



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 5 期

Vol.8 No.5

中国科学院
生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

5
2014

目 次

水 污 染 防 治

新型碳源驯化的 SRB 去除酸性矿山废水中 SO_4^{2-} 最佳反应条件	肖丽萍	汪兵兵	魏 芳	裴 格(1705)
粉煤灰砖块对磷酸盐的吸附特性	刘 超	杨永哲	宛 娜(1711)	
木屑黄原酸盐对双离子体系中铜镍的吸附	夏 璐	胡伊旭	张博涵	李国磊(1718)
孔径对微孔曝气充氧性能的影响	庄 健	王洪臣	齐 鲁	刘国华
改进型生物质阴离子交换纤维制备及吸附性能	陈 卓	许 丹	张 敏	夏世斌(1727)
复合改性海泡石同步处理废水中的氮磷	代 娟	刘 洋	熊佰炼	张进忠(1732)
溴酸钾对二茂铁(Fe)非均相 Fenton 效能的影响	王 倩	田森林	宁 平(1739)	
Fenton-超声联合处理金刚烷胺制药废水	樊 杰	曾 萍	张盼月	宋永会
Vis/Co-TiO ₂ /KHSO ₅ 体系 Fenton-光催化协同降解苯酚	陈晴空	谢志刚	吉芳英	郭 倩
不同 Ca/P 比下碳酸根对磷酸钙沉淀反应回收磷的影响	赵亚丽	宋永会	钱 锋	程建光
“控源-截污-资源化”模式处理面源污染	汤爱萍	王金保	李 爽(1761)	
藻类吸附剂对六价铬的吸附特性	王 岩	代群威	陈国华	高 超
改性花生壳对 Cd(II) 和 Pb(II) 的吸附机理	雷 娟	易筱筠	杨 琛	卢桂宁
骨炭对 Pb(II) 的吸附特性	张金利	刘大伟	杨 庆(1784)	
吸附剂浓度对 Zn(II) 和 Cd(II) 在高岭土上吸附的影响	郭亚利	严锦根	侯万国(1791)	
US/Zn ⁰ 体系降解水中的对硝基苯甲酸	宋亚丽	张光明	常爱敏	王 丽
活性污泥法处理炼油残渣废水	阎 辉	张大涌	李志娟	宿新泰
微波活化过硫酸钾深度处理印染废水	赵 琪	赵哲颖	谭德俊	陈泉源(1807)
氧化石墨烯/Fe ₃ O ₄ 磁性纳米材料固定辣根过氧化物酶及其降解酚类物质	常 青	黄 佳	江国栋	唐和清
5 种植物材料的水解释碳性能及反硝化效率	钟胜强	杨 扬	陶 然	李 丽
氨基修饰介孔分子筛 SBA-15 对水中 Pb ²⁺ 吸附性能	魏建文	韦真周	廖 雷	赵淞盛
三乙二醇二甲基丙烯酸酯为交联剂制备的高吸水树脂对重金属的吸附	李国玉	司马义	努尔拉	(1831)
铁盐絮凝 + MBR 处理钨冶炼含神含氮废水	钟常明	王汝胜	吴昆泽	余夏静(1840)
菖蒲和空心菜在处理微污染河水潜流人工湿地中的应用	黄 磊	张绍博	鲁言言	杜 刚
生物沸石球强化吸附氨氮废水的动力学研究	唐 海	沙俊鹏	赵 翔(1851)	
磁性膨润土的制备、表征及类 Fenton 催化降解橙黄 II	王光华	万 栋	李文兵	鲁云洲
含吡啶有机废水物化预处理工艺	徐之寅	刘志英	陆雪梅	徐炎华(1863)
混凝-膜组合工艺处理水产养殖废水	陈 强	黎中宝	陈明岭(1869)	
纳滤工艺去除水中微量内分泌干扰物	沈智育	沈耀良	郭海娟(1877)	
水中柴油污染物的微生物降解及其动力学	闫 雪	夏巧华	姜洪吉	丁金城
河流型水源地源水典型氯化消毒副产物及其前体物的强化去除工艺	黄 辉	孙瑞林	程志鹏	费相琴
填料表面亲水改性对 MBBR 处理船舶生活污水的影响	杨东方	齐 崑	苏荣欣	何志敏(1895)
活性焦对水中汞的吸附性能	李志超	兰华春	武利园	刘会娟
聚甲酰胺酰胺树脂对水中 Cu ²⁺ 的吸附	李青彬	冯云晓	程永华(1906)	
磁性膨胀石墨对甲基橙模拟废水的吸附脱色	丁小惠	王 榕	刘 燕	张延宗
石英砂滤料表面润湿改性	包彩霞	常 青	未碧贵(1915)	
EGSB 反应器处理焦化废水的颗粒污泥反应动力学研究	汪艳霞	董春娟	耿昭宇	翟 伟(1921)
微生物絮凝剂的制备及其对城市污水厂污泥的脱水	张 峰	尹 华	叶锦韶	彭 辉
牡蛎壳生物滤池处理含盐污水中的硝化特性	彭义亮	熊小京	郑天凌	黄凌风(1933)
控氧生物膜系统对微污染水体的脱氮性能	张 华	何闪英(1939)		
4A 沸石分子筛处理中低浓度氨氮废水	桂 花	谭 伟	李 彬	白 梅
			杨 敏	王红斌(1944)

短程硝化处理炼油催化剂废水	赵小晶 胡 奇 陈 扬 胡威夷 周 戈 袁 青 高大文(1951)
表面活性剂强化抽出处理含水层中 DNAPL 污染物的去除特征	伍 斌 杨 宾 李慧颖 杜晓明 杜 平 房吉敦 郭观林 李发生(1956)
宝钢焦化废水处理脱氮研究与实践	金学文 李恩超 吕树光 邱兆富 杨 帆(1965)
载钴活性焦对 As(V) 的吸附性能与去除效果	周 宁 彭先佳(1970)
固定化白腐真菌处理含酚废水	樊鹏跃 崔建国 贾 贺(1977)
铁基膨润土对水中磷酸根的吸附热力学及动力学研究	商丹红 包 敏(1982)
微生物制剂强化 SBR 处理系统	刘 珍 黄瑞敏 何杰财(1987)
颗粒物粒径和有机物分子量对超滤膜污染的影响	王红雨 齐 鲁 陈 杰 陈 清 李圭白(1993)
固定化菌藻微球的制备、表征及其对富营养化湖水的修复	郑 佩 陈芳艳 唐玉斌 盛建国 成小锋(1999)
进水碳负荷浓度对垂直潜流式人工湿地中植物根系微生物动态的影响	程 璞 张 慧 陈 健(2006)

