

北方某城市给水管网水质生物稳定性研究

张新瑜¹, 李秀杰², 李欣³, 王亮亮¹, 齐晶瑶¹, 袁一星¹

(1 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2 沈阳建筑大学
市政与环境工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 3 哈尔滨工业大学 应用化学系, 黑龙江
哈尔滨 150090)

摘 要: 以我国东北某市市政给水管网为研究对象, 采用 AOC 和 BDOC 指标共同评价了管网水的生物稳定性。研究表明: 管网水中 AOC 为 $39 \sim 379 \mu\text{g/L}$, BDOC 为 $0.8 \sim 2.8 \text{ mg/L}$, 属于生物略不稳定的饮用水; 随着管网的延长, 水中的 AOC 和 BDOC 浓度总体上处于降低趋势, 余氯浓度对 AOC 和 BDOC 浓度的变化均有较大影响; 冬、夏两季节, 管网水中 AOC 占 BDOC 的比例分别为 5.8% 和 6.2%。

关键词: 给水管网; 生物稳定性; 生物可同化性有机碳; 生物可降解性有机碳

中图分类号: TU991.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2008)19-0095-04

Study on Biological Stability of Water in Water Distribution System in a Northern City

ZHANG Xin-yu¹, LI Xiu-jie², LI Xin³, WANG Liang-liang¹, QI Jing-yao¹,
YUAN Yi-xing¹

(1 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology,
Harbin 150090, China; 2 School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang
Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 3 Department of Applied Chemistry, Harbin
Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: The indexes AOC and BDOC were used to evaluate the biological stability of water in water distribution system in a northeast city of China. The results show that the concentrations of AOC and BDOC are 39 to $379 \mu\text{g/L}$ and 0.8 to 2.8 mg/L in water which is biologically unstable. The concentrations of AOC and BDOC generally decline with the prolongation of water distribution system. The residual chlorine has heavy influence on AOC and BDOC. The ratio of AOC in BDOC is 5.8% and 6.2% respectively in winter and summer.

Key words: water distribution system; biological stability; assimilable organic carbon; biodegradable dissolved organic carbon

给水处理厂一般都通过加氯的方式来保持管网
末端一定的余氯量以控制细菌在管网中的生长, 但

有研究表明, 即使在管网中保持一定的余氯量, 异养
菌在有机物存在的条件下仍然会生长。饮用水的生

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2007AA06Z303); 黑龙江省自然科学基金资助项目 (ZJG0503);
哈尔滨市优秀学科带头人基金资助项目 (2007RFXS022)

物稳定性就是指饮用水中有机营养物质能支持异养菌生长的潜力,即细菌生长的最大可能性。衡量生物稳定性的指标主要有生物可同化性有机碳(AOC)和生物可降解性有机碳(BDOC)。其中BDOC是指存在于饮用水中的有机物可被细菌降解或被合成细胞体的部分,是细菌生长的物质和能量来源;AOC是指BDOC中被转化成细胞物质的那部分,是有机物中最易被细菌吸收、直接同化成细菌体的部分。

国外学者研究了饮用水处理过程中不同阶段BDOC的变化规律^[1],以及管网中BDOC与水力停留时间的关系^[2]。此外,研究者还对加氯消毒供水系统中AOC与细菌总数的关系进行了研究,发现管网水中余氯的减少导致了AOC的快速消耗和细菌的繁殖^[3,4]。国内也有人以AOC作为指标研究了管网的水质生物稳定性^[5]。具体用哪种指标来衡量水质的生物稳定性,目前国内外学术界还存在争议,有研究者(如Escobar等)认为应该将AOC和BDOC相结合来综合评价饮用水的生物稳定性^[6]。在前期工作中,笔者所在课题组研究了城市给水管网中BDOC与生物稳定性的关系^[7,8],以及不同季节供水管网中BDOC的变化规律^[9]。笔者以我国东北某市给水管网为研究对象,将AOC和BDOC指标相结合来评价管网水的生物稳定性,探讨了AOC和BDOC的关系。

1 试验方法

1.1 AOC的测定

接种 P17于水样中,当 P17达到生长稳定期后,用尼龙膜过滤水样去除 P17,将滤液接种 NOX 菌,最后将 P17细菌数转换成 AOC—乙酸碳浓度^[10]。

1.2 BDOC的测定

常规 BDOC 采用悬浮测试法测定^[11]。由于BDOC悬浮培养 28 d的测定时间太长,不能及时反映水中BDOC含量的变化,在水厂的实际应用中受到限制。笔者所在课题组的前期研究工作表明:3 d的BDOC₃占BDOC总量的40%左右,基本能代表BDOC₂₈的值。故试验中以BDOC₃代替BDOC₂₈。

