

# 低成本高效农村污水处理工艺的创新设计与应用

冯凡 赵婷

韩城市环境监测站

DOI:10.12238/eep.v8i4.2660

**[摘要]** 本文聚焦低成本高效农村污水处理工艺的创新设计与应用,通过分析现有工艺的技术瓶颈与经济制约,提出以资源化利用、自然生态消纳及物联网智能管理为核心的工艺优化路径,显著降低了基建投资与运维成本,同时实现了污水资源化利用与水环境质量提升。结果表明,低成本高效农村污水工艺的创新设计在农村地区具有广泛推广的应用价值,为解决农村污水处理难题提供了技术支撑与实施路径。

**[关键词]** 低成本高效; 农村污水处理; 创新设计; 资源化利用; 智慧监管

**中图分类号:** U664.9+2 **文献标识码:** A

## Innovative design and application of low cost and efficient rural sewage treatment technology

Fan Feng Ting Zhao

Hancheng Environmental Monitoring Station

**[Abstract]** This paper focuses on the innovative design and application of low-cost, efficient rural sewage treatment processes. By analyzing the technical limitations and economic constraints of existing methods, it proposes an optimized process centered on resource utilization, natural ecological absorption, and IoT-based intelligent management. This approach significantly reduces infrastructure investment and maintenance costs while achieving the resource utilization of sewage and improving water quality. The results indicate that this innovative process has broad promotion potential in rural areas and provides technical support and implementation pathways for addressing the challenges of rural sewage treatment.

**[Key words]** low cost and high efficiency; rural sewage treatment; innovative design; resource utilization; intelligent supervision

在乡村振兴战略背景下,农村生活污水治理是提升农村人居环境重点工作。但传统污水处理工艺投资较大,运维成本较高,技术适应性较差,很难适应当前农村地区实际经济条件和技术水平要求。所以,探索成本低、效率高且维护方便的污水处理工艺对促进农村生态文明建设有着十分重要的作用。本论文立足于工艺创新设计和应用实践,目的在于为农村污水处理工作提供一种技术上可行,经济上合理的解决方案。

### 1 低成本高效农村污水处理工艺的创新设计原则

农村污水处理正面临着资金短缺、运维能力弱、地形分散的诸多挑战,在创新设计中需要遵循针对性原则,兼顾技术可行性和经济实用性,首要原则以经济性优先为核心,注重在符合排放标准条件下尽可能地减少施工和运维成本<sup>[1]</sup>。农村地区财政收入有限,传统污水处理工艺因设备昂贵、能耗高难以推广,因此需通过简化流程、减少机械依赖、利用自然能源(如太阳能、风能)等方式降低初期投资与长期运行费用。如避免使用需要不断投药的化学处理法,而改用以生物降解为主要特征的自然处理工艺,可以显著减少药剂采购和人工成本。

我国大部分农村住宅分布较为分散,形成了点域式居住区,农村生活污水随着逐渐形成住宅与农田交叉联结的分散式村庄结构而呈现分散式排放的特点,从而导致污水难以有效地集中收集与处理。因此,我国农村污水处理工艺应以因地制宜为核心设计原则,我国农村幅员辽阔,气候、地形和人口密度等因素存在显著差异,需要根据各地的情况进行工艺方案定制。在我国南方水网地区,可以利用丰富水资源,建设湿地处理系统;在北方的干旱区域,需要特别关注防止渗透和节约用水的设计;人口集中的村落宜集中式处理,分散式生活的地区宜使用小型化和分布式的处理单元。另外,由于生活习惯和产业结构等因素的影响,各乡村污水水质差异较大,例如以农业为主要产业的村庄污水中氮磷含量丰富,而旅游型村庄可能会出现餐饮油污等污染问题,因此工艺设计需要与水质特点准确相匹配。

### 2 低成本高效农村污水处理工艺的创新设计方法

#### 2.1 水质适配参数的优化设计

水质适配参数的优化设计需要在准确分析农村污水特性基础上,以量化指标引导工艺选型和参数调整,其中需要对污水的

基本水质参数进行系统性的测量, 这些参数包括化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、总磷(TP)以及悬浮物(SS)等, 并且结合区域人口规模, 产业结构对污水排放量和污染物浓度的波动幅度进行了预测。以养殖型农村为例, 由于畜禽粪便的掺入, 导致污水的COD和氨氮的浓度明显比一般村落高, 因此需要有针对性地加强厌氧处理和硝化-反硝化等工艺参数的研究<sup>[2]</sup>。

根据水质分析结果需要优化处理工艺核心参数, 在生物处理技术中, 需要对水力停留时间(HRT)、污泥龄(SRT)和溶解氧(DO)等关键参数进行精确的控制。在人工湿地设计中, 通过调整基质类型(如砾石、火山岩)、植物配置(芦苇、菖蒲)与水流路径, 优化污染物去除效率; 厌氧消化工艺过程中需要根据污水有机质含量来调节温度、pH值和进料负荷, 以保证甲烷的最大产气率。另外, 需要构建动态参数调控模型, 通过传感器对水质变化进行实时监控, 并对处理单元运行参数进行自动调节, 以达到自适应优化过程。

