

深度处理工艺对微污染原水中有机污染物的去除

李灵芝¹, 王占生²

(1. 广东韶关学院化学与环境工程学院 512005, 2. 清华大学环境工程系 100084)

摘要: 以某江水为原水, 研究某市自来水深度处理工艺(陶粒滤池、混凝、沉淀、过滤、臭氧氧化、活性炭滤池)各单元对有机污染物的去除效果, 对水样的 TOC、UV₂₅₄、COD_{Mn} 和 AOC 进行了分析, 结果表明: 陶粒滤池对 TOC、UV₂₅₄、COD_{Mn} 和 AOC 的去除率分别是 26.6%、29%、21.6% 和 54%, 有效减小了后续单元的负担; O₃+GAC 对 TOC、UV₂₅₄、COD_{Mn} 和 AOC 的去除率分别是 39.3%、60.8%、49.8%、77.8%, 因此, 组合工艺能确保饮用水的优质安全性。

关键词: 有机污染物; 深度处理; 臭氧氧化; 可同化有机碳

随着饮用水源水污染的加剧, 自来水厂普遍采用的传统水处理工艺, 已不能有效地去除水中种类繁多的微量有机物, 因此, 研究给水深度处理技术, 提高饮用水水质是当前环境科学领域具有重大实际意义的课题。本文以南方某市自来水厂(原水为江水)的深度处理工艺为研究对象, 考查该工艺对原水中有机污染物的控制能力。

1. 工艺流程

原水→陶粒滤池→混凝沉淀→滤池→臭氧接触池→活性炭滤池→加氯→出厂水

2. 试验部分

2.1 原水水质

原水水质概况见表 1。

表 1 原水水质*

测试项目	8 月	9 月	10 月
浊度/NTU	68 (32~98)	58 (35~90)	68 (42~104)
氨氮/mg·L ⁻¹	0.175(0.02~0.44)	0.16(0.08~0.25)	0.055(0.014~0.23)
COD _{Mn} /mg·L ⁻¹	7(6.6~7.4)	6.3(5.9~6.7)	6.07(5.34~6.9)

*表中数据为月平均值, 括号内数据为变化范围。

2.2 取样点的确定

沿工艺流程分别采集原水、陶粒滤池出水、双层滤池出水、O₃+GAC 出水和出厂水。

2.3 测试项目及方法

TOC: 采用日本岛津 TOC-5000 测定仪。UV₂₅₄: 波长为 254nm 处的紫外吸收值。COD_{Mn}: 酸性高锰酸钾法。

AOC: 生物可同化有机碳, 采用荷兰 Van der Kooij 教授建立的后经清华大学改进的测定方法。

3. 试验结果与讨论

3.1 工艺各单元对有机物的去除效果

以 TOC、UV₂₅₄ 和 COD_{Mn} 的去除率来反映组合工艺各单元对有机污染物的去除效果, 结果见表 2 和图 1 示。

表 2 水样 TOC, UV₂₅₄ 测定结果

水样	原水	陶粒池出水	滤池出水	O ₃ +GAC	出厂水
TOC	5.9	4.4	3.9	2.4	2.3
去除率/%		25.4	11.4	38.5	4.1
UV ₂₅₄	0.215	0.198	0.097	0.038	0.036
去除率/%		7.9	51	60.8	5.2

由表 2 看出,生物陶粒预处理对 TOC 的去除率为 25.4%,由于水中有机物的可生化性差,陶粒滤池对这部本有机物的处理效果并不高;陶粒滤池的出水又经常规处理(混凝、沉淀、过滤)对 TOC 的去除率只有 11.4%,这说明常规处理对有机污染物的去除能力是很有限的; O_3 +GAC 联合作用对 TOC 的去除率高达 38.5%,这一方面是因为 O_3 的氧化作用对有机物的去除比较有效,另一方面是因为 GAC 易于吸附相对分子质量较小(500~3000)的有机物,所以二者联合使用对有机物的去除效果是较显著的; O_3 +GAC 出水经加氯消毒后 TOC 去除 4.1%,这是因为加氯后把一部分有机物“矿化”的结果。

