



华南农村生活污水治理资源化利用技术工程适用性及推广应用

吴广祥[✉]

广东省建筑设计研究院有限公司, 广州 510010

摘 要 在广州市南沙区农村生活污水治理工程中,为解决临近河涌、房屋稀疏等地形地势不适于截污纳管片区的污水治理问题,结合华南地区的气候特点和水热条件因地制宜地提出了以三级化粪池技术为基础的“三级化粪池+人工湿地+稳定塘”资源化利用组合工艺。对组合工艺处理农村生活污水的适用条件、常规做法、工艺机理和各工序的关键设计参数进行了分析和论述,并总结了农村污水资源化利用工艺的技术要点和注意事项。实践证明分散式污水资源化与治理技术应用效果良好,是解决农村地区水污染问题的一种有效对策。

关键词 农村污水;化粪池;人工湿地;资源化利用

农村生活污水治理对于提高农村生态环境质量、补齐农村人居环境短板、促进美丽乡村建设具有重要意义,是贯彻国家全面实施乡村振兴战略、推进农村人居环境整治、促进城乡区域协调发展决策的重要举措。近年来各地各有关部门积极推进农村生活污水治理工作,成效显著,对改善农村生态环境、加快建设美丽宜居乡村发挥了重要作用。但也要认识到,当前农村生活污水治理仍存在污水收集处理系统不完善、建成污水收集处理设施管理养护不到位、污水再生与资源化利用水平较低等问题。

农村生活污水治理是控源截污消除农村黑臭水体的重要技术措施。为改善农村人居环境,解决农村突出水环境问题,2023年9月出台的《农村黑臭水体治理工作指南(征求意见稿)》提出以污水减量化、分类就地处理、循环利用为导向,因地制宜选择治理模式,优先采用资源化、生态化治理措施,控制农村生活污水进入水体^[1]。《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》提出,优先推广运行费用低、管护简便的农村生活污水治理技术,加强农村生活污水处理设施长效化运行维护^[2]。推动实现生活污水资源化利用成为解决农村水污染问题和全面消除农村黑臭水体的重要技术保障。

