



基于 OSM-TFAHP 的农村公路养护管理质量评价

李 娟, 王顺利

(兰州博文科技学院, 甘肃 兰州 730101)

摘要:为评价农村公路养护管理工作质量,基于 OSM 模型构建评价体系,包括 4 项策略层,18 项指标层,通过三角模糊层次分析法形成评价模型,并应用评价模型对甘肃省陇东地区平凉市庄浪县某一区域农村公路的养护管理工作质量进行综合评价,验证该方法的可行性。实践结果表明:该方法在农村公路养护管理质量评价中可行,可为农村公路养护管理决策提供一定参考。

关键词:农村公路; 养护管理; 质量评价; 三角模糊层次分析法

中图分类号:U4

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)07-0073-06

doi:10.13402/j.gcjs.2024.07.096

Quality evaluation on rural road maintenance management based on OSM-TFAHP

LI Juan, WANG Shunli

(Lanzhou Bowen College of Science and Technology, Lanzhou 730101, Gansu, China)

Abstract: In order to evaluate the quality of rural road maintenance and management, an evaluation system is constructed based on the OSM model, including 4 strategy layers and 18 index layers, and the evaluation model is formed by trigonometric fuzzy analytic hierarchy process; while the evaluation model is used to comprehensively evaluate the quality of rural road maintenance and management in a certain area of Zhuanglang County, Pingliang City, Longdong District, Gansu Province, to verify the feasibility of the method. The practical results show that this method is feasible in the quality evaluation of rural road maintenance management, and can provide a certain reference for the decision-making of rural road maintenance management.

Key words: rural roads; conservation management; quality evaluation; trigonometric fuzzy analytic hierarchy process

农村公路是农村交通运输体系的重要组成部分,是服务农民生产生活 and 农村经济发展的重要基础设施。随着我国农村公路建设里程的不断增加,农村公路养护管理工作任务日趋繁重。据统计,2022 年末全国农村公路里程 453.14 万公里,其中县道里程 69.96 万公里、乡道里程 124.32 万公里、村道里程 258.86 万公里^[1]。建立健全科学的农村公路养护管理质量评价体系是促进农村公路可持续健康发展的重要保障措施。

2022 年 1 月,中华人民共和国交通运输部印发的《公路“十四五”发展规划》指出,把提升公路养护绩效作为公路重点任务之一,切实加强农村公路养护。构建规范高效的管理体系,通过鼓励各地建立完善公路养护绩效评价的管理制度和标准办法,明确工作流程、工作内容、考核指标和评价标准,加强评价结果在养护管理工作中的应用。

针对公路养护绩效评价指标体系以及方法已

收稿日期:2023-09-19

基金项目:甘肃省高等学校创新基金资助项目(2023B-378)

作者简介:李娟(1988—),女,工程师,从事工程项目管理工作。

有不少学者进行了研究。王祥^[2]通过模糊综合评价法建立 4 个一级指标, 16 个二级指标对高速公路养护质量进行评价; 肖阳等^[3]利用逻辑模型, 通过投入、工作完成度、产出 3 个一级指标下的 11 个二级指标建立公路养护绩效评价体系; 王萍等^[4]通过综合质量效益、治理能力和公众满意度 3 方面对“十四五”干线公路养护管理绩效建立评价体系。但农村公路养护相对于公路养护来说具有区域差异大、简易养护多以及养护设备缺乏等特点^[5], 在评价指标的选择上也有所不同。因此, 本文通过 OSM 模型确立农村公路养护管理质量评价指标体系, 运用三角模糊层次分析法 (triangular fuzzy number analytic hierarchy process, TFAHP) 建立农村公路养护管理质量评价模型, 以为农公路的养护管理工作提供一定的借鉴与参考。

