

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.24.017

拔风微冲洗-现代田园循环技术治理农村生活污水

徐若晗^{1,2}, 黄旻³, 钱婷婷^{1,2}, 范彬^{1,2}

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 赣州市上犹生态环境局, 江西 赣州 341200)

摘要: 上犹县地处赣南山区,采用常规污水处理方式治理分散型农村生活污水的投资需25 000元/户,运行成本为400元/(户·a)。拔风微冲洗-现代田园循环是一种应用拔风微冲洗厕所对粪尿进行资源化收集、无害化处理与再生肥利用的卫生排水技术。源分离后的生活杂排水经处理后达标排放或回用。拔风微冲洗厕所用水量 ≤ 1.5 L/次,收集的粪污浓度大、体积小。应用分户式的拔风微冲洗-现代田园循环技术在上犹县7个村庄点实施了总户籍363户的农村污水资源化治理工程,实际安装223套户。安装工程包括在农户内实施室内厕所改装(平均每户1.2台)、必要的化粪池更新安装(约33%农户)、户内排水改造、生活杂排水达标处理、表面恢复工程以及为每个村庄点提供1台2 m³吸粪车。结果表明,案例工程满足现代化生活卫生排水要求、粪污无害化处理要求、废水达标排放要求,并且适应可持续发展趋势。居民对实施效果总体满意。决算的投资成本,按实际安装户数计算为10 003.65元/户,按照完成整村治理任务要求计算为6 145.49元/户。系统运维工作量小、专业化要求低、抗人口波动和气温变化能力强,日常以农户自行打理为主。所有再生肥通过农户自用和邻里协作的方式全部得到利用。该案例是第一次在亚热带南方山区应用拔风微冲洗-现代田园循环技术治理农村生活污水。

关键词: 农村生活污水治理; 拔风微冲洗厕所; 现代田园循环

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)24-0118-07

Suctioned Mini-flush Modern Resource-Recycle Sanitation for Rural Domestic Sewage Management: A Case Study

XU Ruo-han^{1,2}, HUANG Min³, QIAN Ting-ting^{1,2}, FAN Bin^{1,2}

(1. Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Ganzhou Shangyou Ecological Environment Bureau, Ganzhou 341200, China)

Abstract: Located in the mountainous region of southern Jiangxi, Shangyou County requires an investment of 25 000 yuan per household for the conventional treatment of decentralized rural domestic wastewater, with an annual operational cost of 400 yuan per household. The suctioned mini-flush modern resource-recycle is a sanitation technology that employs suctioned mini-flush toilets for the resourceful collection, harmless treatment of human wastes and reuse of fecal fertilizer. The source separated

基金项目: 江西省重点研发计划“揭榜挂帅”项目(20223BBF61019): 江西省农村“厕所革命”新技术产品研发与应用推广项目

通信作者: 钱婷婷 E-mail: ttqian@rcees.ac.cn

miscellaneous wastewater is treated to meet standards for discharge or reuse. The water consumption of the suctioned mini-flush toilets is ≤ 1.5 L per use, resulting in concentrated fecaluria with a small volume. In Shangyou County, an on-site design of the suctioned mini-flush modern resource-recycle sanitation was implemented in seven villages, covering a total of 363 households, with 223 households actually installed. The installation project included indoor toilet renovations (an average of 1.2 per household), necessary septic tank updates (approximately 33% of households), household drainage renovation, treatment of mixed domestic wastewater to meet standards, surface restoration, and the provision of one 2 m^3 fecal suction truck for each village. The results indicate that the project meets modern sanitation requirements, harmless treatment standards for fecal waste, and wastewater discharge standards, while aligning with sustainability. The residents are generally satisfied with the implementation outcomes. The final investment cost is calculated as 10 003.65 yuan per household based on the actual number of installations, and 6 145.49 yuan per household based on the requirement of completing the village-wide treatment task. The system requires minimal maintenance, low professionalization, and is resilient to population fluctuations and temperature changes, with daily management primarily carried out by the households. All the recycled fertilizers are utilized through self-use by the households and neighborhood cooperation. This case study represents the first application of the suctioned mini-flush modern resource-recycle sanitation in the subtropical southern mountainous region for rural domestic sewage management.

