



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7卷 第4期

Vol.7 No.4

中国科学院 主办
生态环境研究中心
科学出版社 出版

4
2013

目 次

水 污 染 防 治

SBR 单级自养脱氮系统氮素转化途径	吕永涛	王 磊	孙 婷	王旭东	王志盈(1201)
基于 SIMULINK 的硝化反应动力学模型的仿真	罗飞杭	杨朝晖	卢 慧	罗远玲	战 琪(1206)
不同来源高浓度有机废水的集中处理	张伟军	高 雅	马士龙	张 明	王东升 徐岳阳(1213)
纯种氢氧化菌短程反硝化特性	周 莉	李正魁	王易超	范念文	(1219)
常温 CSTR 部分亚硝化影响因素及工况优化研究	仲 航	李 冬	吴 迪	曾涛涛	刘丽倩 苏东霞 张 杰(1225)
温度和污泥浓度对碱性条件下剩余污泥水解酸化的影响	苏高强	王淑莹	郑冰玉	彭永臻	(1231)
双向旋流污水净化器处理溢流污水	臧宝凤	黄勇强	徐明力	史 凯	朱 艳(1237)
铁碳布空气阴极微生物燃料电池的产电性能	唐玉兰	何亚婷	于鹏飞	孙 红	于 燕 彭 漫(1241)
十溴联苯醚共存条件下水中 Zn(II) 的生物吸附	白洁琼	尹 华	叶锦韶	彭 辉	叶 芊 何宝燕 李跃鹏 张 娜 彭素芬(1245)
微波辅助疏水膜的清洗	尹子飞	王 军	纪仲光	侯得印	(1251)
厌氧反应器废水资源化过程在线监测系统	王顺利	尚丽平	李占锋	邓 琥	刘先勇(1256)
不同因素对人工湿地基质脱氮除磷效果的影响	陈丽丽	赵同科	张成军	李 鹏	李新荣 董若征(1261)
新型化粪池处理生活污水启动阶段的实验	陈志强	关华滨			(1267)
pH 值对“Fe ⁰ -厌氧微生物”体系去除 2,4,6-三氯酚过程的影响	吴金钢	戴友芝	郭丽丽	汪桂芝	李小娜(1273)
二氧化钛颗粒制备及其对水中三价砷的去除	谢冬梅	曹林洪	崔金立		(1279)
氨基化凹凸土对水中焦化没食子酸的吸附	王春香	张 艳	薛爱莲	周守勇	赵宜江 陈智栋(1285)
吸附氧化/纳滤/吸附组合工艺处理丙烯腈工业废水	李 薇	展 侠	李继定	郑冬菊	(1290)
不同水生植物去除水体氮磷的效果	何 娜	孙占祥	张玉龙	刘鸣达	(1295)
增溶剂停留时间及对水质和浮游植物影响分析	李 岩	张饮江	刘晓培	吴 昊	张乐婷 段 婷 黎 臻 张曼曼(1301)
温度对亚硝化及氧化亚氮释放的影响	郭 宁	张 建	孔 强	苗明升	田 琳(1308)
超滤膜深度处理染整废水的膜污染机理	付乐乐	李 方	吴 亮	王 歌	(1313)
混凝沉淀去除丙烯酸丁酯废水浊度物质	谷小凤	宋玉栋	周岳溪	马力强	李 军 王 俊(1319)
连片生态浮床对微污染河水的净化效果	段金程	张毅敏	张红卫	高月香	晁建颖(1324)
循环式活性污泥工艺协同处理榨菜废水与城镇污水脱氮效果	何 强	丁文静	司马卫平		(1331)
微孔曝气变速氧化沟循环特性的中试研究	杨亚红	彭党聪	李 磊	郑阳光	韩 芸(1336)
不同类型潜流湿地处理养猪废水的对比	李鹏宇	王 振	袁林江	董 健	刘 琳 朱葛夫 刘超翔(1341)
粉煤灰制备混凝剂及其对黄河水的处理效果	李玉梅	陈莉荣	杜明展		(1346)
利用沉水植物生长期收割进行富营养化水体生态管理的实地研究	姜义帅	陈 灏	马作敏	李 静	(1351)
浊度仪法快速测定水体中硫酸盐含量	薛秀玲	李孟迪			(1359)
MBR 净化受污染地表水的自然启动及稳定运行除污染特性	杨 威	赵秋静	韩正双	李 凯	梁 恒 李圭白(1363)
RBF 与 Elman 神经网络在人工湿地复合基质去污效果预测中的应用	梁启斌	刘云根	田 昆	王万宾	(1368)
稳定表流湿地中污泥的形成及除污效果	张龙飞	王成端	王志帅		(1373)
新型多功能螯合树脂的合成及对水中 Cd(II) 离子的吸附特征	王佳佳	马慧敏	张田林		(1378)
多孔镁铝复合氧化物对水溶液中 Cr(VI) 的吸附性能	王秀娟	王海增			(1383)
啤酒废水常温厌氧消化启动及运行实验	林长松	徐龙飞	谈林友		(1389)
硫化物沉淀法处理含铅废水	何绪文	胡建龙	李静文	张晶晶	王建兵 葛 鹏(1394)
无机陶瓷膜处理油田采出水	丁 慧	彭兆洋	李 毅	温沁雪	陈志强(1399)
减压蒸馏耦合微电解处理六硝基萘二段洗水	车 冉	郝 志	叶正芳		(1405)
水解-复合生物滤池工艺处理盐化工工业废水	管 硕	张鸿涛	吴春旭	程林波	宁 涛(1411)

