

# 两点短时游离氯后转氯胺的顺序氯化消毒工艺 在常规工艺中的应用

刘静, 张晓健, 陈超, 王洋

(清华大学环境科学与工程系, 北京100084)

**摘要:** 本研究基于顺序氯化消毒工艺的原理, 提出了两点短时游离氯后转氯胺的两点顺序氯化消毒工艺, 即在过滤和清水池前的两点分别加氯, 并在清水池加氯后立即加氨转化为氯胺消毒的工艺。采用该工艺对常规处理工艺的给水厂进行了消毒试验, 结果表明加氯点的适当提前, 不仅有利于控制消毒副产物的生成量, 而且有效抑制了滤池中的生物膜滋生。两点顺序氯化消毒工艺中生成的卤代消毒副产物比相同条件下一次性加入等量的氯消毒剂的消毒方法产生的 THMs 平均减少了 51.6%, HAAs 平均减少了 46.7%。细菌学指标 HPC 的结果也显示出了该工艺在保障水质的微生物安全方面的优势。

**关键词:** 氯消毒, 氯胺消毒, 消毒副产物, 常规工艺

The use of two-points-short-term free chlorine plus chloramines disinfection process in conventional treatments of water supply

LIU Jing, Z HANG Xiao-jian , CHEN Chao, WANG yang

*(Dept. of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University , Beijing 100084, China)*

**Abstract:** Two-points-short-term free chlorine plus chloramines disinfection process was used in conventional treatments of water supply. The process is adding chlorine at the start of filtration and clear well respectively, and then after a few minutes chlorine disinfection in clear well adding ammonia to change the chlorine to chloramines. The point of chlorine dosing move up to the filtration process can decrease disinfection by-product yield and control bio-film growth in filtration process. Compared with adding equal quantity chlorine once, this process reduced 51.6% of THMs and 46.7% of HAAs. HPC result also showed advantage in microorganism controlling.

**Key words:** chlorine disinfection; chloramines disinfection; disinfection byproduct; conventional process

# 1 介绍

## 1.1 常规消毒工艺存在的问题

消毒是给水处理的最后一道屏障，主要功能是保障饮用水的微生物安全。采用地表水为源水的给水厂普遍采用了预加氯的方法控制源水中的藻类，最后在清水池前和出水中补加一定浓度的氯以满足消毒灭菌和管网中对剩余氯浓度的要求。

例如采用氯消毒的某北方水厂，在混合井前投加较高浓度的氯，控制混合后的氯浓度为1.8mg/L-2.5mg/L，滤前1.4mg/L-1.6mg/L，滤后1.0-1.2mg/L。这样的办法虽然解决了水中藻类滋生的问题，但是由于未经处理的源水中有机物含量较高，它们和氯消毒剂反应，会产生较多的卤代消毒副产物。

## 1.2 顺序氯化消毒工艺的原理及其应用的扩展

清华大学环境系张晓健、陈超等开发了一种短时游离氯后转氯胺的顺序消毒工艺（简称顺序氯化消毒工艺），利用游离氯灭活微生物迅速，氯胺消毒副产物生成量低的优点，安全经济地实现了病原微生物和消毒副产物的双重控制<sup>[1]</sup>。该工艺通过对清水池进行简单改造（增加氨的投药口和导流墙）即可实现，清水池停留时间的前5~15min采用氯消毒，之后加氨转化为氯胺消毒。

在源水水质较好的情况下，顺序氯化消毒工艺在降低副产物生成量和保障水质的微生物安全两方面都有较好的效果。但是由于加氯点靠后，前处理工艺往往会受到水中滋生的藻类的影响，特别是在过滤工艺中，滤池中会形成生物膜，使滤料结块，影响过滤和反冲洗的效果。有时还会造成微生物泄漏，形成的大块菌团在清水池中不易被消毒剂完全杀灭，影响供水安全。

