



“十二五”国家重点图书
水处理新技术丛书

水处理 原理与设计

——水处理技术（二）
（原著第三版）

MWH'S WATER TREATMENT:
PRINCIPLES AND DESIGN
(Third Edition)

[美] John C. Crittenden 等著 刘百仓 等译



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



“十二五”国家重点图书
水处理新技术丛书

水处理原理与设计

——水处理技术(二)

(原著第三版)

MWH's Water Treatment: Principles and Design (Third Edition)

[美] John C. Crittenden 等 著

刘百仓 等 译



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

水处理原理与设计: 原著第三版. 水处理技术. 二/
(美) 科瑞谭登(Crittenden, J. C.)等著; 刘百仓等译
—上海: 华东理工大学出版社, 2016. 5

(水处理新技术丛书)

书名原文: MWH's Water Treatment: Principles
and Design, Third Edition

ISBN 978-7-5628-4595-9

I. ①水… II. ①科… ②刘… III. ①水处理 IV.
①TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 063594 号

MWH's Water Treatment: Principles and Design. -3rd ed. /John C. Crittenden, et al.

原著 ISBN: 978-0-470-40539-0

Copyright © 2012 by John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license.

著作权合同登记号: 图字 09-2013-913 号

项目统筹 / 焦婧茹

责任编辑 / 焦婧茹

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电话: 021-64250306

网址: press.ecust.edu.cn

邮箱: zongbianban@ecustpress.cn

印 刷 / 山东鸿君杰文化发展有限公司

开 本 / 710 mm × 1000 mm 1/16

印 张 / 33.5

字 数 / 616 千字

版 次 / 2016 年 5 月第 1 版

印 次 / 2016 年 5 月第 1 次

定 价 / 98.00 元

版权所有 侵权必究

目 录

第 13 章 消毒	1
13-1 历史回顾	4
13-2 水处理中常用的消毒方法	5
13-3 消毒动力学	7
13-3-1 经典消毒动力学——Chick-Waston 定律	8
13-3-2 当代动力学模型	12
13-3-3 消毒模型比较	17
13-3-4 化学消毒剂的浓度下降	19
13-3-5 温度对消毒动力学的影响	20
13-3-6 联系消毒动力学和消毒有效性的方法	22
13-3-7 消毒的 ct 值	23
13-4 非理想流反应器中的消毒动力学	24
13-4-1 SFM 模型在消毒中的应用	25
13-4-2 当扩散在消毒中很重要时的相关研究	28
13-4-3 用 t_{10} 评估扩散性能	30
13-5 自由氯和化合氯消毒	31
13-5-1 自由氯的化学性质	31
13-5-2 化合氯的化学性质	34
13-5-3 氯的形式(液氯、氯气、次氯酸盐等)	37
13-5-4 液氯	37
13-5-5 氯气的控制	38
13-5-6 次氯酸钠	41
13-5-7 氨	45
13-6 二氧化氯消毒	49
13-6-1 二氧化氯的产生	49
13-6-2 亚氯酸钠	50
13-7 臭氧消毒	51
13-7-1 臭氧需求量和臭氧消耗	51

13-7-2	确定臭氧消毒动力学的小试	53
13-7-3	臭氧的产生	58
13-7-4	氧气源	59
13-7-5	臭氧注入系统	61
13-7-6	尾气处理	63
13-8	低扩散消毒接触器的设计	63
13-8-1	管式接触器的设计	64
13-8-2	蛇形接触池的设计	65
13-8-3	反向-同向流挡板式接触池的设计	70
13-9	紫外线消毒	73
13-9-1	紫外线的概念	74
13-9-2	紫外线的来源	75
13-9-3	设备构型	77
13-9-4	灭活机理	78
13-9-5	复活	79
13-9-6	作用光谱的概念	80
13-9-7	紫外线剂量	81
13-9-8	水质的影响	81
13-9-9	紫外反应器水力学影响	83
13-9-10	用准直平行光束装置测定紫外线剂量	86
13-9-11	紫外反应器的验证试验	93
13-9-12	美国环保局紫外消毒指南验证程序	94
	问题和讨论	95
	参考文献	100
第14章	空气吹脱和曝气	111
14-1	空气吹脱和曝气的介绍	114
14-1-1	实现气-水接触	115
14-1-2	空气吹脱	115
14-1-3	曝气	116
14-2	气-液平衡	116
14-2-1	蒸气压和拉乌尔定律	116
14-2-2	亨利定律	117
14-2-3	亨利常数的其他单位	118
14-2-4	亨利常数的来源	120

