

超滤膜处理微污染饮用水技术的理论和实践

张锡辉（教授，博导）

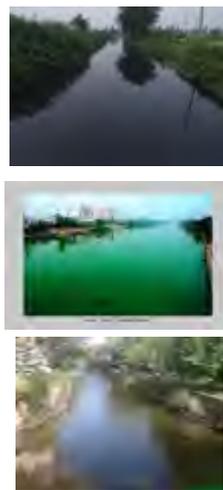
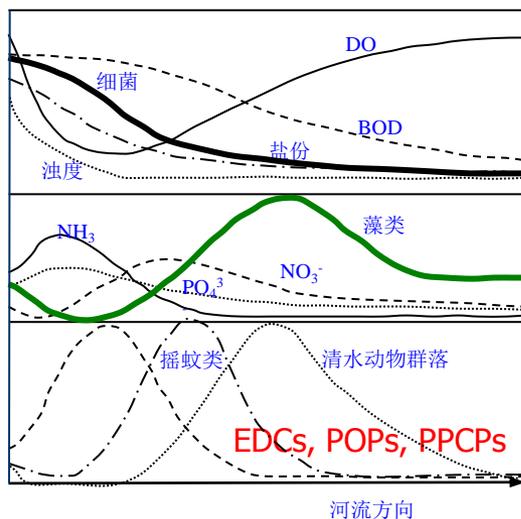
清华大学·深圳研究生院



二〇一三年六月

I、微污染及其与膜处理的关系

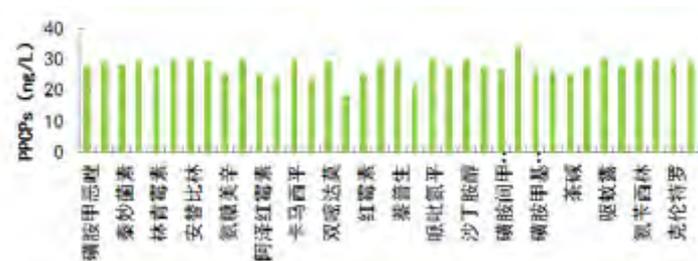
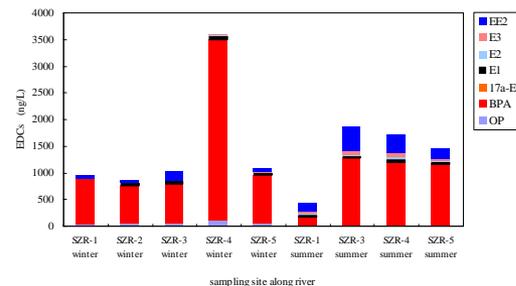
一、微污染的主要来源和发展趋势



水源

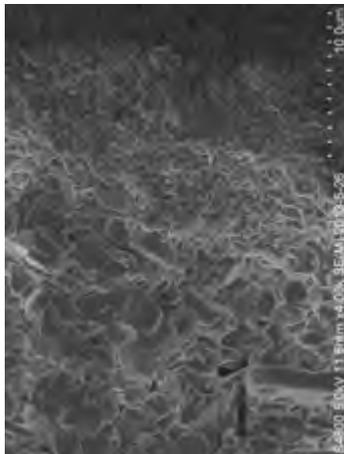
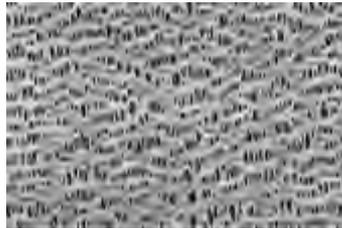
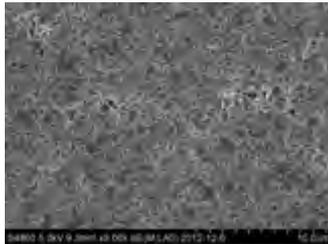
浊度
细菌
有机物
氨氮
藻
臭味
EDCs
PPCPs

- ✓ 有机物、氨氮、黑臭与污水未经处理的排放或者处理不彻底有关；
- ✓ 藻类问题与氮磷营养元素有关，目前污水厂尚未脱氮除磷，其还与面源污染有关；
- ✓ 未来：新型污染物（ng/L）（EDCs、PPCPs）。



二、超滤膜的结构特征

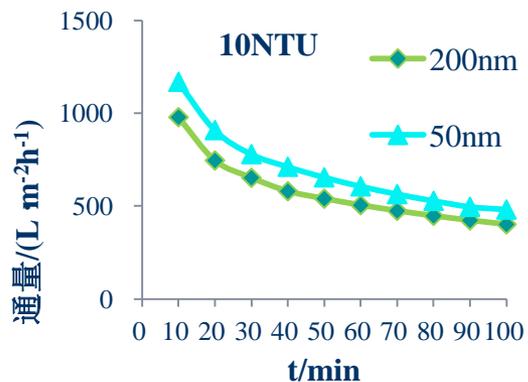
- ✓ 材料：有机、无机
- ✓ 孔径：10-100 nm



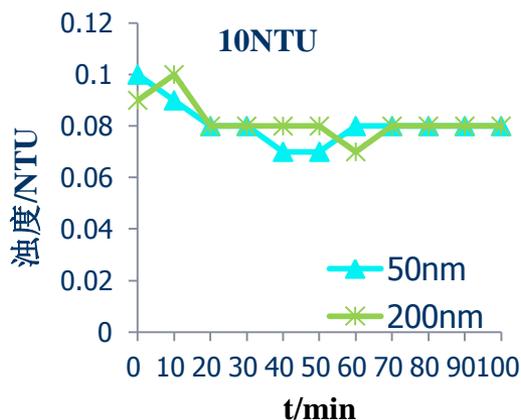
三、孔径与膜通量、浊度与颗粒数

实验条件：原水浊度10NTU和100NTU，膜孔径50nm和200nm

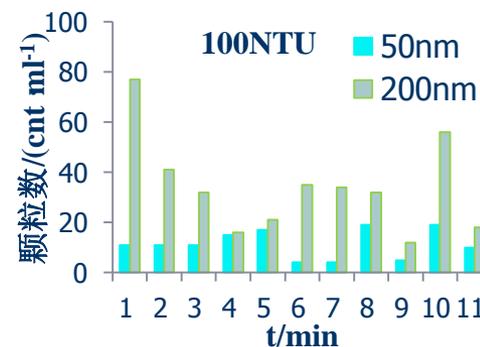
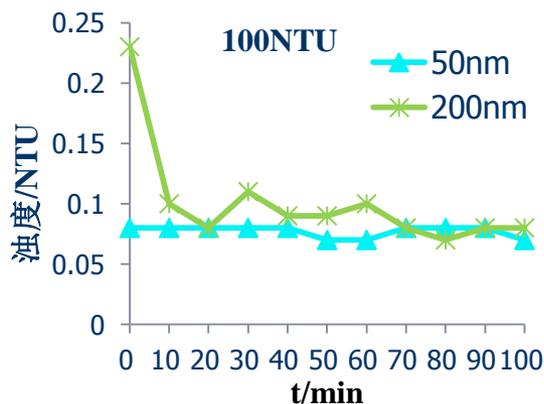
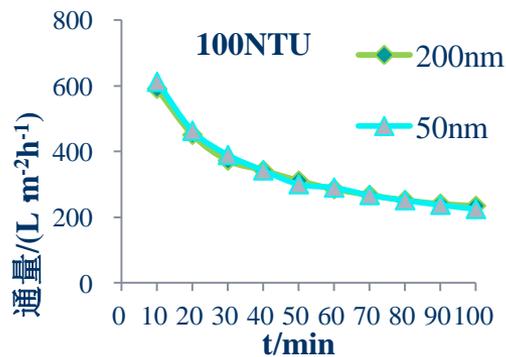
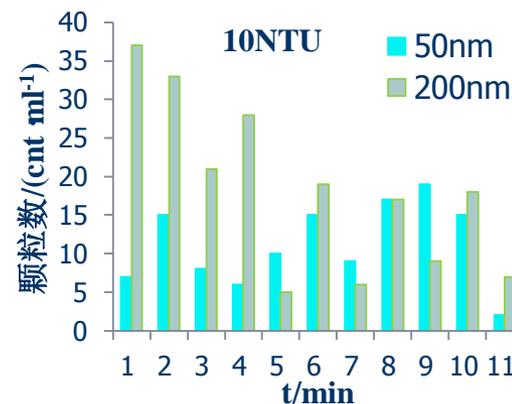
膜通量



出水浊度



出水颗粒数



■ 微污染情况下，浊度颗粒的特征

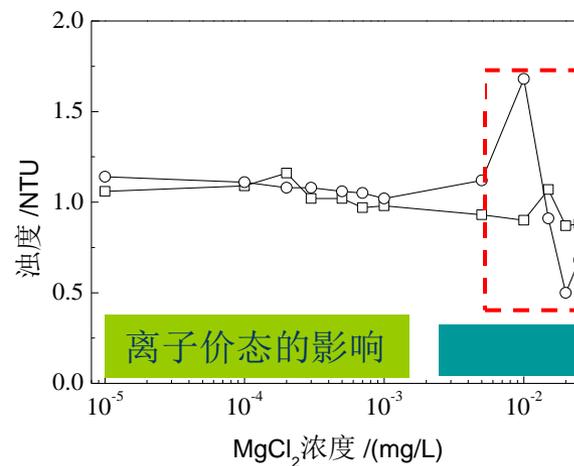
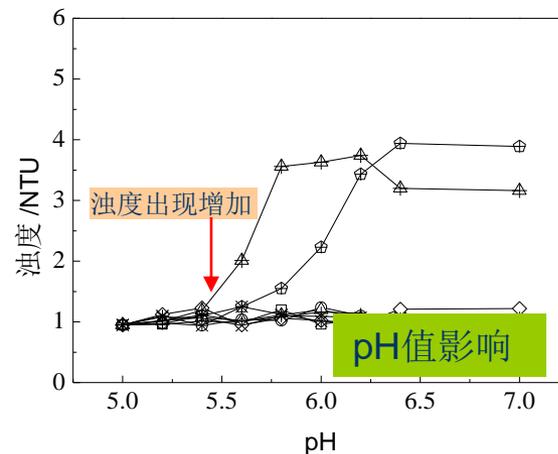


