

【工业设计】

基于博弈论组合赋权法的产品形态审美评价模型

周爱民¹, 马健¹, 张书涛¹, 王旭红²

(1. 兰州理工大学 设计艺术学院, 兰州 730050; 2. 兰州空间技术物理研究所, 兰州 730010)

摘要: **目的** 为克服审美评价中主、客观单一评价方法的局限性, 运用博弈论组合赋权法, 建立一种融合主、客观评价法的产品形态审美综合评价模型。**方法** 依据现有的产品形态美度指标体系与公式, 计算得到美度指标值; 应用语义差分法进行问卷调查, 获得审美评价值, 再运用灰关联分析法与熵权法分别计算各美度指标主、客观权重; 运用博弈论组合赋权法求解美度指标的综合权重, 并构建产品形态审美评价模型。**结果** 以翻译机正面形态为对象, 运用两级递进排序法进行审美评价实验验证, 结果表明, 该方法具有较好的合理性与可靠性。**结论** 基于博弈论组合赋权法的产品形态审美评价方法能够良好地量化产品形态布局特征美度, 为产品形态布局的优化设计提供定量的理论指导。

关键词: 计算美学; 审美评价; 博弈论组合赋权法; 产品形态

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)02-0034-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.02.004

Aesthetic Evaluation Model of Product Form Based on Combination Weighting Method of Game Theory

ZHOU Ai-min¹, MA Jian¹, ZHANG Shu-tao¹, WANG Xu-hong²

(1. School of Design Art, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2. Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730010, China)

ABSTRACT: The work aims to establish a comprehensive aesthetic evaluation model of product form integrating the subjective and objective evaluation methods by the combination weighting method of game theory, so as to overcome the limitations of the single subjective and objective evaluation method in aesthetic evaluation. Firstly, based on the existing aesthetic index system and formula of product form, the aesthetic index values were calculated. Then, the semantic difference method was used to conduct a questionnaire survey to obtain the aesthetic evaluation value. Next, the subjective and objective weights of each aesthetic index were calculated by the grey relational analysis method and entropy weight method. Finally, the combination weighting method of game theory was applied to solve the comprehensive weights of the aesthetic indexes and construct a comprehensive aesthetic evaluation model of product form. With the frontal form of the translator as the object, the two-level progressive ranking method was used for the experimental verification of aesthetic evaluation. According to the results, the method had good reasonableness and reliability. The aesthetic evaluation method of product form based on the combination weighting method of game theory can quantify the beauty of product form layout characteristics well and provide quantitative theoretical guidance for the optimal design of product form layout.

KEY WORDS: computational aesthetics; aesthetic evaluation; combination weighting method of game theory; product form

随着科学技术与市场经济的迅速发展, 用户对产品的要求越来越高。在选购产品时, 用户除了关注产品的实用功能之外, 也越来越注重产品的形式美感, 具备高美学品质的产品能够使用户拥有愉悦的心情

收稿日期: 2022-08-27

基金项目: 甘肃省自然科学基金(20JR10RA168); 甘肃省高等学校创新基金项目(2021A-020)

作者简介: 周爱民(1978—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为感性工学、智能设计等

通信作者: 张书涛(1982—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为感性工学、智能设计等。

以及良好的审美体验。因此,在激烈的市场竞争中,研究、掌握和运用产品美学,对企业的生存、巩固和发展具有重大意义^[1]。

审美评价作为美学中一个重要的问题,是一项极为复杂的精神活动。它是审美主体依据自身的经验及观念,对客体的审美价值进行判断与评估的认知过程。产品形态审美评价研究能够揭示产品美感形成的影响因素,帮助设计师了解审美评价系统的内部规律,为设计师筛选形态方案提供量化的美学依据,并且能够作为智能设计系统的适应度函数为其提供明确的优化方向。

