

污水消毒面临的技术挑战 及其对策^{*}

胡洪营 王丽莎 魏东斌

(清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制国家重点
联合实验室,北京 100084)

摘要:本文在系统阐述污水消毒原水水质特点的基础上,分析了污水消毒面临的技术挑战和污水消毒可能带来的生态风险,并初步提出了污水消毒的安全保障措施。提出如何处理好卫生学安全和生态安全的关系是污水消毒处理中面临的主要矛盾,也是保障处理水和再生水水质安全的关键环节。强调了污水安全消毒技术与消毒前的污水处理技术和工艺研究相结合的重要性以及研究开发“水质安全化”综合技术和工艺的必要性。

关键词:污水消毒 水质安全性 安全消毒 水质安全化技术 污水再生利用

Technical Challenge and Resolution for Waste water Disinfection^{*}

HU Hongying WANG Lisha WEI Dongbin

(Environmental Simulation and Pollution Control State Key Joint
Laboratory, Department of Environmental Science and Engineering,
Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract: The technical challenge and ecological risk during wastewater disinfection are analyzed on the basis of water quality characterization of wastewater before disinfection, and the elementary resolution for guaranteeing the safety of disinfected wastewater is presented. It is stated that how to balance the sanitation safety and the ecological safety is the primary contradiction in wastewater disinfection and is also the key problem for guaranteeing the water quality safety of treated water and reclaimed water. It is important to combine the research of safe wastewater disinfection technology and wastewater treatment technology before disinfection.

Key words: wastewater disinfection, water quality safety, safe disinfection, wastewater reuse

前言

污水再生利用是解决我国目前水资源紧缺的重要途径,其关键问题是水质安全保障问题。消毒可

以杀灭病原微生物,防止流行疾病的传播,是污水再生处理过程中必不可少的环节,也是保证水环境安全的关键措施。国内外针对饮用水消毒的研究有较长的历史,但有关污水消毒的研究起步较晚,特别是

^{*}资助项目:国家自然科学基金项目(No. 20277025),NSFC-JST 重大国际合作项目。

关于污水消毒风险的研究远远不够系统、深入。与饮用水相比,污水消毒原水(指消毒前污水经过一定处理后的处理水)具有病原微生物种类多、数量大、污染物种类复杂浓度高以及水质水量变化大等特点,因此污水消毒将面临更大、更复杂的技术挑战。这些挑战在缺乏污水消毒经验的我国尤为突出。本文在系统阐述污水消毒原水水质特点的基础上,分析了污水消毒面临的技术挑战和污水消毒可能带来的生态风险,初步提出了污水消毒的安全保障措施。

1 污水消毒面临的技术挑战

1.1 污水消毒原水的水质特点

“污水消毒原水”是指消毒前经过特定工艺处理过的、达到一定水质要求的水,如再生水等。与饮用水相比,污水消毒原水的水质有以下特点:

(1) 水质变化大。污水处理或再生后的用途不同,对处理水的水质要求也不尽相同,因此不同污水处理厂的出水水质之间存在显著的差异。即使是在同一污水处理厂或再生水厂,由于处理性能的波动,处理水质也会发生较大的变化。污水消毒单元的操作应根据水质条件的不同或变化进行优化,以达到经济、高效的消毒效果。

(2) 病原微生物种类多、数量大。污水中含有种类繁多的病原微生物(包括寄生虫、病原菌、病毒等),且常规的污水处理工艺不能有效的去除这些微生物。如城市污水中的大肠杆菌和病毒数量的最大值可分别高达 45×10^6 个/100 mL 和 10,000 个/100 mL,兰伯氏贾第虫等的最大浓度也多达 10,000 个/100 mL,而二级生物处理后的污水中的大肠杆菌和病毒数量仍高达 15×10^6 个/100 mL 和 1,000 个/100 mL,其中还含有很难杀死的致病性原生动物,如隐孢子虫等。

