

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,吴水正	(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氮挥发特性比较	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)
湘江沉积物镉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)
污水厂微孔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镉的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立栲,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	千志勇,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,李振高,黄玉娟	(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,王少锋,贾永锋	(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)

微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响

刘春¹, 马锦¹, 张磊¹, 张静¹, 张明¹, 吴根²

(1. 河北科技大学环境科学与工程学院, 石家庄 050018; 2. 科技部基础研究管理中心, 北京 100862)

摘要: 微气泡曝气有助于强化氧传质过程, 在废水好氧生物处理中具有潜在的应用优势; 同时, 微气泡及其产生方式可能对污泥混合液性质产生影响. 本研究采用 SPG 膜微气泡发生系统研究了微气泡及其产生方式对污泥混合液性质的影响. 结果表明, 微气泡曝气中, 微气泡附着于污泥絮体导致污泥上浮聚集, 从而造成反应器中污泥浓度 (MLSS) 下降, 以及污泥沉降性能变差. 微气泡产生过程中, 液体循环泵 (离心型) 产生的强水力剪切力作用于污泥混合液, 造成污泥絮体破碎、污泥粒径减小以及污泥絮体 EPS 释放, 进而使得上清液浊度和有机碳 (特别是胶体有机碳) 浓度升高, 污泥絮体的再絮凝能力丧失. 微气泡产生过程中, 污泥破碎导致的污泥有机物的释放使得污泥混合液的黏度增加, 但混合液表面张力保持不变.

关键词: 微气泡; 活性污泥; 混合液性质; SPG 膜

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0198-06

Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge

LIU Chun¹, MA Jin¹, ZHANG Lei¹, ZHANG Jing¹, ZHANG Ming¹, WU Gen²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China; 2. Basic Research Service Center, the Ministry of Science and Technology, Beijing 100862, China)

Abstract: Microbubble aeration is supposed to be able to provide potential advantage for aerobic biological wastewater treatment due to enhancement of oxygen mass transfer. On the other hand, microbubble and its generation methods might affect mixed liquor properties of activated sludge. Then SPG membrane microbubble generation system was used to investigate mixed liquor properties of activated sludge in microbubble aeration. The results indicated that sludge floatation happened in microbubble aeration due to attachment of microbubbles to sludge flocs, resulting in a decrease in mixed liquor suspended solid (MLSS) concentration in the bioreactor and poor sludge settleability. The strong shear stress caused by liquid recycling pump (centrifugal type) during microbubble generation led to sludge broken. As a result, sludge floc size decreased significantly and sludge EPS released. The release of sludge EPS was considered to be responsible for increased turbidity and organic carbon (especially colloidal organic carbon) concentration in the supernatant. The re-flocculation ability of sludge flocs also almost lost due to sludge EPS release. In addition, the mixed liquor viscosity increased along with sludge broken and sludge EPS release, but the surface tension of mixed liquor remained constant.

Key words: microbubble; activated sludge; mixed liquor properties; SPG membrane

微气泡通常是指直径为 10 ~ 50 μm 的微小气泡, 其在气液传质及有机污染物去除方面表现出潜在应用优势, 因而在废水处理领域逐渐受到关注^[1]. 目前微气泡在废水物化处理中的应用研究报道较多. Takahashi 等^[2]证实强酸条件下空气微气泡破裂产生自由基可以去除酚; Li 等^[3]发现酸性条件下铜可以催化氧气气泡破裂产生自由基, 以去除聚乙烯醇; Chu 等^[4,5]发现臭氧微气泡能够提高臭氧传质效率, 并强化溶解性污染物的氧化去除; Liu 等^[6]在染料废水混凝气浮处理中, 发现微气泡可以提高氧传质速率及污染物去除效率.

在废水好氧生物处理中, 氧传质过程对污染物去除效能影响显著, 较高的溶解氧浓度有利于有机污染物的去除^[7,8]. 同时, 提供溶解氧的曝气过程也是废水好氧生物处理工艺的主要耗能环节^[9]. 因

此, 采用微气泡曝气技术强化氧传质过程, 有助于在好氧生物处理中提高污染物去除效能及降低能耗. 已有研究证实微气泡曝气对氧传质的强化作用^[6,10], 并尝试将微气泡曝气技术应用于好氧生物处理^[11].

