

水处理流程选择对后续消毒工艺的影响

梁 恒¹, 李 星², 许 强³, 李圭白¹, 何文杰⁴, 韩宏大⁴

(1 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090, E-mail: liangheng@hit.edu.cn; 2 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100022; 3 哈尔滨工业大学环保科技股份有限公司 哈尔滨 150001; 4 天津自来水集团有限公司, 天津 300121)

摘 要: 为比较不同水处理流程对后续消毒工艺的影响, 通过中试试验, 以天津市引黄水为研究对象, 研究水处理工艺的改变对消毒工艺的影响规律。基于对各水处理流程的耗氯量、消毒副产物生成和消毒效果等的分析, 探讨相关作用机理。结果表明, 高锰酸盐复合药剂 (PPC) 预处理后能够延缓氯的消耗速度, 深度处理工艺可进一步破坏耗氯物质。改变水处理流程可提高对有机物及藻类的去除率, 降低水体中可与氯作用的前体物质浓度, 在提高消毒效果的同时达到控制消毒副产物的目的。PPC 预处理和深度处理联用提供了去除水中消毒副产物前体物的多级屏障, 是改善出水水质的安全、高效的水处理流程。

关键词: PPC 预处理; 余氯; 消毒; 消毒副产物

中图分类号: TU991.2

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2008)02-0220-03

Effects of water treatment processes' selection on disinfection unit

L IANG Heng¹, L I Xing², X U Qiang³, L I Gui-bai¹, H E Wen-jie⁴, HAN Hong-da⁴

(1 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China, E-mail: liangheng@hit.edu.cn; 2 School of Architectural Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100022, China; 3 Harbin Institute of Technology Environmental Protection Tech. Ltd. Co., Harbin 150001, China; 4 Tianjin Water Supply Group Ltd. Co., Tianjin 300121, China)

Abstract: Pilot tests were conducted for Tianjin water from Yellow River to compare the effects of water treatment processes on disinfection unit. Based on the analysis of residual chlorine consumption, disinfection by-products (DBPs) production and disinfection efficiency, the effects of water treatment processes on disinfection were investigated and the mechanisms were discussed. The results show that pretreatment by permanganate composite chemicals (PPC) can slower the residual chlorine consumption. Advanced treatment process can also destroy the matters which react with chlorine. Changing processes can improve the removal efficiencies of organic matters and algae, and decrease the concentration of precursors reacting with chlorine, thus achieves the enhancement of disinfection and controlling of the production of DBPs. Combining PPC pretreatment with advanced treatment is effective for its safety and ability in reducing DBPs precursors.

Key words: pretreatment by PPC; residual chlorine; disinfection; disinfection by-products (DBPs)

饮用水消毒过程中, 保障消毒效果的同时控制消毒副产物的生成量是理想的消毒途径。保障消毒效果中涉及到如何延长消毒剂接触时间和提高消毒剂浓度^[1]; 控制消毒副产物的生成量涉及到在前期工艺单元去除消毒副产物前体物和安全消毒技

术^[2-4]。在前期的静态试验研究中, 验证了增加化学预处理会延缓消毒工艺中余氯消耗速度, 进而相对提高消毒剂浓度, 保障消毒效果; 并可通过化学预处理改变水体中有机物相对分子质量分布, 去除消毒副产物前质, 从而减少了消毒工艺中消毒副产物的生成量^[5]。本文通过中试模型比较不同水处理工艺流程对于后续消毒工艺的影响。

1 实 验

1.1 原水水质

原水取自 3~4 月份天津引黄原水, 由于原水在

收稿日期: 2005-04-21.

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目 (863-2002AA601140).

作者简介: 梁 恒 (1979—), 男, 博士;

李圭白 (1931—), 男, 博士生导师, 中国工程院院士。

水库存放时间较长,因此水质较差.

表 1 试验期间原水水质

$\rho(\text{TOC})$ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	耗氧量 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	pH	藻类 万个 $\cdot \text{L}^{-1}$	氨氮 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	浊度 NTU
4.6~	4.7~	8.39~	1130~	0.18~	5.85~
5.0	5.1	8.44	1550	0.21	7.47

1.2 试验条件

采用 DPD 标准方法测定水中的余氯,滤膜法检测总大肠菌群,平板计数法测定细菌总数,浊度测定采用 HACH2100N,耗氧量采用酸性高锰酸钾法测定,UV₂₅₄测定采用上海光谱仪器有限公司 WFZ 系列 752 型紫外分光光度计,三卤甲烷测定采用 Agilent 6890 N 气相色谱仪^[6]. 根据“湖泊富营养化调查规范”中推荐的方法,藻类计数采用视野法.

