

23-27

实现高效、安全氯化消毒的有效途径 ——快速初始混合

沈耀良

(环保系)

王宝贞

(哈尔滨建筑大学环工系)

X703

摘要 本文就传统氯化消毒中存在的问题及目前人们关心的氯化出水中存在卤化有机物的问题,提出了初始快速混合的氯化方法,并结合笔者及有关研究,分析了此种方法在提高氯的消毒灭菌效果、降低氯的投加量、稳定处理出水水质及降低消毒出水中卤化物形成等方面的作用,介绍了实现快速初始混合的工艺方法及应用研究情况。

关键词 氯消毒; 水和废水处理; 快速混合; 卤化物; 混合装置

中国图书资料分类号 X703

随着用水量的日益紧张及人们生活水平的不断提高,水资源短缺问题日益突出。为防止接纳水体的污染及保证氯化饮水的安全,人们越来越重视对水和废水的消毒处理。作为一种有效的消毒剂,氯在国内外水和废水消毒处理中的应用已有相当长的历史。但七十年代中期人们发现氯化出水中存在对健康有很大危害的卤化有机物及处理效果不稳定,研究者对其消毒效果及安全性开始进行了重新评价。我国城市供水行业2000年技术进步发展规划就如何合理加氯、强化投氯的效果提出了今后的研究方向^[1]。本文就传统氯化消毒中存在的处理效果不稳定及生成消毒副产物等问题,结合笔者及有关研究,提出了快速初始混合作为实现高效、安全氯化消毒的有效途径,并就此法对促进消毒效果,提高投氯利用率、稳定出水水质及降低副产物生成等方面的作用进行了分析介绍,同时提出了几种高效的快速混合氯化接触工艺。

1 传统氯化法存在的问题

传统氯化消毒过程中,一般认为控制氯消毒效果的重要指标是投氯量(C)及接触时间(t),并多用 Ct 值来控制消毒效果,如Collins-Sellek模型(式1))所示。

$$N/N_0 = (b/Ct)^n \quad (1)$$

式中: N 、 N_0 ——分别为出水中初时($t=0$)时的细菌数(个/l);

b ——常数(min·mg/l);

n ——常数(无量纲)。

由式(1)可知,消毒效果受 b 值及 Ct 值的影响。其中 b 为 $N=N_0$ 时的 Ct 值,可解释为 $b=Ct$ 值时,不存在消毒作用,只有当 $b<Ct$ 时,才具有消毒作用,且 b 值与 Ct 值之比

收稿日期: 1995-04-21

越小,消毒效果越好。换言之, b 反映了消毒作用的滞后及其程度。造成这种滞后作用的因素较多,如微生物的种类(抗性差异),消毒剂的类型(作用方式差异)、消毒剂的投加方式(混合接触差异)及原水水质(如存在干扰物质等)等。在传统氯化消毒工艺中往往忽略了上述诸多因素的影响,尤其是忽略了可以通过人为控制的因素(如投氯方式,而过分强调了 Ct 值的影响,因而导致其存在以下几方面的问题。其一是将氯通过加氯机直接投入接触池中,而接触池的设计中往往存在层流及短路情况,氯与被处理水间的接触、混合不良,氯化消毒效果及出水的水质稳定性均较差;其二是不能充分利用具有强杀菌力的有效态氯(HOCl , OCl^-)。往往在氯投入水中,大部份 HOCl 和 OCl^- 未发挥其高效的杀菌能力之前,就形成杀菌力仅为其22%~60%的氯氨类物质(NH_2Cl , NHCl_2)^[2],降低了氯的利用率;其三是在上述问题存在的同时,为达到一定的消毒效果,就要控制一定的 Ct 值,这样一方面提高了投氯量,另一方面增加了接触反应时间,从而利于处理出水中生成较多的消毒副产物(DBP),影响了出水的安全性。

以上分析说明,以 Ct 值作为氯化消毒的唯一控制指标是不全面,也是不合理的,它忽略了 b 对消毒效果的影响。在一定的水质条件下,氯与被处理水间的快速混合对消毒效果起着关键的作用。混合作用越快速、越充分,则 b 值越小,因而达到一定消毒效果所需的 C 或 t 值可降低或缩短,反之亦然。

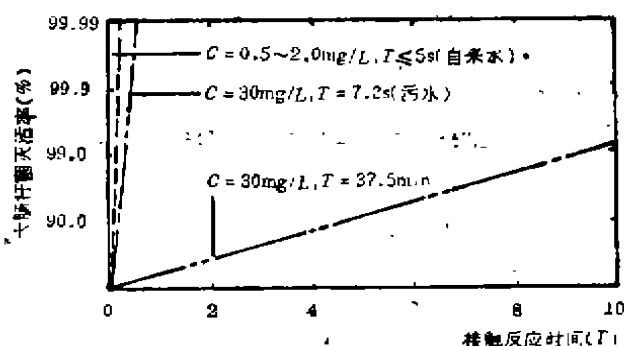
2 快速初始混合的作用

快速初始混合是指借助于有效的混合装置使氯在投入被处理水中时就产生剧烈而快速的混合作用,以使氯在极短的时间内均匀扩散,并促进氯向微生物体的传质作用。它可通过以下两个主要方面来实现高效、稳定而安全的消毒作用。

