

基于 AHP-TOPSIS 方法的儿童安全座椅设计方案评价研究

吕欣, 刘玉云

(浙江工业大学, 杭州 310014)

摘要: **目的** 解决儿童安全座椅设计方案评价过程中的主观性和片面性等问题, 获得科学的设计方案。**方法** 依据文献研究和用户与专家问卷找出消费者选购产品时考虑的需求点和问题点, 初选出儿童安全座椅评价指标; 采用合理性测评筛选低效用指标, 确定儿童安全座椅评价指标体系的科学构建。提出一种结合层次分析法 (AHP) 和逼近理想解排序法 (TOPSIS) 的综合评价方法, 对 3 款儿童安全座椅的设计方案进行综合评价优选, 确定第 2 种设计方案为获得分数最高的优选方案。**结论** AHP-TOPSIS 模型应用于儿童安全座椅设计方案的优选可以消减决策者对设计方案评价的片面性与主观性, 实现相对科学的儿童安全座椅设计方案的评价。该方法在其他产品开发过程中处于设计阶段的方案评价与优选具有一定的通用性。

关键词: 儿童安全座椅; 层次分析法; 逼近理想解排序法; 方案评价

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)14-0150-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.14.025

Evaluation of Design Alternatives for Child Safety Seat Based on AHP-TOPSIS

LYU Xin, LIU Yu-yun

(Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the subjectivity and one-sidedness in the evaluation process of design alternatives to obtain scientific design alternatives. According to literature research and questionnaires from users and experts, the demand points and problem points that consumers considered when purchasing products were found out, and the evaluation index of child safety seat was initially selected. The rationality evaluation was adopted to screen out the inefficient indicators and to determine the scientific construction of the evaluation index system for child safety seats. A comprehensive evaluation method combining analytic hierarchy process (AHP) and technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) was proposed to comprehensively evaluate and optimize the design alternatives of three types of child safety seats, and the second design alternative was determined to be the optimal alternative with the highest score. The optimization of AHP-TOPSIS model applied in design alternatives for child safety seat can reduce the one-sidedness and subjectivity of decision makers in the evaluation of design alternatives and realize relatively scientific evaluation of child safety seat design alternatives. The proposed method has certain versatility in the evaluation and optimization of alternatives at the design stage in the development process of other products.

KEY WORDS: child safety seat; analytic hierarchy process; technique for order preference by similarity to ideal solution; alternative evaluation

在汽车儿童安全座椅开发的设计阶段, 研发人员会基于市场调研与用户需求的分析开发出多款设计方案。企业考虑到市场、成本、技术、资金和时间等客观因素, 往往只有一款设计方案能够进入后续开发阶段。设计方案的评估通常是由各部门主管进行评估

与决策。各部门主管评估设计方案时, 并没有一个评估依据或准则, 决策者以自身职务及个人观点来进行, 在此种情况下, 容易产生偏见或者考虑不够周全的状况。这种评估方法比较片面且缺乏科学的分析, 极易造成最佳设计方案的误选或漏选, 给企业造成不

收稿日期: 2019-02-12

作者简介: 吕欣 (1975—), 男, 浙江人, 硕士, 浙江工业大学副教授, 主要研究方向为用户体验设计。

必要的经济损失。因此，儿童安全座椅设计方案的科学评价是保证产品成功上市以及企业可持续正向发展的关键点。

在儿童安全座椅设计方案的评价中，决策的影响因素繁多，因素间常相互矛盾，需要多名决策者根据多个评价指标对多个设计方案进行选择与排序，属于多属性群体决策问题。逼近理想解排序法（technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS）是一种行之有效的多属性决策方法，被广泛应用于管理决策、供货商选择、风险评估、机械设备选择、商业市场管理研究、安全与环境管理等领域，在产品设计方案优选中应用较少^[1]。TOPSIS 在权重的部分没有一套完整的方法或架构，而是由决策者的主观认知决定各个属性的权重^[2]，因此在权重部分有失客观性，应该要搭配其他求取属性权重的方法使得权重的部分更加客观且完整。本文在 TOPSIS 方法中引入层次分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP），使各评价指标的权重值更为客观和完整。在决策过程中，由 AHP 提供各项评价指标的权重，TOPSIS 作为设计方案排序的主要工具，对 3 款儿童安全座椅的设计方案进行综合评价优选，最后得出最优的设计方案。

