

氯、二氧化氯对氯胺消毒管网硝化作用 控制效果对比

赵乐乐¹, 李星¹, 杨艳玲¹, 韩瑾¹, 李圭白²

(1. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100124; 2. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090)

摘要: 采用2台串联BAR模拟给水管网系统, 通过对余氯、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、DO、HPC及AOB等指标检测, 评价氯和二氧化氯2种消毒剂对氯胺消毒管网中硝化作用的控制效果。研究表明: 二氧化氯比等量氯更易提高管网中余氯质量浓度和DO质量浓度; 氯消毒阶段 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 降解, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 积累, 而投加二氧化氯后可有效控制硝化作用; 与投加氯消毒相比, 投加等质量浓度(0.6 mg/L)二氧化氯时, 第1台BAR中悬浮和生物膜中HPC分别降低了2.54 log和1.63 log, 悬浮及生物膜中AOB降低约1 log; 二氧化氯能对AOB起到控制灭活效果, 而等量氯对其几乎没有灭活效果。在控制供水管网硝化作用方面, 二氧化氯与氯胺联用的消毒效果优于氯与氯胺。

关键词: 消毒; 氯胺; 二氧化氯; 亚硝酸菌; 异养菌; 硝化作用; 饮用水配水管网

中图分类号: TU 991.25

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2013)09-1392-07

Disinfectant Efficacy of Chlorine and Chlorine Dioxide in Nitrification Control in Water Distribution Systems

ZHAO Le-le¹, LI Xing¹, YANG Yan-ling¹, HAN Jin¹, LI Gui-bai²

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. School of Municipal and Environment Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Two biofilm annular reactors (BAR) in series were adopted in the study, and the effects of chlorine and chlorine dioxide disinfection on nitrification were compared by analyzing residue chlorine, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, DO, HPC and AOB. The results showed that chlorine dioxide was more effective than chlorine in enhancing the effluent concentration of residue chlorine and DO. The concentration of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ was dropped while $\text{NO}_2^-\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ were increased during the stage of chlorine, but not happening during the stage of chlorine dioxide. Compared with equivalent chlorine (0.6 mg/L), the chlorine dioxide was more effective in removing suspended and biofilm HPC with 2.54 log and 1.63 log reductions, respectively, and both suspended and biofilm AOB with 1 log reduction. Chlorine was ineffective in controlling AOB. Therefore, the effect of chlorine dioxide combined with chloramine was better than chlorine combined with chloramine in mitigating nitrification in distribution systems.

Key words: disinfection; chloramine; chlorine dioxide; AOB; HPC; nitrification; water distribution systems

收稿日期: 2012-03-08.

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2009ZX07423-004); 国家自然科学基金资助项目(51178003).

作者简介: 赵乐乐(1986—), 女, 博士研究生, 主要从事饮用水供水安全性保障技术方面的研究, E-mail: zhaolele_2008@126.com;

通信作者: 李星(1963—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事饮用水安全保障技术方面的研究, E-mail: lixing@bjut.edu.cn.

近年的研究发现,氯胺消毒管网中更容易发生硝化作用^[1-3]。管网中一旦发生硝化作用,即使加大氯或氯胺的投加量,也很难对硝化作用进行有效控制,硝化作用已成为影响饮用水水质的重要因素之一^[4-5]。为此,饮用水氯胺消毒管网中硝化作用已经成为国内外研究的热点话题。

二氧化氯消毒具有高效杀菌能力,消毒效果持久,受水的pH值、温度及氨氮浓度影响较小,能有效控制水中铁、锰、色、味、嗅,不产生三卤甲烷和卤乙酸等有机消毒副产物,不产生致突变物质,与氯消毒相比具有能降低致突活性等优点^[6],更为重要的是二氧化氯在控制硝化作用上具有优势。McGuire等^[7]研究发现,采用二氧化氯消毒的管网与采用氯胺消毒管网相比,硝化作用大大减弱。然而,随着对二氧化氯深入研究发现,单独采用二氧化氯消毒时会产生较高浓度的无机消毒副产物——亚硝酸盐,此物质可诱发婴儿和少儿神经系统效应和贫血^[6]。因此,为达到杀菌与尽可能产生较少消毒副产物的双重目的,结合消毒剂本身优缺点、制造工艺和成本等因素,将各种消毒方法进行组合,发挥各自优越性,提高饮用水的水质安全性。

