

产品感性意象设计研究进展

陈金亮, 赵锋

(西安建筑科技大学, 西安 710055)

摘要: **目的** 产品感性意象设计是将用户情感转化为产品设计要素的设计模式, 在提高用户满意度方面具有重要作用, 基于此, 对产品感性意象设计的研究进展进行梳理和分析。**方法** 通过对国内外相关文献的综述, 论述了感性意象的有关概念; 重点分析了产品感性意象设计所涉及的代表性样本确定、产品设计要素分析、感性意象获取、感性意象与产品设计要素的映射构建及产品感性意象优化设计等研究方法和关键技术, 并归纳总结了各类研究方法和关键技术的优缺点; 在感性意象应用方面, 着重分析了感性意象中针对产品造型、产品色彩及产品材质的研究方向。**结论** 随着感性意象和新技术、新方法的融合发展, 更加准确地获取感性意象、提高感性意象映射模型的精度、智能化设计、设计过程虚拟化等将是未来产品感性意象设计研究的热点。

关键词: 感性意象; 产品设计; 产品造型; 产品色彩; 产品材质

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)20-0178-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.20.018

Review of Product Kansei Image Design

CHEN Jin-liang, ZHAO Feng

(Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

ABSTRACT: Product kansei image design is a design mode that converts user emotions into product design elements, it plays an important role in improving user satisfaction. Based on this, the paper aims to comb and analyze the review of product kansei image design. Through a review of relevant literatures at home and abroad, the concept of kansei image was discussed. The research methods and key technologies of product kansei image design, including determining representative samples, analyzing product design elements, obtaining kansei image, building the mapping between kansei image and product design elements, and developing the product kansei image optimization design were emphatically analysed. The advantages and disadvantages of the research methods and key technologies were summarized. In the application of kansei image, the research directions of kansei image, including product form, product color and product material were analyzed. With the converge development of kansei image, new technology and new method, including obtaining kansei image more accurately, improving the accuracy of kansei image mapping mode, intelligent design, design process virtualization will become hotpots of future research.

KEY WORDS: kansei image; product design; product form; product color; product material

随着市场竞争的日益激烈, 产品市场从以生产为导向的卖方市场向以用户为导向的买方市场转变。同时, 用户生活品质得到不断提升, 其价值观、生活观、消费观和审美观等都随之发生了变化, 使得用户不再只是注重产品物理机能的理性需求, 而是更加注重产

品能否满足用户审美情趣和精神寄托的心理需求, 更加强调人与产品之间的情感交流^[1]。依靠设计师自身的主观意识或经验法则的产品设计, 由于在产品设计过程中缺乏用户的参与, 无法获得用户对产品的情感意象偏好与需求, 产品方案具有主观经验性强、标准

收稿日期: 2021-05-09

基金项目: 陕西省软科学研究计划项目(2020KRM140); 陕西省社会科学基金年度项目(2020J051); 校青年科技基金项目(QN1643)

作者简介: 陈金亮(1981—), 男, 陕西人, 博士, 西安建筑科技大学副教授, 主要研究方向为工业设计、感性工学。

不一、不确定性等因素。在此背景下，产品设计的理念已逐步从形式追随功能转变为设计追随情感^[2]。

1 产品的感性意象

意象是人们对事物空间、形象大小的视觉感知所作的描述、加工与联想，反映的是人们的心理感受和心理变化。产品的感性意象是指用户在自身特定的文化背景和生活经验作用下，产品的造型、材质、色彩等因素对其多种感觉器官刺激所产生的心理反应和情感表现，反映了用户对于产品的喜好程度和评价准则，它是用户直觉和思维反应的综合体，是人们认知产品的基本方式，涉及感性工学、设计心理学、语言学、工业设计、美学、人因工程学和神经科学等领域的知识^[3-4]。

产品感性意象的形成过程为：用户在接触产品后，依据触觉、视觉、味觉、听觉等感觉来源传递的表象信息，根据个人的知识与经验，经过大脑加工综合处理后在思维空间中形成的有关产品的意象描述，如用“科技的”“益智的”“柔和的”等感性形容词进行描述^[5]。

由于产品感性意象是用户凭借自身感官对产品所产生的感观反应和直觉联想，所以其充分传达了用户的情感需求和对产品的评判标准，是设计师准确把握用户真实感觉与期望意象、理解用户对产品情感认知的重要媒介。因此，如何准确把握用户多样化、个性化的复杂情感意象需求，将其赋予在产品的造型、色彩或材质上，设计出符合用户情感意象偏好且能够与用户心理产生共鸣的感性产品，提高设计的成功率，已成为产品设计领域的研究重点。

2 产品感性意象设计的研究方法和关键技术

在产品感性意象设计研究中重点有 5 个方面：广泛搜集产品样本，确定代表性样本；分析产品设计要素；获取用户感性意象需求，定位产品设计方向；建立用户感性意象与产品设计要素的映射关系；基于智能算法的产品感性意象优化设计。

2.1 代表性样本确定

通过搜集产品图片或计算机辅助模拟得到产品样本，选取的样本数量尽量大，样本类型尽量多，经聚类分析、问卷调研和专家访谈等方式筛选出产品代表性样本。

1) 产品图片收集法。产品图片收集法主要通过查阅相关文献资料、产品广告、产品使用说明书、产品相关网站、手册等多种方式广泛收集产品样本图片。例如张丙辰等人^[6]共收集国内外的铁路客车内装照片 132 张，通过资深列车内装设计专家的筛选，最终选取其中 18 张照片作为客车内装造型实验样本。通过灰度模式和亮度直方图的处理减少明度与色彩对样本认知的影响，将 18 张实验样本和 17 组内装感性意象形容词对组合成问卷，用于意象认知问卷调查。

2) 计算机辅助模拟法。计算机辅助模拟法主要利用 Alias ImageStudio、KeyShot、3ds Max 等软件模拟渲染生成产品样本作为研究对象。例如 Zhou 等人^[7]以正交实验的思想确定渲染参数，利用 KeyShot 软件渲染了 100 个塑料材质样本。代表性样本确定方法的优缺点见表 1。

