

[生化与农业]

基于模糊积分模型的抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺效果评价^①

赵 斌 吴献花^② 王 泉 秦 洁

(玉溪师范学院 玉溪高原湖泊生态环境研究中心,云南 玉溪 653100)

[关键词] 抚仙湖北岸;农村生活污水;水处理工艺;模糊积分模型

[摘 要] 从经济、技术、环境3个方面筛选出3项准则层指标、9项指标层指标构建抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺评价指标体系,通过层次分析法和熵权法相结合的主客观综合赋权法确定各个评价指标的权重,并用分层模糊积分模型对5种抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺示范工程进行综合评价.研究表明,在示范工程所采用的5种农村生活污水处理工艺中,水解酸化—土壤净化槽强化脱氮工艺的处理效果为最佳.

[作者简介] 赵 斌,硕士,讲师,研究方向:水环境生态修复.

[中图分类号] X522 [文献标识码] A [文章编号] 1009-9506(2016)12-0022-05

农村生活污水主要包括厕所冲洗水、厨房洗涤水、洗浴污水、洗衣机排水及其他排水^[1].农村生活污水具有排放点分散、污染物浓度相对较低、水量差异较大等特点.根据《抚仙湖流域水污染综合治理“十二五”规划(2011—2015年)》文件,抚仙湖流域除澄江县右所镇凤鸣村的部分生活污水排入污水处理厂外,多数村落污水都由村内明渠顺地势排入附近的河道或沟道中,最终进入抚仙湖.本研究采用5种农村生活污水处理工艺在抚仙湖北岸建成示范工程,示范工程的运行将有效减少农村生活污水对抚仙湖的污染负荷.

目前,针对农村生活污水处理工艺评价方面的研究较少,尚未建立科学、系统、全面的农村生活污水处理技术评价的指标系统和评价方法^[2].本研究在前期抚仙湖北岸农村生活污水处理示范工程运行的基础上,采用模糊积分模型构建了一套包括科学性、可行性、实用性的评价指标体系和综合评价方法,旨在为抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺的选择提供相关的评价依据.

1 评价指标体系的构建

抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺的评价指标主要从经济、技术、环境3个方面进行比选.其中经济指标包括工程投资、占地面积和运行成本;技术指标包括污染物去除率、技术的成熟度、工程运行的稳定

① 基金项目:玉溪市科技局重大项目“抚仙湖北岸农村生活污水治理关键技术集成示范”

② 通信作者:吴献花,教授,电话:0877-2058881, E-mail: xhw105@163.com.

性、技术操作和运行管理难易度和气候适宜性;环境指标包括运行影响和资源化利用程度^[3]. 根据各项指标的重要性,构建抚仙湖北岸农村生活污水处理技术评价指标体系,见表 1.

表 1 抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺评价指标体系

目标层	准则层	指标层
农村生活污水处理 工艺效果评价	经济 A_1	工程投资 B_1 (万元 / m^3); 运行费用 B_2 (元 / m^3); 占地面积 B_3 (m^2)
	技术 A_2	污染物去除率 B_4 (%); 工程运行稳定性 B_5 ; 运行管理与技术操作难易程度 B_6 ; 技术成熟度 B_7
	环境 A_3	工艺运行环境影响 B_8 ; 资源化利用程度 B_9

2 抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺评价指标权值确定

2.1 层次分析法

层次分析法是一种定性和定量相结合的、系统化、层次化的分析方法. 层次分析法赋权步骤主要包括构造判断矩阵、层次单排序及一致性检验、层次总排序及一致性检验^[4]. 本研究采用层次分析法计算的准则层、指标层权重结果如下.

准则层:该层包含经济、技术和环境 3 项指标,指标权重分别为 0.129、0.236、0.635.

经济指标包括工程投资 B_1 、运行费用 B_2 、占地面积 B_3 ,相应指标权重分别为 0.525、0.323 和 0.152.

