

农村分散式污水处理工艺设计与运维模式研究

梁艮炎

筑博设计股份有限公司佛山分公司 广东佛山 528200

DOI: 10.32629/ems.v8i8.21609

[摘要] 随着乡村振兴战略的深入推进，农村生态环境治理成为重中之重，其中分散式污水处理是改善农村人居环境、防控农业面源污染的关键环节。本文结合农村污水排放特征与区域发展差异，系统研究农村分散式污水处理工艺的设计原则、核心技术选型与优化策略，分析当前运维模式存在的痛点与难点，探索适配农村实际的低成本、易操作、可持续的运维模式，结合典型案例验证工艺设计与运维模式的可行性，为农村分散式污水处理工程的规范化建设、高效化运行提供理论支撑与实践参考，助力农村生态环境持续改善与乡村振兴战略落地实施。

[关键词] 农村分散式污水处理；工艺设计；运维模式

1 引言

近年来，我国农村经济快速发展，农民生活水平显著提升，农村生活污水排放量逐年增加，但污水处理率远低于城市，成为制约农村生态环境改善的突出短板。基于此，开展农村分散式污水处理工艺设计与运维模式研究具有重要理论与实践价值。本文通过分析农村生活污水排放特征与处理需求，明确分散式污水处理工艺的设计原则与技术选型依据，优化工艺参数，提出适配不同农村地区的工艺方案；深入剖析当前运维模式的现状与问题，探索低成本、易操作、可持续的运维模式，结合典型案例验证可行性，为农村分散式污水处理工程的规范化设计、高效化运维提供科学指导^[1]。

2 农村分散式污水处理工艺设计研究

2.1 工艺设计原则

农村分散式污水处理工艺设计需立足农村实际，兼顾多方面因素，遵循以下核心原则：一是因地制宜原则，结合当地人口分布、地形气候、水质水量、经济水平，选择适配工艺与设施规模，避免盲目照搬；二是高效节能原则，优先选择处理效果稳定、能耗低、药剂用量少的工艺，适配农村能源与财政现状；三是简单易运维原则，工艺流程简洁，设备操作便捷，无需专业技术人员即可完成日常维护；四是资源化利用原则，推动尾水回用，实现“治污”与“节水”双赢；

五是经济可行原则，控制建设与运维成本，确保农村地区能够承担；六是环保达标原则，处理后污水需满足相关排放标准，避免二次污染^[2]。

2.2 农村生活污水排放特征与处理目标

2.2.1 排放特征

农村生活污水主要来源于农户厨房、洗涤、沐浴、厕所排水，排放特征与农村生产生活方式密切相关：一是排放分散，农户居住分散，污水排放点多量小，难以集中收集；二是水量波动大，受季节、人口、生活习惯影响，昼夜、季节差异显著，节假日人口回流会导致排放量骤增；三是水质波动大，污染物以 COD、BOD₅、NH₃-N、TP 及悬浮物为主，可生化性较好（BOD₅/COD 为 0.35~0.6），受饮食结构影响，厨房污水有机物浓度高，厕所排水氮磷浓度高；四是排放时间集中，主要集中在早晚用餐、洗漱时段；五是部分地区雨污混排，雨天污水浓度被稀释，处理难度增加^[3]。此外，农村污水还具有“体积小、污染面积大、间歇排放”的特点，与城市污水差异显著。

2.2.2 处理目标

农村分散式污水处理核心目标是去除污染物，实现达标排放或资源化利用。达标排放需根据排放去向遵循对应标准：排放至地表水体需满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》

（GB18918-2002）一级 B 或一级 A 标准；农田灌溉需满足《农田灌溉水质标准》（GB5084-2021）；排放至地下水需满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）。

2.3 核心工艺选型与设计

2.3.1 预处理工艺设计

预处理的核心是去除悬浮物、漂浮物及较大颗粒物，防止堵塞设备、降低后续负荷。格栅用于去除漂浮物与大颗粒物，小型设施采用手动格栅，较大规模采用自动格栅，间隙 5~10mm，配套格栅井便于清理。沉砂池多采用平流式，停留时间 1~2h，有效水深 0.8~1.2m，设置排砂管定期清理。化粪池是农村常用预处理设施，可去除悬浮物、有机物并杀灭部分病原微生物，按每人每天 0.05~0.10m³ 计算容积，停留时间 12~24h，采用三格结构，做好防渗处理防止污染地下水。

2.3.2 生物处理工艺选型与设计

生物处理工艺是核心环节，利用微生物代谢分解污染物，适配农村污水可生化性好的特点，常用工艺包括人工湿地、生物接触氧化池、一体化污水处理设备、MBR 等，需结合实际选型。人工湿地是生态型工艺，结合物理、化学、生物三重作用，投资省、能耗低、运维简单，适用于地形平坦、有闲置土地、经济水平较低的村庄。其中潜流人工湿地处理效果好、占地面积适中、异味小，应用最广泛。

2.3.3 污泥处置工艺设计

污泥处置遵循“无害化、减量化、资源化”原则，结合农村实际采用低成本方式。常用浓缩、脱水、堆肥、填埋等方式，其中堆肥最适用，将污泥与秸秆、粪便混合发酵腐熟，制成有机肥用于农田施肥，实现资源化与无害化。设计污泥浓缩池停留时间 12~24h，脱水后含水率降至 60%~80%，堆肥时间 15~30d；小型设施可采用化粪池沉淀污泥，定期清理并转运至专业场所处置。

