

农村生活污水治理成效评估体系研究与应用

严寒

(上海碧波水务设计研发中心有限公司, 上海市 200233)

摘要: 根据国家推动生态文明建设和实现绿色低碳发展的战略目标,选取上海市某地区80座农村生活污水处理设施作为研究对象,采用资料调研和现场试验的方式,从处理效率、出水水质、成本3个方面,确定了负荷率、单位电耗、单位药耗、出水水质达标率、年度户均运维成本等指标的评分标准和治理成效的5级评估体系。评估结果表明:研究对象的负荷率为71.9%,单位电耗为1.3 kW·h,单位药耗为35 mg/L,出水水质达标率为89%,年度户均运维成本为530元/户;研究对象的治理成效处于“良好”水平,但因其工艺迭代选择突出水质,选用了较多运维技术要求高、运维成本高的工艺,因此对标绿色生态和降本增效理念,农村生活污水治理技术路线尚有待优化。

关键词: 农村生活污水治理;评估体系建立;指标量化评估;降本增效;案例分析

中图分类号: TU992.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)04-0140-05

Research and Application of Rural Domestic Sewage Treatment Effectiveness Evaluation System

YAN Han

(Shanghai Bibo Water Design and Research Center Co., Ltd., Shanghai 200233, China)

Abstract: According to the national strategic goal of promoting ecological civilization construction and realizing green and low-carbon development, taking 80 rural domestic sewage treatment facilities in an area of Shanghai as the research cases, the ways of data research and field experiments are used to determine the five-level evaluation system of scoring criteria and treatment effectiveness for the load rate, unit power consumption, unit chemical consumption, effluent quality up to standard rate and annual average household operation and maintenance cost from three aspects of treatment efficiency, effluent quality and cost. The evaluation result shows that the load rate of the studied object is 71.9%, the unit power consumption is 1.3 kW·h, the unit chemical consumption is 35 mg/L, the effluent quality up to standard rate is 89%, and the annual average household operation and maintenance cost is 530 yuan/household. The treatment effectiveness of the studied object is at the “good” level. However, because of its process iteration, the selection highlights the water quality. Many processes with high operation and maintenance requirements and high operation and maintenance costs are selected. Therefore, for the concept of green ecology and cost reduction and efficiency, the technical route of rural domestic sewage treatment needs to be optimized.

Keywords: rural domestic sewage treatment; establishment of evaluation system; quantitative evaluation of indicators; cost reduction and efficiency promotion; case analysis

0 引言

我国农村地区具有分布广泛、地形复杂、经济发展水平参差、生活污水排放特征多样以及基础设施建设相对滞后等特点^[1]。农村生活污水治理对助力农村环境综合整治和落实乡村振兴战略至关重要。

从21世纪初开始,国家发布了一系列政策文件,积极实施农村生活污水治理工程来改善农村环境质量。2015年,随着《水污染防治行动计划》^[2]的发布,农村污水治理作为实现农村环境整治目标的重要组成部分被明确提出,农村生活污水治理步入快车道。近年来,农村生活污水治理工作得到较大进展,截至2024年6月份,全国农村生活污水治理(管控)率已超过45%,农村污水随意排放的现象得到了显著改善^[3]。但仍存在重视程度不够、机制体制不全、技术不适用等突出问题和挑战,属于农村人居环境整治工作的薄弱环节之一^[4-8]。

收稿日期: 2024-12-25

基金项目: 上海市2021年度“科技创新行动计划”科技支撑碳达峰碳中和专项(第一批)项目(21DZ1209905)

