sup>[11-14]</sup>, 曾有研究表明, 在白云母的浮选过程中加入一定量的柠檬酸可以抑制目的矿物<sup>[15]</sup>, 但目前关于将电化学预处理浮选药剂相关技术应用于白云母选矿过程的相关研究较少。基于此, 研究以油酸钠体系下白云母的浮选行为为切入点, 针对电化学预处理柠檬酸性质影响及其对白云母的抑制机理展开试验, 以期为提高白云母的实际矿物浮选效率提供一定的参考。

## 1 试验

### 1.1 试验原料

研究以陕西某白云母矿的重选精矿为试验原料, 并对其进行了多元素分析与 XRD 分析, 结果如图 1 和表 1 所示。

收稿日期: 2020-02-17

基金项目: 陕西省科技厅重点研发项目(2018GY-088); “河南省水体污染防治与修复重点实验室”开放基金项目(CJSP2018005)

作者简介: 王宇斌(1972-), 男, 河南偃师人, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 矿物综合利用, Email: wangyubin1972@sohu.com。

通信作者: 王妍(1995-), 女, 陕西西安人, 硕士研究生, 研究方向: 矿物高效分离和资源综合利用, Email: wy915636557@sohu.com。

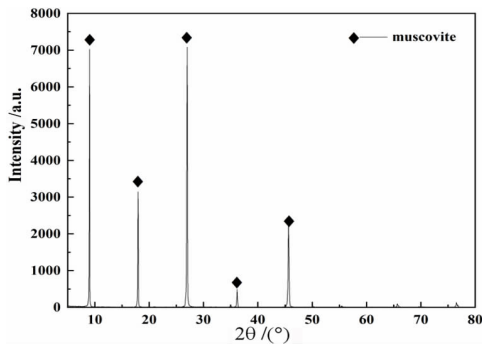


图1 白云母 XRD 图谱

Fig. 1 XRD pattern of muscovite

表1 试样化学成分分析结果

Table 1 Results of chemical composition analysis of samples

| Chemical Constituents   | SiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Other |
|-------------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|-------|
| Composition content (%) | 48.16            | 0.72              | 32.50                          | 10.62            | 8.00  |

由图1可知,试样中白云母的特征吸收峰尖锐,并且没有杂质衍射峰出现,这表明白云母的纯度较高且结晶程度良好。从表1得知,该白云母试样中主要包含K、Si、Al等元素,并且Na<sub>2</sub>O及K<sub>2</sub>O含量合计为11.34%,结合白云母中钾钠元素的理论含量可知,白云母纯度达到了97%以上,可作为单矿物浮选的原料。

## 1.2 试验设备和分析仪器

RK/FGC(5-35)型挂槽浮选机(武汉洛克粉磨设备制造有限公司),JS94H型Zeta电位仪(上海中晨数字技术设备有限公司),pHS-3C-3E型酸度计(上海雷磁仪器厂),MP515-01型电导仪(上海三信仪表厂),tensor27型傅立叶变换红外光谱仪(德国布鲁克公司),K-AlpHa型X射线光电子能谱仪(美国热电公司)。

## 1.3 浮选试验流程

浮选试验流程如图2所示。

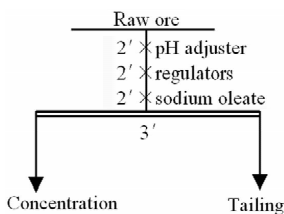


图2 浮选试验流程图

Fig. 2 Flow chart of flotation test

## 1.4 电化学预处理反应

预处理试验在柠檬酸浓度为 $2.38 \times 10^{-6}$  mol/L下进行,采用直流稳压电源(KA3005P)进行电化学预处理,电解电流为0~0.2 A、电解时间为5~20 min、极板间距为4.5~7.7 cm,阳极材料分别为石墨板、铜板、铅

