

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第12期

Vol.35 No.12

**2014**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次(卷终)

|                                                              |                                        |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 北京雾霾天气生物气溶胶浓度和粒径特征 .....                                     | 高敏,仇天雷,贾瑞志,韩梅琳,宋渊,王旭明(4415)            |
| 杭州大气颗粒物散射消光特性及霾天气污染特征 .....                                  | 徐昶,叶辉,沈建东,孙鸿良,洪盛茂,焦荔,黄侃(4422)          |
| 太原市采暖季 PM <sub>2.5</sub> 中元素特征及重金属健康风险评价 .....               | 李丽娟,温彦平,彭林,白慧玲,刘凤娴,史美鲜(4431)           |
| 成都市城区 PM <sub>2.5</sub> 中二次水溶性无机离子污染特征 .....                 | 李友平,周洪,张智胜,王启元,罗磊(4439)                |
| 北京市臭氧的时空分布特征 .....                                           | 王占山,李云婷,陈添,张大伟,孙峰,孙瑞雯,董欣,孙乃迪,潘丽波(4446) |
| 南京北郊大气 VOCs 变化特征及来源解析 .....                                  | 安俊琳,朱彬,王红磊,杨辉(4454)                    |
| 祁连山中段降水化学的环境意义研究 .....                                       | 李宗杰,李宗省,田青,宋玲玲,贾冰,郭瑞,宋耀选,苏索南,韩春坛(4465) |
| 中亚热带典型林分不同层次氮硫湿沉降动态变化 .....                                  | 孙涛,马明,王定勇,黄礼昕(4475)                    |
| 本底大气 CO <sub>2</sub> 观测分析过程中 QA/QC 方法的建立与评估 .....            | 刘立新,周凌晔,夏玲君,王红阳,方双喜(4482)              |
| 轻型汽油车 CH <sub>4</sub> 和 N <sub>2</sub> O 排放因子研究 .....        | 何立强,宋敬浩,胡京南,解淑霞,祖雷(4489)               |
| 煤燃烧超细微粒粒径谱演变及排放因子的实验研究 .....                                 | 孙在,杨文俊,谢小芳,陈秋方,蔡志良(4495)               |
| 春、夏季长江口及其邻近海域溶解 N <sub>2</sub> O 的分布和海-气交换通量 .....           | 王岚,张桂玲,孙明爽,任景玲(4502)                   |
| 珠江口水体组分的吸收特性分析 .....                                         | 王珊珊,王永波,扶卿华,尹斌,李云梅(4511)               |
| 河流汇合处水体磷素形态特征及紫外光照的影响:以渠江-嘉陵江、涪江-嘉陵江交汇为例 .....               | 闫金龙,江韬,魏世强,李玲,郭念,李璐璐,刘江(4522)          |
| 基于太湖微囊藻毒素的叶绿素 a 阈值研究 .....                                   | 魏代春,苏婧,纪丹凤,伏小勇,王骥,霍守亮,崔驰飞,唐军,席北斗(4530) |
| 百花湖周边城市近郊小流域氮、磷输出时空特征 .....                                  | 冯源嵩,林陶,杨庆媛(4537)                       |
| 自然光照对淹水条件下三峡库区消落带典型土壤磷释放影响 .....                             | 郭念,江韬,魏世强,闫金龙,梁俭,卢松,高洁(4544)           |
| 垂直流人工湿地 LDHs 覆膜改性沸石基质强化除磷效果及其机制 .....                        | 张翔凌,陈俊杰,郭露,陈巧珍,王晓晓(4553)               |
| 三峡库区消落带 3 种植物淹水后汞的动态变化及其对水体的影响 .....                         | 张翔,张成,孙荣国,王定勇(4560)                    |
| 纳米 TiO <sub>2</sub> 对底泥中汞释放及活化的影响 .....                      | 张金洋,李楚娴,王定勇,周雄,孙荣国,张成,梁丽(4567)         |
| 首都水源地——洋河流域人为源多环芳烃(PAHs)排放清单估算及其影响分析 .....                   | 高佳佳,罗维,奚晓霞(4573)                       |
| 石化工业园区有毒废水来源识别研究 .....                                       | 杨茜,于茵,周岳溪,陈学民,伏小勇,王淼(4582)             |
| 污水处理厂中红霉素抗药性基因的污染特征及选择性因子 .....                              | 李侃竹,吴立乐,黄圣琳,何势,刘振鸿,薛罡,高品(4589)         |
| 2 种填料 BAF 深度处理印染废水沿程污染物变化规律研究 .....                          | 刘俊峰,范举红,刘锐,陈吕军,张永明(4596)               |
| 硫酸盐还原型甲烷厌氧氧化菌群驯化及其群落特征 .....                                 | 席婧茹,刘素琴,李琳,刘俊新(4602)                   |
| MBR 处理腈纶废水的效能及微生物群落结构分析 .....                                | 魏健,宋永会,赵乐(4610)                        |
| 制革废水的厌氧氨氧化 ABR 脱氮工艺研究 .....                                  | 曾国驱,贾晓珊(4618)                          |
| 生物滤池工艺的数值模拟与运行优化 .....                                       | 邹宗森,施汉昌,陈向强,谢小青(4627)                  |
| 气升装置对厌氧氨氧化污泥形态及性能的影响 .....                                   | 李祥,黄勇,袁怡,周呈,陈宗短,张大林(4636)              |
| 给水厂污泥改良生物滞留填料除磷效果的研究 .....                                   | 王建军,李田,张颖(4642)                        |
| 北京地区不同城镇污水处理厂堆肥污泥的营养含量和重金属污染 .....                           | 白莉萍,齐洪涛,伏亚萍,李萍(4648)                   |
| 电子垃圾拆解区污染池塘中鱼类多氯联苯及其代谢产物的组织分配及暴露风险 .....                     | 唐斌,罗孝俊,曾艳红,麦碧娴(4655)                   |
| 广东罗非鱼养殖区水体和鱼体中重金属、HCHs、DDTs 含量及风险评价 .....                    | 谢文平,朱新平,郑光明,马丽莎(4663)                  |
| 崇明典型水生生物中雌激素含量和分布特征 .....                                    | 耿婧婧,叶爱丽,杨毅,刘敏,张婧,周俊良(4671)             |
| 啮虫脒光催化降解动力学的优化及其降解产物的分析 .....                                | 周文常,阳海,胡志斌,兰世林(4678)                   |
| 氮添加对生长季寒温带针叶林土壤有效氮和酸化的影响 .....                               | 陈高起,傅瓦利,罗亚晨,高文龙,李胜功,杨浩(4686)           |
| 土地利用方式对缙云山土壤团聚体稳定性及其有机碳的影响 .....                             | 李鉴霖,江长胜,郝庆菊(4695)                      |
| 上海市郊设施大棚次生盐渍化土壤盐分含量调查及典型对应分析 .....                           | 唐冬,毛亮,支月娥,张进忠,周培,柴晓彤(4705)             |
| 某铅酸蓄电池污染场地表层土壤重金属 Pb 空间分布预测研究 .....                          | 刘庚,牛俊杰,张朝,赵鑫,郭观林(4712)                 |
| 海泡石对镉-铅复合污染钝化修复效应及其土壤环境质量影响研究 .....                          | 孙约兵,王朋超,徐应明,孙扬,秦旭,赵立杰,王林,梁学峰(4720)     |
| 盐碱区不同开发年限水田温室气体排放规律及影响因素 .....                               | 汤洁,方天儒,侯克怡,赵仁竹,梁爽(4727)                |
| 不同热解温度生物炭对 Cd(II) 的吸附特性 .....                                | 王震宇,刘国成,Monica Xing,李锋民,郑浩(4735)       |
| 碱土金属钙沉积对 Mn-Ce/TiO <sub>2</sub> 低温 SCR 催化剂脱硝性能的影响 .....      | 周爱奕,毛华峰,盛重义,谭月,杨柳(4745)                |
| 国内外水泥工业大气污染物排放标准比较研究 .....                                   | 江梅,李晓倩,纪亮,邹兰,魏玉霞,赵国华,车飞,李刚,张国宁(4752)   |
| 我国水泥工业大气污染物排放标准的修订历程与思考 .....                                | 江梅,李晓倩,纪亮,邹兰,魏玉霞,赵国华,车飞,李刚,张国宁(4759)   |
| 《环境科学》第35卷(2014年)总目录 .....                                   | (4767)                                 |
| 《环境科学》征订启事(4617) 《环境科学》征稿简则(4654) 信息(4474, 4529, 4536, 4744) |                                        |

