考虑用户共识的包装机械色彩意象模糊优选方法

宁廷州，葛美芹
（枣庄学院机电工程学院，枣庄 277160）

摘要：目的 提高包装机械色彩意象评价的科学性和客观性。**方法** 考虑到包装机械色彩意象评价中的用户认知模糊性和差异性问题，利用梯形模糊数表达用户感性偏好，建立包装机械色彩意象模糊评价矩阵，通过构建用户感性评价共识度模型，对用户评价结果进行共识度评判与处理，提高用户感性意象评价的一致性水平。结合逼近理想解排序法和灰关联分析法对包装机械色彩意象评价结果进行排序，实现包装机械色彩方案的模糊评价和优选。**结果** 实例分析表明，用户的认知差异问题切实存在，评价共识度会影响包装机械色彩意象评价结果。**结论**通过将用户共识纳入包装机械色彩意象评价过程，可以减小用户认知差异带来的影响，提高包装机械色彩意象评价质量。

关键词：色彩意象；用户共识；模糊评价；包装机械；逼近理想解排序法；灰关联分析法
中图分类号：TB482 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2020)04-0171-06
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.04.021

Fuzzy Evaluation Method for Packaging Machinery Color Image Design by Considering Users' Consensus

NING Ting-zhou, GE Mei-qin
(School of Mechanical and Electrical Engineering, Zaozhuang University, Zaozhuang 277160, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the scientificity and objectivity of color image evaluation for packaging machinery. Considering the fuzziness and difference of users' perception in color image evaluation of packaging machinery, the trapezoidal fuzzy number was used to express users' perceptual preference, and establish the fuzzy evaluation matrix of packaging machinery color image. By constructing the users' perceptual evaluation consensus model, the users' evaluation results were judged and processed to improve the consistency level of users' perceptual image evaluation. Combining the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and Grey Relational Analysis (GRA), the results of color image evaluation of packaging machinery were sorted to realize the fuzzy evaluation and optimization of color scheme of packaging machinery. The case analysis showed that the problem of users' cognitive difference existed indeed, and the evaluation consensus affected the evaluation results of packaging machinery color image. By incorporating users' consensus into the process of color image evaluation of packaging machinery, the impact of users' cognitive differences can be reduced and the quality of color image evaluation of packaging machinery can be improved.
KEY WORDS: color image; users' consensus; fuzzy evaluation; packaging machinery; TOPSIS; GRA

包装机械作为机械工业系统重要组成之一，在保持产品质量、提升产品档次、服务产品推广等方面发挥着举足轻重的作用。现代包装机械设计主要关注功能性、技术性、经济性、服务性、环保性等要素[1-2]，其中功能性的有效传达不仅依赖包装机械内部结构组成的稳定性、可靠性、安全性，而且受到外部配色的影响。包装机械的色彩设计不仅有助于传达产品功能，树立企业形象，而且还会作用于用户的情绪感知，影响用户的购买决策和使用[3]，因此，在包装机械的色彩设计中，通过合理、有效的意象评价，使配色设

收稿日期：2019-10-16
基金项目：枣庄市科技计划项目（2019GX10）；枣庄学院博士科研启动基金项目（2018BS030）
作者简介：宁廷州（1988—），男，山东泰安人，博士，枣庄学院机电工程学院讲师，主要从事机械设计及理论方向的研究。
通信作者：葛美芹（1985—），女，山东人，硕士，枣庄学院机电工程学院助教，主要从事工业设计方向的研究。

计符合用户的感性认知，有助于提高包装机械配色设计质量。目前产品色彩意象评价主要采用数理方法，如文献利用灰度关联分析方法进行挖掘机色彩意象优选[4]；文献建立了基于混合智能的产品色彩多意象评价与决策系统[5]，融合了粒子群算法、径向基人工神经网络、模糊 C-均值聚类等方法；文献结合基因表达式编程与因子分析法构建色彩意象与配色之间的关联模型[6]，利用语义差分法进行意象评价；文献将模糊神经网络和灰度理论结合评价和预测用户对门锁的色彩意象感知[7]。但这些研究中都是对用户的意象评价数据进行直接运用，并未考虑到用户的认知差异问题，即评价数据间可能存在不一致性。为此，论文以包装机械的色彩设计意象评价为研究对象，利用梯形模糊数描述用户感性意象偏好，通过建立共识度模型判断用户评价的一致性，并对评判矩阵优化处理促进共识达成。基于逼近理想解排序法和灰关联分析法实现包装机械色彩方案优选，提高色彩意象评价的客观性和科学性。