响应面法优化聚丙烯酸/腐殖酸/累托石吸附剂的制备条件	陈芳艳	叶伟	孙怡涵	贾丽萍	唐玉斌(1417)		
生物制剂法治理藻类水华	周晓云	黄瑞敏	刘欣	文淦斌	(1425)		
不同流量分配比对多级 A/O 工艺去除有机物及脱氮的影响	王敏	张智	陈杰云	范功端	金可	梁鹏	胡玲(1430)
光催化氧化-Fenton 组合方法降解高浓度正丙醇废水	曾惠明	程慎玉	沈晓莉	马欢林	(1435)		
纳滤膜在垃圾渗滤液深度处理中应用	宁桂兴	张忻	王凯	姜安平	汪桂林(1440)		

大气污染防治

Fenton 试剂法降解餐厨垃圾异味	狄彦强	刘杰民	刘思园	颜鲁春	冯振华(1445)	
特殊植物类群空气凤梨对大气污染物甲醛的净化	李俊霖	李鹏	王恒蓉	郑桂灵	(1451)	
天津市纪庄子污水处理厂恶臭气体排放研究	王钊	王秀艳	高爽	白志鹏	(1459)	
碳纳米管/二氧化钛/壳聚糖催化薄膜光催化活性及苯降解机理	曾丽萍	张泉	张国强	(1465)		
不锈钢烧结纤维毡外加粉体助剂过滤烟尘微粒	包力	杨国华	李邯鹏	王炳辉	杜珂	黄三(1472)
西安市冬、夏两季 PM _{2.5} 中碳气溶胶的污染特征分析	张承中	丁超	周变红	陶李	刘立忠(1477)	

固体废物处置

一株氧化亚铁硫杆菌的分离及其浸出废旧线路板中铜的效果	张婷	朱能武	许治国	石超宏(1482)						
玉米秸与鸡粪混合厌氧消化产气性能与协同作用	冯亚君	袁海荣	张良	李超	高健	李秀金(1489)				
不同存放时间太湖蓝藻产沼气潜力	赵明星	阮文权	(1495)							
磁化焙烧-磁选法回收循环流化床固硫灰中铁	巫侯琴	李军	卢忠远	徐龙华	管波	韦燕飞(1500)				
掺固硫灰 AC-13 型沥青混合料配合比设计	侯莉	赵智	卢忠远	宋丽贤	彭洪	陈培军	李军(1505)			
鸡毛不溶解蛋白海绵膜的制备与表征	庄媛	吴小倩	曹张军	赵晓祥	周美华(1510)					
利用废弃物衍生燃料的热化学处理法制富含氢气合成气	吴畏	(1515)								
两相厌氧消化工艺处理鸡粪	倪哲	潘朝智	牛冬杰	陈玲(1522)						
添加氮损失抑制剂对蓝藻泥堆肥质量的影响	任云	崔春红	刘奋武	占新华	周立祥(1527)					
臭氧氧化法深度处理生活垃圾焚烧厂沥滤液	穆永杰	叶杰旭	孙德智(1535)							
液晶显示器玻璃基板回收工艺	孙媛媛	李龙珠	唐惠东(1541)							
废旧线路板真空热解油合成热固性酚醛树脂	朱灶	蔡思涵	孙水裕	刘敬勇	张荣学	徐东军	钟胜	杨帆	李神勇	许婷婷(1545)

土壤污染防治

均匀电场下多环芳烃在土壤中的迁移	王翠苹	许伟	孙红文(1550)				
堆肥污泥重金属在黄土中的淋滤特征	马可婧	张明泉	蔡圃(1557)				
Fenton 氧化技术处理稠油污染土壤	刘其友	李琳	张云波	赵东风	赵朝成(1563)		
汞、铅、铬污染土壤的微生物修复	李梦杰	王翠玲	李荣春	洪俊彦	严亮	刘丽	庄立(1568)
生物强化修复石油污染土壤	张秀霞	滕芝	吴佳东(1573)				
石油烃对翅碱蓬生理特性的影响及植物-微生物联合降解	高乃媛	刘宪斌	赵兴茹(1578)				

噪声污染防治

高速列车纵向对称面气动噪声计算及外形优化	肖友刚	张平(1583)
----------------------------	-----	----------

环境生物技术

润滑油高效降解菌的筛选及降解性能	郭晓燕	张志红	沈齐英	李翠清(1589)
------------------------	-----	-----	-----	-----------

相关研究

侧入式搅拌槽中多相流场特性的数值模拟	张林进	陈功国	柏杨	叶旭初(1594)
--------------------------	-----	-----	----	-----------

