

## 污水处理

## 粉末活性炭应急处理阿特拉津突发污染原水的研究\*

贾丽萍<sup>1</sup> 刘学卿<sup>1</sup> 王新刚<sup>1</sup> 唐玉斌<sup>1</sup> 吕锡武<sup>2</sup>

(1. 江苏科技大学环境工程系 江苏镇江 212018; 2. 东南大学环境工程系 南京 210096)

**摘要** 以黄浦江上游水源地取水口突发阿特拉津污染为背景,从实验室小试和中试2个尺度上,研究了粉末活性炭(PAC)对阿特拉津污染的应急处理效果。小试结果表明,增大PAC投加量,阿特拉津的去除率显著提高,PAC对各浓度水平阿特拉津污染的去除此主要集中在前10 min,历时60 min左右,吸附达到平衡。平衡吸附量随着原水中阿特拉津初始浓度的增大而增大,但PAC对污染物的应急处理效率却随之降低。Freundlich等温吸附模型较Langmuir模型可更好地拟合PAC对阿特拉津的吸附规律。中试表明,针对10 μg/L和20 μg/L的阿特拉津污染,分别投加5 mg/L和20 mg/L PAC,即可使出水浓度达标;针对100 μg/L和200 μg/L的阿特拉津污染,投加PAC 50 mg/L,出水浓度分别超标7倍和14倍。

**关键词** 阿特拉津 突发污染 应急处理 粉末活性炭

### Research on Emergency Treatment of Accidental Atrazine Pollution of Raw Water by Powdered Activated Carbon

JIA Liping<sup>1</sup> LIU Xueqing<sup>1</sup> WANG Xingang<sup>1</sup> TANG Yubin<sup>1</sup> LU Xiwu<sup>2</sup>

(1. Department of Environmental Engineering, Jiangsu University of Science and Technology Zhenjiang, Jiangsu 212018)

**Abstract** In the background of atrazine pollution suddenly occurred in Huangpu upriver source water, emergency adsorption treatment efficiency of atrazine by powdered activated carbon (PAC) is researched via laboratory and pilot tests. The laboratory test results shows that the removal rate of atrazine notably increases with PAC dosage. Atrazine at each concentration level can be quickly decreased by PAC in 10 minutes and the adsorption equilibrium is reached in 60 minutes. The equilibrium adsorption capacities increase with initial concentration of atrazine in raw water. But the emergency adsorption treatment efficiency decreases with the rise of initial concentration of atrazine. Freundlich model can better describe the isothermal adsorption law than Langmuir model. Pilot tests show that, for the atrazine pollution with initial concentration of 10 μg/L and 20 μg/L, adding 5 mg/L and 20 mg/L PAC respectively, atrazine concentration of effluent is below standard value. For 100 μg/L and 200 μg/L atrazine contamination, adding PAC 50 mg/L, the average atrazine concentrations of effluent exceeds 7 times and 14 times of standard value.

**Key Words** atrazine abrupt pollution emergency treatment powdered activated carbon

## 0 引言

现代农业对农药的依赖性愈来愈强,在提高粮食产量的同时,农药对生态环境和人类健康造成的危害也愈加严重<sup>[1-2]</sup>。尤其是农药对饮用水源的突发性污染,直接威胁到城乡居民的饮水安全。

阿特拉津是应用最广泛的农药之一。有研究表明<sup>[3-5]</sup>,阿特拉津对水生动植物、两栖类生物、哺乳动物和人类都有不同程度的损害,甚至诱发癌症。目前,针对阿特拉津突发性污染,采取的应急措施主要有混凝沉淀、预氧化和吸附等方法。Jiang等人<sup>[6]</sup>的研究表明,混凝、氯化等常规水处理工艺均难以有效地去除阿特拉津。陈蓓蓓等<sup>[7]</sup>在研究中发现,混

凝、沉淀法对于去除水中阿特拉津并不有效。采用KMnO<sub>4</sub>预氧化与混凝联用技术,比单独混凝的去除率有所提高,但残余阿特拉津浓度仍显著高于饮用水卫生标准,而活性炭(PAC)吸附法对其具有良好的消减效果。目前,活性炭吸附法已成为应对各类突发水污染事故首选的应急处理技术<sup>[8-9]</sup>。

