

农村生活污水集中处理技术的工程化应用探讨

缑高鹏

新疆准实检测有限公司，新疆 喀什 844000

[摘要]在乡村振兴战略持续深化的背景下，农村生活污水处理已成为改善农村人居环境的核心议题，鉴于农村人口居住分散、基础设施建设相对落后的现状，传统污水处理模式面临适配性难题，而集中处理技术凭借运行稳定、处理效率高、可持续性等特点，正逐步成为行业研究与应用的焦点，此文系统探讨农村生活污水集中处理技术的工程化应用，深入剖析其技术路线、工程建设关键点及运行管理策略，针对性提出契合农村实际的工艺优化方向，为提升农村生活污水治理效能提供技术与实践指导。

[关键词]农村污水；集中处理；工程应用；污水治理；生态环境

DOI: 10.33142/nsr.v2i2.16971

中图分类号: TU992

文献标识码: A

Discussion on the Engineering Application of Centralized Treatment Technology for Rural Domestic Sewage

GOU Gaopeng

Xinjiang Zhunshi Testing Co., Ltd., Kashgar, Xinjiang, 844000, China

Abstract: Against the backdrop of the continuous deepening of the rural revitalization strategy, the treatment of rural domestic sewage has become a core issue in improving the living environment in rural areas. Given the current situation of dispersed rural population and relatively backward infrastructure construction, traditional sewage treatment models face adaptability problems. Centralized treatment technology, with its stable operation, high treatment efficiency, and strong sustainability, is gradually becoming the focus of industry research and application. This article systematically explores the engineering application of rural domestic sewage centralized treatment technology, deeply analyzes its technical route, key points of engineering construction, and operational management strategies, and proposes targeted optimization directions for treatment processes that are in line with the actual situation in rural areas, providing technical and practical guidance for improving the efficiency of rural domestic sewage treatment.

Keywords: rural sewage; centralized processing; engineering applications; sewage treatment; ecological environment

引言

近年来，随着我国生态文明建设加速推进，农村生活污水治理的紧迫性愈发显著，受限于农村基础设施薄弱，传统分散式污水处理方式暴露出投资成本高、运维难度大、处理效果不佳等弊端，难以满足当下治理需求，集中处理技术通过科学规划处理设施规模与布局，实现污水集中收集、统一处理，在技术成熟度与推广可行性方面展现出突出优势，本文将从工程设计、系统构建、运行机制等维度切入，探究集中处理技术在农村污水治理中的实践路径与优化策略，以期推动其工程化应用水平的提升。

1 农村生活污水特点与处理需求分析

1.1 污水水质水量特征

农村生活污水源自居民日常厨房洗涤、洗浴、洗衣及厕所冲洗等活动，其水质特性显著，有机污染物浓度高，氮磷等营养盐富集，悬浮物、细菌等指标超标常见，典型污染物如 COD、BOD₅、氨氮、总磷呈现浓度高且波动剧烈的特征，受生活习惯与节水意识影响，农村人均日用水量低于城市，致使单位水体污染物浓度进一步升高，此外，污水排放呈现强间歇性与昼夜波动，节假日、农忙农闲等

不同时段排放量差异悬殊，具有非连续、不稳定特性。加之农村住房分散，污水产生点分布零散，极大增加了统一收集与输送难度，使得集中处理系统面临运行负荷不均、频繁变动的挑战，因此，处理工艺设计必须着重强化对水质水量动态变化的适应性，保障系统稳定运行。

1.2 农村环境基础设施现状

我国农村环境基础设施建设长期落后于城市，尤其在生活污水收集与处理领域短板突出。多数农村地区尚未构建系统性排水管网，污水随意排放至沟渠、水塘或农田，加剧面源污染与水体富营养化，部分已建成管网的村庄，存在管径设计失当、坡度不足、管道老化破损等问题，渗漏淤堵频发，难以满足污水集中输送要求，在污水治理工程层面，建设标准不统一、资金投入短缺、管理维护缺失等问题普遍存在，部分村庄仅依靠简易人工湿地或沉淀池进行初级处理，无法稳定实现达标排放，同时，专业运维人员匮乏，导致设施运行效率低下、设备故障多发，严重影响处理效果与居民满意度。

