

农村生活污水分散式处理技术适用性与运行效能研究

杨浩琛

森源电动汽车有限公司 河南 许昌 461000

摘要：随着乡村振兴战略的深入推进和农村人居环境整治行动的全面展开，农村生活污水治理已成为改善农村生态环境、提升农民生活质量的关键环节。鉴于我国农村地区居住分散、地形地貌复杂、经济基础薄弱且运维能力有限等特点，集中式污水处理模式往往面临投资大、管网建设难、运维成本高等现实困境。因此，因地制宜地采用分散式污水处理技术成为解决农村水污染问题的有效路径。本文旨在系统梳理当前主流的农村生活污水分散式处理技术，深入分析其不同区域环境、气候条件、经济水平及社会文化背景下的适用性，并从污染物去除效率、运行稳定性、经济成本及环境影响等维度综合评估其运行效能。最后，针对当前技术应用中存在的共性问题，提出优化选型、强化智慧化运维、完善政策标准体系等对策建议，以期为我国农村生活污水治理提供科学参考和实践指导。

关键词：农村生活污水；分散式处理；适用性；运行效能；技术选型

引言

改革开放后，我国农村经济社会发展成就显著，但农村环境污染问题突出，生活污水无序排放成为美丽乡村建设的瓶颈。未经处理的生活污水直接排放，污染水体、破坏生态，还威胁农民健康。我国农村每年生活污水量大，有效处理率却远低于城市，治理形势严峻。农村“大分散、小聚居”，地形多变，铺设大规模污水管网面临技术和经济挑战；且农村集体经济薄弱，缺乏专业人员，难以承担集中式污水处理厂费用。在此背景下，分散式污水处理技术以“就近收集、就地处理、资源回用”理念展现优势。但分散式处理是系统工程，需综合考虑多重因素。如何科学选技术工艺，确保其稳定高效低成本运行，是农村污水治理核心问题。本文将围绕“适用性”与“运行效能”深入探讨该技术。

1 农村生活污水的特性与治理难点

1.1 污水水质水量特征

农村生活污水主要来源于厨房、洗涤、沐浴和厕所等日常活动。其水质相较于城市污水更为简单，一般不含有毒有害物质，但有机物（COD、BOD₅）、氮（主要是氨氮）、磷以及悬浮物（SS）含量较高。值得注意的是，由于农村地区化粪池的普遍使用，污水中氨氮浓度通常较高，而总磷浓度则因是否使用含磷洗涤剂而异。此外，污水中可能含有一定量的病原微生物。在水量方面，农村生活污水排放具有显著的间歇性和不均匀性。一方面，日变化系数大，白天用水量少，早晚高峰时段集中；另一方面，受农业生产、节假日返乡等因素影响，季节性波动也非常明显。这种不稳定的进水负荷对处理设施的抗冲击能力提出了更高要求。

1.2 治理的主要难点

农村污水治理面临的首要难点在于空间上的高度分散，这直接导致了污水收集的极端困难。广袤的农村地域和低密度的人口分布，使得污水收集管网的投资成本极高，且施工难度大，尤其是在山地、丘陵等复杂地形区域。其次，大多数农村地区的财政收入和村民支付意愿有限，无法支撑高投资、高能耗、高运维成本的处理模式，因此技术方案必须兼顾经济可行性^[1]。再者，农村普遍缺乏专业的环保技术人员，复杂的自动化控制系统难以得到有效维护，一旦设备出现故障若不能及时修复，将导致整个系统瘫痪，这就要求处理工艺应尽可能简化，易于操作和维护。最后，农村作为农业生产的基础单元，对经过适当处理的污水作为灌溉水源或肥料的资源化利用需求十分迫切，这就要求处理技术不仅要满足达标排放，还要充分考虑出水的回用价值。

2 主流分散式处理技术及其原理

2.1 生态处理技术

模拟自然生态系统，利用土壤-植物-微生物协同作用降解污染物，具有投资低、能耗少、景观好、易维护等优点。（1）人工湿地（CWs）：通过填料表面生物膜、植物根系输氧与吸附及微生物代谢，去除有机物、氮、磷。分为水平潜流（保温好、脱氮一般）和垂直潜流（复氧强、脱氮除磷优）。（2）土地处理系统：依靠土壤过滤、吸附、化学沉淀和微生物降解。包括慢速渗滤（出水好，可回用）、快速渗滤（适用于沙土，负荷高）和地表漫流（适用于黏土，需适中坡度）。（3）稳定塘：利用藻菌共生系统，通过沉降、微生物降解和光合作用净化污水。类型有好氧塘、兼性塘、厌氧塘；结构简单、成

