

夏训峰,王明新,闵慧,等. 2012. 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, 32(9): 2287-2293  
Xia X F, Wang M X, Min H, et al. 2012. Rural sewage treatment technology evaluation method based on fuzzy advantages and disadvantages coefficient [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 32(9): 2287-2293

# 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

夏训峰<sup>1,\*</sup>, 王明新<sup>2</sup>, 闵慧<sup>2</sup>, 席北斗<sup>1</sup>

1. 中国环境科学研究院, 北京 100012

2. 常州大学环境与安全工程学院, 常州 213164

收稿日期: 2011-12-11      修回日期: 2012-03-15      录用日期: 2012-04-06

**摘要:**农村生活污水处理设施示范推广中,对技术方案进行定量优选评价有助于提高决策的科学性.为此,本文建立了一个考虑了技术经济性、有效性和适宜性的农村生活污水处理技术评价指标体系,评价指标包括有机物去除率、氨氮去除率、总磷去除率、基建成本、运行成本、占地面积、经济收益、技术稳定度、管理方便度和生态协调度等.同时,建立了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,即在备选方案初步筛选的基础上,采用本文建立的指标体系对备选方案的技术性能和研究地区的技术需求进行模糊赋值,构建优劣关系评判矩阵,计算各方案的模糊优劣系数并进行排序,从而获得最佳方案.最后以常州市友谊村为例进行了应用分析.结果发现,评价结果符合当地的实际情况.该方法不仅考虑了农村生活污水处理技术的性能和应用地区对农村生活污水处理的技术需求,更强调了两者之间的匹配性,可为农村生活污水处理技术示范推广提供决策分析工具.

**关键词:**农村生活污水;处理技术;指标体系;优劣系数法;模糊评价

文章编号:0253-2468(2012)09-2287-07      中图分类号:X820      文献标识码:A

## Rural sewage treatment technology evaluation method based on fuzzy advantages and disadvantages coefficient

XIA Xunfeng<sup>1,\*</sup>, WANG Mingxin<sup>2</sup>, MIN Hui<sup>2</sup>, XI Beidou<sup>1</sup>

1. China Environmental Science Research Institute, Beijing 100012

2. College of Environmental & Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164

Received 11 December 2011;      received in revised form 15 March 2012;      accepted 6 April 2012

**Abstract:** In demonstration and extension of rural sewage treatment processing facilities, quantified evaluation of the technology solutions can improve the scientific nature of decisions-making. In this paper, a rural sewage treatment technology evaluation index system considering technology effectiveness, economy and efficiency was established, and the indicators included COD Removal Efficiency,  $\text{NH}_4^+$ -N Removal Efficiency, TP Removal Efficiency, Construction Cost, Operating Cost, Land occupation Area, Economic Benefits, Technology Stability, Management Easiness Degree and Ecological Coordination Degree. The rural sewage treatment technology evaluation method based on fuzzy advantages and disadvantages coefficient was proposed. The method includes initially screening the alternative solutions, evaluating the technology performance and the technology demands degrees from the study area with the indications systems and the fuzzy evaluation method, and building the pros and cons relationship matrix between the alternative solutions and calculating the pros and cons coefficient to obtain the optional solution. A case study was conducted in Youyi Village in Changzhou City, and the evaluation results matched the local conditions. The method considers not only the technical performance of rural sewage treatment technology, but also the applicability of the sewage treatment for rural areas and the matching between the technology performance and the technology demand. The method can serve as the decision analysis tool for sewage treatment technology demonstration and promotion in rural areas.

**Keywords:** rural sewage; treatment technology; index system; advantages and disadvantages coefficient method; fuzzy evaluation

**基金项目:** 国家科技重大专项(No. 2009ZX07632-02-03, 2009ZX07106-03-01); 国家自然科学基金项目(No. 70901035); 环保公益性行业科研专项(No. 201109024)

**Supported by** the National Science and Technology Major Special Projects (No. 2009ZX07632-02-03, 2009ZX07106-03-01), the National Natural Science Foundation of China (No. 70901035) and the Special Fund for Public Service Sector of Environmental Protection(No. 201109024)

