戴露, 王昕蕾, 赵健, 等. 农村生活污水处理现状及优化策略[J]. 净水技术, 2026, 45(10): 104-109,118.
Dai L, Wang X L, Zhao J, et al. Existing situation and optimization solutions of rural domestic wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2026, 45(10): 104-109,118.

农村生活污水处理现状及优化策略

戴　露,王昕蕾,赵　健*,李　丽,刘晓瑞
(成都市兴蓉环境股份有限公司,四川成都　610095)

摘　要 **【目的】** 为深入了解农村生活污水处理现状,提高农村地区生活污水处理设施的运行效率及管理水平。**【方法】** 本文通过现场问询、实地勘查和问卷资料收集等方式,系统研究了国内农村生活污水处理设施的运行现状和存在的问题,提出了针对性的改造策略。**【结果】** 研究发现,农村生活污水水质水量波动大、排放标准高,本文对208座农村生活污水处理设施展开深入调研,发现94.2%的设施建设于平原和丘陵,处理工艺以厌氧-缺氧-好氧工艺(AAO)、膜生物反应器(MBR)、移动床生物膜反应器(MBBR)和生态处理为主,占比分别为21.6%、22.1%、23.6%和11.5%,处理规模在100 m^3/d及以下的设施占比为52.9%,集中采用片区管理模式。农村生活污水处理普遍存在抗波动能力较弱、自动化程度较低、厂网管理分离等问题。本文针对这些问题提出了纳管、现状改造、集中规划建设大厂、资源化利用等改造方案,形成了自控仪表升级方案、区域统筹规划、标准化运营以及资金保障等策略。**【结论】** 通过以上举措,可有效提升农村生活污水处理设施的运行效率和管理水平,为全国农村地区污水处理改造和优化提供可借鉴的经验与思路。

关键词　农村生活污水; 污水处理设施; 处理工艺改造; 资源化利用; 智能化建设
中图分类号: TU992　　**文献标志码**: A　　**文章编号**: 1009-0177(2026)10-0104-07
DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.10.012

Existing Situation and Optimization Solutions of Rural Domestic Wastewater Treatment

Dai Lu, Wang Xinlei, Zhao Jian*, Li Li, Liu Xiaorui
(*Chengdu Xingrong Environment Co., Ltd., Chengdu*　610095, *China*)

Abstract [**Objective**] To gain an in-depth understanding of the current status of rural domestic wastewater treatment and enhance the operational efficiency and management level of wastewater treatment facilities in rural areas. [**Methods**] Through on-site inquiries, field surveys and questionnaire-based data collection, this paper systematically investigated the operational status and existing problems of rural domestic wastewater treatment facilities in China, and accordingly put forward targeted renovation strategies. [**Results**] The study reveals that rural wastewater exhibits significant fluctuations in both water quality and quantity, while facing stringent discharge standards. An in-depth investigation was carried out on 208 facilities, revealing that 94.2% of them were built in plains and hilly regions. The predominant treatment processes included anaerobic-anoxic-oxic (AAO), membrane bioreactor (MBR), moving bed biofilm reactor (MBBR), and ecological treatment method , accounting for 21.6%, 22.1%, 23.6%, and 11.5% of the facilities, respectively. Facilities with a treatment capacity of 100 m^3/d or below constituted 52.9% of the total, and a centralized regional management model was predominantly adopted. However, rural wastewater treatment facilities commonly face issues such as weak resistance to fluctuations, insufficient automation level, and the separation of plant and network management. In view of the above situation, transformation plans including wastewater network integration, renovation of existing facilities, centralized planning and construction of large-scale treatment plants, and resource utilization approaches were proposed. Additionally, strategies such as upgrading automation and instrumentation, regional coordinated planning, standardized operations, and securing financial guarantees were put forward in this paper. [**Conclusion**] Through these measures, it is expected to effectively improve the operational efficiency

[**收稿日期**] 2025-02-28
[**作者简介**] 戴露(1999—　),女,主要从事污水处理工作,E-mail:1967505362@qq.com。
[**通信作者**] 赵健(1989—　),男,高级工程师,主要从事水务环保技术等工作,E-mail:zhaojian529@163.com。

and management level of rural domestic wastewater treatment facilities, providing valuable experiences and ideas for the transformation and optimization of wastewater treatment in rural areas across the country.