1 理论介绍

1.1 审美评价

目前,在审美评价领域,学者们主要从主、客观两个角度对产品形态审美评价展开研究。主观评价主要运用各种调查法获取基础数据或者由专家赋予权重,以构建综合评价模型。Roussos等^[2]通过调查法获取数据,基于创建的审美评价标准完成了产品审美评价。Diego等^[3]为单个用户的审美感知开发了一个理论框架,使单个用户对不同产品形态的审美反应能够被预测。客观评价通常采用计算美学的方法构建审美评价模型。如Birkhoff^[4]是第一个尝试用标准来衡量美的人,并建立了美学评价指标的计算公式。Davis^[5]运用心理学实验完成了计算公式的评价与检验。Ngo等^[6]建立了13个美度公式,实现了界面样本的审美评价。此后经过不断的拓展研究,美学评价在不同场景下有了诸多成果。如Lo等^[7]运用比例、统一、最简、平衡、协调、对称六个维度完成了一体式音响的美学评价。Hsiao等^[8]运用形态分析法确定咖啡机的形态特征并建立计算公式,完成了咖啡机外形的美学评价。张书涛等^[9]结合熵值法与计算美学,完成了汽车前大灯的美度评价。

综上所述,主观评价法能够简单、直观地反应用户的认知与意愿。缺点是由于评价群体的不同,评价过程中容易出现主观偏好过强的现象,造成评价结果一致性较低。与主观评价法相比,从客观的角度进行审美评价,有着较强的数学理论基础,并且实验的方法明确、计算公式直观、实验数据精确。缺点是客观评价法的实验数据均来源于所设计的实验样本,其评价结果的可靠性高度依赖样本的质量,可能造成评价结果与实际情况存在较大偏差。由此可见,主、客观评价方法都存在明显的信息损失与信息冲突,具有一定的局限性,因此尚需深入研究与完善。

1.2 灰关联分析法

灰关联分析是一种多因素统计分析法,可通过计算序列曲线间的相似程度来判断二者的相关程度^[10]。

例如,杨晓燕等^[11]通过灰色关联分析法筛选出重要的设计因子,完成了相关的文创设计。Rajesh等^[12]通过灰关联分析法计算各供应商的权重值,完成了供应商的选择。李雪瑞等^[13]运用灰关联分析法完成了5个无人机设计方案的综合评价。由于该方法能够表征复杂因素间的关联性,且对样本量的要求不高,所以本文运用灰关联分析法计算审美价值与美度指标间的关联度,求得各美度指标的主观权重。

1.3 熵权法

熵权法是求解客观权重的一种方法,可根据指标本身的信息熵来确定其客观权重。例如,尚忠安等^[14]运用熵权法计算得到各设计特征的客观权重。熊卫红等^[15]引入熵权法确定了油中气体指标的客观权重。在本文中,将根据各产品形态美度指标的变异程度,利用信息熵计算出各美度指标的熵权,从而得到客观的美度指标权重。

1.4 博弈论组合赋权法

博弈论是研究具有斗争性质现象的数学理论,能够均衡各主体相互影响时的理性行为和决策^[16]。例如,Liu等^[17]通过博弈论组合赋权法计算各水质识别指数的综合权重,完成了国际水质指标体系的综合评价。Zhu等^[18]通过博弈论组合赋权法确定了输电线路指标的综合权重,完成了输电线路的综合评价。本研究运用博弈论组合赋权法将美度指标的主、客观权重进行融合,以实现产品形态审美综合评价。

综上所述,本文提出了一种融合主、客观评价法的产品形态审美综合评价模型。首先,依据现有的美度指标公式确定产品形态审美评价的指标体系,通过语义差分法(Semantic Differential Method, SD)获得审美评价价值,运用灰关联分析法和熵权法分别计算各美度指标的主、客观权重。最后,运用博弈论组合赋权法计算各美度指标的综合权重,实现产品形态美学的评价,并以翻译机正面形态为例进行验证。该方法能够在主、客观法赋予的权重间进行妥协与折衷,最大化保留主、客观权重的信息,从而求得各美度指标的综合权重,减少主、客观单一评价方法产生的片面性和局限性,使审美评价结果更为客观、可靠、符合实际。