**作者简介:** 夏训峰(1968—),男,副研究员(博士), E-mail: xiaxunfeng@sina.com; \* 通讯作者(责任作者)

**Biography:** XIA Xunfeng(1968—), male, associate professor (Ph. D.), E-mail: xiaxunfeng@sina.com; \* **Corresponding author**

## 1 引言( Introduction)

中国农村每年产生的生活污水量约为 80 亿 t, 而大部分农村地区没有采取任何生活污水的收集和处理措施. 大量未经处理的生活污水通过点源和非点源排放, 将各类污染物带入河流, 严重污染了各类水源, 并导致包括蓝藻、水华等在内的诸多生态环境问题的出现(孙兴旺等, 2010). 因此, 国家在社会主义新农村建设及中央农村环境保护专项资金环境综合整治项目中, 都把农村污水处理列为重点整治内容之一, 有关农村污水处理技术的研发、示范与推广也日益受到中央和地方各级政府的重视.

与传统城市污水处理系统相比, 农村生活污水在进水水质、变化规律及处理设施的规模、工艺及运行管理力量等方面都存在极大不同(谭学军等, 2011), 因此, 农村污水处理不能盲目套用城市污水处理模式. 针对农村生活污水产生与排放特征, 国内外学者对农村污水处理工艺与技术模式进行了深入研究(齐瑶等, 2008; 郭迎庆等, 2009; Sabry *et al.*, 2010). 为引导和规范农村污水处理技术的研发、示范与推广, 我国相继发布了《农村生活污染防治技术政策》(国家环境保护部, 2010)和《全国六大生态区的农村生活污水处理技术指南》(国家住房和城乡建设部, 2010). 这些研究与实践为我国农村污水处理提供了重要的技术支撑, 指出了农村污水处理技术选择的原则, 对于农村污水处理技术工艺的选择提供了重要的指导作用. 但在实际应用中, 对于基于同类工艺的不同处理技术的优选, 尚需进行深入的定量评价, 因此, 有学者尝试对典型农村污水处理技术的技术经济性和成本有效性进行评估(申颖莉等, 2009; 郝前进等, 2010).

然而, 农村地区自然地理条件、资源环境特征及社会经济状况的空间差异性, 决定了农村污水处理技术的应用推广必须因地制宜、分类指导. 农村污水处理技术工艺的优选, 不仅应考虑农村污水处理技术自身的技术经济特征, 还要充分考虑农村污水处理技术对于特定地区的适宜性及利益相关者的技术需求特征, 即必须充分考虑农村污水处理技术性能特征与技术应用地区的技术需求特征之间的匹配性. 目前, 农村生活污水处理技术推广中, 一般通过专家评价法来筛选

备选方案, 然后进一步论证从而选择最终的技术方案. 然而, 具体农村地区对农村生活污水处理的需求都具有多目标的特征, 且不同目标之间往往存在一定程度的冲突, 即很难有一个技术方案的各项指标都优于其它技术方案. 因此, 对备选方案的优选需要有一个定量的综合评价方法辅助决策, 以提高优选过程的透明性及降低主观性.

基于此, 本文将在建立农村生活污水处理技术评价指标体系的基础上, 结合优劣系数法和模糊评价法的优点, 对农村生活污水处理技术的性能和应用地区对农村生活污水处理技术的需求进行模糊赋值, 基于技术方案的性能水平与应用地区的技术需求的匹配程度, 构造各备选方案的模糊优劣评判矩阵, 计算各备选方案之间的优劣关系并进行优劣排序, 获得最佳方案. 旨在为农村地区优选先进适宜的生活污水处理技术提供决策分析工具.

## 2 方法( Methods)

### 2.1 农村生活污水处理技术的评价指标体系

农村生活污水处理工程设施的建设与运行受到自然地理条件和社会经济特征的双重影响, 因此, 在农村生活污水处理技术的示范与推广过程中, 技术方案的选择不仅要考虑其先进性, 还要考虑其对特定地区的适宜性, 即综合考虑农村生活污水处理技术的先进性、经济性和可行性.

技术的先进性需重点考虑农村生活污水处理技术的有机物去除率和脱氮除磷效果, 本文采用 COD 去除率( $R_{\text{COD}}$ )、氨氮去除率( $R_{\text{NH}_4^+}$ )和总磷去除率( $R_{\text{TP}}$ )等 3 个指标来反映.

