

团 体 标 准

T/ CUWA XXXXXX—20XX

城镇供水消毒和消毒副产物 控制技术规程

Technical specification for disinfection and disinfection
by-products control of urban water supply

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国城镇供水排水协会 发布

团 体 标 准

城镇供水消毒和消毒副产物控制技术规程

Technical specification for disinfection and disinfection by-products
control of urban water supply

T/CUWA*-20****

批准部门：中国城镇供水排水协会

施行日期： 20×× 年 ×月 × 日

××出版社

20 × × 北 京

前 言

根据中国城镇供水排水协会《关于印发<2024 年中国城镇供水排水协会团体标准制订计划>的通知》（中水协〔2024〕5 号）的要求，规程编制组经过深入调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本规程。

本规程主要技术内容是：总则、术语、基本规定、设计消毒效能控制、消毒剂 and 消毒设备要求、消毒剂投加与运行控制、消毒副产物控制。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任，对所涉专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

本规程可能涉及必不可少的专利，编制单位承诺已确保专利权人或者专利申请人同意在公平、合理、无歧视基础上，免费许可任何组织或者个人在实施该标准时实施其专利。

本规程由中国城镇供水排水协会标准化工作委员会归口管理，由中国市政工程中南设计研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送*****（地址：*****，邮政编码：*****）。

本规程/标准主编单位：中国市政工程中南设计研究总院有限公司、同济大学

本规程/标准参编单位：

本规程主要起草人员：张怀宇 楚文海 等

本规程主要审查人员：

目 次

1 总 则	7
2 术语与符号	8
2.1 术语	8
2.2 符号	9
3 基本规定	12
4 设计消毒效能控制	13
4.1 消毒灭活率	13
4.2 有效消毒接触时间	14
4.3 消毒剂量与边界控制要求	15
4.4 常见消毒工艺效能	16
I 游离氯和氯胺消毒	16
II 二氧化氯和二氧化氯混合消毒	19
III 臭氧消毒	20
IV 紫外线消毒	21
5 消毒剂 and 消毒设备要求	23
5.1 一般要求	23
5.2 游离氯和氯胺	24
5.3 二氧化氯和二氧化氯混合消毒剂	27
5.4 臭氧	29
5.5 紫外线消毒设备	29
6 消毒剂投加与运行控制	31
6.1 主消毒	31
6.2 补充消毒	33
7 消毒副产物控制	34
7.1 一般规定	34
7.2 前体物控制	35
7.3 处理厂消毒工艺优化	37
7.4 配水管网消毒副产物控制	39

附录 A 消毒接触池的有效接触时间和流态折减系数的取值与测定	42
A.1 经验公式法	42
A.2 示踪试验测定法	42
A.3 经验系数法	44
附录 B 需氯量和需二氧化氯量测定方法	45
B.1 需氯量测定方法	45
B.2 需二氧化氯量测定方法	46
附录 C 消毒副产物生成潜势测定方法	48
本标准用词说明	50
引用标准名录	51
附：条文说明	54

Contents

1	General Provisions.....	7
2	Terms and Symbols.....	8
2.1	Terms.....	8
2.2	Symbols.....	9
3	Basic Requirements.....	12
4	Control of Disinfection Efficacy.....	13
4.1	Disinfection Inactivation Rate.....	13
4.2	Effective Disinfection Contact Time.....	14
4.3	Disinfectant Dosage and Boundary Control Requirements.....	15
4.4	Efficacy of Common Disinfection Processes.....	16
	I Free Chlorine and Chloramine Disinfection.....	16
	II Chlorine Dioxide and Chlorine Dioxide Mixed Disinfection.....	19
	III Ozone Disinfection.....	20
	IV Ultraviolet Disinfection.....	21
5	Requirements for Disinfectants and Disinfection Equipment.....	23
5.1	General Requirements.....	23
5.2	Free Chlorine and Chloramine.....	24
5.3	Chlorine Dioxide and Chlorine Dioxide Mixed Disinfectants.....	27
5.4	Ozone.....	29
5.5	Ultraviolet Disinfection Equipment.....	29
6	Disinfectant Dosing and Operational Control.....	31
6.1	Primary Disinfection.....	31
6.2	Supplementary Disinfection.....	33
7	Control of Disinfection Byproducts.....	34
7.1	General Provisions.....	34
7.2	Precursor Control.....	35
7.3	Optimization of Disinfection Processes in Treatment Plants.....	37
7.4	Disinfection Byproducts Control in Water Distribution Networks.....	39
	Appendix A Determination of Effective Contact Time and Flow Pattern.....	42
	A.1 Empirical Formula Method.....	42
	A.2 Tracer Test Method.....	42
	A.3 Empirical Coefficient Method.....	44
	Appendix B Test Methods for Chlorine Demand and Chlorine Dioxide Demand.....	45
	B.1 Chlorine Demand Test Method.....	45
	B.2 Chlorine Demand Test Method.....	46
	Appendix C Test Method for Disinfection Byproduct Formation Potential.....	48
	Explanation of Wording in This Standard.....	50
	List of Quoted Standards.....	51
	Addition: Explanatory Notes.....	52

1 总 则

1.0.1 为规范城镇供水中的消毒剂的选取和投加、消毒副产物控制，推进城镇供水安全保障，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、扩建和改建的城镇供水工程的消毒剂及现场制备、消毒剂的投加和安全消毒、消毒副产物控制。

1.0.3 城镇供水中的消毒剂及其应用、消毒副产物控制，除应符合本规程要求外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.0.1 消毒剂量 disinfection dose

一定条件下，消毒过程中，为达到预期消毒效果所需的消毒剂的浓度、接触时间等的数量及作用方式。

2.0.2 游离氯 free chlorine

以氯（ Cl_2 ）、次氯酸（ HClO ）或次氯酸根（ ClO^- ）形态赋存的消毒剂或消毒方式的总称。游离氯消毒剂包括液氯、次氯酸钠、次氯酸钙、次氯酸等。

2.0.3 对数去除率 log removal rate

衡量病原微生物去除率或灭活率的算术表达方式。以常用对数（ $\log_{10}$ ）计，简记为 log。去除率 $x \log$ 相当于百分数表达方式的 $[100-10^{(2-x)}]\%$ ，即对数去除率 1 log 相当于去除率 90%，2 log 相当于 99%，3 log 相当于 99.9%，依此类推。

2.0.4 主消毒 primary disinfection

水处理系统中，投加消毒剂灭杀或灭活病原微生物，以满足病原微生物及指示生物指标要求的工艺。主消毒工艺一般处于滤池和配水管网之间，包括滤池后的消毒剂投加，以及之后满足剩余消毒剂量和消毒接触时间要求的消毒接触。

2.0.5 补充消毒 secondary disinfection, residual disinfection, distribution disinfection

水处理系统中，置于主消毒工艺灭杀或灭活病原微生物之后，投加消毒剂以维持供水系统的消毒剂余量，用以抑制病原微生物增殖的消毒工艺。一般包括水处理厂内主消毒工艺之后补充消毒剂，或管网中补充消毒剂。

2.0.6 消毒副产物 disinfection by-product, DBP

在饮用水消毒时由消毒剂与有机或无机前体物反应生成的一类次生污染物，具有致癌、致畸和致突变等特性。

2.0.7 消毒副产物前体物 DBP Precursors

赋存于水中，可与消毒剂反应形成消毒副产物的有机物和无机物的总称。一般可根据消毒剂的种类用高锰酸盐指数、紫外吸光度、消毒副产物生成潜势、耗氯量、二氧化氯消耗量、总有机碳（TOC）、可生物同化有机碳（AOC）等作为参考指标。

2.0.8 紫外线穿透率 UV transmittance, UVT

入射波长为 253.7 nm 的紫外线在通过 1 cm 比色皿水样后的紫外线强度与入射前的紫外线强度的比值。

[来源：GB/T 32092-2015，术语和定义 2.10，有修改]

2.0.9 紫外灯管老化系数 aging factor

在一定的工作温度区域内，紫外灯运行一段时间后的紫外线输出功率与紫外灯初始运行 100 h 时的紫外线输出功率之比。

[来源：GB/T 32092-2015，术语和定义 2.23、2.26，有修改]

2.0.11 90%保证率消毒接触时间 90% guaranteed disinfection contact time, t_{10}

表征消毒接触池的短流和滞留状况的参数，记作 t_{10} ，表示示踪试验中保证率为 90%示踪剂通过，即滞留（100-90）%示踪剂的最短停留时间。

2.0.12 流态折减系数 baffle factor, F_B

消毒接触池的有效消毒接触时间与水力停留时间之比。

2.2 符号

2.2.1 消毒灭活率

R_m ——对病原微生物的对数去除率；

R_i ——供水处理工艺对病原微生物 i 的对数去除率；

R_{ic} ——主消毒之前工艺对病原微生物 i 的最大认可对数去除率；

R_{io} ——主消毒之前臭氧化工艺对病原微生物 i 的对数去除率；

R_{id} ——主消毒对病原微生物 i 的对数去除率。

2.2.2 消毒接触池与有效消毒接触时间

t ——有效消毒接触时间；

t_d ——设计有效消毒接触时间；

t_{10} ——消毒接触池的 90%保证率接触时间；

$HRT_{\min}$ ——设计最小水力停留时间；

F_B ——消毒接触池流态折减系数；

$V_{\min}$ ——消毒接触池在最低运行控制水位时的有效容量；

$Q_{\max}$ ——消毒接触池设计最大时流量；

L ——消毒接触池的有效长度；

W ——消毒接触池的过流宽度。

2.2.3 消毒剂量

C ——计算时段消毒接触池出水的最低消毒剂浓度；

Ct ——化学药剂消毒剂量；

$C_a t_a$ ——运行消毒剂量；

$C_d t_d$ ——设计消毒剂量；

$C_{d0} t_{d0}$ ——设计最不利水温条件下, pH 为 7.5 及以下时的设计消毒剂量(游离氯)；

It ——紫外线消毒剂量；

f_{pH} ——设计 pH 值修正系数，无量纲；

f_{NTU} ——设计浊度修正系数；

f_T ——设计水温修正系数；

$A_{HA}(pH)$ ——一定 pH 条件下的游离氯有效活性；

$A_{HA}(7.5)$ ——pH 为 7.5 时的游离氯有效活性；

pH ——计算时段 pH 值；

pKa ——次氯酸电离平衡常数。

2.2.4 需氯量、需二氧化氯量

C_0 ——需氯量或需二氧化氯量；

A_0 ——选定点对应的游离氯或二氧化氯投加量；

B_0 ——选定点对应的游离氯或二氧化氯残留量。

3 基本规定

3.0.1 城镇供水的饮用水消毒应进行原水管理、水处理、输配过程的全局管理。

3.0.2 城镇供水应通过优化和改善消毒接触池、合理配置消毒剂投加方式和投加量，强化运行监管，实现消毒效能的保障与提升。

3.0.3 城镇供水消毒应根据病原微生物风险控制要求提出设计消毒剂量，运行控制不应低于设计消毒剂量。

3.0.4 城镇供水消毒，依据工艺目标和消毒剂投加位置可分为预消毒、主消毒和补充消毒。地表水处理工艺的主消毒应处于砂滤或膜滤工艺之后。预消毒和补充消毒可根据工艺需求选择设置。

3.0.5 城镇供水设施应具有应对突发致病微生物感染风险的应急处理能力，包括应急消毒的消毒剂种类或投加量的冗余投加能力，并具有消毒剂储备。

3.0.6 城镇供水应采取全局协同的方式，配置预消毒、主消毒和补充消毒工艺组合、消毒剂种类及投加量控制消毒副产物，出厂水的消毒副产物应符合现行行业标准《城镇供水水质标准》CJ/T 206 的有关规定，管网末端的消毒副产物应符合现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB5749 的有关规定。

4 设计消毒效能控制

4.1 消毒灭活率

4.1.1 城镇供水处理工艺应满足有效灭杀病原微生物、并实现指示生物达标。水处理工艺对病原微生物的去除率设计值应满足安全要求，并应符合下列规定：

- 1 水处理工艺对细菌的总体去除率不应小于 5 log；
- 2 水处理工艺对病毒的总体去除率不应小于 4 log。

4.1.2 城镇供水处理工艺在原水受到贾第鞭毛虫、隐孢子虫的污染时，去除率设计值应满足安全要求，并应符合下列规定：

- 1 对贾第鞭毛虫的去除率不应小于 3 log；
- 2 对隐孢子虫的去除率不应小于 2 log。

4.1.3 城镇供水处理工艺对特定病原微生物的去除率 R_i 应按公式 4.1.3 的规定计算。地下水的消毒段去除率按常规工艺。

$$R_i = R_{ic} + R_{io} + R_{id} \quad (4.1.3)$$

式中： R_i ——供水处理工艺对病原微生物 i 的对数去除率，单位为 log；

R_{ic} ——主消毒之前工艺对病原微生物 i 的最大认可对数去除率，可按表 4.1.3 取值，单位为 log；

R_{io} ——主消毒之前臭氧化工艺对病原微生物 i 的对数去除率，单位为 log；

R_{id} ——主消毒对病原微生物 i 的对数去除率，可按表 4.1.3 选取，单位为 log。

表 4.1.3 不同工艺对病原微生物的去除率

序号	工艺形式	消毒进水浑浊度	消毒前段最大认可去除率 R_{ic}			消毒段最低去除率 $R_{io}+R_{id}$			
			细菌	贾第鞭毛虫	隐孢子虫	细菌	贾第鞭毛虫	隐孢子虫	
1	常规工艺	0.3(1)	2~3	2.5	>2	3~2	0.5	—	
2	常规工艺	0.5(5)	2	2.5	2	3	0.5	—	
3	常规工艺	1(5)	1	2.0	>2	4	1.0	—	