## 2 种填料 BAF 深度处理印染废水沿程污染物变化规律研究

刘俊峰<sup>1,2</sup>, 范举红<sup>1</sup>, 刘锐<sup>1\*</sup>, 陈吕军<sup>1,3\*</sup>, 张永明<sup>2</sup>

(1. 浙江清华长三角研究院生态环境研究所, 浙江省水质科学与技术重点实验室, 嘉兴 314006; 2. 上海师范大学生命与环境科学学院, 上海 200234; 3. 清华大学环境学院, 北京 100084)

**摘要:** 针对某印染工业园区污水处理厂二级生化处理出水, 采用处理规模为  $15 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$  的中试试验, 研究了活性炭填料和悬浮填料曝气生物滤池沿程的污染物浓度变化, 探讨了用低价、轻质悬浮填料替代活性炭的可行性。结果表明, 在进水 COD 和色度分别为  $50.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和 58 倍时, 活性炭和悬浮填料曝气生物滤池最终出水 COD 和色度分别为  $35.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、18 倍和  $44.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和 26 倍, 均可达到城镇污水厂污染物排放标准 (GB 18918-2002) 中的一级 A 排放标准要求, 但是悬浮填料曝气生物滤池达标所需沿程的高度为 2 400 mm, 高于活性炭曝气生物滤池的 1 800 mm。悬浮填料曝气生物滤池对色度、总氮、氨氮的去除效果及沿程变化趋势与活性炭曝气生物滤池相仿, 但 COD 去除效果不佳, 主要是与其生物量少有关。因此, 用悬浮填料替代活性炭在该污水厂是可行的, 但仍需要对填料大小和材质进行优选, 增大生物量, 必要时可考虑使用活性炭和悬浮填料的组合工艺减少造价成本。

**关键词:** 曝气生物滤池; 填料; 深度处理; 印染废水; 沿程; 生物量

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)12-4596-06 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.12.024

## Variation of Pollutants Along the Height of Two Media BAF During Advanced Treatment of Dyeing Wastewater

LIU Jun-feng<sup>1,2</sup>, FAN Ju-hong<sup>1</sup>, LIU Rui<sup>1</sup>, CHEN Lü-jun<sup>1,3</sup>, ZHANG Yong-ming<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory for Water Science and Technology, Department of Environmental Technology and Ecology of Yangtze Delta Region Institute of Tsinghua University, Jiaxing 314006, China; 2. College of Life and Environmental Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China; 3. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** A pilot-scale process with the capacity of  $15 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$  was applied for treatment of the secondary biological effluent from a dyeing industrial park wastewater treatment plant. We studied the variation of pollutants along the height of two media biological aerated filter (BAF), investigated the feasibility of the cheaper and lighter suspended media to substitute activated carbon. The results showed that while the influent average COD and color were  $50.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  and 58 times, the effluent average COD and color of activated carbon and suspended media BAF were  $35.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 18 times and  $44.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 26 times, and both of the effluent met the first level A criteria specified in the Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant (GB 18918-2002), while it met the first level A criteria at the height of 2 400 mm in suspended media BAF, higher than the height of 1 800 mm in activated carbon BAF. The removal variation of color, TN and ammonia along the height of suspended media BAF is similar to the activated carbon BAF, but with a low removal efficiency of COD, mainly related to its less biomass. Therefore, suspended media to substitute activated carbon is feasible to the wastewater treatment plant, but the size and material of the media still need to be optimized, and to enhance the biomass, the hybrid process of suspended media with activated carbon BAF may be used to reduce the cost if it is necessary.

**Key words:** biological aerated filter; media; advanced treatment; dyeing wastewater; along the height; biomass

印染废水是色度高、可生化性差、水质水量波动大的一类工业废水。印染行业废水的 80% 为纺织废水。2008 年纺织工业废水排放量 23 亿 t, 居各工业行业第 3 位, 占全国工业废水排放量的 10.60%<sup>[1]</sup>。纺织工业排放废水中化学需氧量 (COD) 排放量 31.4 万 t, 居各工业行业第 4 位, 占全国工业废水 COD 的 7.76%。废水排放标准日趋严格, 其污水处理厂排放废水要求由城镇污水厂污染物排放标准 (GB 18918-2002) 中的一级 B 排放标准

提升到一级 A 排放标准, 其主要水质问题是该厂出水 COD 和色度难以达到一级 A 排放标准, 急需一种对其出水可以进行有效处理的工艺。

收稿日期: 2014-04-28; 修订日期: 2014-08-01

基金项目: 浙江省重大科技专项 (2012C03002-1); 浙江省科研院所平台项目 (2012F10028); 浙江省环境保护厅科技计划项目 (2013B005)

作者简介: 刘俊峰 (1990 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水污染控制, E-mail: liujunfeng90@foxmail.com

