

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明 (1)
厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水平 (8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思 (15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳 (21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远 (27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋 (34)
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨 (39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜 (DMSO) 的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋 (45)
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇 (51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙 (61)
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁 (69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍 (77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军 (84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元 (91)
湘江沉积物铜和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山 (98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男 (108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟 (116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强 (121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军 (129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新 (137)
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦 (145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民 (150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳 (156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐 (163)
天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直 (169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺 (177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴 (182)
负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓 (188)
污水厂微曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇 (194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根 (198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响	韩雪,高大文 (204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢 (209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立楠,何宝燕,李跃鹏 (217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳 (226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南 (231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛 (237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福 (244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	于志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏 (251)
多效应残差法 (MERA) 表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾 (257)
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远 (263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文 (271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林 (277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国 (283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博 (288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇 (293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振峰,贾玉娟 (302)
无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少峰,黄永锋 (308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲 (315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎 (321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志 (328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易 (336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强 (347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文	
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛 (357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正 (364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强 (373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维 (379)
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新 (385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌 (395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌 (401)
《环境科学》征订启事 (26)	《环境科学》征稿简则 (68)
信息 (76,144,301,400)	专辑征稿通知 (394)

天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响

胡孟柳¹, 林洁¹, 许光红¹, 董秉直^{2*}

(1. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 同济大学长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 研究采用混凝沉淀+粉末活性炭吸附+高锰酸钾+浸没式微滤膜的组合工艺对太湖水进行中试试验, 通过高效凝胶色谱(HPSEC-UV-TOC)和三维荧光(3DEEM)的测定方法, 着重考察有机物的相对分子质量(M_r)分布和亲疏水性对膜不可逆污染的影响。凝胶色谱分析表明: 预处理可几乎完全去除大分子有机物($M_r > 10 \times 10^3$), 但仅能去除部分的中等分子($10 \times 10^3 > M_r > 1 \times 10^3$)和小分子($M_r < 1 \times 10^3$)有机物。研究发现化学清洗水中的有机物相对分子质量多为中等分子和小分子, 说明导致膜不可逆污染的主要是中等分子和小分子有机物。此外, 洗膜水中强疏和中性亲水组分含量远高于弱疏和极性亲水, 说明强疏和中性亲水组分是不可逆污染的主要物质。三维荧光分析表明, 芳香族蛋白质和溶解性微生物产物是造成膜不可逆污染的主要污染物。

关键词: 膜污染; 相对分子质量分布; 亲疏水性; 三维荧光; 预处理

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0169-08

Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process

HU Meng-liu¹, LIN Jie¹, XU Guang-hong¹, DONG Bing-zhi²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: This study investigated the reversible and irreversible foulants in a submerged microfiltration (MF) with pretreatments (coagulation/powdered activated carbon (PAC)/potassium permanganate) in a pilot scale treatment of water from Taihu Lake. The study focused on the effect of relative molecular mass (M_r) distribution and hydrophilicity/hydrophobicity on membrane fouling using high performance size-exclusion chromatography (HPSEC) with UV and TOC detectors and three dimension fluorescence excitation-emission matrix (3DEEM). HPSEC analyses showed that pretreatments could almost completely remove the macro molecules ($M_r > 10 \times 10^3$), but only eliminate part of medium ($10 \times 10^3 > M_r > 1 \times 10^3$) and micro molecules ($M_r < 1 \times 10^3$). A majority of medium and micro molecules were found in chemical cleaning solutions, indicating that medium and micro molecules were the main foulants that contributed to irreversible membrane fouling. In addition, it was also found that the content of strong hydrophobic acids (SHA) and neutral hydrophilic (Neut) fractions in chemical solutions were far higher than that of weakly hydrophobic acids (WHA) and charged hydrophilic (Char), which suggested that both organic fractions were responsible for irreversible fouling. 3DEEM fluorescence demonstrated that aromatic proteins and soluble microbial products were the main contributors to irreversible membrane fouling.

Key words: membrane fouling; relative molecular mass distribution; hydrophilicity/hydrophobicity; 3DEEM; pretreatments

低压膜工艺如微滤膜和超滤膜在饮用水处理中正得到日益广泛的应用。膜污染是妨碍膜应用的最主要问题。膜污染会引起通量下降或膜压差上升, 导致运行费用和水处理成本增加。虽然影响膜污染的因素很多, 如膜的特性(亲疏水性、电负性和膜形态), 溶液特性(pH值、离子强度和 Ca^{2+} 浓度), 有机物特性(亲疏水性、分子质量和电荷密度)等^[1-4], 但有研究表明, 造成膜污染最主要的物质是水中天然有机物(NOM)^[5-7]。因此尽量降低进膜水中有机物的含量便是减缓膜污染或提高膜通量的主要思路^[2,8]。

目前常用于减缓膜污染的主要技术措施是在膜

前增加预处理, 如混凝、粉末活性炭吸附以及高锰酸钾氧化等。混凝主要去除大分子的有机物, 而对小分子有机物效果甚微; 粉末活性炭则优先吸附较易进入其细孔的小分子量有机物^[9-11], 若两者联用, 在去除天然有机物(NOM)上将形成很好的互补。高锰酸钾具有较强的氧化性, 可有效去除水中的有机污染物和某些消毒副产物前体物, 并有良

收稿日期: 2012-03-15; 修订日期: 2012-06-07

基金项目: 广东省产学研项目(2009A090100047); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2011ZX07410-002-1)

