

文章编号:1005-0523(1999)03-0012-06

粒状活性炭去除二氧化氯主要影响因素的研究

唐朝春¹, 杨卫权²

(1. 华东交通大学 土木工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 上海市南汇县自来水公司, 上海 201312)

摘要: 就水力负荷、炭层厚度、pH 值等因素对粒状活性炭(GAC)吸附二氧化氯性能的影响进行了小试试验研究,并运用正交试验确定了这些因素的影响顺序和最优水平组合¹⁹。试验结果表明,这些因素对GAC的吸附性能有较大的影响,其中以pH值的影响最大,其次是炭层厚度¹⁹。最优水平组合为:pH值为5.5,炭层厚度为200 mm,水力负荷为1.0 L/h·cm²。

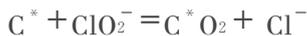
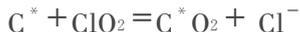
关键词: 粒状活性炭(GAC);二氧化氯;水力负荷;炭层厚度;pH;正交试验

中图分类号: TU 991.25 **文献标识码:** A

0 引言

二氧化氯被选为替代氯作为预氧化剂或消毒剂而得到广泛应用¹⁹。但近年的研究表明,二氧化氯消毒的残余物如ClO₂、ClO₂⁻、ClO₃⁻等对人体健康有潜在的危害,并着手研究去除的方法^[1]¹⁹。目前,去除二氧化氯消毒残余物的方法主要有:SO₃²⁻-SO₂法^[2]、FeSO₄法^[3]和活性炭法^[4],其中以粒状活性炭(GAC)法应用最为普遍¹⁹。

GAC去除二氧化氯消毒残余物主要通过接触吸附和氧化还原反应来完成的,其过程可用下式表示^[5]



式中:C*指粒状活性炭表面;C*O₂指粒状活性炭表面氧化物¹⁹。

影响GAC吸附性能的因素很多,如炭种、级配、层厚、反应物浓度及性质、pH值、水力负荷、温度等¹⁹。本试验就水力负荷、炭层厚度、pH值等因素对GAC吸附ClO₂效果的影响进行了研究,并通过正交试验确定这些因素的影响程度、主次顺序及最优水平组合¹⁹。

1 试验装置及试验方法

1.1 试验材料

采用上海活性炭厂生产的JS型GAC,使用前筛取0.5~2.5 mm的炭粒,再用蒸馏水浸

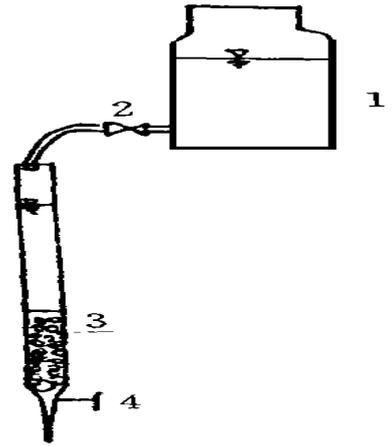
收稿日期:1999-01-06;修订日期:1999-03-04

作者简介:唐朝春(1964-),男,华东交通大学工程师

泡并冲去杂质,烘干备用¹⁹。

1.2 试验装置

将经处理的 GAC 装入内径为 16 mm 的玻璃管中,在高位水箱中用经纤维状活性炭处理的自来水(浊度为 0.3~0.8 度)配成约 1.5 mg/L 左右的二氧化氯溶液,组成如图 1 所示的装置¹⁹。图中阀门 2 用来保持炭柱中水位基本恒定,阀门 4 用来控制出水流量¹⁹。因二氧化氯易逸失,每次只配 5.5 L,可供 1~2 h 的试验水量,取其始末测定浓度作为该时段的进、出水二氧化氯浓度¹⁹。



1.高位水箱 2.阀门
3.GAC 炭柱 4.阀门

图 1 试验装置示意图

1.3 二氧化氯贮存液的制备及浓度测定

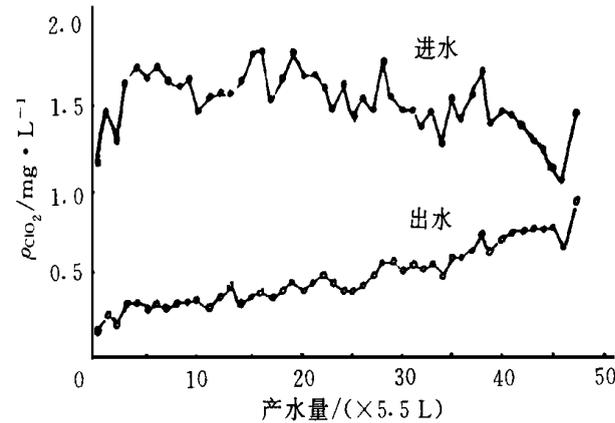
二氧化氯溶液的制备以氯酸钠为原料,其浓度的测定采用邻联甲苯胺分光光度法^[6]¹⁹。