1 包装机械色彩意象评价共识度模型

色彩意象是用户感性需求的反映。由于用户在知识背景、社会经历、文化层次等方面存在差异性，其对包装机械的色彩意象认知也具有不一致性，这种不一致如果不加处理将影响评价结果的准确性，因此，在进行包装机械色彩意象评价时，需将模糊、不确定的主观偏好分析并量化处理，建立共识度模型判断用户偏好的一致性程度，提升评价结果的有效性。

1.1 色彩意象

色彩本身没有感情，但人们通常对色彩与事物加以联想，借助色彩感觉经验、记忆和知识赋予色彩以人的情感。色彩意象即色彩让人产生的心理感觉和情感，它是人直觉反应和思维反应的综合，直觉反应依赖于人的感知系统，如视觉、嗅觉、触觉、味觉等，人通过感知系统获取对色彩的识别与信息输入，借助思维、知识、经验等对色彩进行诠释和认知。

在产品设计中，色彩意象反映了消费者对产品的心理期望与感性认知，具有模糊性、主观性与不确定性的特点，难以准确获取和度量。目前常用的意象分析方法是奥斯古德提出的语义差分法[8]，其基本思想是通过设定语义标尺测量人们的心理倾向性，其基本步骤如下[9]。

选择合适的形容词对。浏览期刊、报纸、网站等选择能够描述产品色彩意象的形容词对，首先删除掉与产品功能量化描述相关的词对，其次对过于概念化或与人机使用相关的词对进行压缩，再由设计师、色彩专家等删除无意义或不重要的意象形容词。采用 Likert 七级量表将色彩形容词对放在量表的两极，方便参与者打分，Likert 七级量表见表 1。

表 1 Likert 七级量表

Tab.1 Likert-7 scale

编号	形容词（负向）	Likert 尺度							形容词（正向）
		3	2	1	0	1	2	3	
1	冰冷的	□	□	□	□	□	□	□	温暖的
2	昏暗的	□	□	□	□	□	□	□	明亮的
3	静态的	□	□	□	□	□	□	□	动态的

选择产品配色图片。从网站或产品宣传册中选择产品图片，选择的标准包括：垂直还是水平、完整还是部分、产品的各组成部分能否识别、产品的视图角度等。在选择时尽量选择同一产品的多个角度展示，尽可能完整地呈现产品的色彩搭配。同时，为避免品牌商标带来的影响，需去掉产品配色图片中的品牌商标。

选择评价人群。产品配色意象评估应涵盖企业产品经理、产品的实际消费人群、产品色彩专家等，确保色彩意象评估的完整性和有效性。

另一种常用的产品色彩意象分析方法是感性工学，该方法也是建立在 SD 方法基础上，主要内容包括：（1）以树状结构对产品分类，并用于收集消费者感性信息；（2）建立感性工学系统，研究消费者感性信息与设计元素之间的关系；（3）将感性工学系统与感性预测结合建立混合式感性工学系统；（4）感性工学建模，评价消费者对感性词汇的感知（5）利用虚拟现实系统建立虚拟感性工学系统。本文采用 SD 法与模糊评价结合分析用户对包装机械的色彩意象偏好[10]。

