

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第7期

Vol.34 No.7

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

唐山市大气颗粒物 OC/EC 浓度谱分布观测研究 郭育红, 辛金元, 王跃思, 温天雪, 李杏茹, 封孝信 (2497)

北京东灵山地区主要大气污染物浓度变化特征 于阳春, 胡波, 王跃思 (2505)

奥运前期与奥运期间北京市大气细颗粒物特征比较分析 张菊, 欧阳志云, 苗鸿, 王效科, 任玉芬, 宋文质 (2512)

华东森林及高山背景区域臭氧变化特征及影响因素 苏彬彬 (2519)

北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究 方治国, 孙平, 欧阳志云, 刘芄, 孙力, 王小勇 (2526)

民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究 海婷婷, 陈颖军, 王艳, 田崇国, 林田 (2533)

醇类汽油车醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放的试验研究 张凡, 王建华, 王小臣, 王建昕 (2539)

微波解吸-催化燃烧净化甲苯研究 曹晓强, 张浩, 黄学敏 (2546)

生物滴滤池对 BTEX 的去除及相应细菌群落分析 李建军, 廖东奇, 许玫英, 孙国萍 (2552)

炼油厂废水处理站挥发性羰基化合物成分谱研究 周博宇, 刘旺, 王伯光, 周咪, 黄青, 周磊 (2560)

春季东、黄海溶解甲烷的分布和海水交换通量 曹兴朋, 张桂玲, 马啸, 张国玲, 刘素美 (2565)

千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究 董春颖, 虞左明, 吴志旭, 吴春金 (2574)

新安江流域土地利用结构对水质的影响 曹芳芳, 李雪, 王东, 赵越, 王玉秋 (2582)

长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析 孟睿, 何连生, 过龙根, 席北斗, 李中强, 舒俭民, 刁晓君, 李必才 (2588)

河口盐度梯度下溶解态核酸的微生物可利用性 杨青青, 李朋辉, 黄清辉 (2597)

水藻暴发的影响因素定量研究初步 张卓, 宋志尧, 黄昌春, 俞肇元 (2603)

深水型水库藻类功能组时空演替及生境变化的影响 卢金锁, 胡亚潘 (2611)

结合水体光学分类反演太湖总悬浮物浓度 周晓宇, 孙德勇, 李云梅, 李俊生, 龚绍琦 (2618)

Subwet 模型在人工湿地设计中的应用 李慧峰, 黄津辉, 林超 (2628)

白洋淀荷茎叶提取液对铜绿微囊藻及四尾栅藻化感效应 何连生, 孟繁丽, 刁晓君, 李一葳, 孟睿, 席北斗, 舒俭民 (2637)

苦草 (*Vallisneria spiralis*) 对城市缓流河道黑臭底泥理化性质的影响 许宽, 刘波, 王国祥, 马久远, 曹勋, 周锋 (2642)

铁屑-微生物协同还原去除水体中 Cr(VI) 研究 汤洁, 王卓行, 徐新华 (2650)

铁铜催化剂非均相 Fenton 降解苯酚及机制研究 杨岳主, 李玉平, 杨道武, 段锋, 曹宏斌 (2658)

不同形态无机氮对水中微量药物安替比林光降解效能影响 赵倩, 陈超, 封莉, 张立秋 (2665)

邻苯二甲酸二甲酯的紫外光-H₂O₂ 降解机制研究 刘青, 陈成, 陈泓哲, 杨绍贵, 何欢, 孙成 (2670)

二胺基改性有序多孔 SBA-15 对溶液中 Cd²⁺ 离子的吸附研究 张萌, 杨亚提, 秦睿, 王力, 张增强, 李忠宏, 李荣华, 孟昭福 (2677)

酸化蛭石的表面有机修饰及其对疏水性微污染物的吸附 蒋争明, 于旭彪, 胡芸, 任源, 李雪辉, 韦朝海 (2686)

基于废陶瓷的多孔陶瓷研制及其对 Ni²⁺ 的吸附性能 张永利, 王承智, 史册, 尚玲玲, 马瑞, 董婉莉 (2694)

树皮支持的厌氧生物法去除地下水中的高氯酸盐 王蕊, 刘菲, 陈楠, 陈鸿汉 (2704)

Cr(VI) 污染地下水修复的 PRB 填料实验研究 朱文会, 董良飞, 王兴润, 翟亚丽 (2711)

化学沉淀法去除稀土湿法冶炼废水中钙与高浓度氨氮研究 王浩, 成官文, 宋晓薇, 徐子涵, 蒙金结, 董传强 (2718)

镍铁尾矿硫酸浸出动力学研究 陈安安, 周少奇, 黄鹏飞 (2729)

HRT 对 A²O 工艺中典型多环麝香迁移转化的影响 刘鹏程, 黄满红, 陈东辉, 陈亮 (2735)

发酵液作为 EBPR 碳源的动力学模拟 张超, 陈银广 (2741)

强化污泥利用水解反应器改善碳源与污泥减量作用研究 熊娅, 王强, 宋英豪, 朱民, 林秀军 (2748)

污泥胞外聚合物的提取方法及其对污泥脱水性能的影响 周俊, 周立祥, 黄焕忠 (2752)