CONTENTS

Nitrogen conversion pathway of autotrophic nitrogen removal process in single SBR	Lü Yongtao Wang Lei Sun Ting Wang Xudong Wang Zhiying(1201)
Stimulation based on SIMULINK for nitrification reaction kinetics model	Luo Feihang Yang Zhaohui Lu Hui Luo Yuanling Zhan Qi(1206)
Central treatment of wastewater with high organic content from different industrial sources	Zhang Weijun Gao Ya Ma Shilong Zhang Ming Wang Dongsheng Xu Yueyang(1213)
Shortcut denitrification characterization of immobilized AOB	Zhou Li Li Zhengkui Wang Yichao Fan Nianwen(1219)
Research on influencing factors and operation optimization for CSTR partial nitrification at normal temperature	Zhong Hang Li Dong Wu Di Zeng Taotao Liu Liqian Su Dongxia Zhang Jie(1225)
Effect of temperature and sludge concentration on hydrolysis and acidification of waste activated sludge under alkaline condition	Su Gaoqiang Wang Shuying Zheng Bingyu Peng Yongzhen(1231)
Treatment of overflow using two-way cyclone flocculation hydrocyclone	Zang Baofeng Huang Yongqiang Xu Mingli Shi Kai Zhu Yan(1237)
Electricity generation performance of microbial fuel cells with carbon cloth as air-cathode and iron as cathode catalyst	Tang Yulan He Yating Yu Pengfei Sun Hong Yu Yan Peng Man(1241)
Biosorption of zinc (II) in water with decabromodiphenyl ethers	Bai Jieqiong Yin Hua Ye Jinshao Peng Hui Ye Qian He Baoyan Li Yuepeng Zhang Na Peng Sufen(1245)
Microwave assisted cleaning of hydrophobic membrane	Yin Zifei Wang Jun Ji Zhongguang Hou Deyin(1251)
Online monitoring system of anaerobic reactor in processes of transforming wastewater into resources	Wang Shunli Shang Liping Li Zhanfeng Deng Hu Liu Xianyong(1256)
Influences of different factors on effect of matrix nitrogen and phosphorus removal in substrates of constructed wetland	Chen Lili Zhao Tongke Zhang Chengjun Li Peng Li Xinrong Dong Ruozheng(1261)
Experiment on start-up phase of new modified septic tanks treating domestic sewage	Chen Zhiqiang Guan Huabin(1267)
Effect of pH values on process for removal of 2,4,6-trichlorophenol by Fe ⁰ -anaerobic microbe system	Wu Jingang Dai Youzhi Guo Lili Wang Guizhi Li Xiaona(1273)
Preparation and evaluation of TiO ₂ granule for As(III) removal from water	Xie Dongmei Cao Linhong Cui Jinli(1279)
Adsorption of pyrogallol from aqueous solution by amine modified attapulgite	Wang Chunxiang Zhang Yan Xue Ailian Zhou Shouyong Zhao Yijiang Chen Zhidong(1285)
Treatment of wastewater from acrylonitrile industries with combined processes of adsorption oxidation, nanofiltration and adsorption	Li Wei Zhan Xia Li Jiding Zheng Dongju(1290)
Efficiency of removing nitrogen and phosphorus from simulated wastewater using hydrophytes	He Na Sun Zhanxiang Zhang Yulong Liu Mingda(1295)
Retention time and effects on water quality and phytoplankton of water shade agent-True Blue	Li Yan Zhang Yinjiang Liu Xiaopei Wu Hao Zhang Leting Duan Ting Li Zhen Zhang Manman(1301)
Effect of temperature on ammonification and nitrous oxide emission in partial nitrification	Guo Ning Zhang Jian Kong Qiang Miao Mingsheng Tian Lin(1308)
Fouling mechanism in advanced treatment of dyeing wastewater by ultrafiltration membrane	Fu Lele Li Fang Wu Liang Wang Ge(1313)
Removal of turbidity from butyl-acrylate wastewater by coagulation-sedimentation	Gu Xiaofeng Song Yudong Zhou Yuexi Ma Liqiang Li Jun Wang Jun(1319)
Purification effect of ecological floating beds of flakiness connection in slightly polluted river water	Duan Jincheng Zhang Yimin Zhang Hongwei Gao Yuexiang Chao Jianying(1324)
Nitrogen removal efficiency of co-processing pickle wastewater and municipal sewage by cyclic activated sludge system(CASS) process	He Qiang Ding Wenjing Sima Weiping(1331)
Pilot study on flow characteristics of a variable-velocity oxidation ditch with fine bubble	Yang Yahong Peng Dangeong Li Lei Zheng Yangguang Han Yun(1336)
Comparison of two different constructed wetland systems to treat swine wastewater	Li Pengyu Wang Zhen Yuan Linjiang Dong Jian Liu Lin Zhu Gefu Liu Chaoliang(1341)
Preparation of coagulant from fly ash and its application in Yellow River water treatment	Li Yumei Chen Lirong Du Mingzhan(1346)
Field study on effect of harvesting submerged plant during growing season for ecological management of eutrophicated water	Jiang Yishuai Chen Hao Ma Zuomin Li Jing(1351)
Rapid determination of sulfate in water by turbidimetry	Xue Xiuling Li Mengdi(1359)
Pollutants removal characteristics of natural start-up and steady operation of membrane bioreactor (MBR) for treating polluted surface water	Yang Wei Zhao Qiujing Han Zhengshuang Li Kai Liang Heng Li Guibai(1363)
Application of RBF and Elman neural network in prediction on pollutant removal efficiency of constructed wetland with different compound substrates	Liang Qibin Liu Yungen Tian Kun Wang Wanbin(1368)
Sludge formation and decontamination effect of stable surface flow wetland systems	Zhang Longfei Wang Chengduan Wang Zhishuai(1373)
Synthesis of multifunctional chelating resin and its adsorption properties for Cd(II) in water	Wang Jiajia Ma Huimin Zhang Tianlin(1378)

