

述评与讨论

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2025. 20. 001

广东省农村生活污水治理成效评估体系构建及应用

林彰文, 苏闯建, 张永波, 王大扬, 戴同威
(广东省环境科学研究院, 广东 广州 510045)

摘要: 为精准评价农村生活污水治理成效,基于层次分析法-模糊综合评价法构建农村生活污水治理成效评估体系。同时选择农村生活污水治理常用的建设处理设施、纳入污水处理厂和资源化利用模式开展应用研究,通过变异系数考察各评价指标打分的差异性,基于差异性贡献度量化各评估指标打分差异性对治理成效评价一致性的影响程度及规律。评价结果证实,基于层次分析法-模糊综合评价法构建的评估体系具有可行性,可作为评估农村生活污水治理成效的工具。鉴于管网建设规范性、管网运行情况、设施运行情况、受纳体选用规范性、资源化利用路径完整性对治理成效评估体系评价结果一致性的影响较大,建议评估过程中对上述指标投入更多关注。

关键词: 农村生活污水; 变异系数; 差异性贡献度; 治理成效评估体系

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2025)20-0001-09

Construction and Application of Evaluation System for Rural Domestic Sewage Treatment in Guangdong Province

LIN Zhang-wen, SU Chuang-jian, ZHANG Yong-bo, WANG Da-yang, DAI Tong-wei
(Guangdong Provincial Academy of Environmental Science, Guangzhou 510045, China)

Abstract: To accurately evaluate the effectiveness of rural domestic sewage treatment, this study develops an evaluation system based on the analytic hierarchy process (AHP) -fuzzy comprehensive evaluation method. Commonly used construction facilities, sewage treatment plant designs, and resource utilization models for rural domestic sewage treatment were selected for application research, and the differences in scores for each evaluation index were analyzed using the coefficient of variation. The influence and pattern of score differences for each evaluation index on the consistency of treatment effectiveness evaluation were quantified based on the contribution of each difference. The results confirm that the evaluation system based on AHP-fuzzy comprehensive evaluation method can be used as a feasible tool to evaluate the effectiveness of rural domestic sewage treatment. Given that network construction norms, network operation conditions, facility operation conditions, acceptor selection standardization, and resource utilization path integrity have a great impact on the consistency of the evaluation results of the evaluation system, it is suggested that greater attention should be given to the scoring process of these indicators.

Key words: rural domestic sewage; variation coefficient; differentiated contribution degree;

基金项目: 广州市农村生活污水治理项目(XMHT-2023-NC-KY326); 广东省农村生活污水治理高质量发展技术支撑项目(XMHT-2024-NC-KY069)

通信作者: 张永波 E-mail: 80657508@qq.com

evaluation system for treatment effectiveness

农村生活污水治理是农村人居环境整治的重要内容,是深入打好污染防治攻坚战的重要举措,对于促进乡村生态振兴,农村生态文明及美丽乡村建设具有重要意义。近年来,我国持续推进农村生活污水治理攻坚工作,农村生活污水治理水平不断提高^[1-4]。然而,各地科学确定农村生活污水治理成效的评判标准尚未完善,且多采用模糊、定性的评价,同时评估人员主观判断偏差会直接影响评估农村生活污水治理成效的准确性,进而对设施规划建设、强化运维管护、提升综合成效等带来偏差。因此,基于当前农村生活污水治理形势,建立一套科学、合理且相对精准的农村污水治理成效评价体系极为必要。

鉴于层次分析法(AHP)和模糊综合评价法的优势,已有学者将AHP和模糊综合评价法用于农村生活治理领域的评估并取得良好的效果。但目前的研究主要集中于通过计算评估体系综合得分来优选农村生活污水治理技术^[5-8],对于不同场景下评估体系评分的一致性和各评估指标对评估体系综合得分一致性的影响及作用规律还鲜有报道。因此,有必要针对农村生活污水治理成效科学评估的需求,基于AHP-模糊综合评价法建立评估体系,考察该体系评估治理成效的一致性以及各评估指标对治理成效得分一致性的影响规律,推进指标评估体系在农村生活污水治理成效评估领域的应用。

1 农村生活污水治理成效评估体系构建

1.1 构建思路

在全面掌握广东省自然村生活污水治理成效评估要素的基础上,进一步科学确定治理成效评判基本标准的内涵,通过构建复合型综合评价指标体系的策略,对农村生活污水治理主要采用的3种模式——建设处理设施、资源化利用和纳入污水处理厂治理成效进行评价。