作者简介: 胡孟柳(1988~), 女, 硕士, 主要研究方向为饮用水处理理论与技术, E-mail: hu_mengliu@163.com

* 通讯联系人, E-mail: dongbingzhi@online.sh.cn

好的助凝效果,是预处理中常用到的氧化剂。

近年来,国内外不少学者对天然有机物的特性进行了相关研究,结果表明天然有机物的亲疏水性和相对分子质量分布对膜污染有重大影响,水中不同组分的有机物对膜污染的影响是不同的^[9]。董秉直等^[12]的研究也表明,有机物的去除率与膜污染减缓程度并不存在正相关关系,因此找出那些对膜污染贡献最大的有机物并加以去除,才能最大限度延长膜的使用寿命。

本研究采用中试规模的试验,将聚合氯化铝混凝、粉末活性炭吸附和高锰酸钾氧化联用,探究此种组合工艺对太湖水中天然有机物(NOM)的去除效果。并采用DAX-8、XAD-4和IRA958树脂将原水、沉后水、膜后水、酸洗水和碱洗水分离成强疏、

弱疏、极亲、中亲4种组分,利用高效凝胶色谱(HPSEC)和三维荧光光谱(3DEEM)等考察各组分对膜污染的影响。

1 材料与方法

1.1 试验装置

中试地点设置在无锡市的充山水厂,试验原水为太湖水。太湖原水经原水泵站取水后,首先经过300 μm网格过滤进入原水箱,然后打入反应沉淀池。在反应池中投加聚合氯化铝20 mg·L⁻¹,粉末活性炭60 mg·L⁻¹,预氧化剂高锰酸钾1 mg·L⁻¹,机械搅拌反应进入斜板沉淀,沉后水进入浸没式微滤膜。膜处理工艺流程示意如图1所示。

试验用膜采用美国陶氏公司提供的中空纤维微

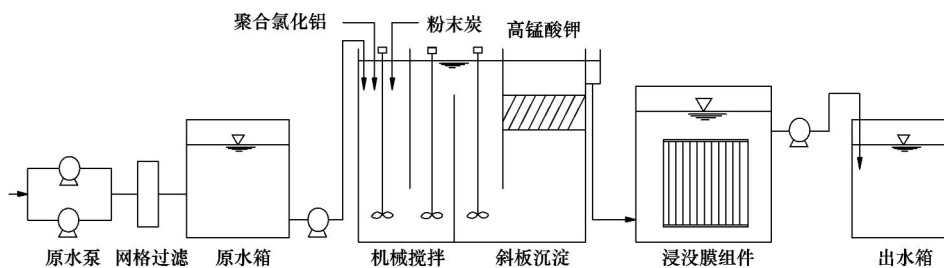


图1 膜处理工艺流程示意

Fig. 1 Schematic diagram of the apparatus

滤膜,膜材质为聚偏氟乙烯(PVDF),孔径0.1 μm。膜组件的过滤面积20 m²。过滤方式为浸没式,采用终端过滤,膜过滤通量为50 L·(m²·h)⁻¹,过滤周期为30 min。过滤25 min后,进行水力反冲洗。反冲洗时间120 s,气冲流量1 m³·h⁻¹,水冲流量2.25 m³·h⁻¹。

1.2 原水水质

试验水样取自无锡太湖水,水样取回实验室后,经反渗透浓缩至DOC浓度约为10 mg·L⁻¹,经0.45 μm滤膜过滤后,放入4℃冰箱保存。原水水质指标见表1。

表1 原水水质一览表

Table 1 Characteristics of water sample

指标	浊度 /NTU	pH	DOC /mg·L ⁻¹	UV ₂₅₄ /cm ⁻¹	SUVA /L·(mg·m) ⁻¹
数值	26.0 ± 8.5	8.11 ± 0.03	9.88 ± 1.70	0.118 ± 0.029	1.19 ± 0.15

1.3 有机物各组分分离

试验采用罗门哈斯公司的AmberliteDAX-8, XAD-4, IRA958树脂分别对水样各组分有机物进行过滤吸附和洗脱分离,具体流程同文献^[13]。太湖原水中强疏、弱疏、中亲、极亲5组分所占质量分数见表2,中性亲水组分最多,其次为强疏组分。

表2 原水各组分有机物/%

Table 2 NOM fractions in Taihu Lake water/%

中亲	强疏	弱疏	极亲
38.4	28.0	18.5	15.1

1.4 分析方法

采用总有机碳测定仪(liqui TOC II trace, Germany elementar),仪器的量程范围为0~10 mg·L⁻¹; UV₂₅₄测定采用DR-5000(HACH)型紫外-可见分光光度计; SUVA表示水样在254 nm的紫外吸光度和DOC的比值;相对分子质量分布采用凝胶色谱法,仪器型号(e2695, Waters),UV检测器型号(Waters2489, λ = 254 nm),TOC检测器型号(Sievers 900, GE),凝胶色谱柱型号(TSK G3000 SW_{xl}, Tosoh);标准相对分子质量物质为PSS(0.21