2.2 产品设计要素分析

运用形态分析法、造型特征提取法、眼动实验法等方法，对产品设计要素进行分析。

1) 形态分析法。产品由一系列造型设计要素构成，各种类型的造型设计要素会影响用户的感性意象认知。形态分析法就是将产品分成若干个独立的设计项目，寻找分解后各独立设计项目的可变要素即设计类目，建立产品的设计要素体系。形态分析法遵循的基本原则为完整性、独立性、典型性。例如王黎静等人^[8]为实现用户对民机驾驶舱内饰设计感性评价的预测，运用形态分析法进行驾驶舱 T 区内饰设计要素分解，将遮光罩区域设计部分分为了 6 个设计项目，15 个设计类目；将主仪表板区域设计部分分为了 7 个设计项目，25 个设计类目；将中央操纵台区域设计部分分为了 4 个设计项目，9 个设计类目。

2) 造型特征提取法。产品造型特征是产品造型意象的认知载体，即用户的视知觉对产品造型做出快速的整体扫描。造型特征提取法是对构成产品实体造型元素的结构化和组织化，是对产品外部轮廓形态、整体风格、形面信息、细节处理的一种描述。例如柯善军等人^[9]采用造型特征提取法提取出车型样本进气格栅、前大灯、肩线的造型特征，并以简图的形式表现出来，通过二元逻辑回归和有序逻辑回归分析得到影响品牌意象的特色造型元素。

3) 眼动实验法。利用眼动追踪技术^[10]，根据受试者眼动实验的热点图、注视轨迹图、集簇图、视线扫描路径图、蜂群图等，得到产品造型最受关注的区

表 1 代表性样本确定方法的优缺点

Tab.1 Merits and demerits of methods on determining representative samples

代表性样本确定方法	优点	缺点
产品图片收集法	能直观形象地表示出产品的情况	得到的产品种类和数量有限
计算机辅助模拟法	能通过软件模拟渲染生成大量的产品样本，样本的参数精确可知	渲染参数有限，无法完整地描述产品特征因素

域,从比例关系、相对位置关系和造型形态等方面提取出影响感性意象认知的造型设计要素。例如姚干勤等人^[11]以客车造型前视轮廓图、侧视轮廓图、顶视轮廓图、后视轮廓图为对象,通过眼动追踪实验的注视图、热点图、集簇图提取出影响客车造型意象认知的造型设计要素。产品设计要素分析方法的优缺点见表 2。

2.3 感性意象获取

用户感性意象需求作为产品设计输入的重要信息,潜在在于用户的情感体验与思维活动之中,具有主观性、模糊性、复杂性与不确定性等特性,对其准确的测量是产品感性意象设计要解决的重要问题。获取感性意象的方法主要包括心理认知测量法、生理反应测量法、文本挖掘法、深度学习法等方法。

1) 心理认知测量法。心理认知测量法主要采用基于语义差分法的语义差异量表或李克特量表开展访谈和问卷调查,对受试者关于产品造型、色彩、材质等因素的感性意象进行测量,使用数值来表达受试者感性意象的倾向或认同程度。运用因子分析法、聚类分析法、多维尺度分析法等数理统计分析法降低感性意象认知的维数,得到反映目标产品的感性意象。例如刘征宏等人^[12]通过问卷调查、设计师访谈、文献分析等方式得到 60 多组描述机床造型的感性形容词对,采用卡片分析法和因子分析法进行分类和筛选,得到人性的一机械的、对称的—不对称的、精密的一粗糙的等 6 组感性词对代表机床造型的造型风格意象认知、人机交互意象认知和功能意象认知。

2) 生理反应测量法。生理反应测量法是从意象认知过程中的神经加工机制出发,采用脑电仪、眼动仪、功能性磁共振成像仪、心率变异性检测仪、肌电仪、面部行为译码系统等生物测量设备,测量受试者对于产品样本的大脑中枢神经活动或与神经活动相关联的生理反应,通过脑电信号、眼动信号、瞳孔反应、脑区的血氧含量、肌电图、表情、行为反应等生理指标变化信息直接获取反映目标产品的感性意象。例如杨程等人^[13]通过受试者的脑电信号、行为数据和事件相关电位,量化了用户的主观感性认知,建立了产品意象推理模型。Deng 等人^[14]通过脑电仪记录受试者在实验过程中的脑电数据,利用左、右额极的 α

波平均功率不对称性获取用户的感性意象偏好信息。

3) 文本挖掘法。基于网络爬虫技术获取产品在线评论中的文本评价数据,通过词频统计、文本情感强度分析、文本情感极性判断等步骤,挖掘出用户感性意象需求信息。例如李少波等人^[15]以电子商务平台智能手机为研究对象,运用文本挖掘技术,提出一种产品在线评论数据驱动的感性评价方法。Wonjoon 等人^[16]从产品在线评论数据的基础上,基于文本挖掘和自组织映射技术获得产品的感性意象。Jiao 等人^[17]提出一种基于自然语言处理技术从产品在线文本评论中提取用户感性需求的方法。

4) 深度学习法。利用深度学习技术^[18]模拟人脑的层次化认知规律和神经系统对信息的处理机制,使用卷积神经网络进行训练,从大量训练数据中自主学习特征表达,建立产品意象识别模型,从中预测出用户感性意象需求信息。例如朱斌等人^[19]提出一种基于深度卷积神经网络的产品意象识别方法,从 426 个椅子实验样本中随机选取 298 个样本作为训练集,128 个样本作为测试集,为避免样本包含的噪声,对样本进行零均值化和数据增强处理。处理后的样本作为深度网络的最终输入,经过卷积神经网络 VGGNet16 的训练,得到了较高的产品意象识别准确率。Lu 等人^[20]设计了一个综合考虑全局和局部视角的卷积神经网络框架,从多个层次学习图片的情感表达。感性意象获取方法的优缺点见表 3。

2.4 感性意象与产品设计要素的映射构建

将用户定性的感性意象认知转换成数量化,采用定量分析的方法建立感性意象与产品设计要素之间的映射关系,能够为产品感性意象设计提供准确的定位支持,为将感性意象转译于产品设计之中提供有效的依据。感性意象与产品设计要素的映射构建从指标赋权法到复杂网络应用、从线性回归到非线性回归、从单目标意象到多目标意象,映射模型的计算能力逐步增强,效果也越来越接近于用户与设计师的认知思维。其中,灰色关联分析、数量化理论 I、BP 神经网络、支持向量机、偏最小二乘法与粗糙集等是建立映射关系的常用方法。

1) 灰色关联分析。灰色关联分析是通过线性插

表 2 产品设计要素分析方法的优缺点
Tab.2 Merits and demerits of methods on analyzing product design elements