14-2-5	使用分子技术或蒸气压和溶解度来估算亨利常数	122
14-2-6	亨利常数的影响因素	123
14-3	空气吹脱和曝气系统的分类	127
14-3-1	液滴或薄膜气-液接触器	129
14-3-2	鼓风曝气装置	132
14-3-3	抽吸曝气装置	133
14-3-4	机械曝气器	133
14-3-5	各种空气吹脱和曝气系统的优点和缺点	133
14-3-6	选择合适的装置	134
14-4	填料塔吹脱的基本原理	135
14-4-1	逆流填料塔的物质平衡分析	135
14-4-2	多级吹脱塔的物质平衡	140
14-4-3	确定填料塔高度的设计方程	142
14-5	填料塔吹脱的分析和设计	147
14-5-1	确定填料塔高度需要的条件	147
14-5-2	能量需求	158
14-5-3	填料塔设计分析与评级分析	161
14-5-4	设计变量	162
14-5-5	设计方法	163
14-5-6	影响填料塔性能的因素	166
14-6	低侧面空气吹脱塔分析	167
14-6-1	概述	167
14-6-2	设计方法	169
14-7	喷淋曝气装置的分析	170
14-7-1	概述	171
14-7-2	设计方法	171
14-8	其他类型的空气吹脱和曝气装置	174
14-8-1	喷淋塔	175
14-8-2	扩散曝气装置	176
14-8-3	机械曝气装置	176
	问题和讨论	177
	参考文献	179

第 15 章	吸附	185
15-1	吸附现象介绍	188

15-1-1	吸附现象	188
15-1-2	吸附的发展历史	189
15-1-3	吸附材料的应用	189
15-2	活性炭的制造、再生和再活化	191
15-2-1	原材料直接制备	192
15-2-2	失效的颗粒活性炭的再生及再活化	194
15-3	吸附的理论基础	196
15-3-1	吸附的界面平衡和其他溶质的表面现象	196
15-3-2	吸附相关的重要参数	196
15-3-3	表面化学和吸附过程中力的作用	196
15-4	描述吸附平衡的吸附等温线及方程的发展	200
15-4-1	平衡等温线	200
15-4-2	Langmuir 等温吸附方程	204
15-4-3	Freundlich 等温吸附方程	205
15-4-4	Brunauer-Emmett-Teller 等温吸附方程	209
15-4-5	液相吸附的 Polanyi 相关性方程	211
15-4-6	多组分平衡	217
15-4-7	尾气气提的 Dubinin-Radushkevich 相关性方程	219
15-5	粉末活性炭	221
15-5-1	粉末活性炭在水处理中的应用	221
15-5-2	确定粉末活性炭投加量的实验方法	221
15-5-3	粉末活性炭和颗粒活性炭利用率的对比	222
15-5-4	粉末活性炭吸附能力的影响因素	225
15-5-5	粉末活性炭在单元处理中的应用	233
15-5-6	均相表面扩散模型	236
15-6	颗粒活性炭	249
15-6-1	颗粒活性炭应用中的术语	250
15-6-2	比产量和活性炭利用率的确定	253
15-6-3	颗粒活性炭的运行	257
15-6-4	颗粒活性炭性能的模拟	264
15-6-5	水中天然有机物对颗粒活性炭吸附性能的影响评价	282
15-6-6	快速小规模吸附柱试验	291
15-6-7	吸附器性能的影响因素	307
	问题和讨论	308
	参考文献	312

第 16 章 离子交换	319
16-1 离子交换技术的发展	321
16-1-1 天然交换材料	322
16-1-2 合成交换材料	323
16-1-3 合成树脂交换机理	323
16-2 合成离子交换介质	324
16-2-1 树脂结构	324
16-2-2 树脂根据官能团分类	326
16-3 离子交换介质的性质	329
16-3-1 树脂的工程性质	329
16-3-2 树脂的物理性质	335
16-4 离子交换平衡	338
16-4-1 离子交换的选择性	338
16-4-2 分离因数	341
16-4-3 二组分交换系统	342
16-4-4 多组分交换系统	344
16-5 离子交换动力学	347
16-5-1 离子交换动力学原理概述	347
16-5-2 固定床离子交换工艺的控速步骤	349
16-6 离子交换工艺的组成	350
16-6-1 再生方法	350
16-6-2 离子交换工艺分类	353
16-7 离子交换工艺设计中的工程考虑	357
16-7-1 问题界定	357
16-7-2 处理目标和目的	358
16-7-3 初步工艺分析	358
16-7-4 实验室和中试试验	358
16-7-5 离子交换柱设计标准的建立	365
16-8 离子交换工艺设计实例	367
16-8-1 问题界定	367
16-8-2 处理目标/设计标准及限制	367
16-8-3 初步工艺分析	368
16-8-4 实验室和中试实验	368
16-8-5 原型规模工艺设计标准的建立	370
16-8-6 实例设计小结	374