本文以广州市南沙区农村生活污水查漏补缺治理工程为例,解析农村污水资源化利用的典型做法,探讨资源化利用在农村污水治理中应用的可行性,为同类型工程项目提供借鉴。

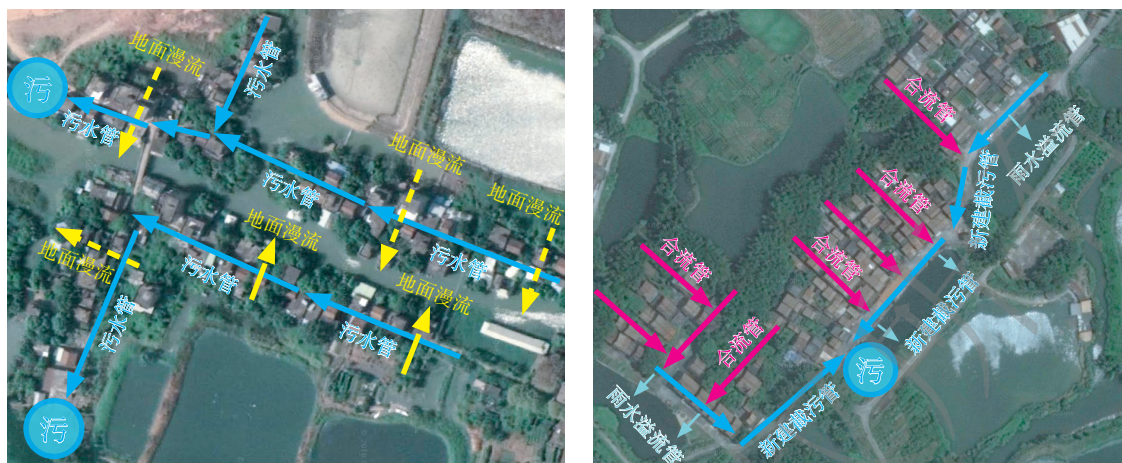
1 建设背景

南沙区位于我国南方丰水区,属亚热带季风海洋气候,降水丰沛,片区河流水系发达,光照及水热条件较好,有利于水生植物及微生物生长繁殖。开展农村污水治理工程以前,部分村落排水系统存在污水管网建设不完善,污水管老化破损、拍门损坏导致的地下水、河水倒灌等问题。部分居民住宅虽建有化粪池,但缺少排放处理设施。如图1所示,位于河口地区的河网型农村,人口沿河涌成带状分散分布,污水收集管道敷设困难,污水治理成本较高,成为农村污水治理工作中的难点。

农村生活污水治理通常优先采用截污纳管的方法,污水收集后排入市政管道,或将集中连片的几个村组团为单元,接入污水处理站集中处理。由于农村地区地形地势复杂多变,部分村落坐落于山丘河网间,居民住宅临涌而建,采用截污纳管集中处理的方法将抬高污水收集系统的建设成本,且农村地区缺少专业的污水处理设施运维管理人才,污水集中处理很难实现。农村污水的治理还需结合城市规划进行考虑,部分纳入城市更新改造或搬迁计划的村落,若采用集中处理的方法将造成拆迁后污水处理设施闲置,建设资金浪费的

收稿日期: 2023-09-16; 录用日期: 2023-11-15

作者简介: 吴广祥 (1992—), 男, 硕士, 工程师, wugx2018@foxmail.com; ✉通信作者

图1 水网地类型管网建设示意图^[3]Fig. 1 Schematic diagram of drainage pipeline construction for water-network land^[3]

问题。

综上所述，目前农村生活污水治理存在一个较大的难点，即农村的经济实力和技术力量无法满足建设投资以及运营维护费用较大的常规污水收集、集中处理技术的要求，无法满足不适于截污纳管区域排污口收集、处理的技术要求，无法进一步提高对污染源的收集率和处理率。因此，高效率、低能耗、低成本的分散式污水资源化与治理技术成为解决农村水污染问题的关键技术措施。

农村生活污水资源化利用是指在不影响区域整体环境的情况下，生活污水经化粪池、稳定塘、人工湿地等自然生物处理系统处理，污水处理后流向农田、草地、池塘等自然生态系统自净消纳，用于灌溉、绿化，实现资源化利用。近年来以“三级化粪池+人工湿地+稳定塘”进行多级串联组合为代表的分散式污水处理工艺，由于具有处理效果好、氮磷去除能力强、工程投资和运转费用低等优点，在农村污水治理工程中受到越来越多的重视。在南方地区农村污水治理工程中，广泛采用以三级化粪池为基础的“化粪池+人工湿地/稳定塘”工艺进行农村污水治理，实践证明效果良好。

2 “三级化粪池+人工湿地+稳定塘”组合工艺

2.1 “三级化粪池+人工湿地+稳定塘”组合工艺机理解析

“三级化粪池+人工湿地+稳定塘”组合工艺，生活污水首先经过格栅过滤去除大颗粒固体杂质，降低后续处理单元负荷和管道堵塞的风险；污水在化粪池中利用厌氧菌作用充分发酵，大颗粒有机污染物经过厌氧水解酸化分解为小颗粒的有机物，减轻了后续人工湿地的有机污染负荷；在满足进水要求后自流进入人工湿地，经过人工湿地内过滤、吸附、植物吸收及生物降解等一系列作用，污水的氮、磷得到进一步去除；填料滤清出水后，进入人工修建好的稳定塘中，使其缓慢流动，途中利用微生物和水生植物对水体中的污染物进行充分降解，通过资源化利用的方式实现达标排放。

