



图学学报
Journal of Graphics
ISSN 2095-302X, CN 10-1034/T

《图学学报》网络首发论文

题目：产品形态多意象蛛网灰靶决策模型
作者：张书涛，王世杰，刘世锋，李伟星
收稿日期：2021-09-14
网络首发日期：2021-12-29
引用格式：张书涛, 王世杰, 刘世锋, 李伟星. 产品形态多意象蛛网灰靶决策模型[J/OL]. 图学学报. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1034.T.20211228.1522.006.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

产品形态多意象蛛网灰靶决策模型

张书涛, 王世杰, 刘世锋, 李伟星

(兰州理工大学设计艺术学院, 甘肃 兰州 730050)

摘 要: 面向概念设计中多意象设计方案决策困难的现象, 提出了一种产品形态多意象蛛网灰靶决策方法。首先, 运用感性工学相关方法获取设计主体的认知数据, 结合熵权法及博弈论思想构建基于设计主体认知数据的综合评价模型, 并根据各意象的设计主体综合评价数据确定各意象的权重关系; 其次, 通过人工选择的方式从产品形态进化系统中选择多个进化方案, 运用蛛网图表征各进化方案的意象关系, 并构建多意象蛛网灰靶决策模型, 计算决策系数, 对其进行比较排序, 得到符合设计主体认知的相对最优方案; 最后, 应用灰色关联分析法验证该决策模型的可行性。该模型能够帮助设计师在设计决策阶段快速准确地确定符合多设计主体认知的多意象方案, 为产品方案的多意象决策提供了新的理论和方法。

关 键 词: 感性工学; 多意象决策; 蛛网图; 灰靶决策模型; 设计主体; 产品形态

中图分类号: TP 472

DOI: 10.11996/JGj.2095-302X.0000000000

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(0000)00-0000-00

Cobweb Grey Target Decision-making Model of Multi Kansei Image in
Product Form

ZHANG Shu-tao, WANG Shi-jie, LIU Shi-feng, LI Wei-xing

(School of Design Art, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu 730050, China)

Abstract: In view of the difficulty in decision-making of multi Kansei image design scheme in concept design, a cobweb grey target decision-making method of multi Kansei image in product form was proposed. Firstly, the cognitive data of the design subjects was obtained by Kansei engineering, and the comprehensive evaluation model based on the cognitive data of the design subjects was constructed by entropy weight method and game theory, and the weight relationship of each Kansei image was determined based on the comprehensive evaluation data of the design subjects of each Kansei image. Secondly, multiple evolution schemes were selected from the product form evolution system by artificial selection, and the spider chart was used to represent the Kansei image relationship of each evolution scheme. A cobweb grey target decision-making model of multi Kansei image was constructed to calculate the decision-making coefficient, and the relative optimal scheme that conformed to the cognition of the design subjects was obtained by comparing and sorting them. Finally, the feasibility of the decision-making model was verified by applying with the grey correlation analysis method. The model can help designers quickly and accurately determine the multi Kansei image scheme in the design decision-making stage, which provides a new theory and method for the multi Kansei image decision-making of product scheme.

收稿日期: 2021-09-14; 定稿日期: 2021-12-24

Received: 14 September, 2021; Finalized: 24 December, 2021

基金项目: 国家自然科学基金项目(51705226); 甘肃省自然科学基金(20JR10RA168); 甘肃省教育厅: 优秀研究生“创新之星”项目(2021CXZX-524)

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (51705226); Natural Science Foundation of Gansu Province (20JR10RA168);

Gansu Provincial Department of Education: Outstanding Postgraduate "Innovation Star" Project (2021CXZX-524)

第一作者: 张书涛(1982-), 男, 山东菏泽人, 副教授, 博士。主要研究方向为感性工学、数字设计理论及方法、设计认知、产品创新设计。

E-mail: zhangsht@lut.edu.cn

First author: ZHANG Shu-tao (1982-), male, associate professor, Ph.D. His main research interests cover Kansei engineering, theory and method of digital design, design cognition, innovative design, etc. E-mail: zhangsht@lut.edu.cn

Keywords: Kansei engineering; Multi Kansei image decision-making; spider chart; grey target decision-making model; design subject; product form

激烈的市场竞争促使产品设计从以设计师为导向转变为以用户为导向,物质生活的提高使得用户更加注重情感需求的满足,这都促使情感需求逐渐成为影响用户购买决策的重要因素^[1],即在购买产品时,用户在注重其基本功能的同时,越来越重视产品带来的情感体验。但由于教育背景、生活环境等复杂因素的影响,同一件产品为不同群体提供的情感体验存在差异,从而产生不同的情感反应。基于此,日本学者 Mitsuo Nagamachi 提出“感性工学”的概念,将用户情感需求信息化,并转译为产品的形态与功能,以提高产品的市场认可度^[2]。

产品意象是人类通过对产品的学习、使用而产生的一种深层次的心理感受^[3]。随着体验经济的出现,用户与设计共同参与到产品开发中,运用相关设计工具对某个主要感性需求进行针对性地求解,并以具象化的产品形态进行表达^[4]。但设计主体的意象认知具有复杂性和多样性,并且产品形态是多种意象综合的结果,而传统情感设计主要以单一意象为目标,其结果难以满足设计主体的情感需求,因此越来越多的学者关注于如何设计出融合多意象需求的产品形态。

例如,针对用户的意象需求程度的差异及单一意象形态设计的缺点,苏珂等^[5]运用神经网络等方法研究产品多意象形态设计;李孟山等^[6]提出一种基于混合智能算法的多用户色彩意象决策模型,以探究不同色彩意象与色彩需求之间的内在联系;程永胜等^[7]运用统计学方法及 BP 神经网络建立电动汽车意象预测模型,以解决形态特征与多个感性意象之间的匹配问题;欧阳晋焱等^[8]将意象认知引入到字体研究中,通过构建多意象预测模型,最终得到字体结构与用户意象之间的内在联系;王增等^[9]提出一种基于椭圆傅里叶的产品意象形态设计方法,以预测多意象产品形态;为分析产品形态美度指标与多意象之间的潜在联系,周爱民等^[10]建立了基于形态美度的产品多意象预测模型。上述研究大多聚焦于从多角度研究产品多意象形态以及产品形态的多意象预测,而针对多意象设计方案的选择及多个设计主体的多意象决策的研究相对较少。

