

提供生物稳定饮用水的最佳工艺*

吴红伟, 刘文君, 张淑琪, 王占生(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084, E-mail: whongwei@263.net)

摘要: 研究由预处理、常规处理和深度处理组合而成的 7 种不同工艺对饮用水源水中可生物同化有机碳(AOC)的去除效果。试验表明: 生物陶粒预处理对 AOC 具有较高的去除率, 达到 45% 左右, 如果在它之前先经过预臭氧化, 生物处理的去除率可增大到 58.4%; 常规处理对 AOC 的去除非常有限, 去除率平均在 20% 左右; 新活性炭单元因其吸附作用对 AOC 的去除效果稳定在 30% 左右, 如和臭氧氧化连用, 去除效果能提高到 50% 以上; 包括了常规处理、生物预处理、预臭氧和臭氧活性炭的组合工艺对 AOC 的去除效果最好, 达到 86%。因此臭氧氧化、生物炭和生物处理是提高饮用水生物稳定性的重要手段, 并以本试验结果为依据提出了对于不同的水源水所采用的最佳工艺。

关键词: AOC, 生物稳定性, 可生物同化有机碳, 组合工艺。

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)03-0064-04

The Optimal Process Providing Biologically Stable Drinking Water*

Wu Hongwei, Liu Wenjun, Zhang Shuqi, Wang Zhansheng(Dept. of Environmental Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China E-mail: whongwei@263.net)

Abstract: Removal efficiency of AOC in drinking water source by seven different kinds of processes composed of pre-treatment, conventional treatment or advanced treatment were studied in this paper. Results showed that the pre-treatment of biological ceramic had a high removal of AOC, AOC was reduced about 45% after biodegradation and 58.4% when pre-ozonation preceded biological treatment; conventional treatment resulted in an about 20% limited decrease in AOC; removal of AOC was steadily about 30% because of the adsorption of the new active carbon and enhanced to above 50% when active carbon plus post-ozonation; combined processes including conventional treatment, biological pre-treatment, pre-ozonation and biological active carbon had the best removal efficiency of AOC by 86%. So, ozonation, biological active carbon and biological treatment were the important ways to improve the biostability of drinking water. The optimal processes aimed at different water sources were put forward based on this test.

Keywords: AOC, biological stability, assimilable organic carbon, combined processes.

生物稳定的饮用水是指在配水系统中不会引起大肠杆菌等异养菌再生长的饮用水。目前, 国际上大都采用测定 AOC 即生物可同化有机碳来判定水的生物稳定性。由于出厂水中往往含有较高浓度的 AOC, 使出厂水中未被消毒杀死的细菌重新在管网中生长(Regrowth 或 aftergrowth), 部分细菌随机附着在管壁上, 利用营养基质生长而形成的生物膜可能成为细菌生长的基地, 管壁腐蚀和结垢的诱因^[1]。生物膜的老化脱落会造成用户水质恶化, 色度和浊度上升^[2], 管壁结垢和腐蚀会降低管网的输水能力, 二级泵站动力消耗增加以及爆管等。因此, 生物不稳定的饮用水将给管网和管网水质带来严重

影响。解决这一问题的根本方法是使 AOC 在水处理工艺中大大降低, 保证出厂水的生物稳定性。本研究的目的是探索去除水中可生物同化有机碳的最佳处理工艺流程, 减少出厂水中 AOC 含量。

1 试验装置和研究方法

1.1 试验装置及参数

为了研究不同净水工艺对水中可同化有机

* 国家自然科学基金项目(Project Supported by the National Natural Science Foundation of China): 59878024 和北京市科委基金资助项目

作者简介: 吴红伟(1971-), 女, 博士研究生。

收稿日期: 1999-05-22

碳的去除效果,在颐和园团城湖内安装了一套小试装置,采用了生物预处理+ 常规工艺+ 深度处理工艺组合(见图 1). 设计参数见表 1.