近年来,生活饮用水水源受周围工业区影响,水厂进水氨氮浓度较高,采用传统常规处理工艺并不能将其有效去除,出厂水氨氮必然超标(0.5 mg/L),极大增加供水管网出现硝化作用的风险。为此,本试验以南方某氯胺消毒的出厂水为对象,采用2台环状生物膜反应器BAR(biofilm annulus reactors)串联组成模拟管网,模拟已发生硝化作用的氯胺消毒管网,通过分阶段投加氯与二氧化氯,分析余氯、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N和DO等化学指标及BAR水中悬浮和管壁生物膜中异养菌(HPC)、亚硝化菌(AOB)等微生物指标,综合对比投加氯和二氧化氯对硝化作用的控制效果,以期发生硝化作用的管网提供控制方案。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置及材料

单个BAR只能模拟实际管网中某一段的水质

变化,不能反映管段不同点的水质情况。因此,为更好地模拟管网,采用2台BAR串联组成^[8]。装置流程如图1所示,挂片材料是304不锈钢制造而成。二氧化氯采用欧泰华二氧化氯发生器,以氯酸钠与水为反应原料,生成以二氧化氯为主、氯气为辅的复合消毒液(ClO₂质量分数大于70%),试验时所用ClO₂储备液质量浓度为56 mg/L,化学反应方程式为

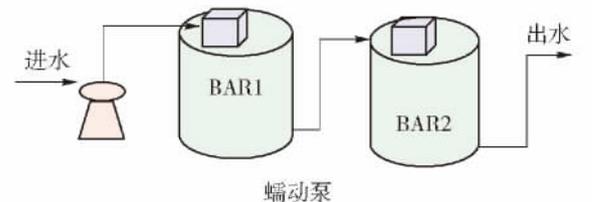
$$2\text{NaClO}_3 + 4\text{HCl}(\text{稀}) \leftrightarrow 2\text{NaCl} + \text{Cl}_2 + 2\text{ClO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \quad (1)$$


图1 BAR串联工艺流程图

Fig. 1 Schematic representation of BAR process

1.2 试验条件及过程

采用AOB培养液与自来水按1:5的比例投加到BAR反应器中富集培养模拟管网中AOB和HPC等细菌,每隔3~4 d换一次培养液,BAR转速为50 r/min,在此条件下运行60 d,之后采用某水厂出厂水作为BAR连续进水,原转速下,通过控制进水量使每台BAR水力停留时间为3 h。稳定运行7 d后,开始检测反应器中各个指标的变化。试验进水水质见表1。

试验分2个阶段进行,第1阶段,稳定余氯条件下对硝化作用的控制效果。模拟管网进水以某出厂水平均余氯质量浓度为2.2 mg/L水质条件下稳定运行11 d,之后在此水质条件下,每天投加次氯酸(HClO)使得进水余氯维持在2.8 mg/L,运行9 d。第2阶段,投加二氧化氯考察二氧化氯对硝化作用的控制效果。在出厂水水质条件下,停止投加氯,改成每天投加二氧化氯,初始投加二氧化氯质量浓度0.2 mg/L,每隔4 d二氧化氯投加量增加0.2 mg/L,直到投加量达到0.6 mg/L,此阶段共运行14 d。上述试验过程中分别在同一进水箱中投加氯和二氧化氯,对比考察上述2个过程中采用不同消毒剂与

表1 BAR工艺进水水质

Table 1 Influent composition of BAR process

$\rho(\text{NH}_4^+\text{-N}) / \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\rho(\text{NO}_2^-\text{-N}) / (\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NO}_3^-\text{-N}) / (\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$t / ^\circ\text{C}$	$\rho(\text{DO}) / (\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{余氯}) / (\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
2.07 ~ 3.92	0.09 ~ 0.26	2.07 ~ 2.68	20 ~ 26	4.38 ~ 5.00	2.2 ~ 2.6

氯胺联用对管网硝化作用控制效果.