1 综合评价指标体系的建立

1.1 评价指标初选

儿童安全座椅设计方案的选择是一个涉及多层次、多因素、多指标等诸多因素的集合结果。在评价指标的选择时，各因素之间相互影响、相互制约，因此评判指标的选取具有完整性、非重叠性、功能性的特点。本研究以文献探讨^[3-6]、用户与专家问卷为基础，初步拟定了针对观察者层面、使用者层面和生产者层面的 18 项初选评价指标 A₁—A₅，B₁—B₇，D₁—D₆，见表 1。由于有些评价指标不具有代表性且存在近似或重复，为避免儿童安全座椅的评价指标被重复计算，影响评价的客观性。因此，本文对初选评价指标进行了筛选，以确定最终的儿童安全座椅评价指标体系，从而保证其科学性和全面性^[7]。

1.2 评价指标确立

本研究邀请了 50 位专家（包括用户、企业管理者、设计师）对这 18 项评价指标进行问卷调研，通过选择对儿童安全座椅有重要影响的评价指标完成合理性评估。调研结果回收 48 份有效问卷，通过对所有问卷的对比分析，将多数专家选择的结果纳入评价体系，即

$$J = K/48 \quad (1)$$

式中：J 为合理性值，K 为选择该指标的专家总数。将合理性值低于 0.5 的 7 个指标即 A₄，A₅，B₆，B₇，C₂，C₃ 和 C₆ 剔除，最终获得儿童安全座椅设计

方案评价指标体系，较客观地反映评价指标的重要性，见表 2。

表 1 儿童安全座椅的初选评价指标
Tab.1 Primary evaluation criteria for child safety seat

评价层面	评价指标初选
A 观察者层面	A ₁ 造型美观
	A ₂ 形式创新
	A ₃ 差异性高
	A ₄ 结构创新
	A ₅ 形态语义
B 使用者层面	B ₁ 实用性高
	B ₂ 符合人机
	B ₃ 使用安全
	B ₄ 使用耐久性
	B ₅ 环保性
	B ₆ 用户的归属感
	B ₇ 用户与产品的情感联系
C 生产者层面	C ₁ 结构合理
	C ₂ 部件标准化
	C ₃ 便于维修
	C ₄ 便于包装
	C ₅ 成本合理
	C ₆ 品牌识别性

表 2 儿童安全座椅评价指标体系
Tab.2 Evaluation criteria system of child safety seat

评价层面	评价指标	指标类型	
		成本型(负指标)	效益型(正指标)
E ₁ 观察者层面	F ₁ 造型美观		√
	F ₂ 形式创新	×	
	F ₃ 差异性高		√
E ₂ 使用者层面	F ₄ 实用性高		
	F ₅ 符合人机		
	F ₆ 使用安全	×	√
	F ₇ 使用耐久性		
E ₃ 生产者层面	F ₈ 环保性		
	F ₉ 结构合理		
	F ₁₀ 便于包装	×	√
	F ₁₁ 成本合理		

2 AHP-TOPSIS 方法

层次分析法是一种将复杂的问题系统化的方法，其基本思想是将复杂的决策问题建立层次结构模型，将评价指标进行两两比较判断，由高层次的评价指标往低层次的评价项目逐一分解，通过量化的方式进行综合评价，得出决策方案相对重要性的排序。其目的是在处理多个方案、多个评价指标的问题时，利用有系统地拆解、成对比较、量化比较结果以减轻思考负担；再整合量化后的数据获得各评价指标的权重关

