

# 饮用水源突发甲苯污染的吸附法 应急处理技术研究

丁文婧<sup>1</sup>, 刘学卿<sup>2</sup>, 郭 蕾<sup>2</sup>

(1. 江苏省水文水资源勘测局扬州分局, 江苏 扬州 225000; 2. 镇江市环境监测中心站, 江苏 镇江 212000)

**摘要:** 以黄浦江水源地突发污染为背景, 通过实验重点研究了粉末活性炭(PAC)吸附技术对甲苯的应急处理效果, 包括 PAC 投加量、吸附时间等因素对处理效果的影响。结果表明: 针对低浓度的甲苯突发污染, 强化 PAC 投加量, 可大幅提高对其的去除率, 但当突发污染倍数较高时, 去除率提高幅度较小。

**关键词:** 饮用水源; 突发污染; 甲苯; 应急处理; 粉末活性炭

**中图分类号:** TU991.2      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1007-7839 (2016) 04-0025-04

## Study on emergency treatment for toluene pollution in drinking water source

DING Wenjing<sup>1</sup>, LIU Xueqing<sup>2</sup>, GUO Lei<sup>2</sup>

(1. Yangzhou Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Yangzhou 225000, Jiangsu; 2. Zhenjiang Environmental Monitoring Center Station, Zhenjiang 212000, Jiangsu)

**Abstract:** Emergency treatment efficiency of toluene by PAC adsorption was investigated by experiment in the background of sudden pollution occurred in Huangpu source water. Effect of PAC dosage, adsorption time on treatment efficiency was investigated. The experimental results show that enhancing PAC dosage can significantly improve removal ratio of toluene on low concentration level, but have little contribution for high concentration pollution.

**Key words:** drinking water source; abrupt pollution; toluene; emergency treatment; powdered activated carbon

当前, 我国水环境恶化趋势尚未得到根本扭转, 尤其是城市水源地的污染, 正严重威胁着城市供水系统安全, 已成为我国当前重大的社会公害。以上海黄浦江为例, 从 20 世纪 50、60 年代开始, 黄浦江两岸造纸、化纤、印染、食品等污染物排放量大行业迅猛发展, 致使黄浦江水水质日益下降, 大多维持在 III 类、IV 类水平, 水生态破坏严重<sup>[1]</sup>, 而黄浦江上游水源地是上海市民赖以生存及维持

城市运转的基本保证。因此, 水源地突发污染事件已经构成了对上海城市安全的重要威胁<sup>[2]</sup>。如何快速、有效地处理水源地突发性水污染事故已成为亟待解决的问题。苯系物是环境中普遍存在的一类污染物。近年来, 饮用水被苯系物污染的事件屡见不鲜, 如 2013 年 1 月上海金山区水域苯乙烯等有机物污染事件, 2014 年 4 月甘肃省兰州市自来水苯严重超标事件等<sup>[3]</sup>。黄浦江周边企业

收稿日期: 2016-02-22

作者简介: 丁文婧(1984-), 女, 本科, 助理工程师, 主要从事水质监测工作。

罗布, 污染因子众多, 极易引起苯系物突发污染。甲苯是一种具有芳香气味的无色透明液体, 对人的中枢神经系统会造成极大伤害。目前, 涉及处理饮用水源地突发甲苯污染的研究很少, 本研究旨在为黄浦江水源地突发甲苯污染提供基础数据。

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水, 原水主要监测指标如表 1 所示。

表 1 原水水质情况

COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	浊度 (NTU)	水温 (℃)	pH	氨氮 (mg/L)	色度 (倍)
5.0 ~ 6.1	18 ~ 63	14 ~ 16	7.4 ~ 7.8	0.83 ~ 1.3	16 ~ 18

1.2 实验仪器

实验仪器采用 GC-2014 型气相色谱仪和 SHA-C 恒温振荡器。

1.3 实验药品

竹质粉末活性炭(200 目, 碘值 900 mg/g, 比表面积 1000 m<sup>2</sup>/g)及甲苯 (AR)。

1.4 实验方法

配制 0.50%炭浆溶液: 称取 0.50 g PAC, 加入 1 L 去离子水, 搅拌均匀配成炭浆。

吸附实验: 用原水配制所需浓度的甲苯溶液, 置于 250 mL 锥形瓶中, 加入一定量炭浆, 以一定转速于恒温水浴振荡器上振荡, 间隔一定时间后过滤, 取适量水样于分液漏斗中, 萃取后测定污染物剩余浓度。

