

厌氧池-集水池-阶梯跌水充氧曝气塔-人工湿地处理农村生活污水研究

桂伦¹, 马吉平¹, 姚健¹, 陈柳萌¹, 徐德胜², 陈庆隆^{1*}

(1. 江西省农业科学院, 江西南昌 330200; 2. 江西省农村能源管理站, 江西南昌 330046)

摘要 采用厌氧池-集水池-阶梯跌水充氧曝气塔-人工湿地组合工艺处理农村生活污水, 考察了工艺的运行效果及各处理单元对去除污染物的贡献率。实验结果表明, 该组合工艺对污染物具有较好的去除效果, 且处理效果稳定, 其对化学需氧量(COD)、氨氮(NH_4^+-N)、总磷(TP)、悬浮物(SS)的平均去除率分别为 87.90%、90.70%、93.69%、91.23%。阶梯跌水充氧曝气塔对 COD、 NH_4^+-N 、TP 的去除贡献率较大。将阶梯跌水充氧曝气塔与厌氧池、集水池、人工湿地相结合可以发挥组合的优势, 并提高出水水质和系统运行的稳定性。

关键词 农村生活污水; 厌氧处理; 阶梯跌水充氧曝气塔

中图分类号 X703 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)33-0179-03

Study on Rural Domestic Sewage Treatment with Combined Process of Anaerobic Pool, Collecting Tank, Stepwise Drop Aeration Tower and Artificial Wetland

GUI Lun, MA Ji-ping, YAO Jian et al (Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang, Jiangxi 330200)

Abstract The combined process of anaerobic pool, collecting tank, stepwise drop aeration tower, artificial wetland was used to treat rural domestic sewage. The operation effect of the process and the contribution rate of each treatment unit to pollutant removal were investigated. The experimental results showed that the combined process has a good removal effect on pollutants, and the treatment effect is stable. The average removal rates of COD, NH_4^+-N , TP and SS are 87.9%, 90.7%, 93.69% and 91.23%, respectively. The stepwise drop aeration tower contributes greatly to the removal rate of COD, NH_4^+-N , TP. The combination of anaerobic treatment, stepwise drop aeration tower, collecting tank, artificial wetland process can play the advantages of combination and improve the effluent quality and the stability of the system.

Key words Rural domestic sewage; Anaerobic treatment; Stepwise drop aeration tower

近年来, 随着经济和社会的发展, 环鄱阳湖流域农村面源污染日益严重, 且已成为主要的水体和土壤污染源, 危害农业安全, 制约了环鄱阳湖流域的经济、社会、民生的发展。根据 2007 年《江西省第一次农业污染源普查》的统计结果, 环鄱阳湖流域的 27 县市化学需氧量(COD)排放量约占江西省总排放量的 21.83%, 总磷(TP)为 28.56%, 总氮(TN)为 32.54%, 氨氮(NH_4^+-N)为 33.98%。近年来, 环鄱阳湖区农村生活污水的排放量呈上升趋势, 从 2001 年的 35 799.75 万 t 增加到 2007 年的 37 338.59 万 t, 对环境造成很大的影响^[1]。因此, 确保农村污染的达标排放是控制面源污染的源头, 是解决鄱阳湖流域的水体污染的最主要、最根本的措施之一。

农村生活污水主要表现出 2 种类型: 一是低水量, 高浓度; 二是高水量, 低浓度, 水质变化大, 相对分散等特点^[2]。笔者针对农村生活污水的特点及江西农村丘陵地区的实际状况, 设计一套抗冲击、负荷强的以生物和生态处理工艺相结合的污水处理工艺。该工艺投资小、管理方便、高效低耗, 能有效降低污水中的氮、磷含量, 在减少我国农村生活污水排放方面具有广泛的推广应用前景。

