

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0972.2018.04.025

基于 AHP 的 Yaahp 软件实现农村污水处理技术优选的实证研究

郜 慧^{1*} 沈喻颖² 刘明华¹ 李婷婷¹

(1. 信阳师范学院 地理科学学院 河南 信阳 464000; 2. 信阳市环境监测站 河南 信阳 464000)

摘 要: 在构建了基于复合生态系统理论的农村生活污水处理技术筛选的框架体系和评价指标的基础上, 结合北方三个案例村的地理、气候、经济等特征, 采用 Yaahp 软件辅助下的层次分析法, 开展遴选生活污水处理适用技术实证研究。结果表明, 三个案例村污水处理的适宜技术分别为生物接触氧化池、稳定塘和土地渗滤技术, 此结论比较符合案例村实际。最后分别对案例村占权重值最高的技术性能和经济指标进行了灵敏度分析, 结果显示指标权重的变化均未影响最佳技术方案的遴选结果。

关键词: 层次分析法; Yaahp 软件; 农村污水处理; 技术优选

中图分类号: X171.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-0972(2018)04-0645-05

Empirical Research on Rural Sewage Treatment Technology Decisions: the Yaahp Software Implementation Based on AHP

GAO Hui^{1*} SHEN Yuying² LIU Minghua¹ LI Tingting¹

(1. College of Geographic Science, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China;

2. Xinyang Environmental Monitoring Station, Xinyang 464000, China)

Abstract: On the basis of the complex-ecosystem theory, the framework system and evaluation index of technology decisions were constituted for rural sewage treatment. Meanwhile, the characters of three typical case villages on geography, climate and economy were considered with empirical research, through the Yaahp software implementation based on Analytical Hierarchy Process (AHP). Then some conclusions were indicated that bio-contact oxidation tank, stabilization pond and soil infiltration system conformed to the actual situation of different villages respectively. According to the technical performances and economic indicator, sensitivity analysis results showed that the change of the indicators weight didn't affect the result of technical solution.

Key words: analytical hierarchy process; Yaahp software; rural sewage treatment; technology decisions

0 引言

近年来,农村生活污水排放量持续增加,而大部分村庄没有污水收集和处理系统,导致农村水环境问题突出,生活污水处理已然成为农村环境综合整治的重点和难点^[1]。农村生活污水分散、水质水量波动大和有机物含量高等特征,决定了农村污水处理不能简单效仿城市模式。当前,我国农村污水处理方案的遴选,主要通过技术比较和方案设计人员的个人经验,尚未形成一整套工艺选择的评判方法,因此,存在较大的主观随意性^[2]。

农村污水处理技术的选择涉及技术、经济、

管理、环境等诸多因素,已有研究表明,层次分析法(Analytical Hierarchy Process,简称 AHP)为遴选农村污水处理技术这一复杂决策问题提供了简便的评价和决策思路^[3]。然而,当遇到指标层次和数量较多的实际问题时,传统的层次分析法具有不易构造判断矩阵、计算过程易出错、一致性调整烦琐等不足。基于层次分析法的 Yaahp(yet another AHP)软件为实现该方法的自动化和可视化操作提供了基础,提高了工作效率。该软件已经被广泛用于土地管理^[4]、安全风险评估^[5]、工程方案决策^[6]等领域,收到了满意的效果。本文尝试运用

收稿日期: 2018-03-28; 修订日期: 2018-07-24; * 通信联系人 E-mail: gaohui8010@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(41701637); 河南省科技攻关计划项目(172102310711); 信阳师范学院南湖青年学者奖励计划

作者简介: 郜慧(1979—),女,河南新乡人,副教授,博士,主要从事城乡生态系统模拟和生态工程管理研究。

此软件构建农村生活污水处理技术选择和评价的模型,从而为农村水环境污染控制方案的优化选择提供决策科学依据。

1 生活污水处理技术筛选理论框架和方法

1.1 农村生活污水处理关键技术筛选理论框架

农村污水处理关键技术选择受到农村社会、经济和自然等条件的综合影响(图1)。首先,农村经济水平一定程度上制约了生活污水处理工程的成本和投入;其次,居民的生活观念、生活习惯、家庭结构等影响了污水排放的水质和水量,继而影响工程技术的设计规模和工艺参数;再次,村落的环境敏感度决定了污水的排放标准要求和处理复杂程度,同时当地的气候条件(如降雨和气温等)也会影响系统的日常运行效果。此外,一些地方政府部门出台了相关规章制度和卫生补贴政策,通过宣传和培训等方式来提高农民的环境保护意识,但这些管理措施的覆盖率和实施率还不足以满足农村污水处理项目的需要。

