



全国中文核心期刊
中国科技核心期刊

环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第8卷 第6期

Vol.8 No.6

中国科学院
生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

6
2014

目 次

水 污 染 防 治

TiO ₂ /Pth/Fe ₃ O ₄ 催化剂制备及光催化与磁回收性能	任学昌 任晓亮 马学琴 肖举强 王刚 常青(2153)
高藻水中新生态三价铁混凝行为及其对絮体生长的影响	马敏 刘锐平 刘会娟 曲久辉 顾军农 胡欣柱 孔祥虎(2159)
生物阴极式碳纸隔膜微生物燃料电池的反硝化和产电性能	谢倍珍 刘博杰 杨少强 刘红(2163)
污泥淤砂分离器再分离溢流污泥	吉芳英 范剑平 晏鹏 颜达超(2169)
天津市典型河网区沉积物中重金属分布及生态风险评价	唐文忠 王立硕 张文强 单保庆(2174)
改性啤酒酵母及柑橘皮凝胶小球对铜的吸附性能	柳思勉 马迎春 刘云国 王志瑞 胡新将 曾光明(2181)
城市污水二级出水中溶解性有机物特性分析	王旭东 刘佩 王磊 刘红露 梁勇 张银辉(2186)
不同碳源条件下聚磷菌代谢特性	邱春生 聂海伦 孙力平 王少坡(2191)
利用白云石石灰去除与回收污泥厌氧消化液中氮和磷	林郁 宋永会 刘菲 刘雪瑜 葛杰 孟晓光(2198)
强酸性高浓度含砷废水处理方法与经济性评价	杨中超 朱利军 刘锐平 曲久辉(2205)
溴化十六烷基吡啶改性沸石对水中甲基橙的吸附	方巧 林建伟 詹艳慧 杨孟娟 郑雯婧(2211)
浸渍-碱性微波法载磁活性炭粉对壬基酚的吸附	王赛璐 程方 王朵 吕建波(2218)
硝化细菌对碘普罗胺的降解及作用机制	吴凡 高品 薛罡 毛菲菲 刘亚男(2225)
火力发电厂飞灰对抗生素磺胺的吸附性能	段伦超 王凤贺 纪营雪 张帆 赵斌 王国祥(2231)
培养方式对废水脱氮与沼气脱硫污泥驯化影响	魏本平 邓良伟 陈子爱 卢秀红 李洋 杨红男 刘刚金(2237)
回流式无膜生物阴极微生物燃料电池脱氮	王龙 赵庆良 姜璐秋(2245)
SMBR 内气液两相流三维 CFD 模拟	陶中兰 邢世录 李春丽 邱广明 田瑞(2251)
混凝-砂滤-活性炭过滤-微滤-反渗透集成技术处理钒冶炼废水	罗锺兵 杨春平 曾光明 何慧军 骆其超 罗圣熙(2257)
石墨气体扩散电极的制备与性能优化	贾涛涛 薛娟琴 毕强 汪丛(2262)
紫外光(UV)光解油田采出水中多环芳烃	李贞燕 陈冰 平静(2267)
黄孢原毛平革菌处理果胶废水	黎想 杨春平 郭俊元 代传花 陈兵兵 何慧军(2271)
荔枝皮对重金属 Ni ²⁺ 的吸附性能	杨继利 潘新革 孔郑磊 李晓晨(2277)
新型二氧化铅电极处理染料废水	张驰 汪家权(2283)
不同水温下鲟鱼对铜绿微囊藻的控制作用及对水质的影响	周创 张毅敏 高月香 杨阳 杨飞 张永栋(2293)
微波辅助 Cu(II)-Fenton 体系催化氧化处理对硝基苯酚废水	苗肖君 王楠楠 赵姗姗 潘维倩 王鹏(2299)
不同氮素浓度与空间条件下青萍生长特征	黄磊 张绍博 鲁言言 杜刚 高旭(2306)
再生水回用循环冷却系统药剂 HJ-01 阻垢机理	马媛 田一梅 王佳 郭浩(2311)
微波强化 Fenton/活性炭工艺处理制药废水的影响因素	李亚峰 高颖 王景新(2317)
阳澄湖和湖藻微囊藻毒素分布及其与富营养化因子的关系	魏代春 苏婧 陈学民 纪丹凤 王骥 霍守亮 吴超(2322)
人工湿地植物对重金属铅的抗性	林芳芳 丛鑫 黄锦楼 陈琴(2329)
颜料红 254-TiO ₂ 光催化降解罗丹明 B 废水	张召娟 李长海 商希礼 李跃金(2335)
用于催化降解烷基苯磺酸钠的 Cu-C 催化剂的制备及性能分析	薛懂 李长波 张洪林 刘邓超 姜虎生(2342)
酸性矿井水中中和沉淀法除铁优化	周争 赵丽 葛小鹏 赵曙光 姜志琛 王东升(2347)
沸石负载 Fe ₃ O ₄ 光催化氧化去除水中苯酚	谭万春 喻辰雪 胡帅飞 王云波 孙士权 聂小保 禹丽娥(2353)
曝气对潜流人工湿地污染物沿程降解规律的影响	白少元 丁彦礼 游少鸿 许健 裴彬明(2359)
汉沙黄/TiO ₂ 光催化剂的制备及其光催化活性	杜平 商希礼 李长海(2365)
基于景区湖泊污染的多功能水域清理船设计	谢家兴 邱冠武 陈武瑞 蔡政 朱嘉琪 张伟煌 刘洪山(2371)
垃圾渗滤液生物处理出水的深度处理组合工艺	高星 李平 吴锦华(2376)
超声波协同 H ₂ O ₂ 处理养殖场污水	杨铁金 相玉秀 相玉琳(2381)
陶瓷电镀废水的三级处理工艺	王庆雨 张永利 韦朝海 尹立新 李慧莉(2386)
改性荞麦壳对水溶液中 Cu ²⁺ 离子吸附效果及机理	曹丹凤 孟令银 王妍媵 李云春 吴明君 饶舍兵(2393)
高温条件下 EGSB 处理酒精废水的流态及基质产沼气转化	蒋柱武 谢丽(2402)
Fenton 氧化活性深蓝染料 B-2GLN 的动力学	高爱舫 王卫平 李爱国 焦珍(2407)
Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ /TiO ₂ 核壳结构纳米颗粒降解 TNT 溶液	高立波 张强 李俊漾 薛晨阳 闫军 徐宏妍(2413)
醋酸纤维素包埋非水溶性介体催化强化生物反硝化特性	杜海峰 赵丽君 郭延凯 张晨晓 刘晓宇 廉静 郭建博(2417)

