DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2019.10.016

基于 CWW 评价包装造型感性方法研究

Evaluation method packaging shapes kansei based on computing with words

宁廷州 张敬芝 葛美芹

NING Ting-zhou ZHANG Jin-zhi GE Mei-qin

(枣庄学院机电工程学院,山东 枣庄 277160)

(*College of Mechanical and Electrical Engineering, Zaozhuang University, Zaozhuang, Shandong* 277160, *China*)

摘要:为准确反映消费者感性认知的不确定性,以犹豫模糊语言术语集描述消费者主观判断,分析其运算规则,构建语言计算(computing with words,CWW)犹豫模糊模型。实例分析表明,以犹豫模糊术语集描述消费者感性偏好并利用语言计算实现信息集结,有助于准确反映消费者主观认知,减少消费者对包装造型感性判断的不确定性。

关键词:感性评价;语言计算;语言变量;犹豫模糊语言术语集;包装造型

Abstract: In order to accurately reflect the uncertainty of consumers' perceptual perception, this paper describes consumers' subjective judgment with hesitant fuzzy linguistic terminology set, analyses its operation rules, and constructs hesitant fuzzy CWW(computing with words) model. The case study shows that the aggregation of consumers' perceptual preferences in hesitant fuzzy terms and the realization of information aggregation through linguistic computation can help accurately reflect consumers' subjective perception, reduce consumers' uncertainty in perceptual judgment of packaging shape and support industrial designers to deal with consumers' kansei opinions more accurately.

Keywords: kansei evaluation; computing with words; linguistic variable; hesitant fuzzy linguistic term sets; packaging shape

包装造型由包装的形态、色彩、材料、肌理、质感等要素组成。作为产品的重要组成部分,包装造型在保持产品质量、提升产品档次、服务产品推广等方面发挥重要作用。包装造型设计中,功能利益和情感需求是消费者追求的主要方面[1]。感性作为情感的重要组成部分,反映了消费者在接触包装造型组成要素时的心理感觉和意象,从而进一步影响消费者的购买行为[2]。消费者的感性需求具有模糊性、直觉性、不确定性等特点,常需借助感性形容词进行描述,并利用感性工学[3]技术进行分析。感性工学通过定量分析方法确定消费者感知与设计特征间的映射关系,有助于企业更好地理解消费者情感需求并将其有效地转化为设计要素[4]。

目前,常用的消费者感性量化分析方法主要有线性和非线性两大类。线性分析方法主要借助主成分分析、因子分析、多元回归分析等统计方法对感性意象建模,如基于主成分分析法建立造型设计决策模型[5],借助因子分析法抽取影响图像情感认知的潜在要素[6],利用多元线性回归分析方法建立包装结构设计要素与感性意象之间的关系模型[7]。由于消费者在知识背景、社会经验、认知等方面的差异,其感性需求具有不确定、不精确性,从而影响感性分析结果的准确性与可靠性[8]。针对该问题,非线性分析方法被引入感性评价过程,如借助神经网络构建包装形态审美评价的非线性动力学模型[9],基于模糊理论以办公室座椅为例建立用户满意度与设计要素间的映射关联[10],利用遗传算法和设计结构矩阵对消费者感性需求进行降维处理[11]。

消费者的感性认知常以语义形容词汇描述,现有研究方法[5-7,9-11]多将消费者的语义偏好转化为数值进行量化计算,可能引起语义缺失而影响感性评价结果的准确性。同时,由于主观认知的不确定性,消费者在进行感性判断时并非只选择单一的感性词汇,可能在多个感性量度间犹豫。如针对感性词汇"轻奢的",消费者可能在选择"一般轻奢的"和"很轻奢的"之间犹豫,而单一词汇

基金项目:枣庄市科技计划项目(编号:2019GX10);枣庄学院博士科研启动基金项目(编号:2018BS030)