\* 通讯联系人, E-mail: liuruitsinghuazj@gmail.com; chenlj@tsinghua.edu.cn

曝气生物滤池(biological aerated filter, BAF)是一种运行稳定、占地面积小、水力停留时间短,对于深度处理十分有效的污水处理工艺,对于低浓度难降解污水有进一步的去除效果<sup>[2-6]</sup>。笔者前期试验采用活性炭以及陶粒处理该厂二级生物处理废水,其中陶粒运行效果不佳,而活性炭应用于处理十分有效,但是活性炭价格昂贵、再生困难<sup>[7]</sup>。希望能够用价格低廉、轻型的悬浮填料替代活性炭。本研究在相同的条件下使用大小和材质有差异的活性炭和悬浮填料两种生物填料 BAF 对印染废水进行深度处理,对比考察了 BAF 在稳定运行时沿程的污染物浓度变化规律,探讨悬浮填料替代活性炭的可行性,以期降低滤池成本、优化滤池结构提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验用水

某污水处理厂主要处理数十家以印染企业为主的生产废水。本研究以污水厂二级生物处理经过石英砂滤池过滤后的出水作为原水,其 COD、色度、TN 和氨氮分别为 46.3 ~ 65.8 mg·L<sup>-1</sup>、54 ~ 80 倍、3.6 ~ 10.1 mg·L<sup>-1</sup>和 0.3 ~ 0.7 mg·L<sup>-1</sup>。该污水厂水质主要问题是 COD 和色度不能达到一级 A 标准,即 COD 小于 50 mg·L<sup>-1</sup>,色度小于 30 倍。

### 1.2 试验装置与方法

两套曝气生物滤池试验装置如图 1 所示,该污水处理厂生化处理采用 CASS 工艺,CASS 出水经潜水泵打入前端石英砂滤池,去除悬浮物质以方便准确进行沿程试验研究,同时减少后续 BAF 处理负荷和减缓反冲洗频率。再经抽滤泵抽吸,均以 15 t·d<sup>-1</sup> 的流量并联流入活性炭 BAF 和悬浮填料 BAF,水力停留时间分别为 1 h 和 2 h,溶解氧均控制在 4 mg·L<sup>-1</sup>左右。最后经过两套 BAF 处理排出。滤池反冲洗采用“气冲——(气冲 + 水冲)——水漂洗”的方式。先气冲 10 min,再气水联合冲洗 10 min,最后水漂洗 5 min 的方式。中试装置从 10 月下旬至次年 1 月中旬连续通水运行 80 d。运行前 30 d 视为挂膜启动阶段。第 31 d 开始连续监测出水水质,评估 BAF 沿高程的净化效果,沿程试验期间水温为 15 ~ 20℃。

两个 BAF 尺寸为  $\phi 700 \text{ mm} \times H 5350 \text{ mm}$ ,卵石承托层高 300 mm,填料填装厚度为 2100 mm,水位高度为 2700 mm。BAF 沿程各设 9 个取样口,每个取样口相隔 300 mm,水流上进下出。其中活性炭

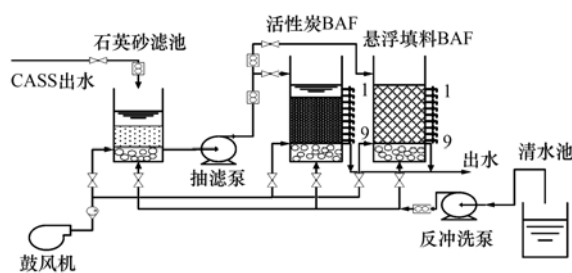


图1 试验装置

Fig. 1 Schematic diagram of experimental equipment

BAF 滤料处于 600 ~ 2700 mm; 悬浮填料 BAF 由于曝气时呈完全流化状态,滤料布满整个滤池。

### 1.3 填料选择

BAF 所采用的煤质活性炭和中空改性塑料悬浮填料如图 2 所示。其主要性能参数:煤质活性炭尺寸 0.5 mm,孔隙率 50% ~ 55%,堆积密度 350 kg·m<sup>-3</sup>,比表面积为 960 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>;中空改性塑料悬浮填料尺寸 20 mm,孔隙率 97%,堆积密度 71 kg·m<sup>-3</sup>,比表面积为 140 m<sup>2</sup>·m<sup>-3</sup>。对于采用大小和材质有差异的填料,主要控制相同的填充率来运行<sup>[8,9]</sup>。本试验对两个 BAF 采用相同的填充厚度,即 2100 mm 填料。所采用活性炭属于微观比表面填料<sup>[10]</sup>,悬浮填料属于表观比表面填料<sup>[11]</sup>,虽然它们的比表面积相差较大,但是后者表面组成几乎是有效的,利于微生物生长<sup>[12]</sup>。且所选用的悬浮填料尺寸适中,改性塑料材质填料去污能力强、表面亲水性强、投资运行成本低。

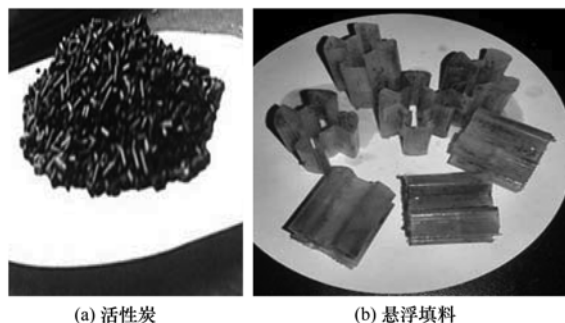


图2 活性炭和悬浮填料

Fig. 2 Activated carbon and suspended media

### 1.4 分析方法

常规水质指标采用文献[13]的方法测定;UV<sub>254</sub>采用紫外分光光度法;浊度采用浊度仪。生物量同步采用脂磷法<sup>[14]</sup>和称重法测定。脂磷法根据文献中的方法,结果以 nmol·g<sup>-1</sup>(干重填料)表示,1 nmol·g<sup>-1</sup>相当于含有 10<sup>8</sup> 个大肠杆菌。称重法步骤:取适量填料和空白填料放入已烘干称重的称量瓶

中,在 105℃ 的烘箱烘干、冷却和称重(干重填料),结果以  $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  表示. 试验期间共进行沿程测试 3 次,每次间隔 20 d,具有一定代表性.