综上,本研究从灰色系统理论的角度探究产品形态与意象的潜在关联,提出一种基于设计主

体认知的产品形态多意象蛛网灰靶决策方法。该方法通过对蛛网面积与靶心面积差异的综合判断,帮助设计师在设计开发中快速地筛选出相对最优的方案,在缩短开发时间的同时,有助于提高产品的用户满意度。

1 相关理论

1.1 蛛网图

蛛网图(spider chart)评价法^[11],又称为戴布拉图或雷达图评价法,是一种将评价指标进行二维图像展示的综合评价方法。其核心思想是以 n 个评价指标为基础建立 n 维坐标系,根据无量纲化的评价结果,分别在各坐标轴描点、连线,形成 n 维多边形,从而进行综合评价。

近年来,蛛网图已在诸多领域得到广泛应用。在工程技术领域,ZHAO 等^[12]运用变速摩擦试验(VSFT)装置,评估自动变速器流体的基本添加剂摩擦性能,并以蛛网图显示各类添加剂的测试结果;蔡雨等^[13]运用蛛网图的形态相似性及结构相似性构建高速公路软基决策模型,综合评价目标方案与参考范例之间的贴近程度。在环保领域,段菁春等^[14]运用特征蛛网图表征大气污染成分在不同时间和空间中的变化特征,为污染成分及原因的分析提供了直观方法。在医疗领域,BROOMHEAD 等^[15]针对非洲电子健康影响评估框架的缺乏,运用评估工具对 54 个非洲国家的电子健康投资规划进行评估,并以蛛网图表征其结果。在电气工程领域,李海英等^[16]提出一种基于蛛网图的图形评估方法,以分析电力设备各部分的健康状态;程志友等^[17]提出一种基于改进蛛网图的电力系统电能质量评估方法,解决了传统电能质量评估受主观因素影响过大的问题。在生物学领域,LI 等^[18]提出一种针对细胞相似性以及识别细胞类型的计算技术,为便于后续的分析与保存,其结果以蛛网图形式表征。

综上,蛛网图主要以具象化的形式表征某个待测样本的各评价指标之间的关系,以便于后续的分析。因此,本研究运用蛛网图表征进化方案的各意象的设计主体综合评价结果,根据各意象的设计主体综合评价结果所构成的多边形的面积进行方案评判。

1.2 灰靶决策模型

灰靶决策模型^[19](Grey target decision-making model, GTDM)是灰色系统理论的重要组成部分,主要用于解决多属性决策问题。其主要思想是将所有无量纲化的指标所形成的欧式空间称为灰靶,以其靶心作为最优方案,将各待测方案与靶心进行比较,从而确定相对最优的方案。

由于灰靶决策模型适用于解决小样本量、多属性的不确定性问题,因此广泛应用于各学科领域。例如,张文杰等^[20]运用多目标加权灰靶决策模型帮助用能方在数据不全的情况下,选择相对最优的节能服务公司;张浩等^[21]结合突变级数法和灰靶决策及成熟度模型对生鲜农产品 O2O 进行评估,提高了生鲜农产品电商经营的成熟度;为解决风险投资项目的属性信息不确定的问题, FU 等^[22]提出一种基于正负影响的区间数灰靶决策模型;吴天昊等^[23]基于灰靶决策模型构建了自适应动态指标配置模型,以解决战场电磁干扰的不确定及多维问题;周鑫隆等^[24]提出了一种基于灰靶决策的岩爆烈度评价方法,通过比较各岩爆烈度等级与靶心的距离,判断其等级。

综上,灰靶决策模型主要应用于不确定性、多指标问题,而人类受自身知识水平等复杂因素的影响,其认知具有模糊性、复杂性的特点,因此认知过程也属于一种灰色系统。但传统的灰靶决策模型主要通过欧氏距离、马氏距离等方法计算各方案与靶心的距离,其结果会因计算方式的原因而极端化,即重要指标变小,次要指标变大,从而造成最终结果的不准确^[25]。因此,本研究将结合蛛网图与灰靶决策模型,运用蛛网图表征产品方案的多意象关系,利用蛛网面积与靶心面积的差异对进化方案进行综合评价,从而帮助设计师遴选出满足多个设计主体意象认知的相对最优方案,提高设计决策的准确性。

2 研究流程

2.1 确定代表性样本与意象词汇

在确定目标产品的基础上,通过期刊、书籍、网站等途径收集样本图片,运用专家讨论法剔除形态相近且不符合要求的样本图片。为避免色彩、纹理、表面处理等因素的影响,仅提取样本轮廓,以此作为代表性样本。并邀请设计师进行语义相似度调查,根据定量分析确定代表性感性词汇。

2.2 构建多意象蛛网灰靶决策模型

2.2.1 确定各意象的设计主体权重

为量化设计主体的意象认知,将代表性样本和感性词汇结合,并运用语义差分法(Semantic Difference, SD)分别针对用户和设计师开展问卷调查,得到设计主体意象评价矩阵,即

$$R^\varphi = \begin{bmatrix} r_{11}^\varphi & r_{12}^\varphi & \cdots & r_{1j}^\varphi \\ r_{21}^\varphi & r_{22}^\varphi & \cdots & r_{2j}^\varphi \\ \vdots & \vdots & r_{xy}^\varphi & \vdots \\ r_{i1}^\varphi & r_{i2}^\varphi & \cdots & r_{ij}^\varphi \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, φ 代表设计主体, $\varphi=1, 2$ 分别代表用户和设计师; r_{ij}^φ 为第 φ 类设计主体对第 i 个样本的第 j 个意象的评价值。

为减少调查数据在后续研究中的误差,对 R^φ 进行标准化处理,得到设计主体的决策矩阵,即

$$V^\varphi = \begin{bmatrix} v_{11}^\varphi & v_{12}^\varphi & \cdots & v_{1j}^\varphi \\ v_{21}^\varphi & v_{22}^\varphi & \cdots & v_{2j}^\varphi \\ \vdots & \vdots & v_{xy}^\varphi & \vdots \\ v_{i1}^\varphi & v_{i2}^\varphi & \cdots & v_{ij}^\varphi \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, v_{ij}^φ 为第 φ 类设计主体对第 i 个样本的第 j 个意象的归一化评价值。

