

水力筛网+连续流砂滤+吸附工艺处理海水养殖废水

曾东¹, 林方敏¹, 吴根义¹, 胡立琼¹, 申锐君², 周承颖², 许振成¹

(1. 生态环境部 华南环境科学研究所, 广东 广州 510655; 2. 广州湃森环境咨询有限公司, 广东 广州 510530)

摘要: 针对海水养殖废水一次排放量大、污染物种类及结构复杂、寡营养、盐度较高等特点,采用水力筛网+连续流砂滤池+沸石吸附+活性炭吸附工艺处理某对虾人工繁育基地生产废水,稳定运行后,对 COD_{Mn} 、 BOD_5 、无机氮、活性磷酸盐、SS 的去除率分别达到 46.00%、35.25%、62.94%、84.34%、84.73%,处理出水的 COD_{Mn} 、 BOD_5 、无机氮、活性磷酸盐、SS 分别为 (3.72 ± 0.22) 、 (3.38 ± 0.05) 、 (0.39 ± 0.02) 、 (0.04 ± 0.002) 和 (11.43 ± 0.02) mg/L,可达到《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)的一级标准。

关键词: 海水养殖废水; 水力筛网; 连续流砂滤; 吸附

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)16-0097-06

Mariculture Wastewater Treatment by Integrated Process of Hybridmesh, Continuous Flow Sand Filter, and Activated Carbon Adsorption

ZENG Dong¹, LIN Fang-min¹, WU Gen-yi¹, HU Li-qiong¹, SHEN Kai-jun²,
ZHOU Cheng-ying², XU Zhen-cheng¹

(1. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environmental Protection <MEEP>, Guangzhou 510655, China; 2. Guangzhou Passion Environmental Advisory Services Co. Ltd., Guangzhou 510530, China)

Abstract: Mariculture wastewater usually has large amount of wastewater drainage, complex components, low nutrient concentration, and high salinity. The process of hybridmesh, continuous sand filter, zeolite adsorption and activated carbon adsorption was used to treat the wastewater from a shrimp breeding base. Results showed that the removal rates of COD_{Mn} , BOD_5 , inorganic nitrogen, active phosphate and SS were 46.00%, 35.25%, 62.94%, 84.34%, 84.73%, while their concentrations were reduced to (3.72 ± 0.22) , (3.38 ± 0.05) , (0.39 ± 0.02) , (0.04 ± 0.002) , (11.43 ± 0.02) mg/L, respectively. Overall, the effluent quality met the primary level of *Water Drainage Standard for Sea Water Mariculture* (SC/T 9103 - 2007).

Key words: mariculture wastewater; hybridmesh; continuous flow sand filter; adsorption

近年来,随着我国海水养殖业的快速发展,养殖规模和密度不断增加,已成为世界上最大的水产品生产国和出口国^[1],2018年养殖面积和产量分别达到 $208.41 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 和 $2\,000.70 \times 10^4 \text{ t}$,占世界总产量30%以上。与此同时规模化海水养殖废水排放带来的环境问题逐渐凸显,海水养殖废水中常含有

大量的残饵、排泄物以及养殖过程中投加的抗生素、激素等残余化学药物,直接排放不仅容易引起附近区域海水富营养化,甚至导致海洋生态失衡^[2]。根据《2018年中国渔业统计年鉴》^[3]统计,2017年我国因海洋污染等渔业灾情造成的水产品总量损失为 $164.39 \times 10^4 \text{ t}$,经济损失为287.79亿元。与陆源城

市生活污水及工业废水相比,海水养殖废水具有污染物种类及结构复杂、寡营养、高盐度以及一次排水量大等特点,传统的单独污水处理工艺如缺氧-好氧法(A/O)、厌氧氨氧化(ANAMMOX)、生物流化床(BFB)和序批式反应器(SBR)等,虽然都取得了较好的去除效果,但在实际运行中,存在反应器系统启动缓慢,处理周期较长、占地大、难控制、污泥处置困难等问题,并不是海水养殖废水最佳的处理选择^[4-9]。

采用水力筛网+连续流砂滤池+沸石吸附+活性炭吸附组合工艺对海水养殖废水进行处理,具有颗粒物分离率高、启动周期短和易于实现一体化控制等特点,投产后运行良好,出水水质可稳定达到《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)的一级标准。