$\times 10^3$, 1.4×10^3 , 3.6×10^3 , 4.3×10^3 , 6.8×10^3 , 15.4×10^3 , 31×10^3); 三维荧光光谱采用 Cary Eclipse(VARIAN)荧光分光光度计,激发光源为闪烁式氙灯,波长扫描范围 $\lambda_{\text{ex}}/\lambda_{\text{em}}$ 为 $200 \sim 600 \text{ nm}/200 \sim 600 \text{ nm}$,激发和发射狭缝宽度均为 5 nm ,扫描速度为 $9600 \text{ nm} \cdot \text{min}^{-1}$,PMT 电压为 600 V ,数据采用 Origin 8.0 和 Surfer 8.0 处理。

2 结果与讨论

2.1 中试处理效果和膜压差变化

由中试数据可知,经混凝等预处理后,沉后水的浊度一般可达 3 NTU 以下;而膜出水的浊度在整个过滤周期都稳定在 0.2 NTU 以下,说明微滤膜在浊度去除方面已可满足饮用水水质要求。相较浊度,微滤膜对于沉后水 UV 和 TOC 的再去除效果较小,一般在 5% 内浮动(分别与原水对比)。

中试的膜压差变化情况如图 2 所示。由此可知,尽管膜压差不是迅速上升,但仍在短短的 13 d 内,增加到 0.07 MPa 。这说明,预处理可一定程度上

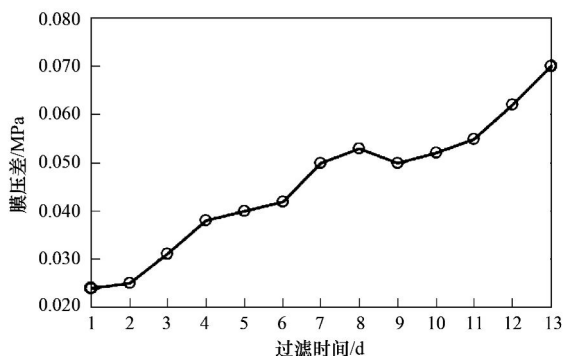


图 2 中试膜压差变化情况

Fig. 2 Changes of transmembrane pressure during a period of the pilot scale study

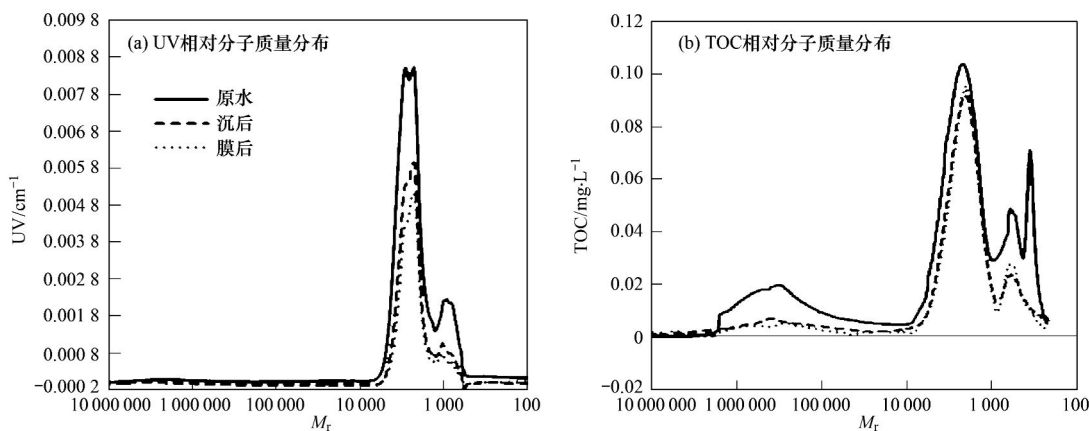


图 3 原水、沉后、膜后相对分子质量分布图

Fig. 3 HPSEC-UV and HPSEC-TOC chromatograms for raw, pretreated and MF filtered water

缓解膜污染,但仍无法防止较为严重的不可逆污染。

2.2 相对分子质量分布

图 3 为原水、沉后水、膜后水的 HPSEC-UV 和 HPSEC-TOC 相对分子质量分布图。如图 3(a),原水的 UV 响应主要在 2500 和 $900,2500$ 处的响应强度远大于 900 。对于 TOC 的相对分子质量分布[图 3(b)],在 300000 左右,有一响应峰,此外,在 2000 、 600 和 350 ,也有明显的响应峰。由此可见,原水的 UV 和 TOC 相对分子质量分布的最大不同在于大分子有机物,UV 检测器几乎没有响应,而 TOC 检测器却有较为明显的响应。由此也可知,大分子有机物主要由亲水性有机物构成,因 UV 检测器($\lambda = 254 \text{ nm}$)仅对那些在 254 nm 波长下对紫外有吸收,多为水体中含有不饱和键和苯环的有机物,如腐殖酸有响应;而对亲水性有机物,如蛋白质,多糖类的有机物,响应微弱甚至没有响应^[13,14]。

对比图 3(b)中原水和沉后水的相对分子质量分布可知,经混凝等预处理后,相对分子质量大于 10000 和小于 1000 的有机物都得到了有效的去除,且 300000 附近的大分子峰和 350 附近的小分子峰几乎完全消失。原水中相对分子质量大于 30000 的有机物是造成通量下降的主要因素,混凝作为超滤膜的预处理,能有效去除大于 30000 的有机物,从而有效抑制膜压差的上升^[15]。相对分子质量小于 1000 的有机物中,峰值 600 附近的有机物得到有效去除,且峰值 350 附近的有机物完全消失,这可归功于粉末活性炭对小分子有机物的吸附作用。由此可见,混凝与粉末活性炭共同投加起到了很好的同时去除大分子和小分子有机物的互补作用。由图 3 还可看出,对于相对分子质量在 2000 左右的有机物,虽然 UV 响应峰有明显的降低,但 TOC 响应峰的降低甚少。试验结果说明,相

