

污水处理与回用

李瑜. 农村生活污水资源化利用技术模式及工程示范[J]. 净水技术, 2024, 43(2):83-89, 96.

LI Y. Engineering demonstration and technological mode of resource utilization of rural domestic wastewater[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(2):83-89, 96.

农村生活污水资源化利用技术模式及工程示范

李瑜*

(上海市水利管理事务中心, 上海 200002)

摘要 文中通过对农村生活污水治理问题的分析,探讨了农村生活污水资源化利用的必要性与可行性,提出了资源化利用中应遵循因地制宜、以用促治、经济合理、生态安全的原则,归纳总结了农村生活污水资源化利用的灌溉利用、生态消纳和分散就地利用3种技术模式。通过工程应用示范的方式,分析了3种模式的适用范围:(1)灌溉利用适用于300 m范围内有农田、林地、草地;(2)生态消纳适用于附近有可利用的坑塘、湿地或有可新建条件;(3)分散就地利用适用于农户分散且房前屋后有“四小园”。同时,分析了3种利用模式的户均养护成本,分散就地利用更加经济合理。资源化利用3种模式的推广,将更加有利于农村生活污水治理降本增效。

关键词 农村生活污水处理 污水资源化利用 节能 降碳 资源化利用技术模式

中图分类号: X799.3 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)02-0083-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.02.010

Engineering Demonstration and Technological Mode of Resource Utiliation of Rural Domestic Wastewater

LI Yu*

(Shanghai Water Resources Management Center, Shanghai 200002, China)

Abstract This paper analyzed the rural domestic wastewater management problems, made a feasibility analysis and necessity of rural domestic wastewater resource utilization, put forward the basic principles of adapting measures to local conditions, promoting treatment with use, economic rationality, and ecological security that should be followed in rural domestic wastewater resource utilization. Three technical models of rural wastewater resource utilization were summarized, such as irrigation utilization, ecological consumption and decentralized on-site utilization. The application scope of the three rural domestic wastewater applicable to different conditions with actual case were compared and analyzed: (1) Irrigation utilization was suitable for farmland, woodland, and grassland within 300 m; (2) Ecological consumption was suitable for nearby ponds, wetlands, or new construction conditions; (3) Decentralized on-site utilization was suitable for farmers scattered and there were "four small gardens" in front of and behind the house. At the same time, the household average maintenance cost of the three utilization models was analyzed, the decentralized on-site utilization was more economical and reasonable. The promotion and use of these three resource utilization technical models will be more conducive to reducing the cost and increasing the efficiency of rural domestic wastewater treatment.

Keywords rural domestic wastewater treatment wastewater resource utilization energy saving carbon reduction technological mode for resource utilization

[收稿日期] 2023-07-19

[基金项目] 上海市科委专项基金:农村生活污水典型工艺效果评估与低碳关键技术示范(21DZ1209905)

[通信作者] 李瑜,女,硕士,主要从事农村生活污水设施建设和管理工作, E-mail: liyu228218@sina.com。

农村生活污水具有有机污染物含量高的特点,与城市工业污水不同的是几乎不涉及有毒有害物质的引入,因此,具有良好的资源化利用潜能^[1-2]。污水资源化利用是指污水经过无害化处理达到特定水质标准后,作为再生水以代替常规水源,用于工业生产、市政杂用、生态补水和农业灌溉等,对促进水资源集约节约、节能降碳、推动我国经济高质量发展具有重要意义。国家发改委等九部委在2021年1月颁发的《关于推进污水资源化利用的指导意见》中明确要求稳妥推进农业农村污水资源化利用,推广种养结合、以用促治方式,促进解决水资源短缺、水环境污染、水生态损害问题。上海在深入推进农村生活污水治理过程中,充分考虑农村地区地理自然条件、环境消纳能力等,把资源化利用作为重要的农污治理模式,力争到2030年,农村生活污水资源化利用得到长足发展,使农村生活污水以自然绿色生态的方式得到治理,助力实现国家“双碳”目标。

