

不同水处理工艺对地表水中 AOC 的去除效果

李灵芝^{1,2} 余国忠³ 王占生¹

(1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 河南省平顶山师专化学系, 平顶山 467002;

3. 信阳师范学院城市与环境科学系, 信阳 464000)

摘要 研究了以 A 江水、B 河水为原水的常规处理工艺和以 C 湖水为原水的两种深度处理工艺对有机污染物的去除效果。对水样的 AOC、TOC 和 UV_{254} 进行了分析, 结果表明, 4 个工艺对 AOC 的去除率分别是 63.6%、-97.9%、84.2% 和 94.7%; 对 TOC 的去除率分别是 61%、6.6%、66.7% 和 75%; 对 UV_{254} 的去除率分别是 17.9%、25.6%、83.3% 和 95.1%, 与深度处理工艺相比, 常规处理工艺不能保证饮用水的生物稳定性。

关键词 有机污染物 深度水处理 常规水处理 可同化有机碳

Removal of assimilable organic carbon from surface water by water treatment processes

Li Lingzhi^{1,2} Yu Guozhong³ Wang Zhansheng¹

(1. Department of Environmental Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084;

2. Department of Chemistry, Pingdingshan Teachers College, Pingdingshan 467002;

3. Department of City & Environmental Science, Xinyang Teachers College, Xinyang 464000)

Abstract The effects of two conventional drinking water treatment processes treating A and B river water supplies respectively and two advanced processes treating C lake water supply on removal of AOC, TOC and UV_{254} have been investigated. The results show that the four processes had gained AOC removal by 63.6%, -97.9%, 84.2%, 94.7%, TOC removal by 61%, 6.6%, 66.7%, 75%, UV_{254} removal by 17.9%, 25.6%, 83.3%, 95.1%, respectively. This indicated that the applied advanced processes had kept the drinking water bio-stable and conventional processes might not be ensured enough.

Key words organic pollutants; advanced water treatment; conventional water treatment; assimilable organic carbon (AOC)

近年来,我国大部分地表水源水受到了不同程度的污染,水处理工艺已不能保证生产合格饮用水的要求,对人体健康带来潜在危害。根据我国对供水量占全国 42.44% 的 36 个城市的调查,出厂水平均浊度 1.3 度,管网水浊度升到 1.6 度,色度由 5.2 度上升到 6.7 度,细菌总数由 6.6 个/L 上升到 29.2 个/L^[1]。因此,有必要对饮用水中的生物稳定性进行研究。本文以 3 个城市的 4 种水处理工艺(原水分别为 A 江水、B 河水、C 湖水)为研究对象,考察了各工艺对原水中 AOC、TOC 和 UV_{254} 的去除效果,为水厂改进水处理工艺提供依据。

可生物同化有机碳(assimilable organic carbon, AOC)是有机物中最易被微生物合成菌体的、支持异养细菌生长繁殖最好的营养基质。国外普遍采用 AOC 作为反映饮用水生物稳定性的替代参数,水中 AOC 的浓度可反映水中细菌生长的限制性营养水平,可以鉴定饮用水的生物稳定性。一般认为^[2],在保持适量余氯的条件下,出厂水 AOC 浓度在 50—

100 μg 乙酸碳/L 或不加氯时保持在 10—20 μg 乙酸碳/L 时可达水质生物稳定性(即不会引起细菌在其中生长)。生物不稳定的饮用水会使细菌在管网中重新生长,使用户水的色度和浊度上升,细菌数增加,导致水质二次污染,因此,应该尽量减少出厂水中的 AOC。

1 水处理工艺

工艺 1(常规工艺): A 江水→混凝/沉淀→过滤→加氯→出厂水。

工艺 2(常规工艺): B 河水→混凝/沉淀→过滤→加氯→出厂水。

工艺 3(深度处理工艺): C 湖水→生物陶粒→混凝/沉淀→过滤→臭氧→活性炭→加氯→出厂水。

收稿日期: 2002-09-20; 修订日期: 2003-05-19

作者简介: 李灵芝(1962~), 女, 副教授, 主要从事微污染源净化处理技术的研究, 发表论文 20 余篇。

工艺 4(深度处理工艺):C 湖水→(预臭氧)→生物陶粒→混凝/沉淀→过滤→臭氧→活性炭→加氯→出厂水。

2 AOC 测定方法

AOC 的测定方法由荷兰的 Van der Kooij 博士首创^[3],它以饮用水中普遍存在的荧光假单胞菌(P17)和一种螺旋菌 NOX 为测试菌。因此实验结果为二者之和。

$$\text{AOC} = \left[\frac{\text{P17}(\text{cfu/mL}) - \text{空白对照}(\text{cfu/mL})}{\text{P17 产率系数}(\text{cfu}/\mu\text{g})} + \frac{\text{NOX}(\text{cfu/mL}) - \text{空白对照}(\text{cfu/mL})}{\text{NOX 产率系数}(\text{cfu}/\mu\text{g})} \right] \times 1000$$

