

生态水培槽/生态滤池组合工艺处理农村生活污水

谢春生¹, 黄建翔², 王水木³

(1. 肇庆学院 环境与化学工程学院, 广东 肇庆 526061; 2. 梧州市环境保护科学技术中心, 广西 梧州 543002; 3. 泉州市天龙环境工程有限公司, 福建 泉州 362332)

摘要: 针对广西某农村生活污水特点及当地经济状况,采用太阳能微动力 AO + HPQ 生态水培槽与生态滤池的组合工艺处理农村生活污水。设计开发的 HPQ 生态水培槽分成微曝气厌氧/好氧生化反应层和组合填料水培槽两层,自动控制间歇微曝供氧和循环操控运行,能灵活调节对有机污染物,尤其是氮磷的去除效率。经组合工艺处理后,对 COD 去除率为 80%,对氨氮去除率为 93%,对总磷去除率为 83%,出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准。同时,系统采用光伏发电为处理系统提供微动力,有效地降低了处理系统的能耗和运行成本,主要运行管理费用为兼职人员人工费。

关键词: 农村生活污水; AO 工艺; HPQ 生态水培槽; 生态滤池; 太阳能微动力

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)16-0086-04

A Combined Process of HPQ Ecological Hydroponic Tank/Ecological Filter for Treatment of Rural Domestic Sewage

XIE Chun-sheng¹, HUANG Jian-xiang², WANG Shui-mu³

(1. School of Environmental and Chemical Engineering, Zhaoqing University, Zhaoqing 526061, China; 2. Wuzhou Environmental Protection Science and Technology Center, Wuzhou 543002, China; 3. Quanzhou Tianlong Environmental Engineering Co. Ltd., Quanzhou 362332, China)

Abstract: Aiming at local sewage characteristics and economic conditions in a rural area of Guangxi, a combined process of solar micro-power AO, HPQ ecological hydroponic tank and ecological filter was used to treat the rural domestic sewage. The HPQ ecological hydroponic tank was divided into two layers including the micro-aerated anaerobic/aerobic biochemical reaction layer and the combined filler hydroponic tank layer. The automatic control of intermittent micro-exposure oxygen supply and cyclic control operation could flexibly adjust the efficiency for organic pollutants, especially nitrogen and phosphorus removal. After the combined process treatment, the average removal rates of COD, NH₃-N and TP were 80%, 93% and 83%, respectively, which could meet the requirement of the first level B criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). At the same time, micro-power was provided by photovoltaic power generation, which effectively reduced energy consumption and operating cost of the processing system. The main operation and management costs were part-time personnel management.

Key words: rural domestic sewage; AO process; HPQ ecological hydroponic tank;

基金项目: 梧州市科技项目(201501026); 肇庆市科技项目(2017S002,2017ZX028)

ecological filter; solar micro-power

目前,国内农村大部分地区排水管网不健全,多数生活污水直接排放,严重影响村容村貌以及周边环境,因此积极开展农村环境综合整治、建设农村污水处理系统具有十分重要的意义^[1-2]。

1 工程背景

广西壮族自治区梧州市蒙山县西河镇桐油坪村桐油坪片区采用 AO + HPQ 生态水培槽 + 生态滤池多功能组合工艺处理污水,提高了生态处理工艺的脱氮除磷效果,同时利用光伏太阳能发电为处理设施提供能源动力,克服了现场缺乏稳定供电设施的难题,减少了处理系统的能耗和运行费用。AO + HPQ 生态水培槽 + 生态滤池多功能组合工艺利用自然生态、水生植物的生长特性,利用生物填料中附着的微生物和植物根系表面形成的微生物群落等截留和降解污水中的悬浮物、氨氮和有机物,出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准。