不同粒径铁铝泥对砷(III)的吸附效果 林璐, 胥嘉瑞, 吴昊, 王昌辉, 裴元生 (2758)

我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析 仇焕广, 廖绍攀, 井月, 栾江 (2766)

浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离 徐明星, 潘卫丰, 岑静, 马学文 (2775)

三江平原土地利用方式变化对土壤锰形态影响 张仲胜, 吕宪国, 宋晓林 (2782)

吉林前郭水田土壤有机碳垂向分布规律和储量研究 汤洁, 张雯辉, 李昭阳, 张楠, 胡猛 (2788)

关中地区农田土壤有机碳固存速率及影响因素: 以陕西武功县为例 张晓伟, 许明祥 (2793)

三峡库区不同林草措施土壤活性有机碳及抗蚀性研究 黄茹, 黄林, 何丙辉, 周立江, 于传, 王峰 (2800)

土壤自养微生物同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴C 连续标记法 史然, 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 葛体达, 隋方功, 童成立, 吴金水 (2809)

西南丘陵区保护性耕作下小麦农田土壤呼吸及影响因素分析 张赛, 张晓雨, 王龙昌, 罗海秀, 周航飞, 马仲炼, 张翠微 (2815)

丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的分布特征及风险评价 李子成, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 赵艳民, 时瑶 (2821)

农药企业场地苯系物污染风险及调控对策 虎博, 王铁宇, 杜立宇, 谭冰, 朱朝云, 吕永龙 (2829)

水分管理对硫铁镉在水稻根区变化规律及其在水稻中积累的影响 张雪霞, 张晓霞, 郑煜基, 王荣萍, 陈能场, 卢普相 (2837)

硝酸盐对沉积物中有机物氧化减量及微生物群落结构的影响 刘近, 邓代永, 孙国萍, 刘永定, 许玫英 (2847)

零价铁对脱色希瓦氏菌 S12 偶氮还原的促进作用 周庆, 陈杏娟, 郭俊, 孙国萍, 许玫英 (2855)

2 株好氧反硝化菌的筛选及其强化贫营养生物膜脱氮效果 全向春, 岑艳, 钱殷 (2862)

反硝化聚磷菌快速富集、培养及其荧光原位杂交技术鉴别 刘立, 汤兵, 黄绍松, 付丰连, 张启泰, 黎健彬, 罗建中 (2869)

1 株反硝化除磷菌的鉴定及其反硝化功能基因研究 张倩, 王弘宇, 桑稳姣, 李孟, 杨开, 马放 (2876)

1 株高效 BBP 降解菌的分离与特性研究 陈湖星, 杨雪, 张凯, 钟秋, 郭佳, 王攀, 熊丽, 刘德立 (2882)

微生物-化学水解联合作用下烟嘧磺隆的降解 张小林, 李咏梅, 袁志文 (2889)

扑草净降解菌的分离、筛选与鉴定及降解特性初步研究 周际海, 孙向婷, 胡锋, 李辉信 (2894)

固定化 *Lysinibacillus cresolovorans* 的 PVA-SA-PHB-AC 复合载体制备及间甲酚的降解 李婷, 任源, 韦朝海 (2899)

生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 表面活性物质提取与其破乳特性分析 黄翔峰, 张树聪, 彭开铭, 陆卫君, 刘佳 (2906)

A²O 工艺活性污泥中可培养丝状细菌的多样性 高莎, 金德才, 赵志瑞, 齐嵘, 彭霞微, 白志辉 (2912)

生活垃圾堆肥渗滤液污染物组成与演化规律研究 李丹, 何小松, 席北斗, 魏自民, 潘红卫, 赵国鹏, 崔东宇 (2918)

专辑征稿通知 (2551) 《环境科学》征稿简则 (2685) 《环境科学》征订启事 (2868) 信息 (2875)

强化污泥利用水解反应器改善碳源与污泥减量作用研究

熊娅^{1,2}, 王强³, 宋英豪^{4*}, 朱民², 林秀军²

(1. 中国地质大学水资源与环境学院, 北京 100083; 2. 北京环境保护科学研究院, 北京 100037; 3. 新疆阿克苏水务集团有限公司, 阿克苏 843000; 4. 北京化工大学工程技术研究院, 北京 100029)

摘要: 通过改进传统水解池, 强化水解池中的初沉污泥水解, 以改善优质碳源比例. 强化污泥利用水解反应器集悬浮物的沉淀分离和污泥的水解酸化为一体, 经强化污泥利用水解反应器处理后, 废水中 SS 去除率达到 81.4%, SS/BOD₅ 由进水的 2.4 下降至 0.4; SCOD/COD、COD_{0.45-5}/COD 分别提高了 35.4% 和 17.7%, 而 COD_{>100}/COD 下降了 53.2%; BOD₅/TN 从 3.7 提高至 4.7; BOD₅/TP 从 23.8 提高至 36.4. 废水的碳源结构得到了改善. 同时, 在强化污泥利用水解反应器中完成了对污泥的处理, 污泥水解率达到 51.9%, 实现了污泥的资源化与减量化.