1.3 余氯和细菌总数的测定

水中余氯使用 H 93701 余氯浓度比色计测定。选择 PCA 培养基,采用倾倒法测定细菌总数。

1.4 水质监测点的设置

某水厂供水能力为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,现实际供水

能力为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。在其处理工艺流程中有两个加氯点:在混合井前进行加氯预处理;滤后水加氯消毒。出厂水的余氯量控制在 $0.5 \sim 0.75 \text{ mg/L}$,混凝剂采用聚合氯化铝铁和复合铝铁。选取的采样点是水厂的出厂水(1[#])及沿供水管线设置的5个采样点(2[#]~6[#]),具体情况见图1。

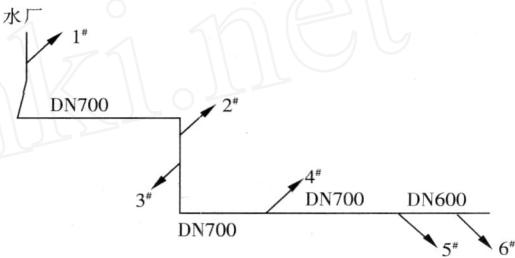


图 1 监测点的布置

Fig 1 Distribution of monitoring sites

1.5 试验时间及常规水质指标

试验时间分为两次:冬季于2月采集水样,平均水温为1;夏季于8月采集水样,平均水温为18,试验期间水厂的水质情况见表1。

表 1 试验期间水质情况

Tab 1 Characteristics of water quality during experiment

检测指标	冬季	夏季	检测指标	冬季	夏季
色度/倍	5	6	UV ₂₅₄ /cm ⁻¹	0.065	0.069
浊度/NTU	0.438	0.528	钙/(mg·L ⁻¹)	85.06	75.07
TDS/(mg·L ⁻¹)	403	397	镁/(mg·L ⁻¹)	7.60	7.30
硝酸盐/(mg·L ⁻¹)	0.294	0.513	亚硝酸盐/(mg·L ⁻¹)	<0.001	<0.001
细菌总数/(CFU·mL ⁻¹)	5	5	磷酸盐/(mg·L ⁻¹)	<0.05	<0.05

2 结果与讨论

2.1 管网水中AOC和余氯的关系

管网水中AOC浓度的变化是余氯氧化有机物和细菌消耗双重作用的结果:余氯氧化水中的有机物可引起AOC浓度的升高;微生物对其消耗则会降低AOC浓度。夏季管网水中AOC和余氯的监测结果如图2所示。

在水厂出水口到管网4.2 km的范围内,AOC浓度变化不大;在管网的4.2~7.2 km内,AOC浓度不断升高,这是因为管网中余氯的浓度仍然较高,对微生物起到了较强的抑制作用及其对有机物的氧化所致。随着余氯浓度的降低,余氯对管网水中细菌的抑制作用减弱,细菌的活动增强,对水中AOC的消耗加大,故AOC的浓度急剧降低。

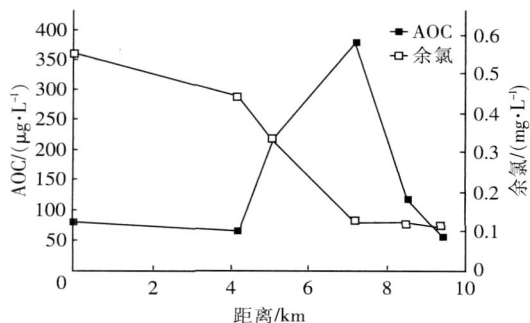


图 2 夏季管网水中 AOC和余氯的变化情况

Fig 2 Variation of AOC and residual chlorine in water in summer

冬季管网水中 AOC和余氯的变化见图 3。

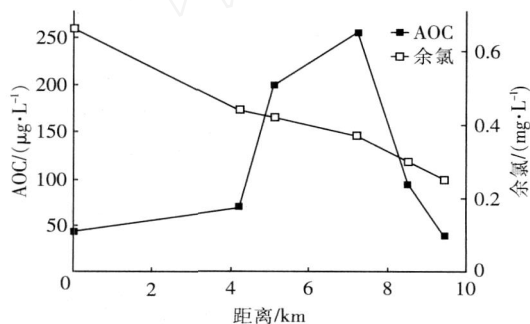


图 3 冬季管网水中 AOC和余氯的变化情况

Fig 3 Variation of AOC and residual chlorine in water in winter

由图 3可知,管网水中 AOC的变化情况也是先上升后下降。由于冬季水温较低,细菌活性受到很大程度的抑制,对 AOC的消耗较少,而氯氧化速度也相应降低,故 AOC浓度较夏季的低。