## 2.2 本土材料装备集成设计

本土材料设备集成设计的目的是在提高工艺适应性的前提下, 利用乡村已有资源, 降低成本, 选材时优先考虑本地容易获得的天然材料或者工业废弃物, 如以河砂、陶粒和废弃砖块等为填料建立人工湿地, 不仅降低了材料运输成本, 而且减少了对不可再生资源的依赖性; 秸秆、稻壳和其他农业废弃物经过处理用作生物滤池滤料, 达到废物利用目的<sup>[3]</sup>。另外还可以就地取材生产简单的处理设备, 如将塑料桶变成厌氧发酵罐、用空闲的水缸搭建多级沉淀系统等, 大大降低了设备的采购成本, 就设备集成而言, 需要综合考虑农村电力供应和操作能力等因素, 选用低能耗且易于维修的设备。大力推广太阳能供电曝气机和风力驱动搅拌装置, 以降低对电网依赖程度; 通过预制化污水处理箱体等模块化和标准化设备组件, 方便了运输、安装和更换。同时鼓励传统工艺和现代技术相结合, 如稳定塘系统增加简单的人工曝气装置等, 以促进好氧处理效率的提高; 将自动排泥阀门整合到厌氧发酵池内, 简化了运维操作。通过创新结合本土材料和装备, 达到低成本和高效能兼顾。

## 2.3 生态-人工复合工艺的设计

生态-人工复合工艺设计结合了自然生态处理和人工强化技术优点, 构成互补协同处理系统, 自然生态工艺(例如, 人工湿地、稳定塘、土地处理系统等)具有投资少、能耗低、环境友好的特点, 但处理效率易受季节、气候影响; 人工处理工艺(例如生物膜法、活性污泥法等)则具有处理效率高、稳定性强的优势, 但成本相对较高。复合工艺将两种工艺进行了合理的连接, 在保证处理效果的前提下降低了成本, 标准的复合处理流程, 例如“厌氧-人工湿地-生态塘”的组合系统, 首先是通过厌氧池来分解污水中的大分子有机物质, 从而降低后续处理的工作量; 然后利用人工湿地对氮磷和悬浮物进行进一步的去除, 并利用植物根系和微生物的协同作用对水质进行净化; 最后, 通过生态塘深度处理和景观营造。该组合既达到了污染物分级去除的目的,

又利用了生态系统的自净能力减少了运行能耗。

## 2.4 模块化的系统布局设计

模块化系统布局设计把污水处理流程分解为独立功能单元, 并以灵活的组合方式来适应不同尺度和要求, 每个模块采用标准化设计, 包含预处理单元(格栅、沉砂池)、生物处理单元(厌氧池、生物滤池)、深度处理单元(人工湿地、消毒装置)等, 各单元可根据水质特点与处理规模自由搭配。例如, 小型村落可采用“预处理+一体化生物反应器+人工湿地”的紧凑型模块; 在大型的村庄中, 可以考虑将多个处理模块串联起来, 从而增强其处理效率, 模块化设计也需要兼顾空间布局灵活性。本实用新型以集装箱式、埋地式或者地上组合式等多种结构形式, 以满足农村复杂地形和用地紧张等问题。埋地式模块可以减少占地和减轻视觉影响, 适用于人口稠密的地区; 集装箱式模块具有方便运输和快速安装的特点, 适合应急处理或者分散布置。另外, 各个模块之间采用标准化接口进行衔接, 为后期扩容和升级提供了支持, 例如在原处理系统基础上增加脱氮除磷模块来满足水质标准的提升要求。模块化布局显著降低了建设难度和建设周期, 也为农村污水处理可持续发展提供了技术保障。

## 3 低成本高效农村污水处理工艺的创新应用方法

### 3.1 因地制宜的工艺选型策略

因地制宜地进行工艺选型, 需要考虑地区自然条件、经济水平、管理能力等因素, 就自然条件而言, 需要对地形地貌和气候水文进行评价。山区农村因地形起伏大、管网铺设困难, 适合采用分散式小型处理设备(例如户用化粪池加土壤渗滤系统等); 在平原地带, 可以利用地形特点建立集中式的处理设施, 并利用重力流来降低能源消耗。气候条件同样关键, 寒冷地区需采用保温性能好的工艺(如加盖厌氧反应器), 并避免依赖低温下效率下降的生物处理技术; 炎热地区又能充分发挥高温优势, 加强厌氧发酵和蒸发处理, 经济和管理因素确定过程的可行性和可持续性, 经济发达地区可适当采用技术先进但成本较高的工艺(如MBR膜生物反应器), 通过财政补贴或市场化运营维持; 经济薄弱地区则需优先选择低成本工艺(如氧化塘、人工湿地), 并探索政府-企业-村民三方合作的资金筹措模式。此外, 需评估当地运维能力, 技术复杂的工艺(如活性污泥法)对操作人员要求高, 更适合有专业团队支持的区域; 而且操作方便的生态工艺比较适用于技术人员匮乏的农村。采用多维度评估的方法保证工艺选型和区域条件的高度契合。