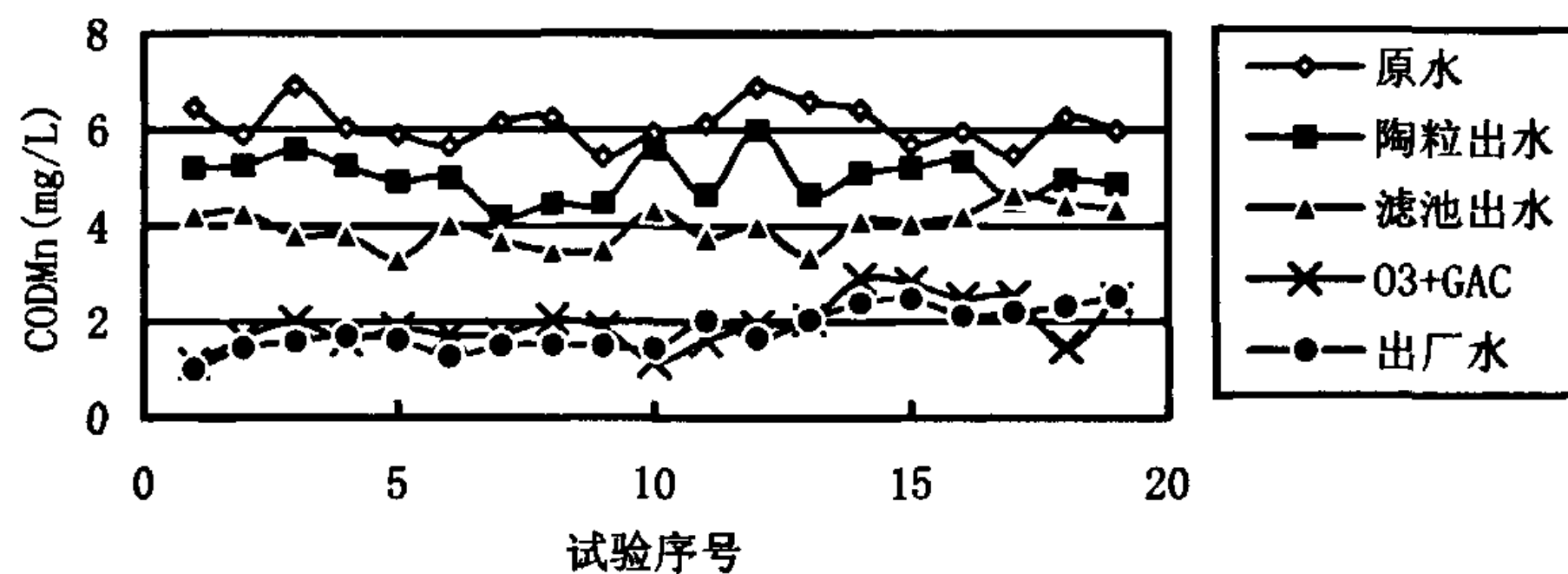


图1 各单元出水CODMn测定结果

由图 1 看出,原水 COD_{Mn} 一般在 $5.0\sim 7.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (平均为 $5.94\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$);陶粒滤池出水 COD_{Mn} 为 $4.19\sim 6.00\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (平均为 $4.85\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$),陶粒滤池对 COD_{Mn} 的平均去除率为 21.6%,由此可知,针对试验原水水质,生物陶粒预处理是有效可行的。研究表明^[1]:当水温为 $16\sim 20^\circ\text{C}$ 时,生物陶粒对 COD_{Mn} 的去除率为 20%~35%,平均去除率为 25%。由表 2 还可知,生物陶粒预处理对 UV_{254} 的去除率只有 7.9%,这是因为 UV_{254} 代表了含有芳香环结构或双键结构的有机物,不易被陶粒上的生物膜降解,因而对此类有机物的去除率较低。混凝、沉淀、过滤对 COD_{Mn} 的去除率为 22.3%,对 UV_{254} 的去除率为 51%,这主要是常规处理可将大分子量有机物比较有效地去除。 O_3 +GAC 对 COD_{Mn} 的平均去除率为 49.8%,对 UV_{254} 的去除率为 60.8%,其主要原因是臭氧的强氧化作用可以将大分子有机物变成小分子有机物,并对有机物的—C=C—及苯环均有破坏力,使有机物的芳香性降低或消失^[2],而且,GAC 易于吸附苯类化合物和小分子量腐殖质,对分子量在 500~1000 的腐殖质可吸附面积达 GAC 吸附面积的 25%^[3]。这表明 GAC 对疏水性、紫外吸收强的有机物吸附能力强,同时 GAC 表面的生物膜可以降解分子量为 500 以下的有机物,胞外酶还可以降解较大分子量的有机物,因此, O_3 +GAC 对 COD_{Mn} 和 UV_{254} 均有较高的去除率。GAC 出水经加氯消毒后出水的 COD_{Mn} 为 $1.01\sim 2.52\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,加氯对 COD_{Mn} 的平均去除率为 5.4%,对 UV_{254} 的去除率为 5.2%,这是因为氯的强氧化作用使得 COD_{Mn} 和 UV_{254} 又有少量的去除。

