

基于层次分析法的面盆水龙头设计与评估

白伊莎,赵项

(福建工程学院 设计学院,福建 福州 350118)

摘要: 为满足消费者对面盆水龙头的功能需求与审美诉求,提高用户的使用满意度,结合层次分析法(AHP)与逼近理想解排序法(TOPSIS)对面盆水龙头进行设计与方案评估研究。以 AHP 法为基础构建面盆水龙头层级模型,运用几何平均法计算设计要素权重并获取设计重点,以此构思面盆水龙头设计方案;引入 TOPSIS 法对设计方案进行综合评估,得出最佳设计方案。结果表明:结合 AHP 与 TOPSIS 对面盆水龙头进行设计,可准确获取设计重点,科学评估设计方案。

关键词: 面盆水龙头;设计评估;产品设计;层次分析法;逼近理想解排序法

中图分类号: TB472 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-4348(2021)03-0288-06

Design and evaluation of basin faucet based on analytic hierarchy process

BAI Yisha, ZHAO Xiang

(School of Design, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: In order to meet consumers' functional needs and aesthetic demands for basin faucets, and improve user satisfaction, analytic hierarchy process (AHP) and the approach to ideal solution sorting method (TOPSIS) were combined to carry out design and plan evaluation of basin faucets. A basin faucet hierarchy model was built on the basis of the AHP method, the geometric average method was used to calculate the weight of design elements and obtain the key design points, so as to conceive the basin faucet design plan; then, the TOPSIS method was introduced to conduct a comprehensive evaluation of the design plan, and obtain the best design scheme. Results show that combining AHP and TOPSIS to design basin faucets can accurately obtain the design focus, and evaluate the plan scientifically.

Keywords: basin faucet; design evaluation; product design; AHP; TOPSIS

时代的进步促进了人们消费理念的转变,消费者对面盆水龙头产品需求呈现出多元化发展趋势,越来越青睐个性化、人性化的设计^[1]。近年来,以面盆水龙头产品为对象的设计也层出不穷,主要聚焦于水龙头的造型、功能、情感化等方面的探究。例如,汤军^[2]为提升用户淋浴体验,对淋浴水龙头进行了功能创新研究;李培^[3]基于人性化设计理论、人机工程学、情感化设计理论对公共空间的面盆水龙头造型进行探讨,总结出大量面盆水龙头的设计原则和趋势,以此指导设计;楚存宝^[4]为了满足用户使用面盆水龙头的全新体验,对水龙头进行智能化设计,其研究范式可为相关卫浴产品研究提供新思路;杨昕妍^[5]为了优化狭小卫浴空间的多种水龙头使用问题,基于 AHP 法对水龙头设计属性进行决策定制,并设计出一款多功能卫浴水龙头。除此之外,还有很多相关研究,但大部分研究方法较为单一,在研究过程中未考虑面盆水龙头设计属性的多样性,设计重点决策缺乏科学的理论支撑,方案优选存在较强主观性,导致研究范式可用性削弱。

当前,从管理学领域引入设计研究的决策理论较为丰富,常见的有层次分析法(AHP)和逼近理想解排序法(TOPSIS)。宋立涛^[6]基于AHP法计算某型汽车各评价指标权重,并对设计方案进行决策优选;陈国强^[7]为了增强可移动检测设备在有限空间下的布局设计可控性,基于AHP法对可移动检测装备进行模块化设计属性决策定制;李静^[8]应用AHP法对多动症儿童体感类玩具进行设计重点决策与评估。可见,用AHP法对产品设计进行权重计算与决策定制具有可行性。在TOPSIS方法的应用上,何劲涛^[9]基于TOPSIS法对旅游文化创意产品的多文化意象色彩进行设计评估;杨梅^[10]应用TOPSIS对适老化智能手环设计方案进行优选;彭定洪^[11]将TOPSIS法应用于产品设计方案的综合评价中。综上可知,TOPSIS法适用于产品设计方案的优选决策。

