



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

美国农村分散式污水治理的经验及启示

周莉, 王倩, 李烨

引用本文:

周莉, 王倩, 李烨. 美国农村分散式污水治理的经验及启示[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(2): 324–332.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0101>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

农村生活污水治理调研及对策建议

高生旺, 黄治平, 夏训峰, 刘平, 王洪良, 李云

农业资源与环境学报. 2022, 39(2): 276–282 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0852>

我国农村生活污水治理的现状分析和对策探究

王昶, 王力, 曾明, 郝林林, 孙娟娟

农业资源与环境学报. 2022, 39(2): 283–292 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0615>

关于“十四五”农村生活污水治理的思考

贾小梅, 于奇, 王文懿, 赵芳, 董旭辉

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 623–626 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0133>

农村生活污水土壤渗滤系统处理技术研究进展

王淞民, 张春雪, 刘丽媛, 曹昊宇, 彭皓, 魏孝承, 郑向群

农业资源与环境学报. 2022, 39(2): 293–304 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0487>

基于CiteSpace的农村生活污水处理研究进展与趋势可视化分析

李厚禹, 张春雪, 马晓敏, 陈咄圳, 蒯伟, 郑向群, 徐艳

农业资源与环境学报. 2022, 39(2): 326–336 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0763>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

周莉, 王倩, 李烨. 美国农村分散式污水治理的经验及启示[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(2): 324–332.

ZHOU L, WANG Q, LI Y. Experience and insights on decentralized wastewater treatment in rural areas in the United States[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(2): 324–332.

美国农村分散式污水治理的经验及启示

周莉, 王倩, 李烨

(农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘要:我国农村生活污水具有排放分散、集中处理难度大、污染面广等特点,造成了严重的农村水环境污染,成为现阶段我国农村人居环境整治面临的突出问题。美国农村分散式污水处理经过一百多年的发展已相当成熟,值得我国学习借鉴。本文通过梳理美国农村污水治理的发展历程,总结美国农村分散式污水治理在相关政策与法律、应用技术、技术规范及标准、资金支持、运行管理等方面的成功经验,提出对我国农村污水治理的启示,旨在拓宽我国农村生活污水治理思路、助力乡村振兴战略实施。

关键词:美国;农村;分散污水;治理;经验

中图分类号:X799.3

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2023)02-0324-09

doi: 10.13254/j.jare.2022.0101

Experience and insights on decentralized wastewater treatment in rural areas in the United States

ZHOU Li, WANG Qian, LI Ye

(Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China)

Abstract: Rural domestic wastewater in China has scattered discharge, difficult centralized treatment, and a wide pollution area, which has caused serious water environment pollution in rural areas. This is a prominent problem for the improvement of the rural living environment at present in China. After more than 100 years of development, rural decentralized wastewater treatment in the United States is well developed, with lessons worth learning for our country. By examining the development process for rural wastewater treatment in the United States, this paper summarizes successful experiences from rural decentralized wastewater treatment in the United States in relevant policies and laws, application technology, technical specifications and standards, financial support, and operation management. These findings offer important insights for rural wastewater treatment in China. This is vital to broaden ideas for rural domestic wastewater treatment and help the implementation of the Rural Revitalization Strategy.

Keywords: United States; rural areas; decentralized wastewater; government; experience

改善农村人居环境是改善农民生活质量、提升民生发展水平的根本保障。2021年中央“一号文件”提出要统筹农村改厕和污水、黑臭水体治理,因地制宜建设污水处理设施,推进源头分类减量、资源化利用^[1]。2021年《农村人居环境整治提升五年行动方案(2021—2025年)》指出,要优先推广运行费用低、管护简便的治理技术,鼓励居住分散地区探索采用人

工湿地、土壤渗滤等生态处理技术,积极推进农村生活污水资源化利用^[2]。我国将市政排水管网接收范围以外的、村庄管辖内的农村污水定义为分散式农村污水,主要包括单户式、多户式、分片集中式等处理方式。农村生活污水分散处理技术是指针对区域内村庄布局分散、人口规模较小、污水不易集中收集的连户或小型村庄的污水处理技术,其污水处理量小于

收稿日期:2022-03-03 录用日期:2022-06-08

作者简介:周莉(1980—),女,湖北麻城人,博士,研究员,主要从事农村人居环境整治方面的研究。E-mail: lily_621@163.com

基金项目:农业农村部农村社会事业专家咨询委员会研究课题(Z202005);中国农业科学院基本科研业务费专项(Y2021GH10, Y2022LM13)

Project supported: Project for Rural Social Undertakings Expert Advisory Committee of Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Z202005); The Fundamental Research Funds of Chinese Academy of Agricultural Sciences (Y2021GH10, Y2022LM13)

$50 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1[3]}$ 。分散式污水处理系统具有建设费用低、维护管理简单、运行稳定、可就地回用等优点,是解决农村污水水质水量不稳定、难以统一收集、处理成本高、管理难度大等难题的有效途径。近年来,分散式农村污水处理系统在我国各地农村改厕和污水、黑臭水体治理中得到了广泛应用。由于起步较晚,目前该系统在我国仍存在相关政策与法律体系不够完善、专业技术水平和技术规范指导不足、缺乏长效稳固的资金保障体系、缺乏高效的工作协调机制和运维机制等问题^[4]。