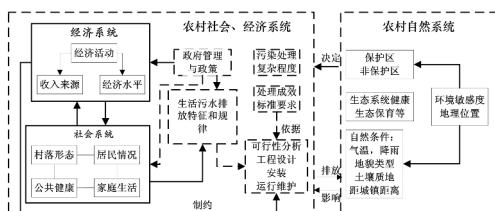


图1 农村污水处理技术筛选自然-社会-经济复合系统分析框架

Fig. 1 Analysis framework of rural sewage treatment technology screening based on nature-social-economic complex system theory

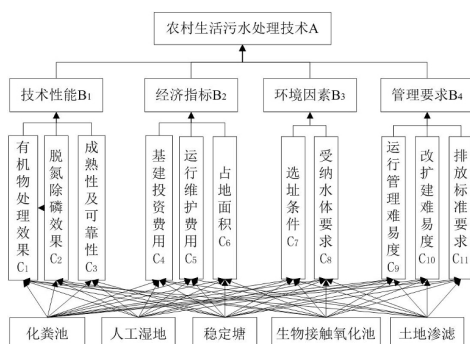


图2 农村生活污水处理技术筛选的层次模型结构

Fig. 2 Analytical hierarchy process model of rural sewage treatment technology selection

综上所述,在农村社会、经济、自然这三个子系统及其相互作用下,农村生活污水处理将是一项复杂的工程,需综合考虑多方面因素。在农村生活污水处理技术筛选自然-社会-经济复合系统分析框架指导下,以及参考已有研究文献^[7],本论文构

建了农村生活污水处理关键技术筛选的层次模型结构,如图2所示。生活污水处理关键技术选择考虑技术性能、经济指标、环境因素和管理要求四个方面,具体可以从有机物处理效果、运行维护费用和选址条件等11个指标来着手。

1.2 基于AHP的Yaahp软件实现的关键技术

层次分析法 该方法是一种定性和定量相结合的、系统的层次化分析方法,现已广泛地应用于经济管理规划、能源开发利用、城市产业规划、科研管理以及交通运输等方面^[8]。Yaahp11.1软件基于层次分析法的原理,提供方便的层次模型构造、判断矩阵数据录入、排序权重计算、计算数据导出及灵敏度分析等功能。Yaahp11.1是一种可视化建模与计算软件,该软件判断矩阵值的输入可以选用数字标度形式和文字描述形式,能够简便快捷地进行矩阵一致性判断,迅速得到权重向量,而且能够对判断矩阵进行一定范围的自主修改^[4],节省了大量的矩阵计算步骤及时间。此外,通过Yaahp11.1软件的灵敏度分析功能,还可以定量分析指标权重变化对决策方案结果的影响。

一致性检验 一致性检验可以保证层次单排序及总排序的可信性,当随机一致性比率 $CR \geq 0.1$ 时,需要对判断矩阵作适当修正。由于人的主观性以及客观事物的复杂性,在实际决策问题中,很难实现一次就构造出满足一致性要求的判断矩阵,需要对判断矩阵进行多次调整修正,才能满足一致性的要求。Yaahp不仅提供了实时一致性比例计算功能,帮助用户对不一致判断矩阵进行人工调整,而且还具备了对不一致判断矩阵自动修正功能,避免人工调整判断矩阵过程中出现的盲目性。该功能在最大程度保留专家决策数据的前提下,考虑人们决策时的心理因素,标记出需要修正的判断矩阵,自动完成判断矩阵的修正,使之满足一致性比例。

灵敏度分析 利用Yaahp提供的灵敏度分析功能,能够动态地观察要素权重变化对备选方案权重的影响,还可以查看某个要素权重从0到1变化时备选方案权重的变化曲线。

2 农村人居生态基础设施技术筛选实证

2.1 研究区域概况

本文选择在气候条件和经济发展水平方面具有梯度差异的3个案例村开展实证研究,分别是北京市门头沟区S村、河南省信阳市H村和吉林省农安县W村。

S村位于北京市门头沟区,距离门头沟城区10

km. 全村 262 户, 总人口 563 人, 村域面积 2.3 km². 永定河从村子北部穿过, 排水水质要求高. 村内给排水管网齐备, 基本农田少, 农业资源以林果为主, 主要发展旅游和观光农业. 2016 年人均可支配收入 13 000 元, 该村经济基础条件较优越.