## 2 结果与讨论

### 2.1 沿程 COD 的变化

运行前 30 d 视为挂膜启动阶段,31 d 开始连续监测出水水质,滤池进水 COD 为  $47.9 \sim 52.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,平均为  $50.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 两 BAF 沿程上对 COD 的去除效果如图 3 所示. 经活性炭 BAF 和悬浮填料 BAF 处理后出水 COD 均有所下降,分别为  $33.2 \sim 36.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $42.4 \sim 46.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,平均分别为  $35.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $44.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

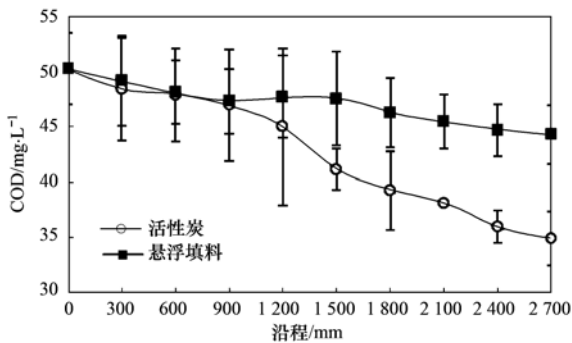


图3 沿程 COD 变化情况

Fig. 3 Variation of COD along different media BAFs

活性炭 BAF 中 0 ~ 600 mm 段中,气流作用带起少量活性炭,结合此段生物量可知,由于生物量较少 COD 仅有少量去除. 活性炭 BAF 的 COD 浓度在 600 ~ 1500 mm 段下降较为明显,在 1500 mm 处 COD 去除率为 17.9%,1500 mm 之后 COD 浓度仍有一定的下降,下降趋势变缓,最终出水 COD 去除率为 30.3%,这与一些学者的研究结论相似<sup>[15, 16]</sup>,主要是由于进水端有机物浓度较高、营养物质丰富、异养菌占优势,加上活性炭填料本身的吸附和截留作用,所以在进水端 COD 降解较为明显,在 1500 mm 之后有机物浓度逐渐降低,硝化细菌等自养菌含量较异养菌处于劣势, COD 降解速率逐渐变缓慢;悬浮填料 BAF 的 COD 随着沿程的增加仅有少量去除效果,在 2400 mm 处可稳定达到一级 A 标准, COD 去除率为 11.0%,最终 COD 去除率仅为 11.8%. 悬浮填料 BAF 的 COD 去除效果不佳主要由于悬浮填料在曝气状态下呈完全流化状态,填料扰动较大,生物量较少. 此外原水经过了石英砂滤池处理,其减少了悬浮填料 BAF 有机物的浓度. 活

性炭 BAF 较悬浮填料 BAF 在整个沿程 COD 去除效果更好,在沿程  $\geq 1500 \text{ mm}$  时,活性炭 BAF 的 COD 出水浓度能稳定达到一级 A 标准  $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,悬浮填料 BAF 在  $\geq 2400 \text{ mm}$  能达到一级 A 标准. 说明悬浮填料对于去除 COD 效果较活性炭低,但在本试验进水 COD 浓度较低时,可以达到一级 A 标准,在 COD 去除效果上可以替代活性炭.

邹士洋等<sup>[17]</sup>的研究表明 3 种悬浮填料比表面积依次为  $236 \text{ m}^2\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $360 \text{ m}^2\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $470 \text{ m}^2\cdot\text{m}^{-3}$  时,比表面积更高的填料出水有机物去除能力更好. 陈月芳等<sup>[18]</sup>采用 3 种不同比表面积填料也验证了比表面积更高的填料有机物去除能力更高. 本研究中悬浮填料尺寸 20 mm,单位容积比表面积仅为  $140 \text{ m}^2\cdot\text{m}^{-3}$ ,若增加填料比表面积出水有机物去除能力有可能会得到提高.

### 2.2 沿程色度的变化

运行期间,BAF 沿程上对色度的去除效果如图 4 所示. 该厂出水经石英砂滤池处理后色度几乎无去除效果,主要由两个 BAF 去除,进水色度为 51 ~ 65 倍,平均为 58 倍. 经活性炭 BAF 和悬浮填料 BAF 处理后色度分别为 15 ~ 20 倍和 23 ~ 28 倍,平均分别为 18 倍和 26 倍.

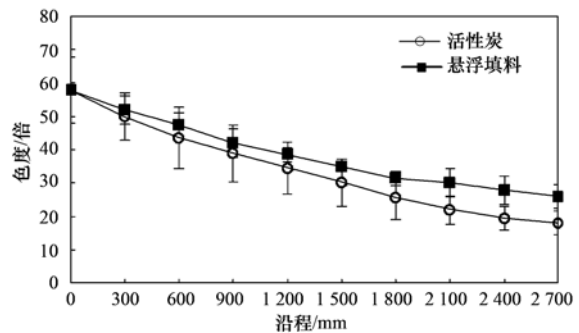


图4 沿程色度变化情况

Fig. 4 Variation of color along different media BAFs

两个 BAF 在整个沿程上对色度都有较为明显的去除. 活性炭 BAF 在沿程各个阶段均有较好去除效果,在 2100 mm 之后去除效果略有降低,其色度在沿程  $\geq 1800 \text{ mm}$  时达到一级 A 排放标准,在 1800 mm 处色度去除率为 55.2%,最终出水色度去除率为 69.0%;悬浮填料 BAF 在沿程对色度也有较好的去除效果,在沿程 1500 mm 之后去除效果略有降低,在沿程  $\geq 2400 \text{ mm}$  时达到一级 A 排放标准要求,在 2400 mm 处色度去除率为 51.7%,最终出水色度去除率为 55.2%. 目前,对曝气生物滤池沿程中色度变化的研究较少,且多以活性

炭为主去除色度. 文献[19~21]用悬浮填料反应器处理有色废水,发现对废水的色度有很好的去除效果. 需要指出的是,本试验中悬浮填料 BAF 处理印染废水二级生物处理出水,色度从 58 倍降到 26 倍,去除率达到 55.2%,说明本试验中的悬浮填料对色度也有很好去除效果,而且价格低廉,有很好的开发前景,可以用来代替活性炭去除一些色度超标的废水.

### 2.3 沿程 TN 的变化

运行期间,BAF 沿程上对 TN 的去除效果如图 5 所示. 进水 TN 浓度为  $4.4 \sim 5.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 已达到一级 A 排放标准  $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的要求. 经活性炭 BAF 和悬浮填料 BAF 处理后 TN 浓度平均分别下降至  $3.2 \sim 3.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $2.8 \sim 3.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

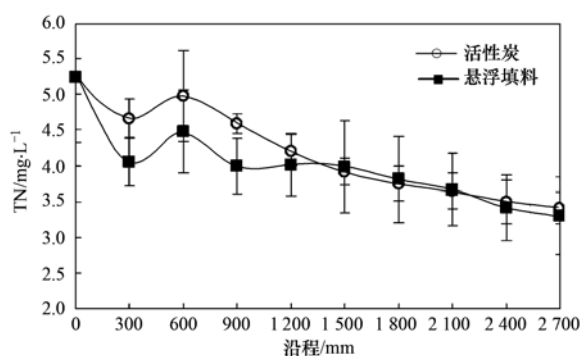


图 5 沿程 TN 变化情况

Fig. 5 Variation of TN along different media BAFs

活性炭 BAF 在沿程  $\leq 1500 \text{ mm}$  时 TN 去除效果明显,主要是由于活性炭填料沉于滤池底部,曝气时滤池底部溶解氧高,滤池上部溶解氧低所致,当沿程  $\geq 1500 \text{ mm}$  时 TN 去除效果放缓. 悬浮填料 BAF 在沿程上 TN 去除效果与活性炭 BAF 趋势大致相同. 悬浮填料 BAF 在沿程  $\leq 900 \text{ mm}$  时 TN 去除效果明显,当沿程  $\geq 900 \text{ mm}$  时 TN 去除效果放缓. TN 浓度的下降说明活性炭 BAF 中除了少量同化作用外还存在一定量反硝化现象. 一些研究<sup>[22~25]</sup>发现硝化和反硝化可同时进行,认为对于一定厚度的生物膜,氧只能渗透到填料外层的某一深度,即外层为好氧层,发生硝化反应,内层为缺氧层,反硝化菌利用硝化菌产生的硝酸盐进行脱氮.