序号	工艺形式	消毒进水浑浊度	消毒前段最大认可去除率 R_{ic}			消毒段最低去除率 $R_{io}+R_{id}$			
			细菌	贾第鞭毛虫	隐孢子虫	细菌	贾第鞭毛虫	隐孢子虫	
4	直接过滤	0.3(1)	1	2.0	>2	4	1.0	—	
5	微滤	0.3(1)	2	>3.0	>2	3	0	—	
6	超滤	0.3(1)	2	>3.0	>2	3	0	—	
7	纳滤	0.3(1)	4	>3.0	>2	1	0	—	
8	反渗透	0.3(1)	4	>3.0	>2	1	0	—	
9	无过滤	1(5)	0	0.0	0.0	5	3.0	2.0	

注：常规工艺指混凝—沉淀—石英砂过滤工艺；浑浊度括号外为 95%保障率，括号内为最大值；“—”表示不做要求。

4.1.4 城镇供水系统应选择适当的处理工艺和消毒工艺以满足对病原微生物的去除要求。应对突发性病原微生物污染时，应确保混凝、沉淀、过滤、深度处理等工艺和消毒工艺的有效运行。

4.2 有效消毒接触时间

4.2.1 消毒接触池的设计有效消毒接触时间 t_d 可采用示踪试验法、经验法或计算流体力学（CFD）仿真实验确定。

4.2.2 宜采用示踪试验法或 CFD 仿真实验优化消毒接触池，提升流态折减系数。

4.2.3 化学消毒方式的有效消毒接触时间 t_d 一般按 90%保证率接触时间 t_{10} 计。

4.2.4 设计有效消毒接触时间 t_d 可按下列公式确定。

$$t_d = HRT_{\min} \times F_B \quad (4.2.4-1)$$

$$HRT_{\min} = V_{\min} / Q_{\max} \quad (4.2.4-2)$$

式中： t_d ——设计有效消毒接触时间，单位为 min；

$HRT_{\min}$ ——设计最小水力停留时间，即消毒接触池在最大时流量、最低运行控制水位时处理水的停留时间，单位为 min；

F_B ——消毒接触池流态折减系数，无量纲，可按附录 A.1 的经验公式计算；

$V_{\min}$ ——消毒接触池在最低运行控制水位时的有效容量，单位为 m^3 ；

$Q_{\max}$ ——设计最大时流量，单位为 m^3/h 。

4.2.5 示踪试验法测定消毒接触池的有效接触时间和流态折减系数可按附录 A.2 确定。

4.2.6 经验法确定消毒接触池的流态折减系数可按附录 A.3 确定；有效接触时间按本规程 4.2.3 确定。按附录 A.3 的附表 A.3 取值时，流态条件好取上限，流态条件差取下限。

4.2.7 CFD 仿真试验法宜通过示踪试验法确定采用的模型及进行参数率定。

4.3 消毒剂量与边界控制要求

4.3.1 消毒工艺应通过一定的设计消毒剂量，以及进水水质、出水余量边界条件，实现预定的病原微生物去除率要求。

4.3.2 化学药剂的消毒剂量，应以消毒接触后的消毒剂余量（C）与有效消毒接触时间（t）之乘积 Ct 值计；紫外线消毒的消毒剂量，应以紫外线辐照强度（I）与有效消毒接触时间（t）之乘积 It 值计。

4.3.3 设计消毒剂量的计算应符合下列要求：

1 化学药剂消毒的设计消毒剂量 $C_d t_d$ ，设计消毒剂余量 C_d 应按计算期内消毒接触池出水的最小消毒剂余量选取，设计有效停留时间 t_d 按本规程 4.2.4 的规定选取；

2 紫外线的设计消毒剂量，应根据紫外线水消毒设备的流量——剂量曲线确定，其曲线的率定应符合现行国家标准《紫外线水消毒设备 紫外线剂量测试方法》GB/T 32091 的有关规定。

4.3.4 主消毒的进水水质，应符合下列规定：

1 采用地表水为水源时，消毒工艺的进水应为滤后水；

2 化学药剂消毒，进水浑浊度宜满足 95%保障率不超过 0.3 NTU、最大不超过 1.0 NTU 的要求；采样频率不宜低于 4h/次；

3 紫外线消毒，进水的紫外穿透率 UVT，应符合所采用的紫外线水消毒设

备的认证范围。

4.3.5 城镇供水处理厂的出厂水和末梢水的剩余消毒剂应符合表 4.3.5 的限定值要求，宜符合表 4.3.5 的目标值要求。

表 4.3.5 出厂水和末梢水的剩余消毒剂 单位：mg/L

消毒剂种类	限定值			目标值		
	出厂水和末梢水限值	出厂水余量	末梢水余量③	出厂水和末梢水限值	出厂水余量	末梢水余量③
游离氯（以 Cl ₂ 计）	≤2.0	≥0.3	≥0.05	≤2.0	≥0.5	≥0.10
氯胺（以 Cl ₂ 计）①	≤3.0	≥0.5	≥0.05	≤3.0	≥0.7	≥0.10
臭氧（以 O ₃ 计）	≤0.3	—	≥0.02	≤0.3	—	≥0.02
二氧化氯（以 ClO ₂ 计）②	≤0.8	≥0.1	≥0.02	≤0.7	≥0.3	≥0.02

注：①采用氯胺消毒时，以包含游离氯和一氯胺的总氯计，不含二氯胺和三氯胺；②采用游离氯和二氧化氯混合消毒时，应同时满足游离氯和二氧化氯的要求；③末梢水消毒剂余量为监测点 95%保障率的量值；④“—”表示不做要求。

4.3.6 采用游离氯消毒时，宜测定需氯量确定消毒剂投加量，需氯量的测定方法可按附录 B.1；采用二氧化氯消毒时，宜测定需二氧化氯量确定消毒剂投加量，需二氧化氯量的测定方法可按附录 B.2。

4.4 常见消毒工艺效能

I 游离氯和氯胺消毒

4.4.1 采用游离氯消毒的设计消毒剂量应按公式 4.4.1-1 计算。其中，设计 pH 值修正系数 pH_d 可按公式 4.4.1-2 确定，游离氯有效活性 A_{HA}(pH)按公式 4.4.1-3 确定。

$$C_d t_d = C_{d0} t_{d0} \times f_{pH} \times f_{NTU}$$

(4.4.1-1)

$$f_{pH} = \begin{cases} A_{HA}(pH) / A_{HA}(7.5) & (pH > 7.5) \\ 1 & (pH \leq 7.5) \end{cases} \quad (4.4.1-2)$$

$$A_{HA}(pH) = \frac{1}{1 + \exp(pH - pK_a)} \quad (4.4.1-3)$$

式中： C_{dtd} ——设计消毒剂量，单位为 $\text{mg/L} \cdot \text{min}$ ；

C_{d0td0} ——设计最不利水温条件下，pH 值为 7.5 及以下时的设计消毒剂量，单位为 $\text{mg/L} \cdot \text{min}$ ，可按表 4.4.1-1 选取；

$A_{HA}(pH)$ ——一定 pH 值条件下的游离氯有效活性，无量纲；

$A_{HA}(7.5)$ ——pH 值为 7.5 时的游离氯有效活性，无量纲；

f_{pH} ——设计 pH 值修正系数，无量纲；

pH ——待处理水的设计 pH 值，按运行期间的最高 pH 值计，无量纲；

pK_a ——次氯酸电离平衡常数，无量纲，见表 4.4.1-2。

f_{NTU} ——设计浊度修正系数，无量纲，按表 4.4.1-3。

表 4.4.1-1 游离氯灭活病原微生物的 Ct 值

单位： $\text{mg/L} \cdot \text{min}$

病原微生物	对数去除率 (log)	水温 (°C)					
		0.5	5	10	15	20	25
病毒 (pH 6~9)	2.0	6	4	3	2	1	1
	3.0	9	6	4	3	2	1
	4.0	12	8	6	4	3	2
贾第鞭毛虫(pH 6~7.5)	0.5	40	—	21	—	10	—
	1.0	79	—	42	—	21	—
	2.0	158	—	83	—	41	—
	3.0	237	166	125	83	62	42
	4.0 (pH=8)	526	386	—	—	—	—
隐孢子虫(囊 肿)④	2.0	—	—	—	—	—	7200
	3.0	—	—	—	—	—	9600
大肠埃希氏菌	2.0 (pH 6~7)	—	0.034~0.05	—	—	—	—
轮状病毒	2.0 (pH 6~7)	—	0.01~0.05	—	—	—	—

注：病毒数据基于甲肝病毒（Hepatitis A virus）；“—”表示缺少实测数据。

表 4.4.1-2 次氯酸电离平衡常数 pK_a

水温	0	5	10	15	20	25	30	35
pK_a	7.825	7.754	7.690	7.633	7.582	7.537	7.497	7.463

表 4.4.1-3 浑浊度修正系数 f_{NTU}

浑浊度范围 (NTU)	≤ 0.3 (1)	≤ 0.5 (1)	≤ 1 (5)
NTU_d	1.0	1.2	1.3

注：浑浊度范围，括号外为 95%保障率，括号内为最大值；取值时按左列优先的次序选取。

4.4.2 以地表水为水源的常规处理水厂，或地下水为水源的水厂，采用游离氯消毒，不针对特定病原微生物应急处理时，设计消毒剂量可在本规程 4.4.1 的规定基础上简化，可按公式 4.4.2 计算：

$$C_d t_d = 15 \times f_{pH} \times f_T \times f_{NTU} \quad (4.4.2)$$

式中： $C_d t_d$ ——设计消毒剂量，单位为 $\text{mg/L} \cdot \text{min}$ ；

15——标准条件下设计消毒剂量，单位为 $\text{mg/L} \cdot \text{min}$ ；

f_{pH} ——设计 pH 值修正系数，无量纲，按表 4.3.2-1；

f_T ——设计水温修正系数，无量纲，按表 4.3.2-2；

f_{NTU} ——设计浊度修正系数，无量纲，按表 4.3.1-3。

表 4.4.2-1 pH 修正系数

pH 范围	8.26~8.50	8.01~8.25	7.76~8.00	7.50~7.75	<7.50
pH_d	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0

表 4.4.2-2 水温修正系数

水温范围 ($^{\circ}\text{C}$)	<5	5~10	>10
T_d	1.5	1.2	1.0

4.4.3 采用游离氯应对原水受到的贾第鞭毛虫污染时，应符合下列规定：

- 1 宜控制滤后水的浑浊度 95%保障率不高于 0.2 NTU、最大不超过 1.0 NTU；
- 2 设计消毒剂量 $C_d t_d$ 值可按公式 4.4.3 计算；

$$C_d t_d = \begin{cases} 0.353 R_m [12.006 + \exp(2.46 - 0.073T + 0.125C + 0.389 pH)] & (T < 12.5^\circ \text{C}) \\ 0.361 R_m [-2.261 + \exp(2.69 - 0.065T + 0.111C + 0.361 pH)] & (T \geq 12.5^\circ \text{C}) \end{cases} \quad (4.4.3)$$

式中： $C_d t_d$ ——设计消毒剂量，单位为 $\text{mg/L} \cdot \text{min}$ ；

R_m ——对病原微生物的对数去除率，按第 4.1.2 条的规定选取，单位为 $\log$ ；

T ——消毒阶段的水温，取计算时段的最低值，单位为 $^\circ\text{C}$ ；

C ——消毒接触池出水的游离氯浓度，取计算时段的最低值，单位为 mg/L ；

pH ——消毒阶段的 pH 值，取计算时段的最高值，无量纲。

4.4.4 氯胺用于主消毒的设计消毒剂量应符合表 4.4.4 的要求。

表 4.4.4 氯胺灭活病原微生物的设计消毒剂量 Ct 值

单位： $\text{mg/L} \cdot \text{min}$

病原微生物	对数去除率 ($\log$)	水温 ($^\circ\text{C}$)					
		≤ 1	5	10	15	20	25
病毒 (pH 6~8)	2.0	1243	857	643	428	321	214
	3.0	2063	1,423	1,067	712	534	356
	4.0	2833	1,988	1,491	994	746	497
贾第鞭毛虫 (pH 6~9)	0.5	635	365	310	250	185	125
	1.0	1270	735	615	500	370	250
	1.5	—	1,100	930	750	550	375
	2.0	2535	1,470	1,230	1,000	735	500
	2.5	—	1,830	1,540	1,250	915	625
	3.0	3800	2,200	1,850	1,500	1,100	750
隐孢子虫	1.0	—	—	—	—	—	7200
大肠埃希氏菌	2.0 (pH 8~9)	—	95~180	—	—	—	—
轮状病毒	2.0 (pH 8~9)	—	3810~6480	—	—	—	—

