

# 农村分散型生活污水一体化处理设备研究及应用

李康勇, 张勇, 盛东, 陈向

湖南省水利水电科学研究院, 湖南 长沙

收稿日期: 2024年9月17日; 录用日期: 2024年10月8日; 发布日期: 2024年10月21日

## 摘要

本研究针对农村分散型生活污水特点及处理现状, 结合AAO和人工湿地工艺设计制作一种农村生活污水一体化处理设备, 并开展农村生活污水处理效果研究。结果表明, 在无需外加碳源和化学药剂前提下, 采用活性污泥法和人工湿地结合对污水中COD、氨氮和总氮去除效果较好, 去除率分别为83%、87%和76%, 对总磷的去除率相对较低, 去除率为71%, 出水水质基本可以达到GB18917-2002一级B标准。当进水污染物浓度一定范围增加时, 设备对去除率相对稳定, 具有较好的抗冲击负荷, 为农村分散型生活污水处理提供技术支撑。

## 关键词

农村生活污水, 一体化处理设备, 脱单除磷, AAO工艺

# Research and Application of Integrated Equipment for Dispersed Domestic Sewage Treatment in Rural Areas

Kangyong Li, Yong Zhang, Dong Sheng, Xiang Chen

Hunan Institute of Water Resources and Hydropower, Changsha Hunan

Received: Sep. 17<sup>th</sup>, 2024; accepted: Oct. 8<sup>th</sup>, 2024; published: Oct. 21<sup>st</sup>, 2024

## Abstract

Considering the characteristics and treatment status of dispersed rural domestic sewage, this study combined AAO process and constructed wetland process to design an integrated equipment for

rural domestic sewage treatment and tested its effect on. The results showed that the combined application of activated sludge method and constructed wetland had a good effect on domestic sewage treatment with the removal rate of COD, total nitrogen and ammonia nitrogen in sewage were 83%, 87% and 75% respectively without adding carbon sources and chemical. The removal rate of total phosphorus was relatively lower at 66%. The effluent quality can basically meet the GB18917-2002 Class B standard. When the concentration of influent pollutants increases in a certain range, the removal rate of the equipment for was relatively stable which indicated that the equipment has a good impact resistance load and provides support for rural dispersed domestic sewage treatment.

## Keywords

Rural Domestic Sewage, Integrated Treatment Equipment, Nitrogen and Phosphorus Removal, AAO Process

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国农村区域面积占全国总面积的近九成,人口占比超过 50%。全国约有 60 万个行政村,农村人口超 5 亿。近年来随着国家经济的快速发展,农村居民的生活水平不断提高,生活污水排放量迅速增大。单户农村居民生活污水日均排放量相对较小,污染物类型相对稳定,生活污水经过化粪池处理后污染物主要为 COD、氮、磷、有机物等[1]-[3]。由于农村居民居住分散,污水集中收集难度大、费用高,收集管网基础设施缺乏,使得全国对农村生活污水进行处理的乡仅占比 35%左右[4]。大量农村生活污水仅经过简单处理后就直接排放到自然水体,易造成水体污染,破坏农村生态环境,影响农村人居环境及居民身体健康。

AAO 工艺具有工艺流程简单,脱氮除磷效果良好,运行维护成本低等特点,该工艺目前在生活污水处理中应用广泛[5]-[8]。人工湿地在污水深度处理去除氮磷具有效果较好[9][10]。因此,本研究针对农村分散型居民生活污水特点,以 AAO 污水处理工艺为基础,结合表面流人工湿地,设计制作一种适用于农村分散污水处理一体化污水处理设备,该设备具有占地少、结构简单、运行维护费低等优点,通过现场试验优化一体化处理设备运行参数,为农村生活污水处理提供技术支持。

