

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第3期

Vol.34 No.3

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

BP网络框架下MODIS气溶胶光学厚度产品估算中国东部PM_{2.5} 郭建平, 吴业荣, 张小曳, 李小红 (817)

北京市近地层颗粒物浓度与气溶胶光学厚度相关性分析研究 林海峰, 辛金元, 张文煜, 王跃思, 刘子锐, 陈传雷 (826)

气象因素对长三角背景地区甲烷浓度的影响分析 浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 马千里, 方双喜, 周凌晔 (835)

密闭化填埋作业条件下的场内恶臭污染分布情况与分析 路鹏, 吴世新, 戴志锋, 张晓辉, 苏昭辉, 周小飞, 代占国, 卢旭飞, 郑斌, 沈凯, 卫潘明 (842)

冬季中国东海海水中挥发性卤代烃的分布特征和海-气通量 何真, 陆小兰, 杨桂朋 (849)

2000~2010年大鹏湾颗粒有机物的年变化和年际变化 李绪录, 周毅频, 夏华永 (857)

渤海湾浮游植物与环境因子关系的多元分析 周然, 彭士涛, 覃雪波, 石洪华, 丁德文 (864)

青藏高原淡水湖泊水化学组成特征及其演化 王鹏, 尚英男, 沈立成, 伍坤宇, 肖琼 (874)

漳卫南运河流域非点源污染负荷估算及最佳管理措施优选 徐华山, 徐宗学, 刘品 (882)

面向对象的湖泊污染控制智能工程设计方法 邹锐, 周环, 刘永, 朱翔, 赵磊, 阳平坚, 郭怀成 (892)

九龙江口湿地植物凋落物对沉积物有机质赋存的贡献 罗专溪, 邱昭政, 王振红, 颜昌宙 (900)

修复达标土壤回填对地下水环境影响的层次化评估方法应用研究 钟茂生, 姜林, 姚珏君, 樊艳玲, 夏天翔, 李婷婷, 田美影 (907)

去除地下水中硝酸盐的渗透性反应墙研究 李秀利, 杨君君, 卢晓霞, 张姝, 侯珍 (914)

北京城区雨水管道沉积物污染负荷研究 李海燕, 徐波平, 徐尚玲, 崔爽 (919)

城市污水处理厂及其受纳水体中5种典型PPCPs的赋存特征和生态风险 温智皓, 段艳平, 孟祥周, 陈玲 (927)

城市景观娱乐水体微生物风险评价 孙博, 沙婧, 张一帆, 刘彦华 (933)

模拟曝气生物滤池去除邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯试验研究 李伟, 赵晶, 余健, 任文辉 (943)

膜生物反应器处理工业废水中膜污染及膜过滤特性研究 范举红, 余素林, 张培帅, 兰亚琼, 刘锐, 陈吕军 (950)

γ -Al₂O₃负载磷钨酸催化强化电化学法处理水中酸性大红3R的研究 岳琳, 王开红, 郭建博, 杨景亮, 刘宝友, 廉静, 王涛 (955)

活性炭催化过硫酸钠降解金橙G动力学 杨梅梅, 周少奇, 刘琳, 郑可 (962)

ABR反应器处理碱减量印染废水的启动研究 杨波, 钟启俊, 李方, 田晴 (968)

O₃-BAF深度处理制革废水中沿程污染物降解规律 余彬, 刘锐, 程家迪, 范举红, 李昌湖, 冉坤, 曹国华, 陈吕军 (974)

规模化猪场养殖废水UASB-SFSBR-MAP处理工艺中试研究 王亮, 陈重军, 陈英旭, 吴伟祥 (979)

连续流态下以城市污水培养好氧颗粒污泥及颗粒特性研究 牛姝, 段百川, 张祚薰, 刘士峰, 张家铭, 王聪, 周丹丹 (986)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(I)——模型的建立 张超, 陈银广 (993)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(II)——动力学模拟 张超, 陈银广 (998)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(III)——模型的应用 张超, 陈银广 (1004)

三峡水库两条支流水-气界面CO₂、CH₄通量比较初探 李哲, 白镭, 郭劲松, 方芳, 蒋滔 (1008)

不同土地利用方式下土壤呼吸空间变异的影响因素 陈书涛, 刘巧辉, 胡正华, 刘艳, 任景全, 谢薇 (1017)

黄土区农田和草地生态系统土壤呼吸差异及其影响因素 周小刚, 张彦军, 南雅芳, 刘庆芳, 郭胜利 (1026)

层次化健康风险评估方法在苯污染场地的应用及效益评估 姜林, 钟茂生, 梁竞, 姚珏君, 夏天翔, 樊艳玲, 李敬东, 唐振强 (1034)

海州湾滩涂重金属污染的历史记录 张瑞, 张帆, 刘付程, 尹福军, 丁迎军, 高金荣, 陈晶, 邵威 (1044)

草海典型高原湿地表层沉积物重金属的积累、分布与污染评价 张清海, 林昌虎, 谭红, 林绍霞, 杨鸿波 (1055)

大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析 程芳, 程金平, 桑恒春, 于金莲, 席磊, 皮帅帅 (1062)

典型有色金属矿山城市小河流沉积物重金属形态分布及风险评估 李如忠, 姜艳敏, 潘成荣, 陈婧, 徐晶晶 (1067)

典型有色金属矿业城市零星菜地蔬菜重金属污染及健康风险评估 李如忠, 潘成荣, 徐晶晶, 陈婧, 姜艳敏 (1076)

城市表层土壤磁化率与重金属含量分布的相关性研究 陈秀端, 卢新卫, 杨光 (1086)

典型热带林地土壤团聚体颗粒中重金属的分布特征及其环境意义 龚仓, 徐殿斗, 成杭新, 任雅阁, 刘志明, 刘应汉, 刘飞, 聂海峰, 郑祥, 马玲玲 (1094)

生态沟渠底泥属性与磷吸附特性研究 张树楠, 贾兆月, 肖润林, 杨凤飞, 余红兵, 刘锋, 吴金水 (1101)

三峡库区澎溪河底泥及消落区土壤磷的形态及吸附特性研究 孙文彬, 杜斌, 赵秀兰, 何丙辉 (1107)

Triton X-100在黄土上的吸附行为及影响因素 钟金魁, 赵保卫, 朱琨, 钱小龙, 张杰西 (1114)

新疆哈密地区有机氯农药大气、土壤残留特征、气-土交换及潜在生态风险 马子龙, 毛潇萱, 丁中原, 高宏, 黄韬, 田慧, 郭强 (1120)

青海省西宁市与天峻县大气中得克隆与十溴联苯醚的水平与来源 何畅, 金军, 马召辉, 王英, 扎西卓玛, 马丽花 (1129)

太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平垂直分布 马召辉, 金军, 元奎奎, 王英, 姜霞, 何松浩, 李明圆 (1136)