2 产品形态审美评价模型的构建流程

基于博弈论组合赋权法的产品形态审美综合评价研究流程如图1所示。

2.1 产品形态审美认知实验

通过网络、杂志、期刊等渠道收集翻译机正面形态样本,依据覆盖所有基本要素及样本典型性的原则,邀请专家运用KJ法^[19]进行筛选,从而得到代表

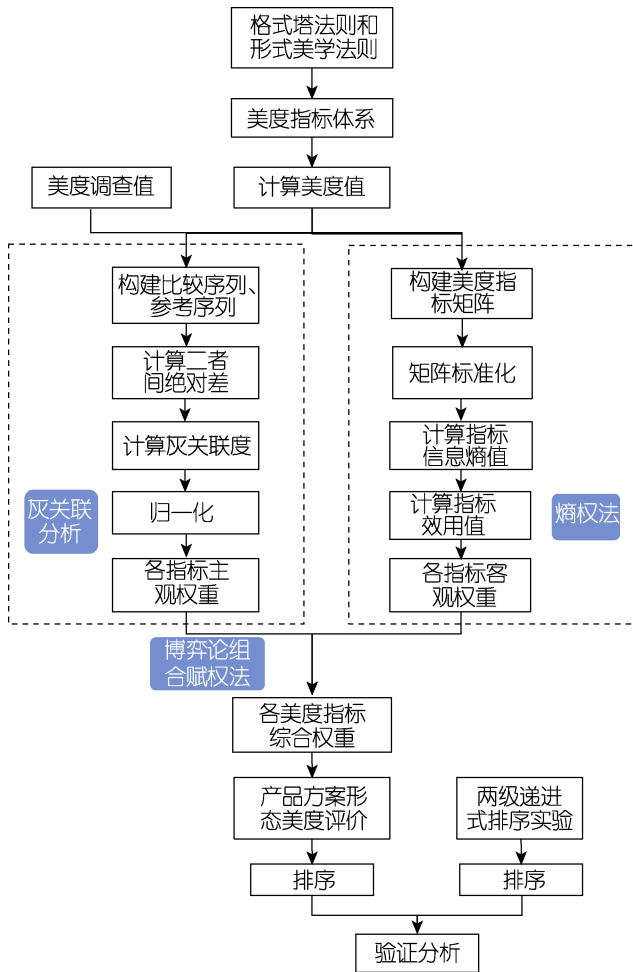


图1 研究框架

Fig.1 Research framework

性样本。基于视知觉简化原理，提取各样本的形态元素，并对其进行简化，描绘各样本形态，得到矢量图作为代表性样本。结合代表性样本与“美感程度”词汇制作7级SD调查问卷，分值为-3~3，其中-3分表示样本形态极其不美，3分表示极具美感，分值越大表示产品形态的美感程度越高，通过调查得到各样本的审美评价。

2.2 产品形态美度指标体系

以形式美学法则与格式塔法则为基础，将美度指标作为产品形态审美评价的指标体系，美度指标计算公式能够从定量的角度完成产品形态的美学计算，将隐性的审美认知外显化，且文献[20]中对各美度指标具体定义及公式进行了详细说明。因此，本研究将引入美度指标，从而得到产品形态美度指标体系，即平衡度 (X_1)、形心偏移度 (X_2)、对称度 (X_3)、比例度 (X_4)、密集度 (X_5)、整齐度 (X_6)、重复度 (X_7)、相似比例度 (X_8)、整体度 (X_9)、连续度 (X_{10})、相似度 (X_{11})、接近度 (X_{12})、共同方向度 (X_{13})、节奏度 (X_{14})、次序度 (X_{15})。根据上述指标，运用 Rhino 6.0 软件测量各代表性样本的相关数据，并依据公式计算得到美度指标值。

2.3 产品形态审美综合评价模型

2.3.1 基于灰关联分析法的主观权重求解

运用灰关联分析法计算美度指标的主观权重：

设形态样本数与美度指标数分别为 n 、 m ，将样本的审美评价作为参考序列：

$$X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)) \quad (1)$$

以各样本的美度指标值作为比较序列：

$$X_1 = (x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n))$$

$$\vdots$$

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)) \quad (2)$$

$$\vdots$$

$$X_m = (x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n))$$

两个序列的绝对差、两级最大、最小绝对差分别为：

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (3)$$

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| \quad (4)$$

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)| \quad (5)$$

则 X_0 对 X_i 在第 k 个样本的关联系数为：

$$\tau(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i} + \rho \Delta_{\max}} \quad (6)$$