2.2 “三级化粪池+人工湿地+稳定塘”组合工艺关键设计参数选取

“三级化粪池+人工湿地+稳定塘”组合工艺处理生活污水，由于各构筑物均不含搅拌混合设施，假定污水在各构筑物中的水流运动过程和污染物降解过程符合理想推流型反应器 (PF) 原理。设反应器长度为 L ，水平流速为 v ，液面截留面积为 ω ，进口物料浓度为 C_0 ，出口物料浓度为 C_i ，物质 i 的反应速率为 $r(C_i)$ ，取长为 dx 的微元体积 $\omega \cdot dx$ ，生化反应过程物料平衡式方程如式 (1) 所示^[4]。

$$\omega \cdot dx \cdot \frac{dC_i}{dx} = \omega \cdot v \cdot dC_i - \omega \cdot v \cdot (C_i + dC_i) + r(C_i) \cdot \omega \cdot dx \quad (1)$$

假定沿液流方向各断面处物料浓度 C_i 不随时间而变，即 $\frac{dC_i}{dt} = 0$ ，按边界条件 $t = t_0$ ， $C_i = C_0$ ； $t = t_i$ ， $C_i = C_{ii}$ ，计算得水中污染物浓度削减量见式 (2)^[4]。

$$\Delta C = C_{ii} - C_0 = \int_{t_0}^{t_i} r(C_i) \cdot dt \quad (2)$$

由式 (2) 得, 组合工艺处理生活污水污染物去除效果主要取决于各构筑物有效停留时间和生化反应速率。由于污染物反应速率受污染物浓度、水体温度等外部因素的影响不易控制, 结合工程所在地的气候条件和水质特点, 因地制宜地选取各构筑物的有效停留时间成为决定污水处理效果的关键因素。

1) 三级化粪池设计参数选取

化粪池是一种常见的过渡性生活污水处理设施, 其工艺类型经历了从一格到两格、三格的逐步改进, “三格式”化粪池由于工艺简单, 去污效果理想, 在我国农村较为常用。

污水在三格化粪池中的停留时间宜为 12~24 h, 粪污的有效停留时间, 第一池应不少于 20 d, 第二池应不少于 10 d, 第三池应不少于 30 d。化粪池容积应包括污水和污泥的贮存容积, 1、2、3 池容积比宜为 2:1:3^[5]。化粪池污泥清掏周期通常每年一次, 池底沉积污泥可当做有机肥用于农田施肥或村庄绿化。

2) 人工湿地设计参数选取

人工湿地通常由人工构筑水池, 种植根系发达的水生植物构成。人工湿地多选用潜流式人工湿地, 水生植物宜选择根系发达、耐污性强的植物, 结合实际情况, 多选用芦苇、香蒲、美人蕉、水芹、再力花等。

本工程中, 水平潜流人工湿地水力停留时间取 1.0~3.0 d, 表面水力负荷宜为 0.3~1.0 m³·(m²·d)⁻¹, 人工湿地水深宜为 0.6~1.6 m, 水力坡度不超过 0.5%, 坡向出水一端^[6]。

3) 稳定塘设计参数选取

稳定塘是经过人工修整, 设置围堤和防渗层的池塘, 污水净化过程与天然水体的自净过程相似, 主要依靠水中微生物代谢, 塘内藻类、水生植物的共同作用降解和吸收污染物以及氮磷等营养元素。一般情况下, 稳定塘水力停留时间取 4~10 d; 有效水深为 1.5~2.5 m^[5]。

为增强稳定塘的处理效果, 可在稳定塘中可放养鱼类、田螺等水生生物, 进一步强化稳定塘的处理效率, 稳定塘处理出水可用于农田、苗圃、绿地灌溉。

2.3 组合工艺常规应用方案

1) 三级化粪池+人工湿地

“三级化粪池+人工湿地”组合工艺适用于单户或者零散户庭院污水处理。如图 2 所示, 污水流经三级化粪池进行发酵厌氧处理, 化粪池出水进入人工湿地, 经过人工湿地质基的过滤吸附、微生物分解、植物吸收降解等过程, 污染物得到净化去除, 处理后的污水可用于庭院浇洒、绿地和农田灌溉。三级化粪池通常采用预制玻璃钢“三格式”化粪池, 人工湿地的类型根据处理水量大小和排放水质要求可选用单级或多级人工湿地。人工湿地通常由防水土工布、卵石、碎石、粗砂、表层种植土组成。