Key words: rural domestic sewage management; suctioned mini-flush toilet; modern resource-recycle sanitation

上犹县位于赣南山区,属于亚热带季风气候,原为国家级贫困县,共有131个行政村,农村常住人口20.5万人。自2015年起,赣州市上犹生态环境局在中央环保专项资金等支持下,按照常规生活污水处理的范式组织实施农村生活污水治理,总投资接近2亿元,既有接入附近城镇污水处理厂的纳管处理模式,也建成了一大批规模为 $20\sim 100\text{ m}^3/\text{d}$ 的小型集中处理设施,后者采用生态处理技术(人工湿地、氧化塘)或一体化设备。虽然该县农村生活污水治理在赣州市属于先进水平,但有关部门对治理绩效并不满意。主要原因是当前的建设投入过高,尤其是针对不适宜纳管和集中处理的村庄。最新安装的分户式污水处理设备的户均投资达2.5万元,测算的运行成本约400元/(户·a)。虽然该县建立了由县财政补贴农村生活污水处理设施运行经费的制度,但由于资金保障能力有限、小微污水处理设施建设质量难以保证且运维技术要求高等,已建成的污水处理设施长效运行难度大。基于这一背景,赣州市上犹生态环境局与中国科学院生态环境研究中心合作,实施了应用拔风微冲洗-现代田园循环技术治理农村生活污水的试点工程。首

个试点为水岩乡横岭村,共实施92户,工程于2023年4月开始施工,于同年7月结束。由于试点效果较好,上犹生态环境局进一步将试点规模扩大至4个乡镇的7个村庄点,共完成总户籍为363户的整村治理,实际按需安装223户。全部安装工程于2023年11月底之前结束。

1 工程概况与实施方案

1.1 现代田园循环原理

现代田园循环不同于常规生活污水处理的技术范式,其核心思想是参考中国传统的田园循环文化与实践,将粪尿视为肥料资源进行收集、再生与利用。在技术实施层面,最根本的变化体现在对粪尿与生活杂排水的源头分离及其后续的独立处理。此举相当于重新构建卫生排水的范式,从源头彻底消除生活污水这种排水形态,并通过粪尿资源化从根本上解决生活污水所造成的技术与经济难题。

众所周知,生活污水的污染性主要表现在两方面的风险:一是健康风险,以粪大肠杆菌超标为代表,其超标完全源于粪尿。二是水体富营养化风险,以COD、氨氮(总氮)、总磷超标为代表,而粪尿对此贡献了接近50%的COD和超过90%的氮磷。

由于生活杂排水不包含粪尿,因此不再需要无害化处理,加之其所含的COD和氮磷等污染物浓度较低,便于进行达标排放处理或资源化利用。

现代田园循环与传统田园循环的区别在于:生活端要满足现代人对生活卫生的要求,生产端要满足现代农业生产的要求^[1-2]。其中,在源头实现水冲管道排污最具技术挑战。

1.2 拔风微冲洗厕所及粪便无害化处理与利用

常规冲洗厕所完全依靠水的自重驱动便器清洁和卫生废物的管道排放,因此要求的冲洗水量较大。我国现行的便器节水标准^[3]:坐便器用水量 ≤ 5 L/次,蹲便器用水量 ≤ 6 L/次。按照这样的冲洗用水量,即使通过源分离所获得的黑水产量也过大,导致利用常规的家型化粪池处理无法满足《粪便无害化卫生要求》(GB 7959—2012)。另外,由于肥效低,清掏、运输的成本高,农民不愿意将这样的污水用于施肥。近年来,采用“常规水冲厕所+三级化粪池”的形式改造的农村厕所,在没有条件开展污水处理时,出水基本上直接排放,对环境造成污染^[4]。虽然一些农民会在干旱季节从这种化粪池中取水用于灌溉,但其水质难以达到《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)。