1 农村生活污水资源化利用背景

1.1 农村生活污水治理的主要问题

1.1.1 较高的出水标准要求导致建设运行成本较高

为保障农村小微水体的水环境,满足现行农村生活污水处理出水水质排放标准,多地采用较高等级的生化、生物多级处理工艺。截至2022年年底,上海共有就地处理设施4152座,其中以膜生物反应器(MBR)、厌氧-缺氧-好氧(AAO)以及接触氧化为主体工艺的站点共计2869座,占比约70%。这些工艺某种程度上为出水水质达标提供了保障,但建设成本较高,设施运行过程中电耗、药耗、配件消耗以及人工成本均较高,给地方财政带来不小的压力^[3]。

1.1.2 较高的运维要求导致出水水质不够稳定

相对市政污水厂,农村生活污水具有分布分散、水量波动大及水质差异大等特点^[4-5],对污水处理站的日常运行维护的技术要求较高。但农污设施运维市场还不完善,部分企业人员没有运维养护污水处理设施的专业知识背景,不具有实时调整处理设施相关技术参数的技能。运营管理能力不足易导致污水处理设施运行状态不稳定,进而影响出水水质。

1.1.3 主流处理工艺和国家生态低碳要求尚有差距

目前农村生活污水采用的处理工艺,主要以满足达标排放为终极目的,未能充分利用农村生活污水中的氮、磷资源,与国家相关部委要求的绿色低碳发展和资源化利用要求尚有差距。上海地区农村土地资源紧张、设施农业发达、农村生活污水资源化利用的需求迫切,但实施的技术路线和配套管理要求亟待完善。

1.2 上海市农村生活污水治理现状

上海市农村污水治理工作自开展至今共经历3个阶段。第一阶段(2007年—2010年)为试点摸索阶段,此阶段采用纳管和就地处理两种技术路线,以土壤渗滤等生态型就地处理工艺为主;第二阶段(2011年—2016年)为全面铺设阶段,工艺选择更为多元化,主要采用生物滤池、接触氧化、AAO、MBR、人工湿地和土壤渗滤六大类工艺,在此期间建成的设施以生物型处理工艺与组合型处理工艺为主;第三阶段(2017年至今)为高速发展阶段,MBR与一体化AAO等出水水质易稳定达标、占地面积少的生态型工艺占就地处理工艺的50%以上^[6]。

根据调查,截至2022年年底,上海市已完成84.32万农户的生活污水处理,处理率达94.7%,其中,约36.83万户以就地分散的方式进行处理。

目前,上海市农村生活污水率虽然总体较高,但各区的污水处理率仍具有一定差别,例如嘉定区和奉贤区的农村污水处理率仍然不足90%,较其他地区偏低,拥有广阔的发展提升空间。此外,上海市农村地区生活污水仍然以纳管集中处理的方式为主,分散式就地处理规模相对较小,而资源化利用只进行了试点探索。

1.3 农村生活污水资源化利用可行性分析

首先,我国提出了实现“碳达峰、碳中和”的时点目标,这是我国推进经济高质量发展,全面建成社会主义现代化强国的重大决策。在国家“双碳”目标背景下,农村生活污水资源化利用、就地消纳的理念不断加深,国家与地方推进并鼓励农村生活污水资源化利用的政策陆续推出。2019年7月,中央农办、农业农村部 and 生态环境部等9部门联合印发《推进农村生活污水治理的指导意见》,其中强调农村生活污水治理的基本思路为“因地制宜、尊重习惯,应治尽治、利用为先,就地就近、生态循环,梯次

推进、建管并重,发动农户、效果长远”,以污水减量化、分类就地处理、循环利用为导向。2022年6月,生态环境部等发布《减污降碳协同增效实施方案》,针对农村生活污水提出“以资源化、生态化和可持续化为导向,因地制宜推进农村生活污水集中或分散式治理及就近回用”的方略。因此,实现农村生活污水资源化是促进“双碳”目标顺利实现、推动我国经济绿色协调发展的重要措施和必然要求。