典型电器工业区河涌沉积物中有机污染物特征分析 刘近, 邓代永, 许玫英, 孙国萍 (1142)

柴油轿车颗粒多环芳烃的排放特性 谭丕强, 周舟, 胡志远, 楼狄明 (1150)

机械炼焦过程生成飞灰中多环芳烃分布特征研究 牟玲, 彭林, 刘效峰, 白慧玲, 张建强 (1156)

污泥干化床与芦苇床稳定化污泥中多环芳烃的含量比较 崔玉波, 孙红杰, 冉春秋, 李金凤, 谢瑶 (1161)

固体添加剂对污泥焚烧过程中重金属迁移行为的影响 刘敬勇, 孙水裕, 陈涛 (1166)

铸造废砂的环境毒性研究 张海凤, 王玉珏, 王劲磷, 黄天佑, 熊鹰 (1174)

Cr⁶⁺生物可利用度检测的微生物全细胞传感器CB10的构建及其响应特征 侯启会, 马安周, 庄绪亮, 庄国强 (1181)

反硝化脱硫工艺中微生物群落结构及动态分析 于皓, 王爱杰, 陈川 (1190)

农业废物好氧堆肥中环境因子对nirK、nirS和nosZ数量的影响 胡春晓, 陈耀宁, 张嘉超, 唐聪, 曾光明 (1196)

蚯蚓体内过氧化物还原蛋白PRDX基因对土壤PAHs污染胁迫的转录响应 林康丽, 郑森林, 宋玉芳, 邱晓燕, 薛文玲 (1204)

有序介孔碳载金/L-赖氨酸/纳米金修饰电极的制备及其对邻苯二酚、对苯二酚的检测响应研究 周耀渝, 汤琳, 李贞, 刘媛媛, 杨贵德, 伍梦诗, 雷晓霞, 曾光明 (1211)

新建核电站风险信息沟通实证研究 贺桂珍, 吕永龙 (1218)

《环境科学》征订启事(942) 《环境科学》征稿简则(992) 信息(932, 949, 1061, 1210) 专辑征稿通知(1173)

ABR 反应器处理碱减量印染废水的启动研究

杨波, 钟启俊, 李方, 田晴

(东华大学环境科学与工程学院, 上海 201620)

摘要: 对折流板厌氧反应器 (ABR) 处理碱减量印染废水的启动过程进行了实验研究. ABR 接种厌氧颗粒污泥, 以模拟碱减量印染废水作为启动进水, 在温度为 32~35℃, 进水 pH 值为 7.8~8.3 条件下, 采用低负荷方式启动 ABR. 反应器经过了 70 d 共 6 个阶段的连续运行后完成启动, 实现了对碱减量印染废水的高效稳定运行. 稳定运行反应器的平均容积负荷 (以 COD 计) 达到 $1.93 \text{ kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$, 出水 pH 值 7.3 左右, COD 平均去除率为 78% 以上. 启动后期 ABR 各隔室功能分区较为明显并且形成了性能良好的厌氧颗粒污泥, 相对于启动前期各隔室内颗粒污泥的粒径增大, 沉降性能变好, 颗粒污泥的 f (MLVSS/MLSS) 值均达到 0.65 以上. 启动完成后各隔室内的微生物具有较高活性, ABR 中厌氧颗粒污泥的平均 DHA 浓度 (以 TF 计) 和平均辅酶 F_{420} 浓度分别为 $88.8 \text{ } \mu\text{g} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$ 和 $0.18 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$.

关键词: 折流板厌氧反应器; 碱减量印染废水; 厌氧颗粒污泥; 脱氢酶活性; 辅酶 F_{420}

中图分类号: X703.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)03-0968-06

Study on the Start-up of the Anaerobic Baffled Reactor for Treating Alkali-deweighting and Dyeing-printing Wastewater

YANG Bo, ZHONG Qi-jun, LI Fang, TIAN Qing

(College of Environmental Science & Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: The start-up of treating alkali-deweighting and dyeing-printing wastewater by anaerobic baffled reactor (ABR) was investigated. Through seeding with the anaerobic granular sludge, the start-up with low organic loading was started by using artificial alkali-deweighting and dyeing wastewater as influent with the condition of temperature 32℃-35℃ and pH 7.8-8.3. After continuously running 70 days, the start-up had been completed to reach the stabilization. The results showed that the pH of effluent kept stable around 7.3 and the average COD removal rate was up to 78% while the average volume loading rate was $1.93 \text{ kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$. After the start-up, a separating function of each compartment was observed and meanwhile the anaerobic granular sludge with good properties was achieved. Relative to the start, the size of granular sludge particle was increased and the sludge sedimentation performance became better and the value of f (MLVSS/MLSS) was up to 0.65 at the end of the experiment. In addition, high activity of the microorganism was observed that the average value of dehydrogenase activity (DHA) with TF expression and the coenzyme F_{420} concentration were $88.8 \text{ } \mu\text{g} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$ and $0.18 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively.

Key words: anaerobic baffled reactor (ABR); alkali-deweighting and dyeing wastewater; anaerobic granular sludge; dehydrogenase activity; coenzyme F_{420}

折流板厌氧反应器 (ABR) 具有结构简单、生物截留能力强、耐冲击负荷、处理效果好和运行稳定等特点^[1-4]. ABR 不仅可以形成颗粒污泥^[5-7], 而且各隔室内能够形成相适应的生物种群. 由于 ABR 多隔室结构大大增加了生物停留时间, 不但显著提高了厌氧反应器的污泥负荷和处理效率, 而且使其稳定性和对不良因素的适应性大为增强.

碱减量印染废水含有涤纶仿真丝工艺产生的碱减量废水和纺织品 (以涤纶织物为代表) 的印染废水, 是印染行业中污染最严重的废水之一, 其中含有大量涤纶水解产生的对苯二甲酸 (包括大量未完全水解的低聚物)、染料和助剂, 具有生物降解性差的特点^[8-10]. 目前已有 ABR 工艺用于各种工业废水的处理^[6,11-13], 但启动污泥大多接种好氧活性污泥

法的剩余污泥, 具有启动周期长、污泥负荷低和容易酸败等缺点^[4-7]. 而针对印染废水的处理也有相关的研究^[14-17], 但未发现应用于碱减量印染废水处理研究的报告.

本研究采用 ABR 处理碱减量印染废水, 通过接种厌氧颗粒污泥缩短 ABR 启动周期, 并获得了启动阶段处理效果及污泥微生物活性的实验数据, 以期 ABR 高效处理碱减量印染废水提供依据.