1.3 试验方法与分析项目

采用化学指标和微生物指标共同反映氯胺消毒管网中投加氯、二氧化氯对硝化作用的控制效果. 化学指标包括余氯、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 DO 等指标. 浊度: HACH 2100 台式浊度仪测定; pH 值: PHS-3C 精密酸度计测定; 亚硝酸盐: 采用碘量法标定; 总余氯、二氧化氯、亚硝酸盐: 采用深圳 S-CL501 便携式余氯-二氧化氯五参数快速测定仪测定; DO: YSI-550A 便携式检测仪监测; 水温: 水银温度计测定; $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 均采用国家生活饮用水标准检验方法^[9]进行检测.

微生物指标包括 BAR 水中悬浮 HPC、AOB 及 BAR 管壁生物膜中 AOB 和 HPC. 生物膜上 AOB 取样采用鲁巍等^[10]研究的生物膜取样方法, AOB 的培养采用 Soriano and Walker 培养基^[11], 采用 3 管 MPN 稀释培养计数方法测定, 28 °C 黑暗培养 21 d 后计数. HPC 采用 R2A 培养基, 22 °C 黑暗培养 7 d 后计数.

2 试验结果

发生硝化作用的配水管网中将出现 ρ (余氯) 和 ρ (DO) 下降、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 降解及 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 积累等化学现象, 对 HPC 和 AOB 的灭活效果则可以从另一侧面反映水质生物稳定性及硝化作用强弱. 因此, 这些指标的变化可作为硝化作用发生及控制的指示指标.

2.1 化学指标的变化

2.1.1 余氯变化

按照 2 个阶段分别投加氯和二氧化氯, 结果如图 2 所示. 第 1 阶段, 第 11 天后将 BAR 进水 ρ (余氯) 由 2.2 mg/L 提高到 (2.6 ± 0.2) mg/L, BAR1 和 BAR2 出水余氯没有明显提高; 第 18 天时, 出水 ρ (余氯) 明显下降, BAR1 由 0.8 mg/L 降低到 0.5 mg/L, BAR2 出水 ρ (余氯) 由 0.27 mg/L 降低到 0.09 mg/L.

第 2 阶段, 第 20 天后, 在 BAR 进水 ρ (余氯) 维持在 2.2 mg/L 的基础上投加 0.2 mg/L 的二氧化氯, 发现并未提高出水余氯; 第 26 天二氧化氯投加质量浓度为 0.4 mg/L 时, BAR1 出水余氯明显升高, 达到 0.8 mg/L; 第 30 天二氧化氯投加质量浓度为 0.6 mg/L 时, BAR1、BAR2 出水余氯均有大幅增长, 分别达到 (0.8 ± 0.03) mg/L 和 (0.22 ± 0.05) mg/L.

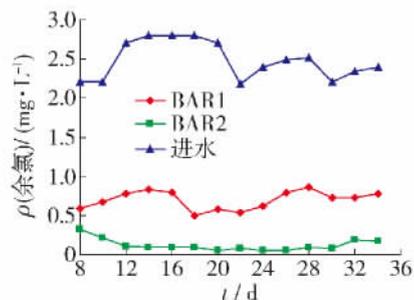


图 2 不同消毒阶段余氯质量浓度的变化

Fig. 2 Variation of residue chlorine in different disinfecting stages

可见, 对于已经发生硝化作用的氯胺消毒出厂水, 投加二氧化氯比投加氯更容易提高管网中余氯的质量浓度.