2.4 工艺优化策略

工艺优化需结合当地实际，提升处理效果、降低成本：一是水质水量优化，设置调节池（容积为日处理水量 1~2 倍）

均衡水量水质，采用雨污分流减少处理难度；二是工艺组合优化，采用“预处理+生物处理+深度处理+消毒”组合模式，经济落后、土地充足村庄采用“化粪池+人工湿地+紫外线消毒”，经济较好、水质要求高村庄采用“格栅+沉砂池+生物接触氧化池+过滤+二氧化氯消毒”；三是资源化优化，完善尾水回用管网，推动污泥堆肥利用；四是成本优化，优先选择低成本、低能耗工艺与设备，优化参数减少药剂用量。

3 农村分散式污水处理运维模式研究

3.1 运维模式现状与存在的问题

当前我国农村分散式污水处理运维模式主要有政府主导型、企业运营型、村集体自主运维型、第三方托管型，但实际运行中存在诸多问题：一是“重建设、轻运维”突出，缺乏完善的运维体系与资金保障，20%以上设施因资金短缺、技术不适配处于停运或低效运行状态；二是运维资金不足，主要依赖政府财政补贴，地方财政压力大，缺乏多元化筹措渠道，农户难以承担运维费用；三是专业人才匮乏，农村偏远、薪资低，难以吸引专业人员，现有运维人员多为村民，缺乏专业培训，易引发设备故障；四是运维管理不规范，缺乏统一标准，流程混乱，设施运行不稳定。

3.2 运维模式构建原则

一是可持续性原则，兼顾成本、技术与资金，确保设施长期稳定运行；二是低成本、易操作原则，适配农村人才与经济现状；三是权责明晰原则，明确政府、企业、村集体、农户权责，避免无人负责；四是因地制宜原则，结合经济水平、人口规模选择适配模式；五是多元化原则，构建多元资金与运维主体；六是农户参与原则，加强宣传，引导农户参与，形成共建共享氛围。

3.3 适配农村实际的运维模式构建

3.3.1 村集体自主运维+政府补贴模式

适用于人口少、经济低、工艺简单的村庄，由村集体成立运维小组，负责日常巡检、清理、简单故障排查等工作；政府提供技术培训与资金补贴，用于设备更换、药剂采购、

人员薪酬。该模式成本低、操作简单，能调动村集体积极性，但技术水平有限，需政府加强指导，可通过“村级环保合作社”规范运维流程。

3.3.2 企业运营型模式

适用于人口集中、规模大、工艺复杂的村庄，政府通过招标选择专业环保企业，签订运维合同，支付服务费用；企业组建专业团队，负责设施运行、故障排查、水质监测等工作；村集体协调农户配合，政府监管运维质量。该模式技术水平高、运行稳定，能解决人才匮乏问题，但运维成本高，适用于经济较好地区。如浙江省“千村示范”工程中，该模式使出水达标率达98%。

3.3.3 第三方托管+农户参与模式

适用于人口分散、工艺多样、经济中等的村庄，第三方机构提供技术指导、培训与故障排查，村集体组织农户参与日常运维，政府给予资金补贴，建立农户监督机制。该模式兼顾成本与技术，能提升农户环保意识，但需加强农户培训。浙江德清县试点后，污水收集率从70%提升至95%，私接乱排现象减少80%。

3.4 运维模式保障措施

保障运维模式有效实施，需完善多方面措施：一是资金保障，构建“政府补贴+村集体自筹+农户分担+社会资本参与”的多元机制，将运维资金纳入财政预算，鼓励社会资本参与；二是技术保障，建立技术指导体系，开展技术研发与推广，加强运维人员培训，开通技术服务热线；三是管理保障，制定统一运维标准与管理制度，加强监管，建立考核机制，将运维效果与费用、补贴挂钩；四是宣传保障，通过多种方式宣传环保知识，提高农户环保意识与参与积极性，引导农户养成良好生活习惯。

4 典型案例分析

4.1 项目概况

该村为平原农村，226户、904人，经济水平一般，无集

中污水处理设施，污水直排造成周边污染，采用“预处理+一体化微型净化装置+资源化利用”工艺，“村集体自主运维+政府补贴”模式。

4.2 运维模式

村集体成立5人运维小组，负责日常运维；政府每年补贴10万元，定期组织培训，建立农户参与机制，引导农户负责自家化粪池清理。

4.3 实施效果

运行后处理效果稳定，悬浮物下降37%，BOD₅下降97.9%，COD下降98.2%，出水达标回用，改善了人居环境。项目投资95万元，年运维费用10万元，成本可控，得到农户认可，兼顾生态与经济效益。

5 结语

本文系统研究农村分散式污水处理工艺设计与运维模式，得出以下结论：一是农村生活污水具有排放分散、水量水质波动大等特征，分散式工艺是主流选择，设计需遵循六大原则；二是工艺应采用“预处理+生物处理+深度处理+消毒”组合模式，污泥处置优先堆肥；三是当前运维模式存在“重建设、轻运维”等问题，需构建多元适配模式并明确权责；四是典型案例验证，针对性工艺与适配运维模式能提升处理效果、降低成本，不同地区需选择差异化方案。

[参考文献]

- [1] 李梦丽, 杨忠莲, 王楚亚, 等. 基于熵权法-模糊综合评价模型的生活污水低碳处理模式评价[J]. 环境工程学报. 2025, 19(6): 1327-1338.
- [2] 吴广祥, 李德强, 刘鹏程, 等. 应用A2/O生物接触氧化工艺处理低碳氮比污水工程设计与处理效能[J]. 环境工程学报. 2024, 18(10): 3006-3012.
- [3] 马志刚, 芦秀青, 王静, 等. 三峡库区农村生活污水一体化处理设施效果评价[J]. 人民长江. 2024, 55(2): 238-244.