- Adsorption behavior of Cr(VI) from aqueous solution on porous Mg/Al mixed oxides** Wang Xiujuan Wang Haizeng(1383)
- Start-up and operation of anaerobic digestion of brewery wastewater at ambient temperature** ... Lin Changsong Xu Longfei Tan Linyou(1389)
- Treatment of wastewater containing lead by sodium sulfide precipitation** He Xuwen Hu Jianlong Li Jingwen Zhang Jingjing Wang Jianbing Ge Peng(1394)
- Treatment of oilfield produced water by inorganic ceramic membrane** Ding Hui Peng Zhaoyang Li Yi Wen Qinxue Chen Zhiqiang(1399)
- Treatment of hexanitrostilbene wastewater by vacuum distillation coupling in micro-electrolysis** Che Ran Hao Zhi Ye Zhengfang(1405)
- Salt chemical industrial wastewater treatment using hydrolysis-combined biological filter process** Guan Shuo Zhang Hongtao Wu Chunxu Cheng Linbo Ning Tao(1411)
- Optimization of preparation conditions of polyacrylic acid/humic acid/rectorite adsorbent based on response surface methodology** Chen Fangyan Ye Wei Sun Yihan Jia Liping Tang Yubin(1417)
- Control of algal bloom with immobilized biological catalyst** Zhou Xiaoyun Huang Ruimin Liu Xin Wen Ganbin(1425)
- Influence of different influent flow distribution ratios on biological nitrogen and carbon removal by multi-stages A/O process** Wang Min Zhang Zhi Chen Jieyun Fan Gongduan Jin Ke Liang Peng Hu Ling(1430)
- Treatment of wastewater containing high concentration of 1-propanol with UV photocatalysis/Fenton reagent** Zeng Huiming Cheng Shenyu Shen Xiaoli Ma Huanlin(1435)
- Application of nanofiltration technology in treatment of urban solid composting leachate** Ning Guixiang Zhang Xin Wang Kai Jiang Anping Wang Guilin(1440)
- Treating food waste odor by Fenton reagent method** Di Yanqiang Liu Jiemin Liu Siyuan Yan Luchun Feng Zhenhua(1445)
- Purification of air pollutant—formaldehyde with special plant group—epiphytic *Tillandsia*** Li Junlin Li Peng Wang Hengrong Zheng Guiling(1451)
- Research of odor emission in Jizhuangzi Sewage Treatment Plant in Tianjin** Wang Zhao Wang Xiuyan Gao Shuang Bai Zhipeng(1459)
- Photocatalytic degradation activity and mechanism of CNTs/TiO₂/CS Film of gas phase benzene** Zeng Liping Zhang Quan Zhang Guoqiang(1465)
- Filtering soot particles by stainless steel sintered fiber felt combining with powder** Bao Li Yang Guohua Li Hanpeng Wang Binghui Du Ke Huang San(1472)
- Pollution characteristics of carbon aerosol in PM_{2.5} of Xi'an during winter and summer** Zhang Chengzhong Ding Chao Zhou Bianhong Tao Li Liu Lizhong(1477)
- Isolation of an *Acidithiobacillus ferrooxidans* strain and its performance in bioleaching of copper from waste printed circuit boards** Zhang Ting Zhu Nengwu Xu Zhiguo Shi Chaohong(1482)
- Performance and synergistic effect of anaerobic co-digestion of corn stover and chicken manure** Feng Yajun Yuan Hairong Zhang Liang Li Chao Gao Jian Li Xiujin(1489)
- Biogas production potential of Taihu cyanobacteria at different storage times** Zhao Mingxing Ruan Wenquan(1495)
- Recycling of the iron resources of CFBC fly ash by magnetizing roasting-magnetic separation** Wu Houqin Li Jun Lu Zhongyuan Xu Longhua Guan Bo Wei Yanfei(1500)
- Mix design of AC-13 asphalt concrete with circulating fluidized bed combustion ash** Hou Li Zhao Zhi Lu Zhongyuan Song Lixian Peng Hong Chen Peijun Li Jun(1505)
- Preparation and characterization of sponge film based on feather reduction residue** Zhuang Yuan Wu Xiaoqian Cao Zhangjun Zhao Xiaoxiang Zhou Meihua(1510)
- Hydrogen-rich synthesis gas production via thermochemical of refuse derived fuel** Wu Wei(1515)
- Treatment of chicken manure by two-phase anaerobic digestion reactor** Ni Zhe Pan Chaozhi Niu Dongjie Chen Ling(1522)
- Effect of adding nitrogen loss inhibitor on quality of dehydrated blue-green algae compost** Ren Yun Cui Chunhong Liu Fenwu Zhan Xinhua Zhou Lixiang(1527)
- Advanced treatment of leachate from MSW incineration by ozonation** Mu Yongjie Ye Jiexu Sun Dezhi(1535)
- Recovery process of glass substrate from liquid crystal display** Sun Yuanyuan Li Longzhu Tang Huidong(1541)
- Synthesis of thermosetting PR with WPCB vacuum pyrolysis oils** Zhu Zao Cai Sihan Sun Shuiyu Liu Jingyong Zhang Rongxue Xu Dongjun Zhong Sheng Yang Fan Li Shenyong Xu Pingting(1545)
- Migration of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils under uniform electric field** Wang Cuiping Xu Wei Sun Hongwen(1550)
- Leaching characteristics of heavy metals in compost sludge in loess** Ma Kejing Zhang Mingquan Cai Pu(1557)
- Heavy oil-contaminated soils remediation by Fenton oxidation** Liu Qiyou Li Lin Zhang Yunbo Zhao Dongfeng Zhao Chaocheng(1563)
- Microorganism remediation of Hg, Pb and Cr contaminated soil** Li Mengjie Wang Cuiling Li Rongchun Hong Junyan Yan Liang Liu Li Zhuang Li(1568)
- Bioaugmentation remediation of petroleum contaminated soil** Zhang Xiuxia Teng Zhi Wu Jiadong(1573)
- Influence of oil in soil on growth and physiological indexes of *suaeda heteroptera* and plant-microbial remediation** Gao Naiyuan Liu Xianbin Zhao Xingru(1578)
- Numerical prediction of aerodynamic noise radiated from longitudinal symmetric plane of high-speed train and shape optimization** Xiao Yougang Zhang Ping(1583)
- Screening of lube oil biodegradation strain and degrading characteristics** Guo Xiaoyan Zhang Zhihong Shen Qiyang Li Cuiqing(1589)
- Numerical simulation on field characteristics of multiphase flow in side-entering stirred tank** Zhang Linjin Chen Gongguo Bai Yang Ye Xuchu(1594)

混凝沉淀去除丙烯酸丁酯废水浊度物质

谷小凤^{1,2} 宋玉栋² 周岳溪^{2*} 马力强¹ 李军³ 王俊³

(1. 中国矿业大学(北京)化工与资源学院,北京 100083;
2. 中国环境科学研究院水污染控制技术研究中心,北京 100012;
3. 中国石油吉林石化分公司电石厂,吉林 132022)

摘要 采用混凝沉淀法去除丙烯酸丁酯废水中的浊度物质,比较6种混凝剂的去除效率,确定聚合氯化铝为适宜混凝剂,并选用阳离子型聚丙烯酰胺作为助凝剂。研究表明,聚合氯化铝和阳离子型聚丙烯酰胺的优化投加量分别为150 mg/L和20 mg/L,优化pH值为4~5,水温20~40℃,快速搅拌速度200~400 r/min,搅拌时间1~3 min,慢速搅拌速度50~80 r/min,搅拌时间5~15 min。在以上条件下,可使出水浊度从3 000 NTU左右降至1 NTU左右,同时也实现了废水中胶体物质的大量去除。