Keywords rural domestic wastewater; wastewater treatment facility; treatment process reconstruction; resource utilization; intelligent construction

随着国家环保政策的不断强化以及对生态文明建设的高度重视,农村生活污水治理已然成为实现乡村振兴战略的关键举措。2022 年 1 月,生态环境部、农业农村部等联合印发《农业农村污染治理攻坚战行动方案(2021 年—2025 年)》,要求重点解决农村生活污水等问题,进一步整治农村环境[1]。2023 年 12 月,生态环境部、农业农村部联合印发《关于进一步推进农村生活污水治理的指导意见》,指出农村生活污水治理仍然存在治理机制不完善、治理重点不突出等问题。

根据住房和城乡建设部发布的《2023 年城乡建设统计年鉴》和《2023 年城市建设统计年鉴》,2023 年全国城市污水处理率为 98.7%,县城污水处理率为 97.7%,16 001 个建制镇对生活污水进行了处理,占比为 82.6%。此外,农村生活污水治理(管控)率达到 45%以上。可见,在政策支持下,城乡污水处理能力大大提高,但农村生活污水处理能力与城市污水处理能力相比仍存在较大差距。

近年来,农村地区人口规模不断扩大,乡村旅游业蓬勃发展,导致农村生活污水总量迅速增长。但由于农村地区经济发展水平不足,农村生活污水处理设施(以下简称农污设施)的建设和长效运营存在一定的压力。因此,因地制宜地选择污水处理技术,并综合考虑污水治理与资源化利用相结合,对改善当地农村人居环境质量、保障旅游资源的可持续发展具有十分重要的意义。

因此,为切实提升农污设施的管理水平及运行效率,筛选出具有代表性的 208 座农污设施,采用现场问询、实地勘查和问卷资料收集等方式对其建设和运行现状进行全面调查分析,为后续的优化改造提供科学依据。

1 农村生活污水特征

1.1 水质复杂性

农村生活污水是指农村居民在日常生活中所产生的污水,包括厕所污水[主要含有氮、磷、化学需氧量(COD)、细菌病毒等]、洗涤污水[主要含有氨氮、总磷(TP)等导致农村水体富营养化的污染物]和厨房污水(主要为有机物),同时伴有农业活动产生的氮、磷面源污染[2]。由于农村生活污水往往与水产养殖废水、畜禽养殖废水、家庭作坊废水等混合排放,进一步增加了农村生活污水处理的复杂性和难度[3]。

1.2 水质水量波动性

农污设施的水质水量波动主要体现在水多、水少和水脏、水清。水多、水少表现为:农村平时以留守人口为主,大部分年轻劳动力外出打工,春节期间人口大量回流;从全年来看,由于农污管网雨污分流较差,汛期容易出现水量激增。因此,水量高峰期为春节期间和汛期,日变化系数高达 3.5~5.0[4],其余时间则水量相对较少。水脏、水清表现为:春节期间由于人口剧增以及饮食习惯变化,污水水量和污水中 COD、氨氮浓度较高;雨季、汛期由于雨污合流,污水浓度较低[5]。调研期间对部分农污设施的进水进行采样化验,发现个别设施进水 COD 变化范围在 21~260 mg/L 之间;进水氨氮浓度范围也较大,在 0.7~72.0 mg/L 之间。

1.3 排放标准较高

2018 年 9 月,生态环境部、住房和城乡建设部发布《关于加快制定地方农村生活污水处理排放标准的通知》,规定各地可根据实际情况制定规模小于 500 m^3/d 的农污设施排放标准;污染物控制指标至少应包含 COD、pH、悬浮物(SS)、氨氮以及 TP、总氮(TN)等。以调研的 208 个厂站为例,农污设施规模多小于 500 m^3/d,占比达到 96.6%,出水主要执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标、一级 B 标和当地农污设施排放标准一级标准,如表 1 所示,部分调研设施执行的农污设施排放标准一级标准已接近《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 B 标准。

