

Q市给水系统中消毒副产物的变化研究

王尧, 叶素红, 章大山

(浙江衢州水业集团有限公司, 浙江 衢州 324000)

摘要: 以Q市石头坪水厂的水源水、滤后水、出厂水和管网水为检测对象,考察了采用液氯消毒工艺时水中消毒副产物的组成、变化规律和影响因素,并提出了控制饮用水中消毒副产物的对策。结果表明,Q市自来水中消毒副产物含量均低于国标限值,其中三氯甲烷含量最多,浓度为11.11 $\mu\text{g/L}$,是主要控制指标;消毒副产物主要产生于净水厂,且随输水管线的延长,其含量有增加的趋势;水中消毒副产物含量具有季节性变化规律;净水工艺对水中有机物的去除率可达到52%,通过提高有机物去除率和控制投氯量可有效减少消毒副产物的产生。

关键词: 液氯; 消毒副产物; 三卤甲烷; 卤乙酸; 季节性变化

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)09-0044-03

Variation of Disinfection By-products in Domestic Drinking Water in Q City

WANG Yao, YE Su-hong, ZHANG Da-shan

(Zhejiang Quzhou Water Industry Group Co. Ltd., Quzhou 324000, China)

Abstract: Source water, filtered water, clear water, and water in pipe network from Shitouping Waterworks were investigated regarding the composition and variation of disinfection by-products (DBPs) in the conventional treatment process. Additionally, strategies were proposed for controlling the DBPs. The results showed that, DBPs contents were below the limits in the national standard, and the major composition of DBPs was chloroform, whose concentration was 11.11 $\mu\text{g/L}$. DBPs were produced mainly in the water treatment plants and the concentration increased with the extension of water-pipelines. A seasonal variation in DBPs was observed. The removal rate of organic matters reached 52% at the waterworks. Increasing the removal rate of organic matters and controlling the chlorine dosage could effectively reduce the production of disinfection by-products.

Key words: liquid chlorine; disinfection by-products; trihalomethanes; haloacetic acids; seasonal variation

饮用水消毒副产物(DBPs)是指在饮用水消毒过程中消毒剂与水中有机物发生化学反应生成的卤仿和其他卤化物。研究表明三卤甲烷(THMs)、卤乙酸(HAAs)是液氯消毒副产物的主要组成成分^[1]。由于THMs和HAAs具有潜在的致癌风险^[2],因此如何在液氯消毒工艺中控制DBPs的生成和含量变化已成为研究热点^[3]。笔者以Q市石头坪水厂水源水、滤后水、出厂水和管网水为研究对象,分析了水中DBPs的含量、组成变化规律和影响

因素,旨在为优化液氯消毒工艺、有效控制DBPs的产生提供技术参考。

1 试验材料与方法

Q市石头坪水厂采用混凝、沉淀和过滤工艺,过滤后投加液氯消毒,具体工艺流程如图1所示。采集的水样包括水源水、滤后水、出厂水和管网末梢水,管网末梢水由近到远分别设置A、B、C、D共4个采样点。水源水、滤后水和出厂水每天采样一次,管网水每月采样一次,持续监测3年(2014年—2016

年)。

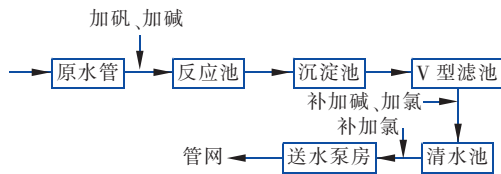


图1 石头坪水厂净水工艺流程

Fig. 1 Water purification process of Shitouping Waterwork

三卤甲烷采用毛细管柱气相色谱法检测;卤乙酸采用液液萃取衍生气相色谱法检测;水温、浊度、余氯、pH 值、COD_{Mn} 等均采用常规方法检测。

2 结果与讨论

2.1 DBPs 的组成和含量

THMs 和 HAAs 是氯消毒副产物的主要组成部分,也是《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)要求检测的氯消毒副产物指标。表 1 为 Q 市 2014 年—2016 年自来水中 DBPs 各组分含量。