关键词: 水解; 可生化性; 碳源; 污泥减量

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2748-04

Effluent Carbon Source Improvement and Sludge Reduction by Hydrolysis Reactor with Enhanced Sludge Utilization

XIONG Ya^{1,2}, WANG Qiang³, SONG Ying-hao⁴, ZHU Min², LIN Xiu-jun²

(1. School of Water Resource & Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Beijing Municipal Research Academy of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 3. Xinjiang Akesu Water Group, Akesu 843000, China; 4. Research Institute of Engineering Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to strengthen the sludge hydrolysis and improve effluent carbon source, the structure of currently existing hydrolysis reactor was reformed. The new process combined separation of suspended solids in influent and hydrolysis of settled sludge. Experimental results show that the removal rate of SS was 81.4%, the average SS/BOD₅ ratio of effluent was dropped to 0.4, far less than that of the influent ratios; SCOD/COD and COD_{0.45-5}/COD ratio of the effluent increased by 35.4% and 17.7%, but the COD_{>100}/COD ratio reduced by 53.2%; BOD₅/TN ratio increased from 3.7 to 4.7 and the BOD₅/TP ratio from 23.8 to 36.4. The improvement of effluent carbon source was helpful for nitrogen and phosphorus removal in follow-up process. Meanwhile, the hydrolytic rate of sludge was up to 51.9%, realizing the reduction and resource-regeneration.

Key words: hydrolysis; biodegradability; carbon source; sludge reduction

进水 SS/BOD₅ 偏高、BOD₅/TN 比偏低, 以及传统初沉池、水解池加剧后续生物脱氮除磷系统反硝化碳源不足等是我国城镇污水普遍存在的问题^[1-3]. 这些问题导致污水处理厂活性污泥惰性组分含量偏高、反硝化能力偏低、出水 TN、TP 等难以达标排放. 各城镇污水处理厂为保证出水中氮的稳定达标, 一般向污水处理系统投加外加碳源, 如甲醇、乙酸、乙酸钠等. 虽然实现了废水的达标排放, 但也提高了系统的运行费用, 这显然不符合节能降耗的理念. 以低能耗和低成本的方式来改善出水水质才是污水处理实现可持续发展的关键^[4,5].

利用污水与污泥水解酸化来开发生物脱氮除磷可利用的碳源是一种可行性较强的工艺, 在获得生物可利用碳源的同时, 实现污泥一定程度的稳定化和资源化^[6-8], 国外研究较多, 已有在生物营养物去除工艺的基础上增加污泥水解酸化工艺的成功实例^[9-11]. 在污泥水解中, 初沉污泥水解产物作为碳

源的反硝化速率比二沉池污泥水解产物高 6 倍^[12]. 本试验以无锡市某污水处理厂的进水为研究对象, 对传统水解池进行改造, 设计为两层布水器、无机械搅拌的强化污泥利用水解反应器, 考察反应器进出水水质特点以及污泥水解率, 以期反应器的实际应用提供技术支持.

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验设置在无锡某污水处理厂, 污水经过格栅、曝气沉砂池后直接进入本试验装置. 试验装置采用升流式水解反应器, 结构如图 1, 直径 2.5 m, 高 5.5

收稿日期: 2012-10-19; 修订日期: 2012-12-27

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2009AA063802-02); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07203-001-01)

作者简介: 熊娅(1983~), 女, 助理研究员, 主要研究方向为水污染控制技术, E-mail: xiongya2008@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: songyinghao@gmail.com

m, 有效水深 5.0 m. 为延长污泥停留时间, 强化污泥水解, 该反应器内设置两层布水器, 两层布水器之间形成高浓度污泥层. 布水器分别设置在距离底部 0.2 m、2.5 m 处, 每层布水器含 5 根支管, 平均分布在进水管所在平面上, 保证布水均匀. 排泥管设置在 4.0 m 处, 保证污泥层高约 4.0 m.

1.2 试验方法

本试验废水处理量为 $120 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 运行于 2011 年 3~6 月, 进水水质见表 1. 由于进水中悬浮物浓度较高, 基本保持在 $100 \sim 450 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 因此反应器未投加接种污泥直接启动. 进水流量 $120 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 上、下层布水器进水比值为 1.5, 在启动初期, 反应器出水浑浊, 悬浮物较多, 运行 10~15 d 后出水清

表 1 进水水质/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

指标	COD	BOD ₅	TN	NH ₄ ⁺ -N	TP	NO ₃ ⁻ -N	SS
范围	120~460	75~190	17~55	16~50	2~9	0.1~1	100~450
均值	271.6	114.5	31.2	27.4	5.1	0.5	243.6

反应器成功启动后, 反应器稳定运行约 90 d, 运行条件为: 废水处理量保持在 $120 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 水力停留时间 4.9 h, pH 在 6.8~7.2, ORP 为 -250~-400 mV. 反应器分上下两层进水, 反应器下层(0~2.5 m)污泥浓度达到 $19 \sim 34 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 反应器上层(2.5~4.0 m)污泥浓度达到 $7 \sim 13 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 高污泥浓度层使得污泥停留时间达 10~20 d.