1 工程概况

海南省某专业从事南美白对虾(以下简称对

虾)苗种人工繁育的民营企业,年产优质种虾20 000对,幼体繁殖能力为300亿尾左右。养殖基地建有相对隔离封闭的亲虾培养场、高标准亲虾培育车间、藻类培育车间。该企业生产废水主要由三部分组成:第一部分为亲虾池清洗废水,设计水量为735 m³/d;第二部分为培育池清洗废水,设计水量为180 m³/d,高峰期为300 m³/d;第三部分为藻类培育池清洗废水,设计水量为150~200 m³/d。系统设计处理水量共计1 250 m³/d,设计出水水质需要达到《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)的一级标准。

1.1 废水水质及排放标准

海水养殖废水中主要有剩余饵料和生物代谢产物、化学药品及治疗剂等成分,分析不同车间及综合排水水质,养殖废水的无机氮和活性磷酸盐指标均明显超标,属微污染营养废水。

废水水质及排放标准见表1。

表1 废水水质及排放标准

Tab.1 Wastewater quality and discharge standards

项目	SS/ (mg·L ⁻¹)	pH 值	COD _{Mn} / (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	无机氮 (以 N 计)/ (mg·L ⁻¹)	活性磷酸盐 (以 P 计)/ (mg·L ⁻¹)	铜/ (mg·L ⁻¹)	锌/ (mg·L ⁻¹)
亲虾车间上排水	—	8.13	1	0.75	0.78	0.09	0.000 2L	0.02
亲虾车间下排水	—	6.65	25.5	13.75	0.45	1.03	0.000 2L	0.003
培育车间上排水	—	8.12	5.36	4.77	2.28	0.18	0.000 2L	0.01
培育车间下排水	—	7.65	7.05	5.55	2.31	0.97	0.000 2L	0.02
藻类培育车间排水	—	8.55	1.90	1.50	0.63	1.13	0.000 2L	0.02
综合排水	55	8.24	6.20	5.00	1.09	0.18	0.000 2L	0.02
排放标准	≤40	6.5~8.5	≤10	≤6	≤0.5	≤0.05	≤0.20	≤0.10

1.2 工艺流程

采用水力筛网+连续流砂滤池+沸石吸附+活性炭吸附组合工艺对养殖废水进行处理,工艺流程见图1。

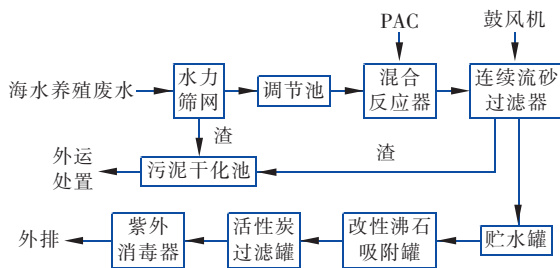


图1 废水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

首先,养殖废水由各车间排入调节池调节水质水量,在调节池的前端设有斜面水力筛进行初滤,采

用200目滤网去除饲料、虾壳残渣及粪便等。经过筛滤后,通过泵将废水提升进入混合反应器和连续流砂滤池进行混凝反应过滤。在混合反应器内投加PAC,对污水进行化学除磷并进一步去除SS及COD等有机污染物。连续流砂过滤器的出水排入贮水罐,经泵加压后进入改性沸石吸附罐,利用改性沸石对氨氮的吸附特性进一步处理废水,经沸石吸附罐处理后的出水进入活性炭过滤罐再处理,出水经紫外消毒后部分回用于池塘养殖,部分排海。斜面水力筛和连续流砂过滤器的滤渣和污泥排至干化场进行自然晾晒脱水,泥饼外运处置,改性沸石和活性炭定期更换。

1.3 主要处理单元

设计处理规模为1 250 m³/d,每天运行20 h,处理水量为62.5 m³/h。项目一次性建成并投入使

用,主要单休分2组并联运行。

① 斜面水力筛

设计采用200目筛网,可去除90%以上的TSS,且不影响排水速率,满足要求。斜面水力筛安装于车间排水末端,1套,设计水量为 $300\text{ m}^3/\text{h}$ 。

② 调节池

1座,有效池容为 $1\,200\text{ m}^3$,HRT为24 h。利用现有沉淀塘改造,内壁采用HDPE膜防渗。配套设备:潜污泵3台(2用1备), $Q=32\text{ m}^3/\text{h}$, $H=20\text{ kPa}$, $N=3\text{ kW}$ 。

③ 管道混合反应器

2套,主要用于养殖废水处理过程中投加PAC,依靠管道内自身水力条件,进行混合作用。设计水量 $Q=32\text{ m}^3/\text{h}$,尺寸为 $\varnothing 0.3\text{ m}\times 1.6\text{ m}$ 。

