

# 聚硅氯化铝(PASC)混凝剂的混凝性能\*

高宝玉<sup>1</sup> 岳钦艳<sup>1</sup> 王占生<sup>2</sup> 汤鸿霄<sup>3</sup> (1. 山东大学环境工程系, 济南 250100, E-mail: bygao@sdu.edu.cn; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 3. 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:** 研究 Al/Si 摩尔比及制备工艺对聚硅氯化铝(PASC)混凝效果的影响, 比较 PASC 和聚合氯化铝(PAC)的混凝效果。结果表明, PASC 较 PAC 混凝效果好。Al/Si 摩尔比和制备工艺对 PASC 的混凝效果有影响。用共聚法制备的 PASC(共), Al/Si 摩尔比降低, 其混凝效果提高, 但复合法制备的 PASC(复), Al/Si 摩尔比过高或过低, 均不利于其混凝效果的提高, PASC(共)的混凝效果稍优于 PASC(复)的混凝效果。

**关键词:** 聚硅氯化铝(PASC), 混凝剂, 混凝效果。

中图分类号: X703.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)02-0046-04

## The Coagulating Property of Polyalum inum Silicate Chloride(PASC)\*

Gao Baoyu<sup>1</sup>, Yue Qinyan<sup>1</sup>, Wang Zhansheng<sup>2</sup>, Tang Hongxiao<sup>3</sup> (1. Dept. of Environmental Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China E-mail: bygao@sdu.edu.cn; 2. Dept. of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract:** The effect of Al/Si molar ratio and the preparation technique on the coagulation of polyalum inum silicate chloride (PASC) was studied, and the coagulation efficiency of PASC was also compared with that of polyalum inum chloride (PAC) by jar test. The experimental results show that PASC is characterized by having better coagulation efficiency, compared with PAC. The PASC prepared by copolymerization technique give a little better coagulating effect than PASC prepared by composite technique under the same Al/Si molar ratio. For the PASC prepared by copolymerization technique, in the range of Al/Si= 5~ 15, the less the Al/Si molar ratio, the better the coagulation efficiency. For the PASC prepared by composite technique, however, the PASC with molar ratio of Al/Si= 10 gives best coagulation efficiency.

**Keywords:** polyalum inum silicate chloride (PASC), coagulant, coagulation.

聚硅氯化铝(polyalum inum silicate chloride, PASC)是由阳离子型的无机高分子混凝剂聚合氯化铝(polyalum inum chloride, PAC)和阴离子型的无机高分子助凝剂聚硅酸在一定条件下反应生成的铝硅复合产物。通过控制 Al/Si 摩尔比, 使在 PASC 中以铝盐成分为主, 可制备出阳离子型的具有较高分子量的 PASC 产品<sup>[1,2]</sup>。本文分别采用共聚与复合 2 种制备工艺, 制备出了系列碱化度  $B = 2.0$ , 具有不同 Al/Si 摩尔比的 PASC 产品, 研究 Al/Si 摩尔比及制备工艺对 PASC 混凝效果的影响。

## 1 实验部分

### 1.1 PASC 的制备

分别采用共聚和复合法制备  $B = 2.0$ 、Al/Si 摩尔比分别为 5、10 和 15 的 PASC 产品, 共聚法制备的 PASC 产品以 PASC(共)表示, 复

\* 国家自然科学基金资助项目(Project Supported by the National Natural Science Foundation of China): 59878036; 国家“九五”科技攻关项目(The National Key Science and Technology Project during the Ninth Five-year Plan Period): 96-909-03-02  
作者简介: 高宝玉(1961~), 男, 博士, 教授。  
收稿日期: 1999-07-17

合法制备的 PASC 产品以 PASC(复)表示, 详见文献[2].

## 1.2 实验模拟水样

用试剂高岭土和美国腐植酸配制: ①高岭土悬浊液: 用 1:1 的自来水: 去离子水调配成高岭土含量 100mg/L 的模拟悬浊水样, 浊度为 60.0NTU, 电导率为  $4.6 \times 10^2 \mu\text{S}/\text{cm}$ , pH 值 7.12; ②同时含有高岭土和腐植酸的有色悬浊水样: 用 1:1 的自来水: 去离子水调配成高岭土含量为 50mg/L, 腐植酸含量为 10mg/L 的模拟悬浊水样, 浊度为 26.2NTU, pH 值 7.02, 在 370nm 处的吸光度为 0.145.

## 1.3 实验仪器

YZD-1A 型液体浊度计, pH S-2 型酸度计, DC-506 型六联搅拌机, UV-754 分光光度计, JS94E 型微电泳仪, DDS-11A 型电导率仪.