1.1 工程概况

广西梧州蒙山县西河镇桐油坪村桐油坪片区常住人口有 1 200 人左右,其中包括附近的学校师生及周边居民。参考《广西农村生活污水处理技术指南》及相关规范的要求,农村生活污水量一般为 80 ~ 120 L/(人 · d),污水排放系数取 0.6,拟按 80 L/(人 · d)的污水产生量设计,考虑到未来人口增量,桐油坪片区设计污水量为 100 m³/d。桐油坪片区污水收集主管长为 1.269 km、支管长为 1.252 km,检查井 8 座。

1.2 设计进、出水水质

厕所冲洗污水、洗衣机排水、淋浴排水及其他排水等是农村生活污水的主要来源,水量及水质变化较大。根据相关的要求,村内污水经有效处理后执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准。

设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项目	pH 值	COD/ (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)
进水水质	6 ~ 9	150 ~ 350	100 ~ 200	100 ~ 200	20 ~ 40	≤4
出水水质	6 ~ 9	≤60	≤20	≤20	≤8	≤1

2 工程设计

2.1 工艺选择

该片区的生活污水主要由洗涤、洗浴用水以及厨房废水组成,具有水量变异大、排放水量小、日变化系数大、可生化性较好等特点。结合以上特点,可以采用活性污泥法、人工湿地、生物滤池等工艺,但都存在局限性。人工湿地具有工艺简单、处理效果好、运行费用较低等优点,是目前应用广泛的农村生活污水生态处理技术^[3],但是传统的人工湿地工艺也存在一些不足:水平潜流人工湿地投资较高、管理相对复杂,垂直流人工湿地易堵塞、易滋生蚊蝇、操作极不方便^[4]。生态滤池结合了垂直流人工湿地与生物滤池的一些特点,是近年来新出现的生态处理技术,具有反应器内水力条件良好、反应器不易堵塞、同时进水端均匀配水、底部氧传递效率高等优点^[5]。然而单独的人工湿地处理工艺对有机污染物,尤其是对 N、P 等污染物的去除率较低,往往要

与常规的活性污泥或生物膜法好氧工艺联合以提高对 N、P 等污染物的去除效率^[6]。但是这样的组合工艺容易导致工艺变得复杂,同时导致能耗大幅提升^[6-7]。综上考虑,决定采用微动力 AO + HPQ 生态水培槽 + 生态滤池的多功能组合工艺处理生活污水,工艺流程如图 1 所示,同时采用光伏太阳能发电为处理系统提供电能,降低运行处理成本。

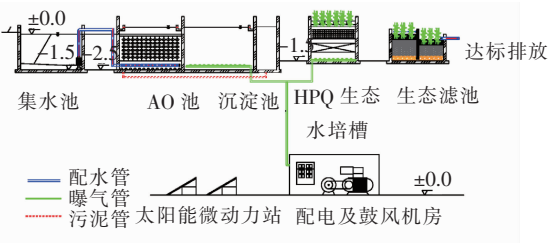


图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of sewage treatment process

2.2 主要工艺单元及技术参数

生活污水经排水管网收集后,重力流入集水池。

集水池内设格栅井,去除砂粒、树枝、塑料袋等漂浮杂物,避免阻塞后续的处理设施。再经过提升泵提升至AO处理池去除部分有机污染物和N、P后,进入生态处理组合系统。在HPQ生态水培槽和生态滤池组合处理系统中,在填料、微生物和植物根系等吸附、微生物降解等作用下,污水中的污染物得到进一步去除,处理出水排入周围的农田灌溉渠。

① 格栅井。采用地埋式钢混结构,尺寸为 $2.0\text{ m} \times 1.0\text{ m} \times 1.8\text{ m}$,有效水深为 1.5 m ;栅条宽度为 6 mm ,倾斜 60° 放置。采用人工不定期清理格栅井中的杂物。

② AO池。采用地埋式钢混结构,总尺寸 $(L \times B \times H) = 4.0\text{ m} \times 4.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$,有效水深约 2.5 m ,总有效容积为 40 m^3 。A段和O段通过隔墙分隔,HRT各为 4 h 。A段设置软性组合填料,增强厌氧效果;O段采用污泥回流提高脱氮除磷效果,同时O段采用间歇微曝气措施,每天曝气 8 h 左右,减少电耗。

