

第 8 卷第 3 期

129-131

# 氯化消毒副产物的形成及其控制(II)

沈耀良

(苏州城建环保学院环保系,  
苏州 215000)

王宝贞

(哈尔滨建筑大学市政与环境工程系,  
哈尔滨 150001)

A

摘要 对氯化消毒过程中形成有害副产物的母体、副产物的形成途径、种类及其形成势和影响因素进行了分析介绍,探讨并提出了控制消毒副产物形成的主要方法和途径。

关键词 氯化 水和废水处理 消毒副产物 控制方法

76055x  
X1703  
废水处理 水处理

### 3 氯化消毒副产物的控制

防止或控制氯化处理出水中有害副产物的生成,是保证饮用水供水安全及防止废水处理中受纳水体二次污染及水体致传染病的重要步骤。目前,业已开展了较广泛的研究工作,主要表现在以下几个方面:(1)前处理去除母体物;(2)后处理去除生成的 DBPs;(3)采用代用消毒剂,如 O<sub>3</sub> 和 ClO<sub>2</sub> 等;(4)改革传统氯化消毒工艺,尽可能降低 DBPs 的生成量<sup>[2,4,9-12,15-18]</sup>。有关采用 O<sub>3</sub> 和 ClO<sub>2</sub> 作为 Cl<sub>2</sub> 的代用消毒剂的研究,国内外都已证实它们的有效性。作为强氧化剂的 O<sub>3</sub> 和 ClO<sub>2</sub>,有消毒效果方面明显优于 Cl<sub>2</sub>(相对传统氯化工艺而言),但有关如何提高臭氧发生器的产率以降低处理成本,有关 ClO<sub>2</sub> 消毒中 ClO<sub>2</sub><sup>-</sup> 和 ClO<sub>3</sub><sup>-</sup> 等副产物问题<sup>[14,45]</sup>是目前尚需进一步研究的课题。

#### 3.1 活性炭处理控制消毒副产物

活性炭吸附处理是 DBPs 控制的前处理及后处理中效果较为可靠的方法。但是活性炭对已生成的 THM 类物质的去除能力较低,其原因是 THM 类物质分子量较小且具有较强的极性,它们在活性炭上的吸附量仅为炭重量的 0.5%~1.0%。与此

相反,粒状活性炭吸附 THM 的母体物要比吸附 THM 本身有效得多<sup>[1]</sup>。李君文报道,Mullins 等人对 7 种不同的 GAC 去除 THMs 的效果进行了研究,进水中 THMs 浓度为 50~200 μg/l 时,运行初期的去除率可达 100%,但发现每克 GAC 中吸附的 THMs 量仅为 0.2~0.12mg<sup>[19]</sup>,可见吸附容量是比较低的。研究表明,活性炭对水中 THMs 母体物及 THMs 的吸附受诸多因素的影响。AC 对不同来源的 THM 具有不同的吸附容量。如在 THMs 的各组分中,溴仿优先吸附,其次是二溴一氯甲烷、一溴二氯甲烷和氯仿。AC 对中等分子量和低分子量的 THMs 母体物具有比大分子量母体物更明显的吸附效果,如表 2 所列。目前,除上述活性炭对 THMs 的吸附容量较低而在经济上不利于其广泛应用外,运行周期短,操作复杂。再生频繁也是需要加以研究的问题。有报道表明,通过向 AC 吸附柱进水中投加明矾凝聚可明显改善 GAC 的吸附能力,明显延长 GAC 床的运行周期(1~3 倍)。另外,生物 AC 可通过早期的 AC 吸附及后期的生物降解而提高 AC 吸附容量及延长运转周期。Blatchley 报道,生物炭所具备的生物-物化作用可有效地去除 DBPs 的母体物<sup>[27]</sup>,从而一方面降低了 DBPs 的

(收稿日期 1994-12-07)  
沈耀良 副教授 博士  
王宝贞 教授 国际水质协会(IAWQ)理事

生成量,另一方面降低了氯化需氯量(因此又进一步降低了 DBPs 的生成量),虽然目前已有少研究报告了 GAC 在控制 DBPs 方面的有效性,但如何进一步改进活性炭的吸附能力、降低运转成本及简化其操作运转过程,还有许多工作要做。