1 OSM 模型

为建立科学、合理的评价体系, 在综合分析农村公路养护管理的影响后, 参考 OSM 模型构建一种评价体系。OSM 模型是一种数据分析方法, 由研究目标 (Objective)、研究策略 (Strategy)、研究指标 (Measurement) 3 个要素构成。其中研究目标为农村公路养护管理质量, 对这一目标进行策略和指标分层, 具体指标的划分如图 1 所示^[6-8]。

2 三角模糊层次分析法

农村公路养护管理评价指标体系存在一些定

性指标, 在评价过程中, 先将这些定性指标量化才能用评价模型对其进行处理。层次分析法 (analytical hierarchy process, AHP) 作为有效结合定性与定量的评价方法, 被广泛应用于建设项目的要素分析、系统评价与决策过程^[9]。但该方法存在一些问题, 如: 检验比较判断矩阵是否具有 consistency 问题的困难性、修改比较判断矩阵的复杂性和判断矩阵的一致性与人类思维的一致性有显著差异等^[10]。

三角模糊层次分析法在传统层次分析法的基础上, 将人们对事物认知的强弱用三角模糊数来表示, 避免了传统层次分析法中利用经典数学方法提取专家模糊信息时造成的信息丢失, 使专家的评价更加的合理和准确^[11-12]。

2.1 三角模糊数确定

三角模糊数是指用三角形函数来表达某一特征值 x 隶属于集合 N 的程度, 对任意三角模糊数的特征值介于 $x = (l, m, u)$, 其中 l 为下限, u 为上限, m 为最大可能取值^[13]。式 (1) 为隶属度函数, 其中 μ_N 为 x 的隶属函数; $N = (l, m, u)$ 为三角模糊数。图 2 为三角模糊函数图。

$$\mu_N(x) = \begin{cases} 0, & (x < l) \\ \frac{x-l}{m-l}, & (l \leq x < m) \\ \frac{x-u}{m-u}, & (m \leq x < u) \\ 0, & (x \geq u) \end{cases} \quad (1)$$

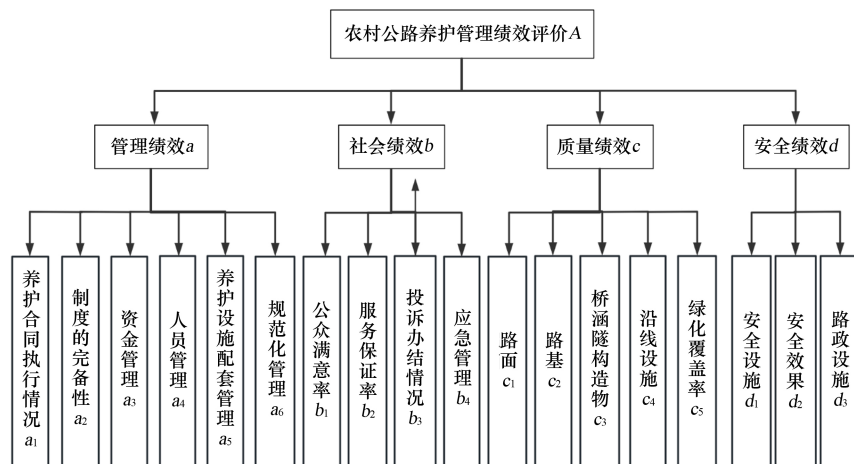


图 1 农村公路养护管理质量评价指标体系

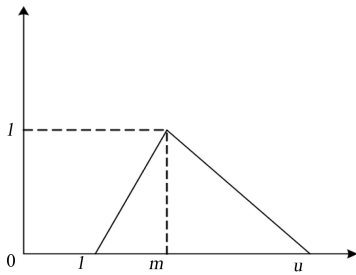


图 2 三角模糊函数

2.2 模糊判断矩阵构建

由评判专家对指标之间的重要性进行相互比较, 依据三角模糊数标度^[14](表 1)构建模糊判定矩阵。

表 1 三角模糊数标度

三角模糊标度	三角模糊互反标度	元素 i 与元素 j 相比的重要程度
(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	完全相同
(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)	同等重要
(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)	稍微重要
(3/2, 2, 5/2)	(2/2, 1/2, 2/3)	明显重要
(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)	非常重要

