

DL-苹果酸对白云母可浮性的抑制机理^{*}

王宇斌, 文堪, 王望泊, 张鲁

(西安建筑科技大学 材料与矿资学院, 陕西 西安 710055)

摘要:在油酸钠体系下研究了DL-苹果酸对白云母可浮性的影响,采用FTIR和XPS等方法研究了DL-苹果酸与白云母的作用机理。结果表明,DL-苹果酸可显著抑制白云母的可浮性,DL-苹果酸在溶液中生成的 $C_4H_5O_5^-$ 、 $C_4H_4O_5^{2-}$ 等离子与矿浆中的油酸根等离子发生竞争吸附,并且 $C_4H_5O_5^-$ 、 $C_4H_4O_5^{2-}$ 等离子吸附在白云母表面会导致白云母表面的 ζ 电位负向增大,进而会削弱油酸根等离子在白云母表面的静电吸附作用。此外,含有羟基等强烈亲水基团的 $C_4H_5O_5^-$ 、 $C_4H_4O_5^{2-}$ 等离子吸附在白云母表面会使白云母表面亲水,因此白云母的可浮性受到抑制。

关键词:油酸钠;DL-苹果酸;白云母;抑制;机理

中图分类号:TD923⁺.14 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0076(2018)03-0117-07

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2018.03.021

Inhibition Mechanism of DL-malic Acid on the Floatability of Muscovite

WANG Yubin, WEN Kan, WANG Wangbo, ZHANG Lu

(College of Materials and Mineral Resources, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The effect of DL-malic acid on the floatability of muscovite was investigated under sodium oleate system, and the mechanism of DL-malic acid on muscovite was researched by means of FTIR and XPS spectra etc. The results show that floatability of muscovite can be prominently inhibited by DL-malic acid, because $C_4H_5O_5^-$ and $C_4H_4O_5^{2-}$ which from DL-malic acid solution could occur competitive adsorption with oleate ions in the pulp, and $C_4H_5O_5^-$ and $C_4H_4O_5^{2-}$ which adsorbed on muscovite surface aroused its surface zeta potential negative direction increase, which caused the electrostatic adsorption action of oleate ions in muscovite surface was weakened. Moreover, $C_4H_5O_5^-$ and $C_4H_4O_5^{2-}$ contain strong hydrophilic groups, these ions of which adsorbed on muscovite surface caused its surface had hydrophilicity, therefore the floatability of muscovite was inhibited.

Key words: sodium oleate; DL-malic acid; muscovite; inhibition; mechanism

引言

DL-苹果酸(2-羟基丁二酸)是一种选矿常用的有机调整剂,在浮选中经常用作硅酸盐矿物的抑

制剂^[1]。有研究认为有机抑制剂如苹果酸中含有强烈亲水的基团,其中有些基团可以与矿物表面作用,其它基团强烈亲水从而起到抑制作用^[2]。王淀佐等认为有机抑制剂主要是通过消除矿浆中的活化离

* 收稿日期:2018-05-03

基金项目:国家自然科学基金(51674184);陕西省教育厅基金(16JK1467)

作者简介:王宇斌,男,博士,副教授,研究方向:矿物综合回收利用,E-mail:wangyubin1972@sohu.com。

通信作者:文堪,男,硕士,研究方向:矿物材料,E-mail:m18710482285@163.com。

子来抑制石英的可浮性^[3]。梅光军等研究了苹果酸对霓石的浮选影响,结果表明,苹果酸对霓石的浮选有明显的抑制作用^[4]。由于有机抑制剂相比无机抑制剂具有来源广、种类多等优点,因此有机抑制剂的应用范围越来越广^[5]。近年来国内对白云母的需求量较大,因此从金属矿尾矿中回收被调整剂抑制的白云母相关研究逐渐受到重视^[6,7],作者曾对铁离子与白云母的作用机理进行了研究^[8],鉴于目前关于 DL-苹果酸与白云母的作用机理未见报道,论文对 DL-苹果酸对白云母可浮性的影响规律及作用机理进行了分析,以期对白云母的浮选分离提供理论参考。

1 试验部分

1.1 材料与仪器

试验以某白云母矿的手选白云母粗精矿为原料,经破碎—筛分—摇床提纯—陶瓷球磨的流程处理后,筛选出-150+75 μm 粒级的产品作为浮选试样(试样纯度≥98%)。原矿的化学多元素分析和 XRD 分析结果见表 1 和图 1。

