

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.06.020

AO/MBR/VFCW联用处理分散式农村生活污水

钱成龙¹, 卢原², 潘静², 陈曙平², 张文艺¹, 于鑫娅¹,
苏鹏^{1,3}, 毛林强¹

(1. 常州大学 环境与安全工程学院, 江苏 常州 213164; 2. 常州禹润水务有限公司,
江苏 常州 213100; 3. 常州市市政工程设计研究院有限公司, 江苏 常州 213003)

摘要: 常州市洛阳镇坝头村生活污水治理工程采用“缺氧/好氧/膜生物反应器/垂直潜流人工湿地(AO/MBR/VFCW)”工艺,考察了该组合工艺对COD、氨氮、总氮和总磷的去除效果。工程运行1年结果表明,该组合工艺对农村生活污水中COD、NH₃-N、TN和TP的平均去除率分别可达84%、97%、84%和83%,相应出水指标均能达到《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)的要求。示范工程的管网与设备总投资约116.25万元,运行成本约1.125元/m³,具有投资成本较低、运行维护费用少、生态环境效益较高等优点。

关键词: 分散式农村生活污水; 传统AO工艺; 膜生物反应器; 垂直潜流人工湿地
中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)06-0113-05

AO/MBR/VFCW Combined Project for Treatment of Decentralized Rural Domestic Sewage

QIAN Cheng-long¹, LU Yuan², PAN Jing², CHEN Shu-ping², ZHANG Wen-yi¹,
YU Xin-ya¹, SU Peng^{1,3}, MAO Lin-qiang¹

(1. School of Environmental & Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China; 2. Changzhou Yurun Water Co. Ltd., Changzhou 213100, China; 3. Changzhou Civil Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Changzhou 213003, China)

Abstract: The combined process of anoxic/oxic(AO), membrane bioreactor(MBR) and vertical flow constructed wetlands(VFCW) was adopted to design a domestic sewage treatment project in Batou Village, Luoyang Town, Changzhou City. The removal effects of COD, ammonia nitrogen, total nitrogen, total phosphorus were investigated and the results of one-year project operation show that the average removal rates of them can reach 84%, 97%, 84% and 83%, respectively, and the effluent concentration can reach the requirements of *Discharge Standard of Main Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant & Key Industries of Taihu Area* (DB 32/1072-2018). The total investment of the pipeline network and equipment of the demonstration project is about 1.162 5 million yuan, and the operating cost is about 1.125 yuan/m³, which has the advantages of lower investment cost, less operation and maintenance costs, higher ecological and environmental benefits, etc.

Key words: decentralized rural domestic sewage; traditional AO process; MBR; vertical flow

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07202-003)

通信作者: 张文艺 E-mail: zhangwenyi888@sina.com

constructed wetland

江苏省常州市是长三角经济带的中心城市与工业制造基地,乡镇企业众多,吸引大量外来务工人员就业、发展。这些外来人员大多租住村落居民房屋,造成村庄常住人口激增,产生的污水水量波动大、水质浓度较高。截至2017年底,常州地区分散式农村生活污水处理设施主要采用AO+垂直潜流人工湿地(VFCW)的生物生态耦合法,对该地区具有良好的适用性,各项污染物的排放浓度均能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准,具有投资小、易维护、运行稳定等特点;但因该地区为太湖一级保护区,AO+VFCW工艺出水水质基本达不到《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)的要求。将传统AO+人工湿地工艺改造成“AO+MBR+VFCW工艺”是最为简便的方法,即在现有沉淀池中增加MBR膜组件和调整回流系统即可,尤其是地埋式A/O一体化设备的改造,既安全,又快捷,新增投资费用也较少,能保证系统出水水质稳定达到一级A标准和太湖地区严格的排放标准。

AO/MBR/VFCW工艺结合了MBR与AO/潜流式人工湿地的优点^[1],能够很好地克服AO/VFCW抗冲击负荷能力小、湿地易堵塞等缺点。污水经AO处理后进入MBR,使得MBR膜污染清洗周期延长,减轻了反冲洗和膜更换的运维和费用压力^[2-4]。

常州市洛阳镇坝头村生活污水治理工程采用“AO/MBR/VFCW”工艺,建造了地埋式一体化AO/MBR设备+VFCW/生态沟渠污水处理系统示范工程,通过常规污染指标检测,考察了组合工艺对COD、NH₃-N、TN和TP的去除效果,以期对要求高标准排放的分散式农村生活污水处理工程设计和运行管理提供参考。