目前, 两种常用的微气泡产生方法为气-水旋流法^[12~14]和气体压缩法^[6,15]. 近年来, 一种采用 SPG 膜作为气-液分散介质的微气泡产生方法得到发展^[16~18]. 微气泡具有显著区别于传统气泡的界面性质, 例如微气泡对亲水固体界面附着能力很强^[19]. 而且, 与传统气泡曝气方式不同, 在几乎所

收稿日期: 2012-03-15; 修订日期: 2012-05-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51008111); 河北省应用基础研究计划重点基础研究项目 (11966726D)

作者简介: 刘春 (1976 ~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为废水处理技术, E-mail: liuchun@hebust.edu.cn

有微气泡产生方法中,都需要机械流体输送设备(主要是泵)提供循环液流^[11];若应用于传统活性污泥处理工艺,其可能和可行的循环液体为反应器混合液,则活性污泥混合液性质将受到微气泡产生方式的显著影响。可见,微气泡及其产生方式都会影响到活性污泥混合液的性质,进而影响微气泡曝气在废水好氧生物处理中的应用。目前国内外还未见相关研究报道。

本研究采用 SPG 膜微气泡发生系统,探讨了微气泡曝气对活性污泥混合液性质的影响,讨论了其应用于好氧生物处理的问题和可行性,以期微气泡曝气在好氧生物处理中的实际应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 微气泡发生装置及曝气条件

本研究采用 SPG 膜微气泡发生装置进行空气微气泡曝气。在 SPG 型微气泡发生器中,SPG 膜(管式)面积为 $1.57 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 。着眼于未来的实际应用,采用离心型屏蔽泵作为微气泡产生过程中的液体循环泵。微气泡产生及曝气条件控制为:跨膜压差(SPG 膜外侧气压与内侧水压之差)0.20 MPa,SPG 膜空气通量 $0.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,SPG 膜管内液体流速 $1.63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在此条件下,产生微气泡的平均直径为 $31.10 \mu\text{m}$ 。

1.2 实验过程

在有效容积为 5 L 的曝气容器中,接种城市污水处理厂曝气池活性污泥,接种初始污泥浓度(MLSS)约为 $0.9 \sim 1.3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,污泥沉降比(SV)约为 23.5%。以污泥混合液为循环液体,采用 SPG 膜微气泡发生装置对曝气容器进行连续微气泡曝气,曝气时间为 6 h。液体循环的进出口均设置在曝气容器底部。实验温度为室温。

在 6 h 的微气泡曝气过程中,对污泥混合液性

质随时间变化进行监测,包括 MLSS、SV、污泥絮体中位径、污泥胞外多聚物(EPS)含量、上清液有机物浓度、上清液浊度、混合液黏度及表面张力等。

1.3 检测方法

MLSS 和 SV 的检测参照国家标准法。采用 BT-9300H 激光粒度分析仪测定污泥絮体粒径分布并确定其中位径。采用 WGZ-1 数字式浊度仪测定上清液浊度。采用 BROOKFIELD 黏度仪测定混合液黏度,BZY-101 型表面张力仪测定混合液表面张力,光学显微镜 OLYMPUS BX41 观察污泥絮体形态。污泥 EPS 含量和上清液有机物浓度测定方法依据文献^[20],其中污泥提取 EPS 含量以单位 MLSS 所提取 TOC 计,上清液有机物包括 TOC、胶体有机碳(COC)和溶解性有机碳(SOC)。

2 结果与讨论

2.1 污泥上浮和 MLSS 变化

采用 SPG 膜微气泡发生器进行曝气时,可以观察到明显的污泥上浮现象,上浮污泥聚集于液面,形成污泥层。在活性污泥絮体及上浮污泥层中均可以观察到微气泡,表明微气泡附着于污泥絮体是造成污泥上浮的主要原因,如图 1 所示。污泥上浮和表面聚集造成反应器中 MLSS 下降,如图 2 所示,在此条件下,MLSS 下降速率约为 $0.35 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 。微气泡曝气中,污泥上浮并聚集于液面造成 MLSS 降低,将会使生物反应器丧失其污染物去除功能,必须加以控制。本研究尝试在液面设置砂滤头曝气,以增加表面水力扰动。表面扰动可以有效控制污泥聚集,微气泡曝气长时间运行后未出现液面污泥层;而曝气容器中 MLSS 下降速率仅为 $0.032 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 。此时,少量污泥絮体随微气泡附着于器壁,可能是造成 MLSS 仍有下降的原因,但不会影响反应器中的有效生物量。在其它研究中,均采用表