技术的经济性主要考察农村生活污水处理技术的基建成本( $C_{\text{cons}}$ )、运行成本( $C_{\text{ope}}$ )、占地面积( $A_{\text{land}}$ )和经济收益( $B_{\text{ec}}$ ). 基建成本包括污水收集设施和处理设施的建设费用, 以日处理 1 t 水的基建成本来表示; 运行成本以日处理 1 t 水的运行成本来表示; 占地面积以能够日处理 1 t 水能力设施的占用土地面积来表示; 经济收益以农村生活污水处理设施的附加收益来表示.

技术的适宜性主要考察农村生活污水处理技术的技术稳定度( $D_{\text{st}}$ )、管理方便度( $D_{\text{ma}}$ )和生态协调度( $D_{\text{ec}}$ ). 技术稳定度主要反映技术的成熟度、适应气候变化的能力及耐冲击负荷能力等, 可通过考察该项技术在实际工程应用中主要污染物去除效果的变化程度来表征; 管理方便度主要反映技术运

行维护的难易程度,可通过考察该项技术能否由农村居民自行运行管护及对维护者专业技术水平的需求程度等信息来评估;生态协调度主要反映该技术与村庄自然地理、资源环境条件的协调性,可通过综合考察该技术是否充分利用了当地的地形地貌、土壤、水文特征等自然条件的优势来降低农村生活污水处理的成本或提高处理效果等方面的信息来评估。

基于以上分析,并依据国家环境保护部发布的农村生活污染控制技术政策,结合我国农村地区的实际状况,参考相关文献和专家意见,对农村生活污水处理技术指标进行细化和筛选,建立了农村生活污水处理技术三级评价指标体系(图1),其中,技术有效性指标和基建成本、运行成本等2个技术经济性指标可定量赋值;经济收益、占地面积等2个技

术经济性指标由于缺乏经验数据,技术适宜性3个指标难以量化,因此,本文采用定性赋值方法给定评判标准。在综合国内外农村生活污水处理技术性能发展现状的基础上,建立了各指标的评价标准(表1)。

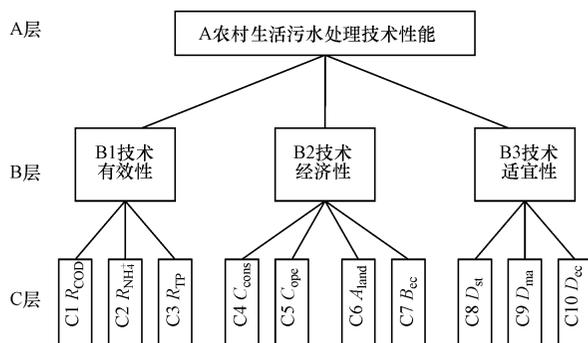


图1 农村生活污水处理技术评价指标体系

Fig. 1 Rural sewage treatment technology evaluation index system

表1 农村生活污水处理技术评价标准

Table 1 Rural sewage treatment technology evaluation criteria

等级	$R_{COD}$	$R_{NH_4^+}$	$R_{TP}$	$C_{cons}/(\text{元} \cdot \text{t}^{-1})$	$C_{ope}/(\text{元} \cdot \text{t}^{-1})$	$A_{land}$	$B_{ec}$	$D_{st}$	$D_{ma}$	$D_{ec}$
I (差)	<60%	<40%	<40%	$\geq 5000$	$\geq 0.4$	无	大	低	难	低
II (较差)	60% ~ 70%	40% ~ 60%	40% ~ 60%	4000 ~ 5000	0.3 ~ 0.4	低	较大	较低	较难	较低
III (中等)	70% ~ 80%	60% ~ 70%	60% ~ 70%	3000 ~ 4000	0.3 ~ 0.4	较低	中等	中等	中等	中等
IV (较好)	80% ~ 90%	70% ~ 90%	70% ~ 90%	2000 ~ 3000	0.1 ~ 0.3	较高	较低	较高	较容易	较高
V (好)	$\geq 90\%$	$\geq 90\%$	$\geq 90\%$	<2000	<0.1	高	低	高	容易	高