1 材料与方法

1.1 实验装置 实验装置建设在江西省农业科学院畜牧研究所, 采用厌氧池-集水池-阶梯跌水充氧曝气塔-人工湿地工艺处理农村生活污水。具体流程如图 1 所示。

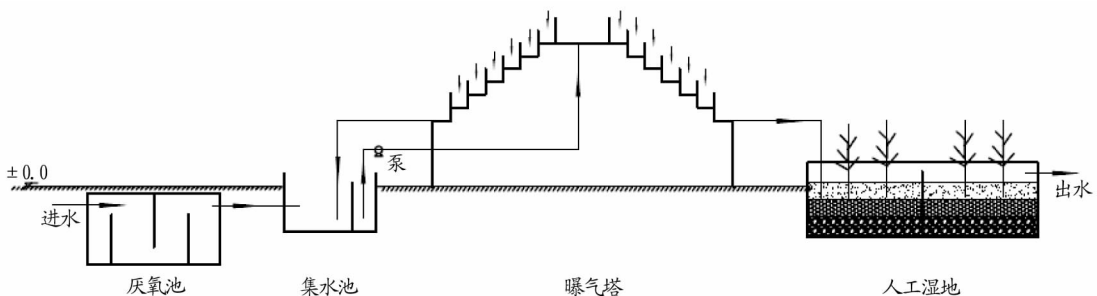


图 1 工艺流程

Fig. 1 Process flow

污水首先经过格栅拦截后, 进入地埋式厌氧折流池, 经过充分的厌氧发酵, 溢流到集水池, 然后由泵提升进入阶梯

跌水充氧曝气塔, 污水由上而下经过填料和其上的生物膜接触反应, 完成有机物的降解和氨氮的硝化反应, 使污水得到净化, 部分出水回流至集水池进行前置反硝化脱氮, 污水经过厌氧、曝气等处理后, 出水流入人工湿地进行深度处理。人工湿地为水平潜流型人工湿地, 出水在湿地中做从下到上的交替流, 与人工湿地中的填料介质接触吸附, 进行微生物处理氨氮、磷等, 且湿地表面种植吸附型水生植物, 进一

基金项目 江西省水利厅科技项目(KT201231); 江西省水利厅科技项目(KT201327); 江西省科技厅计划项目(20141BBG70011)。

作者简介 桂伦(1984—), 男, 湖北黄冈人, 助理研究员, 硕士, 从事农村能源与环境研究。* 通讯作者, 研究员, 硕士, 从事生物质能源研究。

收稿日期 2018-07-17

步吸附去除污染物。

设计处理规模为 $5\text{ m}^3/\text{d}$,各单元的设计参数:①地埋式厌氧折流池。内部设有折流挡板,规格为 $10\text{ m}\times 4\text{ m}\times 2\text{ m}$,有效容积 75 m^3 ,水力停留时间(HRT)为 15 d ,砖混结构。②集水池。规格为 $2.0\text{ m}\times 3.5\text{ m}\times 1.5\text{ m}$,有效容积 9 m^3 ,砖混结构。③该曝气塔采用无动力阶梯式跌水曝气充氧,塔体为梯形,跌水倾斜角度为 45° ,尺寸为高 7 m ,长 8 m ,上部宽 2.40 m ,下部宽 10.66 m 。该塔设有9级阶梯单体,池体内装有填料,单池尺寸为 $8.0\text{ m}\times 0.3\text{ m}\times 0.4\text{ m}$,底部设有沉淀池,尺寸为 $8.0\text{ m}\times 0.6\text{ m}\times 0.8\text{ m}$ 。④人工湿地采用水平潜流型人工湿地,尺寸为 $6.5\text{ m}\times 2.5\text{ m}\times 1.2\text{ m}$,沿程分为两格,中间用隔墙分开,池底坡度为 5° ,池体中从下到上依次装填 60 cm 厚卵石、 30 cm 厚河沙。试验初期,人工湿地内种植水浮莲和香蒲。

1.2 实验条件 以江西省农业科学院内生活污水为原水,连续运行监测18个月,进水水质如下:COD $1\ 634.9\text{ mg/L}$, NH_4^+-N 712.05 mg/L ,TP 84.18 mg/L ,SS $1\ 448.41\text{ mg/L}$ 。

1.3 测定指标和方法 COD:重铬酸钾法; NH_4^+-N :纳什试剂分光光度计;TP:钼酸盐分光光度法;SS:重量法(GB 11901-89)^[3]。

2 结果与分析

2.1 对COD的去除效果 由图2可知,出水COD浓度为 $159.10\sim 249.60\text{ mg/L}$,平均为 195.95 mg/L ,组合工艺对COD的平均去除率为 87.9% 。出水的COD浓度波动不大,出水水质稳定,受进水浓度的影响比较小。例如2月份和5月份的进水COD浓度最低,但出水与其他月份的相差不大。从出水去除率看,在长达18个月的运行期间,该系统均维持了 80% 以上的COD去除率。即便进入气温最低的1—3月,虽然低温状态下微生物普遍生长缓慢,但是系统仍然保持了较为高效的去除效果,说明该系统具有较高的稳定性。

