

# 环境工程学报

HUANJING GONGCHENG XUEBAO

月刊 1980 年创刊

2023 年 4 月 第 17 卷 第 4 期

主管 中国科学院

主办 中国科学院生态环境研究中心

主编 杨敏

编辑 《环境工程学报》编辑部

北京市海淀区双清路 18 号

邮政编码 100085

电话/传真 010-62941074

E-mail cjee@rcees.ac.cn

网址 www.cjee.ac.cn

出版 科学出版社

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码 100717

印刷装订 北京科信印刷有限公司

国内发行

中国邮政集团有限公司北京市报刊发行局

出版日期 每月 26 日

国际标准连续出版物号 ISSN 1673-9108

国内统一连续出版物号 CN 11-5591/X

国内外公开发行

国内邮发代号 82-448

国内定价 150.00 元

订阅 全国各地邮局

科学出版社期刊发行处

电话 010-64017032, 64017539

## Chinese Journal of Environmental Engineering

Monthly Started in 1980

Vol.17 No.4 April 2023

Supervised by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Research Center for

Eco-Environmental Sciences, Chinese

Academy of Sciences

Editor-in-Chief LIU Junxin

Edited by The Editorial Board of Chinese

Journal of Environmental Engineering

Published by Science Press

16 Donghuangchenggen North Street

Beijing 100717, China

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

Foreign Distributed by China National

Publishing Industry Trading Corporation

(CNPITC)