1 工程概述

1.1 示范工程选址

坝头自然村位于常州市武进区洛阳镇东尖村,常住人口489人、160户。本工程建设前,该村厨余废水、盥洗废水、冲厕废水均经沟塘就近排入东尖河,并经武进港进入太湖,村内水环境污染较为严重。

1.2 设计水量和进、出水水质

该项目设计处理能力为48 m³/d。由于缺少坝头村生活污水的长期完整资料,参照类似的污水处理项目案例,确定设计进水水质:COD为350 mg/L、氨氮为40 mg/L、TN为45 mg/L、TP为4 mg/L、pH为6~9。设计出水水质执行《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)标准,即:COD≤40 mg/L、氨氮≤3.0 (5.0) mg/L、TN≤10 mg/L、TP≤0.3 mg/L。

1.3 工艺流程与设计参数

1.3.1 工艺流程

示范工程主体采用“AO/MBR/VFCW”的二级生化+潜流湿地组合工艺,2018年3月建成并由专门的运营公司运营,具体流程如图1所示。

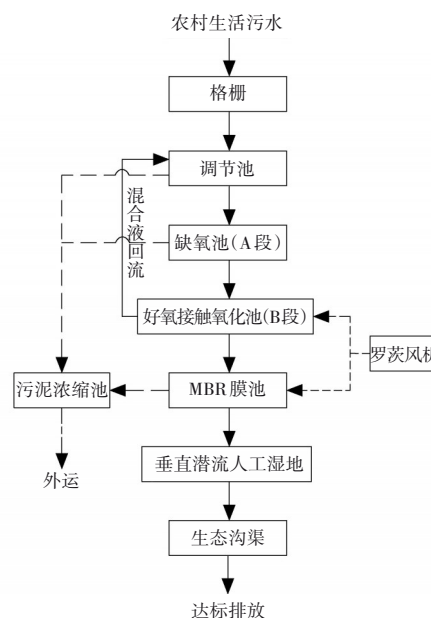


图1 示范工程的工艺流程

Fig.1 Process flow chart of the demonstration project

1.3.2 主要设计参数

① 格栅。设置粗、细两道格栅,定期进行人工清理。粗格栅间隙10 mm,细格栅间隙5 mm,安装倾角均为60°。

② AO池。AO池长×宽×深为4 500 mm×2 250 mm×3 000 mm,其中缺氧池长×宽×深为1 500 mm×2 250 mm×3 000 mm,好氧池长×宽×深为3 000 mm×2 250 mm×3 000 mm,采用PLC自动控制。AO

池内投加污泥的同时设置弹性立体填料以有效截留污泥,填料比表面积为 $200\text{ m}^2/\text{m}^3$ 。缺氧池微曝气溶解氧控制在 $0.2\sim0.4\text{ mg/L}$,好氧池溶解氧控制在 $2\sim3\text{ mg/L}$;缺氧池水力停留时间为 4 h ,好氧池水力停留时间为 8 h ;污泥浓度控制在 $3\,000\sim4\,000\text{ mg/L}$;泥龄控制在 15 d 。

③ MBR池。MBR池长 \times 宽 \times 深为 $1\,500\text{ mm}\times2\,250\text{ mm}\times3\,000\text{ mm}$ 。采用三菱40片膜组器,材质为PE,孔径 $0.4\text{ }\mu\text{m}$,设计通量为 $0.4\sim0.8\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,MBR水力停留时间为 4 h 。

④ 湿地。湿地长 \times 宽 \times 深为 $8\,480\text{ mm}\times7\,480\text{ mm}\times1\,500\text{ mm}$ 。采用石灰石、钢渣、陶粒、红砖(投加比例为 $1:2:2:5$)作为湿地填料,各填料层间用有机滤网隔开,总高度为 1.2 m ,再铺设一层无纺布填料,放 0.50 m 厚的土壤,种植景观性湿地植物,湿地两侧均种植铜钱草、狗牙根,湿地进水一侧种植再力花,出水一侧种植梭鱼草,再力花与梭鱼草种植密度均为 $16\text{ 株}/\text{m}^2$,人工湿地孔隙率为 41.6% 。湿地停留时间为 4 d ,水力负荷为 $0.3\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,无内回流,污泥回流比为 80% 。因污水处理量小,缺氧产生的废气利用绿化处理。