其次,农村生活污水本身具有氮、磷含量高及有机质含量高的特点,如果将其直接排放至水体中,则会有引起水体富营养化,产生黑臭水体的风险,而若以适当的方式进行处理便可变为良好的田间灌溉水资源,其富含的氮、磷元素可成为作物生长的营养源。农村地区拥有丰富的土地资源,具备强大的氮、磷接纳能力,并且农村生活污水水量小、排放分散,具备良好的可生化性。同时,有别于市政污水的是,农村生活污水中的重金属等有毒有害物质含量极少,所以在安全性上考虑,农村生活污水也具有巨大的资源化利用潜能。若将治理目的由达标排放改为生态利用,既可大大缓解农村污水处理设施出水氮、磷难以稳定达标的问题,促进其长效运行,又可节约污水处理设施建设成本、运行成本,还可节约水资源和各类添加肥料等额外成本,同时还可减少由各类污水调理剂带来的环境次生污染。

最后,虽然农村生活污水治理率不断提高,但在处理模式确定、工艺技术选择等方面存在不匹配、不够生态绿色以及不太符合农村实际需求的现象,再加上运维养护专业性不强、资金量偏少,与实际运维成效之间还有差距。目前,据统计上海有46个行政村、4万余农户未实施农村生活污水治理,有1600余座老旧低标设施需要更新改造,应优先采用还林、还田灌溉或尾水排入周边湿地等资源化利用方式开展治理工作。对于正常运行的设施,可开展资源化利用可行性调查,综合评估设施使用年限、运行能耗、维养成本和资源化利用改造投入的经济效益和环境效益,为农污治理提供决策依据。综上,上海仍具有很大的资源化利用潜能。

2 农村生活污水资源化利用基本原则

根据农村生活污水的水质特征、用水需求以及农村农业环境质量的要求,选择最佳的资源化利用方式,应遵循以下基本原则。

2.1 因地制宜原则

根据当地水资源禀赋、水环境承载力、发展需求和经济技术水平、农民生产生活习惯、污水资源化利用条件等因素分区分类开展污水资源化利用,实施差别化措施,合理确定农村生活污水资源化利用方案、污水处理工艺流程、建设与运行模式。

2.2 以用促治原则

对已有的农村生活污水处理设施进行更新改造,尽量有效利用农村生活污水中的潜在物能资源,通过原料回收、无害化处理后,可实现低功能使用或生物营养利用及水资源回补等资源化利用途径,也可几种利用模式进行组合。

2.3 经济合理原则

考虑到农村地区的经济条件有限,在农村生活污水资源化利用的过程中应遵守经济效益最优化,不应产生负效益,选择建设成本低、运行稳定、低碳节能和维护简单的技术措施,鼓励结合老旧低标设施提标增效改造工作开展,实现污水生态循环利用,保证其经济合理性和可持续性。

2.4 生态安全原则

污水治理和资源化利用需要始终把握以人为本的思想,一切工作都需要以改善人民生活质量为出发点和落脚点,对农村生活污水的任何资源化利用方式都必须满足区域生态环境目标的要求,不得出现水体、土壤和农产品等遭受污染及危害人体健康等现象。

3 农村生活污水资源化利用技术模式研究

全国已有多地开展了农村生活污水资源化利用试点建设,根据农村不同的地理自然条件、环境消纳能力(包含水环境容量、土地消纳能力),经过无害化处理,总结分析了多种资源化利用方式。根据分析,适合上海地区的3种主要处理模式包括:灌溉利用、生态消纳和分散就地利用。根据各个试点的应用情况,3种利用模式具有不同的适用条件、技术要点,但污水资源化利用流程均涵盖了预处理和输送两个环节。

3.1 利用技术模式

3.1.1 灌溉利用模式

农户生活污水经收集系统收集至处理设施后,经无害化处理达到《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021),通过灌溉系统输送至周边一定范围内

的农田、林地、草地、花圃等进行灌溉。通过植物生长吸收尾水中氮、磷等成分,不仅促进植物的生长,还有效降低了污水处理设施的处理能耗。当存在每日产生的尾水无法完全消纳时,可将多余的水接入达标处理站,达到排放标准后排入自然水体。