3.2 组合工艺各单元对 AOC 的去除

AOC (Assimilable Organism Carbon) 是生物可同化有机碳,是目前国际上判断饮用水生物稳定性的一项指标,在不加氯的情况下 $AOC < 10\sim 20\mu\text{g}$ 乙酸碳/L 或加氯的情况下 $AOC < 50\sim 100\mu\text{g}$ 乙酸碳/L 的水为生物稳定的饮用水^[4]。水样 AOC 测定结果见表 3。

表 3 水样 AOC 测定结果* (μg 乙酸碳/L)

水样	原水	陶粒池出水	滤池出水	O_3 +GAC	出厂水
P17	99	66	256	77	112
NOX	520	220	180	20	34
AOC_T	619	286	436	97	146

*括号内数据为各单元对 AOC_T 去除率。

由表 3 可知, 原水 AOC 浓度高达 $619\mu\text{g}$ 乙酸碳/L, 董秉直等人的研究表明^[5], 黄浦江水中的溶解性有机物主要为小分子量有机物所组成, 这是受湖泊水质的影响。陶粒滤池对 AOC 的 2 种组分均有较好的去除, 总去除率为 54%; 陶粒滤池出水经加矾、机械反应、沉淀、过滤后水中 AOC 升高了 53.5%, 据资料显示, 生物陶粒单元出水中相对分子量在 $500\sim 3000$ 及 $10000\sim 0.45\mu\text{m}$ 的有机物增加, 这是因为附着于陶粒上的微生物可将小分子有机物质同化成大分子细胞物质, 从而使小分子有机物减少, 同时, 微生物分泌的胞外大分子物质及细胞死亡解体后进入水中的细胞物质等, 都有可能造成水中大分子有机物增加。并且, 陶粒滤池出水经常规处理后使相对分子质量在 $500\sim 3000$ 区间的有机物又有所增加, 这可能是由于混凝剂中的金属离子与水中富里酸等形成更稳定的络合物, 从而减弱了富里酸与一些小分子有机物的结合力, 使小分子有机物得以释放, 因而使其浓度增加, 这可能就是双层滤池出水 AOC 升高的原因; O_3+GAC 对 AOC 去除率高达 77.8%, 这一方面是 O_3 的强氧化作用将大分子有机物变成小分子有机物, 同时 GAC 易于吸附相对分子质量为 $500\sim 3000$ 的有机物, 以及 GAC 表面生物膜可以降解分子量为 500 以下的有机物, 所以 O_3+GAC 联用可使 AOC 的去除率高达 77%; GAC 出水经加氯后 AOC 又升高 44.6%, 原因是氯的强氧化作用把前面单元未被去除的有机物转化成了微生物易利用的基质, 因而使 AOC 升高。

3. 结论

(1) 生物陶粒预处理对 TOC、 UV_{254} 、 COD_{Mn} 和 AOC 的去除率分别为 25.4%、7.9%、21.6%、54%, 针对试验原水水质, 陶粒滤池预处理非常有效地减小了后续单元的负担。

(2) 混凝、沉淀、过滤对有机污染物有一定的去除, 对 TOC、 UV_{254} 、 COD_{Mn} 的去除率分别为 9.51%、22.3%, 但不能确保饮用水的生物稳定性。

(3) 臭氧—GAC 单元中, 臭氧氧化可以将大分子有机物变成小分子有机物, 一方面提高了有机物的可生化性, 另一方面有利于 GAC 对有机物的吸附, 所以, 二者联用可以更有效地发挥各自的优势, 对有机污染物的去除效果更显著。

参考文献:

- [1] 戴之荷. 受污染水处理技术在我国的应用[J]. 给水排水, 2002, 28 (1): 8~12
- [2] 吴红伟, 刘文君, 王占生. 臭氧组合工艺去除饮用水源水中有机物的效果[J]. 环境科学, 2000, 21 (4): 29~33
- [3] Summers, R. S., et al. Activated Carbon. Adsorption of Humic Substances. *J. Colloid Interface Science*. 1988, 122(2): 367~381
- [4] Lechevallier, M. W., et al. Development of a Rapid Assimilable Organic Method for Water. *App. Envir. Micro*, 1993, 59(5): 1526~1531
- [5] 董秉直, 曹达文, 范瑾初, 等. 黄浦江水源水的溶解性有机物分子量分布变化的特点[J]. 环境科学学报, 2001, 21 (5): 553~556
- [6] Lori, A. C., et al. Ozonation and BDOC removal effect on water quality. *J. AWWA*, 1997, 89(2): 84~97

电话: 13192885900 0751-8138809

E-mail: pdllz@163.com