

农村生活污水分散式处理模式与应用效果分析

刘艳艳

南阳市生态环境局镇平分局 河南 南阳 474250

摘要: 随着我国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。由于农村地区人口分布分散、地形地貌复杂、基础设施薄弱,集中式污水处理系统难以适用,分散式处理模式因其灵活性强、投资成本低、运维简便等优势,逐渐成为农村生活污水治理的主要技术路径。本文系统梳理了当前主流的农村生活污水分散式处理技术,包括人工湿地、稳定塘、生物滤池、一体化设备及生态厕所等;结合典型地区案例,从处理效果、经济性、适应性、可持续性等方面对各类模式的应用效果进行综合分析;同时指出现阶段存在的问题,并提出优化建议,以期为我国农村生活污水治理提供理论支撑与实践参考。

关键词: 农村生活污水;分散式处理;人工湿地;一体化设备;应用效果

引言

改革开放以来,我国农村经济社会快速发展,农民生活水平显著提高,但随之而来的生活污水排放问题日益突出。大量未经处理的污水直接排入河流、湖泊或渗入地下,严重污染水体、土壤及地下水,威胁农村居民健康和生态系统安全。与城市相比,农村地区具有居住分散、污水排放量小且波动大、管网建设难度高、运维管理能力弱等特点,使得传统城市集中式污水处理模式在农村“水土不服”。在此背景下,分散式污水处理模式因其因地制宜、模块化设计、低能耗、易维护等优点,成为解决农村污水问题的重要方向。开展农村生活污水分散式处理模式及其应用效果的研究,不仅有助于科学选择适宜技术路线,提升治理效能,还能推动农村生态文明建设和可持续发展。同时,对完善农村环境治理体系、实现“双碳”目标亦具有重要意义。

1 农村生活污水特征与治理难点

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,其水质特点如下:(1)有机物含量高:COD(化学需氧量)通常在200-500 mg/L, BOD₅(五日生化需氧量)为100-300 mg/L;(2)氮磷浓度较高:总氮(TN)约为30-80 mg/L,总磷(TP)为5-15 mg/L,易导致水体富营养化;(3)可生化性好: BOD₅/COD比值多在0.4以上,适合生物处理;(4)含病原微生物:如大肠杆菌等,存在公共卫生风险。水量方面,受季节、生活习惯影响显著,日变化系数大(可达2-5),且人均日排水量普遍低于城市(约40-80 L/人·d)。

1.2 治理难点

一是空间分散性:村庄布局零散,难以统一收集;

二是经济承受力有限:村民支付意愿低,地方财政压力大;三是运维能力薄弱:缺乏专业技术人员,设备易“建而不用、用而不管”;四是标准体系不健全:部分地区排放标准照搬城市,脱离实际;五是资源化利用不足:处理后的中水、污泥未有效回用,造成资源浪费。

2 主流分散式处理模式概述

2.1 人工湿地

人工湿地是一种模拟自然湿地净化功能的生态工程技术,通过基质填料、挺水植物和附着微生物的物理截留、化学吸附与生物降解等多重作用协同去除污染物。根据水流方式的不同,可分为水平潜流、垂直潜流和表面流三种主要类型。其中,水平潜流人工湿地水流在填料层中水平推进,具有较好的脱氮除磷效果,且不易滋生蚊蝇;垂直潜流人工湿地则依靠间歇布水实现自然复氧,对氨氮和有机物的去除效率更高;而表面流人工湿地虽构造简单、投资低廉,但占地面积大、处理效率较低,且存在卫生隐患,目前已较少在新建项目中采用。

2.2 稳定塘

稳定塘是一种利用天然或人工池塘,通过藻类与细菌的共生代谢作用净化污水的古老而有效的技术。在光照充足、温度适宜的条件下,藻类光合作用释放氧气,供好氧细菌分解有机物,同时细菌代谢产生的二氧化碳又为藻类生长提供碳源,形成良性循环。根据塘内溶解氧分布,可分为好氧塘、兼性塘和厌氧塘,实践中常采用多级串联以提升处理效果。稳定塘的最大优势在于几乎无需能耗和复杂设备,基建投资极低,特别适用于土地广阔、人口密度低的偏远山区或少数民族聚居区^[1]。然而,其处理效率受气候条件影响显著,冬季低温或阴雨天气下净化能力大幅下降;同时,占地面积巨大、水力