大气污染防治

PPS 滤布对柴油机排放 PM 的过滤效率	闫 妍 孟忠伟 陈 鹏 李 路(2013)
燃煤工业锅炉 PM _{2.5} 排放规律	尹连庆 殷春肖 赵浩宁 徐 铮(2020)
优化的甘蔗皮渣吸附居室甲醛	陈 莉 窦 婵(2025)
改进钒基 SCR 脱硝催化剂的抗碱金属中毒性能	石晓燕 丁世鹏 贺 泓 刘汉强 路光杰(2031)
二次活化活性炭纤维吸附回收二氯甲烷	李香燕 赵 轩 刘晓光 赵海猛(2035)
泡沫镍负载改性 TiO ₂ 降解甲醛	马云飞 陈宗家(2040)
锡冶炼含砷烟尘低温陶瓷固化技术	罗中秋 周元康 张召述 周新涛 夏举佩(2045)

固体废物处置

长期保藏对厌氧氨氧化污泥脱氮性能的影响	袁 怡 黄 勇 李 祥 郑宇慧 潘 杨 李 勇 李大鹏(2051)
pH 值对烧结砖中重金属释放的影响	田梦莹 杨玉飞 黄启飞 张增强 何 洁 于泓锦(2057)
超声破解污泥上清液对 A ² O 工艺脱氮除磷和微生物群落结构的影响	刘亚利 袁一星 李 欣 詹技灵 杜茂安 吴晨光(2063)
废旧冰箱拆解聚氨酯泡沫塑料制备 PU/PP 复合材料	兰永辉 方益民 杨文清 吴吉权(2068)
剩余污泥催化剂的制备及其脱色性能	孟冠华 孙 曼 刘宝河 张 俊(2073)
添加牛粪对蚯蚓处理污泥的影响	姜宇蛟 朱静平(2079)
回转窑式纯氧熔融焚烧垃圾技术研究	何雪鸿 阎维平(2085)
垃圾堆体固有渗透与孔隙度协同演化特征实验研究	易 富 许 越 刘 磊 田 宇(2091)
废旧混凝土用作水泥稳定基层的实验研究	杨 俊 黎新春 陈峻松 谭 渊 胡圣列 钟 颂(2097)

土壤污染防治

复合纳米材料对土壤重金属离子吸持固化的模拟研究	韩莎莎 柳 婧 赵 焯 呼丽娟 徐东昱 胡存智 郎文聚 李天杰(2104)
-------------------------------	---------------------------------------

环境生物技术

新型微生物菌剂对垃圾渗滤液的除臭效果	徐 锐 唐 昊 文 娅 曹爱新 赵国柱 周传斌(2110)
一株耐铬不动杆菌对十二烷基硫酸钠的降解特性	关向杰 杨海君 黄水娥 贺强礼 狄 准(2117)

环境监测与评价

毒性微生物传感器的研制及应用	王晓辉 王会玲 白志辉(2124)
百菌清农药残留的 SPE-GC 检测	王天丽 刘天成 李 彬 谭 伟 杨 敏 王红斌(2129)
循环流化床锅炉燃煤技术发电厂生命周期评价	李 娇 张 芸 邵 帅 隋秀文 张晓旭(2133)

相关研究

砷离子印迹聚合物的制备及性能评价	宋 卓 冯 流 张添俞(2141)
生物降解实验中的接种物标准化研究	杨 婧 陈晓倩 殷浩文(2146)