问题和讨论	374
参考文献	377
第 17 章 反渗透	381
17-1 膜工艺的分类	384
17-2 反渗透的应用	385
17-2-1 海水淡化	385
17-2-2 地下苦咸水淡化	386
17-2-3 水的回收利用	387
17-2-4 水的软化和 NOM 去除	387
17-2-5 特定污染物去除	387
17-3 反渗透在水处理中的发展历史	388
17-4 反渗透工艺描述	389
17-4-1 预处理和后处理	389
17-4-2 浓缩液	391
17-4-3 膜组件结构	391
17-5 反渗透基本原理	393
17-5-1 膜结构、材料化学性质以及截留能力	393
17-5-2 渗透压	395
17-5-3 反渗透膜中的水和溶质的传质模型	400
17-5-4 溶质截留机理	402
17-5-5 水和溶质通量方程	403
17-5-6 温度和压力的依赖性	404
17-5-7 浓差极化	409
17-6 污染和结垢	414
17-6-1 颗粒污染	414
17-6-2 无机盐的沉淀与结垢	416
17-6-3 金属氧化物污染	420
17-6-4 生物污染	421
17-7 反渗透工艺设计	422
17-7-1 膜组件的选择与排列设计	424
17-7-2 测试试验	434
17-7-3 预处理	436
17-7-4 后处理	436
17-7-5 浓缩液管理	437

17-7-6 残余物的处置	438
17-7-7 能量回收	439
问题和讨论	441
参考文献	446
第 18 章 高级氧化	451
18-1 高级氧化技术介绍	454
18-1-1 高级氧化技术的种类	454
18-1-2 AOPs 性能评估	456
18-1-3 AOPs 的副产物	460
18-1-4 影响 AOPs 的主要因素	461
18-1-5 AOPs 的可行性评估	466
18-2 作为一种高级氧化技术的臭氧氧化	466
18-2-1 由 OH^- 产生羟基自由基	467
18-2-2 由 NOM 产生羟基自由基	469
18-2-3 由实验室实验确定目标化合物的分解	474
18-3 过氧化氢/臭氧技术用于饮用水处理	475
18-3-1 反应机理	475
18-3-2 过氧化氢和臭氧的合适剂量	476
18-3-3 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ 工艺的基元反应	477
18-3-4 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ 过程的简化模型	480
18-3-5 简化模型和数据的比较及其使用限制	481
18-3-6 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ 工艺的缺点	482
18-4 过氧化氢/紫外线工艺	487
18-4-1 UV/ H_2O_2 工艺的基元反应	488
18-4-2 反应器性能描述	491
18-4-3 简化模型和数据的比较及其使用限制	494
18-4-4 NOM 和化合物种类对目标化合物分解的影响	499
18-5 其他高级氧化技术	503
18-5-1 二氧化钛光催化	504
18-5-2 芬顿反应	507
18-5-3 超声分解	508
问题和讨论	509
参考文献	510