式中:cfu/mL:菌落数/毫升;cfu/ μg :菌落数/微克乙酸碳。

3 水样分析项目及方法

TOC:采用岛津 TOC-5000 总有机碳分析仪测定;

UV₂₅₄:采用岛津 UV-2501PC 分光光度仪测定;

AOC:采用荷兰 Van der Kooij 建立的后经清华大学改进的 AOC 试验方法。

4 试验结果及讨论

4.1 各工艺对原水中 AOC 的去除情况

各水样 AOC 试验结果见表 1。由表 1 看出,A 江水中 AOC 浓度为 843.4 μg 乙酸碳/L,且主要成分是 P17(占 AOC 的 98.6%),出厂水中 P17 浓度降为 294 μg 乙酸碳/L(去除率为 64.7%),而 NOX 的浓度略有升高,这是因为加氯消毒时氯与水中的有机物反应生成的消毒副产物有一些是 NOX 菌株可以利用的基质。从对 P17 组分的去除(去除率为 64.7%)来看,出厂水仍含有 294 μg 乙酸碳/L 的 P17,还远未达到安全饮用水标准。说明常规处理有一定的局限性,虽然混凝/沉淀对去除悬浮物、胶体物质很有效,但对溶解性有机物的去除效果却不佳。

B 河水中 AOC 浓度只有 42.6 μg 乙酸碳/L,说明原水受到的有机物污染较轻,但经常规处理后,AOC-P17 和 NOX 的浓度均有升高,尤其是 P17 增加了 1.39 倍。研究认为,常规的混凝和沉淀处理主要是去除分子量大于 1 万的有机物,对分子量小于 3000 的有机物几乎无法去除甚至有所增加^[5]。这说明 B 河水中分子量大于 1 万的有机物较少,常规工艺对这部分有机物的去除效果不显著,同时也说明,原水中分子量为 3000—10 000 的有机物含量较大,经常规处理后转变成了分子量小于 3000 的小分子有机物,而构成 AOC 组分的有机物均是小分子量有机物,所以这些小分子量有机物的增加,是导致 AOC 升高的一个主要原因。另外,加氯消毒时又把一些有机物氧化成了 AOC 的组分,因此,B 河水经常规处理后 AOC 浓度大幅度升高。建议该水厂进一步改进处理工艺,提高对小分子量有机物的去除和有效控制在污水处理工程中新产生的小分子量(小于 3000)有机物的量,控制出厂水中 AOC 的浓度。

C 湖水中 AOC 浓度为 253 μg 乙酸碳/L,工艺 3 对 AOC 的去除率为 84.2%。据资料报道^[6],生物陶粒单元对分子量在 3000—10 000 及小于 500 的有机物去除率分别是 18.7% 和 35.4%,可以有效减少后续单元的负担。臭氧可以把原水中所含的不易被 GAC 吸收的高分子腐殖质和富里酸氧化成易被 GAC 吸收的小分子物质,这可以提高 GAC 对有机物的去除效果^[7]。另有研究表明,活性炭易去除分子量在 1000 以下的低极性有机物^[8]。同时,臭氧也会把一些有机物分子“无机化”,因此,工艺 3 的深度处理工艺对 AOC 的去除率(88.1%)比工艺 1 和工艺 2 高。

工艺 4 对 C 湖水中 AOC 的去除率高达 94.7%。这是因为工艺 4 与工艺 3 相比,在生物陶粒之前又增加了预臭氧处理单元,臭氧是一种氧化剂,容易与

表 1 水样中 AOC 的测量结果

Table 1 The measured results of AOC in water samples

(单位: μg 乙酸碳/L)

AOC	工艺 1		工艺 2		工艺 3		工艺 4	
	A 江水	出厂水	B 河水	出厂水	C 湖水	出厂水	C 湖水	出厂水
AOC-P17	832	294	29	69.3	216	20	216	4.3
AOC-NOX	11.4	13.6	13.6	15	37	10	37	9.2
AOC _T	843.4	307	42.6	84.3	253	30	253	13.5

注: AOC_T 指 AOC 总浓度

表 2 各水样中 TOC 和 UV₂₅₄ 的测定结果Table 2 The measured results of TOC and UV₂₅₄ in water samples

项 目	工艺 1		工艺 2		工艺 3		工艺 4	
	A 江水	出厂水	B 河水	出厂水	C 湖水	出厂水	C 湖水	出厂水
TOC(mg/L)	6.273	2.45	3.03	2.83	4.09	1.36	4.09	1.02
去除率(%)	—	61	—	6.6	—	66.7	—	75
UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.084	0.069	0.086	0.064	0.041	0.011	0.041	0.002
去除率(%)	—	17.9	—	25.6	—	73.1	—	95.1