CONTENTS

Optimum reaction conditions for removing sulfate in acid mine drainage by SRB domesticated with new organic carbon sources	Xiao Liping Wang Bingbing Wei Fang Pei Ge(1705)
Adsorptive characteristics of fly ash blocks to phosphate	Liu Chao Yang Yongzhe Wan Na(1711)
Adsorption of Cu^{2+} and Ni^{2+} in dual ion system by sawdust xanthate	Xia Lu Hu Yixi Zhang Bohan Li Guolei(1718)
Effects of pore diameter on oxygenation performance in fine pore aeration	Zhuang Jian Wang Hongchen Qi Lu Liu Guohua Li Xiaodong Long Haitao(1723)
Preparation and adsorption properties of improved anion exchange fiber from biomass	Chen Zhuo Xu Dan Zhang Min Xia Shibin(1727)
Simultaneous removal of nitrogen and phosphorus in wastewater by composite modified sepiolite	Dai Juan Liu Yang Xiong Bailian Zhang Jinzhong(1732)
Effect of potassium bromate on efficiency of heterogeneous Fenton catalyzed by ferrocene	Wang Qian Tian Senlin Ning Ping(1739)
Treatment of wastewater from amantadine production by Fenton-ultrasound process	Fan Jie Zeng Ping Zhang Panyue Song Yonghui Li Dongyi(1744)
Synergistic effect of Fenton-photocatalysis through degradation of phenol by Vis/Co-TiO ₂ /KHSO ₅ reaction system	Chen Qingkong Xie Zhigang Ji Fangying Guo Qian Liu Tingyi Xu Xuan(1749)
Effect of carbonate on calcium phosphate precipitation at different Ca/P ratios for phosphorus recovery	Zhao Yali Song Yonghui Qian Feng Cheng Jianguang Liang Hui(1755)
Integrated mode of source controlling-wastewater intercepting-recycling for rural non-point source pollution	Tang Aiping Wan Jinbao Li Shuang(1761)
Cr (VI) adsorption characteristic of alga adsorbent	Wang Yan Dai Qunwei Chen Guohua Gao Chao Wang Xiannian(1769)
Adsorption mechanism of modified peanut shell to Cd (II) and Pb (II)	Lei Juan Yi Xiaoyun Yang Chen Lu Guining Dang Zhi(1775)
Adsorption behaviors of bone char to heavy metal Pb(II)	Zhang Jinli Liu Dawei Yang Qing(1784)
Effect of sorbent concentration on Zn(II) and Cd(II) adsorption on kaolinite	Guo Yali Yan Jingen Hou Wanguo(1791)
Degradation of p-nitrobenzoic acid by US/Zn ⁰ system	Song Yali Zhang Guangming Chang Aimin Wang Li Zong Dongliang(1797)
Treatment of refining alkaline residue wastewater by an activated sludge method	Yan Hui Zhang Dayong Li Zhijuan Su Xintai Niu Chunge(1802)
Tertiary treatment of dyeing wastewater with microwave activated potassium persulfate	Zhao Qi Zhao Zheyang Tan Dejun Chen Quanyuan(1807)
Immobilization of horseradish peroxidase onto graphene oxide/Fe ₃ O ₄ magnetic nanoparticles and its use for degradation of phenols	Chang Qing Huang Jia Jiang Guodong Tang Heqing De Lihei(1812)
Carbon releasing characteristics and denitrification effects of five plant materials	Zhong Shengqiang Yang Yang Tao Ran Li Li Zhang Min Zhao Jiancheng(1817)
Aqueous Pb(II) removal by adsorption on amine-functionalized mesoporous silica SBA-15	Wei Jianwen Wei Zhenzhou Liao Lei Zhao Songsheng Wang Dunqiu(1825)
Heavy metal adsorption of superabsorbent polymer absorbents using three glycol dimethyl acrylate as crosslinking agent	Li Guoyu Ismayil Nurulla(1831)
Treatment of tungsten smelting wastewater containing arsenic and ammonia nitrogen by ferric salt flocculation + MBR	Zhong Changming Wang Rusheng Wu Kunze Yu Xiajing(1840)
Application of <i>Acorus calamus</i> and <i>Ipomoea aquatica</i> planted in subsurface horizontal flow constructed wetlands purifying slightly polluted river water	Huang Lei Zhang Shaobo Lu Yanyan Du Gang Gao Xu(1845)
Kinetic study of adsorption enhancement on ammonia nitrogen wastewater by biological zeolite ball	Tang Hai Sha Junpeng Zhao Xiang(1851)
Synthesis, characterization and Fenton-like degradation for Orange II of magnetic bentonite	Wang Guanghua Wan Dong Li Wenbing Lu Yunzhou Chen Kun(1857)
Pretreatment process of organic wastewater containing pyridines	Xu Zhiyin Liu Zhiying Lu Xuemei Xu Yanhua(1863)
Aquacultural wastewater treatment by coagulation-membrane filtration combination process	Chen Qiang Li Zhongbao Chen Mingling(1869)
Removal of trace endocrine disruptors from polluted water with nanofiltration process	Shen Zhiyu Shen Yaoliang Guo Haijuan(1877)
Biodegradation and kinetics of diesel pollutants in water	Yan Xue Xia Qiaohua Jiang Hongji Ding Jincheng Lu Jie(1883)
Enhanced processes for removal of typical chlorinated disinfection by-products and their precursors from river-type water source	Huang Hui Sun Ruilin Cheng Zhipeng Fei Xiangqin Wei Changmei Xu Jiming(1888)
Effect of carriers' hydrophilicity on treatment of wastewater from ship by moving bed biofilm reactor	Yang Dongfang Qi Wei Su Rongxin He Zhimin(1895)
Adsorptive behaviors of activated coke towards aquatic mercury	Li Zhichao Lan Huachun Wu Liyuan Liu Huijuan Qu Jihui(1899)
Adsorption of copper(II) from aqueous by polyazomethineamides	Li Qingbin Feng Yunxiao Cheng Yonghua(1906)
Decolorization of wastewater containing methyl orange by adsorption of magnetic exfoliated graphite	Ding Xiaohui Wang Rong Liu Yan Zhang Yanzong Deng Shihuai Yang Gang Shen Fei(1911)
Surface modification of quartz sand filter for wetting property	Bao Caixia Chang Qing Wei Bigui(1915)
Kinetics research of granules in EGSB reactor treating coking wastewater	Wang Yanxia Dong Chunjuan Geng Zhaoyu Zhai Wei(1921)