因此本研究在顺序氯化消毒工艺的基础上，针对常规工艺中消毒剂投加方法产生的问题，将投氯点设在过滤前和清水池前，并在清水池停留时间的前15min进行加氨转化，采用多点顺序氯化消毒工艺进行消毒处理。多点顺序氯化消毒工艺的示意图如图1所示。

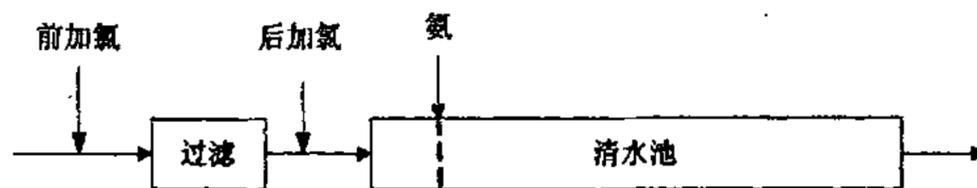


图1 多点顺序氯化消毒工艺示意图

Fig.1 Multi-points sequential chlorination process

## 2 试验流程和工艺参数确定

### 2.1 试验流程

试验采用给水厂混凝-气浮工艺后的出水作为小试滤柱的进水,用蠕动泵为小试滤柱加氯,取滤后水进行加氯、加氨的模拟清水池的静态试验,清水池停留时间为 2h。处理后的水样监测余氯、细菌总数、总大肠菌群、HPC 和消毒副产物卤乙酸、三卤甲烷等指标。

### 2.2 工艺参数

消毒剂作用的时间是本研究中的重要工艺参数。本研究中滤柱的停留时间为 8min,因此前加氯的反应时间即为 8min。第二次加氯后的反应时间通过预试验确定,试验结果显示在多点顺序氯化消毒工艺中应该缩短清水池中加氨转化的时间,因此本工艺采用“前加氯+后加氯+立即加氨转化”的两点顺序氯化消毒工艺。即在滤池前投加一定量的氯,经过滤池的停留时间(一般 8~10min)后,在清水池前补投加一定量氯并立即将其转化为氯胺继续消毒。

根据水厂实际的氯消毒剂投药量和顺序氯化消毒工艺的建议投氯量,确定系统的总投氯量为 3mg/L,采用的氯氨比为 4:1。

## 3 结果分析和讨论

研究重点考察了前后投氯比为 1/5、1/2、1/1、2/1 和 5/1 时的两点顺序氯化消毒工艺的余氯、细菌学指标和消毒副产物指标。文中将两点顺序氯化消毒工艺记为 1# 工艺,即“前加氯+后加氯+立即加氨转化”。另外采用两个对照组对结果进行比较分析:①前后投氯比相同的不加氨转化的工艺(记为 2#:前加氯+后加氯);②一次性加氯 3mg/L 的对照组。

对小试滤柱的耗氯量分析结果显示在试验条件下水样耗氯量较为稳定,平均为 0.84mg/L。小试滤柱的有机玻璃内壁和滤料也有一定的耗氯量,平均为 0.22mg/L。因此为了得到稳定可靠的结果,后续试验均以静态试验代替小试滤柱。

试验过程中消毒剂的浓度变化如图 2 所示,总投氯量为 3mg/L 时,两种消毒剂投加方法的清水池出水的有效氯浓度均大于 1.5mg/L,采用顺序氯化消毒工艺可以保证清水池出水的有效氯浓度为 2mg/L 以上。

