

东北小区管网水生物稳定性及影响因素

张新瑜^{1,2}, 俎倩¹, 李欣³, 袁一星¹

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090, newfish1976@163.com; 2. 济南大学 土木建筑学院, 济南 250022;
3. 哈尔滨工业大学 化工学院, 哈尔滨 150090)

摘要: 为研究常规水质指标和生物稳定性的相关性, 以我国东北某城市某小区供水管网为对象研究生物稳定性. 采用生物可降解溶解性有机碳(BDOC)作为指标评价管网水的生物稳定性, 并对管网中影响 BDOC 的因素进行统计分析. 结果表明, 管网水中 BDOC 变化范围为 0.11~0.40 mg/L, 属于生物稳定的饮用水, 从管网入口到管网末梢, 沿程各点 BDOC 变化不大; 常规水质指标中, 浊度和 BDOC 是正相关, 而 pH 和 BDOC 是负相关. 控制管网水中细菌的再生长, 不能单单控制生物稳定性指标, 应该把 BDOC 的控制与余氯的控制和浊度的控制结合起来进行.

关键词: 生物可降解溶解性有机碳; 供水管网; 生物稳定性

中图分类号: TU991

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)12-1902-05

Research on biological stability of water distribution system in northern area and correlative influencing factors

ZHANG Xin-yu^{1,2}, ZU Qian¹, LI Xin³, YUAN Yi-xing¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China, newfish1976@163.com; 2. School of Civil Engineering and Architecture, University of Jinan, Jinan 250022, China;
3. School of Chemical Engineering & Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: To study the correlation between traditional water quality indexes and BDOC, the biological stability of drink water in a northern city water system was investigated and evaluated by BDOC. When the concentration of BDOC is between 0.11 mg/L and 0.40 mg/L, the water is in biological steady level. BDOC changed a few from the entry to the end in the network. Among traditional water quality indexes, turbidity presents a positive correlation with BDOC, while pH shows a negative correlation. The charges of BDOC and residual chlorine should be combined together to control bacteria re-growth in the network, not merely depending on the biological index.

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

饮用水与人们生活、身体健康密切相关. 这就需要控制从水厂经供水管网到用户的各个环节, 以保障用户的自来水水质. 有研究表明即使保持供水管网中一定的余氯, 异养菌在有机物存在条

件下仍然会生长繁殖^[1], 饮用水的生物稳定性问题越来越受到重视^[2-6], 生物可降解溶解性有机碳(BDOC)是指存在于饮用水中的有机物中可被细菌降解和合成细胞体的部分, 是细菌生长的物质和能量来源. 保证管网水质就要有效控制管网中细菌的繁殖, 影响细菌在管网中生长的因素很多, 但国内外对常规水质指标和 BDOC 之间的关系研究很少^[7], 因此, BDOC 和常规水质指标之间相关性的研究具有一定实际意义. 通过对常规水质指标和 BDOC 相关性的研究, 确定各水质指标对 BDOC 的影响情况, 可以更好地控制管网水的

收稿日期: 2009-03-03.

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2007AA06Z303);
哈尔滨市优秀学科带头人基金项目(2007RFXXS022);
山东省高等学校科技计划项目(J10LE10).

作者简介: 张新瑜(1976—), 男, 讲师;
李欣(1965—), 男, 教授, 博士生导师;
袁一星(1957—), 男, 教授, 博士生导师.

生物稳定性.

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^[8-12], 还有人对管网中 BDOC 与水力停留时间的关系进行了研究^[13]. 本课题组研究了城市供水管网 BDOC 与生物稳定性的关系^[14-15], 以及不同季节供水管网中 BDOC 的变化规律^[16].

本文以我国东北某市小区管网为研究对象, 采用 BDOC 作为指标来评价管网水的生物稳定性, 同时探究常规水质指标和 BDOC 之间的相关性.

1 试 验

1.1 试验内容

选定东北城市某小区管网作为水质研究区域, 此小区给水管网由一条进水管线 (DN300) 与市政管网连接. 目前该小区用水主要由隶属于市自来水公司的供水三厂供给, 以江水为水源水, 其净水工艺为常规处理工艺.