## 2.2 农村生活污水处理技术的模糊优劣评判

优劣系数法是一种重要的定量决策方法,它的基本思路是对于任意两个备选方案,分别计算它们之间的优系数和劣系数,并引进一对控制参数,通过对优、劣系数与控制参数的比较和判断来确定方案的优劣,这样逐步淘汰劣方案,最后剩下一个或几个满意方案(林齐宁,2002)。该种方法的优点是能从优、劣两个角度保证所选方案的优越性,有着广泛的应用基础;缺点是计算量大,其全过程还涉及到核的确定、优系数矩阵、劣系数矩阵的求得及各种阈值、各种系数的确定(朱方霞等,2010)。

农村生活污水处理技术优选的实践性很强,评价指标之间可能存在交叉影响,同时农村生活污水处理技术的需求特征也具有一定的模糊性。因此,采用传统的优劣系数法确定一些纯理论的系数或公式时必然存在着较大误差。本文采用基于模糊隶属度的专家打分法,利用专家经验评判农村生活污水处理技术的技术性能和研究地区对农村生活污水处理技术性能的需求情况,基于技术性能水平与

技术需求的匹配程度计算各种方案之间的优劣关系,据此优选出特定地区农村生活污水处理技术的方案,从而避开了优劣系数法中核的确定、优系数矩阵、劣系数矩阵的求得及各种阈值、各种系数的确定,有助于简化过程、减小误差。下面对农村生活污水处理技术的模糊优劣评判内容与过程进行简要介绍。

2.2.1 备选方案的初步筛选 根据目前国内外农村生活污水处理技术研究和应用现状,以及国家和地方环境保护或住建部门发布的农村生活污水处理技术指南,分析各种技术的性能指标及其适用条件,采取逐步排除的定性分析法,选取适合具体农村的工艺作为备选方案集。

考虑到农村居住的分散性和村落居住的相对集中性,我国学者将农村生活污水处理对象划分为5大单元:单户处理单元、联户处理单元、村落处理单元、联村处理单元和并网处理单元(王仰斌等,2010)。结合农村生活污水处理技术的适宜性和经济性,国内外学者研发和总结了许多基于“厌氧+

生态”工艺、“好氧+生态”工艺、“厌氧+好氧”工艺及“厌氧+好氧+生态”工艺的农村生活污水处理技术(Kimberley *et al.*, 2003; Kadam *et al.*, 2009; 申颖洁等, 2008; 卢璟莉等, 2009; 蒋克彬等, 2009).

总体上,近城镇地区、有条件地区尽量纳入市政管网集中处理,远城镇地区采用散户或村落式分散处理设施.平原地区、住宅集中分布地区应以村落型(单村或联村)处理设施为主,丘陵山区、住宅分散分布地区应以散户型(单户或联户)设施为主.环境敏感区应以有机污染物去除和脱氮除磷并重,经济发达地区可采用生物处理工艺或“生物-生态”综合处理工艺,欠发达地区可考虑采用“厌氧-生态-还田”工艺;非环境敏感区以去除有机污染物为主,可采用自然处理模式或“厌氧-生态”处理工艺.庭院养殖、人畜混居的农户应采用“能源生态”模式.

**2.2.2 备选方案的技术性能判断** 采用备选方案的技术指标对农村生活污水处理技术评价指标不同等级的满足程度来表示备选方案的技术性能.假设有  $m$  个备选的农村生活污水处理技术( $a_1, a_2, \dots, a_m$ ),农村生活污水处理技术的评价指标共有  $n$  个( $b_1, b_2, \dots, b_n$ ),每个指标有  $l$  个等级( $c_1, c_2, \dots, c_l$ ).用  $x_{ijk}$  来表示第  $i$  个备选技术对第  $j$  个指标第  $k$  个等级的满足程度,本文采用 1~5 的标度方法,最高分为 5,表示第  $i$  个备选技术完全满足第  $j$  个指标第  $k$  个等级的标准;最低分为 0,表示第  $i$  个备选技术完全不能满足第  $j$  个指标第  $k$  个等级的标准.