- Microbial flocculant preparation and its application in dewatering of sewage treatment plant sludge** Zhang Feng Yin Hua Ye Jinshao Peng Hui Yang Simin Liu Jing(1927)
- Nitrification of saline sewage using oyster shell packing biofilter** Peng Yiliang Xiong Xiaojing Zheng Tianling Huang Lingfeng(1933)
- Nitrogen-removal ability of oxygen controlled biofilm system for micro-polluted water** Zhang Hua He Shanying(1939)
- Removal ammonia-nitrogen from medium-low concentration wastewater by 4A zeolite molecular sieve** Gui Hua Tan Wei Li Bin Bai Mei Yang Min Wang Hongbin(1944)
- Treatment of catalyst wastewater with shortcut nitrification-denitrification in a sequencing batch reactor** Zhao Xiaojing Hu Qi Chen Yang Hu Weiyi Zhou Ge Yuan Qing Gao Dawen(1951)
- Removal characteristic of DNAPL contaminants in surfactant enhanced equifer remediation** Wu Bin Yang Bin Li Huiying Du Xiaoming Du Ping Fang Jidun Guo Guanlin Li Fasheng(1956)
- Research and practice for total nitrogen removal in Baosteel coking wastewater treatment** Jin Xuewen Li Enchao Lü Shuguang Qiu Zhaofu Yang Fan(1965)
- Sorption properties and removal effect of As(V) on activated coke-supported Co** Zhou Ning Peng Xianjia(1970)
- Treatment of phenol-containing wastewater using immobilized white rot fungi** Fan Pengyue Cui Jianguo Jia He(1977)
- Study on kinetics and thermodynamics for phosphate in aqueous solution adsorption onto iron-modified bentonite** Shang Danhong Bao Min(1982)
- Bio-augmentation of SBR with microbial agent** Liu Zhen Huang Ruimin He Jiecai(1987)
- Effects of particle sizes and organics molecular weights on ultrafiltration membrane fouling in drinking water treatment** Wang Hongyu Qi Lu Chen Jie Chen Qing Li Guibai(1993)
- Preparation, characterization of immobilized bacteria-algae microspheres and bioremediation of eutrophic lake water** Zheng Pei Chen Fangyan Tang Yubin Sheng Jianguo Cheng Xiaofeng(1999)
- Effects of influent carbon loading on rhizosphere microbial diversity in vertical subsurface-flow constructed wetland** Cheng Pu Zhang Hui Chen Jian(2006)
- Filtration efficiency of PPS fabric for trapping diesel engine emitted PM** Yan Yan Meng Zhongwei Chen Peng Li Lu(2013)
- Regular pattern of PM_{2.5} emission from coal-fired industrial boilers** Yin Lianqing Yin Chunxiao Zhao Haoning Xu Zheng(2020)
- Adsorption of formaldehyde in living room by optimized sugarcane skin** Chen Li Dou Chan(2025)
- Improvement of alkali resistance of vanadium-titanic-based catalysts for selective catalytic reduction of NO_x by NH₃** Shi Xiaoyan Ding Shipeng He Hong Liu Hanqiang Lu Guangjie(2031)
- Secondary activation of activated carbon fiber and its adsorption capability to dichloromethane** Li Xiangyan Zhao Xuan Liu Xiaoguang Zhao Haimeng(2035)
- Photocatalysis of formaldehyde with porous nickel mesh loaded with modified TiO₂** Ma Yunfei Chen Zhongjia(2040)
- Solidification/stabilization of arsenic-bearing fly ash from a tin refining process with chemically bonded ceramics cement** Luo Zhongqiu Zhou Yuankang Zhang Zhaoshu Zhou Xintao Xia Jupei(2045)
- Influence of long-term preservation on nitrogen removal capabilities of ANAMMOX sludge** Yuan Yi Huang Yong Li Xiang Zhen Yuhui Pan Yang Li Yong Li Dapeng(2051)
- Effects of pH on release of heavy metal in sintered brick** Tian Mengying Yang Yufei Huang Qifei Zhang Zengqiang He Jie Yu Hongjin(2057)
- Effects of ultrasonic-disintegrated sludge supernatant on nutrient removal performances and microbial community structure in A²O process** Liu Yali Yuan Yixing Li Xin Zhan Jiling Du Maoan Wu Chenguang(2063)
- PU/PP composite material fabricating from polyurethane foam of scrap refrigerator** Lan Yonghui Fang Yimin Yang Wenqing Wu Jiquan(2068)
- Preparation and decoloring performance of catalyst from excess sludge** Meng Guanhua Sun Man Liu Baohe Zhang Jun(2073)
- Influence of cow dung addition on sewage sludge treatment by earthworms** Jiang Yujiao Zhu Jingping(2079)
- Pure oxygen melting incineration technology of municipal solid waste in rotary kiln** He Xuehong Yan Weiping(2085)
- Experimental study on synergetic characteristics of intrinsic permeability and porosity of landfill piles** Yi Fu Xu Yue Liu Lei Tian Yu(2091)
- Experimental study on waste concrete used as cement stabilized base** Yang Jun Li Xinchun Chen Junsong Tan Yuan Hu Shenglie Zhong Song(2097)
- Simulation study on sorption and fixation of composite nanomaterial to heavy metal ions in soil** Han Shasha Liu Jing Zhao Ye Hu Lijuan Xu Dongyu Hu Cunzhi Yun Wenju Li Tianjie(2104)
- Effect of odor removal from refuse leachate treating by a new microbial agent** Xu Rui Tang Hao Wen Ya Cao Aixin Zhao Guozhu Zhou Chuanbin(2110)
- Degradation characteristics of sodium dodecyl sulfate by a chromium resistant *Acinetobacter* strain** Guan Xiangjie Yang Haijun Huang Shuie He Qiangli Di Zhun(2117)
- Research and application of toxic microbial sensor** Wang Xiaohui Wang Huiling Bai Zhihui(2124)
- Determination of chlorothalonil pesticide residues by SPE-GC** Wang Tianli Liu Tiancheng Li Bin Tan Wei Yang Min Wang Hongbin(2129)
- Life cycle assessment of thermal power plant based on circulating fluidized bed combustion technology** Li Jiao Zhang Yun Shao Shuai Sui Xiuwen Zhang Xiaoxu(2133)
- Synthesis and performance evaluation of As(III)-ion-imprinted polymer** Song Zhuo Feng Liu Zhang Tianyu(2141)
- Study of inoculum standardization for biodegradation test** Yang Jing Chen Xiaoqian Yin Haowen(2146)

牡蛎壳生物滤池处理含盐污水中的硝化特性

彭义亮^{1,2} 熊小京^{1,2*} 郑天凌³ 黄凌风²

(1. 厦门大学深圳研究院, 深圳 518057; 2. 厦门大学环境与生态学院, 厦门 361005;
3. 厦门大学生命科学学院, 厦门 361005)

摘要 采用牡蛎壳为曝气生物滤池填料,以含 NaCl 的生活污水为处理对象,在 SBR 操作条件下,系统考察进水 NaCl 浓度、曝气时间及进水 pH 值等对硝化性能的影响。结果表明,进水 NaCl 浓度为 10 ~ 15 g/L 时,平均氨氮去除率可稳定在 97% 以上;较高浓度 NaCl 对亚硝化菌活性影响较弱,对硝化菌活性影响较强,特别是在日曝气时间少于 12 h 时,其出水中亚硝氮的含率大于 50%;当进水 pH 值在 6 ~ 9 变化时,反应器内 pH 值可稳定在 6.5 ~ 7.5,硝化性能良好,表明牡蛎壳填料可为硝化反应提供碱度。

关键词 牡蛎壳生物滤池 生活污水处理 硝化反应 氯化钠浓度

中图分类号 X703 **文献标识码** A **文章编号** 1673-9108(2014)05-1933-06

Nitrification of saline sewage using oyster shell packing biofilter

Peng Yiliang^{1,2} Xiong Xiaojing^{1,2} Zheng Tianling³ Huang Lingfeng²

(1. Shenzhen Institute, Xiamen University, Shenzhen 518057, China; 2. College of Environmental and Ecological, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 3. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract The performance on which oyster shell packing biofilter removed ammonia from saline sewage was investigated using different parameters, such as influent NaCl concentration, aeration time and pH. In sequencing batch experiments, 97 percent of ammonia in sewage was removed at concentrations of NaCl ranging from 10 to 15 g/L, indicating that ammonia oxidizing bacteria could tolerate a high salinity. In contrast, nitrite oxidizing bacteria exhibited sensitive to this salinity, resulting in nitrite accumulation. Over 50 percent of nitrite accumulation rate was observed at aeration time of less than 12 h. In the influent pH of 6 ~ 9, nitrification could proceed successfully at a favourable pH of 6.5 ~ 7.5, suggesting that oyster shell played a very important role in alkalinity supply.