## 2. 一体化处理设备设计

### 2.1. 工艺流程

本研究设计的一体化污水处理设备是以 AAO 工艺为基础,结合人工湿地处理工艺,设厌氧池、缺氧池、好氧池、沉淀池、清水池、微型人工湿地于一体,通过为氨化、反硝化、硝化、沉淀、植物吸收等达到脱氮除磷的效果。一体化处理设备工艺流程示意图如图 1 所示。

一体化处理设备设计平面图如图 2 所示,进水首先进入厌氧池,从厌氧池底部流入缺氧池,从缺氧池预设管道流入好氧池,经过好氧池处理后从顶部圆孔流入沉淀池,沉淀后的水从顶部流入清水池后,再通过气提装置将水排至最上端的人工湿地,最后排出至设备外面。好氧池设曝气和硝化液回流,沉淀池设污泥回流,并通过气提实现消化液、污泥回流和清水池排均通过气提完成,因此当通过自流进水时,设备运行只一台鼓风机即可,无需回流泵。

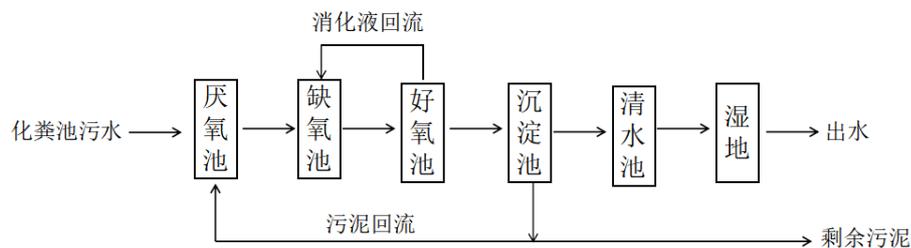
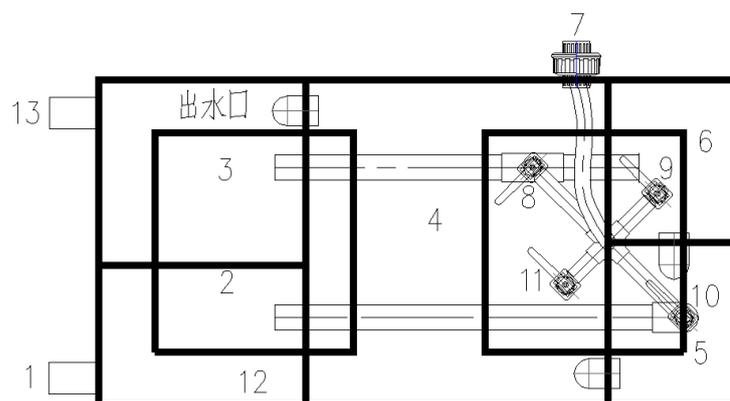


Figure 1. Process diagram of the integrated processing equipment

图 1. 一体化处理设备工艺流程示意图



其中 1. 进水口, 2. 厌氧池, 3. 缺氧池, 4. 好氧池, 5. 沉淀池, 6. 清水池, 7. 鼓风机接口, 8. 消化液回流, 9. 清水池排水, 10. 污泥回流, 11. 曝气, 12. 人工湿地, 13. 出水口。

Figure 2. Design plan of the integrated processing equipment

图 2. 一体化处理设备设计平面图

## 2.2. 主要参数确定

按照国家城乡供水一体化发展要求, 依据相关用水定额规范要求, 按户均 6 口人算, 设计日户均排放污水量取值  $0.6 \text{ m}^3/\text{d}$ 。进水水质通过查阅相关资料确定, 出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918-2022 二级标准, 本次设计一体化污水处理设备日排水量为  $0.6 \text{ m}^3$ , 设计进出水水质各指标标准如表 1 所示。

Table 1. Water quality index of rural domestic intake and effluent (mg/L)

表 1. 农村生活进水及出水水质指标(mg/L)

指标	PH	SS	COD <sub>Cr</sub>	氨氮	总氮	总磷
排水	6~9	30	100	25	/	3
进水	6~8	≤200	≤500	≤60	≤90	≤5