板和不锈钢板,阴极材料为石墨。

## 1.5 表征方法

### 1.5.1 溶液 pH 值检测

研究利用精密酸度计对不同电化学预处理条件(电解电流、电解时间、极板间距、极板材料)作用后的柠檬酸进行溶液pH值检测,了解不同预处理条件对柠檬酸水解及电离的影响程度。试验时取五次记录数据的平均值作为最终结果。

### 1.5.2 溶液电导率检测

研究利用精密数显电导仪对不同电化学预处理条件(电解电流、电解时间、极板间距、极板材料)作用后的柠檬酸溶液进行检测,了解不同预处理条件对柠檬酸溶液电导率的影响。为减小测量误差,试验时取五次记录数据的平均值作为最终结果。

### 1.5.3 Zeta 电位表征

研究利用JS94H型电泳仪测量电化学预处理前后柠檬酸作用的白云母样品表面的Zeta电位,了解电化学预处理前后柠檬酸对白云母表面Zeta电位的影响。为保证测量准确性,样品放入样品池后需要在仪器中稳定5 min,再进行测量。

### 1.5.4 红外光谱表征

为了解油酸钠及不同电化学预处理条件作用下的柠檬酸在白云母表面的吸附状态,研究利用tensor27型傅立叶变换红外光谱仪对试样压片(指将2 mg的云母试样与100 mg的KBr粉末混合,将其研磨至粒度小于2 μm,后置压片模具中压制成片)进行扫描,仪器扫描范围400~4 000 cm<sup>-1</sup>,最小分辨率0.09 cm<sup>-1</sup>,波数精度为0.01 cm<sup>-1</sup>。

### 1.5.5 光电子能谱表征

为了解电化学预处理前后柠檬酸在白云母表面的价键形态,研究取50 mg粒度为-45 μm的白云母样品,置于K-Alpha型X射线光电子能谱仪的真空室内,采用能量为1 436.80 eV的AlKα线轰击样品进行检测,仪器的分辨率为0.1 eV。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 柠檬酸电化学预处理前后对白云母浮选行为的影响

研究对比了电化学预处理前后柠檬酸对白云母抑制能力的差异,试验条件为:白云母质量为10.00 g,矿浆浓度为13.33%,矿浆pH值为7,油酸钠浓度为

$9.20 \times 10^{-4}$  mol/L。未电化学预处理的柠檬酸浓度为  $2.38 \times 10^{-6} \sim 23.8 \times 10^{-6}$  mol/L, 电化学预处理的柠檬酸浓度为  $1.19 \times 10^{-6} \sim 2.38 \times 10^{-6}$  mol/L, 需要指出的是, 柠檬酸电化学预处理条件为: 预处理电流为 0.2 A, 预处理时间 15 min, 极板间距 4.5 cm, 极板材料类型为石墨-石墨。试验结果如图 3 所示。

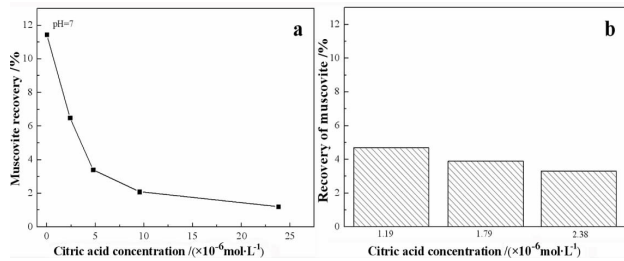


图 3 电化学处理前后柠檬酸对白云母回收率的影响  
Fig. 3 Effect of citric acid on recovery of muscovite before and after electrochemical treatment

由图 3a 可知, 未经电化学预处理时, 白云母的回收率随着柠檬酸浓度的增加而逐渐减小。由图 3b 可知, 对柠檬酸进行电化学预处理, 且当柠檬酸浓度从 0 mol/L 逐渐增大到  $2.38 \times 10^{-5}$  mol/L 时, 白云母的回收率从 11.45% 下降到了 1.21%, 这说明柠檬酸可明显抑制白云母的可浮性。而当电化学预处理的柠檬酸浓度从  $1.79 \times 10^{-6}$  mol/L 增加到  $2.38 \times 10^{-6}$  mol/L 时, 白云母的回收率逐渐减小, 这说明电化学预处理时适当降低柠檬酸浓度也能够达到有效抑制白云母的目的。在白云母回收率都为 3.4% 时, 可节约柠檬酸 50% 左右用量。为进一步了解不同电化学预处理因素