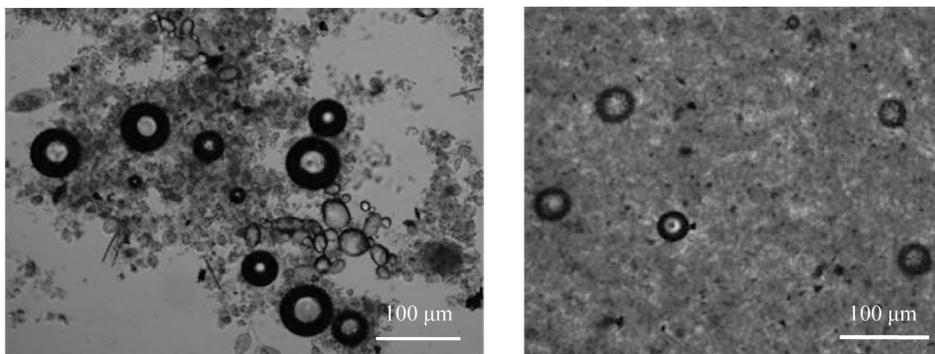


图 1 微气泡曝气中污泥絮体及上浮污泥层中的微气泡

Fig. 1 Microbubbles attached to the sludge floc and in the floatation sludge layer during microbubble aeration

面扰动保持 MLSS 浓度基本不变. 需要注意的是, 表面扰动虽然可以控制污泥表面聚集, 但将额外增加能耗.

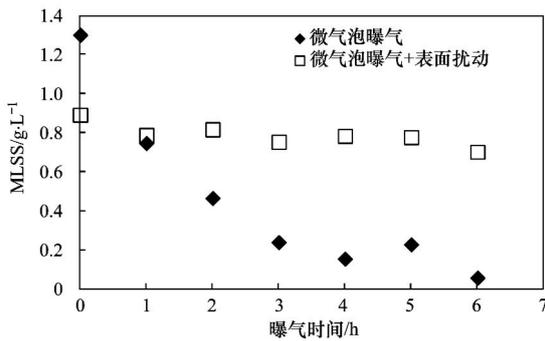


图2 微气泡曝气中曝气容器 MLSS 变化
Fig. 2 Variation of MLSS in the aeration tank during microbubble aeration

表面扰动虽然可以控制污泥表面聚集, 但微气泡附着于污泥絮体仍然对污泥沉降性造成显著影响, 对此过程中污泥沉降比 (SV) 进行监测, 结果如图 3 所示. 可以看到, 由于相当一部分污泥絮体漂浮或悬浮于上清液中, 沉降速率极慢, 所以在 SV 测定的 30 min 内, 仅有部分污泥沉降于底部, 依据此部分污泥体积计算所得 SV 呈现持续下降的趋势, 反映出微气泡曝气中污泥沉降性变差. 微气泡附着是造成污泥沉降性变差的重要原因.

2.2 污泥絮体破碎及有机物释放

采用 SPG 膜微气泡发生器进行曝气时, 污泥絮

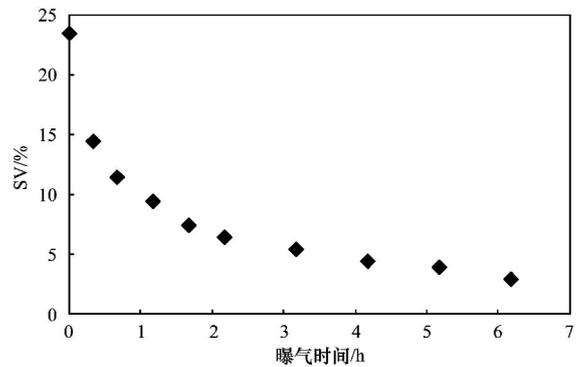


图3 微气泡曝气中活性污泥沉降比变化
Fig. 3 Variation of sludge volume (SV) of activated sludge in microbubble aeration