近年来,信息熵被引入到设计领域并得到了广泛应用^[26-27]。本研究运用信息熵分析各意象下设计主体的意象不确定性,从而确定两个设计主体的权重关系。其计算式为

$$Q_j^\varphi = -k \sum_{i=1}^m P_{ij}^\varphi \ln P_{ij}^\varphi \quad (3)$$

其中, Q_j^φ 为第 j 个意象下的第 φ 类设计主体的熵值; P_{ij}^φ 表示第 j 个意象下的第 φ 类设计主体对第 i 个样本的意象认知概率在该认知主体意象认知概率的比重, $0 < P_{ij}^\varphi < 1$; k 为常数, $k=1/\ln m$ 。

$$P_{ij}^\varphi = \frac{v_{ij}^\varphi}{\sum_{i=1}^m v_{ij}^\varphi} \quad (4)$$

$$W^\varphi = \frac{1 - Q_j^\varphi}{\sum_{\varphi=1}^n (1 - Q_j^\varphi)} \quad (5)$$

其中, n 为设计主体的种类数, $n=2$ 。

2.2.2 设计主体综合评价模型确定

由于各意象中的设计主体的评价存在差异,在构建设计主体的多意象蛛网灰靶决策模型时,需构建设计主体综合评价模型,即

$$T = \sum_{\varphi=1}^n a^{\varphi} Z^{\varphi} \quad (6)$$

$$Z^{\varphi} = W^{\varphi} V^{\varphi} \quad (7)$$

其中, Z^{φ} 为第 φ 类设计主体的加权认知评价。

为使综合评价模型能够同时表征两个设计主体的意象认知, 需寻求两个设计主体间的一致与妥协。因此, 结合博弈论思想, 对待定系数 a^{φ} 优化, 使 Z^{φ} 与 Z^{β} 的偏差极小化为

$$\min \left\| \sum_{\varphi=1}^n a^{\varphi} Z^{\varphi T} - Z^{\beta} \right\|, (\beta=1, \dots, n) \quad (8)$$

从而确定待定系数 a^{φ} 为

$$a^{\varphi} = \frac{\sum_{\beta=1}^n Z^{\beta} Z^{\varphi T}}{\sqrt{\sum_{\varphi=1}^n \left(\sum_{\beta=1}^n Z^{\beta} Z^{\varphi T} \right)^2}} \quad (9)$$

归一化后, 得到优化待定系数

$$a_{*}^{\varphi} = \frac{a^{\varphi}}{\sum_{\varphi=1}^n a^{\varphi}} \quad (10)$$

结合上述步骤得到的各意象下设计主体综合评价矩阵, 运用熵权法确定各意象的权重。

2.2.3 多意象蛛网靶决策模型

多意象蛛网靶决策模型是以蛛网图为基础, 将坐标轴定义为感性意象, 且各坐标轴间的

$$\begin{aligned} S_i &= \frac{1}{2} \sin \frac{360}{h} (w_1 T_{i,1} - w_1 o_1) (w_2 T_{i,2} - w_2 o_2) + \frac{1}{2} \sin \frac{360}{h} (w_2 T_{i,2} - w_2 o_2) (w_3 T_{i,3} - w_3 o_3) + \dots \\ &+ \frac{1}{2} \sin \frac{360}{h} (w_{j-1} T_{i,j-1} - w_{j-1} o_{j-1}) (w_j T_{i,j} - w_j o_j) + \frac{1}{2} \sin \frac{360}{h} (w_j T_{i,j} - w_j o_j) (w_{i,1} T_{i,1} - w_{i,1} o_1) \Rightarrow \\ S_i &= \frac{1}{2} \sin \frac{360}{h} \sum_{j=1}^{h-1} (w_j T_{i,j} - w_j o_j) (w_{j+1} T_{i,j+1} - w_{j+1} o_{j+1}) \\ &+ \frac{1}{2} \sin \frac{360}{h} (w_{j+1} T_{i,j+1} - w_{j+1} o_{j+1}) (w_1 T_{i,1} - w_1 o_1) \end{aligned} \quad (11)$$

其中, T_{ij} 为第 i 个进化方案的第 j 个意象的综合评价结果; w_j 为第 j 个意象的权重。

分析比较所有决策系数 S_i , 即 S_i 越小, 与靶心越接近, 该方案越优。

2.3 建立产品意象形态进化系统

在产品设计中, 设计师通过设计活动产生大量设计方案, 并从中选择出最优方案以满足用户需求。而遗传算法能够通过遗传操作(选择、交叉和变异)扩大目标问题的解空间, 快速产生大量的目标解^[28]。因此, 本研究利用遗传算法模拟设计

夹角相等, 通过比较各意象的无纲化综合评价结果所围成的多边形面积与靶心面积的差异性, 从而对进化方案进行判断, 如图 1 所示。

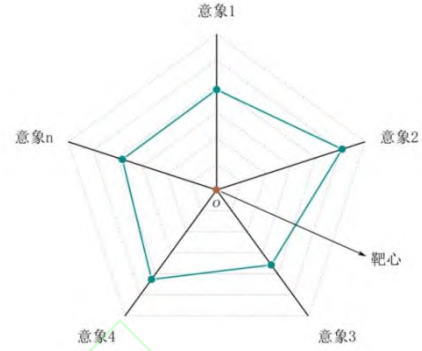


图 1 多意象蛛网靶决策模型

Fig. 1 The cobweb grey target decision-making model of multi Kansei images

类似于射击活动使用的标靶, 多意象蛛网靶决策模型的靶心为各意象的最理想结果, 靶心面积代表各意象均为最优的多意象综合评价结果, 进化方案的各意象值越靠近靶心, 其综合评价越高。由于多意象决策时难以找到全部符合设计主体意象需求的产品形态, 因此本研究仅需从中确定相对最优的产品方案。假设靶心的意象向量为理想方案的意象最优向量, 即 $WO=(w_1 o_1, w_2 o_2, \dots, w_j o_j)$, 从而构建基于设计主体的产品多意象蛛网靶决策模型

