

文章编号: 1674-9057(2010)03-0408-03

# 优化纳米 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 与聚合氯化铝复配絮凝条件的正交试验

蔡靖<sup>1</sup>, 林聪<sup>2</sup>

(1. 北京化工大学 北方学院, 河北 廊坊 065201; 2. 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 选取纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与聚合氯化铝的质量百分组成、水浴温度、混合搅拌时间作为影响复配絮凝剂对 COD 去除效果的 3 个主要因子进行正交试验。正交优化试验结果表明最佳的复配条件为: 将聚合氯化铝固体粉末与纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粉末(两者质量组成为 85% + 15%)用粉碎机充分混合后配置成质量浓度 1% 的液体复合絮凝剂, 再将该液体复合絮凝剂在 65 ℃ 的恒温水浴条件下, 用电子恒速搅拌器以 100 r/min 的转速搅拌 40 min。

**关键词:** 聚合氯化铝; 纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 正交试验; 絮凝; COD 去除率

**中图分类号:** X703.5

**文献标志码:** A

利用纳米材料的强化絮凝功能<sup>[1-4]</sup>, 用较低廉的常规无机絮凝剂聚合氯化铝和少量的纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  在一定的试验室条件下进行了复配絮凝试验, 污水中 COD 的去除率较单一的聚合氯化铝处理时提高了 21.4%。在此基础上, 进一步用正交试验优化了纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与聚合氯化铝的复配方式, 并对影响复配絮凝处理效果的主要因子进行了分析。

## 1 试验

### 1.1 试验器材

主要试剂: 纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (粒径 10 nm)、固体聚合氯化铝 (polymerization aluminium chloride, PAC)。主要仪器: XJ-1 型 COD 消解装置、721 型分光光度计、光电分析天平 (感量 0.000 1 g)、粉碎机 (转速 12 000 r/min)、HH-4 型恒温水浴锅、JHS-1 型电子恒速搅拌器、秒表及其他成套玻璃容器。

### 1.2 试验水样

水样来源: 取自北京市小月河河水, 为生活

污水水样。

原水水质: pH = 7.8,  $T = 15\text{ }^\circ\text{C}$ , 浊度为 365.7 NTU, COD 浓度为 594.3 mg/L。絮凝剂投加量为 120 mg/L。

### 1.3 试验过程

纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与 PAC 的复配方式: 首先将固体 PAC 用粉碎机充分粉碎, 再与纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  在粉碎机中进行充分粉碎混合, 得到的混合粉末作为溶质, 配成  $w = 1\%$  的液体复合絮凝剂 (以原品质量来计)。将上述配制好的复合絮凝剂在 65 ℃ 左右的恒温水浴中, 用电子恒速搅拌器以 100 r/min 的转速搅拌 20 min, 通过这种水热搅拌法得到处理过的液体复合絮凝剂<sup>[5-7]</sup>。

烧杯絮凝试验: 取水样 500 mL 于 1 L 的烧杯中, 在快速搅拌 (转速为 300 r/min) 的同时投加絮凝剂, 反应 1 min 后, 改变搅拌速度为约 50 r/min, 继续搅拌 10 min, 静置 20 min, 于距上清液面约 2 cm 处吸取上清液测定 COD<sup>[8]</sup>, 采用的测定方法为标准曲线法<sup>[9]</sup>。

收稿日期: 2009-08-05

作者简介: 蔡靖 (1980—), 女, 硕士, 助教, 研究方向: 水污染治理。

通讯作者: 林聪, 教授, 博士生导师, lincong@cau.edu.cn。

引文格式: 蔡靖, 林聪. 优化纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与聚合氯化铝复配絮凝条件的正交试验 [J]. 桂林理工大学学报, 2010, 30 (3): 408-410.

1.4 正交试验方案的确定

试验研究表明:纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与 PAC 的复配条件不同,絮凝剂的处理效果也不同。由试验结果可知:纳米 PAC 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的质量组成、水浴温度、混合搅拌时间等是影响复配絮凝剂对 COD 去除的主要因子。因此选用 3 因子 3 水平的正交表 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)安排试验,表 1 是正交试验的因子与水平,表 2 是具体的试验方案。

2 结果与讨论

按照表 2 的试验方案进行试验,结果表明:纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与 PAC 的复配条件不同,絮凝剂对 COD

的去除效果不同。各因子的级差大小关系:R<sub>A</sub> > R<sub>B</sub> > R<sub>C</sub>,说明 PAC 与纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>质量组成这一因子对 COD 处理效果影响最大,温度和搅拌时间的影响较小,而温度比搅拌时间的影响稍大一些。PAC 与纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的最佳复配参数为 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>,这是本试验条件下对 COD 去除效果最好的参数条件,即首先将 PAC 固体粉末与纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末(两者质量百分组成为 85% + 15%)用粉碎机进行充分混合后,再配置成 w = 1% 的液体复合絮凝剂,然后将此液体在 65 ℃ 的恒温水浴中,用电子恒速搅拌器以 100 r/min 的转速搅拌 40 min。下面具体讨论显著影响处理效果的各个因子。

(1) PAC 与纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的质量组成: 85% + 15% 为配比的最佳水平,且该因子对 COD 去除率影响最大,说明了纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量直接决定了处理效果,机理是纳米材料的强化絮凝作用,也是本文试验的理论基础。

