

文章编号 1004-0609(2003)01-0222-07

# 磷酸盐对一水硬铝石和高岭石浮选的选择性作用<sup>①</sup>

胡岳华, 陈湘清, 王毓华

(中南大学 资源加工与生物工程学院, 长沙 410083)

**摘 要:** 研究了磷酸盐对一水硬铝石和高岭石的浮选性能。六偏磷酸钠(SHMP)在低用量条件下, 对高岭石的抑制作用大于对一水硬铝石的, 可以实现铝土矿的正浮选脱硅; 而在高用量的条件下, 六偏磷酸盐对一水硬铝石的抑制作用很强, 对高岭石的抑制作用与低用量条件相比没有明显变化, 因而可以实现铝土矿的反浮选脱硅。通过磷酸盐的溶液化学、六偏磷酸钠对一水硬铝石和高岭石矿物的  $\zeta$ -电位影响及其在矿物表面上的吸附量测定, 同时通过显微镜对溶液中的矿物颗粒成像, 探讨了  $(\text{NaPO}_3)_6$  在一水硬铝石和高岭石的胺阳离子反浮选体系中的作用机理。

**关键词:** 六偏磷酸钠; 一水硬铝石; 高岭石; 反浮选; 抑制作用

**中图分类号:** TD 923; TD 952

**文献标识码:** A

我国铝土矿资源丰富, 但具有高铝、高硅、低铁、低铝硅比的特点, 大部分矿石不能满足工艺上先进的拜耳法生产氧化铝的要求<sup>[1, 2]</sup>。目前, 我国氧化铝的生产主要是采用混联法及烧结法, 面临生产成本低、能耗高及环境污染问题, 产品缺乏国际竞争力。为了解决我国 23 亿吨铝土矿资源利用问题及应对我国加入 WTO 后的挑战, 国家“九·五”攻关计划提出开发选矿—拜耳法生产氧化铝新技术, 并已初步获得成功。开发出的正浮选脱硅技术可获得高铝硅比铝土矿精矿, 以供生产氧化铝。国家重点基础研究发展规划项目(973)及国家“十·五”攻关计划进一步提出反浮选脱硅基础理论研究与技术开发作为重点课题。反浮选脱硅中, 一水硬铝石的选择性抑制和高岭石的强化捕收是两个技术关键<sup>[3]</sup>。

一水硬铝石的有机抑制剂主要有淀粉及改性淀粉、单宁、CMC 等, 无机抑制剂有磷酸盐、氟化物等。六偏磷酸钠(SHMP)是典型的无机调整剂, 用途较广, 可用作矿物浮选的抑制剂, 如在胺浮选体系中六偏磷酸钠在低 pH 值时, 对硅灰石有强烈的抑制作用<sup>[4]</sup>; 用作分散剂, 对一水硬铝石与金红石、菱锰矿与石英的分散作用较好<sup>[2, 5]</sup>; 细粒矿物悬浮液的稳定剂, 如  $\text{Al}_2\text{O}_3$  纳米颗粒机械抛光研磨液<sup>[6]</sup>; 环保工程中某些金属离子的沉淀剂和水的软化剂; 在铝土矿正浮选中用作分散剂和铝硅酸盐的

抑制剂, 获得工业应用。但是有关磷酸盐调整剂与矿物作用机理的研究甚少, 特别是反浮选体系中磷酸盐与一水硬铝石及高岭石的相互作用还未见报道。Michelmores<sup>[7]</sup>认为聚磷酸盐特性吸附在  $\text{TiO}_2$  表面而不与  $\text{SiO}_2$  表面作用, 他们提出的作用机理是终端 P 原子与矿物表面的金属原子产生化学作用。Parfitt<sup>[8, 9]</sup>报道了磷酸盐与合成的铁氧化物发生配位反应生成  $\text{FeOP}(\text{O}_2)\text{OFe}$  复合物。Gong<sup>[10]</sup>通过光谱没有发现 P—O—Si 键, 认为磷酸盐类不可能化学吸附在  $\text{SiO}_2$  表面, 表面金属是磷酸盐吸附的必要前提。本文作者通过磷酸盐的溶液化学、六偏磷酸钠对一水硬铝石和高岭石矿物的  $\zeta$ -电位影响及其在矿物表面上的吸附量测定, 同时通过显微镜对溶液中的矿物颗粒成像, 探讨了  $(\text{NaPO}_3)_6$  在一水硬铝石和高岭石的胺阳离子反浮选体系中的作用机理。

## 1 实验

### 1.1 原料与试剂

1) 矿样 一水硬铝石与高岭石分别取自河南小关和河南平顶山, 块矿经手碎手选后用瓷球磨细筛分至  $< 98 \mu\text{m}$ , 化学分析与 X 射线衍射分析表明其纯度均在 90% 以上。

2) 试剂 多聚磷酸钠( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ), 分子量 367.