灌溉利用技术模式完整的流程如图 1 所示。该类模式下预计实现 20%~100% 的污水资源化利用率,并降低农村生活污水治理能耗物耗 10%~50%。

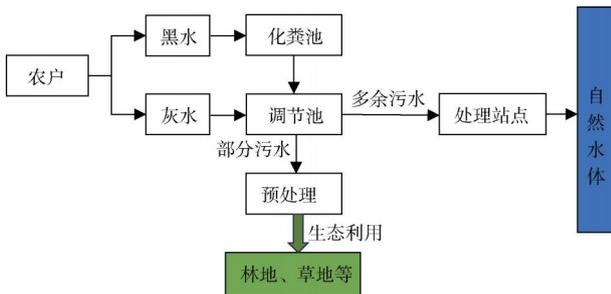


图 1 灌溉利用模式流程

Fig. 1 Flow of Irrigation Utilization Mode

综合考虑农污资源化利用的经济合理原则,其收集运输成本不宜过高。经分析计算,目标灌溉区域与污水设施的距离应保持在 300 m 以内,距离过长则会导致能耗过高。根据计算,以 $6 \text{ mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 为林地常规灌溉量, $3 \text{ mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 为草地、苗圃常规灌溉量。有自然降雨时,当日灌溉水量应视降雨量减半 [$>6 \text{ mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$] 至停止 [$>10 \text{ mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; 冬季蒸腾作用较低,灌溉量应调整至 $1/4 \sim 1/2$ 。当用于农田灌溉时,要充分考虑灌溉季节性,需建设一定的蓄水空间或接入周边站点,避免非灌溉期对农田造成污染。

3.1.2 生态消纳模式

生态消纳技术模式主要是指充分利用已建或拟建处理站周边坑塘、湿地,经过生态化提升改造,利用坑塘、湿地水环境中的微生物、水生植物、水生动物的共同作用,实现污染物的消解和去除,进而达到深度处理的目的。根据处理站的排水量,以及坑塘的池容、季节、水体大小、水质状况等边界条件,可适当布置浮岛、人工水草、纳米曝气等无动力或微动力辅助强化处理设施。经生态消纳处理的污水进入外部河道等自然水体时,要达到相应排放标准。生态消纳技术模式的应用优势在于能够充分利用污水处理站点周边的生态资源,充分发挥农村地区的生态优势和土地优势,是立足于农村生活污水资源化利

用和消纳实际情况的低碳利用方式。

生态消纳技术要充分勘查和调研周边的土地环境、政策约束、乡风民俗、土地性质、季节影响和地质水文等情况,要因制宜、一站一策,根据水环境容量的计算结果,适当调整处理站出水的水质控制范围,最大限度提升节能、减排、降碳的效果。生态消纳技术模式流程如图 2 所示。

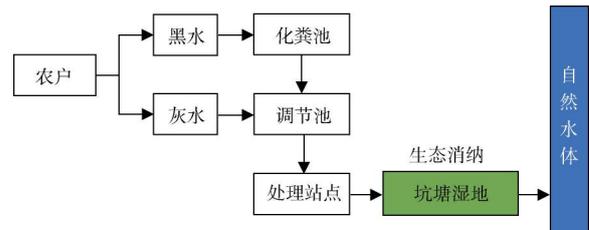


图 2 生态消纳技术模式流程

Fig. 2 Flow of Ecological Disposal Technology Mode

根据实际情况可将生态消纳技术模式分为以下两类。

第一类,当站点周边用地不足、可利用土地资源较少时,需要建造占地面积小的适度强化人工湿地来满足生态消纳技术的要求。针对农村污水站点可采用“复合型人工湿地+生态强化”技术。传统人工湿地主要分为表流式人工湿地、垂直流人工湿地和水平潜流人工湿地 3 种,而复合型人工湿地则是将以上多种工艺的有机组合^[7]。例如垂直流人工湿地表面栽种改良型挺水植物,表面漫流人工湿地搭配挂膜型生态浮岛,通过生物载体和微动力增氧,实现微生物的去除能力强化,再结合水生植物的共同作用,实现生物与植物的有机结合。

第二类,当站点附近存在面积合适的可利用坑塘、湿地等用地时,可按照标准生态净化坑塘的消纳能力设置。根据计算, 1 m^3 排水需配置 30 m^2 ,其有效水深为 0.5 m ,水力停留时间为 15 d 。以处理站处理量为 $20 \text{ m}^3/\text{d}$ 为例,需要坑塘水面面积为 600 m^2 。自然化的生态坑塘采用水生动植物来自然降解去除污染物,建设成本和运行成本低廉,但是常存在占地面积大、站点周边寻找有难度的问题。