2 农村生活污水处理现状

2.1 农村生活污水处理设施技术工艺与处理规模

本文筛选具有代表性的 208 座农污设施开展调研,结果如图 1~图 5 所示。如图 1 所示,农污设施建设方式以地上厂为主,达到 172 座,占比为 82.7%,

表 1　农村生活污水处理设施水污染物排放标准

Tab. 1　Wastewater Discharge Standards for Rural Domestic Wastewater Treatment Facilities

标准	分级	污染物指标/(mg·L^{-1})					
		SS	BOD_5	COD	氨氮	TN	TP
调研区域农污设施排放标准	一级标准	20	—	60	8(15)	20	1.5
	二级标准	30	—	80	15	—	3
	三级标准	40	—	100	25	—	4
《城镇污水处理厂污染物排放标准》	一级 A 标	10	10	50	5(8)	15	0.5
(GB 18918—2002)	一级 B 标	20	20	60	8(15)	20	1

注:括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

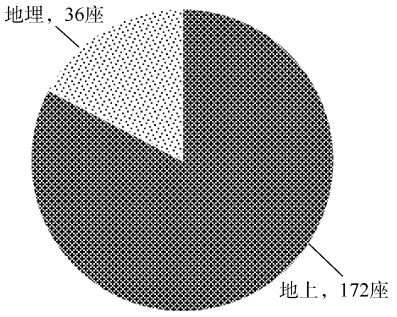


图 1　208 座农村污水处理设施的修建模式

Fig. 1　Construction Modes of 208 Rural Wastewater Treatment Facilities

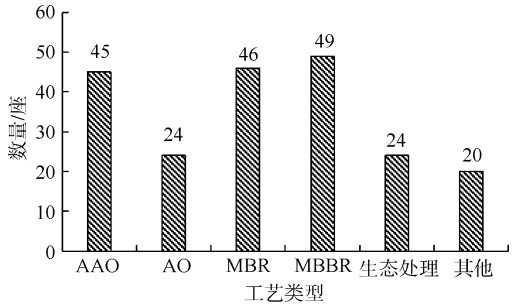


图 2　208 座农村污水处理设施的工艺类型

Fig. 2　Process Types of 208 Rural Wastewater Treatment Facilities

地埋式占比为 17.3%。如图 2 所示,处理工艺以厌氧-缺氧-好氧工艺(AAO)、膜生物反应器(MBR)、移动床生物膜反应器(MBBR)和生态处理(高负荷地下渗滤复合技术、快渗、人工湿地)等常见工艺为主,分别占比 21.6%、22.1%、23.6%和 11.5%,其他工艺类型主要包括序批式反应器、接触氧化、生物滤池等。如图 3 所示,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标、一级 B 标和地标农污一级标准的占比分别为 41.3%、25.5%和 32.2%,其余设施出水执行地标农污三级

