第 27 卷第 3 期
Vol. 27 No. 3 2006

青岛理工大学学报
Journal of Qingdao Technological University

# 聚氯化铝对糖精钠废水混凝效果的影响研究

吴慧芳[1,2], 孔火良[3], 王世和[2], 陈　卫[4]
(1. 南京工业大学 城建学院,南京 210009; 2. 东南大学 市政工程系,南京 210096;
3. 南京农业大学 资源与环境科学学院,南京 210095; 4. 河海大学 环境科学与工程学院,南京 210098)

**摘　要**:混凝剂聚氯化铝的不同投加方式和投加点对糖精钠废水混凝效果的影响进行了试验研究. 结果表明,在 pH 值调节前投加和在 pH 值调节后投加这两种投加方式对混凝效果有较大的影响,前一种投加方式效果较好;废水调节 pH 值后产生的沉淀物去除后投加比不去除沉淀物直接投加的混凝效果好. 在实践中,针对某种废水、某种混凝剂,应通过试验确定相应的最佳投加方式和投加点.

**关键词**:聚氯化铝,混凝,投加方式,投加点
**中图分类号**:X703

近年来,随着水处理技术的发展及新型、特种混凝剂的不断开发应用,混凝技术已被广泛应用于各种工业废水和城市污水的预处理、中间处理、最终处理及污泥的处理与处置[1]. 混凝技术除了可以去除废水中的无机悬浮物外,还能去除部分溶解的、胶体状的有机物,可以用于除油、脱色.

混凝作为废水预处理的主要目的是去除悬浮物和部分有机物,以降低后续处理的负荷. 混凝效果的好坏,在很大程度上取决于混凝剂的形态对水中杂质能否发挥最有效的混凝作用[2]. 糖精钠生产废水是一种典型的高浓度工业有机废水,主要成分为邻氨基苯甲酸、邻苯二甲酸、间二甲苯、邻氯甲苯、对二甲苯等单苯环的化合物及其衍生物. 有机物浓度高($COD_{Cr}$ = 35000mg/L),pH 值低(pH = 0.32),并含有较高浓度的 $Cu^{2+}$、$Fe^{2+}$、$Fe^{3+}$、$Cd^{2+}$ 等重金属(其中 $Cu^{2+}$ ≥150mg/L),色度为 140 倍. 为此,采用聚氯化铝(PAC)对糖精钠生产废水进行了混凝预处理试验,用 NaOH 调节水的 pH 值. PAC 并非是单一分子的化合物,而是同一类具有不同形态的化合物,其通式为 $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ 或者 $[Al_2(OH)_mCl_{6-m}]_n$,都表述某种高分子电解质的形态,例如,$Al_2(OH)_5Cl$、$Al_6(OH)_{16}Cl_4$、$Al_{13}(OH)_{34}Cl_5$ 以及 $[Al_2(OH)_5Cl]_n$ 等,它们在溶液中电离为高离子,如:

$$Al_2(OH)_5Cl \longrightarrow Al_2(OH)_5^{+} + Cl^{-}$$

$$Al_{13}(OH)_{34}Cl_5 \longrightarrow Al_{13}(OH)_{34}^{5+} + 5Cl^{-}$$

发挥混凝作用的就是这些带正电荷的高离子. NaOH 与混凝剂的投加顺序会影响水解聚合作用,进而影响处理效果[3].

本研究采用两种不同的混凝剂投加方式,进行了对混凝效果影响的试验比较:调节 pH 值 —投加 PAC 和投加 PAC —调节 pH 值. 此外,为了考虑废水在调节 pH 值后产生的沉淀物对混凝效果的影响,对不同投加点进行了试验比较,即去除调节 pH 值产生的沉淀物后再投加混凝剂和不去除沉淀物直接投加混凝剂.

## 1　试验装置及运行参数确定

为了模拟混凝生产过程的混合与反应过程,对浆板搅拌叶片、烧杯与水体间的尺寸进行设计,使速度梯度 $G$ 与无量纲量 $GT$ 满足一定条件,具体尺寸关系如图 1 所示.