作者简介: 严寒(1992—),女,硕士,工程师,从事排水规划研究工作。

根据2023年生态环境部和农业农村部《关于进一步推进农村生活污水治理的指导意见》(环办土壤〔2023〕24号),农村地区污水治理的核心在于实现“三基本”:基本看不到污水横流,基本闻不到污水臭味,基本听不到村民怨言^[9],根据最新的国家要求,对农村生活污水的治理成效进行定期评估是未来工作趋势^[10]。传统的污水治理成效评估方法往往侧重于考量单一的水质指标或简单的工程技术参数,难以全面、系统地反映农村生活污水治理在环境效益、社会效益、经济效益以及技术可行性等多个维度的综合成效^[11-12]。此外,不同地区农村的自然条件、人口分布、污水治理模式存在一定差异^[13-14],建立因地制宜、分类指导的评估体系可为制定针对性强、切实有效的农村生活污水治理政策和措施提供可靠依据^[15-16]。

近年来,尽管国内外在环境评估领域已经开展了大量的研究工作,并取得了丰硕的成果^[17-19],但针对农村生活污水治理这一特定领域的成效评估体系研究仍处于探索和完善阶段。由于存在指标过于笼统或过于繁杂的问题^[20-22],导致评估结果的准确性和实用性不够强。当前,统筹好环境效益和经济效益,因地制宜推进农村生活污水生态和简便处理,是符合国家生态、绿色和低碳要求的具体措施之一^[23]。本研究通过深入调研分析、广泛收集数据、运用科学合理的统计分析和模型构建方法,从处理效率、出水水质、成本3个方面构建了一套具有代表性和可量化,且操作简便实用的农村生活污水治理成效评估体系,并以上海市某地区农村生活污水治理为案例来验证该评估体系的有效性和可靠性,达到科学衡量治理工作的实际效果、及时发现存在的问题与不足、合理优化治理策略以及有效配置资源的目的。深入开展农村生活污水治理成效评估体系的研究,并将其广泛应用于实际治理工作中,对于提升农村生活污水治理水平具有重要的理论和实践价值。

1 研究方法

1.1 指标选取原则

农村生活污水治理成效评估应遵循设施运行稳定高效、环境治理效果明显、运行成本可控,能源物耗低等原则^[24]。为了全面和客观地评价农村生活污水的处理效能,需要在对农村生活污水处理设施的处理技术、处理能力和设计规范等方面进行详细统计和分析的基础上,收集设施实际处理水量、用电

量、药剂使用量、运维成本等数据。采用定量方式构建评估指标体系,考虑到评估的可操作性,在设置一级指标的基础上进一步设置一级指标所对应的可考核评估指标的评分标准,最终形成可评级的指标体系^[25-26]。本研究的一级指标包括处理效率、出水水质和成本,分别对应设施的运行效果、环境效益和经济效益。其中,处理效率由负荷率、单位电耗和单位药耗综合评判。在选择评估指标时,要确保评估工作的实际操作性和便捷性,从可监测检测的运行数据出发,定量评判治理成效。

1.2 评估数据的获取途径与方法

1.2.1 资料收集和整理

设计文件:收集处理设施的原始设计图纸、设计说明书、工艺流程图等,了解其设计水质水量、采用的处理工艺和技术参数等信息。

建设资料:查阅工程竣工报告,验收文件、设备采购清单和安装调试记录等,掌握设施的建设过程、设备型号和规格、施工质量情况等。

运维记录:获取设施的日常运行记录、设备维护保养记录、水质监测报告、电费及药剂费支出凭证等,分析其运行时间、处理水量、设备运行状况、水质变化趋势以及运维成本等。

环境影响评价文件:查看处理设施的环境影响评价报告和批复文件,了解其对周边环境的影响预测及环保要求。

1.2.2 现场勘查与检测

设施外观与结构检查:对污水处理构筑物(如格栅井、调节池、生物反应池、沉淀池、消毒池等)进行外观检查,查看池体是否有裂缝、渗漏、变形等情况;检查各构筑物之间的连接管道是否完好,有无破损、堵塞、脱节等问题。

设备运行状况检查:实地查看各类污水处理设备的运行状态,检查设备的外观是否有损坏、腐蚀、生锈等现象;倾听设备运行声音,判断是否有异常振动、噪声;查看设备的运行参数是否正常,与设备的额定参数进行对比分析。