① 基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(973)G199064901; 国家杰出青年基金资助项目(59925412)

收稿日期: 2001-04-29; 修订日期: 2002-07-12 作者简介: 胡岳华(1962-), 男, 教授, 博导。

通讯联系人: 陈湘清, 电话: 0731-8830541; 地址: 中南大学 岳麓校区和平楼, 邮编: 410083

91; 十二胺, 化学纯。六偏磷酸钠 ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>、浓硫酸、钼酸铵、硫酸胍,  $\text{NaOH}$  和  $\text{HCl}$  都为分析纯, 水为一次蒸馏水。

## 1.2 方法

### 1.2.1 吸光度法测磷

分别取 0.5 mL, 1.0 mL, 1.5 mL, 2.0 mL, 2.5 mL 当量  $\text{PO}_4^{3-}$  质量浓度为 0.1 g/L 的三聚磷酸钠标液于 50 mL 容量瓶中, 加入 6 mol/L 的浓硫酸溶液 3 mL, 13 g/L 的钼酸铵溶液 4.5 mL, 3 g/L 的硫酸胍溶液 2.0 mL, 定容摇匀后, 沸水浴上反应 10 min 冷却。在 UV-3 000 紫外光吸收仪上的 660 nm 波长处, 用 1 cm 比色池测定溶液的吸光度。制得测磷标准工作线。

### 1.2.2 浮选实验

实验在 XFG 挂槽式浮选机中进行。称取 2 g < 98  $\mu\text{m}$  的矿样, 加到 30 mL 浮选槽中, 加蒸馏水适量, 再加 pH 值调整剂搅拌 1 min, 然后加入磷酸盐调整剂充分搅拌 3 min, 加入十二胺捕收剂搅拌 1 min 并加少量起泡剂, 测定浮选 pH 值, 浮选 3 min, 槽内产品过滤烘干, 称量。

### 1.2.3 电位测定

将 < 98  $\mu\text{m}$  的纯矿物样用玛瑙研钵研磨至 < 5  $\mu\text{m}$ , 配成 0.01% 的矿浆, 在磁力搅拌器上搅拌 5 min, 测定矿浆 pH 值, 取上述样品加入样品池, 在 Zetaplus 电位测定仪上测定电位。

### 1.2.4 ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> 的吸附量测定

取 2 g < 98  $\mu\text{m}$  的矿样放入烧杯, 加入 40 mL 蒸馏水, 在磁力搅拌器搅拌 2 min, 调整矿浆 pH 值, 加入 ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> 溶液 3 mL, 搅拌 5 min, 沉降 72 h, 取上层清液 10 mL 于 50 mL 容量瓶中。按照测定工作曲线的实验条件测定其吸光度, 在三聚磷酸钠的标准工作曲线上测得  $\text{PO}_4^{3-}$  含量, 从而得到矿浆中的残余 P 量。差减计算吸附在矿物表面上的 P 量, 即 ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> 的吸附量  $\Gamma$ 。

### 1.2.5 矿物粒度和比表面的测定

用 CILAS 1064 Liquid 粒度测定仪测定一水硬铝石和高岭石的粒度分布, 用 NOVA-1000 Ver 5.01 比表面测定仪测定一水硬铝石和高岭石的比表面。

### 1.2.6 显微镜成像实验

取纯矿物样 2 g 于烧杯中, 加适量蒸馏水, 调整溶液 pH 值, 加入 ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> 溶液 3 mL, 充分搅拌后, 沉降 5 s, 取一滴中层的矿浆于载玻片上进行显微镜照相。

## 2 结果与讨论

### 2.1 磷酸盐的浮选性能

添加不同的磷酸盐后, 用十二胺作捕收剂, 一水硬铝石与高岭石在不同 pH 值条件下浮选结果见图 1, 2。

由图 1 可以看出, 正磷酸盐和三聚磷酸盐对一水硬铝石的浮选影响不大, 而六偏磷酸钠对一水硬铝石的浮选在  $\text{pH} < 10$  有强烈的抑制作用。图 2 中各磷酸盐对高岭石的抑制能力大小顺序为  $\text{Na}_3\text{PO}_4 < \text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} < (\text{NaPO}_3)_6$ , 浮选受 pH 值影响较小,