其一是充分利用了有效态氯的强杀菌力,研究表明,初时形成的氯比经一段时间后形成的化合性氯具有更强的消毒效果^[3]。快速混合是根据自由态氯在水中的存留时间,使氯在投入被处理水中的数秒中(一般小于5秒)内,便得到充分的扩散混合,而充分发挥自由态氯的消毒能力。美国加州大学的研究发现,初始混合使更多的自由态氯与细菌接触而起到杀菌作用;Collins等的研究表明,发生在螺旋桨混合槽中的滞后混合作用将产生较差的消毒效果,并注意到由于返混作用使得刚进入反应接触池的高效氯易与生成化合氯而破坏其强杀菌力。笔者利用固定混合器作为快速初始混合装置对人工配制的大肠杆菌水溶液(含E. Coli $6\sim7\times10^7$ 个/l)进行的研究表明,当投氯量为0.5~2.0 mg/l,接触时间为<5秒的条件时,可获得99.995%的消毒效果,证明了快速初始混合作用在提高氯化消毒效果方面的重要性^[3]。

其二是有效地促进了氯向细菌体内的传质作用。在水的消毒过程中,氯与细菌的反应属传质控制的反应过程。即是说,只要创造理想的混合接触条件,可使氯的高反应势得到充分地发挥,此时细菌的灭活速率与投氯量大小有关而与反应速率常数无关。初时快速混合可降低 b 值,一方面均化了氯的分布,增加了其与细菌的接触表面积,另一方面则通过不断的表面更新作用,促进了氯的传质过程。事实上,这种传质作用是通过浓度梯度(细菌细胞体内外的浓度差)而实现的,表面更新则维持了这种浓度差。

许多研究业已表明了快速初始混合法消毒与传统法之间消毒效果的极大差异。据报道, Collins 等人用两套不同投氯装置进行的比较研究表明, 停留时间为 7.2 秒的管式混合器的消毒效果明显优于搅拌浆转速为 50 r/min、反应时间为 37.5 min 的恒流搅拌反应槽。如对 E. Coli 而言, 前者经不到 10 秒钟的快速混合、投氯量为 30mg/l(污水)时可达 99.99% 以上的灭菌率, 而后者在相同的投氯量下, 经 10 分钟的接触, 灭菌率仅为 99.0% 左右^[1]。笔者的研究(应用 Kenics 型固定混合器)亦表明了快速初始混合作用在促进氯传质方面的明显效果^[4]。以上有关研究如图所示。



附图 不同混合方式消毒效果比较

---Kenics固定混合器 - - -普通混合器
- - -传统工艺

快速初始混合氯化消毒所获得上述极理想的灭菌效果还可用力学分析加以说明。如式(1)所示, n 为与反应动力学常数有关的参数, 其值在一定条件下是基本稳定的, 一般在 2~3 之间^[5]。但 b 值则不同, 其值与水质, 尤其是接触方式有关, 如表 1 所列。由表可明显看出, 相同类型的被处理水, 采用不同的混合方式时, b 值有明显的差异。研究表明, b 值越小, 处理效果越好, 而且达到一定处理效果所需的投氯量或反应接触时间均较低或

表 1 不同接触方式下 Collins-Selleck 模型常数*

混合接触方式	处理对象	b
传统接触池	二级处理出水	6.74
	饮用水	2.12 ~ 6.71
泵前投药	饮用水	0.016~0.400
喷射扩散	二级处理出水	0.003~0.037
管道混合器	污水	≤ 0.035
Kenics 混合器	人工配制清水	0.00003~0.0011

* 动力学式中 n 取 2; 灭活微生物为大肠杆菌。

表 2 不同接触方式下运行参数及处理效果比较

接触方式	投氯量(mg/l)	接触时间(s)	E. Coli 灭活率(%)
传统法	2.0~4.0*	900~1800	95.000~99.500
泵前投药	0.5~4.0*	<60.0	99.000~99.900
喷射扩散法	2.0~7.0**	<10.0	99.900~99.990
管道混合	30.0**	7.2	99.990
Kenics 混合器	0.5~2.0*	~5.0	>99.995

* 自来水 ** 污水

短,即可降低 Ct 值。表 2 为有关研究数据。上述分析表明,快速的初始混合可大大消除滞后现象,促进了有效态氯的利用,提高了灭菌效果。可见,快速初始混合是氯化消毒工艺设计中需要考虑且不可忽视的一个重要内容。