固体缓释碳源处理低碳氮比污水的脱氮及机理	裴廷权	王波	刘欢	(2423)
Fenton 氧化对制浆造纸废水分子量及可生化性变化的影响	宋云	王海见	李培中	郝润琴 (2429)
天然矿物组合材料渗透反应墙修复地下水镉污染	曾婧滢	秦迪岚	毕军平	罗岳平
.....	朱润良	廖希谷	张建新	吕焕哲 (2435)
蚯蚓生态滤池中蚯蚓与植物对污水净化的作用评估	李因梁	杨沫	聂耳	史沫
.....	杨晓英	杨晓英	杨晓英	杨晓英 (2443)
高铁酸钾预处理垃圾渗滤液	张洋	罗志勇	屈勇军	林永胜
.....	黄代桥	郑泽根	郑泽根	郑泽根 (2451)
四级三相式生物流化床分段进水工艺脱氮效能	王冰	王冰	王冰	王冰 (2456)
天然土壤对水溶液中 Pb^{2+} 的吸附	王雪	王景峰	张斌	薛斌
.....	董德荣	智维佳	龚泰石	龚泰石 (2461)
倒置 A^2/O -MBR (平板膜) 处理城市污水的中试研究	邹高龙	邹高龙	邹高龙	邹高龙 (2467)
农村生活污水处理稳定曝气系统	徐威	李镭	刘畅	刘畅 (2473)
二氧化氯-接触催化氧化联合去除水中铁和锰	崔恒	郑西来	陈蕾	李金成 (2478)
煅烧的水滑石同时去除水体中砷和氟	郭亚祺	杨洋	伍新花	彭亮
.....	曾清如	刘婉清	刘婉清	刘婉清 (2485)

大气污染防治

微波协同霍加拉特剂催化氧化苯的影响因素	吕丽	庞杰	宋华	高晓强
.....	徐东耀	徐东耀	徐东耀	徐东耀 (2492)
氧活性粒子氧化 NO 生成 HNO_3	白敏茵	孙佳石	李超群	李超群 (2497)
基于 Fluent 多喷嘴喷雾干涉数值模拟分析	陈曦	葛少成	张忠温	荆德吉 (2503)
柴油机微粒捕集器复合再生性能及其场协同分析	左青松	龚金科	王曙辉	陈韬
.....	贾国海	黄张伟	李煜	李煜 (2509)
A/O 工艺 N_2O 的产生与释放的影响因素	郭慧雯	张哲男	孙世昌	孙德智 (2515)
济南市大气水平能见度与环境污染相关性分析	侯鲁健	刘玉堂	吕波	刘一飞 (2523)
介质阻挡放电协同 Ag/Al_2O_3 对 NO_x 脱除的影响	朱翔宇	孙保民	王东	张婷婷
.....	汪涛	肖海平	韩高岩	韩高岩 (2529)

固体废物处置

餐厨垃圾与剩余污泥混合消化产沼气协同效应	王永会	赵明星	阮文权	(2536)
温度对淀粉酶强化污泥为燃料微生物燃料电池的影响	刘志华	刘春华	夏畅斌	赵文玉
.....	蒋朝晖	晏永祥	王琼	李小明
渗滤液耦合矿化垃圾制备甲烷氧化菌菌液	梅娟	赵由才	赵由才	赵由才 (2548)
从含铈烟尘中制备纳米立方晶型 Sb_2O_3	唐淑贞	张荣良	童孟良	余媛媛 (2553)
高炉瓦斯泥对 $Cu(II)$ 的吸附	苏敏	王光辉	曾丹林	石晓明
.....	刘胜兰	刘胜兰	刘胜兰	刘胜兰 (2557)
基于系统动力学模型的工业固废管理政策作用仿真	范厚明	李佳书	丁钦	张丽君 (2563)
挥发性脂肪酸对厌氧干式发酵产甲烷的影响	李红丽	曹霏霏	王岩	王岩 (2572)

土壤污染防治

典型氯碱污染场地环境风险评价	陈志良	雷国建	周建民	彭晓春 (2579)
抗抗菌株的筛选鉴定及其生物学特性和吸附特性	胡永娟	李学梅	王海磊	邵云
.....	张紧紧	韩宗梁	马守田	马守田 (2585)
鼠李糖脂洗脱氯丹和灭蚊灵污染场地土壤的工艺参数	洪俊	徐君君	李锦	黄焕阳
.....	占新华	占新华	占新华	占新华 (2592)

环境生物技术

假单胞菌好氧降解四溴双酚 A 的特性	范真真	王竞	刘沙沙	周集体 (2597)
好氧反硝化苯酚降解菌的分离鉴定及动力学	葛启隆	岳秀萍	王国英	曹岳 (2605)
纺锤芽孢杆菌 (<i>Bacillus fusiformis</i>) 降解萘的特性及动力学	余兵	金晓英	况焯	陈祖亮 (2611)
不同基质条件下厌氧氨氧化反应器中硝化细菌的分离及选育异养 AOB 菌株的特性	汪晓晨	于德爽	李津	赵丹
.....	李伟刚	郭丕健	郭丕健	郭丕健 (2617)

环境监测与评价

双室微生物燃料电池型 BOD 传感器性能	田帅	张盼月	梁英梅	张多
.....	王保合	王保合	王保合	王保合 (2626)
加油站气液比检测方法及其影响	黄玉虎	秦建平	任碧琪	刘明宇
.....	肖宇	肖宇	肖宇	肖宇 (2633)

相关研究

氧化-吸附法处理含铁废盐酸及其资源化	吴俊锋	赵昕	凌虹	杨磊
.....	秦攀	吕路	潘丙才	张炜铭 (2639)

