

小城镇自来水厂消毒技术的经济评价

蒋绍阶¹, 张智瑞²

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 中冶京城工程技术有限公司 动力与水资源所, 北京 100176)

摘要: 介绍了氯消毒、二氧化氯消毒、氯氨消毒和 UV 消毒方式的优点及缺陷, 并对 4 种消毒方式的工程投资估算、年运行费用和费用现值进行了技术经济比较。分析结果表明: 当水厂处理规模 $< 1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时, 二氧化氯消毒在经济上优于其他 3 种消毒方式; 当处理规模 $> 1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时, 液氯消毒方式较为经济; UV 消毒方式的费用现值约为其他消毒方式的 1.3~2 倍。

关键词: 小城镇自来水厂; 消毒; 经济评价

中图分类号: TU991.25 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2007)04-0015-04

Economic Analysis of Various Disinfection Techniques for Water Treatment Plant in Small Towns

JANG Shao-jie¹, ZHANG Zhi-rui²

(1. Key Lab of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment <Ministry of Education>, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Power and Water Resource Institute, Capital Engineering and Research Incorporated Limited, Beijing 100176, China)

Abstract: The advantages and defects of various disinfection techniques with chlorine, chlorine dioxide, chloramines, and UV were introduced, and the engineering investment, annual operational cost and net present value (NPV) of the four disinfection techniques were compared in technical and economic aspects. The analysis results show that chlorine dioxide disinfection is the best way in economic aspect for water treatment plants (WTPs) with a capacity of less than $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, while for the WTPs with a capacity of more than $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, chlorine disinfection is more economic; and the NPV of UV disinfection is about 1.3 to 2 times than all other disinfection systems.

Key words: water treatment plant in small towns; disinfection; economic assessment

供水系统是社会经济发展的重要基础设施之一, 在小城镇自来水厂建设和改造中采用合理的消毒方法, 保证去除致病菌, 减少消毒副产物和降低消毒费用是十分必要的。目前, 对消毒技术研究较多的是氯消毒、二氧化氯消毒、氯氨消毒和紫外线 (UV) 消毒 4 种方式。故笔者对这 4 种消毒方式进行经济评价分析, 以期为我国小城镇自来水厂消毒

技术的选择提供一定的参考。

1 技术分析

1.1 氯消毒和氯氨消毒技术

氯消毒是一种经济实用的消毒技术, 但消毒过程易形成消毒副产物 (DBPs)。20 世纪 70 年代中期美国环境保护署曾选定 80 个城市对原水和处理水中的卤化物进行检测, 发现饮用水中普遍存在三

基金项目: “十五” 国家科技攻关课题 (2003BA808A15-2)

卤甲烷。随着检测技术的进步,越来越多的氯化消毒副产物被发现,而 DBPs 的“三致”作用也得到更多研究的证实。此外,氯消毒在正常投量范围内对贾第虫和隐孢子虫几乎没有杀灭作用。

一般认为,氯氨消毒属氯消毒范畴。氯氨消毒需要较长的接触时间,可以有效控制管网中的细菌再生繁殖和生物膜问题,因此氯氨消毒适于管网较长、供水区域较大的情况。由于氯氨是以化合态氯进行消毒,与氯消毒相比其生成 THMs 的量较少,但其杀菌能力和消毒效率也会相应降低。

1.2 二氧化氯消毒技术

二氧化氯作为饮用水消毒剂具有杀菌能力强、不产生三卤甲烷和卤乙酸等副产物的优点,可控制藻类、腐败植物和酚类化合物产生的嗅和味,同时还能氧化铁、锰、硫化物、氰化物和亚硝酸盐以及许多有机物等。二氧化氯消毒过程存在的突出问题是易产生毒性较大的无机消毒副产物(CD_2^- 和 CD_3^-)。二氧化氯的无机副产物主要产生于 CD_2 的制备过程、二氧化氯的歧化反应和氧化反应,其中二氧化氯的氧化反应对消毒副产物的贡献最为突出也是无法避免的。

1.3 UV 消毒技术

在较低的消毒剂量和较短的停留时间下,UV 消毒具有高效杀灭致病菌的优点,并对液氯消毒难以灭活的一些致病菌具有特效消毒效果^[1]。此外,UV 消毒作为一种物理处理方法,不会使水中的生物可同化有机碳和可生物降解有机碳的含量增加。

