

基于层次分析法和感性工学的工程车造型设计评价

程永胜¹, 徐晓琪¹, 陈国强²

(1.厦门大学嘉庚学院, 漳州 363105; 2.燕山大学, 秦皇岛 066004)

摘要: **目的** 为了客观评价工程车造型中人为感性情感带来的模糊和不确定性因素, 寻求一种科学的工程车造型设计评价方法, 并对工程车造型设计各方案进行有效评价。**方法** 提出以层次分析法 (Analytic Hierarchy Process) 和感性工学 (Kansei Engineering) 相结合的评价方法, 并将其应用于工程车设计的造型意象评价中。通过感性工学量化造型意象词汇, 并确定目标意象词汇, 采用层次分析方法建立造型特征与意象词汇之间的关系模型, 构建影响造型意象评价的指标体系, 建立模糊综合评价矩阵, 计算各评价指标权重并进行综合排名。**结论** 将该评价方法应用于四款水泥搅拌工程车造型设计方案评价中, 运用模糊隶属度函数, 建立了模糊综合评价矩阵, 并对各个指标的评价结果进行了量化处理, 筛选出最佳造型设计方案, 为项目开发提供有效参考。

关键词: 层次分析法; 感性工学; 造型意象; 设计评价; 工程车

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)20-0085-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.20.014

Evaluation of Engineering Vehicle Design Based on AHP and KE Method

CHENG Yong-sheng¹, XU Xiao-qi¹, CHEN Guo-qiang²

(1.Xiamen University Tan Kah Kee College, Zhangzhou 363105, China;

2.Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

ABSTRACT: The work aims to find a scientific evaluation method of engineering vehicle design, to objectively evaluate the fuzzy and uncertain factors brought about by human perceptual emotions in the design of engineering vehicles and evaluate the various design schemes of engineering vehicles effectively. The evaluation method combining AHP and KE was proposed and applied to the evaluation of modeling image in engineering vehicle design. The modeling image vocabulary was quantified through KE to determine the target image vocabulary. The analytic hierarchy process was adopted to establish the relationship between modeling features and image vocabulary, build an index system that affected the evaluation of modeling image, construct a fuzzy comprehensive evaluation matrix, calculate the weight of each evaluation index and conduct comprehensive sorting. The evaluation method is applied to the evaluation of the design schemes of four cement mixing trucks. The fuzzy membership function is used to establish the fuzzy comprehensive evaluation matrix, and the evaluation results of each index are quantitatively processed to obtain the best design scheme, providing an effective reference for project development.

KEY WORDS: analytic hierarchy process; Kansei Engineering; modeling image; design evaluation; engineering vehicle

近年来, 随着我国城市化进程的加快, 对于工程车辆的需求逐年增加。这也迫使工程车辆行业产业结构不断转型升级, 在制造水平、功能技术上逐渐比肩世界先进水平。然而, 国内工程车在外观造型方面的

研究还十分欠缺, 造型设计大多依靠模仿国外现有工程车造型进行本土化改良, 自主创新能力差。导致当前国内工程车外观造型同质化现象严重; 品牌特征识别度低; 造型形态不协调; 涂装色彩搭配不当; 功能

收稿日期: 2020-07-05

基金项目: 厦门市社会科学调研课题青年项目 ([2020]D8); 河北省社会科学基金年度项目 (HB19YS004)

作者简介: 程永胜 (1990—), 男, 山西人, 硕士, 厦门大学嘉庚学院讲师, 主要研究方向为交通工具造型设计、感性工学。

人机性差,不便于操作;给用户一种傻大憨粗造型意象^[1],远远不能满足当前消费市场对于工程车辆的造型需求。

同时结合大多数工程车辆使用时间长、替换周期慢、售价昂贵等特点,考虑外观造型是工程车辆重要的组成部分,对造型设计方案的决策又是工程车辆开发的重要环节^[2]。然而对造型设计好坏的评判,更多受到人的模糊和不确定性的感性情感因素所影响。因此,如何客观地评价工程车造型中人为感性情感带来的模糊和不确定性因素^[3],找到一种准确高效的造型意象评价方法,对造型方案进行客观评价势在必行,成为当前工程车辆行业面对的关键问题。鉴于此,以工程车为研究对象,以层析分析法理论为基础,通过感性工学将定性和定量问题相结合,提出一种将工程车设计造型意象评价模型运用在工程车造型设计评价中的方法,并通过实际工程车设计项目对该评价模型的可靠性进行验证。

