

给水深度处理和饮用水安全保障技术交流会

供水水质达标工艺技术路线选择

刘文君

wjliu@tsinghua.edu.cn

清华大学环境学院 教授
中国土木工程学会水工业分会 秘书长

供水行业现状

- 水源污染难以好转
- 水质标准十分严格
- 百年工艺绝对主流
- 水厂改造迫在眉睫
- 改造技术急需引导
- 设计理念需要更新

《生活饮用水卫生标准》 (5749-2006)

指标特点

- ✓ 水质指标：**106**项，其中常规**42**项，非常规**64**项。
 - 常规：42项，
 - 1) 微生物学：4
 - 2) 毒理学：15
 - 无机物：12，有机物：3
 - 3) 感官和一般化学性：17
 - 4) 放射性：2
 - 5) 消毒剂：4

《生活饮用水卫生标准》 (5749-2006)

指标特点

- ✓ 水质指标：**106**项，其中常规**42**项，非常规**64**项。
非常规：**64**项，
 - 1) 微生物学：**2**（两虫）
 - 2) 毒理学：**59**
 无机物：**9**，有机物：**50**
 - 3) 感官和一般化学性：**3**

新旧标准对比

✓ 增加了71项:

微生物指标: 2 → 6

消毒剂: 1 → 4

毒理指标: 无机物: 10 → 21

有机物: 5 → 53

感官性状和一般理化指标: 15 → 20

✓ 修订了8项:

总大肠菌群: 3 CFU/L → 不得检出 (CFU/100 mL)

砷: 0.05mg/L → 0.01mg/L

镉: 0.01mg/L → 0.005mg/L

铅: 0.05 mg/l → 0.01mg/L

硝酸盐: 20 mg/L → 10mg/L

四氯化碳: 0.003mg/L → 0.002mg/L

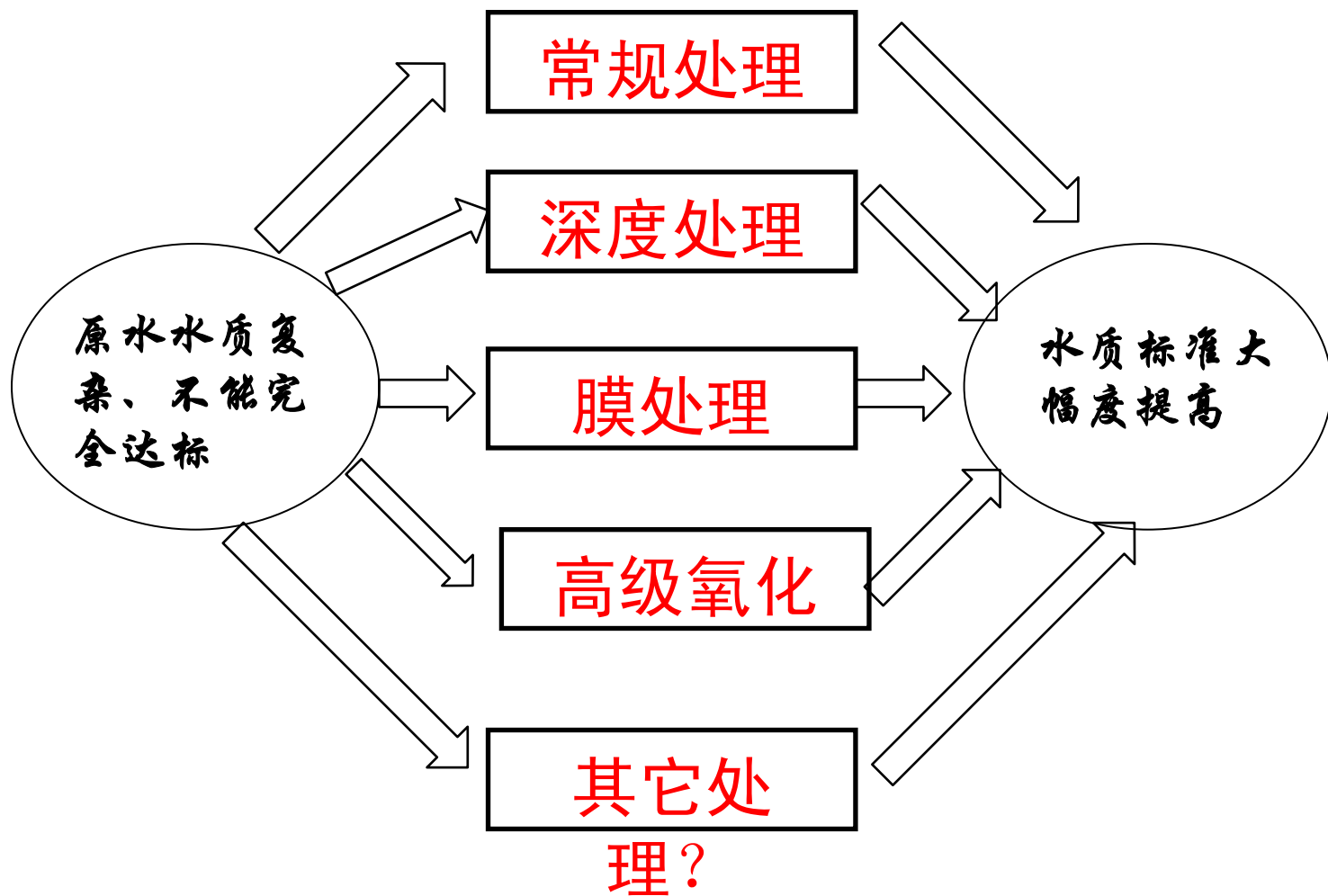
浑浊度: 3 度 → 1 NTU

总 α 放射性: 0.1 Bq/L → 0.5 Bq/L 。

新标准的特点

- ✓ 加强了对水质有机物、微生物和水质消毒等方面的要求
- ✓ 统一了城镇和农村饮用水卫生标准
- ✓ 实现了饮用水标准与国际接轨

条条大路通罗马还是自古华山一条路？



给水处理的目的

- ✓ 控制水传播致病微生物（原生动物、细菌、病毒等）
- ✓ 控制水中化学污染物（有毒物质和致癌、致畸、致突的“三致”物质）
- ✓ 提高水的舒适度（色、嗅、味和口感等）

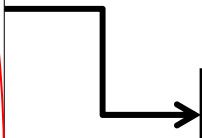
饮用水源中的主要污染物

- ✓ 有机物（耗氧量、TOC）
- ✓ 氨氮
- ✓ 微量有机物
- ✓ 致病微生物
- ✓ 藻类
- ✓ 嗅、味
- ✓ 其它污染物

典型工艺单元对水中污染物去除能力

尺寸(μm)	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁰	10 ¹		
近似分子量	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸
水中有机物的 相对尺寸或相 当分子量	难降解有机物 DDT PCBs等		多糖(淀粉、纤维素、果 胞外梅 胶)		细菌碎片		藻类、原生动物 有机碎片
	氮磷物 富里酸		脂肪酸 腐殖酸		菌胶团		
	糖类		蛋白质				
	氨基酸				细菌		
	烃类				病毒		
	亲水酸		粘土-腐殖质-金属复合物				
	形成BDOC 的主要有机物		具有胶体性质有机物				
	DOC				POC		
	生物处理 (主要去除分子 量小于1000的 亲水性有机物)		活性炭吸附 (主要去除分子 量小于3000的 憎水有机物和 三致物质)		混凝沉淀过滤 (去除率大于90%)		
			混凝沉淀过滤 (去除率约30%)				
备注	1. 水中大分子有机物的分子量和相对尺寸不同资料来源有差异 2. 生物处理对分子量>1000的有机物有一定去除, 但在给水处理中不是主要去除对象						

常规处理



优先优化和完善常规处理工艺

混凝 → 沉淀 → 过滤 → 消毒

传统工艺是目前世界上应用最广泛的处理工艺。对普通的悬浮物、胶体、浊度、微生物、大分子有机物等物质有较好的去除效果，被评为人类二十世纪二十大工程进展的第四位。

完善常规工艺的几个方面：

- ✓ 合适的混凝剂/絮凝剂
- ✓ 合适的GT。
- ✓ 合适的G值
- ✓ 足够的沉淀时间
- ✓ 合适的pH值
- ✓ 合适的混凝、反应、沉淀池型

强化混凝

以去除大分子有机物和消毒副产物前体物为目标。

- ✓ 低pH值 (6.3~6.5)
- ✓ 高剂量混凝剂

完善常规工艺的几个方面：

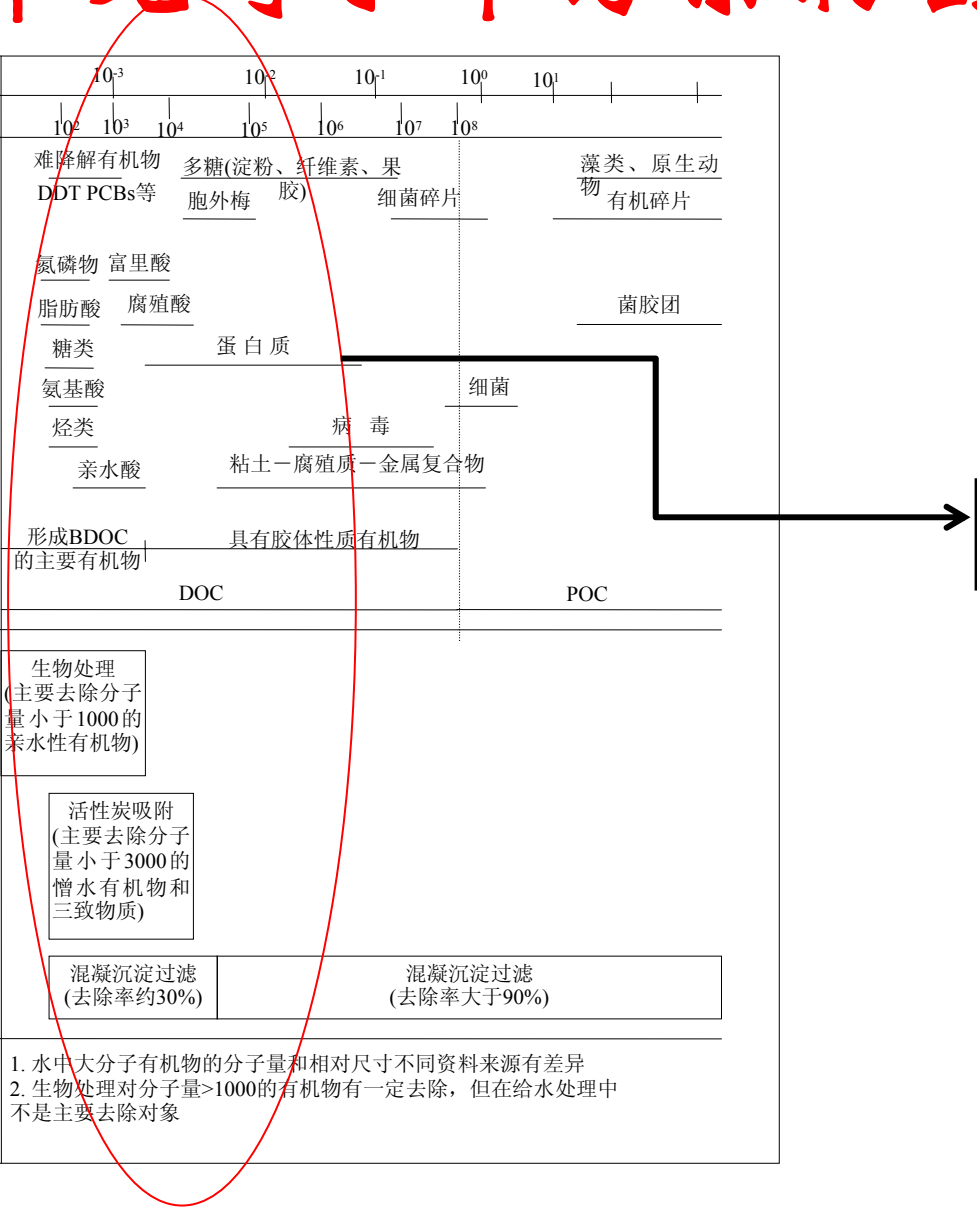
- ✓ 采用适宜的滤池。
- ✓ 优先采用气水反冲洗
- ✓ 采用微滤和超滤，
 - 保证出水浊度
 - 提高微生物安全性



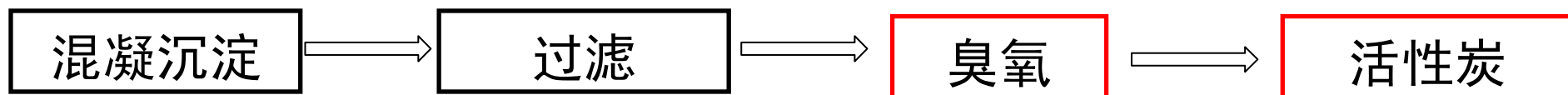
典型工艺单元对水中污染物去除能力

尺寸(μm)	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁰	10 ¹		
近似分子量	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸
水中有机物的 相对尺寸或相 当分子量	难降解有机物 DDT PCBs等	多糖(淀粉、纤维素、果 胞外梅 胶)	细菌碎片	藻类、原生动物 有机碎片			
	氮磷物 富里酸						
	脂肪酸 腐殖酸						菌胶团
	糖类		蛋白质				
	氨基酸						细菌
	烃类				病毒		
	亲水酸				粘土-腐殖质-金属复合物		
	形成BDOC 的主要有机物				具有胶体性质有机物		
		DOC			POC		
水处理工艺	生物处理 (主要去除分子 量小于1000的 亲水性有机物)						
	活性炭吸附 (主要去除分子 量小于3000的 憎水有机物和 三致物质)						
	混凝沉淀过滤 (去除率约30%)			混凝沉淀过滤 (去除率大于90%)			
备注	1. 水中大分子有机物的分子量和相对尺寸不同资料来源有差异 2. 生物处理对分子量>1000的有机物有一定去除, 但在给水处理中不是主要去除对象						