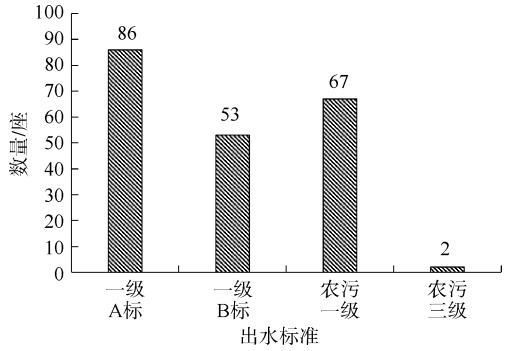


图 3　208 座农村污水处理设施执行的出水标准

Fig. 3　Effluent Standards of 208 Rural Wastewater Treatment Facilities

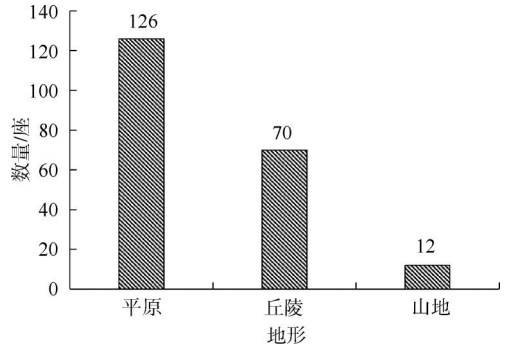


图 4　208 座农村污水处理设施所在地的地形

Fig. 4　Terrain Conditions of 208 Rural Wastewater Treatment Facilities

标准。由图 4 可知,农污设施大多建设于平原和丘陵地带,5.8%的农污设施建于山地。如图 5 所示,调研区域内农污设施点位多、规模小,208 座农污设施中,处理规模小于等于 100 m^3/d 的设施约占 52.9%。出水受纳水体主要为附近沟渠,少数就近排入河流,污泥处置基本采用转运车转运。

2.2　农村生活污水处理设施运维和运行管理

根据调研情况,农污设施运维单位主要有第三

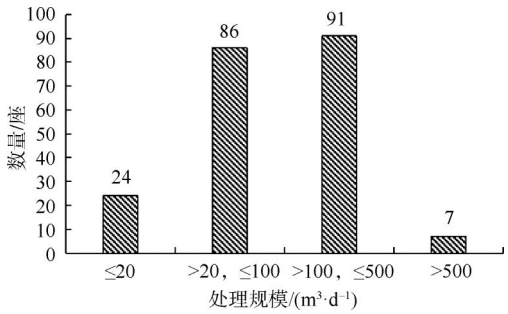


图 5　208 座农村污水处理设施的处理规模

Fig. 5　Treatment Capacities of 208 Rural Wastewater Treatment Facilities

方专业化公司或乡、镇政府及其政府平台公司,运营管理模式主要为片区管理、驻场管理及片区和驻场结合管理 3 种。

(1)片区管理模式:设置 1 个片区对数座相邻的污水处理设施进行同步管理。片区管理团队成员为 1~4 人,管理团队对片区内设施开展巡检工作,巡检内容包含运行记录填写、进水水质情况与设备运行情况查看、设备维护、药剂投加等。

(2)驻场管理模式:在设备设施现场安排 1 名人员,兼有现场看护和及时报送突发情况等职责。

(3)片区和驻场结合模式:驻场人员以设备看护和生产辅助的工作为主,及时向片区管理人员报告突发情况;片区可设置专业人员,对辖区内设备设施进行定期巡检,并及时处理突发情况。

上述 3 种运行管理模式中,以“片区管理+驻场管理”结合的模式管理效果最好,但管理成本也相对较高。调研的农污设施中,主要采用片区管理模式。

3　农村生活污水处理存在的主要问题

3.1　农污设施抗波动能力较弱

农村生活污水水质、水量波动大,年度内呈现显著的波动趋势,在汛期体现为水量大、污染物浓度相对较低;春节等假日人员回流期间体现为水质浓度高、水量大的冲击负荷特点,这要求农村污水的处理具备一定的水质水量抗波动能力。

此次调研的农污设施在运行负荷方面分化特征显著,处理规模方面,部分农污设施建成后由于人口流动等原因导致进水水量较少,设施长期低负荷运行,在面临水量陡增时难以有效去除污染物。另有约 11.0%的农污设施运行负荷率超过 120.0%,长期超负荷运行不仅加速了设备的老化和损坏,在水量冲击下更易引发出水水质超标、污水冒溢等问题。

同时,应进一步优化提升运维便捷性。部分农污设施的检查口开口较小,导致设施内部结构尺寸难以观察确认,维护较为困难,若设施内部通道存在堵塞的情况,则改用外部管道连接的方式过水,不利于该站点长期有效运行。

3.2　自动化程度较低

近年来,水务行业迎来数智变革窗口期,部分城市污水处理厂实现了数字化运营,通过在线监测技术可对污水处理设施、操作单元、污水水质状况进行非现场巡查和自动化预警,推动污水处理质效双升,但农污设施建设项目起步较晚,管理操作相对粗放。