小区管网的管线由 DN300 和 DN100 的铸铁管组成, 敷设时间为 20 世纪 80 年代. 在小区管网中沿水流方向布设 7 个检测点, 其中, 1 号为管网入口, 检测点的分布见图 1. 根据检测点情况及用户用水规律, 将采样时间确定为: 2006 年 11 月、12 月每周采样一次, 2007 年 1 月、3 月每周采样两次, 2007 年 4 月隔天采样一次 (每个点采样 30 次, 7 个监测点共采样 210 次).

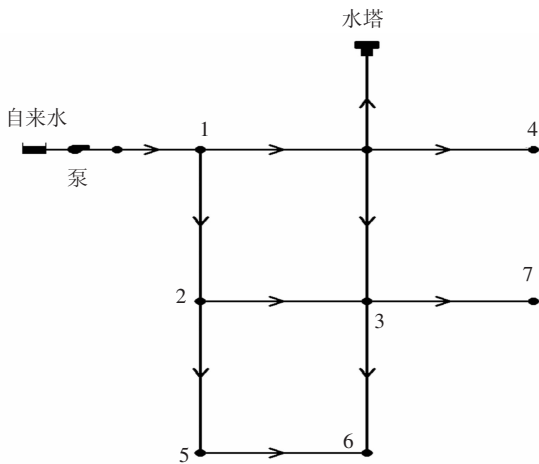


图 1 检测点分布简图

1.2 检测方法

选定 7 项水质指标作为检测项目, 包括 BDOC、自由余氯 (FRC)、温度 (T)、pH、浊度 (Tur)、铁 (Fe)、总有机碳 (TOC). 在所选定的水质检测指标

中, 除 BDOC 测定方法有所不同外, 其他的指标均参照文献^[17], 具体情况如表 1 所示.

表 1 水质指标检测方法

检测项目	检测方法	仪器类型
温度	水温计法	pHS-3C 精密 PH 计
浑浊度	光散射法	HACH2100P 型浊度仪
自由余氯	DPD 比色法	HANNA-HI93711 型余氯仪
pH 值	玻璃电极法	pHS-3C 精密 PH 计
TOC	TOC 仪测定	TOC 测定仪 (岛津 TOC-V _{cpH})
总铁	邻菲罗啉分光光度法	722-光栅分光光度计
BDOC	悬浮培养法 ^[18]	生化培养箱

2 结果与分析

应用统计分析软件包 (Statistical Package for Social Science, SPSS) 对每个检测点的所有水质指标与 BDOC 的相关关系进行了分析研究.

将 6 项水质指标 (温度、自由余氯、pH、浊度、铁、TOC) 作为自变量, BDOC 作为因变量输入到 SPSS 软件里, 应用 Analyze 模块里面的子模块 Correlate 进行相关分析, 各个检测点的 BDOC 与 6 项水质指标的关系如下.

1 号点 (0.1 显著性水平下):

$$y_{\text{BDOC}} = -0.231 + 0.087x_{\text{FRC}} + 0.024x_{\text{pH}} + 0.243x_{\text{Fe}} + 0.037x_{\text{TOC}} - 0.003x_T.$$

2 号点 (0.1 显著性水平下):

$$y_{\text{BDOC}} = 0.108 - 0.035x_{\text{FRC}} + 0.481x_{\text{Tur}} - 0.04x_{\text{TOC}} + 0.003x_T.$$

3 号点 (0.1 显著性水平下):

$$y_{\text{BDOC}} = -1.992 + 0.298x_{\text{pH}} - 0.012x_{\text{TOC}} - 0.003x_T.$$

4 号点 (0.1 显著性水平下):

$$y_{\text{BDOC}} = 0.493 - 0.536x_{\text{FRC}} - 0.052x_{\text{pH}} + 0.253x_{\text{Tur}} + 0.007x_{\text{TOC}}$$

5 号点 (0.1 显著性水平下):

$$y_{\text{BDOC}} = 4.733 - 0.586x_{\text{pH}} + 0.384x_{\text{Tur}} - 0.05x_{\text{TOC}} - 0.012x_T.$$