产品设计要素分析方法	优点	缺点
造型特征提取法	在空间上以二维形式呈现,具有造型上的抽象性和具象性	提取的造型特征多数是几何特征;基于造型特征匹配的意象认知只能反映部分感性意象认知信息
形态分析法	最大程度地保留了产品造型的物理属性,易于识别,便于分析	设计项目和设计类目较多时会增加感性意象与产品设计要素映射构建的复杂度
眼动实验法	能反映出用户的真实心理感知,得到的结果更客观、直观	实验过程会存在眼睛固有的眨动或抖动等干扰信号,为数据提取带来挑战;无法开展大规模样本的研究

表 3 感性意象获取方法的优缺点
Tab.3 Merits and demerits of methods on obtaining kansei image

意象获取方法	优点	缺点
心理认知测量法	简单易行，实施灵活；结果便于分析	间接获取用户的感性意象；由于受试者心理响应的不确定性，结果存在一定程度的不客观性
生理反应测量法	直接获取用户的感性意象；不受外部因素的影响，可得到客观测量数据，测量结果可靠，测量精度高	需借助仪器，测量手段存在局限；只能反映感性的强度大小，无法反映感性的内容
文本挖掘法	获得的感性意象较真实，针对性较强；数据量大、收集效率高、实时性好	仅从在线评论中的文本数据获取信息，结果存在一定的片面性
深度学习法	自学习能力强；识别准确率较高	对产品样本图片质量要求较高；超大的产品样本数据库难以获取；计算复杂度较高

值的方法将因素之间的相似或相异程度转化为分段连续的折线，根据折线的几何特征来衡量系统因素间关联性的方法。在感性意象与产品设计要素映射构建研究中，常利用灰色关联分析法确定影响产品感性意象变化趋势的重要属性，依据产品设计要素序列的几何接近度，分析各设计要素间相互影响程度，通过灰色关联度得到影响产品感性意象的设计要素优先级排序，有效地分析出影响感性意象的产品设计要素权重。例如 Sutono 等人^[21]基于灰色关联分析法建立了乘用车外形设计要素与感性意象之间的关联模型。Lin 等人^[22]通过灰色关联分析法得到了产品造型设计要素对用户感性意象的贡献程度。

2) 数量化理论 I。数量化理论 I 是用于自变量是定性变量、因变量是定量变量的因素分析与预测问题，利用多元回归分析建立数学模型，实现对因变量的预测，以揭示事物间的联系和规律。基于数量化理论 I 的感性意象与产品设计要素映射构建的主要步骤有：通过设计调研得到产品代表性样本的感性意象评价价值（因变量）；提取产品设计要素（自变量）；将产品设计项目作为项目、产品设计要素作为类目、感性意象评价价值作为因变量，建立数学模型；采用 Matlab 或 SPSS 软件求解数学模型；分析数据结果，结果中的类目得分表示产品设计要素对感性词汇的影响，复相关系数用来衡量模型的精度，偏相关系数表示设计项目对感性词汇的贡献值。例如于娜等人^[23]以新中式座椅设计为例，从结构、部件、材质、装饰等方面提取出影响造型的关键设计要素，基于数量化理论 I 构建了用户感性意象与座椅造型设计要素间的关联模型。

3) BP 神经网络。BP 神经网络是一种前向型神经网络模型，是一个非线性动力学过程。一个具有 3 层或 3 层以上的 BP 神经网络采用全局逼近的方法能够以任何精度逼近任何连续函数，可以实现从输入到输出的任意非线性映射，在处理复杂非线性问题方面具有明显的优势^[24]。基于 BP 神经网络的感性意象与产品设计要素映射构建的主要步骤有：输入层为产品设计要素；隐含层的神经元数量为输入层神经元数量与输出层神经元数量总数的一半（此时均方根误差值

较小）；输出层为用户的感性意象，节点数为表示用户感性意象认知的形容词对数；通过语义差分法的调查数据对 BP 神经网络进行训练，建立感性意象和产品设计要素之间的映射关系。例如王黎静等人^[8]采用 BP 神经网络法构建了驾驶舱 T 形区内饰设计要素与用户感性评价之间的映射模型，以实现为民机驾驶舱内饰设计感性评价的预测。

4) 支持向量机。支持向量机是一种通过非线性变换将有限的低维样本数据映射到高维空间，在这个空间中求得最优分类超平面并映射回低维空间的机器学习方法。基于支持向量机的感性意象与产品设计要素映射构建的主要步骤有：以定性的设计要素为自变量，以定量的意象评价价值为因变量，采用 LIBSVM 软件或 Python 中的 SVR 模型进行样本训练，建立支持向量机回归的产品感性意象评价模型，得到感性意象和产品设计要素之间的映射关系。例如李文华等人^[25]以航空座椅为研究对象，建立了支持向量机回归的产品外观造型评价模型，研究结果有助于提高航空座椅造型评价的效率和航空公司的座椅选型工作。

5) 偏最小二乘法。偏最小二乘法是一种多因变量对多自变量的多元统计数据分析方法，它可以同时实现多元线性回归、主成分分析和典型相关分析。基于偏最小二乘法的感性意象与产品设计要素映射构建研究可在样本数量少于产品设计要素数量的情况下，通过偏最小二乘法建立感性意象与设计要素映射关系模型，进行多种相关性分析评价，以获取感性意象需求与产品设计要素的关系^[26]。例如周庆燕等人^[27]以儿童智能机器人早教机设计为例，通过偏最小二乘法建立了早教机的形状、颜色、材质、纹理等多维特征空间与感性认知空间的映射关系。

6) 粗糙集。粗糙集是一种能有效地分析和处理不完整、不确定和不精确知识的数学工具，其核心思想是通过属性约简、归纳学习和知识提取等数据挖掘工作，发现信息中蕴涵的知识规律。基于粗糙集的感性意象与产品设计要素映射构建的主要步骤有：以产品设计要素作为条件属性，以离散化后的感性意象评价等级作为决策属性构建决策表；通过属性约简删除