2.3 平均值矩阵构建

若有 z 个专家进行打分, 则可得三角模糊数平均值矩阵:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1}{z}(x_{ij}^1 + x_{ij}^2 + x_{ij}^3 + \cdots + x_{ij}^z) \quad (2)$$

式中: x_{ij} 为专家对同级指标 i 和 j 的重要度比较的打分值; z 为专家人数。

2.4 指标权重计算

2.4.1 综合重要程度计算

以 Q_i 为模糊判断矩阵中策略层各指标中第 i 个评价指标相对于其他所有指标的综合重要程度值^[15]:

$$Q_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}} = \left(\frac{\sum_{j=1}^n l_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n u_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij}} \right) \quad (3)$$

式中: l_{ij} 为下限, u_{ij} 为上限, m_{ij} 为最大可能取值。

2.4.2 重要程度比较

令模糊三角函数 $Q_i = (l_i, m_i, u_i)$, $Q_j = (l_j, m_j, u_j)$, 根据三角模糊公式计算 $Q_i \geq Q_j$ 的可能度^[16]:

$$V(Q_i > Q_j) =$$

$$\begin{cases} 1, m_i \geq m_j \\ \frac{u_i - l_j}{(m_j - m_i) + (u_j - l_j)}, m_i < m_j \text{ 且 } u_i > l_j \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式(5)为指标 Q_i 优于其他指标的纯测量度。

$$d_i = \min V(Q_i \geq Q_j), i \neq j \quad (5)$$

由此可以得到策略层各指标的权重模糊向量:

$$\mathbf{w} = [d_1, d_2 \cdots d_n]^T \quad (6)$$

将三角模糊权重转化为实数权重, 得到相应指标的局部权重^[17]。根据式(6)对局部权重进行归一化处理, 得到策略层指标权重向量。

$$\tilde{w}_{ij} = w_{ij} / \sum_{k=1}^n w_{kj}, k = 1, 2, \cdots, n \quad (7)$$

$$\mathbf{W} = [w_1, w_2 \cdots w_n]^T \quad (8)$$

同理, 计算得到策略层相对于目标层的权重向量, 结合指标层相对策略层的权重, 最终得到指标层相对目标层的权重。

2.5 评判对象因素集和评语集建立

因素集 F 为指标的集合, 即各策略层下面的各个指标, 一般有 $F = \{f_i\}, i = 1, 2, \cdots, n$ 。评定集 E 为评价等级的集合, 一般有 $E = \{e_j\}, j = 1, 2, \cdots, m$ 。

2.6 隶属度矩阵构建

隶属度是指多个评价主体对某个评价对象在 f_i 方面做出 e_j 评定的大小(可能性程度), 隶属向量如式(8)所示, 隶属度矩阵如式(9)所示^[18]。

$$\mathbf{R}_i = [r_{i1}, r_{i2} \cdots r_{im}] \quad (9)$$

$$\mathbf{R} = [R_1, R_2 \cdots R_n]^T \quad (10)$$

2.7 综合评定向量及综合评定值计算

综合评定向量如式(10)所示, 综合评定如式(11)所示。

$$\mathbf{S} = \mathbf{W} \times \mathbf{R} \quad (11)$$

$$\mu = \mathbf{W}_E \times \mathbf{S}^T \quad (12)$$

式中: μ 为综合得分值; $\mathbf{S}$ 为综合隶属度向量; $\mathbf{W}_E$ 为评定语集的数值化结果。

3 实例应用

对甘肃陇东地区平凉市庄浪县某区域农村公路养护管理工作进行养护管理绩效评价。按照评价指标(图 1)进行实地调研和查阅资料, 同时组织邀请十位行业专家(编号为 1, 2, $\cdots$, n)将各