CONTENTS

Preparation of $\text{TiO}_2/\text{PTh}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ and its photocatalytic activity and magnetic recovery performance	Ren Xuechang Ren Xiaoliang Ma Xueqin Xiao Juqiang Wang Gang Chang Qing(2153)
Coagulation behavior of Fe(III) formed <i>in situ</i> and its effect on the floc growth in high algae-laden water	Ma Min Liu Ruiping Liu Huijuan Qu Jiuhui Gu Junnong Hu Xinzhu Kong Xianghu(2159)
Denitrification and electrogenesis performances of bio-cathode microbial fuel cell with carbon paper separator	Xie Beizhen Liu Bojie Yang Shaoqiang Liu Hong(2163)
Reseparation of overflow sludge by grit-sludge separator	Ji Fangying Fan Jianping Yan Peng Yan Dachao(2169)
Heavy metal distribution and ecological risk assessment in sediments of river network region, Tianjin City	Tang Wenzhong Wang Lishuo Zhang Wenqiang Shan Baoqing(2174)
Adsorption performance of Cu(II) onto gel beads of modified <i>Saccharomyces cerevisiae</i> and orange peel	Liu Simian Ma Yingchun Liu Yunguo Wang Zhirui Hu Xinjiang Zeng Guangming(2181)
Analysis characteristics of dissolved organic matters in the secondary effluent of municipal wastewater	Wang Xudong Liu Pei Wang Lei Liu Honglu Liang Yong Zhang Yinshui(2186)
Metabolic properties of phosphorus-accumulating organisms at different carbon sources	Qiu Chunsheng Nie Hailun Sun Liping Wang Shaopo(2191)
Nitrogen and phosphorus removal and recovery from anaerobic digestion supernatant of sewage sludge using dolomitic lime	Lin Yu Song Yonghui Liu Fei Liu Xueyu Ge Jie Meng Xiaoguang(2198)
Economic evaluation on technologies for treatment of strongly-acidic wastewater with high arsenic concentrations	Yang Zhongchao Zhu Lijun Liu Ruiping Qu Jiuhui(2205)
Adsorption of methyl orange from aqueous solution on cetylpyridinium bromide (CPB)-modified zeolite	Fang Qiao Lin Jianwei Zhan Yanhui Yang Mengjuan Zheng Wenjing(2211)
Adsorption of nonylphenol on magnetic powder activated carbon prepared by impregnation-alkaline microwave method	Wang Sailu Cheng Fang Wang Duo Lü Jianbo(2218)
Biodegradation mechanism of iopromide by nitrobacteria	Wu Fan Gao Pin Xue Gang Mao Feifei Liu Yanan(2225)
Adsorption-removal of sulfonamide by fly ash from thermal power plant	Duan Lunchao Wang Fenghe Ji Yingxue Zhang Fan Zhao Bin Wang Guoxiang(2231)
Effect of cultivating mode on acclimation of sludge of nitrogen removal from wastewater and hydrogen sulfide from biogas	Wei Benping Deng Liangwei Chen Ziai Lu Xiuhong Li Yang Yang Hongnan Liu Gangjin(2237)
Nitrogen removal effect by return flow membrane-less biological cathode microbial fuel cells	Wang Long Zhao Qinliang Jiang Junqiu(2245)
Three-dimensional CFD simulation of gas-liquid two phase flow in SMBR	Tao Zhonglan Xing Shilu Li Chunli Qiu Guangming Tian Rui(2251)
Treatment of vanadium smelting wastewater by means of coagulation-sand filtration-activated carbon filter-microfiltration-RO integration technology	Luo Zhongbing Yang Chunping Zeng Guangming He Huijun Luo Qichao Luo Shengxi(2257)
Preparation and performance optimization of graphite gas diffusion electrode	Jia Taotao Xue Juanqin Bi Qiang Wang Cong(2262)
Ultraviolet (UV) photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in produced water	Li Zhenyan Chen Bing Ping Jing(2267)
Treatment of pectin wastewater using <i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Li Xiang Yang Chunping Guo Junyuan Dai Chuanhua Chen Bingbing He Huijun(2271)
Adsorption properties of heavy metal Ni by litchi pericarp	Yang Jili Pan Xinge Kong Zhenglei Li Xiaochen(2277)
Treatment of dye wastewater by a new lead dioxide electrode	Zhang Chi Wang Jiaquan(2283)
<i>Microcystis aeruginosa</i> control effect and water quality impacts of <i>Xenocyprina</i> under different temperatures	Zhou Chuang Zhang Yimin Gao Yuexiang Yang Yang Yang Fei Zhang Yongdong(2293)
Treatment of PNP wastewater by microwave assisted Cu(II)-Fenton catalytic oxidation process	Miao Xiaojun Wang Nannan Zhao Shanshan Pan Weiqian Wang Peng(2299)
Growth characteristics of <i>Lemna minor</i> L. under different nitrogen concentrations and space conditions	Huang Lei Zhang Shaobo Lu Yanyan Du Gang Gao Xu(2306)
Scale inhibition mechanism of inhibitor HJ-01 in reclaimed water reused into circulating cooling system	Ma Yuan Tian Yimei Wang Jia Guo Hao(2311)
Influencing factors of microwave enhanced Fenton/active carbon process for pharmaceutical wastewater	Li Yafeng Gao Ying Wang Jingxin(2317)
Distribution of microcystins and its relationship with eutrophication factors in Yangcheng Lake and Gehu Lake	Wei Daichun Su Jing Chen Xuemin Ji Danfeng Wang Ji Huo Shouliang Wu Chao(2322)
Resistance of artificial wetland plants to lead	Lin Fangfang Cong Xin Huang Jinlou Chen Qin(2329)
Photocatalytic degradation of Rhodamine B wastewater by Pigment Red 254- TiO_2 catalysis	Zhang Zhaojuan Li Changhai Shang Xili Li Yuejin(2335)
Preparation and analysis of Cu-C catalyst used for catalytic degradation of linear alkylbenzene sulfonates	Xue Dong Li Changbo Zhang Honglin Liu Dengchao Jiang Husheng(2342)
Optimizing iron removal of acidic mine draining water in neutralization and precipitation process	Zhou Zheng Zhao Li Ge Xiaopeng Zhao Shuguang Jiang Zhichen Wang Dongsheng(2347)
Removal of phenol in wastewater using Fe_3O_4 -loaded zeolite with photo-catalytic oxidation	Tan Wanchun Yu Chenxue Hu Shuaifei Wang Yunbo Sun Shiquan Nie Xiaobao Yu Lie(2353)
Effect of aeration on pollutant degradation through substrate of subsurface flow constructed wetlands	Bai Shaoyuan Ding Yanli You Shaohong Xu Jian Pei Binning(2359)
Preparation and photocatalytic activity of TiO_2 sensitized with Hansa Yellow 10G	Du Ping Shang Xili Li Changhai(2365)
Design of multifunctional water-cleaning ship based on scenic lake pollution	Xie Jiaying Qiu Guanwu Chen Wurui Cai Zheng Zhu Jiaqi Zhang Weihuang Liu Hongshan(2371)