④ 连续流砂滤器

2套,用于养殖废水总磷及部分有机物的过滤并去除。连续流砂过滤器是一种基于逆流原理的连续工艺,不需要停池反冲洗^[9-10]。集混凝、过滤和反冲洗为一体,在过滤的同时进行滤料的清洗、絮凝、沉淀,过滤时滤料一直处于流动状态,可根据进水情况随时调整反冲洗强度,确保出水水质。

设备参数: $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$, $S=3\text{ m}^2$, $v=10\text{ m/h}$, $Q_{\text{气}}=160\text{ L/min}$;单座尺寸: $\varnothing 2.0\text{ m}\times 5.5\text{ m}$;配套设备:1台空压机, $Q=0.4\text{ m}^3/\text{min}$, $P=0.7\text{ MPa}$, $N=3\text{ kW}$;1台储气罐, $V=1\text{ m}^3$;石英砂滤料,粒径为 $0.8\sim 1.2\text{ mm}$ 。

⑤ 贮水罐

2套,用于收集连续流砂过滤器上清液,调节水量。设计参数: $\varnothing 2.0\text{ m}\times 3.5\text{ m}$, $V=10\text{ m}^3$ 。配套设备:3台加压机,2用1备, $Q=32\text{ m}^3/\text{h}$, $H=120\text{ kPa}$, $N=3\text{ kW}$ 。

⑥ 沸石吸附罐+活性炭罐

离子交换吸附法是处理低浓度氨氮废水较有发展前景的方法之一。利用离子交换剂上可交换离子与液相 NH_4^+ 间发生交换和吸附作用,吸附 NH_3 分子达到去除水中氨的目的。沸石是架状构造硅酸盐矿物,具有多孔穴、大内表面、强吸附及较强的离子交换能力等特点,特别是对 NH_4^+-N 具有很好的选择吸附性能,即使在有干扰阳离子如水中硬度(Ca^{2+} 、 Mg^{2+})存在时,仍显示出良好的脱氨效果^[11]。海水养殖废水低碳高盐,不宜采用生物法进行脱氨。设计采用人工沸石+活性炭的吸附、离子

交换脱氮工艺,在去除氨氮的同时也能去除COD等有机污染物。采用物化脱氮工艺比采用生化脱氮工艺投资占地省,运行管理方便,操作简单。

沸石吸附罐2台, $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$,FRP材质,尺寸为 $\varnothing 2.0\text{ m}\times 4.2\text{ m}$,粒径为 $3\sim 5\text{ mm}$,滤层高为 1.2 m ,滤速为 10 m/h 。

活性炭罐2台, $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$,FRP材质,尺寸为 $\varnothing 2.0\text{ m}\times 4.2\text{ m}$;滤层高为 1.2 m ,滤速为 10 m/h 。

⑦ 紫外消毒器

2套管式紫外线消毒系统, $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$,尺寸为 $1\,260\text{ mm}\times 420\text{ mm}\times 450\text{ mm}$, $N=85\text{ W}\times 6$ 。

2 运行效果

该废水处理工程从2017年2月开始调试,各生产工艺按照设计要求逐渐达到满负荷运行,调试主要考察管道混合器+连续流砂过滤器、沸石吸附罐+活性炭吸附罐对污染物的去除效果。经过约20 d的试运行,系统工况稳定,各项水质指标达到设计要求。

工程现场如图2所示。



图2 工程现场

Fig.2 Engineering site

2.1 管道混合器+连续流砂过滤器的净化效果

在工艺调试阶段,进水活性磷酸盐为 $(0.33\pm 0.04)\text{ mg/L}$,无机氮为 $(0.80\pm 0.03)\text{ mg/L}$,SS为 $(76\pm 2.53)\text{ mg/L}$,PAC投加浓度为 50 mg/L 。通过调节空气提升泵的供气量来调节砂循环速率,由于此时连续流砂过滤器尚未稳定运行,部分细小石英砂颗粒未能沉降,导致SS不降反升。当后续控制连续流砂过滤器气提空气量为 140 L/min 、平均滤速为 7.23 m/h 、砂循环速率为 $0.7\sim 0.9\text{ mm/min}$ 时,去除效果较为明显,对活性磷酸盐的去除率稳定在70%以上,对SS的去除率稳定在80%左右,对无机