收稿日期:2005—11—11

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

速度梯度 $G$ 按式(1)[3]计算:

$$G=\sqrt{\frac{P}{\mu}},\qquad s^{-1} \tag{1}$$

其中:$P$ 为每 $m^3$ 水的搅拌功率,$P=1000\times f\times w$　kg·m/(s·$m^3$);$f$ 为校正系数,即

$$f=\left(\frac{D}{3d}\right)^{1.1}\left(\frac{H}{D}\right)^{0.6}\left(\frac{4h}{d}\right)^{0.3} \tag{2}$$

其中:$w$ 为搅拌功率,kg·m/s,即

$$w=14.35d^{4.38}n^{2.69}\rho^{0.69}\mu^{0.31} \tag{3}$$

式中　$n$ 为叶片转速;$d$ 为叶片直径;$h$ 为叶片高度;$D$ 为烧杯内径;$H$ 为烧杯内水深;$\rho$ 为水的密度,1000kg/$m^3$;$\mu$ 为水的动力粘滞系数,N·s/$m^2$

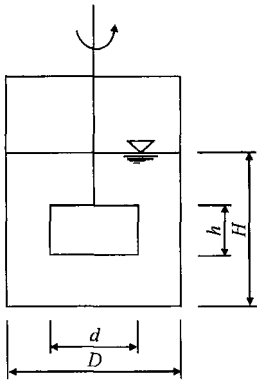


图 1　浆板搅拌尺寸标注

以上计算中,慢速搅拌的雷诺数 $Re(Re=nd^2\rho/\mu)$ 在 $1\times10^2$～$5\times10^4$ 范围内.

试验中,制作的叶片的宽和高分别为 $d=60$mm,$h=40$mm,烧杯内径 $D=110$mm,水样 1000mL,$H=110$mm,搅拌转速 50r/min,搅拌时间为 25min,水温为 20 ℃,则雷诺数 $Re$ 为 2994,在所需范围内.

搅拌功率 $w=5.736\times10^{-4}$ kg·m/s,校正系数 $f=0.78$,则水的搅拌功率 $P=0.447$ kg·m/(s·$m^3$),速度梯度 $G=21.13s^{-1}$,无量纲数 $GT=3.17\times10^4$.

混合阶段取搅拌转速为 300r/min,则搅拌功率 $w=7.109\times10^{-2}$ kg·m/s,校正系数 $f=0.78$,水的搅拌功率 $P=55.450$kg·m/(s·$m^3$),速度梯度 $G=235.2s^{-1}$,混合时间取 15s,无量纲数 $GT=3.53\times10^3$.(以上各数据的计算过程略)

生产实践中,在混合阶段的速度梯度 $G=200$～$1000s^{-1}$ 之间,混合时间长时取用低极限值,时间短时取用高极限值;通常反应阶段的平均速度为 20～$70s^{-1}$,$GT$ 值 $10^4$～$10^5$.上述搅拌试验计算所得的 $G$ 和 $GT$ 均与实际生产的要求相符,故本研究混凝试验装置及试验水力条件的确定对生产实践具有指导意义.

## 2　结果分析与讨论

### 2.1　不同投加方式对混凝效果的影响

(1)第一种投加方式:调节 pH 值→投加 PAC.首先调节 pH 值至所需值后,投加 PAC 混凝剂 3.2g/L.试验结果见图 2.由图 2 可知,pH 值变化引起了 COD 去除率的变化.当 pH 值等于 7.3 时,COD 去除率达到最高,为 21%左右;色度去除率随 pH 值变化,由 pH=2～4.5 时的 95%下降到 pH=6.5～8 时的 80%左右.pH 值引起色度的变化,主要是由于废水内的显色物质随 pH 值的变化而发生变化.调节 pH 值至 7.3,改变 PAC 投加量进行试验,试验结果见图 3.由图 3 可知,当 PAC 投加量为 1.6g/L 时,$COD_{Cr}$ 去除率最佳达到 40%,色度去除率 75%左右.