美国的乡村污水治理主要指覆盖1万人以下的分散污水治理^[5]。美国将分散式污水处理系统分为污水就地处理系统(Onsite wastewater treatment system)和群集式污水处理系统(Cluster wastewater treatment system)两类,前者定义为服务人数小于20人的单户家庭生活污水处理,后者适用于多户家庭的生活污水处理^[6]。美国早在19世纪50年代便开展了农村分散式生活污水处理系统的实践,经过一百多年的发展已形成了一套相对成熟且完善的农村生活污水治理体系。目前,该系统已成为美国极为重要的农村污水处理手段,在美国农村水污染治理和水环境质量改善过程中发挥了重要作用。学习和借鉴美国农村分散式生活污水治理经验,对于提升现阶段我国分散式农村污水治理水平、全面实施我国乡村振兴战略具有重要的意义。

1 美国分散式污水治理的发展历程

美国分散式污水治理的发展历尽波折。就处理技术而言,19世纪中期美国约有1/4住宅选用分散式污水处理系统,最具代表性的是传统的化粪池-土地处理系统。据统计,当时美国仅有32%的土壤符合土地处理系统的建造要求^[7],早期化粪池-土地处理系统的盲目建造和不恰当的管理造成了严重的水污染问题,其安全性遭到了强烈质疑。20世纪70年代,美国环保署(USEPA)组织州、地方政府和专业人员分析分散式污水处理系统应用失败的原因^[8],并对土壤处理的适用条件进行研究。经过近30年的探索,1997年USEPA在国会汇报中肯定了分散式污水处理系统的技术地位,分析了分散式污水处理系统失败的主要原因,包括相关政策和法律不够完善、建造质量无保障、缺乏专业技术指导、运行维护管理不到位、资金支持不合理等问题,其中缺乏合理长效的管理机制是该系统应用失败的最主要原因^[9]。USEPA

指出,在科学管理的条件下分散式污水处理系统可成为一种最长远且经济有效的农村污水治理途径。20世纪90年代后期,美国鼓励各州、地方政府根据土壤、地质条件等特点因地制宜应用分散式污水处理系统,分散式污水处理系统开始在美国流行。

就治理政策和法律而言,分散式污水处理系统相关政策与法律的发展大致经历了起步阶段(1948—1970年)、发展阶段(1970—1990年)以及成熟阶段(1990年至今)三个阶段。经过不断完善,美国农村污水治理相关政策与法律体系日趋成熟。起步阶段,随着美国工业化的快速发展,水环境污染问题日益突出。美国政府及时采取相应措施,制定和出台了《水污染控制法》《水质法》《国家环境政策法》等系列法律,以加大对水环境污染的治理。发展阶段,美国于1972年实施了《清洁水法》,其作为当代美国水环境污染防治的基本方略,建立了由美国联邦政府制定基本政策和水环境污染物排放标准、由各州政府负责实施的强制性管理体制。此后,该法经历过多次重要的修改^[10]。成熟阶段,美国环保思路发生重大改变,从先污染后治理的老思路转变为预防环境污染为主的新角度。此后美国环境政策与法规的制定开始注重对污染控制技术提出新要求。随着分散式污水处理逐渐成为美国农村污水处理的主体,USEPA于2002—2005年相继发布了《分散污水处理系统手册》《分散污水处理系统管理指南》《分散型污水处理系统管理手册》等相关文件,为分散式污水处理系统的安装和维护提供了一定的技术指导,各州和地区也相应出台了相关政策与法律,以规范应用系统的建设、运行与维护^[11-12]。2007年,美国在马里兰州首府巴尔的摩组织召开以“分散式污水处理与利用需求”中长期发展战略规划为主题的国际性研讨会^[13-14]。会议就未来20年在分散式污水处理与利用需求方面应优先解决的社会、技术、经济、法律等问题达成目标共识,制定了“分散式污水处理与利用需求”中长期发展战略。可见,分散式污水处理系统在美国农村污水处理中占有举足轻重的地位。

2 美国农村分散式污水治理的经验

在了解美国农村分散式污水治理发展过程的背景条件下,从相关政策与法律、应用技术、技术规范及标准、资金支持、运维管理等方面分析和总结美国农村分散式污水治理方面的具体措施和成功经验,有助于加快我国实现乡村振兴战略目标的步伐。

2.1 相关政策及法律

污水处理政策和法律体系是美国农村污水治理的有效保障。为了维持分散型污水处理系统的良好运行,美国针对农村生活污水出台了系列政策和法律。经过长期的探索和实践,相关政策和法律已发展得相当成熟。

(1) 科学严谨,覆盖面广

美国政策与法律内容设计严谨、分类精细、覆盖面广、可操作性强。例如,联邦层面通过制定《清洁水法》加强水污染控制方面的管理。《清洁水法》以生活污水排放标准为依据对农村污水处理设施进行监控管理,以国家污染物排放消除制度为参照对排入地表水的农村污水处理设施执行排污许可证制度,依据最大日负荷总量控制计划对水体受污染流域的农村污染源实行总量控制,制定排放限值。多层次、多角度的法律约束使得农村污水治理取得显著成效。此外,USEPA还针对少数部落依据其部落特点制定了相应的政策与法律。例如,2004年发布了《现场污水处理系统的部落管理》^[15],以帮助种族部落正确使用和管理处理系统,保障污水处理系统在部落范围内正常运行。

