

农村污水处理设施建设与运维效能探讨——以 F 镇为例

陈梓权 曹锦浩

佛山大学，广东佛山，528000；

摘要：目的：针对农村污水治理中普遍存在的“重建轻管”与效能不足问题，以典型农业乡镇 F 镇为研究对象，探索适应农村地域特征的污水治理优化路径，破解技术适配性、管网协同性与运维可持续性难题，为乡村振兴背景下的环境治理提供实践参考。方法：通过实地调研获取 F 镇 49 座处理设施的运行数据，结合水质监测、管网覆盖与运维成本分析，对比集中式（AO+人工湿地、MBR）与分散式（化粪池+稳定塘）工艺的效能差异；评估 PPP 模式与村级自管机制的优势与短板，并构建协同治理框架体系。结果：F 镇污水处理体系存在集中式设施低负荷运行、分散式工艺抗冲击能力弱、雨污合流管网溢流风险突出等问题，村级自管设施因资金短缺与专业力量匮乏而致使设施运行不畅。研究提出分类优化工艺、整合专项资金、构建数字化监管平台等对策。结论：以分类施策、智慧赋能、多元共治的模式可解决政府主导及群众缺位的问题，并推动治理效能提升，是实现乡村生态振兴的核心路径。

关键词：农村生活污水；处理设施建设；运维效能

DOI：10.69979/3029-2700.25.07.079

引言

农村生活污水治理是乡村振兴战略中生态宜居目标的核心任务，也是破解城乡环境二元结构的关键举措。随着新型城镇化进程加快，农村污水排放量逐年增加，无序排放导致水体富营养化、土壤污染等问题加剧，直接威胁农村生态安全与居民健康^[1]。我国农村生活污水设施“重建轻管”现象普遍，运维效率低下成为制约治理成效的突出瓶颈^[2]。在此背景下，科学构建适应农村地域特征、经济水平与技术条件的污水治理体系，对改善人居环境、促进农业面源污染防治、实现乡村可持续发展具有重要现实意义。因此，本研究以典型农业乡镇 F 镇为研究对象，系统分析其污水处理设施建设、运行效率及管理模式，旨在揭示农村污水治理中技术适配性、管网协同性与运维可持续性的内在矛盾。通过剖析集中式与分散式工艺的效能差异、PPP 模式与村级自管的机制优劣，探索多主体协同治理路径，为同类地区提供“技术—资金—管理”三位一体的优化方案，推动农村环境治理从“终端建设”向“系统效能”转型。

1 F 镇污水处理现状分析

1.1 设施建设情况

F 镇全镇共建成污水处理设施 49 座，其中 2 座镇级污水处理厂及 47 座村级处理设施，总处理规模达 3900

m^3/d ，覆盖 19 个村居委会的 36 个自然村，仅 1 个自然村尚未建设终端设施。从工艺类型看，设施技术模式呈现“集中处理为主、分散利用为辅”的多元化特征，其中，集中式处理以一体化 AO+人工湿地（占比 63.3%）和 MBR 工艺为核心，覆盖人口密集区域；分散式处理则以化粪池+厌氧池、酸化池+稳定塘等低耗工艺为主，适配偏远村落；资源化利用模式（化粪池+农田果园消纳）在农业主导型村庄广泛应用，实现污水就地利用。在管网建设方面，全镇累计铺设污水管网 60.09 公里，其中 15 个行政村实现管网全覆盖，2 个行政村仅完成主管网建设，1 个自然村仍存在管网空白。此外，现有管网以雨污合流制为主导，虽短期内缓解了污水直排问题，但雨季截流能力不足导致溢流风险突出，工艺适配性与管网协调性亟待优化。

1.2 污水处理效率

镇级设施普遍存在“低负荷运行”现象，其中一镇级污水处理厂设计规模 $600m^3/d$ ，旱季实际处理量仅 $30m^3/d$ ，负荷率不足 5%；另一镇级污水处理厂设计规模 $300m^3/d$ ，实际处理量趋近于零，设施闲置问题突出。村级设施处理效率呈现两极分化：其中一村处理量达 $114m^3/d$ （设计规模 $140m^3/d$ ），负荷率 81.4%；而其他部分村庄处理量仅为设计规模的 30%~50%，规模冗余明显。此外，第三方企业专业运维的 7 个自然村出水 COD 浓度