按照《室外排水设计规范》GB50014-2021 要求计算一体化污水处理设备各反应池容积, 并设计各反应池尺寸、曝气量等。厌氧池体积为  $0.05 \text{ m}^3$ , 设计有效水深为  $0.9 \text{ m}$ , 长、宽分别为  $0.28 \text{ m}$ 、 $0.2 \text{ m}$ , 水力停留时间为  $2 \text{ h}$ 。缺氧池体积为  $0.075 \text{ m}^3$ , 设计有效水深为  $0.9 \text{ m}$ , 长、宽分别为  $0.28 \text{ m}$ 、 $0.3 \text{ m}$ , 水力停留时间为  $3 \text{ h}$ , 底部与厌氧池连管, 与好氧池通过两者隔板上端圆孔连通。好氧池体积为  $0.175 \text{ m}^3$ , 设计有效水深为  $0.9 \text{ m}$ , 长、宽分别为  $0.37 \text{ m}$ 、 $0.5 \text{ m}$ , 水力停留时间为  $7 \text{ h}$ 。好氧池设曝气装置和消化液

回流装置,其中曝气管道采用直径 20 mm 的 pvc 管道,回流管道直径为 50 mm 的 pvc 管道。沉淀池和清水池设计有效水深均为 0.85 m,长、宽分别为 0.2 m、0.25 m,有效容积为 0.042 m<sup>3</sup>,水力停留时间为 1.7 h。在一体化污水处理设备顶端设置“回字形”表面流人工湿地,有效高度为 0.2 m,容积为 0.063 m<sup>3</sup>,水力停留时间为 2.5 h。

### 2.3. 附属设施设计

好氧池曝气供气量计算得出好氧池供气量为 9 L/min。一体化污水处理设备采用气提进行混合液回流、污泥回流和清水池排水,由一个气泵同时为曝气、混合液回流、污泥回流和清水池排水提供所需的空气,各进气管设有阀门调控进气量。气提所需气量按下公式计算,其中设计混合液回流比最大为 400%,最大回流量为 100 L/h。设计污泥最大回流比为 100%,最大回流量为 25 L/h。设计清水池排水量等于进水量,为 25 L/h。所需最大空气用量  $Q_v$  按公式(1)计算得出  $Q_v$  为 5.5 L/min。因此设计曝气和气提用气量为 14.5 L/min,曝气风压不低于 11 Kpa。好氧池采用悬浮球生物填料,填料由聚氨酯球形外壳以及内部聚氨酯海绵块组成。

$$Q_v = \frac{QKH}{23 \lg \left( \frac{h+10}{10} \right)^n} \quad (1)$$

式中:  $Q_v$  为空气用量(m<sup>3</sup>/h);  $K$  为安全系数,取 1.2;  $H$  拟提升高度,本次设计高度为 0.1 m,  $Q$  为回流流量(m<sup>3</sup>/h);  $h$  为最小浸没水深,取 1.5 倍  $H$  值;  $n$  为效率系数,取 0.35。

## 3. 试验材料与方法

### 3.1. 试验材料

为验证一体化设备污水处理效果,本研究在位于长沙市春华镇的湖南省灌溉试验中心站内进行现场试验,污水为该试验站内工作人员生活污水,污水经化粪池处理后悬浮性有机物明显降低,COD 在有机物浓度 COD 在 100~400 mg/L 之间。接种活性污泥为长沙岳麓区某污水处理厂沉淀池污泥。本次试验装置由一体化污水处理设备、进水泵、鼓风机组成,其中一体化处理设备按本研究设计尺寸采用 PPR 制作,本次提水泵选择机械电磁隔膜计量泵,型号为 GM 0~90 L/0.8 Mpa,鼓风机选择罗茨鼓风机 HG-370,最大风压 12 kpa,最大风量 54 m<sup>3</sup>/h。一体化设备人工湿地底层填充细沙,选择狐尾藻作为净化植物,经过湿地处理后的水最终排出。