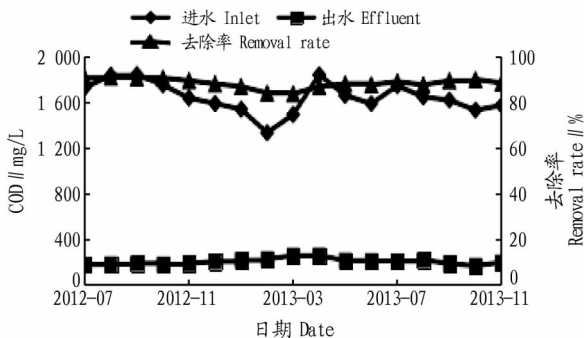


图2 组合工艺对COD的去除效果

Fig. 2 Removal efficiency of COD by combined process

2.2 对氨氮的去除效果 由图3可知,出水 NH_4^+-N 浓度为 $54.30\sim 79.70\text{ mg/L}$,平均为 65.89 mg/L ,组合工艺对 NH_4^+-N 的平均去除率为 90.7% 。总体上, NH_4^+-N 的出水浓度比较稳定,受进水浓度的影响比较小。例如2月 NH_4^+-N 进水浓度最低,5月 NH_4^+-N 进水浓度最高,出水的 NH_4^+-N 浓度稳定在 80 mg/L 以下,与其他月份的相差不大,说明该系统对 NH_4^+-N 的去除,具有一定耐温度、浓度变化冲击的能力。

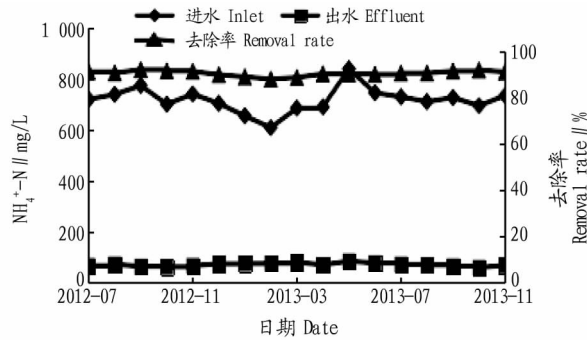


图3 组合工艺对 NH_4^+-N 的去除效果

Fig. 3 Removal efficiency of NH_4^+-N by combined process

2.3 对总磷的去除效果 由图4可知,出水TP浓度为 $4.4\sim 6.3\text{ mg/L}$,平均为 5.3 mg/L ,组合工艺对TP的平均去除率为 93.69% 。总体上,TP的出水浓度比较稳定,受进水的浓度影响比较小。例如2月TP进水浓度最低,6月和8月TP进水浓度最高,出水的TP浓度稳定在 6.0 mg/L 以下,与1—3月低温月份的相差不大,说明该系统对TP的去除,具有一定耐温度、浓度变化冲击的能力。

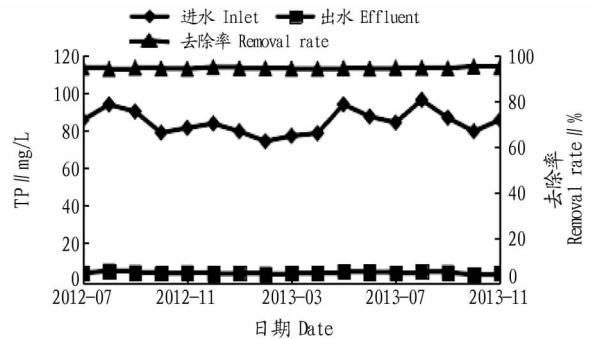


图4 组合工艺对TP的去除效果

Fig. 4 Removal efficiency of TP by combined process

2.4 对悬浮物的去除效果 由图5可知,出水SS浓度为 $102.00\sim 153.00\text{ mg/L}$,平均为 126.11 mg/L ,组合工艺对SS的平均去除率为 91.23% 。总体上,SS的出水浓度比较稳定,受进水的浓度影响比较小。例如2月SS进水浓度最低,4月进水浓度最高,出水的SS浓度稳定在 150 mg/L 左右,与其他的月份相差不大,说明该系统对SS的去除,具有一定耐温度、浓度变化冲击的能力。