6 号点 (0.1 显著性水平下):

$$y_{\text{BDOC}} = 1.218 - 0.166x_{\text{pH}} + 0.201x_{\text{Tur}} + 0.023x_{\text{TOC}}.$$

7 号点 (0.1 显著性水平下):

$$y_{\text{BDOC}} = -0.055 + 0.063x_{\text{Tur}} + 0.045x_{\text{TOC}}.$$

2.1 温度与 BDOC 关系

不同月份的该小区供水管网中各检测点平均 BDOC 分析结果见图 2. 由于 11 月到 12 月期间, 管网水的温度很低, 分别是 4 °C 和 2 °C, 1、2、3 和 5 号检测点的 BDOC 降低, 这是因为细菌对 BDOC 的消耗引起的; 至 1 月, 管网水温度达到最低 (1 °C), 细菌的活动频率也最弱, 因而对 BDOC 的消耗减少, 在上述 4 个检测点管网水中 BDOC 增加. 4 号、6 号和 7 号点位于管网末梢, 水中营养基质的存在促进了细菌的大量繁殖, 细菌对 BDOC 的消耗程度高于管网入口和沿程, 因此, 管网末梢 3 个检测点的 BDOC 明显低于入口和沿程的检测点.

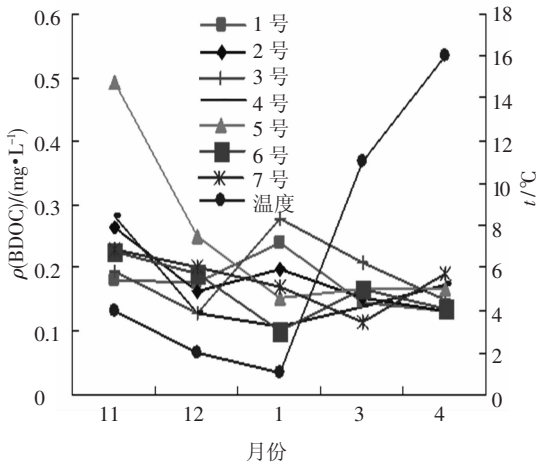


图 2 不同月份各检测点平均 BDOC 比较

2.2 自由余氯与 BDOC 关系

从图 3 可以看出, 各检测点平均自由余氯与 BDOC 呈负相关关系, 相关系数为 -0.302. 沿管线中的检测点 1—2—3—4 自由余氯和 BDOC 的变化可以看出, 余氯在此管段不断衰减, 而 BDOC 不断增加, 二者相关系数为 -0.766, 绝对值大于 0.5, 相关关系显著.

在常规的水质指标中, 主要有两个因素影响管网水中 BDOC 质量浓度的变化, 一是水中细菌的降解作用导致管网水中 BDOC 质量浓度的降低; 二是余氯对水中大分子有机物的氧化作用, 使其变成小分子有机物 (即 BDOC), 导致 BDOC 质量浓度升高. 当细菌降解 BDOC 的量大于余氯使其增加的量时, BDOC 质量浓度沿管线呈现降低趋势; 反之, BDOC 质量浓度沿管线呈升高趋势.

2.3 浊度与 BDOC 关系

小区管网水的月平均浊度和 BDOC 的变化情况见图 4, 从 11 月到 4 月期间, 管网水的浊度在 0.7 ~ 0.43 NTU 变化. 1 号点相关系数为 -0.047, 相关关系不显著; 3 号点相关系数为 -0.609, 相关关系显著; 其余各点相关系数均大

于 0.700, 都是显著相关, 其中 2 号点相关系数绝对值最大, 相关系数为 0.925.