1 感性工学与层次分析法研究理论

感性工学理论源于日本,于1986年10月由马自达汽车集团董事长山本健一在美国密歇根大学演讲中首次提出^[4]。而后日本学者长町三生^[5]发表了一系列关于感性工学的论文^[6]和著作^[7-8],奠定了感性工学理论基础。感性工学主要着眼于通过定性和定量分析,探究“人的感性”和“物的特性”两者之间的关系,将人模糊不清、难以确定和捕捉的感性意象转换为定量的数据^[9],并对量化后的数据进行分析,指导设计实践^[10]。近年来,基于感性工学理论及方法的产品造型意象研究是造型设计领域的研究热点,国内外针对感性工学在工程机械造型意象研究方面取得了较大的进展^[11-13]。

层次分析法是一种对定性问题进行定量分析的多准则决策方法。由美国国家工程院院士萨蒂教授在19世纪70年代提出的一种多层次权重决策分析方法^[14]。此方法多被应用在产品外观设计^[15]、机构创新设计^[16]及产品设计流程中,用作设计方案的评价方法^[17-18],提高了设计方案评价和决策的科学性和客观性。

2 评价模型

对于产品造型设计评价而言,即包含了品牌、外观等主观因素的评价,也包含了技术、功能等客观因素的评价,因此针对造型设计评价,层次分析法和感性工学理论都存在着各自的优劣势。

层次分析法的优势在于可将无序的评价指标设定成有序的递阶层次评价指标,从而合理化原本复杂的定性过程^[19-20],建立判断矩阵,得出各指标的权重排名,但是在评价指标的选择方面仍然受到评分人

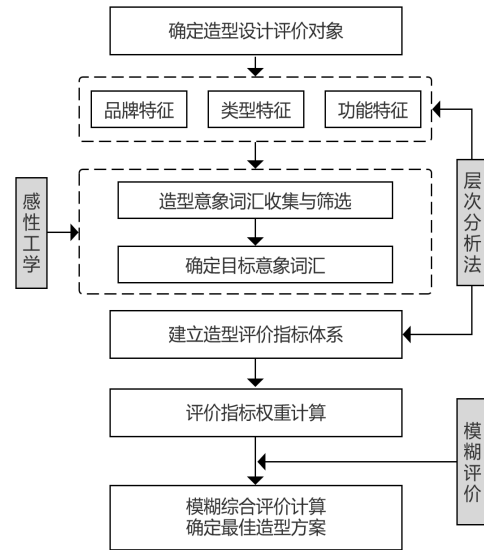


图1 感性工学与层次分析法相结合的评价模型
Fig.1 Evaluation model combining KE and AHP

员主观因素的影响;感性工学理论的优势在于可通过语义差异法(Semantic Differential)建立评价指标的量化方法,通过定量计算确定各评价指标,这些量化的评价指标更为客观更具判断性,但针对各评价指标权重和排名方面存在科学性上的不足。因此采用层次分析法与感性工学相结合的评价模型,见图1,基本思路为以下五个方面。

1) 确定产品造型设计评价对象及影响造型意象的各特征要素。

2) 应用语义差分析法量化造型意象词汇,并运用KJ法进行意象词汇分类筛选,剔除相似度过高和不适合评价的词汇,确定目标意象词汇。

3) 运用层次分析方法构建造型特征及意象词汇之间的关系模型。首先,以产品的最终设计目标构成层次分析结构中的一级目标层;然后,以第一步确定的特征要素构成层次分析结构中的二级准则层;其次,通过第二步确定的感性词汇构成三级子准则层,以此建立评价指标体系;最终,构建评价矩阵,并计算各评价指标权重。