1.3 集中处理的适用性分析

与传统分散式处理模式相比，集中处理技术在农村污

水治理中展现出独特优势,该技术通过统一收集污水并进行规模化处理,实现工艺集成化与运行调控的便捷性,有效提升处理效率,保障出水水质稳定,集中建设处理设施,可灵活采用 SBR、氧化沟、A/O 等成熟工艺,精准应对农村污水水质复杂多变、波动频繁的特性,专业化运营体系的构建在集中处理模式下更具可行性,委托第三方专业机构或乡镇运维团队负责日常管理,能够有效解决设施闲置、运维低效等问题,此外,集中处理模式为中水回用、沼气能源回收及肥水还田创造条件,促进资源循环利用。值得注意的是,推进集中处理技术的工程化应用,需充分考量农村地域分布广、交通条件有限等现实因素,科学规划服务范围、优化管网布局,并确保资金投入充足,以此推动技术的长效稳定运行与广泛应用。

2 集中处理技术体系与工艺路径

2.1 主流集中处理工艺介绍

农村生活污水集中处理领域,氧化沟、序批式活性污泥法(SBR)、生物滤池等生物处理工艺应用广泛,以良好的适应性与稳定性,成为中小型污水处理站的优选方案,氧化沟作为改良型活性污泥工艺,凭借环形或椭圆形沟道设计,促使污水在沟内持续循环,强化与微生物的接触效率,实现高效有机物降解,其突出的抗冲击负荷能力与稳定运行特性,契合农村污水水量波动大的排放特征,SBR工艺采用间歇运行模式,依次通过进水、反应、沉淀、排水等流程完成污水净化,具备流程紧凑、占地面积小、自动化程度高的优势,尤其适用于村镇集中处理场景,在应对负荷频繁变动、水质剧烈波动时展现出显著灵活性。

2.2 工艺选择的影响因素

农村污水集中处理工艺的合理选型,需系统权衡人口分布、地理环境、水质要求及资金条件等多重因素,在人口密集、污水排放量大的村镇,推荐采用 SBR、氧化沟等处理效能高、出水水质稳定的工艺;而居住分散的村落,生物滤池、人工湿地等简易工艺更具成本优势,地形平坦区域可优先布局重力流管网,匹配氧化沟等连续流处理工艺;山区则宜采用占地紧凑的一体化设备或 SBR 系统。若需满足一级 A 排放标准,需选用 A²/O、多段 SBR 等具备深度脱氮除磷功能的工艺;仅以去除 COD、BOD、SS 为目标时,可选择经济型处理方案,资金充裕情况下,可建设高度自动化处理系统;资源有限时,则需结合地方财政支持,因地制宜选用低成本本地化工艺,确保技术适配性与经济可行性的平衡。

2.3 创新技术的集成应用

为增强农村生活污水集中处理系统的处理效能与环境适应性,近年来多项创新技术深度融入工程实践,逐步形成可推广的治理模式。

在高效处理技术层面,膜生物反应器(MBR)凭借独特的工艺优势崭露头角,该技术通过膜组件实现活性污

泥与处理后出水的高效分离,能够产出水质优良的再生水,满足中水回用需求,不过,由于其建设和运行成本相对较高,更适用于人口集聚、水质标准严苛的重点村镇或生态示范区域。