在调研的 208 座农污设施中,存量设备设施自动化程度较低。可完全实现可编程逻辑控制器(PLC)人机界面操作控制的站点约为 29.9%,可完全实现 PLC 人机界面监控的站点约为 13.4%,通过时间继电器实现对 28.3% 的站点的基本控制,10.7%需完全人工操作,约 17.7%的站点需要人工辅助操作,约 62.9%的站点无法实现自动加药。采用 MBR 工艺的站点中,约有 34%需采用人工方式清洗 MBR 膜,MBR 系统运维难度较大。

3.3　厂网管理分离

国内城市污水处理普遍正在推行污水处理厂与排水管网联动的厂网一体化管理,确保污水从收集到处理的连贯性和高效性,并有效避免因管理分散而导致的效率低下等问题。厂网一体化管理对农污设施的运行效率提升同样具有显著作用,尤其是针对农村生活污水水质、水量波动大的特点,一体化管理能够更好地适应水质水量冲击,从而提高处理效率。

然而,本文调研的农污设施中实施厂网一体化管理的较少,且农村管网大多未实现雨污分流,污水处理设施遇雨季后进水量大,进水污染物浓度较低。经统计,133 座农污设施运维单位主要为第三方专业化公司,其余农污设施运维单位为政府平台公司与乡、镇政府等。如图 6 所示,设施管网产权主体为乡、镇政府的农污设施共计 178 座,为安置小区的有 15 座,其余设施管网主体为设施建设方、政府平台公司及县级政府等。管网管护主体以乡、镇或政府平台公司自营为主,少部分管网由第三方公司、小区物业或设施建设方负责运维,多方主体导致厂网整体运行效率不高。

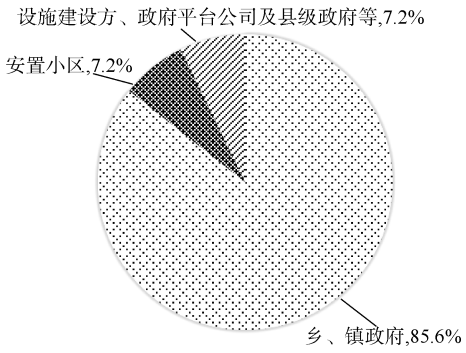


图 6　208 座农村生活污水处理设施管网产权主体

Fig. 6　Property Rights Subject of the Pipeline Networks of 208 Rural Domestic Wastewater Treatment Facilities

4　农村生活污水处理方式优化策略

4.1　农村生活污水处理方式改造

根据农村不同区位条件、污水产生规模、污水排放去向、村庄人口聚集程度、人居环境改善需求和环境敏感程度等,农村生活污水处理后的去向可划分为直排水体和资源化利用两大类别。

针对直排水体的农村生活污水,须执行更为严格的排放标准,确保处理后的污水在排入水体后,不会对水体的生态功能和环境质量造成负面影响。为实现这一目标,可对不符合要求的农污设施采取纳管、现状改造、集中规划建设大厂等改造方式,以保障污水处理设施的稳定运行和达标排放。

针对农村生活污水资源化利用的问题,在满足基本环境要求的前提下,应积极探索尾水利用的途径。例如,通过灌溉回用的方式实现尾水资源化利用。将经过适当处理的农村生活污水用于灌溉,不仅可以为作物生长提供必要的水分和养分,减少对传统灌溉水源的依赖,还能有效降低污水处理成本。用于资源化利用的农村生活污水可以采用相对简化的污水处理方式,如化粪池等技术,或者对传统处理工艺进行适当简化与优化,在保证处理效果满足灌溉水质标准的前提下,尽可能减少建设投资和运行费用。