表 1 原矿化学多元素分析结果

Table 1 Multi-element analysis results of run-of-mine ore

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
含量/%	48.56	33.42	10.50	0.70

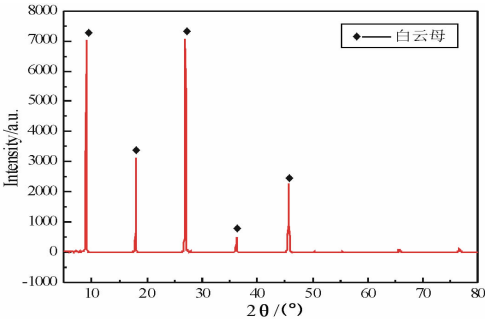


图 1 白云母 XRD 图谱

Fig. 1 The XRD pattern of muscovite

由表 1 可知,该试样中主要含有硅、铝、钾、钠等元素,并且钾钠含量合计达 11.20%,可见白云母纯度不低于 98%。由图 1 可知,该试样的特征吸收峰峰形尖锐,与标准卡中白云母衍射峰基本吻合,且无杂峰,这也说明该白云母试样纯度较高。

试验过程中所用到的试剂为:H₂SO₄、C₄H₆O₅(DL-苹果酸)及 C₁₇H₃₃COONa(油酸钠),药剂均为

分析纯。试验所用检测仪器为:英国赛默飞世尔科技生产的 K-Alpha 型 X 射线光电能谱仪、上海中晨数字技术设备有限公司生产的 JS94H 型微电泳仪、德国布鲁克产的 Tensor27 型傅立叶变换红外光谱仪以及武汉洛克粉磨设备制造有限公司生产的 FGC(浮选容量 50 g,浮选槽最大容量 230 mL)型挂槽浮选机。

1.2 试验及表征方法

1.2.1 白云母单矿物浮选试验

单矿物浮选试验流程如图 2 所示,每次试验取 30 g 白云母纯矿物置于浮选槽中,加入 195 mL 的去离子水,然后按顺序加入药剂并调节矿浆,最后对浮选所得的精矿进行脱水、干燥处理,称重后计算其回收率。

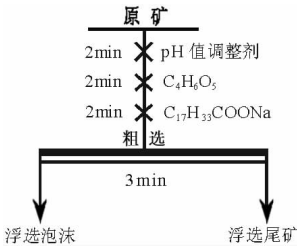


图 2 单矿物浮选试验流程图

Fig. 2 Flow chart of monomineral flotation test

1.2.2 样品表征方法

ζ 电位测量:测量时先取适量小于 74 μm 的白云母纯矿物置于烧杯中,加入 15 mL 蒸馏水并调节矿浆 pH 值,然后加入适量 DL-苹果酸并搅拌均匀,取 2 mL 溶液置于电泳槽中,最后将其放入微电泳仪中进行测量,并以 3 次测量平均值为最终结果;XPS 检测:取适量小于 74 μm 的白云母样品采用 X 射线光电能谱仪对其进行检测,并利用 Advantage 软件分析图谱,采用 C1s284.6eV 进行标定;FTIR 表征:取适量小于 74 μm 的白云母样品利用红外光谱仪对其进行检测。

2 结果与讨论

2.1 DL-苹果酸在油酸钠体系下对白云母浮选行为的影响

作者前期曾对油酸钠对白云母浮选行为的影响做了相关研究,结果表明,当矿浆 pH 值为 6 时,在 9.20 × 10⁻⁴ mol/L 的油酸钠条件下,白云母的回收

率较高,达到了 10.10%^[9,10]。为了解 DL-苹果酸在油酸钠体系下对白云浮选行为的影响,本研究在矿浆 pH 值为 6、油酸钠浓度为 9.20×10^{-4} mol/L 的条件下,进行了不同 DL-苹果酸浓度对白云母回收率影响的试验,结果如图 3 所示。

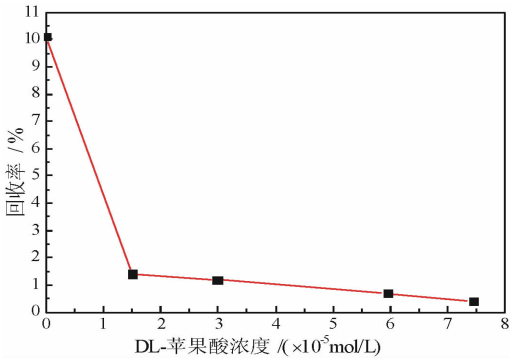


图 3 不同 DL-苹果酸浓度对白云母回收率的影响
Fig. 3 Influence of DL-malic acid concentration on recovery of muscovite