基于国家、广东省以及其他省份现有的关于农村生活污水治理成效评价的相关指标体系、指导意见、政策文件要求以及相关的研究文献报道等,评估建设处理设施模式成效时核查污水收集、处理、运维管理及村民满意度等情况,评估纳入城镇污水处理厂模式成效时核查污水收集、处理及村民满意

度等情况,评估资源化利用模式成效时核查污水资源化与有效管控利用基本条件符合情况及村民满意度等。

结合现场评估农村生活污水治理常见3种治理模式的实际情况,首先围绕治理工程完善度、规范性、运转情况、维护情况、环境改善成效5个方面初步设置基础评估指标,建立农村生活污水治理成效评估基础指标库。其次,以改变农村生活污水造成的脏乱差和环境污染状况,杜绝未经处理直排环境为导向,以因地制宜、建管并重为原则,围绕上述5个方面分别设置具体评估指标。建设处理设施模式重点关注设施和管网建设规范性、设施运行成效和运维情况,因此,治理成效评估过程中,重点关注的评估指标为设施完整度、管网完整度、村庄接户率、设施建设规范性、管网建设规范性、设施工艺与标准匹配度、设施运行情况、管网运行情况、设施和管网运行维护情况、运维保障情况、村庄人居环境改善情况、村民满意度。纳入污水处理厂治理评估过程中关注的指标为管网完整度、村庄接户率、管网建设规范性、污水厂建设规范性、管网运行情况、污水厂运行情况、管网运行维护情况、运维保障情况、村庄人居环境改善情况、村民满意度。资源化利用成效评估重点关注资源化利用基础条件、利用路径及消纳利用情况。因而,资源化利用成效评估过程中重点关注的指标为资源化利用路径完整度、管网完整度、村庄资源化利用覆盖率、预处理措施选用规范性、接纳体选用规范性、配套设施设备运转情况、接纳体运转情况、治理措施运行维护情况、运维保障情况、村庄人居环境改善情况、村民满意度。基于上述指标,确定了农村生活污水治理成效评估指标及评估体系,并针对农村生活污水治理常用的3种模式开展治理成效评估方法应用研究,以验证评估体系的可行性及其评估过程中需关注指标。

1.2 评估体系及指标权重

针对3种主要的治理模式确定了广东省农村生活污水治理成效评估指标体系,具体如表1所示。建设处理设施模式构建“1、5、12”三个层次指标体系,即1个目标、5个一级指标、12个二级指标;纳入

污水处理厂模式构建“1、5、10”三个层次;资源化利用模式构建“1、5、11”三个层次。在3种治理模式治理成效评估指标体系构建过程中,一级指标分别围绕治理工程完善度、规范性、运转情况、维护情况、环境改善成效5个维度进行设置,而二级指标因治理模式的不同存在较大差异。

评估指标体系中各评估指标的权重通过1~9标度法进行确认^[9],具体做法如下:邀请熟悉农村生活污水治理领域的专家进行评分。这些专家分别来自相关职能管理部门、环境科学研究院、高等院校、设计单位等,均为直接从事农村生活污水管理、咨

询、设计等一线专业人员及技术专家。其中,直接从事农村生活污水管理专业人员5人,从事农村生活污水治理咨询专家9人,从事农村生活污水治理设施设计的专业技术人员6人。专家按照1~9标度法对评价体系中各对应指标进行两两比较,从而对每个指标的相对重要程度作出判断并赋值,然后整合所有专家两两对比的评判结果,构建判断矩阵。接着计算出判断矩阵的最大特征值及对应特征向量,并对后者进行归一化处理得到各指标的权重系数。最后,对判断矩阵开展一次性检验,直至满足一致性要求。

表1 农村生活污水治理成效评估指标

Tab.1 Evaluation indicators for the effectiveness of rural domestic sewage treatment