## 1.4 混凝实验方法

于快速搅拌下(200r/min)向 500ml 水样中加入一定量的混凝剂, 继续快搅 1min 后, 取样测 zeta 电位, 快速 2min 后转入慢速搅拌(40r/min)15min, 静置沉降 10min 后取上清液测定有关水质.

zeta 电位测定方法见参考文献[3].

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 Al/Si 摩尔比及制备工艺对混凝效果的影响

实验结果示于图 1 中. 由图 1 可见, Al/Si 摩尔比及制备工艺对 PASC 的除浊效果有一定的影响, 在低投药量(以  $\text{Al}_2\text{O}_3$  计, 余同)情况下影响较大, 而在高投药量情况下, 影响较小. 对 PASC(共)而言, Al/Si 摩尔比越小, 则除浊效果越好, 即聚硅酸的含量增加有助于提高混凝效果. 但对 PASC(复)而言, Al/Si=10 时除浊效果最好, Al/Si 摩尔比过大或过小均不利于提高除浊效果. 尽管从理论上而言, 高的聚硅酸含量有利于提高其吸附架桥能力, 但过量的聚硅酸存在又可降低其电中和能力. 所以, 在制备 PASC(复)混凝剂时应综合考虑上述 2 方面因素. 除了  $B=2.0$ 、Al/Si=5.0 的 PASC(复)

外, 所有 PASC 混凝剂的除浊效果都优于 PAC 的除浊效果, 特别是在低投药量条件下这种优势更明显.

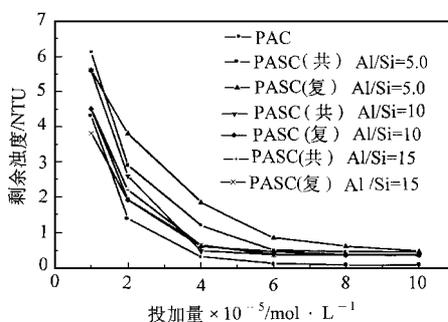


图 1 PAC 与 PASC 的除浊效果比较

图 2 示出了 PAC 与 PASC 混凝剂的除浊效果和凝聚颗粒的 zeta 电位随投药量变化的综合实验结果. 随着混凝剂的投药量加大, 各类混凝剂凝聚颗粒的 zeta 电位值均呈逐步升高趋势, 并在投药量达到一定程度时凝聚颗粒的 zeta 电位由负变正, 这说明混凝剂具有较强的电中和能力. 同时, 由于胶体颗粒表面所带负电荷越来越少, 胶体颗粒间斥力越来越小, 胶体颗粒易于碰撞凝聚成大的絮体, 所以溶液的剩余浊度随投药量的增加而迅速降低, 并在等电点附近趋于最小值. 若混凝剂的投量继续增大, 带正电荷的凝聚微粒的 zeta 电位值则趋于平缓上升, 但除浊效果变化不大, 没有出现因投药量过多而产生的“返浑”现象. 在相同投药量情况下, 用 PASC 处理产生的凝聚微粒的 zeta 电位值均较 PAC 低, 且 Al/Si 摩尔比越低, 产生的凝聚微粒的 zeta 电位值越低. 在相同 Al/Si 摩尔比下, PASC(共)产生的凝聚微粒的 zeta 电位值较 PASC(复)高. 但剩余浊度变化曲线表明, 对 PASC(共)而言, Al/Si 摩尔比越小, 则除浊效果越好, PASC(共)的除浊效果优于 PAC 的除浊效果, 低投药量情况下这种差别尤为明显; 而对 PASC(复)而言, Al/Si=5.0 的样品其除浊效果较 PAC 差, Al/Si=10 的 PASC(复)样品的除浊效果优于 PAC, 但差别不大. 上述实验结果说明共聚法制备的 PASC(共)混凝剂有利于提高混凝效果, 而复合法制备的 PASC

(复) 混凝剂, 在聚硅酸含量较高情况下, 混凝效果反而较 PAC 差, 只有在聚硅酸含量较低条件下, 其混凝效果才高于 PAC. 所以在工业生产中, 不应追求高的聚硅酸的含量, 否则, 既不利于提高混凝效果, 又会使产品的贮存稳定性下降.