值得一提的是,悬浮填料 BAF 去除效果主要集中在进水端,这对于处理 TN 高的废水有一定的指导意义. 于鹏飞<sup>[26]</sup>研究表明内循环悬浮填料对 TN 去除率最高可达 92%,本试验悬浮填料 BAF 的 TN 去除效果与活性炭 BAF 相仿,但去除率不高,主要是由于悬浮填料孔径大,扰动较大,氧传质效率高,

导致厌氧条件不足,通过调节曝气量改变其扰动方式,可能会提高 TN 的去除效果.

### 2.4 对氨氮的去除

运行期间,进水氨氮为  $0.47 \sim 0.59 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,已经达到一级 A 排放标准  $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的要求. 活性炭 BAF 和悬浮填料 BAF 出水氨氮分别为  $0.28 \sim 0.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.40 \sim 0.45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . 活性炭 BAF 在沿程  $\leq 1500 \text{ mm}$  时氨氮降解趋势缓慢,是由于进水端有机物浓度较高,异养菌较硝化细菌占优势,在沿程  $\geq 1500 \text{ mm}$  时氨氮降解趋势明显,是由于随着沿程的增加,硝化细菌较异养菌逐渐占优势. 悬浮填料 BAF 降解趋势与活性炭 BAF 类似,在沿程  $\leq 1500 \text{ mm}$  时氨氮降解趋势缓慢,在  $\geq 1500 \text{ mm}$  时氨氮降解趋势明显,悬浮填料呈完全流化状态,氨氮去除效果略低于活性炭 BAF.

曝气生物滤池内部由于无污泥,其微生物主要附着在填料生物膜上,世代较长的硝化细菌也得以繁殖,故曝气生物滤池对氨氮有较好去除效果. 在氨氮浓度低于  $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时,活性炭 BAF 和悬浮填料 BAF 对氨氮都有一定的去除效果,根据罗荣强等<sup>[27]</sup>的研究,氨氮主要先吸附在填料上,再由填料表面生物膜上的硝化细菌去除,由于活性炭填料吸附性能大于悬浮填料,故活性炭 BAF 对氨氮去除效果略高于悬浮填料 BAF.

### 2.5 沿程 $\text{UV}_{254}$ 的变化

运行期间, $\text{UV}_{254}$  通常表征具有苯环的芳香族化合物或含共轭双键的一类有机物,可以作为总有机碳 (TOC)、溶解性有机碳 (DOC) 以及三卤甲烷 (THMs) 的前驱物等指标的替代参数<sup>[28]</sup>. 试验期间沿程  $\text{UV}_{254}$  变化如图 6 所示. 进水  $\text{UV}_{254}$  为  $0.606 \sim 0.658 \text{ cm}^{-1}$ ,经活性炭 BAF 和悬浮填料 BAF 处理后分别下降至为  $0.436 \sim 0.437 \text{ cm}^{-1}$  和  $0.560 \sim 0.613 \text{ cm}^{-1}$ .

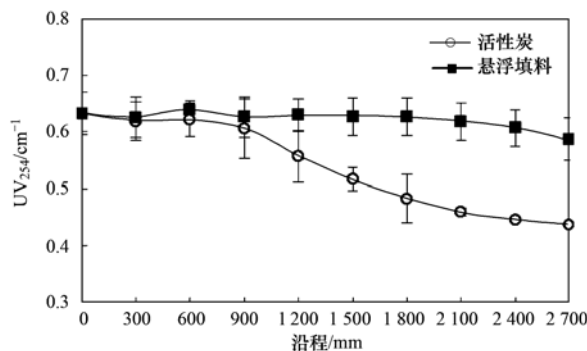


图 6 沿程  $\text{UV}_{254}$  变化情况

Fig. 6 Variation of  $\text{UV}_{254}$  along different media BAFs



值得注意的是,活性炭 BAF 在沿程 $\leq 1\,800\text{ mm}$ 对  $\text{UV}_{254}$  有很好去除效果,在 $1\,800\text{ mm}$ 之后去除效果逐渐变缓慢. 由于  $\text{UV}_{254}$  在一定程度上可以表征有机物,活性炭 BAF 中  $\text{UV}_{254}$  的沿程变化规律对有机物去除有一定的参照意义. 李俊生<sup>[29]</sup>在用活性炭 BAF 深度处理染纱废水的研究中发现,颗粒活性炭对棉纱染色废水二级处理出水的有机物  $\text{UV}_{254}$  吸附能力较好. 其吸附等温式为  $q = 14.3913c_e^{0.5272}$ , 吸附曲线其相关性较好,故活性炭 BAF 因为活性炭的吸附作用在沿程上对  $\text{UV}_{254}$  有持续的降解作用,而悬

浮填料 BAF 的悬浮填料吸附性能相对较弱,对  $\text{UV}_{254}$  去除效果较差.

2.6 BAF 沿程生物量变化

运行期间,同步采用脂磷法和称重法两种方法测定同一填料生物量,悬浮填料 BAF 由于呈完全流化状态,以平均生物量表示. 活性炭 BAF 沿程生物量变化如表 1 所示,脂磷法和称重法测量的生物量沿程变化趋势一致,随着沿程变化生物量先增加后降低,在沿程  $1\,800\text{ mm}$  处达到最大值  $23.0\text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ ,整个沿程平均生物量为  $16.4\text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ .

表 1 活性炭 BAF 沿程生物量变化

Table 1 Biomass along the activated carbon BAF

| 测量方法                                 | 沿程/mm |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                      | 300   | 600   | 900   | 1 200 | 1 500 | 1 800 | 2 100 | 2 400 | 2 700 |
| 脂磷法/ $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ | 3.5   | 9.3   | 10.3  | 19.3  | 18.9  | 23.0  | 22.6  | 21.6  | 19.3  |
| 称重法/ $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$    | 0.807 | 0.937 | 0.909 | 0.997 | 0.980 | 1.001 | 0.973 | 0.899 | 0.863 |

沿程 $\leq 900\text{ mm}$ 时活性炭生物量较低,从  $300$ 、 $600$  和  $900\text{ mm}$  处取出的填料可以看出,生物膜较薄,手触滑腻感较低,是由于曝气时气泡随着高度增加体积逐渐增大,在滤池上端时对活性炭填料扰动较大,此外水流的作用使得滤池上层扰动大,水流与气泡的剪切力共同作用所致. 而沿程 $\geq 1\,800\text{ mm}$ 时生物量逐渐降低,是由于有机物浓度的逐渐被降解,微生物的营养物质也逐渐降低所致. 一些学者<sup>[30~32]</sup>对曝气生物滤池沿程的生物量进行研究,发现沿水流方向生物量和生物活性逐渐减小,进水端生物量较高,且有机物浓度对于生物量和生物活性的大小有很大影响. 文献中主要是针对上向流曝气生物滤池而言,而对下向流曝气生物滤池沿程试验的研究较少,本试验采用的是下向流的曝气生物滤池,而且中试进水流量较大,水流对填料冲击影响较大,导致进水端生物量较低.

悬浮填料可形成较丰富的生物膜<sup>[33, 34]</sup>,而本研究中悬浮填料 BAF 中填料的平均生物量仅为  $2.3\text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ ,远低于活性炭 BAF 的生物量,主要是因为悬浮填料粗糙度低、比表面积小、生物膜难以附着,其次是由于悬浮填料呈完全流化状态,填料不断处于扰动中,增加了生物膜附着的难度. 更改悬浮填料的比表面积、孔径大小、材质等条件可能会增加其生物量.

3 结论

(1)本研究只采集 3 次水样,尚不足以揭示污染物随时间的变化,然而研究结果在一定程度上揭

示了 COD、色度、TN 和氨氮等污染物随沿程的变化规律. 在设计 BAF 高度时,要充分考虑所需降解污染物的沿程变化特征.

(2)活性炭 BAF 和悬浮填料 BAF 出水 COD 和色度等都能达到一级 A 标准. 不同的是,悬浮填料 BAF 达到一级 A 标准所需滤床高度为  $2\,400\text{ mm}$ ,比活性炭 BAF 的  $1\,800\text{ mm}$  高出了三分之一. 活性炭 BAF 沿程生物量先逐渐增加后逐渐降低.

(3)经过 80 d 的运行,悬浮填料替代活性炭应用于该污水厂二级生物处理出水在技术上是可行的,但仍需要对填料大小和材质进行优化改造,增大生物量,必要时可考虑使用活性炭和悬浮填料的组合工艺减少造价成本.

参考文献:

[1] 董奎勇,陈余. 特别关注:印染废水及其治理技术[J]. 纺织导报, 2010, (12): 49-56.

[2] 王立立,刘焕彬,胡勇有,等. 曝气生物滤池处理低浓度生活污水的研究[J]. 工业水处理, 2003, 23(3): 29-32.

[3] 郭天鹏,汪诚文,陈吕军,等. 升流式曝气生物滤池深度处理城市污水的工艺特性[J]. 环境科学, 2002, 23(1): 58-61.

[4] 田文华,文湘华,杨爱华,等. 沸石生物滤池处理低浓度生活污水的工艺性能及影响因素[J]. 环境科学, 2003, 24(5): 97-101.

[5] Wang X J, Chen S L, Gu X Y, et al. Pilot study on the advanced treatment of landfill leachate using a combined coagulation, fenton oxidation and biological aerated filter process [J]. Waste Management, 2009, 29(4): 1354-1358.

[6] Wu S Q, Yue Q Y, Qi Y F, et al. Preparation of ultra-lightweight sludge ceramics (ULSC) and application for pharmaceutical advanced wastewater treatment in a biological

- aerobic filter (BAF) [J]. *Bioresource Technology*, 2011, **102** (3): 2296-2300.
- [7] 陈捷, 冯威, 刘延, 等. 有机膨润土的制备与表征及吸附港口含油废水性能[J]. *化工学报*, 2008, **59**(1): 228-231.
- [8] 魏巍, 黄延林, 黄卓, 等. 微污染水原位生物脱氮处理中填料的选择[J]. *工业水处理*, 2011, **31**(3): 27-29.
- [9] 何争光, 张珂, 谢丽清. SBBR 工艺悬浮填料填充率的优化[J]. *中国给水排水*, 2012, **28**(15): 28-30.
- [10] Kim D S, Jung N S, Park Y S. Characteristics of nitrogen and phosphorus removal in SBR and SBBR with different ammonium loading rates [J]. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2008, **25**(4): 793-800.
- [11] Lo I W, Lo K V, Mavinic D S, *et al.* Contributions of biofilm and suspended sludge to nitrogen transformation and nitrous oxide emission in hybrid sequencing batch system [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2010, **22**(7): 953-960.
- [12] 郝晓地, 安兆伟, 孙晓明, 等. 悬浮填料强化污水生物处理的实际作用揭示[J]. *中国给水排水*, 2013, **29**(8): 5-9.
- [13] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2007. 90, 99, 211-213, 255-256, 279-281.
- [14] 魏谷, 于鑫, 叶林, 等. 脂磷生物量作为活性生物量指标的研究[J]. *中国给水排水*, 2007, **23**(9): 1-4.
- [15] 李燕飞, 孙迎雪, 田媛, 等. 曝气生物滤池处理生活污水研究[J]. *环境工程学报*, 2011, **5**(3): 575-578.
- [16] 蒋铁锋, 刘大华, 孙同喜, 等. 沸石滤料曝气生物滤池处理水产养殖废水的工艺特性[J]. *环境科学*, 2010, **31**(3): 703-708.
- [17] 邹士洋, 吕建斌, 张建平, 等. 冲厕海水 SBBR 处理工艺中悬浮填料的选型[J]. *净水技术*, 2013, **32**(1): 79-82.
- [18] 陈月芳, 宋存义, 汪莉, 等. 新型生物沸石填料在污水深度处理中的应用研究[J]. *北京科技大学学报*, 2006, **28**(10): 921-925.
- [19] 李德生, 黄晓东, 王占生. 生物沸石反应器在微污染水源水处理中的应用[J]. *环境科学*, 2000, **21**(5): 71-73.
- [20] 魏臻, 胡勇有, 方平. 混凝沉淀-陶粒悬浮填料移动床处理漂染废水的性能研究[J]. *工业用水与废水*, 2011, **42**(6): 15-19.
- [21] 孙华, 高廷耀. 混合染料化工废水的处理研究[J]. *上海环境科学*, 2001, **20**(11): 549-550.
- [22] Yoo H, Ahn K H, Lee H J, *et al.* Nitrogen removal from synthetic wastewater by simultaneous nitrification and denitrification (SND) via nitrite in an intermittently-aerated reactor [J]. *Water Research*, 1999, **33**(1): 145-154.
- [23] Wang C R, Wang B Z, Wang L. The simultaneous nitrification and denitrification characteristics of two-stage biological aerated filter [J]. *China Environmental Science*, 2005, **25**(1): 70-74.
- [24] Puznava N, Payraudeau M, Thornberg D. Simultaneous nitrification and denitrification in biofilters with real time aeration control [J]. *Water Science & Technology*, 2001, **43**(1): 269-276.
- [25] 徐亚明, 吴浩汀. up-BAF 同步硝化反硝化工艺去除污染物的机理研究[J]. *环境污染与防治*, 2004, **26**(6): 409-411.
- [26] 于鹏飞. 内循环移动床生物膜反应器的研究与应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2007. 36-38.
- [27] 罗荣强, 侯沙沙, 沈加正. 海水生物滤器氨氮沿程转化规律模型[J]. *环境科学*, 2012, **33**(9): 3189-3196.
- [28] 蒋绍阶, 刘宗源.  $UV_{254}$  作为水处理中有机物控制指标的意义[J]. *重庆建筑大学学报*, 2002, **24**(2): 61-65.
- [29] 李俊生. 曝气活性炭生物滤池应用于染纱废水深度处理研究[D]. 上海: 东华大学, 2011. 22-26.
- [30] 朱小彪, 许春华, 高宝玉, 等. 曝气生物滤池生物量和生物活性的试验研究[J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(7): 1135-1140.
- [31] 邱立平, 马军. 曝气生物滤池的生物膜及其微生物种群特征[J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(2): 214-217.
- [32] 杨跃, 张金松, 黄文章, 等. 复合式曝气生物滤池中污染物浓度沿程变化规律[J]. *中国给水排水*, 2009, **25**(9): 49-52.
- [33] 陈胜, 孙德智, 遇光禄. 填充床快速启动厌氧氨氧化反应器及其脱氮性能研究[J]. *环境科学*, 2010, **31**(3): 691-696.
- [34] 杨虹, 李道棠, 朱章玉. 全程自养脱氮新技术处理污泥脱水液的研究[J]. *环境科学*, 2001, **22**(5): 105-107.



## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Concentration and Size Distribution of Bioaerosols at Non-haze and Haze Days in Beijing .....                                                                                                                      | GAO Min, QIU Tian-lei, JIA Rui-zhi, <i>et al.</i> (4415)            |
| Light Scattering Extinction Properties of Atmospheric Particle and Pollution Characteristics in Hazy Weather in Hangzhou .....                                                                                     | XU Chang, YE Hui, SHEN Jian-dong, <i>et al.</i> (4422)              |
| Characteristic of Elements in PM <sub>2.5</sub> and Health Risk Assessment of Heavy Metals During Heating Season in Taiyuan .....                                                                                  | LI Li-juan, WEN Yan-ping, PENG Lin, <i>et al.</i> (4431)            |
| Pollution Characteristics of Secondary Water-soluble Inorganic Ions of PM <sub>2.5</sub> in Urban Chengdu, China .....                                                                                             | LI You-ping, ZHOU Hong, ZHANG Zhi-sheng, <i>et al.</i> (4439)       |
| Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Ozone in Beijing .....                                                                                                                                        | WANG Zhan-shan, LI Yun-ting, CHEN Tian, <i>et al.</i> (4446)        |
| Characteristics and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds (VOCs) in the Northern Suburb of Nanjing .....                                                                                              | AN Jun-lin, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (4454)            |
| Environmental Significance of Wet Deposition Composition in the Central Qilian Mountains, China .....                                                                                                              | LI Zong-jie, LI Zong-xing, TIAN Qing, <i>et al.</i> (4465)          |
| Dynamics of Nitrogen and Sulfur Wet Deposition in Typical Forest Stand at Different Spatial Levels in Simian Mountain, Mid-subtropical Region .....                                                                | SUN Tao, MA Ming, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4475)              |
| Establishment and Assessment of QA/QC Method for Sampling and Analysis of Atmosphere Background CO <sub>2</sub> .....                                                                                              | LIU Li-xin, ZHOU Ling-xi, XIA Ling-jun, <i>et al.</i> (4482)        |
| An Investigation of the CH <sub>4</sub> and N <sub>2</sub> O Emission Factors of Light-duty Gasoline Vehicles .....                                                                                                | HE Li-qiang, SONG Jing-hao, HU Jing-nan, <i>et al.</i> (4489)       |
| Experimental Study on the Size Spectra and Emission Factor of Ultrafine Particle from Coal Combustion .....                                                                                                        | SUN Zai, YANG Wen-jun, XIE Xiao-fang, <i>et al.</i> (4495)          |
| Distributions and Air-Sea Fluxes of Dissolved Nitrous Oxide in the Yangtze River Estuary and Its Adjacent Marine Area in Spring and Summer .....                                                                   | WANG Lan, ZHANG Gui-ling, SUN Ming-shuang, <i>et al.</i> (4502)     |
| Spectral Absorption Properties of the Water Constituents in the Estuary of Zhujiang River .....                                                                                                                    | WANG Shan-shan, WANG Yong-bo, FU Qing-hua, <i>et al.</i> (4511)     |
| Characteristics of Phosphorus Forms and the Effects of UV Light in the Confluences Water of Qujiang-Jialing River and Fujiang-Jialing River .....                                                                  | YAN Jin-long, JIANG Tao, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i> (4522)        |
| Research on the Threshold of Chl-a in Lake Taihu Based on Microcystins .....                                                                                                                                       | WEI Dai-chun, SU Jing, JI Dan-feng, <i>et al.</i> (4530)            |
| Temporal and Spatial Characteristic of Nitrogen and Phosphorus Output in the Suburb Watershed Around the Baihua Lake .....                                                                                         | FENG Yuan-song, LIN Tao, YANG Qing-yuan (4537)                      |
| Effects of Light Irradiation on Phosphorous Releases from Typical Submerged Soils of Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoirs Areas .....                                                          | GUO Nian, JIANG Tao, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i> (4544)            |
| Analysis on the Removal Efficiency and Mechanisms of Phosphorus by Modified Zeolites Substrates Coated with LDHs Reacted by Different Metal Compounds in Laboratory-Scale Vertical-Flow Constructed Wetlands ..... | ZHANG Xiang-ling, CHEN Jun-jie, GUO Lu, <i>et al.</i> (4553)        |
| Mercury Dynamics of Several Plants Collected from the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Area During Flooding and Its Impact on Water Body .....                                           | ZHANG Xiang, ZHANG Cheng, SUN Rong-guo, <i>et al.</i> (4560)        |
| Effect of Nano-TiO <sub>2</sub> on the Release and Activation of Mercury in Sediment .....                                                                                                                         | ZHANG Jin-yang, LI Chu-xian, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4567)   |
| Estimation Inventory of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from Anthropogenic Sources and Its Impacts within the Yanghe Watershed, an Important Water-Source Site of Beijing, China .....                     | GAO Jia-jia, LUO Wei, XI Xiao-xia (4573)                            |
| Source Identification of Toxic Wastewaters in a Petrochemical Industrial Park .....                                                                                                                                | YANG Qian, YU Yin, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (4582)                |
| Investigation of Pollution Characteristics of Erythromycin Resistance Genes in a Sewage Treatment Plant and the Relevant Selective Factors .....                                                                   | LI Kan-zhu, WU Li-le, HUANG Sheng-lin, <i>et al.</i> (4589)         |
| Variation of Pollutants Along the Height of Two Media BAF During Advanced Treatment of Dyeing Wastewater .....                                                                                                     | LIU Jun-feng, FAN Ju-hong, LIU Rui, <i>et al.</i> (4596)            |
| Acclimatization and Characteristics of Microbial Community in Sulphate-Dependent Anaerobic Methane Oxidation .....                                                                                                 | XI Jing-ru, LIU Su-qin, LI Lin, <i>et al.</i> (4602)                |