技术指标包括污染物去除率 B_4 、工程运行稳定性 B_5 、运行管理与技术操作难易程度 B_6 、技术成熟度 B_7 ,相应指标权重分别为 0.453、0.242、0.159 和 0.136.

环境指标包括工艺运行环境影响 B_8 、资源化利用程度 B_9 ,相应指标权重分别为 0.676 和 0.324.

2.2 熵值法

熵值法确定指标权重的步骤大致分为选择备选方案、指标原始赋值、指标的无量纲化处理和指标权重计算 4 个步骤^[5].

1) 根据前期调研及生活污水处理适用性研究,本文选择水解酸化—土壤净化槽强化脱氮工艺、土壤净化槽强化脱氮工艺、厌氧—缺氧高效低能耗生物滤池工艺、人工强化脱氮除磷复合生态床工艺、曝气生态砾石床脱氮除磷工艺 5 项工艺作为抚仙湖北岸农村生活污水处理示范工程. 确定工艺类型为 5 个,每种工艺有 9 个评价指标,作为评价矩阵.

2) 将评价矩阵进行归一化处理,得到归一化评价矩阵 b_{ij} :

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

式中:当 x_{ij} 为正向指标时, x_{\max} 、 x_{\min} 分别为该评价指标下不同工艺中的最优值(最大值)和最劣值(最小值);当 x_{ij} 为负向指标时, x_{\max} 、 x_{\min} 分别为该评价指标下不同工艺中的最优值(最小值)和最劣值(最大值).

3) 评价指标的熵:

$$H_j = \frac{1 - b_{ij}}{\ln m} \left(\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right) (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

4) 计算评价指标熵权 W :

$$w_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^m H_j}, W = (w_j)_{1 \times n}, \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (3)$$

2.3 评价指标综合权重的确定

设用主观赋权法(层次分析法)求得的权向量为 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)^T$, 用客观赋权法(熵值法)求得的权向量为 $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)^T$, 设对主观权向量的偏好程度为 μ , 客观权向量的偏好程度为 $(1 - \mu)$, 则指标综合权重公式如下:

$$W = [\mu\alpha_1 + (1 - \mu)\beta_1, \mu\alpha_2 + (1 - \mu)\beta_2, \dots, \mu\alpha_m + (1 - \mu)\beta_m]^T \quad (4)$$

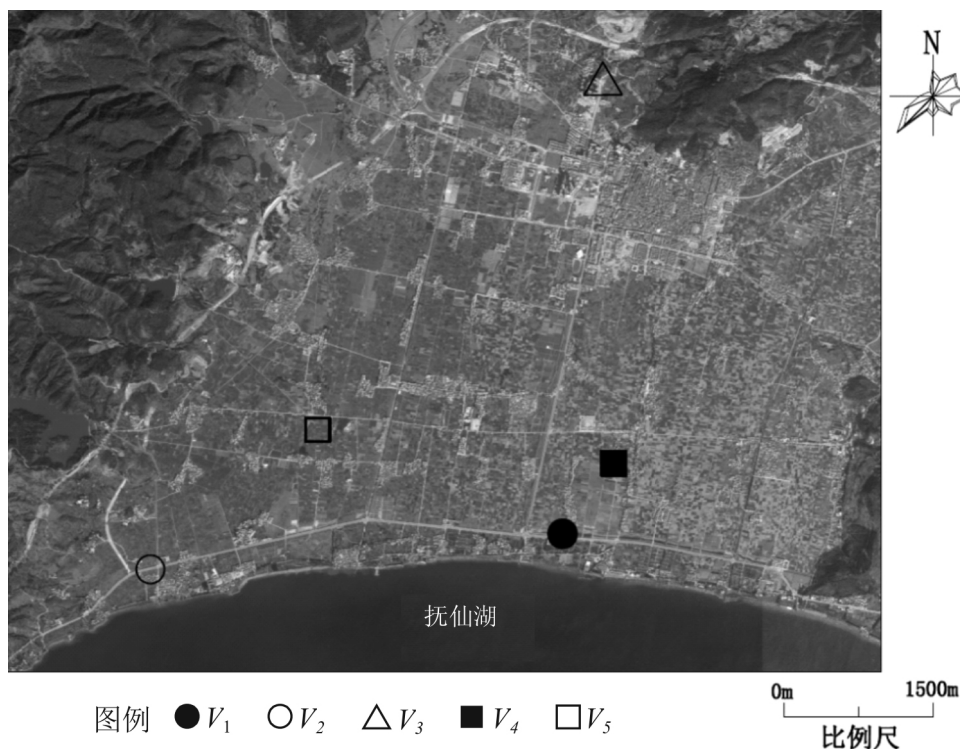
设主客观权重的偏好程度相同, 即取 $\mu = 0.5$, 由公式(4) 即可求得各指标的综合权重.