注：病毒数据基于甲肝病毒（Hepatitis A virus）；“—”表示缺少实测数据。

II 二氧化氯和二氧化氯混合消毒

4.4.5 二氧化氯的设计消毒剂量应符合表 4.4.5 的要求。

表 4.4.5 二氧化氯灭活病原微生物的设计 Ct 值

单位: mg/L·min

病原微生物	对数去除率 (log)	水温 (°C)					
		≤1	5	10	15	20	25
病毒 (pH=6~9)	2.0	8.4	5.6	4.2	2.8	2.1	1.4
	3.0	25.6	17.1	12.8	8.6	6.4	4.3
	4.0	50.1	33.4	25.1	16.7	12.5	8.4
贾第鞭毛虫(囊肿)	0.5	10	4.3	4	3.2	2.5	2
	1.0	21	8.7	7.7	6.3	5	3.7
	1.5	32	13	12	10	7.5	5.5
	2.0	42	17	15	13	10	7.3
	2.5	52	22	19	16	13	9
	3.0	63	26	23	19	15	11
隐孢子虫	0.5	305	—	—	89	58	—
	1.0	610	—	—	179	116	—
	1.5	915	—	—	268	174	—
	2.0	1220	858	553	357	232	—
	2.5	1525	—	—	447	289	—
	3.0	1830	—	830	536	347	—
大肠埃希氏菌	2.0 (pH 6~7)	—	0.4~0.75	—	—	—	—
轮状病毒	2.0 (pH 6~7)	—	0.2~2.1	—	—	—	—

注: “—” 表示缺少实测数据。

4.4.6 采用二氧化氯和游离氯混合消毒剂, 应符合下列规定:

1 设计消毒剂量应至少满足 4.4.1 规定的二氧化氯设计消毒剂量和 4.3.1 规定的游离氯设计消毒剂量之一的要求;

2 出厂水和末梢水的剩余消毒剂余量应同时满足 4.2.5 规定的二氧化氯和游离氯限值要求, 应至少满足 4.2.5 规定的二氧化氯和游离氯最低余量之一的要求。

III 臭氧消毒

4.4.7 臭氧的设计消毒剂量应符合表 4.4.7 的要求。不以臭氧作为主消毒, 但采用了预臭氧、臭氧——活性炭工艺的, 可将病毒去除率计入总去除率。

表 4.4.7 臭氧灭活病原微生物的 Ct 值

单位：mg/L·min

病原微生物	对数去除率（log）	水温（℃）					
		≤1	5	10	15	20	25
病毒	2.0	0.90	0.60	0.50	0.30	0.25	0.18
	3.0	1.40	0.90	0.80	0.50	0.40	0.25
	4.0	1.80	1.20	1.00	0.60	0.50	0.30
贾第鞭毛虫（囊肿）	0.5	0.48	0.32	0.23	0.16	0.10	0.08
	1.0	0.97	0.63	0.48	0.32	0.20	0.16
	1.5	1.5	0.95	0.72	0.48	0.36	0.24
	2.0	1.9	1.3	0.95	0.63	0.48	0.32
	2.5	2.4	1.6	1.2	0.79	0.6	0.4
	3.0	2.9	1.90	1.43	0.95	0.72	0.48
隐孢子虫（卵囊）	0.5	12	7.9	4.9	3.1	2.0	1.2
	1.0	24	16	9.9	6.2	3.9	2.5
	1.5	36	24	15	9.4	5.9	3.7
	2.0	48	32	20	12	7.8	4.9
	2.5	60	40	25	16	10	6.1
	3.0	72	47	30	19	12	7.4
大肠埃希氏菌	2.0	—	0.02	—	—	—	—
轮状病毒	2.0	—	0.006~0.06	—	—	—	—

注：病毒数据基于甲肝病毒（Hepatitis A virus）；“—”表示缺少实测数据。

IV 紫外线消毒

4.4.8 紫外线用于主消毒的设计消毒剂量应符合表 4.4.8 的要求。

表 4.4.8 紫外线灭活病原微生物的设计消毒剂量 It 值

单位：mJ/cm²

病原微生物类别	病原微生物种属	对数去除率（log）							
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
原虫	贾第鞭毛虫	1.5	2.1	3.0	5.2	7.7	11	15	22
	隐孢子虫	1.6	2.5	3.9	5.8	8.5	12	15	22
病毒	病毒（腺病毒）	39	58	79	100	121	143	163	186
	脊髓灰质炎病毒	—	7	—	15	—	22	—	30
细菌	枯草芽孢杆菌孢子	—	28	—	39	—	50	—	62
	大肠埃希氏菌	—	3	—	4.8	—	6.7	—	8.4
	粪链球菌	—	9	—	16	—	23	—	30
	霍乱弧菌	—	2	—	4	—	7	—	9

注：病毒数据基于腺病毒；“—”表示缺少实测数据。

4.4.9 采用紫外线应对贾第鞭毛虫、隐孢子虫污染风险的饮用水消毒时，设计消毒剂量可采用 $40\text{mJ}/\text{cm}^2$ 。紫外线设备应结合待处理水的紫外透光率按本规程 5.5.2 的规定选择。

5 消毒剂 and 消毒设备要求

5.1 一般要求

5.1.1 城镇供水的消毒剂可采用游离氯（氯、次氯酸盐）、氯胺（一氯胺）、二氧化氯及混合消毒剂、臭氧和臭氧/过氧化氢高级氧化、紫外线和紫外线/过氧化氢高级氧化等。

5.1.2 消毒剂可采取商品成品或现场制备，并应符合下列规定：

1 药剂的购买和制备：

- 1) 液氯、过氧化氢可采用成品药剂；
- 2) 次氯酸盐、二氧化氯、氯胺可采用成品药剂，也可现场制备；
- 3) 臭氧可采用现场制备。

2 液氯或次氯酸钠供应不便、消毒剂量需求不大的偏远地区小型水厂或集中式供水装置可采用漂白粉、漂白精等稳定型消毒剂，或是采用现场制备二氧化氯、次氯酸钠消毒剂的设备。

5.1.3 成品消毒剂应符合现行国家标准《饮用水化学处理剂卫生安全性评价相关卫生要求》GB/T 17218 的有关规定，且不应含生产原料或生产过程中反应产生的有毒有害物质。

5.1.4 现场制备消毒剂应符合下列规定：

- 1 原料不得含有导致出水水质不合格的有毒有害物质；
- 2 制备消毒剂产生的残液应经无害化处理。

3 氯酸钠应符合现行国家标准《工业氯酸钠》GB/T 1618 的有关规定，亚氯酸钠应符合现行国家标准《工业亚氯酸钠》HG/T 3250 的有关规定，盐酸应符合现行国家标准《工业用合成盐酸》GB/T 320 的有关规定，硫酸应符合现行国家标准《工业硫酸》GB/T 534 的有关规定，柠檬酸应符合现行国家标准《柠檬酸》GB/T 8269 的有关规定，硫酸氢钠应为食品级、纯度不应小于 98%，次氯酸钙消毒剂原料不应含有洗涤、去污等成分。

5.1.5 化学消毒剂的运输和贮存应符合相关安全管理要求；化学消毒剂应合理贮存，贮存过程中的消毒剂衰减量和副产物的增加量不应至超标。

5.2 游离氯和氯胺

5.2.1 液氯的质量要求应满足现行国家标准《工业用液氯》GB/T 5138 的有关规定。

5.2.2 采用成品次氯酸盐的，采购的成品次氯酸盐应符合下列规定：

1 成品次氯酸钠溶液的产品质量应符合下列质量要求：

- 1) 商品次氯酸钠的铁、重金属、砷等指标应符合现行国家标准《次氯酸钠》GB/T 19106-2013 规定的 A 型次氯酸钠的要求；
- 2) 商品次氯酸钠中的溴酸盐不应导致水厂出厂水的溴酸盐超标；非特定水质条件下，溴酸盐含量不宜超过 100mg/kg 有效氯；
- 3) 商品次氯酸钠中的氯酸盐不应导致水厂出厂水的氯酸盐超标；非特定水质条件下，氯酸盐含量不宜超过 10000 mg/kg 有效氯；次氯酸钠在投加前存储时间较长的，应严控氯酸盐含量；
- 4) 用于饮用水处理的商品次氯酸钠中的重金属和类金属指标宜符合表 5.2.2 的规定。

2 商品次氯酸钙的质量应符合现行国家标准《次氯酸钙》GB/T 10666 的有关规定，宜符合表 5.2.2 的要求。

表 5.2.2 饮用水处理用商品次氯酸钠建议指标

单位：mg/kg 有效氯

指标	1 级	2 级
砷 ≤	1	5
锑 ≤	20	25
镉 ≤	2.5	5
铬 ≤	2.5	5
铅 ≤	15	15
汞 ≤	3.5	5
镍 ≤	2.5	10
硒 ≤	20	25

5.2.3 次氯酸钠溶液的贮存应符合下列规定：

1 采用商品次氯酸钠原液浓度有效氯为 5%及以上时，宜稀释至有效氯 5%以下贮存，可采用有效氯 3%；

2 次氯酸钠的储存时间应根据储存条件、有效氯衰减量、氯酸根增长量等确定；投加时的氯酸根不应导致出厂水的氯酸根超标，药液中的氯酸根宜不超过 54000mg/kg 有效氯；

3 次氯酸钠溶液应密闭、并避光贮存，宜贮存于避光、低温的密封口深黑色储罐内，储罐可设置单向进气的通气管路，环境温度宜控制在 25℃以下，不应高于 40℃，并不应与其他可能与次氯酸钠发生反应的货物共同存放；储存时的溶液 pH 值不应低于 10；

4 次氯酸钠贮存池、投加池应采用耐腐的化学储罐或混凝土池；池体应采用带通气管的封闭结构；化学储罐宜设置在地上，储罐下方周边应设药剂泄露的收集槽。

5.2.4 电解法现场制备次氯酸钠应符合下列规定：

1 次氯酸钠发生器应符合下列规定：

- 1) 质量应符合现行国家标准《次氯酸钠发生器卫生要求》GB 28233 的规定；
- 2) 发生器在额定条件下的能效和盐耗应符合表 5.2.4 的要求；
- 3) 次氯酸钠发生器内氢气浓度应低于 1%，超过此限时应采取鼓风措施；环境中氢气浓度应低于 0.1%；生产商应标明发生器的单位小时产氢量和电解槽气体中的氢气浓度值。

2 制备原料应符合下列规定：

- 1) 原料盐应采用未加碘的食用盐，应符合现行国家标准《食用盐》GB/T 5461 的规定，且溴含量 ≤ 150 mg/kg，宜采用低钙镁含量的井矿盐、软化盐；
- 2) 原料水应符合现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749 除余氯以外的要求；原料水的总硬度宜低于 15 mg/L，超过此限值宜采取软化处理。

3 反应生成的次氯酸钠溶液应符合下列规定：

- 1) 溶液应清澈透明、无可见杂质；
- 2) 有效氯含量宜为 7.0 g/L~9.0 g/L，氯酸盐与有效氯的质量比应低于 5.4%。

4 投加系统的配置及车间应符合下列规定：

- 1) 原盐溶解和次氯酸钠发生系统宜设置 2 组以上, 并宜有 20%~30% 的富余能力; 次氯酸钠制成消毒液贮存容量可按 36 h~48 h 用量设置, 最大不宜超过 72 h 用量, 并置于室内避光处;
- 2) 原盐储备量宜按不少于 15d 投加量计算;
- 3) 储盐间内的起重设备、电气设备、门窗等均应采取耐高盐度的防腐措施;
- 4) 制备车间应符合现行国家标准《城市给水工程项目规范》GB55026 和《室外给水设计标准》GB50013 的有关规定。

表 5.2.4 次氯发生器的能耗和盐耗

指标	1 级	2 级
能耗 (kWh/kg 有效氯)	4.5	5.5
盐耗 (kg/kg 有效氯)	3.5	4.0

5.2.5 次氯酸钙的贮存及配制应符合下列规定:

- 1 次氯酸钙应以固体形式贮存, 应贮存于密闭容器, 防止受潮; 年有效氯衰减不宜高于 2%;
- 2 次氯酸钙的配制应符合下列规定:
 - 1) 宜设独立的混合池 (罐) 和混合液投加池 (罐);
 - 2) 配置浓度可按有效氯 10 g/L;
 - 3) 混合液宜静置 24h, 分离出惰性不溶残留物后投加;
 - 4) 罐体、管道及设备采取必要的防腐措施;

5.2.6 氯胺采取现场制备时应符合下列规定:

- 1 可采用液氯、液氨为原料, 也可采用次氯酸钠和硫酸铵;
- 2 原料药剂的贮存和投加浓度应符合下列规定:
 - 1) 商品硫酸铵溶液可采用 7%~8% 原液贮存和直接投加; 当投加量较小时, 可进行 1:1~1:3 稀释后贮存并投加, 储备量可按贮存浓度和最大用量的 7d~15d 计算;
 - 2) 液氨的液氨储罐的贮存系数不应大于 0.85, 应设防雷接地, 且不得少于两处。
- 3 氯胺的制备工艺参数应通过试验确定, 并应满足下列规定:
 - 1) 氯与氨氮的质量比可为 3:1~5:1, 宜为 4.5:1~5:1;
 - 2) 待处理水的 pH 值宜为 8.3 左右, 不宜低于 7.5。

5.3 二氧化氯和二氧化氯混合消毒剂

5.3.1 采用成品二氧化氯应符合下列规定：

- 1 质量要求应符合现行国家标准《二氧化氯消毒剂卫生标准》GB/T 26366 的规定，有效二氧化氯含量不应小于 2.0 g/L；
- 2 应避光贮存，储存 pH 值宜为 6 左右，可按 pH 值 5~7.5，贮存温度不宜高于 25℃，贮存浓度宜低于 6.0 g/L；
- 3 宜采用惰性塑料材质容器贮存，不宜采用金属材质容器。

5.3.2 现场制备二氧化氯的产品分类和质量要求应符合下列规定：

- 1 按成品分类：
 - 1) 可分为高纯二氧化氯和二氧化氯混合消毒剂发生器；
 - 2) 宜采用高纯二氧化氯发生器，并采用吹脱方式从反应液中提取二氧化氯。
- 2 消毒剂溶液中或消毒气体中二氧化氯纯度和主要原料利用率应符合表

5.3.2 的要求：

表 5.3.2 现场制备二氧化氯的纯度和主要原料利用率的限定值和先进值

类型	限定值		先进值	
	二氧化氯纯度	主要原料利用率	二氧化氯纯度	主要原料利用率
高纯二氧化氯	95%	80%	98%	90%
二氧化氯混合消毒剂	55%	60%	—	—

注：主要原料指氯酸钠、亚氯酸钠、次氯酸钠等含氯原料；二氧化氯纯度以二氧化氯或二氧化氯混合消毒剂溶液中或消毒气体中的二氧化氯（以有效氯计）占总有效氯的质量百分数计；“—”表示无适用要求。

5.3.3 现场制备二氧化氯的原料应符合下列规定：

1 原料可采用：含量不应小于 98.0%的工业一级品亚氯酸钠，浓度不应小于 31%的工业合成盐酸或浓度为 83.0±2.0%的工业一级品浓硫酸，含量不应小于 99%的工业一级品氯酸钠，含量不应小于 27.5%的工业合格品过氧化氢，含量 10%的次氯酸钠；

2 反应液直接投加的，原料应符合现行国家标准《饮用水化学处理剂卫生安全性评价》GB/T 17218 的规定。

5.3.4 现场制备二氧化氯，采用吹脱法的，反应残液应进行处理并达到现行国家标准《饮用水化学处理剂卫生安全性评价》GB/T 17218 的要求后利用，或经无

害化处理后排放。二氧化氯装置的安装调试与运行维护应符合现行团体标准《城镇供水厂二氧化氯应用技术标准》T/CUWA 20062 的要求。

5.4 臭氧

5.4.1 臭氧应采取现场制备，并应符合下列规定：

- 1 根据供电、液氧等的供应情况，选择空气源或氧气源臭氧发生器；
- 2 臭氧发生器的能耗限定值和先进值应符合表 5.4.1 的要求；
- 2 臭氧发生器工作环境温度不应高于 45℃，相对湿度不应高于 85%；冷却水进水温度不应大于 35℃。

表 5.4.1 臭氧制备能耗的限定值和先进值

项目	能耗 (kWh/kg O ₃)	
	限定值	先进值
空气源, 35 g O ₃ /m ³	17	15
氧气源, 150 g O ₃ /m ³	10	8.5
氧气源, 180 g O ₃ /m ³	12	10.5

5.4.2 臭氧发生器在最高允许工作压力与额定功率时的臭氧泄漏量应符合现行国家标准《环境空气质量标准》GB 3095 的规定，1h 平均臭氧浓度值不超过 0.20mg/m³。臭氧泄漏量应在放电室出口端 1.0m 范围 1.0m 高度处测定，测定方法应符合现行国家标准《环境空气 臭氧的测定 紫外光度法》GB/T 15438 的规定。

5.5 紫外线消毒设备

5.5.1 紫外线消毒的灯管选型应符合下列规定：

- 1 用于主消毒的紫外线灯管有效剂量按波长 200nm~280nm 范围计，宜采用以 253.7 nm 为主波长的灯管；可根据应用规模、用地、投资、电能转化效率等综合评判，采用单频低压高强灯、中压灯或低压灯，主要参数应符合表 5.5.1 的规定；
- 2 用于光化学氧化和高级氧化的紫外线灯管应根据反应要求选取适当的波长。

表 5.5.1 主消毒用紫外灯管主要参考性能比较

项目	低压紫外灯 (LP)	低压高强紫外灯 (LPHO)	中压紫外灯 (MP)
紫外光谱	253.7nm 单频谱	253.7nm 单频谱	有效波长范围 200nm~280nm

汞蒸汽压 (Pa)	0.13~1.33	0.13~1.33	$(0.013\sim1.330) \times 10^6$
输入功率 (W/cm)	0.5~1.5	1.5~10.0	50~150
有效输出功率 (W/cm)	0.15~0.45	≥ 0.5	7.5~23
输入功率 (W/cm)	0.5	1.5~10	50~150
运行温度 (°C)	约 40	130~200	600~900
新灯有效输出转换 效率 (%)	≥ 35	≥ 35	≥ 15
占地	较高	一般	较低
预期寿命 (h)	≥ 12000	≥ 12000	≥ 5000
老化系数	≥ 0.8 (通过验证), 0.5 (未通过验证)	≥ 0.8 (通过验证), 0.5 (未 通过验证)	≥ 0.8 (通过验证), 0.5 (未 通过验证)

5.5.2 紫外线设备的选用应符合下列规定：

1 待处理水的紫外透光率应处于设备认证的范围内，紫外透光率的测定按紫外透射率，应符合现行国家标准《城镇给排水紫外线消毒设备》GB/T 19837-2019 附录 B 的规定；

2 应计入紫外灯管的老化，紫外灯管的老化系数应符合现行国家标准《紫外线水消毒设备紫外线剂量测试方法》GB/T 32091-2015 附录 A 的规定，或现行行业标准《环境保护产品技术要求 紫外线消毒装置》HJ 2522-2012 附录 D 的规定，也可采用符合相应标准的认证测定结果；

3 应考虑紫外灯套管的结垢情况，紫外灯套管的结垢系数应符合现行国家标准《紫外线水消毒设备紫外线剂量测试方法》GB/T 32091-2015 附录 B 的规定，也可采用符合相应标准的认证测定结果。

5.5.3 紫外线灯套管的清洗设施和方式应根据水质情况、使用寿命、维护管理等选择化学、机械或两者结合的方式。

5.5.4 紫外线消毒设备水头损失宜小于 0.5m；管式紫外线消毒设备的管路系统的设计流速宜采用 1.2 m/s~1.6m/s。

6 消毒剂投加与运行控制

6.1 主消毒

6.1.1 主消毒的工艺设置应符合下列规定：

- 1 不单独设置补充消毒的，主消毒的消毒剂应采用游离氯、二氧化氯，或至少含游离氯、二氧化氯其中之一；
- 2 设有补充消毒的，主消毒可采用游离氯、二氧化氯、臭氧、紫外线及高级氧化工艺；
- 3 对于地表水，应处于砂滤池、超滤、纳滤等过滤工艺之后；对于地下水，应处于除铁除锰、过滤等工艺之后。

6.1.2 消毒工艺中消毒剂量的动态调整应符合下列要求：

- 1 应逐日检查主消毒的实际消毒剂量 C_{at_a} ， C_{at_a} 不应小于设计消毒剂量 C_{at_d} ，其中实际消毒剂余量 C_a 应采用当日消毒接触池出水消毒剂余量的最小值，实际有效消毒接触时间 t_a 应采用当日有效消毒接触时间的最小值；
- 2 采用游离氯消毒的，宜根据需氯量统筹预消毒、主消毒与补充消毒的投加量。

6.1.3 主消毒的工艺运行监测应符合下列要求：

- 1 主消毒工艺应对处理水量、消毒剂投加量和余量、待处理水的浊度、pH 值、水温等进行监测；
- 2 进水水质监测应符合下列要求：
 - 1) 待处理水的除余氯和微生物学指标外，其余指标应符合现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB5749 的规定；
 - 2) 采用游离氯、二氧化氯或臭氧消毒时，浊度不应高于 0.8 NTU；对于贾第虫、隐孢子虫等耐氯病原体不应高于 0.3 NTU；pH 值应满足相应消毒剂的要求；
 - 3) 紫外线用于主消毒时，应监测待处理水的紫外线穿透率；紫外线透射率

不宜低于 85%，不应低于 75%；紫外线穿透率低于设计值时应发出警报，必要时启动替代消毒措施。

3 宜对消毒接触池出水剩余消毒剂进行在线监测并设上下限报警。在线监测的采样间隔不高于 5 min；采用游离氯或二氧化氯消毒的，剩余消毒剂报警上限宜为超过设计值 0.2 mg/L，下限宜为低于设计值 0.1 mg/L。

6.1.4 水源切换或季节更替等原水发生较大改变时，宜测定需氯量或需二氧化氯量作为消毒剂调整量的参考依据。

6.1.5 不设置厂内补充消毒的主消毒工艺应符合下列规定：

1 应采用化学药剂消毒，其化学药剂剂量宜通过试验并根据相似条件水厂运行经验按最大用量确定；

2 最低消毒接触时间应符合下列要求，且消毒接触池应符合现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749 和《室外给水设计标准》GB 50013 的规定；

3 主消毒接触后的消毒剂余量应符合现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB5749-2022 表 2 的要求。

6.1.6 采用紫外线作为主消毒工艺时应符合下列规定：

1 紫外线应设置于过滤后，且应设置超越系统；

2 紫外线灯管应在使用寿命内稳定达到设计剂量，应具备消毒剂剂量的调控措施，可按流量、待处理水的紫外线穿透率、紫外灯管的老化、灯管护套的结垢等确定；

3 应监测流量、紫外透射率，以及紫外灯管的结垢、老化情况；

4 消毒设备应适应水质、水量变化对消毒剂量变化的需要，并能在设计变化范围内精确控制剂量。

6.1.7 采用紫外线和游离氯组合工艺的，游离氯应投加于紫外消毒之后。

6.2 补充消毒

6.2.1 补充消毒可用于下列情况：

- 1 主消毒后、出厂前补充化学消毒剂；
- 2 配水系统补充化学消毒剂。

6.2.2 管网中的剩余消毒剂沿程变化可按下式计算。

$$C_A = C_{A,0} e^{-kt} \quad (6.2.2)$$

式中： C_A ——管网剩余消毒剂浓度，单位为 mg/L；

$C_{A,0}$ ——出厂水剩余消毒剂浓度，单位为 mg/L；

k ——衰减常数，单位为 d^{-1} 。参考值游离氯 $k=0.61 d^{-1} \sim 1.22 d^{-1}$ ，氯胺

$k=0.03 d^{-1} \sim 0.28 d^{-1}$ ；

t ——水龄，单位为 d。

6.2.3 补充消毒应采用可维持剩余消毒剂余量的化学消毒剂。出厂前的补充消毒剂可采用游离氯、二氧化氯或氯胺；配水系统中的补充消毒剂可采用次氯酸盐或二氧化氯。

6.2.4 补充消毒的消毒剂与主消毒不同时，出厂剩余消毒剂量应以补充消毒的药剂种类计。

6.2.5 配水系统中的补充消毒剂投加点位于中途泵站或居民加压调蓄设施时，宜加于水泵和调蓄设施之前；消毒剂不宜直接投加于 DN100 以下管径的供水管道内。

6.2.6 采用氯胺作为补充消毒剂，其投加点和出水控制条件应满足下列规定：

- 1 氨或铵盐应投加于氯与待处理水充分混合之后；
- 2 监测反应出水的游离氯和游离氨；反应出水宜保有痕量的游离氨，参考控制值为 0.02mg/L（以氮计）。

7 消毒副产物控制

7.1 一般规定

7.1.1 消毒副产物应根据水质和工程特征，采取全局控制策略，并应符合下列规定：

- 1 综合考量处理厂前和厂内的前体物控制、处理厂消毒工艺优化、配水管网消毒副产物控制等措施；
- 2 针对预消毒、主消毒、补充消毒中特定消毒副产物累积超标的风险，可采取不同种类消毒剂的组合方式。

7.1.2 供水工程应按下列要求合理控制消毒剂剂量：

- 1 根据不同消毒剂的生成、降解规律和分布特征，控制消毒剂的投加量；
- 2 在水处理过程中降低有机物（DOC、AOC、TOC、COD_{Mn}）；采用游离氯消毒的，滤后水的 TOC 宜低于 2mg/L，且不应高于 4mg/L；
- 3 改善消毒接触条件，包括强化投加消毒剂后的混合，以及消毒接触池强化导流、抑制短流和滞留等；
- 4 采取分段投加消毒剂的措施。

