

农村生活污水处理工艺优选决策模型研究

戴翌晗

[上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司, 上海 200125]

摘要: 大部分农村生活污水没有得到有效收集和处理就直接排放, 严重污染各类水源。随着政府部门的重视, 大量农村生活污水就地处理技术应运而生。现今农村污水就地处理技术模式繁杂多样, 造成方案决策的非客观性和不明确性问题严重。以多层次分析及模糊数学评判为基础, 针对上述问题, 构建了1套为农村地区生活污水处理技术的决策筛选体系, 并运用该模型进行实例研究。

关键词: 农村生活污水; 就地处理工艺; 辅助决策模型

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4655 (2020) 02-0060-04

目前, 我国村镇产生的生活污水量已逐步超过每年 80 亿 t, 而大部分生活污水在没有得到有效收集和处理前便携带大量的污染物直接排放于周围水体, 对周围水源地造成严重污染^[1]。因此, 国家于 2018 年 2 月发布的《农村人居环境整治三年行动方案》中, 要求梯次推进农村生活污水治理工作, 同时加快我国村镇人居环境相应短板的补齐。同年 3 月, 上海市政府提出在 2021 年前, 实现上海市农污处理全覆盖的目标, 要求加快推进上海市农污处理设施建设。

然而, 现有农村污水处理技术模式繁杂多样, 仅上海市内已推广实施有近 30 余种新型农村污水处理工艺, 其处理效率以及工艺成熟度参差不齐。上海市尚未对诸多类型的新型农村生活污水处理工艺制定统一的技术标准, 部分工艺存在着可拓展性差、可提标性不佳、针对性不强和管养难度大等问题, 难以实现“建得成、管得好、用得起”等实际要求。

本文利用层次分析法及模糊综合评判法^[2], 构建 1 套具有科学性、可行性、实用性的农污就地处理技术优选体系。基于技术方案的性能水平及应用地区的技术需求的匹配程度, 构造各备选方案的评判矩阵, 依据权重计算其综合得分, 获得综合效益最高的方案。旨在为上海市农村地区优选先进、适宜的生活污水处理技术提供有效的决策及筛选工具。

1 农污就地处理技术的多层次优选体系

1.1 基于层次分析法的评价指标体系

应用层次分析法可对农村生活污水就地处理技术进行分层次、分指标地优选。多种指标可继续依据其属性的关联性进行归纳, 形成准则层。目前, 水处理技术的层次分析中通常指定综合效益 U 为总目标, 将技术的经济效益 A_1 、技术性能 A_2 以及管理效益 A_3 区分构建得到准则层。根据农村污水处理技术特点, 经济效益包括其基础建设的投资、运行维护的费用和占地面积; 技术性能包括有机物去除效果 (COD 或 BOD)、脱氮除磷效果和运行稳定性; 管理效益包含操作、运行和管理难易度、环境卫生影响和剩余污泥产量。

基于层次分析法所构建的评价指标体系见表 1。

收稿日期: 2020-01-07

基金项目: 上海市城市建设设计研究总院科研项目 (CK2018090A)

作者简介: 戴翌晗 (1993—), 男, 助理工程师, 硕士, 主要从事环境污染修复与治理。

表 1 基于层次分析法的评价指标体系

准则层 A	指标层 B	指标解释	性质
经济效益 A_1	基建成本 B_1 /[万元·(m ³ /d) ⁻¹]	工程的土建、设备及安装费用	定量指标
	运行费用 B_2 /(元·m ⁻³)	主要包括动力费、药剂费、工资福利费、固定资产折旧费、设备修理费、日常检修维护费等	定量指标
	占地面积 B_3 /[m ² ·(m ³ /d) ⁻¹]	工程设施实际占用的土地面积	定量指标
技术性能 A_2	有机物处理效果 B_4 /(mg·L ⁻¹)	以各工艺应用于上海农村污水处理中的实际出水 COD 确定	定量指标
	脱氮效果 B_5 /(mg·L ⁻¹)	以各工艺应用于上海农村污水处理中的实际出水氨氮确定	定量指标
	除磷效果 B_6 /(mg·L ⁻¹)	以各工艺应用于上海农村污水处理中的实际出水总磷确定	定量指标
	运行稳定性 B_7	以各工艺应用于上海农村污水处理中的实际出水各项指标的变异系数综合判断	定量指标
管理效益 A_3	操作、运行和管理难度 B_8	包括自动化程度、工艺复杂程度等	定性指标
	环境卫生影响 B_9	产生的臭气、甲烷、挥发性有机物等，以及设备运行过程中产生的噪声	定性指标
	剩余污泥产量 B_{10}	污水处理过程中产生的剩余污泥	定性指标