由图 3 可知,白云母的回收率随着 DL-苹果酸浓度的增大而逐渐减小,当 DL-苹果酸浓度为 1.49×10^{-5} mol/L 时白云母的回收率为 1.40%,当 DL-苹果酸浓度进一步增大到 7.46×10^{-5} mol/L 时,白云母的回收率仅为 0.40%,对比只经油酸钠作用的白云母样品,发现其回收率下降了 9.7 个百分点,由此可见 DL-苹果酸对白云母有明显的抑制作用。

2.2 浮选溶液化学分析

由溶液化学可知, $C_4H_6O_5$ 及 $C_{17}H_{33}COONa$ 在不同溶液 pH 值下存在多种组分,并且不同组分的相对含量会随溶液 pH 值的变化而变化^[11]。研究对不同 pH 值条件下 $C_4H_6O_5$ 相对组分含量进行了计算并绘图,结果如图 4 所示。

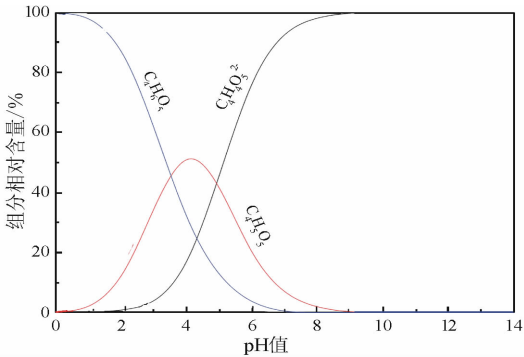


图 4 DL-苹果酸成分分布系数图

Fig. 4 Coefficient distribution chart of DL-malic acid component

从图 4 可知,受不同 pH 值的影响,DL-苹果酸的存在形式及相对含量不同,其在溶液中主要以 $C_4H_6O_5$ 、 $C_4H_5O_5^-$ 和 $C_4H_4O_5^{2-}$ 的形式存在,当 pH 值 < 3 时,溶液中的优势组分为 $C_4H_6O_5$;当 $3 < \text{pH}$ 值 < 5 时,溶液中的优势组分为 $C_4H_5O_5^-$;当 pH 值 > 5 时,溶液中的 $C_4H_4O_5^{2-}$ 为优势组分;当 pH 值为 6 时,溶液中的组分以 $C_4H_4O_5^{2-}$ 为主,并且此时溶液中还存在部分 $C_4H_5O_5^-$ 和少量 $C_4H_6O_5$;当 pH 值 > 9 时,溶液中的组分基本全为 $C_4H_4O_5^{2-}$ 。受不同 pH 值的影响, $C_{17}H_{33}COONa$ 在溶液中的存在形式及相对含量也不同,当 pH 值 < 8 时, $C_{17}H_{33}COONa$ 在溶液中的优势组分为 $C_{17}H_{33}COO^-$ 和 $C_{17}H_{33}COOH$,并且还可能存在部分油酸根与油酸离子二聚物的缔合分子和油酸离子二聚物,当 pH 值 > 8 时, $C_{17}H_{33}COO^-$ 和油酸离子二聚物则为溶液中的优势组分,且优势组分含量随着 pH 值的增大基本无变化^[9,10]。

2.3 白云母表面 ζ 电位检测

为揭示 DL-苹果酸对白云母表面 ζ 电位的影响规律,研究检测了白云母在不同 pH 值条件下的表面 ζ 电位以及在矿浆 pH 值为 6 时,经不同浓度 DL-苹果酸作用后的白云母表面的 ζ 电位,结果如图 5 所示。