⑤ 生态沟渠。将村庄现有长 \times 宽为 $200\text{ m}\times1\text{ m}$ 沟渠修缮为有效水深 $0.3\sim0.6\text{ m}$ 的生态沟渠,种植芦苇,利用芦苇根部附着的生物膜进行生物氧化。

⑥ 风机。风机额定风量为 $0.9\text{ m}^3/\text{min}$,功率为 0.75 kW 。

1.4 水样采集及水质分析方法

示范工程进、出水水质跟踪监测采样时间为每月10日,采用平均比例混合水样法采集水样,运回实验室在 $0\sim4\text{ }^\circ\text{C}$ 保存备用。

UV_{254} 采用UV-5100B紫外分光光度计测定,常规指标测定参考国标方法,其中COD采用重铬酸盐法(GB 11914—1989),总磷采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—1989),总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 1894—1989),氨氮采用纳氏试剂分光光度法(HJ 535—2009)。

2 结果与讨论

2.1 对主要污染物的去除效能

① COD

示范工程各单元COD逐月检测值如图2所示。

由图2可知,2018年3月—12月该村排水COD为 $177.7\sim320.5\text{ mg/L}$,AO/MBR出水COD为 $47.10\sim75.35\text{ mg/L}$,经过VFCW深度处理后,系统出水COD为 $28.74\sim58.45\text{ mg/L}$,生物单元(设施)COD平均去除率为 49% ,生态单元(湿地)COD平均去除率为 35% ,总平均COD去除率为 84% 。除3月调试运行期出水COD执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准外,其余月份出水COD均达到一级A标准和《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)的要求。

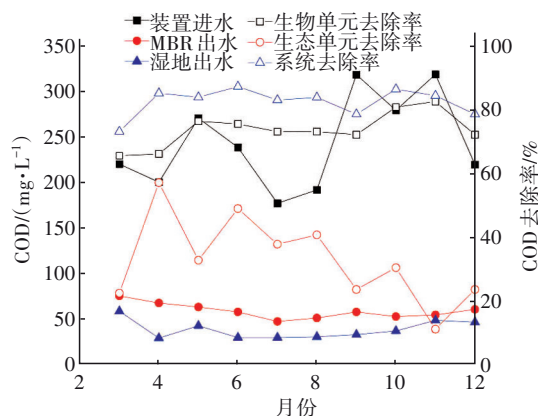


图2 示范工程各单元COD逐月检测值及相应去除率

Fig.2 Monthly COD test value of each unit and corresponding removal rate of the demonstration project

② $\text{NH}_3\text{-N}$

示范工程各单元 $\text{NH}_3\text{-N}$ 逐月检测值如图3所示。

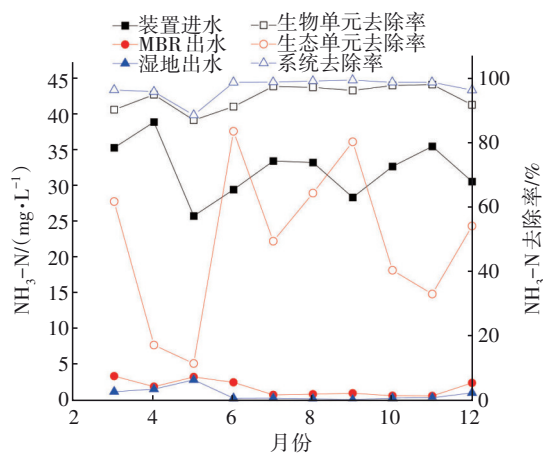


图3 示范工程各单元 $\text{NH}_3\text{-N}$ 逐月检测值及相应去除率

Fig.3 Monthly ammonia nitrogen test value of each unit and corresponding removal rate of the demonstration project