(3) 悬浮物浓度高、波动大。消毒原水中常常含有较高浓度的悬浮物(SS),而且变化幅度大,这样会大大影响消毒的效率。附着在 SS 表面,特别是被包裹在 SS 内部的病原微生物由于 SS 的“屏蔽作用”而难以有效去除。

(4) 有机污染物浓度高、种类复杂。污水消毒原水的 BOD 和 COD 浓度较高,有机污染物的种类复杂,其组成与饮用水源水中的有机物有显著差异。如污水二级处理水中除含有没有被去除的难降解有机物和生物降解中间产物之外,还含有较大比例的微生物分泌产物,即溶解性微生物产物(Soluble Mi-

crobial Products, SMP)。这些物质的生物可降解性差,一般不能反映在 BOD 中,在后续的再生处理工艺中也很难被去除。在我国的《污水再生利用工程设计规范》中没有对难降解的 COD 加以限制,这些高浓度的难降解有机物将成为有毒有害消毒副产物的潜在前体物,存在着大的生态风险。

(5) 氨氮等还原性无机污染物浓度高、变化大:污水消毒原水中一般含有较高浓度的氨氮(2 mg/L ~ 30 mg/L)或其它还原性无机污染物。这些无机污染物在一定条件下会通过消耗过量的消毒剂或改变消毒剂在水中的形态而影响消毒效果。例如,在氯化消毒中,对于同样的有效氯添加量,水中的氨氮浓度不同,水中有效氯的形态和浓度就可能不同,因此会影响消毒效果。

(6) 溶解性总固体的浓度高、成分复杂:由于在处理过程中使用各种各样的药剂,在多数情况下,处理后水中的溶解性总固体的浓度将有所增加,组分也越复杂。高浓度的溶解性总固体将对消毒效果产生复杂的影响。如水中高浓度的碳酸根离子将大大提高臭氧的消耗,从而降低臭氧消毒效果。水中溴离子的存在会使臭氧消毒过程中产生致癌物质。

1.2 污水消毒面临的技术挑战与存在的风险

污水消毒原水与饮用水之间的水质差异决定了污水消毒面临着更大的技术挑战,主要表现在以下几个方面。

(1) 消毒剂耐性病原微生物的高效杀灭:污水中常含有耐一般消毒剂的病毒和原生动物,如隐孢子虫等。如何保证杀灭这些消毒剂耐性病原微生物,是污水消毒面临的技术挑战之一。

(2) 高悬浮物浓度条件下的高效消毒:消毒原水中的悬浮物在消毒过程中将成为病原微生物的保护伞,大大削弱消毒的效果。如何保障高悬浮物浓度条件下的高效消毒,是污水消毒面临的重大技术挑战。

(3) 不同水质条件下消毒方式的优选和操作条件的优化:不同的污水处理厂和再生水厂的处理水水质存在很大的差异,如何根据不同的水质条件和其它要求选择适宜的消毒方式还没有科学、合理的依据。另一方面,在确定消毒方式之后,如何优化消毒操作,保证在水质波动条件下的动态安全消毒是污水消毒面临的重要课题。如何根据水质确定消毒强度(如:消毒剂的添加量、消毒接触时间等)还没有系统、科学的依据和实践经验的支持。

(4) 消毒化学风险的控制:在消毒处理中,水中的部分污染物可能会发生“质”的变化(化学变化),这些“新”生成的污染物,即消毒副产物又会带来生态安全方面的负面效应。污水中的污染物种类和数量比饮用水中更多,污水消毒处理时消毒剂的投加量比饮用水消毒的剂量高,因此产生的消毒副产物的复杂性也越大。如何处理好卫生学安全和生态安全的矛盾是消毒实践中面临的重大问题。污水消毒的生态安全问题是保障再生水水质安全的主要矛盾所在。

(5) 消毒剂、消毒设备等的质量保证:目前,我国化学消毒剂的生产企业有近 2000 家,存在着企业生产规模小、产品质量差、缺乏行业标准等问题。紫外灯、臭氧发生器等的产品质量与先进国家相比还存在着较大的差距。