(2) 责任清晰,协同管理

美国在制定分散式污水治理相关政策和法律时,相当重视政府部门、公共机构、市场、民间协会组织等主体之间的共同协作。在相关政策的支持下,通过法律手段夯实农村污水治理各参与主体的职责与分工,从而保证美国农村分散式污水系统高效运转。政府部门负责相关政策与法律的制定、执行和监管;公共机构、私人企业和民间组织等通过与政府签订合作协议的方式,建立合作关系,在法律保障下,对分散式污水处理系统的研发、设计、建设、运行、维护、培训、推广等提供相应服务。例如,2005年,USEPA与国家乡镇协会、国家环境健康协会、国家污水处理技术人员协会等签署了分散型污水处理合作协议,明确了各方在分散式污水处理项目中的具体职责。2020年,在原有合作基础上增加了与州、地方政府、相关从业者、供应商、承包商等主体之间的合作,合作伙伴增至20个,实现了分散式污水系统的高效管理^[16]。

2.2 应用技术

分散式农村生活污水处理技术是美国农村污水治理的内驱动力。自《清洁水法》颁布以来,分散式污水处理系统作为一种永久性的处理方法,广泛应用于排污点分散、基础设施落后、资金相对缺乏的农村地区。

美国分散式污水处理技术包括传统的土地处理

系统以及其他替代系统。传统的土地处理系统由化粪池和土地渗滤系统构成,即污水进入化粪池经厌氧分解去除部分有机物和悬浮物,化粪池出水在土壤中通过物理、生物等作用进一步去除污染物。该处理系统投资低、操作简便,但对于土壤的渗透性、水力条件等具有一定要求。近30年来,美国根据农村污水水量水质变化、污染物种类、土壤条件等因素,开发出许多替代系统。替代系统主要分为好氧和厌氧处理系统,具体包括悬浮生物膜系统、固定生物膜系统、序批式反应器系统、上流式厌氧流化床等。其基本处理过程为:污水经化粪池预处理后,在重力或压力驱动下进入好氧或厌氧处理系统进行初步处理,其出水进入土壤渗滤系统进一步处理,或经过滤和消毒处理后排放或回用^[17]。美国分散式农村污水处理技术具体介绍见表1。

2.3 技术规范及标准

技术规范 and 标准是保证污水处理系统处理性能的关键,美国各州及地方政府以《清洁水法》为重要依据,因地制宜制定符合当地特点的污水处理技术规范 and 标准。美国分散式污水处理系统技术规范 and 标准分类细致、科学严谨,主要涉及不同类型污水处理系统的建造标准、污水处理设备的设计标准、设备组件的技术参数标准、运行系统性能测试标准、污水回用或排放标准等。技术标准化有利于保证污水处理系统的处理效果,提升管理效率。例如USEPA发布的《污水就地处理系统设计手册》《分散污水处理系统手册》等对化粪池结构、化粪池出水过滤器、储液罐、泵、布水系统、土壤渗滤系统等处理设施及其组件的技术参数进行统一,实现了标准化管理,保障了污水处理系统的高效运行^[25]。

2.4 资金支持

美国分散式污水处理系统的资金支持途径多样。美国不但注重对资金资助项目的可行性评估,还注重对分散式污水处理设施建造、运行、维修、更换等全过程管理的资金应用。

(1) 可行性分析是资金支持的前提

对于分散式污水处理系统相关项目的资助,USEPA通常借助信息化手段,利用自主研发的分析工具对拟资助项目的可行性进行综合分析。例如,1979年加利福尼亚州洪堡州立大学编写的WAWT-TAR程序具备成本估算功能,能够对分散式污水处理系统的建造、运行、维护、更换等投资费用进行经济核算,实现对项目各个资助环节的可行性分析。目前,

表1 美国农村分散式污水处理技术

Table 1 Decentralized wastewater treatment technology in rural areas in the United States

技术 Technology	原理 Principle	优点 Advantage	缺点 Disadvantage	适用范围 Scope of application
化粪池+土壤渗滤系统	化粪池出水通过渗滤沟、渗滤腔或滴滤等方式投放至土壤,经砾石过滤后,在土壤中进行吸附、微生物降解处理	便于建造和维护,应用广泛	占地面积较大	适用于农户住宅有闲置土地的农村地区
化粪池+人工砂滤系统	化粪池出水进入储液罐后,由泵输送至人工沙丘或砂箱系统,由砾石、沙子等过滤后进入土壤处理	净化能力强、效率高,建造位置灵活	造价成本高,处理后期能耗高	适用于地下水位较高或靠近水源的农村地区
化粪池+蒸发渗滤床系统 ^[18]	化粪池出水进入蒸发渗滤床系统,在强光、高温作用下将污水蒸发处理	处理效率高、周期短	对阳光、温度、气候等环境条件要求高	适合温度较高、气候干旱的农村地区 ^[19]
化粪池+人工湿地系统	利用人工湿地系统中的微生物、植物和人工介质作用 ^[20] ,吸收营养物质,去除有害物质,实现污水净化	投资成本低,维护简便,可美化景观	占地面积大,对水生植物影响大	适合污染物排放量少、人口密度较低的农村地区
化粪池+多户联用土地处理系统	将多个农户的污水收集至集中排水区,通过布水管扩散至滤层进入土壤处理	对农户庭院面积要求低	集中处理占地面积大	适合住宅相对集中的农村地区
化粪池+悬浮生物膜系统+沉淀池+土壤渗滤系统	化粪池出水进入悬浮生物膜系统,在曝气条件下,根据活性污泥原理形成悬浮生物膜,利用好氧微生物降解可生化有机污染物、悬浮固体等污染物 ^[21] ,其出水进入沉淀池后进入土壤渗滤系统	处理效果好,对地下水污染程度小	对季节和温度敏感性高	适用于农村单户住宅就地处理
化粪池+固定生物膜系统+沉淀池+土壤渗滤系统	化粪池出水在反应器填料(砾石、塑料)表面形成固定的生物薄膜,利用好氧微生物去除部分有机污染物和悬浮固体 ^[22] ,其出水经沉淀池后进入土壤渗滤系统	对进水缓冲能力强,维修管理方便,处理效果好	易受气候、低温条件影响	适用于农村单户住宅就地处理
化粪池+序批式反应器系统+土壤渗滤系统	利用活性污泥原理,将化粪池出水整个处理过程按时间顺序在同一反应器内进行 ^[23] ,去除有机物、固体悬浮物等污染物后进入土壤渗透系统处理	对进水缓冲能力强,处理系统自动化程度高,处理效果好	易受气候、低温条件影响	适用于农村单户住宅就地处理和小型群集处理
化粪池+上流式厌氧流化床+土壤渗滤系统	化粪池出水利用上流式厌氧流化床中的厌氧微生物去除有机物、固体悬浮物等污染物 ^[24] ,之后进入土壤渗透系统处理	设备种类多,处理效率高	设备清洗不便,成本较高	可处理高浓度污水,适用于气候炎热、气温较高的农村地区