电气与自动化系统检查:检查处理设施的电气系统,包括配电箱、配电柜、电线电缆、照明设施等,查看是否存在电气线路老化、破损、短路、断路等安全隐患;检查自动化控制系统的硬件设备是否完好,软件系统是否正常运行,能否实现对污水处理过程的自动控制、监测和报警功能。

水质采样与检测:必要时,在污水处理设施的进

水口、排放口分别采集水样,依据相关标准和规定,进行水质检测时,主要关注的检测参数包括化学需氧量、总磷、总氮、氨氮、悬浮物、pH值等,据此分析处理设施的实际处理效果,评估出水水质是否达标排放。

1.2.3 运行成本核算

调查处理设施的运维资金来源渠道以及资金投入情况,分析运维资金是否充足,能否保障设施的正常运行。调查设施过往的电费、药剂费、设备维修更换费用、人员工资等运维成本,分析成本构成与变化趋势,为更新改造后的成本控制提供参考。

2 评估体系

2.1 评估指标的确定

农村生活污水治理评估体系由3项一级评价指标和分解细化的5项二级评价指标构成,如表1所列。处理效率由负荷率、单位电耗、单位药耗等指标表征。负荷率是指在一定评估期间内,农村生活污水处理设施实际处理的水量与其设计处理能力的比值,以百分比形式表示。单位电耗和单位药耗是指评估周期内实际处理单位污水量所消耗的电量 and 药剂用量。处理效率的计算见式(1)~(3)。出水水质达标率用评估周期内抽检出水水质达标次数占抽检总次数的百分比来表征,见式(4)。年度户均运维成本用设施年度运维成本与设施服务户数的比值来表征,见式(5)。

表1 评估指标

类别	指标	释义
处理效率	负荷率/%	实际处理水量/设计水量
	单位电耗/(kW·h·m ⁻³)	用电量/实际处理水量
	单位药耗/(mg·L ⁻¹)	药剂用量/实际处理水量
出水水质	出水水质达标率/%	达标次数/检测次数
成本	年度户均运维成本/(元·户 ⁻¹)	年度运维成本/服务户数

(1)负荷率:

$$X_1 = \frac{\sum_{i=1}^t Q_{\text{dai}}}{\sum_{i=1}^t Q_{\text{dai}}} \tag{1}$$

式中: X_1 为负荷率,%; Q_{dai} 为评估周期内的实际日处理水量,m³/d; Q_{dai} 为设计水量,m³/d; t 为评估周期天数,d。

(2)单位电耗:

$$X_2 = \frac{\sum_{i=1}^t E_{\text{dai}}}{\sum_{i=1}^t Q_{\text{dai}}} \tag{2}$$

式中: X_2 为单位电耗,kW·h/m³; E_{dai} 为评估周期内的实际日电耗,kW·h。

(3)单位药耗:

$$X_3 = \frac{\sum_{i=1}^t M_{\text{dai}}}{\sum_{i=1}^t Q_{\text{dai}}} \tag{3}$$

式中: X_3 为单位药耗,mg/L; M_{dai} 为评估周期内的实际日药耗,g。

(4)出水水质达标率:

$$X_4 = \frac{t_1}{t_2} \tag{4}$$

式中: X_4 为出水水质达标率,%; t_1 为在评估周期内,出水水质达到标准的次数,次; t_2 是指在评估周期内,总共进行的水质检测次数,次。

(5)年度户均运维成本:

$$X_5 = \frac{P_0}{H} \tag{5}$$

式中: X_5 为年度户均运维成本,元/户; P_0 为设施的年度运维成本,元; H 为设施的服务户数,户。

2.2 评估标准及等级划分

评估总得分由处理效率、出水水质、成本得分情况综合评判,见式(6);3项总分分别为40、40、20分,合计100分。其中:处理效率中负荷率30分、单位电耗5分、单位药耗5分。各指标分数值如表2所示。

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 \tag{6}$$

式中: F 为总得分; F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 分别为负荷率、单位电耗、单位药耗、出水水质达标率、年度户均运维成本的得分。