3 基于分层模糊积分模型的农村生活污水处理工艺综合评价

农村生活污水处理技术评价中涉及的因素很多, 各因素之间的主次关系也有所不同. 本文采用分层模糊积分模型来对抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺进行综合评价^[6].

3.1 污水处理工艺选择

用 V_i 表示不同的生活污水处理工艺, 则 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$ 分别代表水解酸化—土壤净化槽强化脱氮工艺、土壤净化槽强化脱氮工艺、厌氧—缺氧高效低能耗生物滤池工艺、人工强化脱氮除磷复合生态床工艺、曝气生态砾石床脱氮除磷工艺, 5 种工艺设备所处的地理位置见附图.



附图 5 种工艺设备所处的地理位置

3.2 5 种农村生活污水处理工艺隶属度计算

对于抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺评价指标中, 有的指标是正向指标, 即指标取值越大越好; 有的指标是负向指标, 即值指标值越小越好. 通常用隶属度来表示某项指标对某个工艺影响的好坏程度. 隶

属度计算步骤如下:

1) 选取理想值 S_i : 对于正向指标, 取各工艺模式中的最大值为理想值; 对于负向指标, 取工艺模式中的最小值为理想值.

2) 计算隶属度 $h(I)$: 当 $0 < I \leq 1$ 时, $h(I) = 1$; 当 $I > 1$ 时, $h(I) = e^{-(I-1)}$. 对于正向指标, $I_i = S_i/C_i$; 对于负向指标, $I_i = C_i/S_i$. 其中 C_i 表示实际值. 隶属度 $0 \leq h(I) \leq 1$, 取值越大, 隶属度越大; 取值越小, 隶属度越小. 5 种抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺各项指标的隶属度 $h(I)$ 见表 2.

表 2 5 种工艺各指标层的隶属度 $h(I)$

评价指标	理想值 S_i	5 种工艺的隶属度 $h(I)$					
		V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	
A_1	B_1	2.00	0.78	1.00	1.00	0.78	0.61
	B_2	0.15	1.00	1.00	0.51	0.51	0.51
	B_3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A_2	B_4	0.95	0.96	0.95	1.00	0.98	0.97
	B_5	1.00	0.72	0.72	1.00	1.00	1.00
	B_6	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	B_7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A_3	B_8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	B_9	0.75	1.00	0.61	1.00	1.00	1.00

3.3 准则层指标的综合评价指计算

以指标层指标的评价值作为隶属度, 根据模糊积分评价模型计算出 V_1 的综合评价价值 $E_0 = 5.61$, 采用同样的方法计算出 V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 的综合评价价值. 5 种污水处理工艺的综合评价价值及排序见表 3.