式中， $\rho \in (0, 1)$ 为分辨系数，主要功能为调整美度指标之间的对比程度，其取值大小对计算结果的影响较大，当取值太小时，计算结果的区分度不大，但取值太大时，区分度虽然加大了，却可能偏离实际情况，因而一般取中间值 0.5。

第 j 个美度指标的灰关联度为：

$$r_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \tau(x_0(k), x_i(k)) \quad (7)$$

归一化处理灰关联度，则各美度指标的主观权重为：

$$\omega_j = \frac{r_j}{\sum_{j=1}^m r_j} \quad (8)$$

2.3.2 基于熵权法的客观权重求解

构建美度指标矩阵，并进行标准化：

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (9)$$

计算各美度指标的信息熵值：

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m x'_{ij} \ln x'_{ij} \quad (10)$$

计算各美度指标的信息效用值：

$$d_j = 1 - e_j \quad (11)$$

计算得到各美度指标的客观权重：

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (12)$$

2.3.3 基于博弈论组合赋权法的综合权重求解

运用博弈论组合赋权法计算各美度指标的综合权重:

建立基本权重向量集 $W_q = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m\}$ ($q=1, 2, \dots, p$), 其中, W 为第 p 种赋权法确定的权重集合, m 为美度指标的个数, p 为求取权重方法的个数。本研究中 $p=2$ 。设 $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2\}$ 为线性组合系数, 则两个权重向量的线性组合为:

$$W_1 = \alpha_1 \omega_1^T + \alpha_2 \omega_2^T \quad (13)$$

基于博弈集结模型的思想, 以离差极小化为目标优化两个线性组合系数, 以获得 W_1 中最满意的权重, 建立目标函数为:

$$\min \left\| \sum_{p=1}^n \alpha_p \omega_p^T - \omega_p \right\|_2 \quad (14)$$

将式 (14) 等价变换为最优化一阶导数条件的线性方程组:

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \omega_1^T & \omega_1 \omega_2^T \\ \omega_2 \omega_1^T & \omega_2 \omega_2^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_1 \omega_1^T \\ \omega_2 \omega_2^T \end{bmatrix} \quad (15)$$

计算得到优化组合系数 α_1 、 α_2 , 并进行归一化处理:

$$\begin{cases} \alpha_1^* = \alpha_1 / (\alpha_1 + \alpha_2) \\ \alpha_2^* = \alpha_2 / (\alpha_1 + \alpha_2) \end{cases} \quad (16)$$

最后得到各美度指标的综合权重:

$$W_1 = \alpha_1^* \omega_1^T + \alpha_2^* \omega_2^T \quad (17)$$

2.3.4 产品方案形态美度评价

根据上述步骤, 确定了美度指标的综合权重, 可以得到产品形态审美的综合评价模型, 见式 (18)。代入每个方案的各美度指标值计算得到审美综合评价值, 最终可完成产品方案形态的美度综合排序。

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \dots + a_m X_m \quad (18)$$

式中, $a_1 \sim a_m$ 分别表示各美度指标的权重系数, $X_1 \sim X_m$ 分别表示 m 个美度指标, Y 表示审美评价值。

3 实例研究

翻译机是一种能够实现自然语言转换的电子器件学习机, 现有市面上的翻译机形态布局特征较丰富, 满足形态审美实验的基本要求, 因此, 以翻译机正面形态布局为对象进行审美评价研究。

3.1 产品形态审美认知实验

通过网络、杂志、期刊等渠道收集 90 个不同的翻译机样本, 基本涵盖了现有市场上各种式样的翻译机。邀请 10 位专家运用 KJ 法对 90 个样本进行筛选, 得到 14 个代表性样本, 如表 1 所示。