氮的去除率稳定在 10% 以上(见图 3~5)。

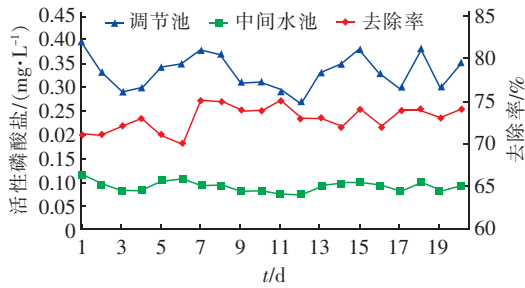


图3 管道混合器+连续流砂过滤器对活性磷酸盐的净化效果

Fig. 3 Purification effect of active phosphate by pipeline mixer + continuous flow sand filter

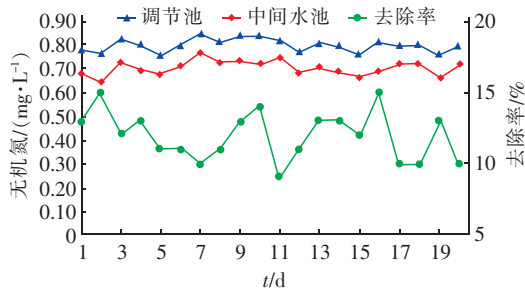


图4 管道混合器+连续流砂过滤器对无机氮的净化效果

Fig. 4 Purification effect of inorganic nitrogen by pipeline mixer + continuous flow sand filter

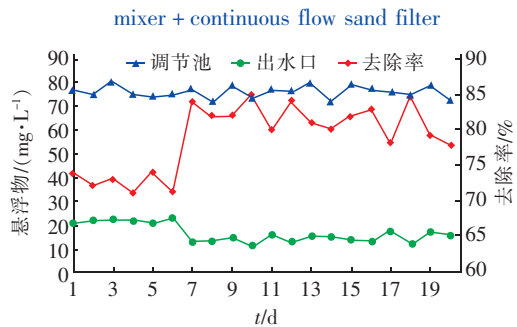


图5 管道混合器+连续流砂过滤器对悬浮物的净化效果

Fig. 5 Purification effect of suspended solid by pipeline mixer + continuous flow sand filter

2.2 沸石吸附罐+活性炭吸附罐的净化效果

工艺调试阶段,中间水池活性磷酸盐为 (0.08 ± 0.01) mg/L,无机氮为 (0.72 ± 0.05) mg/L,SS 为 (16.33 ± 0.33) mg/L,经沸石吸附罐与活性炭吸附罐处理,主要利用沸石、活性炭多孔穴、大内表面积、强吸附及较强的离子交换能力等特点,对各种污染物去除效果明显,其中对活性磷酸盐的去除率稳定在 40% 以上,对无机氮的去除率稳定在 45% 以上,