农村污水处理设施的运行效果评估划分成5个级别,分别为优秀、良好、一般、较差、差。农村污水处理设施的治理成效评价等级分类如表3所示。

3 应用案例分析

3.1 应用案例概况

上海市农村生活污水治理率位于全国领先水平^[27]。至2023年底,农村生活污水治理率达97%。据统计,就地农村生活污水处理设施总设计处理能力约为11万m³/d,MBR和A/A/O工艺占比较高。从设施布局、处理技术、处理能力、设计标准等维度出发,从上海市某地区农村生活污水处理设施中选取80座设施作为研究对象,利用本研究确定的评估方法,对其运行效率、出水水质、成本进行综合评估,找出存在问题并提出相应的评估建议。评估对象的处理工艺包括MBR工艺、A/A/O工艺、生物滤池工艺、

表 2 指标评分标准

一级指标	二级指标	指标编码	评分标准	分数	满分
处理效率	负荷率/%	X_1	$X_1 < 60$	$F_1=18$	30
			$60 \leq X_1 < 70$	$F_1=21$	
			$70 \leq X_1 < 80$	$F_1=24$	
			$80 \leq X_1 < 90$	$F_1=27$	
			$90 \leq X_1 \leq 100$	$F_1=30$	
	单位电耗/($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$)	X_2	$X_2 \geq 2.00$	$F_2=1$	5
			$1.50 \leq X_2 < 2.00$	$F_2=2$	
			$1.00 \leq X_2 < 1.50$	$F_2=3$	
			$0.50 \leq X_2 < 1.00$	$F_2=4$	
			$X_2 < 0.50$	$F_2=5$	
	单位药耗/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	X_3	$X_3 \geq 60$	$F_3=1$	5
			$40 \leq X_3 < 60$	$F_3=2$	
			$20 \leq X_3 < 40$	$F_3=3$	
			$10 \leq X_3 < 20$	$F_3=4$	
			$X_3 < 10$	$F_3=5$	
出水水质	出水水质达标率/%	X_4	$X_4 < 60$	$F_4=20$	40
			$60 \leq X_4 < 70$	$F_4=25$	
			$70 \leq X_4 < 80$	$F_4=30$	
			$80 \leq X_4 < 90$	$F_4=35$	
			$90 \leq X_4 \leq 100$	$F_4=40$	
成本	年度户均运维成本/($\text{元} \cdot \text{户}^{-1}$)	X_5	$X_5 \geq 700$	$F_5=12$	20
			$600 \leq X_5 < 700$	$F_5=14$	
			$500 \leq X_5 < 600$	$F_5=16$	
			$400 \leq X_5 < 500$	$F_5=18$	
			$X_5 < 400$	$F_5=20$	

表 3 评价等级划分

总得分	等级
$F \geq 90$	优秀
$80 \leq F < 90$	良好
$70 \leq F < 80$	一般
$60 \leq F < 70$	较差
$F < 60$	差

接触氧化工艺、土壤渗滤工艺等,其中 MBR 和 A/A/O 工艺的设施量占比约 70%,设施的平均设计规模为 $20 \text{ m}^3/\text{d}$ 。评估周期为 100 d(2024 年 1 月中旬至 4 月底)。

3.2 案例评估结果

3.2.1 处理效率

研究对象的负荷率为 71.9%。为进一步掌握样本的污水处理水量特征,本研究测算了研究对象的日变化系数 K ($K=\text{最大日流量}/\text{日均流量}$)。由于农村生活污水处理设施水量日变化系数受降雨影响较大,在采用实测法进行污水量变化系数计算时去除了降雨日的数据影响^[28],得到研究对象的日变化系

数为 3.8,表明地区水量波动较大,对设施稳定运行存在一定影响^[29]。研究对象的吨水电耗为 $1.3 \text{ kW} \cdot \text{h}$,其中 MBR 和 A/A/O 的耗电量明显高于其他工艺。农村生活污水处理设施由于其规模较小,导致在操作过程中对污泥回流比等关键参数的控制存在一定难度,从而影响了处理效果的稳定性,因此往往需要通过添加化学药剂,如除磷剂等来辅助处理以达到更好的效果^[30]。经统计,研究对象的吨水药耗为 35 mg/L 。