4) 结合实际设计项目进行模糊综合评价。采用“非常好、很好、好、不好,非常不好”五个等级的评语集方式,建立隶属度函数,通过隶属度函数构建模糊综合评价矩阵。

5) 利用模糊综合评价对各评价等级进行赋值。邀请项目相关人员对造型设计方案各评价指标打分,量化处理评价结果,得到各造型设计方案最终得分,从而确定最佳的造型设计方案。

3 工程车造型意象研究过程

3.1 评价对象和造型特征确定

以唐山亚特重工水泥搅拌工程车设计项目的四



图 2 水泥搅拌工程车造型设计方案

Fig.2 Design scheme of cement mixing engineering vehicle

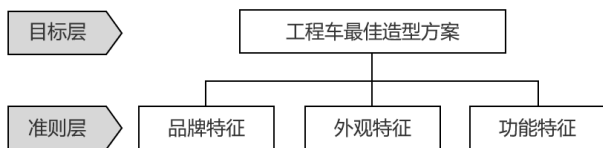


图 3 层次分析法提取工程车造型特征

Fig.3 Extraction of engineering vehicle modeling characteristics by AHP

款造型设计方案为评价对象，水泥搅拌工程车造型设计方案见图 2。采用感性工学与层次分析法相结合的评价模型对其进行造型意象评价。根据层次分析法构建有序的递阶层次结构：将评价指标层次化，层次结构中包括目标层、准则层、子准则层，其中以最佳工程车造型意象方案构成层次结构中的目标层。

工程车造型属于车辆造型研究范畴，因此对其造型意象进行解构的过程其实就是用户从造型到意象的认知过程。按照车辆造型特征设计属性，以展现车辆的外观、功能和品牌特征为主要目标^[21]；运用层次分析法分解工程车造型特征，可将影响工程车造型意象指标划分为品牌特征、外观特征和功能特征，从而构成层次分析结构中的准则层^[22]。层次分析法提取工程车造型特征见图 3。

3.2 造型意象词汇获取

通过工程机械宣传资料、网站文献书籍检索、企业内部员工访谈和使用用户问卷调查等方式，收集与工程车“品牌、外观、功能”相关的感性意象词汇，共一百零二个。经过行业专家和设计人员讨论与甄

表 1 工程车造型评价感性词汇总

Tab.1 Perceptual evaluation vocabulary of engineering vehicle modeling

序号	特征要素	意象词汇	序号	特征要素	意象词汇
1	设计	科技的一落后的	16	细节	精密的一粗犷的
2	造型	硬朗的一柔和的	17	涂装	美观的一丑陋的
3	形态	有序的一凌乱的	18	技术	可行的一不行的
4	人机	合理的一混乱的	19	色彩	明亮的一暗淡的
5	比例	协调的一失调的	20	材质	适宜的一不当的
6	功能	实用的一无用的	21	操作	方便的一复杂的
7	设计	安全的一危险的	22	维护	简单的一困难的
8	重量	轻量的一笨重的	23	操作	智能的一手动的
9	结构	坚固的一易坏的	24	经济	昂贵的一低廉的
10	空间	充裕的一紧凑的	25	文化	延续的一创新的
11	品牌	高端的一低端的	26	造型	几何的一圆润的
12	特征	清晰的一模糊的	27	材质	金属的一塑料的
13	空间	舒适的一难受的	28	体积	高大的一矮小的
14	造型	动感的一平稳的	29	量产	容易的一艰难的
15	风格	现代的一传统的	30	装饰	亲切的一冰冷的

选，剔除意思相近词汇与评价工程车造型相关度不大的词汇；并通过焦点小组讨论，根据语义差异法“二级性”原理设定的要求进行筛选；最终确定了六十个感性词汇，并整理成三十对水泥搅拌工程车造型评价感性词汇。工程车造型评价感性词汇总见表 1。

首先，以层次分析结构中“品牌特征、外观特征、功能特征”三个准则层为依据，将筛选出来感性词汇对应分组；其次，根据利克特量表的形式将感性词汇制作成 5 点评价量表，“特别重要”、“很重要”、“重要”、“不重要”、“特别不重要”，分别记为 5、4、3、2、1，形成调查问卷；然后，邀请专业设计师、企业制造商及用户各五名，共十五名测试者进行打分；最终，将每组内的感性词汇按照得分平均值进行排名，得出三个准则层内最具代表性的感性词汇。按照层次分析法的原则，以具体感性词汇为评价细则，构成层次分析结构中的子准则层，并构建工程车造型评价指标体系。水泥搅拌工程车造型设计评价指标体系 X 见表 2。