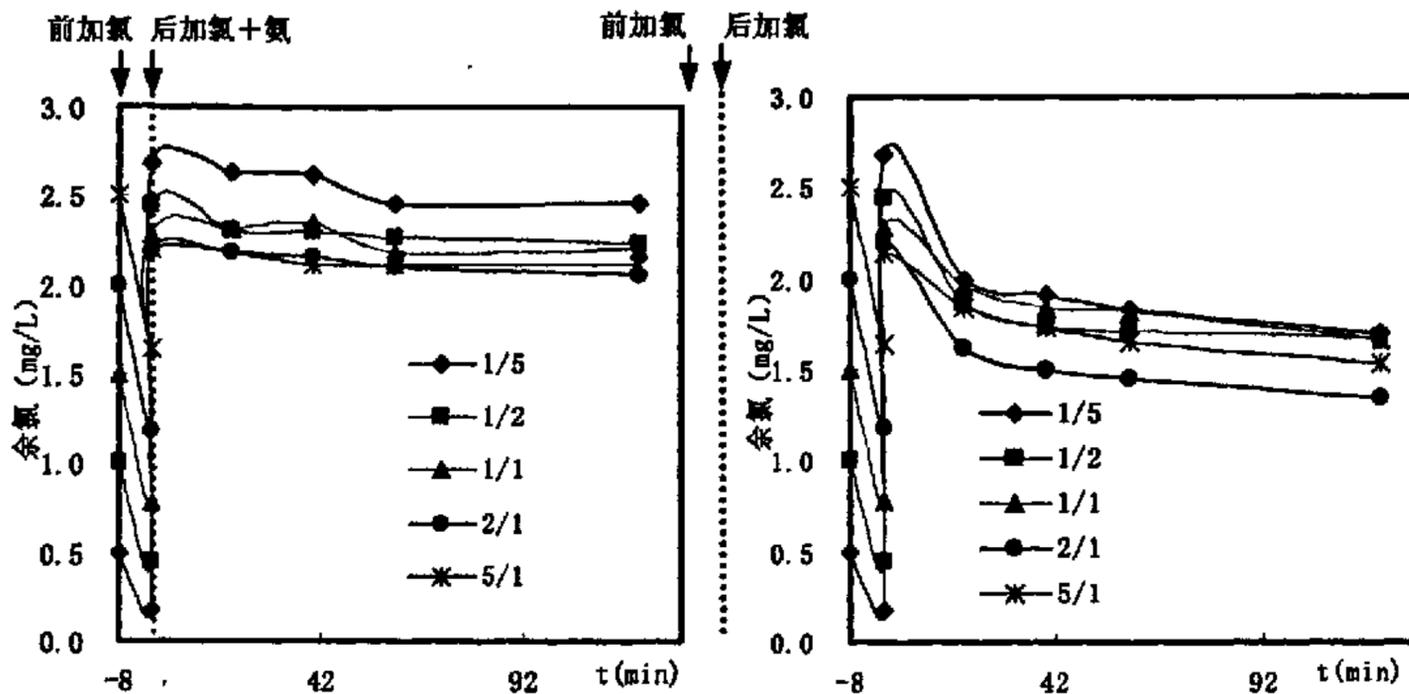


图2 消毒工艺中的余氯变化规律

Fig.2 Residual chlorine variations of two disinfection processes

### 3.1 两点顺序氯化消毒工艺的微生物安全性评价

表1 消毒工艺对细菌学指标的控制效果

Tab.1 The control of bacterial indexes

前后投氯量 (mg/L)		进水	0.5/2.5	1.0/2.0	1.0/1.0	2.0/1.0
1#: 前加氯+	细菌总数 (CFU/ml)	300	5	7	4	5
后加氯+	总大肠菌群 (CFU/L)	4500	未检出	未检出	未检出	未检出
立即	HPC (CFU/ml)	1350	31	22	55	35
加氨转化						
2#: 前加氯+	细菌总数 (CFU/ml)	300	3	1	0	1
后加氯	总大肠菌群 (CFU/L)	4500	未检出	未检出	未检出	未检出
	HPC (CFU/ml)	1350	176	218	254	168

《生活饮用水水质卫生规范》(卫生部, 2001) 中规定饮用水中细菌总数不超过 100CFU/ml, 每 100ml 水样中不得检出大肠杆菌。两种消毒方法均可以较好地满足规范的要求。

异养菌平板计数 (HPC) 采用 R2A 培养基, 营养成分更加全面, 适合水中自然存在的多种细菌生长; 培养温度 20℃ 和实际的水温接近, 因此更接近水的真实情况; 而且 7 天的培养时间可以满足多种细菌的充分生长。因此异养菌平板计数可以较为准确地测量水中自然存在的多种活细菌的总数, 采用 HPC 评价的消毒效果在保障水质微生物安全上也更加可靠。