4.1.1　直排水体的农村生活污水处理方式改造

通过评估现场管网铺设情况、实际运行效果、箱体锈蚀程度等评估情况,可将农村生活污水处理方式分为以下 3 类:纳管、现状改造、集中规划建设大厂。

(1)纳管。将农村生活污水进行收集,将其并入城镇污水管网,随后由城镇污水处理厂统一处理。建议纳管的污水处理设施在评估时应遵循以下原则:①靠近城镇或乡镇污水处理厂,且乡镇污水处理厂有富余处理能力;②靠近主干道;③有已建成的市政污水管网。

(2)现状改造。针对电耗药耗较高的污水处理设施进行现状改造,经过一段时间连续运行,观察实际来水情况、对工艺性能进行评估、检验设备与工艺运行的匹配度等,对不满足稳定运行条件的各薄弱环节进行适当改造。

(3)集中规划建设大厂。农村生活污水处理设施分布较广,分散管理耗费人力、物力、财力,因此有条件的农村地区建议集中规划建设大厂,即在现有站点中选取部分交通便利、占地面积大、地势低的站点进行改扩建,同时取消周边规模小、进水少的站点。小站点取消后可修建污水储存池,定期通过车辆运输等手段将储存池中的污水送至大站进行处理;或修建污水管道,通过重力流或泵提的方式将小站点的污水直接送至大站点进行处理。集中规划建设大站的方式一方面有利于集中化管理,减少运营管理成本;另一方面,不同站点的来水汇入一起,能够有效减少污水处理设施水量、水质的波动,有利于污水处理设施稳定运行。

农村生活污水排放分散、季节性和阶段性强,有别于城镇污水,与工业废水特点相近,水质不均匀且水量不稳定。为了使处理工艺正常工作,工业污水处理厂常设置调节池来使工业废水水量稳定、水质均匀。因此,对农村生活污水处理方式及设施进行现状改造或集中规划建设大厂时,可参考工业污水处理厂设置调蓄池。通过充分考虑农村污水设施在运营时周期性的水质、水量波动,适当增大调蓄池体积,增强前端处理环节对水质水量波动的缓冲能力,可有效削弱生化系统运行波动以及生化处理装置能效低下等问题,确保系统持续稳定运行。

4.1.2　资源化利用的农村生活污水处理方式改造

资源化利用是农村生活污水治理的重要路径之一,海南三亚、四川巴中和广元、云南文山等地在这方面均已取得显著成效。以四川省巴中市为例,该市以丘陵和山区地形为主,下辖 1 620 个行政村(含涉农社区)。巴中市借鉴“千村示范、万村整治”工程经验,重点推行就地就近利用的治理模式,采用“资源化利用优先,生化+生物处理相结合”的治理路径。目前,巴中市 69.0%的行政村生活污水得到有效治理,其中开展资源化利用的行政村占比超过

已完成治理的 80.0%。据初步测算,该模式每年可减少化肥使用量约 1 700 t,减少 COD 等污染物排放量约 1 500 t。

因此,资源化利用的农村生活污水处理方式改造可参考四川省巴中市的经验。针对散居农户,统筹考虑生活污水治理和“厕所革命”,采用“单户或联户三格化粪池+田间贮存池+资源化利用”模式,将处理后的尾水就近输送到农户的菜园、花园及果园。针对一般聚居区,则统一收集处理厕所黑水和厨房污水,推行“户用小三格式化粪池+厌氧滤池+贮存池+资源化利用管线”或“户用小三格式化粪池+集中大三格式化粪池+(人工湿地/多级厌氧发酵)+资源化利用管线”等工艺流程。根据出水水质及周边环境条件,科学选择花园、庭院、菜园、果园、旱地、水田、林地和产业园等消纳场地,通过管线实现自流还田,还林消纳。通过上述处理方式,出水不仅能达到无害化卫生标准和农田灌溉水质标准,还能保留一定的肥力。同时,处理过程无需用电和投加药剂,运维成本低,后期易于管护,更有利于保障设施的长效稳定运行。