Key words oyster shell packing biofilter; sewage treatment; nitrification; NaCl concentration

据报道,我国淡水资源的人均占有量约为世界人均水平的 1/4,到 2011 年全国严重缺水的城市达到 400 多座,约占占城市总数的 2/3。为了缓解淡水资源紧缺问题,世界各国都加快了开发和利用新水源的步伐。统计显示,日本与西方发达国家的海水利用规模已达到 $1.2 \sim 2.5 \times 10^{11} \text{ m}^3$,香港和青岛海水年利用量已分别达到 $2.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $8.76 \times 10^8 \text{ m}^3$ [1-4]。

研究表明,城市生活用水中约 35% 用于冲厕,沿海城市如果采用海水冲厕,可有效地缓解用水紧缺的压力。然而,由于海水冲厕污水具有较高的盐度,这对污水的生化处理工艺势必产生不利的影 响 [5-8]。王静等 [9] 采用完全混合活性污泥系统处理

含海水污水,发现当海水含量达到 36% 时氨氮去除率明显降低,高盐度下的适宜 pH 值为 8.0 ~ 8.5。陆金仁等 [10] 采用固定化活性污泥处理海水冲厕污水,发现海水含量在 25% ~ 50% 范围的增大对氨氮的去除没有显著影响。于德爽等 [11] 发现,在处理含有 30% 海水的生活污水时亚硝酸盐的积累率可达 94%。张雨山等 [12] 发现,厌氧塘对冲厕海水污水的氨氮去除率为 24.9%。崔正国等 [13] 采用改进膜生

基金项目: 深圳市科技研发资金资助项目 (JCYJ20120830153030587); 深圳虚拟大学园专项经费资助项目 (2012)

收稿日期: 2012-03-21; **修订日期:** 2012-04-24

作者简介: 彭义亮 (1986 ~), 男, 硕士研究生, 主要从事水污染控制工程方面的研究工作。E-mail: 271991773@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: xiongxj@xmu.edu.cn

物反应器处理海水冲厕污水,氨氮平均去除率可达98.8%。李晓莉等^[14]采用曝气生物滤池处理封闭循环海水养殖废水,发现通过加大曝气强度使DO达到7.0 mg/L运行,氨氮的除率可提高到73.8%;张延青等^[15]利用竹球作为曝气生物滤池填料处理高浓度含氮海水。结果表明,在滤速为0.5~2.5 m/h、温度为18~28℃、气水比为1:1的条件下,氨氮的去除率在70%以上。

牡蛎壳是在海水环境中形成的生物壳质,耐高盐度腐蚀,且具有适合生物栖息的粗糙表面,有利于高盐条件下固着微生物。此外,牡蛎壳含有多种矿物质,其中碳酸钙占90%以上,可作为良好的碱度剂用于硝化反应过程^[16]。叶志隆等^[17-19]系统考察了贝壳填料曝气生物滤池的硝化反应特性。结果表明,当进水的pH范围在5~9时,硝化性能稳定,贝壳中的碳酸钙的溶出能够满足硝化反应的碱度需求。

报道显示,2009年我国的贝类产量为1 053万t,牡蛎是主要的生产品种。废弃牡蛎壳必须采用填埋处置,露天堆放不仅占用土地,而且散发恶臭,孳生蚊蝇,严重影响了沿海城乡人居环境,如果能将牡蛎壳作为生物填料用于污水处理,则具有以废治污的双赢效果^[20]。因此,本研究拟采用牡蛎壳作为曝气生物滤池填料,以高盐度的生活污水为处理对象,采用序批式(SBR)操作,系统考察进水中的NaCl浓度、曝气时间及初始pH值等因素对牡蛎壳生物滤池的硝化性能影响,探讨较高盐度条件下稳定硝化处理的可行性,为建立海水冲厕污水的高效处理工艺提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验装置与操作条件

实验装置如图1所示;采用SBR操作,用污水泵将初沉池水送入储水桶再分装到各个反应系列桶中。反应器内置多孔承托板,牡蛎壳乱堆于承托板上(直径约3 cm,堆积空隙率约为90%),散气管置于承托板之下,DO为4 mg/L,HRT为34 h(SBR周期按原水换水率70%计),温度为15~30℃。

1.2 原水组成

原水取自深圳市龙岗区某产业园生活污水处理站的初沉池,其主要水质参数为:100~400 mg/L COD,15~45 mg/L NH_4^+-N ,2~8 mg/L 总磷,0.5~4.0 mg/L $\text{NO}_3^- -\text{N}$,0.05~0.1 mg/L $\text{NO}_2^- -\text{N}$;pH值为6~8。

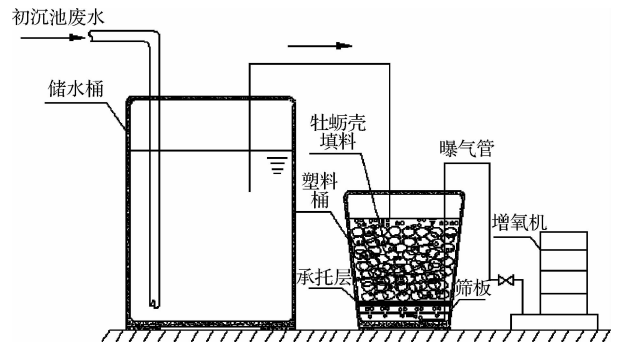


图1 实验装置图

Fig. 1 Diagram of experimental apparatus

1.3 操作方法

1.3.1 挂膜阶段

于3个30 L的塑料桶,分别放入12 L牡蛎壳填料、20 L原水和0.3%的EM菌原液,采用序批式、24 h曝气操作,每天用50%的新原水交换反应液,并定期观察牡蛎壳表面的生物膜附着及检测氨氮去除效果等进展情况,当氨氮去除率稳定在80%以上时,认为挂膜操作完成(约需2~3周)。

1.3.2 影响实验阶段

取出3个塑料桶内牡蛎壳,混合后均分成5份(堆体积约7.2 L/份),再分装至1至5号反应系列桶中运行各个反应系列。实验中SBR操作周期为24 h,每次更换原水体积占反应体积的70%;用投加NaCl调整原水的盐度,用NaOH和HCl溶液调整原水的pH值;单因素实验进行中,每隔2~3 d对各反应系列取样,分析换水前后的氨氮、硝氮与亚硝氮浓度;当运行至硝化处理基本达到稳定时(硝化率变动范围在5%以内),于操作周期内每隔数小时取样,考察SBR周期内的氨氮、硝氮及亚硝氮浓度的时间变化。

NaCl投加浓度,曝气方式以及初始pH值对牡蛎壳生物滤池硝化性能影响实验的条件为:

(1) NaCl投加浓度的影响:NaCl浓度分别为2、10和15 g/L,pH值为7,连续曝气;

(2) 曝气方式的影响:单周期中的曝气时段分别为8、12和24 h,pH值为7;