由图3可知,2018年3月—12月该村排水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为25.76~38.82 mg/L, AO/MBR出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为0.76~3.38 mg/L,经过VFCW深度处理后,系统出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为0.22~2.94 mg/L,生物单元(设施)平均 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率为47%,生态单元(湿地)平均 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率为50%,总平均 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率为97%。其中, AO/MBR对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果较好,均达到了一级A标准,但由秋季转到冬季,其出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有所升高(从11月的0.76 mg/L增至12月的2.57 mg/L);经过VFCW处理后, $\text{NH}_3\text{-N}$ 进一步降低,除5月出水为地表水劣V类水质,其余月份出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 均达到了地表水V类标准。由11月转到12月后,各个处理单元的出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 较夏季以后的月份都有所增加,可能是进入冬季后温度降低,微生物与植物根系代谢能力变弱,所以对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果略有下降。总体来看,该组合工艺对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 处理效果较好,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 达到了一级A标准和DB 32/1072—2018要求。

③ TN

示范工程各单元TN逐月检测值如图4所示。

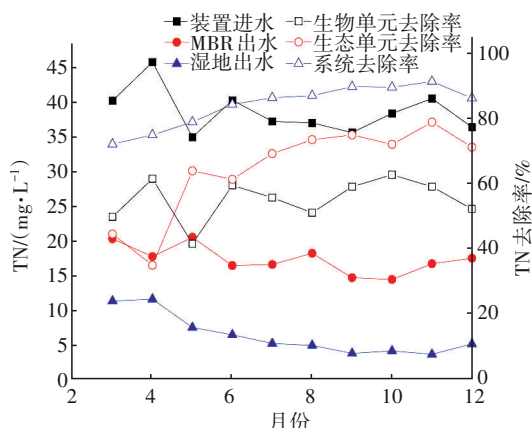


图4 示范工程各单元TN逐月检测值及相应去除率

Fig.4 Monthly TN test value of each unit and corresponding removal rate of the demonstration project

由图4可知,2018年3月—12月该村排水TN为34.99~45.85 mg/L, AO/MBR的出水TN为14.36~20.48 mg/L,经过VFCW深度处理后,系统出水TN为3.53~11.52 mg/L,生物单元(设施)平均TN去除率为20%,生态单元(湿地)平均TN去除率为64%,总平均TN去除率为84%。其中, AO/MBR对TN的去除效果一般,除9、10月份外,其余月份出水TN均高于一级A标准。经过VFCW处理后TN大幅降低,

系统出水TN均低于一级A标准满足DB 32/1072—2018要求。其中,9、10、11三个月份TN浓度最低,系统处理效率最佳,进入12月出水TN略有升高。

④ TP

示范工程各单元TP逐月检测值如图5所示。

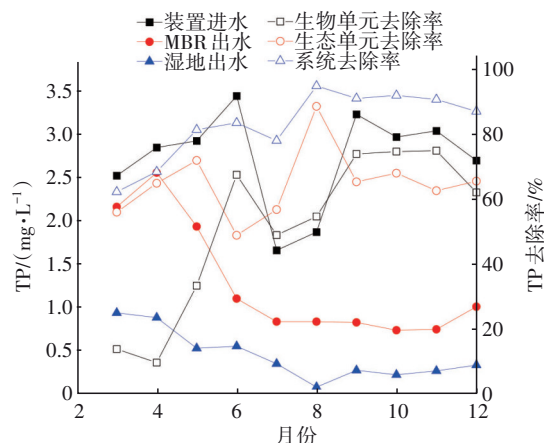


图5 示范工程各单元TP逐月检测值及相应去除率

Fig.5 Monthly TP test value of each unit and corresponding removal rate of the demonstration project

由图5可知,2018年3月—12月该村排水TP为1.67~3.44 mg/L, AO/MBR的出水TP为0.75~2.56 mg/L,经过VFCW深度处理后,系统出水TP为0.10~0.95 mg/L,生物单元(设施)平均TP去除率为18%,生态单元(湿地)平均TP去除率为65%,总平均TP去除率为83%。其中, AO/MBR对TP的去除效果一般,除7月—10月外,其余月份出水TP均高于一级A标准。经过VFCW处理后TP大幅降低,系统出水TP均低于一级A标准和DB 32/1072—2018要求(运行初期的3月份除外)。除初始启动阶段3月—6月TP略高以外,其余月份出水TP均达到地表水IV类标准。

2.2 技术及经济效益分析

2.2.1 技术适宜性

通过10个月的跟踪检测分析,示范工程出水水质可稳定达到一级A标准、满足DB 32/1072—2018限值要求,表明AO/MBR/VFCW组合工艺适宜于太湖地区高排放标准的分散式农村生活污水处理。