关键词 混凝沉淀 丙烯酸丁酯废水 浊度

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2013)04-1319-05

Removal of turbidity from butyl-acrylate wastewater by coagulation-sedimentation

Gu Xiaofeng^{1,2} Song Yudong² Zhou Yuexi² Ma Liqiang¹ Li Jun³ Wang Jun³

(1. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China;
2. Research Center of Water Pollution Control Technology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. Calcium Carbide Factory PetroChina Jilin Petrochemical Company, Jilin 132022, China)

Abstract Turbidity removal of butyl acrylate wastewater by coagulation sedimentation was investigated. Six coagulants were compared for their turbidity removal efficiency. Poly aluminum chloride(PAC) was the best coagulant for the wastewater treatment. Cationic polyacrylamide(CPAM) was selected as coagulation aids. Optimized coagulation conditions are PAC of 150 mg/L, CPAM of 20 mg/L, pH of 4~5, water temperature of 20~40℃, fast mixing speed of 200~400 r/min, 1~3 min, slow stirring of 50~80 r/min, 5~15 min. Under the above conditions, the turbidity of wastewater would decrease from 3 000 NTU to about 1 NTU, and large amounts of colloids were also removed during the coagulation process.

Key words coagulation-sedimentation; butyl-acrylate wastewater; turbidity

丙烯酸丁酯是丙烯酸通用酯之一,是重要的高分子单体,在黏合剂、涂料、塑料、合成纤维、合成橡胶等行业应用广泛^[1,2]。丙烯酸丁酯生产过程中产生高浓度有机废水,高浊度、高COD(达几万甚至十几万 mg/L)、高含盐,处理难度极大^[3,4]。前期研究表明,采用双极膜电渗析技术可从该废水中提取有机酸^[5,6]。为防止废水中浊度物质造成后续电渗析处理单元的膜污染,迫切需要开发经济可行的悬浮物去除技术。废水中悬浮物的去除技术包括混凝-沉淀、混凝-气浮、混凝过滤、膜过滤等。由于丙烯酸丁酯废水中的悬浮物浓度高、沉淀性能差,直接沉淀或气浮去除效果差。直接采用过滤技术易造成滤池堵塞或膜污染严重等问题^[7,8]。初步实验表

明,丙烯酸丁酯废水中的浊度物质易于混凝,且形成的絮体颗粒物易于沉淀。目前尚无针对该废水浊度物质去除技术的研究。因此,本研究考察了混凝沉淀技术对废水中浊度物质的去除效果,并对混凝剂、助凝剂等进行了筛选,对药剂投加量、pH、水温、水力学条件等进行了优化。

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07207-004)

收稿日期:2011-12-20; 修订日期:2012-05-11

作者简介:谷小凤(1987~),女,硕士研究生,研究方向为水污染控制。E-mail:guxiaofeng1208@163.com

* 通讯联系人,E-mail:zhouyuexi@263.net

1 实验部分

1.1 实验水质

本研究所用废水为某石化厂丙烯酸丁酯生产废水,呈黑褐色,有丙烯酸酯味, pH 5.0 ~ 5.2, COD 80 000 ~ 100 000 mg/L, TOC 19 000 ~ 20 000 mg/L, 浊度 $2.80 \times 10^3 \sim 3.20 \times 10^3$ NTU, SS $1.20 \times 10^3 \sim 1.40 \times 10^3$ mg/L, 电导率 9.97 mS/cm。

1.2 材料和方法

仪器: MY3000-6E 型混凝试验搅拌机, HACH-2100N 实验室浊度仪, HATO CTL-12 型 COD 速测仪, 梅特勒 FE20 型台式酸度计, DDS-11A 数字电导率仪, Nano ZS 纳米粒度仪, 岛津 TOC-V_{cpH} 测定仪。

试剂: 硫酸铝钾(分析纯)、硫酸铝(分析纯)、三氯化铁(分析纯)、硫酸亚铁(分析纯)、聚合氯化铝(PAC, 氧化铝含量 30%)、聚合氯化铝铁(PFAC, 氧化铝含量 27%、氧化铁含量 3%), 阳离子型聚丙烯酰胺(CPAM)、阴离子型聚丙烯酰胺(APAM)。

实验方法: 静态烧杯实验, 设置水力条件为快速搅拌 2 min (400 r/min), 慢速搅拌 5 min (50 r/min)。在快速搅拌开始 10 s 后投加混凝剂, 在慢速搅拌刚开始时投加助凝剂, 静置 30 min 后, 取液面下约 2 cm 处水样测其水质指标。

2 结果与讨论

2.1 混凝剂种类及其投加量对废水浊度去除的影响

选用聚合氯化铝、聚合氯化铝铁、硫酸铝钾、硫酸铝、氯化铁和硫酸亚铁 6 种药剂, 考察其投加量对废水浊度去除的影响。在进水 pH 为 5.1、进水浊度 3.00×10^3 NTU 条件下, 其结果如图 1 所示。

实验结果表明: 混凝沉淀法去除浊度效果明显。硫酸铝钾、硫酸铝、氯化铁和硫酸亚铁 4 种混凝剂投加量由 150 mg/L 增加到 250 mg/L 时, 出水浊度总体呈下降趋势, 混凝剂投加量继续增加到 300 mg/L 时, 浊度去除效果略有下降, 但总体稳定; 聚合氯化铝和聚合氯化铝铁 2 种混凝剂对废水浊度的去除效果优于硫酸铝钾、硫酸铝、硫酸亚铁和氯化铁 4 种混凝剂。这果是由于聚合类混凝剂有较高的比表面积且可以水解生成大量带有正电荷、形态稳定的多核羟铝络合物, 能有效地促进混凝^[9]。聚合氯化铝投加量由 150 mg/L 增加至 200 mg/L 时, 废水浊度由 23.3 NTU 降至 2.10 NTU, 继续增加投加量至 300 mg/L, 浊度去除效果趋于稳定。聚合氯化铝铁对浊