系,用以协助决策者判断方案的优劣以降低优选错误的风险^[8]。

逼近理想解排序法是由 Yoon 与 Hwang 所提出的一种多属性评价方法,其基本思想是通过计算评价对象与正理想解和负理想解的距离进行排序,若评价对象距离正理想解最近同时又距负理想解最远则为最佳方案,反之最差^[9]。建立改进的 AHP-TOPSIS 综合评价模型的步骤如下。

2.1 建立初始评价矩阵

假设有 m 个备选方案所组成的方案集 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_i\}$; 有 n 个评价指标所组成的评价指标集 $F = \{F_1, F_2, \dots, F_j\}$, 构建的评价矩阵相应的评价指标记为 $X_{ij} (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$, 列为各备选方案, 行为各评价指标, 即 X_{ij} 表示第 i 个方案中第 j 个评价指标。则建立初始评价矩阵为

$$D=(x_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2 建立标准化评价矩阵

标准化的目的,在于求取各指标间单位的一致性与可比较性。该步骤是将不同属性单位转成同单位矩阵以利于比较^[10]。则建立标准化评价矩阵为

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (3)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (4)$$

2.3 确定各指标的权重

依据表 2 建立的层次结构模型,运用 AHP 法确定各层次评价指标的权重。

1) 建立成对比较矩阵。每一层要素都以相邻上一层各要素为评价基准,进行要素间的成对比较,若有 n 个要素时,则需进行 $n(n-1)/2$ 次的成对比较^[11]。设某层次内有要素 A_1, \dots, A_n , 每一要素的权重为 W_1, \dots, W_n , 以此建立成对比较矩阵,其中任两项 A_i 与 A_j 的相对重要度以 a_{ij} 表示,而要素 A_1, \dots, A_n 的成对比较矩阵为 $A=(a_{ij})$, 假设权重 W_1, \dots, W_n 为已知, 则成对比较矩阵为

$$A=(a_{ij}) = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

2) 计算各评价指标权重向量 W 并进行权重 W 的一致性检验。根据成对比较矩阵,可求出最大特征根所对应的特征向量 $CW=\lambda_{\max}W^{[12]}$, 所得到的 W 经标准化后作为各评价指标的排序权重。成对比较矩阵 A 为正倒值矩阵,要求决策者在成对比较时,能达成前后一贯性,因此需进行一致性的检定,以检查决策者在评估过程中,所做判断的合理程度如何,判断矩阵的一致性检验公式为

$$C_R = \frac{C_I}{R_I} = \frac{\lambda_{\max} - n}{C_1(n-1)} \quad (6)$$

式中: C_I 为一致性检验指标, n 为判断矩阵的阶数, R_I 为平均随机一致性指标^[13]。当 $C_R = 0$ 时表示评估者前后判断完全具有一致性,而 $C_R \leq 0.1$ 时表示误差在可接受范围内,否则需要重新调整判断矩阵,直至通过一致性检验为止。

2.4 建立加权标准化评价矩阵

假设矩阵 V 为加权后标准化评价矩阵,则 V 可表示为:

$$V=(v_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: $v_{ij} = w_j r_{ij}$, v_{ij} 为加权后标准化评价矩阵的要素评比值, w_j 是第 j 个属性权重值。

2.5 确定正理想解与负理想解^[14]

正理想解:

$$A^+ = \{(\max_{1 \leq i \leq m} V(j), j=1,2,\dots,n)\} = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+)$$

负理想解:

$$A^- = \{(\min_{1 \leq i \leq m} V(j), j=1,2,\dots,n)\} = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-) \quad (8)$$

2.6 计算各方案与正理想解和负理想解的距离

各备选方案与正理想解 A^+ 和负理想解 A^- 的欧氏距离^[15]分别为:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i=1,2,\dots,m$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i=1,2,\dots,m \quad (9)$$

2.7 计算各方案与正理想解的相对贴近度并进行方案排序

当一个备选方案比另一个方案更接近理想解,并不能表示此解就是最佳解,必须依照贴近度计算的结果决定,即同时考虑与正理想解和负理想解的距离来判断。贴近度计算公式如下:

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (10)$$

其中, $0 \leq C_i^+ \leq 1, i=1,2,\dots,m$ 。若方案 i 为正理想解, 则 $C_i^+ = 1$; 若方案 i 为负理想解, 则 $C_i^+ = 0$ 。所以, C_i^+ 值愈接近 1, 则方案 i 愈接近正理想解。各备选方案的优先排序是按照 C_i^+ 值的大小来决定。 C_i^+ 值愈大, 则方案的优先程度愈高。

3 AHP-TOPSIS 在儿童安全座椅设计方案评价中的应用

本文以为大器婴童用品有限公司实际开发的 3 款儿童安全座椅设计方案 D_1, D_2 和 D_3 为例展开应用, 每款方案展示了儿童安全座椅的造型、结构和材质等主要特征群, 见图 1—图 3。本文应用 AHP-TOPSIS 方法对以下 3 款儿童安全座椅的设计方案进行综合评价优选, 具体步骤如下:



图 1 方案 D_1
Fig.1 Alternative D_1



图 2 方案 D_2
Fig.2 Alternative D_2



图 3 方案 D_3
Fig.3 Alternative D_3

3.1 建立初始评价矩阵并标准化评价矩阵

3 个备选方案组成方案集 $D = \{D_1, D_2, D_3\}$; 11 个评价指标组成的评价指标集 $F = \{F_1, F_2, \dots, F_{11}\}$; 10 位参与者 (包括 2 名用户、2 名设计师、2 名工程师、2 名企业管理者与 2 名工业设计教师) 组成的决策者对每个方案 $D_i (i=1, 2, 3)$ 关于指标 $F_j (j=1, 2, \dots, 11)$ 按照儿童安全座椅评价指标体系 (表 2) 在 0~10 分 ($0 < \text{很差} \leq 3, 3 < \text{较差} \leq 5, 5 < \text{一般} \leq 6, 6 < \text{较好} \leq 8, 8 < \text{很好} \leq 10$) 区间打分, 建立的初始评价矩阵见表 3, 根据式 (3)、式 (4) 建立标准化评价矩阵, 见表 4。

表 3 初始评价矩阵
Tab.3 Initial evaluation matrix

评价 指标	设计方案		
	D_1	D_2	D_3
F_1	9.4	8.8	7.7
F_2	8.0	8.5	9.2
F_3	8.0	7.8	8.8
F_4	8.1	8.5	6.5
F_5	9.2	9.1	8.6
F_6	8.7	9.0	5.4
F_7	7.4	8.2	5.3
F_8	7.5	8.3	7.8
F_9	8.5	9.0	7.3
F_{10}	8.9	9.2	7.6
F_{11}	7.0	7.5	8.5

3.2 计算各指标的权重值并建立加权标准化评价矩阵

根据表 2 的儿童安全座椅评价指标体系, 10 位参与者 (包括 2 名用户、2 名设计师、2 名工程师、2 名企业管理者与 2 名工业设计教师) 组成的决策者对一级评价指标以 1~5 标度对 3 个评价层面进行两两比较, 建立判断矩阵见表 5。

表4 标准化评价矩阵
Tab.4 Normalization evaluation matrix

评价指标	设计方案		
	D_1	D_2	D_3
F_1	0.63	0.59	0.51
F_2	0.54	0.57	0.62
F_3	0.56	0.55	0.62
F_4	0.60	0.63	0.48
F_5	0.59	0.58	0.55
F_6	0.64	0.66	0.40
F_7	0.60	0.67	0.43
F_8	0.55	0.61	0.57
F_9	0.59	0.63	0.51
F_{10}	0.60	0.62	0.51
F_{11}	0.53	0.57	0.64

表5 各评价层面判断矩阵
Tab.5 Judgment matrix at all evaluation levels

	E_1	E_2	E_3	权重值
E_1	1	0.53	3.15	0.33
E_2	1.89	1	4.02	0.55
E_3	0.32	0.25	1	0.12

根据各评判指标的权重，可得特征值 $\lambda_{\max}=3.022$ ， $C_I=0.011$ ， $R_I=0.58$ ， $C_R=0.019 < 0.1$ 。根据一致性检验公式可知该判断矩阵满足一致性检验的要求，则权重矩阵 $W=(0.33, 0.55, 0.12)$ 是可接受的。同理，可得各二级评判指标的权重，当计算出各层次的权重后，可以进行层次串联。串联之后即可得到所有评价指标的相对权重值见表6—表8。