1.2 包装机械色彩意象模糊评价

考虑用户对色彩感性认知的模糊性，色彩意象评价常采用 Likert 七级量表描述用户意象偏好，记为 $U=\{U_1,U_2,U_3,U_4,U_5,U_6,U_7\}$，$U_1$、$U_2$、$U_3$、$U_4$、$U_5$、$U_6$、$U_7$ 分别代表“很不喜欢”、“不喜欢”、“一般不喜欢”、“中立”、“一般喜欢”、“喜欢”、“很喜欢”。为对用户的色彩意象偏好进行量化处理，引入模糊数进行描述。梯形模糊数和三角模糊数是常用的模糊数表示形式，其中梯形模糊数应用场景更广泛，三角模糊数是梯形模糊数的一种特殊形式[11]，因此采用梯形模糊数 $\tilde{A}=(a,c,d,b)$ 描述色彩意象的用户心理倾向性，其中 $a,c,d,b\in R^+$ 且 $0<a<c<d<b<1$。梯形模糊数 $\tilde{A}$ 的隶属度函数满足：

$$A(x)=\begin{cases}\dfrac{x-a}{c-a}, & a\leqslant x\leqslant c\\ 1, & c\leqslant x\leqslant d\\ \dfrac{b-x}{b-d}, & d\leqslant x\leqslant b\\ 0, & otherwise\end{cases} \tag{1}$$

当 $c=d$ 时，梯形模糊数即退化为三角模糊数 $\tilde{A}^t=(a,c,b)$。

为便于比较两个色彩方案的用户意象偏好，采用均值法对梯形模糊数反模糊化处理[12]，计算方式如下：

$$defuzzyfication(\tilde{A}(x))=(a+c+d+b)/4 \tag{2}$$

据此，色彩意象可用一个四元组表示。对于七级量表色彩意象评价空间，其色彩意象偏好与对应的模糊数见表 2，其中的梯形模糊数对应的隶属函数见图 1。

1.3　共识度模型

由于认知差异的存在，用户评价并不总能达成一致。为此，论文构建共识度模型进行分析。假设某包装机械有 m 个配色方案，n 个色彩意象评价指标，意象指标的权重集为 $\{w_1,w_2,\cdots,w_n\}$，r 个用户参与色彩意象评价，用户权重集为 $\{\lambda_1,\lambda_2,\cdots,\lambda_r\}$。利用欧式距离判断两个用户 j 和 k 对某一配色方案的意见相似度为 $s(j,k)$：

$$s(j,k)=1-\sqrt{\sum_{i=1}^{n}w_i(a_{ij}-a_{ik})^2} \tag{3}$$

其中，$a_{ij}\in A_j=\{a_{1j},a_{2j},\cdots,a_{nj}\}$，$a_{ik}\in A_k=\{a_{1k},a_{2k},\cdots,a_{nk}\}$；$i=1,2,\cdots,n$，$j,k=1,2,\cdots,r$；$A_j$、$A_k$ 分别为用户 j 和 k 对 n 个指标的意象评价反模糊数向量。

则对某一方案的用户意象评价共识度 con 计算如下：

$$con=\sum_{j=1}^{r}\sum_{k=1}^{r}\mu(j,k)/\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{m}\lambda_{jk} \tag{4}$$

其中，$\mu(j,k)=\begin{cases}\lambda_{jk}, & s(j,k)\geqslant\delta\\ 0, & s(j,k)<\delta\end{cases}$；$\delta$ 为共识度阈值，达到该阈值即认为用户认知达成一致；λ_{jk} 为用户 j 和 k 的联合权重，$\lambda_{jk}=(\lambda_j+\lambda_k)/2$。当 $j=k$ 时，$\lambda_{jk}=\lambda_j=\lambda_k=\mu(j,j)$。

表 2　色彩意象偏好与对应的模糊数
Tab.2　Preference of color images and the corresponding fuzzy numbers

集合元素	色彩意象偏好	规范化梯形模糊数	反模糊数
U_1	很不喜欢	(0,0,0,0.1)	0.025
U_2	不喜欢	(0,0.1,0.2,0.3)	0.15
U_3	一般不喜欢	(0.2,0.3,0.3,0.4)	0.3
U_4	中立	(0.3,0.4,0.5,0.6)	0.45
U_5	一般喜欢	(0.5,0.6,0.6,0.7)	0.6
U_6	喜欢	(0.6,0.7,0.8,0.9)	0.75
U_7	很喜欢	(0.8,0.9,0.9,1)	0.9