无机浊度颗粒：
双电层结构

水中的
有机物污染

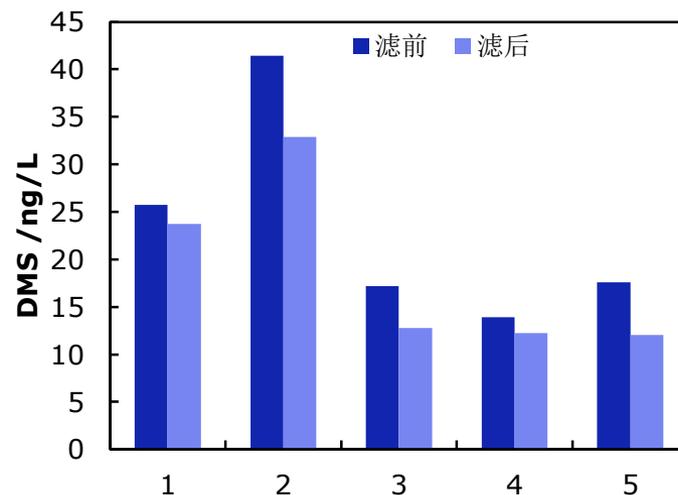
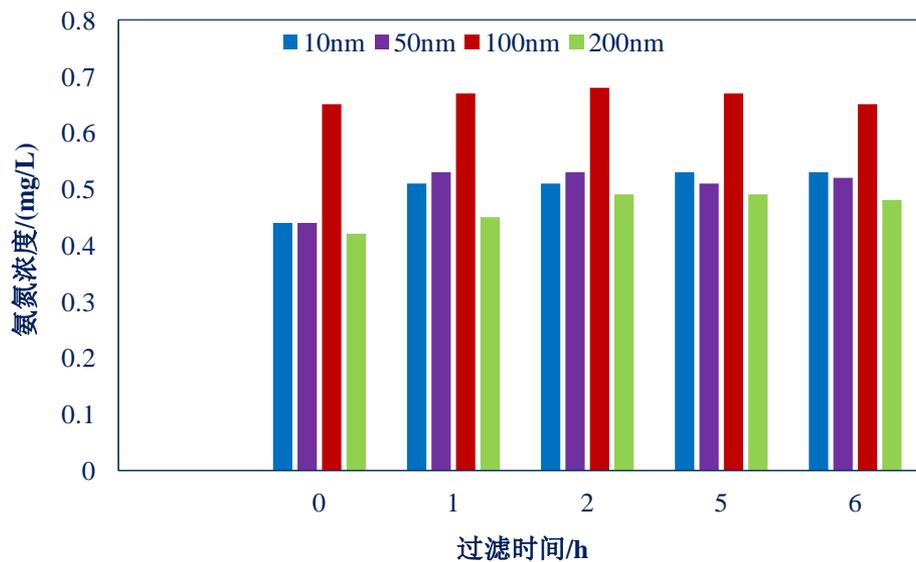
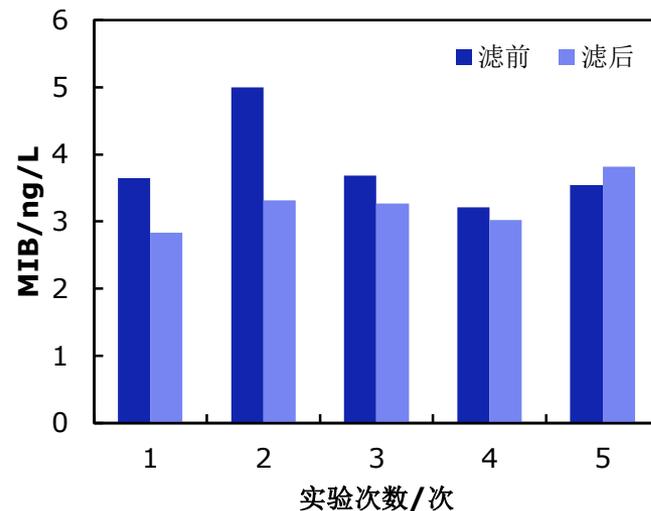
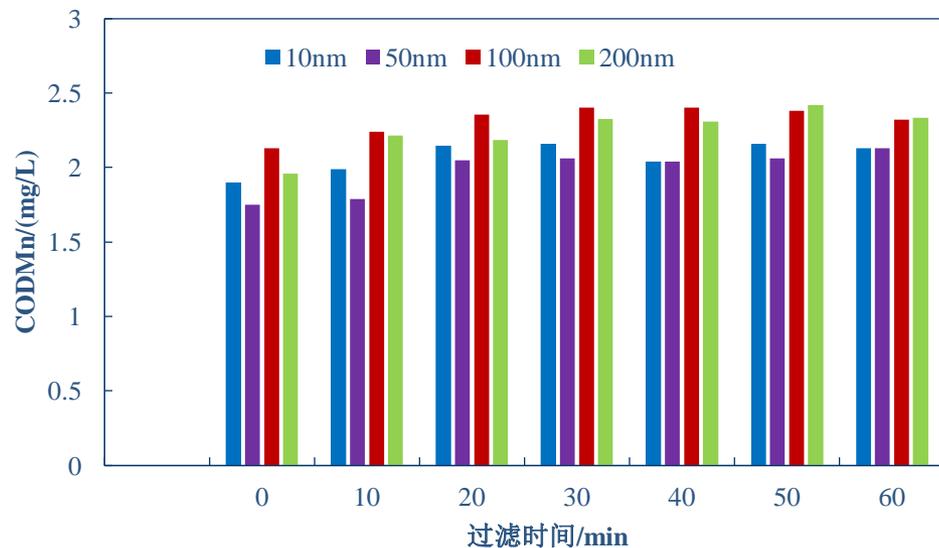
颗粒表面：
有机分子吸附层

颗粒数和隐性浊度：有机物的分子结构形态变得非常重要。



四、膜对有机物及臭味物质的去除特征

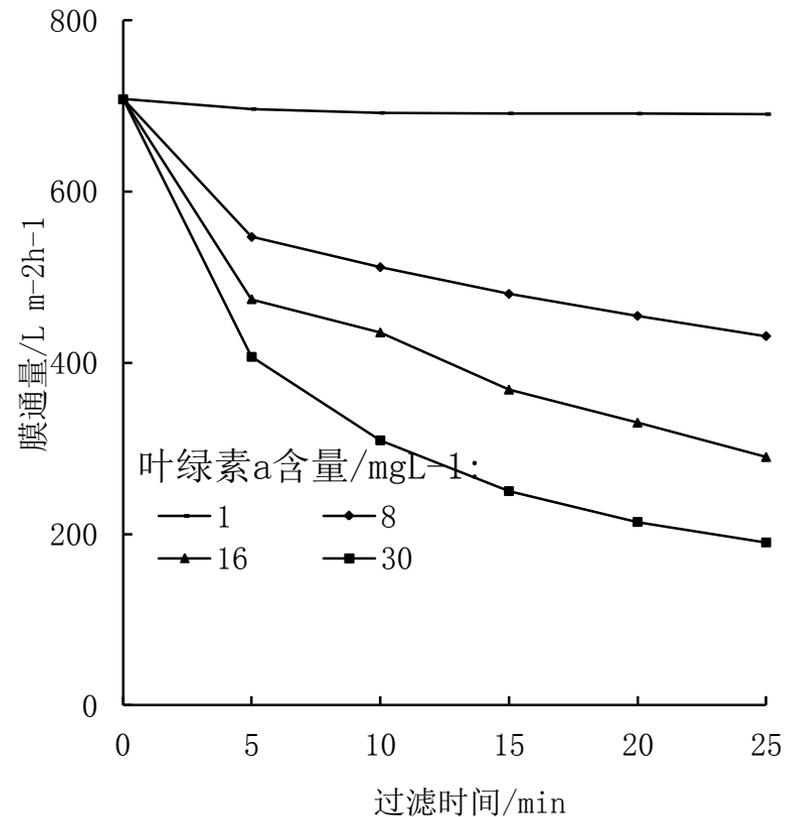
- 单独的膜过滤，对溶解性微污染物，几乎无效



五、膜与微生物安全性

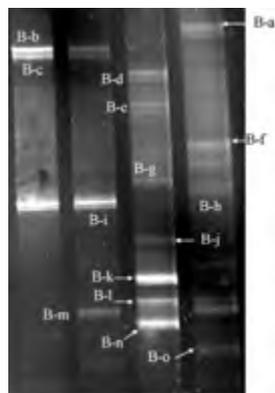
- 藻类, 100%去除, 但是……

200nm陶瓷膜							
原水与出水			原水	过滤时间/min			
				30	90	180	240
实验条件及指标				出水	出水	出水	出水
低藻水	0.1MPa	藻类/个L ⁻¹	3.9 × 10 ⁵	0	0	0	0
	0.2MPa	藻类/个L ⁻¹	5.3 × 10 ⁵	0	0	0	0
	0.3MPa	藻类/个L ⁻¹	3.3 × 10 ⁶	0	0	0	0
高藻水	0.1MPa	藻类/个L ⁻¹	3.5 × 10 ⁷	0	0	0	0
	0.2MPa	藻类/个L ⁻¹	2.4 × 10 ⁷	0	0	0	0
	0.3MPa	藻类/个L ⁻¹	3.4 × 10 ⁷	0	0	0	0
50nm陶瓷膜							
低藻水	0.1MPa	藻类/个L ⁻¹	3.4 × 10 ⁶	0	0	0	0
	0.2MPa	藻类/个L ⁻¹	4.6 × 10 ⁶	0	0	0	0
	0.3MPa	藻类/个L ⁻¹	3.4 × 10 ⁶	0	0	0	0
高藻水	0.1MPa	藻类/个L ⁻¹	2.4 × 10 ⁷	0	0	0	0
	0.2MPa	藻类/个L ⁻¹	1.9 × 10 ⁷	0	0	0	0
	0.3MPa	藻类/个L ⁻¹	1.74 × 10 ⁷	0	0	0	0