(6) 适用于不同目的的消毒工艺的优选:再生水的利用目的不同,对生物学安全的要求也不同,如何根据不同的消毒原水水质和再生水的利用目的,选择高效、经济、安全的消毒工艺是污水消毒面临的重要课题。

2 污水消毒可能产生的污染和生态安全问题

2.1 剩余消毒剂对生态系统的影响

消毒剂对生物有显著的毒害作用,因此消毒剂本身的残留(如氯消毒后的余氯)对自然环境中的生物,尤其是水生生物有明显的毒性作用。因此,再生水中的残余消毒剂超过一定浓度时,在用作市政、景观用水,或经由其它途径与自然环境中的生物接触时,就会威胁它们的正常生存与繁衍,引起生态安全问题。

二十世纪六七十年代,在美国的 Lower James 河(弗吉尼亚州)、Sacramento 河(加利福尼亚州)等河流中,由于氯消毒污水的排入导致鱼类死亡的案例陆续被披露^[1]。研究显示,余氯对水生生物有强烈的毒性效应(如表 1),而且远高于许多消毒副产物。

表 1 余氯的生物毒性^[2,3,4]

Table 1 Biological toxicity of residual chlorine

试验生物	LC ₅₀
金体美洲鳊鱼	96h LC ₅₀ = 0.2 mg/L
虹鳟鱼	96h LC ₅₀ = 0.023 mg/L
黑头呆鱼	96h LC ₅₀ < 0.1 mg/L
淡水鱼	94h LC ₅₀ = 0.08 ~ 0.26 mg/L
无脊椎动物	94h LC ₅₀ = 0.21 ~ > 0.81 mg/L

另外,剩余消毒剂会与接纳环境(天然水体、土壤等)中的有机物反应,产生其它有毒有害物质,从而引起二次风险。

2.2 消毒副产物对生态系统的影响

消毒过程中往往产生具有毒性和“三致”效应的消毒副产物。与饮用水相比,污水消毒的原水中有有机物浓度更高,成分更复杂,有毒有害物质的生成可能性更高。研究者们注意到污水氯消毒时产生的消毒副产物(如三卤甲烷及其他有机卤化物),有害于水生生态系统,氯消毒的可行性遭到质疑,有的学者进而提出尽量减少对生活污水不必要的氯消毒处理^[5,6]。

在饮用水氯消毒中,消毒副产物主要包括三卤甲烷(THMs)、卤乙腈(HANs)、卤乙酸(HAAs)、氰基卤化物、卤代醛、酮、酚及一些特殊化合物,如水合三氯乙醛、致突变物(MX)等。对污水氯消毒副产物的研究也是从这些物质开始的,其中 THMs,尤其氯仿,是研究最早也是最多的消毒副产物。关于这些物质的主要毒理学作用,饮用水消毒领域的研究已经有了很多积累。但是,污水消毒有自身的特点,污水中含氮化合物较多,这使含氮有机物(如氯胺类消毒副产物)在污水氯消毒副产物中占据重要一席。

Jameel 等人考察了五种有机氯胺对发光细菌的急性毒性,接触 5 min 半致死剂量在 0.23 ~ 6.5 mg/L,并且和分子量有很好的相关性,分子量越小,毒性越显著^[7]。

近年,在高度净化的再生水中,还发现了亚硝基二甲胺(NDMA)^[8]。进一步研究显示,NDMA 是一种具有致癌性的消毒副产物,可能是由氯胺(尤其是一氯胺)和水中的二甲胂、二甲胺反应产生的^[9]。

2.3 消毒副产物的积累效应及其对人体健康的危害

生物降解性较差的消毒副产物在污水处理系统中如不能被有效的去除,随着污水再生利用的实施,在水中的积累就会越来越严重,从而影响水环境的质量和人体健康。但目前尚无有关消毒副产物在污水再生利用过程中积累现象的系统研究。