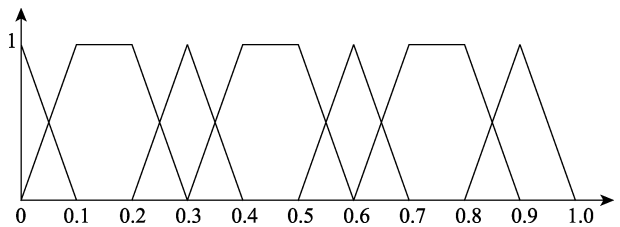

图 1　梯形模糊数对应的隶属函数

Fig.1　Membership function of trapezoidal fuzzy numbers

当用户意见出现偏差，共识度不满足要求时，可对最大与最小用户评价值进行微调，以获得用户认知一致的评价值，从而避免重新评价。具体方法是在不影响用户意象偏好的情况下，将最大用户评价反模糊数减 0.1，最小用户评价反模糊数加 0.1，重新计算共识度值。若满足共识度要求，则可进一步计算综合评价结果；若不满足，则需借助优化算法进行优化[13]。本文通过简化处理即可得到满足共识要求的用户意象偏好值，降低了计算的复杂性。

2　包装机械配色设计模糊优选方法

包装机械色彩意象评价一般包含多个指标，属于多目标决策的范畴，而逼近理想解排序法是多目标决策的一种重要方法，有助于按照待评价方案与正、负理想解的距离进行排序。同时，灰关联分析法适于处理包装机械色彩意象评价过程中的不确定性问题，两者结合进行包装机械色彩方案优选，将有助于提高色彩方案优选的科学性和客观性。

2.1　TOPSIS 法

TOPSIS 法的基本思路是求解待评价方案与最优方案、最劣方案间的距离实现排序，离最优解距离越近同时离最劣解距离越远，则方案较好，否则较差[14]。对于包装机械色彩意象评价，用户的评价反模糊数矩阵为 $A=[a_{ij}]_{n\times r}$，其中 a_{ij}（$i=1,2,\cdots,n$，$j=1,2,\cdots,r$）第 j 个用户对第 i 个指标的评价反模糊数。TOPSIS 法具体流程如下。

确定正、负理想解。正理想解记为 $P^+=\{p_1^+,p_2^+,\cdots,p_n^+\}$，负理想解记为 $P^-=\{p_1^-,p_2^-,\cdots,p_n^-\}$，则有：

$$\begin{cases}p_i^+=\max\limits_{1\leqslant j\leqslant r}a_{ij}\\ p_i^-=\min\limits_{1\leqslant j\leqslant r}a_{ij}\end{cases} \tag{5}$$

计算各方案到正、负理想解的距离。某一配色方案到正、负理想解的距离分别记为 d^+、d^-，则有：

$$\begin{cases}d^+=\sqrt{\sum\limits_{i=1}^{n}(a_{ij}-p_i^+)^2}\\ d^-=\sqrt{\sum\limits_{i=1}^{n}(a_{ij}-p_i^-)^2}\end{cases} \tag{6}$$

方案排序。以靠近正理想解同时远离负理想解为排序依据：

$$f=\frac{d^-}{d^++d^-} \tag{7}$$

已知 d^- 越大且 d^+ 越小，则 f 越靠近 1，求解结果越靠近正理想解且远离负理想解；$0<f<1$。

2.2 GRA–TOPSIS 法

GRA 法是通过比较序列与参考序列的关联度计算，判断方案的优劣[15]。在本文中，比较序列是用户对包装机械的色彩意象评价值，参考序列是正、负理想解。

求解灰色关联度。某一包装机械色彩设计方案对正、负理想解在第 i 个色彩意象指标上的关联系数计算方式为：

$$\begin{cases}\gamma\left(p_i^+,a_{ij}\right)=\dfrac{\min\limits_i\min\limits_j\left|p_i^+-a_{ij}\right|+\rho\max\limits_i\max\limits_j\left|p_i^+-a_{ij}\right|}{\left|p_i^+-a_{ij}\right|+\rho\max\limits_i\max\limits_j\left|p_i^+-a_{ij}\right|}\\ \gamma\left(p_i^-,a_{ij}\right)=\dfrac{\min\limits_i\min\limits_j\left|p_i^--a_{ij}\right|+\rho\max\limits_i\max\limits_j\left|p_i^--a_{ij}\right|}{\left|p_i^--a_{ij}\right|+\rho\max\limits_i\max\limits_j\left|p_i^--a_{ij}\right|}\end{cases} \tag{8}$$