水中有机物的 $-C=C-$ 反应,结果通常是使有机物分子量变小,芳香性消失,极性增强^[9]。在工艺 4 中,预臭氧的浓度为 1 mg/L,只能氧化部分有机物,生成醛、酮、羧酸等中间产物,这些物质是细菌极易利用的^[10],因此预臭氧氧化提高了水的可生化性。所以经过预臭氧氧化后,生物陶粒对有机物的去除作用就得到进一步增强。虽然在本研究试验条件下,后臭氧还没能完全把残余的有机物“无机化”,但它又把一部分有机物氧化成小分子有机物,有利于后续的 GAC 单元的吸附,所以工艺 4 对 AOC 的去除效果最佳。

4.2 各工艺对 TOC 和 UV₂₅₄ 的去除情况

水样中 TOC 和 UV₂₅₄ 的测定结果见表 2。由表 2 可知,A 江水 TOC 高达 6.273 mg/L,工艺 1 对 TOC 的去除率为 61%,说明 A 江水中所含的 TOC 是比较有利于常规工艺去除的大分子有机物。B 河水中 TOC 的浓度仅为 3.03 mg/L,工艺 2 对 TOC 去除率只有 6.6%,原因之一可能是由于原水中 TOC 浓度相对较低,使得去除效果不明显;另一个原因是 B 河水中所含的主要是小分子有机物,不利于常规工艺的去除。C 湖水中 TOC 为 4.09 mg/L,工艺 3 的深度处理对 TOC 的去除率为 66.7%,明显高于前 2 个常规工艺的去除率。工艺 4 的深度处理对 TOC 的去除率高达 75%,居 4 种处理工艺之首。

工艺 1、工艺 2 对应的原水 UV₂₅₄ 值虽然接近(0.084、0.086),但原水中所含的有机物成分却不,所以,同样是常规处理,对 UV₂₅₄ 的去除率分别为 17.9%和 25.6%,这说明 B 河水中的大分子有机物中 UV₂₅₄ 占的比例较大,比较有利于常规工艺的去除。工艺 3 和工艺 4 对 UV₂₅₄ 的去除率分别为 73.1%和 95.1%,说明深度处理工艺对 UV₂₅₄ 的去除效率远远高于常规处理的去除效率,而且,增加了预臭氧的工艺 4 的去除效果明显优于工艺 3。

5 结 论

(1) A 江水中 AOC 浓度为 843.4 μg 乙酸碳/L,工艺 1 对 AOC 的去除率为 63.5%,但由于原水中 AOC 浓度较高,出厂水仍属于生物不稳定饮用水。因此,单纯的常规处理不能提供生物稳定性较好的饮用水。

(2) B 河水中 AOC 只有 42.6 μg 乙酸碳/L,经工艺 2 的常规处理后 AOC 增加 97.8%,这无疑是因为加氯消毒时把一部分有机污染物转化成了 AOC 可利用的基质。

(3) C 湖水 AOC 浓度为 253 μg 乙酸碳/L,工艺 3 的深度处理对 AOC 的去除率为 88.1%,而工艺 4 对 AOC 的去除率为 94.7%,使出水 AOC 浓度降至 13.5 μg 乙酸碳/L,完全符合饮用水生物稳定性标准。

参 考 文 献

- [1] 刘文君. 饮用水消毒副产物和生物稳定性的研究. 清华大学[博士学位论文], 1999
- [2] Lechevallier, M. W., et al. Development of a rapid assimilable organic method for water. App. Envir. Micro., 1993, 59(5): 1526—1531
- [3] Van Der Kooij, et al. Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water. J. AWWA, 1982, 74(10): 540—545
- [4] 吴红伟. 净水工艺对 AOC 的去除及管网的影响研究. 清华大学[博士学位论文], 2000
- [5] 周立红, 张淑琪, 韩飞, 等. 不同组合净水工艺对水中致突变物的去除. 环境科学, 1999, 20(1): 43—46
- [6] 王志飞, 胡海修. 饮用水中的天然有机物去除方法探讨. 净水技术, 2002, 21(1): 10—12
- [7] 马峥, 张振良, 于惠芳. 活性炭对水中有机物去除效果研究. 环境保护, 1999, 20(5): 41—44
- [8] Yasushi Takeuchi, et al. Removal of organic substances from water by ozone treatment followed by biological activated carbon treatment. Wat. Sci. Tech., 1997, 35(7): 171—178
- [9] Gagnon, G. A., Booth, S. D. J., et al. Carboxylic acids: formation and removal in full-scale plants. J. AWWA, 1997, 89(8): 84—97

(责任编辑: 郑晓梅)