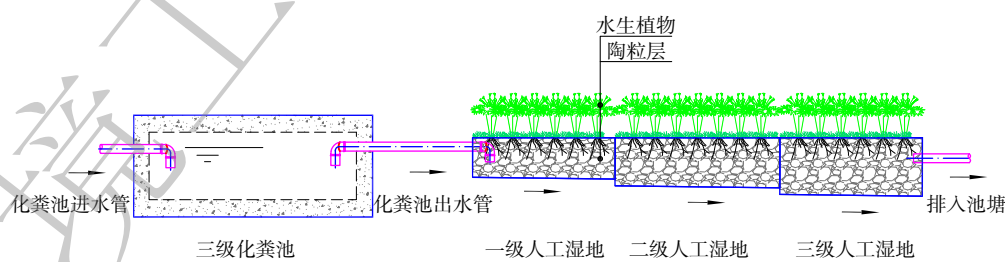


图 2 “三级化粪池+三级人工湿地”工艺示意图

Fig. 2 Process flow chart of "three-stage septic tank+three stage constructed wetland"

2) 三级化粪池+生态边沟

“三级化粪池+生态边沟”组合工艺适用于多户连片污水处理, 农户相对集中分布的情形。如图 3 所示, 农户污水经三级化粪池厌氧处理, 化粪池出水进入修建好的生态湿地边沟, 污水经生态边沟基质过滤吸附作用、微生物和植物的降解吸收作用进一步处理后, 处理水侧向渗流进入修建好的排水沟内, 最终引流至农作物田地内, 用于农田灌溉。生态湿地边沟填料多为透水性能较好的人工介质, 如砾石、生物陶粒、砂粒等, 自下而上粒径极配由大变小。

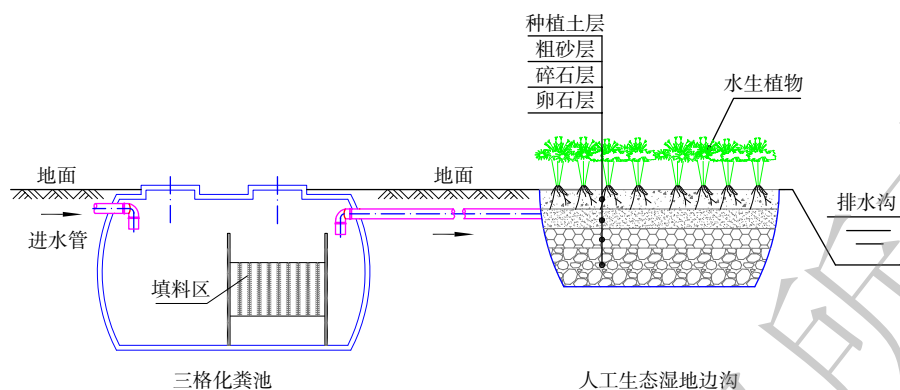


图3 “三格式化粪池+人工生态边沟”工艺示意图

Fig. 3 Process flow chart of "three-stage septic tank+ecological side ditch"

3) 三级化粪池+人工生态湿地边沟+稳定塘

如图4所示,“三级化粪池+人工生态湿地边沟+稳定塘”组合工艺适用于有闲置土地和池塘、居民住宅较为聚集,对污水脱氮除磷要求较高的城乡地区。适用于常住人口100~200人或污水产生量为 $10\sim 20\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 的聚居片^[7]。采用生化处理和生态处理相结合的方式,将化粪池厌氧生化作用、人工湿地反硝化脱氮与除磷作用、稳定塘水生植物净化作用综合利用进行自然处理。三级化粪池需满足规范要求的停留时间,容积根据接入用户污水量核算,人工生态湿地边沟宜采用水平潜流人工湿地,稳定塘通常为现状可利用的池塘、沟谷等修整改造后的污水池塘,出水可用于回灌农田、景观绿化。