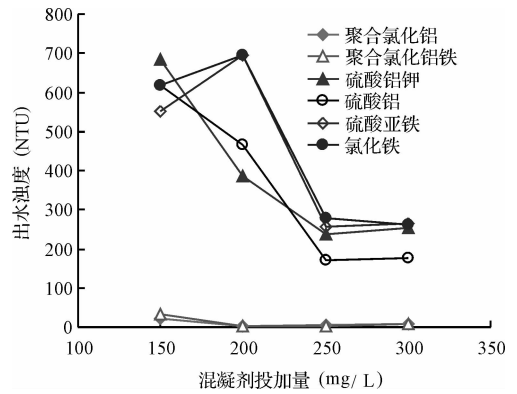


图1 混凝剂种类及其投加量对废水浊度去除的影响
Fig. 1 Effect of coagulant types and dosages on turbidity removal of effluent

度去除效果与聚合氯化铝效果相当, 但后期电渗析器的进水中若铁含量过高, 会引起阳膜中毒、阴膜污染与膜面上产生沉积物等障碍, 我国规定电渗析器进水含铁指标小于 0.3 mg/L ^[10]。为不影响后期电渗析装置的正常工作, 避免引入铁离子, 故选用聚合氯化铝作为混凝剂。

2.2 聚合氯化铝及其助凝剂投加量对废水浊度去除的影响

单纯使用 PAC 作混凝剂时, 形成的矾花碎小, 沉降缓慢。而沉淀时间的长短直接影响处理出水的水质, 沉淀时间太短, 出水中絮体颗粒含量过高, 增加后续单元处理负荷, 而延长沉淀时间, 在工程上需要增加占地面积和基建投资。在 PAC 投加量为 200 mg/L、助凝剂投加量 15 mg/L 条件下, 初步比较了未使用助凝剂、使用阳离子型聚丙烯酰胺和阴离子型聚丙烯酰胺对混凝沉淀效果和沉降时间的影响, 结果如表 1 所示。

表 1 助凝剂对出水浊度的影响

Table 1 Effect of coagulation aids on turbidity of effluent

沉降时间 (min)	浊度 (NTU)		
	PAC	PAC + CPAM	PAC + APAM
5	23.3	1.30	1.93
15	8.14	1.11	1.32
30	2.10	0.97	1.25

结果表明, 采用阳离子型聚丙烯酰胺作为助凝剂时, 沉淀时间短且浊度去除效果佳。这是由于丙烯酸丁酯废水中的悬浮颗粒物主要带有负电荷 (Zeta 电位为 -17 mV 左右), 而阳离子型聚丙烯酰胺属于有机高分子聚合物, 线性分子结构, 其上链接阳离子集团, 对带负电的矿物离子和杂质离子的吸附作

用强,兼具电中和和吸附架桥作用^[11,12]。所以在絮凝阶段选用阳离子型聚丙烯酰胺为助凝剂。

图2所示在进水pH为5.1,浊度为 3.00×10^3 NTU时不同的PAC投加量(150、200和250 mg/L)和不同CPAM投加量(10、15、20、25和30 mg/L)组合条件下,处理出水浊度变化情况。

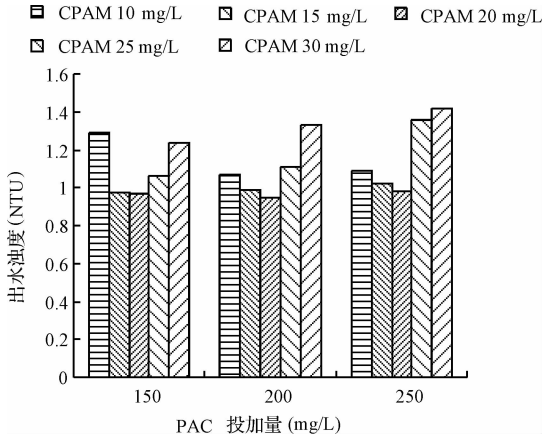


图2 PAC和CPAM投加量对浊度去除的影响

Fig. 2 Effect of polymeric aluminum and cationic polyacrylamide chloride dosages on turbidity removal of effluent

图2表明,用PAC和CPAM联合能达到很好的浊度去除效果。当PAC使用量为150~250 mg/L,CPAM使用量为15~30 mg/L时,处理出水浊度都在1.45 NTU范围内。但是在CPAM使用量为10 mg/L和30 mg/L时,处理出水浊度相对较高,说明CPAM投加量过低或者过高都会影响混凝沉淀效果。助凝剂使用量过低时,不能达到降低沉淀时间和处理水浊度的效果;但助凝剂用量过高时会使胶体带上相反电荷,增加了粒子间的排斥力而出现脱稳现象^[13];针对本文实验的水质,综合考虑成本和处理效果,确定PAC和CPAM投加量分别为150 mg/L和20 mg/L。

2.3 pH值对废水浊度去除的影响

用丙烯酸和氢氧化钠调节废水pH。当PAC投加量150 mg/L、CPAM投加量20 mg/L时,不同pH下出水浊度的变化情况如图3所示。

当pH小于4时废水浊度去除效果较差。pH为4~5时浊度去除效果较好,分别达到1.3 NTU和1.1 NTU。pH在5~10范围内,废水浊度去除效果略有影响,但影响不大。出现以上现象是由于聚合氯化铝的作用效果受pH影响较小^[14]。以上结果表明pH在4~5时混凝效果较佳,而原水pH在此