1.3 试验方法

采用两套平行系统进行对比研究,选用了以下 4 种处理工艺流程作为研究对象:

流程 1 (P1): 原水—混合—反应—气浮—过滤—活性炭—消毒

流程 2 (P2): 原水—PPC 预处理—混合—反应—气浮—过滤—活性炭—消毒

流程 3 (P3): 原水—混合—反应—气浮—过滤—O₃ 氧化—活性炭—消毒

流程 4 (P4): 原水—PPC 预处理—混合—反应—气浮—过滤—O₃ 氧化—活性炭—消毒

中试系统中各单元的基本工艺参数如下:系统设计流量:5 m³/h (中间氧化接触池、活性炭池、消毒接触池除外);预氧化:预氧化接触时间 20 min,预氧化剂为 PPC,试验中 PPC 投量为 1.0 mg/L;混合池:机械混合池,混合时间 1 min,混凝剂 FeCl₃,试验中混凝剂投量均为 8 mg/L;反应池:二级机械反应池,每级反应时间 9 min;气浮池:停留时间 15 min,回流比 8%;砂滤池:双层滤料,石英砂 400 mm,无烟煤 600 mm,滤速 8 m/h;中间氧化接触池:流量 2.5 m³/h 试验期间臭氧投量为 2.5 mg/L,停留时间 12 min;活性炭滤池:流量 1.25 m³/h,炭层厚度 1.25 m,承托层为厚度 0.5 m 的石英砂,滤速 5 m/h;消毒接触池:流量 1.25 m³/h,接触时间 2 h (试验中氯投量 3.0 mg/L).

2 结果与分析

2.1 不同水处理流程对耗氯量的影响

由图 1 可知,4 种水处理流程对消毒工艺中水体耗氯量的影响具有明显差异. P1 耗氯 1.74 mg/L, P2 耗氯 1.63 mg/L, P3 耗氯 1.54 mg/L, P4 耗氯 1.48 mg/L. P1 为常规处理工艺, P2 相

对于 P1 增加了 PPC 预处理,能够氧化去除一部分耗氯物质; P3 相对于 P1 增加了中间臭氧化过程,臭氧具有较强的氧化能力,而且对后续活性炭吸附具有较好的促进作用,因此,也能去除相当的耗氯物质; P4 中将 PPC 预处理与中间臭氧化过程联合使用,最大程度对水体中耗氯物质氧化、吸附去除,从而取得了最低的耗氯量. 消毒效果是由消毒剂浓度和消毒剂与水体接触时间决定的^[1],接触时间一定的前提下,在不增加消毒剂投量的情况下,减少水体耗氯量对提高消毒效果具有重要意义.

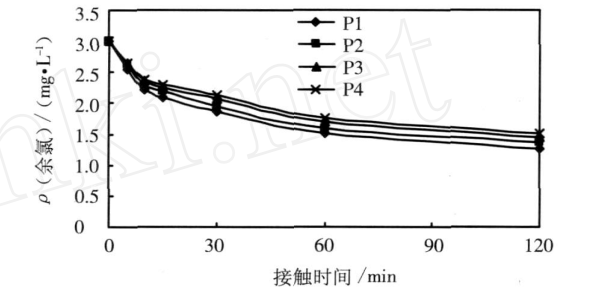


图 1 不同水处理流程对耗氯量的影响

2.2 不同水处理流程对消毒效果的影响

由于须满足出厂水余氯和细菌总数等指标要求,试验投量 3 mg/L 对于 4 种工艺均具有较好的消毒效果,对于总大肠菌群均能得到 100% 的去除效果. 对于细菌总数的控制,后 3 种工艺消毒后出水的细菌总数低于 P1 (见表 2). 这与后 3 种工艺减少了水体的耗氯量的试验结果一致.

2.3 不同水处理流程对有机污染物控制的影响

图 2 表明, P2、P3、P4 工艺具有较好的除有机污染物效果, P3、P4 的中间氧化过程使得工艺对 UV₂₅₄ 和 TOC 去除效果较好. UV₂₅₄ 主要表征水体中带共轭结构或含有芳环结构的不饱和有机物,且多为消毒副产物前体物^[7]. 中间氧化能够充分将双键氧化破坏,从而改变水体中有机污染物分布.

另外,藻类本身也是消毒副产物的前体物质,因此,对于藻类去除效果的好坏也关系到对前体物的去除效果. P2、P3、P4 均具有较好的除藻效果,其中 PPC 预处理是关键. 这是因为一方面 PPC 利用其强氧化性破坏藻类的有机胶质层,使氧化剂易于扩散透过细胞壁,进而破坏细胞的酶系统,从而达到灭活效果;另一方面,新生态二氧化锰吸附于藻类,增加了藻类的体积质量,使藻类易于在过滤过程中被截留^[5].

以上试验结果也说明了后 3 种工艺对消毒副产物前体物均具有较好的控制作用.