7.1.3 消毒副产物的控制项目应符合下列规定：

- 1 消毒时应关注并控制相应的消毒副产物；
- 2 采取多种消毒剂消毒时，应同时关注并控制全部消毒剂对应的消毒副产物；
- 3 采取混合二氧化氯消毒剂时，应同步关注并控制二氧化氯和氯的消毒副产物。

7.1.4 下列条件时应关注亚硝胺、卤乙腈、卤乙酰胺等含氮消毒副产物：

- 1 原水氨氮含量较高；
- 2 采用氯胺消毒；

3 富营养化湖库水源以及污染较为严重的江河和河网水源，特别是溶解性有机氮与溶解性有机碳质量之比大于 20%时。

7.1.5 涉三卤甲烷、卤代乙酸、卤代乙醛、卤代乙腈、卤代硝基甲烷和卤代乙酰胺等消毒副产物的消毒剂，宜测定原水的消毒副产物生成潜势，判定消毒剂的适用性和投加量。消毒副产物生成潜势可按附录 C 测定。

7.2 前体物控制

7.2.1 消毒副产物厂前控制应做好水源保护、水源调度、水源生态修复和水源水质调控，控制原水的消毒副产物前体物。

7.2.2 对于长距离输水工程采取游离氯或二氧化氯预消毒的，应监测相应的消毒副产物；必要时采取生物预处理或其他处理后投加消毒剂。

7.2.3 对于水质水量变化较大或多水源系统，应加强水源调度系统的建设，利用物联网、模型技术等构建包括水源水质监测数据库、原水输送水力水质模型、调度管理等多个子系统的水源调度决策管理系统。

7.2.4 水源水质调控可采用下列技术措施：

1 通过调整浊度、改善水力条件等措施抑制湖库内藻类生长，在水源端控制水源水的营养化程度以及营养物质的循环过程，以控制原水中藻源有机物；

2 优化取水点和取水层，综合协调避藻、避沙、避致嗅物质等需求；

3 在原水取水或输水过程中投加化学氧化剂、粉末活性炭控制消毒副产物前体物；

4 利用河岸渗滤以及含水层贮存和回采等方式净化原水，实现总有机碳（TOC）和氨氮的去除；

5 针对受咸潮影响的河流水源，建立咸潮入侵监测预报系统，有条件时可采用调蓄型水库进行避咸，也可通过上游水库放水等流域水利调度，抑制咸潮入侵。

7.2.5 原水中的有机物、有机氮、氨氮等消毒副产物前体物含量较高时，可采取

预处理、强化常规处理、深度处理等措施，降低待消毒水的致突变前体物质。净水厂厂内消毒副产物控制的工艺和监测应符合下列规定：

- 1 强化消毒副产物前体物的去除；消毒副产物前体物的监测指标可采用溶解性有机物(DOM) 或溶解性有机碳(DOC)，以及溶解性有机氮(DON)等；
- 2 调整消毒剂种类和采取剂量控制措施降低厂内消毒副产物生成；
- 3 可采取本规程 7.3 规定的处理措施。

7.2.6 消毒副产物厂内控制措施应包括预处理、强化常规处理、深度处理、优化消毒工艺等技术。

7.2.7 可采用化学预氧化、生物预处理、粉末活性炭吸附等预处理工艺降低消毒副产物前体物，并应符合下列规定：

- 1 化学预氧化剂可采用游离氯、二氧化氯、高锰酸钾、臭氧、臭氧/过氧化氢、紫外线/过氧化氢等；
- 2 采用游离氯预氧化的，应严格控制三卤甲烷、卤乙酸等副产物生成量；原水中天然有机物较高时不宜采用游离氯；
- 3 采用臭氧预氧化的，对于溴离子、碘离子偏高的原水，应考虑溴代和碘代消毒副产物的控制问题；
- 4 采用臭氧/过氧化氢高级氧化除嗅或有机微污染的，过氧化氢与臭氧的质量比可采用 0.2:1；溴离子、碘离子高时，不宜采用臭氧/过氧化氢、紫外线/过氧化氢等高级氧化工艺；
- 5 化学预氧化剂投量应适量，在保障预氧化效果的同时，防止产生过量的有害副产物。用于强化除藻时，还应避免过高的预氧化剂投加量导致藻细胞破裂释放胞内物质；
- 6 当投加多种药剂时，应避免各种药剂之间的相互影响。

7.2.8 采用二氧化氯预氧化的，宜在预氧化后投加还原剂去除亚氯酸盐、氯酸盐等副产物。pH 值为 6.5~8.0 时可采用亚铁盐(Fe^{2+})去除亚氯酸盐，投加量可按 $3.31 \text{ mg Fe}^{2+}/\text{mg ClO}_2^-$ ，未测定亚氯酸盐含量时可按下式计算。

$$C_{Fe^{2+}} = 3.31 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot C_{ClO_2} \quad (7.2.8)$$

式中： $C_{Fe^{2+}}$ ——亚铁盐投加量，单位为 mg Fe^{2+} /L；

C_{ClO_2} ——二氧化氯预氧化投加量，单位为 mg ClO_2 /L；

β_1 ——安全系数，pH=6.5~8.0 时可取 1.05；

β_2 ——投加二氧化氯后的亚硝酸盐产生率，可取 70%。

7.2.9 可采用强化混凝技术、沉淀——气浮组合技术或炭砂滤池改造技术等强化常规技术降低消毒副产物前体物。

7.2.10 可采用臭氧活性炭深度处理工艺降低消毒副产物前体物，深度处理可采用臭氧活性炭工艺或膜组合工艺，，并应符合下列规定：

1 对于高锰酸盐指数大于 4 mg/L 的高有机物污染或氨氮大于 1mg/L~1.5 mg/L 的高氨氮的原水，应采用臭氧生物活性炭深度处理工艺，必要时可增加化学预氧化或去除氨氮的处理单元；

2 针对原水中溴离子偏高的问题，可优化臭氧投加，或在臭氧前投加氨、硫酸铵或过氧化氢，抑制溴酸盐产生。投加氨或硫酸铵等铵盐时，还应避免水中氨氮含量超过 0.5mg/L。投加过氧化氢时，过氧化氢与臭氧投加质量比可为 0.2~0.7:1。

7.3 处理厂消毒工艺优化

7.3.1 应根据原水水质和出厂水消毒副产物要求选用适宜的消毒剂/氧化剂，并应符合下列规定：

1 原水中的消毒副产物前体物含量较低的，可采用单一消毒剂；

2 原水中的消毒副产物前体物含量较高的，应防止单一种类的消毒副产物累积，可在预消毒、主消毒、补充消毒中采取不同消毒剂的组合，并应符合下列规定：

1) 对于原水中有机碳、氯化物含量和其他含碳消毒副产物前体物含量较高或季节性较高的, 应采取工艺措施去除相应的前体物, 宜采用消毒剂组合工艺;

2) 对于原水中氨氮、藻类、氯化物、有机氮含量和其他含氮消毒副产物前体物含量较高或季节性较高的, 应采取工艺措施去除相应的前体物, 宜采用氯胺以外的消毒剂组合工艺;

3) 对于氯化消毒副产物前体物浓度较高的原水, 可采用二氧化氯、臭氧、紫外线等非氯主消毒工艺; 对于原水存在藻类、氯化消毒副产物前体物浓度季节性偏高等问题的中小水厂, 可采用次氯酸钠和二氧化氯组合消毒工艺。

7.3.2 采用氯胺消毒时, 应监测并控制反应生成的副产物, 其中二氯胺 (NHCl_2) 宜不超过 0.8 mg/L, 三氯胺 (NHCl_3) 宜不超过 0.02 mg/L。

7.3.3 补充消毒采用与主消毒相同的消毒剂时, 应避免消毒副产物的累积; 补充消毒采用与主消毒不同的消毒剂时, 应同时检测两者的消毒副产物。主消毒的副产物偏高时, 补充消毒宜采用与主消毒不同的消毒剂。

7.3.2 出厂水的化学稳定性和生物稳定性应符合下列规定:

1 出厂水应满足化学稳定性的要求, 以抑制铅、铜等有毒金属的溶出风险、消除锈水出流、维护管道的完好等, 并应符合下列规定:

1) 化学稳定性可采用拉森指数, 如公式 7.3.2 所示, 当拉森指数大于 1 时, 可以认为水质具有较强的腐蚀倾向;

$$LR = \frac{[\text{Cl}^-] + 2[\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad (7.3.2)$$

式中: LR——拉森指数;

$[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{SO}_4^{2-}]$ 、 $[\text{HCO}_3^-]$ ——氯离子、硫酸根、重碳酸根浓度, 按摩尔浓度 (mol/L) 计。

2) 具有腐蚀倾向的水, 可通过适当的药剂选择降低原水中重碳酸盐的分解, 包括选择盐基度高的聚铝或聚铁作为絮凝剂, 以次氯酸钠消毒替代氯或二氧化氯等; 必要时应增加重碳酸盐和钙镁离子;

3) 出厂水的硬度宜控制为 100mg/L~400mg/L。

2 出厂水应满足生物稳定性的要求。宜控制可生物降解溶解性有机碳

(BDOC)、生物可同化有机碳(AOC)。

7.3.3 消毒副产物处理可采用活性炭吸附法和膜滤法。

7.3.4 采用活性炭吸附法时应符合下列规定：

1 应计入进水中消毒副产物种类、浓度、水温、pH 值和浑浊度等指标的影响，进水浑浊度宜小于 0.5NTU；

2 采用颗粒活性炭时，应符合下列规定：

1) 颗粒活性炭滤料的粒径宜为 8×30 目(0.60 mm ~2.36 mm)，并应根据待吸附消毒副产物确定吸附指标；

2) 当活性炭吸附后消毒副产物饱和时，需对活性炭进行更换或再生；

3) 活性炭的更换或再生周期不宜过短，采用吸附法不宜低于 500d，采用臭氧—生物活性碳可按 5~8 年。

3 采用粉末活性炭时，应符合下列规定：

1) 应根据待吸附消毒副产物确定吸附指标；

2) 应避免粉末活性炭对常规处理工艺的不利影响，包括对絮凝的影响和对滤池过滤的影响；

3) 应关注污泥处理。

7.3.5 采用膜滤法去除消毒副产物时，可选用纳滤和反渗透膜工艺，宜采用纳滤膜组合工艺，并应符合下列规定：

1 进水水质要求，水污染密度指数(Silt Density Index, SDI)宜小于 3；

2 可采用阻垢、化学清洗、运行工况优化等措施进行控制；

3 应有相应的浓水处理措施。

7.4 配水管网消毒副产物控制

7.4.1 配水管网的消毒副产物控制可采取：

1 优化管网布局、降低最不利路径的水龄；

2 应根据出厂水水质及消毒剂余量在管网中的变化,采取降低出厂水的耗氯物质浓度,以及协同主消毒和出厂水消毒剂余量浓度、中途加氯、居民加压调蓄供水补加氯等措施。

7.4.2 采用游离氯消毒时,消毒副产物三卤甲烷加权和可按公式 7.4.2-1 计算,其中消毒副产物三卤甲烷加权和按公式 7.4.2-2 计算。

$$C_{B,t} = C_{B,0} + B(1 - e^{-k_2 \cdot t}) \quad (7.4.2-1)$$

$$C_B = \frac{C_{\text{三氯甲烷}}}{0.06} + \frac{C_{\text{一氯二溴甲烷}}}{0.10} + \frac{C_{\text{二氯一溴甲烷}}}{0.06} + \frac{C_{\text{三溴甲烷}}}{0.10} \quad (7.4.2-2)$$

式中: $C_{B,t}$ ——水龄为 t 的管网处消毒副产物三卤甲烷加权和,无量纲;
 $C_{B,0}$ ——出厂水消毒副产物三卤甲烷加权和,无量纲;
 t ——水龄,单位为 d;
 B ——三卤甲烷加权和最大生成量,无量纲;
 k_2 ——消毒副产物(三卤甲烷加权和)生成常数,单位为 d^{-1} ;
 C_B ——出厂水或管网指定点的三卤甲烷加权和,无量纲;
 $C_{\text{三氯甲烷}}$ 、 $C_{\text{二氯一溴甲烷}}$ 、 $C_{\text{一氯二溴甲烷}}$ 、 $C_{\text{三溴甲烷}}$ ——出厂水或管网指定点的三氯甲烷、二氯一溴甲烷、一氯二溴甲烷、三溴甲烷,单位为 mg/L;
0.06、0.10、0.06、0.10——现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749 规定的三氯甲烷、二氯一溴甲烷、一氯二溴甲烷、三溴甲烷限值,单位为 mg/L。

7.4.3 管网拓扑结构优化和管网优化调度应符合下列规定:

- 1 宜结合管网分区,优化管网拓扑结构,管网不应产生死水、回水;
- 2 应控制最不利水龄,并符合下列规定:
 - 1) 应根据水质和管网状况确定水龄,采用游离氯消毒时不应超过 5 d、不宜超过 3 d,采用氯胺消毒时不宜超过 10 d;
 - 2) 优化供水路径,统筹出厂水到最不利用户的路径、管道长度和管径,降低停留时间;
 - 3) 居民调蓄设施宜采取生活用水和消防用水分离的措施,生活用水水箱(水池)的控制水位宜根据服务范围的入住情况可调节。
- 3 多水源供水的管网,宜根据不同水源的服务范围进行物理分区或调度分区,分区之间可采用一定的联通措施。

7.4.4 管道和附属设施的建设和维护应符合下列规定:

- 1 新建供水管道的内衬和管道修复后的涂层或材料,以及其他涉水部件,应

能防止腐蚀、避免有害物质从衬涂层迁移进入水中；

2 管道的冲洗消毒应符合下列规定：

1) 新建管道应在并网前执行冲洗——消毒——冲洗的工艺流程，合格后方可并网；

2) 已建管道可根据水质监测数据和居民反馈情况，采取应急或计划性冲洗消毒；

3) 冲洗消毒后的管道，应监测管道管壁的腐蚀、沉积、微生物增殖以至压缩管道内径的生长环等情况。

3 市政和居民调蓄设施，应定期清理并加强对微生物与消毒剂指标的监测；

4 难以通过冲洗消毒和其他维护措施达到安全要求的管道和附属设施，应予以更新，宜采取应急和计划性更新相结合的方式。

7.4.5 供水管网的运行维护应符合下列规定：

1 供水管网应维持持续稳定的正压运行状态，不产生负压和压力剧烈波动，防止管道中吸入环境中的水；

2 供水管网应严控外接管道的倒流；

3 供水管网的爆管、漏点应及时修复。

7.4.6 补充消毒的投加点和消毒剂剂量的优化应符合下列规定：

1 宜根据消毒后水龄分析和消毒剂的降解特性，结合实际选点的可能，确定补充消毒的投加点和消毒剂剂量；

2 采用次氯酸盐的，待处理水的 pH 值宜为 7.5 左右；

3 投加点位的选择，应满足待处理水水量相对稳定，不应出现水量的剧烈波动；

4 最后投加点位的消毒剂的剂量应满足龙头水持续稳定达标的要求，宜监测处理后的余氯。

附录 A 消毒接触池的有效接触时间和流态折减系数的取值与测定

A.1 经验公式法

消毒接触池流态折减系数（以 t_{10} 计），可按公式 A.1.1 计算。

$$F_B = 0.1984 \cdot \ln \frac{L}{W} - 0.0019 \quad (\text{A.1.1})$$

式中： F_B ——消毒接触池流态折减系数，以 t_{10} 计，无量纲；

L ——消毒接触池的有效长度，单位为 m；

W ——消毒接触池的过流宽度，单位为 m。

A.2 示踪试验测定法

A.2.1 试验准备条件应符合下列要求：

1 试验测试方案。测试方案并提交相关部门审核和批准，方案内容通常需要提供：试验类型、示踪剂选择及用量、采样方法和频率、数据记录和分析方法、试验条件、人员安排等；

2 示踪剂选择。示踪剂应易于获取，在使用过程中性质稳定，测定方法灵敏且容易操作，可安全用于饮用水中。可采用氯化物、氟化物，满足安全性等要求时也可使用荧光示踪剂，可采用罗丹明 WT；

3 示踪剂投量确定。应根据测试流量及目标（峰值）浓度确定。当原水中含有一定的背景示踪剂时，示踪剂目标浓度需显著高于其背景浓度，可采用 20 倍及以上。出水中的示踪剂浓度还应满足水质标准要求。

A.2.2 测试控制条件应符合下列要求：

1 正常条件下，应至少在接触消毒池运行流量范围的四个流量下开展示踪试验，包括一个接近平均值的流量、两个高于平均值的流量和一个低于平均值的流量。最高测试流量不应低于该单元最大可能流量的 91%；

2 测试期间，应维持流量和水位的恒定；

3 对于水位波动较大的接触消毒池，宜在水位下降过程（流出量大于流入量）进行示踪试验，以获得较保守的 t_{10} 数值；

4 对于含有两个及以上大小和结构相同的消毒接触池的供水系统，可以在其

中一个接触池中开展示踪试验，并将结果应用于所有相同的接触池。

A.2.3 采样、记录和水质检测应符合下列要求：

- 1 对消毒接触池出水的采样需与消毒剂余量检测在同一位置；
- 2 采样频率应根据消毒接触池的水力停留时间和现场具体条件确定。水力停留时间 30 min 的消毒接触池，采样频率可采用 1 次/（2~3）min；
- 3 试验期间，应记录每次采样的时间和示踪剂残余浓度，同时标注水位、流量和水温；
- 4 应采用高灵敏度的分析方法和设备对水样中的示踪剂浓度进行检测，有条件时可采样原位/在线监测。所有样品分析应在 24h 内完成。

A.2.4 测试方法可采用恒定投加法或瞬时投加法，其方法选择与测试控制应符合下列要求：

- 1 采用恒定投加法的，应在接触池入口处以恒定速率投加示踪剂，直到出口处浓度达到稳定水平。当消毒接触池入口处设有恒定投药设备时，优先采用恒定投加法开展示踪试验。
- 2 采用瞬时投加法的，应在接触池入口处瞬时添加大剂量示踪剂，并在出口处采样记录示踪剂浓度随时间的变化。示踪剂的注入时间不应超出接触池理论停留时间的 1%，出口处示踪剂的回收率须超过 90%。

A.2.5 恒定投加法，测试数据分析处理方法如下：

- 1 计算实时浓度与目标浓度比值，绘制无量纲浓度（ C/C_0 ）随采样时间（ t ）的变化曲线，通过插值法从图上获取 $C/C_0 = 0.1$ 时对应的采样时间，分别为示踪试验测定的 t_{10} 值；
- 2 也可以 t/T 为横坐标、以 $\lg(1-C/C_0)$ 为纵坐标，绘制 $\lg(1-C/C_0)-t/T$ 图并对 $C \neq 0$ 时的数据点进行线性拟合，利用所得拟合公式计算 $y = -0.0458$ 或 -0.301 时对应的 x 值，分别为 t_{10} 或 t_{50} 对应的 F_B 值。

A.2.6 瞬时投加法，测试数据分析处理方法：

- 1 计算各采样间隔内示踪剂浓度-时间曲线下的面积并进行累积，并通过采样结束时的总面积进行归一化，得到等效恒定投加的 C/C_0 数据；
- 2 按照 A.2.5 给出的数据处理方法对上述等效 C/C_0 数据进行处理，得到 t_{10} 或对应的 F_B 数值。

A.3 经验系数法

消毒接触池流态折减系数（以 t_{10} 计），也可按表 A.3 取值。

表 A.3 消毒接触池流态折减系数 F_B （以 t_{10} 计）

消毒接触池池型	流态折减系数	示例
完全混合，无内部挡板的带有淹没进水口或出水口的池体	0.1	简单清水池，长宽比低，没有出水口整流或进出口流速很高导致搅拌效应
两个串联的无挡板池体	0.2	两个串联的简单清水池
三个串联的无挡板池体	0.3	三个串联的简单清水池
进水口带有 2 英尺跌水池体	0.3	进水位置高出最大液位高度的清水池
带有 1-2 个挡板的池体	0.3	带有进水挡板和中间隔墙的清水池
长宽比超过 10:1 的池体	0.3	短小、狭窄且浅的流道
带有 3-4 个挡板的池体	0.5	带有进水挡板和三道中间隔墙的清水池
长宽比超过 20:1 的池体	0.5	细长、狭窄且浅的流道
长宽比超过 50:1 的池体	0.7	超长、狭窄且浅的流道
管道	1.0	典型管道；长宽比（L:W）超过 100:1 的窄浅流道

附录 B 需氯量和需二氧化氯量测定方法

B.1 需氯量测定方法

B.1.1 水样的游离氯需氯量（简称需氯量），宜采用 24h 需氯量，用于加氯量和管网末梢余氯控制的参考；也可根据需要选取 30min 需氯量、60min 需氯量或 120min 需氯量，用于消毒接触池出水余氯控制的参考。

B.1.2 需氯量测定试验宜按下列步骤进行：

- 1 取 100 mL 超纯水测定次氯酸钠溶液中游离氯的浓度；
- 2 取 600 mL 水样并采用 0.45 μm 醋酸纤维膜过滤去除水中不溶解物质；
- 3 取 100 mL 滤后水样测定其中溶解性有机碳（DOC）含量；
- 4 取 5 个 100 mL 滤后水样，分别向其中加入 1 倍、1.5 倍、2.0 倍、2.5 倍和 3.0 倍 DOC 浓度的游离氯；如无 DOC 测定条件时可依经验值确定，但应满足 B.1.3 分析的要求；游离氯初始投加量分别记作 $A_1 \sim A_5$ ；

5 在 25℃ 避光条件下反应时间 $t=24\text{ h}$ 后测定各水样中残余游离氯浓度，分别记作 $B_1 \sim B_5$ ；

6 应避免氯胺的干扰。

B.1.3 需氯量测定试验结果分析宜按下列步骤进行：

- 1 绘制游离氯投加量和残余量曲线；
- 2 于曲线上选定点 P，点 P 应满足下列要求：
 - 1) 曲线上残余游离氯浓度自低到高，至点 P 已经开始与投加量成比例增加；
 - 2) 点 P 对应游离氯残留量 B_0 处于 0.5 mg/L~1.5mg/L 范围且符合预设要求。
- 3 读取点 P 对应的游离氯投加量为 A_0 ；
- 4 按公式 B.1 计算 C_0 即为 24h 游离氯需氯量。

$$C_0 = A_0 - B_0 \quad (\text{B.1})$$

式中： C_0 ——需氯量，单位为 mg/L（以 Cl_2 计）；

A_0 ——选定点 P 对应的游离氯投加量，单位为 mg/L；

B_0 ——选定点 P 对应的游离氯残留量，单位为 mg/L。

B.1.4 需氯量测定反应时间也可根据需要选取反应时间 $t=30\text{ min}$ 、 60 min 、 120 min 等，用于测定 30min 需氯量、60min 需氯量或 120min 需氯量。

B.2 需二氧化氯量测定方法

B.2.1 水样的纯二氧化氯需二氧化氯量（简称需二氧化氯量），宜采用 24h 需二氧化氯量，用于二氧化氯投加量和管网末梢余二氧化氯控制的参考；也可根据需要选取 30min 需二氧化氯量、60min 需二氧化氯量或 120min 需二氧化氯量，用于消毒接触池出水余二氧化氯控制的参考。

B.2.2 需二氧化氯量测定试验宜按下列步骤进行：

- 1 取 100 mL 超纯水测定二氧化氯溶液中二氧化氯的浓度；
- 2 取水样并采用 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 醋酸纤维膜过滤去除水中不溶解物质；
- 3 取 n 个 100 mL 滤后水样，分别加入不同量的二氧化氯，初始投加量分别记作 $A_1\sim A_n$ ；
- 4 在 25°C 避光条件下反应时间 $t=24\text{ h}$ 后测定各水样中残余二氧化氯浓度，记作 $B_1\sim B_n$ ；
- 5 应避免氯的干扰。

B.2.3 需二氧化氯量测定试验结果分析宜按下列步骤进行：

- 1 绘制二氧化氯投加量和残余量曲线；
- 2 于曲线上选定点 P，点 P 应满足下列要求：
 - 1) 曲线上残余二氧化氯浓度自低到高，至点 P 已经开始与投加量成比例增加；
 - 2) 点 P 对应二氧化氯残留量 B_0 处于 $0.3\text{ mg/L}\sim 0.8\text{ mg/L}$ 范围且符合预设要求。
- 3 读取点 P 对应的二氧化氯投加量为 A_0 ；
- 4 按公式 B.2 计算 C_0 即为 24h 需二氧化氯量。

$$C_0 = A_0 - B_0 \quad (\text{B.2})$$

式中： C_0 ——需二氧化氯量，单位为 mg/L；

A_0 ——选定点 P 对应的二氧化氯投加量，单位为 mg/L；

B_0 ——选定点 P 对应的二氧化氯残留量，单位为 mg/L。

B.2.4 需二氧化氯量测定反应时间也可根据需要选取反应时间 $t=30\text{ min}$ 、 60 min 、 120 min 等，用于测定 30min 需二氧化氯量、 60min 需二氧化氯量或 120min 需二氧化氯量。

附录 C 消毒副产物生成潜势测定方法

C.0.1 本规程消毒副产物生成潜势对象为三卤甲烷、卤代乙酸、卤代乙醛、卤代乙腈、卤代硝基甲烷和卤代乙酰胺等 6 类典型卤代消毒副产物。其中三卤甲烷、卤代乙醛、卤代乙腈、卤代硝基甲烷、卤代乙酰胺等 5 类消毒副产物检测采用液液萃取预处理耦合气相色谱-电子捕获仪实现，卤代乙酸类消毒副产物检测采用液液萃取酸化甲醇衍生化预处理耦合气相色谱-电子捕获仪实现。