一些对感性意象无影响的设计要素,通过属性重要度的计算得出各设计要素对于感性意象的重要性排序,建立决策树;从决策树中得到产品设计要素对感性意象的强关联规则集。例如 Shieh 等人^[28]使用粗糙集理论分析了产品的形态和色彩要素与消费者的感性意象之间的相关性。丁田妹等人^[29]以加湿器配色为例,提出了一种基于粗糙集理论的产品色彩意象规则挖掘方法,得出了产品各部件色彩设计要素对感性意象的影响程度,从决策树中提取到产品配色规则,帮助设计师根据产品配色规则快速配色或快速选择最优配色方案。感性意象与产品设计要素的映射构建方法的优缺点见表 4。

2.5 产品感性意象优化设计

产品感性意象优化设计是以用户的感性意象为目标,应用计算机强大的数据处理能力和图形衍化能力,结合模拟生物进化、优胜劣汰规律的智能算法,通过各种自动生成机制快速生成符合用户意象需求的产品创新设计方案。常用的优化算法有遗传算法、群智能算法、交互式进化算法、多方法融合。

1) 遗传算法。遗传算法是一种模拟生物进化的自然选择和遗传学机理的自适应、全局优化的过程搜索最优解方法^[30]。基于遗传算法的产品感性意象优化的主要步骤有:选取一定数量的代表性产品样本作为初始种群;计算产品的适应度函数;对样本进行编码,执行选择、交叉、变异、合并等遗传操作;基于适应度评估机制对遗传操作的结果进行评价,若结果达到进化期望,则进化结束,否则继续遗传操作,进入进化迭代,最终得到满意的设计方案。

针对拟解决产品感性意象优化设计问题的特点,通过改变基本遗传算法的初始种群选取、适应度评估机制构建、交叉和变异等算法参数设置、收敛条件设

定等遗传操作,可衍生出其他遗传算法,主要有多目标遗传算法、元胞遗传算法、快速非支配遗传算法和自适应免疫遗传等算法。例如罗仕鉴等人^[31]构建了消费者感性意象偏好与 SUV 产品族外形基因之间的映射模型,基于基本遗传算法建立了基因进化机制,完成了个性化基因的进化计算,塑造出符合消费者感性意象偏好的 SUV 产品族形象。Masakazu^[32]为了使产品符合用户的多维度感性意象需求,提出了一种基于多目标遗传算法的产品形态优化设计方法。苏建宁等人^[33]提出了一种基于基本遗传算法和元胞遗传算法的产品造型设计方法,应用元胞遗传算法全局寻优的特性实现了以少量原型生成大量初始设计方案,应用基本遗传算法寻优的特性快速生成了创新设计细化设计方案。Shieh 等人^[34]提出了一种基于非支配排序遗传算法的产品意象造型进化设计方法,通过算法的快速非支配排序、拥挤度计算、修剪运算、择优保留等关键技术保证了意象造型进化设计方案的多样性。宋红等人^[35]提出了一种基于自适应免疫遗传算法的产品形态设计方法,将符合情感语义的设计方案作为初始种群,对其进行交叉、变异等遗传操作,将基于可供性提取的基因片段作为疫苗,通过疫苗接种和个体适应度评估加速收敛,在反复迭代优化后得到满足特定可供性和情感性的产品形态。

2) 群智能算法。群智能算法是一种模仿自然界当中生物群体集体智慧的全局优化搜索算法,主要包括粒子群算法和蚁群算法^[36]。基于粒子群算法的产品感性意象优化的主要步骤有:初始化一群粒子,将每个粒子(代表一个产品造型或产品色彩)视为优化问题的一个候选解;根据设计需要设定产品造型意象或产品色彩意象的模糊期望值;计算粒子的适应值,如果好于当前的个体极值,更新个体极值点;如果好于当前的全局极值,更新全局极值点;更新每一

表 4 映射构建方法的优缺点
Tab.4 Merits and demerits of methods on building the mapping

映射构建方法	优点	缺点
灰色关联分析	可利用较少的数据进行分析	结果多为设计要素优先级排序,缺乏完善精准的结果评定机制
数量化理论 I	数学模型易懂,参数设置简单;能深入分析感性意象与设计要素中各特征的关联	当设计要素过多时,需要较大数量的样本,否则无法建立映射模型;依赖于线性假设,不能较好地处理非线性关系
BP 神经网络	具有自组织、自学习、自适应等特性;非线性逼近能力和泛化能力较好;良好的容错性	存在过学习现象;易陷入局部最优;需要较多的控制参数
支持向量机	能较好地模拟用户思维;结构简单、适应性好;拟合精度高,训练速度快;全局最优,准确率较高	建模过程比较复杂;不适合设计要素较多的产品
偏最小二乘法	可通过较少样本建立模型;能够有效处理设计要素间的相关性问题;具有较强的鲁棒性	解释性相对较低;不适合非线性关系建模,有一定的局限性
粗糙集	具有较强的归类集结和信息挖掘能力;可以避免主观因素对结果的影响	只能处理离散化数据,对于连续性的感性评价数据需要离散化处理

个粒子的速度和位置；判断终止条件，如果满足终止条件则输出最优解，如果不满足终止条件则继续循环。例如徐秋莹等人^[37]以汽车外饰色彩设计为例，为了使色彩更加符合用户感性意象偏好，提出了一种基于粒子群算法的汽车外饰色彩设计方法，以辅助设计师作出色彩决策。基于蚁群算法的产品感性意象优化设计的主要步骤有：初始化，即任意组合产品设计要素生成初始的产品造型或产品色彩方案集合；将蚂蚁置于设计要素节点处，选择特征元素节点；计算适应度值；根据适应度值，更新节点贡献值；判断终止条件，如果满足终止条件则输出最优解，如果不满足终止条件则继续循环。苏建宁等人^[38]基于数量化理论 I 建立了感性意象与产品设计要素间的映射关系，应用蚁群算法对产品设计要素进行组合优化得到了产品造型设计知识库，为产品概念设计提供了有效的辅助与支持。

3) 交互式进化算法。交互式进化计算是一种用户主动参与优化进程，将用户评价和智能计算有机结合的进化计算方法。基于交互式进化算法的产品感性意象优化设计既利用了遗传算法或群智能算法等进化算法搜索广度的优势，又融入了用户的感性意象信息，提供了人—机交互机制，摒弃了传统进化算法计算适应度的过程，允许用户对进化结果进行评价，可以解决目标函数不能或者难以显性表达的复杂优化问题。例如张娜等人^[39]提出了一种基于交互式遗传算法的产品配色设计方法，将用户的认知度和疲劳度作为认知噪声引入产品配色设计过程，符合用户主观认知特点，使最终产品配色方案满足了用户感性意象需求。