坑塘或湿地在消纳污水站出水的同时,不仅进一步改善水质,还有效降低污水处理站的处理负荷与运行能耗,延长原站点的使用寿命。但为保证生态消纳系统的长期稳定与良好的污水净化效果,其入水(即处理站点出水)需达到《上海市农村生活污

水处理工程出水水质暂行规定》二级标准,出水需达到《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》

一级 A 标准(DB 31/T 1163—2019),主要的水质指标限值如表 1 所示。

表 1 生态消纳系统进水、出水水质指标限值

Tab. 1 Water Quality Indices Limits for Influent and Effluent of Ecological Disposal System

指标	消纳系统进水(处理站出水)	消纳系统出水
	《上海市农村生活污水处理工程出水水质暂行规定》二级	《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》一级 A
pH 值	—	6~9
COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	100	50
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	30	—
悬浮颗粒物/(mg·L ⁻¹)	—	10
氨氮/(mg·L ⁻¹)	25	8
总氮/(mg·L ⁻¹)	—	15
总磷/(mg·L ⁻¹)	3	1
阴离子表面活性剂/(mg·L ⁻¹)	—	0.5
动植物油/(mg·L ⁻¹)	—	1

3.1.3 分散就地利用模式

当农户居住分散、距离就地处理站或市政管网较远,可以利用农户周边的“四小园”——菜园、果园、花园与公园进行回收利用。收集农户化粪池中的上清液,通过聚氯乙烯(PVC)穿孔管或陶土管自流至渗滤沟,经布水系统,分配到园地的每条渗滤沟中;再通过砾石层的重新分布,污水中的营养成分被土壤中的微生物及根系吸收利用(图 3)。据计算,毛细管渗滤沟系统收集处理 3~10 户的农户生活污水,日处理污水量为 1 m³ 以内,日处理负荷为 0.03~0.04 m³/m²,处理装置的吨水建设成本小于 2 000 元。该处理系统装置置于地下,没有改变地表土壤原有功能,适用于居住分散的单户或多户,具有运行维护成本较低的特点。

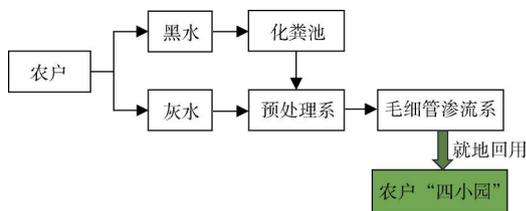


图 3 就地回用技术模式流程

Fig. 3 Flow of the On-Site Reuse Mode

分散就地利用模式工艺简单、生态环保且建设运行成本低,适合处理农村生活污水户数少、水量小、分布分散且不具备集中收集处理条件的农户。

该模式要充分结合当地农户的实际情况选择,待水质达到相应标准之后进行灌溉利用。

3.2 资源化利用流程分析

3.2.1 预处理环节

3 种资源化利用模式无法直接利用直排的污水,对于灌溉利用和分散就地利用模式,一般情况下黑水先进入化粪池,与灰水在调节池进行混合。表 2 对调节池的水质进行分析,并与《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)进行对比分析,生活污水中的悬浮物、BOD₅ 和 COD_{Cr} 以及粪大肠菌群数存在超标风险,因此,需要先对其进行稳定及无害化处理,再用于灌溉。其中,污水中的固体悬浮物可通过格栅拦截、沉淀池和沉渣池的物理沉降等方式进行有效去除,而粪大肠菌群可通过紫外灯照射的方式进行灭杀。

对于生态消纳利用模式,农村生活污水进入就地处理站点进行处理后,再排入坑塘或湿地。污水处理过程,相当于完成了污水的预处理工作。

3.2.2 输送环节

对于灌溉利用模式,宜采用管道灌溉、滴灌、微灌等灌溉方式,不宜漫灌、喷灌等方式,严禁直排。根据天气、季节等情况调整灌溉用水量,避免林地、草地出现积水、板结等现象,多余尾水应经处理达标后排放。对于分散就地利用,除了对化粪池和排水管道进行改造,也要对“四小园”进行适度改造,增

