

农村生活污水处理技术探讨

王益

泸州市兴泸污水处理有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i8.4943

[摘要] 农村生活污水具有低COD、高氮磷、间歇性排放及分散性等特点,其处理面临资金短缺、技术适配性差、运维管理薄弱等挑战。当前主流技术包括集中式的活性污泥法、人工湿地,分散式的生物滤池、化粪池+生态处理组合,以及新型低碳技术如微生物燃料电池、膜生物反应器等。技术选择需综合考虑地形、经济水平、社会接受度等因素,未来将向低能耗、资源化、智能化方向深度发展。

[关键词] 农村; 生活污水; 处理技术

中图分类号: X703 文献标识码: A

Discussion on Rural Domestic Sewage Treatment Technology

Yi Wang

Luzhou Xinglu Sewage Treatment Co., Ltd.

[Abstract] Rural domestic sewage is characterized by low COD, high nitrogen and phosphorus, intermittent discharge, and dispersion. Its treatment faces challenges such as funding shortages, poor technology adaptability, and weak operation and maintenance management. Current mainstream technologies include centralized processes such as activated sludge process and constructed wetlands, decentralized processes such as biofilters and septic tank combined with ecological treatment, as well as emerging low-carbon technologies such as microbial fuel cells and membrane bioreactors. Technology selection needs to comprehensively consider factors such as terrain, economic level, and social acceptance. Future development will move toward low energy consumption, resource recovery, and intelligence.

[Key words] rural area; domestic sewage; treatment technology

引言

农村生活污水治理是改善农村人居环境、推进生态文明建设的重要抓手。随着农村经济发展和人口流动,生活污水排放量持续增加,但受限于居住分散、经济基础薄弱、运维能力不足等现实条件,传统城市污水处理模式难以直接应用。本文立足农村污水水质水量特征及处理痛点,系统分析集中式、分散式及新型低碳技术的适用性,提出因地制宜的技术选择策略与创新路径,为破解农村污水治理难题提供参考。

1 农村生活污水特征与处理需求分析

1.1 污水水质水量特征

(1) 水质特点: 农村生活污水普遍呈现低COD、高氮磷、间歇性排放的特征。相较于城市污水,农村居民生活方式简单,餐饮、洗涤等产生的有机物含量较低,导致COD浓度偏低;而农村生活中厕所排水占比高,加之农业生产中化肥流失渗入,使得污水中氮、磷营养盐含量偏高。同时,受居民作息、用水习惯影响,污水排放无稳定规律,多为间歇性排放,晴天与雨天水质差异较大。(2) 水量波动规律: 水量存在显著的季节性和昼夜差异。季

节性方面,春季农耕、夏季灌溉及冬季采暖期用水需求变化,导致污水排放量波动明显;节假日期间返乡人口增多,也会造成水量骤增。昼夜差异上,居民日间生产生活用水集中,污水排放量较大,夜间用水减少,排放量显著下降,甚至出现断流现象。

1.2 处理难点与需求

(1) 分散式布局与集中处理矛盾: 农村居民居住分散,村落布局零散,污水排放点多面广,管网铺设难度大、成本高。集中式污水处理厂需配套完善的管网系统,难以适配农村分散布局特点,导致污水收集率低,集中处理模式可行性差,亟需适配分散布局的处理技术。(2) 运维管理能力薄弱与技术可靠性要求: 农村地区缺乏专业的运维管理团队,操作人员专业素养不足,且运维资金保障有限。这就要求污水处理技术具备操作简便、维护工作量小、故障率低的特点,同时需提供简易的运维指导,确保处理系统长期稳定运行^[1]。(3) 投资成本限制与长效运行需求: 农村集体经济薄弱,政府财政投入有限,对污水处理项目的投资成本较为敏感。但污水处理系统需长期稳定运行以保障处理效果,因此需研发低成本、低能耗的处理技术,降低建

设和运行成本,同时建立可持续的资金保障机制,满足长效运行需求。

2 农村生活污水处理技术

2.1 集中处理技术

2.1.1 活性污泥法及其变种

(1)适用场景:该类技术适用于人口密集、管网完善的村庄。此类村庄居住集中度高,污水排放量稳定且收集便利,完善的管网系统可保障污水高效汇集至处理设施,能够满足活性污泥法对进水稳定性和水量规模的要求,尤其适合乡镇中心村、聚居点等人口密度较高的区域。(2)优缺点:优势在于处理效果显著,对COD、氮、磷等污染物的去除率高,出水水质可稳定达到相关排放标准,能有效解决集中式污水污染问题。但劣势同样突出,运行成本偏高,需配备专业运维人员进行曝气、污泥回流等系统的精细化管理,且设备购置、安装及后期污泥处置均需投入较多资金,对农村集体经济实力有一定要求。