稳定在 9~25mg/L, 总磷≤0.9mg/L, 优于《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB44/2208-2019) 二级标准; 但村级自管设施因缺乏监测与维护, 运用 MBR 工艺的村庄则因长期未更换膜组件与药剂, 出水水质无有效数据支撑, 且冬季低温导致生物反应效率下降, TP、TN 指标存在超标风险。与此同时, 全镇 49 座设施中, 23 座因管网接驳不全、人口外流等原因, 实际处理量不足设计规模的 40%, 而采用“化粪池+农田消纳”模式的设施虽无明确水质监测, 但其效能受农作物种植周期与降雨量制约, 在旱季容易引发二次污染。

1.3 项目建设特点

镇级设施及 7 个自然村通过 PPP 模式引入社会资本(第三方企业), 覆盖前期建设与后期运维; 省定贫困村、美丽乡村建设等专项财政资金重点支持 MBR 工艺设施建设; 全域提升项目则探索“生态治理+资源回用”模式, 推动化粪池+农田消纳等低成本的分散式治理。PPP 项目通过企业全周期运维机制, 实现专业化管理, 但覆盖范围仅占自然村总数的 18.9%; 非 PPP 项目因村级财政薄弱、技术能力缺失, 存在“重建设轻运维”困难。同时, 在处理工艺选择上, F 镇注重分类施策, 人口密集区采用集中式 A0+人工湿地工艺, 兼顾处理效率与生态景观功能; 偏远村落推行分散式资源化利用, 通过“化粪池+稳定塘—农田灌溉”链条降低管网投资成本; 过渡区域保留雨污合流制截流管网, 短期内缓解污水直排问题, 但长期面临雨季溢流与浓度稀释的技术瓶颈。但是, 不同项目之间缺乏良好的协同性, 如某村美丽乡村项目管网未与 PPP 主管网衔接, 造成重复投资与处理能力浪费, 显示出存在顶层设计与跨部门统筹的问题。

2 问题与挑战

2.1 技术适配性

该镇污水处理工艺与农村污水特征的匹配度存在偏差, 制约了治理效能的提升。一方面, 分散式工艺抗冲击负荷能力不足, 采用“化粪池+稳定塘”的村庄在旅游旺季人口激增时, 污水量一般会超过设计值, 导致污水溢流率上升, 以及运用 MBR 工艺的村庄, 虽出水水质较优, 但该类工艺的膜组件年均堵塞率达 37%, 村级运维难以满足其精密化要求。另一方面, 运用“化粪池+农田消纳”的处理设施在冬季低温期(<10℃)时, 微生物活性会下降, 导致氮磷去除率将降低, 且旱季农

田需水量减少, 进而污水回用率会出现不足现象, 引发二次污染风险, 何石福^[3]的研究也证明了这一观点。此外, 在雨污合流制管网下, 雨季截流污水 COD 浓度将被稀释, 致使 A0 工艺碳氮比失衡, 进而反硝化效率下降, 最终出水的总氮含量将会超标。

2.2 管网覆盖率不足对处理效果的影响

全镇 36 个自然村中, 部分自然村仍存在管网空白, 2 个行政村仅完成主管网建设, 支管入户率不足, 导致生活污水未经处理直排环境, 存在散居农户化粪池溢流现象。同时, 已建管网与处理设施衔接不畅问题突出, 部分村虽建成管网却未接入 PPP 项目主管网, 污水无法进入终端设施, 形成“有网无流”的无效投资。此外, 管网覆盖不均也会进一步加剧处理设施低效运行。相关研究^[4]也表明, 管网系统的结构性缺陷将促使污水处理设施规模效益损失, 运维资源浪费。

2.3 运维机制缺陷

非 PPP 项目运维经费主要依赖村级财政, 但集体经济差的村庄是难以为继的, 随之设施故障率也将逐渐攀升, 其中 MBR 工艺因膜组件更换费用高昂, 村级无力承担而停运。专业运维力量薄弱也是农村污水治理的一大短板, 全镇 49 座设施中仅 7 座由企业专业化管理, 其余村级自管设施缺乏持证技术人员, 均由村干部兼职运维, 缺乏技术培训, 无法应对设备故障等问题。此外, 村民参与机制缺失加剧运维困境, 污水治理被视为“政府工程”, 村民付费意愿低, 且缺乏公众监督导致出现管网私接、垃圾入网等问题。同时, 跨部门协作机制不健全, 资金池碎片化导致运维资源错配。