(3) 进水pH值的影响:pH值分别6、7、9;连续曝气。

根据实际海水冲厕污水中的盐度水平^[9,10],在设计曝气方式和进水pH值的影响实验方案中,原水的NaCl投加浓度设为10 g/L。

1.4 分析方法

氨氮采用纳氏试剂分光光度法测定;硝氮采用国标的紫外分光光度法(HJ/T 346-2007)测定;亚硝氮采用 N-(1-萘基)-乙二胺分子吸收分光光度法;pH 采用 PHS-3C 便携式 pH 计测定。

2 结果与讨论

2.1 进水 NaCl 浓度对硝化性能的影响

图 2 反映出进水 NaCl 浓度增加对氨氮去除效果的影响。可以看出,虽然实验期间进水的氨氮浓度因生活污水水质波动而出现 13 ~ 45 mg/L 之间的显著变动,但是当进水中的 NaCl 浓度从低浓度的 2 g/L 逐渐增大到较高浓度的 10 和 15 g/L 时,出水的氨氮浓度变动很小,基本稳定在 1.0 mg/L 左右,平均去除率可保持在 97% 左右,表明牡蛎壳生物滤池显示出较高的氨氧化性能,即使 NaCl 浓度达到了 15 g/L 时,出水的氨氮浓度并未出现增大趋势。王静等在采用活性污泥法处理含海水污水时,发现海水含量达到 36% 时氨氮去除率明显降低^[9]。虽然本实验反应体系中的 NaCl 浓度值已超过了海水含率为 50% 的盐度(海水的最大盐浓度约为 25 g/L),氨氮去除率并未出现降低趋势。由此推断,在较高盐度环境中形成的牡蛎壳生物膜内可能生存着耐受较高盐度的硝化菌^[7]。

图 3 给出了进水 NaCl 浓度对出水氧化态氮浓度的影响。可以看出,在进水的 NaCl 浓度从 2 g/L 逐渐增大到 10 ~ 15 g/L 期间,滤池出水中氧化态氮(NO₂-N + NO₃-N)浓度在 10 ~ 45 mg/L 之间变动,其趋势与图 2 中进水氨氮的浓度变动基本一致,表明在较高盐度环境条件下,氨氮主要被转化为氧化态氮。从图中还看到,进水中氧化态氮浓度为 7 ~ 12 mg/L,这是换水时 30% 剩余反应液中含有的氧化态氮。

图 4 反映出进水 NaCl 浓度分别为 2、10 和 15 g/L

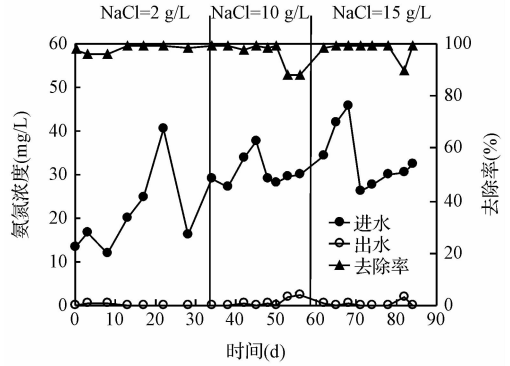


图 2 进水 NaCl 浓度对氨氮去除效果的影响
Fig. 2 Effect of influent NaCl concentration on ammonia removal

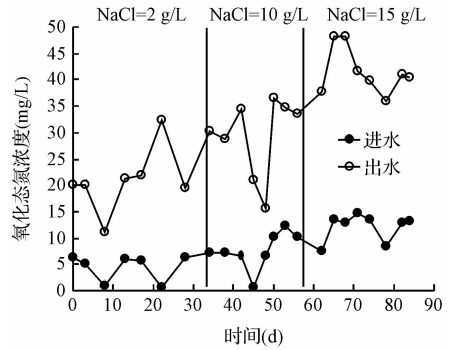


图 3 进水 NaCl 浓度对出水氧化态氮浓度的影响
Fig. 3 Effect of influent NaCl concentration on production of oxidized nitrogen

运行的硝化特性比较。可以看出,当进水 NaCl 浓度为 2 g/L 时,在反应 12 h 时氨氮浓度从 40 mg/L 降至 1.0 mg/L,97.5% 的氨氮被去除,亚硝氮浓度在反应 7 h 时达到最大的 1.0 mg/L、反应 12 h 时降至 0;而在进水 NaCl 浓度为 10 和 15 g/L 时,在反应 12 h 时氨氮浓度分别降至 17.2 mg/L 和 19.7 mg/L,仅有 58.2% 和 52.0% 的氨氮被去除,亚硝氮浓度达到

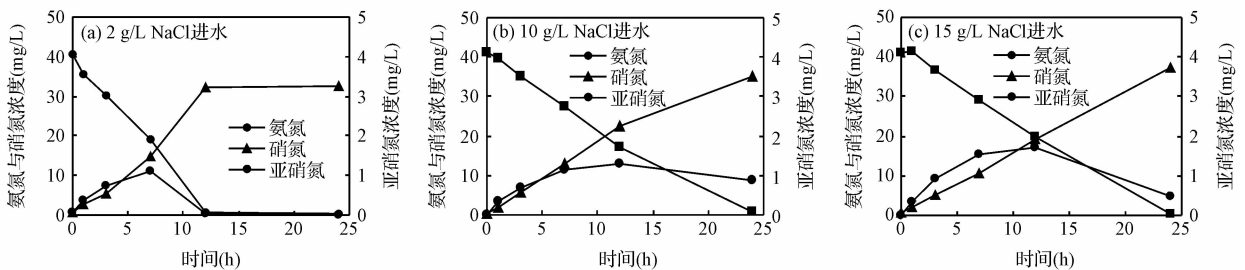


图 4 不同 NaCl 浓度进水的硝化特性比较

Fig. 4 Nitrification of sewage at various NaCl concentrations

最大(1.2~1.5 mg/L),反应 24 h 时,氨氮浓度均降至 1.0 mg/L 左右,亚硝氮浓度稳定在 0.5 mg/L 左右。好氧生物氨氧化反应中,氨氮首先在亚硝酸化菌的作用下转化为亚硝酸态氮,之后在硝酸化菌的作用下转化为硝酸态氮,当硝酸化菌活性低于亚硝酸化菌时,就会出现亚硝氮现象。当反应体系中的 NaCl 浓度高于 10 g/L 时,与亚硝酸化菌相比硝酸化菌更容易受到盐度抑制影响,表现为出水中含有亚硝氮。该结果与于德爽等研究含海水污水的短程硝化反硝化中的结论取得一致^[11]。