深度处理



深度处理工艺



臭氧活性炭的好处：

- 1) 臭氧分解大分子有机物，有利于活性炭吸附和生物降解。
- 2) 物理吸附与生物作用相结合，延长活性炭使用时间。
- 3) 能将有机物降解成二氧化碳和水，彻底去除污染物。
- 4) 对耗氧量、氨氮、臭味物质、微量有机物等均能有效去除。
- 5) 提高出厂水生物稳定性。
- 6) 臭氧有消毒作用，特别是对两虫有灭活作用。

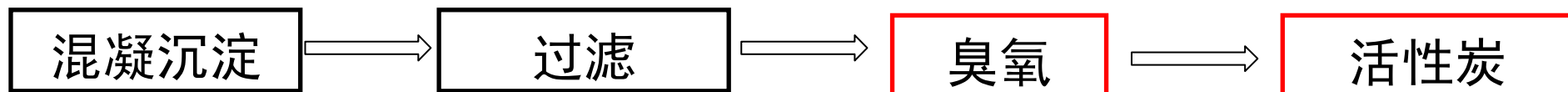
北京
 上海
 广州
 深圳
 杭州
 嘉兴
 平桐
 昆昆
 香港
 济南
 大连
 淮安
 北京
 海州
 圳州
 兴湖
 乡山
 明港
 南云
 港安



臭氧活性炭实例（广州南洲水厂）



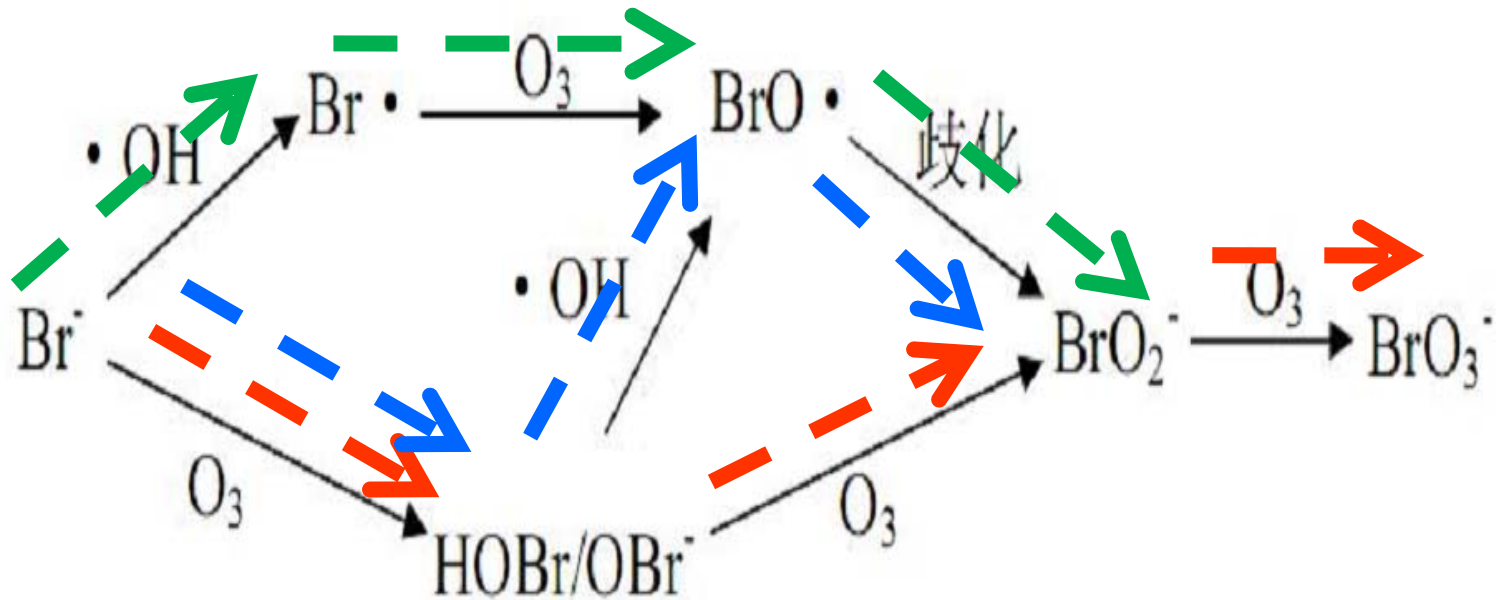
典型深度处理工艺存在的问题



1. 存在溴酸盐超标的风险
2. 存在微生物泄漏的风险

溴酸盐控制技术

臭氧化过程中溴酸盐生成途径

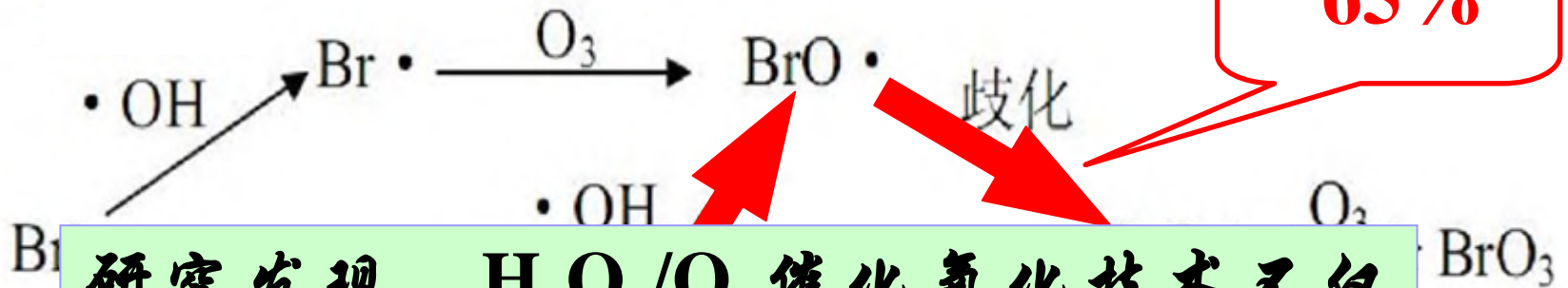


- 直接途径
- 直接-间接途径
- 间接-直接途径

溴酸盐控制技术

臭氧化过程中溴酸盐产生途径

65%

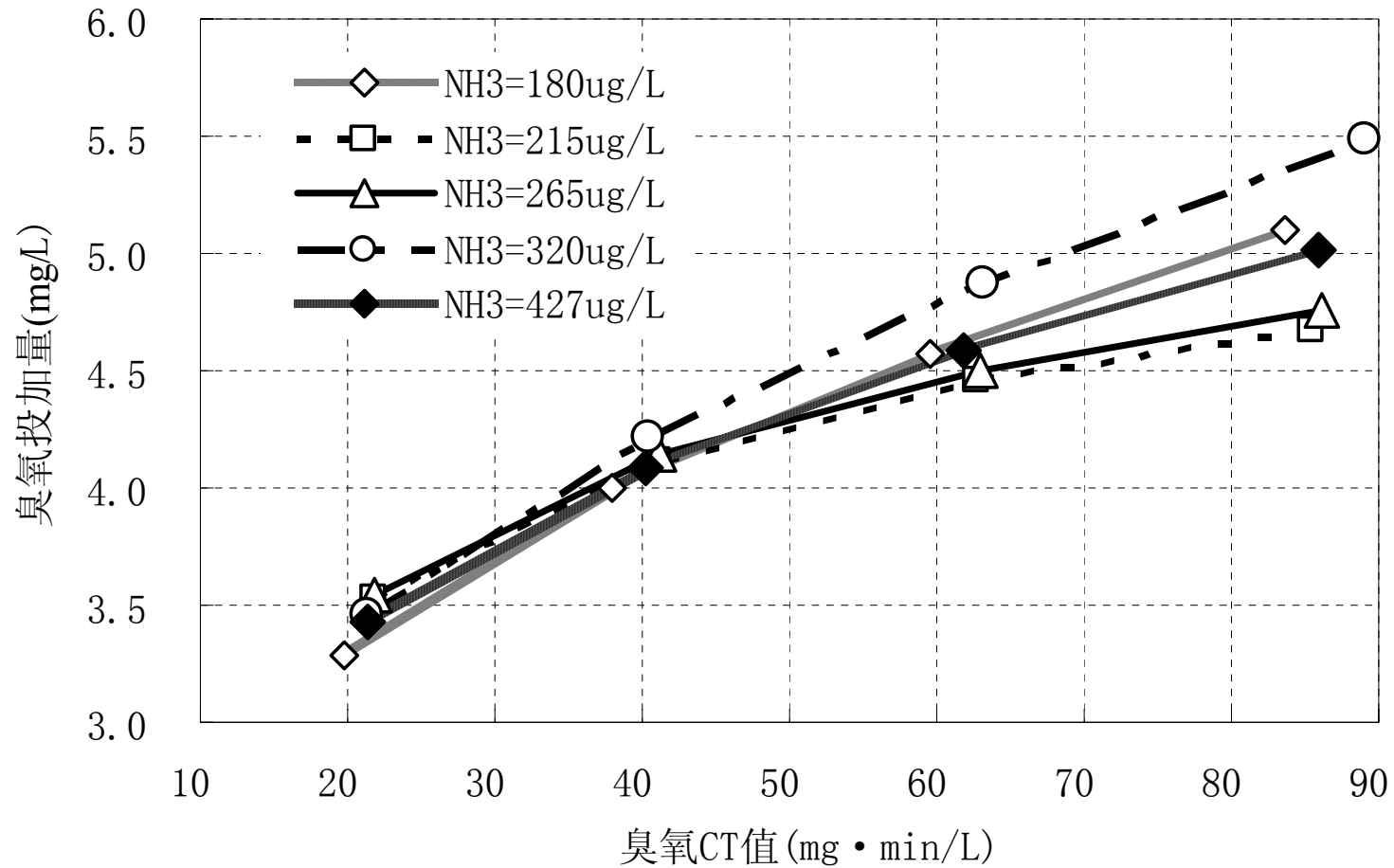


研究发现， $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ 催化氧化技术不仅可以促进 O_3 分解为 $\cdot\text{OH}$ ，从而提高有机物的去除效果，并且理论上可以抑制溴酸盐的生成。由于其**操作方便、成本低廉**，具有较大的应用潜力。

(滤后水, $T=20^\circ\text{C}$, $\text{pH}=8.1$, $[\text{Br}^-]_0=140 \mu\text{g/L}$,
 $[\text{O}_3]_0=4\text{mg/L}$)

溴酸盐控制技术

氨氮对溴酸盐的控制



溴酸盐控制技术

根据实验室与中试试验结果：

原水溴离子为 $100\mu\text{g/L}$ 左右，则当臭氧投加量为 $<2.5\text{mg/L}$ ，可将氨氮浓度提高至 0.1mg/L 以上，可控制溴酸盐在标准以内；当臭氧浓度大于 2.5mg/L ，需要投加 H_2O_2 来有效控制溴酸盐在标准以内。

当原水溴离子浓度上升到 $250\mu\text{g/L}$ 时，臭氧投加量大于 2mg/L ，投加氨氮不能有效控制溴酸盐在标准以内，需要投加 H_2O_2 。

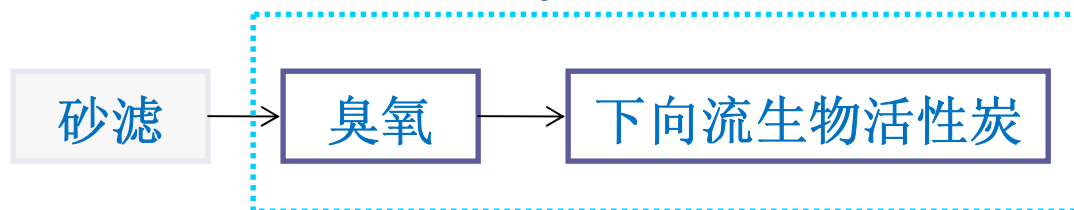
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0

臭氧投加量 (mg/L)

氨氮浓度和臭氧投加量对溴酸盐生成的影响

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

常规O₃-BAC工艺



存在的问题

细菌从炭床**脱落**进入出水

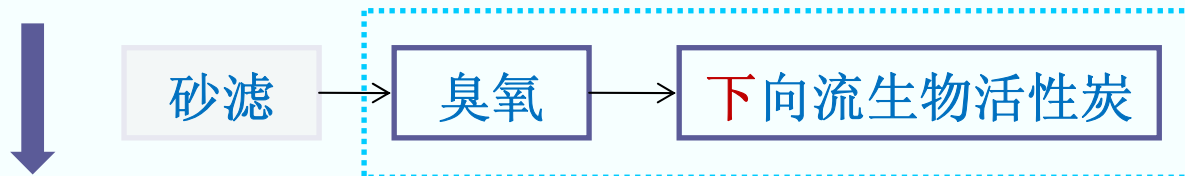
颗粒物随水流**流出**炭床

水头损失大，反冲洗**周期短**

传质条件差，活性炭**利用率低**

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

常规O₃-BAC工艺:



改进的O₃-BAC工艺:



出水 ←

进水 →



✓ 上向流可以减少水头损失、延长过滤周期、优化传质条件。

嘉兴贯泾港水厂采用上向流生物活性炭+砂滤工艺

• 砂滤出水、出厂水: 浊度 $\leq 0.1\text{NTU}$

• 砂滤出水: 大于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒数 $\leq 30\text{个}/\text{mL}$

有效保障了城市供水水质安全

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

上向流生物活性炭工艺

污染物去除效果

炭柱生物活性

出水微生物安全性

出水微生物群落

COD_{Mn}

DOC

浊度

生物量分布

微生物活性

颗粒物

微生物数量

微生物群落构成

优势菌属迁移规律

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

5种活性炭基本参数

活性炭型号	堆积密度 g/cm ³	孔隙率 %	颗粒密度 g/cm ³	比表面积 m ² /g	厂家
8×30目	0.41	65	1.16	888	泰兴一心
12×40目	0.39	67	1.21	889	泰兴一心
20×50目 (1)	0.43	68	1.33	853	泰兴一心
30×60目	0.34	77	1.46	902	泰兴一心
20×50目 (2)	0.47	68	1.48	972	山西华青

活性炭粒径级配测定

选用实验室现有10目、12目、14目、16目、24目、30目、32目、35目、42目、60目、80目的筛盘对五种活性炭进行筛分。

	8×30目	12×40目	30×60目	20×50目 (1)	20×50目 (2)
有效粒径d ₁₀ /mm	0.50	0.60	0.24	0.45	0.38
d ₆₀ /mm	1.34	1.13	0.48	0.64	0.51
不均匀系数	2.68	1.88	2.00	1.43	1.34

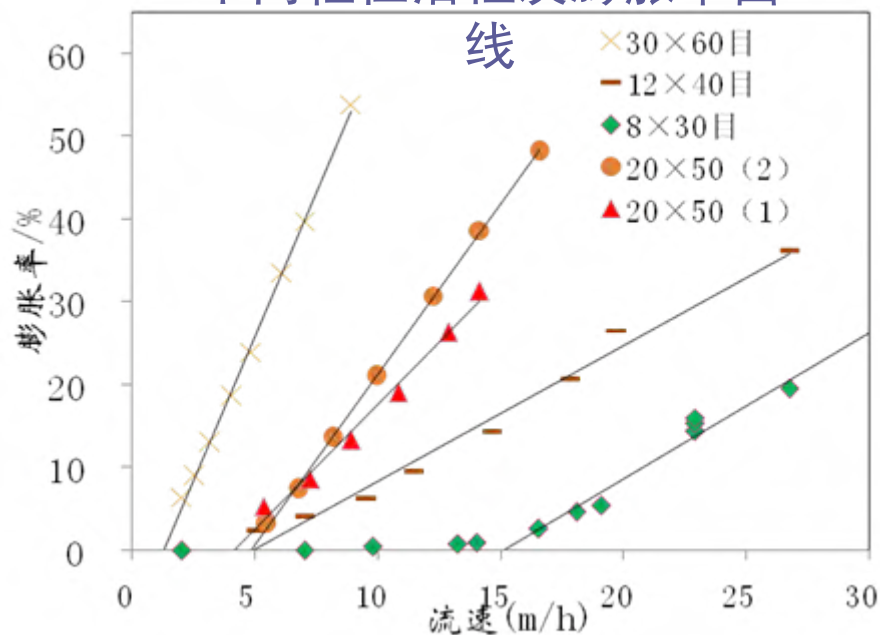
微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

测定5种炭（新炭）在不同流速下的炭柱高

5种炭的当量直径、最小流化速

炭型	8×30目	12×40目	20×50目 (1)	30×60目	20×50目 (2)
当量直径 d_e /mm	1.14	1.07	0.73	0.50	0.56
最小流化速度 (m/h)	15.1	4.9	4.1	1.3	4.8

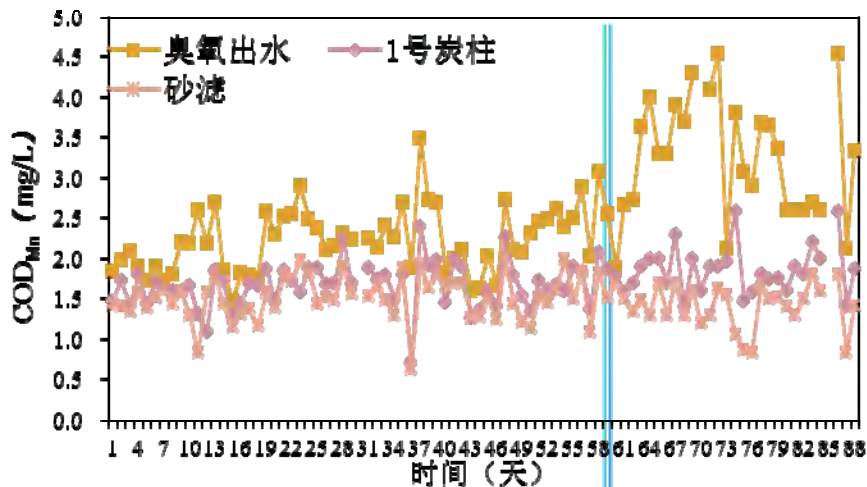
不同粒径活性炭膨胀率曲线



- 膨胀率与水流速度呈一次线性关系。
- 颗粒粒径越小，膨胀率越大。
- 颗粒粒径越小，膨胀率随水流速度增加越快，即左图的斜率越大。

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

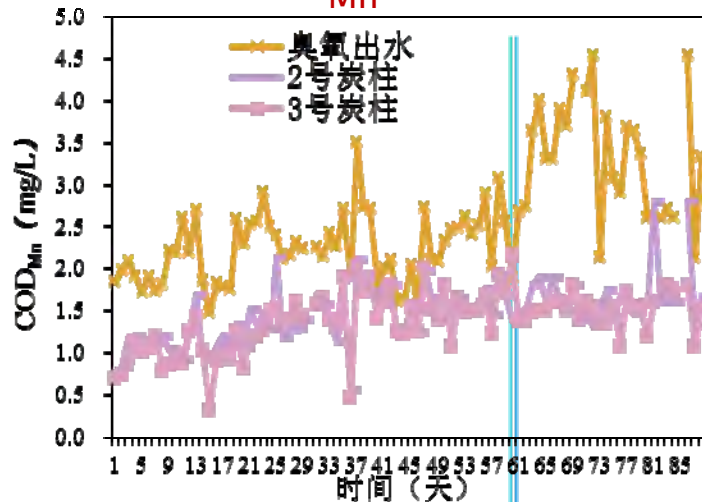
耗氧量 (COD_{Mn}) : 1号炭柱



温度 (°C)	5~20	20~30
COD _{Mn} 去除率 (%)	23.7	39.0

温度提高10-15°C, 1号炭柱耗氧量去除率提高了15%。

耗氧量 (COD_{Mn}) : 2号、3号炭柱



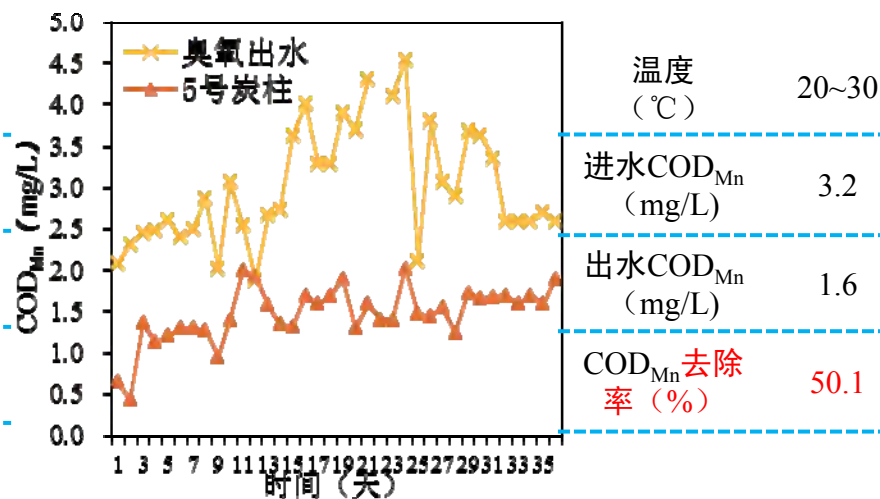
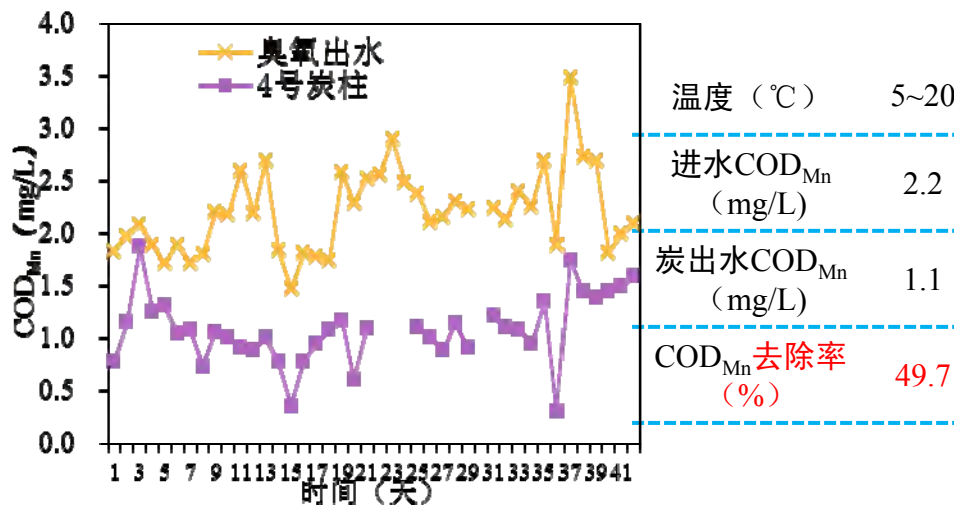
温度 (°C)	5~20	20~30
2号COD _{Mn} 去除率 (%)	38.1	46.8
3号COD _{Mn} 去除率 (%)	41.6	51.0

温度提高10-15°C, 2号和3号炭柱耗氧量去除率提高了约9%。

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

耗氧量 (COD_{Mn}) : 4号炭柱

耗氧量 (COD_{Mn}) : 5号炭柱



4号炭柱活性炭颗粒小, 吸附容量大, 未完全吸附饱和, 由于吸附作用在低温条件下即表现出很高的耗氧量去除率。

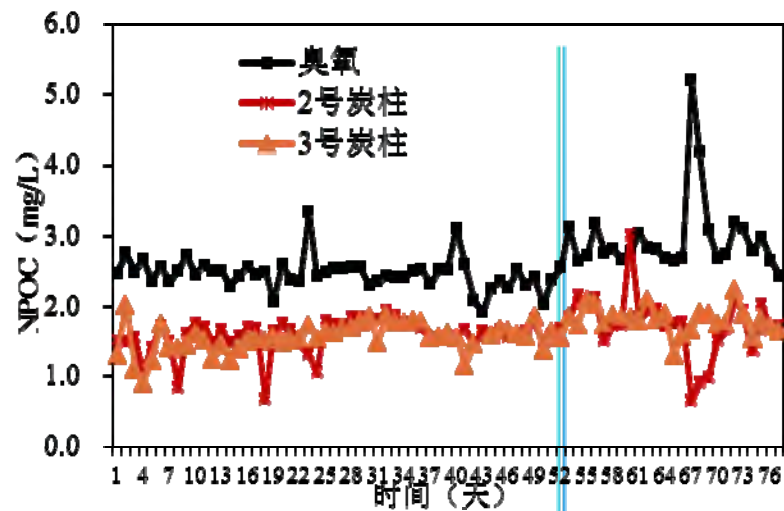
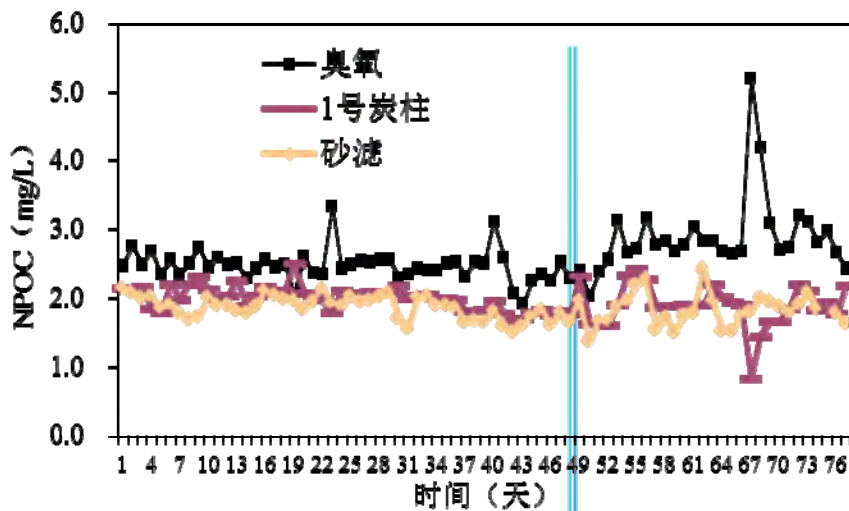
5号炭柱运行时间短, 运行初期平均去除率56.5%。连续运行1个月, 水温在20到30°C, 出水的耗氧量升高, 平均去除率降低到50.1%。