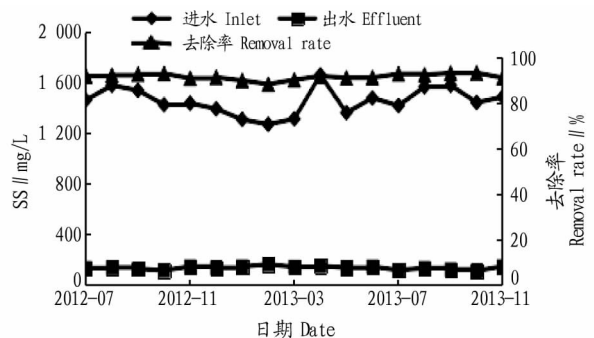


图5 组合工艺对SS的去除效果

Fig. 5 Removal efficiency of SS by combined process

2.5 组合工艺各处理单元对去除污染物的贡献率 由图 6 所示,厌氧池对 COD 的去除贡献率最大,为 48.45%;曝气塔次之,为 28.89%,集水池为 14.68%;人工湿地为 8.00%,贡献率最少。但是各单元降解有机物的途径不同。在厌氧池中,主要通过水解、酸化、甲烷化 3 个阶段将有机物分解为小分子溶解性有机物,再转化为 CH_4 和 CO_2 [4];在阶梯跌水曝气塔中,通过组合填料上的生物膜将部分可生物降解的小分子有机物降解为 CO_2 和 H_2O ;集水池通过回流反硝化,以污染物(COD)为碳源,消耗分解有机物[5]。在人工湿地中,通过化学分解和异养微生物的降解作用及基质的截留作用进一步去除有机物。厌氧池和阶梯跌水曝气塔,可以大幅度分解去除污水中的有机物,减轻了人工湿地的负荷,减缓了湿地易堵塞的问题[6]。

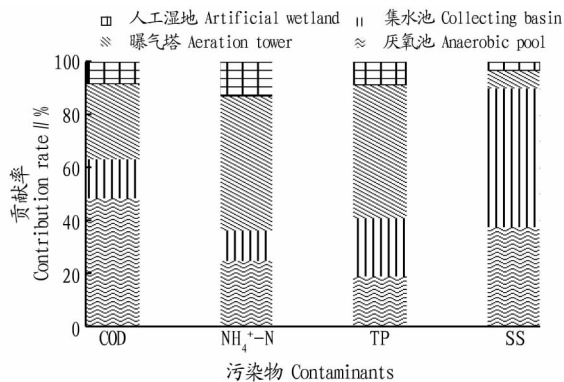


图6 组合工艺各单元处理污染物的贡献率

Fig. 6 Contribution rate of pollutants in each unit of combined process

NH_4^+-N 的去除主要由阶梯跌水曝气塔和厌氧池 2 个阶段贡献,阶梯跌水曝气塔对去除 NH_4^+-N 的贡献率最大,为 50.98%;厌氧池的贡献率为 24.69%;集水池和人工湿地的贡献率为 12%左右。阶梯跌水曝气塔主要依靠充足的溶解氧,填料中的形成大量活性生物膜,通过化能自养硝化细菌,对氨氮进行硝化反应,形成硝酸根和亚硝酸根产物,达到较好的硝化效果。 NH_4^+-N 浓度经过厌氧池有所降低,主要通过厌氧氨氧化反应,以氨(NH_4^+)为电子供体,亚硝酸盐(NO_2^-)为电子受体,生产氮气的生物反应去除氨氮[7]。

对 TP 量的去除贡献率,阶梯跌水曝气塔最大,占组合工艺除磷量的 50.33%;厌氧池和集水池的去除 TP 的贡献率为 20%左右。阶梯跌水曝气塔在好氧状态下,通过聚磷菌过量拾取磷,以富磷污泥的形式从系统中排出而去除磷[8]。TP

浓度经过厌氧池后有所下降,这应该是由厌氧池 HRT 长,通过沉积污泥吸附,使颗粒性 TP 发生沉淀的原因。

对 SS 的去除主要集中在厌氧阶段和集水池,达到去除效果的 90%以上,其中集水池贡献率最大,为 52.60%。厌氧阶段主要通过微生物分解成小分子溶解物,去除大部分的悬浮物;集水池主要通过沉淀的方式,去除悬浮物。