3.3 评价指标权重计算

在层次分析法中，构建判断矩阵一般采用一致矩阵法，通过将评价指标两两比较的方式，计算评价体系中每一层级各指标相对于上一层级的权重值。如目标层 X 与准则层 A 中的指标 A_1, A_2, \dots, A_n 存在关联，通过建立构建判断矩阵

$$X = \{ a_{ij}, i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n \} \quad (1)$$

判断矩阵构建方式^[17]，见表 3。为了让评价指标两两比较重要性判断定量化，采用数字 1~9 及其倒数作为标度值，具体评价等级重要程度说明，见表 4。

表2 水泥搅拌工程车造型设计评价指标体系 X
Tab.2 Design evaluation index system X of cement mixing engineering vehicle

品牌特征要素	品牌评价指标 A	外观特征要素	外观评价指标 B	功能特征要素	功能评价指标 C
品牌	高端的—低端的 A ₁	造型	硬朗的—柔和的 B ₅	人机	合理的—混乱的 C ₁
设计	科技的—落后的 A ₂	比例	协调的—失调的 B ₆	功能	实用的—无用的 C ₂
文化	延续的—创新的 A ₃	涂装	美观的—丑陋的 B ₇	材质	适宜的—不当的 C ₃
风格	现代的—传统的 A ₄	结构	坚固的—易坏的 B ₈	细节	精密的—粗犷的 C ₄
		色彩	明亮的—暗淡的 B ₉		

表3 判断矩阵构建方式
Tab.3 Construction method of judgment matrix

X	A ₁	A ₂	...	A _n
A ₁	a ₁₁	a ₁₂	...	a _{1n}
A ₂	a ₂₁	a ₂₂	...	a _{2n}
...
A _n	a _{n1}	a _{n2}	...	a _{nn}

表4 判断矩阵标度
Tab.4 Judgment matrix scale

标度	评价等级	含义
1	同等重要	指标 i 与 j 同等重要
3	略微重要	指标 i 比指标 j 略微重要
5	明显重要	指标 i 比指标 j 明显重要
7	强烈重要	指标 i 比指标 j 强烈重要
9	极端重要	指标 i 比指标 j 极端重要
2/4/6/8	中间值	为上述值的中间值
倒数	反比较	指标 j 比指标 i 反比较值, 即 1/a _{ij}

采用几何平均法计算判断矩阵权重向量, 几何平均数是 n 个变量值连乘积的 n 次方根; 然后将所得结果进行归一化即可得到权重向量, 具体计算流程如下^[18]。

1) 计算判断矩阵中每行指标与其他指标对比结果的乘积 M_i

$$M_i = \prod_{j=1}^m C_{ij} \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (2)$$

式(2)中, C_{ij} 为判断矩阵中第 i 行第 j 列指标; m 为指标数量。

2) 计算各指标的几何平均值 a_i

$$a_i = \sqrt[m]{M_i} \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (3)$$

3) 将所得结果进行归一化处理, 求得权重向量 w_i

$$w_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^m a_i} \quad (4)$$

为了保证工程车造型评价指标体系各评价指标权重计算结果的准确性。邀请以工程机械行业相关人员为主, 包括企业负责人五人、结构工程师四人、外观设计师六人、潜在消费者六人、一线销售员五人和车辆驾驶员四人, 共三十人作为调研对象; 其中男性

表5 准则层判断矩阵及权重

Tab.5 Criteria layer judgment matrix and weight

X	A	B	C	权重 w _X
A	1	1/5	1/3	0.105
B	5	1	3	0.637
C	3	1/3	1	0.258

表6 品牌评价指标判断矩阵及权重

Tab.6 Brand evaluation index judgment matrix and weight

A	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	失重 w _A
A ₁	1	1/3	3	5	0.263
A ₂	3	1	5	7	0.564
A ₃	1/3	1/5	1	3	0.118
A ₄	1/5	1/7	1/3	1	0.055