表 2 《农田灌溉水质标准》限值与农污处理站调节池水质均值对比
Tab. 2 Comparison between Limit Value of Standard for Irrigation Water Quality and Mean Value of Water Quality in Regulating Tank of Rural Wastewater Treatment Station

项目类别	限值	处理站调节池水质指标均值	负荷情况
pH 值	5.5~8.5	8.2	不易超标
水温/℃	≤35	25	不易超标
悬浮物/(mg·L ⁻¹)	≤100	125	较易超标
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	≤100	66	可能超标
COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	≤200	140	可能超标
阴离子表面活性剂/(mg·L ⁻¹)	≤8	3.97	不易超标
类大肠杆菌群数/(MPN·L ⁻¹)	≤40 000	21 000	可能超标

设毛细管渗滤系统以及渗滤坑等,提高土地渗水性以及净化能力。生态消纳模式必须建立站点至外部水体的排放通道,当末端消纳水体水环境质量变差、出水不能达标排放时,站点出水须处理至达标水质,不得经末端消纳水体排放。

3.3 示范案例

3.3.1 灌溉利用示范案例

金山区亭林镇农村生活污水提标增效过程中,结合各污水处理设施的实际情况,选择附近有林地、具备较好资源化利用条件的 3 座农村生活污水处理站进行试点,基本情况如表 3 所示。

表 3 亭林镇改造设施基本信息

Tab. 3 Basic Informations on Renovation Facilities in Tinglin Town

设施名称	处理工艺	处理能力/(m ³ ·d ⁻¹)	周边林地面积/亩
亭西村 1#处理站	组合式分层	10	5.5
金门村 1#处理站		30	2.6
金门村 4#处理站	生物滤池	30	5.0

注:1 亩≈666.67 m²。

该站点的主要资源化利用措施为:生活污水在经沉渣池、沉淀池,粗、细过滤格栅及紫外灯消毒系统处理后,在各项水质指标符合《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)后,由加压设备输送至附近的林地内,通过微灌设施进行灌溉,污水资源化利用率约为 55%。

该站点污水未完全利用,原有设施均为组合式生物滤池工艺,一定时间内污水处理量不足,也会导致滤料表面的生物菌群死亡,后续效果会偏差。因此,合理调整运行方式,污水需要定期经过生物滤池处理,以保证生物菌群活性。

3.3.2 生态消纳示范案例

金山区水库村 1、2 号 MBR 处理站作为生态消纳技术模式的示范案例。以上两座站点位于金山区漕泾镇水库村,建设于 2017 年,总处理能力为 300 m³/d。两座处理站出水汇集后进入深度净化池,深度净化池采用强化耦合生物膜(EHBR)和铁碳微电解填料对总氮、氨氮、COD_{Cr} 进行提标净化,深度净化池出水进入表流湿地(约 2 000 m²),通过构造水底地形,结合多品种挺水、沉水植物的搭配种植和水生动物的投放,构建生态位丰富的生态系统。土壤和植物根系上附着的微生物对水中的污染物有良好的吸附、降解作用。在去除水体污染物的同时,使排放水更接近于自然水体。相对于潜流湿地而言,表流湿地不存在填料堵塞需要更换等维护问题,同时还有利于营造良好的亲水景观。经深度净化池和人工湿地深度处理后出水水质由站点排放的一级 A 提升至Ⅲ类或Ⅳ类水,部分指标可以稳定达到Ⅲ类标准,资源化利用率为 100%。

两站点生态消纳利用,不仅对出水进行了深化处理,还有效补充了周边环境水量。生活污水经处理后,出水可达到现行地标,并未减轻前端处理的能耗和费用,生态效益远大于经济效益。对于两个站点可进行运行模式调整,并开展长期观测,在保证不影响自然水体水质的前提下,探索消纳与处理、适度处理和高标准处理以及生物处理和生态处理等协同处理方式。

3.3.3 分散就地利用示范案例

江苏苏南、浙江湖州、福建漳州等地,对于特别分散的农户,采用就地回用处理模式(图 4)。厕所粪污经三格式化粪池处理后,与厨房污水、洗涤污水等其他生活污水进行混合,然后进入人工湿地或生物净化