体明显破碎变小, 如图 4 所示. 根据污泥絮体粒径分布确定污泥絮体中位径的变化, 如图 5 所示. 可以看到, 在微气泡曝气作用下, 污泥粒径快速降低, 絮体中位径从初始时 $60.15 \mu\text{m}$ 降至曝气 0.5 h 时 $22.45 \mu\text{m}$, 而后基本保持稳定. 强水力剪切力是造成污泥絮体破碎的主要原因, 在 SPG 膜微气泡发生系统中, 水力剪切作用主要是由循环泵和液体循环流动产生的. 研究中, 将液体循环流速从 $1.63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 降低至 $0.54 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 污泥絮体中位径变化与图 5 所示基本一致. 可见, 液体循环流动不是污泥絮体破碎的主要原因, 而液体循环泵是造成污泥絮体破碎的根本原因. 此外, 污泥絮体粒径减小, 沉降速度降低, 是造成污泥沉降性变差的另一个重要原因.

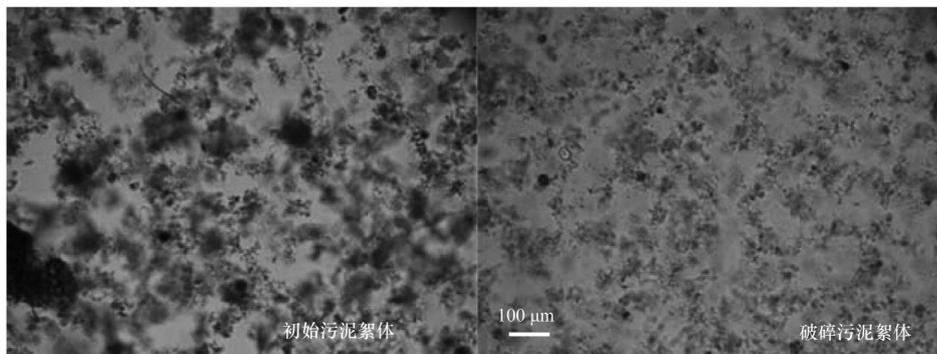


图4 微气泡曝气中破碎污泥絮体
Fig. 4 Observation of sludge broken in microbubble aeration

在污泥絮体破碎过程中, 上清液浊度明显升高, 如图 6 所示, 上清液浊度从初始时 7.6 NTU 提高至曝气 6 h 时 224 NTU. 同时, 对上清液中的 TOC、COC 和 SOC 浓度变化进行检测, 如图 7 所示. 可以看到, 微气泡曝气中, 上清液 TOC 和 COC 浓度均逐渐升高. 事实上, 考虑到此过程中污泥的好氧生物

降解对有机碳的去除作用 (初期 SOC 浓度降低可能即是此作用的体现), 上清液 TOC 和 COC 浓度升高应更为显著.

破碎污泥絮体中的生物有机大分子物质释放到上清液中, 可能是上清液浊度和有机碳浓度升高的主要原因. 为证实这一点, 对微气泡曝气过程中污

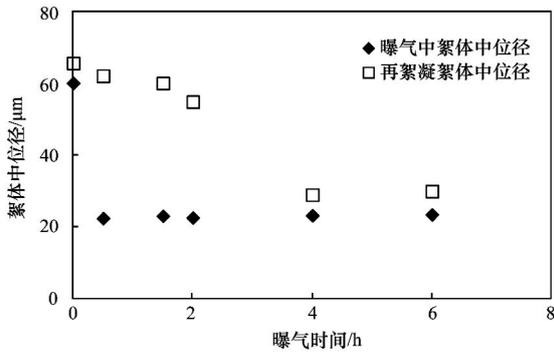


图5 微气泡曝气及再絮凝过程中污泥絮体中位径变化
Fig. 5 Variation of median diameter of sludge flocs during microbubble aeration and re-flocculation process

泥 EPS 含量变化进行测定,结果如图 8 所示. 可以看到,污泥絮体破碎导致了污泥 EPS 的释放,污泥 EPS 含量呈现持续下降的趋势,特别是曝气 2 h 以后,污泥 EPS 的释放显著加快. 不过污泥 EPS 释放明显滞后于污泥破碎过程; 同时,污泥 EPS 的释放量高于上清液有机碳的增加量,表明污泥 EPS 释放后可能会被利用消耗.