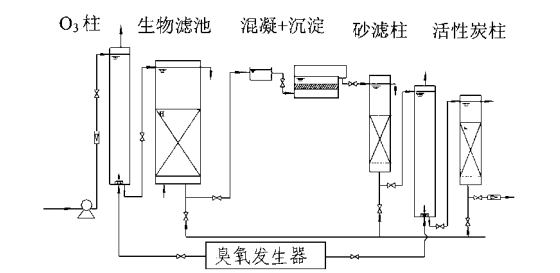


图 1 试验工艺流程

运行中主要对以下几种组合工艺进行相关试验:

- 组合工艺 1: 原水→ 混凝/沉淀→ 砂滤→ 出水
- 组合工艺 2: 原水→ 混凝/沉淀→ 砂滤→ 活性炭→ 出水
- 组合工艺 3: 原水→ 生物陶粒→ 沉淀→ 砂滤→ 出水
- 组合工艺 4: 原水→ 生物陶粒→ 沉淀→ 砂滤→ 活性炭→ 出水
- 组合工艺 5: 原水→ 生物陶粒→ 混凝/沉淀→ 砂滤→ 出水

表 1 各装置的设计参数

处理单元	尺寸 D× H/mm	填料高度/mm	填料粒径/mm	停留时间/min	滤速/m· h ⁻¹	气水比
臭氧柱	100× 3000			18		
生物陶粒柱	150× 2800	1500	2~ 5	22. 5	4	1: 1
混凝	150× 100			1		
沉淀	800× 250× 800			150		
砂滤	100× 1900	800	1~ 1. 5		10	
活性炭	100× 2800	1500	1~ 2	9	10	

组合工艺 6: 原水→ 生物陶粒→ 混凝/沉淀→ 砂滤→ 活性炭→ 出水

组合工艺 7: 原水→ 预臭氧→ 生物陶粒→ 混凝/沉淀→ 砂滤→ 后臭氧→ 活性炭→ 出水

1. 2 研究方法

通过测定各个组合工艺对水源水中 AOC 的去除效率,评价不同组合工艺对有机营养物的去除能力,并以此作为选择提高饮用水生物稳定性最佳工艺的依据. AOC 的测定方法是以饮用水中普遍存在的荧光假单胞菌 P17(Fluorescent Pseudomonads)和一种螺旋菌 NOX 为测试菌,以乙酸钠作为标准基质,对生长到静止期时的细菌进行平板计数,根据不同乙酸钠浓度和在此浓度下 2 种菌达到生长静止期的数量作标准曲线,求出其生长因子. 然后再根据待测水样中接种的 P17 和 NOX 生长菌落数和生长因子求出 AOC 浓度^[3]. 美国和荷兰学者通过监测配水管网中 AOC 的浓度和异养菌、大肠菌群

中,当 AOC 小于 10~ 20μg/L 时,异养菌的生长会受到限制,而在氯化消毒的饮用水中,当 AOC 小于 50~ 100μg/L 时,大肠菌群过量的问题就可以得到控制,因此他们认为^[4]: 在没有加氯的情况下,AOC< 乙酸碳 10~ 20μg/L 的饮用水为生物稳定的水;在加氯的情况下,AOC< 乙酸碳 50~ 100μg/L 的水为生物稳定的饮用水.

2 试验结果和讨论

2. 1 各组合工艺对 AOC 的去除率

AOC 的测试结果和各组合工艺对 AOC 的去除率见表 2.

表 2 表明: 原水 AOC 的主要成分为 AOC-P17,不同季节 AOC-P17 的变化较大,而 AOC-NOX 占的组分较少,且变化不大. AOC 值在秋天最高,达 542μg/L,夏天为 218μg/L,可能与夏天排水量大和湖水稀释有关,与团城湖中细菌活动也有关系,因为夏天水温高,细菌活动较强,导致 AOC 被消耗,也有可能是秋天这段时

间内湖水或其源水受到了污染. 在原水 AOC 浓度相对不是很高时, 常规处理出水 AOC 为 $155\mu\text{g/L}$, 考虑到出水经加氯后 AOC 还会有较多增加, 因此单纯常规处理出水不能提供生物稳定性较好的饮用水. 如果常规处理后加上活性炭处理可使出水 AOC 降低至 $117\mu\text{g/L}$, 但仍达不到 $100\mu\text{g/L}$ 的控制标准. 但是如果工艺中有生物处理单元, 则可以提高对 AOC 的去除,

即使水源水中 AOC 含量高, 仍可使出水 AOC 降低至较低水平. 工艺 7 由于处理单元较完整, 包括了常规处理、生物预处理、预臭氧和臭氧活性炭, 对 AOC 有很好的去除率, 因此在水源水 AOC 高达 $542\mu\text{g/L}$ 的情况下整个工艺的出水低至 $77\mu\text{g/L}$, 适当加氯后有可能低于 $100\mu\text{g/L}$, 达到生物稳定饮用水标准.

