

农村供水中消毒副产物的形成与调控技术探讨

董艳平^{1,2}, 卢明锐³, 金 丽¹

(1. 山东省水利科学研究院, 山东 济南 250014; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038;

3. 濮阳黄河河务局第一黄河河务局, 河南 濮阳 457100)

【摘要】 由于农村地区通常采用较简单的供水和处理技术, 因此解决消毒过程中形成的消毒副产物(Disinfection By-products, DBPs)问题尤为重要。消毒副产物是在使用氯或其他消毒剂处理水时, 消毒剂与水中的自然有机物和无机物反应而形成的化合物。这些副产物包括但不限于三氯甲烷、卤代乙酸等, 长期接触这些物质对人体健康造成不良影响。为了有效去除或减少 DBPs, 文章评价了包括物理、化学及生物技术在内的多种处理方法。通过合理选择和组合不同的水处理技术, 可以有效减轻 DBPs 的影响。未来的研究需进一步探索低成本且适合农村地区的 DBPs 控制策略, 以提高农村居民的饮用水质量和安全。

【关键词】 农村供水; 消毒副产物; 有机物; 水安全

【中图分类号】 S277.7

【文献标志码】 A

【文章编号】 1009-6159(2025)-08-0066-02

Discussion on the Formation and Regulation Technologies of Disinfection By-products in Rural Water Supply

DONG Yanping^{1,2}, LU Mingrui³, JIN Li¹

(1. Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan, Shandong 250014, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. First Yellow River Administration Bureau of Puyang Yellow River Administration Bureau, Puyang, Henan 457100, China)

Abstract: Since relatively simple water supply and treatment technologies are usually adopted in rural areas, it is particularly important to solve the problem of Disinfection By-products (DBPs) formed during the disinfection process. Disinfection by-products are compounds formed by the reaction of disinfectants with natural organic and inorganic substances in water when chlorine or other disinfectants are used to treat water. These by-products include but are not limited to chloroform, haloacetic acids, etc. Long-term exposure to these substances will have adverse effects on human health. In order to effectively remove or reduce DBPs, this paper evaluates a variety of treatment methods including physical, chemical and biological technologies. The impact of DBPs can be effectively mitigated by reasonably selecting and combining different water treatment technologies. Future research needs to further explore low-cost DBPs control strategies suitable for rural areas to improve the quality and safety of drinking water for rural residents.

Key words: Rural water supply; Disinfection by-products; Organic matter; Water safety

目前, 山东省积极推进城乡一体化进程, 全省农村供水规模化率达到 95%, 农村供水点多面广, 区域差异大, 实施打通“最后一公里”后, 导致输水管线长, 产生的消毒副产物、新型污染物等增多。城乡一体化进程的推进, 对消毒副产物的处理提出了更高的要求。《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)相较于修订前, 对消毒副产物

的控制更加严格和全面。除了原有的三氯甲烷、溴酸盐、亚氯酸盐和氯酸盐 4 项常规指标外, 还将一氯二溴甲烷、二氯一溴甲烷、三溴甲烷、三卤甲烷、二氯乙酸和三氯乙酸等从非常规指标调整为常规指标。新标准中, 43 项常规指标中有 10 项

收稿日期: 2025-04-17

作者简介: 董艳平(1990—), 女, 工程师

涉及消毒副产物,说明国家对保障饮用水卫生安全方面的关注日益增强,对消毒副产物的防控越来越严格。

1 消毒副产物的产生

消毒副产物(Disinfection By-products, DBPs)是饮用水消毒过程中由水中的有机物质、无机物或氮、氯等物质与水处理工艺中消毒剂反应所产生的化学物质,如图 1 所示。目前,氯化消毒是当前最常见的饮用水消毒方式之一,山东省农村供水消毒方式以投放次氯酸钠、二氧化氯为主。根据反应机理和生成的化学特性,消毒副产物可以分为氯消毒副产物、臭氧消毒副产物等多种类型^[1]。