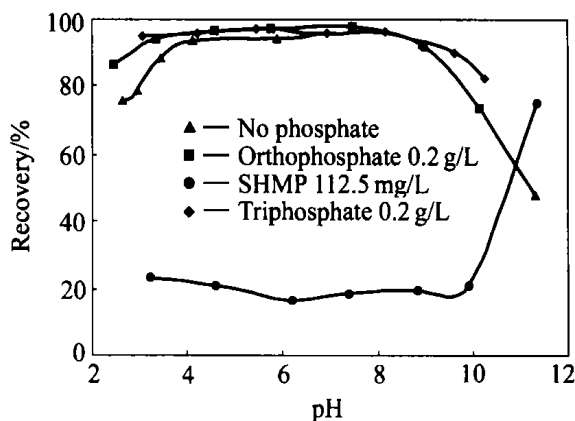


图 1 不同磷酸盐对一水硬铝石回收率的影响与 pH 值的关系 (十二胺:  $3 \times 10^{-4}$  mol/L)

Fig. 1 Flotation recoveries of diasporite in different phosphates vs pH (dodecylamine:  $3 \times 10^{-4}$  mol/L)

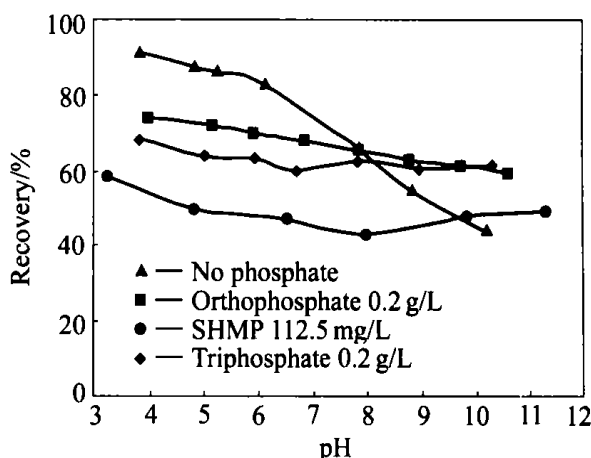


图 2 不同磷酸盐对高岭石的回收率的影响与 pH 值的关系 (十二胺:  $3 \times 10^{-4}$  mol/L)

Fig. 2 Flotation recoveries of kaolinite in different phosphates vs pH

说明磷酸盐的聚合度越高对高岭石的抑制能力越强。这表明正磷酸盐和三聚磷酸盐不适合用作铝土矿反浮选的调整剂。但是,六偏磷酸钠对一水硬铝石的浮选有强烈抑制作用,对高岭石的抑制作用相对较小,根据这种抑制作用的差值,仔细考察了六偏磷酸钠对铝土矿反浮选脱硅的可行性及机理。

六偏磷酸钠的用量及 pH 值对一水硬铝石的抑制作用见图 3。六偏磷酸钠的用量及矿浆 pH 值对高岭石浮选的影响见图 4。

从图 3, 4 可以看出,不同浓度  $(\text{NaPO}_3)_6$  对矿物的浮选均有不同程度的抑制,在中性条件附近,浮选回收率均出现较弱的峰值。在  $\text{pH} > 11$  时,  $(\text{NaPO}_3)_6$  对一水硬铝石失去抑制作用。在低用量的条件下 ( $(\text{NaPO}_3)_6$  37.5 mg/L), 六偏磷酸钠对一

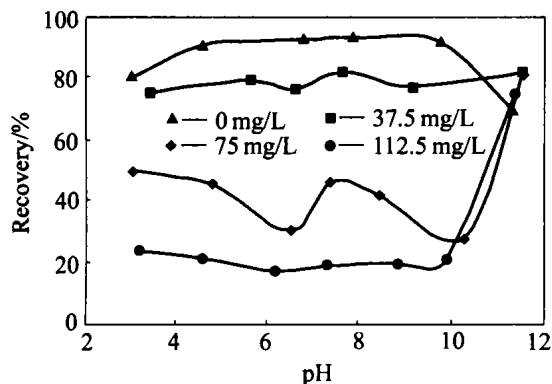


图 3  $(\text{NaPO}_3)_6$  的用量、矿浆 pH 值对一水硬铝石浮选的影响(十二胺:  $3 \times 10^{-4}$  mol/L)