- 耗氧量去除率: 4号>3号>2号, 活性炭的颗粒越小, 去除率越高。
- 温度对活性炭的耗氧量去除率影响很大, 温度提高10-15°C, 2、3号炭柱耗氧量去除率提高了9%。

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

溶解性有机物DOC：1号炭柱

DOC：2号、3号炭柱



温度 (°C)	5~20	20~30
DOC去除率 (%)	19.0	32.7

温度 (°C)	5~20	20~30
2号DOC去除率 (%)	35.8	40.3
3号DOC去除率 (%)	36.7	37.1

温度提高10-15°C，1号炭柱DOC去除率提高了13.7%。

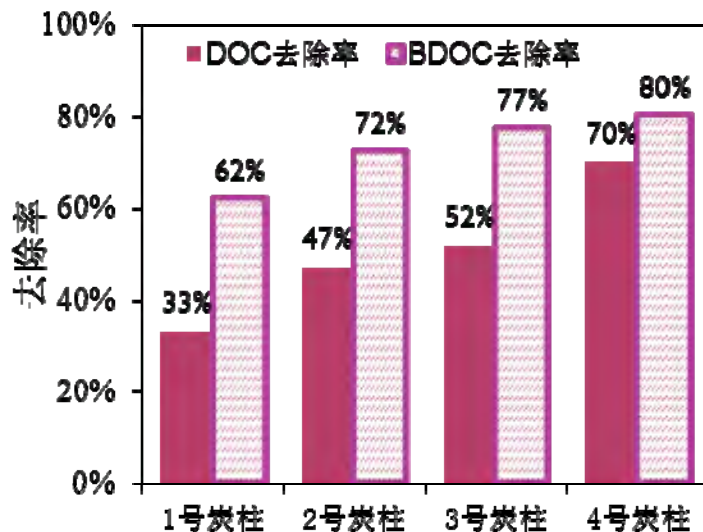
温度提高10-15°C，2号炭柱DOC去除率提高了4.5%。
3号炭柱对DOC去除率几乎没有改变

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

生物降解能力分析

- BDOC的去除率规律与DOC去除率保持一致。即2、3、4炭柱中，活性炭颗粒粒径越大，去除率越低。
- 1号炭柱运行时间久，活性炭吸附饱和度高，生物降解作用更为显著。而4号炭柱未吸附饱和，起主要作用的是吸附作用，生物降解作用较弱。

各炭柱DOC和BDOC去除率



各炭柱DOC和BDOC量分析

	DOC (mg/L)	BDOC (mg/L)	Δ DOC (mg/L)	Δ BDOC (mg/L)	Δ BDOC/ Δ DOC (%)
进水	2.9	1.0	—	—	—
1号炭柱	1.9	0.4	0.9	0.6	68
2号炭柱	1.5	0.3	1.3	0.8	56
3号炭柱	1.4	0.2	1.5	0.8	54
4号炭柱	0.9	0.2	2.0	0.8	42

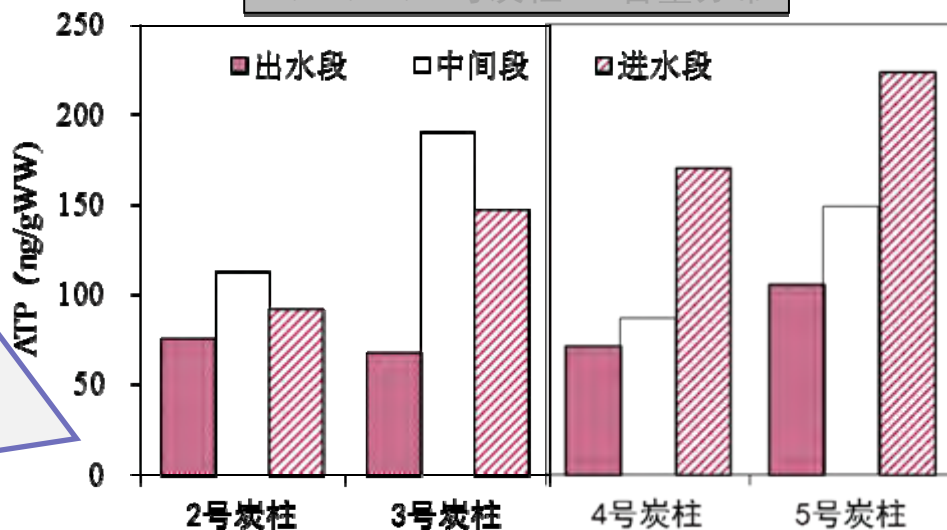
➤ Δ BDOC/ Δ DOC的比例可以视为生物降解作用在对有机物去除作用中的比重。值越高表明，生物降解能力越强。

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

各炭柱ATP分布

- 中部最高
- 出水段水中营养物质浓度低，不利微生物的生长。
- 进水段实际受到水的剪切力大，对细菌的生长有不利影响。

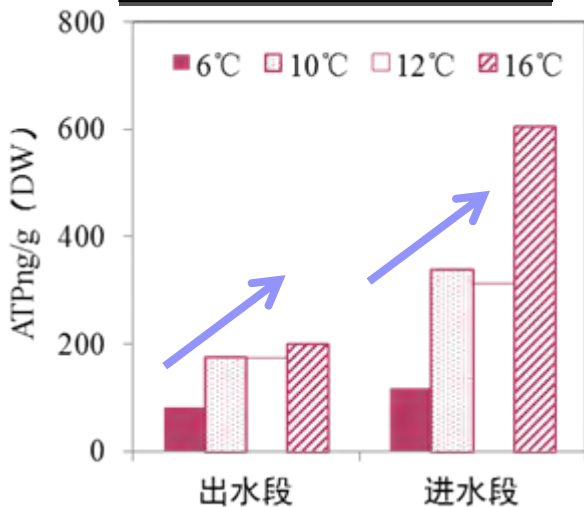
2、3、4、5号炭柱ATP含量分布



4号、5号炭柱吸附未饱和。

ATP含量沿进水方向逐渐降低。吸附未饱和的活性炭柱，底部最先吸附饱和，活性炭颗粒中吸附有机物会为吸附在外面的生物膜提供降解基质。

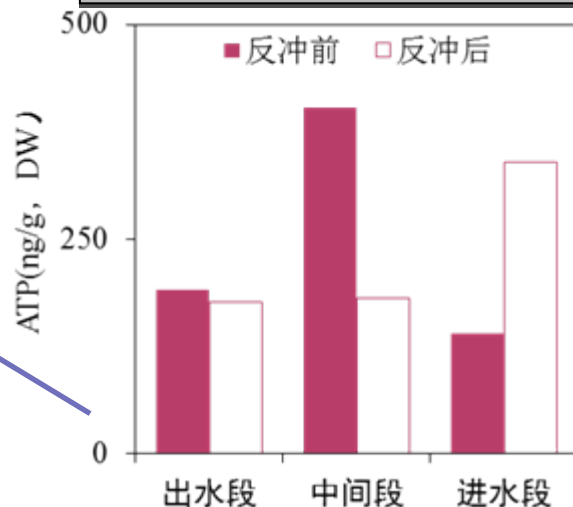
5号炭柱ATP随温度变化



随温度升高而增加。

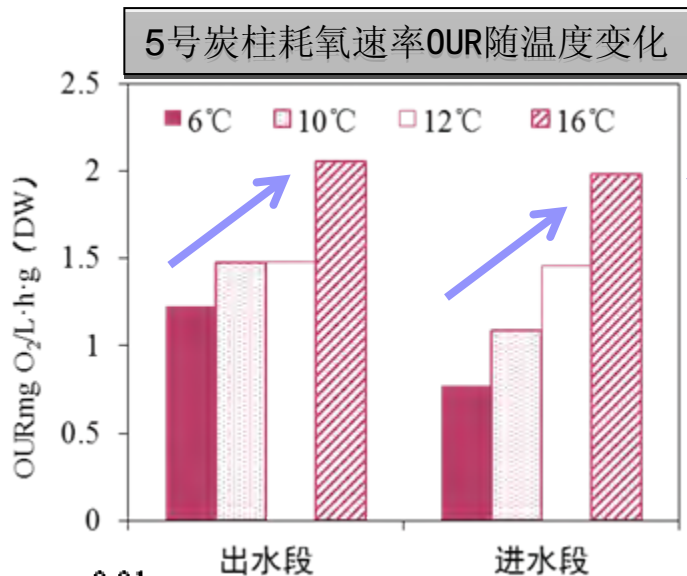
与HPC规律一致，反冲洗时，中上部的膨胀率较大，下部的膨胀率小，对进水处的悬浮微生物冲刷不明显。

5号炭柱ATP反冲洗前后的变化



微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

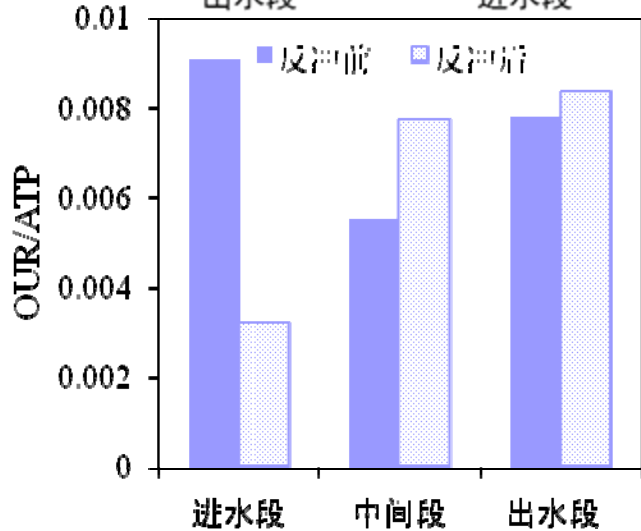
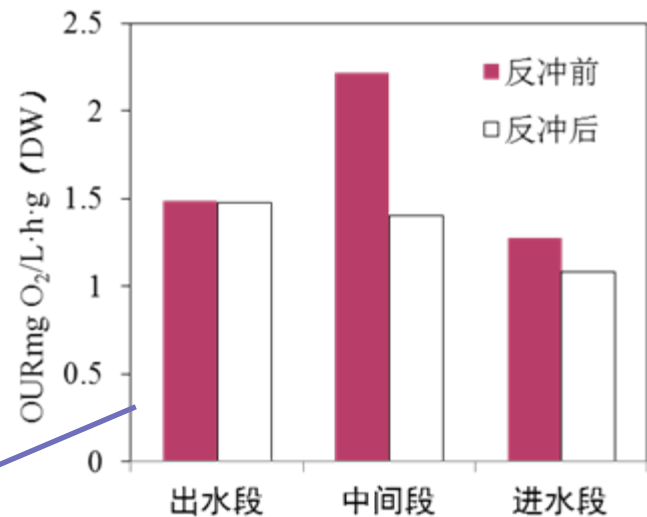
各炭柱OUR分布



随温度升高而增加。

各位置OUR均降低，且中部降低最显著。
与HPC和ATP规律不一致

反冲洗对5号炭柱耗氧速率OUR的影响



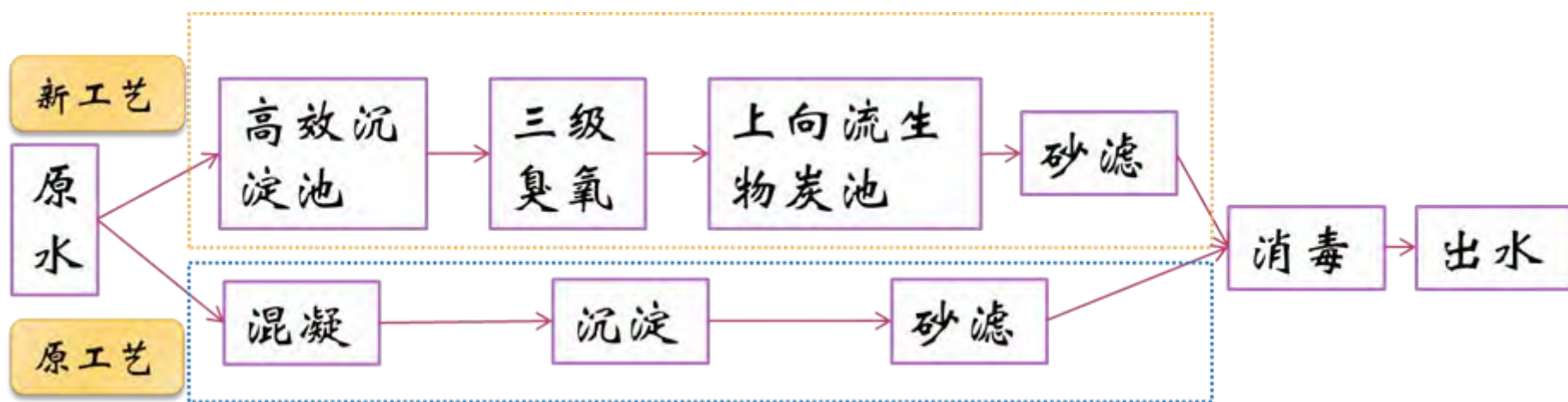
- 以OUR/ATP表征单位生物量的生物活性，可反映微生物的代谢强度。
- 反冲洗时，进水段生物膜受到剪切力破坏，导致进水段微生物代谢活性降低。
- 反冲后中间段和出水段，微生物代谢活性均增强。这是因为反冲洗冲掉了老化生物膜，强化了生物膜的新陈代谢，整体的生物代谢活性增强。