H 村位于河南省信阳市, 属山林地区. 全村 504 户, 总人口 2100 人. 全村面积 7.1 km², 其中耕地面积 126 hm², 山林面积 867 hm², 水域面积 25.3 hm². H 村顺地势建设自然沟渠, 拦水筑坝, 沟渠水最终汇入村内池塘. 该村经济基础条件中等, 2016 年人均可支配收入为 8340 元.

W 村隶属于吉林省农安县, 全村面积 8.51 km², 总人口 2315 人. W 村以传统的农耕作物为主, 村集体收入少, 建设资金匮乏, 基础设施不配套. 2016 年人均可支配收入 5120 元, 经济发展基础薄弱.

2.2 数据来源与计算

依据《农村生活污水处理技术指南(东北、华北、西北)》和《农村生活污水处理项目建设与投资技术指南》, 由于 3 个案例村均位于中国北方, 依

据案例村的气候、经济和社会环境特点, 同时考虑到每种农村污水处理技术的费用、预期达到的处理效果等因素, 案例村生活污水处理可以选用的技术有化粪池、人工湿地、稳定塘、生物接触氧化池和土地渗滤 5 种.

按照层次分析方法的原理, 本研究的层次结构模型包括目标层(最高层)、准则层(中间层)、指标层(中间层)和方案层(最底层)(见图 2), 利用方案层 5 种污水处理技术的权重大小来表征其优先选择顺序. 准则层和目标层数据主要通过参考已有文献^[9-11]、现场调查数据及室内实验结果, 邀请 20 位农村环境整治与生态修复方面的专家, 采用 1~9 及其倒数的标度方法进行两两指标间的相对比较, 通过编制专家调查表对各指标进行赋值, 获得各指标的权重. 由于层次结构评价决策指标较复杂, 需要录入的判断矩阵较多(3 个案例村共计 48 个). 本研究只列举了主要的具有代表性的目标层—准则层录入矩阵截图(图 3)、判断矩阵的结果导出表格(表 1、表 2、表 3)以及 11 个二级指标的权重(表 4). 其他截图及判断矩阵结果导出表格省略.

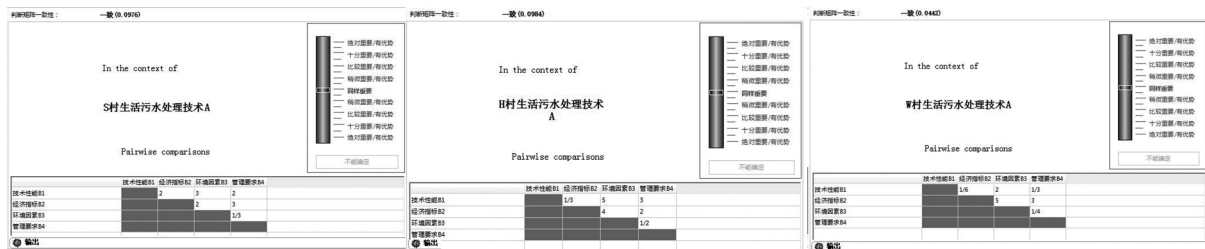


图 3 Yaahp 软件中目标层—准则层判断矩阵录入

Fig. 3 The entry of target layer-criterion layer judgment matrix in Yaahp software for village

表 1 S 村生活污水处理技术准则层判断矩阵结果

Tab. 1 The judgment matrix of criterion layer for village S

S 村生活污水 处理技术 A	技术 性能 B ₁	经济 指标 B ₂	环境 因素 B ₃	管理 要求 B ₄	W_i
技术性能 B ₁	1.0000	2.0000	3.0000	2.0000	0.4005
经济指标 B ₂	0.5000	1.0000	2.0000	3.0000	0.3022
环境因素 B ₃	0.3333	0.5000	1.0000	0.3333	0.1068
管理要求 B ₄	0.5000	0.3333	3.0000	1.0000	0.1905

注: 一致性比例(CR): 0.0976; 对“S 村生活污水处理技术 A”的权重: 1.0000; λ_{\max} : 4.2606

表 2 H 村生活污水处理技术准则层判断矩阵结果

Tab. 2 The judgment matrix of criterion layer for village H

H 村生活污水 处理技术 A	技术 性能 B ₁	经济 指标 B ₂	环境 因素 B ₃	管理 要求 B ₄	W_i
技术性能 B ₁	1.0000	0.3333	5.0000	3.0000	0.3048
经济指标 B ₂	3.0000	1.0000	4.0000	2.0000	0.4674
环境因素 B ₃	0.2000	0.2500	1.0000	0.5000	0.0775
管理要求 B ₄	0.3333	0.5000	2.0000	1.0000	0.1503