AHP法作为一种定性与定量结合的多准则决策方法,用于对决策属性指标进行权重计算,可极大减少调查工作量。在根据指标权重获取设计重点后进行产品方案设计中,构思角度的异同可得到多个设计方案,然而众多设计方案中究竟哪种最能满足用户需求,AHP法并没有给出明确的准则,如何从多个设计方案中选择具有可行性与科学性的最优方案成为设计研究中常见的困扰^[12]。而TOPSIS作为多准则决策方法之一,常用于多准则决策优选最佳方案中,可有效避免评价主观性。但应用TOPSIS法进行方案优选,无法计算各评价指标权重值,需要事先赋值评价指标权重。本研究将TOPSIS与AHP相结合对众多设计指标进行决策定制和多方案评价优选,其研究框架大致为:(1)基于AHP法通过构建层次分析模型和建立判断矩阵,引入几何平均法计算各层级指标权重,并依此进行设计构思;(2)以AHP法权重为基础,应用TOPSIS法对设计方案进行综合优选,通过求解正、负理想解及计算各设计方案到其距离,以获取最佳方案。

1 基于AHP法的面盆水龙头设计分析

AHP法是层次分析法的简称,由著名的美国运筹学家T. L. Saaty于20世纪70年代提出,是一种将多目标复杂问题层级化的方法,把定性的问题进行量化,并通过权重系数的计算,得出层次

指标重要度排序,可依其进行决策定制,该方法具有简单实用、科学严谨的优势^[13]。在面盆水龙头设计评价中,由于设计要素复杂,各要素对面盆水龙头设计的影响很难得到科学的量化。而应用AHP法可合理地将复杂的定性决策过程进行有效量化,可把复杂无序的设计要素按目标层、准则层和子准则层构建出清晰的递阶层次模型。

1.1 面盆水龙头层次模型构建

面盆水龙头是集造型美、功能美和技术美于一体的卫浴产品。对文献[14]和[15]梳理得知:面盆水龙头的研发过程中要充分考虑美观、经济、创新、安全和易用5种属性。

美观性指面盆水龙头的外观,简约的造型、合理的配色和优质的材料工艺传达给用户轻松的意象,3个方面的差异影响用户使用面盆水龙头的情感体验。

经济性主要与面盆水龙头的价格相关联,其主要表现在生产成本、维修和部件更换上,其产品价格实惠、维修便捷、部件便于更换可极大吸引用户购买。

面盆水龙头创新性主要从功能上着手,可出漱口水、给皂和水嘴管可抽拉3个独特的功能可增加面盆水龙头的设计创意。

安全性主要表现在面盆水龙头材料对水质的影响,以及结构对使用的稳定性,在面盆水龙头开发中必须使用安全无毒材料、结构设计合理以及能够稳定使用,不会对用户造成安全威胁。

易用性作为产品的重要属性,在面盆水龙头设计中体现在安装、操作和功能上,在研发时要高度注重产品的结构,保证成品安装便捷、用户使用时操作简单,以及功能科学合理。

根据AHP法的构建递阶层级结构模型原则,将目标层设置为面盆水龙头设计最佳方案,用 O 表示;将美观性、经济性、创新性、安全性和易用性做为准则层,分表用 A 、 B 、 C 、 D 、 E 表示;并将准则层下的设计指标拓展至相应的子准则层,用 A_1 、 A_2 、 A_3 表示,以此类推,构建出的层次分析模型如图1所示。

1.2 层次指标权重计算

基于层次分析模型,构建出合适的判断矩阵,并邀请多位专家对同一层次的各指标之间相互重要程度进行比较赋值^[16],如判断矩阵 X 所示,其中, X_{ij} 代表各准则层指标 X_1, X_2, \dots, X_n 与目标 X