| Capability and Microbial Community Analysis of a Membrane Bioreactor for Acrylic Fiber Wastewater Treatment .....                                                                                                  | WEI Jian, SONG Yong-hui, ZHAO Le (4610)                             |
| Nitrogen Removal Performance of ANAMMOX ABR Process in Tannery Wastewater Treatment .....                                                                                                                          | ZENG Guo-qu, JIA Xiao-shan (4618)                                   |
| Numerical Simulation and Operation Optimization of Biological Filter .....                                                                                                                                         | ZOU Zong-sen, SHI Han-chang, CHEN Xiang-qiang, <i>et al.</i> (4627) |
| Effect of Gas-lift Device on the Morphology and Performance of ANAMMOX Sludge .....                                                                                                                                | LI Xiang, HUANG Yong, YUAN Yi, <i>et al.</i> (4636)                 |
| Water Treatment Residual as a Bioretention Media Amendment for Phosphorus Removal .....                                                                                                                            | WANG Jian-jun, LI Tian, ZHANG Ying (4642)                           |
| Nutrient Contents and Heavy Metal Pollutions in Composted Sewage Sludge from Different Municipal Wastewater Treatment Plants in Beijing Region .....                                                               | BAI Li-ping, QI Hong-tao, FU Ya-ping, <i>et al.</i> (4648)          |
| Polychlorinated Biphenyls and Their Methylsulfonyl Metabolites in Fish from an Electronic Waste Recycling Site in South China: Tissue Distribution and Human Dietary Exposure .....                                | TANG Bin, LUO Xiao-jun, ZENG Yan-hong, <i>et al.</i> (4655)         |
| Residues and Health Risk Assessment of HCHs, DDTs and Heavy Metals in Water and <i>Tilapia</i> s from Fish Ponds of Guangdong .....                                                                                | XIE Wen-ping, ZHU Xin-ping, ZHENG Guang-ming, <i>et al.</i> (4663)  |
| Concentration and Distribution Characteristics of Estrogen in Aquatic Organism from Chongming Island .....                                                                                                         | GENG Jing-jing, YE Ai-li, YANG Yi, <i>et al.</i> (4671)             |
| Photocatalytic Degradation of Acetamiprid by TiO <sub>2</sub> and Xe Lamp: Kinetics and Degradation Intermediates .....                                                                                            | ZHOU Wen-chang, YANG Hai, HU Zhi-bin, <i>et al.</i> (4678)          |
| Effects of Nitrogen Addition on Available Nitrogen Content and Acidification in Cold-temperate Coniferous Forest Soil in the Growing Season .....                                                                  | CHEN Gao-qi, FU Wa-li, LUO Ya-chen, <i>et al.</i> (4686)            |
| Impact of Land Use Type on Stability and Organic Carbon of Soil Aggregates in Jinyun Mountain .....                                                                                                                | LI Jian-lin, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (4695)                  |
| Investigation and Canonical Correspondence Analysis of Salinity Contents in Secondary Salinization Greenhouse Soils in Shanghai Suburb .....                                                                       | TANG Dong, MAO Liang, ZHI Yue-e, <i>et al.</i> (4705)               |
| Spatial Distribution Prediction of Surface Soil Pb in a Battery Contaminated Site .....                                                                                                                            | LIU Geng, NIU Jun-jie, ZHANG Chao, <i>et al.</i> (4712)             |
| Immobilization Remediation of Cd and Pb Contaminated Soil: Remediation Potential and Soil Environmental Quality .....                                                                                              | SUN Yue-bing, WANG Peng-chao, XU Ying-ming, <i>et al.</i> (4720)    |
| Rules and Impact Factors of Greenhouse Gases Emission in the Saline-Alkali Paddy Fields in Different Years .....                                                                                                   | TANG Jie, FANG Tian-ru, HOU Ke-yi, <i>et al.</i> (4727)             |
| Adsorption of Cd( II ) Varies with Biochars Derived at Different Pyrolysis Temperatures .....                                                                                                                      | WANG Zhen-yu, LIU Guo-cheng, Monica Xing, <i>et al.</i> (4735)      |
| Poisoning Effect of Ca Depositing Over Mn-Ce/TiO <sub>2</sub> Catalyst for Low-temperature Selective Catalytic Reduction of NO by NH <sub>3</sub> .....                                                            | ZHOU Ai-yi, MAO Hua-feng, SHENG Zhong-yi, <i>et al.</i> (4745)      |
| A Comparative Study on Domestic and Foreign Emission Standards of Air Pollutants for Cement Industry .....                                                                                                         | JIANG Mei, LI Xiao-qian, JI Liang, <i>et al.</i> (4752)             |
| Revision Process and Thinking of Emission Standard of Air Pollutants for Cement Industry .....                                                                                                                     | JIANG Mei, LI Xiao-qian, JI Liang, <i>et al.</i> (4759)             |

# 《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)

2014年12月15日 第35卷 第12期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 12 Dec. 15, 2014

|         |                                                                                                                                                                     |                  |    |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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)<br>北京市环境保护科学研究院<br>清华大学环境学院                                                                                                                               | Co-Sponsored     | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>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<br>北京市2871信箱(海淀区双清路<br>18号, 邮政编码:100085)<br>电话:010-62941102, 010-62849343<br>传真:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | Edited           | by | The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE )<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版     | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街16号<br>邮政编码:100717                                                                                                                             | Published        | by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>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<br>电话:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com                                                                                                | Distributed      | by | Science Press<br>Tel:010-64017032<br>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<br>(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