3.2.2 出水水质

经检测,研究对象的进水浓度特异性、差异性较大,但整体处理效果较好,化学需氧量、氨氮、总氮、总磷和悬浮物的出水平均浓度分别为 11.6、1.1、7.0、0.5、4.1 mg/L 。根据上海市《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB31/T 1163—2019)进行评价,出水水质达标率为 89%,不达标因子主要为总磷和总氮。

3.2.3 成本

研究对象的年度运维费用为 530 元/户,主要包括管网运维费、站点运维费、电费和维修费用(主要用于管网大修、设备更换等),4 类费用占总数的比例分别为 46%、27%、19% 和 8%。从工艺来看,MBR 的维护成本偏高,设施站点的运维费用为生态型工艺的 4~5 倍。

3.3 评估结果及建议

采用本研究确定的评估方法,得到研究对象负荷率为 71.9%,得 24 分;单位电耗为 $1.3 \text{ kW} \cdot \text{h}$,得 3 分;单位药耗 35 mg/L ,得 3 分;出水水质达标率为 89%,得 35 分;年度户均运维成本为 530 元/户,得 16 分。总得分为 81 分,评价等级为“良好”。

从评估结果来看,研究对象的出水水质达标情况良好,但处理效率和成本的表现有待提高。上海市某地区农村生活污水治理工艺迭代选择突出水质,选用了较多运维技术要求高、运维成本高的工艺,对标绿色生态和降本增效理念,治理水平尚有进步空间。

下一步,建议针对农村地区不同的居住特征、用水习惯、生态资源禀赋,因地制宜,分类施策,优化调整农村生活污水治理技术路线,实现农村生活污水有效治理管控,进一步提升治理的绩效水平。治理路径优化的过程中需遵循以下原则:

(1)因地制宜原则。综合考虑农村地区的自然环境、经济条件、居民分布和日常习惯等要素,挑选

出适合当地实际情况的污水处理技术和工艺,以保障污水处理设施的实用性并适应当地需求。

(2)技术适用与可靠性原则。采用成熟、可靠的污水处理技术和设备,确保设施能稳定正常运行,同时考虑技术的前瞻性和可扩展性,便于设施的后期更新改造。

(3)经济合理性原则。在满足运行管理要求和处理效果的前提下,合理控制工程投资和运维成本,优化设计方案,提高资金的使用效率,减轻农村地区的经济负担。

(4)资源利用与节能减排原则。注重污水、污泥的资源化利用,减少能源消耗和污染物排放,实现节能减排和循环发展。

(5)运维简便与长效管理原则。设施设备应设计简单、易于操作和维护;同时建立健全长效的运行管理机制和专业养护力量。

4 结 语

(1)为科学衡量治理工作的实际效果、及时发现存在的问题与不足、合理优化治理策略以及有效配置资源,根据国家关于农村生活污水治理“三基本”的最新要求,本研究采用了定量方式从处理效率、出水水质、成本3个方面构建了一套具有代表性和可量化,且操作简便实用的农村生活污水治理成效评估体系,确定了负荷率、单位电耗、单位药耗、出水水质达标率、年度户均运维成本等指标的评分标准和5级评价等级。该方法可定量评价治理成效,有助于找出治理过程中存在的主要问题,为进一步提高污水治理水平提供方向。

(2)根据本研究确定的评估方法,得到上海市某地区80座农村生活污水处理设施的评价等级为“良好”。虽然设施的出水水质达标率较高,但设施的运行效率未达到预期目标,治理成本较高的问题比较突出。建议从维持设施正常运行角度出发,对照绿色低碳生态治理的转型要求,落实污水治理降本增效措施,科学合理地优化调整农村生活污水治理技术路线,因地制宜,注重实效,促进精细化监督和管理。

参考文献:

- [1] WANG Z, ZHANG L L. Demand analysis of rural domestic sewage treatment policy under the background of rural revitalization strategy[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 295(4): 042104.
- [2] 杜昱,丁西明,孙月驰,等.《水污染防治行动计划》对水处理领域

的影响[J]. 环境卫生工程, 2018, 26(2): 76-79.