UV 消毒所面临的主要问题是消毒后的水中无“余氯”作用,在管网内细菌易重新繁殖,所以单纯的紫外线消毒一般用于小水量、处理出水立刻被使用的情况,或者源水的生物稳定性好、有机物含量低($<10\text{ }\mu\text{g/L}$ ^[2])、配水管网内不存在二次污染的情况。

2 经济分析

2.1 处理规模

我国小城镇人口少,工农业发展的结构水平也较低,故小城镇水厂建设的规模较小,一般都在 $5\text{ }000\sim30\text{ }000\text{ m}^3/\text{d}$ 。据此选定 4 种有代表性的给水处理规模,即 0.5×10^4 、 1.0×10^4 、 2.0×10^4 、 $3.0\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 进行分析。

2.2 工艺方案

对于采用氯、二氧化氯和氯氨作为消毒剂的系

统,其投加量按《给排水设计手册》中推荐的剂量计:氯投加量为 2.0 mg/L ,二氧化氯投加量为 0.5 mg/L ,氯氨投加量为 2.0 mg/L (氯氨比为 4:1)。UV 辐射剂量 $\geq40\text{ }(\mu\text{W}\cdot\text{s})/\text{cm}^2$,出厂时补投液氯,投加量为 0.5 mg/L 。

主要构筑物尺寸根据《室外给水设计规范》(GB 50013—2006)及《给排水设计手册》中的标准确定,并以大量设计图纸为参考。设计时,构筑物长度和宽度根据消毒设备尺寸并考虑一定的维修空间确定,其消毒设备尺寸由设备生产厂商提供数据;部分构筑物高度由起吊设备的相关参数计算得出。

消毒设备中投加设备或发生设备的数量均考虑备用情况,由于水厂处理规模和投加总量均较小,故设置一套备用设备是合适的,设备的参数及功率由设备生产商提供。设备功率作为经济计算的依据,正常工作时需要开启的设备计入耗电量,而只在需要时开启使用后立即关闭的设备不计入耗电量。

2.3 费用指标分析

费用指标参考资料主要有《给水排水工程概预算指标》、《室外给水排水工程技术经济指标》、《市政工程技术经济指标》、《城市基础设施工程投资估算指标》等。成本估算有关单价:电费单价为 $0.58\text{ 元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,工资福利标准为 $1.2\text{ 万元}/(\text{人}\cdot\text{a})$, NaClO_2 单价为 $15\text{ }000\text{ 元}/\text{t}$,HCl(工业一级品,浓度为 31%)单价为 $900\text{ 元}/\text{t}$,液氯单价为 $4\text{ }000\text{ 元}/\text{t}$,液氨单价为 $2\text{ }200\text{ 元}/\text{t}$ 。维修大修费率:大修提成率为 1.8%,维护综合费率为 1%;固定资产折旧:设备折旧年限按 20 年计,生产用房折旧年限按 40 年计,采用直线折旧法,净残值率为 4%;银行借款年利率为 5.76%。

工程投资

根据投资估算可得出各消毒方式在不同给水处理规模下对应的投资总额,结果见表 1。

表 1 各消毒方式的投资估算结果

Tab 1 Results of investment budget for different disinfection modes

项目		数值			
处理规模 / ($10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)		0.5	1.0	2.0	3.0
投资 估算 万元	氯消毒	44.82	48.02	51.46	56.51
	二氧化氯消毒	20.22	21.72	22.90	24.37
	氯氨消毒	64.18	65.69	68.92	70.95
	UV 消毒	64.03	76.24	117.15	147.43