Fig. 3 Flotation recoveries of diaspore in different concentrations of SHMP vs pH (dodecyl-amine:  $3 \times 10^{-4}$  mol/L)

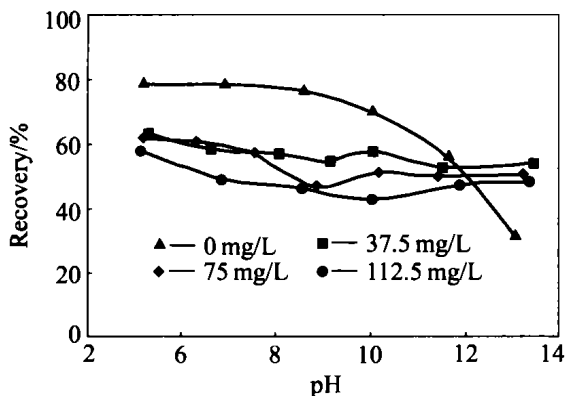


图 4  $(\text{NaPO}_3)_6$  的用量、矿浆 pH 值对高岭石浮选的影响(十二胺:  $3 \times 10^{-4}$  mol/L)

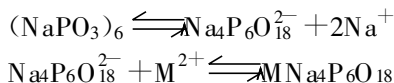
Fig. 4 Flotation recoveries of kaolinite in different concentration of SHMP vs pH (dodecyl-amine:  $3 \times 10^{-4}$  mol/L)

水硬铝石的抑制作用比对高岭石的抑制作用小,张国范等利用低浓度的六偏磷酸钠对一水硬铝石的较小的抑制能力、而对高岭石的较大的抑制能力的差别,在油酸钠体系中对铝土矿进行了正浮选试验<sup>[11]</sup>。在  $(\text{NaPO}_3)_6$  的用量大于 37.5 mg/L 时,  $(\text{NaPO}_3)_6$  对一水硬铝石的抑制作用随用量增大而增大,对高岭石的抑制作用却基本不变。当六偏磷酸钠的用量达到 112.5 mg/L 时,  $(\text{NaPO}_3)_6$  对一水硬铝石的抑制作用很强,相对于无  $(\text{NaPO}_3)_6$  时抑制率可达 70%, 见图 3; 而对高岭石的抑制率大约只有 35%, 见图 4。  $(\text{NaPO}_3)_6$  用量是实现反浮选中选择性抑制一水硬铝石的关键。

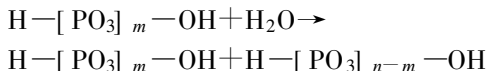
## 2.2 六偏磷酸钠与矿物作用机理研究

### 2.2.1 六偏磷酸钠的溶液平衡

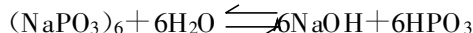
六偏磷酸钠  $(\text{NaPO}_3)_6$  是一种长链无机盐, 在水中溶液中各基本结构单元相互聚合成螺旋状的链状聚合物, 可表示为  $(\text{NaPO}_3)_n$ ,  $n = 20 \sim 100$ , 可电离生成带负电、具有强吸附活性的磷酸根阴离子, 可络合除季铵盐和碱金属以外的所有金属阳离子, 反应式为<sup>[12]</sup>



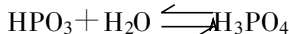
六偏磷酸钠溶于水后, 发生不同程度的质子化作用, 六偏磷酸钠分子链中的部分 P 原子羟基化成为  $-\text{HPO}_3^-$  单元, 而且不同聚合度的六偏磷酸钠会发生水解作用而造成链分子的断裂:



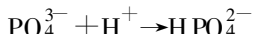
Gong<sup>[19]</sup> 对磷酸盐水溶液红外光谱实验研究表明, 线性磷酸盐在不同的 pH 条件下的质子化作用是不同的。因此, 六偏磷酸钠水溶液产物是一  $[\text{HPO}_3]_m-$  和一  $[\text{PO}_3]_m-$  单元的随机组合链分子。这种分子在不同的 pH 条件下所带的电荷也是随机的。六偏磷酸钠也容易水解, 其水解反应为:



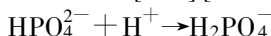
偏磷酸水解成正磷酸:



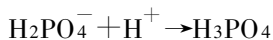
正磷酸的水解反应:



$$K_1^{\text{H}} = \frac{1}{K_{a3}} = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}^+][\text{PO}_4^{3-}]} = 10^{12.35}$$



$$K_2^{\text{H}} = \frac{1}{K_{a2}} = \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{H}^+][\text{HPO}_4^{2-}]} = 10^{7.2}$$



$$k_3^{\text{H}} = \frac{1}{k_{a1}} = \frac{[\text{H}_3\text{PO}_4]}{[\text{H}^+][\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 10^{2.15}$$

用  $\Phi_0$ ,  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$  分别表示  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  的分布系数。

$$\Phi_0 =$$

$$\frac{1}{1 + 10^{12.35}[\text{H}^+] + 10^{19.55}[\text{H}^+]^2 + 10^{21.7}[\text{H}^+]^3}$$

$$\Phi_1 = k_1^{\text{H}} \Phi_0[\text{H}^+]$$

$$\Phi_2 = \beta_2^{\text{H}} \Phi_0[\text{H}^+]^2$$

$$\Phi_3 = \beta_3^{\text{H}} \Phi_0[\text{H}^+]^3$$

由以上平衡可得出  $(\text{NaPO}_3)_6$  各水解组分的  $\Phi$ -pH 值关系图, 见图 5。可见:  $\text{pH} < 2.15$  时,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  是优势组分,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  占优势组分的 pH 范围是  $2.15 < \text{pH} < 7.2$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  占优势组分的 pH 范围是  $7.2 < \text{pH} < 12.35$ ,  $\text{pH} > 12.35$  时  $\text{PO}_4^{3-}$  占优势。因此, 在六偏磷酸钠溶液中, 除了主要的不同程度质子化的溶解产物外, 还有少量的水解组分。这些解离及水解组分通过静电、氢键或络合与矿物表面作用, 对矿物的表面性质及浮选行为产生影响。

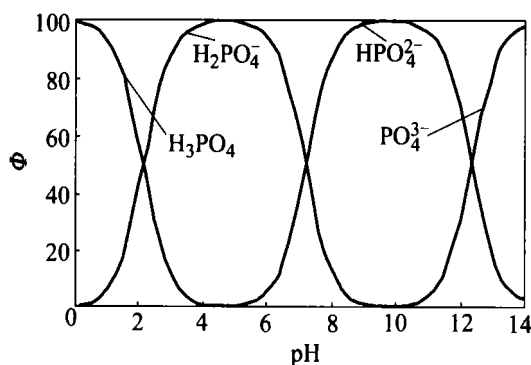


图 5  $(\text{NaPO}_3)_6$  溶液中各水解组分的

$\Phi$ (分布系数)-pH 值关系图

Fig. 5 Distribution diagram of SHMP solution as function of pH

## 2.2.2 六偏磷酸钠对矿物的动电位的影响

图 6 为六偏磷酸钠对一水硬铝石和高岭石  $\zeta$ -电位的影响。在蒸馏水中, 一水硬铝石的 PZC = 6.2, 高岭石的 PZC = 4.2。在六偏磷酸钠的作用下, 一水硬铝石和高岭石的负  $\zeta$ -电位增加, 零电点降低, 一水硬铝石的 PZC 降至 2.5, 高岭石在实验范围内无 PZC。除了六偏磷酸钠溶解组分显著影响矿物表面位外, 其中的水解组分对一水硬铝石和高岭石的  $\zeta$ -电位的作用也很大。在  $\text{pH} < 6$ , 一水硬铝石表面带正电,  $(\text{NaPO}_3)_6$  的主要水解组分为

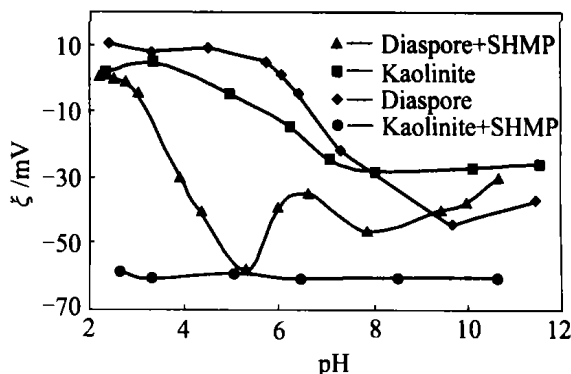


图 6 六偏磷酸钠对一水硬铝石和高岭石的  $\zeta$ -电位的影响

Fig. 6 Zeta-potential of diaspore and kaolinite in absence and presence of SHMP as function of pH