拔风微冲洗厕所系统(见图1)由拔风微冲洗便器、排污管、储粪池组成。一座储粪池可以连接多台拔风微冲洗便器。每个拔风微冲洗便器包含一台便器和一个拔风器,其中便器以及附带的冲水机构和控制器安装在室内,拔风器安装在室外的排污管上。连接便器和储粪池的排污管按照重力排水的要求布置,其水平段最长可以超过30 m,充分满足在室内安装便器的要求。与真空厕所不同,拔风微冲洗厕所对排污管没有严格的密封要求。储粪池通常采用具有无害化处理功能的三级化粪池或双瓮化粪池。安装在排污管上的拔风器在其出水端设置重力式的单向风阀。控制器控制拔风器的启动与便器冲水同步并在每次运行约0.5 s后自行停止。

拔风微冲洗厕所的工作原理:开启便器冲水,拔风器同步启动,在排污管内产生瞬时抽吸力,此时拔风器出水端的单向风阀闭合,所产生的抽吸力主要作用于便器排污口,对冲洗水和废物产生瞬时抽吸力,实现用微量冲洗水完成便器清洁和排污;一旦粪污进入排污管,拔风器立即停止运行,此时

末端的单向阀可以自由向外打开,因此废水和废物可以在高达10 m/s的初速度作用下沿着有一定水力坡度(通常 $>1\%$)的排污管自流至储粪池,从而完成管道排污。

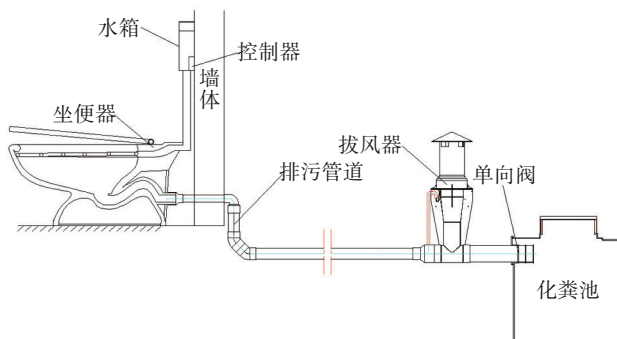


图1 拔风微冲洗厕所系统

Fig.1 Schematic of the suctioned mini-flush toilet system

拔风微冲洗厕所的用水量 ≤ 1.5 L/次。如采用 2 m^3 规格的三级化粪池,前两级池的有效容积为1 000 L,取成年人每次排便的体积为0.3 L,则按照最低水力停留时间30 d计,拔风微冲洗厕所系统可以容纳556次/月的厕所使用频率,满足一般家庭的用厕需求。

在农村地区,储粪池一般为每户独立设置,且通常具备无害化处理与储肥的功能。在这种情况下,户内储粪池即为粪便处理的终端,其再生液肥的储存时间通常为30 d,农户可随时取用。

农田是再生肥的利用终端。再生肥优先供户内使用,通常用于家庭菜园施肥。在不考虑节约用肥的情况下,每户配置 20 m^2 的菜园足以消纳自家产肥。没有用肥需求的家庭可以将肥料赠送邻居使用,或由村庄组织集中吸粪和用肥服务。批量收集的粪肥可以出售给有需求的农场、茶园、果园等。

拔风微冲洗厕所高度节水的特点及其对粪污进行资源化利用的方式,决定了这种卫生技术并不需要依赖市政排水管网和污水处理系统,因此特别适合在分散居住的场景如农村应用。由于肥料浓度高、经济价值大,在一定的辐射范围内,通过车载或管道运输的方式对再生肥进行异地集中利用也具有经济上的吸引力。如果进一步考虑到污水处理的成本及其可持续发展的价值,未来或许可以将拔风微冲洗-现代田园循环模式进一步应用到城镇地区。

1.3 工艺设计

该案例全部采用分户式的拔风微冲洗-现代田园循环工艺,即粪污处理和杂排水处理全部在户内完成,工艺流程如图2所示。该工艺设计可以最大限度地减少管网和对公共设施的需求。在上犹地区,多数农村居住比较分散,且房前屋后往往都有菜地。

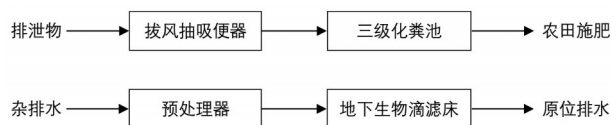


图2 单户式拔风微冲洗-现代田园循环系统工艺流程

Fig.2 Process of the on-site system of the suctioned mini-flush modern resource-recycle sanitation