表7 外观评价指标判断矩阵及权重

Tab.7 Appearance evaluation index judgment matrix and weight

B	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	失重 w _B
B ₁	1	3	7	3	5	0.478
B ₂	1/3	1	5	1	3	0.209
B ₃	1/7	1/5	1	5	1/3	0.082
B ₄	1/3	1	1/5	1	5	0.151
B ₅	1/5	1/3	3	1/5	1	0.079

表8 功能评价指标判断矩阵及权重

Tab.8 Functional evaluation index judgment matrix and weight

C	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	失重 w _C
C ₁	1	3	7	5	0.553
C ₂	1/3	1	7	3	0.281
C ₃	1/7	1/7	1	1/3	0.050
C ₄	1/5	1/3	3	1	0.116

二十二人, 女性八人。调研对象对判断矩阵各层次内评价指标两两比较并打分, 并采用几何平均法分别计算矩阵内各评价指标基于上一层级的权重值, 最终评价指标体系中各层次判断矩阵及权重, 见表 5—8。合成准则层下的权重, 计算得出子准则层当中各个评价指标对目标层的权重向量, 并按照各评价指标的权重向量进行排名。各评价指标综合排名见表 9。

表 9 各评价指标综合排名

Tab.9 Comprehensive ranking of evaluation indexes

	A	B	C	权重	综合排名
A ₁	0.263	—	—	0.027 6	10
A ₂	0.564	—	—	0.059 2	6
A ₃	0.118	—	—	0.012 4	12
A ₄	0.055	—	—	0.005 8	13
B ₁	—	0.478	—	0.304 5	1
B ₂	—	0.209	—	0.133 1	3
B ₃	—	0.082	—	0.052 2	7
B ₄	—	0.151	—	0.096 2	4
B ₅	—	0.079	—	0.050 3	8
C ₁	—	—	0.553	0.142 7	2
C ₂	—	—	0.281	0.072 5	5
C ₃	—	—	0.050	0.012 9	11
C ₄	—	—	0.116	0.029 9	9

表 10 评价等级及标准

Tab.10 Evaluation rating and standard

评价等级	非常好	很好	好	不好	非常不好
等级赋值	90	80	70	60	50

3.4 模糊综合评价计算

根据评价指标权重值，综合排名结果，结合上述水泥搅拌工程车设计方案实例进行模糊综合评价。为保证计算的客观性，需要对评价指标的评价结果进行量化处理，具体过程如下。

1) 确定五个评价等级，分别为：非常好、很好、好、不好，非常不好，并规定各等级赋值，赋值向量依次为 $\beta = (90\ 80\ 70\ 60\ 50)^T$ 。评价等级及赋值见表 10。

2) 通过表 5—8 计算结果得知，评价指标体系中各层级的评价指标的权重向量分别为

$$w_x = (0.105\ 0.637\ 0.258)$$

$$w_A = (0.263\ 0.564\ 0.118\ 0.055)$$

$$w_B = (0.478\ 0.209\ 0.082\ 0.151\ 0.079)$$

$$w_C = (0.553\ 0.281\ 0.050\ 0.116)$$

3) 邀请行业专家三名、销售人员三名和设计人员四名对以上四款水泥搅拌工程车设计方案进行评价。以方案 A 为对象，邀请评价者对评价指标体系中各个评价指标根据评价等级标准进行打分，汇总各个评价指标收到的评价等级次数。例如评价指标 A₁ 收到四次非常好评价等级就计作 0.3，依此类推得到方案 A 模糊综合评价矩阵。其中 R₁ 评价矩阵代表准则层 A 中各指标的评价结果，R₂ 评价矩阵代表准则层 B 中各指标的评价结果，R₃ 评价矩阵代表准则层 C 中各指标的评价结果，最终评价结果如下

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.1 & 0.0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.2 & 0.0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0.0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.0 \\ 0.4 & 0.1 & 0.3 & 0.2 & 0.0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.3 & 0.0 \\ 0.3 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