相比所具有的重要性评价,反之则为 $1/X_{ij}$,重要性评价准则采用 Saaty 所提的 1~9 标度^[17]。

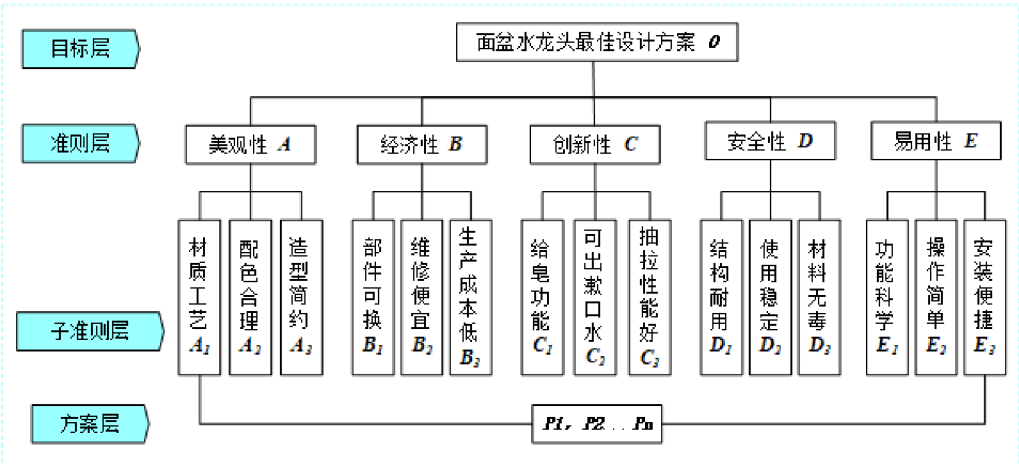


图 1 层次分析模型

Fig.1 Analytic hierarchy process model

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nn} \end{bmatrix}$$

然后引入几何平均算法^[18]计算准则层和子准则层各指标权重,运算步骤大致如下:

步骤 1. 计算各层级标度的乘积:

$$M_i = \prod_{j=1}^m b_{ij} (i = 1, 2, \cdots, m) \tag{1}$$

式中, b_{ij} 代表第 i 行第 j 列中指标, m 则为指标量。

步骤 2. 判断各层级标度乘积的几何平均值:

$$a_i = \sqrt[m]{M_i} (i = 1, 2, \cdots, m) \tag{2}$$

步骤 3. 计算相对权重:

$$W_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^m a_i} \tag{3}$$

步骤 4. 计算最大特征根:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{B_{W_i}}{W_i} \tag{4}$$

式中, B_{W_i} 代表向量 B_W 第 i 个分量, n 表示为阶数。

步骤 5. 结果一致性检验:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{5}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{6}$$

式中, n 代表判断矩阵评价指标所对应阶数, RI

表示为平均一致性指标,其各阶所对数值如表 1 所示, CR 为一致性比值,当 $CR \leq 0.1$ 时一致性检验通过;若 $CR > 0.1$ 则未通过,说明判断矩阵存在逻辑上的错误,需经检查调整后再次进行计算。

表 1 平均一致性指标

Tab.1 Average consistency index

n	RI
1	0.00
2	0.00
3	0.52
4	0.89
5	1.12
6	1.26
7	1.36
8	1.41
9	1.46

为保证判断矩阵数据来源的多元性,以增强研究结果的客观性和普遍性,本研究参与判断矩阵调研的对象均对面盆水龙头有较深了解且理解判断矩阵和评价标度。共对 15 名与面盆水龙头相关人员进行测试,包含:5 名从事卫浴产品研发的设计师、3 名面盆水龙头产品专家、2 名研究领域为卫浴产品设计方向教授、5 名主攻卫浴产品设计方向硕士研究生,要求他们根据 1~9 标度评价准则对各层与上层相对应指标进行评估打分。将打分结果均值化后,分别得到如下判断矩阵:

$$O = \begin{bmatrix} 1.0 & 5.0 & 0.5 & 3.0 & 2.0 \\ 0.2 & 1.0 & 0.2 & 0.5 & 0.3 \\ 2.0 & 5.0 & 1.0 & 2.0 & 3.0 \\ 0.3 & 2.0 & 0.5 & 1.0 & 0.2 \\ 0.5 & 3.0 & 0.3 & 5.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.2 & 0.3 \\ 5.0 & 1.0 & 2.0 \\ 3.0 & 0.5 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.3 & 2.0 \\ 3.0 & 1.0 & 3.0 \\ 0.5 & 0.3 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.3 & 2.0 \\ 3.0 & 1.0 & 5.0 \\ 0.5 & 0.2 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.5 & 0.3 \\ 2.0 & 1.0 & 0.5 \\ 3.0 & 2.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.5 & 3.0 \\ 2.0 & 1.0 & 5.0 \\ 0.3 & 0.2 & 1.0 \end{bmatrix}$$