单户设置的粪污收集处理系统由拔风微冲洗厕所和常温厌氧生化的三级化粪池组成。按照《粪便无害化卫生要求》(GB 7959—2012),三级化粪池前两级水力停留时间 ≥ 30 d。设计三级化粪池第三级储肥周期为30 d,其中的液肥优先供户内使用,同时根据业主要求,为每个村庄点配备1台 2 m^3 吸粪车,可为无户内用肥需求的农户提供吸粪和集中利用的服务。三级化粪池的第一级清掏周期一般为3年,由卫生或改厕部门统一组织清掏并进行无害化处理。

该案例设计生活杂排水经处理后达标排放。对照江西省《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB36/1102—2019),处理规模 $\leq 5\text{ m}^3/\text{d}$ 的农村污水处理设施执行三级标准:SS $\leq 50\text{ mg/L}$,COD $\leq 120\text{ mg/L}$,氨氮 ≤ 25 (冬季30) mg/L 。上犹县属于亚热带地区,多数农户可以使用免费的山泉水作为管道供水,农村生活用水量较大。该案例选用定制型的户用地下生物滴滤床设备处理杂排水,额定处理水量 600 L/d ,设计进水COD $\leq 250\text{ mg/L}$ 、氨氮 $\leq 25\text{ mg/L}$ 。该定制型的设备包含两级处理:第一级为预处理段,主要功能是沉淀、隔油、除渣、水解;第二级为生物滴滤床,其中填充生物滤料。第一级出水通过布水器均匀布置在填料层的上方,通过填料层的过滤作用和生物膜的好氧生物降解作用进一步对杂排水进行净化。填料层顶部覆盖的砾石露出地面,通过自然复氧为填料层供氧。生物滴滤床全部设备埋设在地面以下,自流进水,出水原位下渗排水,处理过程无需外来动力。在填料层的底部设有取样

器,用于对出水水质进行采样检测。地下生物滴滤床设计寿命为15年,内部填料无维护需求。

1.4 安装工程

该案例的安装工程遵循农户满意原则。由于每个农户的情况各不相同,在施工图设计阶段仅进行原则性设计,后续根据实际情况按户需进行修改。在工程实施之前,当地已完成农村改厕。农户通常在室内安装1~2套常规水冲便器,在室外安装1座三级化粪池,便器出水排入三级化粪池。其他主要生活用水设施包括洗浴、洗衣机和洗菜盆等,一般为多点直排,很少排入化粪池,这有利于实施户内源分离排水改造。工程预算为每户配置2套拔风微冲洗便器和1套杂排水处理系统,若原化粪池不能使用则按当地改厕要求重新安装化粪池。户内安装工程包括室内便器改装、生活杂排水收集、地下生物滴滤床安装、化粪池更新安装和地面恢复等。施工人员需在入户安装时按照设计要求与农户协商具体安装细节,在安装结束后重新绘制竣工图并标定实际工程量。

该案例在施工前后及过程中都十分注重对村民进行宣讲,力争让农户理解、支持和配合污水治理工程。每个自然村通常会在村委会协调下先完成1户样板工程,通过样板户的示范作用提高村民对新工艺和新技术的认知。同时,遵循“整村治理的农户不低于户籍总数的60%”原则,灵活掌控实际安装数量,变“要求农户安装”为“农户主动要求安装”,降低入户施工的难度;长期无人居住的空置房经户主同意后可以不安装,户主联系不上或施工改造成本过高的农户可以不安装,这有利于节约资金和降低工程组织难度。由于该项技术可以每户独立实施,对于未安装的农户如未来有需求可以随时安排实施。每户的主体安装工程基本做到当天入户、当天完工,把对居民生活的影响降到最低。

该案例共在7个村庄点实施了安装工程,户籍总数363户,实际安装223户,基本上做到农户有要求即安装,覆盖率61.43%,符合覆盖率 $\geq 60\%$ 的整村治理要求。未实施安装工程的农户多数为常年无人居住户,并且户主明确表达不安装或联系不上,少数为农户拒绝安装或不适宜安装。实际改装拔风微冲洗便器270套,户均1.2套。图3展示了典型的户内安装的拔风微冲洗-现代田园循环系统。