$\text{H}_2\text{PO}_4^-$  离子, 可通过静电力或氢键在一水硬铝石表面吸附, 使其  $\zeta$ -电位变负, 从图 5 可见, 在 pH 5 左右,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  浓度最大, 使一水硬铝石的负  $\zeta$ -电位在 pH 5 左右出现峰值。随着 pH 增加 ( $\text{pH} > 6.2$ ), 一水硬铝石表面带负电,  $(\text{NaPO}_3)_6$  的主要水解组分为  $\text{HPO}_4^{2-}$  和  $\text{PO}_4^{3-}$ , 由于静电排斥, 六偏磷酸钠水解组分的阴离子可能通过氢键在一水硬铝石表面吸附, 使其  $\zeta$ -电位进一步变负。但是, 由于一水硬铝石表面存在较多铝阳离子活性区, 六偏磷酸钠阴离子也可能通过与表面的  $\text{Al}^{3+}$  络合发生作用, 当用量较大时, 这种作用将更加明显。高岭石在较宽的 pH 范围内带负电, 与一水硬铝石相比, 高岭石表面 Al 活性区较少, 六偏磷酸钠各阴离子水解组分主要通过氢键在高岭石表面吸附, 其作用与六偏磷酸钠的用量及矿浆 pH 值关系不大。

## 2.2.3 $(\text{NaPO}_3)_6$ 的吸附对矿物浮选的影响

用已知浓度的三聚磷酸钠标液测定溶液的吸光度, 在浓度和吸光度之间有很好的线性关系:

$$A = 0.1111\rho + 0.0497$$

式中  $A$  为吸光度,  $\rho$  为当量  $\text{PO}_4^{3-}$  质量浓度。

通过 BET 法测得高岭石的比表面为:  $17.4112 \text{ m}^2/\text{g}$ ; 测得一水硬铝石的比表面为:  $1.3491 \text{ m}^2/\text{g}$ ; 在六偏磷酸钠用量为  $75 \text{ mg/L}$  时, 六偏磷酸钠在一水硬铝石和高岭石表面上在不同 pH 值下吸附量如图 7 所示。

可以看出, 六偏磷酸钠在一水硬铝石表面上吸附密度远远大于在高岭石表面上的吸附密度。由于六偏磷酸钠的强烈亲水作用, 因而抑制了一水硬铝石的浮选。对于解离后表面暴露的金属阳离子数量较少、表面显著增加的矿物, 如高岭石, 六偏磷酸

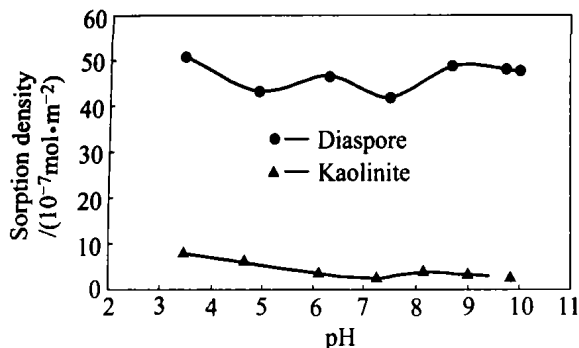


图7  $(\text{NaPO}_3)_6$  在一水硬铝石和高岭石表面上的等温吸附密度曲线 ( $\rho_{(\text{NaPO}_3)_6} = 75 \text{ mg/L}$ )

Fig. 7 Sorption density of SHMP on diaspore and kaolinite as function of pH ( $\rho_{(\text{NaPO}_3)_6} = 75 \text{ mg/L}$ )