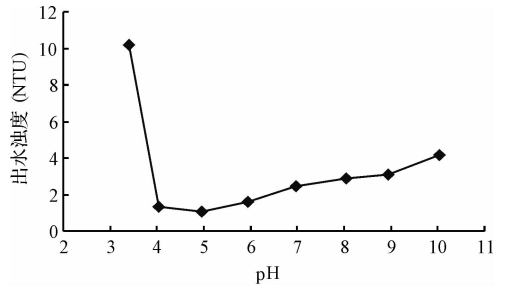


图3 pH对出水浊度的影响

Fig. 3 Effect of pH on turbidity of effluent

范围内,所以无需调节。

2.4 水温对废水浊度去除的影响

由于丙烯酸丁酯废水为高温废水,有必要讨论水温对混凝实验效果的影响。图4为PAC投加量150 mg/L、CPAM投加量20 mg/L下,水温对废水浊度去除的影响:当水温在20~40℃时,浊度去除效果明显,而水温为40~60℃时浊度去除效果略有下降,但仍保持在较高水平。所以温度对浊度去除效果影响不明显。

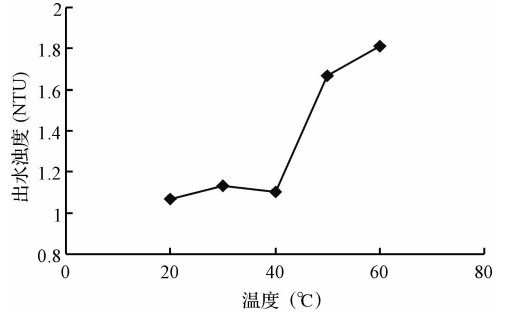


图4 温度对出水浊度的影响

Fig. 4 Effect of temperature on turbidity of effluent

2.5 水力条件的优化

水力条件是影响混凝效果的重要因素。在PAC投加量150 mg/L、CPAM投加量20 mg/L,原水pH(5.0~5.2),废水温度25℃条件下,按快速搅拌速度、快速搅拌时间、慢速搅拌速度、慢速搅拌时间4个因素设计 $L_9(3^4)$ 正交表(见表2)。

表3表明,水力条件对出水浊度去除效果略有影响但总体影响不大。水力条件对混凝效果的影响由大到小依次为慢速搅拌速度、慢速搅拌时间、快速搅拌时间、快速搅拌速度。慢速搅拌速度在20 r/min的混凝效果较劣于50 r/min和80 r/min,快速搅拌200~400 r/min,慢速搅拌50~80 r/min,快速搅拌时间1~3 min,慢速搅拌时间5~15 min范围内出水浊度都在1.70 NTU以内。

表2 因素水平表

Table 2 Control parameters and their levels

因素	快搅速度 (r/min)	快搅时间 (min)	慢搅速度 (r/min)	慢搅时间 (min)
1	400	3	80	15
2	300	2	50	10
3	200	1	20	5

表3 $L_9(3^4)$ 正交表Table 3 $L_9(3^4)$ orthogonal arrays

实验因素号	1	2	3	4	出水浊度
1	1	1	1	1	1.08
2	1	2	2	2	1.03
3	1	3	3	3	1.60
4	2	1	2	3	1.16
5	2	2	3	1	1.65
6	2	3	1	2	1.28
7	3	1	3	2	1.15
8	3	2	1	3	1.65
9	3	3	2	1	1.05
K_1	1.24	1.14	1.14	1.26	
K_2	1.36	1.44	1.28	1.15	
K_3	1.28	1.3	1.47	1.47	
R	0.13	0.31	0.33	0.32	

2.6 最优条件下的处理效果

在上述优化条件下,混凝对丙烯酸丁酯废水污染物去除的效果如表4所示。

表4 混凝实验进出水水质

Table 4 Influent and effluent water quality of coagulation test

测试水样	pH	浊度 (NTU)	电导率 (mS/cm)	总溶解性 碳(mg/L)	SS (mg/L)	COD (mg/L)
混凝前	5.1	$2.80 \times 10^3 \sim 3.20 \times 10^3$	9.97	1.96×10^4	1.28×10^3	6.67×10^4
混凝后	5.1	1.1	9.14	1.84×10^4	18	6.22×10^4

由表4可以看出,经混凝沉淀处理可实现SS和浊度的高效去除,去除率分别在98.5%和99%以上,废水COD去除率为6.8%,其总含量下降了4000 mg/L以上。原水和混凝后水质的总溶解性有机碳都是滤过0.45 μm 膜后测定的,而混凝后水样比原水水样降低约1100 mg/L,去除率为5.8%。

混凝前后废水颗粒物粒径分布如图5所示,可以看出混凝前废水悬浮物粒径主要在1.1~3.0 μm ,平均粒径为1.9 μm ,混凝后废水中剩余悬浮物主要为粒径在0.5~1.5 μm 的小颗粒,且含量较低,适合采用微滤方式去除。混凝沉淀处理后,废水中溶解性有机碳(可滤过0.45 μm 膜)的量也有显

著的下降(约1100 mg/L),因为废水中总溶解性有机碳是由丙烯酸盐、对甲基苯磺酸盐和胶体物质贡献,而混凝沉淀并不能去除丙烯酸盐和对甲基苯磺酸盐,所以减少的部分总溶解性有机碳由胶体物质贡献。以上结果表明混凝不仅去除了大部分悬浮颗粒物,还能实现对胶体物质的去除。大量研究表明,胶体物质是造成膜污染的重要因素^[15,16]。因此,混凝沉淀处理可有效控制丙烯酸酯废水中胶体物质对后续膜处理单元的不利影响。