C.0.2 消毒副产物生成潜势测定试验宜按下列步骤进行：

- 1 采集消毒后的水样 100 mL，取 20 mL 测定其中消毒剂残余浓度；
- 2 按照消毒剂和抗坏血酸摩尔比 1:1.1 向水样中加入抗坏血酸淬灭残余消毒剂；
- 3 取 20 mL 淬灭后的样品加入 40 mL 琥珀色玻璃瓶中，之后加入 4 mL 甲基叔丁基醚、4 g 无水硫酸钠和 2 g 无水硫酸铜；
- 4 采用多管旋涡混合仪以 2800 rpm 转速混合样品 5 分钟并静置 5 分钟；最后取上层 1 mL 有机相分析三卤甲烷、卤代乙酸、卤代乙醛、卤代乙腈、卤代硝基甲烷和卤代乙酰胺类消毒副产物浓度；
- 5 另取 20 mL 淬灭后的样品加入 40 mL 琥珀色玻璃瓶中，采用浓硫酸（95-98%）将水样 pH 调节至小于 0.5，之后加入 4 mL 甲基叔丁基醚、4 g 无水硫酸钠和 2 g 无水硫酸铜；
- 6 之后采用多管旋涡混合仪以 2800 rpm 转速混合样品 5 分钟并静置 5 分钟；最后取上层 2 mL 有机相；
- 7 取 2 mL 有机相加入到 20 mL 琥珀色玻璃瓶中，之后加入 1 mL 的 10% 酸化甲醇（硫酸：甲醇=1:9），在 50℃ 水域加热条件下进行酯化反应 2 小时；
- 8 样品冷却后向其中加入 4 mL 饱和碳酸氢钠溶液，之后采用多管旋涡混合仪以 2800 rpm 转速混合样品 5 分钟并静置 5 分钟，最后取上层 1 mL 有机相分析卤代乙酸类消毒副产物浓度。

C.0.3 消毒副产物检测仪器可采用岛津气相色谱-电子捕获检测器装置（GC QP2010 plus）进行消毒副产物的定量检测；样品分离可采用 Restek 公司的 RTX-5（长 30 m，直径 0.25 mm，柱厚 0.25 μ m）色谱柱实现。

C.0.4 仪器设置应符合下列规定：

1 进样口参数设置应符合下列规定：

- 1) 气化室温度：230℃；
- 2) 进样量：1.0 μL；
- 3) 进样模式：不分流；
- 4) 进样时间：1.0 min；
- 5) 载气：氮气；
- 6) 控制模式：线速；
- 7) 压力：85.9 MPa；
- 8) 总流量 30.0 mL/min；
- 9) 色谱柱流量：1.26 mL/min；
- 10) 线速：30.0 cm/sec；
- 11) 吹扫流量：3.0 mL/min。

2 柱温箱参数设置应符合下列规定：

- 1) 柱温箱以 32℃作为初始温度保留 10 min；
- 2) 按 3℃/min 升温到 80℃并保留 3 min；
- 3) 按 5℃/min 升高到 125℃；按 5℃/min 升高到 135℃并保留 2 min；
- 4) 总检测时间 52.5 min。

3 电子捕获检测器参数设置应符合下列规定：

- 1) 检测器温度：280℃；
- 2) 延迟时间：3.0 min；
- 3) 采样率：200 msec；
- 4) 电流：2 nA；
- 5) 尾吹流量：30.0 mL/min。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时，区别对待要求严格程度不同的用词，说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用 “ 必须 ”；反面词采用 “ 严禁 ”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用 “ 应 ”；反面词采用 “ 不应 ” 或 “ 不得 ”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词：

正面词采用 “ 宜 ”；反面词采用 “ 不宜 ”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用 “ 可 ”。

2 条文中指定应按其他有关标准执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

1. 《室外给水设计标准》GB 50013
2. 《城市给水工程项目规范》GB 55026
3. 《工业用合成盐酸》GB/T 320
4. 《工业硫酸》GB/T 534
5. 《工业过氧化氢》GB/T 1616
6. 《工业氯酸钠》GB/T 1618
7. 《环境空气质量标准》GB 3095
8. 《工业用液氯》GB/T 5138
9. 《食用盐》GB/T 5461
10. 《生活饮用水卫生标准》GB 5749
11. 《柠檬酸》GB/T 8269
12. 《次氯酸钙(漂粉精)》GB/T 10666
13. 《环境空气 臭氧的测定 紫外光度法》GB/T 15438
14. 《危险化学品仓库贮存通则》GB 15603
15. 《饮用水化学处理剂卫生安全性评价》GB/T 17218
16. 《次氯酸钠》GB/T 19106-2013
17. 《城镇给排水紫外线消毒设备》GB/T 19837-2019
18. 《二氧化氯消毒剂卫生要求》GB/T 26366
19. 《次氯酸钠发生器卫生要求》GB 28233
20. 《紫外线水消毒设备紫外线剂量测试方法》GB/T 32091-2015
21. 《城镇供水水质标准》CJ/T 206
22. 《工业亚氯酸钠》HG/T 3250
23. 《环境保护产品技术要求 紫外线消毒装置》HJ 2522-2012
24. 《城镇供水厂二氧化氯应用技术标准》T/CUWA 20062

中国城镇供水排水协会团体标准
城镇供水消毒和消毒副产物控制技术规程

T / CUWA XXXXX— 202X

条 文 说 明

目 次

3 基本规定	54
4 设计消毒效能与消毒剂量	54
4.1 设计消毒效能	54
4.2 有效消毒接触时间	55
4.4 常见消毒工艺效能	55
5 消毒剂成品、现场制备与贮存要求	56
5.2 游离氯和氯胺	56
5.3 二氧化氯和二氧化氯混合消毒剂	57
5.5 紫外线消毒设备	57
6 消毒剂的投加	59
6.1 主消毒	60
6.2 补充消毒	60
7 消毒副产物的控制	60
7.1 一般规定	60
7.3 处理厂消毒工艺优化	60
附录 A 消毒接触池的有效接触时间和流态折减系数的取值与测定	60
A.2 示踪试验测定法	60

3 基本规定

3.0.1 根据全文强制国家标准《城市供水项目规范》GB 55026 和国家标准《生活饮用水卫生规范》GB 5749 的规定，饮用水必须消毒。饮用水消毒是灭杀、灭活、抑制和控制介水病原微生物，实现饮用水导致的水介传染病风险降到可接受水平的必要工艺措施。消毒处理应达到饮用水水质病原微生物学的相关标准，风险控制水平按照美国环保署的规定，年感染风险不超过 10^{-4} ，此感染风险指标也为世界卫生组织等广泛采用。城镇供水的饮用水消毒应通过原水管理、水处理、输配过程的全局管理，确保用户的生物安全性持续稳定达标。

3.0.3 城镇供水的消毒，依据消毒剂的不同，可分为物理消毒和化学消毒。其中物理消毒为紫外线消毒；化学消毒可采用游离氯（氯、次氯酸盐）、氯胺（一氯胺）、二氧化氯及混合物、臭氧，以及臭氧高级氧化、光化学高级氧化等组合方式。

3.0.4 本条规定了预消毒、主消毒、补充消毒等全局消毒类型及其目标。

3.0.5 本条规定了消毒剂的投加、运输、储备及卫生要求。

3.0.6 本条规定了基于病原微生物卫生学风险控制和消毒副产物的全局管控和协同要求。

4 设计消毒效能与消毒剂量

4.1 设计消毒效能

4.1.3 不同工艺对病原微生物的去除率如表 1 所示。采用游离氯消毒或二氧化氯消毒时，病毒的去除率易于达到，故在表 4.1.3 中略去病毒项。消毒效能不仅取决于消毒段工艺及消毒剂量，也取决于待消毒水的浊度、pH 等控制指标和水温等。紫外线还取决于待消毒水的紫外穿透率。

表 1 不同工艺对病原微生物的去除率

序号	工艺形式	消毒进水浑浊度	消毒前段最大认可去除率 R_{ic}				消毒段最低去除率 $R_{IO}+R_{Id}$			
			细菌	病毒	贾第鞭毛虫	隐孢子虫	细菌	病毒	贾第鞭毛虫	隐孢子虫
1	常规工艺	0.3(1)	2~3	2.0	2.5	>2	3~2	2.0	0.5	—

序号	工艺形式	消毒进水浑浊度	消毒前段最大认可去除率 R_{ic}				消毒段最低去除率 $R_{io}+R_{id}$			
			细菌	病毒	贾第鞭毛虫	隐孢子虫	细菌	病毒	贾第鞭毛虫	隐孢子虫
2	常规工艺	0.5(5)	2	2.0	2.5	2	3	2.0	0.5	—
3	常规工艺	1(5)	1	1.0	2.0	>2	4	3.0	1.0	—
4	直接过滤	0.3(1)	1	1.0	2.0	>2	4	3.0	1.0	—
5	微滤	0.3(1)	2	0	>3.0	>2	3	4.0	0	—
6	超滤	0.3(1)	2	0	>3.0	>2	3	4.0	0	—
7	纳滤	0.3(1)	4	3.0	>3.0	>2	1	1.0	0	—
8	反渗透	0.3(1)	4	3.0	>3.0	>2	1	1.0	0	—
9	无过滤	1(5)	0	0.0	0.0	0.0	5	4.0	3.0	2.0

注：常规工艺指混凝—沉淀—石英砂过滤工艺；浑浊度括号外为 95%保障率，括号内为最大值；“—”表示不做要求。

4.2 有效消毒接触时间

4.2.1 我国于深圳地区开展了示踪试验测定消毒接触池 t_{10} 并进行了池型的优化；武汉开展了缩小尺寸的模拟消毒接触池示踪试验。北京、上海、山东等开展了 CFD 模拟与优化研究。

4.2.3 部分标准和文献中，采用臭氧时也可按 50%保证率接触时间 t_{50} 计。考虑到我国尚未见生活饮用水处理中以臭氧作为主消毒药剂，故不列入。

4.4 常见消毒工艺效能

I 游离氯和氯胺消毒

4.4.1 消毒效能数据来源于：①EPA Guidance Manual LT1ESWTR Disinfection Profiling and Benchmarking（2003）；② US EPA Water Treatment Manual: Disinfection (2011)；③ USEPA, LT2ESWTRFS2 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule（2005）④D G Korich 1, J R Mead, M S Madore et al. Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocyst viability[J]. Appl Environ Microbiol. 1990 May;56(5):1423-1428.⑤USEPA , Disinfection Profiling and Benchmarking Technical Guidance Manual（2020）

⑥USEPA, Predicting The Inactivation Of Giardia Lamblia A Mathematical and Statistical Model (1990) 。⑦AWWA (American Water Works Association). 1991. Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Works Systems Using Surface Water Sources.。

下同。

4.4.2 根据我国学者不同来源的文献整理，实际运行 $ct=(1.0 \sim 5.0) \text{ mg/L} \cdot \text{min}$ 时大肠埃希氏菌灭活率达到 4 log 以上；在一般原水处理条件下，考虑到我国地域的差距，达到现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749 大肠埃希氏菌不应检出的规定， ct 值不低于 $(5.0 \sim 10.0) \text{ mg/L} \cdot \text{min}$ 。参考世界卫生组织和美国环保署的相关规定，取 $15.0 \text{ mg/L} \cdot \text{min}$ 。

5 消毒剂成品、现场制备与贮存要求

5.2 游离氯和氯胺

5.2.2 (1) 次氯酸钠溴酸盐的规定据日本标准 JWWA K120: 2008-2 规定的二级标准。(2) 氯酸盐含量不宜超过 10000 mg/kg 有效氯据日本标准 JWWA K120: 2008-2 规定的二级标准。(3) 表 5.2.2 据英国标准《Chemicals used for treatment of water intended for human consumption - Sodium hypochlorite》BS EN 901: 2013、德国标准《Chemicals used for treatment of water intended for human consumption - Sodium hypochlorite》DIN EN 901: 2013。两项标准内容相同。

5.2.3 (1) 按英国标准《Chemicals used for treatment of water intended for human consumption - Sodium hypochlorite》BS EN 901: 2013 的规定，氯酸根含量（运输阶段）不超过 5.4%（以有效氯计），换算即为 54000 mg/kg 有效氯。此含量下，考虑安全系数，按 4 mg/L 投加量计算，氯酸根在水中的增量不超过 0.22 mg/L ，低于现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749 规定的 0.7 mg/L 。对于氯酸盐背景值含量较高时还需要额外关注。(2) 次氯酸钠溶液在 pH 6~10 范围内，pH 7~7.5 降解产生氯酸根的速度最快，pH 7 以下随着 pH 的降低，或者 pH 7.5 以上随着 pH 的升高，降解产生氯酸根的速度下降，到 pH 10 以上持平。此外还

有降解产生氧气等反应。综合考虑副产物氯酸根生成的控制和次氯酸（根）的降解控制，以 pH 10 以上为佳。（3）国家重大水专项“中小水厂消毒工艺优化及副产物控制技术与示范”开展了次氯酸钠贮存中降解和歧化反应的研究，本规程编制组对次氯酸盐的降解和歧化反应的相关因子进行了系统性的补充试验和进一步梳理和研究分析。