根据上述几何平均算法步骤 1~3 计算,得到各层级指标权重:目标层(*O*)对应的准则层(*A*, *B*, *C*, *D*, *E*)的权重值分别为 0.265 0, 0.057 1, 0.367 2, 0.104 5, 0.206 2;美观性对应的(*A*₁, *A*₂, *A*₃)权重值分别为 0.109 6, 0.581 3, 0.309 2;经济性对应的(*B*₁, *B*₂, *B*₃)权重值分别为 0.251 9, 0.588 9, 0.159 3;创新性对应的(*C*₁, *C*₂, *C*₃)权重值分别为 0.229 9, 0.649 0, 0.122 1;安全性对应的(*D*₁, *D*₂, *D*₃)权重值分别为 0.163 8, 0.297 2, 0.539 0;易用性对应的(*E*₁, *E*₂, *E*₃)权重值分别为 0.309 1, 0.581 3, 0.109 6。为了确保测试人员评价时的思维一致性和判断矩阵相容性,根据几何平均算法步骤 4~5 进行计算,最终得到一致性检验结果均小于 0.1,由此表明一致性检验通过,如表 2 所示。

1.3 设计重点获取

根据上述层次分析法对各层级指标权重计算结果可知,在对面盆水龙头进行设计开发时,应对产品的创新性进行重点设计;在美观性上,充分考虑面盆水龙头的色彩与造型搭配;面盆水龙头的易用性、安全性和经济性 3 个设计要素权重排序靠后,研发产品时也要进行非重点设计。

表 2 一致性检验过程与结果

Tab.2 Consistency test process and results				
判断矩阵	λ _{max}	CI	RI	CR
<i>O</i>	5.402	0.100	1.12	0.090
<i>A</i>	3.004	0.002	0.52	0.004
<i>B</i>	3.054	0.027	0.52	0.052
<i>C</i>	3.004	0.002	0.52	0.004
<i>D</i>	3.009	0.005	0.52	0.009
<i>E</i>	3.004	0.002	0.52	0.004

2 面盆水龙头方案设计与评估

2.1 方案设计

根据上述对面盆水龙头设计要素重点获取,在设计时首先要对创新性和美观性重点考虑,其次融合易用性、安全性和经济性原则及其相对应设计指标进行整合,并基于卫浴产品设计流程和方法,结合人体工程学、材料学、力学等知识对面盆水龙头进行研发设计。在创新性上,增加漱口水和给皂功能,鉴于面盆水龙头结构和安全特性,漱口水与给皂两个功能不能同时出现,故将其拆分作为两个功能创新方案。在美观性上,结合色彩学知识,黑色带给用户一种绅士的意象,且较为耐脏,故配色选用黑色为色调。另外,一般的面盆水龙头主要采用不锈钢原色,在方案设计中也可考虑。经初步构思得到 3 个可行性设计方案,如图 2 所示。在创新性上,方案 2 和方案 3 面盆水龙头颈管上部前端加入漱口水出口,其漱口水开关按钮置于其后。方案 1 则加入给皂功能,皂液从单独管道通过水嘴,出皂符合正常的人机交互方式。在美观性上,3 个方案均采用磨砂黑和不锈钢两种配色,整体外观极致简约。3 个方案在材质上均选用达标的无毒不锈钢材料,操作简单,科学合理;整体可拆卸式设计便于更换维修部件,开关位置不同,其中,方案 1 为感应式开关,方案 2 和方案 3 均为手动式开关。

2.2 基于 TOPSIS 的方案评估

TOPSIS 法作为一种常见的综合评价法,主要通过归一化后的数据进行规范化矩阵,并求出评价方案到正、负理想解之间的距离,若方案最接近正理想解的同时最远离负理想解,则为最优方