根据测定结果可知,在管网 5.1~8.5 km 的范围内 AOC浓度已经超过了我国饮用水生物稳定性的建议评价标准^[11],这区间的饮用水属于生物不稳定水质,存在异养菌再次繁殖的隐患。

2.2 管网水中 AOC和细菌总数的关系

管网水中细菌的变化趋势如图 4所示。

由图 4可知,从水厂出口到 2#监测点,由于管网水中存在着较高的余氯量,抑制了细菌的繁殖,所以细菌的数量较少。随着管网的延长,水中的有机物不断被氯氧化成 AOC,并伴随细菌的繁殖,但 AOC的生成速度大于细菌对有机物的消耗速度,故在管网一定距离内,AOC浓度和细菌总数都是增加的。在远离水厂出口的地方,余氯浓度降低的程度

加大,细菌开始大量繁殖,致使 AOC浓度大幅度降低。虽然管网水中 AOC浓度急剧降低,但其总量仍偏大,所以水中的细菌总数仍然不断升高。

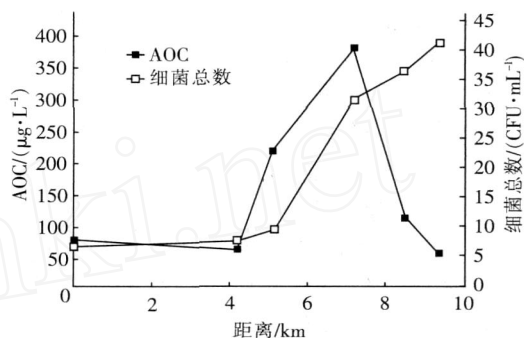
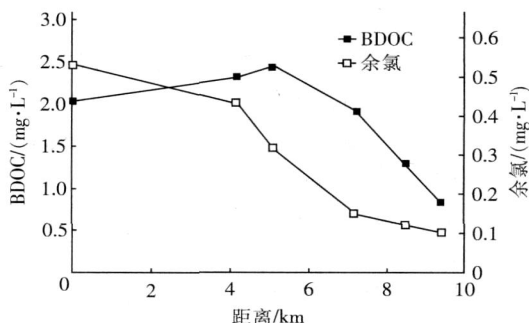


图 4 AOC与细菌总数的关系

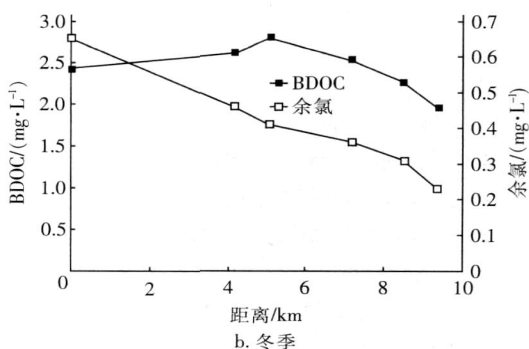
Fig 4 Relationship between AOC and total bacteria count

2.3 管网水中 BDOC和余氯的关系

BDOC和余氯的变化情况见图 5。



a. 夏季



b. 冬季

图 5 管网水中 BDOC和余氯沿管线的变化情况

Fig 5 Change of BDOC and residual chlorine in water in summer and winter

由图 5可知,从水厂出口到管网 5.1 km 之间,BDOC呈现升高的趋势,而余氯缓慢降低,这是因为在这个区间内管网水中的余氯浓度很高,微生物的活性受到一定抑制,对 BDOC的消耗较少;而余氯氧

化水中的有机物致使 BDOC 浓度升高。随着管网的延长, BDOC 和余氯浓度不断降低。由于夏季的水温较高, 余氯下降速度快, BDOC 的生成量不足以弥补微生物的消耗, 故两者均呈快速下降趋势。当余氯氧化水中有机物的反应与微生物消耗有机物的反应达到平衡后, 余氯和 BDOC 浓度保持稳定。