低碳生态技术的应用同样亮点突出,人工湿地与生态塘系统作为绿色处理方案,被大量应用于污水处理终端环节,这些技术不仅能有效去除污水中的氮、磷污染物及病原微生物,还兼具生态景观营造功能,尤其契合生态敏感地区的治理需求,此外,一体化污水处理设备的普及显著提升了工程实施的灵活性,此类设备采用模块化设计,将污水收集、处理、排放等功能集成一体,安装便捷、运维简便,高度适配村级分散式污水处理场景,实现因地制宜精准治理与快速达标排放的双重目标,由此可见,受处理需求、地理环境、经济条件等多因素驱动,农村污水集中处理技术体系正朝着多元化方向发展,科学选择处理工艺,有机融合创新技术,既能确保污水处理效果,又能优化工程建设与运维成本,是推动农村污水治理长效发展的核心路径。

3 工程设计与建设关键环节

3.1 处理站选址与规模确定

污水处理站的选址对系统运行稳定性及服务覆盖率具有决定性影响,布点需遵循“就近集中、因地制宜、远离居民区、便于运维”原则,综合考量地形条件、土地利用规划及环境敏感区分布,选址应主动避开饮用水源保护区、洪水淹没区域及地质灾害风险区,优先选用集体建设用地或荒废地块,以降低征地成本与环境扰动,在服务半径方面,农村污水处理站通常宜控制在 2~3 公里范围内,最大不宜超过 5 公里,以缩短管网建设长度并提升成本效益,若地势起伏较大则需适当缩小服务半径,处理能力需依据人口规模、生活用水习惯及污水回用需求等因素科学测算,一般按每人每日 80~120L 估算生活污水排放量,设计时需预留 10%~20%的富余容量,如服务 2000 人的村庄,处理站日处理规模宜设定为 200~250m³/d,以应对峰值负荷并为未来扩容留有余地。

3.2 管网系统规划设计

污水管网作为集中处理系统的“动脉”,其规划设计应优先采用重力流方式,以减少提升泵站设置并降低能耗与维护难度,布管需依据地势走向合理布设主干管、支管及接户管,通过分区分片、逐级汇流的方式确保污水顺畅输送至处理站,在材料选择上,推荐使用聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)或高密度聚乙烯(HDPE)管材,此类材料具有耐腐蚀、强度高、接口密封性好等优势,适合农村复杂地质环境,为防范堵塞,需设置检查井、清淤口及跌水井,并严格控制管道坡度(一般不低于 0.003)以保障自流顺畅,若采用小管径则需增大坡度以增强流速,为降低渗漏风险,需执行严密施工工艺与检测程序,管道连

接处采用热熔或承插黏接方式,施工完成后需进行闭水试验、通水试验等质量验收,在多雨或高地下水位区域还需增设防回流装置与排气阀以保障运行安全。

3.3 工程施工与质量控制

工程施工阶段是决定污水治理设施能否长期稳定运行的基础,需实施全过程质量控制,首先应对施工单位及技术人员进行严格资格审查,施工前开展详细地质勘察与现场复测,确保设计参数与实际条件吻合,施工过程中需重点关注基坑支护、混凝土浇筑、防渗施工等关键工序,以处理站主体结构为例,基础施工宜采用 C25 及以上强度等级混凝土,设置厚度不小于 2cm 的防水层,并在接缝处增设止水带以防渗漏,设备安装阶段需规范吊装与定位操作,机电设备调试需符合《污水处理厂建设验收标准》(GB 50334—2002),以确保出水水质达标,在质量控制体系构建中,需引入全过程监理制度,覆盖材料进场、隐蔽工程验收、关键节点验收等环节,施工完成后需开展不少于 72 小时的系统联调试运行及稳定运行测试,并建立完整的工程交付资料与操作手册,为后续运维工作提供保障,处理站布点合理、管网系统科学、施工质量可控是保障农村污水集中处理工程可持续运行的三大基础,需贯穿项目从规划至竣工的全流程,确保治理设施实现“建得好、用得久、效益高”的目标。