表6 观察者层面各评价指标判断矩阵
Tab.6 Observer's evaluation criteria judgment matrix

	F_1	F_2	F_3	权重值	相对权重值
F_1	1	4.24	2.79	0.62	0.2046
F_2	0.24	1	0.56	0.14	0.0462
F_3	0.36	1.79	1	0.24	0.0792

$C_R=0.027 < 0.1$

表7 使用者层面各评价指标判断矩阵
Tab.7 User's evaluation criteria judgment matrix

	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	权重值	相对权重值
F_4	1	1.94	0.53	2.87	4.67	0.27	0.1485
F_5	0.52	1	0.31	2.21	3.06	0.16	0.088
F_6	1.89	3.23	1	3.97	4.83	0.41	0.2255
F_7	0.35	0.45	0.25	1	2.69	0.10	0.055
F_8	0.21	0.33	0.21	0.37	1	0.06	0.033

$C_R=0.016 < 0.1$

表8 生产者层面各评价指标判断矩阵
Tab.8 Producer's evaluation criteria judgment matrix

	F_9	F_{10}	F_{11}	权重值	相对权重值
F_9	1	4.16	1.86	0.55	0.066
F_{10}	0.24	1	0.36	0.13	0.0156
F_{11}	0.54	2.78	1	0.32	0.0384

$C_R=0.007 < 0.1$

根据表4的标准化评价矩阵与表6—表8的相对权重值计算加权标准化评价矩阵，计算结果见表9。

表9 加权标准化评价矩阵
Tab.9 Weighted normalization evaluation matrix

评价指标	设计方案		
	S1	S2	S3
F_1	0.129	0.121	0.104
F_2	0.025	0.026	0.029
F_3	0.044	0.044	0.049
F_4	0.089	0.094	0.071
F_5	0.052	0.051	0.048
F_6	0.144	0.149	0.090
F_7	0.033	0.037	0.024
F_8	0.018	0.020	0.019
F_9	0.039	0.042	0.034
F_{10}	0.009	0.010	0.008
F_{11}	0.020	0.022	0.025

3.3 计算各方案的贴近度

在计算正负理想解上，首先将加权标准化评价矩阵如表9代入公式(8)计算，求得各评价指标的正理想解 A^+ 与负理想解 A^- ，其结果如下。

$$\begin{cases} A^+ = (0.129, 0.029, 0.049, 0.094, 0.052, \\ \quad 0.149, 0.037, 0.020, 0.042, 0.010, 0.025) \\ A^- = (0.104, 0.025, 0.044, 0.071, 0.048, 0.090, \\ \quad 0.024, 0.018, 0.034, 0.008, 0.020) \end{cases}$$

根据公式(9)计算出正理想解距离 S_i^+ 及负理想解距离 S_i^- ，其结果如下。

$$\begin{cases} S_i^+ = (0.0121, 0.0104, 0.0701), i=1, 2, 3 \\ S_i^- = (0.0632, 0.0675, 0.0082), i=1, 2, 3 \end{cases}$$

依据公式(10)计算与正理想解的相对贴近度，各备选方案对理想解的相对近似程度 C_i^+ 分别为：

$$C_i^+ = (0.84, 0.87, 0.10), i=1, 2, 3$$

$$C_2 > C_1 > C_3$$

相对近似度值越大，表示距正理想解越近，距负理想解最远，即可成为好的选择。综上可得，3款儿童安全座椅设计方案的综合优越度分别为 $D_1, 0.84$ ； $D_2, 0.87$ ； $D_3, 0.10$ ，即设计方案的优劣排序为方案 $D_2 > D_1 > D_3$ ，为最优设计方案。