注: 一致性比例(CR): 0.0984; 对“H 村生活污水处理技术 A”的权重: 1.0000; λ_{\max} : 5.1324

表 3 W 村生活污水处理技术准则层判断矩阵结果

Tab. 3 The judgment matrix of criterion layer for village W

W 村生活污水 处理技术 A	技术 性能 B ₁	经济 指标 B ₂	环境 因素 B ₃	管理 要求 B ₄	W_i
技术性能 B ₁	1.0000	0.1667	2.0000	0.3333	0.1048
经济指标 B ₂	6.0000	1.0000	5.0000	3.0000	0.5658
环境因素 B ₃	0.5000	0.2000	1.0000	0.2500	0.0736
管理要求 B ₄	3.0000	0.3333	4.0000	1.0000	0.2558

注: 一致性比例: 0.0442; 对“W 村生活污水处理技术 A”的权重: 1.0000; λ_{\max} : 4.1179

2.3 结果与分析

Yaahp 软件中 11 个二级指标的权重见表 4. 由表 4 可以看出, S 村二级指标中“成熟性及可靠性”权重最高, 其次是“占地面积”和“脱氮除磷效果”, S 村永定河水环境保护的要求以及良好的经济基础, 使其对污水处理的技术性能更侧重; H 村和 W 村则是“运行维护费用”权重最大, 由于经济基础所限, 所以更关注污水处理技术的经济费用.

表4 Yaahp 软件中11个二级指标的权重

Tab. 4 The weight of 11 secondary indexes in Yaahp software

二级指标	S村	H村	W村
有机物处理效果 C_1	0.0654	0.0498	0.0171
脱氮除磷效果 C_2	0.1189	0.0905	0.0311
成熟性级可靠性 C_3	0.2161	0.1645	0.1350
基建投资费用 C_4	0.1005	0.1554	0.1881
运行维护费用 C_5	0.0422	0.2467	0.2987
占地面积 C_6	0.1595	0.0653	0.0790
选址条件 C_7	0.0267	0.0194	0.0631
接纳水体要求 C_8	0.0801	0.0581	0.0105
运行管理难易度 C_9	0.0634	0.0500	0.0850
改扩建难易度 C_{10}	0.0266	0.0210	0.0357
排放标准要求 C_{11}	0.1006	0.0793	0.0566

表5 三个案例村污水处理技术选择最终结果

Tab. 5 The final result of sewage treatment technology decisions for three typical case villages

备选方案	S村	H村	W村
生物接触氧化池	0.3913	0.1155	0.0894
人工湿地	0.2575	0.2434	0.1416
土地渗滤	0.1786	0.1324	0.3691
稳定塘	0.1113	0.3978	0.2438
化粪池	0.0613	0.1109	0.1561

Yaahp 软件辅助下,案例村污水处理技术权重结果的计算见表5。由表5可以得出,S村生活污水处理技术的前两位是生物接触氧化池(0.3913)和人工湿地(0.2575),土地渗滤、稳定塘和化粪池分

别排在后三位;H村生活污水处理优先选择稳定塘(0.3978)和人工湿地(0.2434)技术;W村则应首选土地渗滤技术(0.3691),其次是稳定塘(0.2438)。

通过灵敏度分析,能够确定某个要素权重发生变化时,对各个备选方案权重产生的影响,从而引导用户在更高的层次做出决策。表1、表2、表3可见,S村技术性能指标权重值较高,占主要地位,而H村和W村都是经济指标权重值最高,3个案例村分别只对这2个指标进行灵敏度分析。图4为软件中灵敏度分析的截图,图中横轴表示选中要素的权重,纵轴表示备选方案对选定决策目标的权重。由图4可见,随着技术性能权重的变化,S村五种污水处理技术权重直线并未相交,最佳技术方案也没有发生变化。随经济指标权重的变化,H村稳定塘权重直线和人工湿地权重直线始终处于前两位,并且不相交,说明H村位于前两位的最佳技术方案没有变化,当经济指标权重为0.36和0.51时,生物接触氧化池权重直线分别与土地渗滤权重直线、化粪池权重直线相交,表示这两种处理技术顺序有调整。W村污水处理前两位的最佳技术方案也没有发生变化,只是在经济指标权重为0.14和0.48时,排在后三位的污水处理技术的顺序有变化,即化粪池权重直线与生物接触氧化池权重直线和人工湿地权重直线分别有交点。