目标层	一级指标	二级指标	一级指标权重	二级指标权重	综合权重
建设处理设施模式治理成效评价体系	治理工程完善度	设施完整度	0.219 4	0.338 2	0.074 2
		管网完整度		0.323 6	0.071 0
		村庄接户率		0.338 2	0.074 2
	治理工程规范性	设施建设规范性	0.221 6	0.384 6	0.085 2
		管网建设规范性		0.397 7	0.088 1
		设施工艺与标准匹配度		0.217 7	0.048 2
	治理工程运转情况	设施运行情况	0.236 0	0.526 1	0.124 1
		管网运行情况		0.473 9	0.111 8
	维护情况	设施、管网运行维护	0.149 5	0.585 7	0.087 5
		运维保障情况		0.414 3	0.061 9
	环境改善成效	村庄人居环境改善情况	0.173 6	0.600 2	0.104 2
		村民满意度		0.399 8	0.069 4
纳入污水处理厂模式治理成效评价体系	治理工程完善度	管网完整度	0.244 6	0.511 2	0.125 0
		村庄接户率		0.488 8	0.119 5
	治理工程规范性	管网建设规范性	0.238 8	0.649 7	0.155 2
		污水厂建设规范性		0.350 3	0.083 6
	治理工程运转情况	管网运行情况	0.201 0	0.641 8	0.129 0
		污水厂运行情况		0.358 2	0.072 0
	维护情况	管网运行维护情况	0.150 6	0.577 5	0.087 0
		运维保障情况		0.422 5	0.063 6
	环境改善成效	村庄人居环境改善情况	0.165 0	0.651 6	0.107 5
		村民满意度		0.348 4	0.057 5
资源化利用模式治理成效评价体系	治理工程完善度	资源化利用路径完整性	0.219 5	0.415 6	0.091 2
		管网完整度		0.262 6	0.057 6
		村庄资源化利用覆盖率		0.321 8	0.070 7
	治理工程规范性	预处理措施选用规范性	0.234 8	0.458 6	0.107 7
		受纳体选用规范性		0.541 4	0.127 2
	治理措施运转情况	配套设施设备运转情况	0.229 6	0.439 8	0.101 0
		受纳体运转情况		0.560 2	0.128 6
	维护情况	治理措施运行维护情况	0.136 5	0.591 3	0.080 7
		运维保障情况		0.408 7	0.055 8
	环境改善成效	村庄人居环境改善情况	0.179 6	0.572 1	0.102 7
		村民满意度		0.427 9	0.076 8

1.3 评估等级赋值

结合专家意见、文献报道、资料查阅以及现场调研,将各项评估指标设定为“优、良、一般、较差、

差”5个等级,分别赋分100、80、60、40、20,介于两相邻等级之间的可以根据实际情况取中间值。由此建立的评估指标标准如表2所示。

表2 农村生活污水治理成效评估指标评价标准

Tab.2 Evaluation criteria for evaluation indicators of rural domestic sewage treatment effectiveness

评价指标	优(100分)	良(80分)	一般(60分)	较差(40分)	差(20分)
设施完整度	完好、无损伤	基本完好、无损伤	略有损伤,但不影响设施功能	有一定损伤,已影响设施功能	损伤严重或缺失,严重影响设施功能
管网完整度	完好、无损伤	基本完好、无损伤	局部有损伤,总体上不影响管网功能	略有损伤,但不影响管网功能	缺损严重,严重影响管网功能
管网覆盖与接户情况	应收尽收,90%以上接户率	基本应收尽收,80%以上接户率	大部分应收尽收,60%以上接户率	部分应收尽收,或40%以上接户率	少部分应收尽收,或接户率低于40%
设施建设规范性	规范	基本规范	大部分规范	不太规范,影响设施功能	不规范,严重影响设施功能
管网建设规范性	规范	基本规范	大部分较规范	不太规范,部分管网问题突出	不规范,部分村庄管网问题严重
设施工艺与标准匹配度	匹配	基本匹配	大体匹配	不太匹配	严重不匹配
设施运行情况	正常	基本正常	一般,进、出水水质不是很正常	差,进、出水水质存在异常	不正常,进、出水水质明显异常
管网运行情况	正常	基本正常	一般,局部出现问题	较差,出现明显问题	差,出现严重问题
设施、管网运行维护情况	到位	基本到位,小部分运维不到位	一般,局部存在运维不到位现象	较差,运维不到位现象普遍	缺失,设施区域杂草丛生,管网污水溢流等问题突出
运维保障情况	运维人员、资金等明确且充分落实,长效运维完全保障	运维人员、资金等明确且基本落实,长效运维基本保障	运维人员、资金等未充分落实,长效运维保障不充分	运维人员、资金等基本未落实,长效运维难以保障	运维人员、资金等未落实,长效运维完全无法保障
村庄人居环境改善成效	未见污水流淌或积存,人居环境好	基本未见污水流淌或积存,人居环境较好	偶尔见到污水流淌或积存,人居环境相对一般	污水流淌或积存较为明显,人居环境相对较差	污水横流与积存明显,人居环境差
村民满意度	村民无怨言,问卷满意度90%以上	村民怨言少,问卷满意度80%~90%	村民基本无怨言,问卷满意度60%~80%	村民略有怨言,问卷满意度50%~60%	多数村民不满意,问卷满意度低于50%
污水厂建设规范性	完全规范	基本规范	规范性一般,运行存在一定问题	规范性较差,运行存在较大问题	不规范,严重影响污水厂的运转
污水厂运行情况	运行完全正常	运行基本正常	运行一般	运行较差,经常停运	大部分时间运行不正常
资源化利用路径完整性	完整且清晰明确	基本完整、清晰	大体完整清晰,但个别环节有问题	不太清晰、不太完整,部分环节存在问题	不完整
村庄资源化利用覆盖率	90%以上	80%以上	60%以上	40%以上	不足40%
预处理措施选用规范性	规范	基本合理、规范	总体合理、大体规范	总体不太合理,或不太规范	选用基本不合理,或不规范
受纳体选用规范性	合理且规范	基本合理规范	总体合理且规范	总体不太合理,或布水也不太规范	基本不合理,或布水不规范
配套设施设备运转情况	正常	基本正常	一般	差	不正常
受纳体运转状态	正常且保持生态循环,无黑臭等情况	基本正常	一般,存在小部分受纳体黑臭等情况	相对较差,存在部分受纳体黑臭等情况	差,存在较多受纳体黑臭等情况