对分子质量在2 000左右的有机物,混凝对它们的处理效果较差,而这部分有机物的尺寸又大于粉末炭的微孔,无法为粉末炭吸附去除。

图3(b)显示,沉后和膜后的 TOC 相对分子质量分布曲线几乎完全重合,且在相对分子质量10 000~1 000区间,两者相较原水仅有非常微弱的降低。但对照图3(a)后发现,相对于沉后水,膜后水在相对分子质量10 000~1 000的区间上,还是有部分降低,且两者与原水的差别也清晰可见。这种现象说明预处理对 UV 相对分子质量分布曲线所有区间上的有机物都有所去除,且经微滤膜过滤后,有机物含量又进一步降低。UV 相对分子质量分布图上有响应的区域全处于中等相对分子质量的区间,也即沉后水经膜滤后,被膜截留的有机物主要由中

等相对分子质量的有机物构成。

为进一步分析究竟是何种组分更易造成微滤膜的污染,将原水、沉后水、膜后水进行亲疏水性分离后,作 TOC 相对分子质量分布图。对比中亲、强疏、弱疏、极亲4组分的相对分子质量分布图发现,弱疏和极亲组分在300 000处没有响应峰,说明这2种组分没有大分子有机物的构成。但中亲和强疏组分却有清晰的响应峰,且中亲组分的响应强度较强疏的强烈,说明中性亲水和强疏组分均有大分子有机物的构成,如图4所示。对比发现,中性亲水组分在中等分子2 000和小分子660处各有强烈的响应峰,而强疏组分仅在中等分子2 000处有强烈的响应峰,这表明中等分子趋向于疏水性,而小分子趋向于亲水性。

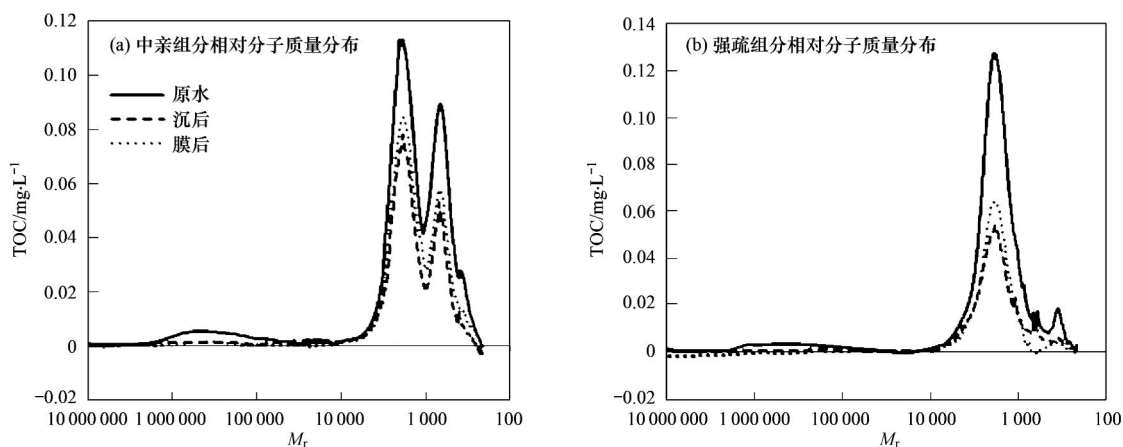


图4 原水、沉后、膜后之中亲和强疏组分 TOC 相对分子质量分布图

Fig. 4 HPSEC-TOC chromatograms for Neut and SHA fractions of raw, pretreated and MF filtered water

2.3 膜的药剂清洗

经过一段时间的运行,膜压差增大到0.07 MPa左右时,即对膜进行药剂清洗。药剂清洗分酸洗和碱洗,先碱洗后酸洗,分别浸泡2 h。碱洗采用的药剂是氢氧化钠和次氯酸钠,主要用来去除堵塞在膜上的有机物;酸洗采用的药剂是盐酸,主要用来清洗累积在膜内的无机离子和部分有机物^[16]。为考察造成膜污染的主要有机物组成,分别对酸洗水和碱洗水亲疏水性分离后,进行有机物各组分分析,如图5所示。

图5表明,碱洗所洗脱的总有机物(未分离项)明显高于酸洗的,这与韩宏大等^[17]的结论一致。此外,无论是酸洗水还是碱洗水,中亲和强疏2个组分的含量都远高于弱疏和极亲的,这说明中性亲水和强疏有机物是造成膜不可逆污染的主要因素。从图5还可看出,对于中性亲水组分,无论是碱洗还是酸