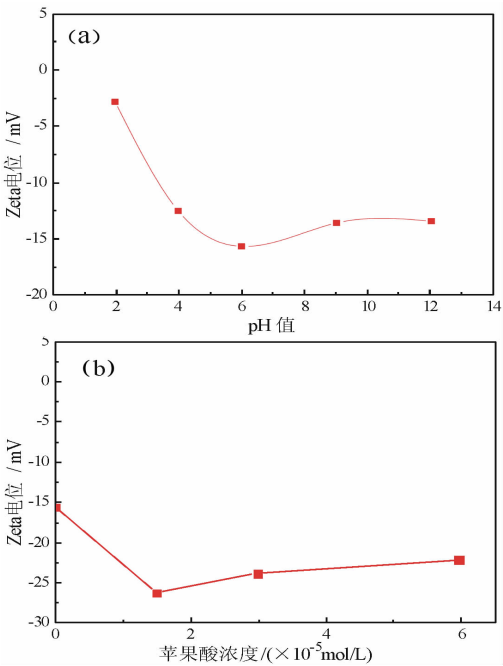


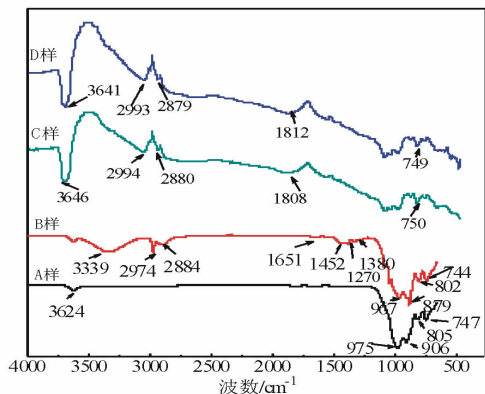
图 5 白云母的 Zeta 电位图
Fig. 5 Zeta potential of muscovite

由图 5a 可知,当 pH 值 < 6 时,白云母表面的 ζ

电位随着 pH 值的增大而负向增大,这是由于白云母表面 K^+ 的溶解导致其表面定位离子 OH^- 增多所致;当 pH 值为 6 时,白云母表面的 ζ 电位为 -15.58 mV;当继续增大 pH 值时,白云母表面的 ζ 电位变化不大,其原因在于 OH^- 在白云母表面吸附饱和所致^[9,10]。结合图 5a 和 5b 可知,白云母表面的 ζ 电位随 DL-苹果酸浓度的增大而负向增大,当 DL-苹果酸浓度从 0 mol/L 增大到 1.49×10^{-5} mol/L 时,白云母表面的 ζ 电位从 -15.58 mV 负向增大到 -26.20 mV,当 DL-苹果酸浓度继续增大时,白云母表面的 ζ 电位变化很小。结合图 4 分析可知,当矿浆 pH 值为 6 时,DL-苹果酸在溶液中主要以 $C_4H_5O_5^-$ 、 $C_4H_4O_5^{2-}$ 等形式存在,随着 DL-苹果酸浓度的增大,溶液中 $C_4H_5O_5^-$ 、 $C_4H_4O_5^{2-}$ 等带负电的酸根离子含量逐渐增多并吸附在白云母表面,因此导致了白云母表面的 ζ 电位负向增大,当继续增大 DL-苹果酸浓度时,白云母表面的 ζ 电位变化很小主要是由于 $C_4H_5O_5^-$ 、 $C_4H_4O_5^{2-}$ 等离子在白云母表面吸附饱和所造成的。

2.4 样品的 FTIR 表征

为了解有机药剂在白云母表面的吸附状态,研究对不同白云母试样进行了 FTIR 表征。结果如图 6 所示。



A 样-白云母纯矿物;B 样-油酸钠作用下的白云母;
C 样-油酸钠和 1.49×10^{-5} mol/L DL-苹果酸作用下的白云母;
D 样-油酸钠和 7.46×10^{-5} mol/L DL-苹果酸作用下的白云母

图 6 白云母样品的 FTIR 图

Fig. 6 FTIR chart of muscovite samples

从图 6 可知,A 样图谱中波数为 3624 cm^{-1} 的吸收峰为白云母纯矿物中 $-OH$ 的吸收峰,波数为 975 、 906 、 805 、 747 cm^{-1} 的吸收峰对应于白云母表面 $Si-OH$ 基团的特征吸收峰^[12]。与 A 样相比,B 样