3 污水消毒的生态安全保障措施

3.1 安全消毒技术的选择及消毒工艺的优化

(1) 消毒方法的比较

在评价消毒处理工艺时,通常考虑以下几个方面:消毒效果、可靠性、运行和维护费用、可操作性

(如消毒剂是否容易运输、储存?是否容易现场制备?是否容易控制?适应性如何?操作是否复杂?安全性如何?等等)和潜在的负面效应(如对水生生物的毒性或生成有毒有害、致癌性物质的可能性等)。各类消毒方法主要的优缺点在美国环保局出版的城市污水消毒手册中进行了较全面的综述。表 2 列出的信息中抛开了经济方面的考虑,比较、评价了氯化消毒、氯化/脱氯、臭氧、紫外线消毒的情况。

通过表 2 的比较可以看出,与氯化消毒、氯化/脱氯相比,臭氧、紫外线本身对生物的毒害作用较小,生成有毒有害消毒副产物的风险相对较低,在生态安全性方面有较大的优势。

表 2 各类污水消毒技术的比较^[10]

Table 2 Comparison of different wastewater disinfection technology

比较项目	氯化	氯化/脱氯	臭氧	紫外线
处理厂规模	所有	所有	大、中	中、小
消毒前水的可应用水平	所有	所有	二级	二级
设备可靠性	优	优良	优良	优良
过程控制技术	非常成熟	比较成熟	正在发展	正在发展
技术复杂程度	简单到中等	中等	复杂	简单到中等
运输安全性	安全	安全	不安全	不安全
现场安全性	安全	安全	中等	差
细菌杀灭情况	优	优	优	优
病毒杀灭情况	差	差	优	优
对鱼的毒性	有毒	无毒	期望无毒	无毒
有害副产物	有	有	期望无	期望无
剩余消毒剂持久性	长	无	无	无
接触时间	长	长	中	短
溶解氧贡献	无	无	有	无
与氯的反应情况	是	是	是(高 pH 时)	否
色度去除情况	中等	中等	是	否
增加溶解性固体	是	是	否	否
pH 依赖性	是	是	轻微(高 pH 时)	否
有机物、金属敏感性	低	低	高	中等
腐蚀性	有	有	有	无

(2) 氯化消毒工艺的改进

尽管臭氧和紫外线消毒在生态安全性方面有较大的优势,权衡技术、经济和消毒效果等各方面的因素,目前氯作为消毒剂仍具有明显的优势,因此在今后一段时间内,污水的消毒处理中应用最多的消毒剂仍将是氯及其相关化合物。

为了保证氯消毒的生态安全,“氯/脱氯”消毒于 20 世纪 70 年代初期逐渐在美国发展起来。“氯/脱氯”消毒是消毒后将余氯完全或大部分脱除,以消除余氯对生态安全的威胁。1971 年,加利福尼亚州首先规定,采用氯消毒的污水处理厂必须有脱氯措施,余氯应控制在 0.1 mg/L 以下。1972 年,该州出现了美国第一家脱氯的污水处理厂。同时,Kaufman

等人的研究表明二氧化硫脱氯剂过量时产生的亚硫酸盐,在小于 10 mg/L 的剂量下未检测出毒性效应^[11]。这一结果,为推广脱氯措施消除了生态安全上的顾虑。1984 年,美国环保局将污水氯消毒后总余氯的最大值限定为 11 μg/L (有效氯)。至今,美国约有四分之一污水处理厂采用氯/脱氯消毒^[7]。

在氯/脱氯消毒的研究与实践中发现,脱氯可降低消毒后污水中其他物质的生物毒性。Esvelt 等人的研究表明,经氯消毒的污水,脱氯后污水的毒性效应小于未脱氯的污水和未消毒的污水^[2]。清华大学环境科学与工程系的张淑琪等人,在对饮用水氯消毒致突变性的研究中,采用硫代硫酸钠脱氯,发现硫代硫酸钠可降低自来水加氯消毒所产生的致突变性,投氯量高的水样脱氯后致突变性的降低尤其明显^[12]。