图3 单户式拔风微冲洗-现代田园循环系统

Fig.3 Household facilities of the on-site suctioned mini-flush modern resource-recycle system for a single family

1.5 系统运维

拔风微冲洗-现代田园循环系统主要运维需求如下:

① 拔风微冲洗厕所。拔风微冲洗厕所为系统内的唯一用电设施,户均电耗约 $3\text{ kW}\cdot\text{h/a}$,由居民自行负担。便器维护的技术要求和工作量大致与常规冲洗便器相当,在获得零配件供应的情况下,本地水电工即可完成故障设备的维修。

② 三级化粪池。日常运维的主要任务是及时取用三级化粪池第三级储存的再生液肥。当户内无用肥需求时,户主须及时通知村组提供吸粪服务。化粪池第一级的清渣周期通常为3~5年,一般由卫生部门或改厕部门统一安排。

③ 杂排水系统。日常维护工作主要是针对地下生物滴滤床的预处理单元进行清渣,设计清渣频率为每季度1次。地下生物滴滤床的生物填料层设计寿命为15年,当发生堵塞时,将填料取出,经淘洗后重新装填,即可恢复生物过滤性能。

综上所述,整个拔风微冲洗-现代田园循环系统的维护工作量并不高,并且除了拔风微冲洗便器涉及用电与控制技术外,其他设施设备的日常使用和维护不需要特别的专业技术支持。由于该案例内的主要设施设备为每户独立设置,因此工程完工后的运行维护采取“农户自行打理+村庄指导与服务”的方式。村庄可安排保洁员巡回检查,指导督促农户定期清理并保持设施整洁。在农户有需求的情况下,村庄可提供无偿的化粪池清掏服务,并将清掏的粪肥销售给有需求的茶园、果园等,用于

补贴清掏服务的费用。

2 工程实施效果分析

2.1 治理效果

开展农村生活污水治理的目的主要在于4个方面:①改善居民生活卫生及排水条件,尤其是面向乡村振兴的要求;②对包含粪尿的排水进行无害化处理,防止疾病传染;③对生活排水进行净化处理,满足环境排放或再生利用的水质要求;④适应可持续发展的趋势,重点是削减上述全部过程对水、能源和物资的消耗,进一步降低污染负荷,削减二氧化碳排放,促进资源再生利用。因此,应对照上述4个方面的需求评价农村生活污水治理的效果。

目前该案例已全部完成工程的竣工验收。最早完成安装的系统运行已超过1年,所有设施的运行时间均超过6个月。迄今为止,包括户内厕所在内的所有设施均运行良好。

2024年3月,赣州市上犹生态环境局联合中国科学院生态环境研究中心组织对村民进行回访,共回收有效样本54份,其中87.0%的用户自行使用粪肥,94.0%的用户对厕所使用情况满意,98.0%的用户对系统运维的简易性表示满意,96.3%的用户表示愿意再次参加拔风微冲洗-现代田园循环系统的建设。调查还表明,自己无用肥需求的农户都把再生肥送给邻居使用,因此到目前为止还没有出现村民要求提供集中吸粪服务的现象。

2024年1月15日上犹生态环境局对该项目内的杂排水处理设施的出水进行抽样检测,抽样数量 $n=40$ 。检测结果:COD平均为 9 mg/L ($4\sim 27\text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均为 0.88 mg/L ($0.25\sim 15.00\text{ mg/L}$),SS平均为 11 mg/L ($6\sim 24\text{ mg/L}$)。抽样检测的各项水质指标远低于江西省《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB36/1102—2019)的一级要求,而该项目的设计要求规定只需要满足三级标准。

根据上述实际运行、回访调查和监管的结果可以得出以下结论:

① 拔风微冲洗-现代田园循环技术在卫生排水方面满足现代化生活要求。在该案例实施前,上犹县农村地区已经普及常规水冲厕所。应用拔风微冲洗-现代田园循环技术需要先拆除原有的常规水冲厕所,再安装拔风微冲洗厕所。这一过程会对居民生活产生一定影响,同时可能干扰用户操作和