**2.2.3 研究地区的技术需求判断** 采用农村生活污水处理技术评价指标不同等级对备选地区的需求.用  $u_{jk}$  表示农村生活污水处理技术评价指标体系中,第  $j$  个指标第  $k$  个等级对备选地区的需求程度,本文采用 1~5 的标度方法,最高分为 5,表示第  $j$  个指标第  $k$  个等级的技术性能完全满足研究区的需求;最低分为 0,表示第  $j$  个指标第  $k$  个等级完全不能满足研究区的需求.

**2.2.4 备选方案的优劣关系判断矩阵构造** 依据备选技术的性能及其对研究区的适宜程度,构造确定备选方案优劣关系矩阵  $L$  来表示  $m$  个方案之间的优劣关系,具体如下:

$$L = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} & \dots & L_{1n} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} & \dots & L_{2n} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} & \dots & L_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{m1} & L_{m2} & L_{m3} & \dots & L_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

若  $L_{ij} > L_{hj}$ ,表明对于第  $j$  个指标,方案  $a_i$  优于方案  $a_h$ ,即方案  $i$  更受研究区决策者青睐;若  $L_{ij} = L_{hj}$ ,表明对于第  $j$  个指标,方案  $a_i$  等同于方案  $a_h$ ,即方案  $i$  与方案  $h$  同样受决策者看好.矩阵中  $L_{ij}$  的计算如式(2)所示.

$$L_{ij} = \sum_{k=1}^l \dot{u}_{jk} x_{ijk} \quad (2)$$

$$\dot{u}_{jk} = \frac{u_{jk}}{\sum_{k=1}^l u_{jk}} \quad (3)$$

式中, $\dot{u}_{jk}$  为  $u_{jk}$  的归一化值.

**2.2.5 备选方案综合优劣系数的确定** 采用公式(4)来计算各备选方案的综合优劣系数,进而确定最佳方案.

$$L_i = \sum_{j=1}^n w_j L_{ij} \quad (4)$$

式中, $w_j$  为第  $j$  个评价指标的权重,可采用层次分析法中的两两比较方法来确定; $L_i$  为第  $i$  种方案的综合优劣系数,根据  $L_i$  进行方案的总排序即可得到最佳方案.

### 3 实例研究(Case study)

#### 3.1 典型研究区概况

本研究选择常州市武进区洛阳镇友谊村为典型研究区,该村地处长三角下游河网地区,地势平坦,气候湿润温和,属北亚热带季风气候区,距离城镇较远,土地资源相对丰富.现有居民 440 人(含外来人口),居住较为集中,全村每天约排放生活污水  $62.4 \text{ m}^3$ ,生活污水中 COD、氨氮、总磷含量分别约为 400、30 和  $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .每家都已建成三格式化粪池或沼气净化池对生活污水做初步处理,处理后的水通过简易地沟汇入村东、村南和村北的池塘里.

#### 3.2 备选方案的筛选

研究区村落地处太湖流域,属于环境敏感区,对出水质量要求较高,因此,要求农村生活污水处理技术方案要同时兼顾去除有机物和脱氮除磷效果.由于当地经济发展水平一般,居住比较集中,河网密布,应充分利用当地自然生态条件,以降低建设成本和运行成本,可以采用联户式或村落式处理系统和生物-生态处理工艺;基于以上分析,参考《东南地区农村生活污水处理技术指南(试行)》和《江苏省农村生活污水处理技术和工程实例》及苏南地区农村生活污水处理技术研究报告(吴磊等, 2007; 郭迎庆等, 2009; 张文艺等, 2010),提供以下 4 个备

选方案.

A 方案:厌氧滤池-氧化塘-植物生态渠处理系统.采用联户式处理系统,该工艺利用生物、生态结合技术,因势而建,无动力消耗.厌氧滤池可利用现有净化沼气池改建,氧化塘、生态渠利用河塘、沟渠改建.生态渠通过种植经济类的水生植物(如水芹、空心菜等),可产生一定的经济效益.

B 方案:塔式蚯蚓生态滤池-人工湿地处理系统.采用村落式处理系统,污水经管网汇集后进入厌氧消解池,较大的固体杂物经格栅滤除后进入集水池,污水通过污水泵提升至塔式蚯蚓生态滤池.蚯蚓生态滤池的出水进入人工湿地系统,进行二次处理.