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

发现生物活性炭中传质不是限制性因素，生物降解是关键限制性因素。因此提出：

- 活性炭颗粒大小不是决定性因素，常用颗粒即可满足要求。
- 综合考虑去除效果和工程经济性，提出膨胀率10% ~ 20%的上向流微膨胀生物活性炭。

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

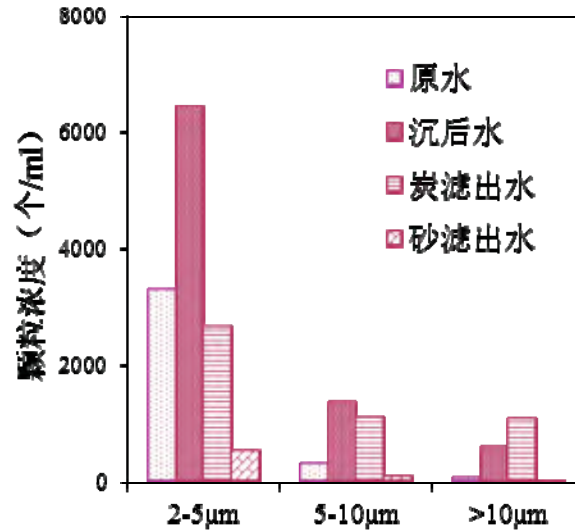
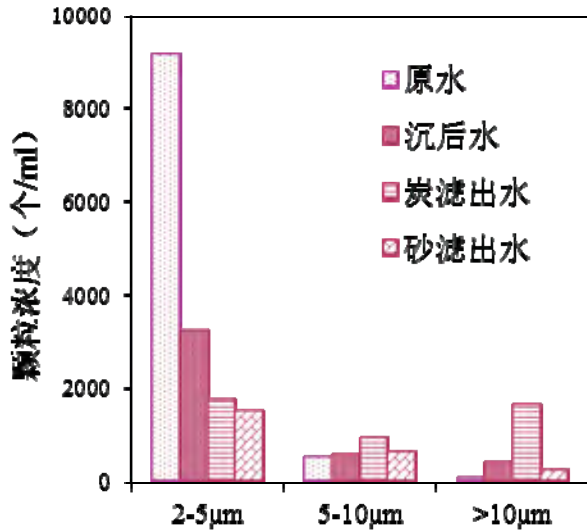


技术参数

	填炭型号	填炭高度	处理流量	流速	反冲周期	反冲方式
运行参数	20×50目	3m	4000m ³ /h	5.51m/h	15天	气冲

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

新工艺出水颗粒粒径分布



出水颗粒物分析

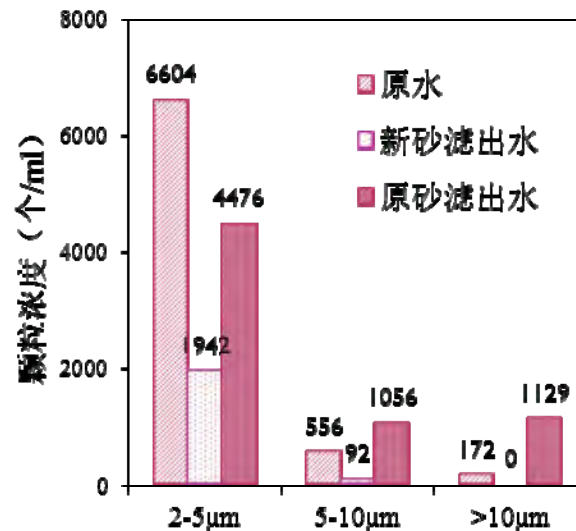
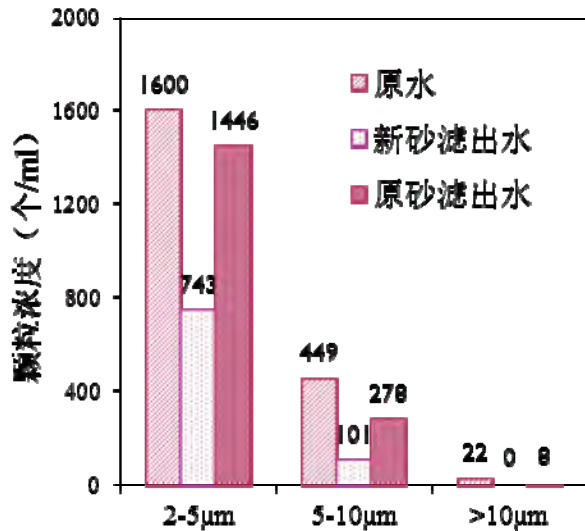
整个工艺颗粒物去除率：
(沉淀、炭滤和砂滤)

隐孢子虫卵囊尺寸
(2-5 µm)

贾第虫孢囊尺寸

(5~10 µm)

新工艺与老工艺砂滤出水颗粒粒径分布



• 其中对~~80%~~去除率贡献最大的工艺单元是砂滤。

• 新工艺更能有效地去除各粒径范围内的颗粒物，降低了“两虫”出现的风险，保障了出水的安全。

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

原水及各工艺单元出水微生物指标

	细菌总数 (cfu/ml)	大肠菌群 (cfu/100ml)	HPC (cfu/ml)
原水	8700	8500	156200
沉后水	28000	6400	7500
炭滤出水	2900	4500	97000
砂滤出水	60	1420	35400

新工艺和原工艺砂滤出水微生物指标

	细菌总数 (cfu/ml)	大肠菌群 (cfu/100ml)	HPC (cfu/ml)
新砂滤出水	100	615	800
原砂滤出水	380	1300	3100

整个工艺流程对细菌总数的去除率达2.2log，对大肠菌群的去除有0.78log，其中去除率最高的工艺单元是砂滤。

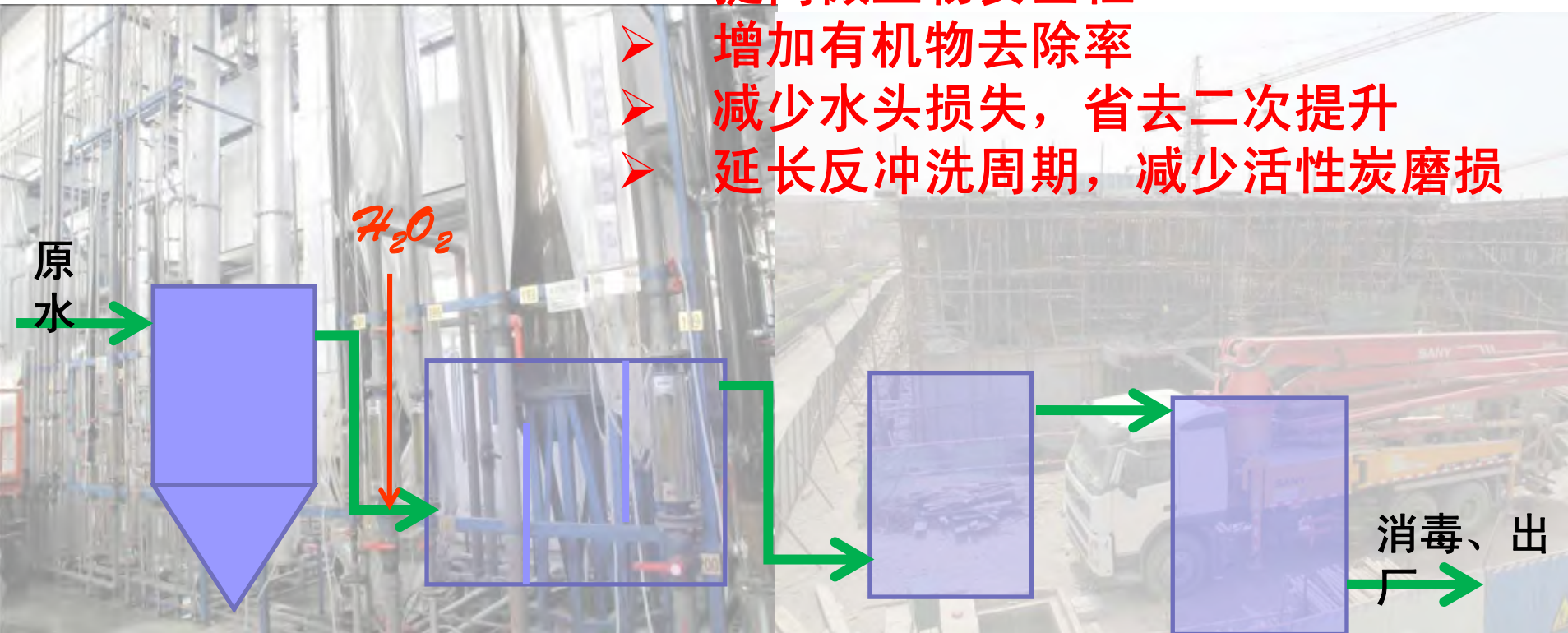
通过炭滤，异养菌数量增加了12倍，经过砂滤后，异养菌数量下降，砂滤对异养菌的去除率约0.4log。