2.1.2 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 变化

图 3、图 4 和图 5 分别显示 ρ ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)、 ρ ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) 和 ρ ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) 变化趋势. 第 1 阶段, 进水 ρ ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) 维持在 2.07 ~ 2.56 mg/L, ρ ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) 为 0.092 ~ 0.19 mg/L, ρ ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) 为 2.15 ~ 2.68 mg/L. 第 18 天前, BAR1 出水 ρ ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) 平均下降 0.082 mg/L, 平均 ρ ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) 积累为 0.14 mg/L, 平均 ρ ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) 升高 0.27 mg/L, 可见 BAR1 出水 ρ ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) 没有明显降低, ρ ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) 和 ρ ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) 没有明显积累, 而此时 BAR2 出水平均 ρ ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) 降低到 1.12 mg/L, ρ ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) 不断积累, 说明 BAR2 已发生硝化作用. 随着时间的延长, 运行到 20 天时, BAR1 出水 ρ ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) 比进水明显降低, 由 2.69 mg/L 降低到了 2.25 mg/L, ρ ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) 比进水明显升高, 由 0.196 mg/L 升高到 0.764 mg/L, ρ ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) 由 2.44 mg/L 升高到了 2.93 mg/L, BAR1 中开始出现硝化现象.

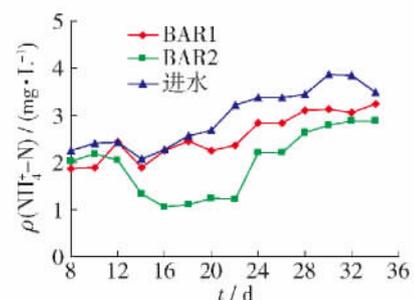


图 3 不同消毒阶段氨氮质量浓度的变化

Fig. 3 Variation of $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ in different disinfecting stages

第 2 阶段, 随着二氧化氯投加量的增多且进水

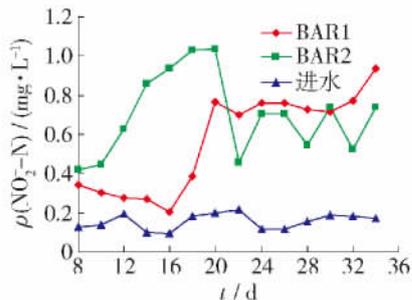


图 4 不同消毒阶段亚硝酸盐氮质量浓度的变化

Fig. 4 Variation of $\text{NO}_2^- \text{-N}$ in different disinfecting stages

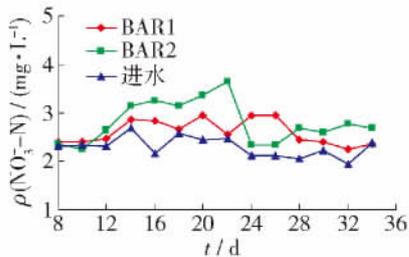


图 5 不同消毒阶段硝酸盐氮质量浓度的变化

Fig. 5 Variation of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ in different disinfecting stages

$\rho(\text{NH}_4^+ \text{-N})$ 略有增高, BAR1 和 BAR2 出水 $\rho(\text{NH}_4^+ \text{-N})$ 也随之增加, 但是, BAR2 出水平均 $\rho(\text{NO}_2^- \text{-N})$ 为 0.63 mg/L, 低于 BAR1 出水平均 $\rho(\text{NO}_2^- \text{-N})$ 的 0.77 mg/L, 而且 BAR1 和 BAR2 的 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 没有明显增加, 分别维持在 2.55 mg/L 和 2.57 mg/L. 可见, 投加二氧化氯的过程中硝化作用已被有效控制.

2.1.3 DO 变化

饮用水管网中 DO 是一种非常敏感而且容易检测的指标, 其检测结果如图 6 所示.

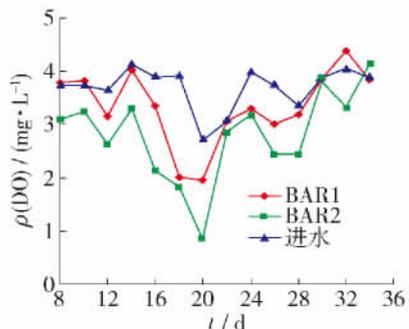


图 6 不同消毒阶段 DO 质量浓度的变化

Fig. 6 Variation of DO in different disinfecting stages

第 1 阶段, 尽管提高了进水余氯质量浓度, 但 BAR1 和 BAR2 中 $\rho(\text{DO})$ 随运行时间的延长而下降, 至第 20 天时, BAR1 和 BAR2 出水 $\rho(\text{DO})$ 由进水 2.7 mg/L 分别降低到 1.95 和 0.85 mg/L, 表明管

网中消耗的溶解氧量增加. 第 2 阶段, 随着二氧化氯投加量的增加, BAR1 和 BAR2 出水 $\rho(\text{DO})$ 逐渐升高, 表明消耗的溶解氧量减少. 从消耗的溶解氧量角度再次验证了投加二氧化氯可有效抑制硝化作用.