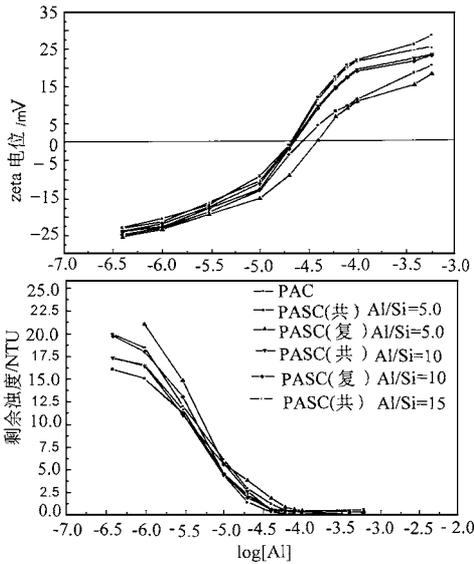


图 2 PAC、PASC 除浊效果及相应 zeta 电位变化

## 2.2 pH 值对混凝除浊效果的影响

实验结果见图 3. pH = 8.57 时, 在低投药量情况下, PASC(复) 与 PAC 的除浊效果差别不大, PASC(共) 的除浊效果最好; 在高投药量情况下, PASC(共) 和 PASC(复) 的除浊效果都优于 PAC. pH = 5.60 时, PASC(共) 和 PASC(复) 的除浊效果都明显优于 PAC, 且 PASC(复) 的除浊效果稍好于 PASC(共). 与 pH = 8.57 的情况相比, pH = 5.60 时, 无论是 PAC 还是 PASC, 其除浊效果显著下降.

$B = 2.0$  的 PAC, 具有高正电荷的中等聚合形态的  $A_b$  为优势形态, 在 pH = 5~6 范围内显示出极强的电中和能力;<sup>[4]</sup> 但由于具有较大聚合度的  $A_1$  含量少, 且在低 pH 值下不易水解生成  $Al(OH)_3$  凝胶态物质, 因而其吸附架桥能力和卷扫作用弱, 特别是在高投药量情况下, 很容易使胶体颗粒带有过多的正电荷而重新稳定, 所以除浊效果较差. 对于含有一定量聚

硅酸的 PASC 而言, 一方面, 由于 PASC 具有比 PAC 较大的分子量<sup>[2]</sup>, 其吸附架桥能力优于 PAC; 另一方面, 由于 PASC 比 PAC 具有稍低的正电荷<sup>[1]</sup>, 过量的投药也不会使已脱稳的胶体颗粒由于带有过多的正电荷而重新再稳定的能力减弱. 所以, PASC 比 PAC 具有更好的混凝除浊效果.

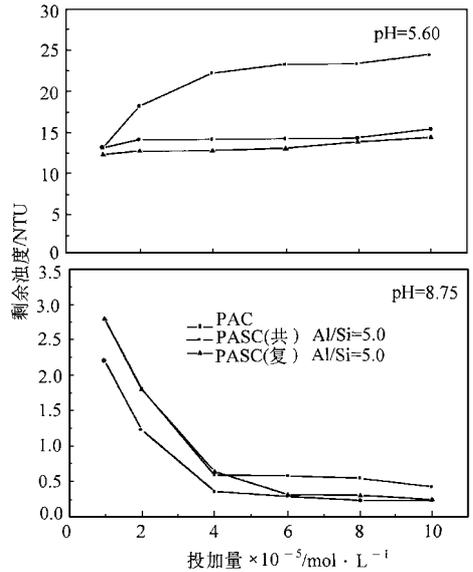


图 3 pH 对 PAC 及 Al/Si=5.0 的 PASC 混凝除浊效果的影响

在 pH = 8.57 的条件下, 一方面由于 PAC 的水解聚合物具有较高的稳定性\*, 仍可发挥电中和凝聚作用. 另一方面, PAC 的部分聚合物可水解生成电荷较低的凝胶态或  $Al(OH)_3$  沉淀物, 这样可同时具有较好的电中和作用以及吸附架桥和卷扫沉淀作用, 所以混凝除浊效果好, 即使在高投药量时, 由于卷扫沉淀作用增强, 仍可获得良好的混凝效果. 对 PASC 混凝剂而言, 除了其中的铝盐成分具有 PAC 的效能外, 还由于其具有较多的聚合大分子形态, 吸附架桥能力强, 所以可取得更好的混凝效果.