师产出大量设计方案的过程。

此外, 产品形态包含多种意象, 且多意象产品形态的设计是一个典型的多目标寻优过程。同时, 产品的各意象间不存在优劣关系, 即任何意象都不优于其他意象, 各意象间为非支配关系。因此本研究借鉴非支配排序遗传算法(NSGA-II)的理论框架, 运用 Matlab 软件建立产品形态进化系统, 并以 BP 神经网络训练得到的设计主体意象评价系统预测所有子代方案的设计主体认知评价。为模拟实际生活中用户接触产品过程的随机

性，提高方案选择过程的真实性，本研究通过人工选择的方式从进化系统选择若干个设计方案，并运用多意象蛛网灰靶决策模型从中选择出最符合设计主体意象需求的进化方案，即相对最优方案。

2.4 对比验证

为了验证所构建的多意象蛛网灰靶决策模型的有效性，需将该模型与其他决策方法进行对比分析。由于设计主体的意象认知过程属于一种灰色系统，而灰靶决策模型与灰色关联分析法都属于灰色系统理论的重要组成，且灰色关联分析法^[29]主要用于分析子系统间的关联强弱。将灰色关联分析法作为验证方法能够验证产品形态与设计主体意象认知间的模糊性关系。因此，本文引入灰色关联分析法对多意象产品方案进行决策。其步骤如下：

(1) 确定多意象下的设计主体综合评价的决策矩阵 $B=[t_i(j)]_{mh}$ ，即

$$B = \begin{bmatrix} t_0(1) & t_0(2) & \cdots & t_0(h) \\ t_1(1) & t_1(2) & \cdots & t_1(h) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ t_m(1) & t_m(2) & \cdots & t_m(h) \end{bmatrix} \quad (12)$$

其中， $i=0, 1, 2, \dots, m$ ； $j=1, 2, \dots, h$ ； $t_0(j)$ 为最优序列，即理想方案的各意象最优评价值；其他 m 组序列为比较序列。

(2) 计算各方案的设计主体综合评价与最优序列的关联系数，即

$$\delta(t_0(j), t_i(j)) = \frac{\min_i \min_j |t_0(j) - t_i(j)| + \xi \max_i \max_j |t_0(j) - t_i(j)|}{|t_0(j) - t_i(j)| + \xi \max_i \max_j |t_0(j) - t_i(j)|} \quad (13)$$

其中， ξ 为辨识系数， $\xi \in [0, 1]$ 。

(3) 计算各方案与最优序列的灰色关联度，即

$$\eta(t_0(j), t_i(j)) = \frac{1}{h} \sum_{j=1}^h \delta(t_0(j), t_i(j)) \quad (14)$$

根据计算结果，对进化方案进行排序，即关联度越大，方案越优。将灰色关联分析的结果与多意象蛛网灰靶决策模型的结果进行对比分析，以验证多意象蛛网灰靶决策模型的可行性。

3 实例研究








本文选取饮料瓶作为研究案例，建立关于饮料瓶的多意象蛛网灰靶决策模型。首先，根据饮料瓶样本的意象调研结果确定各意象下各设计主体的权重，并借鉴博弈论思想，确定设计主体综合评价模型系数，进而计算各意象下设计主体综合评价；其次，结合设计主体综合评价获得各意象的权重关系，以此确定多意象蛛网灰靶决策模型的相关系数；然后，通过产品意象形态进化系统，获得多个进化形态，并将各进化形态的各意象设计主体综合评价分别结合多意象蛛网灰靶决策模型进行综合分析，得到相对最优的进化方案；最后，通过对比探究，验证该方法的可行性。

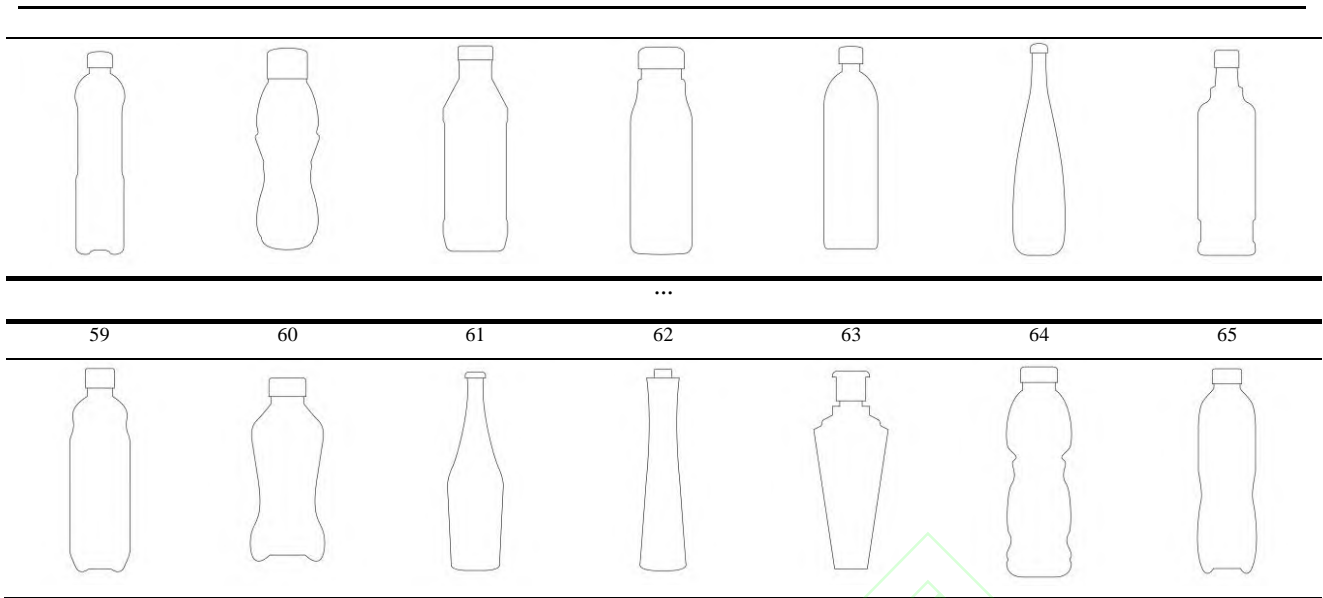
3.1 代表性样本和感性词汇的获取

首先，通过期刊、书籍、网站等途径共收集 130 张饮料瓶正视图，并邀请 5 名设计师以专家讨论的形式筛选样本。其次，为避免色彩、纹理、表面处理等因素的干扰，提取饮料瓶轮廓，最终得到 65 张代表性样本，部分样本见表 1。