本研究采用PAC吸附去除原水中的阿特拉津,为黄浦江原水的突发性阿特拉津污染的实际应急处理提供依据和参考。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 原水水质

以上海黄浦江松浦大桥取水口段原水为试验用

\* 基金项目:国家“十一五”863计划项目(2008AA06A412),江苏科技大学大学生创新计划重点项目。

水。水质:高锰酸盐指数:5.0~6.1 mg/L,浊度:18~63 NTU,水温:14~16℃,pH值:7.4~7.8,氨氮:0.83~1.3 mg/L,色度:16~18倍。

### 1.2 仪器及试剂

仪器:LC-20A型高效液相色谱仪(日本岛津),SHA-C恒温振荡器(常州国华电器有限公司)。

试剂:竹质粉末活性炭(上海活性炭厂,200目,碘值900 mg/g,比表面积1000 m<sup>2</sup>/g);阿特拉津(纯度为97%)、氯化钠(AR)、二氯甲烷(AR)、无水硫酸钠(AR)均购自国药集团化学试剂公司。

### 1.3 试验方法

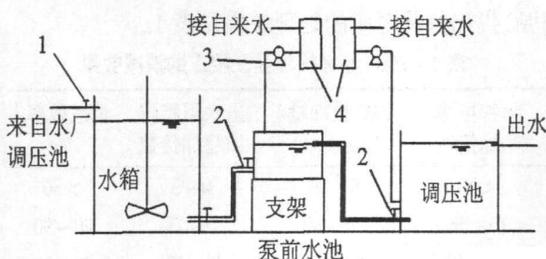
#### 1.3.1 小试

称取0.5 g PAC,加入1 L蒸馏水,搅拌均匀配成炭浆;用原水配制所需浓度的阿特拉津溶液,取120 mL于250 mL锥形瓶中,加入一定量炭浆,振荡一定时间后过滤,取100 mL滤液于分液漏斗中,采用二氯甲烷萃取,将有机相氮吹至近干,用甲醇定容至1 mL。采用液相色谱仪测定阿特拉津残余浓度。测定条件为:紫外检测器,检测波长为254 nm;色谱柱为ODS C18柱,流动相配比为:甲醇:水=9:1,流速0.3 mL/min,柱温40℃,进样量10 μL。

#### 1.3.2 中试

中试装置由原水水箱、泵站前池、调压池三部分组成(泵站前池和调压池容积按原水厂原型1:10000设计,长宽高按比例缩小),见图1。设计流量为0.5 m<sup>3</sup>/h,泵站前池水力停留时间3 min,调压池水力停留时间17 min。

配制所需浓度的阿特拉津溶液和炭浆,由计量泵打至泵站前池,前池设有搅拌装置,保证PAC在水中分散均匀。在设定工艺参数下稳定运行0.5 h后开始计时,每隔0.5 h取样一次。



1—阀门; 2—取样口; 3—加药泵; 4—储药罐  
图1 中试装置示意

## 2 结果与讨论

### 2.1 小试

#### 2.1.1 PAC投加量对处理效果的影响

PAC投加量对处理效果的影响见图2。由图2知,增大PAC投加量可显著提高吸附去除率。当阿特拉津初始质量浓度为10, 20, 100, 200 μg/L时,最

适投炭量分别为10, 30, 40, 40 mg/L。对于初始质量浓度为10 μg/L和20 μg/L的阿特拉津污染,分别投加5 mg/L和30 mg/L的活性炭,阿特拉津残余浓度可达标准限值以下。而当阿特拉津的初始浓度为100 μg/L和200 μg/L时,即使投加50 mg/L的活性炭,残余浓度仍不能达标。

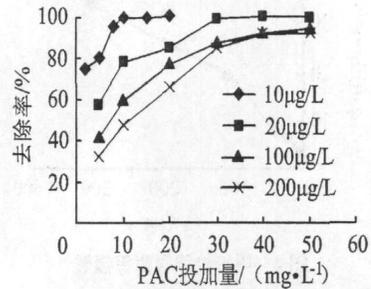


图2 PAC投加量对阿特拉津去除效果的影响

需要指出,依靠强化PAC投加量很难使出水浓度达到标准值,且投炭量过大,会导致原水黑浊及输水管网堵塞,给自来水管网的后续处理带来困难,故对于高浓度的阿特拉津污染,建议结合净水厂混凝沉淀技术进行处理,以保障出水水质。