在进行审美认知实验前确定实验最少被试人数为:

$$M = \frac{Z^2 V^2}{D^2} \quad (19)$$

式中, M 、 Z 、 V 、 D 分别表示被试人数、可靠系数、离差系数及期望误差。根据一般的调查实验要求, 确定 Z 值为 1.96, D 值为 0.2。对 20 人进行预实验, 得 V 值为 0.72, 确定实验人数最少为 49.78 人, 实际被试人数选择 65 人, 其中设计学教师 5 人, 设计类学生 20 人, 其他学生 22 人, 其他社会人员 18 人。

将 14 个代表性样本与“美感程度”词汇制作为 7 级 SD 调查问卷, 调查得到 65 名被试对 14 个翻译机样本美感的评价值, 并求取平均值作为各翻译机样本的美感调查值, 如表 2 所示。

3.2 产品形态美度指标计算

美度指标计算坐标图, 如图 2 所示, 其中以翻译机外轮廓中心为坐标系原点, a_i 为某元素的面积, c_{ij} (x_{ij}, y_{ij}) 为元素中心, x_{ij}, y_{ij} 分别为元素中心的横坐标及纵坐标。根据视觉简化原理, 将 14 个翻译机形态样本的一级结构作为目标元素进行美度指标计算, 即翻译机外轮廓、内屏幕、外屏幕、按键等。运用 Rhino 6.0 软件测量各参数数据, 并根据

表 1 14 个翻译机形态样本
Tab.1 14 translator morphological samples

编号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
样本							
编号	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
样本							

表2 14个翻译机样本的美感调查值
Tab.2 Aesthetic value of 14 translator samples

样本	美感程度	样本	美感程度
1	-0.278	8	-0.227
2	-0.216	9	0.023
3	-0.02	10	-0.143
4	-0.323	11	-0.03
5	-0.303	12	0.017
6	0.07	13	-0.363
7	0.187	14	-0.17

公式计算各美度指标值，其中14个样本的次序度、节奏度计算结果一致，分别为1、0.333，这两个美度指标在14个形态样本中没有区分度，不在审美评价实验中进行考虑，其他13个美度指标计算结果见表3。

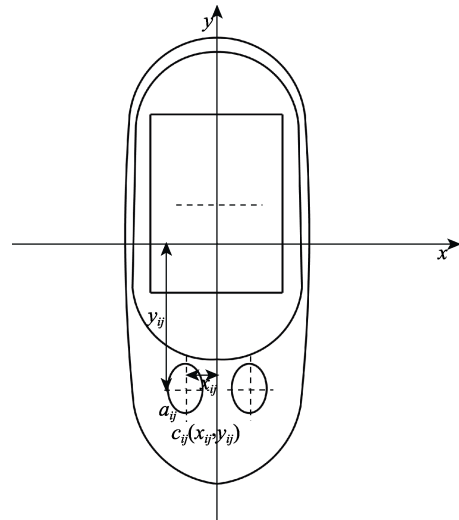


图2 美度指标计算坐标图
Fig.2 Coordinate chart of the aesthetic index for calculation

表3 14个翻译机形态样本的各美度指标值
Tab.3 Aesthetic index values of 14 translator morphological samples

编号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃
1	0.75	0.70	0.43	1	0.66	0.31	0.5	0.49	0.51	0.38	0.75	0.5	0.38
2	0.75	0.95	0.61	0.78	0.34	0.31	0.25	0.71	0.21	0.38	0.75	0.5	0.63
3	0.58	0.85	0.66	0.65	0.74	0.55	0	0.71	0.69	0.4	0.4	0.4	0.8
4	0.51	0.71	0.93	0.45	0.64	0.54	0.43	0.73	0.6	0.36	0.71	0.57	0.36
5	0.85	0.79	0.89	0.69	0.3	0.25	0	0.73	0.54	0.75	0.25	0.25	0.38
6	0.70	0.73	0.82	0.58	0.8	0.3	0.2	0.71	0.83	0.7	0.6	0.6	0.7
7	0.95	0.80	0.79	0.36	0.76	0.25	0.25	0.67	0.41	0.69	0.63	0.25	0.63
8	0.53	0.77	0.59	0.64	0.84	0.67	0.33	0.53	0.96	0.58	0.5	0.67	0.58
9	0.49	0.84	0.51	0.93	0.46	0.25	0	0.8	0.28	0.67	0.33	0.67	0.5
10	0.55	0.77	0.47	0.69	0.6	0.31	0.25	0.61	0.33	0.5	0.25	0.23	0.63
11	0.57	0.93	0.66	0.74	0.66	0.25	0.25	0.83	0.49	0.5	0.25	0.5	0.63
12	0.54	0.72	0.45	0.81	0.78	0.3	0.2	0.66	0.7	0.6	0.4	0.6	0.5
13	0.62	0.8	0.47	0.87	0.92	0.32	0.25	0.78	0.48	0.75	0.5	0.5	0.88
14	0.7	0.8	0.79	0.63	0.96	0.25	0	0.72	0.67	0.75	0.5	0.5	0.5