值得注意的是,对破碎污泥进行静置处理(12 h)后测定其粒径变化,以反映破碎污泥的再絮凝能力,结果如图 5 所示. 可以看到,尽管微气泡曝气使得污泥絮体快速破碎,但破碎时间较短(< 2 h)的污泥絮体仍然具有较强的再絮凝能力,污泥粒径可以得到恢复; 而破碎时间较长(> 4 h)的污泥絮体再絮凝能力基本丧失,污泥粒径降低不可逆. 此结果表明,伴随着污泥絮体有机物(包括 EPS)的持续释放和消耗,污泥絮体的絮凝能力也会受到显著影响.

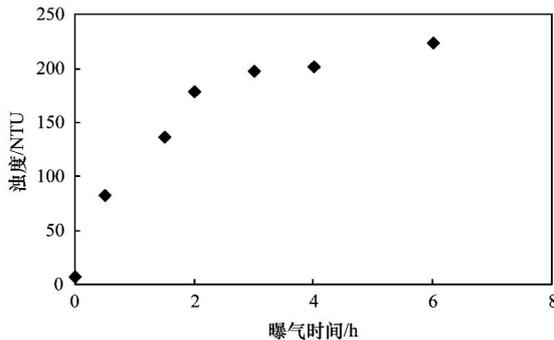


图6 微气泡曝气中上清液浊度变化
Fig. 6 Variation of supernatant turbidity during microbubble aeration

2.3 污泥混合液黏度和表面张力变化

微气泡曝气过程中污泥絮体破碎及有机物的释放,还会造成污泥混合液其它性质的变化. 本研究对微气泡曝气过程中污泥混合液黏度和表面张力的变化进行了监测,结果如图 9 和图 10 所示. 可以看

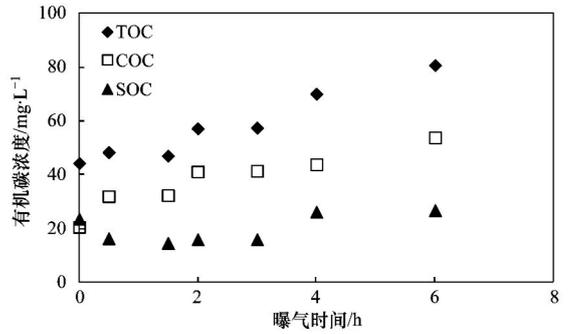


图7 微气泡曝气中上清液有机碳浓度变化
Fig. 7 Variation of organic carbon concentration in the supernatant during microbubble aeration

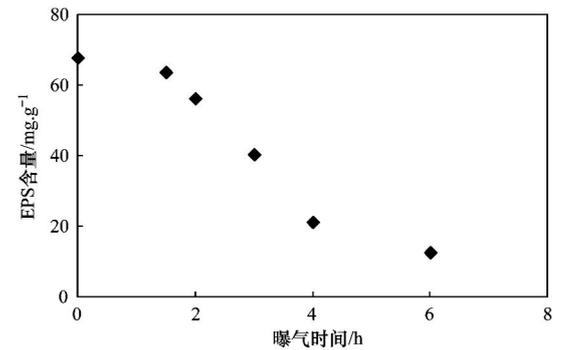


图8 微气泡曝气中污泥絮体 EPS 含量变化
Fig. 8 Variation of EPS concentration in the sludge during microbubble aeration

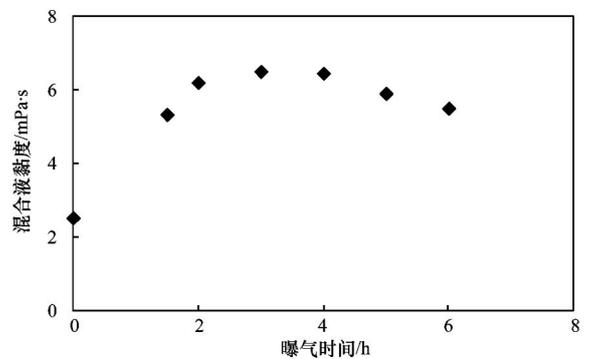


图9 微气泡曝气中混合液黏度变化
Fig. 9 Variation of mixed liquor viscosity during microbubble aeration