2.1.2 人工湿地

(1)适用场景:更适用于生态敏感区、土地资源丰富的地区。生态敏感区对污水处理技术的生态兼容性要求高,人工湿地可通过水生植物、微生物和基质的协同作用实现污水净化,兼具生态修复功能;土地资源丰富的农村地区能满足其占地面积需求,无需过度压缩生产、生活用地,如平原乡村、河湖周边等区域。(2)优缺点:核心优点是生态友好,建设和运行成本较低,无需复杂机械设备,且能美化周边环境、为生物提供栖息地,契合农村生态保护需求。缺点主要是占地面积大,单位污水处理量所需土地面积远高于其他集中处理技术;同时易受气候影响,冬季低温会显著降低微生物活性和植物净化能力,夏季暴雨可能导致系统冲击、处理效果波动^[2]。

2.2 分散处理技术

2.2.1 生物滤池

(1)适用场景:适用于单户或联户的分散式处理场景。针对农村居民居住分散、污水排放点零散的特点,生物滤池体积小、安装灵活,可根据单户或几户的污水排放量灵活配置,无需建设大规模管网,尤其适合地形复杂、不便集中收集污水的山区、丘陵地带的农户。(2)优缺点:优点是抗冲击负荷能力强,能适应农村污水间歇性排放、水质水量波动大的特点,且处理工艺相对简单,操作难度较低。缺点是需要定期进行反冲洗,以清除滤料表面附着的过量生物膜和悬浮物,避免滤池堵塞影响处理效果;反冲洗过程需消耗一定水量和动力,长期运行需投入相应的运维精力和成本。

2.2.2 化粪池+生态处理组合

(1)适用场景:主要适用于经济落后、地形复杂的地区。经济落后地区难以承担高成本处理技术的建设和运行费用,该组合工艺建设成本极低;地形复杂地区管网铺设难度大,化粪池可实现污水的初步沉淀处理,后续生态处理单元(如渗滤沟、人工湿地床)无需复杂管网连接,适配性强。(2)优缺点:最大优势是成本低廉,化粪池构造简单、建设维护方便,生态处理单元无需

动力驱动,运行成本几乎为零,符合经济落后地区的实际需求。缺点是氮磷去除效率有限,化粪池仅能去除部分悬浮物和有机物,后续生态处理单元对氮磷的净化能力较弱,出水水质难以达到较高排放标准,仅能满足基本污染控制要求^[3]。

2.3 新型低碳技术

2.3.1 微生物燃料电池(MFC)

(1)适用场景:适用于资源化利用需求高的地区。此类地区注重污水处理与资源回收的协同发展,如规模化养殖周边村庄、农产品加工集中区等,可通过微生物燃料电池将污水中的有机物转化为电能,实现污水资源化,同时解决污染问题。(2)优缺点:独特优势是可同步实现产电与污水处理,在净化污水的同时产生电能,降低能源消耗,契合低碳发展理念,且运行过程中污泥产量少,减少污泥处置压力。缺点是技术尚不成熟,目前处于实验室研究向实际应用过渡的阶段,电池功率密度较低,难以满足大规模污水处理需求,且电极材料成本高,规模化推广受限。

2.3.2 膜生物反应器(MBR)

(1)适用场景:适用于出水标准严格的区域。随着环保要求的提高,部分农村地区(如饮用水源地周边、风景名胜周边村庄)对污水出水水质要求极高,需达到一级A及以上标准,膜生物反应器可精准满足此类高标准排放需求。(2)优缺点:优点是出水水质极佳,膜组件可高效截留水中的污染物和微生物,出水澄清度高,可直接回用或安全排放;且设备占地面积小,适配土地资源紧张的区域。缺点是膜污染问题突出,长期运行过程中膜表面易附着污染物,导致膜通量下降、运行能耗增加,需定期进行化学清洗,不仅增加运维成本,还可能缩短膜组件使用寿命。

3 农村生活污水处理技术选择影响因素与优化策略

3.1 关键影响因素

(1)自然条件:自然条件是技术选择的基础前提。地形复杂的山区、丘陵地带难以铺设管网,更适配分散式处理技术;寒冷地区需优先选择抗低温的工艺,避免冬季处理效率骤降;土地资源丰富的区域可推广人工湿地等占地较大的生态技术,而土地资源紧张的村庄则应选用紧凑式设备。(2)经济水平:经济水平决定技术落地可行性。经济发达地区可承担活性污泥法、膜生物反应器等高效但高成本技术的建设与运维费用;经济落后地区需优先选择化粪池+生态处理等低成本、低能耗工艺,降低初期投资和长期运行压力。(3)社会因素:社会因素影响技术推广效果。村民对处理设施占地、异味等问题的接受度直接决定技术选型;政策支持力度则为项目提供保障,完善的补贴政策、技术指导服务能有效降低推广阻力,提升技术应用覆盖面。