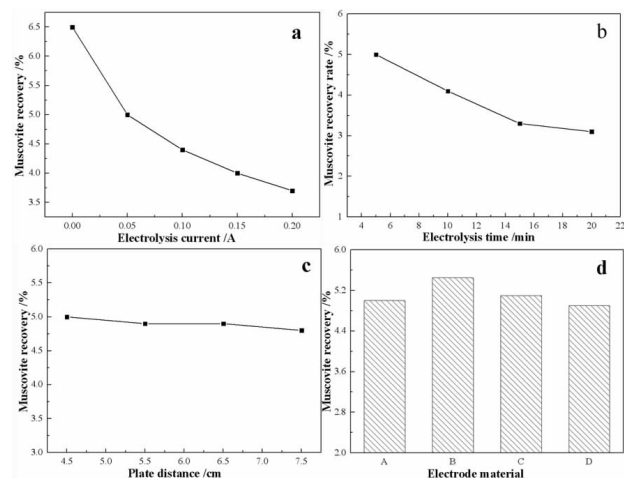


图 4 不同电化学处理条件下的柠檬酸对白云母可浮性的影响  
注: 图(d)中 A 为石墨-石墨; B 为铜板-石墨; C 为铅板-石墨; D 为不锈钢板-石墨

Fig. 4 Effect of citric acid on floatability of muscovite under different conditions of electrochemical treatment note: In Figure (d) for A: graphite plate-graphite plate; B: copper plate-graphite plate; C: lead board-graphite plate; D: stainless steel plate-graphite

对柠檬酸抑制能力的影响, 研究还进行了柠檬酸浓度为  $2.38 \times 10^{-6}$  mol/L 时不同电化学预处理条件的浮选对比试验, 结果如图 4 所示。

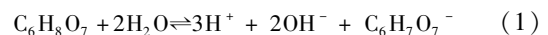
由图 4a 可知, 当电化学预处理电流从 0 A 增大到 0.2 A 时, 白云母的回收率随着电化学预处理电流的增大而减小, 且当电化学预处理电流为 0.2 A 时, 白云母的回收率仅为 3.70%, 由此可见, 电化学预处理能够强化柠檬酸对白云母的抑制作用。由图 4b 可知, 白云母的回收率随着电化学预处理时间的增加而先减小后基本保持不变, 当预处理时间从 0 min 增大到 15 min 时, 白云母的回收率从 6.50% 下降到 3.30%, 由此可见, 在合适的电化学预处理时间范围内, 柠檬酸对白云母的抑制作用有所增强。由图 4c 可知, 极板间距变化对白云母的回收率基本无影响, 这说明极板间距对柠檬酸的抑制性能影响不大。由图 4d 可知, 改变电极板材料类型, 白云母回收率有一定变化, 可见电极板材料类型对柠檬酸的抑制性能也有一定影响。

## 2.2 电化学预处理柠檬酸对白云母浮选行为的影响机理

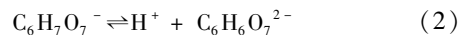
### 2.2.1 电化学预处理柠檬酸溶液电极反应分析

柠檬酸是一种三元有机羧酸, 其在水中会发生水解及电离, 其过程可用下列反应式表示:

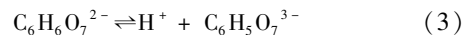
水解反应:



一级解离反应:

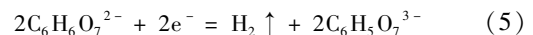


二级解离反应:

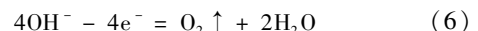


在电化学预处理柠檬酸溶液过程中, 当两极板材料为石墨时, 阴极和阳极附近会发生如下反应:

阴极反应:



阳极反应:



由上述电极反应可知, 对柠檬酸溶液进行电化学预处理能够消耗溶液中的  $\text{OH}^-$  及  $\text{H}^+$ , 并强化柠檬酸的水解及电离, 进而提高起抑制作用的有效成分  $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_7^-$ 、 $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_7^{2-}$  及  $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}$  的含量。

### 2.2.2 不同电化学预处理条件对柠檬酸溶液 pH 值影响

为了解不同预处理条件对柠檬酸溶液 pH 值的影响, 研究利用酸度计对不同条件预处理后的柠檬酸溶液的 pH 值进行了检测。结果如图 5 所示。

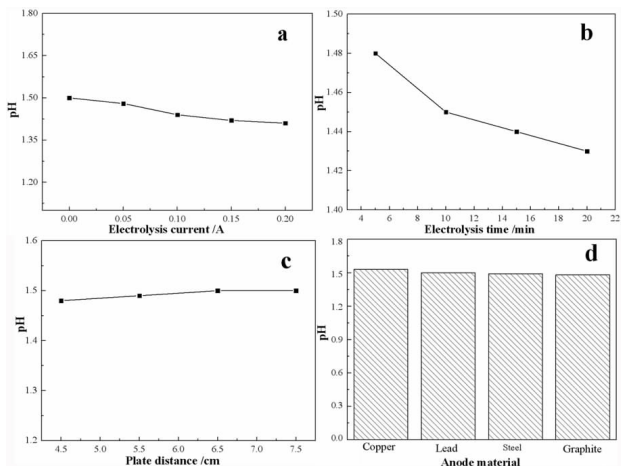


图5 电化学预处理对柠檬酸溶液 pH 值影响

Fig. 5 Effect of electrochemical pretreatment on the pH value of citric acid solution

由图5a可知,未对柠檬酸溶液进行电化学预处理时,其溶液的pH值为1.50,当预处理电流从0 A增大到0.20 A时,柠檬酸溶液pH值有所降低;由图5b可知,当电解时间从5 min增加到20 min时,柠檬酸溶液pH值呈下降趋势;由于电化学预处理增大了柠檬酸的电离及水解程度,导致溶液中 $H^+$ 浓度增加,因此柠檬酸溶液pH值下降。由图5c可知,柠檬酸溶液的pH值随着极板间距的增大基本无变化;由图5d可知,阳极板材质对柠檬酸溶液pH值影响不大。

### 2.2.3 不同电化学预处理条件对柠檬酸溶液电导率影响

为了解不同预处理条件对柠檬酸溶液电导率的影响,研究利用电导仪对不同电解条件预处理后的柠檬酸溶液的电导率进行了检测。检测结果如图6所示。

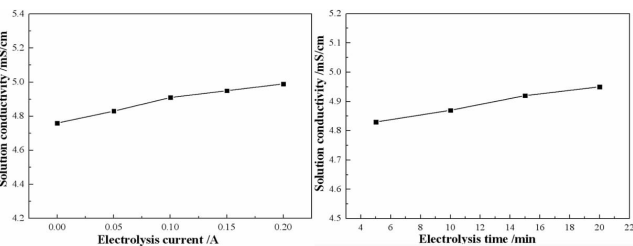


图6 电化学预处理对柠檬酸溶液电导率影响

Fig. 6 Effect of electrochemical pretreatment on conductivity of citric acid solution

由图6可知,未经电化学预处理的柠檬酸溶液电导率为 $4.76 \mu S/cm$ ,与未预处理相比,经电化学预处理后的柠檬酸溶液电导率明显增大。由图6还可知,柠檬酸溶液的电导率随着预处理时间的增加而增大。由此可见,对柠檬酸进行适宜条件的电化学预处理,能够提高柠檬酸溶液的电导率,结合电极反应分析可知,提高的原因在于电化学预处理增大了柠檬酸的水解及电离程度,导致溶液中离子含量升高。