表 1 部分饮料瓶样本

Table 1 Some beverage bottle samples

1	2	3	4	5	6	7
						
8	9	10	11	12	13	14



根据代表性样本确定 15 个感性词汇(表 2), 并对 20 名专家进行语义相似度调研, 将其结果输入到 SPSS 中进行聚类分析, 聚类结果见表 3。从每一类中分别选择 1 个距离中心最近的感性词汇, 从而确定代表性感性词汇, 分别为: 简洁感、舒适感、流线感、精致感和新奇感。

表 2 初选感性词汇

Table 2 Primary Kansei words

简洁感	轻巧感	流线感	肌理感	美观感
舒适感	趣味感	圆润感	运动感	协调感
个性感	亲和感	新奇感	精致感	时尚感

表 3 感性词汇聚类结果

Table 3 Clustering results of Kansei words

编号	感性词汇	类别	距离
1	简洁感	1	0.33000
2	轻巧感	1	0.34000
3	流线感	3	0.30507
4	肌理感	4	0.37350

表 4 部分归一化的调研结果

Table 4 Some normalized research results

样本	简洁感		舒适感		流线感		精致感		新奇感	
	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师
1	1	0.902	1	0.726	0.415	0.392	0.454	0.331	0.001	0.001
2	0.514	0.374	0.303	0.462	0.415	0.425	0.076	0.288	0.369	0.606
3	0.793	0.68	0.569	0.623	0.660	0.949	0.538	0.638	0.542	0.692
4	0.846	1	0.647	0.632	0.170	0.165	0.504	0.405	0.293	0.394
5	0.987	0.956	0.890	0.798	0.715	0.791	0.664	0.503	0.197	0.215
6	0.828	0.764	0.881	0.807	0.780	0.897	0.647	0.515	0.112	0.135
7	0.545	0.519	0.431	0.399	0.120	0.051	0.345	0.331	0.402	0.529
					...					
61	0.799	0.727	0.752	0.646	0.670	0.542	0.765	0.485	0.514	0.536
62	0.781	0.842	0.482	0.534	0.470	0.484	0.454	0.528	0.876	0.834
63	0.201	0.091	0.147	0.094	0.045	0.001	0.143	0.135	0.847	0.896
64	0.313	0.02	0.225	0.157	0.255	0.418	0.185	0.288	0.667	0.734

5	美观感	3	0.51592
6	舒适感	2	0.33439
7	趣味感	5	0.33864
8	圆润感	2	0.45008
9	运动感	3	0.49180
10	协调感	2	0.41757
11	个性感	5	0.29168
12	亲和感	2	0.35619
13	新奇感	5	0.24518
14	精致感	4	0.37350
15	时尚感	3	0.44127

3.2 设计主体意象数据的获取

结合代表性样本和感性词汇制作 5 级 SD 调查问卷, 分别对 47 名用户与 44 名设计师进行调研, 并对结果进行归一化处理。为减小极端值 0 对实验结果的影响, 故当归一化结果为 0 时, 使其约等于 0.001, 部分结果见表 4。

65	0.693	0.579	0.647	0.552	0.470	0.590	0.504	0.252	0.438	0.394
----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

3.3 各意象的设计主体权重计算

运用式(3)~(5)计算得到各意象下用户与设计主体的权重,见表5。

3.4 设计主体综合评价模型系数的确定

根据公式(7)~(10)确定设计主体综合评价模型

的优化待定系数 a_*^q , 见表6。将优化待定系数及表4、表5的结果分别代入公式(6)中,得到各意象下设计主体综合评价结果,部分结果见表7。

表5 各意象下设计主体的权重

Table 5 The weight of design subjects under different Kansei images

	简洁感		舒适感		流线感		精致感		新奇感	
	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师
权重	0.329	0.671	0.401	0.599	0.531	0.469	0.583	0.417	0.501	0.499

表6 各意象下设计主体综合评价模型的优化待定系数

Table 6 Optimized undetermined coefficient of comprehensive evaluation model of design subjects under different Kansei images

	简洁感		舒适感		流线感		精致感		新奇感	
	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师
a_*^q	0.34	0.66	0.408	0.592	0.54	0.46	0.59	0.41	0.498	0.502

表7 各意象下设计主体综合评价的部分结果

Table 7 Some results of comprehensive evaluation of design subjects under different Kansei images

样本	简洁感	舒适感	流线感	精致感	新奇感
1	0.511	0.421	0.204	0.213	0.001
2	0.223	0.213	0.211	0.075	0.244
3	0.390	0.314	0.394	0.294	0.309
4	0.537	0.330	0.084	0.243	0.172
5	0.534	0.429	0.376	0.314	0.103
6	0.431	0.430	0.417	0.311	0.062
7	0.291	0.212	0.045	0.175	0.233
...					
61	0.441	0.352	0.309	0.346	0.263
62	0.460	0.268	0.239	0.246	0.427
63	0.063	0.057	0.013	0.072	0.436
64	0.044	0.092	0.163	0.113	0.350
65	0.334	0.302	0.262	0.216	0.208