1.3 水质分析方法

每 3 d 取样测定反应器进出水的 COD、BOD₅、TN、NH₄⁺-N、TP、SS, 均参照《水和废水监测分析方法》(第四版)进行测定. 每 5 d 取样测定废水中不同粒径的有机组分浓度, 其中: 溶解性有机物(SCOD)为通过 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜的有机组分, COD_{0.45~5} 为通过 $5.0 \mu\text{m}$ 滤膜的过滤液与 SCOD 之差, COD_{5~100} 为粒径在 $5.0 \sim 100 \mu\text{m}$ 之间的有机组

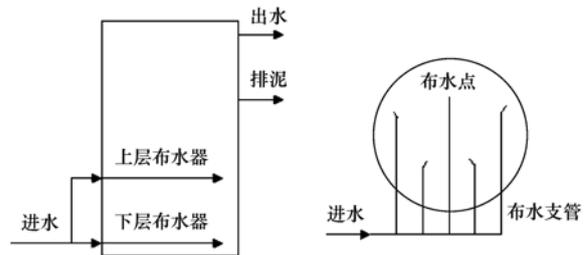


图 1 强化污泥利用水解反应器装置示意

Fig. 1 Schematic of the hydrolysis reactor with enhanced sludge utilization

澈透明, 出水悬浮物去除率稳定达到 80% 以上, COD 去除率稳定达到 30% 左右, 表明反应器启动成功.

分, COD_{>100} 为粒径在 $100 \mu\text{m}$ 以上的组分.

测定污泥水解率时, 采用哈希 SD900 便携水质采样器每 2 h 自动取样一次, 12 组样品混合后 SS 测定值为当日 SS 浓度平均值; 反应器内污泥浓度取不同高度处污泥浓度平均值.

2 结果与讨论

2.1 废水中 SS、SS/BOD₅ 的变化

本研究采用的强化污泥利用水解反应器为上流式流态, 由于自然沉降和污泥层截留作用, 对 SS 具有较好的去除作用. 该污水处理厂进水 SS 浓度介于 $100 \sim 450 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 出水平均 SS 浓度为 $44.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 见图 2(a), 平均去除率达到 81.4%, 远远高于我国现行《室外排水设计规范》(GBJ 14-87) 中常规沉淀时间下初沉池对 SS 的去除率(40%~

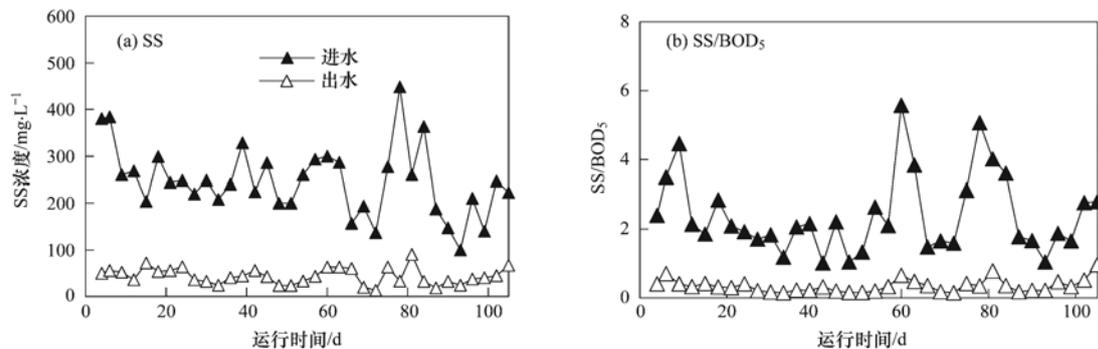


图 2 废水中 SS、SS/BOD₅ 浓度变化曲线

Fig. 2 Change curve of SS and SS/BOD₅ during the operation

50%)。

试验期间,进水中 SS/BOD₅ 比值均大于 1.0,平均达到 2.4,远高于发达国家城镇污水 SS/BOD₅ 比值约为 1.1 的水平。由于 SS/BOD₅ 比值过高,会导致污泥活性偏低而污泥产率系数偏高,降低污水处理系统的有效利用率^[13]。经过强化污泥利用水解反应器处理后,废水中 SS/BOD₅ 由进水的 2.4 下降至 0.4,见图 2(b),表明强化污泥利用水解反应器可显著降低进水中无机悬浮固体的比例,提高后续污水处理系统的利用效能。

2.2 废水中有机物粒径的变化

强化污泥利用水解反应器对 COD 的去除率约为 30.0%。本研究对反应器进水中不同粒径的 COD 浓度进行了测定,结果见表 2(试验运行期间测试结果的平均值)。反应器进水中总 COD 为 282.8 mg·L⁻¹,其中粒径大于 100 μm 的有机物占总量的

表 2 废水中不同粒径有机物的百分比

项目	进水		出水	
	浓度 /mg·L ⁻¹	所占比例 /%	浓度 /mg·L ⁻¹	所占比例 /%
<0.45 μm	72.9	25.8	106.1	61.2
0.45~5 μm	20.8	7.4	43.5	25.1
5~100 μm	2.9	1.0	2.1	1.2
>100 μm	186.2	65.8	21.8	12.6
总计	282.8	100.0	173.5	100.0