根据投资估算结果,可得到各消毒方式单位投

资费用曲线,结果见图 1。

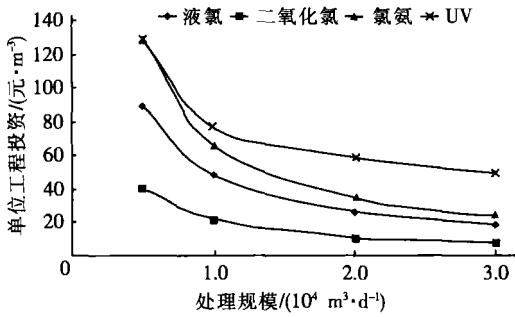


图 1 各消毒方式单位投资费用

Fig 1 Unit investment of different disinfection modes

由图 1可知,随着处理规模的增加,单位水量投资相应减少,且减小的幅度也越来越小。

结合表 1可知,在 4种消毒系统中二氧化氯消毒工艺的工程投资最低,具有明显的优势。这主要是由于二氧化氯的发生及投加系统价格较低所致。由表 1还可知,氯消毒工程投资约是二氧化氯消毒的两倍,这主要是由于投加设备和漏氯回收系统的投资费用较高造成的,因此一些小城镇供水在采用氯消毒工艺时通常取消漏氯回收系统以减少设备购置费,但这种做法与国家规定的必须有针对漏氯所采取的措施相矛盾。此外,与氯消毒系统相比,氯氨消毒系统增加了投氨设备及其生产用房,而 UV消毒系统增加了紫外线消毒设备及其用房,因此这两种消毒工艺的投资费用均较高。

年运行费用

年运行费用包括动力费、药剂费、工资福利费、资产基本折旧费、大修费、资产和递延资产摊销费、日常检修维护费及其他费用等。逐项计算各项费用,得到各消毒方式在不同处理规模下的年运行成本,见表 2。

表 2 各消毒方式在不同处理规模下的年运行成本

Tab 2 Annual operation cost of different disinfection modes with different treatment scale

项目		数值			
处理规模 / (10 ⁴ m ³ · d ⁻¹)		0.5	1.0	2.0	3.0
运行成本 / (万元 · a ⁻¹)	氯消毒	6 734	8 512	13 370	16 849
	二氧化氯消毒	7 495	11 068	19 436	26 499
	氯氨消毒	7 254	9 226	13 740	17 476
	紫外线消毒	9 849	12 586	18 966	23 254

由年运行成本可得到各消毒方式的单位运行成本,结果见图 2。

由运行费用分析可知,氯消毒运行费用最低,其

次是氯氨,而二氧化氯消毒和紫外线消毒的运行成本则相对较高。其中二氧化氯的原料 (NaClO₂) 价格较高是造成其运行成本高的主要原因,因此 NaClO₂ 规模化生产将有利于二氧化氯消毒的广泛使用。对于紫外线消毒工艺,灯管使用寿命和较高的折旧、维护费用是影响其运行成本的重要因素。

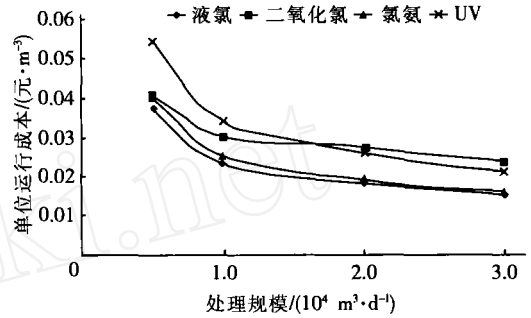


图 2 各消毒方式的单位运行成本

Fig 2 Unit operation cost of different disinfection modes

费用现值

为了确定总额资源费最小的消毒系统,采用费用现值法进行分析,其经济数据包括工程投资、利息现值和年费用现值。表 3为各种消毒方式费用现值计算结果。

表 3 各种消毒系统费用现值分析

Tab 3 Analysis of net present value for different disinfection systems

项目		数值			
处理规模 / (10 ⁴ m ³ · d ⁻¹)		0.5	1.0	2.0	3.0
费用现值 / 万元	氯消毒	141.65	166.93	228.58	276.36
	二氧化氯消毒	116.03	159.93	259.47	344.14
	氯氨消毒	174.89	200.07	257.40	303.95
	UV消毒	221.87	270.98	386.08	478.47

各种消毒系统费用现值分析结果如图 3所示。

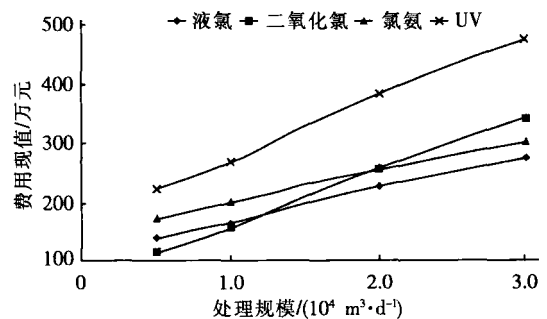


图 3 各消毒系统的费用现值与处理规模的关系

Fig 3 Relation between net present value and treatment scale for different disinfection systems