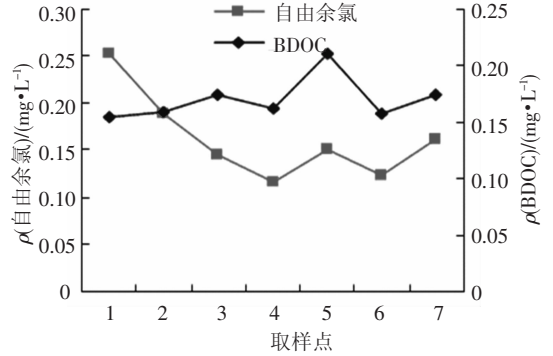


图 3 各检测点平均自由余氯与 BDOC 的关系

水中含有的泥土、粉砂、微细有机物、无机物、微生物等悬浮物和胶体物都可以使水质变得浑浊而呈现一定浑浊度. 管网水中的悬浮物除了包括细砂、粉砂、微细的有机物和无机物、微生物和胶体物质之外, 还有少量混凝处理形成的微细絮凝体随出厂水进入了管网. 管网水浑浊度的升高, 可以断定水中颗粒物的增加, 这些颗粒物很容易成为水中细菌生长繁殖的合适载体, 同时也会减弱氯的杀菌作用. 因此, 水厂有必要控制饮用水管网中的浑浊度, 防止水中细菌的繁殖, 可以定期对管网进行清洗来降低水中的浑浊度.

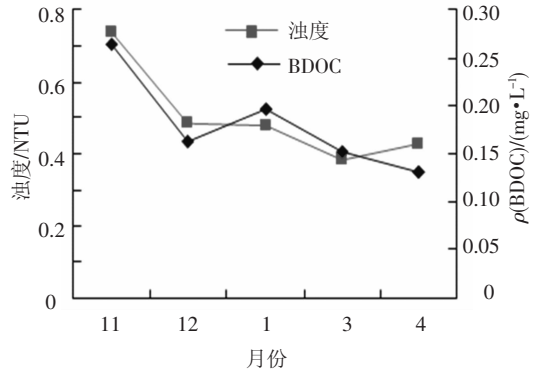


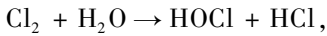
图 4 第 2 号点月平均浊度与 BDOC 的关系

2.4 pH 与 BDOC 关系

小区管网水的月平均 pH 和 BDOC 的变化情况见图 5. 5 个月的平均 pH 为 7.32 ~ 7.57, 各检测点月平均 pH 和 BDOC 的相关关系多为负相关. 其中 3 号点为正相关, 相关系数为 0.601, 显著相关; 1 号点的相关系数为 -0.134, 相关关系不显著; 其中 5 号点相关系数为 -0.970, 显著相关.

饮用水中影响 pH 的因素很多, 余氯衰减, 有机物、无机物和微生物的活动等都可能导致 pH 的变化.

采用氯作为消毒剂时, 氯溶解于水主要发生如下反应:



生成次氯酸 HOCl 和次氯酸根离子 OCl^- , HOCl 和 OCl^- 在水中的比率取决于 pH 值, 当 $\text{pH} < 7.5$ 时, 水中余氯主要以 HOCl 形态存在. 因此, 在一定加氯量下, pH 值是消毒效果的一个决定性因素, 即 pH 值越低, HOCl 含量越大, 越有利于杀菌消毒, HOCl 是消毒的主要因素^[19]. 国家《生活饮用水水质卫生规范》规定水的 pH 值范围是 6.5 ~ 8.5. 本次实验得到 pH 数值 210 个, pH 最大值为 7.90, 最小值为 7.08, 均在水质标准范围内, 符合国家饮用水水质标准.

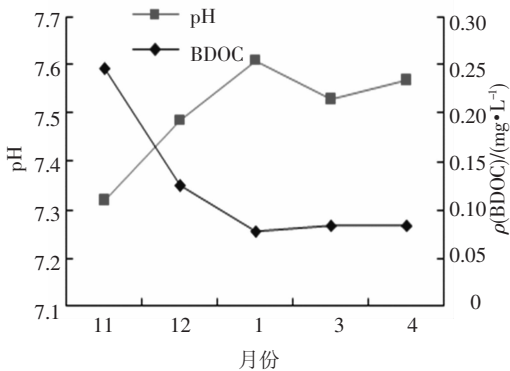


图 5 第 5 号点月平均 pH 与 BDOC 的关系

2.5 TOC 与 BDOC 关系

月平均 TOC 和 BDOC 的变化情况见图 6. 小区管网水中月平均 TOC 和 BDOC 的相关关系多为正相关. 其中 1 号点和 3 号点为负相关, 相关系数分别为 -0.042 和 -0.090 , 相关关系不显著; 其余各点相关系数均大于 0.700, 相关关系显著, 其中 4 号点相关系数为 0.942.