1 材料与方法

1.1 实验装置与工艺流程

收稿日期: 2012-05-16; 修订日期: 2012-07-29

作者简介: 杨波 (1973~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为水污染控制新技术和污泥处理与处置, E-mail: yangbo@dhu.edu.cn

实验所用 ABR 由有机玻璃制成,反应器的尺寸为长×宽×高=800 mm×150 mm×1 000 mm,有效容积为 79.6 L,共分为 4 个隔室,各隔室内设置折流板,将各隔室分成上下两个流室,通过在各下流室内设置恒温加热棒来维持反应器运行温度,实验装置如图 1 所示。

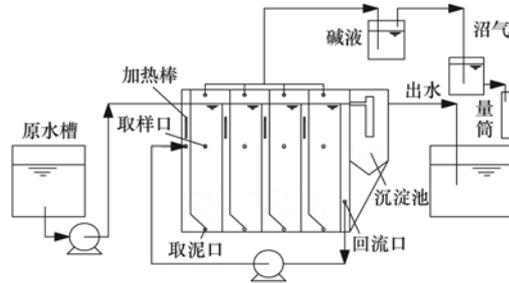


图 1 ABR 装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of the ABR

1.2 实验材料与方法

接种污泥为某造纸废水 IC 厌氧反应器的厌氧颗粒污泥,平均粒径为 3.10 mm,启动前向各隔室内投加 2.0 kg 含水率为 89% 的厌氧颗粒污泥. 实验采用模拟碱减量印染废水. 将纯度为 98% 涤纶布在高压、高温和强碱的条件下进行碱减量,产生的废水即为碱减量废水,其 COD 浓度在 50 ~ 60 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间, $\text{pH} > 12$,与分散染料、助剂(柔软剂、平滑剂和分散剂等)和葡萄糖等配制成的印染废水混合,产生的废水即为碱减量印染废水. ABR 采用低负荷启动,通过内置加热装置使运行温度稳定维持在 $32^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$,保持 HRT 为 36 h 不变,进水用酸调节后 pH 值在 7.8 ~ 8.3 之间,通过增加葡萄糖和碱减量废水的用量来提高容积负荷率. 在整个启动过程中反应器进水 COD 浓度和容积负荷率的控制如表 1 所示。

表 1 进水水质和反应器容积负荷条件

Table 1 Quality of inlet and volume loading of the reactor

启动阶段	运行天数/d	进水水量定容至 270 L	进水 COD 浓度 / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	容积负荷率(以 COD 计)平均值 / $\text{kg}\cdot(\text{m}^3\cdot\text{d})^{-1}$
1	10	50 g 葡萄糖 + 0.5 L 碱减量废水	510 ~ 540	0.60
2	10	100 g 葡萄糖 + 0.5 L 碱减量废水	670 ~ 700	0.77
3	10	100 g 葡萄糖 + 1 L 碱减量废水	790 ~ 840	0.94
4	10	150 g 葡萄糖 + 2 L 碱减量废水	990 ~ 1 100	1.20
5	15	200 g 葡萄糖 + 2 L 碱减量废水	1 300 ~ 1 340	1.52
6	15	200 g 葡萄糖 + 3 L 碱减量废水	1 500 ~ 1 700	1.93

1.3 分析项目及方法

水样和泥样的测定均有 3 组平行样,并将水样进行了过滤预处理. COD 浓度采用标准重铬酸钾法测定, pH 值采用 pHSJ-A4 雷磁数字 pH 计测定, MLSS 和 MLVSS 采用重量法. 颗粒污泥粒径分布采用 Lagauna 等^[18]报道的方法测定. 挥发性脂肪酸(VFA)参照文献^[19]的方法测定. 用 Serre-wittling 等^[20]和 Liu 等^[21]等报道的方法测定脱氢酶活性(TTC-DHA). 辅酶 F_{420} 浓度的测定采用紫外分光光度法^[22]. 扫描电镜照样的预处理用 2% 的戊二醛溶液固定,乙醇溶液梯度脱水,美国产 24242SPI 型临界点干燥仪和日产 B2 III 型溅射仪喷金等预处理,然后在日立 2570 电镜扫描仪下观察和照样。

2 结果与分析

2.1 启动过程中各隔室 COD 和 VFA 的变化

ABR 启动实验为期 70 d,分为 6 个运行阶段,图 2 和图 3 分别为 ABR 启动期间各隔室 COD 和 VFA 在不同阶段的浓度变化情况. 由图 2 可见,在

启动之初的第 1 阶段,进水 COD 浓度在 510 ~ 540 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 变化,出水 COD 浓度为 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,厌氧颗粒污泥还保留着一定的生物活性, COD 去除率由开始时的 43.7% 迅速增加至 58.8%,在启动初期迅速恢复了活性,实现对污染物的有效降解. 从第 2 阶段开始,进水中逐渐增加葡萄糖和碱减量废水的投加量,按照易、难结合的原则(即同时增加废水中碱减量产物含量和葡萄糖的投加量,提高废水中碱减量废水的比重,最终增加了废水的难生物降解性)提高进水 COD 浓度和系统的容积负荷. 第 2 阶段后系统的处理效率逐渐上升,在平均容积负荷由 0.60 $\text{kg}\cdot(\text{m}^3\cdot\text{d})^{-1}$ 逐渐增加到 1.93 $\text{kg}\cdot(\text{m}^3\cdot\text{d})^{-1}$ 条件下,系统 COD 去除效率由 60% 增加到 78%. 实验条件下随着系统容积负荷的逐渐增加,系统的去除效率经历了逐渐上升至逐步稳定的过程. 从各隔室出水 COD 浓度分析,基本上后一隔室 COD 浓度小于前一隔室,隔室四出水经过沉淀后排放的尾水 COD 浓度在第 1、2、3 运行阶段低于隔室四,而第 4、5、6 运行阶段时二者基本持平. 系统设置有沉

淀池,启动初期系统出水中含有大量未适应进水水质条件被洗刷淘汰的微生物,不易沉淀的 SS 经过沉淀池后部分沉淀,而随着系统的逐渐稳定,隔室四出水与沉淀池出水水质几乎没有差别,水体中含有的 SS 基本为沉淀性能良好的固体颗粒。

由图 3 可见,各隔室中的 VFA 含量随着时间推移不断增加,而前一隔室的 VFA 浓度基本大于后一隔室。ABR 各隔室均会发生水解酸化作用和产甲烷代谢,当酸性发酵(即发酵细菌利用废水中有机物分子胞外水解进一步产酸发酵为以挥发性脂肪酸为主的中间代谢产物的阶段)较强而碱性发酵(即利用挥发性脂肪酸等中间代谢产物进行产氢产乙酸反应进一步参加产甲烷反应的阶段)相对较弱时会出现酸性发酵代谢产物的积累,积累的酸性发酵代谢产物进入下一个隔室成为碱性发酵的代谢基质。隔室一中酸性发酵最强,而其它隔室利用上一隔室未代谢的 VFA 与本隔室产生的 VFA 进行碱性发酵,从总体上说后端各隔室中碱性发酵逐渐增强,隔