### 2.2.4 电化学预处理前后柠檬酸对白云母表面 Zeta 电位影响

为了解电化学预处理前后柠檬酸对白云母表面 Zeta 电位的影响,研究在柠檬酸浓度为 $2.38 \times 10^{-6} mol/L$ ,pH值为7的条件下检测了电化学预处理柠檬酸作用后白云母的 Zeta 电位,结果如图7所示。

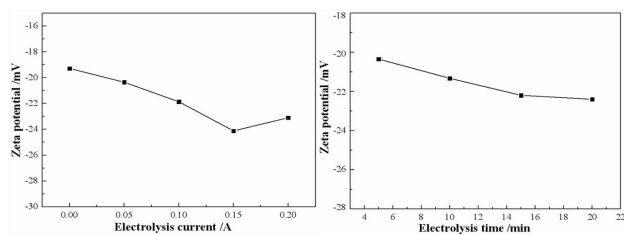


图7 电化学预处理柠檬酸对白云母表面 Zeta 电位的影响

Fig. 7 Effect of electrochemical pretreatment of citric acid on zeta potential of muscovite surface

由图7可知,随着对柠檬酸预处理电流的增大,白云母表面 Zeta 电位呈基本呈负向增大趋势,当柠檬酸的电解电流为0.15 A时,白云母表面 Zeta 电位为 $-24.12 mV$ 。由图7还可以看出,白云母表面 Zeta 电位随着对柠檬酸电解时间的增加而负向增大,当对柠檬酸的预处理时间为20 min时,白云母表面 Zeta 电位为 $-22.40 mV$ 。结合电极反应分析可知,由于电化学预处理增大了柠檬酸的水解及电离程度,使得柠檬酸溶液中 $C_6H_7O_7^-$ 、 $C_6H_6O_7^{2-}$ 及 $C_6H_5O_7^{3-}$ 的含量增多并吸附在白云母表面,因此使得白云母表面 Zeta 电位负向增大。

### 2.2.5 白云母样品的红外光谱分析

为研究油酸钠及不同电化学预处理条件下的柠檬酸在白云母表面的吸附状态,研究对不同作用条件下

表2 不同白云母样品的作用条件

Table 2 Action conditions of different muscovite samples

| Sample Numbers | Reagent Concentration / (mol · L <sup>-1</sup> ) |                       | Electrochemical Pretreatment Conditions |                         |                     |   |
|----------------|--|-----------------------|---|-------------------------|---------------------|---|
|                | Sodium Oleate                                    | Citric acid           | Electrolysis Current / A                | Electrolysis Time / min | Plate Distance / cm | Electrode Material Types (Anode - Cathodic) |
| A              | $9.20 \times 10^{-4}$                            | —                     | —                                       | —                       | —                   | —   |
| B              | $9.20 \times 10^{-4}$                            | $2.38 \times 10^{-5}$ | —                                       | —                       | —                   | —   |
| C              | $9.20 \times 10^{-4}$                            | $2.38 \times 10^{-5}$ | 0.05                                    | 5                       | 4.5                 | graphite plate - graphite plate             |
| D              | $9.20 \times 10^{-4}$                            | $2.38 \times 10^{-5}$ | 0.05                                    | 15                      | 4.5                 | graphite plate - graphite plate             |