图 2 方案设计
Fig.2 Project design

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

方案	F_{A1}	F_{A2}	F_{A3}	F_{B1}	F_{B2}	F_{B3}	F_{C1}	F_{C2}	F_{C3}	F_{D1}	F_{D2}	F_{D3}	F_{E1}	F_{E2}	F_{E3}
方案 1	4.2	4.9	5.2	3.4	3.7	5.1	5.6	2.8	1.9	4.2	3.4	4.9	4.7	4.2	4.2
方案 2	4.3	5.1	4.8	4.7	4.8	2.3	2.3	5.4	4.1	4.1	4.8	5.1	4.7	5.4	4.2
方案 3	4.2	4.8	4.9	4.6	4.5	2.1	2.1	5.3	3.9	3.9	4.6	4.9	4.5	5.1	4.1

(2)规范初始评价矩阵,得到标准矩阵 R_{ij} :

$$R_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sum_{i=1}^m f_{ij}^2} \quad (i = 1, 2, \cdots, m; j = 1, 2, \cdots, n) \quad (7)$$

(3)依据各评价指标目标权重,计算得到加权标准矩阵 u_{ij} :

$u_{ij} = W_j R_{ij} (i = 1, 2, \cdots, m; j = 1, 2, \cdots, n) \quad (8)$
式中, W_j 代表权重。

(4)求正理想解 A^* 与负理想解 A^- :

$$M_j^+ = \max \{ u_{1j}, u_{2j}, \cdots, u_{mj} \} \quad (j = 1, 2, \cdots, n)$$
$$M_j^- = \min \{ u_{1j}, u_{2j}, \cdots, u_{mj} \} \quad (j = 1, 2, \cdots, n) \quad (9)$$

则:

$$A^* = (M_1^+, M_2^+, \cdots, M_m^+) \quad (10)$$
$$A^- = (M_1^-, M_2^-, \cdots, M_m^-)$$

(5)运用欧几里得距离计算各方案到理想解距离,各方案到正理想解的距离为 S_{i+} ,到负理想解的距离为 S_{i-} :

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^+)^2} \quad (i = 1, 2, \cdots, m)$$
$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^-)^2} \quad (i = 1, 2, \cdots, m) \quad (11)$$

(6)计算各方案到理想解的相对贴进度 C_i :

案,反之最少^[19]。本研究将 AHP 法中子准则层的设计要素作为方案的评价指标,邀请 50 名相关用户依据评价指标对各方案进行打分,评分标准根据面盆水龙头满足相应评价指标的程度,打分采用 7 级李克特量表。基于 TOPSIS 法的方案优劣决策的流程如下:

(1)将测试结果均值化,得出初始评价矩阵,如表 3 所示(用 F 表示均值化后的测试结果);

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (i = 1, 2, \cdots, m) \quad (12)$$

根据 C_i 值大小判断各方案的优先排序,其中 C_i 越大则表示方案的优先程度越高,结果如表 4 所示,即方案 2 为最佳设计方案。

表 4 正、负理想解及相对贴进度
Tab.4 Positive and negative ideal solutions and relative affixed progress

方案	正理想解	负理想解	相对贴进度	排序
方案 1	4.903	4.147	0.458	3
方案 2	3.962	4.921	0.554	1
方案 3	3.783	4.542	0.546	2

方案 2 的功能细节如图 3 所示,水龙头整体造型简约,圆角精致,比例和谐,能带给用户柔美的意象。在功能上,该面盆水龙头加入漱口出水口,方便用户在无水杯情况下可轻松漱口。选用无毒不锈钢材料,其耐压性、耐磨性和耐腐蚀性保证了水龙头的结构稳定性,呈色以不锈钢原色或磨砂黑涂装为主,外加 20 mm 透明窗和颈管前端的拉丝黑色注塑件的点缀,促使整体色彩诙谐,整体配色合理;为保证其符合人体工程学及生产工艺,其水管直径为 45 mm、长 230 mm、高 220 mm,尺寸比例和谐;为了满足大部分用户使用习惯,将

开关设计在顶部,操作简单且顺手;考虑到维修费用,该面盆水龙头可将阀芯、颈管、冲管、密封圈等部件拆卸维修,也可从透明窗处进行拆卸,易于更换过滤滤芯及其他部件,可减少整体更换带给用户的困扰。