2 试验结果与分析

2.1 运行条件对 GAC 吸附性能的影响

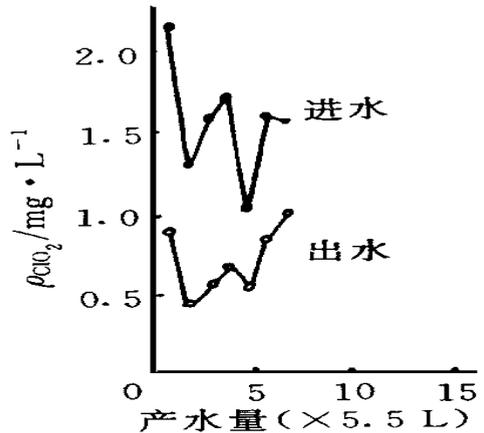
2.1.1 水力负荷

试验在 2 根层高为 150 mm 的炭柱中进行,进水 pH 值为 5.5,水力负荷分别为 1.5、3.0 L/h · cm²¹⁹。ClO₂ 进、出水浓度变化如图 2、3 所示¹⁹。水力负荷对炭柱处理效率的影响如图 4 所示¹⁹。



(L = 150 mm, pH = 5.5, Q = 1.5 L/h · cm²)

图 2 ClO₂ 进出水变化曲线



(L = 150 mm, pH = 5.5, Q = 3.0 L/h · cm²)

图 3 ClO₂ 进出水变化曲线

由图 4 可知,在水力负荷为 1.5 L/h · cm² 时,ClO₂ 去除率从最初的 86% 逐渐降至 35% 以下(注:本试验中以去除率 35% 为失效点),在整个周期中,ClO₂ 平均去除率为 67.5%,产水量 48 × 5.5 = 264 L,共去除 ClO₂ 270.41 mg,而在水力负荷为 3.0 L/h · cm² 时,ClO₂ 最初去除率为 66%,当产水量仅为 38.5 L 时,ClO₂ 去除率降至 35% 以下,炭柱即告失效,在整个周期中,ClO₂ 平均去除率为 56.2%,共去除 33.83 mg,为前者的 12.51%,由此可见,水力负荷对

GAC 的吸附性能影响很大¹⁹。

2.1.2 炭层厚度

试验分别采用层厚为 50、100 mm 的炭柱,在进水 pH 值为 5.5,水力负荷为 2.0 L/h · cm² 的条件下进行 19 组的 ClO₂ 进、出水浓度变化情况如图 5、6 所示¹⁹。炭层厚度对炭柱处理效率的影响如图 7 所示¹⁹。

