

The Engineering Application and Operation Cost Analysis of the Anaerobic Tank-Soil Bed System on Treating the Rural Domestic Sewage in Chaohu Lake Basin Area

Zhiping Huang¹, Dachuan Yang^{1,2}, Changxiong Zhu³, Jian Ding¹, Hongyan Zheng¹, Changhong Mi¹

¹Institute of Agro-environmental Protection, Ministry of Agriculture, Tianjin

²Shenyang Agricultural University, Shenyang Liaoning

³Institute of environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing

Email: bjhuangzp@126.com

Received: Jul. 13th, 2018; accepted: Jul. 25th, 2018; published: Aug. 2nd, 2018

Abstract

The paper was proposed to study the application effect and cost analysis of rural domestic sewage treated by soil bed system, which is applied at the central community of Paifang Township, Feidong County, Anhui Province. The results showed that: 1) The anaerobic tank-soil bed system can effectively remove COD, TN, NH_4^+-N and TP in sewage. The results of the third party inspection institution indicated that the effluent can meet the level B standard of *Standard for Pollutant Discharge in Urban Wastewater Treatment Plant GB18918-2002*; 2) The operation cost of anaerobic tank-soil bed system is RBM 0.03 yuan·T⁻¹; 3) The 100 m³·d⁻¹ sewage treatment scale of soil bed system covers 600 m² land, and the income of soil bed system in farming is about RBM3200 yuan·a⁻¹, which can support the operation cost of sewage treatment system.

Keywords

Rural Sewage, Soil Bed System, Treatment Mode, Cost Analysis, Chaohu Lake Basin

厌氧 - 土壤净化床工艺处理农村生活污水的工程应用及运行成本分析研究

黄治平¹, 杨大川^{1,2}, 朱昌雄³, 丁健¹, 郑宏艳¹, 米长虹¹

¹农业部环境保护科研监测所, 天津

文章引用: 黄治平, 杨大川, 朱昌雄, 丁健, 郑宏艳, 米长虹. 厌氧 - 土壤净化床工艺处理农村生活污水的工程应用及运行成本分析研究[J]. 环境保护前沿, 2018, 8(4): 302-307. DOI: 10.12677/aep.2018.84036

²沈阳农业大学, 辽宁 沈阳

³中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京

Email: bjhuangzp@126.com

收稿日期: 2018年7月13日; 录用日期: 2018年7月25日; 发布日期: 2018年8月2日

摘 要

以肥东县牌坊乡中心社区应用土壤净化床技术处理生活污水为案例, 研究其对农村生活污水处理应用效果及成本分析。结果表明: 1) 土壤净化床处理厌氧后污水, 能有效去除污水中COD、TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP。第三方监测结果表明, 厌氧-土壤净化床工艺出水能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准 GB18918-2002》一级B标准; 2) 厌氧-土壤净化床运行成本为0.03元·t⁻¹; 3) 处理规模100 m³·d⁻¹的土壤净化床占地面积600 m², 土壤净化床农作年收益约0.32万元, 农作收益能保障污水处理系统的运行费用。

关键词

农村生活污水, 土壤净化床, 处理模式, 成本分析, 巢湖流域

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

农村生活污水处理系统需构建适宜的治理体系, 设计简单, 价格相对便宜, 注重污水资源化利用, 能长期稳定运行[1] [2] [3], 土壤净化床为土地处理技术之一, 将污水处理和农作生产过程相衔接, 其原理为以土壤饱和区和饱和区含水层作为物理化学和生物反应的媒介, 通过作物吸收、土壤过滤、微生物降解等作用, 降低污水中 COD、N、P 和 SS 等有机和无机物浓度[4], 农作过程即为污水处理系统的维护过程, 作物生产收益补偿污水处理系统的运行费用, 切实保障农村生活污水处理系统运行费用和管理问题。

以肥东县牌坊乡应用土壤净化床技术处理生活污水为案例, 研究其对农村生活污水的处理应用效果及经济效益分析, 以期土壤净化床技术在农村的推广应用提供技术支持。

2. 材料与方法

2.1. 工程概况

该工程位于肥东县牌坊乡中心社区千柳公园西, 涉及人口约 1500 人, 该社区通过地下管网收集居民生活污水, 污水经过三级厌氧池预处理后进入土壤净化床进行处理。污水处理工程按污水产生量 70 L·d⁻¹·人⁻¹, 根据《室外排水设计规范》(GB 50014-2006), 污水收集系数取 0.8。肥东县累年平均降水量 879.9 mm, 有三个特点, 一是年际变幅大, 最多的 1973 年为 1179.6 毫米, 最少的 1978 年为 562 毫米; 二是区域分布不均, 由南而北逐渐减少, 南北年雨量相差 50 至 100 毫米; 三是四季分配有差异, 春季降水 200 多毫