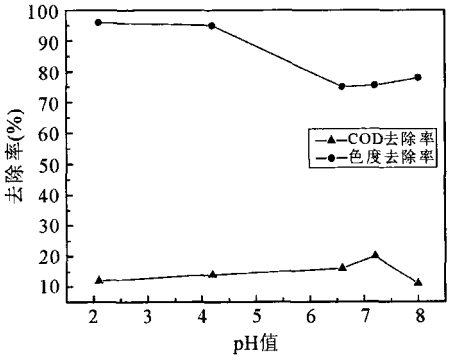


图 2　pH 值与 COD、色度去除率的关系
(投加方式Ⅰ)

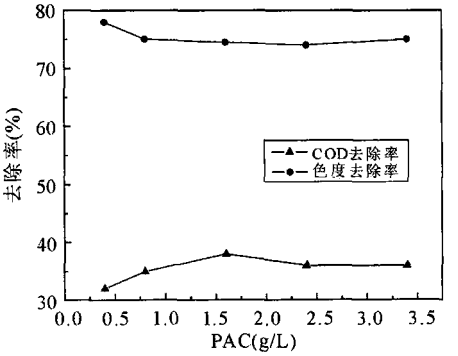


图 3　PAC 投加量与 COD、色度去除率的关系
(投加方式Ⅰ)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(2)第二种投加方式:投加 PAC—调节 pH 值. 先将 PAC 溶液投加入废水中(投加量为 2.5g/L),后调节 pH 值. 溶液随着 pH 值的上升,已有的 PAC 的各种形态不断结合 $OH^-$,絮体逐渐形成长大,从无到有,与废水中原有的金属离子共同形成絮体,处于混合均匀状态,避免了絮体再次被搅起. 图 4 为 pH 值与 COD、色度去除率的关系. 由图可知,当 pH 值为 5.5 左右时,COD 去除率最高达 60 %;pH 值为 2～3.5 时,色度去除率为 75 %～90 %;pH 值为 3.5～9 时,色度去除率由 90 %下降到 50 %～60 %. 以最佳 pH 值等于 5.5 进行调节,确定最佳 PAC 投加量,如图 5 所示,当 PAC 投加量为 4g/L 时,COD 去除率达 60 %左右,色度去除率达 57 %左右.

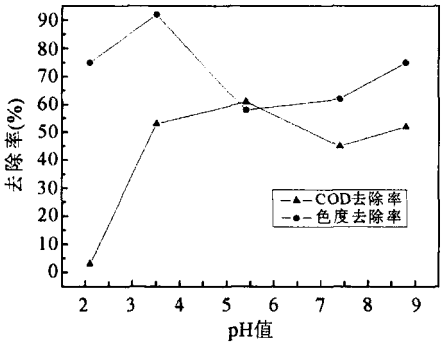


图 4 pH 值与 COD、色度去除率的关系
(投加方式Ⅱ)

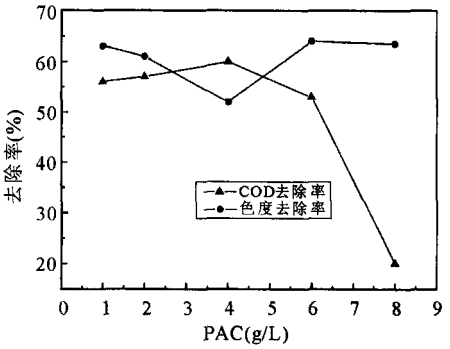


图 5 PAC 投加量与 COD、色度去除率的关系
(投加方式Ⅱ)

上述两种投加方式的结果分析可知,对主要考核指标 $COD_{Cr}$ 去除率进行比较,对于先调节 pH 值,后投加 PAC 的投加方式,当 PAC 投加量为 1.6g/L 时,$COD_{Cr}$ 去除率最佳达到 40 %;而对于先投加 PAC 后调节 pH 值的投加方式,当 PAC 投加量为 1～4g/L,$COD_{Cr}$ 去除率均在 50 %以上. 而色度去除率的变化不大,因而对于该废水来说,PAC 先投时混凝效果较好.

## 2.2 不同投加点对混凝效果的影响

为了考虑投加点对混凝效果的影响,第一种投加点对调节 pH 值所产生的沉淀物不去除直接投加,第二种投加点将沉淀物去除后再投加混凝剂,两种投加点进行了试验比较. 先调节 pH 值所产生的沉淀物不去除直接投加混凝剂的混凝试验结果见图 2、图 3. 调节 pH 值所产生的沉淀物去除后再投加混凝剂的混凝试验结果见图 6、图 7 和图 8.

