

# 新型聚铝硅复合絮凝剂的制备及性能研究

宋永会<sup>1)</sup> 栾兆坤

(中国科学院生态环境研究中心, 国家重点环境水化学实验室, 北京, 100085)

## 摘 要

本文初步制备了两种新型聚铝硅复合絮凝剂: 聚铝硅(含活化硅酸聚合铝, PACSi)和聚硅铝(聚硅酸硫酸铝, PSiAS)。研究对比了PACSi, PSiAS与PAC的絮凝性能。考察了硅酸聚合程度, 硅、铝含量对其絮凝性能的影响。结果表明, 提高硅酸聚合程度或硅、铝含量的增加均有利于增强絮凝性能, 且随 $[Si]/[Al]$ 比值的提高, 其絮凝性能也明显增强。在铝含量相同情况下, 聚铝硅和聚硅铝的絮凝性能均优于聚合氯化铝。

**关键词:** 聚铝硅、聚硅铝复合絮凝剂, 制备方法, 凝聚絮凝性能, 除浊除色。

目前, 国内外研制开发的铝硅絮凝剂大致可分为两类: 一类是在聚合硫酸铝中引入硅后制成的产品, 如聚合硫酸铝硅絮凝剂(PASS)<sup>[1]</sup>; 另一类是以活化硅酸为基础, 加入铝盐后制成的产品, 如聚合硅酸铝盐(PSAS)<sup>[2-4]</sup>。前者目前已商业化, 但制备工艺较为复杂, 对原料、设备均有较高的要求。后者制备工艺简单、价廉, 但有效浓度含量较低, 稳定性较差, 难以商业化, 仅适合于水厂现场制备投加。纵观目前国内外聚铝硅复合絮凝剂的研究与应用现状, 如何采用简捷方法制备高浓度的高效稳定型聚铝硅絮凝剂, 仍是亟待解决的难题。此外, 对聚硅铝的化学性能和应用范围还有待于深入研究。

本文以聚合氯化铝(PAC)、活化硅酸(ASi)、硫酸铝(AS)为原料制备以聚合氯化铝为基础的聚铝硅(PACSi)絮凝剂, 以及以聚合硅酸为基础的聚硅铝(PSiAS)絮凝剂, 探讨了其制备工艺, 考察了它们的凝聚絮凝性能, 以及硅酸聚合程度, Si/Al摩尔比等对其絮凝效能的影响。

## 1 实验部分

**材料:** PAC絮凝剂, 碱化度47.3%,  $Al_2O_3$  16.4% (唐山产品); 水玻璃, 含 $SiO_2$  26.5%, 模数3.05; 硫酸铝及其它试剂均为AR级。

聚铝硅复合絮凝剂(PACSi)的制备: 首先酸化水玻璃至酸性并使其活化聚合, 然后将聚硅酸引入PAC中制备成PACSi絮凝剂, 或将聚硅酸引入硫酸铝, 制成PSiAS絮凝

1) 博士生, 工作单位: 山东矿业学院化工系。

剂. 上述两种絮凝剂的有效成分, 如  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量在 5.3—12%, Si/Al 在 0.25—1.0, 基本达到商业产品的性能.

模拟悬浊液的配制及絮凝试验: 美国产高纯高岭土及腐植酸配成含  $50\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  高岭土、 $10\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  腐植酸模拟水样. 絮凝性能鉴定采用烧杯试验, 程序为: 500ml 水样在快速搅拌过程中投药后, 快搅 30s ( $200\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ ), 转至慢搅 15min ( $50\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ ), 静置 15min 后, 取上清液测定浊度、吸光度及 pH 值. 吸光度测定在 254nm 处进行.

仪器: 日本浆式六联搅拌机, NDH-20D 型光散射浊度仪, UV-120-02 型紫外可见分光光度计.

## 2 结果与讨论

### 2.1 硅酸聚合程度对 PACSi 絮凝剂絮凝性能的影响

在 PAC 中引入聚硅酸, 主要是利用聚硅酸的吸附架桥性能来进一步提高并改善 PAC 的絮凝性能, 因此, 首先要了解硅酸聚合程度对 PACSi 絮凝性能的影响. 水玻璃活化聚合过程中, 聚合速度及程度主要受温度、硅酸浓度、pH 值及时间的影响. 制备从简化工艺角度出发, 选择室温聚合, 硅酸浓度以预定量设定, 酸化 pH 值在 5 以下. 在此基础上对聚合时间进行了优化.

图 1 比较了硅酸不同聚合时间对 PACSi 絮凝剂除浊效能的影响. 由图 1 可见, 随硅酸聚合时间延长, PACSi 的絮凝效果也增强, 表明硅酸聚合程度越高, PACSi 的絮凝效果越好. 这主要因为具有高聚合度的聚硅酸拥有较强的粘附架桥能力, 但实验发现, 随硅酸聚合程度增高, PACSi 的稳定性降低. 因此, 硅酸聚合程度应控制适当.