### 3.2. 试验方法

本次试验设置的进水量为 25 L/h,水力停留时间为 16.8 h,其中厌氧池、缺氧池、好氧池、沉淀池、清水池和人工湿地水力停留时间分别为 2 h、3 h、7 h、1.3 h、1.3 h 和 2.2 h,试验水温度为 15℃~25℃。硝化液回流比 200%,污泥回流比 50%。待设备运行稳定后,每天 17:00 进行取样测定水质 COD、TN、TP、氨氮和 PH 指标情况。

COD 采用重铬酸钾分光光度法测定,氨氮采用纳氏试剂分光光度法测定,TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定,TP 采用钼酸铵分光光度法测定,pH 采用便携式 pH 计测定。

## 4. 结果与分析

### 4.1. COD 去除效果

一体化污水设备对进出水水质 COD 变化情况如下图 3 所示,平均进水 COD 浓度为 310 mg/L,平均

出水 COD 浓度 54 mg/L，平均 COD 去除率为 83%。进水 COD 浓度为 268 至 366 mg/L，出水 COD 浓度为 42 至 68 mg/L，试验前段进水 COD 浓度呈增加趋势，到试验中后期进水 COD 浓度相对较高，但 COD 去除率整体相对稳定，平均去除率有所提高，这说明该设备容积负荷较好，除个别天数外，大部分出水 COD 浓度达到 GB18918-2002 一级 B 标准排放标准，整体 COD 去除效果较好。

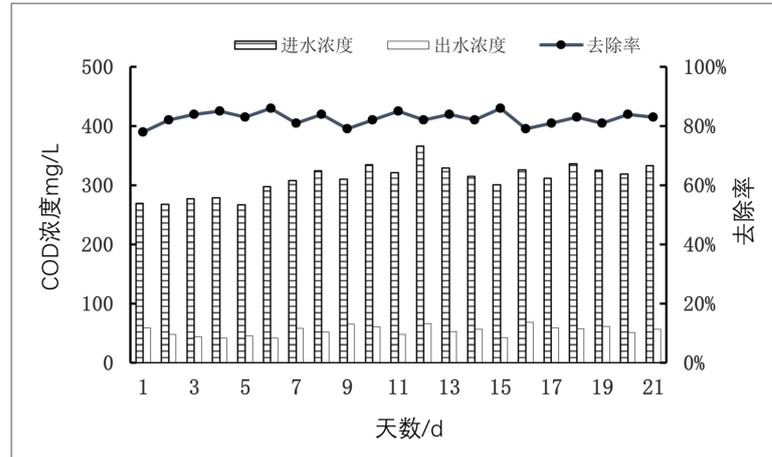


Figure 3. COD removal in domestic sewage  
图 3. 生活污水 COD 去除情况

#### 4.2. 氨氮去除效果

一体化污水设备对进出水水质氨氮变化情况如下图 4 所示，平均进水和出水氨氮浓度为分别 42 mg/L 和 5.4 mg/L，平均氨氮去除率为 87%，氨氮去除效果较好。研究显示，当好氧区溶解氧在 2 mg/L 左右时，缺氧区溶解氧含量低于 0.5 mg/L 时，氨氮在硝化和反硝化作用下被有效分解。本试验通过曝气阀门开度控制好氧池进气量，使好氧池溶解氧浓度控制在 2~3.5 mg/L，缺氧池溶解氧浓度低于 0.8 mg/L，为去除氨氮提供稳定的环境。试验前 7 天平均进水氨氮浓度为 39 mg/L，去除率为 81%；到试验中后期进水氨氮浓度略增高，但氨氮去除率有所提高，平均氨氮去除率达 90%，这说明该设备容积负荷较好。出水氨氮浓度除第一天超过 8 mg/L 外，其余时间分出水氨氮浓度均达到 GB18918-2002 一级 B 标准排放标准。