洗,均可将其洗脱;而对于强疏组分,碱洗的效果明显优于酸洗。

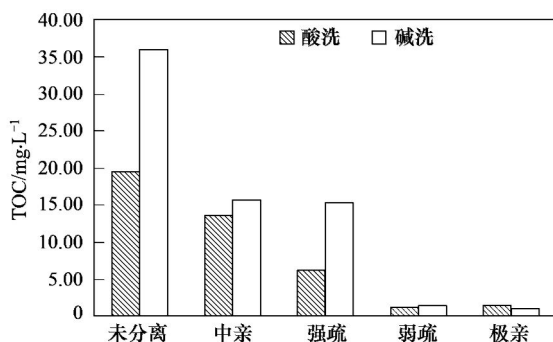


图5 酸洗、碱洗有机物组分

Fig. 5 Effect of chemical membrane cleaning with alkali and acid

图6为酸洗及碱洗水的 HPSEC-UV 和 HPSEC-TOC 相对分子质量分布图,对比可见,碱洗和酸洗的整体响应趋势在 TOC 图中已呈现2倍多差值,但

该数字在 UV 图中被扩大到 11 倍多,说明酸洗所去除的大部分有机物为对紫外无吸收的物质,这与图 6 的结果一致。此外,无论是酸洗水还是碱洗水,在 TOC 相对分子质量分布图中仅有 2 个峰,中等分子的 2 000 和小分子的 600,而没有大分子的响应峰。

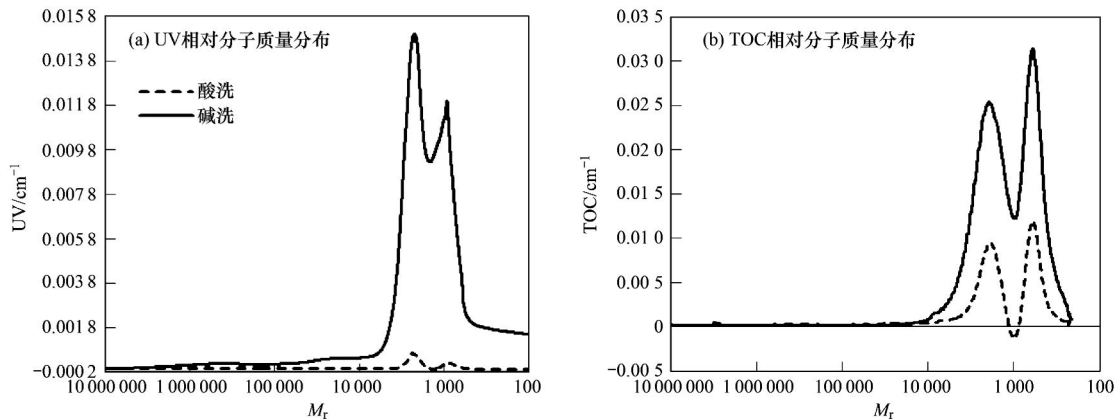


图 6 酸洗、碱洗相对分子质量分布图

Fig. 6 HPSEC-UV and HPSEC-TOC chromatograms for alkaline and acid cleaning solutions

对酸洗水和碱洗水亲疏水性分离后的各组分做 TOC 相对分子质量分布图可知,对于碱洗水,中亲和强疏组分的浓度远高于弱疏和极亲;而对于酸洗水,中亲组分的浓度则明显高于另外 3 种组分;且碱洗水中的强疏物质浓度远大于酸洗水[如图 7 (b)],这些都与有机物组分图 5 显示的结果一致,同时也进一步说明中性亲水和强疏两个组分是造成膜不可逆污染的主要因素。

图 7 为酸洗水和碱洗水的中性亲水和强疏组分 TOC 相对分子质量分布图,仔细观察可知,无论酸洗水还是碱洗水,强疏组分主要由中等分子 2 000 的有机物构成;而中亲组分却由中等分子

2 000 和小分子 600 的有机物构成,且小分子含量明显高于中等分子。一些研究指出,相对分子质量较大的疏水性有机物通常导致通量的大幅度下降,相对分子质量较小的中性亲水有机物导致通量的缓慢下降^[18]。前文已述,强疏组分多为数千相对分子质量的中等分子,容易迅速堵塞膜孔,造成膜通量的快速下降,而中亲所含较小相对分子质量的物质较多,会在后期进入膜孔内部,使膜孔逐渐堵塞,从而表现为通量的逐渐下降。从相对分子质量分布的角度,不仅呼应中亲易造成通量缓慢下降,亦将造成通量快速下降的疏水性有机物划定至强疏组分。

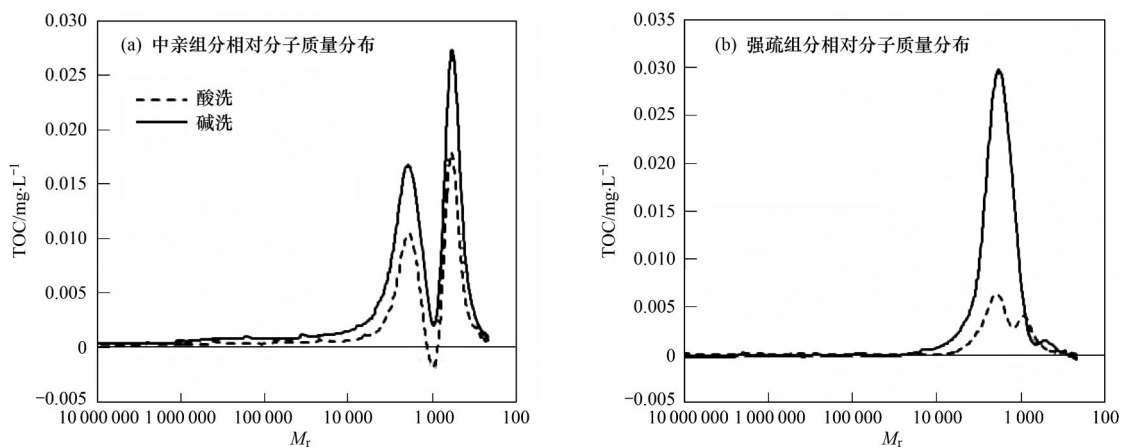


图 7 酸洗、碱洗之中亲和强疏组分相对分子质量分布图

Fig. 7 HPSEC-TOC chromatograms for Neut and SHA fractions of alkaline and acid cleaning solutions