4) 多方法融合。不同的优化算法或技术都有各自的优缺点，若能克服各自的缺点，形成优势互补，应用于产品感性意象优化设计则有良好的优化效果。混合算法在产品感性意象优化设计的步骤依据各自算法或技术的特点设定。结合遗传算法和蚁群算法应用于产品感性意象优化设计的主要步骤有：设计方案编码；适应度计算；初始化群体；遗传操作；判断遗传算法和蚁群算法的结合时机；蚁群优化；输出最优

方案。例如张燕等人^[40]以油罐车的配色设计为例，提出了一种基于遗传蚁群算法的产品配色方法，利用遗传算法的快速全局搜索能力产生有关问题的初始解，利用蚁群算法的正反馈机制、求解效率高和并行性等特性寻求最佳产品色彩方案，提高了色彩设计效率。结合交互式遗传算法和神经网络应用于产品感性意象优化设计的主要步骤有：生成初始种群方案；交互评价；生成适应值，供神经网络学习训练；在遗传进化阶段，若学习精度达到预设精度则由神经网络进行评价，若学习精度未达到预设精度继续训练神经网络，直至达到预设精度；在交互进化阶段，为了提高神经网络的学习效果，当评价者并未疲劳且误差没有达到预设阈值时，评价者可继续交互评价；输出最优方案。例如王家民等人^[41]以轿车前脸形态设计为例，面向用户的感性需求提出了一种结合交互式遗传算法和神经网络的产品形态设计方法，运用交互式遗传算法使设计师和用户共同参与寻优过程，借助神经网络模拟设计师和用户的评价意图以降低交互评价疲劳度。产品感性意象优化算法的优缺点见表 5。

3 感性意象应用

感性意象在产品设计领域的应用非常广泛，目前，大部分研究方向集中在产品造型、产品色彩和产品材质等方面。

3.1 基于感性意象的产品造型设计研究

产品造型是实现产品功能、结构和表达产品设计思想的载体，也是设计师与用户沟通的重要媒介，能够传达产品的物质功能、文化、精神内涵等层面的意义和人与产品的关系，直接影响用户对产品的认知，成为决定用户对产品感觉的关键因素。基于感性意象的产品造型设计研究以产品造型因素为对象，以用户的情感需求为目的，将定性的感性意象信息量化，建立用户感性意象与产品造型设计要素的映射关系，

表 5 优化算法的优缺点
Tab.5 The merits and demerits of optimization algorithm

优化算法	优点	缺点
遗传算法	能较好地模拟产品设计中的创新思维；使用概率机制迭代，具有随机性；过程简单，具有良好的实用性；具有可扩展性，易与其他算法结合	对初始种群的选择具有一定的依赖性；参数的选择大部分是依靠经验；在处理具有多个最优解的问题时，易陷入局部最小值。
群智能算法	受所求问题维数的影响较小；设置参数较少，实现较易；具有较强的鲁棒性；易于理解与描述	收敛性能对参数的设定和选取较为敏感；易陷入局部最优
交互式进化算法	适合处理隐性目标优化问题；主要通过人的交互评价来得到适应度值；有助于获得满足用户特定感性意象需求的优化解	效率较低，易产生早熟收敛；易受到主观经验和认知差异等因素影响；由于人的疲劳效应，进化代数不能太多，易错过潜在的优秀方案
多方法融合	融合了各算法或技术的特性，形成优势互补，提高了算法的性能	选择合适的结合方式较困难

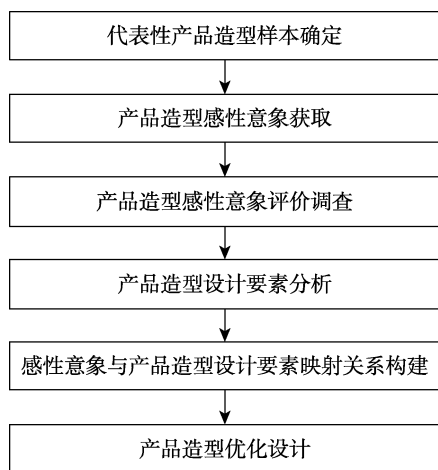


图 1 基于感性意象的产品造型设计流程框架

Fig.1 Framework of product form design based on kansei image

对产品造型进行创新设计。基于感性意象的产品造型设计流程框架见图 1。例如林丽等人^[42]提出了一种基于网络评价数据的产品感性意象设计方法,在网络评价大数据中挖掘用户对产品的感性需求及意象信息,通过参数化曲线描绘产品造型的设计特征,基于随机森林算法构建感性意象空间与设计特征之间的映射关系,以实现感性意象无偏差设计。Li 等人^[43]提出了一种基于机器学习的感性意象设计方法,从在线购物网站捕获产品信息,采用 4 种机器学习算法构建了用户感性意象与产品设计要素间的关联模型,以智能手表设计为例验证了方法的有效性。李雪瑞等人^[44]以复杂网络理论为基础,提出了一种意象驱动的产品形态基因网络模型的构建方法,获取意象靶基因与优选基因组合,辅助设计师定位产品关键设计要素,根据形状文法推理规则开发了智能优化设计引擎。

3.2 基于感性意象的产品色彩设计研究

色彩作为产品的外观三大要素之一,不仅具有装饰性,还具有象征意义,也是产品表达的重要组成部分。产品色彩意象是用户对产品色彩的直觉联想,通过情感认知可充分传达用户的色彩需求,是用户购买产品时考虑的重要因素。产品色彩设计是将色彩这一视觉要素以最好的安排或最优的适应赋予到产品的适当位置。基于感性意象的产品色彩设计研究以用户对于产品的色彩意象为研究对象,综合考虑产品的色彩属性和色彩心理,通过定性与定量相结合的方式获取用户多样且多变的产品色彩意象需求,建立产品色彩与用户感性意象的对应关系,将其转化为设计元素,得到符合特定产品色彩意象需求的色彩方案,缩小用户与设计师色彩意象的认知差距,以提高产品色彩设计的有效性、实用性和准确性。基于感性意象的产品色彩设计流程框架见图 2。例如 Yuan 等人^[45]提出了一种结合色彩方案重用和感性意象的产品配色设计方法,基于模糊处理技术从源图像中提取色彩组

