

农村生活污水处理技术现状及进展

魏彦爽

保定市生态环境局蠡县分局

DOI:10.12238/btr.v8i4.4733

[摘要] 在农村生态环境治理与乡村振兴领域中,农村生活污水处理技术对改善农村人居环境、推进污染防治攻坚战意义重大。本文聚焦农村生活污水处理技术,剖析传统、生物、生态三类技术的现状特征与适用场景,阐述技术分类、创新方向及实践应用路径要点,探讨组合工艺优化、智能化管理升级、资源化利用拓展的创新方向,明晰技术适配性与治理效能的关联价值,旨在为基层治理单位、技术推广机构提供实践参考,助力农村污水处理技术优化,推动乡村生态振兴目标达成。

[关键词] 农村生活污水; 处理技术; 现状分析; 技术创新

中图分类号: TU992.25 文献标识码: A

Current situation and progress of rural sewage treatment technology

Yanshuang Wei

Baoding Ecological Environment Bureau Lixian Branch

[Abstract] In the field of rural ecological environment governance and rural revitalization, rural domestic sewage treatment technology plays a vital role in improving rural living environments and advancing pollution prevention and control efforts. This paper focuses on rural domestic sewage treatment technologies, analyzes the current characteristics and applicable scenarios of traditional, biological, and ecological approaches, elaborates on technical classifications, innovation directions, and key practical application pathways, explores innovative directions such as combined process optimization, intelligent management upgrades, and resource utilization expansion, clarifies the correlation between technical adaptability and governance effectiveness, aiming to provide practical references for grassroots governance units and technology promotion institutions. This study aims to optimize rural sewage treatment technologies and promote the achievement of rural ecological revitalization goals.

[Key words] rural domestic sewage; treatment technology; current status analysis; technological innovation

乡村振兴的核心是实现生态宜居,而农村人居环境整治是关键抓手,农村生活污水治理却因设施适配不足、运维缺位成为突出短板。截至2021年,我国城镇污水治理率达97.89%,农村仅36.94%,大量污水无序排放引发黑臭水体、水体富营养化,威胁居民健康与生态安全。农村污水具特殊性,黑水浓度高、灰水占比大,排放时段波动、排放口分散,城镇技术难套用,且各地存在管网不完善、区域治理不均等问题,亟需梳理技术现状与创新方向,提供切实技术路径,这是破解农村生态困境、推进乡村振兴的必然要求。

1 农村生活污水处理技术现状

1. 1 传统处理技术

传统处理技术是农村污水治理的基础手段,以物理分离、简易生物降解为核心,适用于经济欠发达、居住分散的农村区域,具有建设成本低、操作简便的特征,但处理效果有限,多作为预

处理环节。化粪池技术是农村黑水预处理的主流方式,通过沉淀过滤与厌氧发酵实现污染物减量化,构造简单、造价低廉,目前我国农村旱厕改造中,化粪池应用比例超90%,但传统砖混化粪池易出现渗漏,导致地下水污染,近年来逐渐采用玻璃钢、PVC塑料等材质改良,部分地区还增设泛水装置与生物填料,升级为集成式生物化粪池,提升污染物去除效率^[1]。

沼气池技术则聚焦污水资源化,通过厌氧消化降解有机物并产生沼气,满足日常炊事需求。但沼气池对氮磷去除效果较弱,COD与NH4-N去除效能有限,且冬季低温环境下微生物活性降低,产气效率与处理效果显著下降,在北方农村应用受限,需配套保温措施。简易生物滤池技术以碎石、煤渣为滤料,依托滤料表面微生物膜降解有机物,适用于灰水预处理,单级滤池可初步降解有机物,对氮磷去除效果差,且易出现滤料堵塞,需定期反冲洗。