1.2 指标层指标值的定量化

经济效益及技术性能中 7 个指标 ($B_1\sim B_7$) 为定量指标，均采用真实值进行计算。如基建投资和运行费用等经济指标，以单位设计规模下的投资成本或花费表示；技术指标中 $B_4\sim B_7$ 则以目前上海已投用的工艺农村污水处理设施的出水水质为样本^[3]进行计算。

对于定性指标，目前模糊数学法中多以隶属度 (1~9) 进行表示。本研究以常用的 5 级划分法^[4]对各定性指标进行评分，继而评估方案的优劣，隶属度分为 9 (优)、7 (良)、5 (中)、3 (劣) 和 1 (差)。

1.3 指标层指标值的标准化

通过数学变换对计算值小而好的负向指标和计算值大而好的正向指标分别进行无量纲化处理，也可称为数据的标准化以及规格化。通过式 (1) 和式 (2)，将原指标转化为 [0, 1] 区间内的数，显然数值越大则方案越佳。

对各方案 X_i ($i=1, 2, \dots, m$)，分别有 j 个评价指标 X_{ij} ($j=1, 2, \dots, n$)，则各备选方案的指标序列可表示如下： $X_{ij}=(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in})$ 。

对于正向指标：

$$Y_{ij}=X_{ij}/\max\{X_{ij}\}$$
 (1)

对于负向指标：

$$Y_{ij}=\min\{X_{ij}\}/X_{ij}$$
 (2)

式中： Y_{ij} 为标准化的指标序列； X_{ij} 为原指标序列； $\max\{X_{ij}\}$ 和 $\min\{X_{ij}\}$ 分别为原指标序列中的最大值和最小值。

1.4 模糊综合评判法确定各指标权重

对于受到不同层次、不同指标、定性与定量评估等多因素影响的农村污水处理技术优选，依据模糊综合评判法计算各项指标的权重为应用层次分析的关键步骤。其基本方法为：通过专家依据项目目标判断各层次中所有指标两两之间的重要度比较，并依据隶属度进行量化，形成模糊互补判断矩阵 A [见式 (3)、式 (4)]，以该矩阵最大特征根所指向的规格化特征向量 W 决定该层次中所有指标的权重占比分配。

$$A=(a_{ij})\ n\times n$$
 (3)

$$a_{ij}=w_i/w_j$$
 (4)

式中： A 为标准化指标序列 Y_{ij} 中各因素两两比较重要性程度的模糊互补判断矩阵； a_{ij} 为准则层 A 或指标层 B 中元素重要性的两两比较结果，无量纲； w_i 和 w_j 分别为第 i 项和第 j 项元素的重要性隶属度 (1~9，由专家确定)。

2 应用研究

2018 年 4 月，上海市浦东新区环保局规划实施“浦东新区农村生活污水治理完善工程”。经初步统计，“浦东新区农村生活污水治理完善工程”需新建及改建农污就地处理设施约 300 处。对单套设计规模 20 m³/d、接入农户约 80 户、服务人口约 200 人的农村污水就地处理工艺进行比选，出水水质达到 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》中一级 A 标准。根据实际情况以及上海市已有工程经验考虑以下 6 种方案：土壤渗滤系统、生物滤池结合人工湿地、组合生物滤池系统、接触氧化结合人工湿地、一体化膜法 A²/O 和膜生物反应器 MBR。各工艺技术特点见表 2；相应经济技术指数见表 3；由 MATLAB 计算得到各方案评判矩阵及权重值见表 4。