则该包装机械色彩设计方案对正、负理想解的灰色关联度如下：

$$\begin{cases}\gamma(P^+,A)=\sum\limits_{k=1}^{n}w_k{}^T\cdot\gamma(p_i^+,a_{ij})\\ \gamma(P^-,A)=\sum\limits_{k=1}^{n}w_k{}^T\cdot\gamma(p_i^-,a_{ij})\end{cases} \tag{9}$$

优选排序。按照式（7）进行优选排序，则：

$$\xi=\frac{\gamma(P^+,A)}{\gamma(P^+,A)+\gamma(P^-,A)} \tag{10}$$

3 实例验证

手提电动打包机作为一种自动捆扎包装机械设备，在邮政、食品、医药等行业有广泛应用。为调查用户对该产品的色彩意象偏好，辅助设计师更好地进行色彩分析和设计，收集市场上具有代表性的产品样本，手提电动打包机样本见图 2。

3.1 色彩意象确定

根据 1.1 节产品色彩意象获取流程，从网站、论文、用户期望描述等渠道收集关于手提电动打包机的意象词汇，去除语义冗余的词汇，其他意象词汇制作语义形容词对，以 Likert 七级量表制作调查问卷，调查用户对该产品的色彩意象偏好。通过聚类处理与主成分分析[16-17]，得到用户的色彩意象偏好为醒目的、科技的。进一步分析用户的意象偏好，得到这两个意象指标的权重分别为 0.4 和 0.6。

3.2 用户评价与共识分析

随机选取 10 名用户，对 8 个手提电动打包机样本利用 1.2 节色彩意象偏好描述进行评价，将用户评价映射为梯形模糊数，并进一步反模糊化处理，得到样本 1 用户评价数据见表 3。

设定用户共识度阈值为 0.7，利用式（3）和（4）

图 2 手提电动打包机样本

Fig.2 Samples of portable electric packing machine

表 3 样本 1 用户评价数据

Tab.3 Users' evaluation data of sample 1

用户编号	醒目的		科技的	
	梯形模糊数	反模糊数	梯形模糊数	反模糊数
1	(0.2,0.3,0.3,0.4)	0.3	(0.5,0.6,0.6,0.7)	0.6
2	(0.5,0.6,0.6,0.7)	0.6	(0.8,0.9,0.9,1)	0.9
3	(0.8,0.9,0.9,1)	0.9	(0.6,0.7,0.8,0.9)	0.75
4	(0.6,0.7,0.8,0.9)	0.75	(0.3,0.4,0.5,0.6)	0.45
5	(0.3,0.4,0.5,0.6)	0.45	(0.2,0.3,0.3,0.4)	0.3
6	(0.5,0.6,0.6,0.7)	0.6	(0.8,0.9,0.9,1)	0.8
7	(0.8,0.9,0.9,1)	0.9	(0.5,0.6,0.6,0.7)	0.6
8	(0.5,0.6,0.6,0.7)	0.6	(0.2,0.3,0.3,0.4)	0.3
9	(0.6,0.7,0.8,0.9)	0.75	(0.6,0.7,0.8,0.9)	0.75
10	(0.8,0.9,0.9,1)	0.9	(0.5,0.6,0.6,0.7)	0.6