1.4 模糊综合评价模型

首先通过层次分析法确定评估指标及对应权重,然后在黄辉等^[10]构建的多级模糊综合评价法基础上,建立模糊综合评价方法,将治理成效定性评估转化为定量评估。模糊综合评价法的构建步骤如下:

① 基于选定的评价指标,将影响治理成效总体评价的 n 个一级指标建立指标集 $V=[V_1, V_2, V_3, \dots, V_n]$,即一级指标集矩阵,各一级指标评价矩阵分别记为 $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$;基于每个一级指标所涉及二级指标建立二级指标集矩阵,对于集合 $V_i=[V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}, \dots, V_{im}] (i=1, 2, \dots, n)$ 则表示第 i 层第 m 指标,即二级指标集矩阵。

② 基于一级指标及对应二级指标的权重,分别建立一级指标权重集 $A=(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n)$ 和对应二级指标权重集 $B=(B_1, B_2, B_3, \dots, B_m)$ 。

③ 利用专家打分确定各二级指标隶属度,进而得到隶属度矩阵 N_i ,再使用二级指标的权重 B 与隶属度矩阵 N_i 进行线性变换,获得一级指标评级集矩阵 R_i 。

④ 将每个一级指标评价集 R_i 合并组成一级指标模糊综合评价总集 R ,再把各一级指标权重集 A 和一级指标总集 R 进行矩阵乘法运算,进而得到农村生活污水治理成效评价集: $Q=AR$ 。

1.5 差异性贡献率

通过差异性贡献率量化各指标对治理成效打分一致性的影响,进而分析各指标对治理成效得分一致性的影响程度。各指标差异性贡献率计算方法如下:

$$T = \sum_{i=1}^{12} \alpha_i T_i \quad (1)$$

$$C_i = 100\alpha_i T_i / T \quad (2)$$

$$P = \sum_{i=1}^{10} \beta_i P_i \quad (3)$$

$$D_i = 100\beta_i P_i / P \quad (4)$$

$$M = \sum_{i=1}^{11} \gamma_i M_i \quad (5)$$

$$E_i = 100\gamma_i M_i / M \quad (6)$$

式中: T, P, M 分别为建设处理设施、纳入污水处理厂和资源化利用治理模式的累计差异性贡献度; C_i, D_i, E_i 分别为建设处理设施、纳入污水处理厂和资源化利用治理模式各指标对治理成效得分差

异性的贡献度; $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ 分别为建设处理设施、纳入污水处理厂和资源化利用治理模式各指标的权重; T_i, P_i, M_i 分别为建设处理设施、纳入污水处理厂和资源化利用治理模式各指标的变异系数。