第 13 章 消 毒

消毒术语

术 语	定 义
吸光度	被水中组分吸收的特定波长下的光
生物剂量	灭活特定试验生物的消毒剂剂量
折点加氯	氯加入与水中所有可氧化物质反应的过程,折点后加的氯会保持自由氯的形态(见下,HOCl+OCl ⁻)
化合余氯	氯和氨的反应产物浓度,具体指 NH ₂ Cl, NHCl ₂ 和 NCl ₃ , 以 mg/L(Cl ₂)表示
<i>ct</i>	余氯浓度(mg/L)和接触时间(min)的乘积。此值常被管理者用来评估消毒工艺的有效性
消毒	通过暴露在化学试剂(例如氯)或物理工艺(例如 UV 辐射)中部分破坏和灭活致病生物体
衰减速率	消毒剂浓度随时间的下降速率
消毒副产物(DBPs)	消毒剂与进水中物质反应生成的不期望的反应产物,关注的 DBPs 是那些致癌的或其他对健康有副作用的物质
剂量-效应曲线	微生物的灭活程度和消毒剂用量之间的相关关系
自由余氯	溶液中次氯酸(HOCl)和次氯酸离子(OCl ⁻)的和,以 mg/L(Cl ₂)表示
失活	使微生物不能繁殖,从而限制了它的致病能力
病原菌	能够致病的微生物
光活化和暗修复	用来修复暴露在 UV 辐射下所受损害微生物的方法
复活	微生物用来修复暴露在消毒剂下所受损害的过程
灭菌	彻底破坏致病和其他微生物
透射比	水传递光的能力,透射比和吸光度有关
总余氯	自由氯和化合氯的浓度之和
紫外光	电磁光谱中介于 100~400 nm 之间的部分

饮用水中微生物污染物的威胁可以通过 3 种互补的方法来消除: ① 阻止微生物污染物进入水源; ② 采用水处理减少它们在水中的浓度; ③ 使配水系统的完整性最大化。在公众饮用水系统的早期历史上,人们把重点完全放在源头保护上。近年来,人们则更多地关注提供有效的水处理来减少微生物污染。目前源头保护和水处理已经越来越多地被联合使用来确保生产安全的饮水,同时为了确保在水处理厂到用户的输送过程中不发生污染,也越来越关注提高配水系统的完整性。

在水处理过程中,减少微生物污染物有 2 种基本方法——从水中去除微生物污染物或灭活微生物使其不能致病。灭活的微生物尽管依然存在于水中,但是它们不再对用户致病。传统上我们称灭活微生物的工艺为消毒。本章主要讲述这一工艺。

在水处理厂里,消毒实际上包含 2 个步骤:① 初级消毒——灭活水中的微生物;② 二级消毒——在配水系统中维持一定的消毒剂残留。基于不同的消毒目标,最好消毒剂的选择是不同的。

本章将主要介绍初级消毒,探讨消毒在保护公众中所起的作用,以及去除相比灭活病毒的优缺点,消毒工艺动力学和消毒设施设计的具体细节。消毒副产物将在第 19 章讨论。

13-1 历史回顾

John Snow (1849 和 1853,见第 3 章)发现并明确证实了水和疾病之间有联系,在此之前的 10 年开始,并在之后持续了 50 年之久被用来控制水生疾病主要有 2 种方法:① 供水不被粪便污染;② 砂滤。一开始慢速砂滤是主导工艺,但是,它并不总是有效的。一开始着手快速砂滤的工作效率甚至更低。最终 George W. Fuller (1897)的研究表明,在过滤之前混凝反应完全是非常重要的。即使有适当的混凝,过滤也不能单独完全有效地把微生物降低到一个安全的水平 (Johnson, 1911; Whipple, 1906)。

在 Fuller 开始研究混凝和过滤之前不久的 1881 年,德国科学家 Koch 发现水生疾病中细菌所起的作用,也论证了氯能灭活致病细菌。第一个使用氯来持续消毒饮用水的是 1902 年比利时的 Middelkerke。在美国第一个应用到饮用水的是 1908 年后期在新泽西州泽西市自来水厂的 Boonton 水库。这些早期项目都是使用次氯酸钙来完成的。很快,液氯的出现使得大规模持续的加氯消毒更容易实现。第一个永久性使用液氯消毒的装置于 1913 年在费城建成。大多数这些早期的项目致力于解决严重的污染或者为了避免过滤而建,但是接下来的三十年里氯化被广泛快速地用于很多地表水供给,包括已经过滤的地表水。到 1941 年,有调查表明美国 85% 的饮用水进行了氯消毒 (US PHS, 1943)。事实上,到 20 世纪 40 年代,氯消毒已经成为世界水处理的标准。时至今日,许多供水设施也只采用了氯化消毒。卫生官员与公众均认为自来水中的自由余氯的存在是水中微生物安全的保证。消毒如今已被确立为最重要的水处理过程。关于氯的使用更多详细的讨论可以在 Baker(1948)和 White(1999)的文献中找到。