项绩效评价指标两两对比,利用三角模糊数进行打分。回收数据后,根据式(1)得到平均值矩阵,如表 2~6 所示。

根据公式(2)进行综合模糊值计算,结果如表 7 所示。

根据式(3)、(4)将三角模糊权重转化为实数权重,得到策略层指标权重向量 W_A ,管理绩效指标权重向量 W_a ,社会绩效指标权重向量 W_b ,质

量绩效指标权重向量 W_c ,安全绩效指标权重向量 W_d 。

$$\begin{aligned} W_A &= [0.472, 0.161, 1.000, 0.226]^T \\ W_a &= [0.495, 0.026, 1.000, 0.177, 0.061, 0.248]^T \\ W_b &= [1.000, 0.551, 0.447, 0.236]^T \\ W_c &= [1.000, 1.000, 1.000, 0.403, 0.163]^T \\ W_d &= [0.401, 0.077, 1.000]^T \end{aligned}$$

表 2 策略层两两比较元素的相对重要程度

元素	a	b	c	d
a	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(1/2,2/3,1)	(1,3/2,2)
b	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,1,3/2)
c	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
d	(1/2,2/3,1)	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)

表 3 管理绩效指标两两比较元素的相对重要程度

元素	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
a_1	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(1/2,2/3,1)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)	(1,3/2,2)
a_2	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,2/3,1)
a_3	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(2,5/2,3)	(2,5/2,3)
a_4	(1/2,2/3,1)	(1,3/2,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(1/2,1,3/2)
a_5	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1/3,2/5,1/2)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1/2,2/3,1)
a_6	(1/2,2/3,1)	(1,3/2,2)	(1/3,2/5,1/2)	(2/3,1,2)	(1,3/2,2)	(1,1,1)

表 4 社会绩效指标两两比较元素的相对重要程度

元素	b_1	b_2	b_3	b_4
b_1	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)
b_2	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,3/2,2)
b_3	(1/2,2/3,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(2/3,1,2)
b_4	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)

表 5 质量绩效指标两两比较元素的相对重要程度

元素	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
c_1	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)
c_2	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)
c_3	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)
c_4	(1/2,2/3,1)	(1/2,2/3,1)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1,3/2,2)
c_5	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)

表 6 安全绩效指标两两比较元素的相对重要程度

元素	d_1	d_2	d_3
d_1	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(1/2,2/3,1)
d_2	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)
d_3	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)

表 7 综合模糊值

策略层	综合模糊值	指标层	综合模糊值
a	(0.175, 0.281, 0.444)	a_1	(0.123, 0.195, 0.354)
		a_2	(0.062, 0.108, 0.182)
		a_3	(0.170, 0.287, 0.450)
		a_4	(0.083, 0.154, 0.243)
		a_5	(0.064, 0.105, 0.198)
		a_6	(0.085, 0.151, 0.273)
b	(0.127, 0.199, 0.319)	b_1	(0.194, 0.353, 0.589)
		b_2	(0.137, 0.245, 0.471)
		b_3	(0.115, 0.216, 0.432)
		b_4	(0.104, 0.186, 0.327)
		b_5	(0.122, 0.239, 0.421)
c	(0.241, 0.380, 0.581)	c_1	(0.126, 0.239, 0.446)
		c_2	(0.131, 0.239, 0.470)
		c_3	(0.095, 0.166, 0.297)
		c_4	(0.073, 0.116, 0.198)
		c_5	(0.205, 0.322, 0.506)
d	(0.098, 0.140, 0.21)	d_1	(0.156, 0.220, 0.338)
		d_2	(0.288, 0.458, 0.696)
		d_3	(0.288, 0.458, 0.696)