2.4 不同水处理流程对消毒副产物控制的影响

图 3 表明,后 3 种工艺对消毒副产物的产生均具有不同程度的控制作用. P1 中消毒出水 THMs 生成量为 40.66 $\mu\text{g/L}$, P2、P3、P4 中则分别为 32.51 $\mu\text{g/L}$ 、26.52 $\mu\text{g/L}$ 、23.15 $\mu\text{g/L}$,与 P1 相比,后 3 种工艺可使 THMs 生成量分别减少 20.04%, 34.77%, 43.06%. 这也再次说明,后 3 种工艺对于消毒副产物前体物均具有较好的去除作用,减少了可与氯反应的有机物浓度. P2 中 PPC 预处理具有较好的强化混凝和强化过滤作用,能够提高工艺对

有机物去除率,而且有研究发现 PPC 中主剂高锰酸钾能够破坏氯化消毒副产物前质,从而降低氯化消毒副产物生成量^[8]. P3 中的中间臭氧氧化对于副产物前体物的强氧化能力及其与活性炭吸附的联合使用使得对消毒副产物生成量控制也具有很好的效果^[9]. 而 P4 中将 PPC 预处理和深度处理工艺联合使用,充分体现了“全流程、多级屏障”的概念,使得对于前体物去除有了多级保障,因此,对消毒副产物控制效果最佳.

表 2 不同水处理流程对消毒效果的影响

流程	项目	接触时间 /min						
		0	5	10	15	30	60	120
P1	细菌总数 / (CFU · mL ⁻¹)	121	13	3	2	7	4	3
	总大肠菌群 (CFU · L ⁻¹)	210	0	0	0	0	0	0
P2	细菌总数 (CFU · mL ⁻¹)	77	4	1	2	1	0	1
	总大肠菌群 (CFU · L ⁻¹)	210	0	0	0	0	0	0
P3	细菌总数 (CFU · mL ⁻¹)	85	3	2	1	1	0	2
	总大肠菌群 (CFU · L ⁻¹)	360	0	0	0	0	0	0
P4	细菌总数 (CFU · mL ⁻¹)	95	3	0	0	0	2	1
	总大肠菌群 (CFU · L ⁻¹)	210	0	0	0	0	0	0

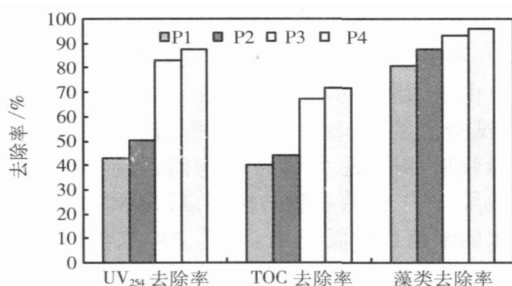


图 2 水处理流程对活性炭滤池出水有机污染物影响

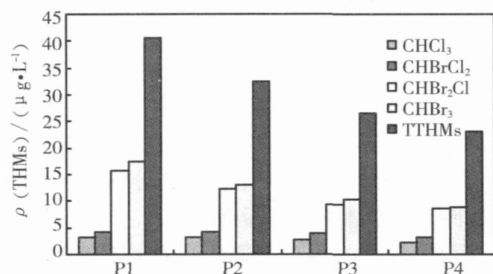


图 3 不同水处理流程对消毒副产物控制的影响

3 结 论

- 1) 以天津引黄水为研究对象,通过中试试验,发现不同的水处理流程对于后续消毒工艺具有不同的影响规律.
- 2) PPC 预处理能够延缓氯的消耗速度,深度处理工艺可进一步破坏耗氯物质. PPC 预处理和深度处理联用能够提供对消毒副产物前体物去除的多级屏障,进一步提高对其去除效果.

3) PPC 预处理和深度处理均可提高对有机物及藻类的去除率,降低了水体中可与氯作用的前体物质浓度,在提高消毒效果的同时达到控制消毒副产物的目的.

参考文献:

[1] 许保玖. 给水处理理论 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.

[2] 周鸿, 张晓健. 安全消毒技术研究展望 [C]// 中国土木工程学会水工业分会给水委员会第八次会议. 成都, 2000. 1 - 6.

[3] ROOK J J. Formation of haloforms during chlorination of nature waters[J]. J Wat Treat Exam, 1974, 23(2): 234 - 243.

[4] USEPA Status Report on the Development of Draft MCLGS for Disinfectants and By-products[R]. Washington, D. C: [s n], 1992.

[5] 刘娟, 马军. 高锰酸盐复合药剂预氧化对耗氯量的影响 [J]. 中国给水排水, 2003, 19(7): 5 - 7.

[6] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京:国家环境保护总局, 2002.

[7] 马军, 石颖. 高锰酸盐复合药剂预氧化与预氯化除藻效能对比研究 [J]. 给水排水, 2000, 26(9): 27.

[8] SNGER P C. The effects of pemanganate pretreatment on trihalomethane fomation in drinking water [J]. J AWWA, 1980, 72(10): 573.

[9] RICE R G. Uses of ozone in drinking water treatment [J]. J AWWA, 1981, 73: 44.

(编辑 刘 彤)