通过以上各方案各指标的经济技术对比及取值，形成一系列评判矩阵，再依据模糊数学法确定权重系数，计算得到 6 种方案相对于 3 种准则的排

表 2 备选农村污水处理工艺

处理技术	原理	上海地区应用占比/%
土壤渗滤	通过土壤及植物根系的滞留及吸收，渗入污水中截留污染物，同时土壤中微生物可对有机污染物等进行一定降解，达到对农村污水的净化	45.27
生物滤池结合人工湿地	主要由生物滤池和人工湿地串联组合而成，污水与滤池滤料上的生物膜进行接触，其中有机物受到微生物的吸附降解作用，逐步转化为 CO ₂ 和 N ₂ 。再经过人工湿地的处理，达到净化目的	26.60
组合生物滤池系统	组合生物滤池系统中采用厌氧处理、生物复合滤池、土壤渗滤等多种手段，使进入的污水与微生物产生充足的接触并自然充氧，多阶段降解其中有机物，随后进入地下系统，进一步去除氮、磷等	4.77
接触氧化结合人工湿地	经一定预处理后，农污进入生物接触氧化池，利用其填料上附着的微生物加以人工曝气实现污染物的高效去除，并增设人工湿地提高处理效果	8.74
一体化膜法 A ² /O	主要改进于日本净化槽，对 A/O 工艺的进一步提高，使得污水中污染物经厌氧、缺氧及好氧三池的逐步降解，经过消毒处理后直接排放	3.16
膜生物反应器 MBR	农污经调节池流入缺氧池，与膜池内的硝化液掺混后进行生物脱氮再进入膜池。膜池内置有膜组件，提高活性污泥的浓度，去除污水中的大部分污染物。同时，在膜池投加相应药剂去除污水入流农污中的磷	3.10

表 3 各方案经济技术指数

准则层	指标层	土壤渗滤系统	生物滤池 + 人工湿地	组合生物滤池	接触氧化 + 人工湿地	一体化膜法 A ² /O	膜生物反应器 MBR
经济效益 A ₁	基建成本 B ₁ /[万元·(m ³ ·d) ⁻¹]	3.30	2.45	0.77	0.90	1.64	1.49
	运行费用 B ₂ / (元·m ⁻³)	4.07	2.07	0.42	1.53	0.83	1.25
	占地面积 B ₃ /[m ² ·(m ³ /d) ⁻¹]	21.04	4.06	1.31	4.80	1.66	1.21
技术性能 A ₂	有机物处理效果 B ₄ / (mg·L ⁻¹)	28.80	26.40	30.60	22.80	21.60	19.00
	脱氮效果 B ₅ / (mg·L ⁻¹)	8.64	5.52	5.76	4.88	5.36	0.80
	除磷效果 B ₆ / (mg·L ⁻¹)	1.08	0.59	1.07	0.47	0.77	0.52
	运行稳定性 B ₇	1.44	0.82	0.78	0.81	0.91	0.67
管理效益 A ₃	运维和管理 B ₈	差	良	优	差	差	中
	环境卫生影响 B ₉	良	良	中	差	中	中
	剩余污泥产量 B ₁₀	优	中	中	良	中	良