作者简介:宁廷州,男,枣庄学院讲师,博士。

通信作者:葛美芹(1985—),女,枣庄学院助教,硕士。E-mail:316885419@qq.com

收稿日期:2019-06-02

无法准确描述消费者的主观选择。为此，研究以包装造型的消费者感性评价为研究对象，利用语言变量构建消费者认知模型，通过犹豫模糊术语集表达消费者的感性偏好，引入语言集结算子构建语言计算模型，避免感性评价中的信息缺失，提高消费者感性评价的准确性和客观性，降低包装造型设计决策的风险，为设计师进一步设计提供有益指导。

1　语言计算

语言计算(computing with words，CWW)是指利用自然语言而非数值描述的信息进行推理、计算和决策[12]。该方法将人们模糊的知觉转化成可计算的语言，通过一定的推理规则表达并实现语言集结，主要包括语言变量的表示方法和语言计算模型。

1.1　语言变量

语言变量是以自然或人工语言中的字词或句子进行表示的变量，通常是一个五元组 $[L, T(L), U, S, M]$[13]，L 是变量名称，$T(L)$ 是有限数量单词的集合，U 是语言论域，S 是产生 $T(L)$ 的语法规则，M 反映每个语言变量 X 意义的语义规则，$M(X)$ 表示 U 中的一个模糊集。以感性语义词汇“轻奢的”为例，其五元组构成如图 1 所示。

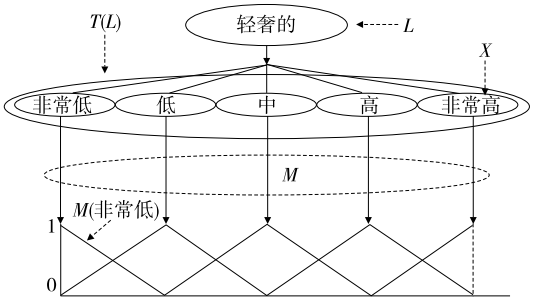

图 1　感性词汇五元组示例

Figure 1　A quintuple example using a kansei adjective

在包装造型感性评价中，对消费者认知偏好的衡量常采用有限量度表述，且以一定顺序排列。可用有序语言术语集[14]进行描述 $S=\{s_0, s_1, \cdots, s_g\}$。其中，$s_0 < s_1 < \cdots < s_g$，$s_i$ 为语言标签，$g+1$ 为语言标签的个数。令 $g=6$，则可得到感性分析中常用的 Likert 七级量表 $S=\{s_0$. 很不喜欢，s_1. 不喜欢，s_2. 一般不喜欢，s_3. 中立，s_4. 一般喜欢，s_5. 喜欢，s_6. 很喜欢$\}$。

设 $\mu, \mu_1, \mu_2 > 0$，$s_\alpha, s_\beta \in S$，则语言术语集的基本计算规则如下：

(1) $s_\alpha \oplus s_\beta = s_{\alpha+\beta}$。

(2) $\mu s_\alpha = s_{\mu\alpha}$。

(3) $(\mu_1+\mu_2)s_\alpha = \mu_1 s_\alpha \oplus \mu_2 s_\beta = s_{\mu_1\alpha+\mu_2\beta}$。

(4) $\mu(s_\alpha \oplus s_\beta) = \mu s_\alpha \oplus \mu s_\beta = s_{\mu\alpha+\mu\beta}$。

1.2　语言计算模型

在语言计算中，最重要的问题是避免语言信息的丢失。为此，引入二元语义对消费者偏好进行描述。二元语义是一个语言组 (s_k, α_k)，$k \in [0, g]$，其中 s_k 是语言集 S 中的第 k 个元素；α_k 为符号转移值，满足 $\alpha \in [-0.5, 0.5)$，表示评价结果与 s_k 的偏差。语言计算的对象是语言标签值 $\beta \in [0, g]$，输入、输出均为语言集，在实际应用中需利用二元组向标签值 β 转化函数 Δ 和标签值 β 向二元组的转化函数 Δ^{-1} 执行语言计算。

$$\Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5) \to [0, g]$$

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta, \tag{1}$$

$$\Delta: [0, g] \to S \times [-0.5, 0.5)$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \tag{2}$$