表 3 抚仙湖北岸 5 种农村生活污水处理工艺的综合评价结果

处理工艺	工艺类型	综合评价价值 E_0	经济性评价价值 E_1	技术性评价价值 E_2	环境性评价价值 E_3
V_1	水解酸化—土壤净化 槽强化脱氮工艺	5.61	1.91	4.45	2.19
V_2	土壤净化槽强化脱 氮工艺	5.44	2.07	4.53	1.80
V_3	厌氧—缺氧高效低能 耗生物滤池工艺	5.26	1.38	4.85	2.19
V_4	人工强化脱氮除磷 复合生态床工艺	4.95	1.17	4.63	2.19
V_5	曝气生态砾石床脱 氮除磷工艺	4.90	1.07	4.62	2.19

以经济、技术、环境 3 个方面的单项评价结果以及三者综合评价结果进行分析, 结果表明: 在环境效益无明显差别的前提下, V_1 水解酸化—土壤净化槽强化脱氮工艺综合评价价值最高, 达到 5.61, 表现出水解酸化—土壤净化槽强化脱氮工艺对抚仙湖北岸农村生活污水处理效果较好. 采用分层模糊积分模型对 5

种抚仙湖北岸农村污水处理工艺示范工程进行综合评价和排序,最终排序分别为水解酸化—土壤净化槽强化脱氮工艺>土壤净化槽强化脱氮工艺>厌氧—缺氧高效低能耗生物滤池工艺>人工强化脱氮除磷复合生态床工艺>曝气生态砾石床脱氮除磷工艺。

4 结 论

本文从经济、技术、环境 3 个方面筛选出 3 项准则层指标、9 项指标层指标构建抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺评价指标体系,并通过层次分析法和熵权法相结合的主客观综合赋权法确定各个评价指标的权重;通过分层模糊积分模型对 5 种抚仙湖北岸农村生活污水处理工艺示范工程进行综合评价和排序,最终排序分别为水解酸化—土壤净化槽强化脱氮工艺>土壤净化槽强化脱氮工艺>厌氧—缺氧高效低能耗生物滤池工艺>人工强化脱氮除磷复合生态床工艺>曝气生态砾石床脱氮除磷工艺。研究表明,水解酸化—土壤净化槽强化脱氮工艺处理抚仙湖北岸农村生活污水具有良好的效果。

参考文献:

- [1] 谭学军,张惠锋,张辰. 农村生活污水收集与处理技术现状及进展[J]. 净水技术,2011,30(2):5—9,13.
- [2] 孟繁宇,樊庆锌,纪楠,等. 城市污水处理厂综合评价指标体系构建与应用研究[J]. 环境与可持续发展,2012(2):84—90.
- [3] 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.
- [4] 魏光辉. 基于模糊积分模型的水资源配置方案综合评价[J]. 西北水电,2015(5):1—4.
- [5] 夏训峰,王明新. 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.
- [6] 张亮,王冬梅,滕新君. MBBR 工艺在农村水污染治理中的应用[J]. 中国给水排水,2009,25(16):50—52.

Technique Effect Evaluation for Treatment of Rural Domestic Sewage from the North Shore of Fuxian Lake Based on Fuzzy Integral Model

ZHAO Bin WU Xianhua WANG Qua QIN Jie

(Yuxi Research Center for Eco—environmental Sciences on Plateau Lakes, Yuxi Normal University, Yuxi, Yunnan 653110)

Key Words: North Shore of Fuxian Lake, rural domestic sewage, water treatment technique, fuzzy integral model

Abstract: In this paper, the technique evaluation index system for treatment of rural domestic sewage on north shore of Fuxian Lake was constructed through nine indicators of index layer and three indicators of criterion layer screened from social, economic and environmental aspects. With integrated analytic hierarchy process and entropy method, the index weights were determined by considering the subjective and objective weighting methods. Based on hierarchical fuzzy integral model, a comprehensive evaluation was made on 5 kinds of domestic sewage treatment techniques used on north shore of Fuxian Lake. The study shows that the most effective one for treatment of rural domestic sewage of north shore of Fuxian Lake is the process of hydrolytic acidification—soil trench enhanced denitrification.

收稿日期:2016 年 9 月 21 日