图3 细节图

Fig.3 Details

3 结语

为准确获取面盆水龙头设计重点,有效降低设计方案评估的主观性,应用 AHP 法与 TOPSIS

法相结合对面盆水龙头进行设计与方案评估研究,通过构建层次分析模型和面盆水龙头设计要素判断矩阵,引入算法计算设计指标权重。根据权重结果对设计要素决策定制,重点考虑创新性和美观性,增加漱口水功能或给皂功能,充分考虑色彩搭配,以此根据设计重点进行方案构思,得到3个设计方案。通过 TOPSIS 这种多准则决策方法对3个方案进行综合评价,得出最佳设计方案。从而提升了面盆水龙头设计决策流程的合理性与先进性,促进了方案决策的科学性与客观性,减少了研发中不必要的弯路,可为同类卫浴产品的设计研发提供参考思路。研究由于受测试对象情绪等影响,测试评价结果具有一定的偏差,后续研究将深度构思,采取科学合理的手段完善。

参考文献:

- [1] 宋端树,许艳秋,崔天琦.基于用户行为的适老型智能卫浴产品的设计研究[J].包装工程,2020,41(18):125-131.
- [2] 汤军,向钰婷.药浴功能的淋浴水龙头设计研究[J].艺术与设计(理论),2020,2(3):101-103.
- [3] 李培.公共卫生间面盆水龙头造型设计与研究[D].昆明:昆明理工大学,2014.
- [4] 楚存宝.基于用户体验的智能卫浴产品的设计研究[D].青岛:青岛理工大学,2018.
- [5] 杨昕妍,张仲凤.一款基于 AHP 层次分析法的卫浴产品的设计[J].包装工程,2021,42(4):144-147,153.
- [6] 宋立涛,郝萌,陈建军.基于改进的灰多局势汽车设计方案优选决策研究[J].重庆理工大学学报(自然科学),2021,35(2):60-66.
- [7] 陈国强,唐子琛,申正义,等.空间限制下可移动电力检测设备模块化设计[J].机械设计,2020,37(12):139-144.
- [8] 李静,朱子源,祖江颖,等.基于 AHP-FCE 的多动症儿童体能类玩具设计与评价[J/OL].包装工程:1-9[2021-04-03].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200828.1753.008.html>.
- [9] 何劲涛,陈登凯,余隋怀.旅游文化创意产品多文化意象色彩设计评价方法[J].机械科学与技术,2021,40(1):92-100.
- [10] 杨梅,丛扬帆,李雪瑞.融合 FAHP 和 TOPSIS 的适老化产品综合评价与优选方法:以老年智能手环为例[J].图学学报,2020,41(3):469-479.
- [11] 彭定洪,卞志洋,黄子航.面向产品设计方案犹豫模糊 Kansei-TOPSIS 评价方法[J/OL].系统科学与数学:1-17[2021-04-03].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2019.O1.20201225.1310.008.html>.
- [12] 杨涛,高学山,彭晋民,等.基于扩展 AD 理论的下肢康复机器人概念设计研究[J].机械设计,2018,35(7):114-118.
- [13] 武春龙,朱天明,张鹏,等.基于功能模型和层次分析法的智能产品服务系统概念方案构建[J].中国机械工程,2020,31(7):853-864,870.
- [14] 卢绪霞,石振宇.人与卫浴空间关系基础研究与产品开发[J].装饰,2020(8):116-119.
- [15] 王嘉.基于用户行为的智能卫浴产品的设计研究[D].大连:大连理工大学,2016.
- [16] SAATY T L. What is the analytic hierarchy process? [M]//Mathematical Models for Decision Support. Berlin: Springer, 1988: 109-121.
- [17] 刘耀铃,李文强,秦希佳,等.基于 AHP-模糊综合的复杂装备性能指标评价与反馈方法[J].机械设计与研究,2020,36(6):8-14.
- [18] 程永胜,徐晓琪,卜俊,等.基于 KE 和 AHP 理论的汽车造型意象评价方法研究[J].现代制造工程,2020(7):102-109.
- [19] 陈哲,尚凯,张青,等.基于 TOPSIS-PSI 方法的办公座椅设计评价[J].林业工程学报,2020,5(6):179-184.

(责任编辑:方素华)