USEPA 利用自主开发的融资方案对比工具(Financing alternatives comparison tool),对拟资助项目进行财务分析,从而确定分散式污水管理项目的最佳资助方案^[26]。

(2)清洁水滚动基金计划是资金支持的重要来源

1987年美国修订的《清洁水法》中提出各州要建立清洁水滚动基金计划,即依靠联邦-州资助向社区和个人提供低息或无息贷款,贷款返还到周转基金后,再分配给后续项目。联邦主要负责向各州提供拨款,各州负责州内项目的运作,提供各种类型的资金援助,包括贷款、再融资、采购或保证地方债务和购买债券保险等。该基金是分散型污水处理项目的重要资金来源,约占联邦政府拨款的20%。当基金不能直接贷款给私人实体时,可通过转手贷款先资助当地政府,再通过当地政府向户主或其他实体提供贷款或拨款。例如,俄亥俄州家庭生活污水处理计划中超过300万美元先提供给44个地方政府,再通过政府提供给个人,俄亥俄州清洁水滚动基金对家庭分散式污水处理系统的典型资助模式^[27]见图1。

多年来,美国大力推行的滚动基金计划有效刺激了当地对农村污水基础设施的投资,促进了分散式污

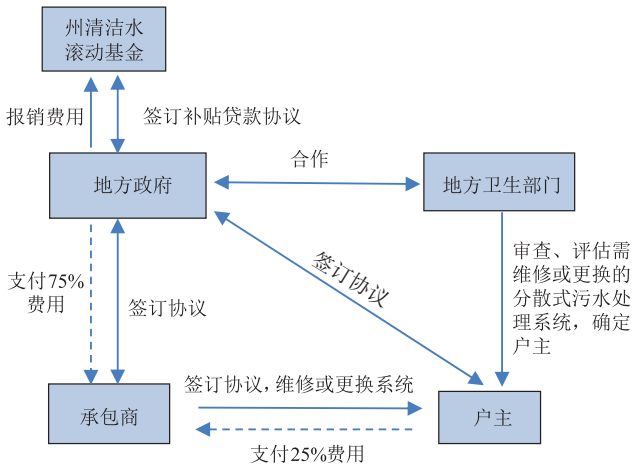


图1 美国俄亥俄州清洁水滚动基金对农村分散式污水处理系统的典型资助模式^[27]

Figure 1 Typical funding model of Ohio's Clean Water Rolling Fund for rural decentralized wastewater treatment system^[27]

水治理技术的快速发展。目前,各州的滚动基金计划已相当成熟,2006年,仅分散污水治理项目通过滚动基金获得贷款高达3.7亿美元,2015年,美国污水处理治理项目贷款高达958亿美元。

(3)多种资助方式是资金支持的重要途径

在农村污水治理过程中,美国政府财政支持具有主导作用。近年来,美国政府逐渐引入社会资本,其支持手段从单一的财政补贴向与市场结合的多种支持形式转变。美国除了实施清洁水州滚动基金计划外,还通过减免税收、发行市政债券、实施废水治理项目、实施社区污水系统综合管理计划、鼓励民间投资等措施为农村污水处理提供多种形式的资金支持^[28]。就分散式污水处理系统而言,美国主要通过 USEPA 和其他组织形式提供相应的资金支持,具体的资金来源、资助方式及内容^[29]见表2。

2.5 运行管理

分散式污水处理系统的运行是否成功在很大程度上取决于污水处理系统的建设、运行、维护是否恰当。美国注重各级政府对分散式污水处理系统运行维护的正确引导,通过建立合理的基础设施建设-运营模式、提升维修人员的专业技能、调动户主的主体能动性等措施,充分发挥各参与主体的重要作用,全方位保障分散式污水处理设施的高效运行。