米, 夏季降水 300 多毫米, 秋季降水 200 毫米左右, 冬季近 100 毫米, 平均年降雨日 115 天。因此设计中考虑降雨及其他不可预见因素产生的污水量为 25 m^3 , 污水处理能力为 $1200 \times 70 \times 0.8 + 25 = 92.7 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 污水处理能力按 5 年的发展期设计, 污水处理设计量为 $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。出水水质要求达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级 B 标准, 设计进出水水质($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)见表 1。

三级厌氧池设计容积负荷 $0.25 \text{ kg (COD)} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, HRT 为 5 d。土壤净化床采用聚乙烯膜和土工布防渗, 底层填料为 20 cm 厚碎石、中层为 20 cm 厚粗沙透气填料、上层为 40 cm 厚的原位土, 为防止土壤对布水系统和集水系统的堵塞影响, 土壤层与填料层间用过水不过土的反滤土工布隔离, 土壤净化床总占地面积 600 m^2 , 设计水力负荷为 $0.125 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

2.2. 测试方法

TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定(GB11894-89); TP 采用钼酸铵分光光度法测定(GB11893-89); COD 采用重铬酸钾氧化法测定(GB11914-89); $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 采用纳氏试剂比色法测定。

3. 结果与讨论

3.1. 污染物去除效果

根据项目要求, 该系统稳定运行后, 由具认证资质的第三方监测机构于 2016 年 5 月至 2016 年 10 月对土壤净化床系统进行连续 6 个月的监测, 其监测结果为处理效果的评估。污染物去除效果见图 1, 处理系统及出水效果照片见图 2。

由图 1 可知, 进水 COD 在 $270 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右, 为设计进水水质范围内, 出水 COD 低于 $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, COD 去除率为 80%以上。COD 的去除主要依靠厌氧池内微生物发生厌氧反应、填料基质的吸附作用以及土壤微生物的生物降解作用。在水量充足的时期, 进水井口及布水管内水流在水压及重力的作用下加速流动, 会给周围的土壤微生物提供适合活动的好氧区域, 水流流速会随着进水量的加大而加快, 增加了好氧区域的氧含量, 布水管周围土壤孔隙中的土壤微生物的活跃程度也会增加, 增强对有机质的消耗。

进水 TN 含量在 $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右, 出水 TN 含量低于 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TN 的去除率在 70%以上。进水氨氮约为 $28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 出水氨氮低于 8 mg/L , 氨氮去除率基本在 70%以上。污水在厌氧系统中, 有机氮被转化为以铵态氮为主的无机氮, 污水进入布水管后, 在上层好氧区发生硝化反应, 在下渗入集水管的过程中发生反硝化反应, 最终 N 以 N_2 的形态被分离出去, 未被及时硝化的氨氮同时也会被地表作物的根系吸收利用。

进水 TP 含量在 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右, 出水 TP 低于 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 去除率基本在 60%以上。TP 的去除主要依靠装置内填料的物理化学吸附作用和作物的吸收。土壤矿物质及填料中含有相当数量的 Ca、Al、Fe 等的氧化物, 能为磷的吸附提供结合部位, 从而加大土层对 P 的吸附容量, 提高土层的再吸附速率及土壤渗透性能。同时, 在装置表层土种植易生长的经济作物, 利用植物对 P 的营养摄取吸收, 通过收割植物去除一部分 P。为提高磷的去除率, 还可在土层中加入沸石等吸附 P 的填料, 提高污水的下渗距离, 使污水中的 P 能够充分被净化床吸附。

3.2. 效益分析

$100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 厌氧 - 土壤净化床组合工艺项目建设成本 $0.49 \text{ 万元} \cdot \text{t}^{-1}$, 运行成本为每年 1000 元的清理厌氧池的人工养护费, 再无其他运行费用, 运行成本为 $0.03 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 。

表 2 为文献查询的城市污水和农村生活污水处理的建设和运行成本。与城市污水处理厂的运行成本比较, 厌氧 - 土壤净化床组合工艺技术运行成本最少节省 $0.32 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 。