P.O.Box 782, Beijing 100011, China

# 目次

## 环境工程学科基础研究领域亮点成果系列专稿

1051 海洋重质油田生产水紧凑绿色处理技术原理及装备

## 特邀专稿

1052 2022 年度环境工程学科国家自然科学基金申请与资助综述

杨静,瞿芳术,曲丹

## 研究综述

1057 以尿液为阳极基质的微生物燃料电池研究进展

李子富,阿尼卡尔江·阿力坎,周晓琴

## Anammox<sup>+</sup>生物脱氮工艺与应用

1071 Anammox<sup>+</sup>脱氮工艺的研究现状和展望(代序言)

邢保山,张亮,曹效鑫,陈荣

1075 城市污水中部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺 NOB 抑制策略的研究进展

黄勇,黄文慧,顾晓丹,李寓哲

1084 主流程厌氧氨氧化耦合多种脱氮途径处理市政污水

陈长东,薛晓飞,穆永杰,张建锋,孙尚勇,张丽丽,曹之洪

1092 外加 AHLs 对厌氧氨氧化颗粒污泥 UASB 启动的影响

薛莹,王芬,闫钊

1102 Anammox-MBR 耦合工艺在生活污水中的脱氮性能及其机理

金槌,喻大燕,李海翔,张文杰

1111 微氧曝气-一段式厌氧氨氧化-反硝化组合工艺处理餐厨沼液

葛聪,薛晓飞,穆永杰,张丽丽,孙治荣

1118 陶瓷膜微氧曝气 MABR 强化 PN/anammox 工艺处理餐厨沼液

赵航,薛晓飞,穆永杰,张丽丽,孙治荣

1128 短程硝化-厌氧氨氧化耦合反硝化系统处理集便器污水

班玮璘,田立红,李泽莹,王锦,祁琳琳,俞铭杰

## 面向减污降碳协同增效的污水处理系统运行管理研究与实践专题

1138 基于碳源储存的污水生物脱氮除磷效率及污水处理系统延伸成本分析

侯培强,宋静文,王启镛,王凯军

1145 改良系统成熟度法定量评估污水 LOT 技术应用潜力——以水专项及相关技术组合为例

张小祥,李佳盈,何秋杭,宋雪宁,苏倡,金正宇,王凯军

1158 改良回流模式的 UCT 工艺处理高氮屠宰废水的工程案例

李增辉,冯志江,马迁,杨洋,徐邓琛,戴捷

## 水污染防治

1167 镧改性钢渣对水中氟离子的吸附性能

朱殿梅,邵波霖,钟可意,孙家倭,凌凯,程馨

1177 多元金属氧化物对水中苯酚酸类污染物的吸附性能及机理

周郁欣,杨榕,祝佳欣,刘雯雯,吕源财,刘明华

1188 AlCl<sub>3</sub> 与 Al<sub>13</sub> 对不同 HA 浓度含氟废水的处理效果及作用机理

吴福雨,王涛,程紫微,李能能,张龙,樊小东,马龙,郭忠,徐慧,段淑璇

1198 复合沸石动态膜系统的脱氮效能及其对沸石的同步回收

李路程,叶名,干晓生,肖婷,朱泽华,李思敏

1206 絮凝耦合过硫酸钠氧化处理实际含糖废水

高鹏,任更波,李本行,马小东,魏文侠

- 1216 乳化液膜法对废水中酚的高效去除与富集  
刘文清,黄昶,李鹏
- 1225 臭氧混凝耦合体系中  $H_2O_2$  对溴酸盐生成的抑制效果及相关机理  
刘梦稳,席佳欣,徐自强,左绘雯,宋吉娜,金鑫,金鹏康,王晓昌
- 1234 逆电渗析电堆与电絮凝器耦合系统处理乳化油废水  
罗乐燕,徐士鸣,吴曦,贾永
- 1243 垂直潜流人工湿地对水产养殖尾水中抗生素和氮磷的去除及其影响因素  
岳琛,欧欢,张雪婷,黄亚玲,穆景利
- 1252 曝气条件对生态滤池处理农村生活污水的影响  
姜姗,黄锦楼,阚凤玲,李英利,张傲醒,王思全

### 大气污染防治

- 1263 面向工业污染源排放的城市大气环境系统韧性评价及其时空演化  
苏佳,武茜,黄光球
- 1274 多效热回收催化燃烧工艺对制药企业间歇性 VOCs 的处理及应用  
陆佩雯,刘振朋,李德国,孙启龙,赵仕沛,陈吕军
- 1283 Ce-TiO<sub>2</sub> 催化剂在含 SO<sub>2</sub> 气氛下的 NH<sub>3</sub>-SCR 中毒机理及其 Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 改性性能  
喜静波,陈涛,窦磊

### 土壤污染防治

- 1294 电动修复过程中电极逼近对土壤砷迁移与形态转化的影响  
曾辉,程凤莲,张学军,吴波,郭书海
- 1303 基于可视角度下重金属污染物在介质中的迁移规律  
李敏,齐振霄,姚昕好,赵博华,李琦
- 1313 过硫酸盐在土壤中的电动输运特性  
徐梦奔,王继宇,梁恒,顾海林,詹明秀,徐旭,焦文涛

### 固体废物处理与资源化

- 1327 热活化过硫酸盐预处理的餐厨垃圾凝胶基缓释氮肥制备及性能  
王宣,蔡怡晴,谈超群,周涛,王赛尔,苏良湖
- 1337 基于 FT-ICR MS 的蒸汽爆破预处理强化污泥厌氧消化的有机物分子解析  
郭送军,韦进毅,王晨路,郝智能,曹宏元,鲍振,刘吉宝,魏源送

### 环境生物技术

- 1346 pH 对 BF-MBR 工艺处理高强度生活废水的影响  
薛玉荣,张良长,张非凡,杨润泽,艾为党,汪形艳
- 1355 AnEMBR-IFAS 耦合工艺处理石化废水  
陈东瑞,刘涛,乔森
- 1365 微藻处理城市污水反渗透浓水的条件优化  
夏瑜,常杰,李沅珈,王沛,申欣宇,胡怡然,何绪文
- 1377 紫外光芬顿+EM 菌高效脱氮组合工艺在垃圾渗滤液膜浓缩液处理的中试应用  
李华英,肖雄,赵建树,任兆勇,孟了,黄俊标,钟锋,金青海,屈浩,欧阳峰
- 1387 厌氧序批式生物膜反应器处理葡萄酒生产废水性能及菌群演替分析  
郑兰香,王泽,马芷莹,刘烨星,李功,常洁,于莉芳

## 《环境工程学报》

### 第 3 届编辑委员会

#### 指导委员会委员

曲久辉	郝吉明	张全兴
任南琪	侯立安	张远航
贺泓	张福锁	马军

#### 主 编

杨 敏

#### 副主编

王晓昌	崔福义	李金惠
高宝玉	刘会娟	王爱杰

#### 编 委 (以姓氏笔画为序)

王凯军	王洪臣	王跃思	仇荣亮
吕锡武	全 燮	刘双江	刘勇弟
刘维屏	孙德智	李玉友	李爱民
何 强	何品晶	余 刚	宋存义
张付申	陈 卫	陈少华	陈光浩
陈嘉平	季 民	金 波	周 琪
单保庆	赵勇胜	郝晓地	俞汉青
党 志	徐向阳	黄 勇	曾光明
解跃峰			

#### 青年编委 (以姓氏笔画为序)

于 磊	马金珠	王龙飞	王春艳
王雪雪	王 雯	王 辉	王樟新
厉 巍	叶 捷	白朗明	吕 来
朱 锋	庄 媛	刘文如	刘 刚
刘贺磊	刘耕源	孙境求	李 田
李 倩	李 甜	李 想	李 蕾
李 瞳	杨 阳	吴 迪	吴清莲
邱 斌	沈雁文	张 芳	张 亮
张徐祥	张 霄	陆李超	邵鹏辉
林 甲	林法伟	罗 希	金 伟
周小斌	周石庆	郑利兵	胡承志
胡海冬	贾舒宇	徐国畅	殷逢俊
高 嵩	郭婉茜	谈超群	雷 沛
褚华强	薛 松	魏昌龙	籍龙杰