对 SS 的去除率稳定在 40% 以上(见图 6~8)。

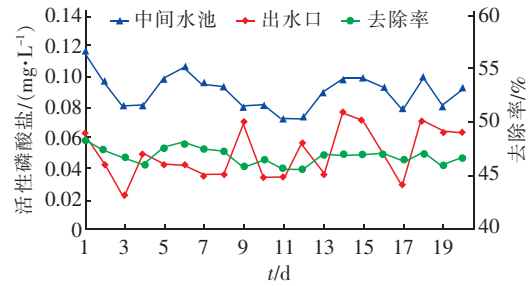


图6 沸石吸附罐+活性炭吸附罐对活性磷酸盐的净化效果

Fig. 6 Purification effect of active phosphate by zeolite + activated carbon

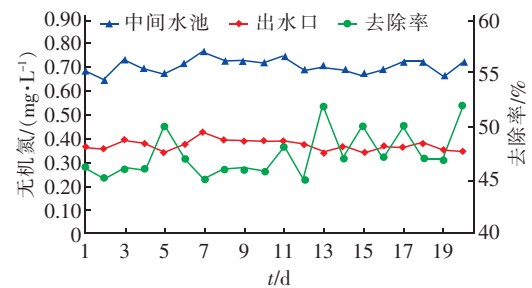


图7 沸石吸附罐+活性炭吸附罐对无机氮的净化效果

Fig. 7 Purification effect of inorganic nitrogen by zeolite + activated carbon

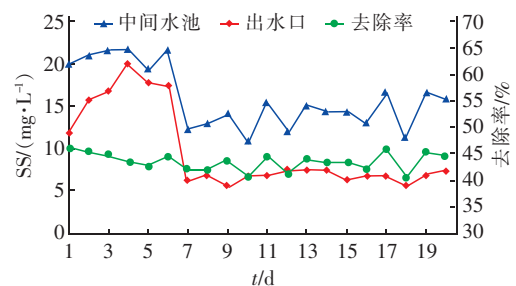


图8 沸石吸附罐+活性炭吸附罐对 SS 的净化效果

Fig. 8 Purification effect of suspended solid by zeolite + activated carbon

3 处理效果

系统调试完毕投入运行一段时间后,当地海洋与渔业局在 2017 年 10 月对工程进、出水水质进行连续 3 d 的监测,每天取样 4 次,最终监测结果取平均值。

结果表明,废水经该工艺处理后,最终出水水质达到《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)一级标准。

系统处理效果见表 2。

表 2 系统处理效果

Tab.2 Treatment effect of system

项目	SS/ (mg · L ⁻¹)	pH 值	COD _{Mn} / (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	无机氮 (以 N 计)/ (mg · L ⁻¹)	活性磷酸盐 (以 P 计)/ (mg · L ⁻¹)	铜/ (mg · L ⁻¹)	锌/ (mg · L ⁻¹)
进水 1 d	75.25 ± 2.17	8.00 ± 0.08	7.35 ± 0.50	5.33 ± 0.35	0.90 ± 0.10	0.27 ± 0.01	0.000 2L	0.01
进水 2 d	74.75 ± 1.48	8.01 ± 0.12	6.10 ± 0.19	4.53 ± 0.30	1.18 ± 0.08	0.22 ± 0.03	0.000 2L	0.02
进水 3 d	74.50 ± 2.29	8.00 ± 0.06	7.20 ± 0.22	5.80 ± 0.19	1.05 ± 0.09	0.27 ± 0.03	0.000 2L	0.02
出水 1 d	11.43 ± 0.47	7.68 ± 0.12	3.65 ± 0.12	3.33 ± 0.37	0.36 ± 0.03	0.037 ± 0.00	0.000 2L	0.000 3L
出水 2 d	11.40 ± 0.39	7.69 ± 0.03	4.01 ± 0.07	3.45 ± 0.36	0.41 ± 0.04	0.041 ± 0.00	0.000 2L	0.000 3L
出水 3 d	11.45 ± 0.63	7.67 ± 0.03	3.49 ± 0.10	3.36 ± 0.27	0.39 ± 0.01	0.041 ± 0.00	0.000 2L	0.000 3L
排放标准	≤40	6.5 ~ 8.5	≤10	≤6	≤0.5	≤0.05	≤0.20	≤0.10

4 技术经济分析

该工程总投资为 142.75 万元,其中直接费用包括土建费用 31 万元、设备费用 90 万元;间接费用为 21.75 万元。运行费用包括电费、药剂费及人工费。总装机容量为 20.41 kW,运行容量为 17.27 kW,电耗为 272.77 kW · h/d。电价以 0.758 元/(kW · h)计,则电费为 0.165 元/m³;药剂费 PAC 为 0.2 元/m³;改性沸石按 40 mg/g 消耗量计,折合药剂费约 0.125 元/m³;活性炭按 10 mg/g 消耗量计,折合药剂费约 0.9 元/m³;设工作人员 1 名,工资按 3 000 元/月计,折合人工费为 0.08 元/m³。运行费用总计为 1.47 元/m³。

5 结论

针对某公司亲虾车间、高标准亲虾培育车间、藻类培育车间等产生的大量的清洗废水,采用水力筛网+连续流砂滤池+沸石吸附+活性炭吸附工艺处理,运行效果良好,管理方便,最终出水水质可达到《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103—2007)的一级标准。

参考文献:

[1] 陈雨生,房瑞景,乔娟. 中国海水养殖业发展研究[J]. 农业经济问题,2012(6):72-76.
Chen Yusheng, Fang Ruijing, Qiao Juan. Research on the development of Chinese seawater breeding industry [J]. Issues in Agricultural Economy, 2012(6):72-76 (in Chinese).
[2] 王艳艳,崔正国,曲克明,等. 复合垂直流人工湿地对海水养殖外排水脱氮效率的研究[J]. 水处理技术, 2017,43(3):95-100.
Wang Yanyan, Cui Zhengguo, Qu Keming, et al. Research on nitrogen removal rate of marine aquaculture