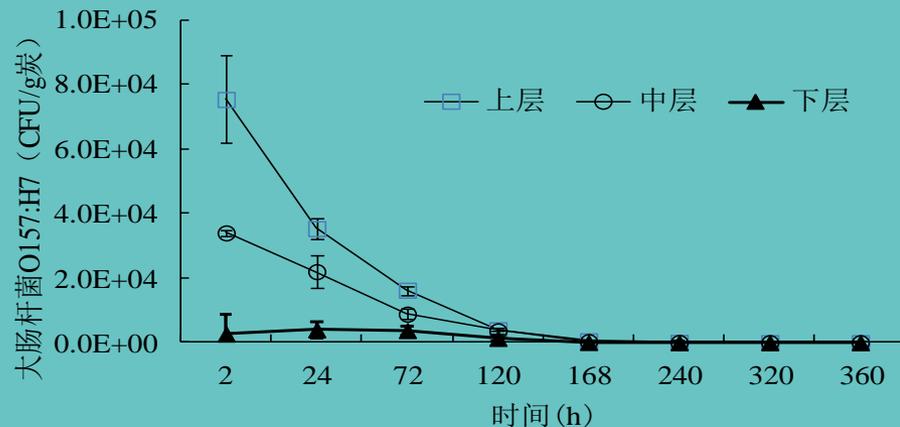
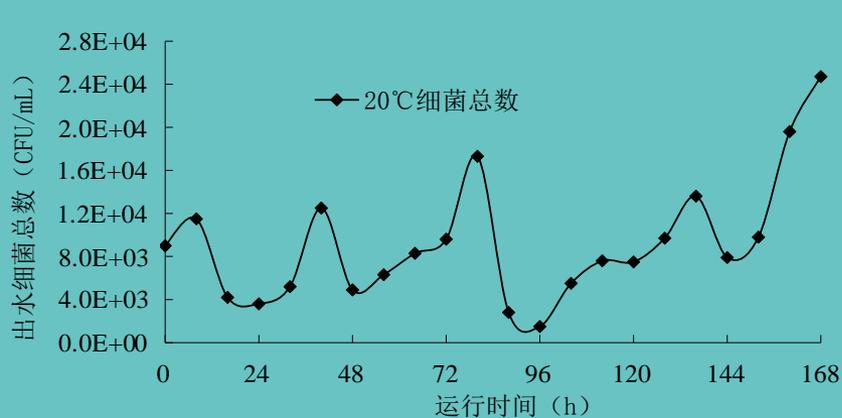
■ 细菌（包括病菌）

水厂细菌变化规律：



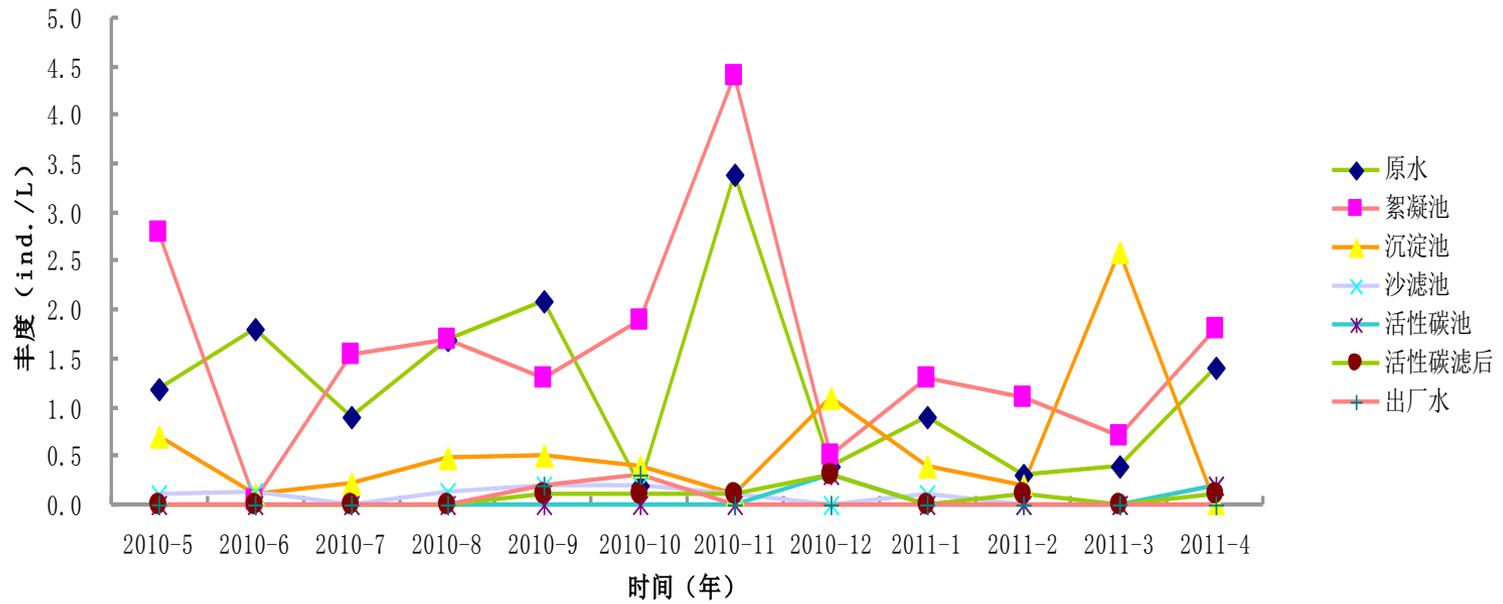
种类	水源水	进厂水	砂滤出水	O ₃ -活性炭出水
水源水	1	0.89	0	0
进厂水	0.89	1	0	0.14
砂滤出水	0	0	1	0.32
O ₃ -活性炭出水	0	0.14	0.32	1

活性炭过滤单元细菌变化规律：



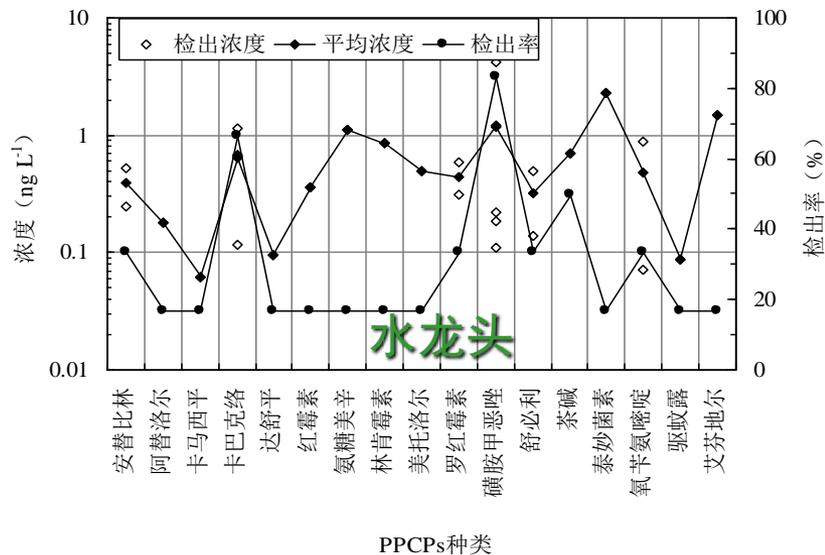
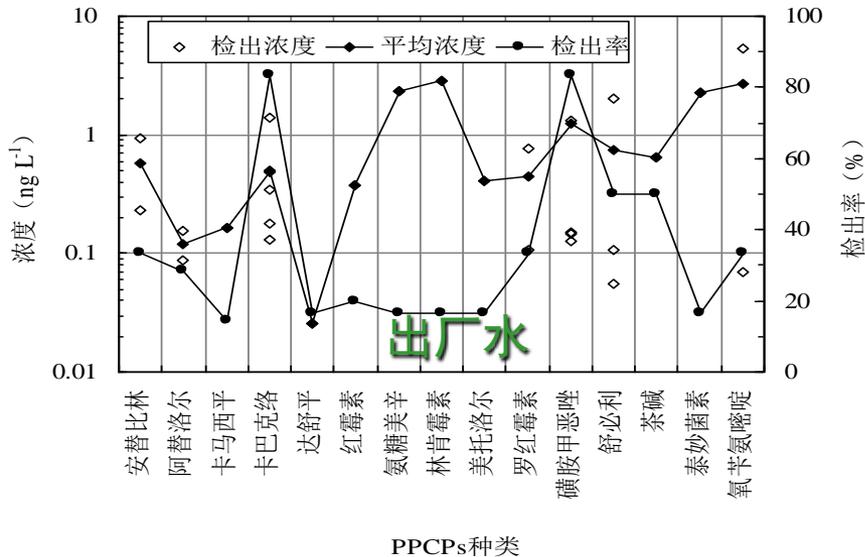
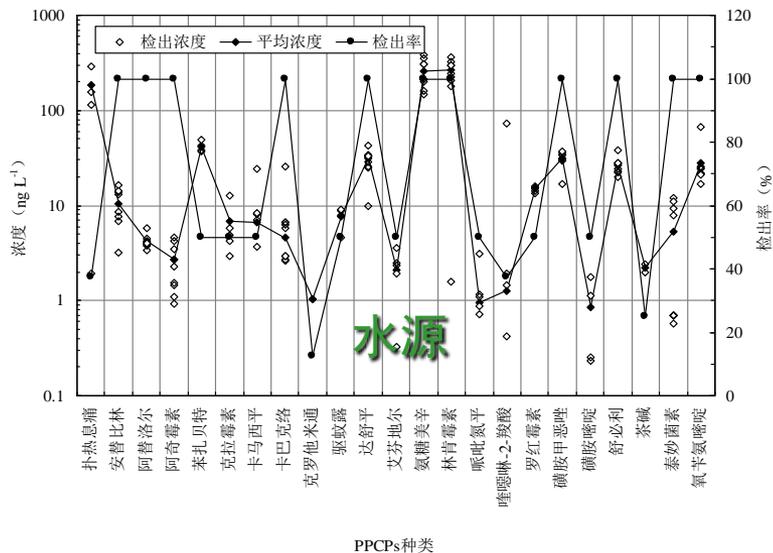
在贫营养环境的生物活性炭滤池内，病原菌在生物活性炭滤池中均不能大量增殖。其在与炭上土著菌的竞争中处于劣势，贫营养环境不适合病原菌存活。