在当前的氯/脱氯消毒研究和实践中,针对脱氯剂对消毒副产物影响的研究仍不深入和系统。

3.2 消毒条件的优化

对于一种特定的消毒剂,其消毒效果以及消毒副产物的产生与消毒剂的添加剂量、水温、pH 值、混合程度、接触时间、干扰物的存在与否等有直接的关系。在氯化消毒中,氯的形态也是一个重要的影响因素。深入研究有毒有害消毒副产物的生成与消毒条件的关系,对优化消毒操作、降低生态风险有重要意义。

(1) 投氯量的影响

随着对各类消毒副产物毒性效应的了解,消毒副产物生成量逐渐成为评判污水消毒安全性的重要指标。一般地,污水氯消毒副产物生成量随投氯量的增加而增大。对城市污水厂二级处理和深度处理出水的研究^[13,14]均显示,氯消毒促进了可吸附有机卤化物(AOX)的生成;且出水中 AOX 的浓度随投氯量的增加而增大(如图 1);对污水中溶解性有机

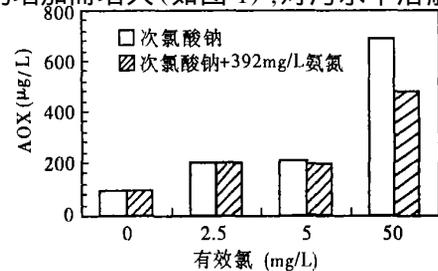


图 1 AOX 生成量随投氯量的变化^[11]

Fig 1 Changes of AOX formation with chlorine dosage

卤化物(DOX)的研究得出与 AOX 相似结论^[15]。

就单一副产物的生成而言,往往与投氯量的关系并不一致,氯仿随投氯量增加略有增加,而四氯甲烷没有明显变化^[14],NDMA 的生成量也随投氯量增加而增大^[9]。消毒副产物的生成量与投氯量的关系,受许多因素影响。

(2) 余氯形态的影响

饮用水消毒的研究发现,THMs 仅仅在折点之后才会有明显变化;其生成量随投氯量的变化曲线呈“稳定-增长-稳定”三个阶段^[16]。二十世纪六七十年代,美国学者在研究污水氯消毒过程中三卤甲烷的生成情况时发现类似现象^[1]。在 Stone 等人对活性污泥法处理出水的研究中,折点后加氯(游离性余氯 7~12 mg/L)5 分钟内生成氯仿 123 μg/L,而峰点前加氯(总余氯 3~4 mg/L)4 小时后仅生成 4 μg/L。对深度处理出水的研究发现,折点后加氯使氯仿浓度增大 330 倍,而峰点前加氯时氯仿仅增加 6 倍。

(3) 氨氮的影响

对同一污水,投加的氯与水中氨氮的反应程度不同会导致消毒副产物生成量的差异;对不同污水,氨氮浓度的不同也会影响消毒副产物生成量。Menaheem 等人对污水中溶解性有机卤化物(DOX)的研究发现,氨氮浓度 29.1 mg/L 的污水消毒后 DOX 随投氯量增加的幅度,明显低于硝化出水^[17]。其他研究也显示,氨氮的存在会抑制 THMs^[16,18]、AOX^[13]、DOX^[17]的生成,而且投加的氨氮越多,抑制作用越明显。这可能是因为氨氮与氯的反应先于有机卤代副产物的前体物质。以氯仿(CHCl₃)为例,CHCl₃的形成过程中含有氯取代过程,而氯取代反应历程中碳游离基的生成是重要的一步;当氨存在时,由于 N-H 上的 H 原子的反应活性大于 C-H 上的 H 原子,因此,氯游离基首先取代氨上的 H 原子而生成氯胺化合物。这样使得形成 CHCl₃ 所必需的具有反应活性的游离基浓度减少,导致 CHCl₃ 生成量的减少^[19]。