表 4　各色彩样本用户评价共识度

Tab.4　Consensus of users' evaluation on color samples

样本编号	2	3	4	5	6	7	8
原共识度	0.76	0.64	0.8	0.78	0.66	0.82	0.78
调整后共识度		0.86			0.9		

计算评价数据共识度，表 3 中数据的共识度为 0.68，未能达到共识度要求。利用 1.3 节方法进行调整，得到色彩样本 1 优化后的用户评价反模糊数矩阵为：

$$A_1=\begin{bmatrix}0.4 & 0.6 & 0.8 & 0.75 & 0.45 & 0.6 & 0.8 & 0.6 & 0.75 & 0.8\\ 0.6 & 0.8 & 0.75 & 0.45 & 0.4 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.75 & 0.6\end{bmatrix}^T。$$

此时用户共识度为 0.88，满足要求，用户认知达成一致。同理，可对其他色彩样本用户评价进行共识度计算，各色彩样本用户评价共识度见表 4。从共识度计算结果可知，共有 3 个色彩方案用户意象认知存在偏差，经调整后认知共识度均达成一致。

3.3　包装机械色彩优选

利用第 2 节所述方法对色彩样本方案进行优选。对各色彩样本对正理想解的灰关联度分别为：0.729758、0.692308、0.746154、0.814286、0.795301、0.801213、0.666667、0.714286；对负理想解的灰关联度分别为：0.380736、0.311785、0.298302、0.132206、0.195556、0.201978、0.144877、0.290845。则其综合优选结果为 0.657147、0.689486、0.714395、0.86032、0.80264、0.798664、0.82148、0.71064，即方案 4 > 方案 7 > 方案 5 > 方案 6 > 方案 3 > 方案 8 > 方案 2 > 方案 1。若不考虑用户评价共识度，则综合优选结果为方案 4 > 方案 6 > 方案 5 > 方案 3 > 方案 7 > 方案 8 > 方案 2 > 方案 1，对总体色彩样本意象优选结果会产生显著影响。可见，将用户共识度纳入包装机械色彩意象模糊评价中，将提升色彩方案优选结果的科学性和客观性。

4　结语

包装机械色彩设计具有多解性，对多个色彩方案结合目标色彩意象进行优选有助于提升产品开发成功率。而用户对包装机械的色彩意象认知存在差异，导致对色彩方案的意象评价存在模糊性与不一致性。针对该问题，论文引入梯形模糊数对用户意象评价进行处理，通过构建共识度模型促进达成意象认知共识，借助逼近理想解排序法和灰度关联分析法进行方案优选排序，为包装机械色彩设计决策提供指导。案例应用证明了方法的有效性，有助于提升包装机械色彩意象优选的科学性和客观性。

参考文献：

[1] 刘祎, 李虹, 李瑞琴. 现代包装机械设计质量综合评价体系研究[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 75-78.
LIU Yi, LI Hong, LI Rui-qin. Comprehensive Evaluation System for the Design Quality of Modern Packaging Machinery[J].Packaging Engineering, 2015, 36(21): 75-78.

[2] HICKS B. A Constraint-based Approach to the Modelling and Analysis of Packaging Machinery[J]. Packaging Technology & Science, 2001, 14(5): 209-225.

[3] 丁满, 徐芙蓉, 赵芳华. 基于进化定律和支持向量回归的产品造型意象评价方法[J]. 机械设计, 2018, 35(11): 105-110.
DING Man, XU Fu-rong, ZHAO Fang-hua. Product Modeling Image Evaluation Method Based on Evolutionary Law and Support Vector Regression[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(11): 105-110.

[4] 杨帆, 任家骏, 李娟莉. 基于数理评价方法的挖掘机色彩意象设计[J]. 包装工程, 2017, 38(22): 246-250.
YANG Fan, REN Jia-jun, LI Juan-li. Color Image Design of Mine Excavator Based on Evaluation Method[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(22): 246-250.

[5] 李孟山, 徐秋莹, 高德民. 融合混合智能方法和多用户意象的色彩决策系统[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2017, 29(11): 2091-2099.
LI Meng-shan, XU Qiu-ying, GAO De-min. Color Decision System Based on Hybrid Intelligent Method and Multi-users' Images[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2017, 29(11): 2091-2099.