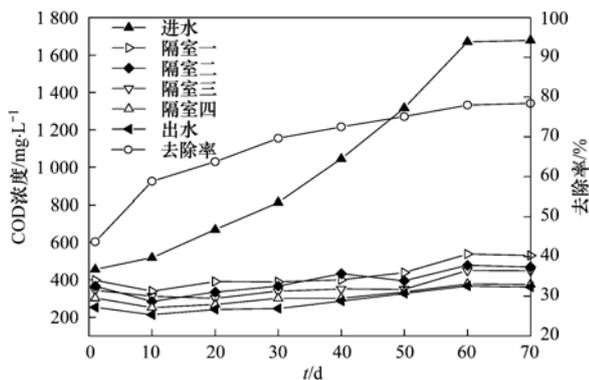


图 2 COD 及平均去除率的变化

Fig. 2 Variation of the COD concentrations and removal efficiencies of COD with continuous operation

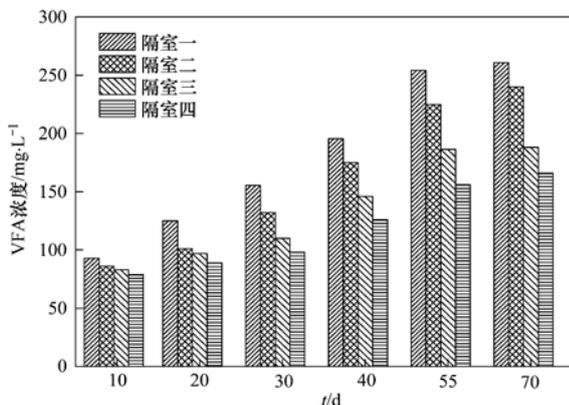


图 3 各隔室平均 VFA 浓度变化

Fig. 3 Variation of average VFA concentration in each compartment with continuous operation

室内 VFA 浓度均较前一隔室低。通过图 2 和图 3 的比较,从实验开始到实验结束系统容积负荷增加了约 3.2 倍,而最终出水的 COD 浓度和隔室四的 VFA 浓度分别增加了约 1.5 倍和 2.5 倍,系统将废水中大部分 COD 转化为 VFA。ABR 经过 70 d 的运行,出水 COD 浓度达到稳定。

2.2 启动过程中系统 pH 的变化

酸性发酵和碱性发酵均会影响系统的 pH 值,适宜的 pH 值条件亦是进行高效碱性发酵的必要条件,也是影响厌氧反应器形成颗粒污泥的重要因素^[23]。目前,有研究^[24~26]指出酸性发酵为主的隔室产生的大量 VFA 使得 pH 值较低,而碱性发酵为主的隔室,由于 VFA 的消耗使得 pH 值有所升高,从而有利于产甲烷菌的活动。由图 4 可见,启动阶段,隔室一的 pH 值最低,隔室二与隔室三的 pH 值较为接近,隔室四的 pH 值最高,这与 VFA 浓度在各隔室的分布规律一致,前端隔室中的微生物经过一段时间驯化后,形成以酸化菌为主的高效酸化反应区,底物在此转化为大量的 VFA,累积的 VFA 随水流进入后续隔室,然而后端隔室 VFA 浓度却逐渐减小,这可能是由于后端各隔室碱性发酵的作用消耗了大量 VFA,所以后端隔室的 pH 值表现出上升的趋势。

在 ABR 启动的前 3 个阶段,进水中葡萄糖含量相对较高为废水中 COD 的主要贡献者,各隔室及出水的 pH 值均小于 7.0,系统对 COD 去除效率均不高,这可能是相对于水解酸化细菌对废水水质较快的适应能力,产甲烷细菌尚未表现出较高活性的原因。第 3 阶段之后,虽然逐渐提高进水中碱减量废水的含量,提高废水的难生物降解程度和系统的容积负荷,但是各个隔室 pH 值上升明显,各个隔室

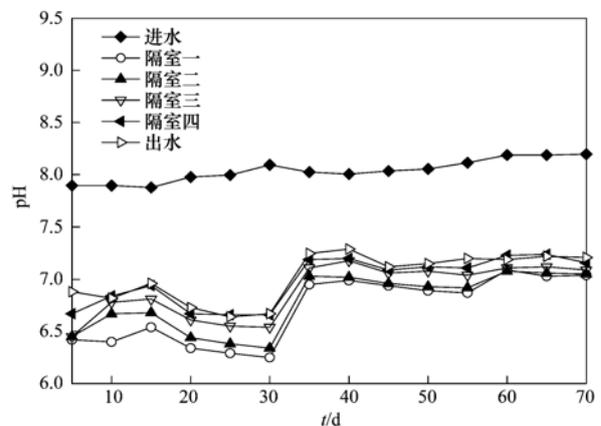


图 4 各隔室及进出水的 pH 变化

Fig. 4 Variation of the compartments, influent and effluent of pH values with continuous operation

pH 值稳定在 6.9 ~ 7.3, 然而系统内 VFA 的浓度也逐渐增加, 由此认为 ABR 系统内良好的酸性发酵是碱性发酵的前提, 随着系统内产甲烷细菌对废水水质条件的适应, 各隔室的碱性发酵逐渐增强, 使得系统的 pH 值表现出稍微提高以适应产甲烷菌的活动。

2.3 启动过程中颗粒污泥脱氢酶活性和辅酶 F₄₂₀ 的变化

微生物脱氢酶直接参与酸性发酵阶段的脱氢作用, 是微生物降解有机污染物和获得能量的必需酶^[27~29]。甲烷细菌中均含有辅酶 F₄₂₀, 辅酶 F₄₂₀ 可以作为一个衡量厌氧污泥活性的测定指标, 反映厌氧污泥的产甲烷活性^[29~31]。启动阶段 ABR 各隔室中微生物 DHA 和辅酶 F₄₂₀ 随时间的变化见图 5 和图 6。系统启动后, 系统的去除效果逐渐变好, 同时各隔室颗粒污泥的 DHA 和辅酶 F₄₂₀ 活性不断地增加, 表明微生物活性逐渐增强, 认为系统内微生物的分解代谢和合成代谢均有所改善。但到了第 5、6 运行阶段后 2 种酶的活性开始趋于平稳, 表明系统对碱减量废水的处理效果趋于稳定。系统各隔室颗粒污泥的 DHA 浓度随时间呈现逐渐上升并趋于稳定的趋势, 这与系统对污染物去除效率的变化趋势是一致的, 这也验证了脱氢酶活性可以作为反映生物处理设施运行效果的指标^[28]。隔室一的 DHA 浓度较其它隔室高并随着隔室顺序依次减少, 这也表明大部分的底物在前端的隔室被脱氢参加酸性发酵, 随着隔室的顺序酸性发酵开始减弱。各隔室颗粒污泥的辅酶 F₄₂₀ 浓度随时间的变化规律与 DHA 相似, 均是先逐渐增加而后趋于稳定, 但隔室四的辅酶 F₄₂₀ 浓度比其它隔室要高。前端隔室酸性发酵产生的代谢基质进入后端隔室后进一步参加碱性发酵, 同时辅酶 F₄₂₀ 浓度随隔室顺序从前至后依次增加, 表明后端的隔室碱性发酵逐渐增强。