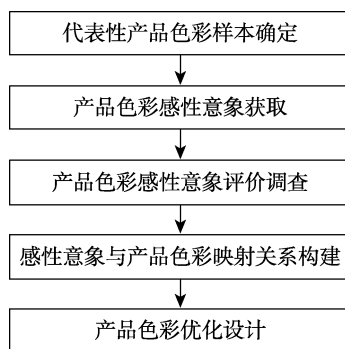


图 2 基于感性意象的产品色彩设计流程框架

Fig.2 Framework of product color design based on kansei image

合方案,构建色彩空间到设计感性空间的映射关系,分析出单个色彩的意象贡献值,利用交互式遗传算法对配色方案种群进行适应度评估,得到满足用户感性需求的配色方案。李孟山等人^[46]以汽车外饰色彩设计为例,提出了一种面向多用户色彩意象的智能化产品色彩决策系统,该系统融合改进的粒子群算法和人工神经网络建立色彩预测模型,利用模糊 C—均值聚类方法提取出决策色彩。Hu 等人^[47]提出了一种基于多维情感的产品色彩规划方法,运用因子分析和普氏分析构建消费者色彩意象空间,采用模糊偏好的方法建立了情感维度之间的重要程度关系,利用粒子群优化算法求解产品色彩设计模型,通过实验验证了该方法的有效性。

3.3 基于感性意象的产品材质设计研究

材料是产品设计的物质基础,是构成产品造型、满足产品功能的基本要素,不同的材料具有其特有的材质与情感。材质的感性意象是人对材料的生理和心理活动,是人们通过感觉器官对材料的视觉质感和触觉质感作出的综合印象。科学合理地运用材质的感性意象,最大限度地发挥材质的特性,将会丰富和完善产品设计构思,拓宽产品设计思路。基于感性意象的产品材质设计研究用户对产品材质的感觉评价与认知,探索不同产品材质的感觉特征,建立用户感性意象与产品材料质感特征的映射关系,为产品材质的选择和设计提供参考。基于感性意象的产品材质设计流程框架见图 3。例如汪颖等人^[48]以材料质感要素为自变量,消费者偏好意象为因变量,提出了一种基于基因表达式编程算法解析质感要素与偏好意象认知关系的材料质感偏好意象评测方法。洪歆慧等人^[49]以 Apple Watch 为研究对象,提出一种基于感性意象的智能穿戴设备材质设计方法,建立了材质风格意象模型,总结出基于内隐舒适性与外显象征性的智能穿戴设备材质设计策略,以提升设计效率。初建杰等人^[50]提出了一种基于感性意象的飞机客舱座椅色彩和材质纹样设计方法,通过赋予座椅色彩和材质以不同的情感,提高了乘客的乘坐舒适度和用户体验。

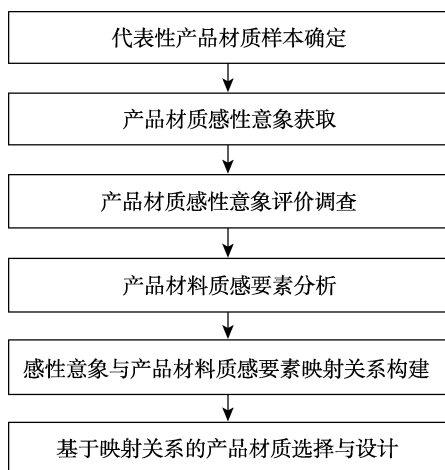


图 3 基于感性意象的产品材质设计流程框架

Fig.3 Framework of product material design based on kansei image

4 结语

以用户为中心的产品设计最终目的是为人服务的，要求产品不仅要满足用户的生理需要，还要满足和体现用户的心理需要和情感价值。感性意象设计使产品更具人性化，设计更理性化、科学化，创造出高情感、高质量、高效能、高性价比的产品。本文通过对国内外相关文献的分析，总结、回顾了产品感性意象设计的研究方法和关键技术及其在产品造型、产品色彩、产品材质方面的应用。随着脑科学的深入探索和大数据、云存储技术、AI 技术、内隐测量技术、深度学习、机器学习、复杂网络、虚拟现实等技术的发展及跨领域知识的深度融合，丰富和拓展产品感性意象设计的研究方法和技术体系，更加准确地分析用户的内隐性认知，精准地量化、翻译心理指标，将心理认知测量与生理指标测量技术相结合进行感性意象的量化，通过数据捕捉技术从网络用户数据搜集并提取到真实的感性意象诉求；充分利用不同优化算法或技术方法的特性，使得感性意象优化设计更加智能化；提升设计方案和用户感性需求的契合度；利用智能算法对产品感性意象设计案例进行训练学习，提升感性意象模型的预测性能；实现感性意象设计过程的虚拟化，这将会是未来研究的难点和热点，并且能够在更多的新产品开发中得到广泛的应用。

参考文献：

- [1] WANG W M, WANG J W, LI Z, et al. Multiple Affective Attribute Classification of Online Customer Product Reviews: a Heuristic Deep Learning Method for Supporting Kansei Engineering[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2019(85): 33-45.
- [2] 师洁, 苏建宁, 李雄. 产品意象原型形态耦合优化设计研究[J]. 包装工程, 2019, 40(8): 47-53.