美国的水质标准 (EPA816-F-02-013) 中规定异养菌平板计数 HPC 不超过 500CFU/ml, 监测数据显示两点顺序氯化消毒工艺可以更好地控制 HPC 的数量, 这是由于氯胺的衰减速度较慢, 可以保持较高的浓度和较持久的消毒效力的缘故。

### 3.2 两点顺序氯化消毒工艺的副产物生成特性

#### (1) 三卤甲烷 THMs

总三卤甲烷 (THMs) 的监测结果显示, 两点顺序氯化消毒工艺可以有效降低 THMs 的生成

量。不同投加比的两点顺序氯化消毒工艺生成的 THMs 量基本相当，为  $12 \mu\text{g/L}$  左右，当投氯比为 2/1 时，生成的 THMs 总量最低，为  $8.3 \mu\text{g/L}$ 。

一次性投加  $3\text{mg/L}$  氯进行消毒产生的 THMs 量为  $23.7 \mu\text{g/L}$ 。因此两点顺序氯化消毒较一次性投加氯消毒剂的方法，THMs 生成量最多可减少 64.9%（投氯比为 2/1），平均可减少 51.6%。

在对照组 2# 工艺中，当投氯比为 1/2、1/1、2/1 时，生成的 THMs 量较一次性投加氯消毒剂的方法也有明显的降低，降低的幅度分别为：33.4%、60.2%和 57.3%。由此可见，在本试验系统中将一次性投加氯消毒剂改为分两次投加，当两次投加的量较接近时，生成 THMs 的量会明显降低。

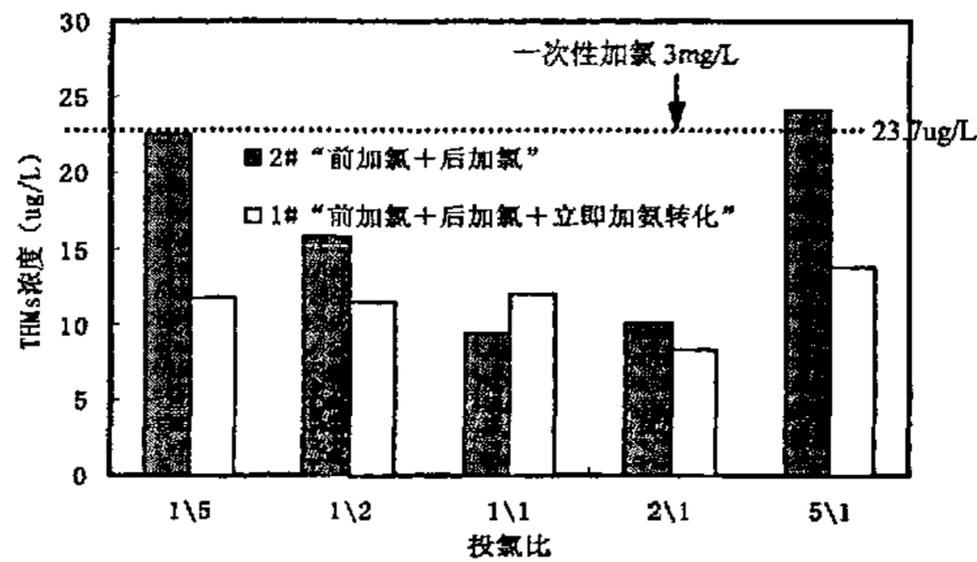


图 3 不同投氯比时两种消毒方法生成的总三卤甲烷量比较

Fig.3 Comparison of THMs yield as the chlorine dose proportions are different

(2) HAAs

试验中卤乙酸 (HAAs) 的生成量均较低，产物中以二氯乙酸 (DCAA) 和三氯乙酸 (TCAA) 为主。与对比组的 2# 工艺和一次性投加  $3\text{mg/L}$  氯的消毒方法相比，两点顺序氯化消毒的工艺生成 HAAs 的量最低。当投氯比为 1/1 时 1# 工艺生成的 HAAs 最少，为  $1.70 \mu\text{g/L}$ 。在该工艺中采用不同投氯比处理的水样生成的 HAAs 量与一次性投加相比平均减少了 46.7%。