因此, ABR 的功能分区较为明显, 隔室一中酸性发酵占有优势, 后端隔室(特别是隔室四)碱性发酵作用逐渐提高并逐渐占有优势。目前在研究污泥酶活性中, Xie 等^[29] 研究指出, 低强度超声波可以提高厌氧污泥活性, 当 COD 去除率达到 91.51% 左右时, 厌氧污泥的 DAH 浓度为 15.83 $\mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$, 而辅酶 F₄₂₀ 浓度为 0.045 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。Tian 等^[30] 研究指出上升流式生物活性炭曝气滤池上段中的平均 DHA 浓度为 53.7 $\mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$ 。蒋柱武等^[31] 研究指出厌氧膨胀床处理低浓度污水的污泥颗粒辅酶 F₄₂₀ 浓度小于 0.19 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。经过 6 个阶段的启动

运行, ABR 中厌氧颗粒污泥的平均 DHA 浓度和平均辅酶 F₄₂₀ 浓度分别为 88.8 $\mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$ 和 0.18 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, ABR 内微生物表现出较高的活性。

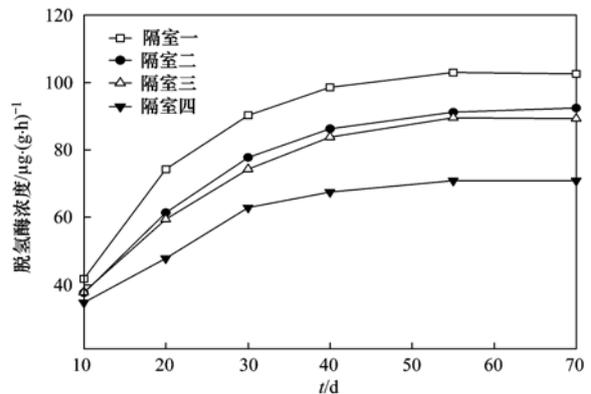


图 5 各隔室中 DHA 浓度变化

Fig. 5 Variation of DHA in each compartment with continuous operation

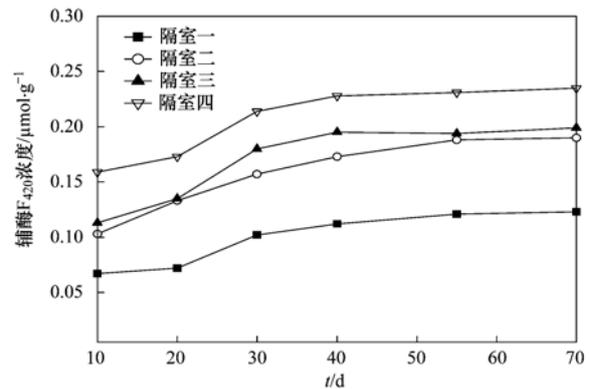


图 6 各隔室中辅酶 F₄₂₀ 浓度变化

Fig. 6 Variation of F₄₂₀ in each compartment with continuous operation

2.4 厌氧颗粒污泥的变化

培养出生物活性高、沉降性能优良、各隔室形成各自的优势种群并且适合废水处理的厌氧污泥是判断 ABR 是否启动成功的直接证据。启动后期, ABR 各隔室中形成了边界较为清晰的亮黑色颗粒污泥。测定 ABR 启动前期和后期各隔室中厌氧颗粒污泥的平均粒径、平均沉降速度、*f* 值、污泥沉降比(SV%) 和污泥容积指数(SVI)。由表 2 可见, 启动后期各隔室中的厌氧颗粒污泥明显增大, 而前端隔室污泥平均沉降速度小于后端隔室。ABR 相对封闭的多隔室布局对促进不同功能微生物的空间分布具有明显作用^[32~34]。如图 7 所示, 启动后期, 在颗粒污泥的微生物组成中, 前端隔室存在大量的杆菌及丝状微生物, 颗粒污泥表面较粗糙, 结构松散, 后端隔室内的颗粒污泥以球菌、

双球菌、八叠球菌及少量杆菌为主,颗粒污泥结构较为紧密,ABR 各隔室颗粒污泥形成自身的优势种群,实现各隔室各自的功能化。因此,后端的隔室颗粒污泥沉降性能较好,平均沉降速度、污泥沉降比(SV%)均较前端隔室大,而污泥容积指数(SVI)均较前端隔室小。从表 2 中 f 值可以看出,由于进水中的无机组分经过各隔室的截留而逐渐减少(而且松散的污泥结构较紧密的污泥结构具

有更强的吸附能力),同时随着各隔室微生物活性的逐渐增大,各隔室污泥中挥发分含量出现逐渐增加的趋势。

经过 70 d 的启动运行,针对碱减量废水的性质微生物在 ABR 各隔室实现了功能性分布,颗粒污泥各项指标较实验开始时均出现了良好的改善。最终,各隔室内培养出适合碱减量印染废水处理良好的厌氧颗粒污泥表明启动完成。

表 2 厌氧颗粒污泥启动前后发生的变化

Table 2 Variation of anaerobic granular sludge in the periods before and after start-up

隔室	平均粒径/mm		平均沉降速度/ $m \cdot h^{-1}$		f (MLVSS/MLSS)值		污泥沉降比 SV/%		污泥容积指数 SVI/ $mL \cdot g^{-1}$	
	前期	后期	前期	后期	前期	后期	前期	后期	前期	后期
一	3.10 ± 0.16	3.37 ± 0.17	46.3 ± 2.3	51.4 ± 2.6	0.51 ± 0.03	0.65 ± 0.03	16.23 ± 0.81	30.23 ± 1.51	1.62 ± 0.08	3.72 ± 0.18
二	3.10 ± 0.16	3.36 ± 0.17	46.2 ± 2.4	53.5 ± 2.7	0.55 ± 0.03	0.69 ± 0.03	15.65 ± 0.78	22.81 ± 1.14	1.56 ± 0.08	2.37 ± 0.11
三	3.10 ± 0.16	3.40 ± 0.17	47.4 ± 2.4	56.7 ± 2.8	0.63 ± 0.03	0.70 ± 0.04	15.33 ± 0.77	19.76 ± 0.99	1.53 ± 0.07	1.89 ± 0.09
四	3.10 ± 0.16	3.43 ± 0.18	48.2 ± 2.4	61.2 ± 3.0	0.65 ± 0.03	0.71 ± 0.04	14.15 ± 0.71	16.43 ± 0.82	1.41 ± 0.07	1.49 ± 0.07