2.2 对管网不同细菌的控制效果

管网输水过程是复杂的生化过程, 其水质变化不仅体现在化学指标上, 还体现在微生物数量上, 本研究考察氯和二氧化氯对水中 HPC 和 AOB 的灭活效果, 从而综合评价两者对硝化作用的控制效果.

2.2.1 对 HPC 的控制效果

Rand 等^[12] 研究不同消毒剂组合对生物膜及悬浮菌的灭活效果, 试验结果表明: 消毒剂对细菌的灭活效果分析应该依据微生物对消毒剂的适应阶段而不是稳定阶段. 为此, 试验研究短期内 2 种消毒剂对细菌灭活效果, 图 7 和图 8 分别显示不同消毒阶段对悬浮 HPC 和生物膜 HPC 灭活控制效果.

从图 7 和图 8 中看出, 第 1 阶段, 运行至第 14 天时, BAR1 中悬浮及生物膜 HPC 数量由 1.38×10^4 CFU/mL 和 2.01×10^3 CFU/cm² 分别降到 5.80×10^2 CFU/mL 和 3.43×10^2 CFU/cm², 相对降低了 1.38 log 和 0.77 log. 之后, BAR1 出水悬浮 HPC 及生物膜 HPC 呈增长的趋势, 而 BAR2 悬浮 HPC 及生物膜中 HPC 变化不大, 分别维持在 10^5 CFU/mL 和 10^5 CFU/cm² 左右.

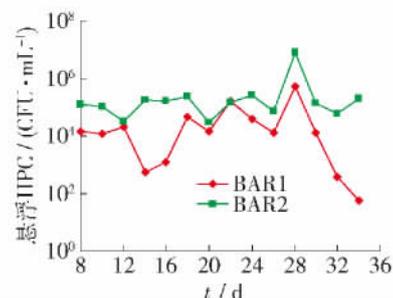


图 7 不同消毒阶段对悬浮 HPC 的控制效果

Fig. 7 Control of suspended HPC in different disinfecting stages

第 2 阶段, 随着二氧化氯投加量的逐渐提高, BAR1、BAR2 中悬浮 HPC 逐渐降低, 在二氧化氯投加量为 0.6 mg/L 条件下运行 6 d (第 34 天) 后, BAR1 中悬浮 HPC 数量降到 60 CFU/mL, 生物膜 HPC 数量降到 47 CFU/cm², 相对提高进水氯浓度时悬浮和生物膜中 HPC 分别平均降低了 2.54 log 和 1.63 log. 此阶段, BAR2 中悬浮及生物膜中 HPC 分别维持在 10^5 CFU/mL 和 10^5 CFU/cm² 左右.

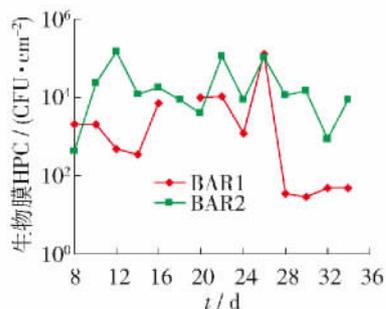


图8 不同消毒阶段对生物膜中 HPC 的控制效果

Fig.8 Control of biofilm HPC in different disinfecting stages

以上结果表明:氯胺消毒模拟管网中,投加 0.6 mg/L 二氧化氯相比等量氯对悬浮菌和生物膜中细菌的灭活效果更佳,且 2 种消毒剂对悬浮 HPC 灭活效果分别高于生物膜中 HPC 的灭活效果。

2.2.2 对 AOB 的灭活效果

图 9 和图 10 分别显示不同消毒阶段对悬浮 AOB 和生物膜中的 AOB 灭活控制效果。第 1 阶段,提高余氯浓度后,对 BAR1 和 BAR2 悬浮及生物膜中 AOB 没有抑制效果,AOB 总量分别维持在 10^4 MPN/mL 和 10^3 MPN/cm²。