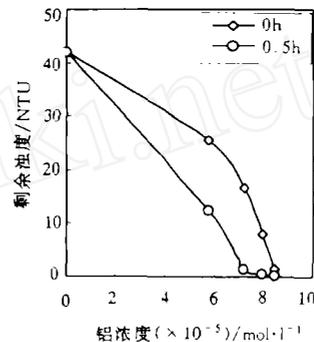


图 1 硅酸聚合时间对 PACSi 絮凝性能的影响  
Fig. 1 Effect of polymerization time of silicic acid on the flocculation with PACSi flocculant

### 2.2 铝、硅含量对铝硅复合絮凝剂性能的影响

铝硅含量是衡量铝硅复合絮凝剂性能的重要指标. 图 2 比较了在  $\text{SiO}_2$  含量相同 ( $1.9\%\text{SiO}_2$ ) 时, PACSi 的絮凝性能. 由图 2 可见, 在硅酸浓度相同的情况下, 随铝含量的增加, PACSi 的絮凝性能明显提高.

图 3 比较了在了  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量相同而  $\text{SiO}_2$  含量不同时 PACSi 的絮凝性能, 两种 PACSi 中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量均为 5.3%. 由图 3 可见, 随硅酸含量增加, PACSi 的絮凝性能也明显提高.

上述研究结果清楚地表明, PACSi 絮凝剂中铝、硅含量增加, 均有利于提高絮凝剂性能, 而且从商品化角度讲, 亦应尽量提高铝硅浓度. 因此, PACSi 絮凝剂开发基点应在商品化高浓度的前提下, 做到既具有高效絮凝性能又具有长期化学稳定性. 然而从目前 PACSi 制备的化学稳定性讲, 随铝硅浓度的增加, 其化学稳定性则明显降低, 因此, 应

适当控制铝硅浓度。

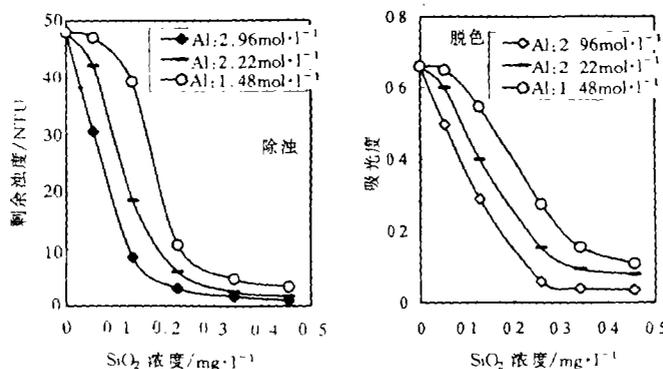


图 2 铝含量对 PACSi 絮凝剂絮凝性能的影响

Fig. 2 Effect of aluminum concentration on the flocculation of PACSi flocculant

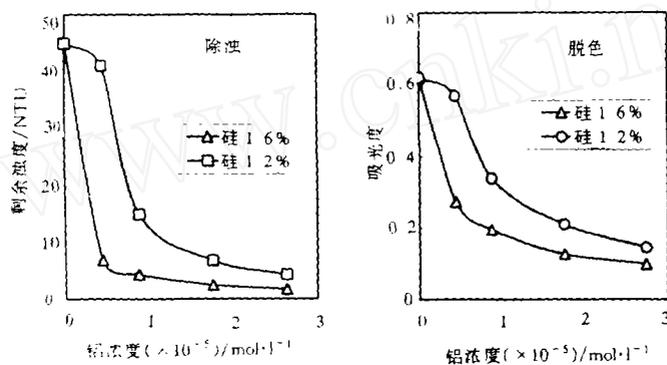


图 3 硅含量对 PACSi 絮凝剂絮凝性能的影响

Fig. 3 Effect of silicon concentration on the flocculation of PACSi flocculant

Si/Al 摩尔比是 PSiAS 的一项重要性能指标。图 4 比较了在 Al 浓度相同, Si/Al 摩尔比不同时 PSiAS 的絮凝性能。从图 4 可见, 随 Si/Al 摩尔比增大, PSiAS 的絮凝性能也增强。由此可见, 提高 Si/Al 摩尔比有利于增强 PSiAS 的絮凝性能, 但其化学稳定性明显降低而且易胶凝。在适宜的 Si/Al 比条件下, PSiAS 的稳定性可保持在一月以上而不胶凝。

### 2.3 PACSi, PSiAS 与 PAC 絮凝效果的比较

以  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量相同的 PACSi 与 PAC 进行絮凝对比实验, 结果如图 5 所示。由图 5 可见, 在相同投加剂量条件下, PACSi 显示了较好的絮凝效果, 实验观察到 PACSi 所形成的絮体颗粒明显快于 PAC, 且絮体颗粒粒径大于 PAC, 絮体沉降速度快。图 6 是  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量相同的 PSiAS 与 PAC 的絮凝结果的对比。由图 6 可见, PSiAS 的絮凝除浊除色性能、所形成絮体颗粒及絮后沉降速度均优于 PAC, 而且 PSiAS 主要是由水玻璃和硫酸铝

(AS) 合成制备的, 其价格远低于 PAC.