综上所述,厌氧池具有预处理功能,有效地降低了污染物负荷,减轻了后续处理单元的负担;阶梯跌水曝气塔主要用于脱氮除磷,并具有一定的去除有机物功能;集水池主要通过沉淀去除悬浮物,减轻对曝气塔和人工湿地填料的堵塞问题;人工湿地具有脱氮除磷和进一步去除有机物的功能。

3 结论

用厌氧池-集水池-阶梯跌水曝气塔-人工湿地组合工艺处理农村生活污水,对 COD、 NH_4^+-N 、TP、SS 的平均去除率分别为 87.90%、90.70%、93.69%、91.23%,出水稳定,受进水浓度波动影响不大,耐温度变化,系统具有较强的抗负荷能力。厌氧池对去除 COD 贡献率最大,具有稳定的前处理功能;阶梯跌水曝气塔对去除 NH_4^+-N 、TP 的贡献率最大,对去除 COD 的贡献率相对较大,对有机物的去除效果稳定;集水池对去除 SS 的贡献率最大;由于前面 3 个阶段的有机物的平均去除率达到 90%左右,人工湿地对去除 COD、 NH_4^+-N 、TP、SS 的贡献率相对较小。

组合工艺出水的水质:COD 为 159.1~209.9 mg/L、 NH_4^+-N 为 54.3~79.7 mg/L、TP 为 4.4~5.9 mg/L、SS 为 102~153 mg/L,达到《农田灌溉水质标准》(GB5084)二级排放标准。说明该组合工艺,既能有效地达标处理农村分散型生活污水,用于农田灌溉,又具有低耗能、维护简便、费用低等优点,是一种适宜于农村生活污水的处理工艺。

参考文献

- [1] 罗珍珍. 环鄱阳湖区农村面源污染成因及控制对策研究[D]. 南昌:南昌大学,2009:1-111.
- [2] 刘晓璐,牛宏斌,闫海,等. 农村生活污水生态处理工艺研究与应用[J]. 农业工程学报,2013,29(9):184-191.
- [3] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [4] 薛媛,武福平,李开明,等. 农村生活污水处理技术应用现状[J]. 现代化农业,2011(4):41-44.
- [5] 王红强,朱慧杰,张列宇,等. 人工湿地工艺在农村生活污水处理中的应用[J]. 安徽农业科学,2011,39(22):13688-13690.
- [6] 唐晶,吕锡武,吴琦平,等. 生物、生态组合技术处理农村生活污水研究[J]. 中国给水排水,2008,24(17):1-4.
- [7] 郝晓旭,汪慧贞,钱易,等. 欧洲城市污水处理技术新概念——可持续生物除磷脱氮工艺(上)[J]. 给水排水,2002,28(6):6-11.
- [8] 余浩. 水解池-滴滤池-人工湿地处理农村生活污水研究[D]. 南京:东南大学,2006:1-51.

(上接第 156 页)

- [18] 陈曦,丁亮,何公理,等. 电感耦合等离子体质谱测定居住区大气中痕量铍、镉、砷、铅[J]. 光谱学与光谱分析,2011,31(7):1942-1945.
- [19] BYCHKOVA Y V, SINITSYN M Y, PETRENKO D B, et al. Method peculiarities of multielemental analysis of rocks with inductively-coupled plasma mass spectrometry [J]. Moscow University geology bulletin, 2017, 72(1):56-62.
- [20] 邱丽,唐碧玉,古行乾,等. 电感耦合等离子体质谱法测定铅锌矿尾矿渣中铜、铅、锌和镉[J]. 理化检验(化学分册),2015,51(7):943-946.
- [21] 聂西度,符靛. 土豆中微量元素的质谱分析[J]. 食品工业科技,2013,

- 34(9):312-314.
- [22] 王宁芳. 火焰原子吸收法测定马铃薯中的微量元素[J]. 安徽农业科学,2016,44(34):46-47.
- [23] 施江焱. 校准 ICP-MS 检出限的测量不确定度评定[J]. 计测技术,2010,30(4):47-49.
- [24] 王家伟. ICP-MS 检出限的测量不确定度评定[J]. 计量与测试技术,2016,43(7):102-103.
- [25] 张清海,廖朝选,林绍霞,等. 微波消解 ICP-MS 同时测定茶叶中的 35 种元素[J]. 贵州科学,2012,30(6):40-44.
- [26] 黄晓纯,刘昌弘,张军,等. ICP-MS 测定蔬菜样品中重金属元素的两种微波消解前处理方法[J]. 岩矿测试,2013,32(3):415-419.