- SHI Jie, SU Jian-ning, LI Xiong. Coupling Optimization Design Research of Product Image Prototype Form[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(8): 47-53.
- [3] LI Y F, SHIEH M D, YANG C C. A Posterior Preference Articulation Approach to Kansei Engineering System for Product Form Design[J]. Research in Engineering Design, 2019, 30(1): 3-19.
- [4] WANG C H, CHIN H T. Integrating Affective Features with Engineering Features to Seek the Optimal Product Varieties with Respect to the Niche Segments[J]. Advanced Engineering Informatics, 2017(33): 350-359.
- [5] 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. Review of Theory, Key Technologies and Its Application of Perceptual Image in Product Design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(3): 8-13.
- [6] 张丙辰, 过伟敏, 王艳群, 等. 面向列车内装造型设计的旅客视觉意象研究[J]. 机械工程学报, 2016, 52(4): 199-205.
- ZHANG Bing-chen, GUO Wei-min, WANG Yan-qun, et al. Train's Interior Form Design Oriented Visual Image of Passenger Research[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(4): 199-205.
- [7] ZHOU Y, TANG R Y, YANG P. The Study of Material Texture Image Model by Kansei Engineering[J]. Advanced Materials Research, 2013(712): 2900-2905.
- [8] 王黎静, 曹琪琰, 莫兴智, 等. 民机驾驶舱内饰设计感性评价研究[J]. 机械工程学报, 2014, 50(22): 122-126.
- WANG Li-jing, CAO Qi-yan, MO Xing-zhi, et al. Study of Users' Kansei on Commercial Aircraft Cockpit Interior Design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(22): 122-126.
- [9] 柯善军, 魏莹, 成振波. 基于逻辑回归的汽车造型品牌意象研究[J]. 图学学报, 2016, 37(4): 524-529.
- KE Shan-jun, WEI Ying, CHENG Zhen-bo. The Research on Brand Image for Automobile Styling Based on Logistic Regression[J]. Journal of Graphics, 2016, 37(4): 524-529.
- [10] Qu Q X, Guo F. Can Eye Movements Be Effectively Measured to Assess Product Design? Gender Differences Should Be Considered[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2019(72): 281-289.
- [11] 姚干勤, 薛澄岐, 王海燕, 等. 基于意象认知的客车造型设计方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2016, 46(6): 1198-1203.
- YAO Gan-qin, XUE Cheng-qi, WANG Hai-yan, et al. Design Method for Coach Styling Design Based on Image Cognition[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2016, 46(6): 1198-1203.
- [12] 刘征宏, 谢庆生, 李少波, 等. 基于潜在语义分析和感性工学的用户需求匹配[J]. 浙江大学学报(工学版), 2016, 50(2): 224-233.
- LIU Zheng-hong, XIE Qing-sheng, LI Shao-bo, et al. User Needs Matching Based on Latent Semantic Analy-

- sis and Kansei Engineering[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2016, 50(2): 224-233.
- [13] 杨程, 陈辰, 唐智川. 基于脑电的产品意象推理模型研究[J]. 机械工程学报, 2018, 54(23): 126-136.
- YANG Cheng, CHEN Chen, TANG Zhi-chuan. Study of Electroencephalography Cognitive Model of Product Image[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2018, 54(23): 126-136.
- [14] DENG L, WANG G H. Application of EEG and Interactive Evolutionary Design Method in Cultural and Creative Product Design[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2019(6): 1-16.
- [15] 李少波, 全华凤, 胡建军, 等. 基于在线评论数据驱动的产品感性评价方法[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(3): 752-762.
- LI Shao-bo, QUAN Hua-feng, HU Jian-jun, et al. Perceptual Evaluation Method of Products Based on Online Reviews Data Driven[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(3): 752-762.
- [16] WONJOON K, TAEHOON K, ILSUN R, et al. Mining Affective Experience for a Kansei Design Study on a Recliner[J]. Applied Ergonomics, 2019(74): 145-153.
- [17] JIAO Y R, QU Q X. A Proposal for Kansei Knowledge Extraction Method Based on Natural Language Processing Technology and Online Product Reviews[J]. Computers in Industry, 2019(108): 1-11.
- [18] 张顺, 龚怡宏, 王进军. 深度卷积神经网络的发展及其在计算机视觉领域的应用[J]. 计算机学报, 2019, 42(3): 453-482.
- ZHANG Shun, GONG Yi-hong, WANG Jin-jun. The Development of Deep Convolution Neural Network and Its Applications on Computer Vision[J]. Chinese Journal of Computers, 2019, 42(3): 453-482.
- [19] 朱斌, 杨程, 俞春阳, 等. 基于深度学习的产品意象识别[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018, 30(9): 1778-1784.
- ZHU Bin, YANG Cheng, YU Chun-yang, et al. Product Image Recognition Based on Deep Learning[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2018, 30(9): 1778-1784.
- [20] LU X, LIN Z, JIN H L, et al. Rating Image Aesthetics Using Deep Learning[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2015, 17(11): 2021-2034.
- [21] SUTONO S B, ABDUL-RASHID S H, TAHA Z, et al. Integration of Grey-Based Taguchi Method and Principal Component Analysis for Multi-Response Decision-Making in Kansei Engineering[J]. European Journal of Industrial Engineering, 2017, 11(2): 205-227.
- [22] LIN Y C, WEI C C. A Hybrid Consumer-Oriented Model for Product Affective Design: an Aspect of Visual Ergonomics[J]. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing and Service Industries, 2017, 27(1): 17-29.
- [23] 于娜, 张聪, 杜游, 等. 基于数量化理论的家具造型意象设计[J]. 包装工程, 2018, 39(22): 183-188.
- YU Na, ZHANG Cong, DU You, et al. Furniture Modeling Image Design Based on Quantitative Theory[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(22): 183-188.
- [24] 李静, 李方义, 周丽蓉, 等. 基于 BP 神经网络的产品生命周期评价敏感性分析[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(3): 666-671.
- LI Jing, LI Fang-yi, ZHOU Li-rong, et al. Sensitivity Analysis for Life Cycle Assessment of Product Based on Back Propagation Neural Network[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(3): 666-671.
- [25] 李文华, 余隋怀, 于明玖, 等. 支持向量机回归模型在航空座椅造型眼动评价中的应用[J]. 机械科学与技术, 2018, 37(11): 1768-1775.
- LI Wen-hua, YU Sui-huai, YU Ming-jiu, et al. Application of Support Vector Machine Regression Model in Aircraft Seating Styling Eye Movement Evaluation[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2018, 37(11): 1768-1775.
- [26] 林丽, 郭主恩, 阳明庆. 面向产品感性意象的造型优化设计研究现状及趋势[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 65-79.
- LIN Li, GUO Zhu-en, YANG Ming-qing. Current Research Situation and Trend of Product Image-based Modeling Optimization[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 65-79.
- [27] 周庆燕, 何利力, 郑军红. 产品造型设计中面向多维感知 KE 模型的构建[J]. 包装工程, 2019, 40(22): 164-168.
- ZHOU Qing-yan, HE Li-li, ZHENG Jun-Hong. Construction of Multi-dimensional Perception KE Model in Product Modeling Design[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(22): 164-168.
- [28] SHIEH M D, YEH Y E, HUANG C L. Eliciting Design Knowledge from Affective Responses Using Rough Sets and Kansei Engineering System[J]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2016, 7(1): 107-120.
- [29] 丁田妹, 车建明. 基于粗糙集的产品色彩意象规则挖掘[J]. 机械设计, 2017, 34(4): 109-113.
- DING Tian-mei, CHE Jian-ming. Rules Mining of Product Color Image Based on Rough Set[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(4): 109-113.
- [30] Dou R L, Zhang Y B, Nan G F. Application of Combined Kano Model and Interactive Genetic Algorithm for Product Customization[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2019, 30(7): 2587-2602.
- [31] 罗仕鉴, 李文杰, 傅业焘. 消费者偏好驱动的 SUV 产品族侧面外形基因设计[J]. 机械工程学报, 2016, 52(2): 173-181.
- LUO Shi-jian, LI Wen-jie, FU Ye-tao. Consumer Preference-driven SUV Product Family Profile Gene Design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(2): 173-181.
- [32] MASAKAZU K. Multi-objective Aesthetic Design Optimization for Minimizing the Effect of Variation in Customer Kansei[J]. Computer-Aided Design and Applications, 2020, 17(4): 690-698.