采用气相色谱法测定水中甲苯残留浓度<sup>[4]</sup>: 取水样 50 mL 置于 250 mL 分液漏斗中, 加入 5 mL (1+1)硫酸, 摇匀后加入 4 g 氯化钠, 再次混匀。准确加入 10 mL 二硫化碳, 剧烈振摇 2 min, 静置分层。取有机相置于 10 mL 容量瓶中, 于气相色谱仪上测定浓度。

气相色谱条件: 色谱柱型号为 SE-54 毛细管柱, 规格为 30 m×0.32 mm×0.25 μm, 检测器为氢火焰离子化检测器 (FID)。色谱分析条件为: 柱温 60℃, 毛细管进样口温度 150℃, 检测器温度 150℃, 柱前压力 108.30 kPa, 进样量 1.00 μL, 分流比为 5:1, 甲苯保留时间为 2.30 min。

根据《集中式生活饮用水地表水源地特定项

目标标准》中对甲苯的限值规定 (0.7 mg/L), 选取标准限值的 5 倍、10 倍、50 倍及 100 倍作为实验中甲苯突发污染的初始浓度。

2 结果与讨论

2.1 PAC 投加量对甲苯去除效果的影响

甲苯为疏水性有机污染物, PAC 对其具有较强的吸附性能。由图 1 可知, 甲苯初始浓度为 3.43 mg/L, PAC 投加量从 5 mg/L 增至 50 mg/L 时, 甲苯去除率从 47.57% 上升至 93.56%, PAC 投加 20

mg/L 时, 甲苯残余浓度为 0.58 mg/L, 低于标准限值 (0.70 mg/L)。但随着甲苯突发污染倍数的增大, 增大 PAC 投加量, 去除率提高幅度不大。主要原因是甲苯突发污染浓度较高时, 水中 PAC 浓度远低于甲苯浓度, 吸附饱和后水体中甲苯残留浓度仍较高, 导致去除率提高不明显。针对初始浓度为 38.53 mg/L 和 73.04 mg/L 的甲苯突发污染, PAC 投加量从 5 mg/L 升至 50 mg/L 时, 对甲苯的去除率仅提高了 18.71% 和 13.91%, 在最大投炭量下, 出水浓度分别超标 21 倍和 40 倍。由于甲苯属易挥发类有机污染物, 在实际污染处理中可以利用甲苯在输水管道中水力停留时间长、挥发作用大的优势进一步消减污染。