式中：

s_i ——语言集 S 中的第 i 个元素，$i = round(\beta)$，$round(\cdot)$ 为四舍五入取整函数。

结合二元语义转换函数 Δ 和 Δ^{-1}，对于一组用二元语义表示的语言变量 $x = \{(r_1, \alpha_1), (r_2, \alpha_2), \cdots, (r_n, \alpha_n)\}$，可分别按式(3)、(4)构建平均语义计算模型、加权语义计算模型。

$$\bar{x}^e = \Delta\left[\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n}\Delta^{-1}(r_i, \alpha_i)\right] = \Delta\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\beta_i\right), \tag{3}$$

$$\bar{x}^e = \Delta\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta^{-1}(r_i, \alpha_i)\cdot w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}\right] = \Delta\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\beta_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}\right), \tag{4}$$

式中：

w_i ——第 i 个语言变量权重，$w_1 + w_2 + \cdots + w_n = 1$。

2　犹豫模糊语言计算

由于感性需求的不确定性，消费者在进行感性判断时并非都能给出准确评价，可能存在犹豫不决的现象。针对该问题，传统的感性需求量化标度与量化分析方法难以准确描述消费者的感性偏好。为此，引入犹豫模糊语言术语集进行处理。

2.1　犹豫模糊语言术语集

在有序语言术语集基础上进一步扩展，可得到一种对称的语言术语集 $S = \{s_\alpha \mid \alpha \in \{-\tau, \cdots, 0, \cdots, \tau\}\}$。其中，$\tau$ 为正整数，语言数量为奇数，0 为对称中心。当存在负算子时，有 $\mathrm{Neg}(s_\alpha) = s_{-\alpha}$，且 $s_\alpha \leqslant s_\beta \Leftrightarrow \alpha \leqslant \beta$。令 $\tau=3$，则 1.1 中 Likert 七级量表可转化为 $S=\{s_{-3}$. 很不喜欢，s_{-2}. 不喜欢，s_{-1}. 一般不喜欢，s_0. 中立，s_1. 一般喜欢，s_2. 喜欢，s_3. 很喜欢$\}$。

犹豫模糊语言术语集有助于解决 1.1 中可能出现的感性评价扭曲现象。如假设两个用户偏好分别为“一般不喜欢”和“一般喜欢”，1.1、2.1 中两种描述方式分别为 s_2、s_4 和 s_{-1}、s_1，按 1.1 运算法则，$s_2 \oplus s_4 = s_6$，$s_{-1} \oplus$

$s_1 = s_0$,显然前者“差+好=更好”模式是不合理的,后者更符合真实情况。

在语言术语集 $S = \{s_\alpha \mid \alpha \in \{-\tau, \cdots, 0, \cdots, \tau\}\}$ 描述的基础上,当用户偏好在若干个感性词汇间犹豫时,即可用一个犹豫模糊语言术语集 H_S 描述,$H_S \subset S$。对于 3 个犹豫模糊语言术语集 H_S,H_S^1,$H_S^2 \subset S$,其运算规则如下[15-16]:

(1) 取大算子:$H_S^1 \vee H_S^2 = \{\max\{s_i, s_j\} \mid s_i \in H_S^1, s_j \in H_S^2\}$。

(2) 取小算子:$H_S^1 \wedge H_S^2 = \{\min\{s_i, s_j\} \mid s_i \in H_S^1, s_j \in H_S^2\}$。

(3) 上界 H_S^+、下界 H_S^-:$H_S^+ = \max\{s_i \mid s_i \in H_S\}$,$H_S^- = \min\{s_i \mid s_i \in H_S\}$。