由图 3可以看出,在处理规模为 (0.5 ~ 3.0) ×

$10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,不同消毒系统的费用现值与处理规模成线性关系。在同等产水量情况下,UV 消毒的费用现值约为其他消毒系统的 1.3~2 倍,表明 UV 消毒方式不如其他消毒方式经济。这说明随着处理规模的增大,UV 消毒工艺的投资总额增加较大,这主要是由紫外线消毒设备价格较高所致。在较大处理规模下,采用敞开式 UV 消毒工艺可能比封闭式 UV 消毒工艺经济,具体在何种规模下才能显示出其经济性还需作进一步的研究。

氯氨消毒与氯消毒费用现值函数斜率相近,但截距不同,前者截距值大于后者。这说明在水厂规模为 $(0.5 \sim 3.0) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,氯氨消毒不如氯消毒经济,但随处理规模的增加,氯氨消毒所增加的投资额与氯消毒相差不大。

由图 3 还可知,在水厂处理规模约为 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,二氧化氯消毒与氯消毒系统的费用现值相同,因此对处理规模 $< 1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的水厂,二氧化氯消毒在经济上优于氯消毒;在处理规模约为 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,二氧化氯消毒与氯氨消毒系统的费用现值相同,即对于处理规模 $< 2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的水厂,与氯氨消毒系统相比二氧化氯消毒系统较为经济。

3 结语

目前,在我国小城镇水厂建设和改造中多靠经验选用消毒技术,但消毒技术选择是否得当,不仅对供水水质有一定影响,而且对整个处理工程的基建投资及运行费用也有较大影响。因此在选择消毒方式时需要全面考虑和仔细研究。在对目前常用的 4 种消毒方式进行工程投资估算、年运行费用和费用现值分析的基础上,得出对于处理规模 $< 1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的水厂,采用二氧化氯消毒方式较经济;对于处理规模 $> 1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的水厂,采用液氯消毒方式较为经济;对于 UV 消毒方式,其费用现值约为其他 3 种消毒方式的 1.3~2 倍。

参考文献:

- [1] Clancy J L, Hargy T M. UV light inactivation of cryptosporidium oocyst[J]. J AWWA, 1998, 90(9): 92 - 104.
- [2] 王宝贞,王欣泽,李冰,等. 优质饮用水的消毒方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2002, 34(4): 478 - 482.

电话: (023) 65120759

E-mail: szhjzx@yahoo. com. cn

收稿日期: 2006 - 09 - 23

· 技术交流 ·

蚯蚓生态系统用于污泥处理

蚯蚓是土壤中最常见的腐食性动物,通过其自身的特殊功能与有效微生物的协同作用,可以明显加速有机物质的分解,并且能富集重金属,其富集量随着污染程度的增加而上升。

利用蚯蚓处理垃圾是近 20 年发展起来的一项新技术。自从 Graff(1974)率先研究蚯蚓处理有机废弃物的能力以来,国际上高度重视这一新兴生物技术,把它广泛应用于处理环境中的各种有机废弃物。我国的杨珍基、岳清泉等人采用蚯蚓处理工业废弃物与城市生活垃圾的研究结果也有报道。采用蚯蚓处理污泥具有常规技术所不具备的一些特点,可将稳定和脱水在一个过程中完成,其中包括了物质富集与扩散、合成与分解、拮抗与协同等多种自然调控过程的集成。因此,蚯蚓生态系统处理污泥具有较高的能量转换率和资源利用率,提供了污泥资源化的可能和途径。

城市污水处理厂的剩余污泥中含有大量中等腐熟程度的有机物,可以作为蚯蚓的饲料,人工引入蚯蚓处理剩余污泥中的污染物,同时产生蚓体蛋白饲料和高效的生态肥料“蚓粪”,从而形成一个良性的生态循环系统。

(中钢集团武汉安全环保研究院 曾祥文 夏文林 黄晶晶)