C 方案:地下土壤渗滤处理系统.采用村落式处理系统,污水先经化粪池或其它预处理构筑物去除大型悬浮物,然后通过布水管和毛细材料的虹吸作

用,将污水均匀分布于根据现场土质人工配制的通气性能良好的人工土壤中,在此过程中,部分污染物由于在毛细作用下上升速度不同也与水分离.

D 方案:植物浮岛湿地处理系统.利用村东、村南和村北的天然池塘,建立植物浮岛生态系统,植物可采用女贞、小叶女贞、红冬青和蕙兰等,同时进行间歇曝气以加速水体复氧过程,恢复和增强水体中好氧微生物的活力,可显著提高对有机物和氨氮的处理效果(张艺艺等,2010).

3.3 备选方案的技术指标

根据备选方案的技术性能特征,评判 4 个农村生活污水处理技术备选方案对评价指标体系中各指标评价等级的满足程度,结果如表 2 所示.表中满分为 5 分,表示该方案完全适用于该情况;最低分为 0 分,表示该方案完全不适用于该情况.

表 2 友谊村生活污水处理技术备选方案的性能评估  
Table 2 Rural sewage treatment technology performance evaluation in Youyi Village

评价指标	评价标准	评分结果				评价指标	评价标准	评分结果			
		A	B	C	D			A	B	C	D
$R_{COD}$	I	5	5	5	5	$B_{ec}$	I	5	5	5	5
	II	5	5	5	5		II	3	0	0	4
	III	5	5	5	5		III	1	0	0	3
	IV	5	5	3	5		IV	0	0	0	2
	V	0	0	0	3		V	0	0	0	1
$R_{NH_4}$	I	5	5	5	5	$A_{land}$	I	5	5	5	5
	II	5	5	5	5		II	5	5	5	5
	III	5	5	4	5		III	5	5	5	5
	IV	3	5	3	3		IV	5	5	3	4
	V	0	1	1	0		V	3	3	2	3
$R_{TP}$	I	5	5	5	5	$D_{st}$	I	5	5	5	5
	II	5	5	5	5		II	5	4	5	5
	III	5	5	5	3		III	5	3	4	5
	IV	3	5	4	0		IV	4	2	3	5
	V	1	3	3	0		V	3	1	3	3
$C_{cons}$	I	5	5	5	5	$D_{ma}$	I	5	5	5	5
	II	5	5	0	5		II	5	5	5	4
	III	5	5	0	5		III	5	5	5	3
	IV	5	3	0	3		IV	3	3	4	2
	V	3	0	0	0		V	1	1	3	1
$C_{ope}$	I	5	5	5	5	$D_{ec}$	I	5	5	5	5
	II	5	5	5	5		II	5	5	5	5
	III	5	4	5	5		III	5	4	5	5
	IV	4	3	3	3		IV	4	3	3	5
	V	3	0	0	0		V	3	2	1	4

3.4 研究地区的技术要求

依据友谊村的生活污水水量水质特征及该村的庭院、村落的自然地理条件与社会经济状况,评

判 10 个指标的不同等级对该村农村生活污水处理的满足程度并进行模糊隶属度打分,结果见表 3.

表 3 友谊村农村生活污水处理技术的需求特征评估

Table 3 Rural sewage treatment technology demand evaluation in Youyi Village

评价指标	评价标准	满足程度	评价指标	评价标准	满足程度	评价指标	评价标准	满足程度	评价指标	评价标准	满足程度	评价指标	评价标准	满足程度
$R_{COD}$	I	0	$R_{NH_4^+}$	I	0	$R_{TP}$	I	0	$C_{cons}$	I	0	$C_{ope}$	I	0
	II	0		II	3		II	0		II	0		II	3
	III	3		III	5		III	3		III	3		III	5
	IV	5		IV	5		IV	5		IV	4		IV	5
	V	5		V	5		V	5		V	5		V	5
$B_{ec}$	I	3	$A_{land}$	I	0	$D_{st}$	I	0	$D_{ma}$	I	0	$D_{ec}$	I	0
	II	4		II	1		II	0		II	0		II	0
	III	5		III	3		III	3		III	3		III	3
	IV	5		IV	5		IV	5		IV	5		IV	5
	V	5		V	5		V	5		V	5		V	5