- Combination process for advanced treatment of biotreatment effluent of landfill leachate Gao Xing Li Ping Wu Jinhua (2376)
- Synergetic treatment of culture sewage by ultrasonic and H_2O_2 Yang Tiejin Xiang Yuxiu Xiang Yulin (2381)
- Tertiary treatment process of ceramic electroplating wastewater Wang Qingyu Zhang Yongli Wei Chaohai Yin Lixin Li Huili (2386)
- Adsorption of Cu^{2+} from aqueous solution by modified buckwheat shell and study on its mechanism Cao Danfeng Meng Lingyin Wang Yanying Li Yunchun Wu Mingjun Rao Hanbing (2393)
- Flow pattern test and substrate conversion of EGSB treating ethanol wastewater under thermophilic condition Jiang Zhuwu Xie Li (2402)
- Kinetics of Reactive Dark Blue B-2GLN with Fenton oxidation process Gao Aifang Wang Weiping Li Aiguo Jiao Zhen (2407)
- Degradation of TNT waste solution by $Fe_3O_4@SiO_2/TiO_2$ magnetic core-shell nanoparticles Gao Libo Zhang Qiang Li Junyang Xue Chenyang Yan Jun Xu Hongyan (2413)
- Accelerating characteristic of non-dissolved redox mediators immobilized by cellulose acetate (CA) on denitrification Du Haifeng Zhao Lijun Guo Yankai Zhang Chenxiao Liu Xiaoyu Lian Jing Guo Jianbo (2417)
- Nitrogen removal and mechanism of low C/N wastewater processed by solid sustain-released carbon Pei Tingquan Wang Bo Liu Huan (2423)
- Effect of Fenton oxidation on biodegradability and molecular weight changes of wastewater Song Yun Wang Haijian Li Peizhong Hao Runqin (2429)
- Remediation of cadmium contaminated ground-water using natural mineral combination materials based permeable reactive barrier Zeng Jingying Qin Dilan Bi Junping Luo Yueping Zhu Runliang Liao Xigu Zhang Jianxin Lü Huanzhe (2435)
- Evaluation of effects of earthworms and plants in pollutant removal in earthworm ecofilter Li Yinliang Yang Mo Nie Er Shi Mo Yang Xiaoying (2443)
- Pretreatment of landfill leachate by potassium ferrate (VI) Zhang Yang Luo Zhiyong Qu Yongjun Lin Yongsheng Huang Daigao Zheng Zegen (2451)
- Nitrogen removal efficiency of three-phase biological fluidized bed with four step-feed process Wang Bing Han Song (2456)
- Adsorption of Pb in aqueous solution by natural soils Wang Xue Wang Jingfeng Zhang Bin Xue Bin Dong Derong Zhi Weijia Gong Taishi (2461)
- Combined reversed A^2/O -MBR (flat-sheet membrane) process treating municipal wastewater Zou Gaolong (2467)
- Stable aeration system for treating rural sewage Xu Wei Li Lei Liu Chang (2473)
- Removal of Fe and Mn from water by chlorine dioxide oxidation-contact catalytic oxidation combined method Cui Heng Zheng Xilai Chen Lei Li Jincheng (2478)
- Removal of arsenate and fluoride in water by calcined layered double hydroxides Guo Yaqi Yang Yang Wu Xinhua Peng Liang Zeng Qingru Liu Wanqing (2485)
- Influencing factors of benzene catalytic oxidation by hopcalite catalyst cooperated with microwave irradiation Lü Li Pang Jie Song Hua Gao Xiaoqiang Xu Dongyao (2492)
- Oxidation NO by reactive oxygen species to HNO_3 Bai Mindi Sun Jiashi Li Chaoqun (2497)
- Numerical simulation and analysis of multi-nozzle interference base on Fluent Chen Xi Ge Shaoheng Zhang Zhongwen Jing Deji (2503)
- Composite regeneration performance of diesel particulate filter and analysis of field synergy Zuo Qingsong Gong Jinke Wang Shuhui Chen Tao Jia Guohai Huang Zhangwei Li Yu (2509)
- Influencing factors of nitrous oxide production and emission in A/O process Guo Huiwen Zhang Zhenan Sun Shichang Sun Dezhi (2515)
- Correlation analysis between atmospheric visibility and pollutants in Jinan city Hou Lujian Liu Yutang Lü Bo Liu Yifei (2523)
- Influence of synergy of dielectric barrier discharge assisted over Ag/Al_2O_3 on NO_x removal Zhu Xiangyu Sun Baomin Wang Dong Zhang Tingting Wang Tao Xiao Haiping Han Gaoyan (2529)
- Synergistic effect of anaerobic co-digestion of food waste and excess sludge Wang Yonghui Zhao Mingxing Ruan Wenquan (2536)
- Effect of temperature on microbial fuel cell using surplus sludge enhanced by amylase Liu Zhihua Liu Chunhua Xia Changbin Zhao Wenyu Jiang Zhaohui Yan Yongxiang Wang Qiong Li Xiaoming Yang Qi (2543)
- Mixed-cultivation of methanotrophs by using leachate coupled with aged refuse Mei Juan Zhao Youcai (2548)
- Preparation of nanometer cubic crystal antimony trioxide from dust containing antimony Tang Shuzhen Zhang Rongliang Tong Mengliang She Yuanyuan (2553)
- Adsorption of Cu (II) by blast furnace sludge Su Min Wang Guanghui Zeng Danlin Shi Xiaoming Liu Shenglan (2557)
- Simulation of the management policy role of industrial solid waste based on system dynamics model Fan Houming Li Jiashu Ding Qin Zhang Lijun (2563)
- Effect of volatile fatty acids on methane production of dry anaerobic digestion Li Hongli Cao Feifei Wang Yan (2572)
- Environmental risk assessment in a typical chlor-alkali contaminated site Chen Zhiliang Lei Guojian Zhou Jianmin Peng Xiaochun (2579)
- Screening of chromium resistance strains and their biological and absorption characteristics Hu Yongjuan Li Xuemei Wang Hailei Shao Yun Zhang Jinjin Han Zongliang Ma Shoutian (2585)
- Optimum parameters of rhamnolipid-washing for soils contaminated by chlordane and mirex Hong Jun Xu Junjun Li Jin Huang Huanyang Zhan Xinhua (2592)
- Aerobic degradation characteristics of tetrabromobisphenol A by *Pseudomonas* Fan Zhenzhen Wang Jing Liu Shasha Zhou Jiti (2597)
- Isolation and identification of aerobic denitrifying phenol-degrading strain and its kinetic Ge Qilong Yue Xiuping Wang Guoying Cao Yue (2605)
- Characteristics and kinetics of naphthalene biodegradation by *Bacillus fusiformis* (BFN) Yu Bing Jin Xiaoying Kuang Ye Chen Zuliang (2611)
- Separation of nitrifying bacterium from anammox reactors with different substrates and characteristics of heterotrophic AOB Wang Xiaochen Yu Deshuang Li Jin Zhao Dan Li Weigang Guo Pijian (2617)
- Performances of double-chamber microbial fuel cell-based BOD sensor Tian Shuai Zhang Panyue Liang Yingmei Zhang Duo Wang Baohe (2626)
- Test method of air to liquid volume ratio and its influence in service station Huang Yuhu Qin Jianping Ren Biqu Liu Mingyu Xiao Yu (2633)
- Treatment and reutilization of waste hydrochloric acid containing Fe (II) by an oxidation-adsorption process Wu Junfeng Zhao Xin Ling Hong Yang Lei Qin Pan Lü Lu Pan Bingcai Zhang Weiming (2639)