3.3 产品形态审美综合评价模型

3.3.1 美度指标的主观权重求解

运用灰关联分析法得出美度指标的主观权重。以14个样本的形态审美评价价值构建参考序列，以14个样本的美度指标值构建比较序列，依据式(1)~(8)与表2、表3，计算得出各美度指标的主观权重，见表4。

3.3.2 美度指标的客观权重求解

运用熵权法求出美度指标的客观权重。依据式(9)~(12)与表3，计算得出各美度指标的客观权重，见表4。

3.3.3 美度指标的综合权重求解

运用博弈论组合赋权法求出美度指标的综合权

重。依据式(13)~(17)与表4中的主、客观权重数据，求得线性组合系数 $\alpha_1 = 0.1124$ ， $\alpha_2 = 0.8876$ ，得到各美度指标的综合权重，见表4。

3.3.4 产品方案形态美度综合评价

依据博弈论综合赋权的结果，结合13个美度指标及其综合权重确定翻译机形态审美综合评价模型的关系表达式为：

$$Y = 0.0907X_1 + 0.1216X_2 + 0.0918X_3 + 0.1028X_4 + 0.0981X_5 + 0.0355X_6 + 0.0144X_7 + 0.0994X_8 + 0.0721X_9 + 0.0709X_{10} + 0.0656X_{11} + 0.0609X_{12} + 0.0758X_{13} \quad (20)$$

依据式(20)与表3中的美度指标数据，得到各样本的综合美度评价价值及排名，见表5。

表 4 美度指标的主、客观及综合权重
Tab.4 Subjective, objective and comprehensive weight of each aesthetic index

美度指标	主观权重	客观权重	综合权重
X_1	0.066 9	0.093 8	0.090 7
X_2	0.078 4	0.127 1	0.121 6
X_3	0.077 7	0.093 6	0.091 8
X_4	0.079 4	0.105 8	0.102 8
X_5	0.075 6	0.100 9	0.098 1
X_6	0.078 6	0.030 0	0.035 5
X_7	0.083 3	0.005 7	0.014 4
X_8	0.077 7	0.102 2	0.099 4
X_9	0.077 7	0.071 5	0.072 1
X_{10}	0.061 4	0.072 2	0.070 9
X_{11}	0.086 0	0.063 1	0.065 6
X_{12}	0.088 5	0.057 4	0.060 9
X_{13}	0.068 8	0.076 7	0.075 8

表 5 对比实验结果
Tab.5 Comparison of experimental results

编号	评价值	排名	调查值	排名	排名差值
1	0.597	11	0.40	13	2
2	0.604	9	0.77	8	1
3	0.632	5	0.83	6	1
4	0.598	10	0.40	13	3
5	0.585	13	0.43	10	3
6	0.684	1	1.13	1	0
7	0.626	6	1.08	3	3
8	0.650	4	1.09	2	2
9	0.587	12	0.42	12	0
10	0.528	14	0.43	10	4
11	0.622	7	0.79	7	0
12	0.607	8	0.72	9	1
13	0.683	2	1.07	4	2
14	0.672	3	1.05	5	2