③ HPQ生态水培槽。采用地埋式钢混结构,尺寸为 $8.0\text{ m} \times 8.0\text{ m} \times 1.5\text{ m}$,分成两层(见图2),底层为微曝气厌氧/好氧生化反应层,在自动控制微动力曝气供氧的情况下,在底层组合填料层内形成好氧菌、兼氧菌、厌氧菌共存环境,强化了硝化和反硝化能力,提高了对污水中的氮磷和有机污染物的去除率。

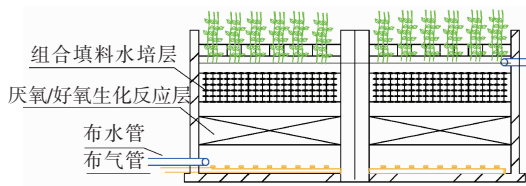


图2 HPQ生态水培槽结构

Fig.2 Schematic diagram of HPQ ecological hydroponic tank

表2 组合处理工艺运行效果

Tab.2 Treatment effect of combined process

项 目	pH 值	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₃ - N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
处理前总排口	6.9	120	176	105	22	3.5
AO出水	6.8	28	75	32	7.5	1.2
HPQ生态水培槽出水	6.5	8.1	51	13	5.2	0.73
生态滤池出水	6.5	5.73	35	11	2.1	0.6
处理后总排口	6.5	5.73	34	11	1.53	0.6

注: 系统对SS、COD、BOD₅、NH₃ - N、TP的去除率分别为95%、80%、89%、93%、83%。

该处理设施至今已运行2年多,效果稳定。污水处理设施由于自动化程度较高,仅由一人兼职管

上层设置多层组合填料水培层,利用植物生长发达的根系形成的生物菌团吸收、截留和降解污水中的氮磷和有机污染物等物质。水力停留时间为 13 h ,水力负荷为 $0.26\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

与传统人工湿地工艺相比,HPQ生态水培槽对污染物的去除率得到了进一步强化,同时该设计可通过自动控制实现间歇微曝供氧和循环操控运行,能灵活调节对有机污染物,尤其是氮磷的去除率。

④ 生态滤池。采用地埋式钢混结构,主体尺寸与生态水培槽相同,尺寸为 $8.0\text{ m} \times 8.0\text{ m} \times 1.5\text{ m}$,水力停留时间为 13 h ,水力负荷为 $0.26\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。池体内部分为3层布置填料,从下往上依次为砾石层(粒径为 $50 \sim 80\text{ mm}$)、碎石层(粒径为 $10 \sim 20\text{ mm}$)和陶粒层(粒径为 $5 \sim 8\text{ mm}$)。砾石层填料高度为 300 mm ,主要作为承托层;碎石层兼有截污和生化反应功能;陶粒层高度为 600 mm ,是主要的污染物降解场所,兼有过滤功能,同时可为植物提供良好的种植和生长环境。生态滤池顶部主要种植对氮磷吸附去除能力较强的本地植物,如美人蕉、香蒲、水葱等,其平均种植密度约 $5\text{ 株}/\text{m}^2$ 。

⑤ 太阳能微动力系统。主要包括光伏发电系统、光电转换控制系统、专用蓄电池等,太阳能光伏板共 24 块 ,总面积为 40 m^2 。太阳能微动力系统产电功率为 5 kW/h ,输出电压为 380 V 。该工程用电设备较少,主要为曝气机、污水泵、照明用电和备用水泵用电。供电部分预留有外接电源转换接口。

3 处理效果及运行成本

该项目于2015年6月开始施工,到2016年6月完工并开展工艺调试运行,2016年9月水解池内挂膜、水培槽和生态滤池植物长势良好,出水清澈。2016年12月开展了验收监测测试,并向环保部门提出验收申请,主要监测指标见表2。