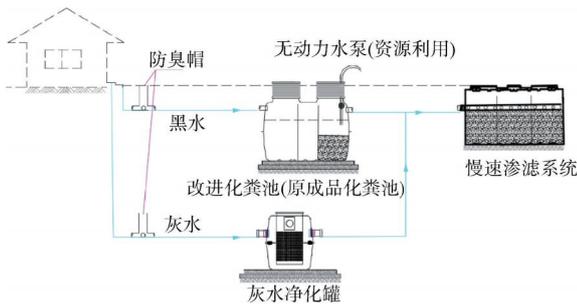


图4 毛细管渗滤沟土壤净化系统

Fig. 4 Purification System of Capillary Infiltration Trench Soil Purification System. The system uses a non-motorized pump for resource utilization, and the treated water is finally discharged or used for irrigation after passing through the device.

将人工湿地建在低洼处,化粪池出水,管道溢流入毛细管渗滤沟。村民根据自身需求,在渗滤沟上面种植小花园、小果园或者小菜园,系统无电力损耗,基本不需要养护,尾水资源化利用率几乎达到 100%。

该案例将化粪池污水和厨房污水、洗涤污水进行混合,如进行灌溉利用,要合理调整灌溉水量和频次,尽力降低对土壤、地下水和农作物的影响。建议后期利用时,有条件的地区可开展黑、灰分离处理,黑水用于灌溉、灰水用于庭院绿化或清扫等。

综上,对 3 种资源化利用模式的 6 个参数进行比较,如表 4 所示。

表 4 农村生活污水资源化利用模式

Tab. 4 Technological Mode of Resource Utilization of Rural Wastewater

项目类别	灌溉利用	生态消纳	分散利用
污水类型	尾水(初步处理)	尾水	黑水+灰水
适用条件	300 m 范围内有农田、林地、草地	附近有可利用的坑塘、湿地,或有可新建条件	农户分散,且房前屋后有“四小园”
利用群体	农户	集中利用	农户
建设内容	增加灌溉系统;预处理设施	新建或改造坑塘湿地	维修化粪池;新建灌溉系统
运维费用	0.04 万元/户	0.036 万元/户	0.02 万元/户
资源化利用率	50%左右	100%	100%

在实际应用中,应根据处理站点周边条件,采用多种资源化技术模式优化组合的方式确定该站点的污水治理资源化利用具体方案。在最大化利用污水氮、磷资源的同时,最大程度降低污水治理过程中的能耗和物耗,实现低碳节能治理的目标。

3.4 上海地区应用前景分析

目前,上海农村生活污水处理率约为 95%,位居全国前列。国家生态环境部 2023 年 11 月审议通过《关于进一步推进农村生活污水治理的指导意见》,提出了农村生活污水治理要遵循“应管尽管、应治尽治、应用尽用”的原则。上海农村生活污水资源化利用主要有以下 3 个方向。

针对尚未完成治理的农户,一般为规划不保留或居住分散农户,建议结合房前屋后的自留地或小菜园、小果园或小花园,采用分散就地利用方式。

针对纳入提标增效计划的区域,原有站点处理标准偏低,氮、磷等指标未达到现行的出水水质地方标准,处理规模不大,如周边有农田和林地等,可对原有设施设备进行适度改造,然后因地制宜优先选择灌溉利用方式,以达到地方标准的要求。

针对目前正常运行且符合地方出水水质标准的

设施,要对其开展全面评估,对位于非环境敏感区且周边的自然、区位条件符合资源化利用条件的,在后续更新改造时,可根据三类资源化利用模式的适用范围,科学选择治理模式,促使农村生活污水治理更加低碳绿色生态,达到降本增效的目的。

4 结论

(1)农村生活污水资源化利用是通过低成本的处理方式对生活污水进行有效处理的同时,将其转化为可供农业利用的宝贵资源,在一定程度上减少了农业中水资源及氮、磷的投入成本,体现了低碳背景下水污染治理中“节能减排”和“以用促治”的思想,可带来巨大的生态环境、经济和社会效益。

(2)农村生活污水资源化利用要从可行性出发,结合农村情况、排水特点、利用需求以及建设管理成本等,考虑采用污水分散利用还是尾水集中利用,并合理选择还田、还林灌溉利用还是生态消纳等。

(3)农村生活污水水质监测结果显示,出水水质不达标的指标多为总氮、总磷和氨氮等,不能长期达标的工艺多为生物滤池为主的工艺,还有早期建

(下转第 96 页)