3 三维荧光光谱(3DEEM)分析

3DEEM 可以通过荧光峰强度、位置及其分布情况提供丰富的水质成分信息. Coble 等^[19]和 Hudson 等^[20]对多种溶解性有机物的研究表明,腐殖类荧光峰主要出现在发射波长较长的区域($E_m > 400$ nm),而蛋白类荧光峰主要出现在发射波长较短的区域($E_m < 380$ nm). 对不同荧光区域所代表的物质成分、相对分子质量和亲疏水性等信息,前人进行了大量的研究. Chen 等^[21]认为,每个三维荧光光谱图都可被分为 4 个区域,区域 I [$E_x/E_m = (200 \sim 250 \text{ nm})/(280 \sim 380 \text{ nm})$]代表芳香族蛋白质;区域 II [$E_x/E_m = (250 \sim 280 \text{ nm})/(280 \sim 380 \text{ nm})$]代表溶解性微生物产物(SMP-soluble microbial products);区域 III [$E_x/E_m = (280 \sim 340 \text{ nm})/(380 \sim 480 \text{ nm})$]代表腐殖酸类,区域 IV [$E_x/E_m = (200 \sim 250 \text{ nm})/(380 \sim 480 \text{ nm})$]代表富里酸类.

图 8 为本试验原水的 3DEEM 图,前述 4 个区域的荧光信息在图中都有呈现,并一一对应. 其中蛋白类荧光峰(区域 I 和区域 II)的荧光响应强度远高于腐殖类荧光峰的(区域 III 和区域 IV);且区域 I 的响应强度最高,其次是区域 II,这可能是由于湖水中的藻类繁殖,产生较多的藻类新陈代谢物,导致芳香族蛋白质和溶解性微生物产物含量丰富的缘故. 此外,与 Wu 等^[22]的结论一致,在 $E_m > 400$ nm 的腐殖类荧光区域,富里酸类荧光峰强度高于腐殖酸类的.

Baker 等^[23]认为,荧光峰强度与位置的变化反映有机物成分的改变. Marhaba 等^[24]将有机物进行

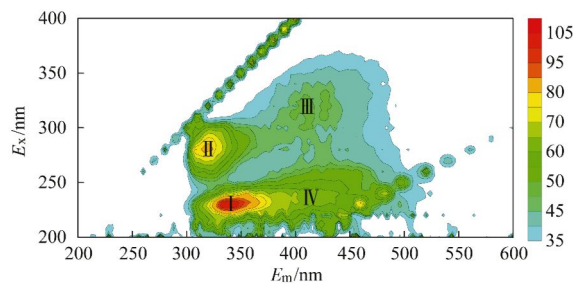


图 8 原水 3DEEM 图

Fig. 8 3DEEM of the organic matters in raw water

亲疏水分离,认为亲疏水性质不同的有机物在 3DEEM 上位置不同,从而可快速判定有机物成分. 为观察本试验所用原水各组分在三维荧光光谱中的响应情况,将原水亲疏水性分离后用三维荧光检测,结果如图 9. 可以看出,强疏和弱疏组分荧光响应最为强烈,其次是极亲,而中亲最为微弱;此外,组分不同,它们的响应区域和强度也各有不同.

强疏组分中,腐殖类荧光峰强度远高于蛋白类荧光峰,最强的是富里酸类(区域 IV),最弱的为溶解性微生物产物(区域 I),说明后者与腐殖类有机物的相关性最小. 弱疏组分中,腐殖类荧光峰强度已不如强疏,这与 Wong 等^[25]的结论相符,弱疏组分有机物的腐殖化程度要低于强疏组分;此外,弱疏组分中分属蛋白类荧光区的区域 I 响应却最强,且远高于腐殖类荧光区,说明弱疏组分中蛋白类有机物所占比例已开始上升. 与传统认识不同,极亲组分的荧光峰主体并不在波长较短的蛋白类荧光区,而是出现在腐殖酸类和富里酸类荧光区域.