将两个样本作为进化系统的父代样本进行遗传操作。



图2 用户喜爱度最高的样本形态

Fig. 2 Sample with the highest user preference

进化形态及各设计主体的预测评价均显示在人机交互界面中,如图3所示。通过人工选择的方式从中选择6个进化形态,其形态与设计主体预测评价见表9。

3.6.2 方案评价

对表9中的数据进行归一化处理,其结果见表10。

将表5和表10中的数据分别代入式(7)中,并将其结果和表6的数据代入式(6),得到进化形态的各意象设计主体综合评价,见表11。

3.5 意象权重计算

再次利用熵权法确定各意象间的权重关系,结果如表8所示。

表8 意象权重

Table 8 Kansei image weight

	简洁感	舒适感	流线感	精致感	新奇感
权重	0.200	0.189	0.232	0.247	0.131

3.6 最优方案的生成与评价

3.6.1 产品形态进化设计

对20名用户进行饮料瓶形态喜爱度调研,确定样本13为最受喜爱的饮料瓶形态,如图2所示。并从代表性样本中随机选择一个样本,即样本55,



图 3 产品形态进化系统人机交互界面

Fig. 3 Human-computer interaction interface of product form evolution system

表 9 进化形态与设计主体预测评价

Table 9 Evolutionary form and predictive evaluation value of design subjects

编号	形态	设计主体	简洁感	舒适感	流线感	精致感	新奇感
X ₁		用户	3.807	3.213	3.48	3.331	3.068
		设计师	3.386	3.152	3.26	3.197	3.499
X ₂		用户	3.565	2.856	3.252	3.385	3.237
		设计师	2.728	2.908	2.987	3.051	3.202
X ₃		用户	3.49	3.006	3.117	3.264	3.134
		设计师	2.55	2.85	2.926	2.945	3.484
X ₄		用户	3.687	3.102	3.405	3.257	3.296
		设计师	2.93	3.156	2.931	3.133	3.543
X ₅		用户	3.596	3.226	3.129	3.062	3.425


		设计师	3.353	3.016	3.58	3.126	3.014
X ₆		用户	4.316	2.903	3.972	3.398	2.971
		设计师	2.865	3.082	2.722	3.131	3.731

表 10 设计主体预测评价的归一化结果

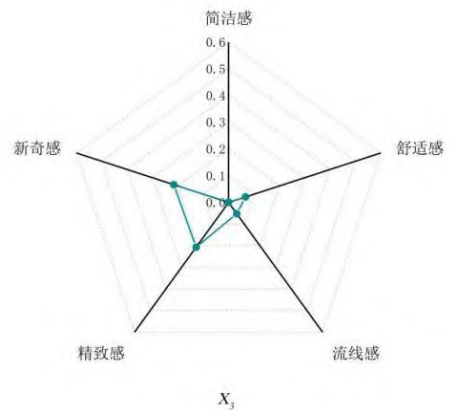
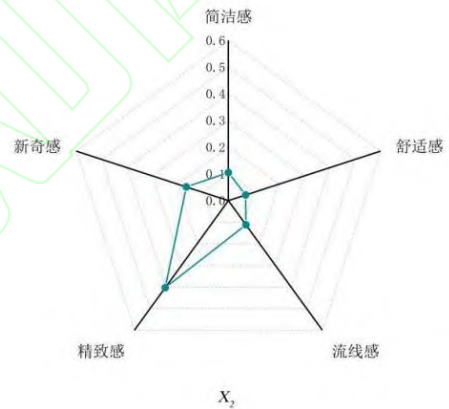
Table 10 Normalized results of design subjects prediction

编号	简洁感		舒适感		流线感		精致感		新奇感	
	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师	用户	设计师
X ₁	0.384	1	0.965	0.987	0.425	0.627	0.801	1	0.214	0.676
X ₂	0.091	0.213	0.001	0.190	0.158	0.309	0.961	0.421	0.586	0.262
X ₃	0.001	0.001	0.405	0.001	0.001	0.238	0.601	0.001	0.359	0.656
X ₄	0.238	0.455	0.665	1	0.337	0.244	0.580	0.746	0.716	0.738
X ₅	0.128	0.961	1	0.542	0.014	1	0.001	0.718	1	0.001
X ₆	1	0.377	0.127	0.758	1	0.001	1	0.738	0.001	1

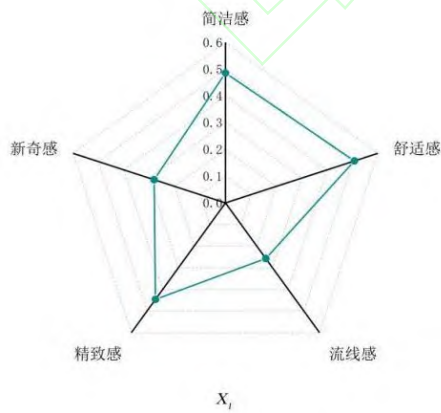
表 11 进化形态的各意象设计主体综合评价结果

Table 11 Comprehensive evaluation results of design subjects of evolution form under different Kansei images

编号	简洁感	舒适感	流线感	精致感	新奇感
X ₁	0.486	0.508	0.257	0.446	0.281
X ₂	0.105	0.068	0.112	0.403	0.166
X ₃	0.001	0.067	0.052	0.207	0.216
X ₄	0.228	0.463	0.149	0.327	0.266
X ₅	0.440	0.356	0.220	0.123	0.031
X ₆	0.279	0.290	0.287	0.470	0.368



根据表 11 的各意象设计主体综合评价结果绘制各进化方案的多意象蛛网灰靶图，以更清楚地表征各进化方案的意象特征，如图 4 所示。



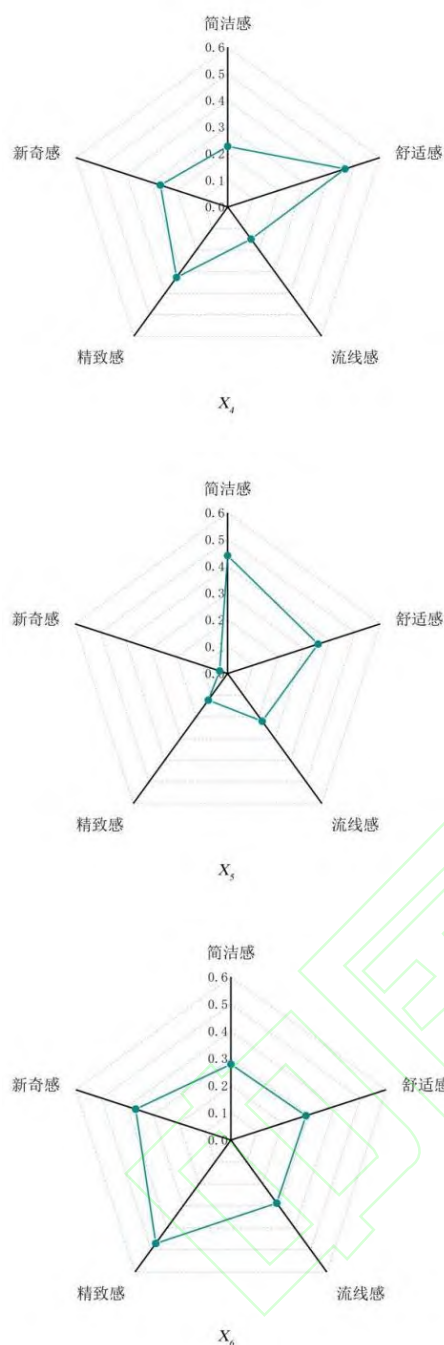


图4 各进化方案的多意象蛛网灰靶图

Fig.4 The cobweb grey target diagram of multi Kansei image of evolutionary schemes