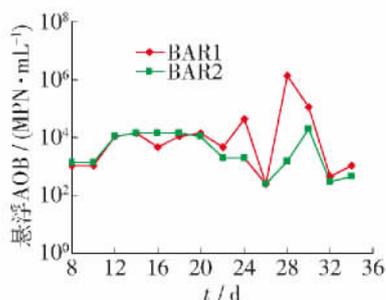


图9 不同消毒阶段对悬浮 AOB 的控制效果

Fig.9 Control of suspended AOB in different disinfecting stages

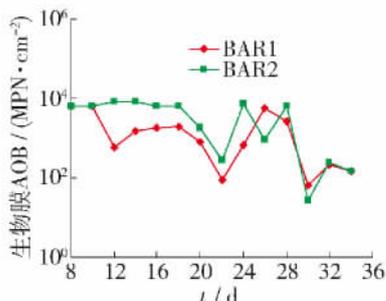


图10 不同消毒阶段对生物膜中 AOB 的控制效果

Fig.10 Control of biofilm AOB in different disinfecting stages

第 2 阶段,投加 0.2 mg/L 二氧化氯时,BAR1 中悬浮和生物膜中 AOB 数量分别降低到了 4.5×10^3

MPN/mL 和 8.87×10 MPN/cm² 相比投加氯时降低了 0.38 log 和 1.34 log,BAR2 中悬浮 AOB 数量没有明显降低,而生物膜中 AOB 数量降低到了 2.66×10^2 MPN/cm² 相比投加氯时降低了 0.82 log. 运行到第 32 天时(即投加 0.6 mg/L 二氧化氯 4 d 后),BAR1 和 BAR2 中悬浮及生物膜中 AOB 得到控制,数量控制在 10^2 MPN/mL 和 10^2 MPN/cm² 左右,相比投加氯时降低了约 1 log.

运行第 24 天—第 30 天,二氧化氯对 BAR1 和 BAR2 中 AOB 的控制效果起伏较大;分析原因可知,投加 0.2 mg/L 二氧化氯前 2 d 内,进水水质与之前相差不大,至第 24 天时,进水水质已经恶化,水中氨氮质量浓度由原来的 2.68 mg/L 上升到了 3.37 mg/L,耗氧量由 3.86 mg/L 上升到了 4.68 mg/L,水中 AOB 数量由 0 增加到了 4 MPN/mL. 由此可知,二氧化氯对 AOB 控制效果受水质影响。

综上可见,氯胺消毒的水中,提高 0.6 mg/L 氯对悬浮及生物膜中 AOB 几乎没有灭活效果,而投加等量二氧化氯能对 AOB 起到控制灭活效果。

3 讨论

3.1 化学指标控制效果

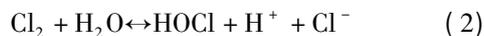
通过试验发现,第 1 阶段,发生硝化作用的模拟管网中,尽管提高了进水余氯质量浓度,但是 BAR1、BAR2 中出水余氯质量浓度并未提高,随着时间的延长,各反应器 NO_2^- -N 积累(见图 4)、 NO_3^- -N 明显增加(见图 5),管道中 DO 质量浓度大幅下降(见图 6),这些化学指标的变化说明第 1 阶段投加氯作为消毒剂并未有效控制硝化作用。

第 2 阶段,随着二氧化氯质量浓度的升高,BAR1、BAR2 中余氯随之升高,各反应器 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 质量浓度明显降低(见图 4 和图 5),管道中 DO 质量浓度也逐步增加(见图 6),表明第 2 阶段已经抑制管道中硝化过程。

上述结果表明:二氧化氯与氯相比可有效控制氯胺消毒出厂水硝化作用。

3.2 微生物学指标控制效果

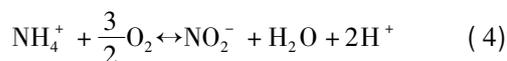
氯消毒主要是氯溶于水时,发生式(2)所示的反应,次氯酸 HOCl 进一步解离产生 OCl^- ,其反应如式(3)所示。