停留时间长、存在异味和蚊虫滋生风险等缺点,使其在土地紧张或环境敏感区域的应用受到限制。

2.3 生物滤池

生物滤池通过在滤料表面富集生物膜,利用附着生长的微生物群体对污水中的有机物和氮磷进行降解转化。污水自上而下或自下而上流经填充有碎石、陶粒或塑料载体的滤床,在此过程中完成传质与生化反应。常见的形式包括滴滤池和曝气生物滤池(BAF),后者通过底部曝气强化供氧,显著提升了处理效率和抗冲击负荷能力。生物滤池相较于传统活性污泥法,具有污泥产量少、不易发生污泥膨胀、占地较小等优点,适用于处理规模在10至100吨/日的村落集中处理场景。但该技术对进水悬浮物浓度较为敏感,高SS易导致滤料堵塞,需设置有效的预处理单元;同时,运行过程中需定期进行反冲洗以恢复滤料通透性,增加了操作复杂性和能耗。

2.4 一体化污水处理设备

一体化污水处理设备是将预处理、生化反应、固液分离及消毒等功能单元高度集成于一个密闭罐体内的成套装置,具有标准化、模块化、自动化程度高的特点。目前主流工艺包括A/O(厌氧/好氧)、MBR(膜生物反应器)和SBR(序批式反应器)等。A/O工艺通过缺氧-好氧交替环境实现同步脱氮,结构简单、运行稳定;MBR工艺利用微滤或超滤膜替代二沉池,出水水质优异,悬浮物和浊度极低,可直接回用,但膜组件易污染、更换成本高;SBR工艺则在一个反应器内按时间序列完成进水、反应、沉淀、排水等工序,特别适合污水排放呈间歇性特征的农村地区。一体化设备的最大优势在于占地小、出水水质稳定、便于远程监控,适用于土地紧张、人口相对集中的近郊农村。然而,其高度依赖电力供应,运维技术门槛较高,若缺乏专业管理,易出现设备故障或运行异常,导致投资效益大打折扣。

2.5 生态厕所与源分离技术

生态厕所与源分离技术代表了一种从源头削减污染负荷、促进资源循环利用的先进理念。该模式通过改造传统旱厕或水冲厕,将高浓度的黑水(含粪便尿液)与低浓度的灰水(来自厨房、洗衣、洗浴)分别收集处理。黑水可进入三格式化粪池进行厌氧发酵,产生的沼气可用于炊事,残渣经无害化处理后作为有机肥还田;灰水则通过小型土壤渗滤系统、人工湿地或简易生物滤池进行就地净化^[2]。这种“分质处理、分类利用”的方式不仅大幅降低了后续处理系统的规模与复杂度,还实现了氮、磷、有机质等营养元素的闭环回收。尽管该模式在资源化和减污方面优势显著,但其成功推广高度依赖

于村民生活习惯的改变和初期设施投入,加之部分农户对粪污还田存在心理障碍,使得其在广大农村地区的普及仍面临一定阻力。

3 典型地区应用案例与效果分析

3.1 浙江安吉:人工湿地+生态沟渠模式

浙江省安吉县作为“绿水青山就是金山银山”理念的发源地,在农村污水治理中积极探索生态化路径,广泛推行“三格式化粪池+人工湿地+生态沟渠”的组合工艺。该模式以单户或相邻几户为单元,建设小型垂直或水平潜流人工湿地,处理后的尾水排入村内生态沟渠,最终用于农田灌溉或补充景观水体。实践表明,该系统对COD的去除率稳定在85%以上,总氮和总磷去除率分别达到70%和80%,出水水质基本满足农田灌溉水质标准。更为重要的是,其年均运维成本仅为50元左右/户,几乎无需专业人员干预,村民可自行清理杂草、疏通管道。同时,湿地植物如芦苇、美人蕉等形成的绿色景观,有效提升了村庄人居环境,获得了村民的高度认可,实现了环境效益、经济效益与社会效益的统一。

3.2 四川成都平原:一体化MBR设备试点

在四川省成都市近郊农村,针对人口密度较高、土地资源紧张的村落,当地政府试点推广MBR一体化污水处理设备。这些设备日处理能力在10至50吨之间,采用全自动控制系统,出水经消毒后用于村庄绿化浇灌或道路洒扫。监测数据显示,出水COD浓度稳定低于30 mg/L,悬浮物(SS)小于5 mg/L,各项指标均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)一级A标准,具备较高的回用价值。然而,高昂的运维成本成为其可持续运行的主要障碍。设备年均电费及膜组件更换费用合计约2至3万元/套,远超村级集体经济承受能力。部分村庄因无力支付电费而被迫停运,暴露出技术先进性与经济可行性之间的矛盾。