将表 8 和表 11 的数据代入公式(11), 得到各进化方案的决策系数, 即 $S=[S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6]=[0.034, 0.064, 0.075, 0.047, 0.055, 0.041]$ 。对其进行比较排序, 得出 $S_1 < S_6 < S_4 < S_5 < S_2 < S_3$, 因此, 方案 1 是与靶心最近的方案, 即相对最优决策方案。

3.7 对比验证

将表 11 中进化方案的各意象设计主体综合评

价值代入公式(12)~(14), 通过计算得到各进化方案与最优序列的灰色关联度, 即 $\eta(t_0(j), t_i(j))=[0.906, 0.753, 0.716, 0.824, 0.795, 0.858]$ 。根据灰关联分析结果, 对进化方案进行排序, 其结果为: $X_3 < X_2 < X_5 < X_4 < X_6 < X_1$, 即方案 1 为最优进化方案。

通过对比两个决策模型的评价结果, 发现多意象蛛网灰靶决策模型的决策结果与灰色关联分析的评价结果相一致, 因此本文构建的决策模型是有效的。

从图 4 可以看出, X_1 的各意象设计主体综合评价分布较为均衡且评价结果较高, 该方案为相对最优决策方案, 满足设计主体的多意象认知需求; 相对而言, 其他方案的各意象设计主体综合评价分布均衡性较差, 基本呈现为某一或少数几个意象的设计主体综合评价结果较高, 其余意象的设计主体综合评价结果较低, 导致方案的用户认可度不高。由此可知: 产品形态是多意象耦合的结果, 某一个或少数几个意象的设计主体综合评价的突出难以满足设计主体的意象需求; 各意象之间不存在主次, 某个意象权重的大幅增减将会降低意象之间的均衡性, 从而降低产品的认可度; 当所有意象的设计主体综合评价越高且保持较好的均衡性时, 产品形态的认可程度也就越高。因此, 在产品开发过程中, 设计师应准确掌握设计主体的多种意象需求, 通过协调意象间的权重关系, 设计出符合设计主体认知的多意象产品, 以提高产品开发效率。

4 结束语

复杂背景的不确定性导致设计主体的信息表达较为模糊, 本文将蛛网图与灰靶决策模型相结合, 提出了一种针对设计主体认知的产品形态多意象蛛网灰靶决策模型, 以帮助设计师在设计决策阶段掌握设计主体的认知信息, 从而快速确定符合设计主体认知的多意象产品方案。首先, 应用定量化方法探索两个设计主体意象认知的内在固有规律, 构建设计主体综合评价模型, 分析各意象的权重关系; 其次, 基于多意象蛛网灰靶决策模型获取各进化方案的多意象蛛网图及决策结果; 最后, 应用灰色关联分析验证决策结果的正确性与方法的可行性。相较于传统决策方法, 该决策模型运用产品形态多意象蛛网图的形式呈现产品方案的各意象关系, 将设计主体的认知信息进行可视化表征, 在帮助设计师解决多意象决策

问题的同时,方便了设计师对设计方案的遴选,为多个设计主体的多意象决策提供了新的理论方法,有助于提高产品方案决策效率。但本研究只考虑了设计师与用户两个设计主体,而在实际的产品开发中,其他设计参与者在产品决策阶段的评价也尤为重要。因此,在后续的研究中,将考量工程师、销售人员等其他参与者的意象认知,进一步提高多意象决策模型的适用性。

参考文献 (References)

- [1] 陈金亮,赵锋.产品感性意象设计研究进展[J/OL].包装工程:1-13[2021-09-09].
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200927.1736.002.html>.
CHEN J L, ZHAO F. Review of product Kansei image design[J/OL]. Packaging Engineering: 1-13[2021-09-09].
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200927.1736.002.html> (in Chinese).
- [2] NAGAMACHI M. Kansei engineering as a powerful consumer-oriented technology for product development[J]. Applied Ergonomics, 2002, 33(3): 289-294.
- [3] 林丽,张云鸥.感性工学中的参数化设计方法关键技术研究现状与展望[J].图学学报,2019,40(05):936-944.
LI L, ZHANG Y K. Key Technologies in Parametric Design Methods in Kansei Engineering: State of art and progress[J]. Journal of Graphics, 2019, 40(05): 936-944 (in Chinese).
- [4] PRAHALADC K, RAMASWAMY V. Co-creation experiences: The next practice in value creation[J]. Journal of Interactive Marketing, 2004, 18(3): 5-14.
- [5] 苏珂,王硕.产品多意象造型设计研究[J].机械设计,2016,33(03):115-119.
SU K, WANG S. Study of product modeling design with multiple images[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(03): 115-119 (in Chinese).
- [6] 李孟山,徐秋莹,高德民,等.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 M S, XU Q Y, GAO D M, et al. 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 (in Chinese).
- [7] 程永胜,徐晓琪,陈国强,等.基于神经网络的电动汽车造型意象预测模型[J].计算机集成制造系统,2021,27(04):1135-1145.
CHENG Y S, XU X Q, CHEN G Q, et al. Image prediction model of electric vehicle based on neural network[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2021, 27(04): 1135-1145 (in Chinese).
- [8] 欧阳晋焱,盛浩涵,周爱民,等.基于汉字字体结构认知计算的多意象预测模型[J].图学学报,2019,40(05):945-952.
OUYANG J Y, SHENG H H, ZHOU A M, et al. Multi-image prediction model based on cognitive computing of chinese font structure[J]. Journal of Graphics, 2019, 40(05): 945-952 (in Chinese).
- [9] 王增,刘卫东,杨明朗,等.基于椭圆傅里叶的产品外形意象设计[J].计算机集成制造系统,2020,26(02):481-495.
WANG Z, LIU W D, YANG M L, et al. Product form image design based on elliptic Fourier[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2020, 26(02): 481-495 (in Chinese).
- [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(04):654-660.
ZHOU A M, SU J N, YAN S T, et al. Product multi-image prediction model based on aesthetic measure of form[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(04): 654-660 (in Chinese).
- [11] 刘方伟,龙国安.蛛网图评价法在机械设备外观设计决策中的应用[J].林业机械与木工设备,2011,39(05):46-48.
LIU F W, LONG G A. Application of the spider diagram evaluation method in equipment outlook design decisions[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2011, 39(05): 46-48 (in Chinese).
- [12] ZHAO H, NEVILLE A, MORINA A, et al. A new method to evaluate the overall anti-shudder property of automatic transmission fluids-Multiple parameters spider chart evaluation[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part J: Journal of Engineering Tribology, 2008, 222(3): 459-469.
- [13] 蔡雨,徐林荣,钟启荣,等.基于蛛网结构相似的高速公路软基处理决策模型[J].控制与决策,2020,35(02):445-452.
CAI Y, XU L R, ZHONG Q R, et al. Decision model for soft-foundation treatment of expressway based on similarity of cobweb structure[J]. Control and Decision, 2020, 35(02): 445-452 (in Chinese).
- [14] 段菁春,胡京南,谭吉华,等.特征雷达图的设计及其在大气污染成因分析中的应用[J].环境科学研究,2018,31(08):1329-1336.
DUAN J C, HU J N, TAN J H, et al. Design of characteristic radar chart and its application in air pollution analysis[J]. Research of Environmental Sciences, 2018, 31(08): 1329-1336 (in Chinese).
- [15] BROOMHEAF S C, MARS M, SCOTT R E, et al. Applicability of the five case model to African eHealth investment decisions[J]. BMC Health Services Research, 2020, 20(1): 1-15.
- [16] 李海英,冯冬,宋建成.中压真空断路器状态的雷达图法评估模型[J].电网技术,2013,37(07):2053-2059.
LI H Y, FENG D, SONG J C. Condition-based assessment model of