4.2 自控仪表改造

在仪表配置方面,配备 PLC 系统的农污设施应同步配置现场操作用触摸屏,以实现设备操作及参数修改功能;工艺流程中的关键环节需配置溶解氧仪、流量计、液位计等仪表;次氯酸钠加药装置出口应安装压力表;跨膜压差监测环节应设置压力变送器;出水端加装水质在线监测仪器,用于实时监控出水氨氮、COD 等关键水质指标。

在控制系统方面,基于农污设施的管控需求以及当前市场主流技术发展趋势,采用信息技术与工厂自动化控制技术相融合的系统架构。在设施内部,运用成熟的工业控制技术,实现系统的高度自动化运行;在远程管控层面,借助信息技术与网络技术,实时采集设施生产数据,并下达远程控制指令,从而实现对各污水处理设施运行状态的远程监控。其中,自控系统采用当前行业内的主流控制策略,具备开放性计算机网络架构、主流的组态软件以及通用的 PLC 模块。远程监控系统能够支持调度中心远程查看设备运行状态、仪表数据、流量、电量等信息,并在设备故障时实现远程及时报警。系统主要涵盖农污设施的仪表与设备、数据采集与传输系统、视频实时监视系统以及上位机数据接收与控制管理平台。通过构建集中控制平台,强化智能化建设,可实现远程监控、异常报警及快速响应机制,有效降低人工管理成本,提升污水处理系统运行效率。

4.3 治理策略

4.3.1 统筹规划

建立区域统筹管理机制,强化监管力度。设置区域总体统筹协调机构,统筹规划区域内管网建设和改造、厕所革命、已建农村生活污水处理设施改造、雨污分流等工作,设立农村生活污水治理专项运营管理平台,实现收费标准、工艺改造、运营水平的高度统一,切实有效统筹农村生活污水处理工作,推动集约化、标准化管控。

4.3.2 推进标准化运营

建立健全“厂网一体”专业化运维机制,加强运维人员专业技能培训,在全面摸排区域农村生活污水处理设施的基础上,采用“代建+建成后委托运营”模式,由农村生活污水治理专项运营管理平台进行运营,逐步实现农村生活污水管理“一张网”。

4.3.3 资金保障

运营管理费用方面,建议逐步引导推广“使用者付费”模式。按照“谁受益、谁付费”的原则,通过合理的城镇、农村供排水规划和逐步完善的供排水价格核定机制,逐步实现供排联动,引导当地农村生活污水逐步实现“使用者付费”覆盖,确保设施可持续运行,切实减轻财政负担[6]。

5 结论

本文以 208 座农污设施为研究对象,通过现场问询、实地勘查和问卷资料收集等方法,系统剖析了当前设施的建设情况和运行现状,并提出了切实可行的优化策略,为全国农村生活污水治理提供了科学依据和有益的参考与借鉴。研究指出,尽管我国在农污设施建设方面已取得显著进展,但仍面临设施抗波动能力较弱、自动化程度较低、厂网管理分离等诸多挑战,在一定程度上制约了农村人居环境的持续改善。随着处理方式的改造和管理机制的不断完善,农污设施有望实现更高水平的自动化与智能化运行,从而有效降低农污设施运营成本,提升农村污水治理效能。与此同时,通过优化资金保障机制,将进一步推动农污设施的长效稳定运行,为农村生活污水治理的可持续发展提供坚实支撑。

(下转第 118 页)

[9] 熊青安, 张玉明, 李家州, 等. 基于分布活化能模型法的重油热解动力学对比研究[J]. 过程工程学报, 2023, 23(10): 1421-1434.
Xiong Q A, Zhang Y M, Li J Z, et al. Comparative study on pyrolysis kinetics of different heavy oil based on distributed activation energy model[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2023, 23(10): 1421-1434.

[10] 齐孝文. 污泥-浒苔共热解行为及热解残渣对水中 Cr(Ⅵ)吸附机制研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2022.
Qi X W. Study on the co-pyrolysis behavior of sludge and enteromorpha prolifera and the adsorption mechanism of Cr(Ⅵ) in water by pyrolysis residue[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2022.