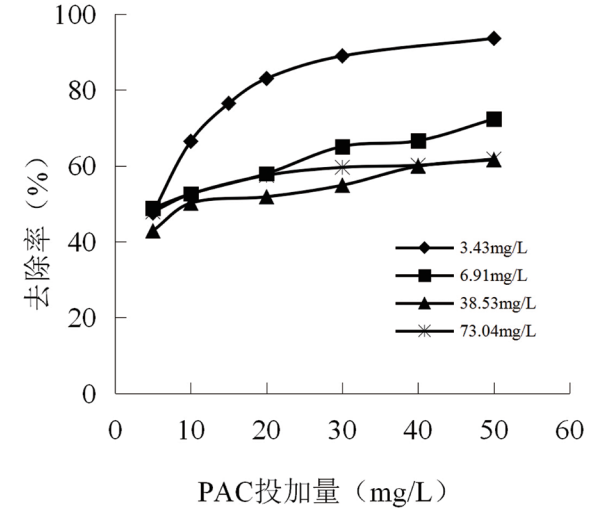


图 1 PAC 投加量对甲苯去除效果的影响

2.2 吸附时间对甲苯去除效果的影响

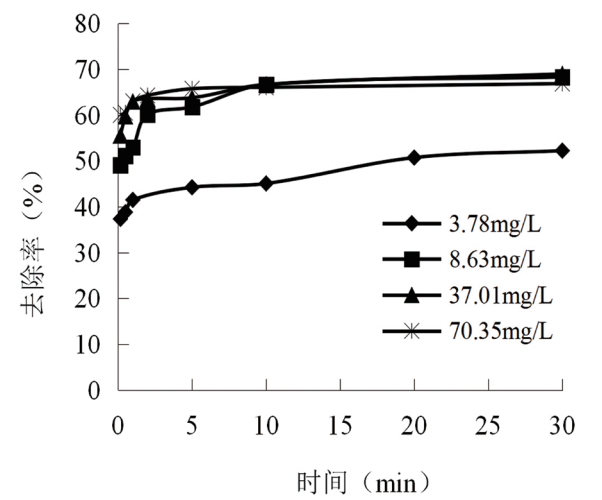


图 2 吸附时间对甲苯去除效果的影响

图 2 表明: PAC 对甲苯的吸附去除速率很快, 30 min 时 PAC 对各浓度水平的甲苯污染均能达到吸附平衡, 且甲苯初始浓度越高, 传质速率越快, 导致 PAC 对甲苯的吸附速率也就越快。甲苯初始浓度为 3.78 mg/L 时, 10 min 时甲苯的去除率即达 45.06%, 占平衡时甲苯总去除率的 86.29%。当甲苯初始浓度为 8.63 mg/L、37.01 mg/L、70.35 mg/L 时, 吸附 5 min, PAC 对甲苯的去除率即分别达 61.76%、63.77% 和 65.75%, 随着吸附时间的继续延长, 甲苯去除率变化不大, 30 min 时 PAC 对 3 个浓度甲苯的去除率仅分别提高了 6.53%、5.21% 和 1.12%。可见 PAC 对甲苯的去除主要集中在 5 ~ 10 min。

2.3 吸附等温线的测定及等温吸附规律的数学模拟

PAC 对甲苯的等温吸附数据见表 2, 甲苯吸附等温线见图 3。

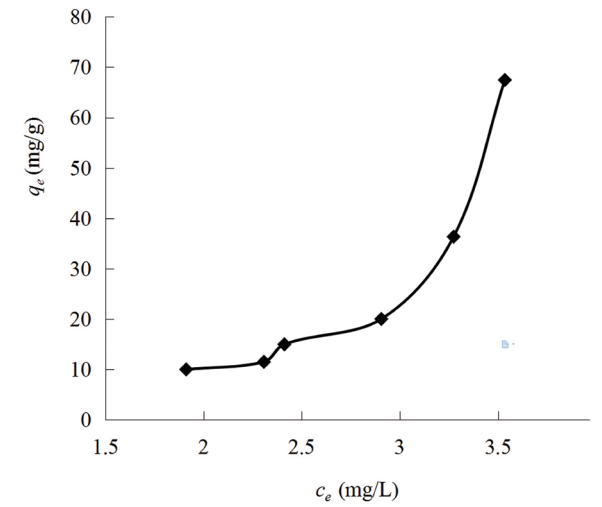


图 3 甲苯吸附等温线

吸附等温线采用 Freundlich 和 Langmuir 模型拟合。两种吸附等温线模型的表达式为:

Freundlich 吸附等温模型:

$$q_e = Kc_e^{1/n}$$

Freundlich 等温线可化为如下线性形式:

$$\lg q_e = \lg K + \frac{1}{n} \lg c_e$$

Langmuir 吸附等温模型:

$$q_e = \frac{q^0 b c_e}{1 + b c_e}$$

Langmuir 等温线可化为如下线性形式:

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q^0 b} + \frac{c_e}{q^0}$$

式中:

$q_e$ —平衡吸附量, mg/g;  
 $c_e$ —苯酚平衡浓度, mg/L;

表 2 PAC 对甲苯的等温吸附数据

PAC投加量 (mg/L)	平衡浓度 $c_e$ (mg/L)	平衡吸附量 $q_e$ (mg/g)	$\lg c_e$	$\lg q_e$	$c_e/q_e$
5	3.54	67.46	0.55	1.83	0.05
10	3.27	36.34	0.52	1.56	0.09
20	2.91	20.01	0.46	1.30	0.15
30	2.41	14.99	0.38	1.18	0.16
40	2.31	11.50	0.36	1.06	0.20
50	1.91	9.99	0.28	1.00	0.19

实验条件: C0=6.91 mg/L, T=15℃, 振荡速率 90 r/min, 吸附时间 t=20 min

$K, n$ —Freundlich 模型经验常数;

$q^0$ —最大吸附量, mg/g;

$b$ —Langmuir 模型经验常数。

采用 Freundlich 模型拟合各污染物的吸附实验数据, 结果见图 4。

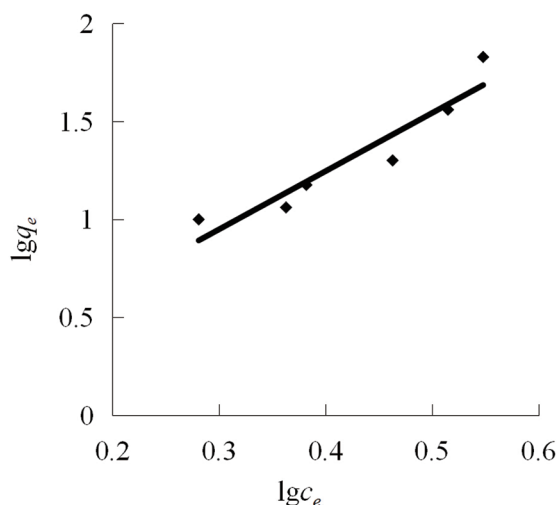


图 4 Freundlich 吸附等温线 (甲苯)