- [3] 刘趁. 农业农村污染治理攻坚战成绩亮眼[N/OL]. 农民日报, 2024-11-13[2025-01-05]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1806691582662012802&wfr=spider&for=pc>.
- [4] 车璐璐,何军,王夏晖,等.我国农村生活污水治理问题研究[J]. 环境保护, 2024, 52(1): 39-43.
- [5] 贺玉晓,杨璐,任玉芬,等.农村生活污水治理存在问题及对策[J]. 市政技术, 2023, 41(10): 7-15.
- [6] 粟爱民.农村生活污水治理问题及对策分析[J]. 清洗世界, 2022, 38(5): 76-78.
- [7] 廖艺惠,程晓琼,邱进,等.农村生活污水治理现状与对策探讨[J]. 安徽化工, 2024, 50(4): 95-99.
- [8] 周妹伶.乡村振兴背景下广安市农村生活污水治理存在的问题及对策[J]. 乡村科技, 2021, 12(10): 105-106.
- [9] 程晓娜,黄辉.乡村振兴背景下农村生活污水治理研究[J]. 农业开发与装备, 2024(11): 22-24.
- [10] 梁文伯,徐佳莹,杨小丽,等.农村生活污水研究热点及主题演进的可视化分析[J]. 净水技术, 2023, 42(4): 14-22; 78.
- [11] 卢昶雨,涂成琪,刘星,等.农村生活污水处理设施出水排放对湖荡水质影响分析[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2022, 48(2): 92-99, 104.
- [12] 胡昕晔.上海市农村生活污水治理出水水质管理现状和对策[J]. 水资源开发与管理, 2023, 9(6): 18-21; 80.
- [13] 高生旺,黄治平,夏训峰,等.农村生活污水治理调研及对策建议[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 276-282.
- [14] 余佳龙,余晓燕.农村生活污水处理设施长效运维管理模式分析[J]. 现代农业科技, 2015(9): 223-225.
- [15] 何梓叶.农村生活污水治理政策落实跟踪绩效审计评价指标体系构建研究[D].保定:河北大学, 2024.
- [16] 周鸿,刘韵秋,杨凯,等.我国农村生活污水治理政策法律体系发展现状与建议[J]. 环境保护, 2022, 50(13): 54-59.
- [17] 苗琪,曹亚斌.中国农村人居环境评估研究[J]. 江西农业学报, 2022, 34(8): 226-231.
- [18] 张娟,郑春华.生态文明建设背景下农村环境治理研究[J]. 环境科学与管理, 2019, 44(1): 157-161.
- [19] 丁少洪.我国农村生态环境评估与可持续发展战略思考[J]. 文史博览(理论), 2009(6): 55-56.
- [20] 王慧敏.乡村振兴背景下农村生活污水治理绩效审计评价研究[D].兰州:兰州财经大学, 2023.
- [21] 唐显枝,宋福忠,张韵,等.农村生活污水治理评价指标体系构建[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2021, 23(2): 121-124.
- [22] 白雪,耿凯,潘新星,等.层次分析法在农村生活污水处理工艺评价中的应用[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2013, 25(3): 13-16.
- [23] 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.
- [24] GB/T 40201—2021,农村生活污水处理设施运行效果评价技术要求[S].
- [25] 黄进,王俊安,赵雪莲,等.农村生活污水处理设施运行效果评价技术标准研究[J]. 标准科学, 2020(7): 104-109.
- [26] 曾超,叶书栋,王淑君.农村环境整治成效评估体系要点研究:以广东省为例[J]. 环境生态学, 2024, 6(7): 118-122.
- [27] 李瑜,蒋增辉.上海农村生活污水治理标准体系构建[J]. 净水技术, 2023, 42(12): 103-109.

(下转第159页)