#### 2.1.2 吸附时间对处理效果的影响

针对10, 20, 100, 200 μg/L的阿特拉津污染,分别投加5, 10, 30, 40 mg/L PAC,考察时间对吸附的影响,结果见图3。

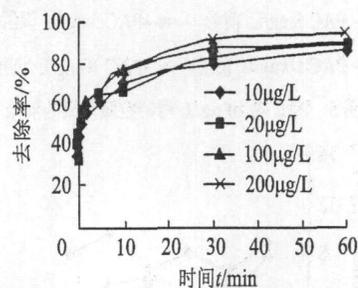


图3 吸附时间对去除效果的影响

由图3可见,PAC对阿特拉津的吸附主要集中在前10 min,历时60 min吸附基本平衡。对初始质量浓度为10, 20, 100, 200 μg/L的突发污染,历时10 min,阿特拉津去除率分别为70.9%、67.3%、76.9%、76.3%。10 min时的去除率占平衡时总去除率的75%~85%。对于较高浓度的污染,将吸附时间延至60 min,残余浓度仍超标56倍,可利用原水厂向净水厂输水的过程进一步消减。

#### 2.1.3 吸附等温线及等温吸附规律的数学模拟

在PAC投加量为20 mg/L、吸附时间为60 min的条件下,测得的等温线见图4。采用Freundlich和Langmuir等温吸附模型对图4的等温线进行线性模拟,得到的Freundlich方程为lgq<sub>e</sub> = 0.5643 lgc<sub>e</sub> +

0.079 5(相关系数 0.986 4); Langmuir 方程为  $c/q_e = 0.022 4 c_e + 2.559 7$ (相关系数 0.902 6)。由拟合结果可知, 采用 Langmuir 模式对图 4 的数据进行拟合, 线性相关性相对较低, 而 Freundlich 等温吸附模型可更好地拟合 PAC 对阿特拉津的等温吸附规律。

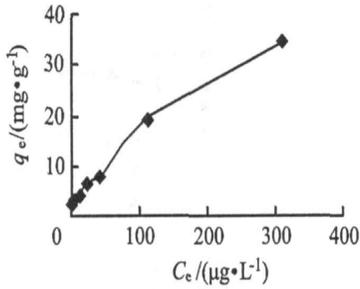


图 4 阿特拉津吸附等温线

## 2.2 中试

在中试装置中, PAC 对各污染水平的阿特拉津污染的消减效果见图 5~ 图 8。

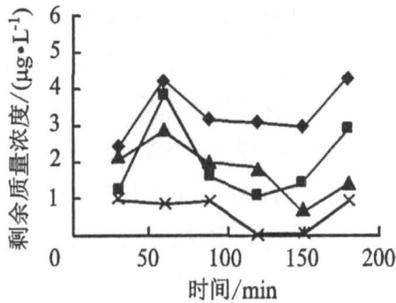


图 5 PAC 对 10 μg/L 阿特拉津污染的消减

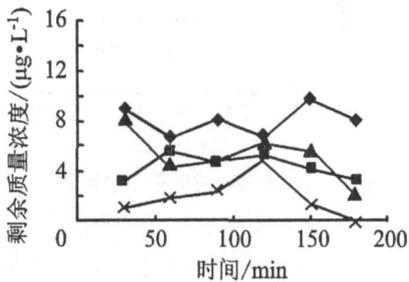


图 6 PAC 对 20 μg/L 阿特拉津污染的消减

由图 5 知, 针对初始质量浓度为 10 μg/L 的阿特拉津污染, 投加 5 mg/L PAC, 前池出水平均质量浓度为 3.35 μg/L, 平均去除率为 66.5%, 调压池出水平均质量浓度为 1.97 μg/L(低于标准限值), 总去除率达 80.3%。

由图 6 可见, 对于 20 μg/L 的阿特拉津污染, 投加 20 mg/L 的 PAC, 前池出水平均质量浓度为 5.24 μg/L, 平均去除率为 73.8%, 调压池出水平均质量浓度为