超声波协同 H_2O_2 处理养殖场污水

杨铁金¹ 相玉秀^{1*} 相玉琳²

(1. 齐齐哈尔大学化学与化学工程学院, 齐齐哈尔 161006; 2. 榆林学院陕西省煤炭清洁转化重点实验室, 榆林 719000)

摘要 为了有效地改善养猪场污水的质量,以 H_2O_2 为药剂,对污水进行了水浴加热和超声波辅助的对比实验,考察了超声波发生器输出端电流强度、处理时间、 H_2O_2 用量对污水的 COD、氨气及颜色的影响,并进行正交实验优化。结果表明,超声波协同 H_2O_2 处理养殖污水是一种切实可行的方法,超声波协同 H_2O_2 处理污水的最佳工艺条件:电流 0.7 A、处理时间 2 min、 H_2O_2 用量 3%,在此条件下降低 COD 量可达 95% 以上,氨氮的含量可降至 14 ~ 15 mg/L,氨臭味大大得到了改善,并将原污水由黑色变为浅黄色。

关键词 超声波 H_2O_2 污水

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2014)06-2381-05

Synergetic treatment of culture sewage by ultrasonic and H_2O_2

Yang Tiejin¹ Xiang Yuxiu¹ Xiang Yulin²

(1. Institute of Chemistry and Chemical Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Coal Clean Conversion, Yulin University, Yulin 719000, China)

Abstract In order to improve the sewage quality from piggery effectively, the sewage was executed by the contrasting experiment of water-bath heating and ultrasonic synergism with H_2O_2 as agent. It is investigated that the ultrasonic generator output current intensity, processing time and H_2O_2 dosage how to influence COD of wastewater, ammonia and color and orthogonal. Meanwhile, the experiment conditions were optimized by orthogonal test. The results show that ultrasonic synergy H_2O_2 treatment sewage from piggery is a feasible method. The optimal process conditions for the treatment of the sewage by ultrasonic synergism are as follows: current of 0.7 A, processing time of 2 min and H_2O_2 dosage of 3%. Under such conditions, the COD removal rate can reach up to 95%, the content of ammonia is reduced to 14 ~ 15 mg/L, ammonia smell is remarkably improved, and the raw sewage change from black to light yellow.

Key words ultrasonic; H_2O_2 ; sewage

养殖废水主要来源于畜禽粪便、养殖场排出的生产废水和工作人员的生活污水,含有大量的 SS、COD、氨、磷等,其色度很高。据环保部门对大型养殖场粪尿的检测情况表明:COD 超标 50 ~ 60 倍、BOD 超标 70 ~ 80 倍、固体悬浮物超标 12 ~ 20 倍。其中畜禽粪污水化学需氧量(COD)排放量达到 1 268.3 万 t,占全国 COD 总排放量的 41.9%,并且氨臭味较强烈。这些污水若不加以有效地处理而直接排放掉,将使水体的颜色变得浑浊,流到河水中,会产生更多的污染物。并且其中含有的大量氨氮会使河水中的氮含量升高,造成水华现象。同时,还会散发出大量的有毒气体,造成严重的大气污染。

目前,常用的养殖场污水处理工艺主要分为预处理工艺(水力筛、隔油和气浮、格栅、羽水分离

器)、二级处理工艺(厌氧流化床、生物接触氧化法、活性污泥法、厌氧反应器、SBR 和 CASS 等^[1-5])和深度处理工艺(微电解、曝气生物滤池和机械过滤器等)。在陕北地区,冬季时间较长,气候寒冷,对一些国外及国内成型的养殖污水工艺在实际工程运用中,存在与设计条件相冲突的问题(如温度)。