的白云母样品进行了红外光谱表征,样品的作用条件如表 2 所示,结果如图 8 所示。

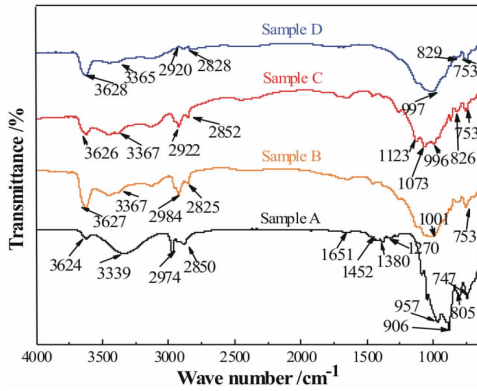


图 8 不同白云母样品的红外光谱图  
Fig. 8 Infrared spectra of different muscovite samples

由图 8 可知,A 样为经油酸钠作用后的样品,其图谱中波数为 3 624  $\text{cm}^{-1}$  的吸收峰属于白云母表面羟基振动吸收峰,3 339  $\text{cm}^{-1}$  和 1 270  $\text{cm}^{-1}$  处的两个吸收峰分别为油酸分子内羟基的伸缩及弯曲振动峰,而 2 974  $\text{cm}^{-1}$  和 2 884  $\text{cm}^{-1}$  处的两个峰则分别是油酸钠中甲基和亚甲基中 C-H 键的振动吸收峰<sup>[16-18]</sup>。B 样为经油酸钠及未处理的柠檬酸共同作用后的样品,与 A 样相比,B 样中对油酸钠的甲基和亚甲基内 C-H 键的振动吸收峰强度有所减弱,可见柠檬酸抑制白云母可浮性的原因在于柠檬酸吸附在白云母表面,阻碍了油酸根等离子在白云母表面的吸附。C 样及 D 样为经不同电化学预处理条件处理后的柠檬酸及油酸钠作用后的样品,对比 B 样可知这两个样品的图谱中对应油酸钠中 C-H 键的振动吸收峰强度明显减弱,这表明在云母表面吸附的油酸根等离子有所减少,结合电极反应等分析可知,其原因在于对柠檬酸溶液进行电化学预处理后,提高了柠檬酸溶液中  $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_7^-$  等有效抑制成分的含量,同时强化了柠檬酸在白云母表面吸附,并且一定程度削弱了油酸钠在云母表面的静电吸附,进而阻碍了油酸钠在白云母表面的吸附。

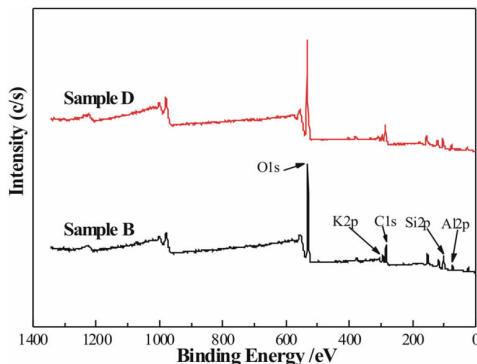


图 9 白云母样品的 XPS 总谱图  
Fig. 9 XPS spectra of muscovite sample

### 2.2.6 白云母样品的 XPS 分析

为了解电化学预处理前后柠檬酸在白云母表面的价键形态,研究对不同作用条件下的白云母样品进行了 XPS 表征,作用条件如表 2 所示,结果如图 9 所示。

由图 9 可知,与 B 样相比,D 样表面各元素的特征峰均有一定变化,为此研究分析了样品表面主要元素的电子结合能及相对含量,结果见表 3。

表 3 样品表面主要元素的电子结合能及相对含量

Table 3 Electron binding energy and relative content of major elements on the sample surface

| Sample number | Al/%  | Si/%  | C1s/eV |
|---------------|-------|-------|--------|
| B             | 12.11 | 18.16 | 284.06 |
| D             | 11.58 | 16.10 | 285.10 |

由表 3 可知,与 B 样相比,D 样表面 Al 元素含量减小了 0.53%,而 Si 元素的含量减小了 2.06%,可见白云母经电化学预处理的柠檬酸作用后,其表面表露的 Al、Si 元素含量有所减小。对比 B 样还发现,D 样表面 C1s 的电子结合能有所变化,这表明对柠檬酸进行一定条件的电化学预处理,改变了 C 的化学环境。为进一步了解白云母表面 Al 元素的价键形态,研究对全谱图中结合能在 68 ~ 78 eV 区间 Al 元素的谱图进行了分峰,结果如图 10 及表 4 所示。