原工艺砂滤出水的细菌总数、大肠菌群和异养菌均高于新工艺。

微生物泄漏控制—向上流生物活性炭

- 臭氧-上向流微膨胀床生物活性炭-均质滤料过滤工艺
- 已在济南建设了20万m³/d示范工程

- 提高微生物安全性
- 增加有机物去除率
- 减少水头损失，省去二次提升
- 延长反冲洗周期，减少活性炭磨损



中置式高密度澄清池

三段式臭氧接触池

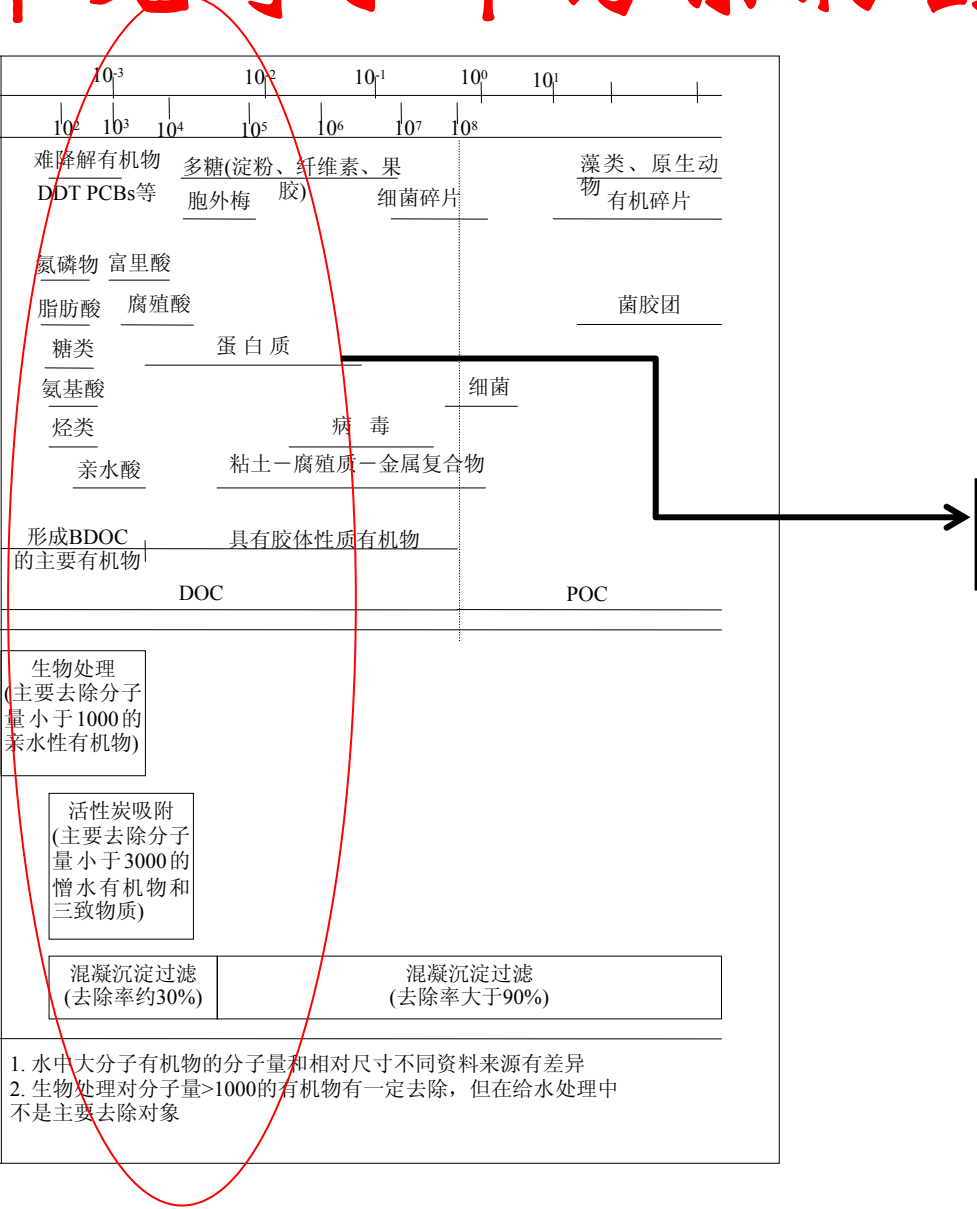
上向流微膨胀床生物活性炭池

V型滤池

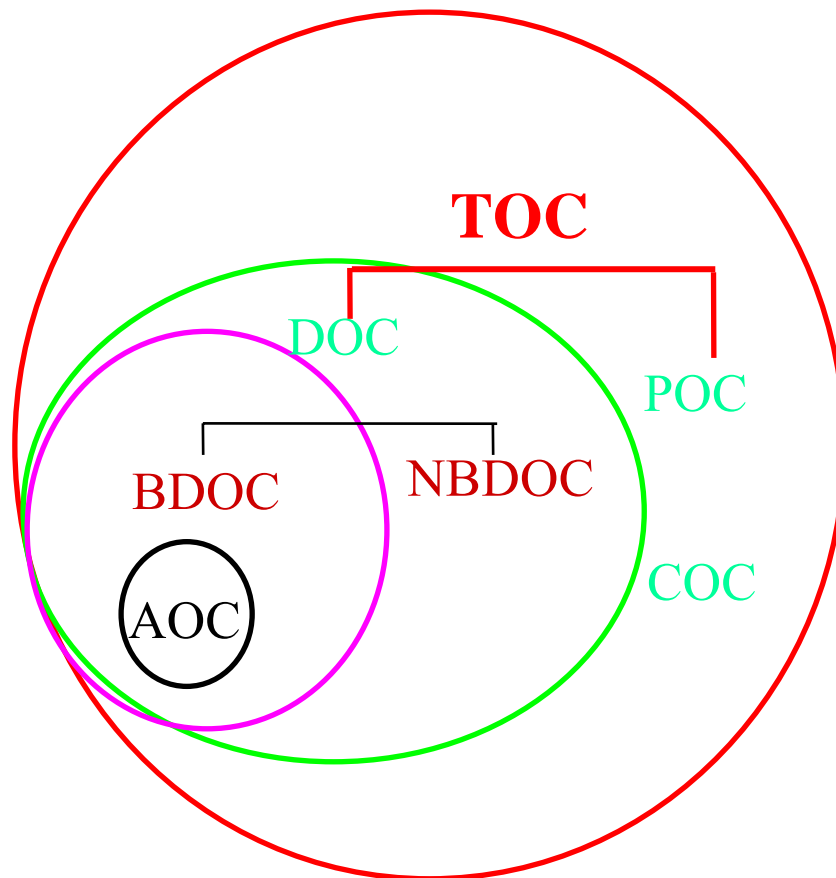
典型工艺单元对水中污染物去除能力

尺寸(μm)	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁰	10 ¹		
近似分子量	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸
水中有机物的 相对尺寸或相 当分子量	难降解有机物 DDT PCBs等	多糖(淀粉、纤维素、果 胞外梅 胶)	细菌碎片	藻类、原生动物 有机碎片			
	氮磷物 富里酸						
	脂肪酸 腐殖酸				菌胶团		
	糖类	蛋白质					
	氨基酸				细菌		
	烃类			病毒			
	亲水酸		粘土-腐殖质-金属复合物				
	形成BDOC 的主要有机物		具有胶体性质有机物				
		DOC			POC		
	水处理工艺	生物处理 (主要去除分子 量小于1000的 亲水性有机物)					
活性炭吸附 (主要去除分子 量小于3000的 憎水有机物和 三致物质)							
混凝沉淀过滤 (去除率约30%)			混凝沉淀过滤 (去除率大于90%)				
备注	1. 水中大分子有机物的分子量和相对尺寸不同资料来源有差异 2. 生物处理对分子量>1000的有机物有一定去除,但在给水处理中不是主要去除对象						

其它处理



不可生物降解部分的去除

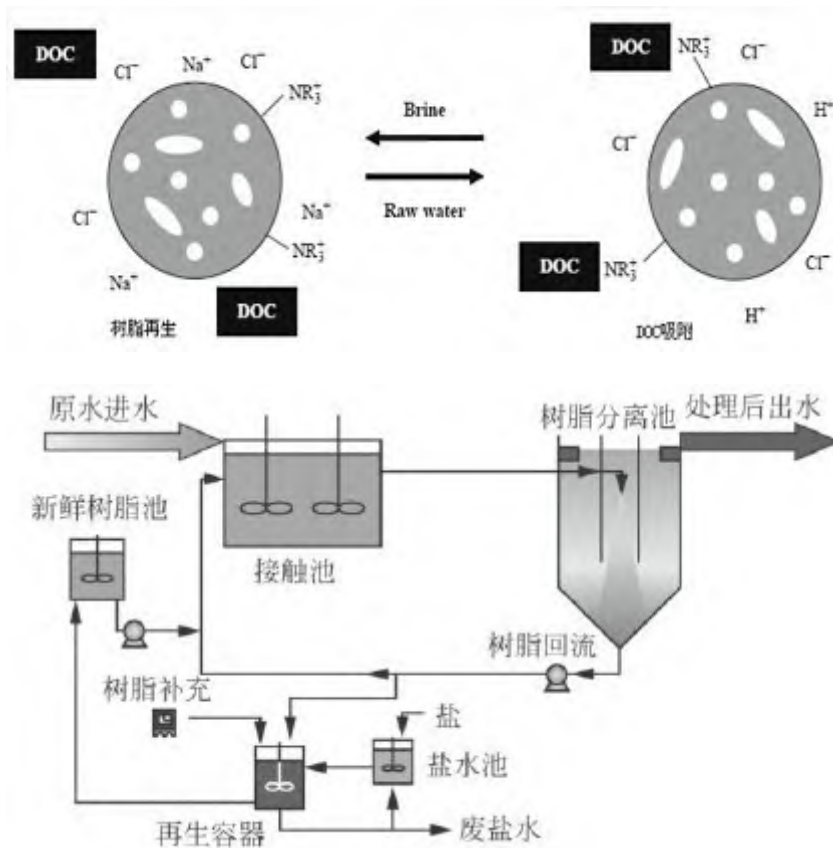


磁性离子交换树脂 (MIEX)

- 水中能进行阴离子交换反应的DOC约占60%~90%
- 带负电的DOC与树脂表面的Cl⁻交换
- 质量分数为10%的NaCl溶液将DOC从树脂上置换下来

MIEX树脂工艺过程一般包括三个阶段:

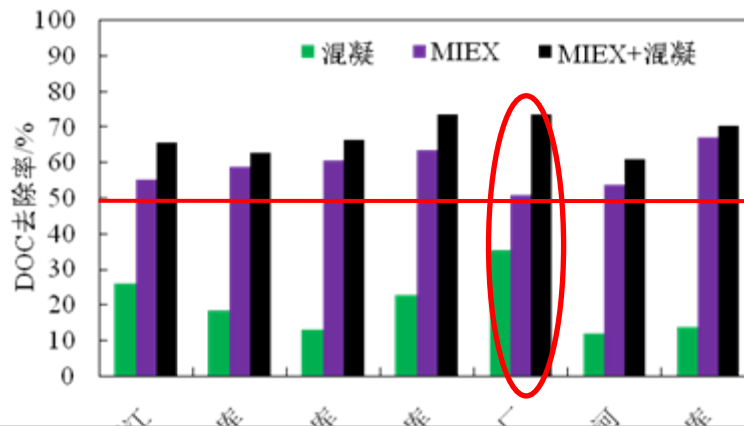
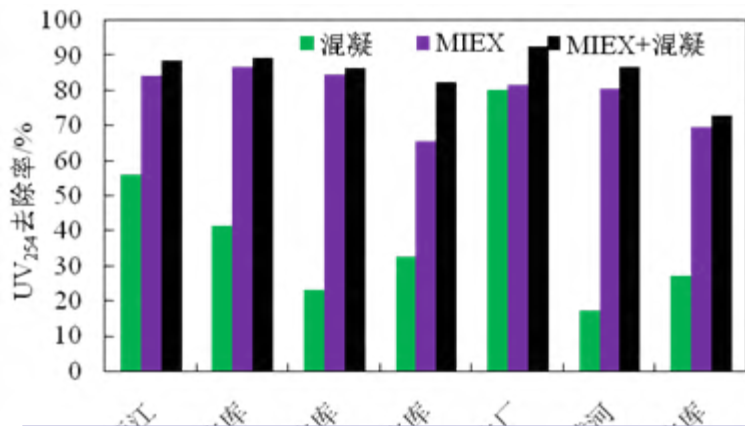
- 接触反应阶段
- 分离循环阶段
- 树脂再生阶段



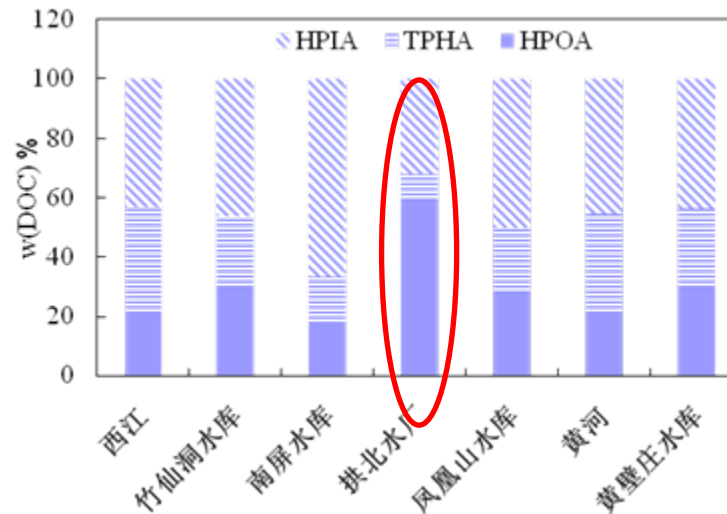
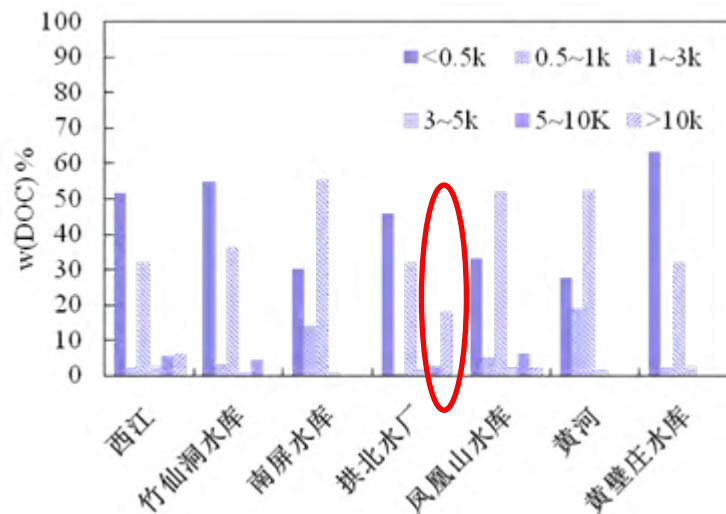
磁性离子交换树脂 (magnetic ion exchange resin) 交换能有效地去除水中的溶解性有机物, 该技术多次获得国际性的饮用水处理优秀科技发明奖, 被誉为“**未来50年饮用水处理最好的模式**”和**未来饮用水四大核心技术之一**

磁性离子交换树脂 (MIEX)

