



管道分质供水 TCCA 消毒方法

吴贤格, 肖贤明

(中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640)

[摘要] 对三氯异氰尿酸(TCCA)消毒法在管道分质供水中的应用进行了研究。结果表明, 利用 TCCA 消毒管道分质供水, 只要控制管网水中余氯质量分数 $> 3.0 \times 10^{-8}$, 就能起到良好的消毒效果, 并能有效的控制消毒副产物, 使管道分质供水具有较好的口感。采用的 TCCA 消毒法在管道分质供水工程具有广泛应用前景。

[关键词] 管道分质供水; 消毒; 三氯异氰尿酸

[中图分类号] TQ085+.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-829X(2005)06-0024-04

TCCA disinfection technique of dual water supply

Wu Xiange, Xiao Xianming

(State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Disinfection technique of TCCA applied to dual water supply has been investigated. The results show that TCCA is a good disinfectant for dual water supply. In the case of 0.03 mg/L of effectively chlorine, the disinfected water can achieve good disinfection result, and control the disinfection by-products effectively, and keep the dual water supply a good taste. The TCCA disinfection technique will have wide prospect in the dual water supply engineering.

Key words: dual water supply; disinfection; trichloroisocyanuric acid

由于工业化的迅速发展造成许多饮用水处理厂的水源水受到不同程度的污染^[1], 而自来水传统生产工艺对微污染源改造难以实施, 近年来, 在我国管道分质供水行业得到迅速发展, 这种将用水量只占整个生活用水量 3%~5% 的饮水水质提高的优质饮水供给方式既经济又方便, 适应我国现状, 将具有广阔的市场前景^[2-4]。然而管道分质供水能否得到广大消费者的认可^[5], 杀菌工艺流程对水质的影响尤其重要。目前直饮水杀菌方法大致有三种: 臭氧、紫外线、二氧化氯。若采用传统臭氧杀菌, 因水中残留臭氧, 会对口腔粘膜产生刺激且水质口感不太好, 采用 UV 杀菌可能会造成杀菌不彻底, 且无论是加臭氧还是用紫外线杀菌, 都只能起到一种瞬时杀菌效果, 在管网中不能起到持续抑菌效果, 而投加二氧化氯, 设备成本太高。因此, 寻求一种广谱、持久、安全、方便、经济的杀菌方法是直饮水供水行业中亟需解决的问题。笔者对三氯异氰尿酸(TCCA)这种新型消

毒剂应用于管道分质供水的消毒性能进行了研究, 认为是一种很有应用前景的方法。

1 TCCA 消毒作用机理

TCCA 的分子式为 $C_3N_3O_3Cl_3$, 外观白色结晶状粉末或白色颗粒片状, 散发次氯酸刺激性气味; 溶解度 12 g/L, 在水中分解 50% 所需时间为 48 h; 熔点 235 $^{\circ}C$; 有效氯质量分数 $\geq 80\%$ 。

TCCA 杀菌原理: TCCA 在水中水解后的产物是次氯酸分子, 由于次氯酸分子不带电荷, 其拆散穿透微生物细胞膜(带负电荷)的速度比带电荷的次氯酸分子要快得多, 据实验测定, 次氯酸分子的杀菌能力约为次氯酸根的 100 倍; TCCA 具有极强的氧化作用会使细菌或病毒的蛋白质变形而死亡, 这样以来, 杀菌与氧化产生协同作用, 因而也大大加强了其杀菌效果。在美国, 联邦食品与药品管理局(FDA)和环保局(BPA)已正式批准该产品应用于食品及饮用水消毒, 并有望取代传统消毒剂, 而在国内尚未见 TCCA

作为饮用水消毒剂的报道^[12]。

采用的 TCCA 长效缓释剂,是将活性制剂(TCCA)经聚乙二醇等材料表面改性后,与聚乙烯、聚乙烯醇、乙烯-醋酸乙烯酯(EVA)等无毒基材共混^[6],利用压模、注模、挤出等成型手段成型。本消毒剂具有:消毒作用高效、长效、广谱,在水中可均匀缓慢释放消毒成分。

2 实验方法

(1)管道分质供水净水工艺采用 RO 膜过滤,其流程:源水(自来水)→石英砂滤器→活性炭过滤器→保安过滤器→RO 膜处理→pH 调节器→GAC 过滤器→精密过滤器→TCCA 杀菌器→净水箱→变频供水→用户。

(2)TCCA 消毒装置。如何将 TCCA 投入到水中是该技术的关键。本研究应用其缓释原理,设计了一套自动投加装置(见图 1),该消毒装置包含 A 和 B 两部分,其中 A 装置是选择物理和化学性能非常稳定的聚四氟乙烯材料做成,用来盛装 TCCA 消毒剂缓释片,通过调节 A 消毒器密封盖的位置,来调节 TCCA 释放量。B 装置为 PE 材料制成。通过调节 B 装置上的两调节阀 1 和 3,达到控制 TCCA 投加量的目的。