(4) 包络 $\mathrm{env}(H_S)$:$\mathrm{env}(H_S) = [H_S^-, H_S^+]$。

2.2 犹豫模糊语言计算

对某包装造型进行感性评价时,设某个感性指标的语言术语集为 $S = \{s_\alpha \mid \alpha \in \{-\tau, \cdots, 0, \cdots, \tau\}\}$,消费者参与评价时形成 n 个犹豫模糊语言术语集 $H_S^1, H_S^2, \cdots, H_S^n$,$W = (w_1, w_2, \cdots, w_m)^T$ 设为犹豫模糊语言术语集的权重向量,$w_i \geqslant 0$ 且 $\sum_{i=1}^{m} w_i = 1$,则犹豫模糊语言术语集的计算方式如下:

$$HA(H_S^1, H_S^2, \cdots, H_S^n) = \bigoplus_{j=1}^{n} w_j H_S^j = \bigcup_{b1 \in H_S^1, b2 \in H_S^2, \cdots, bn \in H_S^n} \{\bigoplus_{j=1}^{n} w_j b_j\}。 \quad (5)$$

式(5)是以加权平均的方式进行消费者偏好集结。当各犹豫模糊语言术语集的权重相同时,$W = (1/n, 1/n, \cdots, 1/n)^T$,式(5)即退化为算数平均法,如式(6)所示。

$$HA(H_S^1, H_S^2, \cdots, H_S^n) = \bigoplus_{j=1}^{n} \frac{1}{n} H_S^j = \bigcup_{b1 \in H_S^1, b2 \in H_S^2, \cdots, bn \in H_S^n} \{\bigoplus_{j=1}^{n} \frac{1}{n} b_j\}。 \quad (6)$$

在进行集结时,犹豫模糊语言术语集的元素分别可按乐观原则、悲观原则和平均原则进行计算,乐观原则取犹豫模糊语言术语集的上界 H_S^+,悲观原则取犹豫模糊语言术语集的下界 H_S^-,平均原则取 $\frac{1}{l}\bigoplus_{i=1}^{l} s_i$($l$ 为 H_S^j 的元素数量,$s_i \in H_S^j$)。

3 实例验证

月饼包装对月饼的销售至关重要,消费者对包装造型的直观感觉直接影响其购买行为。某公司欲设计一款月饼包装,在产品口味、价格、用户关注度、不同风格等约束范围下得到 6 个产品样本(图 2)。为更准确地定位市场需求情况,通过调研市场消费人群,确定以“绿色的”“轻奢的”分析消费者对月饼的感性认知情况,为设计师展开设计提供指导。

图 2　月饼包装样本

Figure 2　Samples of moon cake packaging boxes

3.1 确定犹豫模糊术语集

采用 Likert 七级量表分别构建语言变量“绿色的”“轻奢的”,得到语言变量 $S_1 = \{s_{-3}$. 很不绿色的,s_{-2}. 不绿色的,s_{-1}. 一般不绿色的,s_0. 中立,s_1. 一般绿色的,s_2. 绿色的,s_3. 很绿色的$\}$、$S_2 = \{s_{-3}$. 很不轻奢的,s_{-2}. 不轻奢的,s_{-1}. 一般不轻奢的,s_0. 中立,s_1. 一般轻奢的,s_2. 轻奢的,s_3. 很轻奢的$\}$。这两个语言变量的综合结果是$\{s_{-3}$. 很不满意的,s_{-2}. 不满意的,s_{-1}. 一般不满意的,s_0. 中立,s_1. 一般满意的,s_2. 满意的,s_3. 很满意的$\}$。随机选取 10 名消费者对 6 个样本进行感性分析,要求用户可以不局限于某一个感性描述,得到各产品样本的犹豫模糊术语消费者评判结果如表 1 所示,并与 Likert 七级量表评分方式进行对比,评判结果如表 2 所示。