对有机物的去除效果



MIEX树脂对DOC的去除率在50%以上，UV₂₅₄的去除率在70%左右，MIEX树脂联合混凝工艺可以强化对有机物的去除效果。



江苏淮安自来水MIEX处理工艺



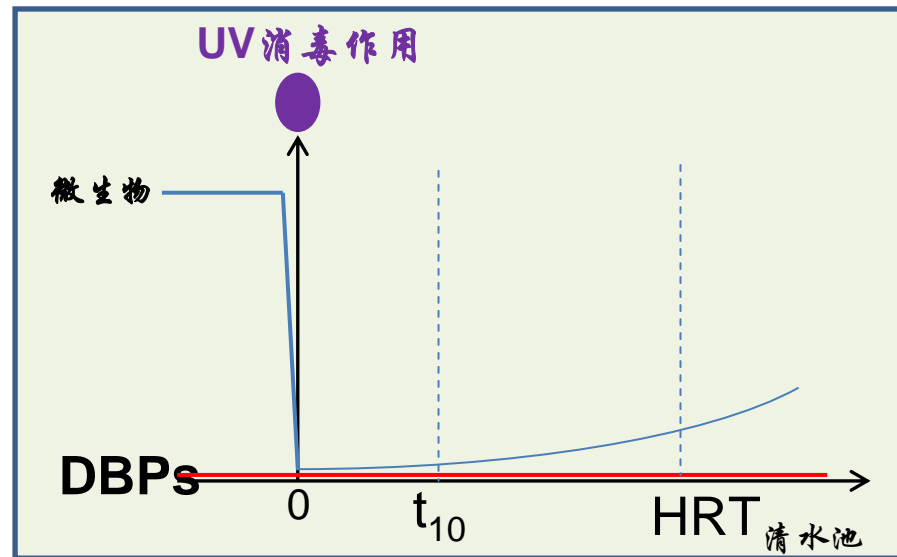
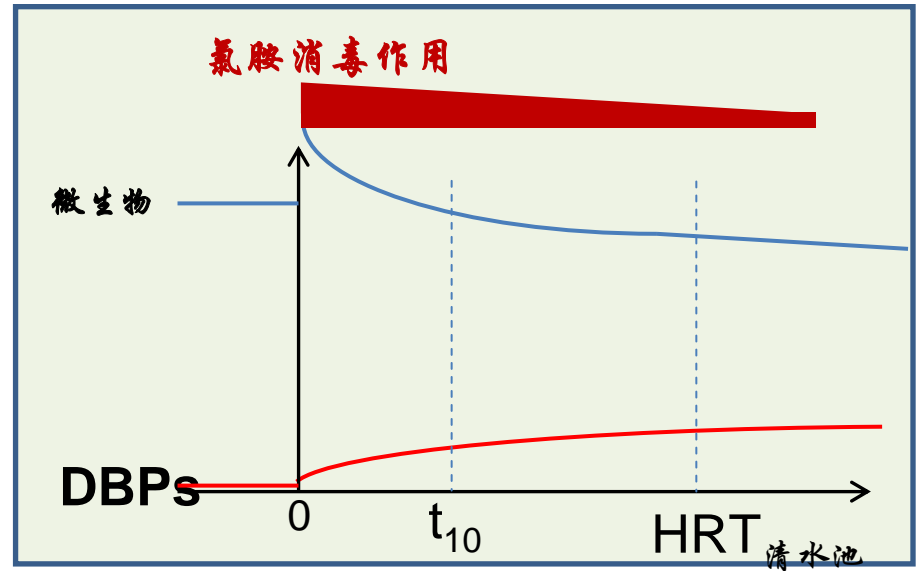
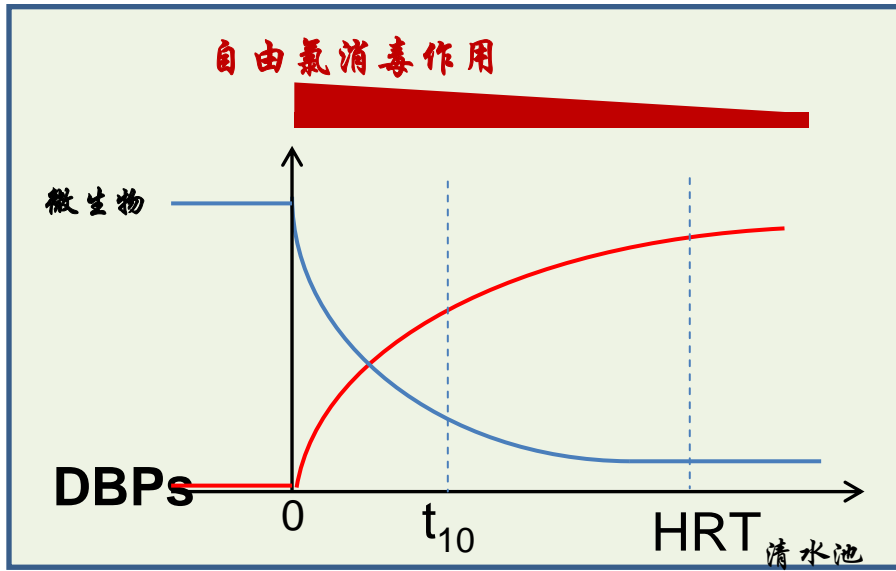
江苏淮安自来水MIEX处理工艺



江苏淮安自来水MIEX处理工艺



安全消毒工艺选择



氯和氯胺消毒效果比较

比灭活率常数表

	HOCl	OCl ⁻	NHCl ₂	NH ₂ Cl
α	120	5.0	0.84	0.12

pH: 7.0, 20 °C, 埃希氏大肠杆菌 (*E. coli*), 99%灭活率

HOCl消毒效率是OCl⁻的24倍，NHCl₂的143倍

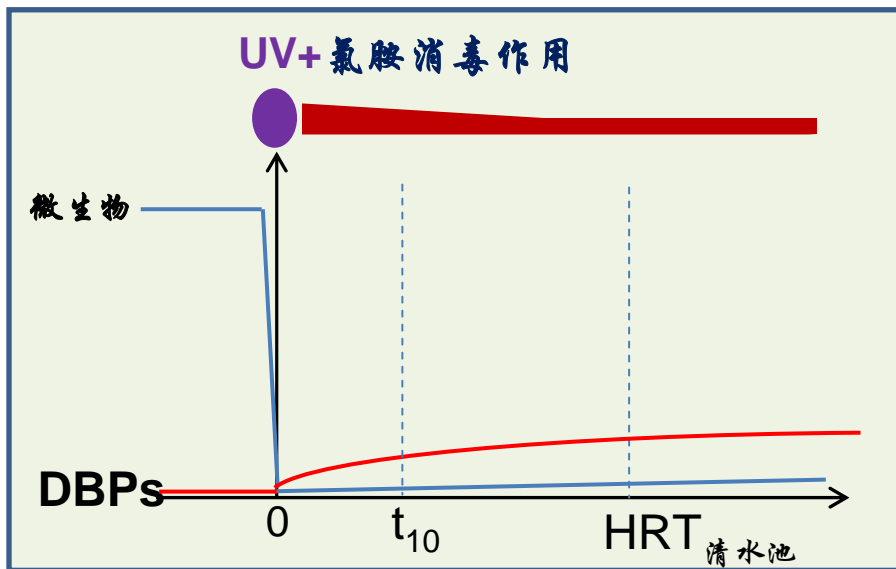
ct值在设计消毒单元工艺的作用

C: 余氯 (mg/L), t: 反应时间 (min),

Ct值决定了消毒效果, 因此, 为控制水中病原微生物, 达到饮用水水质要求, 设计和运行消毒单元工艺时Ct必须达到一定的要求。

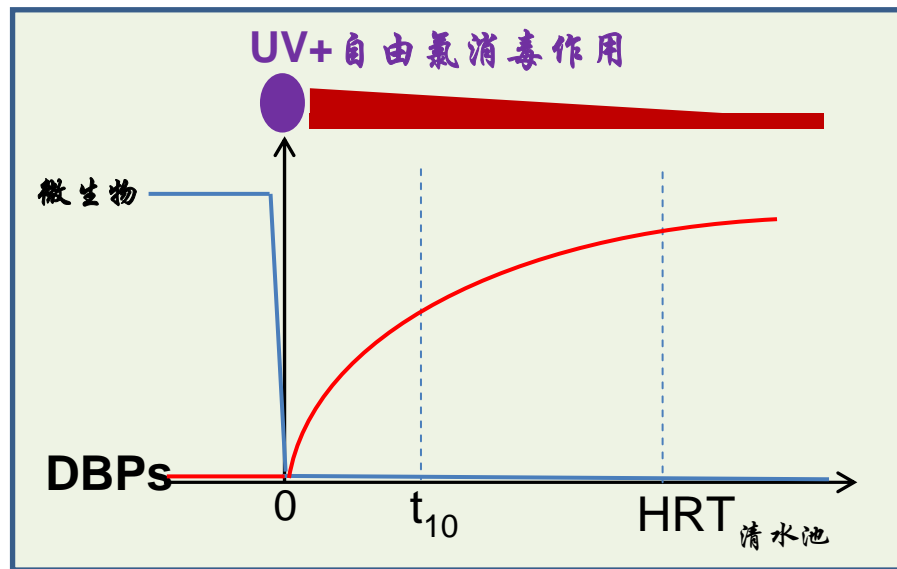
安全消毒工艺选择

紫外线消毒与氯/氯胺消毒联合



UV+氯胺消毒:

较为理想的组合方式。



UV+自由氯消毒:

DBPs生成量仍是问题。



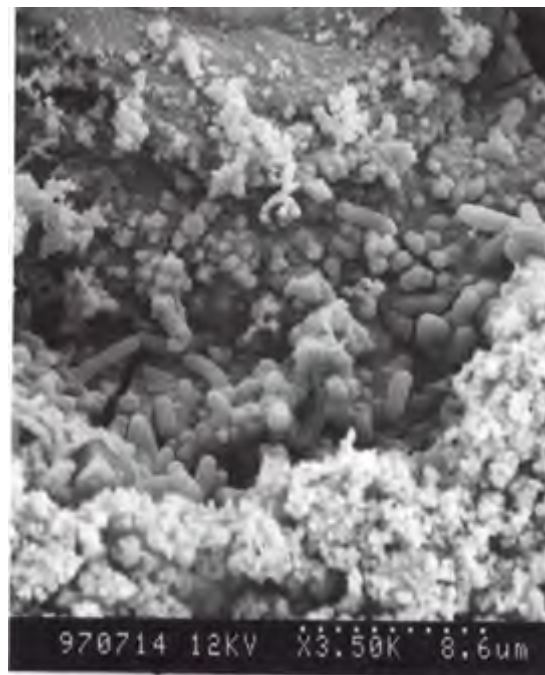
降低加氯量以减少DBPs的生成。

在我国采用紫外线消毒的必要性

必要性1：我国水源普遍氨氮较高，采用氯消毒时先转化为氯胺，存在多种问题。

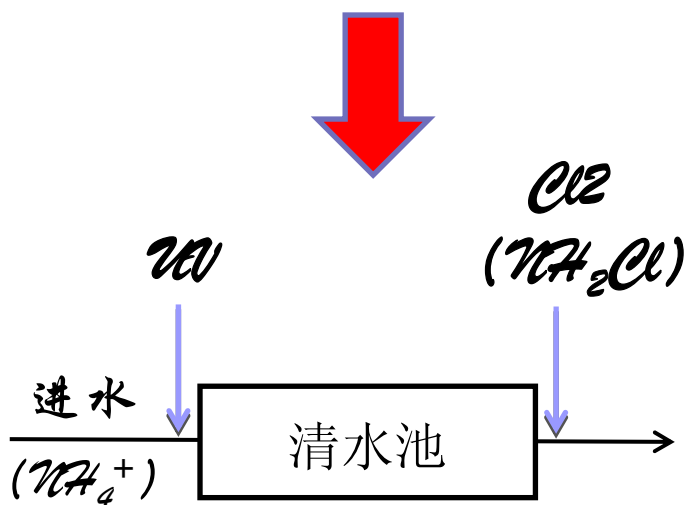
- 1) 氯直接转化为氯胺，消毒效果下降，管网水微生物风险大。
- 2) 若采用折点加氯，耗氯量大，增加消毒副产物生成量，且易生成含氮消毒副产物。
- 3) 管网中微生物生长较多。