4 运行管理与效益评估

4.1 运维模式与管理机制

农村生活污水集中处理设施的长效稳定运行,核心在于运维机制的科学构建,当前主流运维模式包括村级委托运营、乡镇统筹管理和专业化第三方公司运营三类,村级委托运营适用于小型处理站及服务半径较小的村庄,由村委会或农村集体经济组织承担日常运行职责,其优势在于熟悉本地环境、响应迅速,但存在技术能力与管理水平不足的局限,难以应对复杂技术问题,乡镇统筹管理模式通过乡镇政府整合区域内多个村落的污水设施,实行专人统一管理调度,有利于资源集中配置与效率提升,但对管理体系建设和财政保障能力提出了更高要求,专业化运维公司管理是当前行业推广的重点方向,适用于服务人口超 3000 人、处理规模超 300m³/d 的项目,第三方机构凭借技术储备与专业团队,可实现 24h 在线监控、远程故障预警及数据分析等智能化运维,但年均 8~12 万元的服务费用相对较高。

4.2 运行成本与节能策略

污水处理系统运行成本主要涵盖电力消耗、药剂费用、人工投入及日常维护等支出,以典型氧化沟工艺为例,吨水处理电耗约 0.3~0.5kWh,日处理 200m³规模的设施年电费支出约 2.5~3 万元;药剂消耗随处理深度增加而上升,脱氮除磷工艺需投加碳源、混凝剂等进一步推高成本,

节能策略方面,优先选用永磁变频风机、低速推流器等高效低耗设备,通过 PLC 自动化控制系统实现间歇运行与负荷自适应调节,减少设备无效运转,氮磷控制环节推荐采用人工湿地联动等生态调控手段,降低化学药剂使用量,人力成本管控可通过合理排班、岗位轮岗等方式优化人员配置,单站点维持 1~2 人运维团队,月均人力支出控制在 5000 元以内。

4.3 环境与社会效益评估

集中处理设施的建设运行对农村生态治理与社会发展具有双重推动作用,环境效益层面,污水集中处理显著削减 COD、BOD₅、氨氮等污染物排放,典型处理系统可实现 COD 去除率超 90%、氨氮去除率达 85%以上,有效遏制水体富营养化及黑臭现象,社会效益方面,治理工程改善了农村人居环境,提升了村庄卫生水平,强化了农民的生态保护意识与集体归属感;运维过程中吸纳本地劳动力参与,带动技能培训与村民增收,部分地区通过中水回用、污泥资源化利用实现资源循环收益,进一步增强项目可持续性。

5 结语

农村生活污水集中处理作为提升农村生态环境质量的关键举措,已成为乡村振兴战略的重要组成部分,通过科学选址、合理设计、规范施工与高效运维,该模式不仅能改善水体环境、促进水资源循环利用,还可推动农村基础设施现代化与居民生活品质提升,针对农村污水来源复杂、分布分散、管理难度大的特点,需因地制宜选择适配工艺,建立健全运维机制,推动技术创新与管理协同,未来,应持续强化政策支持与资金保障,推进集中处理系统向工程化、智能化、绿色化方向发展,确保农村污水治理实现“长效治、精细管、显实效”的治理目标。

【参考文献】

- [1]赵浩宁,姚建峰,赵洪军,等.河北省农村生活污水资源化利用模式探究[J].生态与农村环境学报,2025,41(5):600-608.
- [2]杜现宾.农村生活污水治理技术的应用评价研究[D].江西:南昌大学,2024.
- [3]徐灿灿.户用型农村生活污水强化脱氮除磷技术及应用研究[D].上海:上海师范大学,2024.
- [4]张珊.基于三方演化博弈的东营市农村生活污水治理研究[D].山东:山东农业大学,2024.
- [5]王中意.自贡成佳镇农村生活污水治理案例研究[D].四川:电子科技大学,2024.

作者简介: 缙高鹏 (1982.4—), 毕业院校: 西安交通大学, 所学专业: 环境工程, 当前就职单位: 新疆准实检测有限公司, 职务: 副总经理/授权签字人, 职称级别: 环境保护工程师。