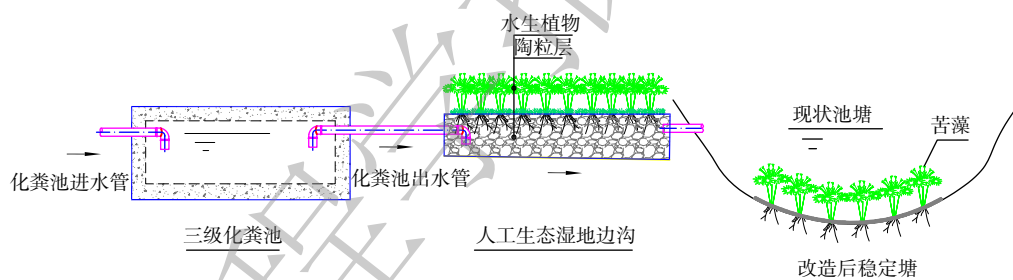


图4 “三格式化粪池+人工湿地+稳定塘”工艺示意图

Fig. 4 Schematic diagram of "three-stage septic tank+constructed wetland+stabilization pond"

2.4 工程应用技术要点及注意事项

1) 资源化利用组合工艺适用范围及污水处理排放标准

资源化利用处理技术工艺设备简单,有利于降低污水治理成本,但污水处理效果易受外部自然因素的影响,不易控制。因此,资源化利用组合工艺主要应用于临近河涌、房屋稀疏等地形地势不适于截污纳管的农村分散式片区,人口密集的城乡地区应审慎选择资源化利用工艺。严禁用于饮用水水源保护区、海岸湿地等生态敏感区。

农村生活污水再生利用水质应符合现行国家标准的要求,本工程农村污水处理后主要回用于景观环境、绿地灌溉。组合工艺处理后排放水质应符合现行国家标准《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921)、《城市污水再生利用 绿地灌溉水质》(GB/T 25499)的有关要求。

2) 因地制宜选取资源化利用组合工艺方案

农村污水治理技术方案的选择关系到治理成效,应因地制宜的结合工程所在地实际情况,审慎地做出不同处理工艺之间的比选。“三级化粪池+人工湿地+稳定塘”组合工艺符合推流型反应器原理,运行过程缺少污水、污泥回流工序,且各工序均为较低效的污水处理技术,组合工艺抵抗外部冲击能力不强,污水处理效果容易受到水质水量变化以及水体温度等因素的影响。在条件允许的情况下,应尽量选择多级串联组合工艺,在保证出水水质的同时,增强系统稳定性和抗冲击能力。

3) 合理选择化粪池的规格及类型

采用资源化利用处理系统时,应加强对化粪池设计、安装与运行管理。现有化粪池由于年代久远,存在池体破损、污水外溢污染地表水和地下水,池体容积达不到污水停留时间的要求等问题。在建设条件具备的情况下,建议选用质量较高的预制玻璃钢“三格式”化粪池,推荐根据当地实际情况使用新型强化改造化粪池。

4) 运营维护主要问题及对策

建议以村为单元建立资源化利用台账,定期对污水收集管渠、污水储存或预处理设施、进行巡检和维护。做好收集管渠疏通、化粪池(或厌氧池)内部浮渣、沉泥清理^[7]。

3 工程适用性分析及效果评价

3.1 资源化利用组合工艺对解决农村地区水污染问题具有良好的适用性

资源化利用是解决农村水污染问题的一种有效对策,在本工程中各村均有不同程度的应用。以纳入本工程的某村为例,全村纳入污水治理工程的居民总计约 874 户,采用资源化利用工艺进行整治的约有 450 户,日处理污水量约 337.5 m³,约占总处理水量的 51.5%,相比于集中式污水处理站每年约节省污水处理成本 12.7 万元。资源化利用技术对解决农村地区水污染问题具有良好的适用性。