■ 微型生物



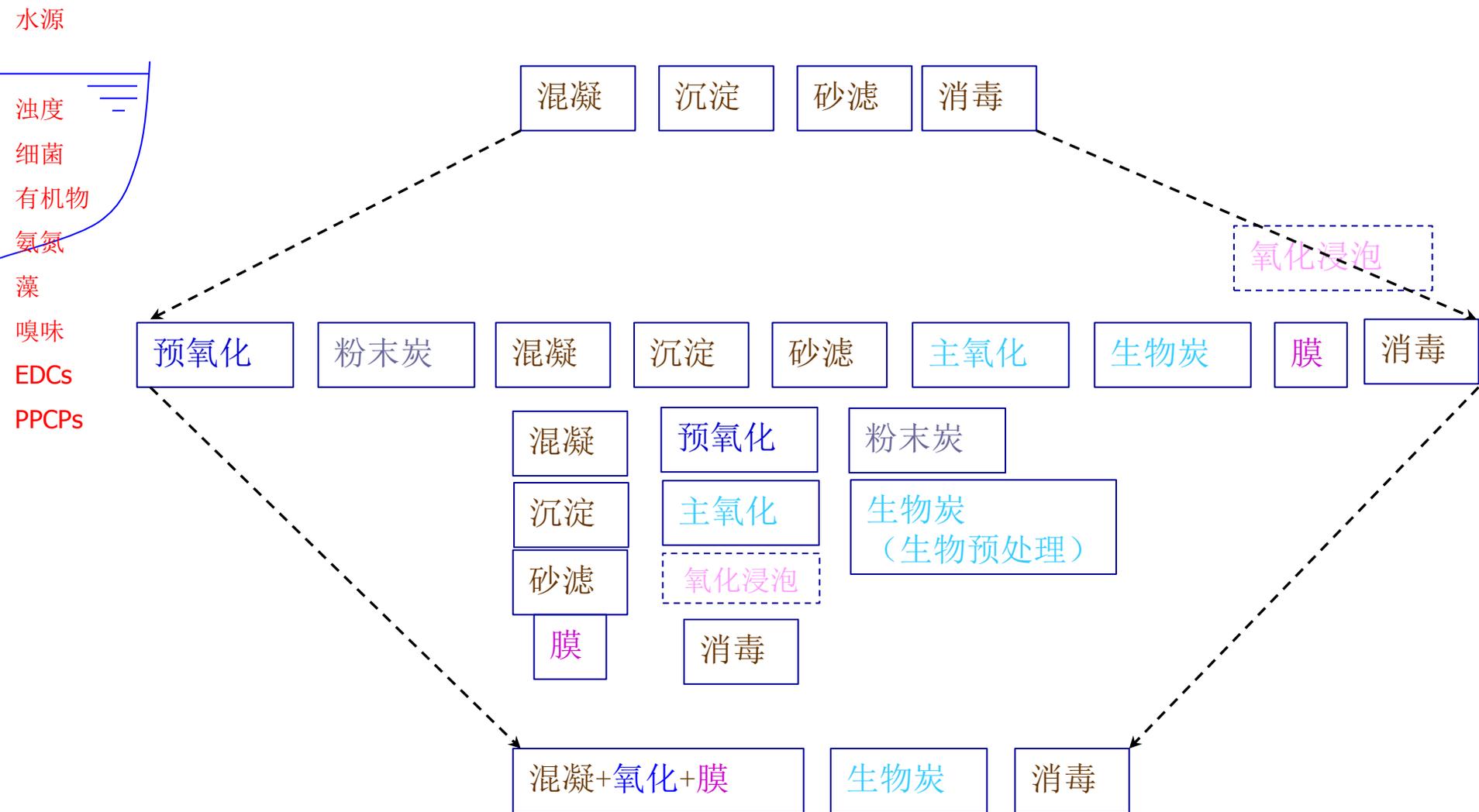
五、膜与新型污染物PPCPs

■ 水源-水厂-水龙头



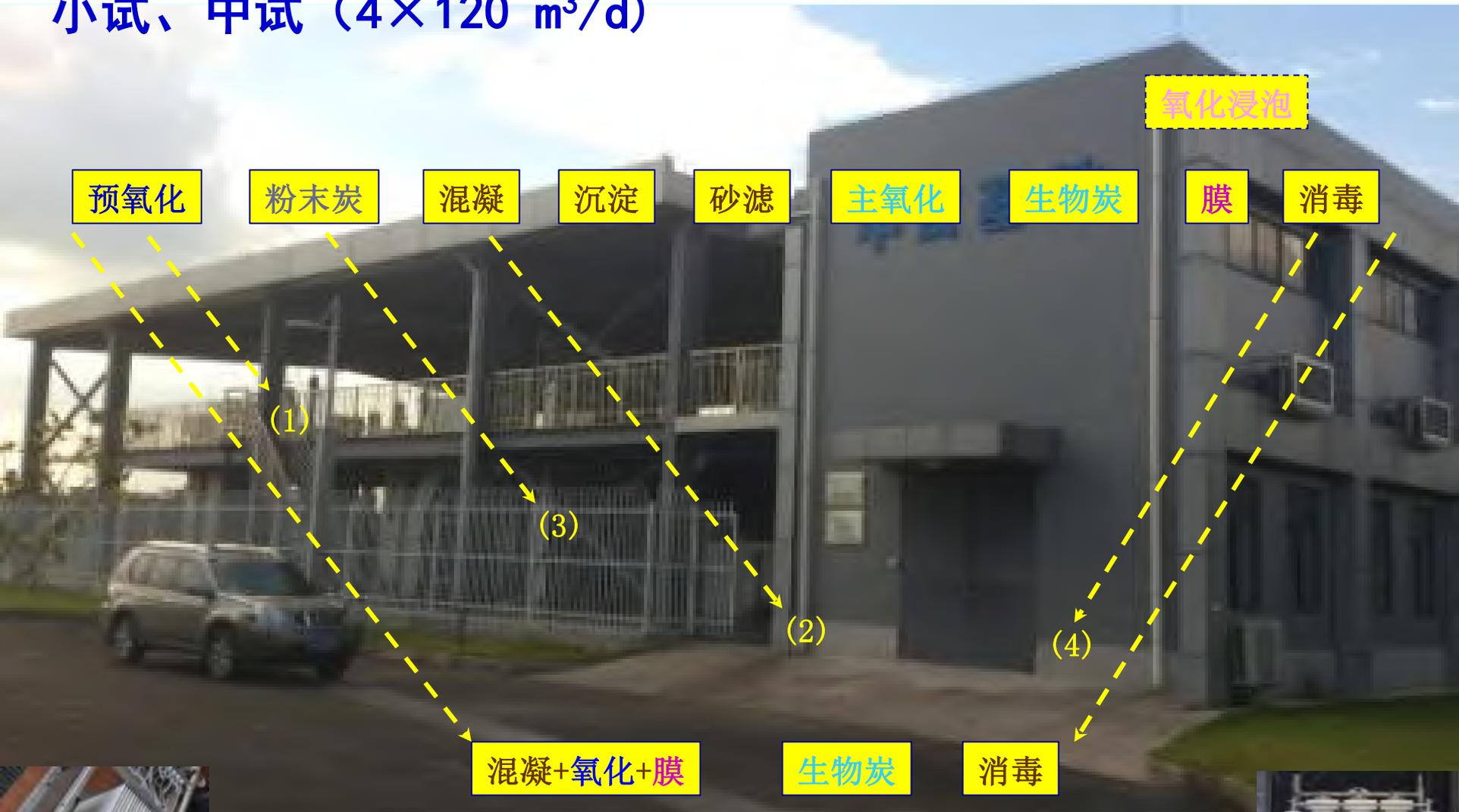
II、膜与各种处理单元的 最佳组合方式探索和实践

一、膜对微污染水处理工艺的影响



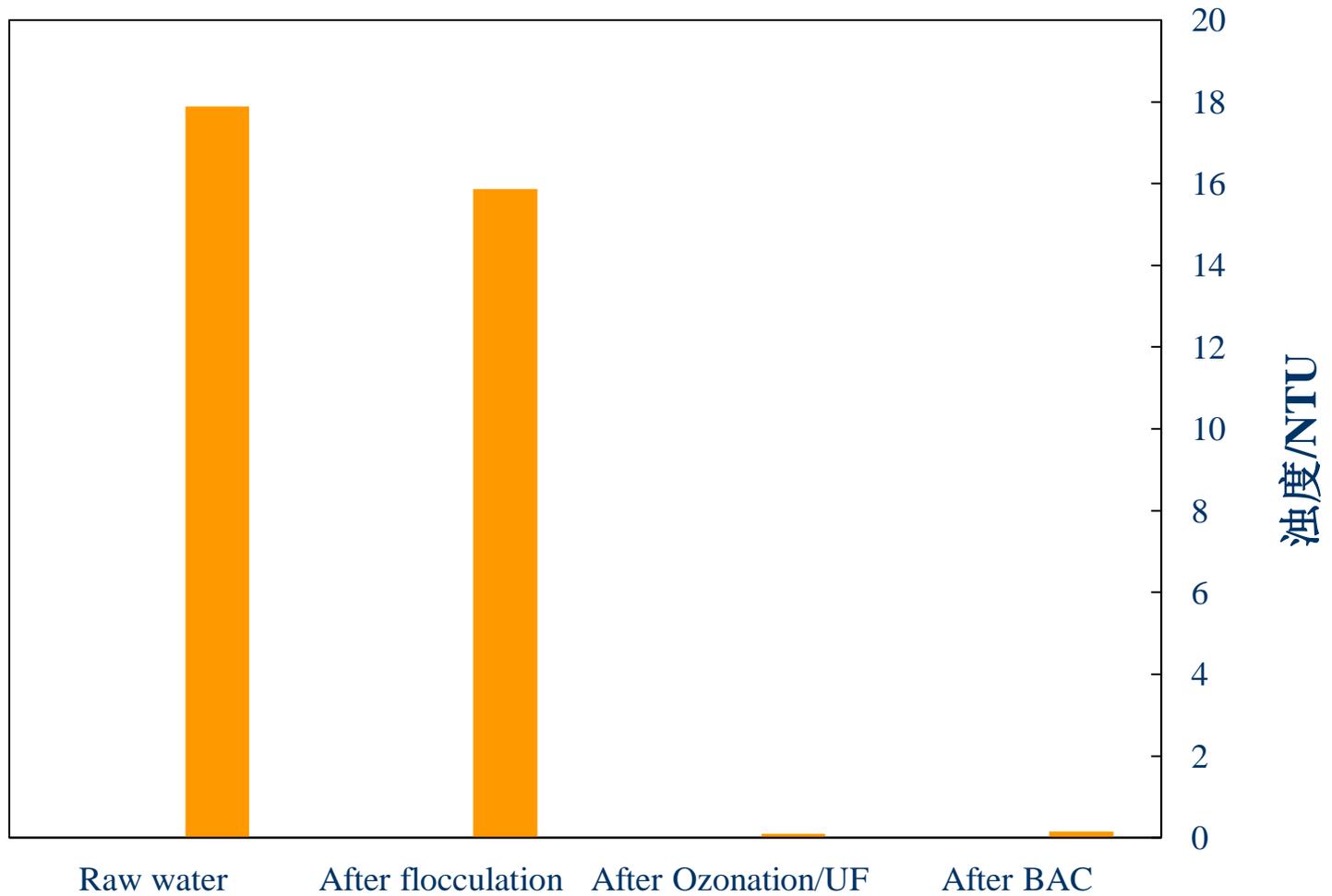