- three-stage integrated anoxic/oxic biological aerated filter process through optimizing influent flow distribution ratio[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019 (231): 1277 – 1282. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.11.014.
- [18] LIU X W, XU J L, HUANG J L, et al. Bacteria-supported iron scraps for the removal of nitrate from low carbon-to-nitrogen ratio wastewater [J]. *Royal Society of Chemistry*, 2019, 9 (6): 3285–3293.
- [19] AQEEL H, LISS S N. Autotrophic fixed-film systems treating high strength ammonia wastewater[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2020(11): 551925. DOI: 10.3389/fmicb.2020.551925.
- [20] LIU X H, LIU R Y, YANG Q, et al. Achieving and control of partial denitrification in anoxic-oxic process of real municipal wastewater treatment plant [J]. *Bioresource Technology*, 2021 (341): 125765. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125765.

(上接第 89 页)

设的 MBR 工艺。提标增效中可结合前端不能稳定达到现行地标的设施,结合周边环境特点,均可考虑资源化利用模式。

(4)上海农村生活污水资源化利用开展了试点,积累了一定经验,但市级层面缺乏统一的指导,需要抓紧编制农村生活污水资源化利用指导意见,形成部门合力,会同生态环境、农业农村、绿化市容等部门协同推进。同时,要抓紧研究相关导则和标准,具体指导资源化利用的规划设计、建设施工以及设施管护等工作。

(5)要建立资源化利用后评估机制,重点评估村庄及周边环境质量、资源化利用设施维护、村民满意度等内容。区级主管部门每年开展一次资源化利用成效评估并报市级主管部门,市级主管部门对评估结果进行抽查复核,并将复核结果纳入各区年度河长制考核,确保资源化利用取得实效。

参考文献

- [1] 黎辉. 小型污水处理设施在农村水环境治理中的应用[J]. *智能城市*, 2021, 7(7): 117–118.
LI H. Application of small sewage treatment facilities in rural water environment treatment [J]. *Intelligent City*, 2021, 7(7): 117–118.
- [2] 杨明. 探析农村生活污水的来源及防治策略[J]. *清洗世界*, 2023, 39(3): 158–160.
YANG M. Exploring the sources and prevention strategies of rural domestic sewage [J]. *Cleaning World*, 2023, 39 (3): 158–160.
- [3] 李怀正, 金伟, 张文灿, 等. 我国农村生活污水综合治理研究[J]. *中国工程科学*, 2022, 24(5): 154–160.
LI H Z, JIN W, ZHANG W C, et al. Comprehensive treatment of rural domestic sewage in China[J]. *Strategic Study of CAE*, 2022, 24(5): 154–160.
- [4] 李无双, 王洪阳, 潘淑君. 农村分散式生活污水现状与处理技术进展[J]. *天津农业科学*, 2008, 14(6): 75–77.
LI W S, WANG H Y, PAN S J. Present status on decentralized domestic sewage in rural areas of China and its treatment technology [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2008, 14 (6): 75–77.
- [5] 苏鸿洋. 中国村镇分散生活污水处理技术现状[J]. *给水排水*, 2015, 51(s1): 197–201.
SU H Y. Current status of decentralized domestic sewage treatment technology in villages and towns in China [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2015, 51(s1): 197–201.
- [6] 胡昕晔, 翁晏呈, 黄彰奕. 上海农村生活污水治理现状与发展的思考[J]. *水利建设与管理*, 2021, 41(1): 73–76.
HU X Y, WENG Y C, HUANG Z Y. Consideration on present situation and development of sewage treatment in rural areas of Shanghai [J]. *Water Conservancy Construction and Management*, 2021, 41 (1): 73–76.
- [7] 李娟红, 管福征, 陈长秋, 等. 复合型人工湿地对污水厂尾水处理效能及微生物群落研究[J]. *水处理技术*, 2022, 48(10): 104–109.
LI J H, GUAN F Z, CHEN C Q, et al. Evaluation of the performance and microbial communities by a hybrid constructed wetland system for treating wastewater treatment plant tail-water [J]. *Technology of Water Treatment*, 2022, 48 (10): 104–109.