3.2 资源化利用组合工艺是一种绿色低碳的生态化污染治理技术

“三级化粪池+人工湿地+稳定塘”组合工艺运行过程无需外加电源,有利于节约能耗。以上村为例,相比于集中式污水处理站,组合工艺每天可节约耗电量 304 kW·h,每年约节省电费 8.9×10⁴ 元,减少污水处理能耗过程和水中污染物降解产生的二氧化碳,有效减少碳排放量。人工湿地不仅可以降解吸收污染物,还兼有吸收二氧化碳、净化空气的功能,如图 5 所示。



图5 “三格式化粪池+人工湿地”方案工程效果

Fig. 5 Engineering effect of "three-stage septic tank+ecological side ditch"

3.3 组合工艺建设成本较低,技术难度小,运营维护简单

相对于集中式污水处理,资源化利用技术多采用就地收集处理的模式处理生活污水,不需要建设庞大的污水收集管网,有利于减少工程投资,降低污水治理成本,具有良好的经济技术效益。土建工程施工技术难度较小,工艺运营维护简单,是一种便于管控利用、富有地方特色的污水治理技术。

3.4 资源化利用技术是系统化全面消除农村黑臭水体的重要技术措施

农村黑臭水体截污控源治理模式应结合当地实际情况就集中处理和就地分散消纳处理进行技术经济方案比选,资源化利用技术因其工程应用的灵活性成为污水集中处理工艺的有效补充,是系统化全面消除农村黑臭水体的重要技术措施。

4 结语

农村污水资源化利用技术的应用范围主要针对临近河涌、房屋稀疏等地形地势不适于截污纳管的分散式片区。农村地区具有土地资源的优势,建设人工湿地、生态边沟所需的植物和砂石、土壤等可就地取材,采用资源化利用技术进行农村生活污水治理具有良好的适用性。

以三级化粪池为基础的“三级化粪池+人工湿地+稳定塘”组合串联工艺,具有工艺简单、处理效果好、运营维护成本低等优点,对提高片区的污水收集率和处理率,切实改善农村水环境质量具有重要意义。

参考文献

- [1] 生态环境部. 农村黑臭水体治理工作指南(征求意见稿): [S]. 2023: 13-14.
- [2] 中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见[EB/OL]. [2021-11-07]. <https://www.gov.cn/zhengce/> 2021-11/07/content_5649656.htm, 2021.
- [3] 广东省住房和城乡建设厅. 广东省农村雨污水收集模式指引(试行): 粤建村〔2018〕134号[S]. 2018: 21-22.
- [4] 严煦世, 范瑾初. 给水工程[M]. 4版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013: 249.
- [5] 环境保护部. 村镇生活污染防治最佳可行技术指南(试行): HJ-BAT-9 [S]. 2013: 6-10.
- [6] 生态环境部. 人工湿地水质净化技术指南: [S]. 2021: 5-11.
- [7] 广东省农村生活污水资源化利用技术指南(试行): [S]. 2023: 5-8.

(责任编辑: 金曙光)

Engineering applicability analysis and application of rural domestic sewage resource utilization technology in Southern China

WU Guangxiang*

GuangDong Architectural Design & Research Institute Co., Ltd, Guangzhou 510010, China

*Corresponding author, E-mail: wugx2018@foxmail.com

Abstract In order to solve the problem of controlling domestic sewage pollution in areas where nearby rivers and houses are dispersed, not suitable for intercepting and receiving sewage pipelines, in the rural domestic sewage treatment project in Nansha District, Guangzhou. Based on the climate characteristics and hydrothermal conditions of Southern China, the combined wastewater resource utilization technology of "three-stage septic tank+constructed wetland+stabilization pond" was put forward. The application conditions and conventional method, process mechanism and key design parameters of the combined process for rural sewage treatment were analyzed and discussed, and the key technology points and attention points of rural wastewater resource utilization process were summarized. Practice proved that the decentralized wastewater resource utilization treatment technology is an effective countermeasure to solve the rural wastewater pollution problem.

Keywords rural sewage; septic tank; constructed wetland; resource utilization