膜最大的作用不是分离而是集成：从“串级”到“并级”处理

小试、中试 (4×120 m³/d)

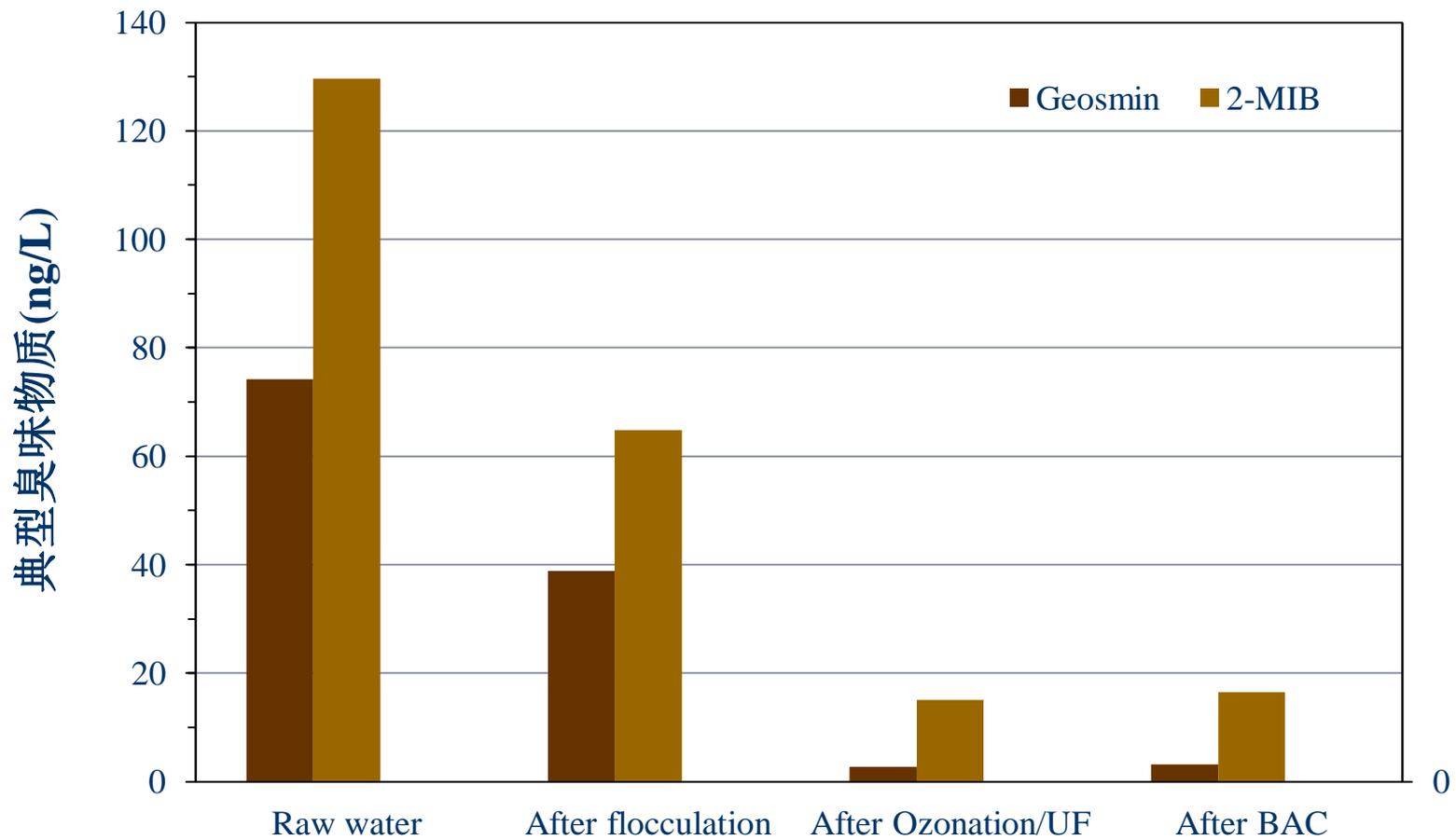


二、膜集成工艺的处理效果

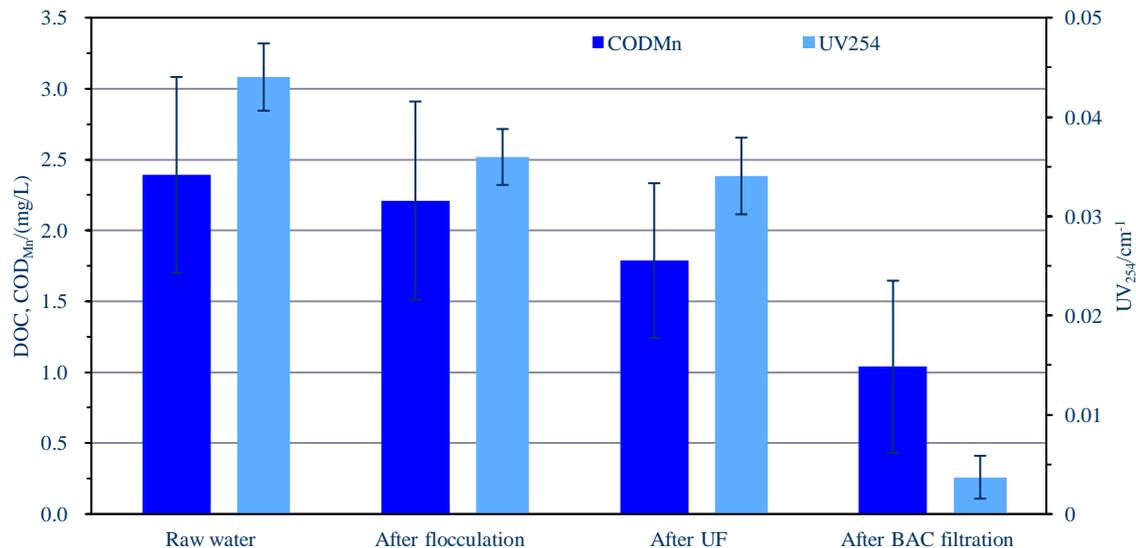
浊度去除效果



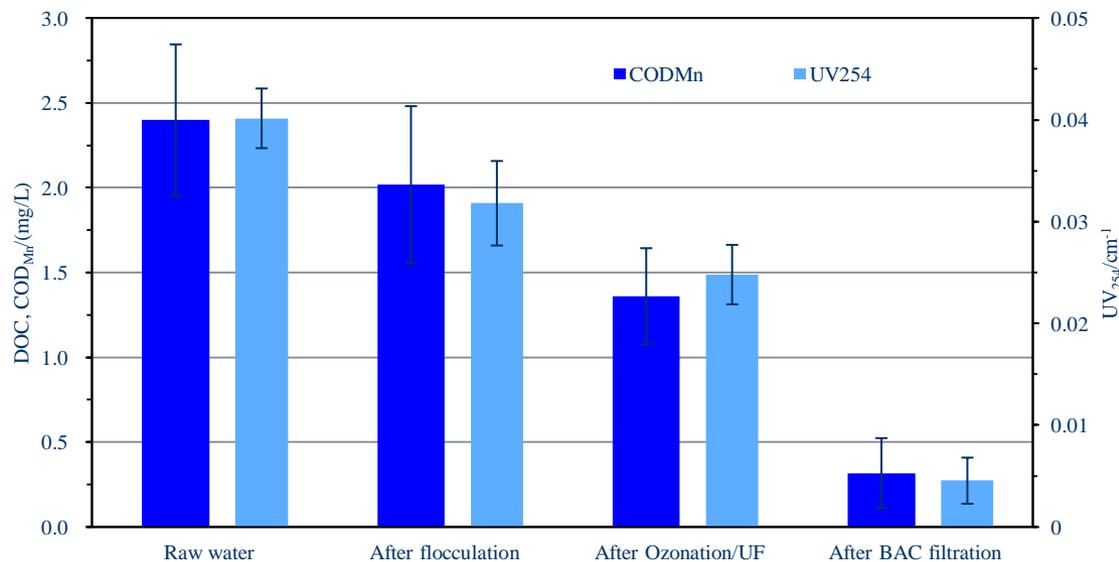
臭味去除效果



COD去除效果 (没有O₃)