3.5 备选方案的优劣关系矩阵

根据公式(3)计算得到各评价指标等级对研究

区技术需求的隶属度,由公式(2)和表 1 数据计算得到 4 个备选方案的优劣关系矩阵如下:

$$L = \begin{bmatrix} 3.08 & 3.06 & 2.69 & 4.17 & 4.17 & 1.45 & 4.29 & 3.57 & 2.50 & 3.85 \\ 3.08 & 3.89 & 4.23 & 2.25 & 2.78 & 0.68 & 4.29 & 1.71 & 2.50 & 2.85 \\ 2.31 & 3.06 & 3.85 & 0.00 & 3.06 & 0.68 & 3.21 & 3.00 & 3.57 & 2.69 \\ 2.31 & 1.94 & 1.08 & 2.25 & 4.44 & 2.77 & 3.93 & 3.93 & 1.71 & 4.62 \end{bmatrix} \quad (5)$$

3.6 评价指标的权重

应用层次分析法对 B 层相对 A 层及 C 层相对 B 层的权重值进行了计算,最后计算得到了 C 层指标相对 A 层指标的权重值,具体见表 4.

表 4 农村生活污水处理技术评价指标的权重值

Table 4 Weight indicators in rural sewage treatment technology evaluation

C 层/B 层	B1	B2	B3	C 层总排序权重值
C1	0.400	0.400	0.200	0.240
C2	0.600			0.080
C3	0.200			0.080
C4		0.400		0.160
C5		0.400		0.160
C6		0.100		0.040
C7		0.100		0.040
C8			0.333	0.067
C9			0.333	0.067
C10			0.333	0.067

3.7 备选方案的综合优劣系数

采用公式(4)计算得到以上 4 种备选方案最终的综合优劣系数分别为 3.42、2.86、2.37 和 3.12,即 A 方案综合优劣系数最高,推荐为友谊村的农村生活污水处理技术方案.

4 结论(Conclusions)

1) 本文建立了一个能够反映技术有效性、技术经济性及技术适宜性的农村生活污水处理技术评价指标体系,结果表明,该指标体系不仅能评价农村生活污水处理技术的性能水平,也可评价农村生活污水处理技术对特定地区的适宜程度,可为农村生活污水技术示范、推广项目优选评价先进、适用的技术方案.

2) 本文建立的基于模糊优劣系数的农村生活污水处理技术优选评价方法,可通过评判农村生活污水处理技术的性能水平与应用地区对农村生活污水处理的技术需求特征的匹配程度来评判技术方案的优劣关系,在此基础上测算各备选方案的优劣系数从而得到最佳方案.与其它方法不同的是,该方法更强调农村生活污水处理的适用性,有助于

提高农村生活污水处理技术的推广应用效果。

3)对常州市友谊村的实例分析表明,本文所建立的评价方法的应用具有较好的合理性,能够反映当地的实际状况,可为农户与村落尺度的农村生活污水处理技术示范、推广项目提供优选评价与决策分析。