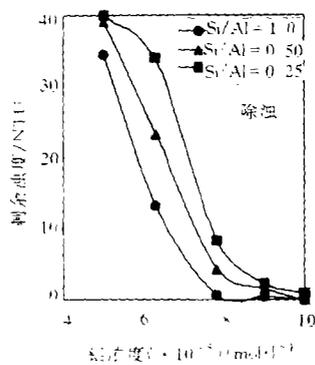


图 4 Si/Al 摩尔比对 PSiAS 絮凝剂絮凝性能的影响

Fig. 4 Effect of Si/Al molar ratio on the flocculation with PSiAS flocculant

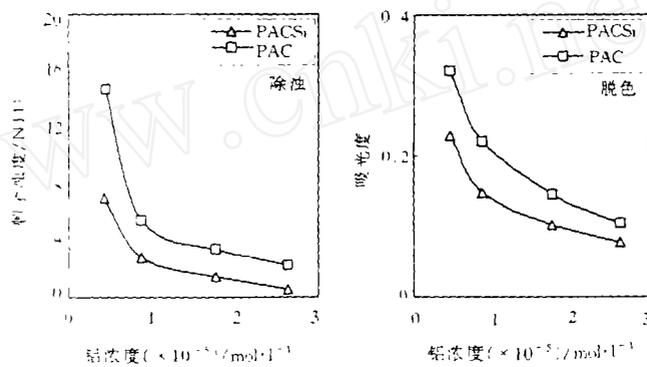


图 5 PACSi 与 PAC 絮凝剂絮凝效果的对比

Fig. 5 Comparison of flocculation effects with PACSi and PAC flocculants

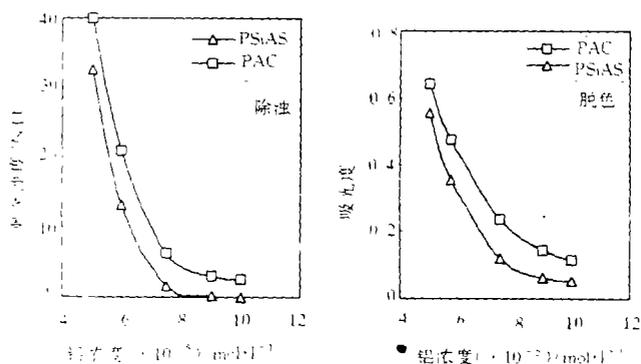


图 6 PSiAS 与 PAC 絮凝剂絮凝效果的对比

Fig. 6 Comparison of flocculation effects with PSiAS and PAC flocculants

### 3 结论

本文主要论述了采用聚硅酸与 PAC 或硫酸铝合成制备的商品型聚铝硅或聚硅铝复合型絮凝剂的絮凝性能及其影响因素。结果表明, 硅酸聚合程度、铝、硅含量以及硅/铝比值的增加均能使 PACSi 絮凝性能得到增强, 但综合考虑 PACSi 絮凝性能与其化学稳定性的关系, PACSi 中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  及  $\text{SiO}_2$  含量均应控制适宜, 才具有一定的商品化意义。铝硅复合型絮凝剂能够提高并改善絮凝沉降性能, 具有比 PAC 更好的絮凝效能。

#### 参 考 文 献

- [1] 汉迪化学品有限公司, CN1042340A, 1990
- [2] Hasegawa T, Onitsuka T, Suzuki M et al., New Polysilicic Acid Coagulants and Their Properties. *Water Supply*, 1990, **8** (3-4) : 152-161
- [3] Hasegawa T, Hashimoto K, Onitsuka T et al., Characteristics of Metal-Polysilicate Coagulants. *Wat. Sci. Tech.*, 1991, **23** : 1713-1722
- [4] Hashimoto K, Hasegawa T, Onitsuka T et al., Inorganic Polymer Coagulants of Metal-Polysilicate Complex. *Water Supply*, 1991, **9** : s65-s70

## THE STUDIES ON CHARACTERISTICS OF POLYALUMINUM-SILICON COMPLEX FLOCCULANTS

Song Yonghui    Luan Zhaokun

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences,  
State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Beijing, 100085)

#### ABSTRACT

Two kinds of aluminum-silicon complex flocculants—Polyaluminum chloride containing activated silicic acid (PACSi) and polysilicic acid containing aluminum sulfate (PSiAS) were produced. The effect of silicic acid polymerization on the flocculation of PACSi and the effects of aluminum and silicon concentration on the flocculation of the two kinds flocculants were investigated. The comparison of coagulation and flocculation with the PACSi, PSiAS and PAC was also made. The studies show that, the polymerization of silicic acid is beneficial to raise the flocculation of the PACSi. The flocculation of PACSi and PSiAS increase with the increasing of aluminum and silicon concentration. The PACSi and PSiAS have better flocculation than PAC.

**Keywords:** aluminum-silicon complex flocculant, production method, flocculation effect, removal of turbidity and color.