1.91 μg/L(低于标准限值), 总去除率达 90.5%。

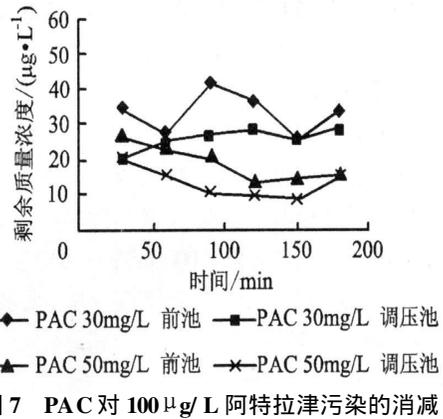


图 7 PAC 对 100 μg/L 阿特拉津污染的消减

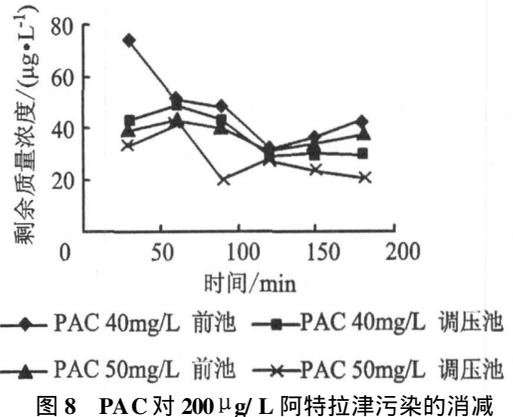


图 8 PAC 对 200 μg/L 阿特拉津污染的消减

图 7 表明, 当阿特拉津超标 50 倍时, 投加 50 mg/L PAC, 前池出水平均质量浓度仍为 19.1 μg/L, 平均去除率为 80.9%, 调压池出水平均质量浓度为 13.3 μg/L(超标 6.7 倍), 总去除率为 86.67%。

由图 8 可见, 对于超标 100 倍的阿特拉津污染, 投加 50 mg/L PAC 时, 前池出水平均质量浓度为 38.21 μg/L, 平均去除率为 80.9%, 调压池出水平均质量浓度为 28.37 μg/L(超标 14.2 倍), 总去除率为 85.8%。

对于不同污染水平的阿特拉津突发污染, 适宜 PAC 投加量及对应的处理效果见表 1。

表 1 PAC 参考投加量及相应的消减效果

阿特拉津超标倍数	PAC 投加量/(mg·L <sup>-1</sup> )	出水阿特拉津超标倍数	消减效率/%
< 10	5~ 10	0~ 3	> 80
10~ 50	10~ 30	0~ 13	70~ 90
50~ 100	30~ 50	7~ 19	70~ 90
> 100	50	> 14	< 90

需要指出, 吸附饱和的活性炭可以采用高温(850 °C)加热法再生, 再生后的活性炭可重复使用。

## 3 结论

(1) 随着 PAC 投加量的增大, 阿特拉津的去除率显著提高。PAC 对各污染水平的阿特拉津的去除

(下转第 73 页)

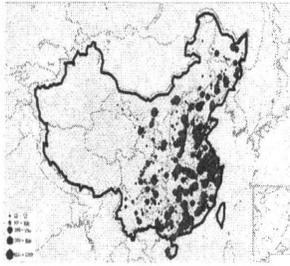


图5 2009年全国水泥企业CO<sub>2</sub>集中排放源

(3) 通过产能和产量数据计算CO<sub>2</sub>排放量, 其中最关键的因素是确定排放因子的合理性, 本次研究作为初步研究, 只对水泥生产的4种工艺分布赋予不同的平均值, 相对于每一个企业其计算结果或多或少会有偏差, 因此, 后续研究应力求给出更合理的排放因子取值。

(4) 以水泥生产CO<sub>2</sub>排放分析和计算为基础, 可以对CO<sub>2</sub>的减排方法和效果进行更深入地研究, 得到更多更优的减排方法, 可有效针对水泥企业CO<sub>2</sub>排放, 促进CCS技术研究和开发的实施。

参考文献

[1] 何宏涛. 水泥生产二氧化碳排放分析和定量化探讨[J].

水泥工程, 2009(1): 61- 65.