表 4 指标值规格化处理及相对权重运算结果

评价指标		Y _{ij}						W _{Ai}	W _u
准则层	指标层	V1	V2	V3	V4	V5	V6		
经济效益 A ₁	基建成本 B ₁	0.23	0.31	1.00	0.86	0.47	0.52	0.649 1	0.319 6
	运行费用 B ₂	0.10	0.20	1.00	0.27	0.51	0.34	0.279 0	
	占地面积 B ₃	0.06	0.30	0.93	0.25	0.73	1.00	0.071 9	
技术性能 A ₂	有机物处理效果 B ₄	0.66	0.72	0.62	0.83	0.88	1.00	0.059 6	0.558 4
	脱氮效果 B ₅	0.09	0.14	0.14	0.16	0.15	1.00	0.097 1	
	除磷效果 B ₆	0.39	0.71	0.39	0.89	0.55	1.00	0.562 0	
	运行稳定性 B ₇	0.61	0.84	0.93	0.77	0.73	1.00	0.281 2	
管理效益 A ₃	运维和管理 B ₈	0.33	0.78	1.00	0.33	0.33	0.56	0.637 0	0.121 9
	环境卫生影响 B ₉	1.00	1.00	0.71	0.43	0.71	0.71	0.258 3	
	剩余污泥产量 B ₁₀	1.00	0.56	0.56	0.78	0.56	0.78	0.104 7	

注：V1 代表土壤渗滤系统，V2 代表生物滤池 + 人工湿地，V3 代表组合生物滤池，V4 代表接触氧化 + 人工湿地，V5 代表一体化膜法 A²/O，V6 代表膜生物反应器 MBR。

序向量。

$$U_{A1}=W_{A1} \times A_1= (0.181\ 5\ 0.278\ 6\ 0.995\ 0\ 0.651\ 5\ 0.499\ 9\ 0.504\ 3)$$

$$U_{A2}=W_{A2} \times A_2= (0.438\ 8\ 0.691\ 8\ 0.531\ 3\ 0.781\ 8\ 0.581\ 4\ 1.000\ 0)$$

$$U_{A3}=W_{A3} \times A_3= (0.573\ 2\ 0.813\ 8\ 0.879\ 0\ 0.403\ 0\ 0.452\ 2\ 0.621\ 8)$$

6 种方案相对于目标层的综合效益优劣评判向量为

$$U=W_u \times \begin{bmatrix} U_{A1} \\ U_{A2} \\ U_{A3} \end{bmatrix} = (0.372\ 9\ 0.574\ 6\ 0.721\ 9\ 0.694\ 0\ 0.539\ 6\ 0.795\ 4)$$

即 6 种工艺方案的优先顺序依次为：膜生物反应器 MBR、组合生物滤池系统、接触氧化结合人工湿地、生物滤池结合人工湿地、一体化膜法 A²/O、土壤渗滤系统。因此，对农村污水就地处理工艺而言，膜生物反应器 MBR 为最佳方案。图 1 MBR 取代传统生物处理技术的沉淀池用膜组件，通过膜

分离技术对水中的微生物菌胶团和有机物进行双重截留，增加水力停留时间，提高降解效果。通过硝化液回流以及投加化学药剂，实现高效的脱氮除磷^[5]。

从表4的 W_U 列来看，3种准则相对于综合效益的权重大小依次为：技术性能最重、经济效益其次、管理效益最轻。这是由于目前浦东新区新建农村污水就地处理设施的排放标准提高为一级A标准，致使工艺对污水的处理效果成为决策的最重要因素。因此，氮磷等关键指标可稳定达标，受指标权重的影响，综合排序第一。若出水水质要求改为一级B，则技术性能权重下降，使得经济、管理效益最佳的组合生物滤池法排序第一，说明层次分析模型可灵活应对不同的设计要求和目标，提供最优方案。

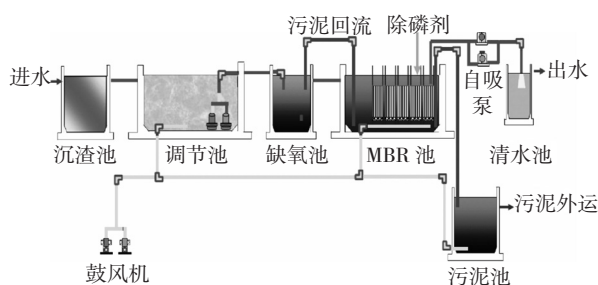


图1 MBR技术工艺流程

应用本研究中的工艺优选模型，按照“建得起、用得省、管得好”的原则，梳理出成熟可靠、经济合理的农村污水处理工艺，对加速实现浦东新区农

村水污染防治、改善农村人居环境具有重大意义。同时，后续将以该模型推荐工艺为主方向，选择1~2个典型区域，建立浦东新区农村生活污水处理示范性工程，为上海市各区农村生活污水处理工程的建设提供借鉴，并树立标杆，促使各区农村污水治理工程发挥出最大经济与环境效益。