✓ 根据《中国环境状况公报》，我国地表水中主要污染物是化学耗氧量和氨氮。



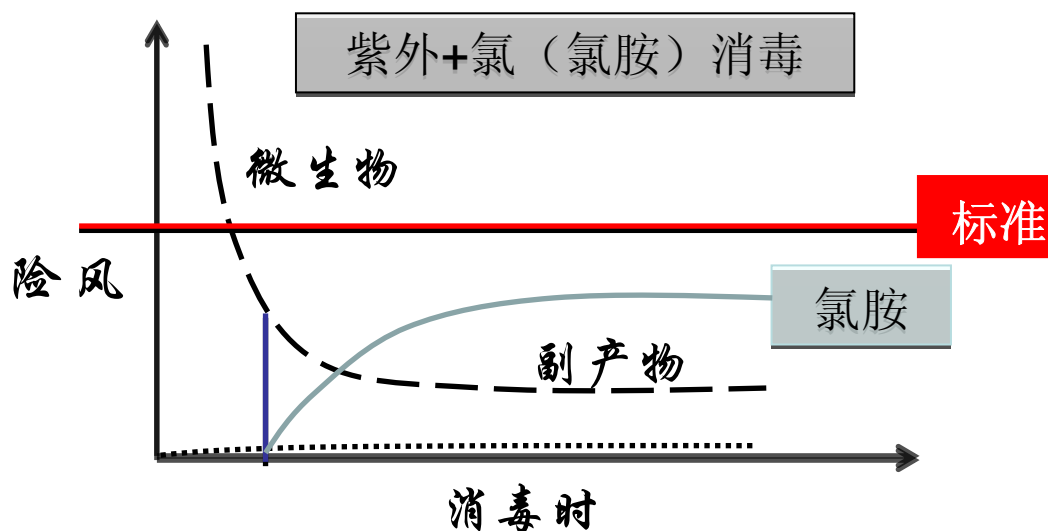
在我国采用紫外线消毒的必要性

必要性1：我国水源普遍氨氮较高，采用氯消毒时先转化为氯胺，存在多种问题。



采用紫外线—氯（氯胺）消毒：

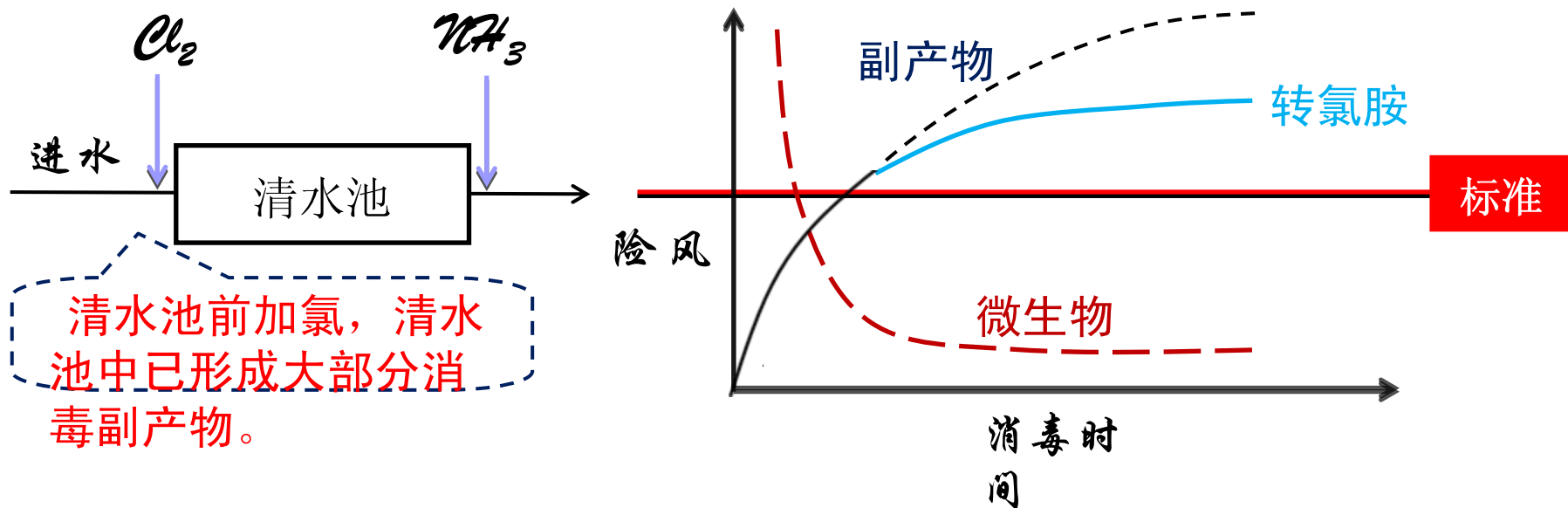
- 1) 紫外线保障消毒效果
- 2) 耗氯量降低，副产物显著减少。
- 3) 不需加氨。



在我国采用紫外线消毒的必要性

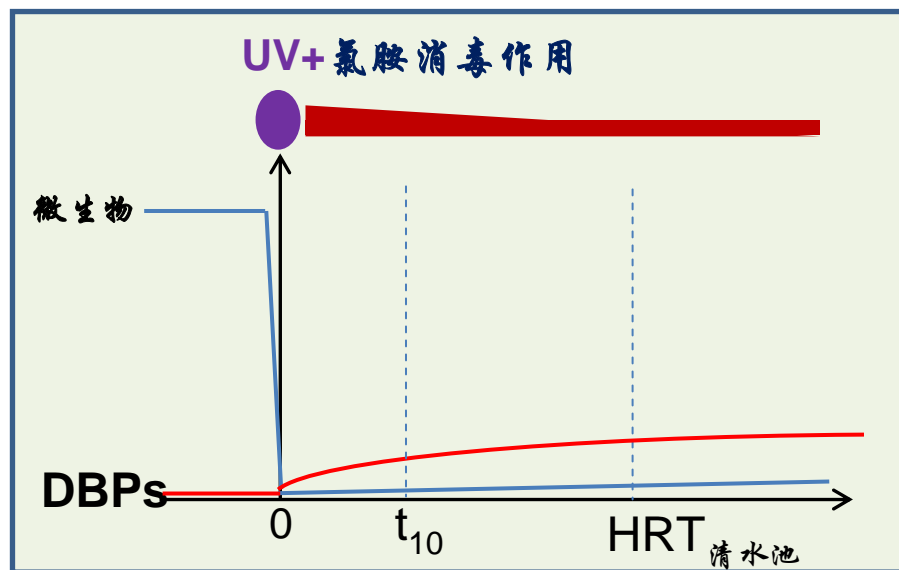
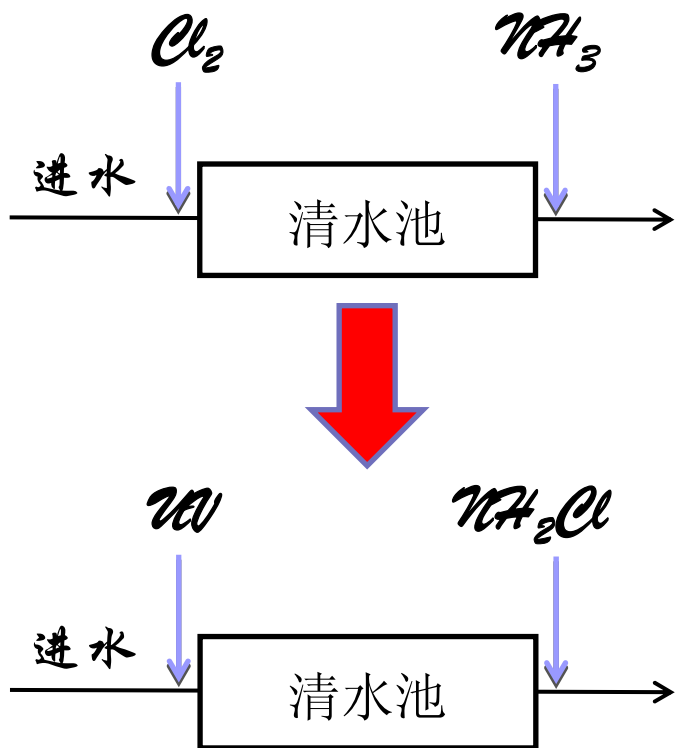
必要性2：水源中氨氮较低时，采用氯转氯胺消毒不能有效控制消毒副产物。

✓ 抗氯性微生物不能灭活



在我国采用紫外线消毒的必要性

必要性2: 水源中氨氮较低时, 采用氯转氯胺消毒不能有效控制消毒副产物。



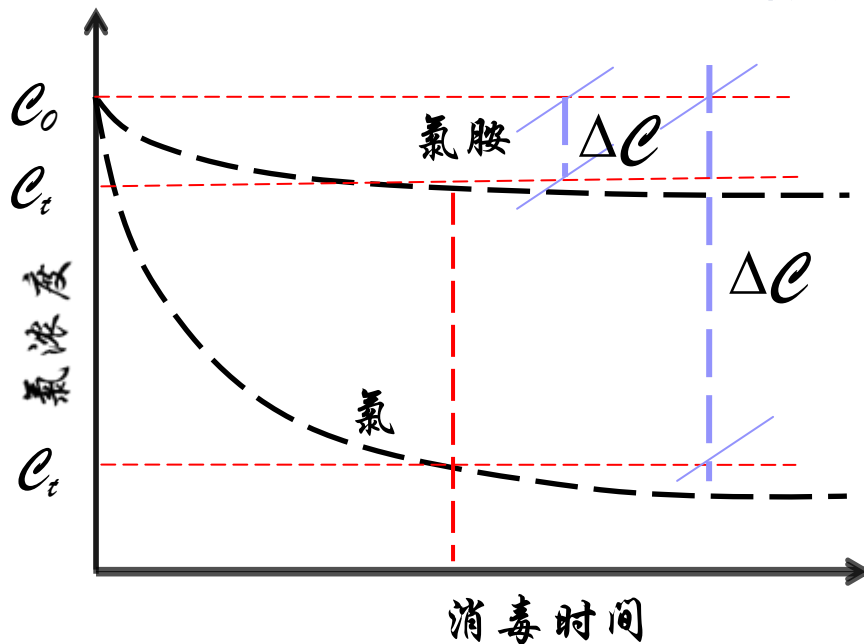
在我国采用紫外线消毒的必要性

必要性3: 因公共安全考虑，液氯转换为次氯酸钠，消毒效果不足，成本增加。

使用次氯酸钠消毒的问题：

- 1) 运输量显著加大 (NaClO浓度通常为10% (w/w))；
- 2) pH偏碱性，影响消毒效果。
- 3) 运行成本显著增加 (约为液氯的4~5倍)。

耗氯量 $\Delta c = c_0 - c_t$



✓ 紫外线不能改变需氯量，但紫外线可降低对后续氯消毒的要求，可以显著降低加氯量，使NaClO代替液氯更可行。

在我国采用紫外线消毒的必要性

必要性4：村镇供水系统适于采用紫外线消毒

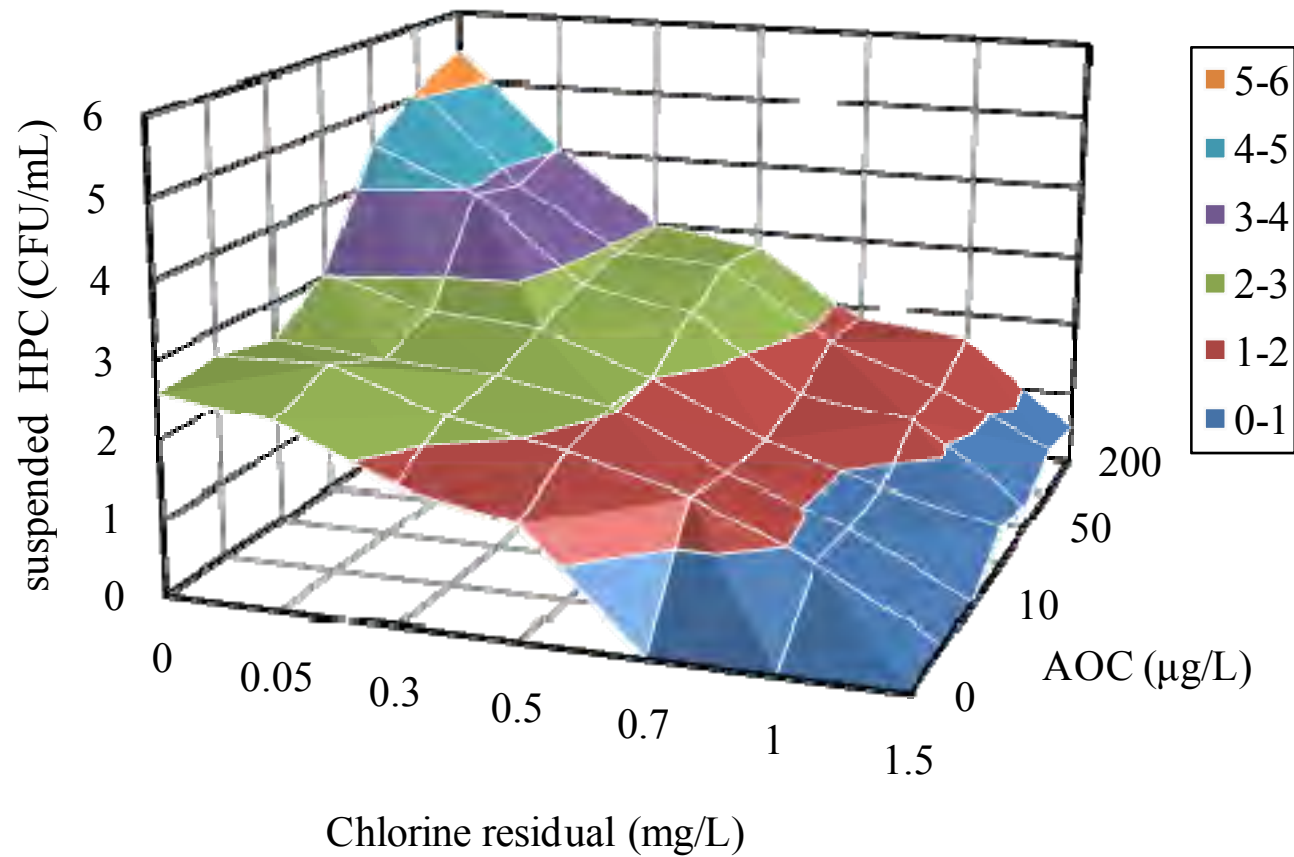
村镇等小规模供水系统：

- 1) 大部分没有消毒系统
- 2) 臭氧及加氯消毒系统管理复杂，大部分没有正常运行。
- 3) 现有化学性消毒系统存在一定的安全隐患

使用紫外线消毒具有优势：

- 1) 运行管理方便
- 2) 因原水通常为地下水，供水管网系统小，AOC低，因此可以不用在管网中补充消毒剂。
- 3) 系统安全性高。

紫外线消毒后管网水质稳定性条件



水厂达标改造或新建工艺急需引导

- ✓ 水厂改造的工艺选择必须有依据。
- ✓ 应优先发挥常规处理工艺的作用
- ✓ 应该充分总结现有新工艺的工程实践经验。
- ✓ 综合考虑水源情况、水质目标和现有工艺现状，避免一窝蜂和一刀切。
- ✓ 工艺选择应该有一定的前瞻性，同时遵循可靠、安全、易运行、易管理的原则。

建设部《城镇供水设施建设和改造指南》

水厂工艺设计原则思考

- ✓ 水质安全优先
- ✓ 工艺单元互补
- ✓ 经济成本合理
- ✓ 运行管理方便

谢谢大家！