审美的习惯。但调查结果显示,仍有94.4%的居民对厕所使用情况表示满意。这充分证明:拔风微冲洗-现代田园循环技术是一项符合现代生活卫生排水要求的技术。其中,在最关键也是对日常生活影响最为敏感的排污性能和使用者的体验两个方面,拔风微冲洗厕所能够达到常规水冲厕所的水平。

② 拔风微冲洗-现代田园循环技术实现了对粪污的无害化处理。该案例严格按照《粪便无害化卫生要求》(GB 7959—2012)进行选型设计用于粪污处理的三级化粪池,新装三级化粪池的工程全部通过当地改厕部门的监管,表明符合粪污无害化卫生要求。在实施之前,当地已安装的三级化粪池用于处理常规水冲厕所的废水。更换拔风微冲洗厕所之后,粪污在三级化粪池前两级的停留时间提升至少3倍,因此该案例显著提高了粪污无害化处理的水平。

③ 拔风微冲洗-现代田园循环技术满足达标排放的环境保护要求。

④ 拔风微冲洗-现代田园循环技术适应可持续发展趋势。该案例所应用的现代田园循环技术完全颠覆了常规末端处理-达标排放的卫生排水范式,与常规技术相比,具有显著的节水、节能、降耗、减碳、控污和增肥的可持续发展优势。根据测算,应用拔风微冲洗-现代田园循环技术可节水 $7.5\text{ m}^3/(\text{人}\cdot\text{a})$,增加标准化肥 $6\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{a})$,减少二氧化碳排放 $160\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{a})$ 。实际检测结果表明,该案例经过处理后的杂排水水质明显优于常规污水处理的出水水质,并且通过有机肥替代化肥也有益于降低面源污染,因此拔风微冲洗-现代田园循环技术可为削减农村污染负荷作出贡献。

2.2 经济性分析

① 投资成本。如按实际安装户数计算,该案例决算的建设成本为10 003.65元/户,与该县已实施的分户式农村污水处理工程相比降低60%。如按照完成整村治理的总户籍计算,则决算的治理成本为6 145.49元/户。通常情况下,应用集中污水处理的方式治理农村生活污水,并不会因为住宅空置情况而显著降低成本。这表明拔风微冲洗-现代田园循环模式由于不依赖于管网收集,在实际工程中可以因户制宜,灵活安排,有利于降低投资需求。

上述的建设成本包括对农户已安装的常规水冲便器进行拆除并安装拔风微冲洗便器。如果扣

除这一部分成本,则拔风微冲洗-现代田园循环模式相对于常规污水处理模式的成本优势更加显著。

② 运行成本。到目前为止,该案例工程尚未产生可见的公共运行成本。一方面是因为工程及主要设备尚在保质期内,安装方提供了所有的维修服务;另一方面是因为主要的清扫和维护工作均由农户自行实施。拔风微冲洗便器的电费由农户承担,所需花费也仅约2元/户·a。迄今为止未发现农户对便器用电提出异议。实际上,在上犹地区使用拔风微冲洗-现代田园循环系统所带来的节水和增肥的经济效益大约相当于100元/户·a,即使不考虑农户使用有机肥所获得的改善食物健康的效益,其经济价值也足以抵消系统运维的费用。

考虑到农村生活污水治理工程的公益性,并且该技术所应用的拔风微冲洗便器尚不属于市场上的常见产品,为保障长效运行,该案例建议安排30元/户·a的运行费用预算,用于支持村组为村民提供包括公共清扫、指导督促和简单维修在内的公共服务,并纳入上犹县已经制定的农村生活污水处理设施运行费用补助的范围。