到,污泥混合液黏度在微气泡曝气中逐渐升高并趋于稳定,而污泥絮体破碎特别是有机物的释放是造成混合液黏度升高的主要原因. 同时,污泥混合液表面张力在微气泡曝气中基本保持不变,说明污泥絮体破碎中所释放物质没有明显的表面活性. 事实上,混合液黏度和表面张力是影响微气泡形成和稳定性的重要因素,较低的混合液黏度或表面张力都有利于 SPG 膜形成更小、更稳定的微气泡^[16, 21].

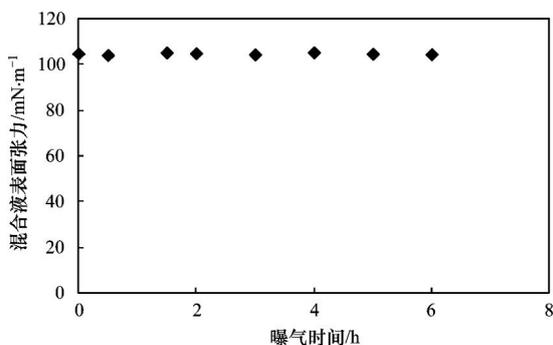


图 10 微气泡曝气中混合液表面张力变化

Fig. 10 Variation of surface tension of mixed liquor during microbubble aeration

因此,微气泡曝气中污泥混合液黏度升高和表面张力不变的现象不利于微气泡的形成和稳定。

3 讨论

从微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响来看,微气泡曝气应用于传统活性污泥工艺存在一些问题。首先,微气泡附着于污泥絮体造成污泥上浮及沉降性变差,将造成反应器污泥浓度下降及上浮污泥随出水流失,同时也难以采用重力沉降过程进行泥水分离。如果增加表面扰动控制污泥上浮并采用膜过滤进行泥水分离,虽可以解决污泥上浮和沉降性变差造成的泥水分离问题,但将会增加动力消耗和运行成本。同时,微气泡产生过程对污泥絮体的破碎作用所导致的污泥粒径减小、上清液有机物浓度增加及混合液黏度升高等现象,将会造成污泥混合液过滤性能变差,从而加速膜污染过程,影响膜过滤的正常运行^[20, 22]。

液体循环泵的类型也是影响混合液性质的重要因素。离心型循环泵叶轮产生的水力剪切力较强,对污泥混合液性质影响较大。可以想见,若采用其它水力剪切作用较小的循环泵,如蠕动泵,则可以显著改善微气泡产生过程对混合液性质的影响。但蠕动泵可以提供的循环流量有限,可能会限制未来微气泡曝气实际应用的规模。

可见,在现有的微气泡产生方式下,微气泡曝气应用于基于活性污泥过程的好氧生物处理工艺存在很多问题和困难。另一方面,生物膜形式的好氧生物处理工艺由于微生物附着固定于填料载体上,可以避免微气泡及其产生过程的影响,不会出现污泥上浮、污泥分离、污泥破碎等问题,可能是微气泡曝气与废水好氧生物处理结合的可行方式。

4 结论

(1)微气泡曝气中,微气泡附着于污泥絮体导致污泥上浮聚集,造成反应器中 MLSS 浓度快速下降,以及污泥沉降性能变差。

(2)微气泡产生过程中,离心型循环泵产生的强水力剪切力作用于污泥混合液,造成污泥絮体破碎、污泥粒径减小以及污泥絮体 EPS 释放,进而使得上清液浊度和有机碳(特别是胶体有机碳)浓度升高,污泥絮体的再絮凝能力丧失。

(3)微气泡产生过程中,污泥破碎导致污泥有机物的释放,使得污泥混合液的黏度增加,但混合液表面张力保持不变。

参考文献:

- [1] Agarwal A, Ng W J, Liu Y. Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment[J]. *Chemosphere*, 2011, **84**(9): 1175-1180.
- [2] Takahashi M, Chiba K, Li P. Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus [J]. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2007, **111**(6): 1343-1347.
- [3] Li P, Takahashi M, Chiba K. Enhanced free-radical generation by shrinking microbubbles using a copper catalyst [J]. *Chemosphere*, 2009, **77**(8): 1157-1160.
- [4] Chu L B, Xing X H, Yu A F, *et al.* Enhanced ozonation of simulated dyestuff wastewater by microbubbles [J]. *Chemosphere*, 2007, **68**(10): 1854-1860.
- [5] Chu L B, Xing X H, Yu A F, *et al.* Enhanced treatment of practical textile wastewater by microbubble ozonation [J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2008, **86**(5): 389-393.
- [6] Liu S, Wang Q H, Ma H Z, *et al.* Effect of micro-bubbles on coagulation flotation process of dyeing wastewater[J]. *Separation and Purification Technology*, 2010, **71**(3): 337-346.
- [7] Travers S M, Lovett D A. Activated sludge treatment of abattoir wastewater—II: Influence of dissolved oxygen concentration[J]. *Water Research*, 1984, **18**(4): 435-439.
- [8] Liu F, Zhao C C, Zhao D F, *et al.* Tertiary treatment of textile wastewater with combined media biological aerated filter (CMBAF) at different hydraulic loadings and dissolved oxygen concentrations[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, **160**(1): 161-167.
- [9] Fayolle Y, Cockx A, Gillot S, *et al.* Oxygen transfer prediction in aeration tanks using CFD[J]. *Chemical Engineering Science*, 2007, **62**(24): 7163-7171.
- [10] 刘春, 张磊, 杨景亮, 等. 微气泡曝气中氧传质特性研究[J]. *环境工程学报*, 2010, **4**(3): 585-589.
- [11] Terasaka K, Hirabayashi A, Nishino T, *et al.* Development of microbubble aerator for waste water treatment using aerobic

- activated sludge[J]. *Chemical Engineering Science*, 2011, **66**(14): 3172-3179.
- [12] Takahashi M, Kawamura T, Yamamoto Y, *et al.* Effect of shrinking microbubble on gas hydrate formation[J]. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2003, **107**(10): 2171-2173.
- [13] Takahashi M. ζ Potential of microbubbles in aqueous solutions: electrical properties of the gas-water interface[J]. *Journal of Physical Chemistry B*, 2005, **109**(46): 21858-21864.
- [14] Chu L B, Yan S T, Xing X H, *et al.* Enhanced sludge solubilization by microbubble ozonation [J]. *Chemosphere*, 2008, **72**(2): 205-212.
- [15] Burns S E, Yiacoumi S, Tsouris C. Microbubble generation for environmental and industrial separations [J]. *Separation and Purification Technology*, 1997, **11**(3): 221-232.
- [16] Kukizaki M, Goto M. Size control of nanobubbles generated from Shirasu-porous-glass (SPG) membranes [J]. *Journal of Membrane Science*, 2006, **281**(1-2): 386-396.
- [17] Kukizaki M, Wada T. Effect of the membrane wettability on the size and size distribution of microbubbles formed from Shirasu-porous-glass (SPG) membranes[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2008, **317**(1-3): 146-154.
- [18] Kukuzaki M, Fujimoto K, Kai S, *et al.* Ozone mass transfer in an ozone-water contacting process with Shirasu porous glass (SPG) membranes—A comparative study of hydrophilic and hydrophobic membranes [J]. *Separation and Purification Technology*, 2010, **72**(3): 347-356.
- [19] Yang C. Observation of microbubble attachment onto a hydrophilic glass surface [J]. *Chemical Engineering Science*, 2002, **57**(8): 1485-1488.
- [20] Wu J L, Huang X. Effect of mixed liquor properties on fouling propensity in membrane bioreactors [J]. *Journal of Membrane Science*, 2009, **342**(1-2): 88-96.
- [21] Kukizaki M, Goto M. Spontaneous formation behavior of uniform-sized microbubbles from Shirasu porous glass (SPG) membranes in the absence of water-phase flow[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2007, **296**(1-3): 174-181.
- [22] Meng F G, Zhang H M, Yang F L, *et al.* Identification of activated sludge properties affecting membrane fouling in submerged membrane bioreactors[J]. *Separation and Purification Technology*, 2006, **51**(1): 95-103.

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 Allochemicals 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-p-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

国内外公开发行人