3.2 感性计算

对于每个包装造型样本,消费者感性评价形成的犹豫模糊语言术语集之间不存在权重差异,因此可按式(6)进行计算。同时,调研发现消费者对目标感性指标的偏好相同,因此分别按乐观原则、悲观原则与平均原则对感性评价结果进行处理,并与 Likert 感性评价方法进行对比,计算结果如下。

(1) 乐观原则:

$A_1 = [s_{1.3} \quad s_{1.3}] = s_{1.3}$,$A_2 = [s_{0.5} \quad s_{1.4}] = s_{0.95}$,$A_3 = [s_{2.5} \quad s_{2.5}] = s_{2.5}$,$A_4 = [s_{2.4} \quad s_{2.2}] = s_{2.3}$,$A_5 = [s_{0.5} \quad s_{1.6}] = s_{1.05}$,$A_6 = [s_{2.4} \quad s_{2.3}] = s_{2.35}$。

各方案间的优劣顺序为方案 3>方案 6>方案 4>方案 1>方案 5>方案 2。按照语言描述,方案 3、4、6 处于“满意的”和“很满意的”之间,方案 1、5 处于“一般满意的”和“满意的”之间,方案 2 处于“中立”和“一般满意的”之间。

“绿色的”指标优劣顺序为方案 3>方案 6=方案 4>方案 1>方案 5=方案 2;“轻奢的”指标优劣顺序为方案 3>方案 6>方案 4>方案 5>方案 2>方案 1。即方案 3、4、6 介于“绿色的”和“很绿色的”以及“轻奢的”和“很轻奢的”之间。

表 1　犹豫模糊术语消费者评判结果

Table 1　Consumers' evaluation using hesitant fuzzy linguistic term set

用户编号	样本 1		样本 2		样本 3		样本 4		样本 5		样本 6	
	S_1	S_2	S_1	S_2	S_1	S_2	S_1	S_2	S_1	S_2	S_1	S_2
1	s_0,s_1	s_2	s_0	s_0,s_1	s_1,s_2	s_1,s_2,s_3	s_3	s_2	s_{-2},s_{-1}	s_2	s_1,s_2	s_2
2	s_2	s_2	s_{-1}	s_0,s_1	s_2,s_3	s_2	s_2,s_3	s_1,s_2	s_0,s_1	s_1	s_2	s_2
3	s_1,s_2	s_1,s_2	s_{-1},s_0	s_1	s_3	s_1,s_2	s_2,s_3	s_2,s_3	s_1	s_0,s_1	s_2,s_3	s_1,s_2
4	s_0	s_0,s_1	s_0,s_1	s_0,s_1	s_2,s_3	s_1,s_2,s_3	s_2	s_2,s_3	s_{-2},s_{-1},s_0	s_1,s_2	s_3	s_2,s_3
5	s_1,s_2	s_1	s_0	s_0,s_1	s_1,s_2	s_1,s_2	s_2,s_3	s_2	s_{-1}	s_1,s_2	s_1,s_2,s_3	s_2
6	s_0,s_1	s_1,s_2	s_{-1},s_0	s_1,s_2	s_2	s_3	s_2	s_1,s_2	s_{-1},s_0	s_2	s_1,s_2	s_2,s_3
7	s_1	s_0,s_1	s_1	s_2	s_1,s_2,s_3	s_2,s_3	s_1,s_2	s_1,s_2	s_0,s_1	s_0,s_1	s_2,s_3	s_2
8	s_1	s_1	s_0,s_1	s_1	s_2	s_1,s_2	s_1,s_2	s_3	s_1	s_1,s_2	s_2	s_1,s_2,s_3
9	s_1,s_2	s_0	s_1,s_2	s_1,s_2	s_2,s_3	s_0,s_1	s_2,s_3	s_0,s_1	s_0,s_1	s_2	s_1,s_2	s_1,s_2
10	s_0,s_1	s_1	s_0,s_1	s_2	s_2	s_2,s_3	s_1	s_1,s_2	s_1,s_2	s_1	s_2	s_2