(4) 有机物浓度的影响

有机物是消毒副产物的前驱体,污水中有机物的浓度越高,生成副产物的潜能也越大。由图 2 可以看出,消毒副产物三氯甲烷生成势与水中的有机物浓度(以 UV₂₅₄表示)有明显的正相关关系,有机物的浓度越高,三氯甲烷的生成量越多^[20]。王永华等人比较了地表水、地下水、生活污水消毒后氯仿的

生成量,发现有机碳浓度高的水样,随投氯量增加氯仿的生成量升高^[21]。

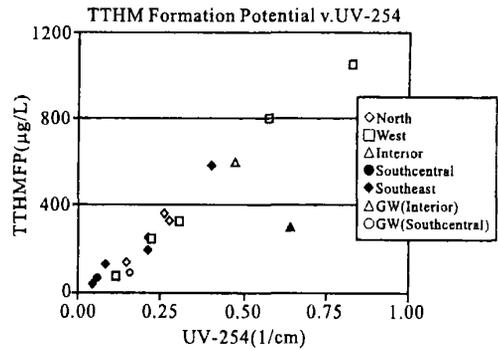


图 2 三卤甲烷生成势与水中有机物浓度的关系^[20]

Fig. 2 Relationship of TTHM Formation Potential with UV₂₅₄ of water

另一方面,污水中的有机物的存在,对氯化消毒的效果也有一定的影响,有机物浓度越高,达到同样的消毒效果所需要的投氯量也越大,这也将增加消毒副产物的生成。因此,有效地去除污水中的有机物是保障污水消毒生态安全的重要措施。

(5) 其它因素的影响

副产物的生成量还受其他水质条件(如前体物成分等)和消毒条件(如温度、pH等)的影响,但目前有关的研究较少,有待进一步研究。

4 结束语

国内外有关饮用水消毒的研究有较长的历史,研究内容系统而深入,但有关污水消毒的研究还远远不够系统、深入。污水消毒有其自身的技术特点和要求,饮用水消毒方面的研究成果和经验能为污水消毒提供有益的参考,但不能直接指导污水消毒的研究与实践。因此系统、深入开展污水消毒的安全性研究是目前城市污水处理和再生利用领域面临的重要而急迫的课题。对于缺乏污水消毒经验的我国,污水消毒理论研究和新技术、新工艺的开发更具有重要的意义。