需要指出的是本研究余氯含量为总余氯含量,试验中 TCCA 投加量按总余氯含量评价。对分质供水水质的评价,参照文献[10]中的有关水质口感评价方法进行,其中级别-2 相当于广州自来水的口感。

3 结果及讨论

3.1 净水中有效氯含量的控制

净水中有效氯浓度与消毒时间的关系见图 2。

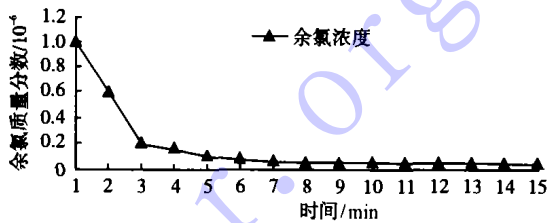


图 2 净水中余氯浓度与消毒时间的关系

由图 2 可以看出,本装置可有效控制净水中的余氯浓度,在 RO 主机产水初期,当净水流经消毒器时,净水中余氯浓度较高,质量分数 $> 2.0 \times 10^{-7}$,但 2~3 min 后,净水中余氯质量分数保持在 3.0×10^{-8} 。

3.2 消毒效果评价

微生物指标检测见表 1。

表 1 微生物指标检测

项目	细菌总数/ (CFU·mL ⁻¹)	霉菌/ (CFU·mL ⁻¹)	大肠菌群/ L ⁻¹	有效氯质量 分数/10 ⁻⁷
自来水	48	10	<30	2.0
RO 机出水	64	18	<30	0.1
消毒后净水	0	0	<30	0.5
净水箱出口	0	0	<30	0.5
回水口	2	0	<30	0.4
POU	1	0	<30	0.4

注:POU 表示管网终端用户;CFU 表示菌落形成单位。

由表 1 可以看出,利用 TCCA 法消毒,对细菌、霉菌具有良好的消毒效果,可基本保证消毒后的净水及保存在净水箱的净水无菌,消毒后的净水即使保存在管网中 > 24 h,净水中细菌仍可控制在 5 CFU/mL 内,霉菌基本不生长,具有一定的持续抑菌生长的效果。为评价 TCCA 消毒法的安全性,分别对自来水、净化水及消毒后的管网净水进行消毒副产物的检测,结果见表 2。

从表 2 中可以看出,与自来水相比,消毒副产物降低了 90%,利用 TCCA 消毒法处理后的净水,基本不会产生新的消毒副产物,消毒副产物指标完全符合我国《饮用净水水质标准》(CJ 94—1999)的要

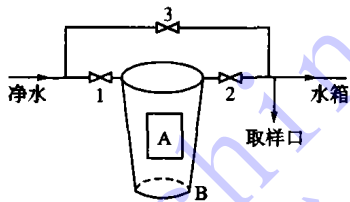


图 1 TCCA 投加装置

(3)试验方法。消毒试验在广州水杯子分质供水工程有限公司办公楼进行,方法如下:根据 RO 设备产水能力,调节好消毒器 A 密封盖的位置,将其置于装置 B 中,让 RO 主机所产生的纯净水经过装置 B,同时检测水中余氯浓度。控制水中余氯质量分数在 $3.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-7}$,同时将上述水样充入模拟管网和纯净水储水桶中;连续 24 h 对净水箱出口、回水口、用户点处水样的细菌、余氯浓度、口感的变化情况进行跟踪监测;模拟小区管道分质供水,分别在 8:00、16:00 及 0:00 时间段设立管网自动循环,循环时间为 10 min。

水质分析在中科院广州地球化学研究所有机地球化学重点实验室完成。消毒副产物采用吹扫捕集-气相色谱质谱组合分析仪按美国 EPA 标准方法分析^[7],其他指标分析按国家相应标准方法^[8,9]。

表 2 管道直供饮水消毒副产检测

项目	自来水	RO净水	净水箱	回水管	POU
氯仿/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	13.14	1.21	2.19	1.80	1.81
苯/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	2.13	0.22	0.35	0.51	0.27
甲基环己烷/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.38	0.18	0.00	0.14	0.18
甲苯/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	22.16	1.87	0.89	1.89	2.10
乙基苯/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	5.21	0.39	0.00	0.44	0.51
邻二甲苯/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	12.34	1.36	0.00	1.30	1.34
间二甲苯/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	5.27	0.44	0.00	0.45	0.47
甲基乙基苯/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.05	0.00	0.00	0.00	0.45
四氯乙烯/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	18.62	2.11	0.00	0.00	0.00
三氯乙烯/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	2.34	0.27	0.00	0.00	0.00
总有机碳/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.59	0.046	0.065	0.054	0.048
VOC ₅ /($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	82.32	7.87	3.49	6.26	6.72