采用 Langmuir 模型拟合各污染物的吸附实验数据, 结果见图 5。

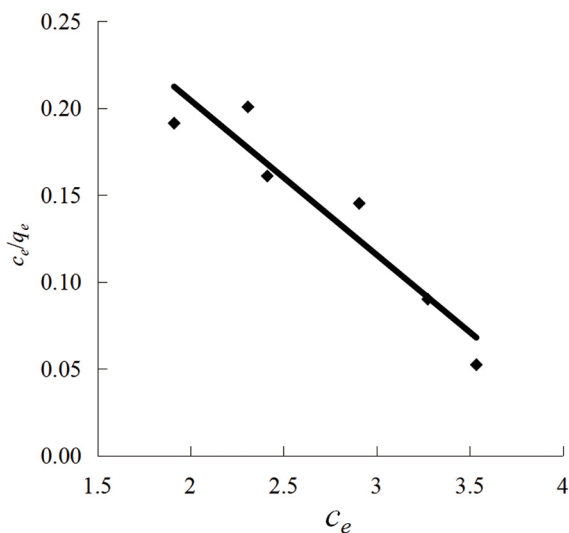


图 5 Langmuir 吸附等温线 (甲苯)

表 3 等温吸附模型拟合结果 (甲苯)

吸附等温模型	方程	线性相关系数 $r$
Freundlich	$\lg q_e = 2.9708 \lg c_e + 0.0576$	0.9429
Langmuir	$c_e/q_e = -0.0889 c_e + 0.3824$	0.9472

由甲苯吸附等温线 (图 3) 可知, 当甲苯平衡

浓度较低时, PAC 对其已具有较大的平衡吸附量, 可见 PAC 对甲苯具有很强的吸附能力。表 3 表明: Freundlich 和 Langmuir 等温吸附模型可以很好地拟合 PAC 对甲苯的吸附规律。理论上, 由 Freundlich 等温吸附方程可以计算出实际突发不同程度污染时, 处理至标准限值以下所需投加的 PAC 的量, 但由于 Freundlich 公式是经验公式, 具有一定的使用范围, 且还需结合吸附剂对污染物的吸附效能。就饮用水应急处理而言, 对数据的准确性要求很高, 因而理论计算值必须要经过实践验证, 否则吸附等温线的拟合误差足以对应急处理的效果和剂量造成研究错判<sup>[5]</sup>。

### 3 结论

(1) 甲苯为疏水性有机污染物, PAC 对其具有较强的吸附性能。针对超标 5 倍左右的甲苯污染, 投加 20 mg/L PAC 时, 甲苯残余浓度低于标准限值; 针对超标 50 倍和 100 倍的甲苯突发污染, PAC 投加量为 50 mg/L 时, 出水浓度分别超标 21 倍和 40 倍。由于甲苯属易挥发类有机污染物, 在实际污染处理中可以利用甲苯在输水管道中水力停留时间长, 挥发作用大的优势进一步消减污染。

(2) PAC 对甲苯的吸附去除速率很快, 主要集中在 5 ~ 10 min, 且甲苯初始浓度越高, 传质速率越快, 导致 PAC 对甲苯的吸附速率也就越快。

(3) 由于 PAC 对甲苯具有很强的吸附能力, 故 Freundlich 和 Langmuir 等温吸附模型可以很好地拟合 PAC 对甲苯的吸附规律。

### 参考文献:

- [1] 阮仁良, 张勇. 黄浦江上游水源地突发性水污染事故应急处置预案探讨 [J]. 上海水务, 2006, 22 (3): 1-4.
- [2] 张勇, 徐启新, 杨凯, 等. 城市水源地突发性水污染事件研究述评 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7 (12): 421-424.
- [3] 李璐, 潘在宝, 刘娟丽, 等. 饮用水中苯系物的检测方法研究概况 [J]. 电力科技与环保, 2015, 31 (3): 21-23.
- [4] 水和废水监测分析方法 (第四版) [M], 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 462.
- [5] 王新刚, 刘学卿, 陈芳艳, 等. 粉末活性炭应急处理原水中镉突发污染的研究 [J]. 水处理技术, 2011, 37 (7).

(责任编辑: 徐丽娜)