从以上的分析讨论可以看出, 在使细小的胶体颗粒形成可沉淀的絮体过程中, 高分子量

\* 栾兆坤. 无机高分子絮凝剂聚合氯化铝的基础理论与应用研究(博士学位论文). 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 1997

的聚硅酸起着重要的作用。

### 2.3 PASC 的混凝除浊脱色效果

在 370nm 波长下测定吸光度  $A^{[5]}$ , 实验结果见图 4。由图 4 可见, 随着混凝剂投量的增

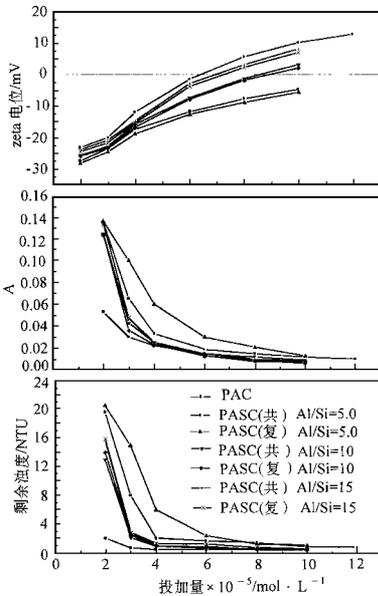


图 4 pH = 7.0 时 PAC 与 PASC 除浊和脱色效果及相应 zeta 电位变化

加, 凝絮微粒的 zeta 电位值均呈逐步升高趋势, 但不同混凝剂对吸附了腐植酸的高岭土的电中和作用情况有较大差别。Al/Si 摩尔比越小, 电中和作用能力越小, 且凝絮微粒的 zeta 电位随投药量的增加而上升的趋势变得越平缓; 从混凝处理后溶液的  $A$  值变化情况看, 随着投药量的增加, 脱色效果迅速提高, 除了 Al/Si = 5.0 的 PASC(复) 外, 其它 PASC 的脱色效果都较 PAC 好, 且 Al/Si 摩尔比越小, 脱色效果越好, 特别在低投药量情况下更明显。PAC 在凝絮微粒的电荷达等电点上其脱色效果趋于最佳, 投药量继续增加, 脱色效果提高不明显, 过量投药没有出现再稳定现象。对于高 Al/Si 摩尔比的 PASC, 其情况与 PAC 相近, 但对于 Al/Si 摩尔比较小的 PASC, 则可在凝絮微粒的 zeta 电位负值较大情况下达到良好的脱色效果。剩余浊度随投药量的变化与脱色情况一致, 所不同的是除浊较脱色可在较低的投药剂量和

较高的 zeta 电位值下取得良好效果。在较高投药量下才能取得良好脱色效果的原因主要是, 混凝剂的水解聚合形态要在一定剂量下才能与腐植酸发生明显的络合沉淀反应或需生成一定量的凝胶状的凝絮微粒才与可溶性的腐植酸具有明显的吸附作用<sup>[6]</sup>。

用 PASC 进行除浊和脱色时, 在胶体颗粒所带电荷不发生变化且在高投药量下不发生再稳定的事实说明, PASC 在混凝过程中除了具有电中和作用外, 更明显地表现出了吸附架桥及卷扫混凝的典型特征。

### 3 结论

(1) 与 PAC 相比, PASC 中由于聚硅酸与铝水解产物之间的相互作用, 生成了聚体更大的水解络合物, 且具有一定的电中和能力, 因此, 投加到水中后可同时发挥电中和作用和强烈的吸附架桥作用, 从而表现出更好的除浊、脱色效能。

(2) Al/Si 摩尔比和制备工艺对 PASC 的混凝效果有影响。PASC(共), Al/Si 摩尔比降低, 其混凝效果提高, 但 PASC(复), Al/Si 摩尔比过高或过低, 均不利于其混凝效果的提高, PASC(共) 的混凝效果稍优于 PASC(复) 的混凝效果。

### 参考文献

- 1 Tang H X, Luan Z K, Wang D S and Gao B Y. Composite Inorganic Polymer Flocculants. In: Chemical Water and Wastewater Treatment V, H H Hahn, E Hoffmann, E Ø degaard (Eds). Springer, Berlin Heidelberg, Prague: Czech Republic, 1998. 26~ 34.
- 2 高宝玉, 王占生, 汤鸿霄. 聚硅氯化铝(PASC)混凝剂的颗粒大小及分子量分布. 中国环境科学, 1999, 19(4): 297~ 300.
- 3 高宝玉, 宋永会, 岳钦艳. 聚硅酸硫酸铁混凝剂的性能研究. 环境科学, 1997, 18(2): 46~ 48.
- 4 汤鸿霄, 栾兆坤. 聚合氯化铝与传统混凝剂的凝聚-絮凝行为差异. 环境化学, 1997, 16(6): 497~ 505.
- 5 Hasegawa T, Hashimoto K, Onitsuka T. Characteristic of Meta-Polysilicate Coagulants. Water Sci. Tech., 1991, 23(7): 1713~ 1722.
- 6 栾兆坤, 刘振儒, 赵春禄. 聚铝铁硅混凝剂的合成方法及其混凝效能. 环境化学, 1997, 16(6): 546~ 551.