4 评价结果验证与讨论

运用两极递进式排序法进行审美评价实验, 检验本文方法的合理性。实验材料为 14 个样本图片, 根据 3.1 节中的方法确定实验被试为 55 人, 其中设计专业学生 25 名, 其他人员 30 名。实验过程: 让被试从 14 个翻译机样本中选出“美感最好”与“美感最差”的样本, 分别计 1.4 分、0.1 分; 去掉这 2 个样本后, 在剩下的样本中选出“美感最好”与“美感最差”的样本, 分别记 1.3 分、0.2 分; 依次进行 7 轮评分, 直到 14 个样本均得到评分、55 名被试均完成此实验后结束。将 55 名被试对每个翻译机样本的评分求取平均值, 统计得到 14 个翻译机样本的美感评分与排序, 如表 5 所示。

经实验验证, 两种评价方法中产品方案的美度排名大体一致, 表明本文构建的产品形态审美评价模型可靠性较高, 能够从定量的角度近似地模拟人们的审美认知规律, 为设计师筛选设计方案提供有效的理论指导。由表 5 中的对比结果可知, 样本 6、样本 7、样本 8、样本 13 及样本 14 在两种方法中的排名均靠前, 五者的共同点是形态布局均较为规整、整体比较和谐且元素分布均衡, 故评分较高。样本 1、样本 4、样本 5、样本 9 及样本 10 在两种方法中的排名均靠后, 观察后可知四者形态布局均较为零散、整体元素缺乏良好的组织, 故评分较低。

分析表 5 中的对比结果可知, 样本 10 在两种评价方法中的排名相差 4, 误差略大。样本 4、样本 5 和样本 7 在两种评价方法中的排名相差 3, 剩余样本在两种评价方法中的排名差值均小于 3, 整体处于可接受的范围内。误差产生的原因分析: 主体的审美认知作为一种感性评价, 具有模糊性、随意性及动态性等特点; 现有的美度指标体系还不完善, 影响审美认知的其他美学知识还未被挖掘; 选取小样本作为数据集进行实验难以准确、真实地反映庞大的审美系统。

不同于神经网络、深度学习等预测方法(需要庞大的数据基础才可以大概率实现实验的预期效果), 本文构建的审美认知评价模型对样本量及计算机硬件设备的要求不高, 能够以适量的样本反映审美评价系统的基本情况, 在一定程度上降低了实施成本。本研究仍存在一定的局限性, 忽视了在产品形态设计过程中影响产品形态审美的其他因素, 如色彩、材料、表面工艺及使用场景等, 这些因素均可能造成系统的不稳定性, 融入对这些因素的考量将是未来审美评价研究中的重点。

5 结语

本研究依据计算美学原理, 运用灰关联分析法、熵权法及博弈论组合赋权法, 建立了一种融合主、客观评价方法的产品形态审美综合评价模型。经实例研究证明, 该模型具有较好的合理性与可靠性, 能够克服传统的主、客观评价方法存在的信息缺失导致的不确定性问题, 在设计师进行决策时能够帮助其从美感角度完成产品设计方案的筛选, 并且能够作为适应度函数为产品形态进化设计提供明确的进化方向, 提高产品形态的设计效率。

随着人类实践活动的不断丰富, 新的美学与认知知识将得到进一步总结和发展, 完善产品形态的美度指标体系, 探讨融合更多因素的综合审美评价模型将是未来研究的重点。

参考文献:

- [1] WU T Y. Unity Enhances Product Aesthetics and Emotion[J]. International Journal of Industrial Ergonomics,