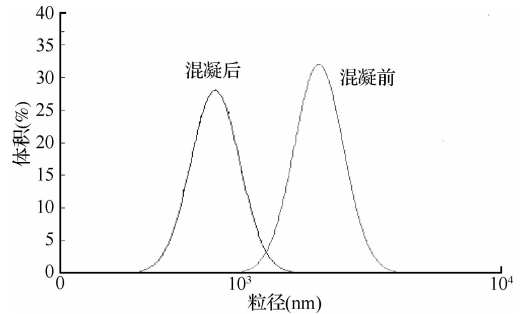


图5 混凝前后粒径分布

Fig. 5 Particle size distribution before and after coagulation

3 结论

(1) PAC和PFAC作为混凝剂处理丙烯酸丁酯废水时,出水效果都较好,但为避免引入铁离子,影响后期电渗析装置正常工作,选用PAC作为混凝剂;选用CPAM为助凝剂会进一步提高处理出水水质并减少沉降时间。针对本文研究水质,其优化投加量为PAC 150 mg/L,CPAM 20 mg/L。

(2) pH值在4~5范围内处理效果较佳,所以无需调节原水pH值。水温在20~40℃时,利于对浊度的去除;水温在40~60℃时,混凝效果相对略差,但出水浊度也都在小于2.00 NTU的范围内。

(3) 在pH值为5.1, PAC用量150 mg/L, CPAM用量20 mg/L条件下,较优水力条件为:快速搅拌200~400 r/min,慢速搅拌50~80 r/min,快速搅拌时间1~3 min,慢速搅拌时间5~15 min。

(4) 优化工艺条件下,混凝沉淀对丙烯酸丁酯废水悬浮颗粒物浊度和COD的去除率分别为99.9%和6.8%,对溶解性有机碳(可滤过0.45 μm 膜)也有5.8%的去除率,说明实现了废水中胶体物质的大量去除。

参考文献

[1] 王沛喜,姜迎春. 丙烯酸丁酯的制备及市场. 丙烯酸化

- 工及应用, **2000**,13(3):17-20
Wang P. X., Jiang Y. C. Butyl acrylate preparation and market. *Acrylic Chemical and Application*, **2000**,13(3):17-20 (in Chinese)
- [2] 陈宏娟,张晨,杜中杰,等.反相浓乳液方法制备多孔聚丙烯酸丁酯弹性材料. *合成橡胶工业*,**2006**,29(3):186-188
Chen H. J., Zhang C., Du Z. J., et al. Preparation of poly (butyl acrylate) porous eastover via inverse concentrated emulsion. *China Synthetic Rubber Industry*, **2006**, 29 (3):186-188 (in Chinese)
- [3] 李海燕,肖华飞,马林,等.丙烯酸及丙烯酸酯生产废水处理工程. *给水排水*,**2010**,36(3):58-61
Li H. Y., Xiao H. F., Ma L., et al. Acrylic and acrylic acid production wastewater treatment projects. *Water & Wastewater Engineering*,**2010**,36(3):58-61 (in Chinese)
- [4] 李国屏.丙烯酸及其酯的废水处理. *上海化工*,**1994**,9(1):29-31
Li G. P. Acrylic and acrylic acid wastewater treatment. *Shanghai Chemical Industry*, **1994**, 9 (1):29-31 (in Chinese)
- [5] 康莹莹,宋玉栋,周岳溪,等.电渗析在丙烯酸丁酯废水中的应用. *环境工程学报*,**2011**,5(3):494-498
Kang Y. Y., Song Y. D., Zhou Y. X., et al. Pretreatment of butyl-acrylate wastewater by electrodialysis. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, **2011**, 5 (3):494-498 (in Chinese)
- [6] 李鑫,宋玉栋,周岳溪,等.双极膜电渗析法回收丙烯酸丁酯废水中的有机酸. *化工环保*,**2011**,31(3):197-201
Li X., Song Y. D., Zhou Y. X., et al. Recovery of organic acid from butyl-acrylate wastewater by bipolar membrane electrodialysis process. *Environmental Protection of Chemical Industry*,**2011**,31(3):197-201 (in Chinese)
- [7] Novelist S., Kongbangkerd T., Kulbe K. D. Separation of gluconate with conventional and membrane electro dialysis. *J. Member. Sci.*,**1997**,114(1):45-50
- [8] Lee E. G., Moon S. H., Chang Y. Lactic acid recovery using two-stage electrodialysis and its modeling. *J. Membrane. Sci.*, **1998**,145(1):53-66
- [9] Delgado S., Diaz F., Otero N. Behavior of inorganic coagulants in secondary effluents from a conventional wastewater treatment plant. *Filtration and Separation*,**2003**,40(7):42-46
- [10] 张维润. *电渗析工程学*.北京:科学出版社,**1995**
- [11] 卢静芳,孔祥媚,赵瑞斌.强化混凝去除微污染湖泊水浊度及 TOC 的研究. *环境科学与技术*,**2010**,33(3):76-79
Lu J. F., Kong X. M., Zhao R. B. Improvement and development trend of wastewater reuse technology. *Environmental Science & Technology*, **2010**, 33 (3):76-79 (in Chinese)
- [12] 朱哲,李涛,王东升,等.阳离子型聚丙烯酰胺投加量对絮体性状特征的影响. *环境化学*,**2007**,26(2):175-179
Zhu Z., Li T., Wang D. S., et al. Effect of cationic PAM dosage on the micro-properties of flocks. *Environmental Chemistry*,**2007**,26(2):175-179 (in Chinese)
- [13] Merzouk B., Gourich B., Sekki A., et al. Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation-electroflotation technique a case study. *Hazard. Mater.*, **2009**,164(1):215-222
- [14] Eckenfelder W. W. *Industrial Water Pollution Control (Third Edition)*. McGraw-Hill Companies Inc., **2002**
- [15] 霍守亮,黄显怀,刘绍根,等.膜生物反应器在污水处理中膜污染及其防治. *工业水处理*,**2004**,24(8):9-13
Huo S. L., Huang X. H., Liu S. G., et al. Membrane fouling and its controlling in membrane bioreactor for wastewater treatment. *Industrial Water Treatment*, **2004**, 24(8):9-13 (in Chinese)
- [16] Freilich D., Tanny G. B. The influence of colloid stability on the formation and properties of dynamic hydrous Zr (IV) oxide membranes. *Colloid and Interface Science*, **1980**,77(2):369-378