wastewater by the integrated vertical-flow constructed wetlands[J]. Technology of Water Treatment, 2017, 43(3):95-100(in Chinese).
[3] 于德爽,彭永臻,乔文涛. A/O 工艺处理含海水污水的中试研究[J]. 给水排水,2005,41(9):34-37.
Yu Deshuang, Peng Yongzhen, Qiao Wentao. Pilot scale study on treatment of seawater containing wastewater by A/O process [J]. Water & Wastewater Engineering, 2005,41(9):34-37(in Chinese).
[4] 王哲. SBR 和 SBBR 工艺处理海水养殖废水的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2014.
Wang Zhe. Study on the Treatment of Aquaculture Wastewater by SBR and SBBR Reactors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014(in Chinese).
[5] 张俊新,刘长发,魏海峰,等. 水力负荷对处理海水和养殖废水的无纺布滤器性能的影响[J]. 农业环境科学学报,2008(1):323-326.
Zhang Junxin, Liu Changfa, Wei Haifeng, et al. Effect of hydraulic loading on the performance of non-woven filter for treating seawater and aquaculture wastewater [J]. Journal of Agro-environment Science, 2008(1):323-326(in Chinese).
[6] 齐泮晴,于德爽,李津,等. 盐度对厌氧氨氧化工艺处理含海水污水脱氮特性的影响[J]. 中国环境科学, 2016,36(5):1392-1399.
Qi Panqing, Yu Deshuang, Li Jin, et al. Effects of salinity on nitrogen removal of treating sewage with seawater by ANAMMOX process[J]. China Environment Science, 2016,36(5):1392-1399(in Chinese).
[7] 李志伟,代明月,高孟春,等. 好氧时间与缺氧时间变化对 O/A-SBR 处理海水养殖废水性能影响[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版, 2016, 46(5):104-110.
Li Zhiwei, Dai Mingyue, Gao Mengchun, et al. Effect of the variation of aerobic time and anoxic time on the

- performance of O/A - SBR treating mariculture wastewater[J]. Periodical of Ocean University of China, 2016,46(5):104-110(in Chinese).
- [8] 刘盼盼,邱立平. 规模化海水养殖废水处理技术研究进展[J]. 工业用水与废水,2016,47(2):1-4.
Liu Panpan, Qiu Liping. Research progress of large-scale marine aquaculture wastewater treatment technology[J]. Industrial Water & Wastewater, 2016,47(2):1-4(in Chinese).
- [9] 金彪. 污水处理厂深度处理中连续流砂滤池的设计探讨[J]. 给水排水,2012,38(4):45-47.
Jin Biao. Discussion on design of continuous sand filter in advanced treatment of sewage treatment plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2012,38(4):45-47(in Chinese).
- [10] 张英,魏宏斌,陈良才. 连续式砂滤器的研究进展及应用[J]. 中国给水排水,2012,28(8):28-30.
Zhang Ying, Wei Hongbin, Chen Liangcai. Research progress and application of continuous sand filter[J]. China Water & Wastewater, 2012,28(8):28-30(in Chinese).
- [11] 张敏,叶峰,张林生. 沸石去除微污染源中氨氮的

研究[J]. 污染防治技术,2002,15(4):7-9.

Zhang Min, Ye Feng, Zhang Linsheng. Study on removing ammonia-nitrogen from light polluted raw water with zeolite[J]. Pollution Control Technology, 2002,15(4):7-9(in Chinese).



作者简介:曾东(1984-),男,湖南郴州人,博士,工程师,主要研究方向为水污染系统控制及风险防控。

E-mail: zengdong@scies.org

收稿日期:2018-10-17

(上接第96页)

- Environmental Engineering, 2007, 1(1):1-6(in Chinese).
- [2] 孙瑞,于鲁汕,傅忠君,等. 工业固体危险废弃物处置技术[J]. 现代化工,2013,33(12):11-14.
Sun Rui, Yu Lushan, Fu Zhongjun, et al. Development of industrial solid hazardous waste (ISHW) disposal technology[J]. Modern Chemical Industry, 2013, 33(12):11-14(in Chinese).
- [3] 侯巧玲,王兴,李兴武,等. 电化学处理用于重金属工业园区污水处理工程[J]. 中国给水排水,2017,33(10):66-68,73.
Hou Qiaoling, Wang Xing, Li Xingwu, et al. Electrochemical treatment technology usage in wastewater treatment plant in heavy metal industrial park[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(10):66-68, 73(in Chinese).



作者简介:吴楠(1988-),男,江苏沛县人,博士研究生,讲师,研究方向为水污染控制及水资源利用。

E-mail: wunan0516@163.com

收稿日期:2018-11-09