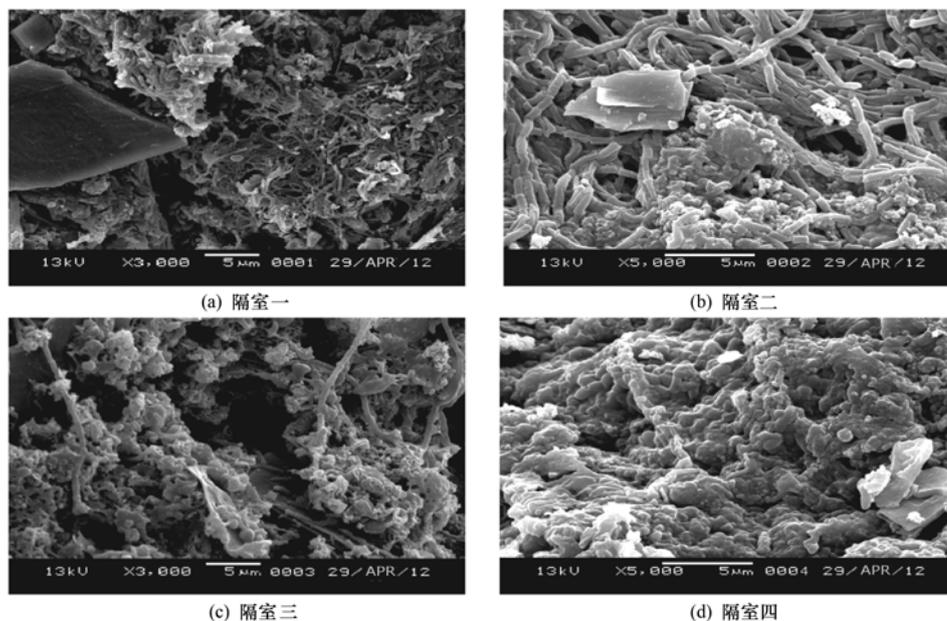


图 7 启动后期各隔室内厌氧颗粒污泥表层的扫描电镜图

Fig. 7 Scanning electron microscopy showing the external surfaces of granular sludge in each compartment at start-up latter period

3 结论

(1) 温度在 32 ~ 35℃, 进水 pH = 7.8 ~ 8.3 和 HRT = 36 h 条件下, 接种 IC 反应器的厌氧颗粒污泥处理碱减量印染废水, 以低容积负荷方式启动, 经过 70 d 的 6 个阶段, 进水 COD 浓度达到 1 670 $mg \cdot L^{-1}$ 左右时, COD 平均去除率稳定在 78% 以上, 出水 pH 值稳定在 7.3 左右, ABR 运行达到稳定。

(2) 启动阶段, 隔室一厌氧颗粒污泥的 DHA 活性最大, 而隔室四厌氧颗粒污泥的辅酶 F₄₂₀ 活性最大, 各隔室内厌氧颗粒污泥的 DHA 浓度和辅酶 F₄₂₀

浓度均随着时间推移而增强, 前端隔室酸性发酵作用占有优势, 后面隔室碱性发酵作用逐渐提高并逐渐占有优势, ABR 的功能分区较为明显。

(3) 启动前后各隔室颗粒污泥的平均粒径和平均沉降速度增大, f 值、污泥沉降比和污泥容积指数均有所变化, 污泥的沉降性能变好, 启动后各隔室形成各自的优势微生物种群。

参考文献:

- [1] Baloch M I. Methanogenic granular sludge as a seed in an anaerobic baffled reactor[J]. Water and Environment Journal, 2011, 25(2): 171-180.
- [2] Langenhoff A A M, Stuckey D C. Treatment of dilute wastewater