3 优化对策建议

3.1 突出技术优化

针对 F 镇污水处理工艺适配性不足的痛点, 需构建“集中式为主、分散式为辅、多模式协同”的技术优化体系。在人口密集、管网覆盖率高的行政村, 优先采用“一体化 A0+人工湿地”集中处理工艺, 通过增设调节池提升抗冲击负荷能力, 并利用物联网技术实时监测进水 COD、氨氮浓度, 动态调整曝气强度与回流比, 提升处理效率; 在管网未覆盖的散居村落, 推行“改良化粪池+生态滤床”分散式工艺, 通过添加生物填料强化脱氮除磷效能, 降低运维成本。针对季节性水质波动, 建立“集中一分散”工艺协同机制, 在旱季, 则将分散式

设施尾水导入集中式系统深度处理，雨季则启动分散式设施的生态塘蓄水功能，缓解管网溢流压力。同时，在农业主导型村庄推广“污水—沼气—肥料”三级资源化模式，通过厌氧发酵产沼与沼液滴灌技术，提高氮磷资源回收率。黄振^[5]等人的研究表明，该技术优化路径可显著提升污水处理综合效能，降低年均运行成本。

3.2 强化多元资金保障

强化财政资金统筹效能，整合美丽乡村、乡村振兴等专项资金，设立镇级污水治理专项账户，优先用于管网盲区建设与老旧设施改造，并拓展市场化融资渠道，将已建设施经营权转让给专业企业，以置换资金反哺新建项目，以及探索发行绿色债券用于智慧化管网建设。

3.3 构建协同治理机制

针对村民参与度低的问题，推行“阶梯式付费+积分奖励”制度，同步建立“污水治理积分超市”，村民通过参与管网巡查、垃圾分类等获取积分，可兑换生活用品或抵扣水费。与此同时，建立跨部门联席决策机制，由环保、住建、农业等部门联合制定技术标准与考核指标，消除 PPP 项目与美丽乡村建设的政策壁垒，提高管网接驳率，构建“财政主导—市场补充—村民共担”的多元筹资体系。

3.4 建立长效运维机制

搭建数字化监管平台，集成设施运行数据（流量、水质、能耗）与管网 GIS 信息，利用 AI 算法构建故障预警模型，实时推送膜组件堵塞、风机异常等风险信号，提升维修响应效率。此外，创新村民共治机制，开发“污水治理小程序”实现问题拍照上报、处理进度查询与满

意度评价，并设立村级环保监督员，通过培训赋能使其具备基础检测技能，形成“专业监管+社会监督”的双重约束。

4 结论

本研究以 F 镇为典型案例，揭示了农村地区污水处理体系中技术适配性不足、管网协同性缺失与运维机制短板的共性问题。结果表明，集中式与分散式工艺的叠加难以适应农村污水“低浓度、高波动”的特征，雨污合流制管网与处理设施的缺陷也加剧了雨季溢流风险，而过度依赖财政投入与村级自主管理的运维模式则导致设施可持续性不足。针对上述矛盾，提出“分类优化工艺体系、构建多元共治机制、推动智慧化监管”的系统性对策，实现环境治理与乡村发展的良性互动，对广东农村地区具有重要示范意义。

参考文献

- [1] 唐敏. 农村环境整治生活污水处理现状与对策探讨 [J]. 清洗世界, 2025, 41(02): 147-149.
- [2] 朱益萍. 农村生活污水处理现状分析及对策探讨 [J]. 水资源开发与管理, 2023, 9(09): 28-32+11.
- [3] 何石福. 不同水生植物模拟湿地消纳农田排水氮效果差异与机制研究[D]. 湖南农业大学, 2021. DOI: 10.2136/d.cnki.ghunu.2021.000534.
- [4] 覃新元, 赵凯强. 运维角度谈污水管网及检查井的优化设计研究[J]. 中国设备工程, 2024, (17): 109-111.
- [5] 黄振, 任克芹, 褚文彬, 等. 畜禽粪便的资源化利用 [J]. 粮油与饲料科技, 2024, (08): 180-182.