红外图谱中新出现了波数为 3339 、 1270 、 2974 、 2884 cm^{-1} 的吸收峰,而波数为 3339 、 1270 cm^{-1} 的吸收峰分别对应油酸分子内 $-OH$ 的伸缩和弯曲振动吸收峰,波数为 2974 、 2884 cm^{-1} 的吸收峰则分别对应油酸根离子或油酸分子中的甲基、亚甲基特征吸收峰,这说明油酸分子及其二聚物在白云母表面发生了物理吸附。此外,B 样图谱中出现的波数为 1651 cm^{-1} 的吸收峰对应为油酸铝的特征峰,这表明溶液中的油酸根离子在白云母表面发生了化学吸附。对比 B 样发现,C 样图谱中出现了波数为 1808 cm^{-1} 的吸收峰,并且波数为 3646 cm^{-1} 的吸收峰的强度明显增强,由于波数为 1808 、 3646 cm^{-1} 的吸收峰分别对应 DL-苹果酸羧基中的 $C=O$ 吸收峰及 $-OH$ 吸收峰,可见 DL-苹果酸分子或离子在白云母表面发生了吸附,此外,C 样图谱中对应油酸分子中甲基和亚甲基的特征峰基本消失或特征峰强度减弱,这表明加入 DL-苹果酸后,吸附在白云母表面的油酸根等离子明显减少,这是由于 $C_4H_5O_5^-$ 、 $C_4H_4O_5^{2-}$ 等离子与油酸根等离子发生竞争吸附并且覆盖在白云母表面,导致了油酸根等离子在白云母表面的吸附作用减弱。与 C 样相比,D 样图谱中各吸收峰的峰形及强度变化很小,可见随着 DL-苹果酸浓度的增大, $C_4H_5O_5^-$ 、 $C_4H_4O_5^{2-}$ 等离子在白云母表面的吸附逐渐趋于饱和。

2.5 样品的 XPS 表征

为揭示 DL-苹果酸对白云母的抑制机理,论文利用 XPS 检测了经不同药剂作用后的白云母样品,结果见图 7,具体对应条件见表 1。

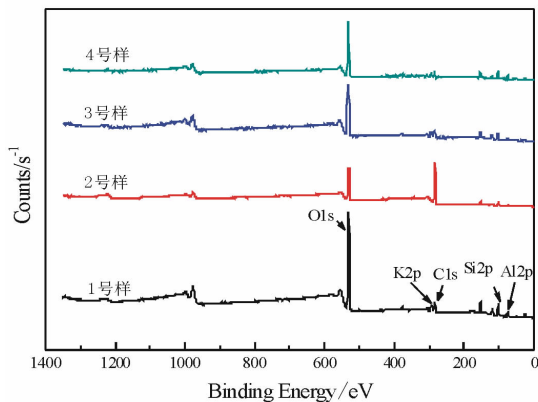


图 7 白云母样品的 XPS 全谱图

Fig. 7 XPS full chart of muscovite samples

由图 7 得知,样品中含有铝、硅、氧、碳等元素。

与1号样谱图相比,2号、3号和4号样表面不同元素的特征峰峰形发生了一定程度的变化。研究对白云母表面硅铝元素的电子结合能及碳元素的相对含量进行了分析,结果见表2。

表2 药剂作用下样品表面碳元素相对含量及硅铝元素电子结合能
Table 2 Relative content of carbon elements and the electron binding energy of silicon and aluminum elements on muscovite sample surface under the action of medicament

样品 编号	药剂作用条件			C/%	Si2p/eV	Al2p/eV
	矿浆 pH 值	DL-苹果酸浓度/(mol·L ⁻¹)	油酸钠浓度/(mol·L ⁻¹)			
1	—	0.00	0.00	14.82	102.16	74.03
2	6	0.00	9.20×10 ⁻⁴	61.29	101.33	73.47
3	6	1.49×10 ⁻⁵	9.20×10 ⁻⁴	14.51	103.43	75.22
4	6	7.46×10 ⁻⁵	9.20×10 ⁻⁴	14.95	103.06	74.91

由表2可知,与1号样相比,2号样表面碳元素含量明显增加,可见油酸根等离子吸附在了白云母表面。对比2号样发现,3号样表面碳元素含量下降了46.78%,且其含量随着溶液中DL-苹果酸的浓度增大而减少,这表明DL-苹果酸能明显使油酸根等离子在白云母表面的吸附作用减弱。由表2还可知,相比2号样,3号和4号样表面Si和Al元素的结合能发生了漂移,可见DL-

苹果酸明显改变了白云母表面Si和Al元素的化学环境。为了解不同白云母样品表面活性点Al、Si元素的价键形态,研究参照XPS手册、XPS数据库以及XPS标准谱线图^[13],分别对其图谱进行了分峰拟合处理。结果见图8、图9、表3和表4,图中Al-O、Al-OH、Al-OOCR、Si-O、Si-OOCR分别代表铝氧键、铝羟基键、油酸铝键、硅氧键及油酸硅键。