4 结语

首先本文以文献探讨、用户与专家问卷为基础, 结合合理性筛查, 建立了较为科学全面的儿童安全座椅评价指标体系, 并且对传统的 TOPSIS 法做出了一定的改进, 提出一种基于 AHP-TOPSIS 方法的儿童安全座椅设计方案评价与优选, 利用 AHP 计算各评价指标的权重值, TOPSIS 对方案进行排序, 综合了 TOPSIS 和 AHP 的各自特点, 较传统 TOPSIS 更为严谨, 在一定程度上消减决策者对设计方案评价的片面性与主观性, 实现相对科学的儿童安全座椅设计方案的评价, 有效避免了设计阶段中方案的误选。该方法在其他产品开发过程中处于设计阶段的方案评价与优选也具有一定的通用性。

参考文献:

- [1] 徐玖平. 多属性决策的理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
XU Jiu-ping. Multiple Attribute Decision Making Theory and Methods[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [2] YANG Wei. New Group Decision Making Method in Intuitionistic Fuzzy Setting Based on TOPSIS[J]. Technological & Economic Development of Economy, 2017, 23(3): 441—461.
- [3] GB/T 23160—2008, 进出口自行车儿童座椅安全要求和测试方法[S]. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2008.
GB/T 23160—2008, Import and Export Bicycle Child Seat Safety Requirements and Test Methods[S]. Beijing: China National Standardization Administration, 2008.
- [4] GB 14166—2013, 机动车乘员用安全带、约束系统、儿童约束系统和 ISOFIX 儿童约束系统[S]. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2013.
GB 14166—2013, Safety-belts. Restraint systems. Child Restraint Systems and ISOFIX Child Restraint Systems[S]. Beijing: China National Standardization Administration, 2013.
- [5] GB 27887—2011, 机动车儿童乘员用约束系统[S]. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2011.
GB 27887—2011, Restraining Device for Child Occupants of Power-Driven vehicles[S]. Beijing: China National Standardization Administration, 2011.
- [6] 杨济匡. 轿车侧碰撞中儿童乘员约束系统的多目标优化[J]. 机械工程学报, 2011, 47(12): 79—91.
YANG Ji-kuang. Multi-objective Optimization of Child Restraint System for Vehicle Side Impact[J]. 2011, 47(12): 79—91.
- [7] 李梅. 基于决策者偏好视角的直觉模糊多属性决策方法研究[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2017.
LI Mei. Research on Intuitionistic Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Based on Decision-maker's Preference Perspective[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2017.
- [8] NADERZADEH. Comparative Analysis of AHP-TOPSIS and Fuzzy AHP Models in Selecting Appropriate Nanocomposites for Environmental Noise Barrier Applications[J]. Fluctuation & Noise Letters, 2017, 16(4): 1—20.
- [9] 孔峰. 多属性决策模型的选择反转问题研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011.
KONG Feng. Research on Selection Inversion of Multiple Attribute Decision Making Model[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2011.
- [10] SANGAIAH. A Combined Fuzzy DEMATEL and Fuzzy TOPSIS Approach for Evaluating GSD Project Outcome Factors[J]. Neural Computing & Applications, 2015, 26(5): 1025—1040.
- [11] SHARMA. Implementation of Fuzzy TOPSIS Methodology in Selection of Procedural Approach for Facility Layout Planning[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 88(5): 1485—1493.
- [12] ZEKI. A Fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2006, 17(2): 179—190.
- [13] 陈婷婷. 基于熵权-TOPSIS-灰色关联的航道宽度设计结果评价[J]. 水运工程, 2013(12): 136—141.
CHEN Ting-ting. Entropy Weight TOPSIS Grey Correlation Method on Assessment of Channel Width Design Result[J]. Port & Waterway Engineering, 2013(12): 136—141.
- [14] WANG Xin-min. Mining Method Choice Based on AHP and Fuzzy Mathematics[J]. Science and Technology, 2008, 39(5): 875—880.
- [15] JOVANA. AHP-based Group Decision Making Approach to Supplier Selection of Irrigation Equipment[J]. Water Resources, 2014, 41(6): 782—791.