由图 7 可知,在炭层厚度为 100 mm 时 ClO₂ 最初去除率为 78%,在产水量达到 187 L 时,ClO₂ 去除率降至 35%以下,在整

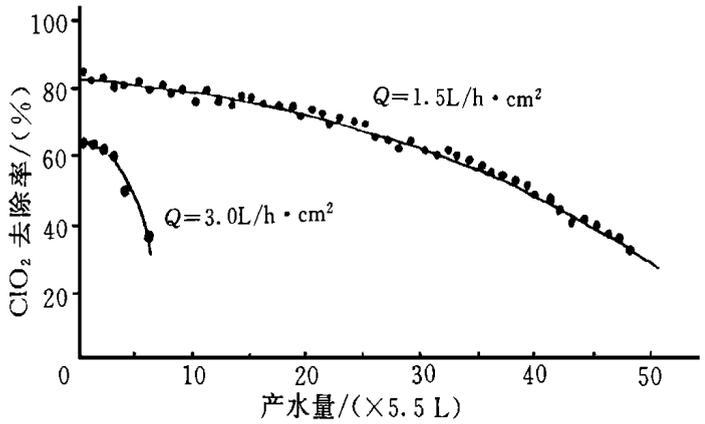
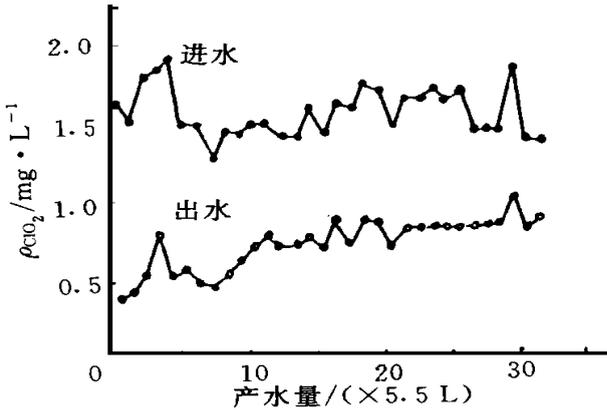
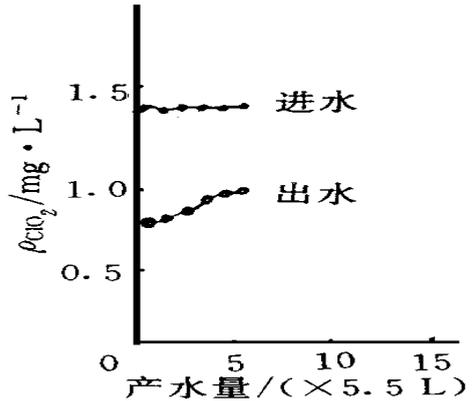


图 4 水力负荷对 ClO₂ 去除率的影响



(L = 100 mm, pH = 5.5, Q = 2.0 L/h · cm²)

图 5 ClO₂ 进出水变化曲线



(L = 50 mm, pH = 5.5, Q = 2.0 L/h · cm²)

图 6 ClO₂ 进出水变化曲线

个吸附周期,ClO₂ 平均去除率为 54.7%,共去除 164.16 mg;而在炭层厚度为 50 mm 时,ClO₂ 初期去除率仅为 48%,在产水量为 33 L 时,ClO₂ 去除率即降至 35%以下,在整个周期,ClO₂ 平均去除为 41.3%,共去除 20.47 mg,为前者的 12.47%¹⁹。因此,炭层厚度对 GAC 的吸附性能及周期的影响也较大¹⁹。

2.1.3 pH 值

为考察进水的 pH 值对 GAC 吸附性能的影响,分别将进水 pH 值控制在 5.5、7.0 和 8.5 的条件下进行试验,炭层厚度

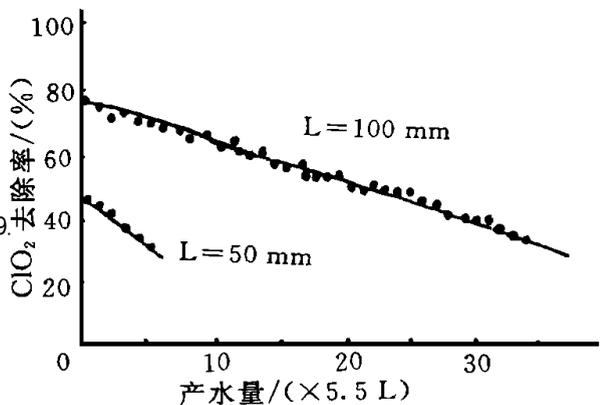
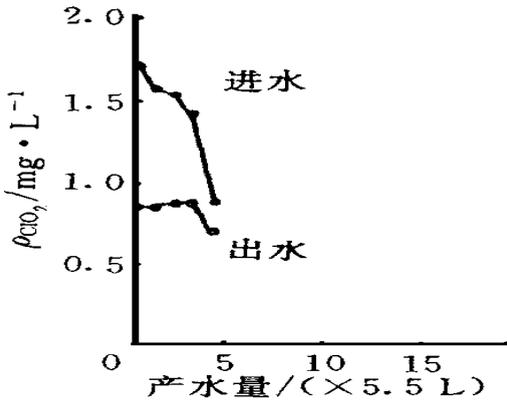


图 7 炭层厚度对 ClO₂ 去除率的影响

中国知网 <https://www.cnki.net/>



($\text{pH}=7.0, L=100 \text{ mm}, Q=2.0 \text{ L/h} \cdot \text{cm}^2$)