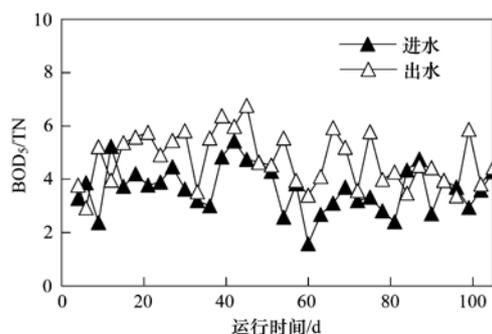


图 3 BOD₅/TN、BOD₅/TP 变化曲线

Fig. 3 Change curve of BOD₅/TN and BOD₅/TP during the operation time

经强化污泥利用水解反应器处理后,由于污泥中有机碳源的大量释放,废水的可生化性显著提高,BOD₅/COD 由进水的 0.4 提升至 0.7。同时,TN、TP 变化相对较小,从而使得 BOD₅/TN、BOD₅/TP 上升,如图 3 所示。BOD₅/TN 由进水的 3.7 提升至 4.7,BOD₅/TP 由 23.8 提升至 36.4,较进水分别提高了 27.2%、52.9%,这些水质变化将有利于后续脱氮除磷系统的运行。

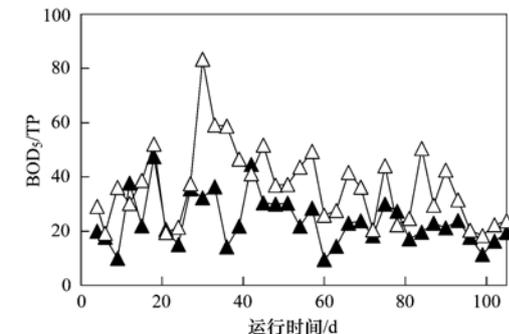
2.4 强化污泥利用水解反应器的污泥处理效果

65.8%,而 SCOD、COD_{0.45~5}、COD_{5~100} 浓度分别占总 COD 的 25.8%、7.4% 和 1.0%。可见,进水中大粒径有机物含量较高,而溶解性有机物含量较低,不利于微生物的快速有效利用。

经强化污泥利用水解反应器处理后,COD_{>100} 的去除率达到 88.3%,出水中 COD_{>100} 仅占有有机物总量的 12.6%;COD_{5~100} 仍旧保持在较低水平;SCOD、COD_{0.45~5} 所占比例分别提高至 61.2% 和 25.1%,相对于进水分别提高了 35.4% 和 17.7%,同时出水中 SCOD 和 COD_{0.45~5} 的绝对值均高于进水。可见,强化污泥利用水解反应器可强化初沉污泥水解释放溶解性有机物和小粒径有机物,明显改善了污水的碳源结构,有利于强化后续生物脱氮除磷单元的效能。

2.3 废水中 BOD₅、TN、TP 比例的变化

文献[14]表明:进水 BOD₅/TN 低于 4 的条件下必须考虑外部碳源的添加。图 3 显示了试验期间反应器进出水 BOD₅/TN、BOD₅/TP 的变化情况。本试验中进水 BOD₅/TN 为 1.5~5.5,其中 BOD₅/TN 小于 4.0 的占 68.6%,介于 4.0~5.0 的占 25.7%,BOD₅/TN 平均值为 3.7;BOD₅/TP 约为 9.0~45.0,平均为 23.8。可见,进水 BOD₅/TN 比、BOD₅/TP 比偏低,在生物处理过程中将会不可避免地出现脱氮除磷碳源不足等问题^[15]。



从前一节水质的分析可以看出,经过强化污泥利用水解反应器后,废水中 SS 去除率达到 81.4%,废水中 C、N、P 组成以及碳源结构均发生了显著变化,这些变化在很大程度上是因为颗粒性有机物的水解作用。本研究中利用污泥水解率来衡量水解作用。污泥水解率(η)按照以下方式进行计算^[16]:

$$\eta = \left[1 - \frac{\text{SS 累积量} + \text{污泥排放量}}{\text{SS 去除量}} \right] \times 100\%$$

SS 去除量:

$$SS_{\text{去除}} = \left(\sum Q_i \cdot SS_{\text{ii}} - \sum Q_i \cdot SS_{\text{ei}} \right) \times n$$

SS 累积量:

$$SS_{\text{累积}} = V_{\text{反应器}} \cdot MLSS_1 - V_{\text{反应器}} \cdot MLSS_n$$

$$\eta = \left[1 - \frac{V_{\text{反应器}} \cdot MLSS_1 - V_{\text{反应器}} \cdot MLSS_n + \sum V_{\text{排}i} \cdot MLSS_{\text{泥}i}}{\left(\sum Q_i \cdot SS_{\text{ii}} - \sum Q_i \cdot SS_{\text{ei}} \right) \times n} \right] \times 100\%$$

式中, Q_i 为第 i 天污水处理量, $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$; $V_{\text{反应器}}$ 为强化污泥利用水解反应器体积, m^3 ; $V_{\text{排}i}$ 为第 i 天排泥体积, m^3 ; $MLSS_{\text{泥}i}$ 为第 i 天排泥的污泥浓度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; SS_{ii} 、 SS_{ei} 为第 i 天进、出水悬浮物浓度平均值, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $MLSS_1$ 、 $MLSS_n$ 为第 1、 n (测试期最后 1 天) 天反应器内污泥浓度平均值, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