表 2 GAC 对不分子量 HA 的去除效率\*

HA 分子量	占总量的%	去除率(%)
>40 000	5	0
30 000~40 000	57	45
<3 000	38	64

\* GAC 投量 3g/L

### 3.2 改进传统氯化工艺控制消毒副产物

如前所述,虽然氯化过程带来有害副产物的问题,但因氯具有一系列优良的特性,它仍将作为我国乃至其它国家在今后相当长时期内广泛应用的主要水处理消毒剂。研究表明,传统氯化工艺中因存在设计上的问题,而致使其灭菌效能未能得到充分的发挥,往往以提高投氯量或延长反应接触时间作为保证处理出水水质的控制指标,这无疑致使氯化出水中 DBPs 含量大大升高的原因之一<sup>[12]</sup>。研究表明,通过改进传统氯化工艺,强化氯与被处理水之间的初始快速混合作用,不仅可大大降低投氯量,而且大大缩短达到一定灭菌效果所需的反应接触时间。根据前面的分析,投氯量的下降及反应时间的缩短,无疑可有效地减少处理出水中 DBPs 的生成量。笔者利用 Kenics 型固定混合器作为氯化消毒初始快速混合(RIM)装置的研究表明,投氯量为 0.5 mg/l,反应接触时间为 5 秒时,即可获得 99.995% 以上的 E. Coli 灭活效果。与传统氯化法相比,投氯量可下降为原来的 1/5~1/9,接触时间可缩短为原来的 1/181~1/361;古里明福等利用喷射扩散装置产生的初始快速混合作用,在投氯量为 2.0~7.0 mg/l,反应接触时间小于 10 秒钟时,获得了废水中 99.9%~99.99% 的 E. Coli 灭活效果<sup>[16]</sup>;美国加州大学的研究人员对氯化中初始快速混合的重要性作出了评价,他们深信延长氯与细菌的分隔(接触不良)时间会使消毒效果恶化,初始形成的余氯比起以后生成的余氯更具杀菌效能<sup>[19]</sup>。此外,在传统氯化工艺中,接触反应池往往因其长宽比及宽深比的不恰当,而极易造成层流,死角及返混现象<sup>[12,16,48]</sup>。有资料表明,具有返混的反应器是一种效率最差的混合设备<sup>[35]</sup>。在返混条

件下使得处于不同反应阶段的药剂混杂在一起,打乱了反应过程的自然顺序;此外,由于存在短流而可能产生液流作整体运行,使得水中的药剂难以快速扩散,从而降低药剂的利用率及处理效率,甚至造成处理出水的水质波动而给处理系统的控制带来麻烦。为此,许多研究者开展了旨在通过改进氯化工艺、提高消毒效果、降低处理出水中 DBPs 生成势的研究工作。初始快速混合在达到上述双重目标上的重要性也越来越突出。以 Harrington 等人提出的 TTHMFP 预测模型为例,结合笔者的研究,可发现初始快速混合与传统折流板混合相比,不仅处理效率大大提高,药剂费用可节省,而且 TTHMFP 也可降为原来的 8.98%~14.28%(以传统法投氯量 2~4 mg/l,反应时间 15~30 min 计),可见效果是明显的。

目前,快速混合氯化消毒工艺作为对传统工艺的方便易行的改进,在国内外已开始引起重视。美国通过将管道混合器应用于污水氯化消毒研究并在实用得到证实后,已将其应用于自来水的消毒。我国快速混合氯消毒研究亦有一定的进展,如重庆市自来水公司<sup>[17]</sup>,哈尔滨自来水公司<sup>[19]</sup>,无锡市自来水公司等在进行有关研究的基础上,将固定混合器应用于水厂的氯化工艺,并获得了良好环境经济效益。尤其是 Kenics 型固定混合器,因其理想的推流型态、分割流体的作用及强烈初始混合扩散作用,在提高氯化效果、降低 DBPs 方面有其独到的优越性<sup>[40]</sup>。

## 4 结 语

氯化消毒出水中副产物形成,使人们对传统氯化工艺提出了疑问,更使人们迫切了解有害副产物形成的机理及形成势等问题,以寻找有效而经济的解决方法。有关这方面的研究还有待深入开展,以掌握各种影响 DBPs 形成的因素,利于对不同水质源水的 DBPs 预测,在副产物的控制方面,笔者认为应在开展臭氧、活性炭等前处理、后处理控制方法的同时,进一步开展如何降低这些处理方法或工艺的运行成本及提高处理效能方面的研究,初始快速混合氯化新工艺宜在中试的基础上,在我国逐步加以推广应用,以此作为一种经济有效而简便易行的 DBPs 控制手段。

