



消毒技术在中水回用中的应用*

郭宝东¹, 邢 杨², 张 欣³

(1. 辽宁省环境科学研究院, 辽宁 沈阳 110036; 2. 辽宁省清洁生产中心, 辽宁 沈阳 110034;
3. 沈阳市疾病预防控制中心, 辽宁 沈阳 110031)

摘 要: 阐述了中水回用工程中几种常见的消毒技术, 对消毒技术发展方向进行了论述。

关键词: 消毒技术; 中水回用; 应用

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1005-8206 (2006) 04-0063-02

Application of Disinfection Technology in Reclaimed Water Reuse

Guo Baodong¹, Xing Yang², Zhang Xin³

(1. Liaoning Academy of Environmental Science, Liaoning Shenyang 110031; 2. Liaoning Provincial Cleaner Production Center, Liaoning Shenyang 110031; 3. Shenyang Center for Disease Control and Prevention, Liaoning Shenyang 110031)

Abstract: Several sorts of common disinfection technologies were expatiated in detail in reclaimed water engineering. Development directions of disinfection technology were discussed.

Key words: Disinfection technology; Reclaimed water reuse; Application

中水处理是去除污水中主要的有机物、氮、磷, 减少了水中的污染物, 有效地防止了水体的富营养化, 同时也去除了一部分病原体和引起传染病的微生物, 但为了保证公共卫生安全, 对回用水还必须进行消毒处理, 使其微生物指标符合标准。消毒方法可分为物理和化学方法。物理方法主要有加热、冷冻、辐照、紫外线、超声波和微波消毒等; 化学方法是利用各种化学试剂进行消毒, 常用的消毒剂有氯及其化合物, 各种卤素、臭氧、重金属离子或其它氧化剂等^[1, 2]。这里只介绍几种中水回用工程中常用的消毒技术。

1 常见的几种消毒单元技术

1.1 氯消毒

氯作为消毒剂是从 1902 年比利时的 Middelkerke 开始的。液氯消毒因其强大的杀菌力、低廉的价格及在水中持续时间长等优点, 一度成为世界上使用最多、应用最为广泛的杀菌工艺, 并作为饮用水安全的主要手段。液氯目前仍是大部分国家特别是发展中国家主要的消毒剂。

关于氯消毒的原理, 一般认为是氯溶解于水生成的次氯酸 (HClO) 起作用, 其为中性小分子, 易于扩散到带负电的细菌表面, 并穿透细菌的细胞壁进入细菌内部, 能氧化和破坏细菌的酶系统而使细菌死亡。不同微生物对氯的抵抗能力按递减的顺序依次为: 细菌芽孢、原生动物芽

孢、病毒、营养细菌。从目前的分析水平看, 氯消毒只能灭掉营养细菌^[3]。

该方法最大的缺陷是当氯与水中某些有机物生成危害人体健康的 THMs (三卤甲烷) 或其它有害的衍生物, 而且用液氯消毒腐蚀性强, 不安全, 易发生泄氯事故; 另外, 长期使用氯消毒法, 细菌产生不同程度的抗药性, 使氯的使用量逐渐增加, 大大提高了生成有害化合物的可能。因此, 淘汰氯消毒剂, 开发新型杀菌剂势在必行。

1.2 二氧化氯消毒

二氧化氯 (ClO₂) 最早由 Davey 于 1811 年发现, 并于 1944 年在美国 Niagara Falls 水厂被作为消毒剂使用。目前, 欧美等发达国家已广泛以二氧化氯取代氯处理饮用水, 一些国家还颁布强制使用二氧化氯的各种规定。二氧化氯是世界卫生组织确认的 AI 级高效、安全、光谱的杀菌剂。

二氧化氯对微生物的灭活机理是该物质进入微生物体内作用于酶而抑制蛋白质合成。其氧化性可破坏蛋白质中的酪氨酸, 抑制细菌特异吸附, 阻止对主细胞的感染。同时与部分微生物蛋白质中的氨基酸发生反应, 使反应产物分解破坏, 最终导致细菌死亡。

二氧化氯对细胞壁有较强的吸附和穿透能力, 在低浓度时更突出, 它比 HClO 更容易进入微生物体内, 在同等条件下灭活微生物的机会增加; 其次, 二氧化氯有较强的氧化能力, 其理论氧化能力是自由氯的 2.6 倍^[4]。

二氧化氯不会与水中有机物生成 THMs 等危

* 基金项目: 辽宁省科技厅项目 (2003229002)

收稿日期: 2006-04-13



险三致物，消毒安全性好；衰减速度慢，能延续消毒能力；不水解，消毒效果受水的 pH 影响小；能有效杀灭水中病毒和孢子等。但值得注意的是二氧化氯可抑制动物体内元素碘的代谢和生理活性，降低动物甲状腺分泌量；过量投加会产生消毒副产物亚氯酸根，容易在人体作用于红细胞形成正铁血蛋白，会导致溶血性贫血。同时，使用二氧化氯的成本要高于氯消毒成本的 5 倍。在同样条件下，二氧化氯的需要量要低于氯，而且它的选择性更高、反应性更低。