**责任作者简介:**夏训峰(1968—),男,博士,副研究员,主要从事农村水污染控制技术研究。E-mail: xiaxunfengg@sina.com.

#### 参考文献(References):

- Feng H J, Hu L F, Qaisar M, *et al.* 2008. Anaerobic domestic wastewater treatment with bamboo carrier anaerobic baffled reactor [J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62:232-238
- 郭迎庆,黄翔峰,张玉先,等. 2009. 太湖地区农村生活污水示范工程处理工艺的选择[J]. *中国给水排水*, 25(4):6-9
- Guo Y Q, Huang X F, Zhang Y X, *et al.* 2009. Selection of treatment process for rural domestic sewage demonstration project in Taihu Lake Region [J]. *China Water and Waste Water*, 25(4):6-9 (in Chinese)
- 郝前进,张苹. 2010. 农村生活污水治理示范工程的成本有效性研究—以上海和苏南地区为例[J]. *中国人口资源与环境*, 20(1):108-111
- Hao Q J, Zhang P. 2010. Cost effectiveness analysis of rural domestic sewage treatment projects: a case study in Shanghai and Southern Jiangsu Province [J]. *China Population, Resources and Environment*, 20(1):108-111 (in Chinese)
- 蒋克彬,彭松,张小海,等. 2009. 农村生活污水分散式处理技术及应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社
- Jiang K B, Peng S, Zhang X H, *et al.* 2009. *Decentralized Rural Domestic Sewage Treatment and Application* [M]. Beijing: China Building Industry Press (in Chinese)
- Kadam A M, Nemade P D, Oza G H, *et al.* 2009. Treatment of municipal wastewater using laterite-based constructed soil filter [J]. *Ecological Engineering*, 35:1051-1061
- Kimberley C, Chandra M, Anna C, *et al.* 2003. Pollutant removal from municipal sewage lagoon effluents with a free-surface wetland[J]. *Water Research*, 37:2803-2812
- 林齐宁. 2003. 决策分析[M]. 北京:北京邮电大学出版社
- Lin Q N. 2003. *Decision Analysis* [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press (in Chinese)
- 卢璟莉,肖运来. 2009. 我国农村生活污水处理及利用分析[J]. *湖北农业科学*, 48(9):2289-2291
- Lu J L, Xiao Y L. 2009. Analysis on treatment and reuse of rural domestic wastewater in China [J]. *Hubei Agricultural Science*, 48(9):2289-2291 (in Chinese)
- 齐瑶,常杪. 2008. 小城镇和农村生活污水分散处理的适用技术[J]. *中国给水排水*, 24(18):24-27
- Qi Y, Chang M. 2008. Technical applicability for decentralized sewage treatment in small towns and rural areas [J]. *China Water and Waste Water*, 24(18):24-27 (in Chinese)
- Sabry T. 2010. Evaluation of decentralized treatment of sewage employing Upflow Septic Tank/Baffled Reactor (USBR) in developing countries [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 174:500-505
- 申颖洁,廖日红,黄赞芳,等. 2009. 京郊生活污水处理技术实例分析与适宜性评价[J]. *中国给水排水*, 25(18):19-26
- Shen Y J, Liao R H, Huang Y F, *et al.* 2009. Case analysis and evaluation of suitability for treatment technologies of rural domestic sewage [J]. *China Water and Waste Water*, 25(18):19-26 (in Chinese)
- 孙兴旺,马友华,王桂苓,等. 2010. 中国重点流域农村生活污水处理现状及其技术研究[J]. *中国农学通报*, 26(18):384-388
- Sun X W, Ma Y H, Wang G L, *et al.* 2010. Research on current treatment status and technologies of rural domestic wastewater in China major basins [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26(18):384-388 (in Chinese)
- 谭学军,张惠锋,张辰. 2011. 农村生活污水收集与处理技术现状及进展[J]. *净水技术*, 30(2):5-9;13
- Tan X J, Zhang H F, Zhang C. 2011. Current situation and development progress of domestic sewage collection and treatment technological processes in rural areas [J]. *Water Purification Technology*, 30(2):5-9;13 (in Chinese)
- 吴磊,吕锡武,李先宁,等. 2007. 厌氧/跌水充氧接触氧化/人工湿地处理农村污水[J]. *中国给水排水*, 23(3):57-59
- Wu L, Lü X W, Li X N, *et al.* 2007. Combined process of anaerobic/waterfall aeration contact oxidation /constructed wetland for rural sewage treatment [J]. *China Water and Waste Water*, 23(3):57-59 (in Chinese)
- 张艺文,姚立荣,王立岩,等. 2010. 植物浮岛湿地处理太湖流域农村生活污水效果[J]. *农业工程学报*, 26(8):279-284
- Zhang W Y, Yao L R, Wang L Y, *et al.* 2010. Effects of rural domestic sewage treatment in Taihu Lake Valley by wetland of plant floating island [J]. *Transactions of the CSAE*, 26(8):279-284 (in Chinese)
- 朱方霞,陈华友. 2010. 改进的优劣系数法及其区间数推广[J]. *数学的实践与认识*, 40(5):102-109
- Zhu F X, Chen H Y. 2010. Reform of good and bad coefficient method and its extension to interval number [J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 40(5):102-109 (in Chinese)