快速初始混合作用还可带来另一种极为有益的效应,即可降低氯化出水中有害副产物(THM)的生成量。一般认为,在氯化处理过程中,氯与被处理水中所存在的大多数结构复杂的有机物质(如腐殖酸类等)之间的反应是比较缓慢的,属反应控制反应,即反应产物的生成速率受反应时间及投氯量的控制。如氯与腐殖质类的反应,要通过取代、加成、开环、断链、水解及碱催化加成等过程才形成氯化有机物^[6]。此外,研究还表明,氯化有机物的生成量不仅与母体物的含量有关,还与氯投量 C 及反应时间 t 有关。式(2)为有关三氯甲烷(THM)生成势的经验公式^[7]。因此,

$$[THM]_{FP} = A[C]^{\alpha}[TOC]^{\beta}t^{\gamma} \quad (2)$$

式中: $[THM]_{FP}$ ——三氯甲烷形成势;

$[C]$ ——投氯浓度;

$[TOC]$ ——总有机碳浓度(亦可用特定物质,如腐殖酸表示);

A, α, β, γ ——常数(其中 A 与 pH 有关)。

降低投氯量或缩短反应时间,无疑可降低有害消毒副产物的生成量,请详见文献(6)(7)。

3 快速初始混合方法及其应用研究

快速初始混合在氯化消毒中实现高效、安全处理目标中的作用已逐渐被人们所认识。由于它促进了氯的利用率及快速的传质作用,使得处理效能明显改善。此外,强烈的初始混合作用,彻底消除接触池中死角及水流的分层现象而使得处理分水水质稳定,增强了对被处理水质变化的适应性。

目前,实现快速初始混合的方法主要有泵前投氯、喷射扩散、管道混合及固定混合器等几种。这些方法分别由我国重庆市自来水公司、日本的古里明璠等、美国的 Collins、我国哈尔滨市自来水公司及笔者分别应用于氯化消毒的应用及研究实践。研究均表明,管道混合及固定混合器的效果最为明显。

对有关研究的比较表明,Kenics 型固定混合器是一种极为理想的快速初始混合装置(见表 2)。它是一种无运动部件的高效液液或气液快速混合传质装置。在固定混合器内装有一系列一定形状的螺旋元件,并按一定方式连接安装,使之具有对流体的连续分割及径向混合功能。流体分割可使液层厚度变得很小,理论上可使液层厚度小于 *E. Coli* 的尺寸($1 \sim 5 \mu m$),因而可使细菌暴露于氯之中;径向混合可使流体消除分层及返混,从而可均化出水水质^[4,8]。固定混合器已在受传质控制的处理过程中显示出其优越性,它具有传质能力强、设备容积及占地面积小、安装维护方便、处理效果佳等优点。我国福州、南昌、大连、宜昌、无锡及绍兴等城市都拟或已将其应用于水消毒过程中,南京、广州、成都及桂林等城市将它应用于医院污水的处理中取得了明显的效果。目前,已设计出直径为 $250 \sim 1000 mm$ 的这种混合装置。

4 结 语

目前,快速初始混合在实现高效、安全氯化消毒中的作用已逐渐为人们所认识,有关研究也在不断开展。尤其是对固定混合器在实现快速初始混合中的作用,是一个值得深入研究的课题。在氯化消毒工艺的设计和运行中,这种快速的初始混合作用是必须加以考虑的,它对于上述氯化目标的实现,是至关重要的步骤。

参 考 文 献

- 1 汪光焘等. 城市供水行业 2000 年技术进步发展规划. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993
- 2 小沃尔特 J·韦伯. 水质控制物理化学方法(中译本). 北京: 中国建筑工业出版社, 1980
- 3 沈耀良等. 快速混合氯化消毒及其效果研究. 环境科学, 1992, 13(3), 55
- 4 沈耀良. 固定混合器原理及其在水处理中的应用. 给水排水, 1993, 19(2), 44
- 5 许保玖等. 给水处理理论与设计. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993
- 6 沈耀良等. 氯化消毒副产物的形成及其控制(I)(II). 污染防治技术, 1995, 8(2,3), 1
- 7 沈耀良. 氯化出水中卤化有机物的控制理论. 苏州城建环保学院学报, 1991, (4), 13
- 8 Willams G., et al. How to buy static Mixer. The Chem. Eng., 1984, 407(10), 30

AN EFFECTIVE APPROACH TO HIGH EFFICIENCY AND SAFE CHLORINATION ——INITIAL RAPID MIXING

Shen Yaoliang

Wang Baozhen

(Dept. of Environmental protection) (Harbin Uni. of Arche and Engrg.)

Abstract This paper introduces the Rapid Initial Mixing method of Chlorination based on the problems associated with traditional Chlorination process and the presence of halides in Chlorinated water, and according to the studies of the author and other researchers, analyses the functions of Rapid Initial Mixing in improving disinfection effects, Reducing Chlorine dosages, stablizing the effluent quality and eliminating the production of halides, and the methods and its applications of the Rapid Initial Mixing.

Key words Chlorine disinfection; water and wastewater treatment; Rapid mixing; Halides; Mixing equipment