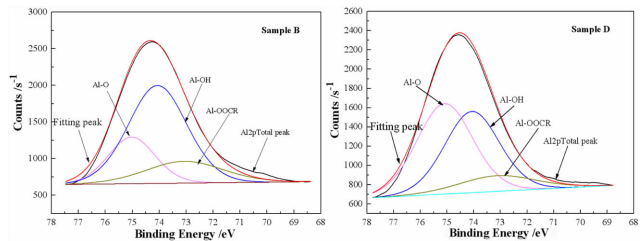


图 10 Al<sub>2</sub>p 的分峰拟合图  
Fig. 10 Peak-splitting fitting diagram of Al<sub>2</sub>p

表 4 白云母表面 Al 的存在价键及比例

Table 4 Existing valence bond and proportion of Al on muscovite surface

| Sample Number | Al-OOCR<br>Relative Content/% | Al-OH<br>Relative Content/% | Al-O<br>Relative Content/% |
|---------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| B             | 17.50                         | 59.71                       | 22.79                      |
| D             | 11.18                         | 41.57                       | 47.25                      |

结合图 10 及表 4 可知,与 B 样相比,D 样表面的 Al-OOCR 比例减小了 6.32%,这表明经电化学预处理的柠檬酸作用后的白云母表面生成的油酸铝含量有所减小,其原因在于对柠檬酸进行电化学预处理会提高溶液中的柠檬酸根等离子含量,导致白云母表面吸附的柠檬酸根等离子增多,使得云母表面一部分 Al、Si 被覆盖,进而阻碍油酸根离子与其表面 Al 等活性点作用,即削弱了油酸根在白云母表面的物理及化学吸附。

### 3 结论

(1)在油酸钠浓度为  $9.20 \times 10^{-4}$  mol/L,矿浆 pH 值为 7 的条件下,对浓度为  $2.38 \times 10^{-6}$  mol/L 的柠檬酸溶液进行电化学预处理,白云母回收率仅为 3.4%,较未处理前而言,在保证同等抑制效果下,电化学预处理可使柠檬酸的用量减少 50%。

(2)电化学预处理强化柠檬酸抑制白云母能力的机理是:电化学预处理增大了柠檬酸的水解及电离程度,从而提高了调整剂溶液中有效抑制成分  $C_6H_7O_7^-$  和  $C_6H_6O_7^{2-}$  的含量,强化了抑制成分在白云母表面的吸附,提高了柠檬酸对白云母表面活性点 Al 的屏蔽效果。此外,电化学预处理的柠檬酸还减弱了油酸钠在云母表面的静电吸附作用,使得白云母表面 Al - OOCR 键的比例减少了 6.32 个百分点,导致白云母可浮性明显下降。