3.2 技术优化路径

(1)模块化设计:针对不同规模开发标准化处理单元。按单户、联户、村庄集中等不同处理规模,设计标准化、模块化处理单元,实现按需组合、灵活适配。模块化设计可降低设备生产和建设成本,同时简化施工流程,提升技术应用的灵活性和普适性。(2)资源化利用:探索污水中的氮磷回收与灌溉利用。依托农村农业生产优势,通过工艺优化回收污水中的氮、磷资源,制

成有机肥料用于农田种植；处理达标后的污水可用于农田灌溉、林地浇灌，实现“污水资源化”，构建循环利用体系^[4]。(3)智能化管控：物联网监测与远程运维系统应用。引入物联网技术，对处理设施的水质、水量、设备运行状态进行实时监测；搭建远程运维平台，实现故障预警、远程调控，减少现场运维人力需求，提升运维效率，适配农村运维能力薄弱现状。

3.3政策与管理建议

(1)完善技术标准与规范：结合农村污水特征，制定差异化的排放标准和技术规范；建立农村污水处理设备认证体系，规范设备市场，确保推广技术的可靠性和适用性，为技术选择和项目实施提供依据。(2)建立“政府-企业-村民”共治模式。明确政府监管引导责任、企业技术运维主体责任、村民参与监督义务，形成共治合力。政府提供政策支持和资金补贴，企业提供专业技术和运维服务，村民配合设施建设与日常管理，提升治理长效性。(3)推广“以效付费”的绩效考核机制。将污水处理效果、设施运行稳定性等指标纳入绩效考核，依据考核结果拨付运维资金。通过“以效付费”引导运维企业提升服务质量，保障处理设施长期稳定运行，避免“重建设、轻运维”问题。

4 农村生活污水处理未来发展趋势

4.1技术方向

(1)低能耗、少维护技术的研发：未来将重点攻关低能耗、少维护的污水处理技术，核心方向之一是强化厌氧处理工艺。通过优化厌氧反应器结构、筛选高效功能微生物，提升低浓度农村污水的处理效率，降低曝气等能耗环节依赖。同时简化设备操作流程，减少定期维护频次，适配农村运维能力薄弱的现状，提升技术推广可行性。(2)与农业生态循环的深度融合：推动污水处理与农业生态循环体系深度绑定，粪污协同处理将成为重要方向。通过构建“污水-粪污”协同处理系统，实现污染物集中降解，回收的氮磷资源可直接用于农田施肥，形成“污水处理-资源回收-农业利用”的闭环，既提升污染治理效果，又助力农业绿色发展。

4.2模式创新

(1)城乡污水处理统筹规划：打破城乡二元分割格局，推进城乡污水处理统筹规划。通过构建“城市-乡镇-村庄”三级污

水处理网络，整合城乡处理资源，实现技术共享、运维协同，推动县域内污水处理设施互联互通，提升整体治理效能，避免重复建设。(2)碳交易机制下的污水处理减碳激励：依托碳交易市场，建立污水处理减碳激励机制。将农村污水处理设施的碳减排量纳入碳交易体系，对采用低碳工艺的项目给予碳收益补贴，引导社会资本投入，推动污水处理行业向低碳化转型^[5]。

4.3挑战展望

(1)老龄化社会下的运维人力缺口：农村老龄化加剧将导致污水处理设施运维人力严重短缺。未来需通过智能化、自动化技术升级，减少对人工的依赖，同时探索“村集体托管+志愿者参与”的运维模式，缓解人力不足压力。(2)极端气候对处理设施的适应性要求：极端暴雨、低温等气候事件频发，对污水处理设施的稳定性提出更高要求。需加强设施抗冲击、抗低温设计，完善应急处置方案，提升设施对极端气候的适应能力。

5 结束语

农村生活污水治理是乡村振兴与生态文明建设的重要环节。本文通过分析农村污水特征与处理需求，系统梳理了适配不同场景的技术路径，强调需结合自然条件、经济水平及社会因素科学选型。未来，低能耗、资源化、智能化的技术方向与城乡统筹、碳交易激励等模式创新将成为关键。唯有通过技术突破、管理优化与政策协同，才能破解农村污水治理难题，实现环境效益与可持续发展的双赢。

[参考文献]

- [1]黄志林,叶德辉.农村污水处理技术研究与应用[J].环境保护,2023,41(3):67-70.
- [2]徐宏涛,梁志刚.农村生活污水的资源化利用研究[J].生态农业技术,2022,39(5):86-89.
- [3]高丽丽.农村生活污水治理现状及治理技术探讨[J].智慧农业导刊,2024,4(13):95-98.
- [4]陈晓峰.泾川县农村生活污水治理现状及对策研究[J].清洗世界,2024,40(12):118-120.
- [5]慕娅婷.农村生活污水收集与处理研究进展[J].广州化工,2024,52(23):22-24.