钠对矿物的抑制作用与矿物解离时的断裂程度成负相关关系<sup>[7]</sup>。即矿物解离越趋于完全,六偏磷酸钠对其的抑制作用变得也越小。高岭石在破碎解离时,暴露出Al和Si原子,表面Al原子密度远少于一水硬铝石,使得高岭石只能少量的吸附六偏磷酸钠。由于六偏磷酸钠的强烈负电荷和大的分子结构,吸附了少量六偏磷酸钠的高岭石矿物表面带上很高的负电位,同时由于六偏磷酸钠的大分子结构空间位阻效应,增加了矿物颗粒之间排斥势能,使矿物颗粒间的分散性变好。通过 Nikon ELLPSEE 400 POL 光电显微镜观察了吸附药剂的高岭石在水溶液中的形态,如图8所示。吸附了六偏磷酸钠的高岭石能很好地分散在矿浆中,并且当pH值变化时,这种分散性都较好。高岭石矿物表面上同时存在的Al和Si原子使得浮选药剂在高岭石矿物表面上可能出现栅栏现象的作用:Al活性区和六偏磷酸钠作用, Si活性区和阳离子捕收剂作用。高岭石的可浮性决定于六偏磷酸钠和捕收剂用量的相对大小。而吸附了六偏磷酸钠的一水硬铝石颗粒则形成线型或网状结构而表现出团聚现象,如图9。说明与六偏磷酸钠作用后的一水硬铝石颗粒间的团聚增加了粘着在气泡上的矿物颗粒的重力,使颗粒易于脱落,并且抑制剂在一水硬铝石表面上的高密度吸附,完全罩盖住矿物颗粒,捕收剂很难和矿物颗粒发生作用,使一水硬铝石的浮选被抑制。从六偏磷酸钠的用量曲线上可以看出,六偏磷酸钠必须在达到足够用量后,形成完全罩盖才能对一水硬铝石形成显著的抑制,实现对铝土矿的反浮选脱硅。

根据浮选实验结果和图8和9,作者认为六偏磷酸钠对一水硬铝石和高岭石作用机理如图10。



图8 高岭石与六偏磷酸钠作用后在矿浆中的形态图(pH=6.28)

Fig. 8 Shapes of kaolinite in SHMP solution (pH=6.28)

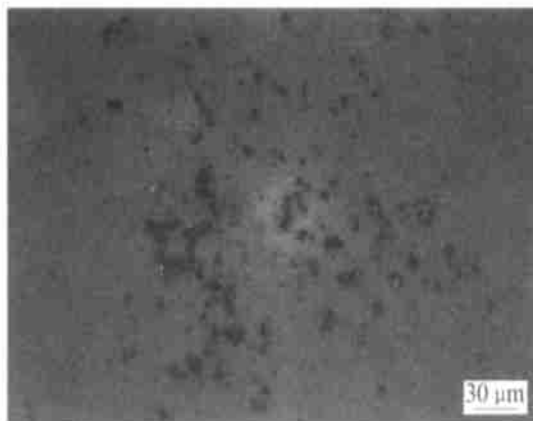


图9 一水硬铝石与六偏磷酸钠作用后在矿浆中的形态图(pH=4.25)

Fig. 9 Shapes of diaspore in SHMP solution (pH=4.25)

### 3 结论

1) 正磷酸盐和多聚磷酸盐对一水硬铝石和高岭石的浮选影响不大。六偏磷酸盐在低用量条件下,对高岭石的抑制作用大于对一水硬铝石的作用,可以实现铝土矿的正浮选脱硅;而在高用量的条件下,六偏磷酸盐对一水硬铝石的抑制作用很强,对高岭石的抑制作用与低用量条件相比没有明显变化,因而可以实现铝土矿的反浮选脱硅。