HOCl 和 OCl^- 都具有氧化性,而细菌带负电,HOCl 容易扩散到细菌表面,穿透细胞壁到细菌内

部,破坏酶系统而使细菌死亡^[13]。所以,消毒过程中HOCl起主要作用。氯胺消毒也是依靠HOCl,且消毒作用比较缓慢^[14]。ClO₂既是消毒剂又是强氧化剂,对细菌细胞具有较强的吸附和穿透能力,破坏酶系统^[15],能有效地控制管壁生物膜中细菌的生长。因此,二氧化氯消毒效果好于氯。

McGuire等^[7]提出亚氯酸根对AOB的灭活机制,当AOB氧化氨氮时会释放出氢离子,如式(4)所示,细胞内部膜结构中会呈现暂时的酸性条件,ClO₂⁻进入细菌内部与氢离子发生式(5)所示反应形成二氧化氯,少量浓度的二氧化氯就可以改变细胞膜的渗透性、损害合成细胞酶和蛋白质的功能,最终破坏核酸。ClO₂⁻作为二氧化氯的副产物,对AOB菌有特殊的灭活效果,而对于HPC来说,该类微生物不能氧化氨氮产生氢离子,但是ClO₂⁻不能有效控制管道生物膜中HPC的生长^[16-17]。



由试验数据可见,投加氯和二氧化氯初期对BAR1中HPC都具有灭活效果,且投加0.6 mg/L二氧化氯相比等量的氯对HPC的灭活效果好。对比试验结果(图9和10)不难发现,投加二氧化氯的阶段,BAR2中二氧化氯的副产物——亚氯酸盐对AOB灭活起主要作用。可见,投加二氧化氯后,管道前段主要是二氧化氯对AOB起到控制作用,管道末端,主要依靠亚氯酸盐对AOB起到控制作用。

4 结论

1) 投加二氧化氯比等量氯更易提高管网中余氯量;

2) 二氧化氯可有效控制饮用水硝化作用,保证管网ρ(DO)较高;

3) 二氧化氯相比等量氯对悬浮HPC和生物膜中HPC的灭活效果更佳,且2种消毒剂对悬浮HPC的灭活效果均好于生物膜中HPC的灭活效果;

4) 0.6 mg/L氯对悬浮及生物膜中AOB几乎没有灭活效果,而等量二氧化氯能对AOB起到控制灭活效果;

5) 投加二氧化氯后,管道前段主要是二氧化氯对AOB起到控制作用,管道末端,主要依靠亚氯酸盐对AOB起到控制作用;

6) 二氧化氯与氯胺联用的消毒效果优于氯与氯胺。

参考文献:

- [1] ZHANG Y, GRIFFIN A, EDWARDS M. Effect of nitrification on corrosion of galvanized iron, copper, and concrete [J]. Journal: American Water Works Association, 2010, 102(4): 83-93.
- [2] ZHANG Y, LOVE N, EDWARDS M. Nitrification in drinking water systems [J]. Environmental Science and Technology, 2009, 39: 153-208.
- [3] SEIDEL C J, MCGUIRE M J, SUMMERS S, et al. Have utilities switched to chloramines [J]. Journal: American Water Works Association, 2005, 97(10): 87-97.
- [4] 张永吉,周玲玲,李伟英. 氯胺消毒给水管网中的硝化作用及其控制[J]. 中国给水排水, 2008, 24(2): 6-9. ZHANG Yong-ji, ZHOU Ling-ling, LI Wei-ying. Nitrification in chloraminated drinking water distribution system and its control [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(2): 6-9. (in Chinese)
- [5] BEHNER B. Fundamentals and control of nitrification in chloraminated drinking water distribution system [M]. Denver: Glacier publishing services, 2006: 2-4.
- [6] 黄君礼. 水消毒剂和处理剂——二氧化氯[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 18.
- [7] MCGUIRE M J, LIEU N I, PEARTHREE M S. Using the chlorite ion to control nitrification [J]. Journal: American Water Works Association, 1999, 91(10): 52-61.
- [8] 赵乐乐,李星,杨艳玲,等. 给水管网中硝化作用的形成特性研究[J]. 中国给水排水, 2011, 27(9): 37-40. ZHAO Le-le, LI Xing, YANG Yan-ling, et al. Research on formation characteristics of nitrification in water distribution system [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(9): 37-40. (in Chinese)
- [9] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB/T5750.1-5750.13-2006. 生活饮用水标准检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [10] 鲁巍,王云,张晓健. BAR反应器中生物膜的分离及定量[J]. 中国给水排水, 2005, 21(2): 91-94. LU Wei, WANG Yun, ZHANG Xiao-jian. Biofilm separation and biomass quantification method in biological annular reactor [J]. China Water & Wastewater, 2005, 21(2): 91-94. (in Chinese)
- [11] 周玲玲. 给水管网中生物膜及硝化作用控制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学市政工程环境学院, 2010. ZHOU Ling-ling. Controlling on the biofilm and nitrification in drinking water distribution system [D]. Harbin: School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, 2010. (in Chinese)
- [12] RAND J L, HOFMANN R, ALAM Z B, et al. A field