测试期间采用哈希 SD900 便携式水质采样器每 2 h 自动取样一次, 12 组样品混合后 SS 测定值为当日 SS 浓度平均值; 反应器内污泥浓度取不同高度处污泥浓度平均值。取 2011 年 4 月 15 日 ~ 2011 年 5 月 15 日数据进行计算, 可知污泥水解率为 51.9%, 即有 51.9% 的 SS 在微生物作用下通过水解被消解。分析其原因, 强化污泥利用水解反应器下层 (0 ~ 2.5 m) 污泥浓度达到 19 ~ 34 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 上层 (2.5 ~ 4.0 m) 污泥浓度达到 7 ~ 13 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 高浓度的污泥层也意味着污泥在反应器中的长停留时间, 大颗粒有机物水解变成小粒径有机物, 小粒径有机物进一步转化为溶解性有机物进入废水中, 从而实现污泥的减量化。

3 结论

(1) 上流式分层进水反应器对废水中 SS 去除率达到 81.4%, SS/BOD₅ 由进水的 2.4 下降至 0.4, BOD₅/COD 值从 0.4 提高至 0.7, BOD₅/TN 从 3.7 提高至 4.7, BOD₅/TP 从 23.8 提高至 36.4, 提高了后续污水处理系统的利用效能。

(2) 经水解反应器处理后, 废水中溶解性有机物和小粒径有机物所占比例显著增加, 废水中 SCOD、COD_{0.45~5} 所占比例分别提高了 35.4% 和 17.7%, 而 COD_{>100} 所占比例下降了 53.2%; 污泥水解率达到 51.9%, 实现了污泥的资源化与减量化。

参考文献:

- [1] 张玲玲, 陈立, 郭兴芳, 等. 南北方污水处理厂进水水质特性分析[J]. 给水排水, 2012, 38(1): 45-49.
- [2] 左金星, 曹长春, 崔赞璐, 等. 南方小城镇污水处理现状和发展探讨[J]. 水科学与工程, 2011, (6): 3-5.
- [3] 温荣平, 卢东昱, 郭伟, 等. 低负荷城市污水厂的运行问题

污泥排放量:

$$SS_{\text{排放}} = \sum V_{\text{排}i} \cdot MLSS_{\text{泥}i}$$

因此有:

与对策[J]. 中国给水排水, 2010, 26(18): 144-146, 150.

- [4] Smith B R. Re-thinking wastewater landscapes: combining innovative strategies to address tomorrow's urban wastewater treatment challenges [J]. Water Science & Technology, 2009, 60(6): 1465-1473.
- [5] 胡学斌, 柴宏祥, 韩万玉, 等. 低溶解氧控制状态下污泥减量系统除磷脱氮特性[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(5): 112-116.
- [6] Moser-Engleler R, Kühni M, Bernhard C, et al. Fermentation of raw sludge on an industrial scale and applications for elutriating its dissolved products and non-sedimentable solids [J]. Water Research, 1999, 33(16): 3503-3511.
- [7] Chanona J, Ribes J, Secco A, et al. Optimum design and operation of primary sludge fermentation schemes for volatile fatty acids production [J]. Water Research, 2006, 40(1): 53-60.
- [8] Teichgräber B. Acidification of primary sludge to promote increased biological phosphorus elimination and denitrification [J]. Water Science and Technology, 2000, 41(9): 163-170.
- [9] Kampas P, Parsons S A, Pearce P, et al. Mechanical sludge disintegration for the production of carbon source for biological nutrient removal [J]. Water Research, 2007, 41(8): 1734-1742.
- [10] Ahn Y H, Speece R E. Elutriated acid fermentation of municipal primary sludge [J]. Water Research, 2006, 40(11): 2210-2220.
- [11] Ucisik A S, Henze M. Biological hydrolysis and acidification of sludge under anaerobic conditions: The effect of sludge type and origin on the production and composition of volatile fatty acids [J]. Water Research, 2008, 42(14): 3729-3738.
- [12] Gali A, Dosta J, Mata-Alvarez J. Use of hydrolyzed primary sludge as internal carbon source for denitrification in a SBR treating reject water via nitrite [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2006, 45(22): 7661-7666.
- [13] 王阿华. 城镇污水处理厂提标改造的若干问题探讨[J]. 中国给水排水, 2010, 26(2): 19-22.
- [14] 何伶俐, 汪勇, 黄皓, 等. 江苏太湖流域污水处理厂一级 A 提标改造技术总结[J]. 中国给水排水, 2011, 27(10): 33-39.
- [15] Wang X L, Peng Y Z, Wang S Y, et al. Influence of wastewater composition on nitrogen and phosphorus removal and process control in A²/O process [J]. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2006, 28(6): 397-404.
- [16] 王凯军, 贾立敏. 实用水处理技术丛书: 城市污水生物处理新技术开发与应用——水解-好氧生物处理工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001. 23.