表 1 Q 市自来水中主要消毒副产物的检测结果

Tab. 1 Determination of main DBPs in drinking water of Q

City $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目		检测结果				国标 限值
		2014 年	2015 年	2016 年	均值	
THMs	三氯甲烷	10.78	11.15	11.40	11.11	60
	一溴二氯甲烷	2.50	2.30	1.10	1.97	60
	二溴一氯甲烷	1.20	0.70	0.60	0.83	100
	三溴甲烷	0.35	ND	ND	0.12	100
HAAs	二氯乙酸	6.05	6.50	6.00	6.18	50
	三氯乙酸	3.05	4.00	4.00	3.68	100

由表 1 可知,Q 市自来水中 THMs 和 HAAs 含量较低,符合国家标准对消毒副产物的限制要求。其中,三氯甲烷含量明显高于其他组分,浓度均值为 $11.11 \mu\text{g}/\text{L}$,占 THMs 和 HAAs 两类消毒副产物总和的 46.50%,其次为二氯乙酸和三氯乙酸,浓度分别为 6.18 、 $3.68 \mu\text{g}/\text{L}$,一溴二氯甲烷和二溴一氯甲烷含量较少,几乎不含有三溴甲烷。因此三氯甲烷是消毒副产物的主要控制指标。

2.2 三氯甲烷的产生及在管网运输中的变化

设置水源水、滤后水、出厂水和 4 个管网水采样点(A、B、C、D)进行采样分析,A、B、C、D 这 4 个管网水采样点按输水管路由近及远的顺序分布。水源水、滤后水、出厂水及管网水中三氯甲烷含量的变化见图 2。可知,水源水中三氯甲烷含量极低;原水经过混凝沉淀和过滤处理后,水中三氯甲烷含量没有

明显变化,而投加液氯后,从滤后水到出厂水三氯甲烷含量急剧上升,说明消毒副产物主要形成于加氯后的前几个小时内;自来水在管网输送中三氯甲烷含量仍有缓慢增长趋势,在管网末梢 D 点三氯甲烷含量达到峰值,比出厂水增加了 50% 左右。可见自来水在管网输送中,水中的有机物等前体物质继续与余氯发生反应,生成消毒副产物。

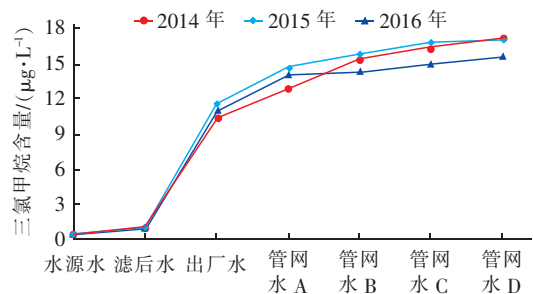


图2 水源水、滤后水、出厂水及管网水中三氯甲烷含量的变化

Fig. 2 Variation of trichloromethane in source water, filtered water, finished water and pipe network water

2.3 水中三氯甲烷含量的季节性变化规律

对饮用水中三氯甲烷含量进行全年分析,得出水中三氯甲烷含量具有明显的季节性变化规律:春季和冬季三氯甲烷含量偏低(12 月—次年 5 月),夏季和秋季三氯甲烷含量偏高(6 月—11 月),在 7 月—9 月三氯甲烷含量明显高于其他月份,因此在 7 月—9 月消毒副产物的含量变化应受到格外关注。

2.4 消毒副产物生成的影响因素及控制对策

液氯消毒副产物的产生机理为游离氯和水中的有机物发生化学反应生成卤仿和其他卤化物。消毒副产物生成量取决于水中前体物含量、pH 值、反应温度和消毒剂投加量等条件。

石头坪水厂原水取自乌溪江上游的黄坛口水库,原水水质良好(水温为 $11.83 \sim 25.41 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、浊度为 $0.99 \sim 12.42 \text{ NTU}$ 、pH 值为 $6.88 \sim 7.10$ 、TOC 为 $0.88 \sim 1.32 \text{ mg}/\text{L}$)。检测可知,原水温度、浊度、pH 值、TOC 这 4 项指标具有季节性变化规律。在 5 月—9 月,原水水温明显升高、浊度明显增大、TOC 含量有所增加、pH 值有所下降,水质整体变差,因此在 5 月—9 月需根据原水水质变化适时调整制水工艺,以保证出厂水水质,与此同时 5 月—9 月的矾耗、碱耗和氯耗均有所增加。水源水经过混凝、沉淀和过滤处理后,TOC 含量明显降低,去除率最高可