- study evaluation for mitigating biofouling with chlorine dioxide or chlorine integrated with UV disinfection [J]. *Water Research*, 2007, 41: 1939-1948.
- [13] 严熙世, 范瑾初. 给水工程[M]. 4版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 361-362.
- [14] 韩永萍, 付建立. 二氧化氯消毒剂在饮用水处理中的应用[J]. 北京联合大学学报: 自然科学版, 2004, 18(4): 71-75.
HAN Yong-ping, FU Jian-li. The application of ClO_2 as a disinfectant in drinking water disposal [J]. *Journal of Beijing Union University: Natural Sciences*, 2004, 18(4): 71-75. (in Chinese)
- [15] 刘静. 饮用水组合氯化消毒工艺研究[D]. 北京: 清华大学环境科学与工程系, 2009.
- LIU Jing. Studies on combined disinfection processes of chlorine and chlora mines in drinking water [D]. Beijing: School of Engineering, Tsinghua University, 2009. (in Chinese)
- [16] GAGNON G A, RAND J L, O' LEARY K C, et al. Disinfectant efficacy of chlorite and chlorine dioxide in drinking water biofilms [J]. *Water Research*, 2005, 39: 1809-1817.
- [17] O' CONMOR T, MURPHY B, O' CONMOR J T. Controlling nitrification in a water distribution system using sodium chlorite [J]. *Water Engineering & Management*, 2001, 148(9): 14-15.
- (责任编辑 张 蕾)

数理学院喜获第十一届全国统计科学研究优秀成果奖一等奖

(来源: 北京工业大学新闻网 发布时间: 2013-04-15)

近日, 我校数理学院薛留根教授和香港浸会大学朱力行教授合著的《Empirical Likelihood in Nonparametric and Semiparametric Models(非参数和半参数模型中的经验似然)》一书, 获得第十一届全国统计科学研究优秀成果奖(专著奖)一等奖。该著作由国家自然科学基金项目资助, 2010年2月科学出版社出版。本次获奖是我校目前为止在统计学研究方面获得的最高奖项, 标志着我校统计学科的创新发展达到了一个新的高度。

这本获奖专著重点阐述了非参数和半参数经验似然的理论和方法, 充分反映了非参数和半参数模型的近代发展水平, 着重介绍了非参数和半参数统计推断的一般处理技术, 力求做到理论与实际相结合。该书的主要内容是作者近几年的研究成果, 其中有4篇论文发表在国际高端期刊《Journal of The Royal Statistical Society, Series B》、《Journal of the American Statistical Association》和《Biometrika》上, 被SCI期刊论文引用100余次。

全国统计科研优秀成果奖是国家统计局所设, 为表彰在统计科学研究工作中取得突出成就的集体和个人、促进统计科学进步和创新、增进全社会对统计科研的重视和对统计科研工作者的尊重、推动全国统计改革与统计事业的进一步发展, 该奖每两年开展一次评选活动, 奖励集体或个人在统计基础理论研究、统计应用研究、统计教育和统计信息技术研究等方面的科研成果, 包括研究课题、学术论文、统计专著、统计教材、统计教学课件和软件等。