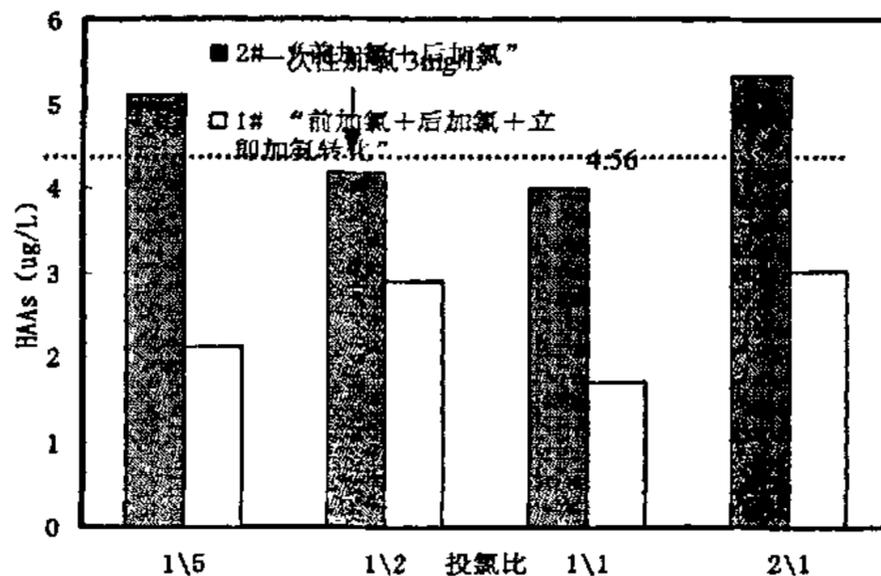


图 4 不同投氯比时两种消毒方法生成的总三卤甲烷量比较

Fig.4 Comparison of HAAs yield as the chlorine dose proportions are different

## 4 结论

本文基于顺序氯化消毒的原理,在过滤前增加一个投氯点,采用两点短时游离氯后转氯胺的顺序氯化消毒工艺进行消毒处理。该消毒方法既可保证以出水的微生物安全,又有效降低了总的投氯量和消毒副产物生成量,滤前投加的氯消毒剂还可以保证过滤工艺的正常运行。

研究中的两点顺序氯化消毒工艺,在清水池补投加氯后,立即进行加氨转化,因此可以在清水池前完成加药和混合的过程,而不需要对原有清水池进行改造。此外,两点顺序氯化消毒工艺还保留了原来的顺序氯化消毒工艺低成本的优点,对已建成的给水厂经济适用。

### 参考文献:

- [1] 陈超,控制消毒副产物的顺序氯化消毒及水处理工艺优化研究[博士学位论文].北京:清华大学环境科学与工程系,2005.
- [2] Diehl Alicia C, Speitel Jr Gerald E, Symons James M, *et al*. DBP formation during chloramination [J]. American Water Works Association, 2000, 92(6): 76-90.
- [3] Standard methods for the examination of water and wastewater [S]. Am Pub Health Assoc, Washington DC, USA.
- [4] Xie Yuefeng, Rashid Inni, Zhou Haojiang, *et al*. Acidic methanol methylation for HAA analysis: Limitations and possible solutions [J]. American Water Works Association, 2002, 94(11): 115-123.
- [5] 鲁巍,王云,张晓健.饮用水中几种计数方法的比较[J].环境科学,2004,25(4):167-169.

---

作者简介:刘静(1981- ),女,清华大学环境科学与工程系博士生,研究方向为饮用水消毒处理理论与技术。

电话: (010) 62781779

传真: (010) 62785687

E-mail: liujing99@mails. tsinghua. edu. cn