2.4 管网水中 AOC 与 BDOC 的相关性

AOC 和 BDOC 都是表征饮用水中可生物降解和利用有机物的替代指标, 但两者又有所区别。AOC 只是 BDOC 的一部分, 是可生物降解有机物中细菌合成细胞体的部分, 可以作为管网中细菌生长潜力的评价指标。BDOC 包括了异养菌新陈代谢所需的物质和能量的来源, 可以作为水中可生物降解有机物总量的评价指标, 夏季管网水中 AOC 的平均浓度为 $167.92 \mu\text{g/L}$, 冬季 AOC 的平均浓度为 $131.6 \mu\text{g/L}$; 夏季 BDOC 的平均浓度为 1.7 mg/L , 冬季 BDOC 的平均浓度为 2.4 mg/L 。其中夏季出厂水的 AOC/BDOC 值为 4.0% , 管网水的 AOC/BDOC 值为 6.2% ; 冬季出厂水的 AOC/BDOC 值为 2.0% , 管网水的 AOC/BDOC 值为 5.8% 。这与 Christian 等人^[12]对 10 种不同管网水进行的测定值 ($4.5\% \sim 33.2\%$) 基本一致, 与 Colin 等人^[13]研究的挪威饮用水中 AOC/BDOC 值 (5.3%) 很接近。

从 AOC 和 BDOC 的对比情况来看, AOC 的波动比 BDOC 程度大。这可能是因为 AOC 的含量相对于 BDOC 的低, 对于氯和微生物的作用比较敏感所造成的。

3 结论

以我国东北某市市政给水管网为研究对象, 监测了管网水的 AOC 和 BDOC 指标。夏季和冬季管网水中 AOC 的平均浓度分别为 $167.92 \mu\text{g/L}$ 和 $131.6 \mu\text{g/L}$; 夏季和冬季 BDOC 的平均浓度分别为 1.7 mg/L 和 2.4 mg/L (AOC 占 BDOC 的比例分别为 6.2% 和 5.8%) 属于生物略不稳定的饮用水。

BDOC 的测定方法相对于 AOC 更方便、更具实用性, 将两者结合起来研究管网饮用水生物稳定性更具可靠性。

管网水中 AOC 和 BDOC 的浓度较高, 这主要是因为出厂水中的有机物浓度高, 所以净水厂应采用相应的处理工艺来加强对有机物的去除。

参考文献:

- [1] Nishijima W, Fahmi, Mukaidani T, *et al* DOC removal by multi-stage ozonation-biological treatment [J]. *Water Res*, 2003, 37 (1): 150 - 154
- [2] Kemeis A, Nakache F, Deguin A, *et al* The effects of water residence time on the biological quality in a distribution network [J]. *Water Res*, 1995, 29 (7): 1719 - 1727.
- [3] Srinivasan S, Harrington G W. Biostability analysis for drinking water distribution systems [J]. *Water Res*, 2007, 41 (10): 2127 - 2138
- [4] Zhang Miao, Semmens M J, Schuler D, *et al* Biostability and microbiological quality in a chloraminated distribution system [J]. *J AWWA*, 2002, 94 (9): 112 - 122
- [5] 王丽花, 周鸿, 张晓健, 等. 某市饮用水生物稳定性研究 [J]. *给水排水*, 2001, 27 (12): 23 - 25
- [6] Escobar I C, Randall A A. Assimilable organic carbon (AOC) and biodegradable dissolved organic carbon (BDOC): complementary measurement [J]. *Water Res*, 2001, 35 (18): 4444 - 4454
- [7] 李欣, 袁一星, 马建薇, 等. BDOC 值对管网水生物稳定性的影响 [J]. *中国给水排水*, 2004, 20 (8): 10 - 12
- [8] 李欣, 马建薇. 生物可降解溶解性有机碳 (BDOC) 降解动力学研究 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2005, 37 (9): 1183 - 1184
- [9] 赵明, 李欣, 王静海, 等. 给水管网中可生物降解溶解性有机碳的变化 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2006, 38 (8): 1323 - 1325
- [10] Paode R D, Amy G L, Krasner S W, *et al* Predicting the formation of aldehydes and BOM [J]. *J AWWA*, 1997, 89 (6): 79 - 93
- [11] 王占生, 刘文君. 微污染源饮用水处理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999
- [12] Volk C, Bell K, Ibrahim E, *et al* Impact of enhanced and optimized coagulation on removal of organic matter and its biodegradable fraction in drinking water [J]. *Water Res*, 2000, 34 (12): 3247 - 3257.
- [13] Chamock C, Kjønnø O. Assimilable organic carbon and biodegradable dissolved organic carbon in Norwegian raw and drinking waters [J]. *Water Res*, 2000, 34 (10): 2629 - 2642

E-mail: newfish1976@163.com

收稿日期: 2008 - 03 - 11