CONTENTS

Observation of Size Distribution of Atmospheric OC/EC in Tangshan, China	GUO Yu-hong, XIN Jin-yuan, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (2497)
Changing Characteristics of the Main Air Pollutants of the Dongling Mountain in Beijing	YU Yang-chun, HU Bo, WANG Yue-si (2505)
Characteristic Comparative Study of Particulate Matters in Beijing Before and During the Olympics	ZHANG Ju, OUYANG Zhi-yun, MIAO Hong, <i>et al.</i> (2512)
Characteristics and Impact Factors of O ₃ Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin (2519)
Studies on the Size Distribution of Airborne Microbes at Home in Beijing	FANG Zhi-guo, SUN Ping, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (2526)
Emission Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Residential Coal Combustion and Its Influence Factors	HAI Ting-ting, CHEN Ying-jun, WANG Yan, <i>et al.</i> (2533)
Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles	ZHANG Fan, WANG Jian-hai, WANG Xiao-cheng, <i>et al.</i> (2539)
Combination Process of Microwave Desorption-Catalytic Combustion for Toluene Treatment	CAO Xiao-qiang, ZHANG Hao, HUANG Xue-min (2546)
Removal of BTEX by a Biotrickling Filter and Analysis of Corresponding Bacterial Communities	LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (2552)
Source Profile of Volatile Carbonyl Compounds in Wastewater Treatment Plant of an Oil Refinery	ZHOU Bo-yu, LIU Wang, WANG Bo-guang, <i>et al.</i> (2560)
Distribution and Air-Sea Fluxes of Methane in the Yellow Sea and the East China Sea in the Spring	CAO Xing-peng, ZHANG Gui-ling, MA Xiao, <i>et al.</i> (2565)
Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao	DONG Chun-ying, YU Zuo-ming, WU Zhi-xu, <i>et al.</i> (2574)
Effects of Land Use Structure on Water Quality in Xin'anjiang River	CAO Fang-fang, LI Xue, WANG Dong, <i>et al.</i> (2582)
Canonical Correspondence Analysis Between Phytoplankton Community and Environmental Factors in Macrophytic Lakes of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	MENG Rui, HE Lian-sheng, GUO Long-gen, <i>et al.</i> (2588)
Microbial Bioavailability of Dissolved Nucleic Acids Across the Estuarine Salinity Gradient	YANG Qing-qing, LI Peng-hui, HUANG Qing-hui (2597)
Elementary Quantitative Study on Factors of Phytoplankton Bloom	ZHANG Zhuo, SONG Zhi-yao, HUANG Chang-chun, <i>et al.</i> (2603)
Spatiotemporal Succession of Algae Functional Groups and the Influence of Environment Change in a Deep-water Reservoir	LU Jin-suo, HU Ya-pan (2611)
Hyperspectral Remote Sensing of Total Suspended Matter Concentrations in Lake Taihu Based on Water Optical Classification	ZHOU Xiao-yu, SUN De-yong, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (2618)
Application of Subwet Model in the Design of Constructed Wetland	LI Hui-feng, HUANG Jin-hui, LIN Chao (2628)
Allelopathic Effect of <i>Nelumbo nucifera</i> Stem and Leaf Tissue Extract on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Scenedesmus quadricauda</i>	HE Lian-sheng, MENG Fan-li, DIAO Xiao-jun, <i>et al.</i> (2637)
Influence of <i>Vallisneria spiralis</i> on the Physicochemical Properties of Black-odor Sediment in Urban Sluggish River	XU Kuan, LIU Bo, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (2642)
Removal of Cr(VI) by Iron Filings with Microorganisms to Recover Iron Reactivity	TANG Jie, WANG Zhuo-xing, XU Xin-hua (2650)
Degradation of Phenol with a Fe/Cu-Catalytic Heterogeneous-Fenton Process	YANG Yue-zhu, LI Yu-ping, YANG Dao-wu, <i>et al.</i> (2658)
Effect of Different Forms of Inorganic Nitrogen on the Photodegradation of Antipyrine in Water	ZHAO Qian, CHEN Chao, FENG Li, <i>et al.</i> (2665)
Degradation Mechanisms of Dimethyl Phthalate in the UV-H ₂ O ₂ System	LIU Qing, CHEN Cheng, CHEN Hong-zhe, <i>et al.</i> (2670)
Adsorption of Cd ²⁺ Ions in Aqueous by Diamine-Modified Ordered Mesoporous SBA-15 Particles	ZHANG Meng, YANG Ya-ti, QIN Rui, <i>et al.</i> (2677)
Surface Organic Modification of Acid Vermiculite and Its Adsorption of Hydrophobic Micro Pollutants in Aqueous Solutions	JIANG Zheng-ming, YU Xu-biao, HU Yun, <i>et al.</i> (2686)
Preparation of Porous Ceramics Based on Waste Ceramics and Its Ni ²⁺ Adsorption Characteristics	ZHANG Yong-li, WANG Cheng-zhi, SHI Ce, <i>et al.</i> (2694)
Perchlorate Removal from Underground Water by Anaerobic Biological Reduction with Bark	WANG Rui, LIU Fei, CHEN Nan, <i>et al.</i> (2704)
Experimental Study on the Remediation of Chromium Contaminated Groundwater with PRB Media	ZHU Wen-hui, DONG Liang-fei, WANG Xing-run, <i>et al.</i> (2711)
Removal of Calcium and High-strength Ammonia Nitrogen from the Wastewater of Rare-earth Elements Hydrometallurgical Process by Chemical Precipitation	WANG Hao, CHENG Guan-wen, SONG Xiao-wei, <i>et al.</i> (2718)
Leaching Kinetics of Josephinite Tailings with Sulfuric Acid	CHEN An-an, ZHOU Shao-qi, HUANG Peng-fei (2729)