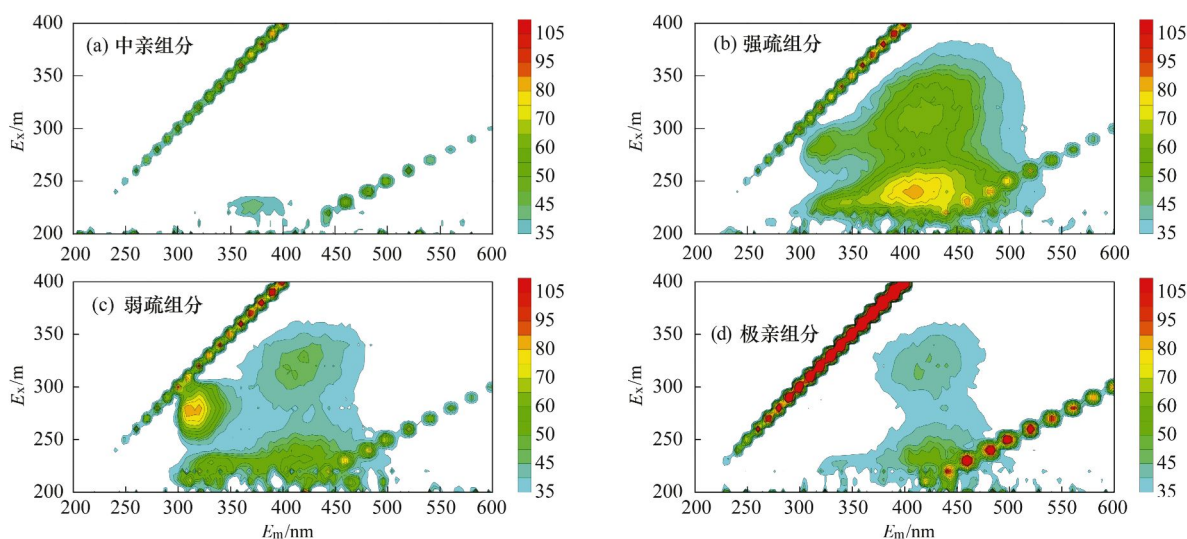


图 9 原水各组分 3DEEM 图

Fig. 9 3DEEM of the organic matter in fractions of raw water

中亲组分整体响应信号较差,主要是由于中亲组分的主要成分为多糖类有机物^[26]。虽然多糖类有机物是没有荧光和紫外吸收峰的,但由于天然原水中的多糖类有机物主要来源于动植物分解产物,因此其结构上势必存在某些与其来源相关的特征官能团,而正是这些特殊官能团会对荧光有一定程度的响应。尽管中亲组分的荧光响应不如其它组分强烈,但区域 $E_s/E_m = (210 \sim 230 \text{ nm})/(350 \sim 400 \text{ nm})$ 处的荧光响应仍不可忽略,该区属于蛋白类荧光区与腐殖类荧光区交界处,表明中亲组分兼具两类荧光区所含物质。

为进一步研究沉后水在经微滤膜过滤后被膜截留的有机物情况,采用差减的方法对沉后水和膜后水进行差减后作过膜前后差值荧光图,如图 10 所示。其中散落出现的荧光信号主要是由仪器误差和测定条件误差造成的。由图可知,被膜截留的有机物主要呈现在蛋白类荧光区(区域 I 和 II),同时这两个区域也是中亲和强疏组分所响应的区域,特别

是中亲组分,它仅在区域 I 响应。膜的药剂清洗水的荧光图(图 11)也表明,无论是酸洗水还是碱洗水,都仅在蛋白类荧光区有响应。对比图 11 还可看出,酸洗水仅在区域 I 有响应,而碱洗水在区域 I 和区域 II 均有响应,说明碱洗能洗脱更多溶解性微生物产物。这些结果说明,芳香族蛋白质和溶解性微生物产物是造成膜不可逆污染的主要成分,而这些有机物主要由强疏和中亲组分构成。

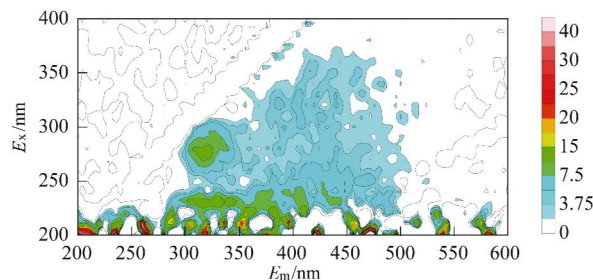


图 10 被膜截留有机物 3DEEM 图

Fig. 10 3DEEM of the organic matter rejected by MF membrane

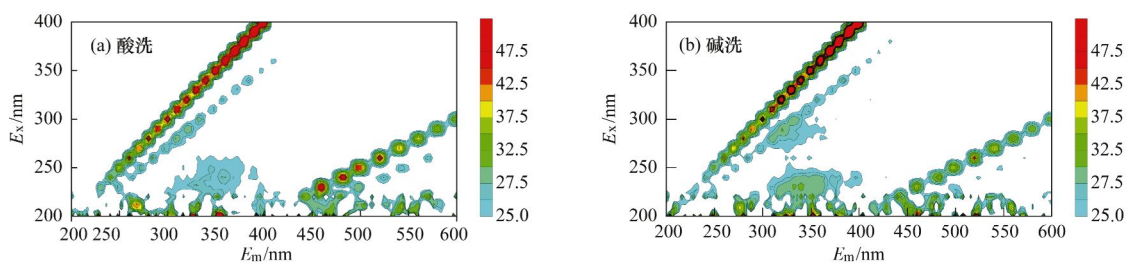


图 11 酸洗、碱洗 3DEEM 图

Fig. 11 3DEEM of the organic matter in alkaline and acid cleaning solutions

4 结论

(1) 经混凝等预处理后,被微滤膜截留的有机物主要为中等相对分子质量的有机物,其中强疏和中性亲水这两组分贡献最多。

(2) 中性亲水和强疏有机物是造成膜不可逆污染的主要组分,碱洗对于膜不可逆污染的缓解明显优于酸洗。

(3) 3DEEM 图显示,膜截留和药剂清洗水中芳香族蛋白质和溶解性微生物产物最多,说明这些有机物是导致膜不可逆污染的主要物质。

参考文献:

- [1] Crozes G, Anselme C, Mallevalle J. Effect of adsorption of organic matter on fouling of ultrafiltration membranes[J]. Journal of Membrane Science, 1993, **84**(1-2): 61-77.
- [2] Lee N H, Amy G, Croue J P, *et al.* Identification and understanding of fouling in low-pressure membrane (MF/UF)

filtration by natural organic matter (NOM) [J]. Water Research, 2004, **38**(20): 4511-4523.