Table 1. Quality of influence and effluence/mg·L⁻¹
表 1. 设计进出水水质/mg·L⁻¹

项目	COD	TN	TP	pH
进水水质	200~400	25~35	<5	6~9
出水水质	<60	<20	<1	6~9

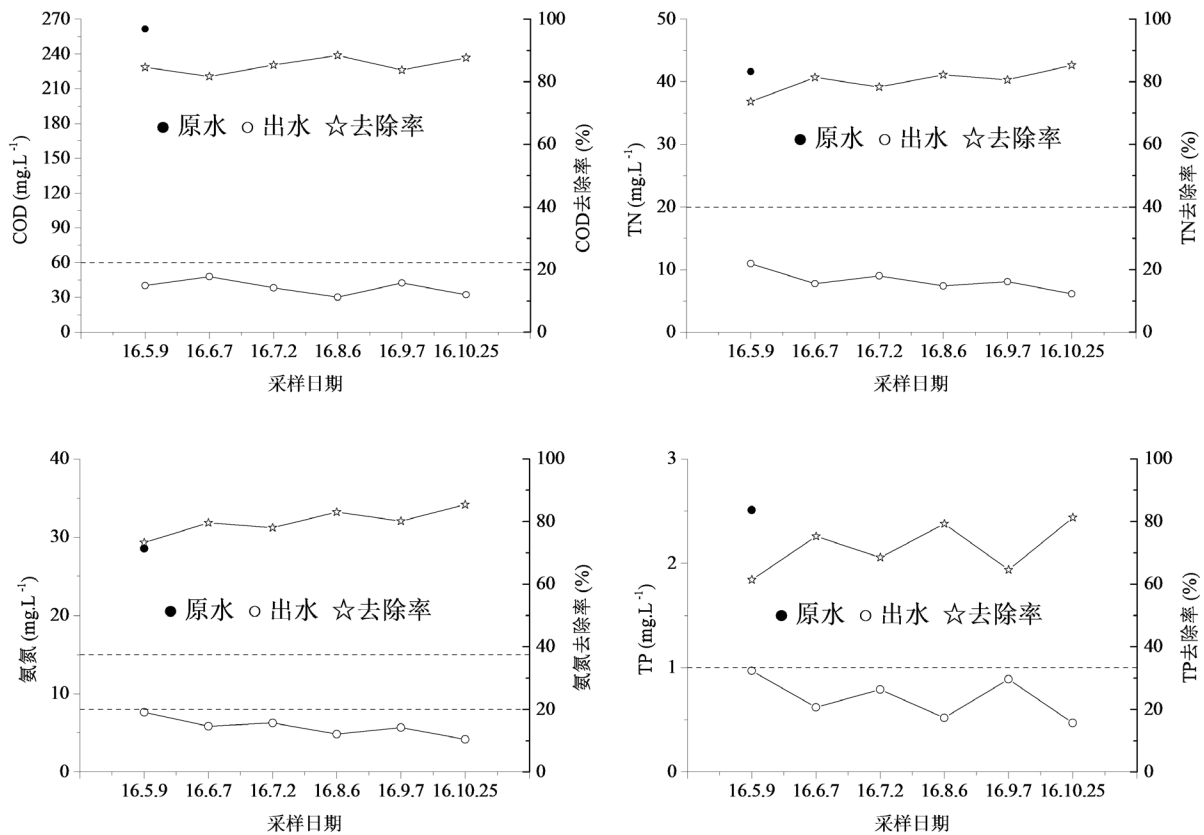


Figure 1. COD、TN、NH₄⁺-N and TP removal by soil bed system

图 1. 土壤净化床污染物去除效果



Figure 2. The photos of soil bed system and the effluence

图 2. 土壤净化床及处理后的出水照片

Table 2. Costs of construction and operation of urban sewage and rural sewage from the literature
表 2. 文献查询的城市污水和农村生活污水处理的建设和运行成本