(1) 加强公私合作,建立基础设施建设-运营模式

美国通常采用公私合作、多方融资、技术转让、技术开发等方式解决农村污水处理设施的建造及运营管理难题。“公私合伙关系”(Public-Private Partnership, PPP)是美国乡村环保基础设施最主要的建设-运营模式,即通过公共部门与私人实体建立合作伙伴

关系为公众提供公共基础设施的设计、建造、运营、维护等环境服务,以保证公众利益最大化。该模式早在20世纪90年代就在全美范围内广泛推广应用。USEPA将PPP模式分为合同服务、承包工程、开发商融资、私营化、商业设施等5类,其中前3类在美国农村分散式污水处理中应用较为广泛。具体特点^[30]见表3。

(2) 注重分类管理,健全运行维护管理机制

健全的运行维护管理机制是美国农村污水治理的核心保障。USEPA设立分散式污水处理系统相关的项目和计划,州和民族地区政府相关部门负责具体管理工作,地方政府根据当地实际情况制定并负责落实分散污水治理相关参与主体的具体职责。通常,地方政府管理部门与具有资质的民间非营利机构或私人营利实体通过签订协议完成对污水处理系统的规划、评估、技术咨询或培训等工作。为进一步加强分散式污水处理系统的运维管理,USEPA根据分散污水管理的难易程度,在《分散式污水处理系统管理指南》中提出了5种不同形式的运行维护管理模式^[31](表4)。

(3) 重视技术认证,提升从业人员专业技能

为保证分散式污水处理系统的维护服务质量,美国要求从业人员需具备一定的专业技能,只有通过专业机构的认证,获得相应资格证书才可从事分散式污水处理系统的运维工作。

美国通常通过国家环境卫生协会、国家环境金融

表2 美国农村分散式污水处理系统的多种资助方式^[29]

Table 2 Various funding methods for rural decentralized wastewater systems in the United States^[29]

分类 Classification	资金来源 Source of funding	资助方式及内容 Funding method and content
USEPA	清洁水州滚动基金	利用联邦、州和其他项目资金,为分散污水处理项目提供低息或无息贷款
	非点源资助计划	对分散式污水处理系统的操作培训、技术指导、项目示范等提供资助,有效控制非点源水污染
	水污染控制拨款计划	为各州、地区、哥伦比亚特区、印第安部落等提供联邦援助,以建立和实施水污染控制计划
其他组织	美国农业农村发展水环境项目部	以贷款、捐款等方式为农村和城镇地区的生活污水设施提供资助,公共机构、非营利组织均有资格获得资助
	美国住房和城市发展部	为包含分散污水处理系统在内的公共基础设施提供采购、建设或维修等长期的资金资助

表3 美国不同类型PPP模式的具体特点^[30]

Table 3 The specific characteristics of different types of PPP models in the United States^[30]

类型 Type	合同服务 Contract service	承包工程 Turnkey project	开发商融资 Developer financing	私营化 Privatization	商业设施 Merchant facilities
提供服务决策	公共	公共	公共	公共	私人
融资	公共	公共	私人	私人	私人
设计	公共	私人	公共或私人	私人	私人
建设	公共	私人	公共或私人	私人	私人
所有权	公共	公共	公共或私人	私人	私人
运营与维护	私人	私人	公共或私人	私人	私人

表4 美国农村分散式污水处理系统运维管理模式^[31]

Table 4 Operation and maintenance management model of rural decentralized wastewater treatment system in the United States^[31]

运维管理模式 Operation and maintenance management model	模式简介 Model introduction
用户自主	对于管理要求较低、操作简便的污水处理系统,用户可根据设备维修及保养说明自主进行运行和维护,保障污水分散处理系统的正常运作
协议维护	对于结构复杂、操作技术要求较高的污水处理系统,用户可与专业维护人员签订技术服务协议,技术人员可定期提供专业维护
运行许可	在环境敏感的农村区域,管理机构需定期审查用户污水处理系统的运行情况,审查合格后签发有期限的运行许可证,过期后需重新审核合格方可持续运行
机构管理	专业服务机构持有污水处理设施的运行许可证,用户的污水处理设备在进行运行和维护时需聘请有资质的机构和专业技术人员为其提供服务
机构所有	污水分散系统的所有权由专业机构所有,污水处理系统的建设、运行与维护均由专业机构负责,与集中处理管理模式相类似

中心等协会或部门对相关人员提供技术培训和技术指导。

(4)重视信息溯源,追踪设备全程运维数据

美国非常重视对分散式污水处理系统评估、建造、运行、维修、更换等整个运维周期全过程信息进行追踪管理,以便通过数据分析全面了解分散式污水处理系统的总体运维情况并作出综合判断。专业人员将污水处理设备的使用地点、系统类型、运行许可证等基本信息,以及设备故障原因、维修记录、清洗周期、更换时间等详细的维护信息进行记录,建立互联网数据库,保障设备信息能够追踪溯源。例如,污水信息系统工具(The wastewater information system tool)是美国自主研发的一种利用互联网管理设备运维数据的工具^[32]。通过下载和安装工具包,州和地方管理部门可随时随地利用该工具查询污水处理系统相关信息,以便更好地为用户做好维修服务。

(5)保障运维资金,支持基础设施长效运转

美国农村分散式污水处理系统运维资金可通过赠款计划、PPP合作模式、清洁水州滚动基金、州一般基金和地区银行贷款等方式获得。例如,马萨诸塞州农村分散式污水处理系统运维资金主要来源于向房主提供低息贷款、提供每年1 500美元税收抵免、通过项目实施对环境敏感地区提供长期的运维资金支持等三种途径^[33]。