(3)研究为改善浮选药剂与白云母的作用效果、提高白云母浮选效率提供了一种新思路,也为拓展电化学浮选工艺应用于其它浮选领域提供一定的理论基础。

#### 参考文献:

- [1] 赵军伟,姚卫红,王虎. 硫化矿浮选电化学研究现状[J]. 矿产保护与利用,2003(4):32-36.
- [2] 李宁钧. 硫化矿浮选电化学的理论研究状况[J]. 中国有色金属,2011(S1):68-70.
- [3] 赵敏捷,方建军,李国栋. 硫化铜矿电化学调控浮选应用与研究进展[J]. 矿冶,2016(5):15-18.
- [4] Zhou G Y, Li W J, Chen Y, et al. Study on recovery of lead-zinc tailing ore by electrochemical flotation[J]. Applied Mechanics and Materials 2014, 675-677: 1451-1454.
- [5] 张威,王宇斌,余乐,等. 用电化学调控浮选方法提高某难选镍矿选矿指标[J]. 金属矿山,2015(5):93-96.
- [6] Smith, L. K., Bruckard, W. J. These parathion of arsenic from copper-iron North parkes copper-gold ore using controlled-potential flotation[J]. International Journal of Mineral Processing. 2007(84):15-24.
- [7] 张剑锋. 电化学调控浮选在梅山选矿厂的应用研究[J]. 金属矿山,2008(7):46-48,60.
- [8] 王宇斌,王妍,朱新峰,等. 基于电化学浮选的钨铋粗精矿分离研究[J]. 有色金属(选矿部分),2020(1):48-54.
- [9] 安士杰. 电化学控制浮选在乌拉嘎金矿生产中的应用[J]. 黄金,2001(11):36-39.
- [10] 欧阳坚,陈洁. 电化学预处理水玻璃的作用探讨[J]. 矿产综合利用,1989(5):46-50.
- [11] 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(3):131-136.
- [12] 王宇斌,文堪,张鲁. 利用铜离子改善油酸钠体系下白云母的可浮性[J]. 矿产保护与利用,2017(6):45-51.
- [13] 王宇斌,文堪,王望泊. DL-苹果酸对白云母可浮性的抑制机理[J]. 矿产保护与利用,2018(3):117-123.
- [14] 王宇斌,余乐,张威. 酸性条件下十二胺体系中  $Fe^{3+}$  对白云母可浮性的影响[J]. 矿产保护与利用,2015(6):40-45.
- [15] 王宇斌,文堪,王望泊. 柠檬酸对白云母可浮性的抑制机理[J]. 过程工程学报,2019,19(2):338-344.
- [16] LiuWei-jun, Zhang Jie, Wang Wei-qing, et al. Flotation behaviors of ilmenite, titanite, and forsterite using sodium oleate as the collector[J]. Minerals Engineering, 2015(72):1-9.
- [17] Nájera J J. Phase transition behavior of sodium oleate aerosol particles[J]. Atmospheric Environment, 2007(5):1041-1052.
- [18] Meng Qing-you, Feng Qi-ming, Ou Le-ming. Effect of temperature on floatability and adsorption behavior of fine wolframite with sodium oleate[J]. Journal of Central South University, 2018(7):1582-1589.

# Electrochemical Pretreatment to Improve the Inhibition Effect of Citric Acid on Muscovite

WANG Yubin<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>1</sup>, WEN Kan<sup>1,2</sup>, LI Shuqin<sup>1</sup>, YU Bo<sup>1</sup>

1. Xi'an University of Architecture and Technology, School of Resources Engineering, Xi'an 710055, China;

2. Qinghai Xigang Mining and Metallurgical Technology Co. Ltd, Xining 810000, China

**Abstract:** The pure mineral flotation experiment of muscovite was carried out by using citric acid before and after electrochemical pretreatment, and the samples were characterized by XPS, Zeta potential and FITR. On this basis, the mechanism of electrochemical pretreatment of citric acid and muscovite flotation behavior under the sodium oleate system was investigated. The results indicated that electrochemical pretreatment could improve the separation effect of citric acid on muscovite. The muscovite recovery of only 3.4% was obtained by the electrochemical pretreatment of the citric acid solution with the concentration of  $2.38 \times 10^{-6}$  mol/L under the pulp condition of pH value of 7 and sodium oleate concentration of  $9.20 \times 10^{-4}$  mol / L. The phenomenon that the citric acid can enhance the floatability of muscovite can be explained as follow: the electrochemical pretreatment can increase the degree of hydrolysis and ionization of citric acid. The adsorption of the  $C_6H_7O_7^-$  and  $C_6H_6O_7^{2-}$  on the surface of muscovite was enhanced, which correspondingly weakened the electrostatic adsorption of oleate on the surface of mica, resulting in the decrease in the floatability of muscovite. The study can provide a new idea to improve the separation efficiency of muscovite, and also provide a reference for the application of electrochemical pretreatment reagent in flotation.

**Key words:** electrochemical pretreatment; citric acid; muscovite; action mechanism

引用格式:王宇斌,王妍,文堪,李淑芹,鱼博. 电化学预处理提高柠檬酸对白云母可浮性的抑制效果[J]. 矿产保护与利用,2020,40(2): 36-42.

Wang YB, Wang Y, Wen K, Li SQ and Yu B. Electrochemical pretreatment to improve the inhibition effect of citric acid on muscovite [J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(2): 36-42.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)