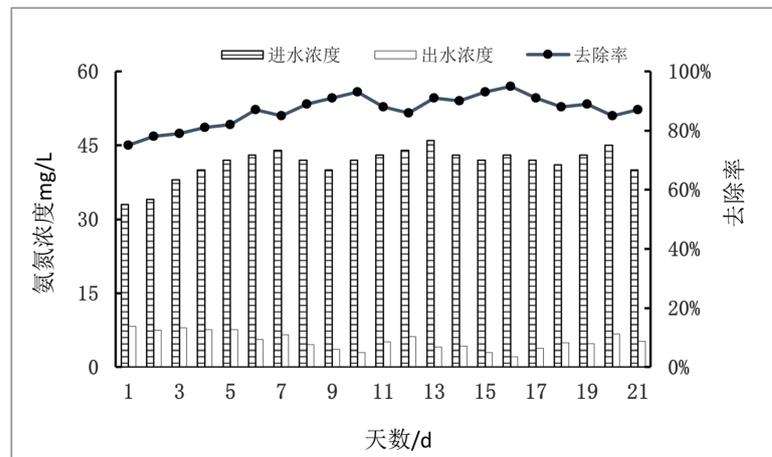


Figure 4. Ammonia nitrogen removal in domestic sewage  
图 4. 生活污水氨氮去除情况

### 4.3. 总氮去除效果

一体化污水设备对进出水水质总氮变化情况如下图 5 所示, 稳定运行后, 平均进水和出水总氮浓度为分别 63 mg/L 和 16 mg/L, 平均氨氮去除率为 75%。进水总氮浓度相对稳定, 试验期进水浓度为 59~69 mg/L, 出水总氮浓度为 11~19 mg/L, 出水总氮浓度达到 GB18918-2002 一级 B 标准排放标准。总氮去除主要通过硝化和反硝化作用分解, 硝化液回流比是影响总氮去除的重要因素, 研究表明硝化液回流比控制在 200%至 300%比较适宜。本次运行结果总氮去除率较氨氮低, 出水总氮主要由氨氮和硝氮组成, 其中硝氮占比较大, 氨氮约占总氮 34%, 这可能是由于运行设定硝化液回流比偏低, 好氧池溶解氧量偏高, 导致厌氧池反硝化不足而造成的现象。

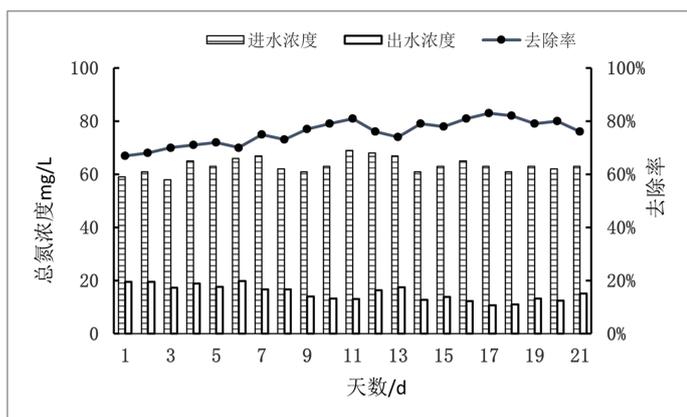


Figure 5. Total nitrogen removal in domestic sewage

图 5. 生活污水总氮去除情况

### 4.4. 总磷去除效果

进出水水质总氮变化情况如下图 6 所示, 平均进水和出水总磷浓度为分别 3 mg/L 和 0.9 mg/L, 平均氨氮去除率为 71%。整体进水总磷浓度不高, 总磷浓度为 2.2~3.6 mg/L, 出水总磷浓度在 0.6~1.2, 出水达到 GB18918-2002 一级 B 标准排放标准, 总磷去除率在 67%~76%之间。传统 AAO 工艺需要严格控制各项运行参数实现高效除氮脱磷, 一定程度上增加了运行维护的难度。本设备结合人工湿地基质吸附和水生植物吸收除磷, 保证了除磷效果, 降低了运行要求。