[11] 徐期勇, 章佳文, 刘虎, 等. 市政污泥与木屑共热解特性及动力学分析[J]. 可再生能源, 2021, 39(9): 1150-1156.
Xu Q Y, Zhang J W, Liu H, et al. Characteristics and kinetics analysis on co-pyrolysis of municipal sewage sludge and sawdust [J]. Renewable Energy Resources, 2021, 39(9): 1150-1156.

[12] 郭晋荣, 贾里, 王彦霖, 等. 城市污泥热解特性及理化性能研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2021, 52(6): 2023-2031.
Guo J R, Jia L, Wang Y L, et al. Study on municipal sludge physical-chemical properties and pyrolysis characteristics [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2021, 52(6): 2023-2031.

[13] 肖懿, 王理明, 李东阳, 等. 市政污泥热解特性及含碳官能团演化过程分析[J]. 环境工程学报, 2023, 17(5): 1589-1598.
Xiao Y, Wang L M, Li D Y, et al. Pyrolysis characteristics of municipal sludge and transformation of carboncontaining functional groups during pyrolysis process[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(5): 1589-1598.

[14] 却家俊. 污泥与生物质协同热解气化的实验研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2020.
QUE J J. Study on synergetic pyrolysis and gasification of sludge and biomass[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2020.

[15] 王梦卓. 市政污泥与木质纤维素生物质共热解行为及热解焦结构演变规律研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2023.
Wang M Z. Research on co-pyrolysis behavior of sewage sludge and lignocellulose biomass and the structure evolution of pyrolysis char[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2023.

[16] 裴轩瑗, 任宏宇, 任南琪, 等. 污泥生物炭处理水环境新兴污染物研究进展[J]. 给水排水, 2021, 47(增刊 2): 545-552.
Pei X Y, Ren H Y, Ren N Q, et al. Review on the application of sludge derived biochar in the treatment of emerging contaminants in water environment[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(S2): 545-552.

[17] 严云, 何强, 沙建雄, 等. 污泥-杏壳基生物质炭的制备工艺优化及对亚甲基蓝吸附研究[J]. 化工新型材料, 2022, 50(11): 278-282.
Yan Y, He Q, Sha J X, et al. Optimization of the preparation process of sludge-apricot shell-based biomass carbon and its adsorption towards methylene blue[J]. New Chemical Materials, 2022, 50(11): 278-282.

(上接第 109 页)

参考文献

[1] 严晨. 基于 PLC 和物联网的分散式污水处理设备自动化控制系统研究[J]. 科技风, 2023(12): 7-9.
Yan C. Research on automatic control system of decentralized wastewater treatment equipment based on PLC and Internet of Things[J]. Technology Wind, 2023(12): 7-9.

[2] 陆贤文. 黎平县农村生活污水治理现状及成效分析[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(7): 108-110.
Lu X W. Present situation and effect analysis of rural domestic wastewater treatment in Liping County [J]. Heilongjiang Environmental Journal, 2024, 37(7): 108-110.

[3] 丁建军, 杨云波. 农村生活污水治理现状及技术应用比较研究[J]. 资源节约与环保, 2022(8): 141-144.
Ding J J, Yang Y B. A comparative study on the current status and technical applications of rural domestic wastewater treatment [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2022(8): 141-144.

[4] 柴喜林. 乡村振兴战略下农村生活污水治理模式优选之思考[J]. 中国环境管理, 2019, 11(1): 106-110.
Chai X L. Insights into optimization of rural domestic wastewater treatment technology under rural revitalization[J]. Environmental Conformity Assessment, 2019, 11(1): 106-110.

[5] 刘堰杨, 唐启亮. 成都市乡镇污水处理厂进水水质特征分析[J]. 净水技术, 2023, 42(10): 76-86.
Liu Y Y, Tang Q L. Characteristics of influent wastewater quality in township WWTPs in Chengdu City [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(10): 76-86.

[6] 孙嘉瑄. 受益者付费原则下的生态补偿制度研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2024.
Sun J X. Research on ecological compensation system under beneficiary pays principle [D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2024.