- MV vacuum circuit breaker with radar chart method[J]. *Power System Technology*, 2013, 37(07): 2053-2059 (in Chinese).
- [17] 程志友, 朱唯韦, 陶青, 等. 基于改进雷达图的配电系统电能质量评估方法[J]. *电测与仪表*, 2019, 56(14): 34-39+67.
- CHENG Z Y, ZHU W W, TAO Q, et al. Power quality evaluation method of distribution system based on improved radar chart[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2019, 56(14): 34-39+67 (in Chinese).
- [18] LI L J, CHE D X, WANG X D, et al. CellSim: a novel software to calculate cell similarity and identify their co-regulation networks[J]. *BMC Bioinformatics*, 2019, 20(1): 111.
- [19] 王丽萍, 阎晓冉, 王渤权, 等. 基于多维关联抽样的区间数灰靶决策模型及其应用[J]. *系统工程理论与实践*, 2019, 39(06): 1610-1622.
- WANG L P, YAN X R, WANG B Q, et al. Interval number grey target decision-making model based on multi-dimensional association sampling and its application[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2019, 39(06): 1610-1622 (in Chinese).
- [20] 张文杰, 袁红平. 基于多目标加权灰靶决策模型的节能服务公司选择研究[J]. *中国管理科学*, 2019, 27(02): 179-186.
- ZHANG W J, YUAN H P. A weighted multi-objective gray target decision model for selecting an optimum ESCO[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, 27(02): 179-186 (in Chinese).
- [21] 张浩, 冯惠霞, 唐孟娇. 基于突变级数-灰靶的生鲜电商 O2O 成熟度模型[J]. *运筹与管理*, 2021, 30(04): 206-211.
- ZHANG H, FENG H X, TANG M J. The O2O maturity model of fresh e-commerce based on catastrophe progression-grey target[J]. *Operations Research and Management Science*, 2021, 30(04): 206-211 (in Chinese).
- [22] FU S, XIAO Y Z, ZHOU H J, et al. Venture capital project selection based on interval number grey target decision model[J]. *Soft Computing*, 2021, 25(6): 4865-4874.
- [23] 吴天昊, 王劲松, 牛侃, 等. 应对战场电磁干扰的自适应动态指标配置方法[J]. *兵工学报*, 2019, 40(08): 1648-1657.
- WU T H, WANG J S, NIU K, et al. Adaptive dynamic indicators configuration method for dealing with electromagnetic interference in battlefield[J]. *Acta Armamentarii*, 2019, 40(08): 1648-1657 (in Chinese).
- [24] 周鑫隆, 章光, 李俊哲, 等. 灰靶决策理论在岩爆烈度等级评价中的应用[J]. *中国安全科学学报*, 2019, 29(05): 19-24.
- ZHOU X L, ZHANG G, LI J Z, et al. Application of grey target decision-making theory in evaluation of rock burst intensity[J]. *China Safety Science Journal*, 2019, 29(05): 19-24 (in Chinese).
- [25] 曾波, 刘思峰, 李川, 等. 基于蛛网面积的区间灰数灰靶决策模型[J]. *系统工程与电子技术*, 2013, 35(11): 2329-2334.
- ZENG B, LIU S F, LI C, et al. Grey target decision-making model of interval grey number based on cobweb area[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2013, 35(11): 2329-2334 (in Chinese).
- [26] 苏建宁, 张新新, 景楠, 等. 认知差异下的产品造型意象熵评价研究[J]. *机械设计*, 2016, 33(03): 105-108.
- SU J N, ZHANG X X, JING N, et al. Research on the entropy evaluation of product styling image under the cognitive difference[J]. *Journal of Machine Design*, 2016, 33(03): 105-108 (in Chinese).
- [27] 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(08): 79-87.
- ZHANG S T, SU P F, YANG W J, et al. Integrated evaluation method of product aesthetic based on entropy theory[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(08): 79-87 (in Chinese).
- [28] Victoria P, Bradford G N. Communicating and displaying realtime data with Web Socket[J]. *IEEE Internet Computing*, 2012, 16(4): 45-53.
- [29] 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(04): 670-679.
- LI X R, HOU X G, YANG M, 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(04): 670-679 (in Chinese).