从各工艺对 AOC 去除效率来看, 常规处

表 2 各组合工艺及处理单元出水的 AOC 值¹⁾/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

组合工艺	指标	原水	预臭氧出水	生物陶粒出水	沉淀出水	砂滤出水	后臭氧出水	活性炭出水	总去除率/%
1	AOC-P17	182			123(32.4)	118(4.1)			35.2
	AOC-NOX	36			27(25.0)	37(- 37.0)			- 2.8
	AOC	218			150(31.2)	155(- 3.3)			28.9
2	AOC-P17	182			123(32.4)	118(4.1)		99(16.1)	45.6
	AOC-NIX	36			27(25.0)	37(- 37.0)		18(51.3)	50.0
	AOC	218			150(31.2)	155(- 3.3)		117(24.5)	46.3
3	AOC-P17	338		185(45.3)		176(4.9)			47.9
	AOC-NOX	39		24(38.5)		20(16.7)			48.7
	AOC	377		209(44.6)		196(6.2)			48.0
4	AOC-P17	338		185(45.3)		176(4.9)		149(15.3)	55.9
	AOC-NOX	39		24(38.5)		20(16.7)		3(85.0)	92.3
	AOC	377		209(44.6)		196(6.2)		152(17.4)	59.7
5	AOC-P17	378		223(41.0)	209(6.3)	185(11.5)			51.0
	AOC-NOX	162		70(56.8)	64(8.6)	58(9.4)			64.2
	AOC	540		293(45.7)	273(6.8)	243(11.0)			55.0
6	AOC-P17	378		223(41.0)	209(6.3)	185(11.5)		122(34.1)	67.7
	AOC-NOX	162		70(56.8)	64(8.6)	58(9.4)		40(31.0)	75.3
	AOC	540		293(45.7)	273(6.8)	243(11.0)		162(33.3)	70.0
7	AOC-P17	505	458(9.3)	215(53.1)	193(10.2)	128(33.7)	159(- 24.2)	65(59.1)	87.1
	AOC-NOX	37	223(- 502.7)	68(69.5)	43(36.8)	31(27.9)	73(- 135.5)	12(83.6)	67.6
	AOC	542	681(- 25.6)	283(58.4)	236(16.6)	159(32.6)	232(- 45.9)	77(66.8)	85.8

1) 括号内数据是各处理单元对 AOC 的去除率/%

理对 AOC 的去除率最低, 低于 30%; 常规处理加活性炭对 AOC 的去除率可达 45% 左右, 比单纯常规处理提高了 15% 左右; 生物处理加砂滤(省去混凝处理)对 AOC 的去除可达 48%, 与常规处理和活性炭组合工艺差不多; 生物处理加常规处理对 AOC 去除率为 55%, 若再加活性炭处理则可达 70%; 组合工艺 7 对 AOC 的去除率最大, 达到了 85.8%. 因此可以说明生物处理是去除 AOC 的最佳处理单元, 各组合工艺对 AOC 的去除率随着生物陶粒单元和活性炭单元以及臭氧单元的加入而逐渐增大.

2.2 各处理单元对 AOC 的去除能力分析

(1) 臭氧是一种氧化剂, 容易与水中有机物的 —C=C— 双键反应, 它与有机物反应的结果通常是使有机物的分子量变小, 芳香性消失, 极性增强. 在本试验中, 预臭氧投加量为 1 mg/L , 只能部分氧化有机物, 生成醛, 酮, 酸等中间产物, 这些物质是细菌极易利用的, 因此预臭氧氧化使原水的 AOC 增大了, 但对于 AOC 的 2 组分 AOC-P17 和 AOC-NOX 情况却不一样. 预臭氧氧化使 AOC-NOX 增大了很多, 这主要是因为预臭氧部分氧化有机物的中间产物多是螺旋菌 NOX 可利用的物质^[5]. 而预臭氧氧化后 AOC-P17 反而降低, 可能是部分 P17 菌利用的