图8 ClO_2 进出水变化曲线

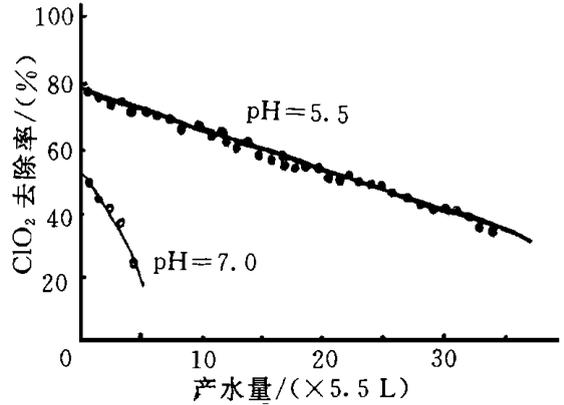


图9 pH 值对 ClO_2 去除率的影响

为 100 mm , 水力负荷为 $2.0 \text{ L/h} \cdot \text{cm}^2$ 。在吸附周期内炭柱进、出水 ClO_2 浓度变化见图 5、8 所示。 pH 值对炭柱处理效率的影响如图 9 所示。注:在 pH 值为 8.5 时, GAC 柱的 ClO_2 最初去除率只有 21% , 小于原定的 35% 的失效点, 故未在图中示出。

由图 9 可见, 在 pH 值为 5.5 时, ClO_2 初期去除率为 78% , 周期平均去除率为 54.7% , 产水量为 187 L , 共去除 164.16 mg 。而在 pH 值为 7.0 时, ClO_2 初期去除率为 50% , 在产水量为 27.5 L 时, 炭柱即告失效, 周期平均去除率为 41% , 共去除 16.02 mg , 仅为 pH 为 5.5 时的 9.76% , 低于原定的失效点。由此可见, pH 值对 GAC 吸附性能的影响很大。其主要原因是 GAC 表面带有净负电荷, 对水中正离子有较强的吸附作用, 而对水中的负离子有一定的排斥作用。因此, 随着 pH 值的升高, GAC 的吸附性能急剧下降, 在实际运行中, 应注意控制水的 pH 值, 避免在碱性条件下运行。

2.2 运行条件的确定

为更好地了解运行条件对 GAC 吸附性能的影响, 在 2.1 的基础上, 采用正交试验以确定这些因素的影响程度、主次顺序及最优水平组合。

正交试验以 ClO_2 周期去除量为评价指标, 水力负荷、炭层厚度、 pH 值为考察对象, 各因素选用 3 水平, 确定选用 $L_9(3^3)$ 正交表, 正交试验方案如表 2 所示。根据表 2 所选方案的试验结果如表 1 所示。

将表 1 中 ClO_2 周期去除量填入表 2, 并计算各列的各水平效应值 K_{mf} 、 \bar{K}_{mf} 及极差 R 值^[7]。由表中极差 R 的大小可见, 影响 GAC 吸附性能的因素主次顺序为:

pH 值 \rightarrow 炭层厚度 \rightarrow 水力负荷

由表中各因素水平值的均值可见, 各因素最优水平组合为:

pH 值 = 5.5 ; 炭层厚度 = 200 mm ; 水力负荷 = $1.0 \text{ L/h} \cdot \text{cm}^2$ 。

根据表 2 进行正交试验方差分析^[7], 结果如表 3 所示。

表1 正交试验结果

试验号	试验条件			ClO ₂				产水量 (×5.5L)	ClO ₂ 周期去除量 /mg
	水力负荷 /L·h ⁻¹ ·cm ⁻²	炭层厚度 /mm	pH	平均进水浓度 /mg·L	平均出水浓度 /mg·L ⁻¹	初期去除度 (%)	平均去除率 (%)		
1*	2.0	150	7.0	1.905	1.013	57	46.84	7	35.36
2	2.0	100	5.5	1.617	0.733	78	54.67	34	164.16
3*	2.0	200	8.5	1.824	0.983	54	46.11	7	32.92
4	1.5	150	5.5	1.517	0.493	86	67.50	48	270.41
5*	1.5	100	8.5	1.411	0.855	43	39.39	3	9.17
6*	1.5	200	7.0	1.590	0.829	59	47.88	8	33.49
7*	1.0	150	8.5	1.178	0.696	53	40.92	4	10.59
8*	1.0	100	7.0	1.079	0.636	46	41.06	4	9.74
9*	1.0	200	5.5	1.433	0.420	99	70.69	72	401.20

说明:1) 试验中以 ClO₂ 去除率 35% 作为失效点¹⁹.

2) 带*者为在 2.1 基础上补充的试验¹⁹.

由表 3 可见, pH 值是一个显著性的影响因素, 而炭层厚度和水力负荷均为非显著性影响因素¹⁹.