鉴于此,本文采用超声波协同 H_2O_2 对养殖场

基金项目:陕西省教育厅自然科学专项(2013JK0880);榆林市科技局重大科技专项(2011kjzx08);陕西省科技厅基础研究计划重点项目(2012JZ2003);榆林学院高层次人才科研基金资助项目(12GK04)

收稿日期:2013-04-22; **修订日期:**2013-07-10

作者简介:杨铁金(1963~),男,教授,主要从事分离技术和电分析化学。E-mail: tiejin99@163.com

* 通讯联系人, E-mail: xiangyuxiu369@126.com

污水进行实验研究,主要侧重对猪场污水的脱色、氨氮的去除率、COD去除率等问题进行探讨,研究超声波发生器输出端电流强度、处理时间、 H_2O_2 用量等因素对污水的影响。主要目的是探讨超声波协同 H_2O_2 处理养殖污水工艺的可行性及优越性,并且获得最佳的实验工艺条件。以期实现养殖污水的全部循环使用,这对于环境保护将具有重要的现实意义,尤其对于陕北水资源较匮乏地区更为重要。

1 实验部分

1.1 主要材料和仪器

H_2O_2 (分析纯),去离子水(自制),齐齐哈尔市某猪场冲水清除粪便污水,污水的主要来源是齐齐哈尔市建华区某猪场,污水的主要成分如下:氨氮201.3 mg/L,COD 3 698.3 mg/L,颜色黑色。

实验仪器:超声发生器,大气采样器,COD自动分析仪,氨气检测仪。

1.2 实验过程

1.2.1 水浴加热 H_2O_2 处理

养殖污水处理实验在烧杯中进行。量取100 mL污水, H_2O_2 用量1%~3%(体积比)。置于恒温磁力搅拌器上,设定搅拌速度,磁力搅拌90 min,进行污水的处理。

1.2.2 超声波协同 H_2O_2 处理

量取100 mL污水, H_2O_2 用量1%~3%(体积比)。在超声波作用下进行养殖污水的处理,超声波实验装置主要由超声发生器和超声变幅杆组成,频率为20.024 kHz,功率范围为0~250 W,实验中超声场功率为108 W。超声发生器输出端电流强度0.4~0.9 A,辐射时间0~3 min,进行污水的处理。

1.3 实验分析与检测

氨气采用氨气检测仪测定,COD采用COD自动分析仪测定,颜色采用感官评定法测定,过氧化物含量及残余过氧化物含量值用滴定法测定^[6]。

1.4 对比实验

进行了超声波协同与水浴加热 H_2O_2 处理养殖污水的对比实验,实验结果见表1、表2。对比表1、表2可见,在 H_2O_2 用量1%~3%范围内,超声波辐射3 min比水浴加热90 min污水中氨氮、COD含量更低,同时还可以看出,脱色效果更好些。此外,超声波辐射养殖污水中的残余过氧化物大约不到水浴处理的1/10,含量极少。由此可见,超声波协同

H_2O_2 处理养殖污水具有以下优点,①与水浴加热 H_2O_2 相比,超声波辐射处理污水的时间大大缩短,节省了能源和提高了工作效率。②超声波辐射养殖污水样中,残余过氧化物比水浴处理的要少得多,有利于养殖废水的处理和环境保护。③不需高温加热,操作简单安全易控制。

表1 水浴加热 H_2O_2 处理养殖污水
Table 1 Maltreatment of culture sewage
by H_2O_2 in water bath

H_2O_2 用量 (%)	氨氮 (mg/L)	COD (mg/L)	颜色	残余过氧化物 (mg/L)
1	60.2	1 659.3	黑色	6.56
1.5	50.0	1 376.1	浅黑	6.89
2	30.1	1 130.0	深黄	8.75
2.5	19.9	615.2	灰黄	9.18
3	0.91	372.4	黄色	8.92

注:养殖污水100 mL,温度60℃,时间为90 min。

表2 超声波协同 H_2O_2 处理养殖污水
Table 2 Synergetic treatment of culture sewage
by ultrasonic and H_2O_2

H_2O_2 用量 (%)	氨氮 (mg/L)	COD (mg/L)	颜色	残余过氧化物 (mg/L)
1	29.1	965.9	浅黑	1.711
1.5	24.2	606.1	深黄	1.099
2	14.9	367.3	灰黄	0.990
2.5	10.6	215.1	黄色	0.891
3	0.2	98.0	淡黄	0.883

注:养殖污水100 mL,超声发生器输出端电流强度0.5 A,辐射时间3 min。

1.5 超声波发生器电流强度和作用时间的影响

超声波输出端电流强度在一定程度上反映了声空化强度^[7-13]。超声波发生器电流强度对污水处理效果的影响见表3。由表可见,超声波输出端电流强度在0.4~0.7 A范围内,电流强度的提高有利于氨氮、COD的降低,在0.7 A污水于氨氮、COD达最低值(分别11.3 mg/L、312.5 mg/L),但当电流强度超过0.7 A后污水中的氨氮、COD有所上升。另外,超声波输出端电流强度在0.4~0.7 A范围内,随氨氮、COD的降低,污水的颜色也逐渐变浅,这是因为当超声波输出端电流强度增加时,空化强度也增加,强烈空化效应在污水内的固液界面产生大量

的瞬间空化泡,在这些空化泡崩溃瞬间可产生数千以上的大气压,将产生一系列效应(温度效应、化学效应、物理效应等),强化了 H₂O₂ 处理效果。当电流强度继续增加(>0.7 A),污水的颜色开始变深,氨氮、COD 及残余过氧化物的含量也出现了上升趋势。这可能是污水中含有的其他成分也开始参与了复杂的化学反应,因此再加大输出端电流强度已无意义,再者电流强度设置过高对设备的要求也会提高。综合考虑,超声发生器电流强度应控制在 0.7 A 左右。