- 2017, 59: 92-99.
- [2] ROUSSOS L, DENTSORAS A. Formulation and Use of Criteria for the Evaluation of Aesthetic Attributes of Products in Engineering Design[C]// 19th International Conference on Engineering Design (ICED13), Design for Harmonies. 2013.
- [3] DIEGO-MAS J A. Single Users' Affective Responses Models for Product Form Design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2016, 53: 102-114.
- [4] BIRKHOFF G D. Aesthetic measure[M]. Cambridge, Mass., Harvard University Press: 1933.
- [5] DAVIS R C. An Evaluation and Test of Birkhoff's Aesthetic Measure Formula[J]. The Journal of General Psychology, 1936, 15(2): 231-240.
- [6] NGO D C L. Modelling Interface Aesthetics[J]. Information Sciences, 2003, 152: 25-46.
- [7] LO C H, et al. A Study that Applies Aesthetic Theory and Genetic Algorithms to Product Form Optimization[J]. Advanced Engineering Informatics, 2015, 29(3): 662-679.
- [8] HSIAO S W. Product-Form Design Model Based on Genetic Algorithms[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2010, 40(3): 237-246.
- [9] 张书涛, 苏鹏飞, 杨文瑾, 等. 基于熵理论的产品美度综合评价方法[J]. 包装工程, 2021, 42(8): 79-87.
ZHANG Shu-tao, SU Peng-fei, YANG Wen-jin, et al. Integrated Evaluation Method of Product Aesthetic Based on Entropy Theory[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(8): 79-87.
- [10] 周爱民, 苏建宁, 阎树田, 等. 基于形态美度的产品多意象预测模型[J]. 图学学报, 2018, 39(4): 654-660.
ZHOU Ai-min, SU Jian-ning, YAN Shu-tian, et al. Product Multi-Image Prediction Model Based on Aesthetic Measure of Form[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(4): 654-660.
- [11] 杨晓燕, 王立婷, 王伟伟, 等. 基于灰关联分析的器物纹样关联性传承设计方法[J/OL]. 包装工程, 2021: 1-13. (2021-06-29). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20210629.0853.002.html>.
YANG Xiao-yan, WANG Li-ting, WANG Wei-wei, et al. Design Method of Relevance and Inheritance of Utensil Patterns Based on Grey Relational Analysis[J/OL]. Packaging Engineering, 2021: 1-13. (2021-06-29). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20210629.0853.002.html>.
- [12] RAJESH R. Supplier Selection in Resilient Supply Chains: A Grey Relational Analysis Approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 86: 343-359.
- [13] 李雪瑞, 侯幸刚, 杨梅, 等. 基于多层次灰色综合评价法的工业设计方案优选决策模型及其应用[J]. 图学学报, 2021, 42(4): 670-679.
- LI Xue-rui, HOU Xing-gang, YANG Mei, et al. The Optimal Decision-Making Model of Industrial Design Scheme Based on Multi-Level Grey Comprehensive Evaluation Method and Its Application[J]. Journal of Graphics, 2021, 42(4): 670-679.
- [14] 尚忠安, 陈香. 基于序关系熵权的文化特征提取方法[J]. 图学学报, 2020, 41(4): 632-639.
SHANG Zhong-an, CHEN Xiang. Method for Cultural Feature Extraction Based on Rank Correlation and Entropy Weight[J]. Journal of Graphics, 2020, 41(4): 632-639.
- [15] 熊卫红, 张宏志, 谢志成, 等. 基于云理论及熵权法的变压器潜在故障风险评估方法[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(8): 125-130, 146.
XIONG Wei-hong, ZHANG Hong-zhi, XIE Zhi-cheng, et al. Risk Assessment of Power Transformer Potential Fault Based on Cloud Theory and Entropy Weight Method[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(8): 125-130, 146.
- [16] 鲁佳慧, 唐德善. 基于博弈论组合赋权的水环境综合治理效果评价[J]. 水利水运工程学报, 2018(6): 105-111.
LU Jia-hui, TANG De-shan. Evaluation of Comprehensive Water Environment Treatment Effect Based on Game Theory Combination Weighting[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(6): 105-111.
- [17] LIU Yu, Water Quality Characteristics and Assessment of Yongding New River by Improved Comprehensive Water Quality Identification Index Based on Game Theory[J]. Journal of Environmental Sciences, 2021, 104: 40-52.
- [18] ZHU Da-rui. Comprehensive Weight Method Based on Game Theory for Identify Critical Transmission Lines in Power System[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2021, 124: 106362.
- [19] 任光培, 王子卿, 于东玖. 基于KJ法的餐盒可持续创新设计[J]. 包装工程, 2018, 39(8): 161-165.
REN Guang-pei, WANG Zi-qing, YU Dong-jiu. Sustainable and Innovative Design of the Lunch Box Based on KJ Method[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(8): 161-165.
- [20] 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.
ZHOU Ai-min, SU Jian-ning, YAN Shu-tian, et al. Nonlinear Information Dynamics Model of Synthetic Evaluation on Product Form Aesthetic[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2018, 54(15): 150-159.