2.2.2 投资成本

经计算,该工程设备成本中土建、设备、管网、出户管、化粪池、绿化以及税金分别为11.62、27.69、44.40、15.36、12.8、0.54、3.84万元,共计116.25万元。

2.2.3 运行成本

① 交通及人工费用

该工程无需专人值守,仅设置2人巡检,以2人维护50个农村污水站点,配巡检车1台计算,主要维护工作包括:a.日常巡检,每周2次;b.定期清理格栅垃圾、污泥清除及收割湿地植物,每月2次;c.定期进行MBR膜清洗,每2周次氯酸钠清洗1次,每3个月柠檬酸清洗1次。人员工资为6 000元/(月·人),五险一金为1 200元/(月·人),车辆保险费4 000元/a,油费20 000元/a,车辆维修费2 000元/a,总费用为198 800元/a,以50个农村污水站点均摊,每个站点费用为331.33元/月。

② 药剂费用

该工程MBR清洗药剂包括次氯酸钠及柠檬酸,次氯酸钠费用为26次/a×3 L/次×5元/L=390元/a,柠檬酸费用为3次/a×8 kg/次×2元/kg=48元/a。

③ 电费

该工程主要能耗设备为风机与水泵,风机额定功率为0.75 kW,1用1备,24 h交替运行,提升泵额定功率为0.375 kW,回流泵额定功率为0.375 kW,膜自吸泵额定功率为0.55 kW,每天每台水泵工作12 h,电价为0.55元/(kW·h),则电费为18.48元/d。

④ 日常维护费

日常维护主要为设备的检修、膜组件维护等,按1 000元/次计,每个季度检修一次,则检修费用为4 000元/a。

综上,直接运行成本为0.865元/m³。以10%税金、20%毛利润计,则总运行成本为1.125元/m³。目前,分散式农村污水平均处理成本为0.8~2.0元/m³,可见该组合工艺综合运行成本处于较低水平。

3 结论

采用AO/MBR/VFCW组合工艺处理农村生活污水,对COD、NH₃-N、TN和TP的平均去除率分别达到84%、97%、84%和83%,相应出水指标均能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准和《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)的要求,出水TP甚至达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类水标准。示范工程区

域的常住人口为489人、160户,设计处理能力为48 m³/d,管网与设备总投资约116.25万元,运行成本约1.125元/m³,投资成本相对较低,运行维护费用相对较小,总体生态环境效益较好。

参考文献:

- [1] 胡林潮,周新程,邓文,等.潜流式人工湿地消纳城市污水厂尾水微生物特性及机制[J].土木建筑与环境工程,2016,38(6):134-140.
HU Linchao, ZHOU Xincheng, DENG Wen, et al. Characteristics and mechanism of micro-organisms with subsurface flow wetland consumptive municipal sewage treatment effluents[J]. Journal of Civil, Architecture & Environmental Engineering, 2016, 38(6): 134-140 (in Chinese).
- [2] 纪国林,汤润芝,周新程,等.黑臭静脉支浜生态修复工程设计及工程示范[J].湖北农业科学,2019,58(11):112-117.
JI Guolin, TANG Runzhi, ZHOU Xincheng, et al. Design and engineering demonstration of ecological restoration project of black stinky bang [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2019, 58(11): 112-117 (in Chinese).
- [3] 刘明元,李晓霞,何业俊,等.村镇污水原位生态修复示范工程及减排分析[J].中国给水排水,2012,28(4):49-52.
LIU Mingyuan, LI Xiaoxia, HE Yejun, et al. In-situ bioremediation demonstration project of rural domestic sewage and reduction analysis [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(4): 49-52 (in Chinese).
- [4] 张文艺,刘明元,罗鑫,等.苏南水网地区表面流人工湿地示范工程[J].中国农村水利水电,2012(2):78-80,83.
ZHANG Wenyi, LIU Mingyuan, LUO Xin, et al. The project of surface flow constructed wetland in the south of Jiangsu Province [J]. China Rural Water and Hydropower, 2012(2): 78-80, 83 (in Chinese).

作者简介:钱成龙(1997—),男,江苏宜兴人,硕士研究生,研究方向为水污染控制与生态修复。

E-mail:943827222@qq.com

收稿日期:2019-10-24

修回日期:2023-01-08

(编辑:衣春敏)