TOC 是水样中所有含碳有机物的质量浓度, 是细菌生长的营养物质. 随管网的延伸, 管网中细菌对 TOC 的分解作用也不断增强, 因此, TOC 在管网中呈不断下降的趋势. 由图 6 可以看出, 各检测点 TOC 平均值水平呈现缓慢的下降趋势.

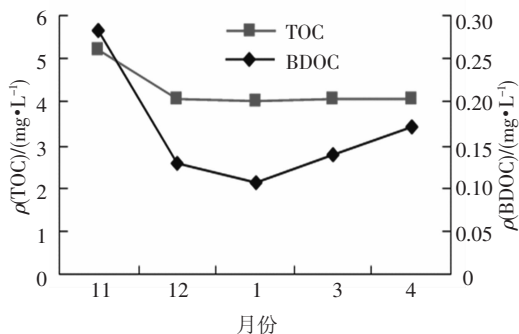


图 6 第 4 号点月平均 TOC 与 BDOC 的关系

生活饮用水水质卫生规范中没有明确规定 TOC 的限制, 如果按照中华人民共和国城镇建设

行业标准 (CJ94 - 1999) 规定总有机碳 (TOC) 质量浓度不得超过 4 mg/L 来看, 本次试验共得到 TOC 检测数据 210 个, 最大值为 6.64 mg/L, 最小值为 3.53 mg/L. 可以看出该小区管网水质中 TOC 水平很高, 其中超标 150 个, 超标率 71.43%, 超标严重.

2.6 铁与 BDOC 关系

由图 7 可以看出, 小区管网中各检测点的月平均铁质量浓度和 BDOC 的相关性多为正相关. 其中 3 号点和 5 号点为负相关, 相关系数分别为 -0.814 (显著相关) 和 -0.124 (不显著相关), 7 号点相关系数为 0.674, 是显著相关, 其余各点相关系数均大于 0.200.

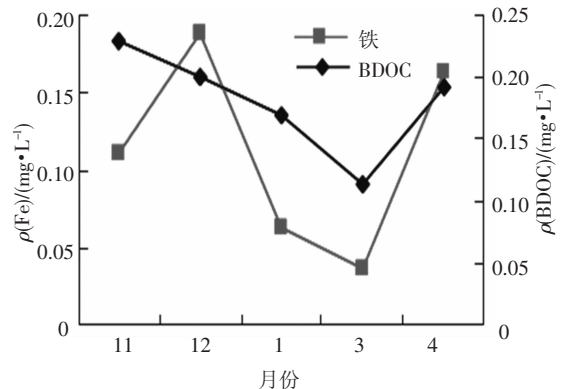
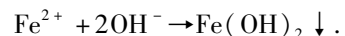
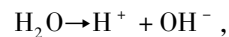
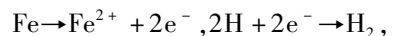


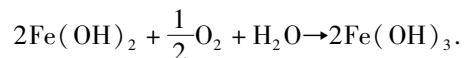
图 7 第 7 号点月平均铁与 BDOC 的关系

管网水中的铁含量过高易于铁细菌的生长, 增加水的浑浊度, 使水产生特殊的色、嗅、味. 含铁量达 0.3 mg/L 时, 色度约为 20 度; 在 0.5 mg/L 时, 色度可大于 30 度; 在 1.0 mg/L 时可感到明显的金属味.

饮用水中的铁可能来自铁管道的腐蚀以及含铁的各种水处理剂. 一般来说, 铁管腐蚀是造成管网水中铁含量过高的主要原因, 发生如下反应:



上述反应为析氢反应, 氢和 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 聚集在阴极发生极化, 阻止腐蚀反应的继续, 这种反应不会对铁管产生腐蚀影响. 当水中具有氧化剂时, 氧化剂会起到去极化作用, 腐蚀反应将继续进行:



$\text{Fe}(\text{OH})_3$ 为铁锈, 没有保护作用, 这种反应致使铁管腐蚀, 增加水体中铁含量. 铁是引起管网浑浊度的主要因素, 可见, 选择防腐好的优质金属管材或者适宜的非金属管材是控制管网水的铁含量、降低管网浑浊度的有效方法.