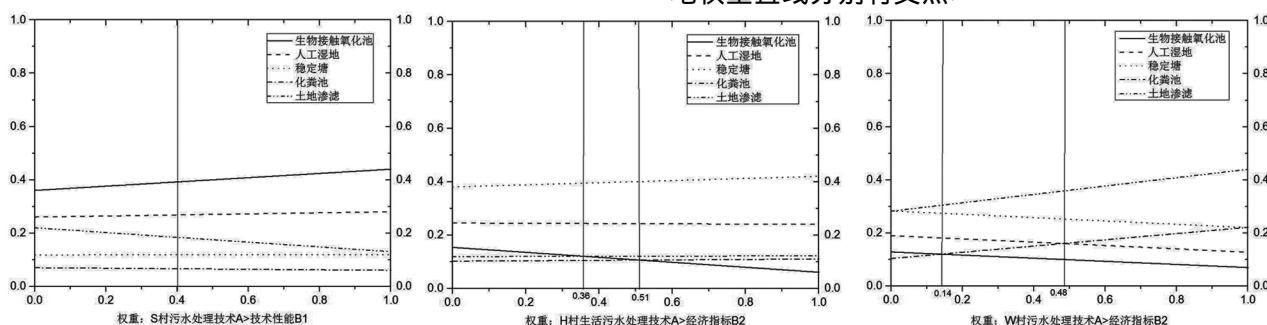


图4 S村、H村和W村污水处理技术灵敏度分析结果

Fig. 4 The sensitivity analysis result of sewage treatment technology decisions for village S, H, W

3 讨论

优化农村人居环境、改善农民生活质量是我国生态文明建设和新型城镇化建设的重要内容。本文结合北方三个案例村的地理、气候、经济、人文等因素,构建了基于复合生态理论的农村生活污水处理技术筛选的框架体系,确定了技术筛选时采用的具体准则与评价指标。本文采用Yaahp软件辅助下的层次分析法对生活污水处理技术进行排序和遴选,发现适合S村的生活污水处理模式为生物接触氧化池,适合H村的技术为稳定塘,适合W村的技

术为土地渗滤。S村经济基础好,对出水水质要求高,在实际操作中可以利用生物接触氧化与人工湿地组合工艺。崔鹏^[12]在农村污水处理实验研究中表明生物接触氧化反应器大大减小了进入人工湿地的污染负荷,降低人工湿地堵塞的可能性,人工湿地进一步提高了氮磷去除的效果,使得出水满足要求;H村在现有沟渠和荷花塘的基础上发展“预处理+兼性塘+好氧塘”污水处理稳定塘组合系统,已有研究表明稳定塘组合系统可以使BOD去除率达到80%以上,该系统具有充分利用地形、基建投

资省、运行维护费用低以及有机物和病原体处理效果稳定等优点^[13]。土地渗滤处理技术利用土壤—微生物—植物系统的物理、化学、生物作用达到污水处理的效果,考虑到 W 村冬季低温的气候特点,可以选择土壤地下渗滤系统。土壤地下渗滤系统布水设施埋于地下,不影响地面景观,受天气影响小^[14]。中科院沈阳研究表明,北方农村利用地下土壤渗滤法处理生活污水不仅可行而且可以作为中水进行回用^[15]。

参考文献:

- [1] 彭澍晗,董凌霄,张亚雷,等.农村生活污水处理技术专利研究进展[J].环境工程,2018,36(4):1-5.
PENG Shuhan, DONG Lingxiao, ZHANG Yalei, et al. Research progress of rural domestic sewage treatment patented technology [J]. Environmental Engineering, 2018, 36(4): 1-5.
- [2] GU B, FAN L, YING Z, et al. Socioeconomic constraints on the technological choices in rural sewage treatment [J]. Environmental Science & Pollution Research International, 2016, 23(20): 1-8.
- [3] 郭静波,吴玉珍,马放,等.改进层次分析法在污水处理工艺选择中的应用[J].化学通报,2018,81(6):555-561.
GUO Jingbo, WU Yuzhen, MA Fang, et al. Application of improved analytic hierarchy process in the selection of wastewater treatment process [J]. Chemistry, 2018, 81(6): 555-561.
- [4] 聂有亮,翟有龙,王佑汉.基于 Yaahp 软件的 AHP 法区域农用地整理潜力评价研究:以四川省南充市嘉陵区为例[J].西华师范大学学报(自然科学版),2013,34(2):184-189.
NIE Youliang, ZHAI Youlong, WANG Youhan. On the rearrangement potentiality of regional agricultural land based on the ahp method by Yaahp software: A case study on Jialing district [J]. Journal of China West Normal University (Natural Sciences), 2013, 34(2): 184-189.
- [5] 吴文广,张继红,魏翼伟,等.莱州湾泥螺生态安全风险评估:基于 AHP 的 YAAHP 软件实现[J].水产学报,2014,38(9):1601-1610.
WU Wenguang, ZHANG Jihong, WEI Longwei, et al. The ecological risk assessment of bullactaearata in Laizhou Bay: The YAAHP software implementation based on AHP [J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1601-1610.
- [6] 陈俊,沈小欣.层次分析法在城市购房决策中的应用及其软件实现[J].辽宁师专学报(自然科学版),2012,14(4):77-79.
CHEN Jun, SHEN Xiaoxin. The applications of analytic hierarchy process in house purchase decision-making and its implementations in yaahp-software [J]. Journal of Liaoning Teachers College (Natural Science Edition), 2012, 14(4): 77-79.
- [7] 张铁坚,张小燕,李炜,等.基于 AHP 的河北平原地区农村生活污水处理技术筛选[J].浙江农业学报,2015,27(6):1037-1041.
ZHANG Tiejian, ZHANG Xiaoyan, LI Wei, et al. Rural sewage treatment technology decisions of Hebei Plain areas based on AHP [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2015, 27(6): 1037-1041.
- [8] WU J, HUANG H B, CAO Q W. Research on AHP with interval-valued intuitionistic fuzzy sets and its application in multi-criteria decision making problems [J]. Applied Mathematical Modelling, 2013, 37: 9898 - 9906.
- [9] 王腾飞.河北省农村生活污水处理技术优选体系的研究[D].石家庄:河北科技大学,2018.
WANG Tengfei. Study on optimization system of rural domestic wastewater treatment technology in Hebei [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2018.
- [10] 刘晓璐,牛宏斌,闫海,等.农村生活污水生态处理工艺研究与应用[J].农业工程学报,2013,29(9):184-191.
LIU Xiaolu, NIU Hongbin, YAN Hai, et al. Research and application of high-efficiency eco-engineering rural sewage treatment system [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(9): 184-191.
- [11] 王令,王文杰,夏训峰.生态沟渠对农村生活污水脱氮除磷效果的研究[J].环境科学与技术,2015,38(8):196-199.
WANG Ling, WANG Wenjie, XIA Xunfeng. Denitrification and phosphorus removal of rural sewage by ecological ditch [J]. Environmental Science & Technology, 2015, 38(8): 196-199.
- [12] 崔鹏. A/O 生物接触氧化—垂直流人工湿地组合工艺处理生活污水试验研究[D].兰州:兰州交通大学,2017.
CUI Peng. Experimental study on A/O biological contact oxidation and vertical flow constructed wetland for treatment of domestic sewage [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2017.
- [13] 李发站,陈帅.稳定塘系统处理污水的工艺与参数设计研究[J].安全与环境工程,2017,24(1):68-76.
LI Fazhan, CHEN Shuai. Technological process and design parameters of stabilization pond system for wastewater treatment [J]. Safety and Environmental Engineering, 2017, 24(1): 68-76.
- [14] LI Y, LI H, SUN T, et al. Study on nitrogen removal enhanced by shunt distributing wastewater in a constructed subsurface infiltration system under intermittent operation mode [J]. Journal of Hazardous Materials, 2014, 189(1/2): 336-341.
- [15] 梁建军,彭俊,侯淑媛.蚯蚓生态滤池处理农村生活污水试验研究[J].中国给水排水,2016,32(11):16-19.
LIANG Jianjun, PENG Jun, HOU Shuyuan. Vermifilter process for treatment of rural domestic sewage [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(11): 16-19.

责任编辑:张建设

4 结论

基于 Yaahp 软件的层次分析法较好地完成了技术筛选工作,且简易实用、效果良好,所筛选的技术比较符合各个案例村的实际,这为农村地区生活污水处理模式的选择提供了方法。本研究仅对农村污水处理关键技术选择做了初步的尝试,今后还有待在技术遴选辅助决策系统开发和技术集成整合方法等方面做进一步完善和深入研究。

致谢:对参与评分问卷调查的专家、学者一并感谢!