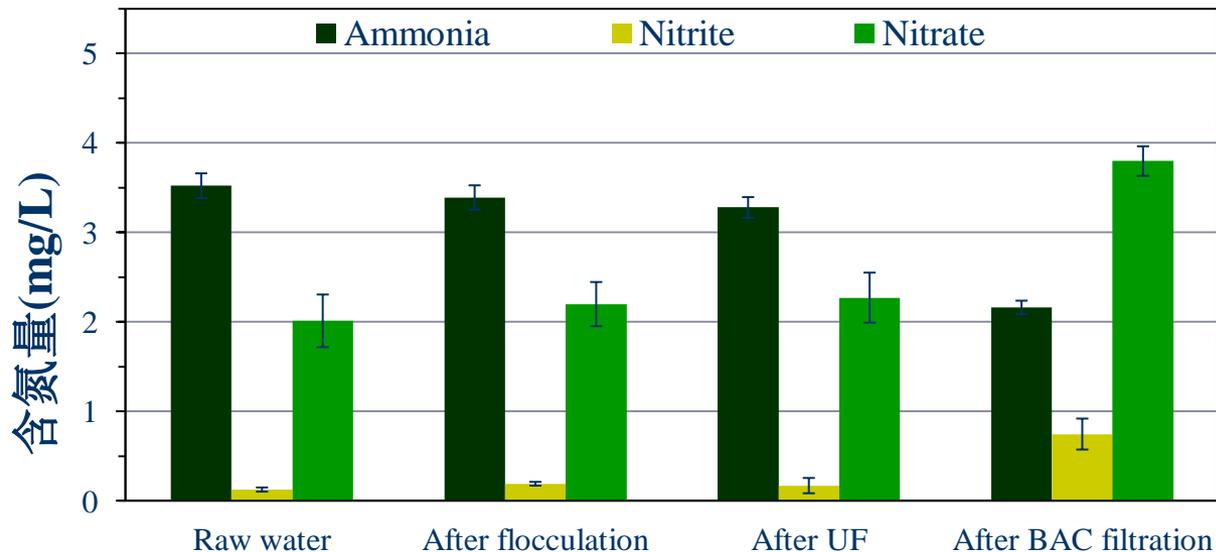


COD去除效果 (有O₃)

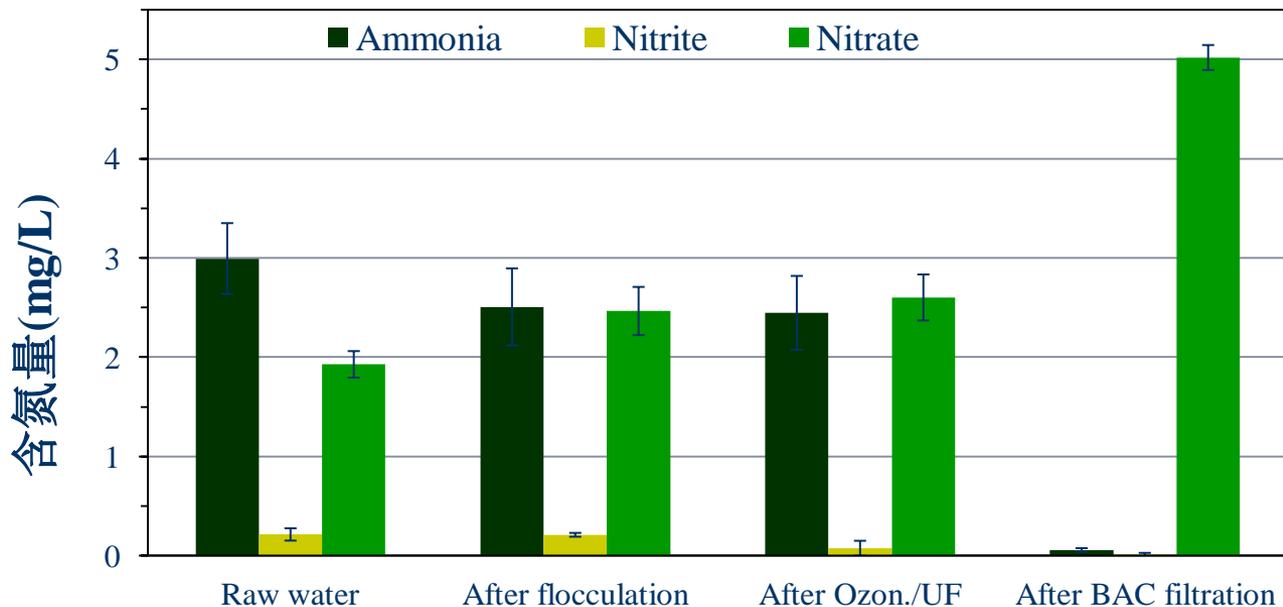


(几乎相当于两级
活性炭过滤叠加)

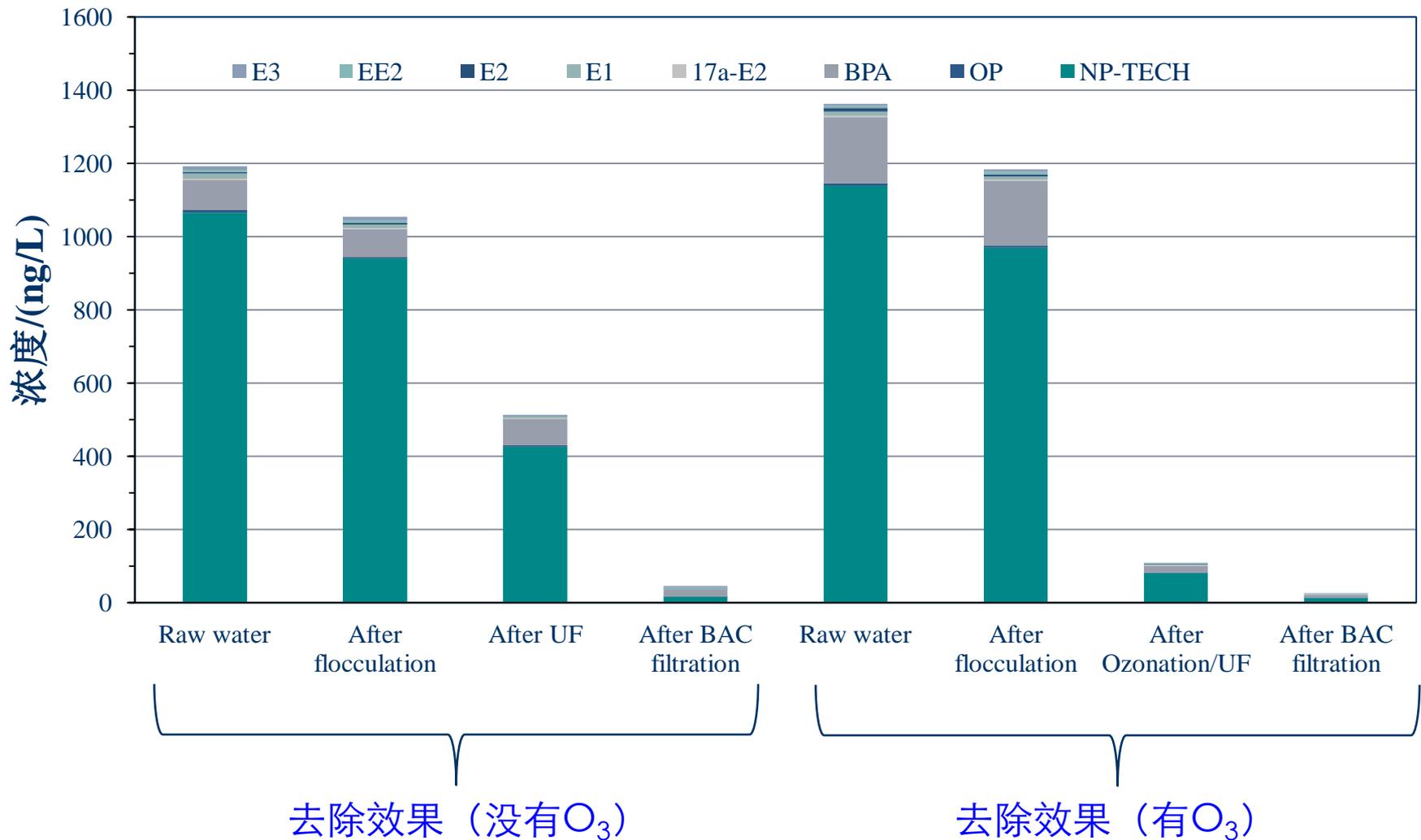
氨氮去除效果 (无曝气, 无O₃)



氨氮去除效果 (纯氧源制O₃曝气)