- using an anaerobic baffled reactor: effect of low temperature[J]. *Water Research*, 2000, **34**(15): 3867-3875.
- [3] Sarathai Y, Koottatep T, Morel A. Hydraulic characteristics of an anaerobic baffled reactor as onsite wastewater treatment system [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2010, **22**(9): 1319-1326.
- [4] Barber W P, Stuckey D C. The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: a review [J]. *Water Research*, 1999, **33**(7): 1559-1578.
- [5] 芦家娟, 王毅力, 赵洪涛, 等. ABR 反应器的启动及颗粒污泥特征的研究[J]. *环境化学*, 2007, **26**(1): 9-16.
- [6] Ji G D, Sun T H, Ni J R, *et al.* Anaerobic baffled reactor (ABR) for treating heavy oil produced water with high concentrations of salt and poor nutrient [J]. *Bioresource Technology*, 2008, **100**(3): 1108-1114.
- [7] 蒋永荣, 邓秀梅, 容翠娟, 等. ABR 处理糖蜜酒精模拟废水的启动试验[J]. *中国给水排水*, 2010, **26**(3): 96-99.
- [8] 杨波, 陈季华, 奚旦立, 等. 碱减量印染废水生物处理剩余污泥脱水性能的试验研究[J]. *东华大学学报*, 2005, **31**(6): 97-100.
- [9] 陈季华, 奚旦立, 杨波. 纺织染整废水处理技术及工程实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008. 136-139.
- [10] 杨波, 陈季华, 奚旦立, 等. 碱减量印染废水特征污染物的生物降解特性[J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(5): 523-527.
- [11] Movahedyan H, Assadi A, Parvaresh A. Performance evaluation of an anaerobic baffled reactor treating wheat flour starch industry wastewater[J]. *Journal of Environmental Health*, 2007, **4**(2): 77-84.
- [12] Akunna J C, Clark M. Performance of a granular-bed anaerobic baffled reactor (GRABBR) treating whisky distillery wastewater [J]. *Bioresource Technology*, 2000, **74**(3): 257-261.
- [13] Marin J, Kennedy K J, Eskicioglu C. Characterization of an anaerobic baffled reactor treating dilute aircraft de-icing fluid and long term effects of operation on granular biomass [J]. *Bioresource Technology*, 2010, **101**(7): 2217-2223.
- [14] Bell J, Buckley C A. Treatment of a textile dye in the anaerobic baffled reactor[J]. *Water SA*, 2003, **29**(2): 129-134.
- [15] Bell J, Plumb J J, Buckley C A, *et al.* Treatment and decolorization of dyes in an anaerobic baffled reactor[J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2000, **126**(11): 1026-1032.
- [16] 黄瑞敏, 刘欣, 黄春梅, 等. 复合式厌氧折流板反应器处理印染废水试验研究[J]. *环境工程*, 2010, **28**(6): 11-15.
- [17] Goel S. Anaerobic baffled reactor for treatment of textile dye effluent[J]. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 2010, **69**: 305-307.
- [18] Lagauna A, Ouattara A, Gonzalez R O, *et al.* A simple and low cost technique for determining the granulometry of upflow anaerobic sludge blanket reactor sludge[J]. *Water Science and Technology*, 1999, **40**(8): 1-8.
- [19] Buchauer K. A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to waste-water and sludge treatment processes[J]. *Water SA*, **24**(1): 49-56.
- [20] Serre-Wittling C, Houot S, Barriuso E. Soil enzymatic response to addition of municipal solid-waste compost [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1995, **20**(4): 226-236.
- [21] Liu H, He Y H, Quan X C, *et al.* Enhancement of organic pollutant biodegradation by ultrasound irradiation in a biological activated carbon membrane reactor [J]. *Process Biochemistry*, 2005, **40**(9): 3002-3007.
- [22] Ebert S, Rieger P G, Knackmuss H J. Function of coenzyme F₄₂₀ in aerobic catabolism of 2, 4, 6-trinitrophenol and 2, 4-dinitrophenol by *Nocardioides simplex* FJ2-1A [J]. *Journal of Bacteriology*, 1999, **181**(9): 2669-2674.
- [23] Liu R R, Lu X J, Tian Q, *et al.* The performance evaluation of hybrid anaerobic baffled reactor for treatment of PVA-containing desizing wastewater[J]. *Desalination*, 2011, **271**(1-3): 287-294.
- [24] Uyanik S, Sallis P J, Anderson G K. The effect of polymer addition on granulation in an anaerobic baffled reactor (ABR). Part I: process performance [J]. *Water Research*, 2002, **36**(4): 933-943.
- [25] Bodkhe S Y. A modified anaerobic baffled reactor for municipal wastewater treatment[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, **90**(8): 2488-2493.
- [26] Feng H J, Hu L F, Mahmood Q, *et al.* Effects of temperature and feed strength on a carrier anaerobic baffled reactor treating dilute wastewater [J]. *Desalination*, 2009, **239**(1-3): 111-121.
- [27] Zhang L G, Yin J, Liu L. Characterization of metabolic activities of waste activated sludge from the SBR process [J]. *Journal of Environmental Science and Health*, 2009, **44**(8): 752-757.
- [28] 唐宁, 柴立元, 闵小波, 等. 厌氧污泥体系脱氢酶活性表征细菌数的研究[J]. *微生物学杂志*, 2005, **25**(2): 31-34.
- [29] Xie B Z, Liu H, Yan Y X. Improvement of the activity of anaerobic sludge by low-intensity ultrasound [J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, **90**(1): 260-264.
- [30] Tian Q, Chen J H, Zhang H, *et al.* Study on the modified triphenyl tetrazolium chloride-dehydrogenase activity (TTC-DHA) method in determination of bioactivity in the up-flow aerated bio-activated carbon filter [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2006, **5**(2): 181-188.
- [31] 蒋柱武, 陈礼洪, 张亚雷, 等. 厌氧膨胀床处理低浓度污水的污泥颗粒和生物活性变化[J]. *环境工程学报*, 2012, **5**(12): 2668-2672.
- [32] Gopala Krishna G V T, Kumarb P, Kumarb P. Treatment of low-strength soluble wastewater using an anaerobic baffled reactor (ABR) [J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, **90**(1): 166-176.
- [33] 蒋永荣, 胡明成, 李学军, 等. ABR 处理硫酸盐有机废水的相分离特性研究[J]. *环境科学*, 2010, **31**(7): 1544-1553.
- [34] Uyanik S, Sallis P J, Anderson G K. The effect of polymer addition on granulation in an anaerobic baffled reactor (ABR). Part II: compartmentalization of bacterial populations[J]. *Water Research*, 2002, **36**(4): 944-955.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} over Eastern China from MODIS Aerosol Optical Depth Using the Back Propagation Neural Network	GUO Jian-ping, WU Ye-rong, ZHANG Xiao-ye, <i>et al.</i> (817)
Comparison of Atmospheric Particulate Matter and Aerosol Optical Depth in Beijing City	LIN Hai-feng, XIN Jin-yuan, ZHANG Wen-yu, <i>et al.</i> (826)
Impacts of Meteorological Factors on Atmospheric Methane Mole Fractions in the Background Area of Yangtze River Delta	PU Jing-jiao, XU Hong-hui, GU Jun-qiang, <i>et al.</i> (835)
Dispersion and Analysis of Odor Pollution in Landfill Area Under the Enclosed Operation Condition	LU Peng, WU Shi-xing, DAI Zhi-feng, <i>et al.</i> (842)
Distribution Characteristics and Sea-Air Fluxes of Volatile Halocarbons in the East China Sea in Winter	HE Zhen, LU Xiao-lan, YANG Gui-peng (849)
Intra- and Inter-annual Variabilities of Particulate Organic Matter in the Mires Bay from 2000 to 2010	LI Xu-lu, ZHOU Yi-pin, XIA Hua-yong (857)
Phytoplankton Assemblages and Their Relation to Environmental Factors by Multivariate Statistic Analysis in Bohai Bay	ZHOU Ran, PENG Shi-tao, QIN Xue-bo, <i>et al.</i> (864)
Characteristics and Evolution of Hydrochemical Compositions of Freshwater Lake in Tibetan Plateau	WANG Peng, SHANG Ying-nan, SHEN Li-cheng, <i>et al.</i> (874)
Estimation of Nonpoint Source Pollutant Loads and Optimization of the Best Management Practices (BMPs) in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, LIU Pin (882)
An Object-Oriented Intelligent Engineering Design Approach for Lake Pollution Control	ZOU Rui, ZHOU Jing, LIU Yong, <i>et al.</i> (892)
Contribution of Plant Litters to Sediments Organic Matter in Julong River Estuary Wetland	LUO Zhuan-xi, QIU Zhao-zheng, WANG Zhen-hong, <i>et al.</i> (900)
Application of Tiered Approach to Assess the Impact of Backfilling Remediated Soil on Groundwater	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (907)