达52%,滤后水浊度稳定在0.1 NTU以内,pH值稳定在7.15左右。与水源水相比,滤后水除温度指标外,浊度、TOC和pH值均不再具有明显的季节性变化趋势,出厂水的温度、TOC、浊度和pH值与滤后水基本保持一致。

由于石头坪水厂采用滤后加氯的消毒方式,而滤后水部分水质指标与原水并不相同,因此仅凭原水水质和投氯量来分析DBPs的生成规律是不全面的。基于该厂消毒工艺和制水流程中水质的变化进行分析,可以得出:①水温升高能促进三氯甲烷的生成,并且水温基本不受净水工艺的影响,因此水温的季节性变化趋势与三氯甲烷的季节性变化趋势相符,二者线性关系良好, $R=0.9113$;②三氯甲烷的生成量与投氯量呈正相关,相关系数 $R=0.8517$,可见在氯消毒过程中,三氯甲烷的生成量随着投氯量的增加而增加;③混凝沉淀和过滤工艺能有效去除水中的有机物,因此当原水有机物含量升高时,可以通过优化净水工艺,达到最佳的混凝沉淀效果,以增大对有机物等前体物的去除率,从而有效控制三氯甲烷的生成量;④尽管在5月—9月水源水pH值略有降低,但是在投加液氯前已通过投加碱液使pH值稳定在7.15左右,因此pH值并不是引起水中三氯甲烷含量变化的主要因素。

3 结论

① Q市自来水中DBPs各组分含量较低,均符合国家标准对消毒副产物的限制要求。其中三氯甲烷含量最高,浓度均值为 $11.11\mu\text{g/L}$,其次为二氯乙酸和三氯乙酸,浓度分别为 6.18 、 $3.68\mu\text{g/L}$ 。三氯甲烷是消毒副产物的主要控制指标。

② 水中DBPs主要产生于加氯后的前几个小时,对滤后水进行加氯消毒后水中DBPs含量急剧上升,并且随着输水管网的延伸,水中DBPs含量呈缓慢上升趋势,在管网末梢DBPs含量达到峰值。

③ 水中三氯甲烷含量具有明显的季节性变化趋势,在7月—9月含量达到最高,因此水温较高时会对水中DBPs的生成起促进作用。

④ 石头坪水厂采用混凝、沉淀、滤后加氯消毒的净水工艺,因此对水中DBPs含量的影响因素和控制措施有以下几点建议:该水厂制水工艺对有机物的去除率最高可达52%,因此可通过优化净水工艺进一步提高对有机物等前体物的去除率,从而控制DBPs的生成量;DBPs的含量与投氯量呈正相

关,因此一方面在保证整个管网生物安全的前提下(管网水余氯 $\geq 0.05\text{ mg/L}$),严格控制加氯量,另一方面尽量缩短余氯和消毒副产物前体物的反应时间,尽量避免预氯化。在制水过程中通过投加碱液调节原水pH值稳定在7.15左右,因此pH值不是引起DBPs含量变化的主要因素;水温基本不受制水工艺的影响,其与DBPs含量变化具有显著相关性。

参考文献:

- [1] 蔡广强,张金凤,刘丽君,等. 南方某市饮用水中氯化消毒副产物超标风险评估[J]. 中国给水排水,2017,33(3):37-41.
Cai Guangqiang, Zhang Jinfeng, Liu Lijun, et al. Risk assessment of chlorinated disinfection by-products in drinking water in a southern city of China[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(3): 37-41 (in Chinese).
- [2] Richardson S D, Plewa M J, Wagner E D, et al. Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: A review and roadmap for research[J]. Mutation Research Reviews in Mutation Research, 2007, 636(3): 178-242.
- [3] 张怡然,方自毅,马文红,等. 低温低浊期原水预氧化和消毒副产物控制优化研究[J]. 中国给水排水, 2017, 33(11): 44-48.
Zhang Yiran, Fang Ziyi, Ma Wenhong, et al. Optimization of preoxidation and DBPs control of low temperature and low turbidity raw water[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(11): 44-48 (in Chinese).



作者简介:王尧(1988-),女,河北保定人,硕士,工程师,研究方向为给水处理技术。

E-mail: 1468356230@qq.com

收稿日期:2017-11-12