(6)注重公众教育,增强参与主体运维意识

仅靠政府层面和专业维修人员管理根本无法实现分散式污水处理系统的正常运行和维护。管理人员的有序监管、维修人员的专业维护、用户良好的操作习惯等对延长分散式污水处理系统使用寿命均起着至关重要的作用。美国政府非常注重对公众的宣

传教育,旨在提升相关参与主体的责任意识,确保分散式污水处理系统高效运行^[34]。例如,USEPA为家庭用户编制了《化粪池系统用户指导手册》《就地污水处理系统:评估服务合同用户指南》等相关资料,以帮助用户了解化粪池的简单结构、操作规范、维护方法、使用注意事项、故障维修程序等具体内容^[35]。此外,2012年,USEPA发布的《分散污水管理项目案例》是管理人员落实项目实施的重要参考资料,其为管理者提供了14个典型的项目管理案例,促进了分散式污水处理设施的科学管理。

3 对我国农村分散式生活污水治理的启示

在深入剖析美国农村分散式污水治理经验基础上,本文针对我国农村生活污水治理存在的主要问题,从分散式污水处理系统的应用、相关政策与法律、技术标准与规范、运行模式、资金保障、信息管理等方

面提出对我国农村分散式污水治理的启示。

(1)明确分散式污水处理系统重要地位,科学评估污水处理系统适用范围

USEPA认为分散式污水处理系统具有建造成本低、技术灵活多样等优点,能够满足农村生活污水的就地处理、回用或外排等要求,只要进行科学的管理,其可看作一种永久性的污水处理设施。建议我国充分认识分散式污水处理系统和集中式污水处理系统在污水处理中的同等重要地位,分散式处理系统不是集中式处理系统的替代系统,而是对集中式系统的有益补充。此外,建议农村生活污水治理系统的选择应综合考虑各地区的经济状况、地理条件、气候条件、生活污水排放量、人口密度、住宅距离等因素,经专业技术机构科学评估选择恰当的适用系统,避免资源浪费。

(2)完善相关政策与法律建设,建立可操作性强的政策与法律保障机制

美国农村分散式污水治理发展相对成熟,其相关政策与法律法规具有责任明确、分类细致、设计严谨、可操作性强等优点,值得我国学习和借鉴。我国国家层面非常重视相关政策和法律法规体系建设,但基层实施现状与预期目标尚存在一定差距,主要存在公众对农村环境保护意识不足、地方政策可操作性不强、法律条文不够细致、相关参与主体责任边界模糊等问题,严重影响了农村生活污水实际治理效果。具体建议:①政府应加强顶层设计,根据不同地区特点,加快制定农村污水处理设施建设市场激励政策、投入机制政策、长效运行机制政策等操作性强的农村污水治理政策;②通过法律法规形式进一步明确各参与主体的强制性责任,促进形成多方共治的良好局面。

(3)建立农村生活污水处理技术评价体系,加快技术规范与标准体系建设

美国技术规范 and 标准具有精细、全面、实用等特点。USEPA 针对不同州和地方、部落特点制定了符合当地实际的技术标准,且针对政府人员、技术人员、监督管理人员、户主等不同群体出台了实用的技术指导性文件,为农村生活污水处理提供了规范有效的技术保障。我国目前农村生活污水处理技术已达 100 多种,处理技术种类多、应用广,但技术鱼龙混杂,规范和标准化程度较低,污水处理系统后期运行管理难度大。我国各农村地区区域经济状况和环境条件差异显著,实际上缺乏符合当地区域特点且适合推广的实用型技术。目前,我国只有部分省市(如北京、浙江)等出台了地方农村生活污水实用技术指南、技术导则等,其科学验证、技术和经济参数以及社会接受度均有待进一步认证。为进一步加强我国技术规范与标准体系建设,提出如下具体建议:①组织建立有效的农村生活污水技术评价方法,开展农村生活污水处理技术的筛选、评价与评估,形成成熟的技术项目库,并因地制宜推广适宜的应用技术;②加强技术标准的精细化、规范化建设,针对不同群体出台详细的技术指导。具体而言,可从分散式农村生活污水处理系统不同处理技术的设计、制造、安装、维护、清洗等方面制定标准、指南、规范、手册等规范性指导性文件,以规范和指导污水处理系统的应用。

(4)完善基础设施建设投入机制,建立高效实用的运行管理模式

国内大部分县级政府都面临着污水处理项目投

资压力大、建设工程质量无保障、后期运营管理难度大等问题,与预期治理目标尚存在一定差距。美国在分散式污水处理的发展过程中曾面临同样的难题。美国通过加强公共部门与私人实体的合作,探索出合同服务、承包工程、开发商融资等特点鲜明的 PPP 模式,广泛应用于农村分散式污水处理系统,有效地解决了发展瓶颈问题。近年来,我国部分县级政府采用政府与专业投资运营机构合作的方式探索实践 PPP 模式,取得了一定的进展。由于 PPP 项目资金需求量大、周期长,目前还存在收益较低、社会资本投资的动力不足、融资难度大、用地政策尚不明确等难题。因此,结合我国国情,农村污水治理衍生出 BOT(建设-运营-转让)、DBOT(设计-建设-运营-移交)、TOT(移交-运营-移交)等运行管理模式,目前均处于摸索阶段。具体建议:①以县或乡镇为单位进行项目整体捆绑,以加大规模效应,降低运营成本,增加投资吸引力;②建立并完善政府、金融机构和社会资本的“风险共担”投入机制,加大支持项目融资力度,激发市场活力,实现多方共赢。