工艺		建设成本/万元·m ⁻³	运行成本/元·m ⁻³	备注
城市污水处理 厂[5]	东部地区	1.66 元·t ^{-1a}	1.03	n ^b = 128 座
	中部地区	1.56 元·t ^{-1a}	1.02	n = 62 座
	西部地区	2.08 元·t ^{-1a}	1.05	n = 37 座
农村污水处理 [6] [7]	无动力厌氧发酵	0.28	0	仅厌氧发酵后的污水有臭味， COD、TN、TP 含量还较高，一般 还需人工湿地后续进一步处理
	厌氧发酵 - 人工湿地	0.83	0.15	/
	一体化集成技术	0.71	0.60	/
	一体化集成技术 - 人工湿地	0.67	0.35	/
	中型人工湿地	0.41	/	/
	小型人工湿地	0.76	/	/
	渠道式生态沟	0.96	/	/
	AOBR (厌氧好氧生物反应器) 一体化设备	0.80		/
	小城镇人工快渗	0.39~0.61	0.18~0.46	/
	MBR-人工湿地	1.25~1.33	0.91~1.00	/

注：a，其建设成本计算方式为折旧年限处理所有污水的均值；b，n 为样本数，227 座污水处理厂均为 2012 年的经济成本。

与农村生活污水处理系统运行成本比较，厌氧 - 土壤净化床组合工艺技术建设成本比中型湿地和小城镇人工快滤平均建设成本略高，比其他工艺建设成本能低 30%以上。厌氧 - 土壤净化床的运行成本为 0.03 元·t⁻¹，比人工湿地、人工快滤池等其他工艺要低 0.12~0.97 元·t⁻¹。

100 m³·d⁻¹ 土壤净化床占地面积 600 m²，每年种植普通的辣椒、黄瓜、苦瓜、油菜、白萝卜等蔬菜，1 年种植 2 茬，以 1 茬青椒和 1 茬白萝卜轮作为例，青椒产量为 7500 kg·hm⁻²，600 m² 土壤净化床产量为 450 kg，批发价 2.00 元·kg⁻¹，每茬收益 0.09 万元，白萝卜产量为 37,500 kg·hm⁻²，600 m² 土壤净化床产量为 2250 kg，批发价 1.00 元·kg⁻¹，每茬收益 0.23 万元，年收益约 0.32 万元，足够支付清理厌氧池等的人工维护成本，土壤净化床的农作收益保障了污水处理系统稳定的运行费用。

通过土壤净化床对生活污水的处理，牌坊中心村脏乱差的村容村貌彻底得到了改变，以前的恶臭地表水体变得清澈，生态环境得到极大改善。

4. 结论

1) 土净化床集中处理厌氧预处理后的生活污水，能有效去除污水中 COD、TN、NH₄⁺-N、TP。第三方监测结果表明，厌氧 - 土壤净化床工艺出水能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准 GB18918-2002》一级 B 标准。2) 厌氧 - 土壤净化床的运行成本为 0.03 元·t⁻¹，比人工湿地、人工快滤池等其他农村污水处理工艺要低 0.12~0.97 元·t⁻¹，比城市污水处理厂的运行成本要低 0.32 元·t⁻¹。3) 处理规模 100 m³·d⁻¹ 土壤净化床占地面积 600 m²，土壤净化床农作年收益约 0.32 万元，足够支付清理厌氧池的人工维护成本，农作收益能保障污水处理系统稳定地运行。

基金项目

南淝河流域农村有机废弃物及农田养分流失污染控制技术研究示范(2013ZX07103-06)。

参考文献

- [1] 刘俊新. 因地制宜, 构建适宜的农村污水治理体系[J]. 给水排水, 2017, 43(6): 1-3.
- [2] 田泽源, 吴德礼, 张亚雷. 美国分散型生活污水治理的经验与启示[J]. 给水排水, 2017, 43(5): 52-57.
- [3] 胡凯, 许航, 张怡蕾, 等. 分散式农村生活污水处理设施运营模式探讨[J]. 水资源保护, 2017, 33(2): 63-66.
- [4] 黄治平, 龚明波, 张克强, 等. 土壤净化床系统处理巢湖农村生活污水应用研究[J]. 水处理技术, 2013, 39(6): 105-108, 118.
- [5] 谭雪, 石磊, 马中, 等. 基于污水处理厂运营成本的污水处理——基于全国 227 个污水处理厂样本估算[J]. 中国环境科学, 2015, 35(12): 3833-3840.
- [6] 陈梅, 钟成华, 张卫东, 等. 农村生活污水处理技术的应用效果及其经济性分析研究——以重庆地区为例[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(11): 78-81.
- [7] 杨卫兵, 张可. 基于 LCC 理论的农村生活污水处理项目成本估算研究[J]. 价格理论与实践, 2014(12): 103-105.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org