2.3 稳定运行分析

拔风微冲洗-现代田园循环系统在抵御人口波动和寒冷天气影响方面显著优于常规污水处理,尤其是小微型设施。当前农村普遍存在常住人口空心化和潮汐化的现象。在上犹县超过1/3的农村住宅无常住人口,有常住人口的农户平均不足2人,但存在节假日人口集中返乡的现象。人口急剧变化导致的水质水量波动对常规污水处理系统,尤其是小型和微型污水处理系统而言影响很大,无论是选型设计还是达标运行方面都面临技术上的难题。而从拔风微冲洗-现代田园循环系统的工作原理就可以看出,这一系统的运行受农村常住人口波动的影响明显较小。单户型的拔风微冲洗-现代田园循环系统按4人/户的定额设计粪污处理系统和杂排水处理系统,这一人口定额比较接近户籍人口,相当于家庭人口的上限。在平日,家庭人口数量较少甚至无人,实际上有利于改善粪污无害化处理的效果和杂排水处理的效果。在该案例中,地下生物滴滤床出水水质大幅优于设计水质的主要原因就在于此。对于分户设置的地下生物滴滤床而言,平时基本上处于低负荷运行的状态,而生物填料层以及接受排水的地层都对水中的污染物质有过滤截留

作用,相当于对短时间增加的污染负荷有缓存作用,因此其对冲击性的负荷增大也会有比较好的抵御能力。对于三级化粪池而言,只要满足前两池粪污停留时间不少于30 d的要求,短时间人口的波动并不会影响其运行效果。

粪污的处理才是农村生活污水治理的主要矛盾,而由于三级化粪池通常埋设于冻土层以下,因此对农村生活污水处理影响显著的低温因素并不会对拔风微冲洗-现代田园循环系统产生显著影响。

3 结语

基于上犹县所开展的试点工程,可以得出以下结论。

① 拔风微冲洗-现代田园循环技术以粪污资源化利用为核心,全面实现了农村生活污水治理的4个目标:满足现代化生活卫生排水要求;符合粪污无害化卫生要求;满足环境达标排放的污染控制要求;适应可持续发展趋势。

② 与常规污水处理模式相比,运用拔风微冲洗-现代田园循环技术使建设成本降低约60%,并且几乎不需要运维管理的费用。

③ 拔风微冲洗-现代田园循环系统运行的稳定性好,受人口波动和气温变化影响小,日常运维简易、无专业化要求。单户设置的拔风微冲洗-现代田园循环系统的日常运维可主要由农户实施。

作为试点工程,该项目对杂排水采取了比较稳健的二级处理措施。未来有必要研究进一步简化对生活杂排水的处理要求,降低投资需求,例如在非敏感地区可以探索将经过户内一级处理的生活杂排水与雨水合并进行生态排水,或进行农田灌溉利用。

基于拔风微冲洗-现代田园循环模式在该案例中所显示的技术、经济和环境优势,建议进一步扩大示范应用的规模,加强对运行效果的监测,总结工程经验,优化工程设计,提升产品质量和装备化水平。由于该技术不同于常规污水处理模式,建议

研究制定配套的政策、措施,统筹农村改厕和排水治理,鼓励再生资源利用并保障安全用肥。

参考文献:

- [1] 范彬. 农村生活污水资源化治理利用的思考及误区分析[J]. 中国给水排水, 2023, 40(16): 1-7.
FAN Bin. Thinking and misunderstanding analysis of rural domestic sewage resource treatment and utilization [J]. China Water & Wastewater, 2023, 40(16): 1-7 (in Chinese).
- [2] 范彬, 张玉, 李亚惠, 等. 乡村环境卫生资源化综合治理的理论与实践[J]. 环境保护, 2021, 49(1): 24-30.
FAN Bin, ZHANG Yu, LI Yahui, *et al.* Theory and practices of the integrative resources-oriented rural environmental sanitation [J]. Environmental Protection, 2021, 49(1): 24-30 (in Chinese).
- [3] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 卫生陶瓷: GB/T 6952—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Standardization Administration. Sanitary Wares: GB/T 6952-2015 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016 (in Chinese).
- [4] 张玉, 吕明环, 徐明杰, 等. 三格化粪池厕所的功能定位及在农村改厕中的应用误区[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(2): 215-222.
ZHANG Yu, LÜ Minghuan, XU Mingjie, *et al.* Functional orientation of the three-chamber septic tank toilet and errors in its application in rural toilet reform [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021, 38(2): 215-222 (in Chinese).

作者简介: 徐若晗(2001—), 女, 湖北恩施人, 硕士研究生, 主要研究方向为乡村环境卫生与分散污水处理。

E-mail: 1992904304@qq.com

收稿日期: 2024-07-22

修回日期: 2024-08-08

(编辑: 衣春敏)