注:VOC₅表示总挥发性有机物。

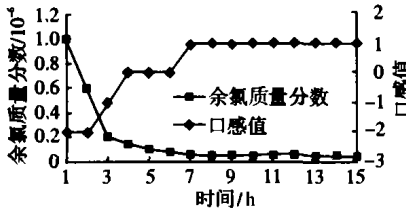


图 3 净水口感与水中余氯浓度的关系

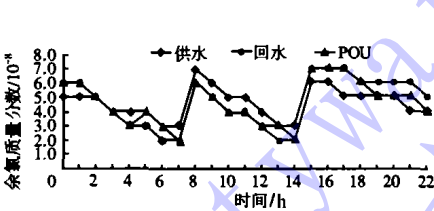


图 4 直饮水余氯浓度 24 h 变化情况

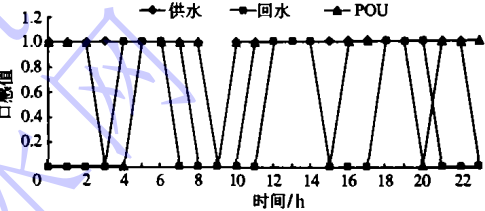


图 5 直饮水口感 24 h 变化情况

4 TCCA 杀菌方法的经济成本分析

与其他传统方法(如紫外杀菌、臭氧杀菌、投加液体二氧化氯等)相比,TCCA 法进行管道分质供水杀菌,具有其他方法无法比拟的优越性,其成本不到常规方法的 1/20,见表 3。

表 3 各种消毒方法成本比较

	UV方法	臭氧方法	投氯方法	TCCA方法
设备成本/万元	进口 0.9 国产 0.6	进口 2.2 国产 1.2	进口 10 国产 4.5	0.1
使用寿命/a	~1	进口 3~4 国产 1~2	进口 3~5 国产 2	>20
耗电	耗电较大	耗电、气较大	耗电较大	不耗电
占地面积	较大	较大	较大	基本不占地
安全稳定性	较好	一般	一般	较好
设备维护成本/(元·a ⁻¹)	1 800	4 000	2 800	90

注:设备以处理净水量 20 m³/d 计算。

5 结论

(1)利用 TCCA 对管道分质供水进行消毒杀菌,不仅能达到瞬时杀菌效果,还具有持续杀菌能力,具有一定的保鲜作用;且利用 TCCA 对净水杀菌,只要维持净水管网中余氯质量分数 $>3.0\times 10^{-8}$,就能达到有效的杀菌效果。

求,可达到美国饮水标准 MCL 的要求。

3.3 水质监测情况

24 h 水质监测情况见图 3~图 5。

由图 3 可以看出,当水中含有少量余氯时,可保持净水有良好的口感;当达到某一极限值(1.0×10^{-7})时,随着净水中余氯浓度升高,净水口感越来越差,由最初具有清甜暂变为有滑腻感、口涩、粗糙到最后难以入口。由图 4、图 5 可以看出,在 24 h 内,净水中余氯可维持在 $2.0\times 10^{-8}\sim 8.0\times 10^{-8}$,水质口感保持良好。试验结果表明,当净水中余氯质量分数达到 3.0×10^{-8} 时,可保证消毒后的净水达到无菌效果,当余氯含量控制在 $2.0\times 10^{-8}\sim 3.0\times 10^{-8}$ 范围内,管网末梢中净水细菌总数可以控制在 10 CFU/mL 范围内。

(2)利用 TCCA 对管道分质供水消毒处理,无论是一般化学指标还是毒理学指标,可达到美国饮水标准 MCL 标准的要求,完全符合国家《饮用净水水质标准》(CJ 94—1999)的要求。由此可见,利用 TCCA 对管道直饮水进行杀菌的方法是可靠的。

(3)采用 TCCA 法对管道分质供水杀菌,其成本不到常规方法的 1/20。

[参考文献]

[1]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,1999.4-7
[2]李云,李东.我国管道分质供水现状[J].中国给水排水,1998,15(1):24-25
[3]周虎城.建筑与居住小区饮用水集中分质供水一些问题的剖析[J].给排水与水工业,2002,1(1):35-41
[4]彭海清,李平,刘露,等.管道分质供水系统的组成及工程设计[J].中国给水排水,2002,19(5):42-43
[5]张务德,张需芹.新型塑料给水管材的性能和应用[J].新型建筑材料,2001,4(1):1-3
[6]谢思桃,邓正栋.扩散型控释消毒剂及其动力学模型[J].水处理技术,2001,20(2):15
[7]肖贤明,王新明,刘祖发.我国部分商品瓶装水中挥发性有机物的检出[J].环境科学研究,2001,14(1):61-65
[8]李正明,王兰君.矿泉水与瓶装水生产技术手册[M].北京:中国