消毒副产物的生成受水质特征、消毒剂的种类和投加量、水处理工艺以及反应条件等因素的影响。水源的有机物含量是决定消毒副产物产生量的关键因素。消毒剂的类型直接影响消毒副产

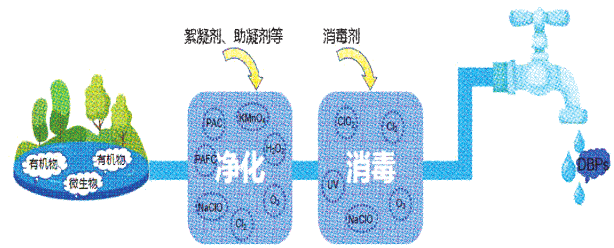


图 1 消毒副产物来源图

物的种类,消毒剂投加量与消毒副产物生成量成正比。水处理过程中所采用的不同工艺对消毒副产物的生成有着显著影响。此外,较长的反应时间和较高的温度也会促进消毒副产物的生成。

2 消毒副产物的控制指标

为加强对消毒副产物的监管,保障公共饮用水的安全,具体控制指标见表 1。

3 消毒副产物的调控技术

主要的控制技术包括优化水处理工艺、采用

表 1 现行标准或指南中 DBPs 的限值 mg/L

指标	三氯甲烷	亚氯酸盐	氯酸盐	一氯二溴甲烷	二氯一溴甲烷	三溴甲烷	三卤甲烷	二氯乙酸	三氯乙酸	溴酸盐
限值	0.06	0.7	0.7	0.1	0.06	0.1	1	0.05	0.1	0.01

替代消毒剂、使用副产物去除技术和改进水源管理等。

3.1 水处理工艺优化

水处理工艺的优化是控制消毒副产物生成的最直接手段。通过调整水处理过程中各个环节的操作条件,可以有效减少消毒副产物的形成。

1)投加消毒剂的控制。适量的消毒剂投加是减少消毒副产物生成的一个重要因素。过量的消毒剂不仅无法进一步提高消毒效果,反而会加速消毒副产物的生成。通过合理控制消毒剂的投加量,尤其是在水质较为清澈、污染较轻的情况下,可以有效减少不必要的副产物。例如,在氯消毒过程中,尽量使用最低有效浓度的氯,减少对有机物的过度氯化。

2)水处理工艺的联合使用。现代水厂往往将多种水处理技术结合使用,以减少消毒副产物的生成。例如,综合使用臭氧、紫外线和活性炭等多种技术,能够有效提高消毒效率,同时减少副产物的生成。臭氧是一种强氧化剂,能够有效分解水中的有机物,减少三氯甲烷等副产物的生成;

紫外线则通过破坏微生物的 DNA 实现消毒作用,且不会引入消毒副产物。

3)优化絮凝沉淀工艺。通过优化絮凝沉淀工艺去除水中的有机物,进而降低消毒副产物的生成。在水处理的前处理阶段,使用高效絮凝剂去除水中的溶解性有机物,减少与消毒剂反应的机会,从而减少消毒副产物的生成。

3.2 使用新型消毒工艺

替代消毒剂使用的方法主要有紫外线消毒、臭氧消毒、LED 消毒、阳光消毒等。紫外线消毒和臭氧消毒没有持续消毒效果,多用于小型供水工程。LED 具有 DNA 损伤能力,是一种有前景的大规模水消毒技术,具有高效率、长寿命和灵活的波长选择性,可以用于微生物灭活机制的调控。阳光消毒主要基于太阳光谱中紫外线部分增强的消毒方法,也是一种很有前景的消毒方法。

3.3 副产物去除技术

1)吸附法。吸附法是一种常用的水处理技术,可以有效去除水中的三氯甲烷(THMs)、卤代乙酸(HAAs)等消毒副产物。吸附(下转第 76 页)