Effects of HRT on Fate of Typical Polycyclic Musk by A ² O Process	LIU Peng-cheng, HUANG Man-hong, CHEN Dong-hui, <i>et al.</i> (2735)
Kinetic Simulation of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Fermentation Broth as Carbon Source	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (2741)
Effluent Carbon Source Improvement and Sludge Reduction by Hydrolysis Reactor with Enhanced Sludge Utilization	XIONG Ya, WANG Qiang, SONG Ying-hao, <i>et al.</i> (2748)
Optimization of Extracellular Polymeric Substance Extraction Method and Its Role in the Dewaterability of Sludge	ZHOU Jun, ZHOU Li-xiang, WONG Woo-chung (2752)
Effectiveness of Arsenite Adsorption by Ferric and Alum Water Treatment Residuals with Different Grain Sizes	LIN Lu, XU Jia-rui, WU Hao, <i>et al.</i> (2758)
Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China	QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, <i>et al.</i> (2766)
Quantitative Partitioning of Soil Selenium in the Selenium-Rich Area of Northern Zhejiang Plain	XU Ming-xing, PAN Wei-feng, CENG Jing, <i>et al.</i> (2775)
Effects of Land Use on Manganese Distribution and Fractions in Wetland Soil of Sanjiang Plain, Northeast China	ZHANG Zhong-sheng, LU Xian-guo, SONG Xiao-lin (2782)
Research on Vertical Distribution Pattern and Reserve of Organic Carbon in Paddy Field Soil of Qiangou, Jilin	TANG Jie, ZHANG Wen-hui, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (2788)
Soil Organic Carbon Sequestration Rate and Its Influencing Factors in Farmland of Guanzhong Plain; A Case Study in Wugong County, Shanxi Province	ZHANG Xiao-wei, XU Ming-xiang (2793)
Effects of Biological Regulated Measures on Active Organic Carbon and Erosion-Resistance in the Three Gorges Reservoir Region Soil	HUANG Ru, HUANG Lin, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (2800)
Quantifying Soil Autotrophic Microbes-Assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	SHI Ran, CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, <i>et al.</i> (2809)
Analysis of Soil Respiration and Influence Factors in Wheat Farmland Under Conservation Tillage in Southwest Hilly Region	ZHANG Sai, ZHANG Xiao-yu, WANG Long-chang, <i>et al.</i> (2815)
Distribution Characteristics and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Soil from Relocation Areas of the Danjiangkou Reservoir	LI Zi-cheng, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2821)
Risk Assessment and Countermeasure of BTEX in Pesticide Factory	PANG Bo, WANG Tie-yu, DU Li-yu, <i>et al.</i> (2829)
Accumulation of S, Fe and Cd in Rhizosphere of Rice and Their Uptake in Rice with Different Water Managements	ZHANG Xue-xia, ZHANG Xiao-xia, ZHENG Yu-ji, <i>et al.</i> (2837)
Effects of Nitrate on Organic Removal and Microbial Community Structure in the Sediments	LIU Jin, DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (2847)
Zero-Valent Iron-Enhanced Azoreduction by the <i>Shewanella decolorationis</i> S12	ZHOU Qing, CHEN Xing-juan, GUO Jun, <i>et al.</i> (2855)
Isolation, Identification of Two Aerobic Denitrifiers and Bioaugmentation for Enhancing Denitrification of Biofilm Under Oligotrophic Conditions	QUAN Xiang-chun, CEN Yan, QIAN Yin (2862)
Rapid Enrichment and Cultivation of Denitrifying Phosphate-Removal Bacteria and Its Identification by Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization Technology	LIU Li, TANG Bing, HUANG Shao-song, <i>et al.</i> (2869)
Identification of a Denitrifying Polyphosphate-accumulating Organism (DPAO) and Study on Its Denitrifying Functional Genes	ZHANG Qian, WANG Hong-yu, SANG Wen-jiao, <i>et al.</i> (2876)
Isolation and Characterization of a Highly Efficient BBP-degrading Bacterium	CHEN Hu-xing, YANG Xue, ZHANG Kai, <i>et al.</i> (2882)
Degradation of Nicosulfuron by Combination Effects of Microorganisms and Chemical Hydrolysis	ZHANG Xiao-lin, LI Yong-mei, YUAN Zhi-wen (2889)
Isolation, Screening and Identification of Prometryne-Degrading Bacteria and Their Degrading Characteristics	ZHOU Ji-hai, SUN Xiang-wu, HU Feng, <i>et al.</i> (2894)
Preparation of PVA-SA-PHB-AC Composite Carrier and <i>m</i> -Cresol Biodegradation by Immobilized <i>Lysinibacillus cresolivorans</i>	LI Ting, REN Yuan, WEI Chao-hai (2899)
Extraction of Surface Active Substance and Analysis of Demulsifying Characteristics for the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, ZHANG Shu-cong, PENG Kai-ming, <i>et al.</i> (2906)
Diversity of Culturable Filamentous Bacteria in the Activated Sludge from A ² O Wastewater Treatment Process	GAO Sha, JIN De-cai, ZHAO Zhi-rui, <i>et al.</i> (2912)
Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (2918)

《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7月15日 34卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 7 Jul. 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