## 4 参考文献

- [1] Rook, J. J., *Water Treat. Exam.*, 1974, 23(2): 234
- [2] 沈耀良, 西南给排水, 1986, (2): 13
- [3] 黄君礼, 环境化学, 1991, 10(6): 1
- [4] Chow, B. M., et al., *JEED, ASCE*, 1981, 107(EE4): 609
- [5] Langvik, V. A., et al., *Water Res.*, 1994, 28(3): 553
- [6] 河村 劲, 水道协会杂志, 1993, 62(12): 48
- [7] Daniel, F. B., et al., *JAWWA*, 1994, 86(3): 103
- [8] Najm, I. N., et al., *JAWWA*, 1994, 86(6): 98
- [9] 王宝贞主编, 水污染控制工程, 高等教育出版社, 1990
- [10] Wang, B. Z., et al., *Ozone Sci. Eng.*, 1984, 6(4): 261
- [11] Wang, B. Z., et al., *E+WTJ*, 1985, 25(8): 291
- [12] 沈耀良, 上海环境科学, 1992, 11(13): 43
- [13] 沈耀良, 苏州城建环保学院学报, 1991, (4): 14
- [14] 黄君礼等, 环境化学, 1987, 6(5): 14
- [15] Hung, T. Y. C., et al., *JWPCF*, 1985, 57(7): 777
- [16] 古里明耀等, *PPM*, 1983, 14(6): 55
- [17] 张大川, 给水技术, 1983, (1): 1
- [18] 沈耀良, 环境科学, 1992, 13(3): 55
- [19] 杜广仁等, 城市供水行业 2000 年技术进展发展规划(汪光焘等主编), 中国建筑工业出版社, 1993
- [20] 黄君礼等, 环境化学, 1987, 6(4): 80
- [21] 徐凤丹等, 环境科学, 1994, 15(3): 1
- [22] 朱惠刚等, 中国环境科学, 1986, 6(1): 40
- [23] 王永华等, 环境科学学报, 1994, 14(2): 244
- [24] 邱瑞骥等, 中国给水排水, 1994, 10(2): 12
- [25] 徐凤丹等, 癌变畸变突变, 1993, 5(6): 23
- [26] Morrow, C. M., et al., *Water Res.*, 1987, 21(1): 41
- [27] Castillo, G., et al., *Water Res.*, 1994, 28(8): 1765
- [28] 于文兴等, 上海环境科学, 1994, 13(9): 9
- [29] Kringstad, K. P., *Environ. Sci. Technol.*, 1983, 17(9): 553
- [30] Livens, F. R., *Environ. Pollut.*, 1991, 70(2): 183
- [31] Hespanhol, I., et al., *Water Res.*, 1994, 28(1): 119
- [32] 宗官 功等, 水道协会杂志, 1983, 52(6): 27
- [33] Abdullah, D. M., et al., *Water Res.*, 1987, 21(5): 573
- [34] Rook, J. J., *Environ. Sci. Technol.*, 1977, 11(5): 478
- [35] 许保玖等主编, 给水处理理论与设计, 中国建筑工业出版社, 1992
- [36] Christman, R. F., et al., *Environ. Sci. Technol.*, 1983, 17(10): 625
- [37] Rook, J. J., *JAWWA*, 1976, 68(3): 168
- [38] Morris, J. C., *WATER CHLORINATION: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*, Jolley, R. L., et al., eds, Vol. 5, Lewis Publishers, Inc., 1985, PP. 701
- [39] Reckhow, D. A., et al., *WATER CHLORINATION: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*, Jolley, R. L., et al., eds, Vol. 5, Lewis Publishers, Inc., 1985, PP. 1229
- [40] 沈耀良, 水处理技术, 1986, 12(5): 297
- [41] Harrington, G. W., et al., *JAWWA*, 1992, 84(11): 78
- [42] Greiner, A. D., et al., *JAWWA*, 1992, 84(11): 99
- [43] 霍范菊, 哈尔滨建筑大学硕士学位论文, 1990
- [44] Bolyard, M., et al., *JAWWA*, 1993, 85(9): 81
- [45] Gordon, G., et al., *JAWWA*, 1993, 85(9): 89
- [46] 李君文, 中国给水排水, 1994, 10(5): 37
- [47] Blatchley, E. R., *Water Environ. Res.*, 1994, 66(4): 361
- [48] Sepp, E., *JEED, ASCE*, 1981, 107(EE1): 139
- [49] 沈耀良, 给水排水, 1993, 19(2): 44

(全文完)