由图 6 可知,当 pH 值为 5.5 左右时,$COD_{Cr}$ 去除率最佳达到 55 %左右. pH 值在 2～6.5 范围内,色度去除率下降;pH 值在 6.5～7.5 范围内,色度去除率上升. 去除沉淀后在上清液中加 PAC 混凝剂 2.5g/L,结果见图 7. 由图 7 可知,当 pH 值等于 7.4 左右时,$COD_{Cr}$ 去除率累积达 68 %;当 pH 值为 6.5～8.0 时,色度去除率随 pH 值的升高而下降;当 pH 值为 8.0～8.7 时,色度去除率随 pH 值的升高而增大. 图 8 为 PAC 投加量与 $COD_{Cr}$、色度去除率的关系,PAC 投加量为 2.5～3.5g/L 时,$COD_{Cr}$ 去除率累积达 66 %～70 %,色度去除率累积达 65 %左右.

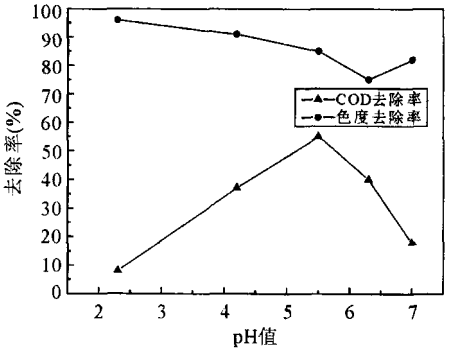


图 6 pH 值与 COD、色度去除率的关系
(投加点Ⅱ)

根据试验结果,不去除沉淀物直接投加 PAC 时,$COD_{Cr}$ 去除率最高只有 40 %,而沉淀物去除后再投加 PAC 时,投加量为 0.5g/L 时,$COD_{Cr}$ 去除率就达 45 %以上;PAC 投加量为 2.5～3.5g/L 时,$COD_{Cr}$ 去除率累积达 66 %～70 %. 因而针对糖精钠生产废水,沉淀物去除后投加 PAC 比不去除直接投加的混凝效果要好.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

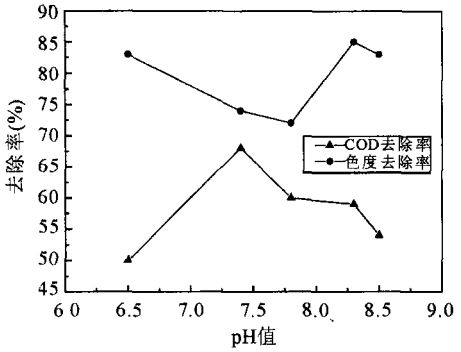


图 7　上清液 pH 值与 COD、色度去除率的关系

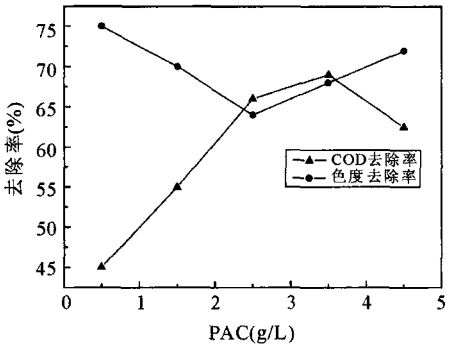


图 8　PAC 投加量与 COD、色度去除率的关系
（投加点Ⅱ）

## 3　结论

(1) 混凝剂的不同投加方式对废水混凝效果有较大的影响. PAC 投加到废水中,废水的 pH 值直接影响着羟基络合物的形成,决定着各种羟基络合物所能存在的最大限度. 根据 Al(Ⅲ) 溶解平衡区域图[3],随着 pH 值的升高,络合阳离子的作用逐渐下降,而络合阴离子的作用逐渐上升,因而在某 pH 值区段会出现最低溶解度,随着 pH 值继续升高,络合阴离子的增多使溶解度上升. 因此必须控制 pH 值使其保持在最优絮凝沉降区段内. 水解反应和羟基桥联反应交错进行的结果,是使生成物的核数目不断增多而电荷不断降低,发展成为某种高分子物质,其最终的结果则是生成难溶的氢氧化铝沉淀物,水中的部分胶粒就会被沉淀物所网捕除去[4].