3 结 论

所研究小区供水管网水中的 BDOC 水平较低,水质处于生物稳定状态. 常规的水质指标当中,浊度和 BDOC 呈正相关,相关关系显著;Fe 和 TOC,余氯、浊度和 pH 与 BDOC 呈负相关,温度和 BDOC 的相关性不明显. 控制管网水中细菌的再生长,不能单单控制生物稳定性指标,应该将 BDOC 的控制与余氯和浊度的控制结合起来进行. 对于给水管网水质的控制和改善,提出以下建议:

1)严格控制出厂水的浊度,定时或不定时对管网进行冲洗.

2)小区管网水中铁质量浓度超标严重,尤其是 3 号点,高达 86.67%,选择防腐好的优质金属管材或者适宜的非金属管材是控制管网水中铁含量的有效方法.

3)小区供水管网水质 TOC 水平很高,水厂采用新工艺来降低 TOC 质量浓度水平,可以控制管网水的生物稳定性.

参考文献:

- [1] LECHEVALLIER M W, BABCOCK T M, LEE R G. Examination and characterization of distribution system biofilms [J]. *Applied & Envir Microbiol*, 1987, 53 (12):2714 - 2724.
- [2] LØNBORG C, DAVIDSON K, SALGADO X A, *et al.* Bioavailability and bacterial degradation rates of dissolved organic matter in a temperate coastal area during an annual cycle[J]. *Marine Chemistry*, 2009, 113:219 - 226.
- [3] LABANOWSKI J, FEUILLADE G. Combination of biodegradable organic matter quantification and XAD-fractionation as effective working parameter for the study of biodegradability in environmental and anthropic samples [J]. *Chemosphere*, 2009, 74:605 - 611.
- [4] GARNIER C, BILLEN G, EVEN S, *et al.* Organic matter dynamics and budgets in the turbidity maximum zone of the seine estuary (France) [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, 77:150 - 162.
- [5] WALSHA M E, GAGNONA G A, ALAMB Z, *et al.* Biostability and disinfectant by-product formation in drinking water blended with UF-treated filter backwash water[J]. *Water Research*, 2008, 42:2135 - 2145.
- [6] SWIETLIK J, RACZYK-STANISIAWIAK U, NAWROCKI J. The influence of disinfection on aquatic biodegradable organic carbon formation[J]. *Water Research*, 2009, 43:463 - 473.
- [7] SRINIVASANA S, HARRINGTON G W, XAGORARAKI I, *et al.* Factors affecting bulk to total bacteria ratio in drinking water distribution systems [J]. *Water Research*, 2008, 42:3393 - 3404.
- [8] NISHIJIMA W F, TSUKASA M, OKADA M, *et al.* DOC removal by multi-stage zonation-biological treatment [J]. *Water Research*, 2003, 37: 150 - 154.
- [9] BUCHANAN W, RODDICK F, PORTER N. Removal of VUV pre-treated natural organic matter by biologically activated carbon columns[J]. *Water Research*, 2008, 42:3335 - 3342.
- [10] TIAN J Y, LIANG H, NAN J, *et al.* Submerged membrane bioreactor (sMBR) for the treatment of contaminated raw water [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2009, 148:296 - 305.
- [11] TIAN J Y, LIANG H, LI X, *et al.* Membrane coagulation bioreactor (MCBR) for drinking water treatment [J]. *Water Research*, 2008, 42:3910 - 3920.
- [12] LØNBORG C, SØNDERGAARD M. Microbial availability and degradation of dissolved organic carbon and nitrogen in two coastal areas[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 81:513 - 520.
- [13] ALAIN K, FREDERIQUE N, ALAIN D, *et al.* The effects of water residence time on the biological quality in a distribution network [J]. *Water Research*, 2003, 19(7): 1719 - 1727.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 国家环境保护总局. 水和废水检测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.
- [18] 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, 1998.
- [19] 严煦世, 范瑾初. 给水工程[M]. 4 版. 北京:中国建筑工业出版社, 1999.

(编辑 刘 彤)