3.3 云南红河州:稳定塘+水生植物系统

云南省红河哈尼族彝族自治州地处滇南山区,土地资源相对丰富但经济欠发达。当地充分利用天然洼地,改造建设多级串联的稳定塘系统,并在塘内种植凤眼莲、芦苇、香蒲等本地水生植物,构建低成本、无动力的污水处理体系。该系统在旱季运行效果良好,COD去除率可达60%至75%,且无需任何外部能源输入。然而,受亚热带季风气候影响,雨季大量雨水汇入导致系统溢流,处理效率骤降;冬季低温则显著抑制藻菌活性,净化能力大幅减弱。尽管如此,其“零电费、低维护”的特点仍使其成为当地最可行的选择,体现了技术适配性在农村污水治理中的核心地位。

4 应用效果综合评价

4.1 处理效能对比

从污染物去除效果来看,不同技术路径表现各异。一体化MBR设备凭借膜分离的高效截留作用,在COD、SS及病原微生物去除方面表现最优,出水水质稳定达到高标准;人工湿地在脱氮除磷方面具有独特优势,尤其在磷的化学沉淀与植物吸收协同作用下,TP去除率常优于其他生态技术;生物滤池对有机物的降解效率高,但脱氮除磷能力受限于工艺配置;稳定塘受环境因素干扰大,整体去除率偏低;而源分离模式虽单点处理效率未必最高,但通过源头减量显著降低了系统总负荷,间接提升了整体治理效能。

4.2 经济性分析

经济性是决定技术能否落地的关键因素。稳定塘和人工湿地属于典型的低投资、低运维成本模式,尤其适合财政能力有限的中西部农村;一体化设备虽然处理效果好,但初始投资高达8000至20000元/吨水·日,且年运维成本在0.5至1.5元/吨水,对村级组织构成持续压力。因此,在技术选择时必须平衡“效果”与“成本”,避免盲目追求高标准而忽视可持续性。

4.3 适应性与可持续性

技术的地域适应性至关重要。人工湿地和稳定塘在南方温暖湿润地区表现优异,但在北方寒冷地区需采取保温或季节性停运措施;一体化设备对地形要求低,适合紧凑型村落,但依赖稳定电力供应;生态厕所模式在干旱缺水地区更具推广价值^[3]。从可持续性角度看,能够实现水资源回用、养分循环和能源回收的模式(如沼气化粪池+湿地)更符合循环经济理念,也更容易获得村民长期支持。

5 存在问题与挑战

尽管分散式处理取得一定成效,但仍面临深层次挑战。部分地区在技术选型上存在“一刀切”倾向,忽视本地自然社会条件,导致设施建成后难以发挥应有效能。更为普遍的问题是长效运维机制缺失,大量设施因缺乏资金、技术和人员保障而沦为“晒太阳工程”。现行排放标准体系未能充分体现农村污水的资源属性,过

度强调达标排放而忽视回用导向。此外,村民参与度低、环保意识薄弱,使得治理工作难以形成共建共治共享的良好局面。

6 优化对策与建议

(1)推行“一村一策”技术路线:应建立基于村庄规模、地形地貌、气候水文、经济水平等多维度的评估体系,科学制定差异化技术方案,杜绝“拿来主义”。(2)构建多元化运维机制:探索“政府补贴+村民付费+第三方服务”相结合的运维模式,设立村级运维基金,并借助信息化手段提升管理效率。(3)完善政策与标准体系:加快制定符合农村实际的排放与回用标准,将资源化利用率纳入考核指标,引导治理模式向生态循环转型。(4)强化资金与技术支持:加大中央和省级财政转移支付力度,鼓励社会资本以PPP等方式参与,同时加强基层技术人员培训^[4]。(5)提升村民参与度:通过村民公约、环保积分、示范户评选等方式,激发村民主人翁意识,形成人人参与、人人受益的治理氛围。

7 结语

农村生活污水分散式处理是契合我国农村实际的有效治理路径。人工湿地、一体化设备、生态厕所等模式各具优势,应因地制宜、分类施策。未来需从技术适配、运维长效、制度保障、公众参与等多维度协同发力,推动农村污水治理从“有没有”向“好不好”转变,真正实现生态宜居、绿色发展的乡村振兴目标。

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.