5.2.4 （1）氯化钠中溴化物含量要求据日本标准 JWWA K120: 2008-2。（2）氯化钠中含钙镁较高，或者用于配置氯化钠溶液的水钙镁含量高，易于导致电极的老化和效能下降，故应加以限制。

5.2.5 次氯酸钙配制过程相对复杂一些，但保存期限长，适用于小规模水处理设施（500 m³/d 以内）。

5.2.6 在常温、上述控制条件下，当氯与氨氮之比低于 5:1 时，一氯胺逐渐增加；当比值高于 5:1 时，二氯胺、三氯胺依次大量生成，其中比值高于 7.5 时，有部分氮气产生。

5.3 二氧化氯和二氧化氯混合消毒剂

5.3.1 二氧化氯无法在水中稳定存在，pH、光照、温度等因素都会对其产生影响，只能通过调整环境条件减缓分解和歧化过程。结合国内外学者的研究有以下发现：

（1）二氧化氯，酸性条件下的衰减速率较碱性时慢，当 pH>6 时，衰减速率逐渐增大，通常情况下应保持 pH 值在 5~7.5 的范围内

（2）二氧化氯储存的温度越低稳定性越好

（3）二氧化氯需要避光储存，光照强度越大衰减越快

（4）二氧化氯的储存浓度不宜过高，>6g/L 时歧化作用主要生成 Cl⁻和 ClO₃⁻。

5.5 紫外线消毒设备

5.5.1 表 5.5.1 的数据来源如下表所示。其中 EPA UV disinfection Guidance Manual（2003）尽管已经是美国环保署的最新文件，其技术内容相对陈旧，故列在最后。

表 2 主消毒用紫外灯管主要参考性能比较

项目	低压紫外灯（LP）	低压高强紫外灯（LPHO）	中压紫外灯（MP）	数据来源
紫外光谱	253.7nm 单频谱	253.7nm 单频谱	有效波长范围 200nm~280nm	①④
汞蒸汽压（Pa）	0.13~1.33	0.13~1.33	$(0.013\sim1.330) \times 10^6$	①
输入功率（W/cm）	0.5~1.5	1.5~10.0	50~150	①
有效输出功率 （W/cm）	0.15~0.45	≥ 0.5	7.5~23	①
输入功率（W/cm）	0.5	1.5~10	50~150	③④
运行温度（℃）	约 40	130~200	600~900	④
新灯有效输出转换 效率（%）	≥ 35	≥ 35	≥ 15	③
占地	较高	一般	较低	④
预期寿命（h）	≥ 12000	≥ 12000	≥ 5000	②
老化系数	≥ 0.8 （通过验证）， 0.5（未通过验证）	≥ 0.8 （通过验证），0.5（未 通过验证）	≥ 0.8 （通过验证）， 0.5（未通过验证）	②

注：数据来源① 《紫外线消毒技术术语》GB/T 32092-2015、② 《城镇给排水紫外线消毒设备》GB/T

19837-2019③ 《环境保护产品技术要求 紫外线消毒装置》HJ 2522-2012、④EPA UV disinfection Guidance

Manual,2003

5.5.4 （1）老化系数。HJ 2522-2012《环境保护产品技术要求 紫外线消毒装置》对老化系数规定：在紫外灯的工作寿命时间内，低压灯的老化系数不小于 70%，低压高强灯的老化系数不小于 80%，中压汞灯的老化系数不小于 70%。

不同类型和不同生成厂家的紫外灯管，其老化系数曲线存在一定差异，应以第三方测试结果为准。

参考老化系数曲线如图 1 所示。

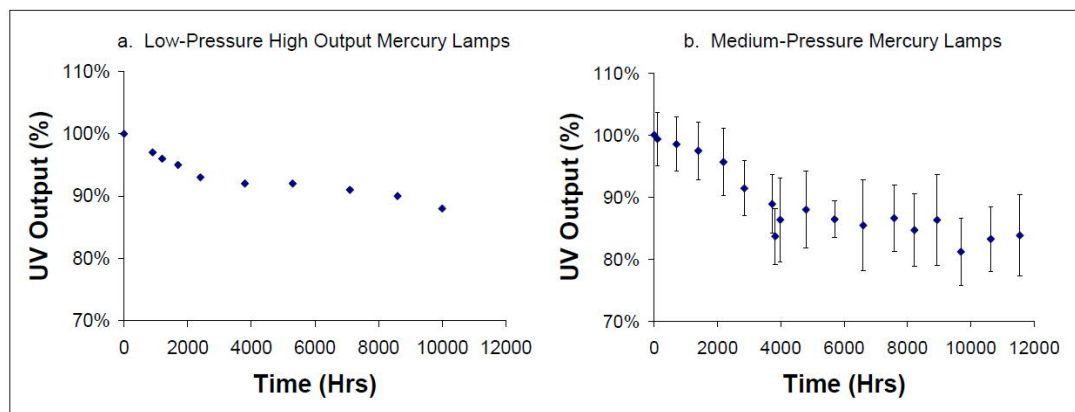


图 1 某低压汞灯(a)和中压汞灯(b)的灯管老化系数曲线（来源：US EPA – Ultraviolet Disinfection

(2) 紫外线穿透率。

1、HJ2522-2012《环境保护产品技术要求 紫外线消毒装置》对给水紫外线消毒系统进水的紫外线穿透率做出了如下规定：

进入紫外线消毒装置的水质除余氯和微生物学指标外，其余指标应符合 GB5749 的规定，且紫外线透射率 T_{254} 不小于 85%。

2、US EPA 发布的《Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule》给出的给水紫外线消毒系统的关键设计参数中，系统的紫外线穿透率验证限值范围为 85%至 95%，即系统进水的紫外线穿透率应至少为 85%。

3、加拿大农业和农业食品部发布的《Ultraviolet disinfection of private water supplies for household or agricultural uses》沿用了 US EPA 的有关规定，即紫外线消毒系统进水的水质评价如下：UVT > 95%为优；UVT > 85%为良；UVT > 75%为中，并明确了大多数紫外线制造商建议 UVT 应至少为 75%。

4、根据 AWWA 出版的《Ultraviolet (UV) Disinfection for Water Treatment》一书，给水厂滤后水的紫外线穿透率一般在 75%至 95%。

(3) 浊度和 UVT 关系

1、浊度能够影响紫外消毒效果，根据清华大学张永吉、刘文君的研究，当浊度小于 4 NTU 时，浊度对紫外消毒工艺效果的影响较小；当浊度大于 4 NTU 时，浊度对灭活效果的影响比较明显，特别是在较低的紫外线剂量下其影响将更大。对于给水厂滤后水，其浊度一般可降至 0.1 NTU 以下，故对紫外线消毒的影响较小。

2、根据英国克兰菲尔德大学 2009 年的学位论文《The relationship between UVT and turbidity, with respect to the disinfection of surface waters》，对含有一种污染物的配制溶液的实验表明，浊度与 UVT 呈一定线性关系（浊度范围在 0.14-5 NTU 之间），但对于真实水体，UVT 无法通过浊度测量进行估算。UVT 受颗粒特性（粒径、颗粒数浓度和折射率）影响，其中颗粒粒径最为关键，而浊度指标却不能与颗粒特征直接相关，故难以建立实际水体浊度与 UVT 的数学关系。

6 消毒剂的投加

6.1 主消毒

6.1.5 最低消毒接触时间如下：1) 自由氯，不应小于 30min；2) 氯胺，不应小于 120min；3) 二氧化氯，不应少于 30min；4) 臭氧，不应小于 30min。

6.2 补充消毒

6.2.6 二氯胺具有一定的毒性，且致嗅；三氯胺致嗅，其嗅阈值较低。

7 消毒副产物的控制

7.1 一般规定

7.1.2 采用游离氯消毒，滤后水的 TOC 4mg/L 以上、管网水龄 2-3d，龙头水的消毒副产物卤代烃可达 100ug/L 以上；TOC 2mg/L 以内时，龙头水的消毒副产物易于达标。

7.3 处理厂消毒工艺优化

7.3.4 采用臭氧-生物活性炭可延长更换周期，上海采用生物活性炭，按 TOC、高锰酸盐去除率不小于 20%，采用太湖水原水的水厂更换周期 5 年，采用长江水原水的水厂更换周期 8 年。

附录 A 消毒接触池的有效接触时间和流态折减系数的取值与测定

A.2 示踪试验测定法

A.2.5 恒定投加法的测试数据分析处理方法及示例如下：① 计算实时浓度与目标浓度比值，绘制无量纲浓度 (C/C_0) 随采样时间 (t) 的变化曲线，如图 2 (a) 所示，通过插值法从图上获取 $C/C_0 = 0.1$ 时对应的采样时间，分别为示踪试验测定的 t_{10} 值；② 也可以 t/T 为横坐标、以 $\lg(1-C/C_0)$ 为纵坐标，绘制 $\lg(1-C/C_0)$ - t/T 图并对 $C \neq 0$ 时的数据点进行线性拟合，如图 1 (b) 所示，利用所得拟合公式计

算 $y = -0.0458$ 或 -0.301 时对应的 x 值，分别为 t_{10} 或 t_{50} 对应的 F_B 值。

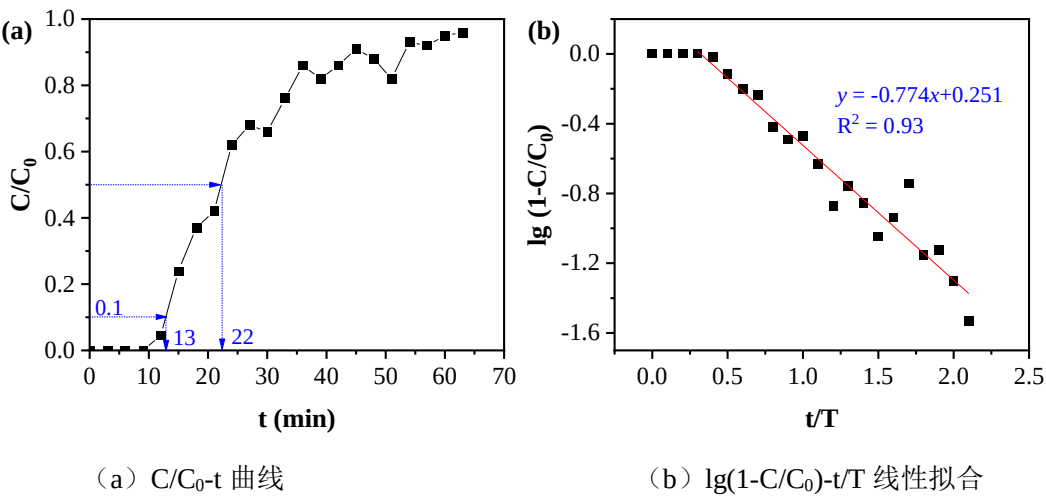


图 2 恒定投加示踪剂浓度数据处理

A.2.6 瞬时投加法的测试数据分析处理方法及示例如下：①通过表 3 计算各采样间隔内示踪剂浓度-时间曲线下的面积并进行累积，并通过采样结束时的总面积进行归一化，得到等效恒定投加的 C/C_0 数据；②参照 A.2.5 给出的数据处理方法[图 1（a）或图 1（b）]对上述等效 C/C_0 数据进行处理，得到 t_{10} 或对应的 F_B 数值。

表 3 瞬时投加示踪剂浓度数据处理

采样时间 t (min)	示踪剂浓度 C_i (mg/L)	浓度曲线面积 A_i (mg·min/L)	累积面积 A_c (mg·min/L)	等效恒定投加 C/C_0
0	0	0	0	0
3	0	0	0	0
6	0	0	0	0
9	0	0	0	0
12	1.0	3.0	3.0	0.05
15	3.4	10.2	13.2	0.22
18	3.6	10.8	24.0	0.40
21	1.8	5.4	29.4	0.49
24	1.9	5.7	35.1	0.59
27	1.2	3.6	38.7	0.65
30	1.1	3.3	42.0	0.71
33	1.3	3.9	45.9	0.77
36	0.8	2.4	48.3	0.81
39	0.4	1.2	49.5	0.83
42	0.8	2.4	51.9	0.87
45	0.4	1.2	53.1	0.89

采样时间 t (min)	示踪剂浓度 C _i (mg/L)	浓度曲线面积 A _i (mg-min/L)	累积面积 A _c (mg-min/L)	等效恒定投加 C/C ₀
48	0.6	1.8	54.9	0.92
51	0.4	1.2	56.1	0.94
54	0.2	0.6	56.7	0.95
57	0.3	0.9	57.6	0.97
60	0.4	1.2	58.8	0.99
63	0.2	0.6	59.4	1.00

表中各采样时间对应的浓度曲线面积 (A_i) 为该采样时间的示踪剂浓度 (C_i) 与采样间隔 (Δt) 的乘积, 如表中 t = 15 min 时, A_i = 3.4 × (15-12) = 10.2; 对应的累积面积 (A_c) 为此时浓度曲线面积与上一时间累积面积之和, 即 A_c = 10.2 + 3.0 = 13.2; 等效 C/C₀ 为此时累积面积与最终累积面积 (t = 63 min 时的 59.4) 之比, 即 C/C₀ = 13.2/59.4 = 0.22。