氯的使用从一开始就是有争议的,很多反对者主张在消毒处使用保护设施 (Drown, 1893, 1894)。同样重要的是,相当一部分人反感加氯,抱怨其对水的

感官指标产生的影响,希望避免接触这样的毒性物质,尽管是低浓度。鉴于此,欧洲大陆在 20 世纪 60 年代和 70 年代主要用臭氧消毒。

在 20 世纪 70 年代中期,发生了一些促使人们重新评价消毒工艺的事件。荷兰和美国的研究人员发现自由氯和水中的天然有机物(NOM)反应产生了有机氯化物,特别是三卤甲烷(THMs)(Bellar 和 Lichtenberg, 1974; Rook, 1974)。此后不久,监管部门开始设置所形成的 THMs 的允许限值(U. S. EPA, 1979; WHO, 1994)。此后,更多的氯化副产物被检测出来,其他消毒剂的化学副产物也被鉴别出来(Bull, et al., 1990)。很多这些消毒副产物也被设置了相应的限值(U. S. EPA, 1998)。氧化剂在水处理中的使用随时可能产生化学副产物,大部分这些副产物都可能面临监管(Trussell, 1992, 1993)。

在 20 世纪的最后 20 年里所发生的事故使得人们开始对加氯控制水源性疾病的有效性产生了疑问。在 80 年代,原生动物兰伯氏贾第虫被确定为一种重要的水生病原体。因为兰伯氏贾第虫比其他消毒目标更耐氯,建立了更严格的致病病菌削减标准(U. S. EPA, 1989)。最近另一种原生动物隐孢子虫也被证明是水生疾病传播的重要来源。隐孢子虫更耐氯。事实上,氯化对隐孢子虫是无效的。

氯化副产物以及氯化耐受菌的发现导致了对氯作为主要消毒剂的重新评价,以及重新评价其在控制病原菌过程中的灭活作用。举例来说,因为没有可用的方法确定是否供水系统中隐孢子虫卵囊会引起消费者饮用后得病,英国的饮用水督察员只承认去除,而不是灭活,作为一种控制该病菌的可行策略(U. K. Department of the Environment, 1999a, b)。

新的处理工艺也已经脱颖而出,这些工艺在去除其他微生物的同时,还能去除或灭活耐氯微生物。最初在 20 世纪 50 年代开发的膜过滤工艺,后来用于实验室溶液、果汁和酿造饮料的杀菌,现在已经发展到一个商业上大规模可行的阶段。膜对致病菌的去除能力要远比传统的物理处理工艺如混凝和颗粒介质过滤等有效。事实上,膜所去除的细菌量与氯消毒灭活细菌在同一数量级上(Jacangelo, et al., 1989)。紫外消毒也能同样有效灭活贾第虫(Stolarik, et al., 2001)和隐孢子虫(Craik, et al., 2001)。氯仍然是占主导地位的饮用水消毒剂,消毒(灭活)依然是水处理的基石,这种状况在将来可能会改观。

13-2 水处理中常用的消毒方法

至今在饮用水处理中通常有以下五种消毒剂:①自由氯;②结合氯(氯和氨的结合,也叫氯胺);③二氧化氯;④臭氧;⑤紫外线。前四种是化学氧化剂,紫外线则是电磁辐射。在五者中,目前在美国最常见的消毒剂是游离氯。正如图 13-1 所示,尽管采用的消毒方法随时间发生了一些变化,美国供

水协会消毒系统委员会在 1978 年、1989 年、1998 年和 2007 年对所用消毒剂的调查发现美国几乎所有的水厂都使用自由氯(AWWA, 2008)。1978 年, 91%的水厂用氯气通入水中产生自由氯, 7%的水厂用次氯酸钠(即漂白剂)。到 2007 年, 只有 63%的水厂用氯气, 有将近 40%的水厂或用液体或用原位产生的次氯酸钠。因为氯气是剧毒物质, 所以, 为确保安全, 从氯气到次氯酸盐的转换是必要的。