1. 2 生物处理技术

相较于传统处理技术,生物处理技术依托微生物代谢作用强化污染物降解,处理效率与环境适应性更优,成为农村集中式污水处理场景的核心技术类型,按工艺原理与结构特性可分为三类,在不同经济水平与人口密度的农村区域均有应用。活性污泥法通过曝气维持微生物活性,实现有机物降解与脱氮除磷,主流工艺包括AO/AAO、SBR等。AO/AAO工艺由厌氧段、缺氧段、好氧段构成,厌氧段释磷、缺氧段脱氮、好氧段去除氨氮,可高效降解有机物与去除氮磷,在山东、广东等省份的乡镇集中处理站广泛应用。SBR工艺采用间歇曝气模式,对进水量与水质波动的耐受性较强,出水达标稳定性高,在常熟等地的分散村庄应用中,可适应复杂进水条件,保障出水效果。

活性污泥法之外,生物膜法通过固定载体构建稳定微生物群落,抗冲击负荷能力更强且污泥产量少,主要包括生物滤池、生物转盘等^[2]。此外,一体化技术将预处理、生化处理、深度处理集成于成套设备,占地小且安装便捷,膜生物反应器(MBR)是典型代表。MBR结合生物降解与膜分离技术,污泥浓度高且出水水质稳定,可有效去除COD、NH4-N与TP,但膜组件更换成本高,MBR工艺适用于用地紧张、水质要求高的区域。

1.3 生态处理技术

生态处理技术模拟自然净化过程,依托植物、微生物、基质的协同作用处理污水,兼具净化与生态景观功能,运维成本低,适用于土地资源充足、经济欠发达的农村区域,主要包括人工湿地、土壤渗滤、稳定塘等。人工湿地技术通过基质截留、植物吸收、微生物降解净化污水,按水流方式可分为表面流、潜流两类。潜流人工湿地负荷高、占地少,通过基质、植物与微生物的协同作用,可有效去除污水中COD、NH4-N与TP,且运维费用低,溧阳农村采用潜流人工湿地,出水用于农田灌溉。相较于潜流人工湿地,表面流人工湿地更贴近自然湿地生态结构,可营造景观。但人工湿地受季节影响大,冬季低温会降低微生物活性,需选择耐寒植物如香蒲、鸢尾提升冬季适应性。

土壤渗滤技术将污水通过散水管渗入人工土层,依托土壤颗粒截留与微生物分解净化,运维成本低,适用于分散农户。浙西农村采用多介质土壤渗滤(MSL)技术,无人值守运行,可有效降解COD与NH4-N,解决山区分散污水收集难题。但该技术进水负荷小,抗冲击能力弱,需控制进水COD浓度<300mg/L,且需铺设防渗层防止地下水污染。稳定塘技术通过池塘生态系统实现污水净化,构造简单、建设成本低,滇池周边农村采用稳定塘处理污水,但占地面积大,处理周期长,且夏季易滋生蚊虫,需搭配曝气装置与水生植物,既提升溶解氧浓度又减少蚊虫滋生,同时进一步提升TP去除效能。

2 农村生活污水处理技术研究进展

2.1 组合工艺创新

单一技术难以满足农村污水复杂治理需求,组合工艺通过不同技术优势互补,提升处理效率与稳定性,成为技术创新的核心方向。“厌氧预处理+生物处理+生态处理”组合模式适用于高负荷污水,可降低后续处理压力。东南大学研发的厌氧-缺氧调

节-跌水接触氧化-植物滤床组合工艺,先以厌氧段降解大分子有机物,再通过跌水接触氧化强化硝化反应,最后通过植物滤床深度去除氮磷,总磷出水<0.3mg/L,设施建设费3000~4000元/m³,运行费<0.1元/m³,在江苏昆山农村应用,处理规模50~100t/d,出水达标稳定性高。广州增城区则采用厌氧池+MBR+人工湿地组合,厌氧池降低COD负荷,MBR保证出水基础水质,人工湿地进一步强化氮磷去除,显著提升总氮去除效能,解决单一MBR除磷效果差的问题^[3]。

“生物膜法+生态处理”组合模式聚焦低成本与高效治理,如常州农村采用生物滤池+人工湿地组合,生物滤池依托微生物膜降解有机物,人工湿地通过植物吸收强化氮磷去除,处理效果稳定且运维成本可控,运维费用0.32元/d,建设成本0.94万元/t,适用于中等规模村庄。南京部分农村则采用接触氧化+人工湿地组合,接触氧化池提升硝化效率,人工湿地优化生态净化效果。