2 农村生活污水治理成效评估体系应用分析

2.1 应用研究

将AHP-模糊综合评价法应用到农村生活治理成效评估中,可充分利用模糊综合评价的模糊性,降低主观因素的影响,并能够进一步定量评估农村生活治理成效。选取广东省农村生活污水治理常用的3种治理模式案例各1例,分别邀请5名相关专家按照建立的AHP-模糊综合评价体系对案例进行评估,探讨评价结果的一致性及其影响因素和规律,进而考察评估体系实际应用的潜力。

使用变异系数反映不同专家打分的离散程度,变异系数的大小同时受平均数和标准差两个统计量的影响,离散程度越低说明专家打分一致性越好,反之一致性较差^[11]。3种治理模式案例具体情况如下。

① 建设处理设施案例:某自然村建设一体化设施治理污水,处理工艺为生物膜法,建设主管网1 676 m,支管2 176 m,接户率约92%,设施出水执行广东省《农村生活污水处理排放标准》(DB44/2208—2019)的二级标准,设施出水排入沟渠。该处理设施已落实运维费用,通过第三方专业团队开展运维,并建立运维管理制度,做好日常维护和运维台账整理。

② 纳入污水处理厂治理案例:某村建设主管网4 080 m,支管920 m,接户率接近100%,污水接入市政污水管网纳入城镇污水厂集中处理,污水处理厂采用AAO生化池+矩形二沉池+砂滤池工艺。管网运维费用已落实,由排水公司专业人员按照建立的运维制度开展相关运行维护管理工作。

③ 资源化利用案例:某村采用联户资源化利用和单户资源化利用相结合的治理模式。对于联合利用,污水收集主渠长度约400 m,支管(含原水沟)长度600 m,污水预处理后在农田草地消纳利用;对于单户利用,污水分别流入各自屋前屋后的菜地、荒地。运维人员由村集体指定,运维费用主要来自村集体收入,运维制度已建立,并季度巡查、定期疏通。

2.2 治理工程完善度得分一致性分析

农村生活污水治理过程中,3种治理模式的治理工程完善度主要涉及资源化利用覆盖率、管网完整度、资源化利用路径完整性、村庄接户率和设施完整度等。评估过程中5位专家对上述指标的打分一致性情况如表3所示。整体而言,建设处理设施模式的村庄接户率评分一致性最好,变异系数仅为5.43%,而资源化利用路径完整性评分的一致性较差,变异系数达到13.58%。

表3 治理工程完善度得分一致性分析

Tab.3 Consistency analysis of management project perfection score

治理模式	评估指标	得分平均值/分	得分标准差/分	变异系数/%
资源化利用	管网覆盖率	6.22	0.59	9.49
	管网完整度	5.30	0.48	9.06
	利用路径完整性	7.66	1.04	13.58
纳入污水处理厂	村庄接户率	8.84	1.07	12.10
	管网完整度	9.25	1.12	12.11
建设处理设施	村庄接户率	6.08	0.33	5.43
	管网完整度	5.68	0.50	8.80
	设施完整度	6.97	0.66	9.47

相较于建设处理设施模式,纳入污水处理厂模式两项指标即村庄接户率及管网完整度评分一致性均较差。治理工程完善度评分过程中,对于设施完整度,需要围绕工艺设备、模块、结构等方面开展评估,涉及设施裂缝、锈蚀,设施管道、阀门损坏或渗漏,格栅损坏以及池体或设备损坏渗漏,池体或设备塌陷,湿地填料板结等问题。而对于管网完整度和村庄接户率,需要考察接户管破损、错接、漏接、混接,主管道破损,外水渗入,以及管网覆盖范围、主管损坏程度、灰水收集情况等问题。资源化利用路径需要考虑污水户内处理、输运过程、预处理设施以及接纳体选择等方面,涉及过程多、范围广。因此,在资源化利用路径完整性、管网完整度以及覆盖率评估过程中,不同专家打分存在一定的差异性,但整体打分的一致性良好。

2.3 治理工程规范性得分一致性分析

不同治理模式下治理工程规范性得分一致性情况如表4所示。可以看出,3种治理模式的治理工程规范性对应各指标得分的变异系数整体较大,说明专家对各指标的打分一致性有待提高。其中,打分一致性最好的指标是资源化利用模式的预处理