[6] LI Deng, SUI Huai-yu, WEN Jun-wang. Color Image Evaluation for Small Space Based on FA and GEP[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014(9): 1-11.

[7] TSAI H. An Image Evaluation Approach for Parameter-based Product Form and Color Design[J]. Computer-Aided Design, 2006, 38(2): 157-171.

[8] SHANG H. A Semantic Differential Study of Designers' and Users' Product Form Perception[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2000, 25(4): 375-391.

[9] MONDRAGON S. Semantic Differential Applied to the Evaluation of Machine Tool Design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2005, 35(11): 1021-1029.

[10] NAGAMACHI M. Kansei Engineering: A New Ergonomic Consumer Oriented Technology for Product Development[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1995, 15(1): 3-11.

[11] BRUNRLLI M. How Different are Ranking Methods for Fuzzy Numbers? A Numerical Study[J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2013, 54(5): 627-639.

[12] MICHAEL G. Assessment of Human Skills Using Trapezoidal Fuzzy Numbers[J]. American Journal of Computational and Applied Mathematics, 2015, 5(5): 154-158.

[13] 张娜, 杨延璞. 产品造型感性评价中的粒子群优化共

识达成机制[J]. 机械设计, 2017, 34(6): 123-127.
ZHANG Na, YANG Yan-pu. Consensus Reaching Mechanism for Product Form KanseiEvaluation Based on Particle Swarm Optimization[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(6): 123-127.
[14] HWANG C. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications[M]. New York: Springer-Verlag, 1981.
[15] 邓聚龙.灰理论基础[M].武汉:华中科技大学出版社, 2002.
DENG Ju-long. The Fundamentals of Grey Theory[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002.
[16] YANG Y. Consumers' Kansei Needs Clustering Method for Product Emotional Design Based on Numerical Design Structure Matrix and Genetic Algorithms[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2016(16): 1-11.
[17] 陈黎, 朱如鹏, 周海海. 新技术商品化中产品造型感性需求挖掘方法研究[J]. 中国机械工程, 2010, 21(23): 2803-2808.
CHEN Li, ZHU Ru-peng, ZHOU Hai-hai. Research on Mining Method of Perceptual Needs of Product Form in Commercialization of New Technology[J]. China Mechanical Engineering, 2010, 21(23): 2803-2808.

（上接第 165 页）

[10] 崔华欠, 周光清, 付晶. 基于 PDCA 循环质量管理理论的社区健康管理模式构建研究[J]. 中国全科医学, 2016, 19(29): 3598-3600.
CUI Hua-qian, ZHOU Guang-qing, FU Jing. Study on The Construction of Community Health Management Model Based on Pdca Cycle Quality Management Theory[J]. Chinese General Practice, 2016, 19(29): 3598-3600.
[11] 刘树老, 程依靖. 老年人智能家居用品交互性设计研究[J]. 家具与室内装饰, 2015(6): 28-30.
LIU Shu-lao, CHENG Yi-jing. Research on Interactive Design of Smart Household Products in The Elderly[J]. Furniture & Interior, 2015(6): 28-30.
[12] 杜倩倩. 基于 SSM 框架的物流配送管理系统设计与实现[D]. 沈阳: 东北大学, 2015.
DU Qian-qian. Design and Implementation of Logistics Distribution Management System Based on SSM Framework[D]. Shenyang: Northeastern University, 2015.
[13] 刘昊, 李民. 基于SSM框架的客户管理系统设计与实现[J]. 软件导刊, 2017, 16(7): 87-89.
LIU Wei, LI Min. Design and Implementation of Customer Management System Based on Ssm Framework[J]. Software Guide, 2017, 16(7): 87-89.
[14] FALL K. TCP/IP Illustrated Volume1: The Protocols[M]. Beijing: China Machine Press, 2012.
[15] 刘卓, 张芳燕, 郭伟. 基于用户体验角度的老年人交互性产品设计研究[J]. 包装工程, 2015, 36(2): 63-66.
LIU Zhuo, ZHANG Fang-yan, GUO Wei. Research on Interactive Product Design of the Elderly Based on User Experience[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(2): 63-66.