本低,但占地大、受气候影响显著。

2.2 生物处理技术

通过强化微生物代谢高效去除污染物,效率高、占地较小,但需能源投入和精细管理。(1)生物接触氧化法:填料上形成生物膜,曝气供氧,兼具活性污泥与生物膜法优点,抗冲击负荷强。(2)SBR及其变种:单池内按序完成进水、反应、沉淀、排水等工序,通过调控实现脱氮除磷,广泛用于一体化设备。(3)膜生物反应器(MBR):膜分离替代二沉池,实现HRT与SRT分离,污泥浓度高、出水水质优($SS \approx 0$),但存在膜污染、投资与能耗较高问题。(4)净化槽(日本Johkasou):标准化预制一体化设备,含沉淀、厌氧、好氧等单元,安装便捷、效果稳定,但成本和维护费用较高。

2.3 物理化学处理技术

多用于预处理或深度处理,针对特定污染物。(1)化粪池/沼气池:主要进行沉淀与厌氧消化,去除悬浮物和部分有机物,并产沼气;出水仍需后续处理。(2)过滤/吸附:如砂滤、活性炭,用于去除SS、色度或微量有机物。(3)消毒:采用紫外线或次氯酸钠杀灭病原体,适用于回用或高标准排放场景。

3 分散式处理技术的适用性分析

3.1 自然地理与气候条件

自然地理与气候条件是技术选型的先决因素。在地形地貌方面,平原地区适合采用重力流收集和土地处理系统,而山地、丘陵地区则应优先考虑无需长距离管网、可分户或联户的小型一体化设备。气候条件的影响同样关键,北方寒冷地区冬季低温会严重抑制微生物活性,导致处理效率大幅下降,因此应选择保温性能好、受温度影响小的技术,如地理式设备或覆土保温的垂直潜流人工湿地,甚至采取额外的保温增温措施;南方温暖湿润地区则可更广泛地应用各类生态和生物技术^[2]。此外,土地处理系统和人工湿地对土壤渗透性有特定要求,在地下水位高或土壤渗透性差的区域,应避免使用可能导致地下水污染或系统堵塞的技术。

3.2 社会经济因素

社会经济因素直接决定了技术的可接受度和可持续性。人口规模与聚集程度是重要的考量点,对于单户或几户的小型聚居点,分户式处理设施最为经济合理;而对于几十户到上百户的自然村,则可采用集中式的生态处理系统或小型一体化设备站。经济发展水平与村民的支付意愿紧密相关,经济发达地区的村庄可以承受投资和运维成本较高的技术,以追求更高的出水水质和更小的占地;而在欠发达地区,则应优先选择投资省、几乎

无需能耗、维护简单的生态技术。同时,就地取材可以显著降低成本,例如在石材丰富的地区用碎石作为人工湿地的填料,在竹木资源丰富的地区利用竹子制作布水管等,都能有效提升项目的经济性。

3.3 出水去向与排放标准

出水的最终去向和所执行的排放标准是技术选型的导向标。如果处理后的水计划用于农田灌溉、景观补水或冲洗等,对水质的要求会有所不同。例如,用于蔬菜灌溉对病原体和重金属的要求极为严格,而用于林地灌溉则标准相对宽松,此时MBR和经过深度处理的SBR出水更适合高标准回用。当排放水体为饮用水源保护区、珍稀水生生物栖息地等敏感区域时,执行的排放标准非常严格,此时必须选择脱氮除磷效率高的技术,如A²/O-MBR或强化SBR;若排入非敏感的普通水体或沟渠,执行地方宽限标准,则可选择成本更低的工艺,避免过度治理。

4 分散式处理技术的运行效能评估

4.1 污染物去除效率

污染物去除效率是衡量技术性能最核心的指标。不同技术对各类污染物的去除能力存在显著差异。对于COD和BOD₅,绝大多数生物和生态技术都能实现较高的去除率,其中MBR和SBR通常能达到95%以上。氨氮的去除依赖于硝化过程,需要充足的溶解氧和较长的泥龄,因此垂直潜流人工湿地、SBR、MBR等好氧工艺效果较好,而单纯的水平潜流湿地或稳定塘在低温下硝化效率很低^[3]。总氮的高效去除则需要系统在系统内创造厌氧/缺氧-好氧的交替环境,A²/O工艺、SBR以及部分强化设计的人工湿地能够实现较好的反硝化脱氮,单一的好氧或厌氧工艺很难有效去除总氮。总磷的去除主要通过化学沉淀和生物除磷实现,生态技术主要依靠基质的吸附作用,效果不稳定;而MBR和SBR若设计有化学除磷单元,则除磷效果更为可靠。