(2) 采用“水热法”复合 PAC 与纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>时,试验中温度的最佳水平为水浴温度 65 ℃,实际上由于搅拌加快散热,水浴的温度仅可以保持 60 ℃ 左右。分析原因:低温不利于两者复合形成可能存在的化学键,但温度太高,又容易使分子挥发、分解,降低有效成分的含量。同时,水浴温度在 55 ~ 75 ℃ (实际复合的温度在 50 ~ 70 ℃) 范围内变化时,絮凝剂对 COD 的处理效果没有太大影响,因子的级差 R<sub>B</sub> 只有 1.7%,这说明在此温度范围内,“水热法”对减少纳米粒子团聚<sup>[10]</sup>,优于两者直接复配的处理效果都有效。

(3) 对混合搅拌时间而言,试验中的最佳水平是 40 min。分析原因:纳米粒子和 PAC 在复合的过程中,充分搅拌有利于两种分子的充分接触和复合,但试验中复合液体露置于空气中,故高温下搅拌时间太长易造成有效成分的挥发和分解,降低处理效果。

3 结 论

通过正交试验,确定了 PAC 与纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>在试验中较佳的复配方式是 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>,在本文设计的试验条件下,更好的发挥了纳米材料的强化絮凝性能,提高了污水中 COD 的去除率。但由于试验条件有限,将纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与 PAC 更科学的复配并应用于水处理尚需进一步研究。

表 1 影响纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与 PAC 的复配絮凝对 COD 去除效果的因子水平表  
Table 1 Factor level influencing the COD elimination effect of nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and PAC combination flocculation

水平	因 子		
	A PAC 与纳米 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 质量组成/%	B 水浴温度/ ℃	C 搅拌时间/ min
1	95 + 5	55	20
2	90 + 10	65	40
3	85 + 15	75	60

表 2 正交试验结果及分析 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)  
Table 2 Results and analysis of orthogonal experiment

试验号	因 子				
	A 质量组成/%	B 水浴温度/℃	C 搅拌时间/min	出水 COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	COD 去除率/%
1	95 + 5	55	20	102.7	73.1
2	95 + 5	65	40	95.4	75.0
3	95 + 5	75	60	102.3	73.2
4	90 + 10	55	40	75.6	80.2
5	90 + 10	65	60	77.9	79.6
6	90 + 10	75	20	82.8	78.3
7	85 + 15	55	60	62.2	83.7
8	85 + 15	65	20	56.9	85.1
9	85 + 15	75	40	55.3	85.5
T <sub>1</sub>	224.3	235.2	236.5		
T <sub>2</sub>	238.1	239.7	240.7		
T <sub>3</sub>	254.3	237.0	236.5		
$\bar{T}_1$	74.8	78.2	78.8		
$\bar{T}_2$	79.4	79.9	80.2		
$\bar{T}_3$	84.8	79.0	78.8		
R	10.0	1.7	1.4		

## 参考文献:

- [1] 施周,张彬,许光眉. 纳米技术在空气及水污染控制中的应用[J]. 南华大学学报:理工版,2003,17(1):25-29.
- [2] 李明,刘铁. 纳米材料在化工领域的应用[J]. 当代化工,2001,30(1):14-16.
- [3] 曾智勇,汤金石,匡祝明,等. 纳米技术在城市污水治理中的应用与展望[R]. 长沙:湖南智能达集团,2001.
- [4] 高明华,薛金城,赵璞,等. 一种使用纳米材料的废水处理办法:中国,01110773.2[P]. 2002-11-27.
- [5] 许并社. 纳米材料及应用技术[M]. 北京:化学工业出

版社,2004:1-3.

- [6] 张立德. 超微粉体制备与应用技术[M]. 北京:中国石化出版社,2001:23.
- [7] 李凤生,杨毅. 纳米/微米复合技术及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2002:96-98.
- [8] 常青. 水处理絮凝学[M]. 北京:化学工业出版社,2003:4-5.
- [9] 国家环保局. 水和废水监测分析方法[M]. 3版. 北京:中国环境科学出版社,1998:97-99.
- [10] 徐国财,张立德. 纳米复合材料[M]. 北京:化学工业出版社,2002:87-88.

## Nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$ and PAC Flocculation Optimized in Orthogonal Experiment

CAI Jing<sup>1</sup>, LIN Cong<sup>2</sup>

(1. North College, Beijing University of Chemical Technology, Langfang 065201, China; 2. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agriculture University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  is complicated with PAC in the flocculation experiment. It indicates that the complicated flocculants do better than PAC in the removal of COD. Mass percent composition of nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  and PAC, the temperature of water bath, mixing time of them are used as the main factors which impact on the complicated flocculants in the removing of COD in the orthogonal experiment. The experiment shows that both PAC powder and nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  powder are made into 1% liquid compound flocculants when mixed with the crusher completely at the mass percent composition of 85% and 15%. Then compound flocculants above are added to the samples of sewage water after it is mixed with the electronic stirrer at the speed of 100 r/min for 40 min in the water bath at 65 °C. These parameters mentioned are the best in the complex flocculation experiment.

**Key words:** polymerization aluminium chloride (PAC); nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; orthogonal experiment; flocculation; removal rate of COD