(2) 混凝剂投加点的不同直接影响了废水的混凝效果. 废水在调节 pH 值的过程中产生了沉淀物,当不去除沉淀物,直接投加 PAC 时又再一次被搅起,影响了处理效果. 去除沉淀物后再投加混凝剂,就避免了沉淀物的再一次被搅起,这样就增加了需要混凝去除的悬浮物的量.

(3) 不同的废水水质不同,不同的混凝剂的混凝特性不同,因而具体到某种混凝剂、某种废水应该采用哪种投加方式和投加点应该通过试验和现场实践来确定.

## 参　考　文　献

[1]　徐晓军,魏在山,宫磊,等. 絮凝气浮法处理高浓度焦化废水的试验研究. 青岛建筑工程学院学报, 2003, 24(4):1-4
[2]　涂方祥, 蒋展鹏. 无机混凝剂的形态对混凝的影响. 中国给水排水, 1996, 12(4): 4-6
[3]　胡万里. 混凝 · 混凝剂 · 混凝设备. 北京:化学工业出版社, 2001:63-86
[4]　蒋展鹏,尤作亮. 混凝形态学的研究进展. 给水排水, 1998, 24(10): 70-75

# Study on Effects of Polyaluminium Chloride Coagulation for Saccharin Sodium Wastewater

Wu Hui-fang[1,2], Kong Huo-liang[3], Wang Shi-he[2], Chen Wei[4]
(1. College of Urban Construction and Safety Environment, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009;
2. Department of Municipal Engineering, Southeast University, Nanjing 210096;
3. College of Resource and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095;
4. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098)

**Abstract:** Taking an example of coagulation for Saccharin Sodium Produced Wastewater of PAC, this paper discusses the effects of coagulation of PAC dosing methods and dosing spots. The results show that

(下转第 41 页)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

## 参 考 文 献

[1] 王旭春,蒋宁静,赵月,等. 滑坡 GIS 可视化研究与应用. 岩石力学与工程学报,2002,21(增 2):2511-2514
[2] 饶正保,王旭春,卢雷. 基于 GIS 的沉陷区建筑物损害可视化评价方法. 青岛理工大学学报,2006,27(1):24-27
[3] 栾茂田,张略,杨庆,等. 基于 GIS 技术的钢筋混凝土框架结构震害预测系统设计. 世界地震工程,2003,19(1):31-36
[4] 杨位　. 地基及基础. 北京:中国建筑工业出版社,1991
[5] 龚晓南. 高等土力学. 杭州: 浙江大学出版社,2002
[6] 陈云浩,郭达志. 基于 GIS 对矿区环境的综合评价. 煤矿环境保护,1995,9(4):47-49

# A Research on Visualization of Boussinesq's Displacement Theory Based on ArcView GIS

Lu Lei[1], Wang Xu-chun[1,2], Rao Zheng-bao[2], Guan Zhi-ping[1]
(1. School of Civil Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033;
2. Engineering Technique Research Center of Geo-environment and Impact, Shandong Province, Qingdao 266033)

**Abstract:** GIS provides new expressing languages and thinking tools for the geological field by its remarkable abilities of managed-data, analyzed-space, and mighty function of visualization. On the basis of Boussinesq's displacement theory of elasticity, this paper researches into visualization of the earth's surface displacement under concentrated force and offers a new method through GIS analyzed-space function and technique of Avenue program for visualizing the conventional mechanics model, by virtue of the GIS software ArcView's ability.

**Key words:** ArcView, displacement of the earth's surface, visualization

**作者简介**:卢　雷(1980-　),男,2003 级硕士研究生

(上接第 37 页)

dosing methods whether dosing PAC after regulating pH value or regulating pH value after dosing PAC have an effect on coagulation, the latter is better than the former. The effect of coagulation of the dosing spot, dosing PAC after removing the sediment produced by regulating pH value, is better than another dosing spot, dosing PAC when no removing the sediment produced by regulating pH value. In practice, for different wastewater or different coagulant dosage, the best dosing method and dosing spot need determining by experiments.

**Key words:** Polyaluminium chloride(PAC), coagulation, dosing method, dosing spot

**作者简介**:吴慧芳(1972-　),女,在职博士,讲师

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net