营养基质被氧化,也可能由于 NOX 菌的营养基质增加,增强了 NOX 对这 2 种菌种交叉利用的营养物的竞争能力,使 AOC-P17 的值下降。

(2)在没有预臭氧氧化的情况下,生物陶粒对 AOC 的去除大约在 45% 左右,但经过预臭氧氧化后,去除率增大到了 58.4%,很明显这主要是因为预臭氧氧化提高了水的可生化性,且因为 AOC-NOX 增大的多,对它的去除也比对 AOC-P17 的好。生物陶粒是通过微生物的氧化和吸附作用去除有机物的,而 AOC 是有机物中最易被细菌吸收、直接同化成细菌体的部分,它可以通过微生物的同化作用得到去除,因此不难理解生物陶粒在一般情况下对 AOC 的去除就比较有效,而一旦经过了预臭氧氧化,它的作用就得到了进一步的增强。

(3)常规处理对 AOC 的去除波动较大,平均大约在 20% 左右。Huck P M^[6]对某水厂水源水的研究表明:混凝沉淀对 AOC 的去除率为 0%~80%,平均去除率 38%,波动也较大。这可能是由于混凝剂容易与大分子的腐殖质螯合,而不容易与小分子的有机物结合,因此混凝沉淀对去除悬浮物、胶体物质很有效,但对有机物的去除效果则不佳。砂滤有时会使 AOC 增大,原因不清楚。

(4)后臭氧氧化的投加量为 2mg/L,它和预臭氧氧化一样,也使 AOC 增大了许多。虽然,有机物在经过前面的几步处理后已减低了很多,但 2mg/L 的臭氧量仍没有全部氧化残存的有机物,因此部分氧化有机物生成的中间产物的一部分就够成了 AOC,并使之增大了。

(5)活性炭对 AOC 的去除有一定效果,但总的来说不如生物陶粒好,而且它对 AOC-NOX 的去除普遍要比对 AOC-P17 的高。这主要是因为活性炭运行时间不够,没有形成丰富的生物膜,它在这里发挥的作用主要是物理吸附,而没有生物作用,因此活性炭的作用没有得到大的发挥;同时也说明活性炭对 AOC-NOX 的去除主要靠吸附作用,而对 AOC-P17 的去

除主要靠生物作用。如果活性炭运行足够长的时间,形成生物碳时,它对 AOC 的去除必然会提高很多。表 2 中,虽然没有一个工艺使出水达到生物稳定,但如果活性炭上附着了微生物,发挥微生物的降解作用,组合工艺 2、4、6、7 的出水很可能达到生物稳定。

3 结论

(1)生物陶粒单元由于其很好的生物降解功能,对 AOC 的去除效果良好,它是获得生物稳定的饮用水的必要手段。

(2)生物炭单元因其很好的吸附作用和其上面附着的生物膜的降解作用,已成为去除水中 AOC 的有力手段。

(3)对 AOC 较低(200 μ g/L 左右)的水源水,采用常规工艺结合生物活性炭或生物处理单元有可能获得生物稳定的出水。

(4)对 AOC 较高(350 μ g/L 左右)的水源水,采用生物预处理、常规处理和生物活性炭的组合工艺,可获得生物稳定的出水。

(5)对 AOC 偏高(540 μ g/L 左右)的水源水,采用常规工艺结合臭氧、活性炭和生物处理单元,可获得生物稳定的出水。

参考文献

- 1 许保玖,安鼎年. 给水处理理论和设计. 北京: 中国建筑工业出版社,1992. 708.
- 2 齐宇等. 自来水输送过程中的水质变化. 给水排水技术动态,1997,(3): 52~55.
- 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 Lechevallier M W et al. Development of a Rapid Assimilable Organic Carbon Method for Water. App. Envir. Micro., 1993, 59(5): 1526~1531.
- 5 Van der Kooij et al. The effects of ozonation, biological filtration and distribution on the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water. Ozone. Sci. Engi., 1989, 11: 297~311.
- 6 Huck P M et al. Formation and removal of assimilable organic carbon during biological treatment. J. AWWA, 1991, 83(12): 69~80.