理和维护,人工费为6 000元/a,约为16.4元/d。日常运行电耗主要为曝气机和潜污泵,合计2.25 kW;按电价为0.6元/(kW·h)、运行时间为10 h/d、360 d/a计,则电费为4 860元/a。由于污水处理耗电全部依靠光伏发电系统供应,正常运行时不接入村中供电系统,故运行费用主要为人工费,处理成本为0.164元/m³。该工程的实施可有效地减少污水直排对周围水环境的危害,处理出水(达标排放)汇入水渠,用于周围植被、农田的浇灌。同时该工程主体采用地理结构,绿化及环境卫生设置较好,有效防止了臭味逸出,减少了对周围环境的影响。

4 结语

以光伏发电系统提供微动力,采用微动力AO+HPQ生态水培槽+生态滤池的组合工艺处理农村生活污水,实践表明该工艺切实可行,处理后出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级B标准,同时该组合处理系统具有对氮磷等污染物去除效率高、节能、运行费用低、运行管理方便等优点,对农村生活污水处理具有较强的示范和推广应用价值。

参考文献:

- [1] 成官文,李海翔,吴琼芳,等. 广西农村连片整治的污水处理现状、问题及其对策[J]. 环境工程学报,2015,9(11):5427-5431.
Cheng Guanwen, Li Haixiang, Wu Qiongfang, et al. Current situation, problems and countermeasures of sewage treatment of Guangxi regional rural environment improvement [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(11): 5427-5431 (in Chinese).
- [2] 何松立,黄建翔,蒙美洁,等. 桂东南西江流域农村生活污水处理实践探讨——以广西梧州大坡镇为例[J]. 肇庆学院学报,2018,39(2):52-55.
He Songli, Huang Jianxiang, Meng Meijie, et al. The rural sewage treatment of Xijiang River Basin—Dapo Town of Wuzhou, Guangxi as an example [J]. Journal of Zhaoqing University, 2018, 39(2): 52-55 (in Chinese).
- [3] 黄伯平,李晓慧. 南京市江心洲农村污水分散处理技术及应用[J]. 中国给水排水,2017,33(6):102-105.
Huang Boping, Li Xiaohui. Decentralized rural domestic wastewater treatment technology in Jiangxinzhou of Nanjing City [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(6): 102-105 (in Chinese).
- [4] 王翔宇,熊鸿斌,匡武. 微动力A²O+潜流人工湿地工艺处理农村生活污水[J]. 中国给水排水,2015,31(16):80-84.
Wang Xiangyu, Xiong Hongbin, Kuang Wu. Combined process of solar micro-power A²O and subsurface-flow constructed wetland for treatment of rural domestic sewage [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(16): 80-84 (in Chinese).
- [5] 徐荣乐,韩彪,于嵘,等. 广西农村生活污水集中处理工艺综合评价[J]. 桂林理工大学学报,2017,37(2):354-359.
Xu Rongle, Han Biao, Yu Rong, et al. Comprehensive evaluation of rural sewage treatment technology in Guangxi [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2017, 37(2): 354-359 (in Chinese).
- [6] 吴正松,罗义涌,何强,等. 生态滤池的开发及其对低浓度污水的净化效果[J]. 中国给水排水,2015,31(9):33-36.
Wu Zhengsong, Luo Yiyong, He Qiang, et al. Development of ecological filter and its purification effect on low concentration wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(9): 33-36 (in Chinese).
- [7] 王军辉,官爱令,李林林,等. 太阳能微动力在农村污水治理中的应用[J]. 中国环保产业,2015(11):60-63.
Wang Junhui, Guan Ailing, Li Linlin, et al. Application research in rural sewage treatment by solar micro power [J]. China Environmental Protection Industry, 2015(11): 60-63 (in Chinese).



作者简介:谢春生(1980—),男,广西岑溪人,博士,高级工程师,主要研究方向为环境保护工程。

E-mail: xiechsh@126.com

收稿日期:2019-03-18