表 3 超声波发生器电流强度的影响

Table 3 Effects of current intensity of ultrasonic generator

电流强度 (A)	氨氮 (mg/L)	COD (mg/L)	颜色	残余过氧化物 (mg/L)
0.4	18.4	401.3	棕	1.009
0.5	14.9	367.3	灰黄	0.99
0.6	13.1	340.7	黄	0.99
0.7	11.3	312.5	浅黄	0.93
0.8	12.1	323.6	灰黄	1.096
0.9	13.9	345.8	黑黄	1.655

注:养殖污水 100 mL, H₂O₂ 用量 2%, 辐射时间 3 min。

表 4 为超声波辐射时间对污水处理效果的影响。由表可知,随着超声波作用时间的增加,污水样品中氨氮、COD 及颜色的变化情况大体可分为两个阶段。前 2 min 污水样品中氨氮、COD 含量随作用时间延长而降低,颜色变淡。2 min 后,污水样品中氨氮、COD 含量随作用时间上升而增加,颜色变深。分析原因可能是:到作用后期,溶液中的 pH 值过低,不能有效地生成过氧化氢根离子,从而影响了脱色效果。而此时的 H₂O₂ 虽不能有效地脱色,却能继

续使污水中的含氮有机物、微生物等降解,导致氨氮、COD 含量增加。故超声波辐射时间不宜过长,应该控制在 2 min 左右。

表 4 超声波处理时间的影响

Table 4 Effects of ultrasonic treatment time

时间 (min)	氨氮 (mg/L)	COD (mg/L)	颜色	残余过氧化物 (mg/L)
1	20.9	387.9	浅黑	1.761
1.5	17.1	376.5	棕	0.983
2	14.9	367.3	灰黄	0.99
2.5	15.7	370.7	灰黄	0.769
3	17.1	372.0	深黄	0.632

注:养殖污水 100 mL, H₂O₂ 用量 2%, 超声发生器输出端流强度 0.5 A。

1.6 正交实验

1.6.1 实验设计与结果

根据单因素影响实验分析,确定正交实验因素和水平如表 5 所示。

表 5 实验因素水平表

Table 5 Factors and levels of the experiment

项目	因素		
	H ₂ O ₂ 用量 (%)	时间 (min)	电流强度 (A)
	A	B	C
水平 1	2.0	1.5	0.6
水平 2	3.0	2	0.7
水平 3	4.0	2.5	0.8

1.6.2 正交表的分析

对正交实验结果采用综合平衡法进行极差分析,结果见表 6,正交实验极差分析见表 7。按照 R 值的大小来比较,各因素对污水处理结果如下:①

表 6 正交实验及数据

Table 6 Data of optimal experiment

实验号	A	B	C	空列	氨氮 (mg/L)	COD (mg/L)	残余过氧化物 (mg/L)	颜色
1	1	1	1	1	14.78	305.1	1.219	黄
2	1	2	2	2	13.14	289.2	1.112	黄
3	1	3	3	3	12.23	300.9	1.088	浅黄
4	2	2	3	1	14.06	109.3	0.893	浅黄
5	2	3	1	2	13.50	98.1	0.944	黄
6	2	1	2	3	12.28	119.6	0.843	浅黄
7	3	3	2	1	14.80	98.3	0.875	浅黄
8	3	1	3	2	13.87	108.1	0.975	黄
9	3	2	1	3	12.07	89.6	0.814	浅黄

表7 正交实验极差分析数据表

Table 7 Data analysis of optimal experiment

项目	因素	A	B	C
氨氮 (mg/L)	K_1	40.15	40.93	40.35
	K_2	39.84	39.27	40.22
	K_3	40.74	40.53	40.16
	R	0.9	0.66	0.19
COD (mg/L)	K_1	895.2	532.8	492.8
	K_2	327	488.1	507.1
	K_3	296	497.3	518.3
	R	599.2	44.7	25.5
残余过氧化物 (mg/L)	K_1	3.419	3.037	2.977
	K_2	2.680	2.819	2.83
	K_3	2.664	2.907	2.956
	R	0.755	0.218	0.147

氨氮: A > B > C; ② COD: A > B > C; ③ 残余过氧化物: A > B > C。由上述分析可知,各因素对养殖污水的影响显著性顺序依次为: H_2O_2 > 辐射时间 > 电流强度,即 H_2O_2 用量影响最大,但由于 H_2O_2 价格较贵,因此控制在 3% (体积比),所以本实验相对较优工艺选择 H_2O_2 3%,时间为 2 min,电流强度 0.7 A。

1.7 验证实验

根据以上分析,在最优条件下进行 3 组平行验证实验,结果见表 8。由表 8 可见,实验是相对稳定的,结果是可靠的。

表8 验证实验结果

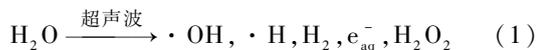
Table 8 Results of validating experiment

项目	实验号		
	1	2	3
氨气 (mg/L)	14.12	14.71	14.39
COD (mg/L)	109.9	99.8	100.7
残余过氧化物 (mg/L)	0.895	0.901	0.910
颜色	浅黄	浅黄	浅黄

2 结果与讨论

根据实验结果得知,电流强度、作用时间及双氧水的用量对养殖场污水的污染情况具有改善作用。由于该方面的研究还未见报道,但向水发射高频率超声波会产生氧化作用极大的双氧水已被科学人员通过实验证实^[14,15]。本研究中产生的现象分析原因可能如下:其一,由于双氧水的氧化作用,能

使部分养殖场污水中的污染物氧化降解;其二,由于超声波的特殊物理效应,特别是超声波的空化效应所产生的高温、高压可促使一些常规条件下无法发生的效应产生^[16]。(1)在空化泡内,由于空化泡的崩溃产生的高温高压可引发直接热解,同时存在水蒸气热解产生的 $\cdot OH$ 和 $\cdot H$,值得注意的是,在超声波激发下双氧水更会生成大量的 $\cdot OH$,而 $\cdot OH$ 与有机污染物快速发生链式反应,无选择性地 将污染物氧化成二氧化碳、水或矿物盐;(2)空化泡的气液界面处为高温高压空化泡相和常温常压本体溶液之间的过渡区域,局部不仅温度可高达 2 100 K,而且还有浓缩的 $\cdot OH$,所以仍可能发生热解和自由基反应;同时,还可能存在超临界水氧化反应,(3)在超声波-双氧水体系中,存在的反应主要如下:



这些自由基具有超强氧化性,因此在较小量双氧水存在的条件下也会产生较大的效应,与养殖场污水中污染物 R (有机物、有色物质等) 发生反应,致使其氧化降解:



相对于仅用双氧水的处理方案,本方案大大降低了药剂的用量,缩短了处理时间,降低了经济成本。

3 结论

超声波协同 H_2O_2 处理养殖污水具有一定的可行性。当电流为 0.7 A、处理时间为 2 min、 H_2O_2 用量为 3% 时,处理效果最佳,在此条件下 COD 降低量可达 95% 以上,氨氮的含量可降至 14 ~ 15 mg/L,同时氨臭味也得到了很大的改善,并将原污水由黑色变为浅黄色。

参考文献

- [1] Min Booki, Kim Jungrae, Eun Sange Oh, et al. Electricity generation from swine wastewater using microbial fuel cells. *Water Research*, **2005**, 39(6): 4961-4968
- [2] 刘春阳,刘柳. 超声波技术在废水处理中的应用研究. *污染防治技术*, **2009**, 22(6): 62-66
Liu C. Y., Liu L. The application of ultrasonic technique in wastewater treatment. *Pollution Prevention and Control*

- Technology, **2009**, 22 (6): 62-66(in Chinese)
- [3] 张显龙,胡娜. 屠宰废水处理工艺设计与运行研究. 辽宁化工, **2012**,32(4):83-84
Zhang X. L. , Hu N. Slaughtering wastewater treatment process design and operation research. Journal of Liaoning Chemical Industry, **2012**, 32(4):83-84(in Chinese)
- [4] 韩建勋,郭梦婷,张紫薇,等. 猪粪中土霉素环境风险及好氧降解. 浙江工商大学学报, **2012**,26(5):19-23
Han J. X. , Guo M. T. , Zhang Z. W. , et al. Pigoxy tetracycline in environmental risk and aerobic degradation. Journal of Zhejiang Gongshang University, **2012**, 26(5): 19-23(in Chinese)
- [5] 苑宝玲,王红杰. 水处理新技术原理与应用. 北京:化学工业出版社, **2006**
- [6] 邵志芳,朱震中,陈莹. 聚乙烯醇-亚铁氰化钾修饰电极测定油/水型乳液中氢过氧化物含量. 分析科学学报, **2012**,28(2):249-252
Shao Z. F. , Zhu Z. Z. , Chen Y. Polyvinyl alcohol-potassium hydroferrocyanic modified electrode determination of hydrogen peroxide content in oil/water emulsion. Journal of Analytical Science, **2012**, 28(2): 249-252(in Chinese)
- [7] 陈国云,夏涛. 关于对污水综合排放标准修订的建议. 污染防治技术. **2012**,25(1):55-56
Chen G. Y. , Xia T. About the integrated wastewater discharge standard revision suggestions. Pollution Prevention and Control Technology, **2012**, 25(1):55-56(in Chinese)
- [8] 田宗祥. 减少规模化养猪场粪污对环境的影响及调控措施. 国外畜牧学(猪与禽), **2009**,29(3):79-82
Tian Z. X. Reduce the influence of scale pig farm waste on the environment and control measures. Journal of Animal Science Abroad (Pigs and Poultry), **2009**, 29(3): 79-82 (in Chinese)
- [9] 杨敏,李军,马骋,等. 屠宰废水处理工艺的优化与设计. 沈阳农业大学学报, **2011**,42(3):361-364
Yang M. , Li J. , Ma C. , et al. Slaughtering wastewater treatment process optimization and design. Journal of Shenyang Agricultural University, **2011**, 42(3):361-364(in Chinese)
- [10] 张莹,张玉先. 压力曝气生物滤池处理生活污水的实验研究. 中国给水排水, **2008**,24(7):16-20
Zhang Y. , Zhang Y. X. Pilot-scale study on pressure biological aerated filter for domestic sewage treatment. China Water & Wastewater, **2008**, 24(7): 16-20(in Chinese)
- [11] 姜聚惠,陈华军,娄向东,等. UV/草酸铁/ H_2O_2 法处理染料废水. 水处理技术, **2006**,32(5):42-44
Jiang J. H. , Chen H. , Lou X. D. , et al. UV/oxalate iron/ H_2O_2 method treatment of dye wastewater. Technology of Water Treatment, **2006**, 32(5):42-44(in Chinese)
- [12] 饶少敏. 分光光度法测定废水中的 COD. 分析测试技术与仪器, **2005**, 11(2):111-113
Rao S. M. Spectrophotometric method for determination of COD in wastewater. Analysis and Testing Technology and Instruments, **2005**, 11(2): 111-113(in Chinese)
- [13] 郑怀礼,张占梅. 双频超声辐射合作研究的过氧化氢降解偶氮染料废水. 环境工程学报, **2010**, 4(11): 2401-2406
Zheng H. L. , Zhang Z. M. Dual-frequency ultrasound radiation collaborative research of H_2O_2 degradation of azo dye wastewater. Chinese Journal of Environmental Engineering, **2010**, 4(11): 2401-2406(in Chinese)
- [14] 范拴喜,江元汝. 超声波- H_2O_2 协同作用处理孔雀绿废水. 化工环保, **2007**,27(5):404-408
Fan S. X. , Jiang Y. R. Ultrasonic- H_2O_2 synergy malachite green wastewater treatment. Environmental Protection of Chemical Industry, **2007**,27(5):404-408(in Chinese)
- [15] 朱昌平,黄波,倪才华,等. 功率超声的声学参数对废水处理效果的影响. 水资源保护, **2008**,24(3):57-61
Zhu C. P. , Huang B. , Ni C. H. , et al. Power of ultrasonic acoustic parameters on the effect of wastewater treatment. Water Resources Protection, **2008**, 24(3): 57-61 (in Chinese)
- [16] Kruger O. , Schulze T. L. , Peters D. Sonochemical treatment of natural ground water at different high frequencies: Preliminary results. Ultrasonics Stereochemistry, **1999**, 6(2): 123-128