- [3] Dong B Z, Chen Y, Gao N Y, *et al.* Effect of pH on UF membrane fouling[J]. Desalination, 2006, **195**(1-3): 201-208.
- [4] 周贤娇, 董秉直. 不同组分的有机物对膜过滤通量下降的影响[J]. 环境科学, 2009, **30**(2): 432-438.
- [5] Carroll T, King S, Gray S R, *et al.* The fouling of microfiltration membranes by NOM after coagulation treatment [J]. Water Research, 2000, **34**(11): 2861-2868.
- [6] Taniguchi M, Kilduff J E, Belfort G. Modes of natural organic matter fouling during ultrafiltration[J]. Environmental Science & Technology, 2003, **37**(8): 1676-1683.
- [7] Zularisam A W, Ismail A F, Salim R. Behaviours of natural organic matter in membrane filtration for surface water treatment-a review[J]. Desalination, 2006, **194**(1-3): 211-231.
- [8] Escobar I C, Hoek E M, Gabelich C J, *et al.* Committee report: recent advances and research needs in membrane fouling[J]. Journal American Water Works Association. 2005, **97**(8): 79-

- 89.
- [9] 董秉直, 陈艳, 高乃云, 等. 混凝对膜污染的防止作用[J]. 环境科学, 2005, **26**(1): 90-93.
- [10] 聂莉, 董秉直. 不同相对分子质量的有机物对膜通量的影响[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(10): 1086-1092.
- [11] Szlachta M, Adamski W. Effects of natural organic matter removal by integrated processes: alum coagulation and PAC-adsorption[J]. Water Science and Technology 2009, **59**(10): 1951-1957.
- [12] 董秉直, 夏丽华, 陈艳, 等. 混凝处理防止膜污染的作用与机理[J]. 环境科学学报, 2005, **25**(4): 530-534.
- [13] Gray S R, Ritchie C B, Bolto B A. Effect of fractionated NOM on low-pressure membrane flux declines [J]. Natural Organic Material Research: Innovations and Applications for Drinking Water, 2004, **4**(4): 189-196.
- [14] Jarusutthirak C, Amy G, Croué J P. Fouling characteristics of wastewater effluent organic matter (EFOM) isolates on NF and UF membranes[J]. Desalination 2002, **145**(1-3): 247-255.
- [15] 董秉直, 陈艳, 高乃云, 等. 有机物的相对分子质量对膜过滤通量的影响[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2006, **34**(12): 1643-1646, 1667.
- [16] Kimura K, Hane Y, Watanabe Y, *et al.* Irreversible membrane fouling during ultrafiltration of surface water [J]. Water Research, 2004, **38**(14-15): 3431-3441.
- [17] 韩宏大, 王东升, 顾平, 等. 浸入式超滤膜工艺稳定运行影响因素研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(10): 2773-2776.
- [18] Chen Y, Dong B Z, Gao N Y, *et al.* Effect of coagulation pretreatment on fouling of an ultrafiltration membrane [J]. Desalination, 2007, **204**(1-3): 181-188.
- [19] Coble P G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy [J]. Marine Chemistry, 1996, **51**(4): 325-346.
- [20] Hudson N, Baker A, Reynolds D. Fluorescence analysis of dissolved organic matter in natural, waste and polluted water-a review[J]. River Research and Applications, 2007, **23**(6): 631-649.
- [21] Chen W, Westerhoff P, Leenheer J A, *et al.* Fluorescence excitation-emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter [J]. Environment Science & Technology, 2003, **37**(24): 5701-5710.
- [22] Wu F C, Evance R D, Dillon P J. Separation and characterization of NOM by high-performance liquid chromatography and on-line three-dimensional excitation emission matrix fluorescence detection [J]. Environment Science & Technology, 2003, **37**(16): 3687-3693.
- [23] Baker A, Tipping E, Thacker S A, *et al.* Relating dissolved organic matter fluorescence and functional properties [J]. Chemosphere, 2008, **73**(11): 1765-1772.
- [24] Marhaba T F, Van D, Lippincott L R. Rapid identification of dissolved organic matter fractions in water by spectral fluorescent signatures[J]. Water Research, 2000, **34**(14): 3543-3550.
- [25] Wong S, Hanna J V, King S, *et al.* Fractionation of natural organic matter in drinking water and characterization by ^{13}C cross-polarization magic-angle spinning NMR spectroscopy and size exclusion chromatography [J]. Environmental Science & Technology, 2002, **36**(16): 3497-3503.
- [26] 刘铮. 膜污染优势组分的确定以及表征方法的研究[D]. 上海: 同济大学, 2011. 40-44.

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allelochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18 号, 邮政编码: 100085) 电话: 010-62941102, 010-62849343 传真: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京 399 信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国 内 定 价: 90.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行