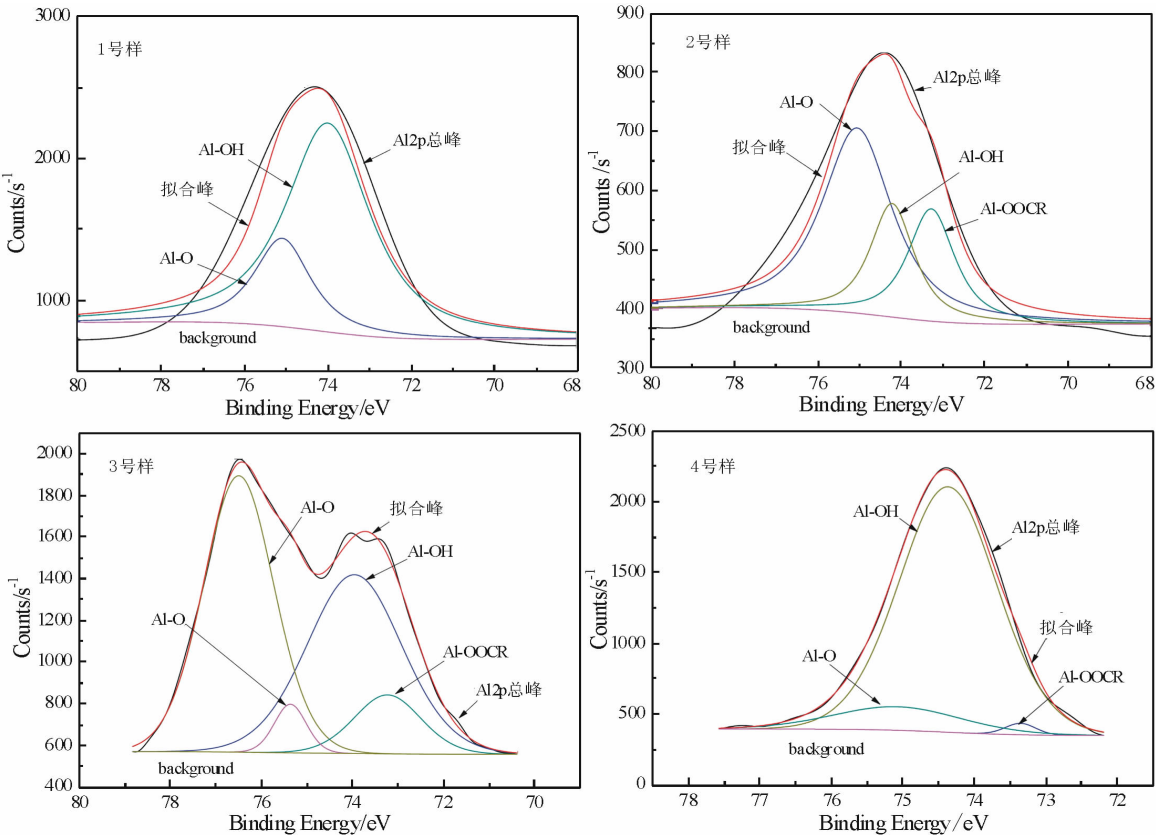


图8 Al2p的分峰拟合图
Fig. 8 Fitting chart of Al2p

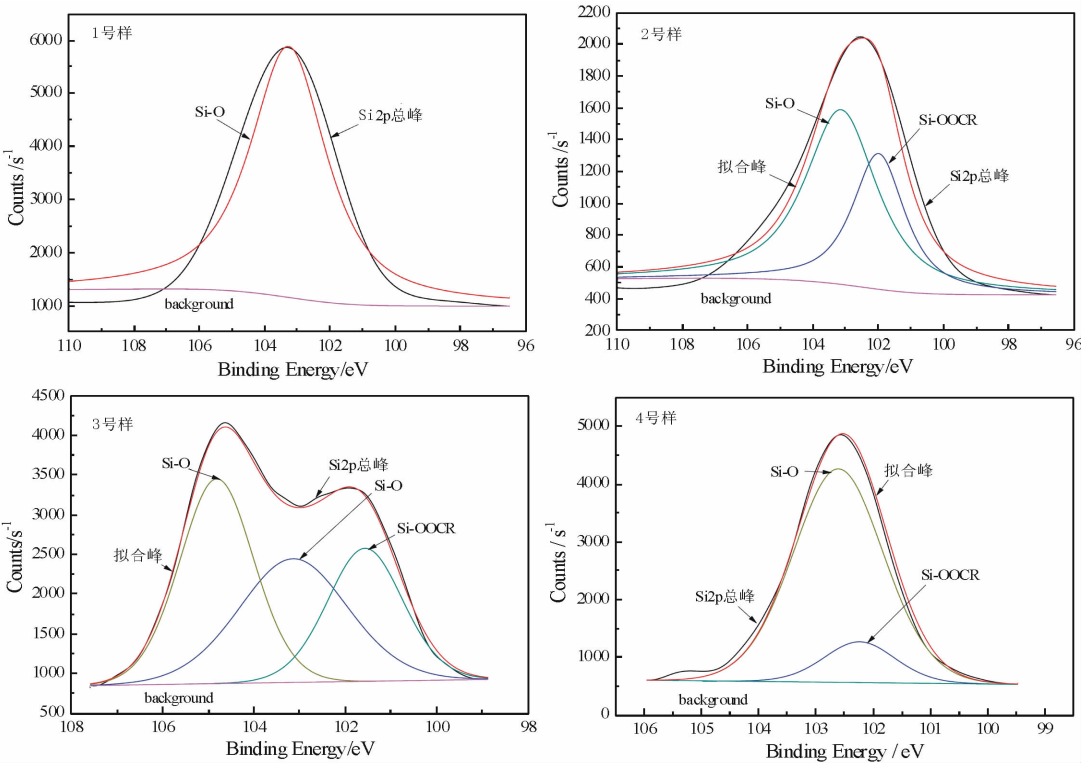


图 9 Si2p 的分峰拟合图

Fig. 9 Fitting chart of Si2p

表 3 Al 的价键形态及其分布

Table 3 The valence bond morphology and distribution of Al

样品 编号	矿浆 pH 值	作用药剂浓度/(mol·L ⁻¹)		Al-O	Al-OH	Al-OOCR	总峰 面积	Al-O 相	Al-OH 相	Al-OOCR 相
		DL-苹果酸	油酸钠	峰面积	峰面积	峰面积		对含量/%	对含量/%	对含量/%
1	—	—	—	1 478.11	5 226.70	0.00	5 704.81	25.91	74.09	0.00
2	6	—	9.20 × 10 ⁻⁴	917.24	353.27	374.07	1 644.58	55.78	21.48	22.74
3	6	1.49 × 10 ⁻⁵	9.20 × 10 ⁻⁴	2 839.52	2 300.20	532.79	5 672.51	50.06	40.55	9.39
4	6	7.46 × 10 ⁻⁵	9.20 × 10 ⁻⁴	377.48	3 026.68	43.44	3 447.60	10.95	87.79	1.26

表 4 Si 的价键形态及其分布