- [33] 苏建宁, 陈肖, 张书涛, 等. 基于进化算法的产品造型创新设计方法研究[J]. 工程设计学报, 2016, 23(2): 136-142.
SU Jian-ning, CHEN Xiao, ZHANG Shu-tao, et al. Product Styling Innovative Design Method Based on Evolutionary Algorithm[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2016, 23(2): 136-142.
- [34] SHIEH M D, LI Y F, YANG C C. Comparison of Multi-Objective Evolutionary Algorithms in Hybrid Kansei Engineering System for Product Form Design[J]. Advanced Engineering Informatics, 2018(36): 31-42.
- [35] 宋红, 余隋怀, 王淑侠, 等. 基于可供性的自适应免疫遗传优化产品形态设计方法[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(6): 1308-1314.
SONG Hong, YU Sui-huai, WANG Shu-xia, et al. Affordance-based Adaptive Immune Genetic Optimization of Shape Design Method[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(6): 1308-1314.
- [36] Feng X, Wang Y B, Yu H Q, et al. A Novel Intelligence Algorithm Based on the Social Group Optimization Behaviors[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2018, 48(1): 65-76.
- [37] 徐秋莹, 杨明朗, 刘卫东, 等. 基于多用户偏好的汽车外饰色彩设计研究[J]. 包装工程, 2016, 37(20): 59-64.
XU Qiu-ying, YANG Ming-lang, LIU Wei-dong, et al. Car Exterior Color Based on Multi-users' Preferences[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(20): 59-64.
- [38] 苏建宁, 王瑞红, 赵慧娟. 基于感性意象的产品造型优化设计[J]. 工程设计学报, 2015, 22(1): 35-41.
SU Jian-ning, WANG Rui-hong, ZHAO Hui-juan, et al. Optimization Design of Product Modeling Based on Kansei Image[J]. Journal of Engineering Design, 2015, 22(1): 35-41.
- [39] 张娜, 杨延璞. 考虑用户认知噪声的产品交互式遗传配色设计研究[J]. 机械科学与技术, 2019, 38(5): 698-703.
ZHANG Na, YANG Yan-pu. Interactive Product Color Design Integrating Users' Cognitive Noise Using Interactive Genetic Algorithms[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2019, 38(5): 698-703.
- [40] 张燕, 余隋怀, 陈登凯, 等. 基于遗传蚁群算法的产品配色方法研究[J]. 图学学报, 2013, 34(3): 79-84.
ZHANG Yan, YU Sui-huai, CHEN Deng-kai, et al. The Method Study of Harmonizing Colors in Product Based on Genetic-Ant Colony Algorithm[J]. Journal of Graphics, 2013, 34(3): 79-84.
- [41] 王家民, 张娜, 窦忠发, 等. 面向用户感性需求的产品形态设计方法[J]. 机械科学与技术, 2015, 34(11): 1653-1658.
WANG Jia-min, ZHANG Na, DOU Zhong-fa, et al. Product Form Design Method Oriented to Users' Perceptual Demand[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2015, 34(11): 1653-1658.
- [42] 林丽, 张云鹏, 牛亚峰, 等. 基于网络评价数据的产品感性意象无偏差设计方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2020, 50(1): 26-32.
LIN Li, ZHANG Yun-kun, NIU Ya-feng, et al. Unbiased Design Method for Product Kansei Image Design Based on Network Evaluation Data[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2020, 50(1): 26-32.
- [43] LI Z, TIAN Z G, WANG J W, et al. Dynamic Mapping of Design Elements and Affective Responses: a Machine Learning Based Method for Affective Design[J]. Journal of Engineering Design, 2018, 29(7): 358-380.
- [44] 李雪瑞, 余隋怀, 初建杰, 等. 意象驱动的产品形态基因网络模型构建与应用[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(2): 464-473.
LI Xue-rui, YU Sui-huai, CHU Jian-jie, et al. Construction and Application of Product Form Gene Network Model Driven by Kansei[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(2): 464-473.
- [45] YUAN G S, XIE Q S, PAN W J. Color Design Based on Kansei Engineering and Interactive Genetic Algorithm[J]. Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2017, 15(3): 12-18.
- [46] 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 Meng-shan, XU Qiu-ying, GAO De-min, 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.
- [47] HU Z G, WANG W L, QIAO X L. The Study of the Double Color Matching of the Elderly Assistive Products Based on the Kansei Engineering[J]. International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2016, 11(4): 323-334.
- [48] 汪颖, 张三元, 张克俊, 等. 产品材料质感偏好意象进化认知算法与系统[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(4): 762-770.
WANG Ying, ZHANG San-yuan, ZHANG Ke-jun, et al. Preference Learning for Evolutionary Cognition Algorithm and System of Product Material Texture[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(4): 762-770.
- [49] 洪歆慧, 周秋蓉. 透过 Apple Watch 管窥智能穿戴设备的材质设计策略[J]. 包装工程, 2016, 37(24): 45-50.
HONG Xin-hui, ZHOU Qiu-rong. Analysis of the Material Design Strategy of Intelligent Wearing Equipment through Apple Watch[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(24): 45-50.
- [50] 初建杰, 张美璇, 王磊, 等. 基于感性意象的飞机客舱座椅色彩和材质设计研究[J]. 机械设计, 2020, 37(2): 126-130.
CHU Jian-jie, ZHANG Mei-xuan, WANG Lei, et al. Research on Color and Material Design of Aircraft Cabin Seat Based on Kansei Image[J]. Journal Of Machine Design, 2020, 37(2): 126-130.