根据式(5)对各权重向量进行归一化处理, 得到权重值向量如下。

$$\hat{W}_A = [0.254, 0.087, 0.538, 0.123]^T$$

$$\hat{W}_a = [0.246, 0.013, 0.498, 0.088, 0.030, 0.124]^T$$

$$\hat{W}_b = [0.488, 0.247, 0.200, 0.106]^T$$

$$\hat{W}_c = [0.280, 0.280, 0.280, 0.113, 0.046]^T$$

$$\hat{W}_d = [0.271, 0.052, 0.677]^T$$

通过策略层权重乘以指标层权重计算总权重, 结果如表 8 所示。

在确定指标权重后, 用模糊综合评价法进行具体评价, 建立评定集 $E = \{\text{优秀, 良好, 较好, 一般, 差}\} = \{90, 80, 70, 60, 50\}$ 。

专家通过对所有指标进行合理评价, 构建模糊评价矩阵。专家模糊评价数据如表 9 所示。

为确定各策略层隶属度矩阵 R , 以策略层中

管理绩效 R_a 的计算为例, 其中指标 a_1 专家打分为优秀的权重计算为 $3/10 = 0.3$, 同理可计算指标 a_1 专家打分为良好、较好、一般、差的权重分别为 0.6、0.1、0、0, 确定指标 $a_1 \sim a_6$ 专家打分为良好、较好、一般、差的权重, 即可得管理绩效隶属度矩阵 R_a 。

$$R_a = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

同理可得策略层中社会绩效 R_b 、质量绩效 R_c 、安全绩效 R_d 的隶属度矩阵。

通过策略层各指标的权重 W 与隶属度矩阵 R 相乘计算综合隶属度向量, 以策略层中管理绩效 S_a 的计算为例。

$$S_a = W \times R_a = [0.090\ 4, 0.116\ 2, 0.023\ 3, 0.013\ 7, 0.053]$$

最后计算策略层综合得分, 其中管理绩效综合得分 $\mu_a = 0.090\ 4 \times 90 + 0.116\ 2 \times 80 + 0.023\ 3 \times 70 + 0.013\ 7 \times 60 + 0.053 \times 50 = 22.535$ 。

同理可得, 社会绩效综合得分 $\mu_b = 6.766$, 质量绩效综合得分 $\mu_c = 42.994$, 安全绩效综合得分 $\mu_d = 9.958$ 。

故, 该公路养护质量最后得分:

$$\mu = \mu_a + \mu_b + \mu_c + \mu_d = 22.535 + 6.766 + 42.994 + 9.958 = 82.253$$

依据建立的评定集, 该农村公路养护质量属于良好。同时, 依据三角模糊数计算的 4 个策略层的权重可以看出, 质量绩效在该农村公路养护质量评价中的占比最大, 为 53.8%, 管理绩效为 25.4%, 安全绩效为 12.4%, 社会绩效占比最小, 为 8.75%。占比最大的质量绩效中, 通过专家的打分可以看出, 该农村公路路基、路面、桥隧构造物、沿线设施的养护质量都保持在较高水平。

表 8 总权重

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	b_1	b_2	b_3
0.062	0.003	0.126	0.022	0.008	0.031	0.039	0.021	0.017
b_4	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	d_1	d_2	d_3
0.009	0.151	0.151	0.151	0.061	0.025	0.033	0.006	0.083

表 9 专家模糊评价数据

指标层	优秀	良好	较好	一般	差
a_1	3	6	1	0	0
a_2	3	4	2	1	0
a_3	4	4	1	1	0
a_4	4	5	0	0	1
a_5	3	5	1	1	0
a_6	3	4	1	1	1
b_1	3	4	1	1	1
b_2	5	2	1	1	1
b_3	4	5	1	0	0
b_4	3	4	1	1	1
c_1	4	5	0	0	1
c_2	3	4	1	1	1
c_3	4	5	0	0	1
c_4	3	5	1	1	0
c_5	4	4	1	1	0
d_1	3	5	1	0	1
d_2	3	4	1	1	1
d_3	4	5	1	0	0