1.3 紫外线消毒

采用紫外线消毒法可有效去除水中的细菌繁殖体、孢子、原生动、病毒及有机污染物^[5]。利用紫外线对中水进行消毒，具有消毒快捷、不污染水质的特点。该技术在中水消毒领域已具有相当的竞争力。

紫外线杀菌是通过紫外光子辐射致使产生的光化学反应过程。紫外线的杀菌机理是一个较为复杂的过程，较为普遍的看法是：微生物受到紫外线照射，吸取了紫外线的能量，实质是核酸对紫外线能量的吸收。核酸分为 RNA 和 DNA，是一切生命体的基本物质和生命基础。核酸吸收紫外线后发生突变，其复制、转录封锁受到阻碍，从而阻碍微生物体内蛋白质核酶的合成；另外，产生自由基可引起光电离，从而导致细胞死亡。

紫外线消毒不产生 THMs；速度快、效率高；处理后中水无色无味，安全性极好；避免了其它化学消毒药剂的贮存和运输；操作简单，易于实现自动化；对空气和水生生物无影响。但是使用紫外线消毒受水中悬浮物的影响，不能实现管网中的持续消毒，费用较高。紫外线消毒法只能应用于小的供水系统（小于 3 300 人）。

1.4 超声波消毒

利用频率超过 20 kHz 的声波杀灭水中微生物的过程称为超声波消毒。超声波可以破坏大肠杆菌、伤寒杆菌、结核杆菌及原生动物和后生动物。

在中水中施加超声场，会使液体产生成群的气泡，称为“空化气泡”。这些气泡受到超声的作用时，会经历气泡生长，收缩，再生长，再收缩等过程，经多次周期性振荡，最终以高速度崩裂。在其周期性振荡或崩裂过程中，会产生短暂的局部高温（约 5 000 K）和高压（约 100 MPa），加热和冷却速率大于 1 000 K/s，并产生强电场，从而引发力学、热学、化学和生物学等

效应^[6]。超声波频率的激烈变化对中水中细菌细胞起到了机械破坏作用，通过对原生质蛋白物质的分解引起细胞生命功能的损伤。

利用超声波消毒具有方法简单、速度快、效率高、易于调整（功率、频率）等优点。但在实际应用中，采用超声波消毒效果并不理想，细菌死亡仅限于距离超声波发射较近的区域，而且耗能大，运行费用大。近年来，多采用超声波与其它技术联用的方式，如与臭氧联用，效果要好于单独使用超声波或臭氧。

1.5 臭氧消毒

臭氧作为消毒剂始于 1893 年，当时在荷兰 Oudshoorn 建立了世界上第一家用臭氧消毒的水厂。用臭氧消毒可明显改善水的气味和味道，该方法迅速得到了大规模的应用。研究表明：臭氧可以有效杀除细菌、病毒、孢囊、芽孢，尤其是隐孢子虫属，且可破坏大部分有机物如酚，同时可去除铁、锰，还可起到脱色去臭作用。臭氧消毒法已经成为中水回用中最有希望推广的方法之一。

臭氧溶解于水后生成 $[O]$ ， $[O]$ 除了具有强杀伤力外，还具有较强的侵入细胞壁的能力，从而破坏细菌等有机体链状结构导致细菌死亡。

臭氧是一种绿色消毒剂，在消毒过程中不会产生有害副产物，其消毒效果好于氯，但其消毒工艺较为复杂，且存在诸多问题未能解决，使其应用受到了限制。采用此工艺耗电大，投资运行成本高，稳定性差，最后仍需其它消毒剂辅助消毒，因此在小型中水回用工程中很少用^[7]。

2 消毒技术研究方向

继续研究开发高效消毒剂及消毒设备，降低成本；继续加强消毒机理的研究，寻找提高消毒效果的有效方法；加强消毒的动力学研究，以便加强对消毒的预测和控制，最终服务于工程实践。

3 参考文献

- [1] 韩剑宏. 中水回用技术及工程实例[M]. 北京：化学工业出版社，2004
- [2] 金兆丰，徐竟成. 城市污水回用技术手册[M]. 北京：化学工业出版社，2004
- [3] 张林生. 水的深度处理与回用技术[M]. 北京：化学工业出版社，2004
- [4] 颜其伟. 二氧化氯用于水处理技术[J]. 贵州化工，2002(1)：33-35
- [5] 张立成. 紫外线消毒工艺与应用概况[J]. 中国给水排水，2002，2：38-40
- [6] 李春喜，王京刚，王子镐，等. 超声波技术在污水处理中的应用与研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备，2001，2（2）：64-69
- [7] 刘春芳. 臭氧高级氧化技术在废水处理中的研究[J]. 石化技术与应用，2002，20（4）：278-280