Table 4 The valence bond morphology and distribution of Si

样品 编号	矿浆 pH 值	作用药剂浓度/(mol·L ⁻¹)		Si-O	Si-OOCR	总峰面积	Si-O	Si-OOCR
		DL-苹果酸	油酸钠	峰面积	峰面积		相对含量/%	相对含量/%
1	—	0	0	15 966.96	0.00	15 966.96	100.00	0.00
2	6	0	9.20 × 10 ⁻⁴	4 210.19	2 394.63	6 604.82	63.74	36.26
3	6	1.49 × 10 ⁻⁵	9.20 × 10 ⁻⁴	10 143.35	3 573.11	13 716.46	73.95	26.05
4	6	7.46 × 10 ⁻⁵	9.20 × 10 ⁻⁴	7 429.77	1 185.87	8 615.64	86.24	13.76

结合图 8、图 9、表 3 和表 4 可知,相比 1 号样,2 号样表面出现了 Al-OOCR、Si-OOCR 等新的价键,这是由于白云母表面的 Al、Si 等活性点与矿浆中的油酸根离子发生了化学反应。白云母表面新出现的化学键说明,矿浆中的油酸根离子在白云母表面发生了化学吸附是油酸钠改变白云母可浮性的原

因。结合表 3 和表 4 还可知,与油酸钠作用的白云母样品相比,经 1.49 × 10⁻⁵ mol/L 的 DL-苹果酸及油酸钠共同作用的白云母表面 Al-OOCR 和 Si-OOCR 的相对含量分别降低了 13.35 个百分点和 10.21 个百分点,原因在于 DL-苹果酸在溶液中生成的 C₄H₃O₅⁻、C₄H₄O₅²⁻ 等离子与油酸根等离子产