2) 六偏磷酸钠显著影响矿物表面的动电位,使得一水硬铝石的PZC降至2.5,高岭石在实验范围内没有零电点。

3) 六偏磷酸钠与矿物表面上的Al元素络合,

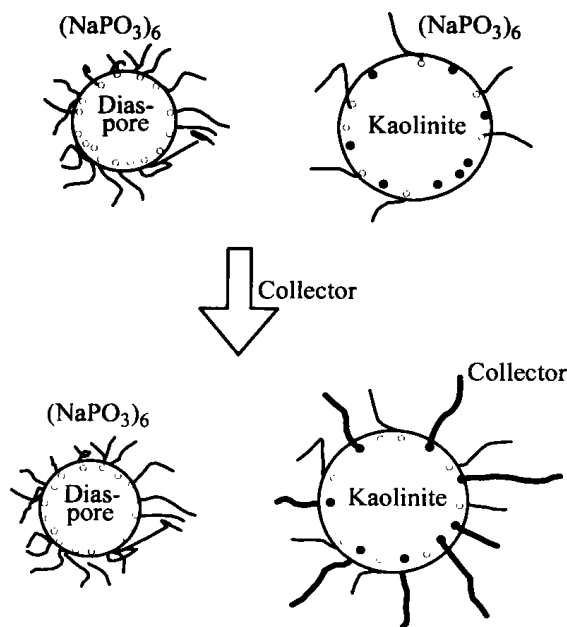


图 10 浮选药剂与矿物表面的  
相互作用示意图

Fig. 10 Sketch of interactions of  
minerals and reagents

○—Al; ●—Si

对一水硬铝石完全罩盖而产生抑制作用, 对高岭石的部分吸附使得阳离子捕收剂可以栅栏吸附而使高岭石矿物表面疏水被浮。

## REFERENCES

- [1] 欧阳坚, 卢寿慈. 我国铝土矿资源特征与选矿加工研究[J]. 矿产综合利用, 1995(2): 24-27.  
OUYANG Jian, LU Shou-ci. Studies of the resource characters and mineral processing of the bauxite in our country[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resource, 1995(2): 24-27.
- [2] 王恩浮, 马朝建, 陆钦芳, 等. 选矿—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 Enfu, MA Chao-jian, LU qin-fang et al. The discuss of alumina produce by mineral processing-bayer processing of the China high sillcous bauxite[J]. Light Metals, 1996(7): 3-6, 20.
- [3] 胡岳华, 蒋 昊, 邱冠周, 等. 一水硬铝石型铝土矿铝硅浮选分离的溶液化学[J]. 中国有色金属学报,

2001, 11(1): 125-130.

HU Yue-hua, JIANG Hao, QIU Guan-zhou, et al. Solution chemistry of flotation separation of diasporic bauxite[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 11(1): 125-130.

- [4] 毛钺凡, 程卫泉. 硅灰石与方解石的浮选分离研究[J]. 矿冶工程, 1991, 11(2): 43-47.  
MAO Jufan, CHENG Wei-quan. The flotation separation of wollastonite and calcite[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 1991, 11(2): 43-47.
- [5] 欧阳坚, 卢寿慈. 微细矿粒的凝聚与分散[J]. 矿产综合利用, 1996(2): 43-48.  
OUYANG Jian, LU Shou-ci. The aggregation and disperse of fine mineral partieles[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resource, 1996(2): 43-48.
- [6] 曹丽梅. 超细铝、硅氧化物的分散及稳定性研究[D]. 长沙: 中南大学, 2000.  
CAO Li-mei. The Disperse and Stability Research of Ultrafine Alumina-Silicates[D]. Changsha: Central South University, 2002.
- [7] Michelmor A, Gong W, Jenkins P, et al. The influence of polyphosphates in modifying the surface behavior and interactions of metal oxide particles[J]. In: Laskouski J S. Polymers in Mineral Processing[C]. Quebec City, 1999. 231-245.
- [8] Parfitt R L, Atkinson R J, Smart R S C. The mechanism of phosphate fixation by ironoxides[J]. Soil Sci Soc Am Prog, 1975, 39: 837-841.
- [9] Parfitt R L, Russell J D, Farmer V C. Confirmation of the surface structure of goethite and phosphated goethite by infrared spectroscopy[J]. J Chem Soc Faraday Trans, 1976, 172: 1082-1087.
- [10] Gong W Q. A real-time in-situ ATR-FITIR spectroscopic study of linear phosphate on titania surfaces[J]. Int J Miner Process, 2001, 63: 147-165.
- [11] 张国范, 冯其明, 卢毅屏. 六偏磷酸钠在铝土矿浮选中的作用[J]. 中南工业大学学报, 2001, 32(2): 127-130.  
ZHANG Guo-fan, FENG Qi-ming, LU Yi-ping. The effects of sodium hexmetaphosphate in the bauxite flotation[J]. The Journal of Central South University of Technology, 2001, 32(2): 127-130.
- [12] Flory P J. Statistical Mechanics of Chain Molecules[M]. New York: Wiley-Interscience, 1969.

# Influences of phosphates on diaspore and kaolinite flotation

HU Yue-hua, CHEN Xiang-qing, WANG Yu-hua

(School of Resources Processing & Bi-engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** Phosphates' abilities in diaspore and kaolinite flotation were studied. Sodium hexametaphosphate(SHMP) at low concentration has greater depressive ability to kaolinite than that to diaspore, and the normal desilication flotation of bauxite can be realized, while when SHMP is in high concentration, it has much stronger depressive ability to diaspore than that to kaolinite. The anti-flotation is expected to gain success. The mechanism of SHMP in separating kaolinite from bauxite was discussed through phosphatic solution chemistry,  $\zeta$ -potential changes of diaspore and kaolinite in the absence or presence of SHMP, measuring surface phosphate concentration on diaspore and kaolinite and microphotograph of mineral particles in the solution.

**Key words:** sodium-hexametaphosphate(SHMP); anti-flotation; diaspore; kaolinite; depression

(编辑 朱忠国)