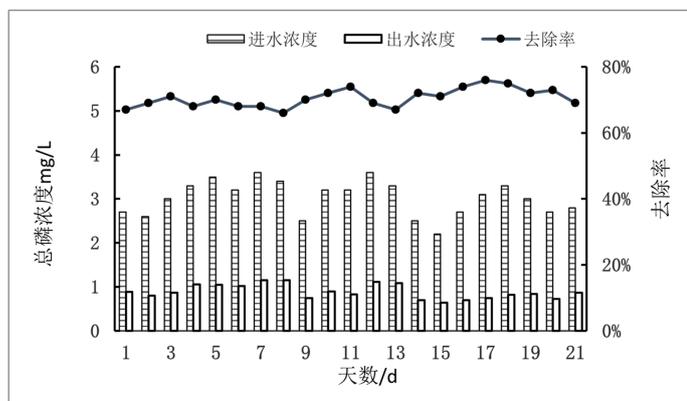


Figure 6. Total phosphorus removal in domestic sewage

图 6. 生活污水总磷去除情况

## 5. 结论

本研究针对农村分散性生活污水特征及处理现状,基于 AAO 和人工湿地污水处理工艺,设计制作一种一体化污水处理设备,并对设备开展了污水处理效果研究,得出以下结论:

(1) 相较于传统 AAO 工艺,该设计减少了回流泵的使用,结合人工湿地工艺,保证了污水处理效果,降低了运行维护成本。

(2) 在不外加碳源和化学药剂的前提下,运行参数硝化液回流比为 200%,污泥回流比为 50%,好氧池溶解氧在 2~4 mg/L 时,设备对污水 COD、氨氮、总氮去除效果较好,去除率分别为 83%、87%、75%;对总磷的去除效果相对较低,去除率为 71%。

(3) 一体化污水处理具有一定的抗冲击负荷,处理后水质基本达到 GB18918-2002 一级 B 标准排放标准。

## 基金项目

湖南省水利水电科学研究院优秀人才培养支撑项目(202104)、国家自然科学基金联合基金项目(U21A2010)、湖南省水利科技项目(XSKJ2023059-21)。

## 参考文献

- [1] 王俊能,赵学涛,蔡楠,等.我国农村生活污水污染排放及环境治理效率[J].环境科学研究,2020,33(12):2665-2674.
- [2] 刘明浩,金旦军,孙凯,赵威,刘磊,等.A<sup>2</sup>O 一体化设备在农村污水处理中的应用[J].广东化工,2024,51(6):108-111.
- [3] 王立东,刘德明,马世斌,等.改进型农村三格化粪池的污水处理性能[J].环境科学学报,2020,14(10):2831-2836.
- [4] 王琦,黄懿,张媛柯,等.山地农村生活污水典型处理工艺效果研究[J].环境科学与技术,2024,47(S1):116-222.
- [5] 谭涛,朱士江,刘扬,等.不同运行参数操控下 AAO 工艺脱氮除磷效果优化研究[J].水处理技术,2023,49(6):94-100.
- [6] 孙洁.污水处理厂中“\_AAO+\_深度处理”工艺研究[J].黑龙江环境通报,2024,37(1):157-159.
- [7] 夏斌,幸响付,李石磊,等.一体化设备处理农村生活污水的实例研究[J].安徽农业科学,2022,50(23):191-193.
- [8] 马九利,王伟,黄继会,等.城镇污水处理厂可调节式 AAO 工艺优化运行实践[J].中国给水排水,2023,39(17):70-73.
- [9] 尹笛.复合垂直潜流人工湿地处理分散型农村生活污水工程设计[J].现代园艺,2024(3):122-124.
- [10] 牛丽萍,刘祥,柏义生,等.人工湿地技术在农村生活污水中的应用[J].安徽农业科学,2023,51(22):224-226.