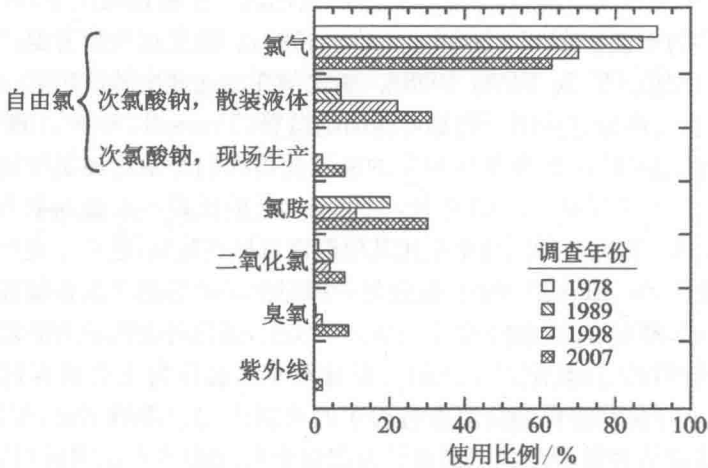


图 13-1 美国市政饮用水处理中消毒剂的使用(摘自 AWWA 2008)

如图 13-1 所示, 到 2007 年, 用氯胺消毒的水厂已经增长到 30%。但是它的使用主要局限在维持余氯, 通常氯胺是与另外一种主要消毒剂一起使用的。

臭氧是四种氧化剂中氧化能力最强的, 它在水厂中的应用从 1989 年不到 1%增长到了 2007 年的 9%。它应用得越来越普遍的原因, 一部分在于它的强消毒特性, 一部分则是因为它能控制臭(xiù)味物质, 尤其是土臭味素和甲基异莰醇。紫外线在饮用水处理系统中不常用到, 2007 年仅有 2%的水厂使用该方法。但它的使用以后可能会增多, 因为它很少产生副产物, 而且可以有效去除原生物。表 13-1 总结了这些常用消毒剂的信息。

表 13-1 五种最常见消毒剂的特性

项目	消毒剂				
	自由氯	化合氯	二氧化氯	臭氧	紫外线
消毒有效性					
细菌	非常好	好	非常好	非常好	好
病毒	非常好	一般	非常好	非常好	一般
原生动物	一般—差	差	好	好	非常好

续表

项目	消毒剂				
	自由氯	化合氯	二氧化氯	臭氧	紫外线
内孢子	好—差	差	一般	非常好	一般
消毒剂残留限值	4 mg/L	4 mg/L	0.8 mg/L	—	—
化学消毒剂副产物形成					
监管的消毒副产物	4种 THMs ^① 和5种 HAAs ^②	痕量 THMs和 HAAs	亚氯酸盐	溴酸盐	无
将来可能监管的消毒副产物	几种	卤代氰, NDMA ^③	氯酸盐	可生物降解的有机碳	无
典型应用					
剂量	1~6 mg/L	2~6 mg/L	0.2~1.5 mg/L	1~5 mg/L	20~100 mJ/cm ²
剂量/(lb/mg)	8~50	17~50	2~13	8~42	—
化学来源	用槽罐车运送氯,用盐和水在线电解。次氯酸钙粉末用在小型装置里	与氯一样。氯可以是氨水溶液、氨气、硫酸铵固体、氯和氨在处理过程中混合	ClO ₂ 由氯和亚氯酸盐在线生产,氯与前述来源一致,亚氯酸盐是粉末或稳定的溶液	干空气或纯电晕放电在线制取臭氧。氧气通常使用液氧,氧气也可以现场制备	在接触器中用低压或高压高强度紫外线(254 nm)或中压紫外线(多种波长)

① THMs——三卤甲烷。

② HAAs——卤乙酸。

③ NDMA——N-亚硝基二甲胺。

历史上,氯气加入水处理的原水中,氯气与水在整个水厂停留时间内接触消毒。这种方式已被淘汰,消毒如今都是在单独的单元过程中进行。化学消毒剂通常被加入折流式蛇形接触室或长的管道中。这两种接触室能被设计为高效、十分接近理想的推流流态。此外,臭氧能被导入反向同一向挡板式接触反应室,但是这样的反应器有更大的短流问题。所以对臭氧消毒来说,管道或蛇形接触室更为普遍。化学消毒的接触池设计将在13-8节中介绍。

紫外线消毒经常用于有专利权的反应器。因为它们的接触时间如此之短,所以紫外反应器尤其是有专利权的反应器要特别关注短流。由于高强度紫外灯可在小空间里传送高紫外剂量,故中压紫外灯普遍使用有专利权的压力容器。在欧洲已经有相关标准(DVGW, 1997),美国的相关标准也正在不断完善(NWRI, 2003; U. S. EPA, 2006)。

13-3 消毒动力学

对化学消毒剂来说,微生物灭活的具体机理还不是很清楚。灭活取决于微