2.2 智能化管理创新

农村污水处理设施分散、专业运维人员缺乏,智能化管理技术通过实时监测、自动调控、远程监管,提升运维效率与稳定性,解决“重建设、轻运维”问题,主要包括在线监测系统、智能调控系统、数字化管理平台三类。在线监测系统可实时采集水质、水量、设备运行参数,如广州研发的农村生活污水管理信息系统,采集COD、NH4-N、TP等水质指标,监测污水提升泵、鼓风机等设备运行状态,数据实时传输至平台,异常情况自动报警,如曝气量低于4.8m³/h时,系统触发警报,运维人员可及时排查。该系统在广州2617个处理设施应用,实现巡检履历、问题整改全流程追溯,设施故障响应时间缩短至24h内,出水达标稳定性显著提升。

智能调控系统依托数据反馈实现工艺参数动态优化,如甘肃部分农村采用的智能曝气调控系统,根据进水COD浓度与溶解氧变化,自动调整曝气量,好氧区曝气量控制在4.8~9.6m³/h,缺氧区溶解氧<1mg/L,避免曝气量过高导致污泥老化或过低影响硝化反应,使NH4-N去除效果稳定,同时显著降低能耗。江苏常熟采用的DSP-SH智能控制系统,针对A²O工艺,自动调控回流比与排泥周期^[4]。数字化管理平台整合设施信息、运维数据、监管考核,实现“全覆盖、可追溯”管理。广州的管理平台涵盖2100余个设施站点信息,该平台可实时调取各站点管网长度、处理规模、工艺类型等基础数据,同时记录运维人员签到、巡检打卡、问题整改情况,每月发布“红黑榜”,压实运维责任。

2.3 资源化利用创新

农村生活污水处理与资源化利用结合,可实现“治污”与“增效”双赢,减少污水排放的同时,为农业生产提供水资源与有机肥源,主要包括出水资源化、污泥资源化两类方向。出水资源化聚焦农业灌溉与生态补水,处理后污水需满足农田灌溉水质标准,如芜湖市采用“厌氧池+人工湿地”处理污水,出水COD<100mg/L, NH4-N<15mg/L, TP<1mg/L,符合水田作物灌溉要求,用于稻田灌溉,同时减少化肥施用量。广东粤北农村则将处理后污水用于果园灌溉,MBR设施出水COD<50mg/L, NH4-N<5mg/L,满足果树灌溉水质,且降低面源污染风险^[5]。

污泥资源化通过厌氧消化、堆肥实现无害化与资源化,农村污水处理产生的污泥含丰富有机质,经厌氧消化可产生沼气,用于农户炊事。其余污泥经堆肥处理,添加秸秆、锯末调节碳氮比,堆肥30~45天后,作为有机肥用于蔬菜种植,每亩减少化肥用量20~30kg,提升蔬菜品质。

3 实际应用策略

3.1 因地制宜选择处理技术

农村区域差异显著,需根据人口密度、经济水平、土地资源、水质要求选择适配技术。近郊农村与城镇距离近、人口密度高,优先采用市政纳管模式,接入城镇污水处理厂统一处理。如广州白云区109个自然村中,101个纳入城镇污水系统,铺设管网266.92km,污水经管网收集后送至城镇污水处理厂,建设成本500~1900元/人,低于新建集中处理设施。若农村距离市政管网5km以内,且污水总量大、污染程度高,可放宽距离限制,但需复核管网与污水处理厂接纳能力。

集中居住村庄人口规模大、用地相对紧张,采用集中式生物处理技术或组合工艺。如山东新型农村社区,人口规模600~1000人,建设地埋式AO/AAO设施,处理规模60~110t/d,占地0.5m²/t,该设施可适配社区用地需求。广州南沙区则采用EPC+0模式,建设厌氧池+MBR组合设施,处理规模30~60t/d,兼顾处理效果与运维便捷性。