4 结 论

(1) 利用 OSM 模型建立农村公路养护管理质量评价体系, 包括总目标层, 策略层, 指标层, 其中策略层包括管理绩效、质量绩效、社会绩效和安全, 指标层总共 18 个。通过 OSM 模型可系统、全面地构建所需评估指标体系, 优化了层次分析方法对于指标体系构建存在的不足。

(2) 利用三角模糊层次分析法对策略层和指标层的权重进行计算, 并进一步通过模糊综合评价法确定综合评定值, 定性、定量的对农村公路养护质量进行评价, 减少了主管判断存在的误差。

(3) 通过实例验证, 证实该模型可有效地对农村公路养护管理质量进行定性、定量地评价, 且可以判断出需要提高以及管控的指标, 为后续的农村公路运维工作提供指导。

参考文献:

[1] 闫馨, 张晓征, 范文涛. 我国农村公路发展历程及展望[J]. 中国公路, 2023(22): 30-35.

[2] 王祥. 基于层次分析模糊综合评价的高速公路养护质量评价模型应用[J]. 交通世界, 2022(33): 52-55.

[3] 肖阳, 孙玉梅. 基于逻辑模型的公路养护绩效评价指标设计[J]. 中国公路, 2023(23): 114-117.

[4] 王萍, 欧阳男, 虞丽云. “十四五”干线公路养护管理绩效评价探析[J]. 公路, 2023, 68(9): 406-411.

[5] 吴海云. 农村公路管理养护工作特点及策略[J]. 中国新技术新产品, 2019(21): 101-102.

[6] 李海莲, 蔺望东, 林孟凯, 等. 基于 BSC-FAHP 和灰色聚类评价模型的农村公路养护管理绩效评价[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2022, 41(4): 46-53.

[7] 王崇远. 安溪县农村公路养护管理绩效评价研究[D]. 福州: 福建农业大学, 2020.

[8] 刘爱华, 卢勇, 李亚丽. 农村公路养护管理质量综合评价指标体系构建研究[J]. 现代交通与冶金材料, 2021(6): 34-39.

[9] 陈丽, 袁北飞, 牛牧青, 等. 层次分析法在中国建设项目研究中的应用[J]. 工程建设, 2023, 55(7): 53-58.

[10] 朱福, 陈文怡, 韩建博. 基于模糊层次分析与综合评价法的矿料级配优选[J]. 公路工程, 2023, 48(2): 104-110; 135.

[11] 李永锋, 朱丽萍. 基于模糊层次分析法的产品可用性评价方法[J]. 机械工程学, 2012, 48(14): 183-191.

[12] 范英, 李辰, 晋民杰, 等. 三角模糊数和层次分析法在风险评价中的应用研究[J]. 中国安全科学学报, 2019, 24(7): 70-74.

[13] 杨璐. AHP 中判断矩阵与优先权向量的一致性研究[D]. 安徽: 合肥工业大学, 2010.

[14] NAZARI S, FALLAH M, KAZEMIPOOR H, et al. A fuzzy inference-fuzzy analytic hierarchy process-based clinical decision support system for diagnosis of heart diseases [J]. Expert Systems With Applications, 2018(22): 261-271.

[15] 喻海燕. 我国主权财富基金对外投资风险评估: 基于三角模糊层次分析法(TFAHP)的研究[J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2015(1): 110-118.

[16] 万千, 陈冰琬, 柯清, 等. 基于 TF-AHP 的产品材料感性评价研究[J]. 林产工业, 2018, 45(8): 23-27; 56.

[17] 宗毅, 余鑫鑫, 田容, 等. 基于 T-FAHP 的线上购物顾客感知价值评价研究: 以 A 购物平台为例[J]. 数学的实践与认识, 2023, 53(3): 127-135.

[18] 汪应洛. 系统工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015: 137-140.