(5)全方位多渠道筹措资金,建立长效稳固的资金保障体系

分散式污水处理系统的高效运行需要长效稳固的资金保障。美国主要通过联邦政府、USEPA、金融机构、私人实体、民间组织等多种途径保障分散式污水处理系统的资金来源。在资金使用方面,美国通过对拟资助分散式污水处理系统进行可行性分析、实地调研、审查评估等环节,综合确定资助对象,避免资金浪费。我国农村生活污水处理资金主要来源于政府拨款,资金来源过于单一。目前,我国政府已投入大量资金支持农村生活污水治理,但各地污水处理设施存在建设质量参差不齐、资金使用和管理不到位、部分地区盲目建造等问题,出现“建得起、用不起”的不良局面,造成严重的资金浪费,无法保障污水处理设施长效运行。我国可充分发挥社会资本作用,通过政府主导、市场运作、社会投入、村民参与等方式建立长效稳固的资金保障体系,多渠道筹措资金,从而保障污水处理系统的正常运行。具体建议:①设立专项资金,明确专项资金对基础设施运维管理的支持政策;②加强对基础设施运维资金的监督管理,严格做好资金资助的审查评估工作,确保将资金用到实处;③发挥市场化作用,充分利用社会资本,通过 PPP、BOT、TOT 等模式解决资金短缺难题;④通过企事业单位结对帮扶,社会人士及志愿者捐资捐物,或乡镇、村民自

筹等方式增加资金来源;⑤银行通过设立低息或免息贷款等方式加大对相关企业、个人开展农村生活污水治理的资金支持。

(6)加大信息化手段应用,建立全面准确的信息管理平台

美国利用信息化手段对分散式污水处理系统的建造、运行、维护、更换等费用进行充分论证,对其整个运维周期全过程信息进行追踪管理,该方式极大降低了运营成本,提升了运维管理效率。目前我国在农村污水处理领域信息化应用程度较低,具体建议:①建立包含相关政策、法律法规查询的信息平台,及时发布、更新、查询相关信息;②建立包含技术指导专家库、技术标准与规范、技术示范案例等模块的技术信息平台,扩大技术推广应用影响力,提升示范带动效果;③建立包含污水处理设施从建造、运行、维护、更换、监管等全过程运营信息的数据管理平台,加强对污水处理设施的监督管理,高效保障设施运维质量。

参考文献:

- [1] 经济形势报告网. 2021年中央一号文件[EB/OL]. (2021-01-28) [2022-02-28]. <http://www.china-cer.com.cn/guwen/2021012811132.html>. Economic Situation Report. The first central document of 2021 [EB/OL]. (2021-01-28) [2022-02-28]. <http://www.china-cer.com.cn/guwen/2021012811132.html>.
- [2] 新华社. 农村人居环境整治提升五年行动方案(2021—2025年) [EB/OL]. (2021-12-07) [2022-02-28]. http://www.moa.gov.cn/gk/zcfg/qnhnzc/202112/t20211207_6383987.htm. The Xinhua News Agency. Five-year action plan for improving rural living environment (2021—2025) [EB/OL]. (2021-12-07) [2022-02-28]. http://www.moa.gov.cn/gk/zcfg/qnhnzc/202112/t20211207_6383987.htm.
- [3] 夏训峰,席北斗,王丽君,等. 农村环境综合整治与系统管理[M]. 北京:化学工业出版社,2019:226-228. XIA X F, XI B D, WANG L J, et al. Comprehensive improvement and systematic management of rural environment[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2019:226-228.
- [4] 侯立安,席北斗,张列宇,等. 农村生活污水处理与再生利用[M]. 北京:化学工业出版社,2019:1-50. HOU L A, XI B D, ZHANG L Y, et al. Rural domestic sewage treatment and recycling[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2019:1-50.
- [5] 夏训峰,席北斗,王丽君,等. 村镇环境综合整治技术与系统管理[M]. 北京:中国环境出版社,2016:1-20. XIA X F, XI B D, WANG L J, et al. Technology and management of comprehensive environmental remediation in villages and towns[M]. Beijing: China Environmental Press, 2016:1-20.
- [6] USEPA. Onsite wastewater treatment systems manual (EPA/625/R-00/008)[M]. Washington D C: Office of Water, 2002:1-15.
- [7] US Department of Agriculture. Soil survey manual[M]. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co, 1966.
- [8] USEPA. Planning wastewater management facilities for small communities (EPA-600/8-80-030)[M]. Cincinnati: Office of Research and Development, 1980:1-142.
- [9] USEPA. Response to congress on use of decentralized wastewater treatment systems (EPA 832-R-97-001b)[R]. Washington D C: Office of Water, 1997:1-106.
- [10] USEPA. Summary of the Clean Water Act[EB/OL]. (2021-10-22) [2022-2-28]. <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>.
- [11] USEPA. EPA guidelines for management of onsite / decentralized wastewater systems (EPA 832-F-00-012)[M]. Washington D C: Office of Water, 2000:1-2.
- [12] USEPA. Handbook for managing onsite and clustered (decentralized) wastewater treatment systems: An introduction to management tools and information for implementing EPA's management guidelines (EPA 832-B-05-001)[M]. Cincinnati: Office of Water, 2005:49-56.
- [13] 中国环境报. 小城镇适宜发展分散式污水处理技术[N]. 中国环境报, 2007-04-10(5版). China Environment News. Decentralized sewage treatment technology is suitable for small towns[N]. China Environment News, 2007-04-10(5th Edition).
- [14] TCHOBANOGLOUS G, RUPPE L, LEVERENZ H. Decentralized wastewater management: Challenges and opportunities for the twenty-first century[J]. *Water Science & Technology*, 2004, 4(1):95-102.
- [15] USEPA. Tribal management of onsite wastewater treatment systems (EPA 909-F-04-007)[M]. Washington D C: Region 9 Ground Water Office, 2004:1-4.
- [16] USEPA. Decentralized system partners: EPA's decentralized wastewater management memorandum of understanding (MOU) partnership [EB/OL]. (2020-09-23) [2022-02-28]. <https://www.epa.gov/septic/decentralized-system-partners>.
- [17] USEPA. Decentralized wastewater systems technology fact sheets[EB/OL]. (2021-09-28) [2022-03-01]. <https://www.epa.gov/septic/decentralized-wastewater-systems-technology-fact-sheets>.
- [18] CURNEEN S, GILL L. Upflow evapotranspiration system for the treatment of on-site wastewater effluent[J]. *Water*, 2015, 7(12):2037-2059.
- [19] CURNEEN S, GILL L. Willow-based evapotranspiration systems for on-site waste water effluent in areas of low permeability sub-soils[J]. *Ecological Engineering*. 2016, 92:199-209.
- [20] DE ANDA J, LÓPEZ-LÓPEZ A, VILLEGAS-GARCÍA E. High-strength domestic wastewater treatment and reuse with onsite passive methods[J]. *Water*, 2018, 10(2):99.
- [21] SCHMIT G, JAHAN K, SCHMIT H, et al. Activated sludge and other aerobic suspended culture processes[J]. *Water Environment Research*, 2009, 81(10):1127-1193.
- [22] AZIZI S, VALIPOUR A, SITHEBE M, et al. Evaluation of different wastewater treatment processes and development of a modified attached growth bioreactor as a decentralized approach for small communities[J]. *The Scientific World*, 2013, 10(8):156870.
- [23] VILPAS R, SANTALA E. Comparison of the nutrient removal efficiency of onsite wastewater treatments systems: Applications of conventional sand filters and sequencing batch reactors (SBR)[J]. *Water Sci-*