[2] 汪澜. 水泥生产企业CO<sub>2</sub>排放量的计算[J]. 中国水泥, 2009(11): 21- 22.  
 [3] 韩娟, 赵晨, 汪牡丹. 我国水泥工业二氧化碳排放现状与减排分析[J]. 海南大学学报自然科学, 2010, 28(3): 252- 256.  
 [4] 沈卫国, 蔡智, 刘志民. 浅谈水泥混凝土工业低二氧化碳排放技术[J]. 新世纪水泥导报, 2008(4): 1- 5.  
 [5] Andreas Ehrenberg, Jurgen Geiseler. 水泥生产中二氧化碳的排放[C]. 北京: 冶金渣处理与利用国际研讨会, 1999: 355- 362.  
 [6] Hendriks C, Sophie A, Der Waart V, et al. Building the cost curves for CO<sub>2</sub> storage, Part 1: Sources of CO<sub>2</sub>(PH4/9) [R]. [s. l.][s. n.], 2002.  
 [7] Unep, Oecd. Ipcc guideline for national greenhouse gas inventories. Ipcc. Bracknell, 3 Volumes, 1995.  
 [8] 白冰, 李小春, 刘延锋. 中国CO<sub>2</sub>集中排放源调查及分布特征[J]. 岩土力学与工程学报, 2006, 25(1): 2918- 2923.

作者简介 潘懿, 男, 1983年生, 助理研究员, 主要从事先进制造与新材料以及碳捕获与封存技术方面的科技情报研究工作。

(收稿日期: 2011- 05- 11)

(上接第26页)

主要集中在前10 min。经过60 min左右吸附达到平衡。随着原水中阿特拉津初始浓度的增大, PAC对其的平衡吸附量亦随之增大, 但PAC对污染物的应急处理能力随污染水平的增大而降低。

(2) Freundlich等温吸附模型较Langmuir模型可以更好地模拟PAC对阿特拉津的吸附规律。

(3) 根据现场中试结果, 对于初始浓度为10 μg/L和20 μg/L的阿特拉津污染, 分别投加5 mg/L和20 mg/L PAC, 即可使出水浓度达标; 针对初始浓度为100 μg/L和200 μg/L的阿特拉津污染, 投加PAC 50 mg/L, 出水浓度分别超标7倍和14倍, 需要通过输水管道或自来水厂进一步消减。

参考文献

[1] Amstislavsky S Y, Kizilova E A, Eroschenko V P. Preimplantation mouse embryo development as a target of the pesticide methoxychlor[J]. Reproductive Toxicology, 2003, 17(1): 79- 86.  
 [2] Magliulo L, Schreiberman, Martin P, et al. Endocrine disruption caused by two common pollutants at “acceptable” concentrations [J]. Neurotoxicology and Teratology, 2002, 24(1): 71- 79.  
 [3] 万年升, 顾继东, 段舜山. 阿特拉津生态毒性与生物降解

的研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(4): 552- 560.

[4] Kligeman A D, Doern C L, Tennant A H, et al. Cytogenetic studies of three triazine herbicides: II. In vivo micronucleus studies in mouse bone marrow[J]. Mutation Research, Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 2000, 471(1- 2): 107- 112.  
 [5] Hincapie M, Maldonado M I, Oller I. Solar photocatalytic degradation and detoxification of EU priority substances [J]. Catalysis Today, 2005, 101(3- 4): 203- 210.  
 [6] Jiang H, Adams C. Treatability of chloros-triazines by conventional drinking water treatment technologies [J]. Water Research, 2006, 40(8): 1657- 1667.  
 [7] 陈蓓蓓, 高乃云, 刘成, 等. 受典型除草剂污染原水的应急处理工艺研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23(9): 28- 36.  
 [8] 崔福义, 李伟光, 张悦, 等. 哈尔滨气化厂(达连河)供水系统应对硝基苯污染的措施与效果[J]. 给水排水, 2006, 32(6): 13- 17.  
 [9] Babi K G, Koumenides K M, Nikolaou A D, et al. Pilot study of the removal of THMs, HAAs and DOC from drinking water by GAC adsorption[J]. Desalination, 2007, 210(1- 3): 215- 224.

(收稿日期: 2011- 04- 11)