3 结语

多层次、多因素的决策体系对于农村污水就地处理技术优选的应用提出较为客观的评判结果。当备选工艺较多时，利用矩阵运算实现定性至定量的转化，达到工艺比选简单化、实用化的目的。从实际应用中可以看出，采用指标权重代表不同层次的各项因素对综合效益的影响程度，同时利用矩阵运算量化方案优劣比较，有效避免产生非客观及不明确的必选结果，有的放矢地使推荐方案更切合特定项目目标。

参考文献：

- [1] 汪广丰. 浅议农村污水处理[J]. 中国市政工程, 2015(2):45-48.
- [2] 王寅, 顾小刚, 缪周伟, 等. 污染场地地下水修复技术筛选方法综述[J]. 中国市政工程, 2018(5):25-27.
- [3] 谢胜. 上海市农村生活污水处理工艺适用性评估与分类体系研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2013.
- [4] 陈朝华, 吴海燕, 陈克亮, 等. 近岸海域生态质量状况综合评价方法——以同安湾为例[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7):1841-1848.
- [5] 王捷, 杨珊珊, 金鹏明. 上海市近年来几种常用农村生活污水处理工艺比选[J]. 水资源开发与管理, 2019(4):49-53.

住房和城乡建设部关于发布国家标准 《混凝土坝安全监测技术标准》的公告

现批准《混凝土坝安全监测技术标准》为国家标准，编号为 GB/T 51416—2020，自 2020 年 10 月 1 日起实施。本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部
2020 年 1 月 16 日

benefits, but also have high collection efficiency for the initial rainwater.

Key words: initial rainwater;
regulation & storage main pipe;
decentralized closure;
benefit analysis

Study on Optimal Decision Model of Rural Domestic Sewage Treatment Process

DAI Yi-han

(Shanghai Urban Construction Design & Research Institute [Group] Co., Ltd., Shanghai 200125, China)

Abstract: Most of rural domestic sewage is directly discharged without effective collection & treatment, which seriously pollutes all kinds of water sources. With the government's attention, a large number of rural domestic sewage on-site treatment technology came into being. At present, there are many & varied modes of on-site treatment of rural sewage, which cause the non-objective & unclear problems of scheme decision-making. Based on the multi-level analysis & fuzzy mathematics evaluation, aiming at the above problems, a set of decision-making & screening system for domestic sewage treatment technology in rural areas is constructed, and the model is used for case study.

Key words: rural domestic sewage;
local treatment process;
auxiliary decision-making model

Construction Technology of Expanding Diameter inside Pipe Jacking Machine of Cable Tunnel

WU Fa-zhan

(China Railway Tunnel Group No.2 Department Co., Ltd., Sanhe 065201, China)

Abstract: Based on the project of transforming the high voltage overhead line into the ground cable tunnel in the North Ring of Shenzhen Power Grid, aiming at the pressure of construction period & safety risk, the open-typed pipe jacking is changed into the slurry-balanced pipe jacking after the expansion, and the feasibility of the transformation is analyzed from the aspects of main drive & cutter head expansion. Considering the inner diameter of the formed tunnel, the large parts of the pipe jacking are disassembled into small parts, which are transported to the expansion & reconstruction area by the crane with the tunnel flat car, and the operation & commissioning acceptance are completed after the assembly in the tunnel. To create a pipe jacking method tunnel from the open-typed to the slurry- balanced continuous jacking technology, it has made full use of the original equipment, reduced the project cost, and met the needs of on-site construction; which may provide references for similar projects.

Key words: cable tunnel;
pipe jacking;
expanding reconstruction;
hoisting;
slurry balanced pipe jacking machine

Study on Water Holding Capacity in Greening Environment **ZHANG Ying, ZAN Lin**