3 结论

通过对以上小试试验结果的分析, 可以得到如下的结论:

1) 水力负荷对 GAC 吸附性能有较大的影响¹⁹. 在进水 pH 为 5.5, 炭层厚度为 150 mm 时, 水力负荷从 1.5 L/h·cm² 提高至 3.0 L/h·cm² 时, ClO₂ 周期去除量下降了 87.49%¹⁹.

2) 炭层厚度对 GAC 吸附性能也有较大的影响¹⁹. 在进水 pH 值为 5.5, 水力负荷为 2.0 L/h·cm² 时, 炭层厚度从 100 mm 减至 50 mm, ClO₂ 周期去除量下降了 87.47%¹⁹.

表2 正交试验分析表

试验号	列 号				试验指标 ClO ₂ 周期去除量 /mg
	水力负荷 /L·h ⁻¹ ·cm ⁻²	炭层厚度/mm	pH 值	空白	
1	2.0	150	7.0		35.36
2	2.0	100	5.5		164.16
3	2.0	200	8.5		32.92
4	1.5	150	5.5		270.41
5	1.5	100	8.5		9.17
6	1.5	200	7.0		33.49
7	1.0	150	8.5		10.59
8	1.0	100	7.0		9.74
9	1.0	200	5.5		401.20
K ₁	232.44	316.36	78.59		∑ = 967.04
K ₂	313.07	183.07	834.57		
K ₃	421.53	467.61	52.68		
\bar{K}_1	77.48	105.45	26.20		
\bar{K}_2	104.34	61.02	274.19		
\bar{K}_3	140.11	155.47	17.56		
R	62.63	94.45	260.63		

表3 正交试验方差分析检验表

方差来源	偏差平方和 (×10 ⁴)	自由度	均方和 (×10 ⁴)	F 值	F _{0.05}	F _{0.01}
水力负荷	0.60	2	0.30	1.00	19.00	99.00
炭层厚度	1.34	2	0.67	2.23	19.00	99.00
pH 度	13.20	2	6.60	22.00	19.00	99.00
误差	0.60	2	0.30			
总和	15.74	8				

3) pH 值对 GAC 吸附性能有很大的影响¹⁹。在炭层厚度 100 mm, 水力负荷为 2.0 L/h · cm² 时, pH 值从 5.5 提高至 7.0, ClO₂ 周期去除量下降了 90.24%¹⁹。

4) 各因素的主次顺序为: pH 值 → 炭层厚度 → 水力负荷, 其中, pH 值是一个显著性影响因素¹⁹。

5) 在本试验条件下, 最优水平组合为: pH 值 5.5, 炭层厚度 200 mm, 水力负荷 1.0 L/h · cm²¹⁹。在生产设备运行条件下, 其最优水平组合, 尚需进一步试验确定¹⁹。

[参 考 文 献]

- [1] 黄君礼译. 有关二氧化氯的毒理学问题[J]. 环境科学丛刊, 1992, 13(1): 72~80.
- [2] GORDON G et al. Journal AWWA [J], 1990, 82: 160.
- [3] GRIESE M H, HAUSER K. Journal AWWA [J], 1992, 84(5): 56~61.
- [4] 上海市政工程设计院译. 水质控制物理化学方法[J]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980, 234~235.
- [5] VOUDRIAS E A et al. Wat. Res [J], 1983, 7: 1 107.
- [6] 杨卫权. 二氧化氯的测定[J]. 华东交通大学学报, 1995, 12(4): 26~29.
- [7] 李燕城. 水处理实验技术[J], 北京: 中国建筑工业出版社, 1989, 10~14: 40~47.

Experimental Study on Effect of Principal Factors on the Removal of Chlorine Dioxide by Using Granular Activated Carbon

Tang Chao-chun¹, Yang Wei-quan²

(1. College of Civil Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang, 330013, China; 2. Nanhui Water Supply Company of Shanghai, Shanghai, 201312, China)

Abstract: An experimental study has been made in this paper, which focuses on the effect of principal factors such as activated carbon layer, pH, and hydraulic loading on adsorptive capacity of Granular Activated Carbon (GAC) for chlorine dioxide residue, at the same time the order and the best combination level of these factors have been tested by crossed experiment. The results of the experiment indicate that these factors greatly affect performance of GAC, among which pH is the most, carbon layer is the second. The best level of combination is 5.5 pH, 200 mm carbon layer and 1.0 L/h · cm² hydraulic loading.

Key words: GAC; chlorine dioxide; hydraulic loading; carbon layer; pH; crossed experiment