分散居住村庄人口少、土地资源充足,采用生态处理技术或分散式设施。如安徽芜湖农村,单户或联户建设庭院式人工湿地,1~2户共用一套,处理规模2~5t/d,建设成本低且运维简便。甘肃甘南地区,采用土壤渗滤技术,利用荒地建设处理设施,处理规模5~10t/d,无需专业运维,适配分散居住与经济欠发达特征。

3.2 加大资金投入与运维管理

资金短缺与运维缺位是农村污水治理的主要瓶颈,需构建多元资金投入机制与专业运维体系,保障设施长期稳定运行。建立“市级补助+县级统筹+社会参与”模式,明确各级资金责任。广州“十三五”期间,市区两级财政投入农污治理资金112.9亿元,是“十二五”的9.3倍,市级对非纳入城镇治理村的建设补助标准为800~2500元/人,运维补助26元/(人·年),大中修补助9元/(人·年)。此外,引入社会资本,采用PPP、EPC+0等模式。资金机制之外,运维体系构建同样关键,推行“第三方运维+村级协助”模式,提升运维专业性与覆盖面。

山东、广州等地通过公开招标确定第三方专业维管单位,负责设施检修、水质监测、设备更换等专业工作,如广州各区第三方单位每月对设施进行1次全面检修,每季度开展1次水质检测。同时成立村级运维队伍,负责管网巡查、杂草清理等日常工作。

作,如山东农村村级队伍每周巡查管网1~2次,及时反馈堵塞、渗漏问题,形成“专业+基层”协同运维体系。

3.3 提升村民环保意识与参与度

村民是农村污水治理的直接参与者与受益者,提升其环保意识与参与度至关重要。开展环保宣传培训,普及污水治理知识与重要性。山东通过村广播、宣传栏、村民大会等形式,定期宣传污水直排对地下水、农田的危害,每年组织2~3次环保培训,讲解污水处理设施原理与日常维护方法。芜湖则组织环保志愿者进村入户,发放宣传手册,演示污水处理效果。宣传之外,还需建立村民参与机制,引导村民参与设施监管与维护^[6]。

山东部分村庄将污水治理纳入村规民约,对污水直排行为进行约束,同时鼓励村民参与设施巡检,发现问题及时上报。广州从化区973个村庄采用资源化利用模式,村民负责自家化粪池清掏与庭院式人工湿地杂草清理。此外,公开设施运行信息,如定期公示水质检测结果、运维情况,保障村民知情权与监督权,增强村民对污水治理的认可与支持。

4 结论

农村生活污水处理已形成传统、生物、生态三类技术体系,传统技术适合预处理,生物技术聚焦高效治理,生态技术侧重低成本与生态协同,但单一技术因农村污水的分散性、水质波动性难以全面满足治理需求。组合工艺、智能化管理、资源化利用三大创新方向,有效弥补单一技术短板,提升治理效能与可持续性。实际应用中,因地制宜选技术、构建多元资金运维体系、激发村民参与,是提升治理成效的核心路径,可为农村污水治理实践与乡村生态振兴提供支撑。

参考文献

- [1] 王弋,严茂泽,肖倩,等.广东省农村生活污水处理现状及建议[J].生态环境学报,2025,34(5):819~830.
- [2] 张冰.甘肃省农村生活污水处理现状及策略建议[J].科技创新与应用,2025,15(3):180~184.
- [3] 李曼.山东省农村生活污水处理现状及治理模式分析[J].乡村科技,2025,16(11):134~137.
- [4] 高环,张梅.农村生活污水处理现状及优化策略研究[J].中国资源综合利用,2025,43(4):245~247.
- [5] 骆美,甘曼琴,马中文,等.芜湖市农村生活污水处理现状及适用技术分析[J].安徽农业科学,2024,52(21):54~57.
- [6] 李平海,陈铁凡.农村生活污水处理技术现状与进展[J].城市道桥与防洪,2024(9):8~11 M0004.

作者简介:

魏彦爽(1977--),女,汉族,河北省保定市人,本科,工程师,生态环境。