计算准则层对设计方案 A 的评价结果权重，计算方法为

$$p_n = w_n \times R_n \quad (8)$$

计算结果如下

$$p_1 = w_A R_1 = (0.337\ 0.218\ 0.210\ 0.230\ 0.000) \quad (9)$$

$$p_2 = w_B R_2 = (0.313\ 0.187\ 0.236\ 0.248\ 0.015) \quad (10)$$

$$p_3 = w_C R_3 = (0.360\ 0.177\ 0.156\ 0.307\ 0.000) \quad (11)$$

根据计算结果，建立二级综合评价矩阵

$$P = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.337 & 0.218 & 0.210 & 0.230 & 0.000 \\ 0.313 & 0.187 & 0.236 & 0.248 & 0.015 \\ 0.360 & 0.177 & 0.156 & 0.307 & 0.000 \end{bmatrix} \quad (12)$$

4) 根据评价矩阵，将结果转换成百分制

$$W = w_x P = (0.328\ 0.188\ 0.213\ 0.261\ 0.010) \quad (13)$$

方案 A 最终得分 = (0.328 0.188 0.213 0.261 0.010)(90 80 70 60 50)^T = 75.63。

按照此流程和方法对剩余的三款方案进行评价，得到各方案最终得分。

方案 B 最终得分 = (0.385 0.237 0.189 0.189 0.000)(90 80 70 60 50)^T = 78.18。

方案 C 最终得分 = (0.276 0.226 0.252 0.239 0.005)(90 80 70 60 50)^T = 75.15。

方案 D 最终得分 = (0.367 0.259 0.245 0.128 0.000)(90 80 70 60 50)^T = 78.58。

最终得分排名为方案 D > 方案 B > 方案 A > 方案 C，依此可以确定方案 D 是最为符合工程车造型意象的设计方案。

4 结语

层次分析法和感性工学理论在设计评价中各具优点也各有不足，将两者有效融合，可更好地保证评价指标选取的可信度与准确性，同时又可以保证评价结果的直观性和可比性，帮助决策者快速、有效地判断设计方案。以四款水泥搅拌工程车造型设计方案为

例,采用层次分析法和感性工学相结合的评价方法进行验证。通过感性工学更科学地获取有关工程车造型意象的评价指标并构建工程车造型意象评价指标体系;运用层次分析法计算得出各层级评价指标权重及排名,实现了对评价指标体系当中各评价指标的定量化处理;并利用模糊综合评价方法,计算得出四款工程车造型设计方案的最终排名。总体而言,层次分析法和感性工学相结合的评价方法有效地降低了设计方案评价过程及评价结果受到主观性因素影响,验证了该评价方法的可操作性,也为后续相关的工程车设计方案评价提供了参考。

参考文献:

- [1] 冯清华, 卢颖. 基于设计几何学的工程机械形态设计方法探究[J]. 包装工程, 2016, 37(20): 79-83.
FENG Qing-hua, LU Ying. Engineering Machinery Shape Design Method Based on Design Geometry[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(20): 79-83.
- [2] 易军, 曲金勇, 肖狄虎. 工程机械工业设计及研究[J]. 包装工程, 2019, 40(18): 1-11.
YI Jun, QU Jin-yong, XIAO Di-hu. Industrial Design and Study of Construction Machinery[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(18): 1-11.
- [3] 杜鹤民. 感性工学和模糊层次分析法产品设计造型评价[J]. 西安工业大学学报, 2014, 34(3): 244-249.
DU He-min. Evaluation of Product Design and Modeling of Perceptual Engineering and Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2014, 34(3): 244-249.
- [4] 李视祖. 设计新理念: 感性工学[J]. 新美术, 2003(4): 20-25.
LI Yu-zu. The New Design Concept: Sensible Engineering[J]. New Art, 2003(4): 20-25.
- [5] 长町三生. 感性工学的功能以及方法论[C]. 日本: 日本感性工学会, 1998.
NAGAMACHI S S. The Function and Methodology of Perceptual Engineering[C]. Japan: Japanese Society of Sensible Engineering, 1998.
- [6] 长町三生. 感性工学的话题[M]. 东京: 日本规格协会, 1995.
NAGAMACHI M. Kansei Engineering[M]. Tokyo: Japan Standards Association, 1995.
- [7] NAGAMACHI M. Kansei Engineering: a New Ergonomic Consumer-Oriented Technology for Product Development[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1995, 15(1): 3-11.
- [8] NAGAMACHI M. Kansei Engineering as a Powerful Consumer-Oriented Technology for Product Development[J]. Applied Ergonomics, 2002, 33(3): 289-294.
- [9] 孟瑞, 王小平, 王伟伟, 等. 基于感性工学的油罐车设计评价方法研究[J]. 现代制造工程, 2011(9): 28-32.
MENG Rui, WANG Xiao-ping, WANG Wei-wei, et al. Evaluation Method of Tank Truck Design Based on Perceptual Engineering[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2011(9): 28-32.
- [10] 卜俊, 唐刚, 孙培贤, 等. 基于感性工学的陶瓷茶壶造型设计研究[J]. 中国陶瓷, 2019, 55(2): 67-72.
BU Jun, TANG Gang, SUN Pei-xian, et al. The Design of Ceramic Teapot Based on Sensibility Engineering[J]. Chinese Ceramics, 2019, 55(2): 67-72.
- [11] ROTHE S, SCHMIDT J H, HARTMANN S. Analytical and Numerical Treatment of Electro-thermo-mechanical Coupling[J]. Archive of Applied Mechanics, 2015, 85(9/10): 1245-1264.
- [12] LI Y S. Enterprise's Brand and Products Shape-Designing DNA[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014 (496/500): 2848-2851.
- [13] 罗仕鉴, 潘云鹤. 产品设计中的感性意象理论、技术与应用研究进展[J]. 机械工程学报, 2007, 43(3): 8-13.
LUO Shi-jian, PAN Yun-he. Progress in Perceptual Image Theory, Technology and Application in Product Design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(3): 8-13.
- [14] 赵光华. 管理定量分析方法[M]. 北京: 北京大学出版社, 2008.
ZHAO Guang-hua. Management Quantitative Analysis Method[M]. Beijing: Peking University Press, 2008.
- [15] 潘长学, 张璜, 康信辉, 等. 基于 FAHP 方法的家用健身车外观设计偏好[J]. 包装工程, 2019, 40(12): 175-182.
PAN Chang-xue, ZHANG Huang, KANG Xin-hui, et al. Appearance Design of Home Exercise Bike Based on FAHP Method[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(12): 175-182.
- [16] 万强, 林松, 任子文. 基于形态学与层次分析法的机构创新设计[J]. 机械设计与研究, 2013, 29(3): 6-8.
WAN Qiang, LIN Song, REN Zi-wen. Institutional Innovation Design Based on Morphology and Analytic Hierarchy Process[J]. Machine Design & Research, 2013, 29(3): 6-8.
- [17] 程永胜, 徐骁琪, 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.
CHENG Yong-sheng, XU Xiao-qi, BU Jun, et al. Evaluation of Engineering Vehicle Design Based on AHP and KE Method[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2020(7): 102-109.
- [18] 徐骁琪, 程永胜, 陈国强. 基于 AHP 法的房车造型评价方法及应用研究[J]. 机械设计, 2020, 37(6): 140-144.
XU Xiao-qi, CHENG Yong-sheng, CHEN Guo-qiang. Evaluation and Application of RV Modeling Based on AHP Method[J]. Mechanical Design, 2020, 37(6): 140-144.
- [19] SAATY T L. Analytic Hierarchy Process[J]. Mathematical Models for Decision Support, 2013(4): 109-121.
- [20] SAATY T L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process[J]. International Journal of Services Sciences, 2008(1): 83-98.
- [21] AKG N A E, KESKIN H, BYRNE J. Antecedents and Contingent Effects of Organizational Adaptive Capability on Firm Product Innovativeness[J]. Product Innovation Management, 2012(3): 31-32.
- [22] 王巍. 汽车造型的领域知识描述与应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
WANG Wei. Description and Application of Domain Knowledge in Automobile Modeling[D]. Changsha: Hunan University, 2008.