2.2 曝气时间对硝化性能的影响

图 5 反映出进水 NaCl 浓度为 10 g/L、采用 8、12 和 24 h/d 曝气操作时的硝化性能比较。可以看出,在采用 8 h/d 和 12 h/d 曝气运行时,出水中氧化态氮的平均生成率分别为 20% 和 40% 左右,而采用 24 h 曝气时可达 75% 左右。可见较高盐度进水条件下,不充足的曝气运行容易导致氨氮转化率的降低。

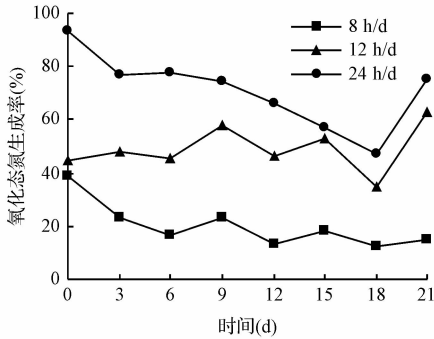


图 5 曝气时间对硝化性能的影响

Fig. 5 Effect of aeration time on production of oxidized nitrogen

图 6 反映出曝气时间对亚硝氮积累率的影响。可以看出,当采用 8 h/d 和 12 h/d 曝气操作时,运行达到稳定时的亚硝氮积累率分别稳定在 60% 和 50% 左右,而采用 24 h/d 曝气操作时,亚硝氮积累率仅为 7.5%,我们推测,在 SBR 运行周期中的 12~24 h,亚硝态氮在分子态的氧作用下转化为硝态氮。可见较高盐度的进水条件下,曝气时间不能短于 12 h/d,否则出水中的亚硝氮容易产生积累。

2.3 进水 pH 值对硝化性能的影响

海水水质监测数据显示,海水的 pH 值范围为 8.0~9.5,含海水的生活污水 pH 值基本在 6~9 范围变动^[4-6]。图 7 反映出进水 pH 值分别为 6、7 和 9

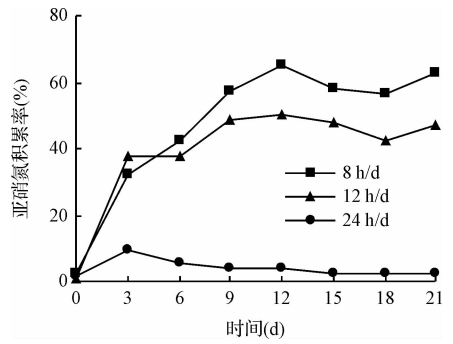


图 6 曝气时间对亚硝氮积累率的影响

Fig. 6 Effect of aeration time on nitrite accumulation rate

时,出水氨氮、硝态氮及亚硝态氮的浓度比较。可以看出,各进水 pH 值反应系列的硝化性能基本保持在同一水平,氨氮平均去除率与氧化态氮平均生成率均能达到 97% 和 90% 以上,表明较高盐度的进水条件下,弱酸性和弱碱性的进水对牡蛎壳生物滤池的硝化性能影响很小。

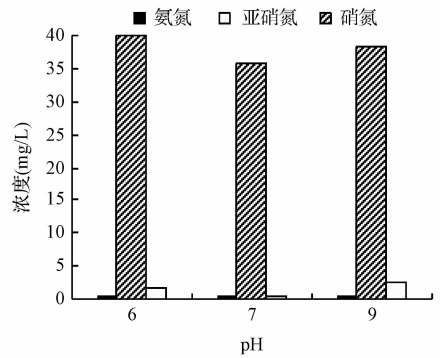


图 7 进水 pH 值对硝化性能的影响

Fig. 7 Effect of influent pH on nitrification

图 8 反映出不同进水 pH 条件下反应体系 pH 值的时间变化。可以看出,当反应时间大于 2 h 时,

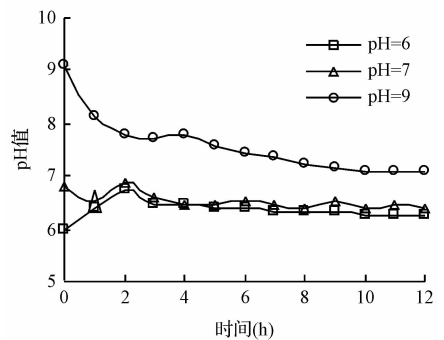


图 8 不同进水 pH 值的反应体系 pH 值的时间变化

Fig. 8 Time course of pH in biofilter at various influent pH

进水 pH 值分别为 6 和 7 的反应体系 pH 稳定在 6.5 左右,而进水 pH 为 9 的反应体系 pH 稳定在 7.5 左右;究其原因,可能是在 pH 值为 6 时牡蛎壳容易溶出钙离子为反应体系提供碱度,表现为反应体系的 pH 值逐渐上升,而在 pH 值为 9 时反应体系自身的碱度优先被硝化反应利用,表现为反应体系中的 pH 逐渐降低^[17-19]。