表 2　单一语言术语消费者评判结果

Table 2　Consumers' evaluation using single linguistic term set

用户编号	样本 1		样本 2		样本 3		样本 4		样本 5		样本 6	
	S_1	S_2	S_1	S_2	S_1	S_2	S_1	S_2	S_1	S_2	S_1	S_2
1	2	2	0	0	1	3	3	2	−1	2	1	2
2	2	2	−1	1	2	2	2	2	0	1	2	2
3	1	2	−1	2	3	2	2	2	1	0	2	1
4	0	1	0	0	3	1	2	3	0	1	3	2
5	2	2	0	0	2	1	3	2	−1	2	2	2
6	1	1	−1	2	2	3	2	1	0	2	2	3
7	1	0	2	2	2	2	1	2	0	1	2	2
8	2	1	0	1	2	2	2	3	1	1	2	2
9	1	0	1	1	3	1	2	1	1	2	1	2
10	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2

(2) 悲观原则：

$A_1=[s_{0.7}\quad s_{0.9}]=s_{0.8}$，$A_2=[s_{-0.1}\quad s_{0.8}]=s_{0.35}$，$A_3=[s_{1.8}\quad s_{1.4}]=s_{1.6}$，$A_4=[s_{1.8}\quad s_{1.5}]=s_{1.65}$，$A_5=[s_{-0.3}\quad s_{1.1}]=s_{0.4}$，$A_6=[s_{1.7}\quad s_{1.7}]=s_{1.7}$。

各方案间的优劣顺序为方案 6>方案 4>方案 3>方案 1>方案 5>方案 2。按语言描述，方案 3、4、6 处于“一般满意的”和“满意的”之间，其他方案处于“中立”和“一般满意的”之间。

“绿色的”指标优劣顺序为方案 3=方案 4>方案 6>方案 1>方案 2>方案 5；“轻奢的”指标优劣顺序为方案 6>方案 4>方案 3>方案 5>方案 1>方案 2。即针对“绿色的”语言变量，方案 3、4、6 介于“一般绿色的”和“绿色的”之间；针对“轻奢的”语言变量，方案 3、4、5、6 介于“一般轻奢的”和“轻奢的”之间。

(3) 平均原则：

$A_1=[s_1\quad s_{1.1}]=s_{1.05}$，$A_2=[s_{0.2}\quad s_{1.1}]=s_{0.65}$，$A_3=[s_{2.15}\quad s_{1.95}]=s_{2.05}$，$A_4=[s_{2.1}\quad s_{1.85}]=s_{1.975}$，$A_5=[s_{0.1}\quad s_{1.35}]=s_{0.725}$，$A_6=[s_{2.05}\quad s_2]=s_{2.025}$。

各方案间的优劣顺序为方案 3>方案 6>方案 4>方案 1>方案 5>方案 2。按语言描述，方案 3、6 处于“满意的”和“很满意的”之间，方案 1、4 处于“一般满意的”和“满意的”之间，其他方案处于“中立”和“一般满意的”之间。

“绿色的”指标优劣顺序为方案 3>方案 4>方案 6>方案 1>方案 2>方案 5；“轻奢的”指标优劣顺序为方案 6>方案 3>方案 4>方案 5>方案 1=方案 2。针对“绿色的”语言变量，方案 3、4、6 介于“绿色的”和“很绿色

的”之间,方案 1 是“一般绿色的”,方案 2、5 介于“中立的”和“一般绿色的”之间。针对“轻奢的”语言变量,方案 6 属于“轻奢的”,其他处于“一般轻奢的”和“轻奢的”之间。

(4) Likert 量表评判结果:

$A_1 = 1.25$, $A_2 = 0.6$, $A_3 = 2.05$, $A_4 = 2$, $A_5 = 0.75$, $A_6 = 1.95$。

各方案间的优劣顺序为方案 3>方案 4>方案 6>方案 1>方案 5>方案 2。

基于犹豫模糊理论的评价结果,以上 6 种样本用户都有较好的评价,但方案 3、6 属于消费者“满意的”之上的方案,两者在“绿色的”语言变量上属于同一感知区间,但方案 6 在“轻奢的”语言指标上占优。相比于犹豫语言评价,传统的 Likert 评价仅能给出方案优劣顺序,无法直接以语言的形式进行分析,需要进行转换,而犹豫语言更能反映用户感知的主观偏好性与不确定性,从而为设计师进一步设计提供更为有益的指导。

4　结论

在产品的选购中,包装的造型设计是消费者感性需求的重要因素之一,其反映了消费者的主观认知并会最终影响其购买行为。因此,对包装造型设计进行消费者感性分析将有助于提高产品的市场竞争力。消费者的感性需求具有模糊性、不确定性等特点,常用感性形容词汇描述,并转化为量化数值进行分析。然而,该过程可能引起感性评价信息丢失,且感性需求的不确定性使得消费者在感性评价时可能产生犹豫,从而无法给出准确感性评价。针对该问题,引入模糊语言变量对感性评价量度进行分析,通过语言计算模型实现消费者感性评价结果的集结。同时,借助犹豫模糊语言术语集描述消费者感性评价的不确定性,构建语言集结算子进行感性形容词的计算。案例应用证明了方法的有效性,有助于提升包装造型感性评价的科学性和客观性,为设计师进一步进行包装设计提供有益指导。

参考文献

[1] 韩煜东, 刘伟, 伊辉勇. 考虑客户感性需求下的产品模块化配置方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2015, 27(7): 1 320-1 326.

[2] SEVA R R, DUH H B-L, HELANDER M G. The marketing implications of affective product design [J]. Applied Ergonomics, 2007, 38(6): 723-731.

[3] NAGAMACHI M. Kansei engineering: A new ergonomic consumer-oriented technology for product development[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1995, 15(1): 3-11.

[4] NAGAMACHI M. Kansei engineering as a powerful consumer-oriented technology for product development[J]. Applied Ergonomics, 2002, 33(3): 289-294.

[5] 杨程, 孙守迁, 刘征, 等. 基于主成分分析的产品外观设计决策模型[J]. 中国机械工程, 2011, 22(18): 2 218-2 223.

[6] 邓珮, 孙朔. 基于因子分析的图像语义研究[J]. 包装工程, 2017, 38(20): 112-115.

[7] 李辉, 韩娜, 黄灵阁, 等. 卷烟包装结构设计要素与感性意象关系模型研究[J]. 包装工程, 2016, 37(24): 176-179.

[8] CHOU J R. A Kansei evaluation approach based on the technique of computing with words[J]. Advanced Engineering Informatics, 2016, 30(1): 1-15.

[9] 周爱民, 苏建宁, 阎树田, 等. 产品形态审美综合评价的非线性信息动力学模型[J]. 机械工程学报, 2018, 54(15): 150-159.

[10] PARK J, HAN S H. A fuzzy rule-based approach to modeling affective user satisfaction towards office chair design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2004, 34(1): 31-47.

[11] YANG Yan-pu, CHEN Deng-kai, GU Rong, et al. Consumers' kansei needs clustering method for product emotional design based on numerical design structure matrix and genetic algorithms[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2016, DOI: 10.1155/2016/5083213.

[12] ZADEH L A. From computing with numbers to computing with words[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2001, 929(1): 221-252.

[13] 蔡玫, 巩在武, 刘新旺. 多粒度语言计算及其在模糊决策中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 36-37.

[14] 徐泽水. 基于语言信息的决策理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 13-14.

[15] RODRÍGUEZ R M, MARTÍNEZ L, HERRERA F. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2012, 20(1): 109-119.

[16] WEI Cui-ping, ZHAO Na, TANG Xi-jin. Operators and comparisons of hesitant fuzzy linguistic term sets[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2014, 22(3): 575-585.