特别值得注意的是,污水安全消毒技术的研究应与消毒前的污水处理技术和工艺研究相结合,以达到污水处理和消毒系统的整体优化,形成“水质安全化”综合技术和工艺。

参考文献

[1] Geo. Clifford White. Handbook of Chlorination and Alternative Dis-



- infectants. Van Nostrand Reinhold, New York, 3rd, 1992
- [2] Esvelt L A, Kaufman W J. R E Selleck: Toxicity Removal from Municipal Wastewater, University of California, Sanitary Engineering Research Laboratory Report 71-7, 1971
- [3] Michigan Dept. of Nat. Resources for the EPA, Chlorinated Municipal Waste Toxicities to Rainbow Trout and Fathead Minnows. Water Pollution Control Research Series No. 18050 GZZ 10/ 71, Bur. of Water Management, Michigan Dept. of Nat. Resources for the EPA, Oct. 1971
- [4] Arthur J W, Andrew R W, Mattson V R, Olson D T, Glass G E, Halligan B J, Walbridge C T. Comparative Toxicity of Sewage Effluent Disinfection to Freshwater Aquatic Life. EPA Report 600/ 3-75-012, Research Lab., Duluth, MN, Nov. 1975
- [5] Buxton G V. Wastewater disinfection-towards a rational policy. J. Wat. Pollut. Control Fed., 1979, 51, 2023 ~ 2032
- [6] GAO. Unnecessary and Harmful levels of Domestic sewage chlorination should be stopped. General Accounting office, Washington, D. C., 1977
- [7] Jameel R H, Helz G R. Organic chloramines in disinfected wastewaters: Rates of reduction by sulfite and toxicity. Environmental toxicology and chemistry, 1999, 18 (9): 1899 ~ 1904
- [8] California Department of Health Services. California drinking water: NDMA-related activities, www. dhs. cahwnet. gov/ org/ ps/ ddwem/ chemicals/ NDMA/ NDMAindex. htm. 2000
- [9] Junghoon Choi, Richard L Valentine. Formation of N-nitrosodimethylamine (NDMA) from reaction of monochloramine: a new disinfection by-product. Wat. Res. 2002, 36: 817 ~ 824
- [10] USEPA, Guidelines for water reuse, EPAA/ 625/ R-92/ 004, US Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio, 1992
- [11] Kaufman W J. Private correspondence, 1972; (this information is from: Geo. Clifford White. Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants. Van Nostrand Reinhold, New York, 3rd, 1992)
- [12] 张淑琪, 王根凤, 王占生. 氯化消毒对自来水致突变性影响研究. 癌变 畸变突变, 1999, 11(5): 224 ~ 226
- [13] Stefanie Schulz, Hermann H Hahn. Generation of halogenated organic compounds in municipal wastewater. Wat. Sci. Tech., 1998, 37(1): 303 ~ 309
- [14] 张丽萍, 叶裕才, 吴天宝, 云桂春. 再生水用于地下回灌的加氯消毒研究. 中国给水排水, 2001, 17(4): 12 ~ 15
- [15] Menahem Rebhun, Lilly Heller-Grossman, Josepha Manka. Formation of disinfection byproducts during chlorination of secondary effluent and renovated water. Wat. Env. Res, 1997, 69(6): 1154 ~ 1162
- [16] 李君文. 氯化消毒时三卤甲烷的形成(1)形成机理及影响因素. 环境保护科学, 1994, 20(1): 5 ~ 9
- [17] Menahem Rebhun, Lilly Heller-Grossman, Josepha Manka. Formation of disinfection byproducts during chlorination of secondary effluent and renovated water. Wat. Env. Res, 1997, 69(6): 1154 ~ 1162
- [18] 陶大钧, 丁建清. 饮用水消毒过程中卤代烃的形成和控制. 江苏环境科技, 1999, 12(4): 1 ~ 3
- [19] 董民强, 李棕华. 氯胺消毒法对自来水中三氯甲烷形成影响的研究. 水处理技术, 1997, 23(6): 341 ~ 344
- [20] White DM, Garland DS, Narr J, Woolard CR. Natural organic matter and DBP formation potential in Alaskan water supplies. Wat Res, 2003, 37(4): 939 ~ 947
- [21] 王永华, 袁伟, 舒宏新. 饮水中的挥发性卤代烃研究. 环境科学学报, 1994, 14(2): 244 ~ 250

作者简介

胡洪营 (HU Hongying, 1963 -), 男, 1994 年获日本横滨国立大学工学博士学位, 于 2000 年入选清华大学百人计划。现任清华大学环境科学与工程系教授、博士生导师、副系主任, 兼任国际学术期刊《Water Research》的亚太地区编委、中国环境科学学会水环境分会副理事长、中国微生物学会环境微生物专业委员会委员、全国勘察设计注册环保工程师执业资格考试专家组成员等。长期从事环境生物技术、微生物群落结构与功能解析及其利用技术、再生水水质安全评价与保障技术(污水安全消毒技术)、污水生物/生态处理技术、污染水体水质净化与生态恢复技术等方面的研究。主持 973 课题, 863 课题和国家自然科学基金项目多项, 至今共发表学术论文近 200 篇(其中 SCI 论文 50 余篇)、国际学术会议论文 60 余篇, 主持编写国家“十五”重点规划教材《环境工程原理》, 参加编写国家“十五”重点规划教材《环境微生物学》等。先后获轻工业部科学进步二等奖、北京市科学技术进步三等奖、日本水环境学会优秀论文奖、中国环境科学学会“优秀环境科技工作者奖”、北京市教育创新标兵称号等多项奖励。

(责任编辑: 房俊民)