4.2 运行稳定性与抗冲击负荷能力

农村污水水量水质波动剧烈,因此系统的运行稳定性与抗冲击负荷能力至关重要。生态技术,如人工湿地和稳定塘,由于其巨大的缓冲容积和复杂的生态系统,通常具有较强的抗冲击负荷能力,运行相对稳定。相比之下,生物技术的表现则各有不同,SBR因其独特的序批式运行模式,抗冲击能力较强;而连续流的生物接触氧化或MBR,若遭遇进水负荷突变,可能导致污泥膨胀或膜污染加剧,稳定性相对较弱,需要更精细的调控和管理。

4.3 经济成本分析

全生命周期成本是决定项目可持续性的关键。生态技术的初始投资较低,主要花费在土方和填料上,运行

能耗几乎为零,维护成本低廉,总体全生命周期成本最低。生物技术的初始投资则普遍较高,尤其是MBR。其运行成本中,电费(用于曝气、搅拌、抽吸)是主要支出,MBR还需考虑定期的膜清洗和更换费用,而净化槽的设备折旧和填料更换也是持续的成本负担。因此,在经济欠发达地区,低运行成本的生态技术更具推广价值。

4.4 环境影响与资源化潜力

除了处理效果和经济成本,技术的环境影响与资源化潜力也是重要的评价维度。从碳足迹角度看,生态技术基本不消耗化石能源,碳足迹最小,而高能耗的MBR则碳足迹较大。在二次污染方面,需关注污泥、废弃填料或膜的处置问题,生态技术产生的剩余污泥量极少,且可就地干化后作为土壤改良剂,而生物技术产生的剩余污泥则需要更妥善的处理方案^[4]。更重要的是,生态处理技术本身就蕴含着巨大的资源化潜力,人工湿地和土地处理系统的植物可以收割利用,处理后的出水是优质的再生水,部分系统(如沼气池)还能回收能源,这完全契合了乡村绿色循环发展的理念。

5 存在的问题与对策建议

5.1 存在的主要问题

当前农村分散式污水处理存在几个突出问题。首先是技术选型的盲目性,部分地区存在“一刀切”现象,不顾自身条件,盲目追求“高大上”的技术,导致建成即闲置或运行效果不佳。其次是长效运维机制的缺失,“重建轻管”问题突出,缺乏稳定的资金保障和专业的运维队伍,导致许多设施在几年后便失效。再次是标准规范体系的不健全,针对分散式处理设施的设计、施工、验收、运维和排放等方面,缺乏统一、细化且可操作的地方标准和技术指南。最后是智慧化水平普遍偏低,多数设施处于“盲运”状态,无法实时监控运行状况,难以做到预防性维护和精准调控。

5.2 对策与建议

(1) 建立科学的“一村一策”技术选型导则:地方政府应组织专业力量,对辖区内村庄进行详细摸底调查,综合评估自然、社会、经济等各项因子,编制符合本地实际

的技术推荐目录和选型流程图,杜绝盲目决策。(2) 创新运维管理模式:探索建立“以效付费”的第三方专业化运维机制。通过政府购买服务,委托有资质的公司负责区域内所有设施的统一维护。同时,设立专项运维基金,确保资金来源稳定。对于简单的生态设施,可培训本地村民进行日常看护。(3) 完善政策与标准体系:加快制定和修订适用于分散式处理的地方性法规和技术标准,明确各方责任,规范全过程管理。特别是要制定差异化的排放标准,避免过度治理。(4) 推动智慧化与绿色低碳发展:鼓励在有条件的新建项目中集成物联网、大数据等技术,实现远程监控、故障预警和智能调控,降低运维难度和成本。同时,大力推广低能耗、资源化的生态处理技术,将农村污水治理融入乡村生态循环体系,助力实现“双碳”目标。

6 结语

农村生活污水分散式处理是破解我国农村水环境治理难题的必由之路。其成功实施的关键在于深刻理解并精准把握“适用性”与“运行效能”之间的辩证关系。未来,农村污水治理不应仅仅停留在污染物削减的层面,而应向构建资源循环、环境友好、经济可持续的乡村生态基础设施系统升级。通过科学规划、精准选型、智慧运维和制度创新,分散式处理技术必将在建设宜居宜业和美乡村的伟大进程中发挥不可替代的作用,为实现乡村全面振兴筑牢生态根基。

参考文献

- [1]王璐.农村生活污水分散式处理技术应用研究[J].江西农业,2025,(20):15-17.
- [2]陆海敏,李金城,韦春满,等.农村生活污水分散式处理模式与技术分析[J].农业与技术,2025,45(18):91-95.
- [3]李天杭,付文震,郭鑫.分散式污水处理技术在农村生活污水处理中的应用[J].中国资源综合利用,2025,43(07):278-280.
- [4]柴小军,刘悦文,赵一铭,等.农村分散式生活污水处理研究进展综述[J].皮革制作与环保科技,2025,6(01):132-134.