措施选用规范性,变异系数仅为6.52%。然而,打分差异最大的指标是纳入污水处理厂治理模式的管网建设规范性,变异系数达到14.27%。

表4 治理工程规范性得分一致性分析

Tab.4 Consistency analysis of management project normative score

治理模式	评估指标	得分平均值/分	得分标准差/分	变异系数/%
资源化利用	接纳体选用规范性	10.68	1.45	13.58
	预处理措施选用规范性	9.05	0.59	6.52
纳入污水处理厂	污水厂建设规范性	7.86	0.75	9.54
	管网建设规范性	10.86	1.55	14.27
	工艺与标准匹配度	4.24	0.40	9.43
建设处理设施	管网建设规范性	6.52	0.79	12.12
	设施建设规范性	7.67	0.85	11.08

对于建设处理设施和资源化利用模式,得分差异性最大的指标分别为管网建设规范性和接纳体选用规范性。管网规范性评估过程中,需要综合考虑是否存在未规范设置检查井、水平主管裸露、接户管连接不规范、部分区域污水明渠收集、主管管径偏小等情况。而对于设施建设规范性,主要考察设施设备、模块、结构等方面是否建设规范,具体是否存在进(出)水难以观察,格栅未设置,附属设施缺失或损坏,标识牌缺失或信息错漏,以及湿地表面覆土情况,设施工艺与标准匹配性,设施处理规模与服务常住人口的匹配度等。接纳体选用规范性打分需要综合考虑接纳体类型、消纳利用方式、接纳体面积与收集水量的匹配度。对于相同的问题,不同的专家由于考虑的角度不同和认知的区别,评分结果会出现一定的差异性。

2.4 治理工程运转及维护情况得分一致性分析

不同治理模式治理工程运转情况涉及的各项指标得分一致性如表5所示。显然,资源化利用模式的接纳体运转情况以及建设处理设施治理模式的设施运转情况得分一致性较好,而纳入污水处理厂治理模式的管网运行情况得分差异性最大,变异系数达到14.29%,这可归因于管网运行情况通常考察管网及管网相关配套设施是否正常运转,是否存在管网渗漏、堵塞以及进出水水量异常等情况。而对于纳入污水处理厂治理模式,通常忽略对管网的维护,致使管网运行存在一定程度的不足,从而导致不同专家打分过程中存在差异性。

表5 治理工程运转情况得分一致性分析

Tab.5 Consistency analysis of management project operation score

治理模式	评估指标	得分平均值/分	得分标准差/分	变异系数/%
资源化利用	受纳体运转情况	12.35	0.70	5.67
	配套设施运转情况	9.29	1.11	11.95
纳入污水处理厂	污水厂运行情况	6.62	0.79	11.93
	管网运行情况	9.03	1.29	14.29
建设处理设施	管网运行情况	8.72	0.94	10.78
	设施运行情况	11.42	1.04	9.11

表6 治理工程维护情况得分一致性分析

Tab.6 Consistency analysis of management project maintenance score

治理模式	评估指标	得分平均值/分	得分标准差/分	变异系数/%
资源化利用	运维保障情况	4.69	0.50	10.66
	治理措施运维情况	6.29	0.68	10.81
纳入污水处理厂	运维保障情况	5.72	0.64	11.19
	管网运维情况	6.26	0.73	11.66
建设处理设施	运维保障情况	5.94	0.34	5.72
	设施管网运维情况	8.23	0.78	9.48

对于维护情况,不同专家对3种治理模式各指标的得分一致性如表6所示。可以发现,各指标打分一致性整体较好,纳入污水处理厂治理模式的管网运行维护打分差异性最大,但变异系数也仅为11.66%。管网运行维护主要考察检查井内垃圾淤积情况,以及是否存在管道堵塞、井盖破损等问题,而纳入污水处理厂治理模式中村庄管网运维欠佳,管网通常会存在一些问题,从而导致评价过程中存在一定的差异。

2.5 环境改善成效得分一致性分析

环境改善成效各相关指标的打分一致性如表7所示。可以看出,环境改善成效各指标的得分一致性较好,其中专家对资源化利用和纳入污水处理厂模式中村民满意度和人居环境改善情况打分的变异系数均不高于5.72%。然而,建设处理设施模式的人居环境改善指标得分差异性最大,这可能是由于人居环境改善指标考察的是村庄是否存在污水横流、污水积存、厕所粪污直排或化粪池溢流、黑臭水体等情况,而建设处理设施过程存在部分分散农户污水无害化处理后直接排入房前屋后的小花园、小菜园、小果园、草地等生态系统,此过程易忽略消