工艺选型上也需要与农村污水排放规律动态适配, 季节性排放显著的村庄可以增加调蓄池以平衡水量; 对于污水成分波动较大的区域, 可以采用组合式弹性工艺, 例如在厌氧处理后串联不同功能的生态单元, 以实现水质的动态达标。同时建立了区域工艺选型数据库并对不同情况下适用工艺案例进行了总结, 以期对农村污水处理方案的编制提供数据支撑和决策参考。

### 3.2 村民合作运维模式

村民协同运维模式以激发村民的参与热情来建构本土化和可持续运维体系, 其中需要建立系统化培训机制, 以理论讲解、实

操演示和视频教学为载体,将污水处理设备基本操作、故障排查及日常维护技能传授给村民。培训内容需要精简专业术语、使用图文并茂的手册和短视频等方式,以保证村民容易理解和掌握。例如,编制《污水处理设施运维漫画指南》,以通俗语言说明如何检查设备运行状态、清理沉淀池污泥等,从激励机制上看,可以采取物质奖励和精神表彰相结合的方式调动村民的参与积极性。建立运维奖励基金,为按期完成维护任务并确保出水合格的村民发放现金补贴或者生活用品;定期开展“环保之星”评选活动,并通过村广播和宣传栏等形式给予奖励,以提高村民责任感和荣誉感。另外,还可以把污水处理设施运维写入村规民约中,厘清村民义务和职责,营造共同监管氛围。

为保障运维的专业性,需建立“专家指导加村民自治”的协同机制,政府或者企业派技术专家进行经常性的巡检以解决各种复杂的故障;村民则负责日常清洁、设备启停等基础维护,并通过手机APP或微信群实时反馈问题,利用物联网技术实现处理系统的远程监控,专家可通过云端平台查看设备运行数据,远程指导村民操作,形成“专业支持—村民实施—智能监控”的闭环运维体系,确保农村污水处理设施长期稳定运行。

### 3.3 智能监测调控技术

智能监测调控技术为提高农村污水处理效率和稳定性提供了核心支持,借助物联网、大数据和人工智能技术深度融合实现了处理系统自动化和精准化管理,在硬件方面,将水质传感器、流量计和液位计智能终端进行系统集成,对COD、氨氮、pH值等主要指标进行实时采集,并对设备的运行状态和能耗数据进行分析。这些终端利用LoRa、NB-IoT等低功耗网络把数据传送到云端平台上,从而解决了农村网络覆盖薄弱和设备供电困难的难题,以数据驱动智能调控为核心技术优势,该平台内建机器学习算法能够基于历史数据和实时监测值对水质变化趋势和设备故障风险进行预测。例如,当系统检测到厌氧池pH值异常波动时,自动分析可能的原因(例如,进料负荷突变,微生物活性降低),并触发相应的调控指令:调整进水流量,开始应急曝气或者添加微生物菌剂。对于季节性水质波动,系统还能根据气候数据(温

度、降雨量)自动切换处理模式,如在雨季增加人工湿地的水力停留时间,确保处理效果稳定。

智能监测调控技术也明显降低了运维成本,采用远程监控的方式,技术人员不需要经常进行现场巡查就可以掌握村庄污水处理设施运行状况;故障预警功能预先发现潜在问题,降低突发事故所带来的危害。此外,该平台提供的能耗分析和处理效率的可视化报告,为工艺的优化提供了重要的数据支持,协助管理层更精确地调整操作参数,从而达到降低能耗15%-20%的目的。这一“监控—分析—决策—实施”的综合管理策略,促进了农村污水处理从依赖经验到依赖数据的转变,显著提高了处理系统的智能化程度和持续性。

## 4 结束语

创新设计并应用低成本高效农村污水处理工艺,将资源化利用、自然生态消纳和物联网智能管理等技术融合在一起,有效突破传统工艺技术瓶颈和经济制约。实践证明,该创新工艺实现污水资源化利用和水环境质量改善,同时减少基建投资和运维成本,有广泛推广价值。今后的研究可以进一步探讨工艺优化和区域适配性等问题,促进农村污水处理技术持续发展,从而为乡村振兴和生态文明建设提供强有力的支持。

## [参考文献]

- [1]白玥萌,李环宇.分散式农村污水处理技术的研究进展[J].清洗世界,2024,40(11):89-91.
- [2]王琰.农村分散式污水处理技术应用及优化[J].生态与资源,2024(07):40-42.
- [3]蒋丽丽,于翔,沈佳华.农村分散式污水处理中的智能视觉定位方法[J].现代计算机,2024,30(15):74-78.

## 作者简介:

冯凡(1991—),女,汉族,陕西省延安市宜川县人,助理工程师,本科,研究方向:环境监测。

赵婷(1990—),女,汉族,陕西省渭南市人,本科,职称:助理工程师,研究方向:环境监测。