#### 编委会秘书

金曙光

#### 青年编委会秘书

靳 炜 金曙光 庄 媛 张 洪

#### 编辑部主任

张利田

#### 副 主 任

郑晓梅

#### 学术编辑

郑晓梅 靳 炜

金曙光 金 娜

#### 特邀编辑

王毅力 查金苗

刘振刚 魏东洋

张 洪 李红岩

宋冀营

#### 本期统稿

靳 炜

制 图 呼延思朦

封面设计 陈 展

#### 排 版

北京仁和汇智信息

技术有限公司

## CONTENTS

- 1052 **Application and Funding of National Natural Science Foundation of Environmental Engineering Discipline in 2022: An overview**  
YANG Jing, QU Fangshu, QU Dan
- 1057 **Research progress of microbial fuel cell based on urine as anode substrate**  
LI Zifu, ARKIN Ankarjan, ZHOU Xiaoqin
- 1075 **Research progress of NOB inhibition strategy of partial nitrosation-anammox process in municipal wastewater**  
HUANG Yong, HUANG Wenhui, GU Xiaodan, LI Yuzhe
- 1084 **Mainstream anammox coupled with multiple denitrification paths to treat municipal wastewater**  
CHEN Changdong, XUE Xiaofei, MU Yongjie, ZHANG Jianfeng, SUN Shangyong, ZHANG Lili, CAO Zhiqi
- 1092 **Effect of AHLs addition on start-up of anammox granular sludge-based UASB reactor**  
XUE Ying, WANG Fen, YAN Zhao
- 1102 **Nitrogen removal performance and mechanism of anammox-MBR coupling process in sewage treatment**  
JIN Yue, YU Dayan, LI Haixiang, ZHANG Wenjie
- 1111 **The treatment of food waste digestate by combined process of micro-oxygen aeration, one-stage anaerobic ammonification and denitrification**  
GE Cong, XUE Xiaofei, MU Yongjie, ZHANG Lili, SUN Zhirong
- 1118 **Treatment of food waste digestate by ceramic membrane-micro oxygen aeration-MABR enhanced PN/anammox process**  
ZHAO Hang, XUE Xiaofei, MU Yongjie, ZHANG Lili, SUN Zhirong
- 1128 **Treatment of toilet sewage by coupled denitrification system of short-cut nitrification and anammox**  
BAN Weilin, TIAN Lihong, LI Zeying, WANG Jin, QI Linlin, YU Mingjie
- 1138 **Biological nitrogen and phosphorus removal efficiency of wastewater based on carbon source storage and cost analysis of sewage treatment system extension**  
HOU Peiqiang, SONG Jingwen, WANG Qibin, WANG Kaijun
- 1145 **Quantitative evaluation of Limit of Technology (LOT) application potential by Improved System Readiness Level Assessment—A case study on projects of “Major Science and Technology Program for Water Pollution Control” and related technology combinations**  
ZHANG Xiaoxiang, LI Jiaying, HE Qiuhan, SONG Xuening, SU Chang, JIN Zhengyu, WANG Kaijun
- 1158 **Engineering case of UCT process with improved reflux mode for treating high-nitrogen slaughtering wastewater**  
LI Zenghui, FENG Zhijiang, MA Qian, YANG Yang, XU Dengchen, DAI Jie
- 1167 **Adsorption performance of lanthanum-modified steel slag towards fluoride ion in water**  
ZHU Dianmei, SHAO Bolin, ZHONG Keyi, SUN Jianing, LING Kai, CHENG Xin
- 1177 **Adsorption performance and mechanism of phenylarsonic acid in water onto multi-component metal oxides**  
ZHOU Yuxin, YANG Rong, ZHU Jiabin, LIU Wenwen, LYU Yuancai, LIU Minghua
- 1188 **Treatment effect and mechanism of treatment of fluorine-containing wastewater with different HA concentrations by  $AlCl_3$  and  $Al_{13}$**   
WU Fuyu, WANG Tao, CHENG Ziwei, LI Nengneng, ZHANG Long, FAN Xiaodong, MA Long, GUO Zhong, XU Hui, DUAN Shuxuan
- 1198 **Simultaneous ammonia removal and zeolite recovery by a composite zeolite dynamic membrane system**  
LI Lucheng, YE Ming, GAN Xiaosheng, XIAO Ting, ZHU Zehua, LI Simin
- 1206 **Treatment of actual sugar-containing wastewater by flocculation coupled with sodium persulfate oxidation**  
GAO Peng, REN Gengbo, LI Benhang, MA Xiaodong, WEI Wenxia