纳利用的规范性,若存在利用或消纳不规范易出现人居环境问题,从而在一定程度上影响专家打分的一致性。

表7 环境改善成效得分一致性分析

Tab.7 Consistency analysis of environmental improvement effect score

治理模式	评估指标	得分平均值/分	得分标准差/分	变异系数/%
资源化利用	村民满意度	5.69	0.31	5.45
	人居环境改善情况	9.17	0.47	5.13
纳入污水处理厂	村民满意度	4.72	0.26	5.51
	人居环境改善情况	8.39	0.48	5.72
建设处理设施	村民满意度	6.45	0.69	10.70
	人居环境改善情况	9.24	1.03	11.15

2.6 治理成效得分一致性及影响因素分析

不同治理模式治理成效综合得分一致性如表8所示。可以发现,3种治理模式治理成效综合得分一致性较好,得分差异系数均低于10.00,其中建设处理设施治理模式治理成效打分一致性最好,变异系数低至4.25%,而治理成效得分一致性最差的资源化利用治理模式其变异系数也仅为9.03%,说明农村生活污水评估指标体系评价结果一致性较高,可操作性强,具有很好的应用潜力。

表8 治理成效得分一致性分析

Tab.8 Consistency analysis of governance effectiveness score

治理模式	评估指标	得分平均值/分	得分标准差/分	变异系数/%
资源化利用	农污治理成效	84.49	7.63	9.03
纳入污水处理厂	农污治理成效	77.56	5.07	6.54
建设处理设施	农污治理成效	86.33	3.67	4.25

表8还表明,5位专家对3种治理模式的综合治理成效打分存在一定的差异性,这一方面与专家对治理模式认知度有关,相比建设处理设施、纳入污水处理厂模式,农村生活污水资源化利用模式推进较晚,目前对其治理完成评判还缺乏统一认知及标准,因此不同专家在评判时判断尺度存在一定差异。另一方面,由治理工程完善度、规范性、运转情况、维护情况、环境改善成效涉及指标评分的一致性分析可知,每个指标得分的变异系数不同,同时考虑到每个指标的权重不同,对治理成效得分一致性的影响程度也不同。因此,通过差异性贡献率,

量化各指标得分差异性对综合治理成效得分差异性的贡献,进一步综合分析各指标对治理成效得分一致性的影响程度及规律。具体分析结果如图1所示。



图1 各指标对农村生活污水治理成效评估体系评价结果一致性的影响

Fig.1 Influence of each index on the consistency of the evaluation results of the evaluation system of rural domestic sewage treatment

对于建设处理设施治理模式,对治理成效得分一致性影响最大的指标分别为管网运行情况、设施运行情况、管网建设规范性和设施建设规范性,而影响最小的指标为运维保障情况、村民满意度和村庄接户率。对于纳入污水处理厂治理的村庄,对治理成效得分一致性影响最大的指标分别为管网建

设规范性、管网运行情况、管网完整度和村庄接户率。相反,影响最小的指标为村民满意度、人居环境改善情况和运维保障情况。对于资源化利用治理模式,受体选用规范性、利用路径完整性对治理成效得分一致性的影响较大,而管网完整度、运维保障情况和资源化利用覆盖率的影响较小。

3 结论

基于AHP-模糊综合评价法构建了以农村生活污水治理工程完善度、规范性、运转情况、维护情况以及环境改善成效为一级指标和村庄人居环境改善情况、村民满意度等为二级指标的农村生活污水治理成效评价体系,建设处理设施、纳入污水处理厂、资源化利用3种治理模式治理成效评价结果的变异系数分别低至4.25%、6.54%、9.03%,评估结果展现出良好的一致性、可操作性和实用性。此外,管网建设规范性、管网运行情况、设施运行情况、受体选用规范性、资源化利用路径完整性对治理成效评估指标体系评价结果一致性的影响较大,在评估过程中需多加关注上述指标。

农村生活污水治理成效评价具有复杂性和动态性,而可借鉴的成果较少,建立完善的农村生活污水治理成效评估体系和方法还需要更加深入系统的研究。

参考文献:

- [1] FENG B B, CHEN J, WANG C, *et al.* Ofloxacin weakened treatment performance of rural domestic sewage in an aerobic biofilm system by affecting biofilm resistance, bacterial community, and functional genes [J]. *Environmental Research*, 2024, 246(1):118036.
- [2] 谢林花, 吴德礼, 张亚雷. 中国农村生活污水处理技术现状分析及评价 [J]. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(10):865-870.
XIE Linhua, WU Deli, ZHANG Yalei. Analysis and evaluation of China's rural domestic sewage treatment technology [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, 34(10):865-870 (in Chinese).
- [3] 陈娟, 王超, 王沛芳, 等. 基于人口分散度的农村生活污水处理模式选择 [J]. *中国给水排水*, 2020, 36(23):81-88.
CHEN Juan, WANG Chao, WANG Peifang, *et al.* Choice of rural domestic sewage treatment mode based on dispersion degree of rural resident [J]. *China Water*

- & Wastewater, 2020, 36(23):81-88 (in Chinese).
- [4] 高松, 何伟, 徐微, 等. 反硝化除磷工艺处理农村生活污水的工程实践[J]. 中国给水排水, 2023, 39(14):114-119.
- GAO Song, HE Wei, XU Wei, *et al.* Demonstration for application of denitrifying phosphorus removal process in rural domestic sewage treatment [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(14):114-119 (in Chinese).
- [5] 胡允炜, 刘振华, 周泉迪. 基于AHP的农村污水治理评价体系研究[J]. 浙江水利水电学院学报, 2018, 30(6):56-60.
- HU Yunwei, LIU Zhenhua, ZHOU Xiaodi. Evaluation system of rural sewage treatment based on AHP [J]. Journal of Zhejiang University of Water Resources and Electric Power, 2018, 30(6):56-60 (in Chinese).
- [6] 沈丰菊, 张克强, 李军幸, 等. 基于模糊积分模型的农村生活污水处理模式综合评价方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15):272-280.
- SHEN Fengju, ZHANG Keqiang, LI Junxing, *et al.* Evaluation method for engineering technology of rural domestic sewage treatment based on fuzzy integral model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(15): 272-280 (in Chinese).
- [7] 张萍, 卢少勇, 潘成荣. 基于层次-灰色关联法的洱海农业面源污染控制技术综合评价[J]. 科技导报, 2017, 35(9):50-55.
- ZHANG Ping, LU Shaoyong, PAN Chengrong. Evaluation of agricultural non-point source pollution prevention and control techniques using a grey analytic hierarchy process for Lake Erhai [J]. Science and Technology Review, 2017, 35(9):50-55 (in Chinese).
- [8] 夏训峰, 王明新, 闵慧, 等. 基于模糊优劣系数法的农村生活污水处理技术优选评价方法[J]. 环境科学学报, 2012, 32(9):2287-2293.
- XIA Xunfeng, WANG Mingxin, MIN Hui, *et al.* Rural sewage treatment technology evaluation method based on fuzzy advantages and disadvantages coefficient [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(9): 2287-2293 (in Chinese).
- [9] 左文建, 胡顺磊, 段伟, 等. 基于AHP筛选的有机污染土联合修复技术案例研究[J]. 土壤, 2023, 55(2):390-398.
- ZUO Wenjian, HU Shunlei, DUAN Wei, *et al.* Case study of combined remediation technology for organic contaminated soils based on AHP screening [J]. Soils, 2023, 55(2):390-398 (in Chinese).
- [10] 黄辉, 徐浩, 胡红亮, 等. 基于AHP-模糊综合评价法的海上风电场施工吊装作业安全风险评价[J]. 工业安全与环保, 2023, 49(11):15-19.
- HUANG Hui, XU Hao, HU Hongliang, *et al.* Safety risk assessment of lifting operations for offshore wind farm based on AHP-fuzzy comprehensive evaluation method [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2023, 49(11):15-19 (in Chinese).
- [11] 翁效林, 李世鑫, 杨晓东, 等. 基于最优赋权-可拓云模型的缓倾围岩隧道底部变形风险综合评价[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2023, 42(6):656-663.
- WENG Xiaolin, LI Shixin, YANG Xiaodong, *et al.* Comprehensive evaluation of flat rock tunnel bottom deformation risk based on optimal weighting-extension cloud model [J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2023, 42(6):656-663 (in Chinese).

作者简介:林彰文(1976-),男,湖南邵阳人,博士,高级工程师,主要研究方向为农业农村水污染防治。

E-mail:jndxlinzw@163.com

收稿日期:2024-03-25

修回日期:2024-07-09

(编辑:丁彩娟)