环境激素类污染的去除效果（塑化剂去除效果）



藻和消毒副产物控制效果

原水中藻类的种类：绿藻、硅藻；混凝对藻类的去除效率很低，少于15%。经过膜池过滤后，藻类被100%去除。

膜工艺后续的生物活性炭滤池对HAA5FP具有很好的去除后果，生物活性炭对DCAA、TCAA和总HAA5的生成势的去除率分别是84.4%、74.0%和83.2%。

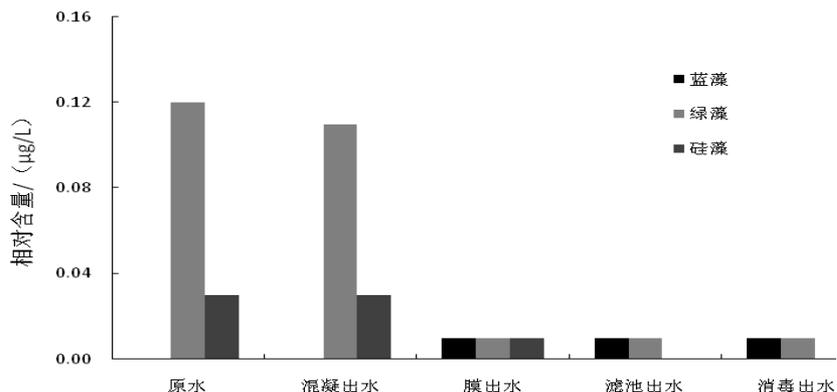


图 陶瓷膜集成工艺对藻类的去除

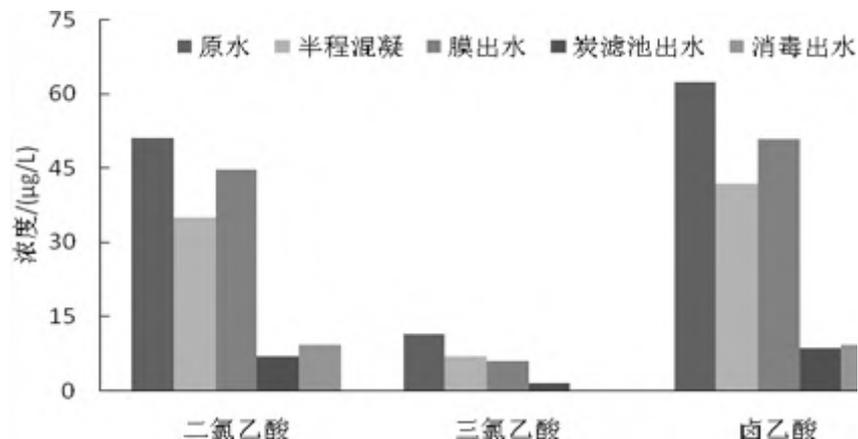
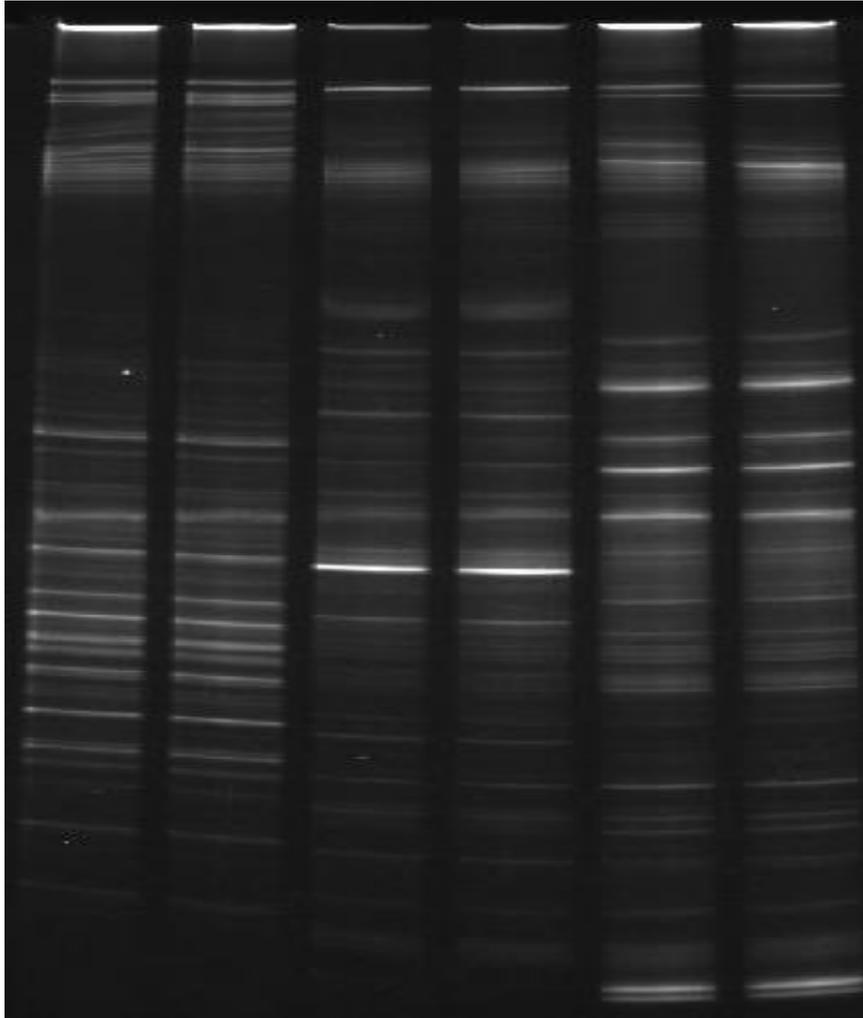


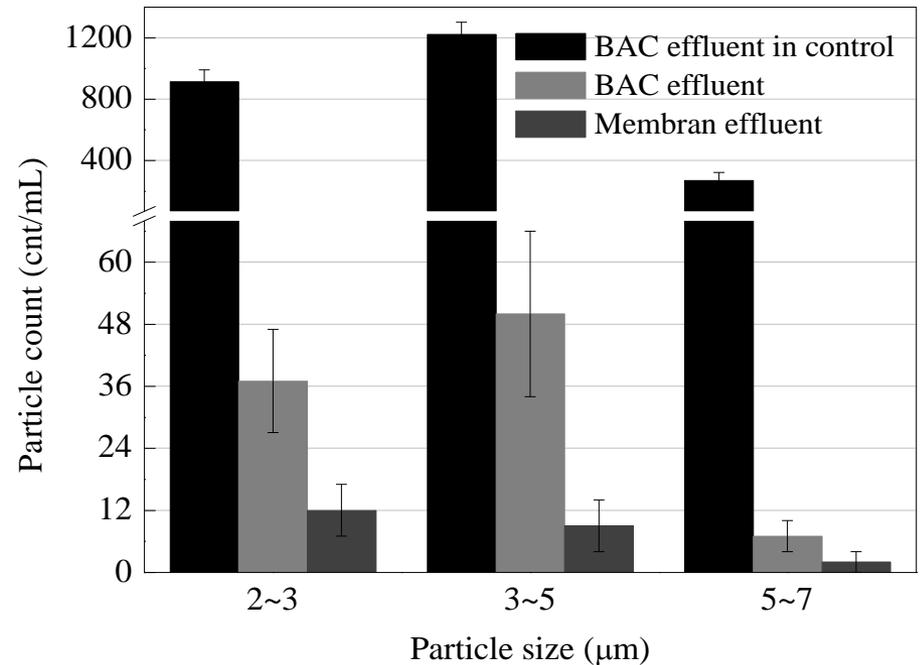
图 臭氧-陶瓷膜工艺对HAA5前体物的去除效果 (2.0mg/L)

微生物安全性--细菌泄漏问题

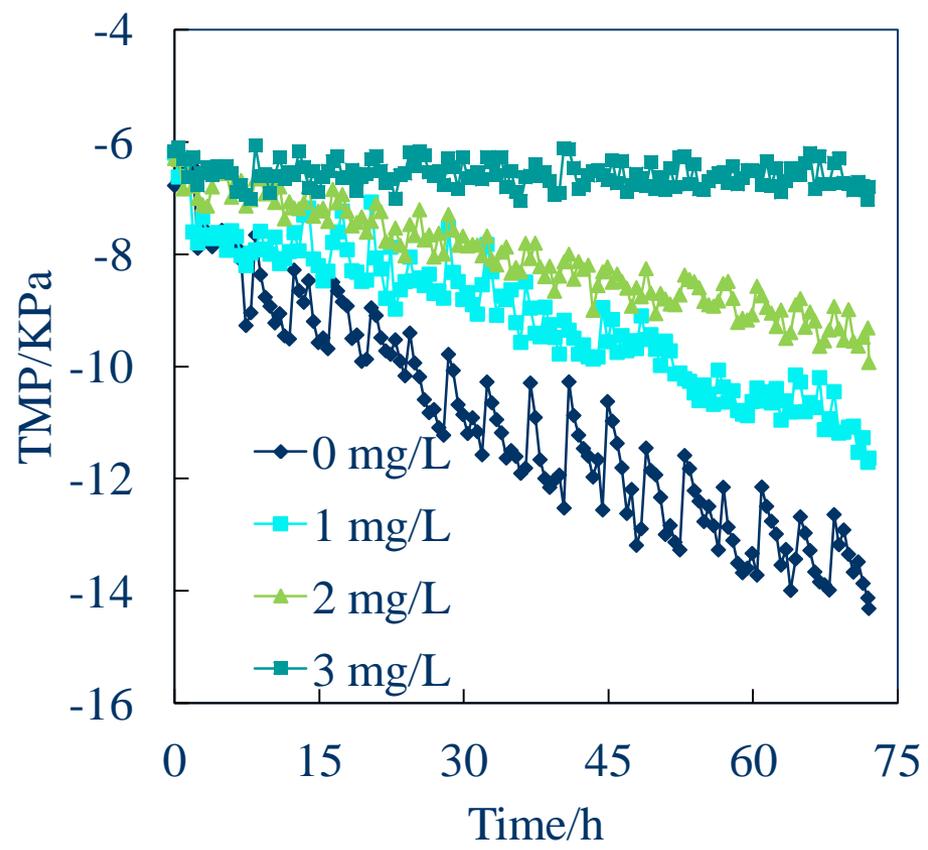
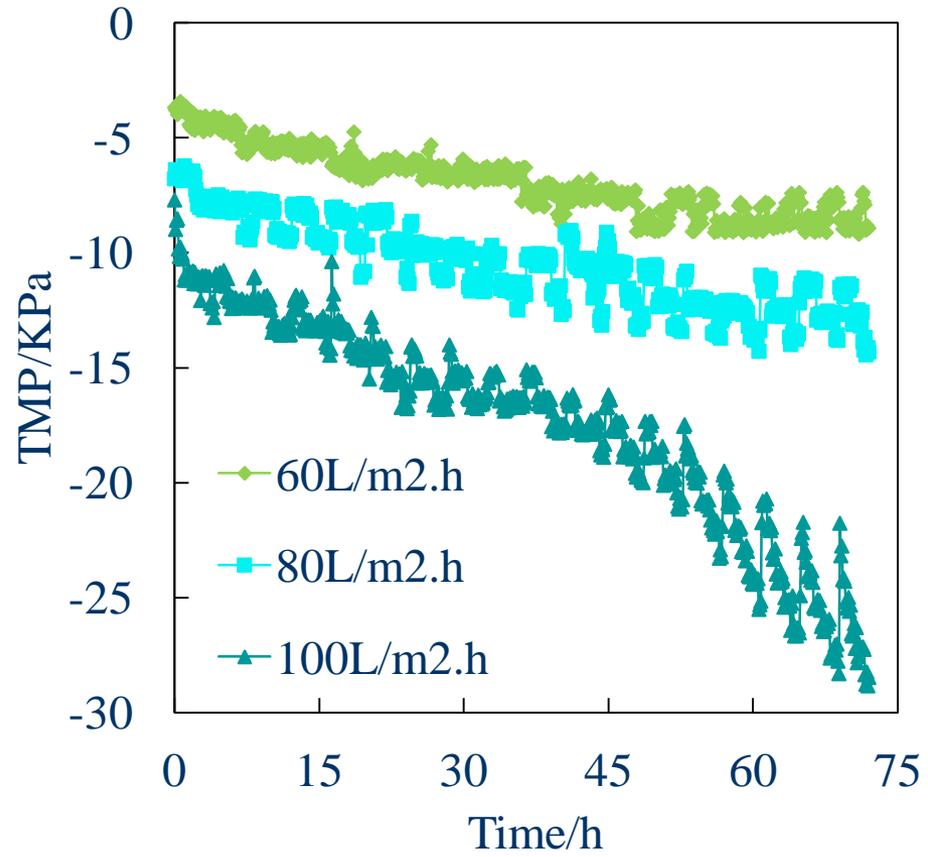
厂1 厂2 D组1 D组2 C组1 C组2