- 1216 **Efficient removal and enrichment of phenol from wastewater via emulsion liquid membrane method**  
LIU Wengqing, HUANG Jiu, LI Peng
- 1225 **Inhibitory effect and mechanism of bromate formation by  $H_2O_2$  in the hybrid ozonation-coagulation process**  
LIU Mengwen, XI Jiabin, XU Ziqiang, ZUO Huiwen, SONG Jina, JIN Xin, JIN Pengkang, WANG Xiaochang
- 1234 **Treatment of emulsified oil wastewater by the coupling system of reverse electro dialysis stack and electrocoagulation**  
LUO Leyan, XU Shiming, WU Xi, JIA Yong
- 1243 **Analysis of influence factors on antibiotics and nutrients removal from aquaculture wastewater by vertical flow constructed wetlands**  
YUE Chen, OU Huan, ZHANG Xueting, HUANG Yaling, MU Jingli
- 1252 **Effects of aeration conditions on the treatment of rural domestic sewage by ecological filter**  
JIANG Shan, HUANG Jinlou, KAN Fengling, LI Yingli, ZHANG Jingxing, WANG Enquan
- 1263 **Evaluation of the resilience of urban atmospheric system and its spatial and temporal evolution for industrial pollution source emissions**  
SU Jia, WU Xi, HUANG Guangqiu
- 1274 **Treatment and application of multi-effect heat recovery catalytic combustion process to intermittent VOCs in pharmaceutical enterprises**  
LU Peiwen, LIU Zhenpeng, LI Deguo, SUN Qilong, ZHAO Shipai, CHEN Lyujun
- 1283 **Study on  $NH_3$ -SCR poisoning mechanism and  $Co_3O_4$  modification of Ce-TiO<sub>2</sub> catalyst in SO<sub>2</sub> atmosphere**  
XI Jingbo, CHEN Tao, DOU Lei
- 1294 **Effect of the approaching electrode on the soil arsenic migration and speciation transformation during electrokinetic remediation**  
ZENG Hui, CHENG Fenglian, ZHANG Xuejun, WU Bo, GUO Shuhai
- 1303 **Migration rule of heavy metal contamination in media based on visual angle**  
LI Min, QI Zhenxiao, YAO Xinyu, ZHAO Bohua, LI Qi
- 1313 **Electric transport characteristics of persulfate in soil**  
XU Mengben, WANG Jiyu, LIANG Heng, GU Hailin, ZHAN Mingxiu, XU Xu, JIAO Wentao
- 1327 **Preparation and properties of gel-based slow-release urea fertilizers synthesized from food waste by pretreatment of thermal activated persulfate**  
WANG Xuan, CAI Yiqing, TAN Chaoqun, ZHOU Tao, WANG Saier, SU Lianghu
- 1337 **Molecular analysis of organic compounds in anaerobic digestion of sludge enhanced by steam explosion pretreatment based on FT-ICR MS**  
GUO Songjun, WEI Jinyi, WANG Chenlu, HAO Zhineng, CAO Hongyuan, BAO Zhen, LIU Jibao, WEI Yuansong
- 1346 **Effect of pH on the treatment of high strength domestic wastewater by BF-MBR process**  
XUE Yurong, ZHANG Liangchang, ZHANG Feifan, YANG Runze, AI Weidang, WANG Xingyan
- 1355 **Performance of AnEMBR-IFAS combined processes treating petrochemical wastewater**  
CHEN Dongrui, LIU Tao, QIAO Sen
- 1365 **Optimization of treatment conditions of reverse osmosis concentrate d wastewater from municipal sewage by microalgae**  
XIA Yu, CHANG Jie, LI Yuanjia, WANG Pei, SHEN Xinyu, HU Yiran, HE Xuwen
- 1377 **Pilot-scale application of the combined process of UV-Fenton with EM micro-flora based biochemical denitrification in the treatment of landfill leachate membrane concentrate**  
LI Huaying, XIAO Xiong, ZHAO Jianshu, REN Zhaoyong, MENG Liao, HUANG Junbiao, ZHONG Feng, JIN Qinghai, QU Hao, OUYANG Feng
- 1387 **Performance on treating winery wastewater by AnSBBR and analysis of the microbial community succession**  
ZHENG Lanxiang, WANG Ze, MA Zhixuan, LIU Yexing, LI Gong, CHANG Jie, YU Lifang