Removal of Nitrate from Groundwater Using Permeable Reactive Barrier	LI Xiu-li, YANG Jun-jun, LU Xiao-xia, <i>et al.</i> (914)
Research on Pollution Load of Sediments in Storm Sewer in Beijing District	LI Hai-yan, XU Bo-ping, XU Shang-ling, <i>et al.</i> (919)
Occurrence and Risk Assessment of Five Selected PPCPs in Municipal Wastewater Treatment Plant and the Receiving Water	WEN Zhi-hao, DUAN Yan-ping, MENG Xiang-zhou, <i>et al.</i> (927)
Microbial Risk Assessment of Urban Water Bodies for Aesthetical and Recreational Uses	SUN Fu, SHA Jing, ZHANG Yi-fan, <i>et al.</i> (933)
Study on Removal of Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate by Using of Small-Scale Biological Aerated Filter	LI Wei, ZHAO Jing, YU Jian, <i>et al.</i> (943)
Mechanism of Membrane Fouling and Filtration Characteristics in a Membrane Bioreactor for Industrial Wastewater Treatment	FAN Ju-hong, YU Su-lin, ZHANG Pei-shuai, <i>et al.</i> (950)
Enhanced Electro-Chemical Oxidation of Acid Red 3R Solution with Phosphotungstic Acid Supported on γ -Al ₂ O ₃	YUE Lin, WANG Kai-hong, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (955)
Degradation Kinetics of Activated Carbon Catalyzed Persulfate Oxidation Orange G	YANG Mei-mei, ZHOU Shao-qi, LIU Dan, <i>et al.</i> (962)
Study on the Start-up of the Anaerobic Baffled Reactor for Treating Alkali-deweeding and Dyeing-printing Wastewater	YANG Bo, ZHONG Qi-jun, LI Fang, <i>et al.</i> (968)
Study on the Pollutants Removal Performance Along the Advanced Treatment in Tannery Wastewater by O ₃ -BAF	YU Bin, LIU Rui, CHENG Jia-di, <i>et al.</i> (974)
Effect of Pilot UASB-SFSBR-MAP Process for the Large Scale Swine Wastewater Treatment	WANG Liang, CHEN Chong-jun, CHEN Ying-xu, <i>et al.</i> (979)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Municipal Wastewater and Studies on Its Characteristics Under the Continuous Flow	NIU Shu, DUAN Bai-chuan, ZHANG Zuo-li, <i>et al.</i> (986)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (I) : Model Constitution	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (993)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (II) : Process Simulation	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (998)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (III) : Model Application	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (1004)
Comparative Study on Water-air CO ₂ , CH ₄ Flux in Two Tributaries in the Three Gorges Reservoir, China	LI Zhe, BAI Lei, GUO Jin-song, <i>et al.</i> (1008)
Factors Influencing the Spatial Variability in Soil Respiration Under Different Land Use Regimes	CHEN Shu-tao, LIU Qiao-hui, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1017)
Differences in Soil Respiration Between Cropland and Grassland Ecosystems and Factors Influencing Soil Respiration on the Loess Plateau	ZHOU Xiao-gang, ZHANG Yan-jun, NAN Ya-fang, <i>et al.</i> (1026)
Application and Benefit Evaluation of Tiered Health Risk Assessment Approach on Site Contaminated by Benzene	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, LIANG Jin, <i>et al.</i> (1034)
History of Heavy Metal Pollution from Tidal Flat in Haizhou Bay	ZHANG Rui, ZHANG Fan, LIU Fu-cheng, <i>et al.</i> (1044)
Accumulation, Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Surface Sediment of Caohai Plateau Wetland, Guizhou Province	ZHANG Qing-hai, LIN Chang-hu, TAN Hong, <i>et al.</i> (1055)
Assessment and Correlation Analysis of Heavy Metals Pollution in Soil of Dajinshan Island	CHENG Fang, CHENG Jin-ping, SANG Heng-chun, <i>et al.</i> (1062)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Stream Sediments from a Typical Nonferrous Metals Mining City	LI Ru-zhong, JIANG Yan-min, PAN Cheng-rong, <i>et al.</i> (1067)
Contamination and Health Risk for Heavy Metals via Consumption of Vegetables Grown in Fragmentary Vegetable Plots from a Typical Nonferrous Metals Mine City	LI Ru-zhong, PAN Cheng-rong, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1076)
Correlativity Study of the Distribution of Soil Magnetic Susceptibility and the Heavy Metal Contents in Xi'an City	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei, YANG GUANG (1086)
Distribution Characteristics and Environmental Significance of Heavy Metals in Soil Particle Size Fractions from Tropical Forests in China	GONG Cang, XU Dian-dou, CHENG Hang-xin, <i>et al.</i> (1094)
Study on Phosphorus Adsorption Characteristic of Sediments in an Ecological Ditch	ZHANG Shu-nan, JIA Zhao-yue, XIAO Run-lin, <i>et al.</i> (1101)
Fractions and Adsorption Characteristics of Phosphorus on Sediments and Soils in Water Level Fluctuating Zone of the Pengxi River, a Tributary of the Three Gorges Reservoir	SUN Wen-bin, DU Bin, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i> (1107)
Sorption Behavior of Triton X-100 on Loess and Affecting Factors	ZHONG Jin-kui, ZHAO Bao-wei, ZHU Kun, <i>et al.</i> (1114)
Residual Levels in Air, Soil and Soil-Air Exchange of Organochlorine Pesticides in Hami Region of Xinjiang and Its Potential Ecological Risk	MA Zi-long, MAO Xiao-xuan, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (1120)
Levels and Sources of Decabromodiphenyl Ether and Dechlorane Plus in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China	HE Chang, JIN Jun, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> (1129)
Vertical Distribution of PBDEs and DL-PCBs in Sediments of Taihu Lake	MA Zhao-hui, JIN Jun, QI Xue-kui, <i>et al.</i> (1136)
Characteristics of Organic Pollutants in the Sediments from a Typical Electronics Industrial Zone	LIU Jin, DENG Dai-yong, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (1142)
Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Exhaust Particles from a Diesel Car	TAN Pi-qiang, ZHOU Zhou, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (1150)
Characterization of PAHs in Fly Ashes from Coke Production	MU Ling, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (1156)
Comparison of PAHs Distribution in Stabilized Sludge by Sludge Drying Bed and Reed Bed	CUI Yu-bo, SUN Hong-jie, RAN Chun-qiu, <i>et al.</i> (1161)
Effects of Adsorbents on Partitioning and Fixation of Heavy Metals in the Incineration Process of Sewage Sludge	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu, CHEN Tao (1166)
Environmental Toxicity of Waste Foundry Sand	ZHANG Hai-feng, WANG Yu-jue, WANG Jin-lin, <i>et al.</i> (1174)
Construction and Properties of a Microbial Whole-cell Sensor CB10 for the Bioavailability Detection of Cr ⁶⁺	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xu-liang, <i>et al.</i> (1181)
Structure and Dynamics of Microbial Community in the Denitrifying Sulfide Removal Process	YU Hao, WANG Ai-jie, CHEN Chuan (1190)
Effects of Physico-chemical Parameters on the Abundance of the Denitrification-associated Genes <i>nirK</i> , <i>nirS</i> and <i>nosZ</i> During Agricultural Waste Composting	HU Chun-xiao, CHEN Yao-ning, ZHANG Jia-chao, <i>et al.</i> (1196)
Impact of PAHs on the Expression of PRDX in Earthworm (<i>Eisenia fetida</i>)	LIN Kang-li, ZHENG Sen-lin, SONG Yu-fang, <i>et al.</i> (1204)
Preparation of OMC-Au/L-Lysine/Au Modified Glassy Carbon Electrode and the Study on Its Detection Response to Hydroquinone and Catechol	ZHOU Yao-yu, TANG Lin, LI Zhen, <i>et al.</i> (1211)
Risk Communication in Construction of New Nuclear Power Plant	HE Gui-zhen, LÜ Yong-long (1218)

《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3月15日 34卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 3 Mar. 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