3 结 论

(1) 牡蛎壳生物滤池在处理 NaCl 浓度为 10 ~ 15 g/L 的生活污水时,硝化性能良好,平均氨氮去除率达到 97% 以上。

(2) 高 NaCl 浓度环境中亚硝化菌活性更容易受到抑制,当日曝气时间小于 12 h 时,出水中亚硝氮积累率达到 50% 以上。

(3) 进水 pH 值在 6 ~ 9 范围的变动不会对硝化性能产生影响,牡蛎壳填料对弱酸性进水显示出良好的缓冲作用。

参 考 文 献

- [1] 程宏伟, 林里, 刘德明. 香港应用海水冲厕工程综述. 福建建筑, **2010**, (8): 1-3
Cheng Hongwei, Lin Li, Liu Deming. Application of Hongkong seawater toilet-flushing engineering. Fujian Jianzhu, **2010**, (8): 1-3 (in Chinese)
- [2] 刘洪滨. 青岛市海水利用产业发展现状及展望. 海洋通报, **2006**, 25(2): 34-40
Liu Hongbin. Development status and forecast of seawater utilization industry in Qingdao City. Marine Science Bulletin, **2006**, 25(2): 34-40 (in Chinese)
- [3] 刘康. 海水冲厕利用前景分析——以青岛市为例. 海洋开发与管理, **2003**, 20(6): 17-19
Liu Kang. Prospect analysis of seawater toilet-flushing utilization—A case study of Qingdao City. Ocean Development and Management, **2003**, 20(6): 17-19 (in Chinese)
- [4] 余占环, 林在芳, 梅亚青. 海水冲厕及后续污水处理的应用与研究进展. 西南给排水, **2008**, 29(6): 9-12
Yu Zhanhuan, Lin Zaifang, Mei Yaqing. Progress in application and research on seawater toilet-flushing and its following sewage treatment. Southwest Water & Wastewater, **2008**, 29(6): 9-12 (in Chinese)
- [5] 崔有为, 王淑莹, 宋学起, 等. NaCl 盐度对活性污泥处理系统的影响. 环境工程, **2004**, 22(1): 19-21
Cui Youwei, Wang Shuying, Song Xueqi, et al. Impact of NaCl salinity on activated sludge treatment system. Environmental Engineering, **2004**, 22(1): 19-21 (in Chinese)
- [6] 寇希元, 张雨山, 王静. 海水冲厕技术研究与应用进展. 海岸工程, **2009**, 28(2): 83-89
Kou Xiyuan, Zhang Yushan, Wang Jing. Progress in research and application on seawater toilet-flushing technologies. Coastal Engineering, **2009**, 28(2): 83-89 (in Chinese)
- [7] Hamoda M., Al-Attar I. Effects of high sodium chloride concentrations on activated sludge treatment. Water Science and Technology, **1995**, 31(9): 61-72
- [8] 邢秀强. 海水冲厕技术存在的问题及解决措施. 中国给水排水, **2007**, 23(10): 5-8
Xing Xiuqiang. Problems of seawater toilet-flushing technologies and solving measures. China Water & Wastewater, **2007**, 23(10): 5-8 (in Chinese)
- [9] 王静, 张雨山. 海水盐度对完全混合活性污泥法氨氮去除率的影响研究. 工业水处理, **2000**, 20(4): 18-19
Wang Jing, Zhang Yushan. Impact of seawater salinity on complete mixing activated sludge process in ammonia nitrogen removal. Industrial Water Treatment, **2000**, 20(4): 18-19 (in Chinese)
- [10] 陆金仁, 崔正国, 单宝田, 等. 固定化活性污泥处理海水冲厕污水研究. 海洋科学, **2006**, 30(2): 10-15
Lu Jinren, Cui Zhengguo, Shan Baotian, et al. Research on treatment of seawater toilet-flushing sewage by immobilized activated sludge. Marine Science, **2006**, 30(2): 10-15 (in Chinese)
- [11] 于德爽, 彭永臻, 宋学起, 等. 含海水污水的短程硝化反硝化. 环境科学, **2003**, 24(3): 50-55
Yu Deshuang, Peng Yongzhen, Song Xueqi, et al. Short-cut nitrification-denitrification of sewage containing seawater. Environmental Science, **2003**, 24(3): 50-55 (in Chinese)
- [12] 张雨山, 王静, 寇希元, 等. 水生植物塘处理冲厕海水的试验研究. 中国给水排水, **2004**, 20(4): 9-12
Zhang Yushan, Wang Jing, Kou Xiyuan, et al. Study on treatment of toilet-flushing seawater by aquatic plant pond. China Water & Wastewater, **2004**, 20(4): 9-12 (in Chinese)
- [13] 崔正国, 单宝田, 王修林, 等. 改进的一体式膜生物反应器处理海水冲厕污水研究. 水处理技术, **2010**, 36(6): 104-107
Cui Zhengguo, Shan Baotian, Wang Xiulin, et al. Research on treatment of seawater toilet-flushing sewage by improved integrative membrane bioreactor. Technology of Water Treatment, **2010**, 36(6): 104-107 (in Chinese)
- [14] 李晓莉, 刘付永忠, 石太宏. 曝气生物滤池应用于封

- 闭循环海水养殖系统的试验研究. 环境科技, **2009**, 22(2): 9-12
- Li Xiaoli, Liu Fu Yongzhong, Shi Taihong. Study on biological aerated filter applied in closed recirculating marine aquaculture system. Environmental Science and Technology, **2009**, 22(2): 9-12 (in Chinese)
- [15] 张延青, 王森, 刘鹰. 利用竹球作为曝气生物滤池填料处理高浓度含氮海水的实验研究. 农业环境科学学报, **2007**, 26(4): 1287-1291
- Zhang Yanqing, Wang Sen, Liu Ying. Research on treatment of strong nitrogen seawater by biological aerated filter with bamboo ball as its media. Journal of Agro-Environment Science, **2007**, 26(4): 1287-1291 (in Chinese)
- [16] 董晓伟, 姜国良, 李立德, 等. 牡蛎综合利用的研究进展. 海洋科学, **2004**, 28(4): 62-65
- Dong Xiaowei, Jiang Guoliang, Li Lide, et al. Research progress in comprehensive utilization of oyster. Marine Science, **2004**, 28(4): 62-65 (in Chinese)
- [17] 叶志隆, 熊小京, 芦敏. 贝壳填料曝气生物滤池的硝化特性研究. 中国给水排水, **2006**, 22(3): 1-3
- Ye Zhilong, Xiong Xiaojing, Lu Min. Research on nitrification characteristics of biological aerated filter with shell as its media. China Water & Wastewater, **2006**, 22(3): 1-3 (in Chinese)
- [18] 熊小京, 叶志隆. 贝壳与球形塑料填料曝气生物滤池的硝化特性比较. 厦门大学学报, **2005**, 44(4): 538-541
- Xiong Xiaojing, Ye Zhilong. A comparison of nitrification characteristics between shell and spherical plastic as biological aerated filter media. Journal of Xiamen University, **2005**, 44(4): 538-541 (in Chinese)
- [19] 熊小京, 申茜, 王新红, 等. 缺氧/好氧牡蛎壳生物滤池的氮磷去除性能研究. 环境科学与技术, **2008**, 31(12B): 76-79
- Xiong Xiaojing, Shen Qian, Wang Xinhong, et al. Study on nitrogen and phosphorus removal performance of Anoxic/Aerobic biological filter with oyster shell as its media. Environmental Science & Technology, **2008**, 31(12B): 76-79 (in Chinese)
- [20] 苗建银, 赵海培, 李超柱, 等. 牡蛎壳的开发利用. 水产科学, **2011**, 30(6): 369-372
- Miao Jianyin, Zhao Haipei, Li Chaozhu, et al. Development and utilization of oyster shell. Fisheries Science, **2011**, 30(6): 369-372 (in Chinese)