和发展。

3.3 改造升级灌溉设施

首先,应重视灌溉渠道的防渗衬砌工作。通过采用先进的防渗材料和技术,对渠道进行防渗处理,可以有效减少灌溉水在输送过程中的渗漏损失。同时,定期对渠道进行疏通维护,清除淤积物,保持渠道的通畅性。其次,对泵站设施进行更新改造。针对老化失修的泵站设施,引进高效节能的机泵装置,提高泵站的输水能力,降低能耗,减少运行成本。此外,对泵站进行合理布局和优化设计,加强灌溉设施的配套建设和管理维护。

3.4 推广节水技术

首先,政府应加大对节水灌溉技术研发的投入,鼓励科研机构和企业进行技术创新,推动节水灌溉技术的升级换代。还应出台相关政策,对采用节水灌溉技术的农民给予一定的补贴和奖励,以提高农民采用节水技术的积极性和主动性。其次,加强科研机构、企业和农民之间的协

作。科研机构应深入了解农民的实际需求,研发出更加适应东昌府区农业特点的节水灌溉技术。企业则应积极参与节水灌溉技术的研发和推广,将先进的技术成果转化为实用的产品,为农民提供便捷、高效的节水灌溉设备和服务。最后,注重节水灌溉技术的适应性和实用性研究,选择合适的节水灌溉技术进行推广。例如,在水资源相对丰富的地区,可以推广滴灌、喷灌等高效节水灌溉技术;而在水资源匮乏的地区,则应注重发展旱作农业和节水抗旱技术,提高农业生产的抗旱能力。

参考文献

- [1] 刘多红.农业水利工程灌溉中节水措施的运用研究[J].河南农业,2019(26):47-48.
- [2] 吴艳春.浅谈发展农业节水灌溉实现可持续发展[J].农业开发与装备,2020(10):101-102.

(责任编辑 崔亚男)

(上接第 67 页)材料的多孔结构能够吸附水中的有机物,对消毒副产物有较强的去除能力。虽然吸附法操作简单、成本较低,但其吸附能力有限,通常需要定期更换。

2)膜处理。膜处理技术能够通过半透膜有效去除水中的多种有害物质,包括消毒副产物。反渗透膜对水中的大多数消毒副产物有很好的分离效果,能够显著降低水中的三氯甲烷、卤代乙酸等的浓度。膜处理虽然具有较高的去除效率,但设备投资成本较高,且能耗较大,因此通常用于高水质要求的场合。

3)化学法。化学法可以通过高级氧化工艺、还原脱卤等技术降解水中的消毒副产物,尤其是氯消毒过程中生成的三氯甲烷等有害物质。常用的有 UV/H₂O₂ 高级氧化、臭氧等技术,在水中产生羟基自由基,自由基能够进一步分解消毒副产物。化学法的优点是去除效率高,但需要较高的能耗。

3.4 自动化监管

自动化监管提高供水管理的智能化水平,可实现对消毒过程的精准调控,确保将消毒副产物浓度控制在安全范围内。主要通过水质监测、数据分析、远程控制等手段,检测水中有机物量,监

测消毒副产物前体物,随时调整消毒剂投加量,模拟供水管网水力状态,预测消毒副产物累计区域,提前预警可能超标的消毒副产物,通过系统反馈,调整消毒策略,提醒人工干预,最大程度减少消毒副产物的生成。

3.5 水源管理

通过科学规划,依托现有水网,构建“多源互补”水源网,划定保护区、建立制度体系、实施综合治理、强化长效保护,实现水源的可持续利用与生态安全,提高水源水质,减少水处理负荷,控制消毒副产物的产生来源。

4 结语

未来,消毒副产物的研究将从生成机理、健康影响、去除技术到替代工艺和智能化监控等多方面协同发展。通过多学科交叉和技术创新,致力于构建绿色、安全、高效的水处理体系,为公众提供更加优质饮用水,同时最大限度减少消毒副产物对健康和环境的潜在威胁。

参考文献

- [1] 陈超,王玉,谢宇焯,等.饮用水水质标准升级带来的消毒副产物挑战与对策[J].给水排水,2024,60(9):7-14.

(责任编辑 崔亚男)