- ence and Technology*, 2007, 55(7):109-117.
- [24] SHARMA M K, KHURSHEED A, KAZMI A. Modified septic tank-anaerobic filter unit as a two-stage onsite domestic wastewater treatment system[J]. *Environmental Technology*, 2014, 35 (17) : 2183-2193.
- [25] USEPA. Design manual: Onsite wastewater treatment and disposal systems(EPA 625/1-80/012)[M]. Washington D C: Office of Water Program Operations, 1980:1-382.
- [26] USEPA. Financing alternatives comparison tool[EB/OL]. (2021-07-03) [2022-02-28]. <https://www.epa.gov/cwsrf/financing-alternatives-comparison-tool>.
- [27] USEPA. Clean water state revolving fund green project reserve. Case study: CWSRF-funded decentralized wastewater treatment projects and Ohio's home sewage treatment system program(EPA 832-F-12-023)[EB/OL]. (2021-6-25)[2022-2-28]. <https://www.epa.gov/cwsrf/decentralized-wastewater-treatment-ohios-home-sewage-treatment-system-program>.
- [28] USEPA. Learn about the Clean Water State Revolving Fund(CWSRF)[EB/OL]. (2021-07-03)[2022-02-28]. <https://www.epa.gov/cwsrf/learn-about-clean-water-state-revolving-fund-cwsrf>.
- [29] USEPA. Funding sources for small and rural wastewater systems[EB/OL]. (2021-12-03)[2022-02-28]. <https://www.epa.gov/small-and-rural-wastewater-systems/funding-sources-small-and-rural-wastewater-systems>.
- [30] USEPA. Public-private partnership case studies[M]. Washington D C: Administration and Ection Resources Management, 1989:1-5.
- [31] USEPA. Voluntary national guidelines for management of onsite and clustered(decentralized) wastewater treatment systems[M]. Washington D C: Office of Water, 2003:15-16.
- [32] USEPA. Tools, training, and technical assistance for small and rural wastewater systems[EB/OL]. (2021-09-15) [2022-02-28]. <https://www.epa.gov/small-and-rural-wastewater-systems/tools-training-and-technical-assistance-small-and-rural>.
- [33] USEPA. Handbook for managing onsite and clustered(decentralized) wastewater treatment systems: An introduction to management tools and information for implementing EPA's management guidelines (EPA 832-B-05-001)[M]. Cincinnati: Office of Water, 2005:18-19.
- [34] USEPA. Resources for small and rural wastewater systems[EB/OL]. (2020-09-23) [2022-02-28]. <https://www.epa.gov/small-and-rural-wastewater-systems/resources-small-and-rural-wastewater-systems>.
- [35] OLSON K, GUSTAFSON D, LIUKKONEN B. Septic system: Owner's guide[M]. Twin Cities: University of Minnesota Extension Service, 1997:1-24.