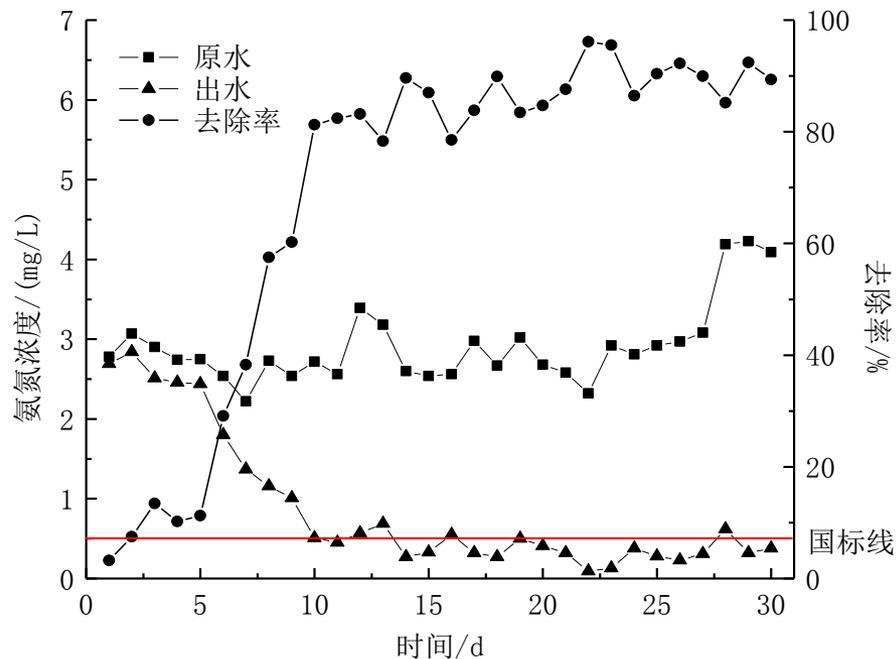
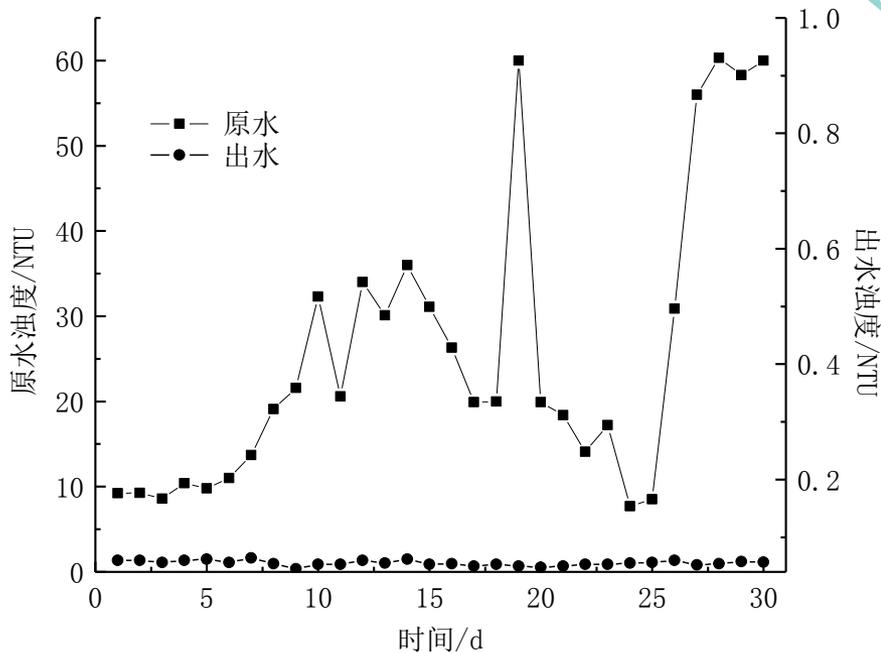
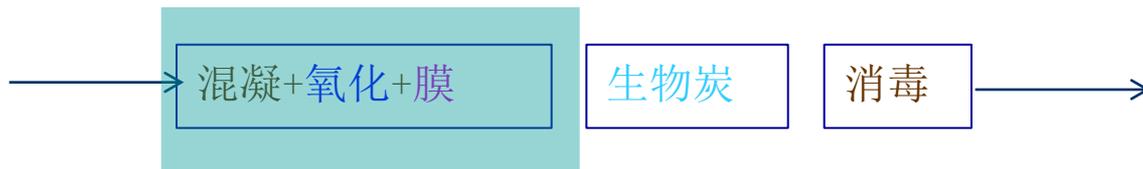
- ✓ 活性炭出水细菌是功能菌，很容易消毒杀灭；
- ✓ 超滤膜前置，避免微型生物在活性炭繁殖，能够保证更好地保证微生物安全性



臭氧对跨膜压差的影响：原位控制膜污染，原位清洗

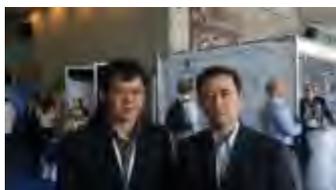


进展：高密度沉淀与膜组合强化去除氨氮效果



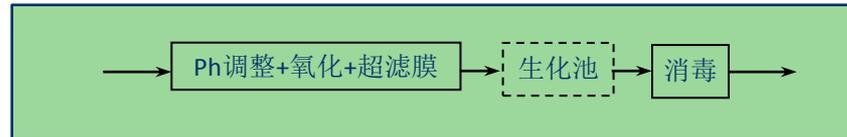
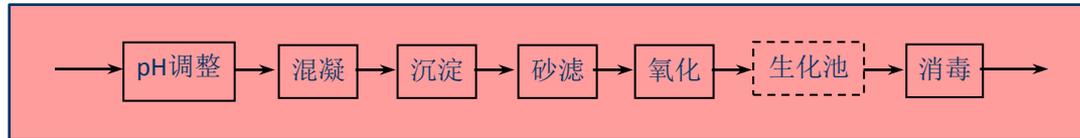
结语

- (1) 针对微污染水中多样性的污染物，超滤膜为工艺的高度集成提供了可能性；
- (2) 在理论上，超滤膜将水处理从宏观尺度进入微观尺度；
- (3) 在工程上，超滤膜将促使“串级处理”专项“并级处理”；降低投资，减少成本，提高水质。满足目前和未来需求，运行简单，稳定可靠。

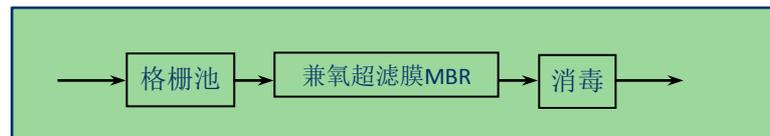
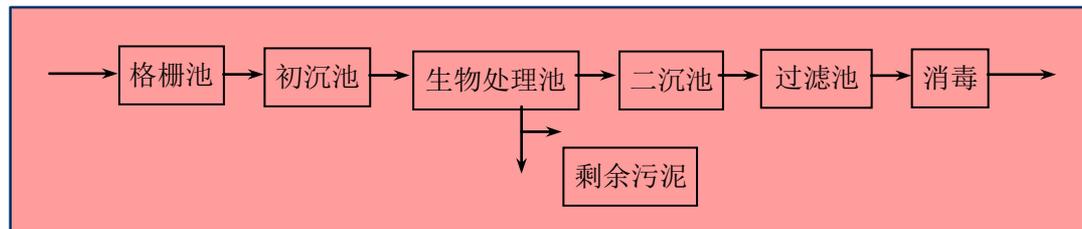


工业废水和市政污水的“并级”处理方式

工业废水:



市政污水:



谢谢！