生了竞争吸附,进而使油酸根等离子在白云母表面的化学吸附作用减弱。当 DL-苹果酸浓度增大到 $7.46 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 时,相比 3 号样,4 号样表面的 Al-OOCR 和 Si-OOCR 的相对含量有所下降并且它们的相对含量已经很小,可见此时浓度的 DL-苹果酸已经完全抑制了白云母的可浮性。结合图 5b 可知,白云母表面的 ζ 电位随 DL-苹果酸浓度的增大而负向增大,可见加入 DL-苹果酸会导致白云母表面的局部正电区域减小^[14],进而会削弱油酸根离子在白云母表面的静电吸附作用。此外,含有羟基等强烈亲水基团的 $\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_5^-$ 、 $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5^{2-}$ 等离子吸附在白云母表面会使白云母表面亲水,在上述作用下,白云母的可浮性显著下降。

3 结论

(1)在矿浆 pH 值为 6、DL-苹果酸浓度为 $7.46 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 、油酸钠浓度为 $9.20 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 的条件下,白云母的回收率仅为 0.40%,相比于只经油酸钠作用的白云母,其回收率下降了 9.7 个百分点,可见 DL-苹果酸对白云母的可浮性具有明显的抑制作用。

(2)DL-苹果酸抑制白云母可浮性的机理在于: $\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_5^-$ 、 $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5^{2-}$ 等离子与矿浆中的油酸根等离子发生竞争吸附,并且吸附在白云母表面的 $\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_5^-$ 、 $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5^{2-}$ 等离子会导致白云母表面 ζ 电位负向增大,进而会削弱油酸根等离子在白云母表面的静电吸附作用。此外,含有羟基等强烈亲水基团的 $\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_5^-$ 、 $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5^{2-}$ 等离子吸附在白云母表面会使白云母表面亲水,因此白云母的可浮性显著下降。

参考文献:

- [1] 吴卫国,孙传尧,朱永措. 有机螯合抑制剂在浮选中的应用[J]. 有色金属,2006,58(4):81-85.
- [2] 陈华强. 几种无机、有机抑制剂对方解石浮选抑制行为的研究[J]. 四川有色金属,1998(2):42-45.
- [3] 王淀佐,白世斌. 浮选有机抑制剂的结构与性能[J]. 有色金属,1983,35(2):47-54.
- [4] 梅光军,薛玉兰,余永富,等. 小分子有机酸抑制剂的研究[J]. 化工矿物与加工,2000(2):1-4,8.
- [5] 贾辉,卢毅屏,钟宏,等. 金属矿浮选有机抑制剂的研究进展[J]. 应用化工,2014,43(2):353-356,362.
- [6] 王宇斌,余乐,张威,等. 某含碳难选白云母矿选矿试验研究[J]. 矿山机械,2015,43(9):106-109.
- [7] 张文军,王鞍山,马志军,等. 氨基酯类阳离子捕收剂对钾长石、石英浮选效果研究[J]. 硅酸盐通报,2014,33(1):181-185.
- [8] 王宇斌,余乐,张威,等. 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.
- [9] 王宇斌,张小波,余乐,等. 油酸钠体系下 Pb^{2+} 对白云母的活化机理研究[J]. 非金属矿,2016,39(6):15-19.
- [10] 彭祥玉,王宇斌,张小波,等. 油酸钠体系下 Mg^{2+} 对白云母的活化机理研究[J]. 硅酸盐通报,2017,36(1):401-407.
- [11] 王淀佐,胡岳华. 浮选溶液化学[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1988:9-40.
- [12] 杨南如,岳文海. 无机非金属材料图谱手册(上)[M]. 武汉:武汉工业大学出版社,2000:302-303.
- [13] Moudler J. F., Stickler W. F., Sobol P. E., et al. Handbook of X-Ray photoelectron spectroscopy [M]. Perkin-Elmer Corporation: Physical Electronics Division Press, 1992.
- [14] 刘亚川,龚焕高,张克仁. 石英长石矿物结晶化学特性与药剂作用机理[J]. 中国有色金属学报,1992,2(4):21-25.

引用格式:王宇斌,文堪,王望泊,等. 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.

WANG Yubin, WEN Kan, WANG Wangbo, et al. Inhibition mechanism of DL-malic acid on the floatability of muscovite[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2018(3):117-123.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn