

【选题策划：感性设计方法研究】

产品意象造型设计应用研究进展

李雄¹, 苏建宁¹, 陈彦蒿², 张秦玮³, 张新新⁴, 杨文瑾¹

(1.兰州理工大学, 兰州 730050; 2.西北工业大学, 西安 710072;

3.北方民族大学, 银川 750021; 4.华东理工大学, 上海 200237)

摘要: **目的** 对产品意象造型设计应用研究进行综述, 分析其发展现状、热点和趋势等问题。**方法** 通过对国内外相关文献的研究, 分析产品意象造型设计的体系结构和应用过程。**结果** 产品意象造型设计应用过程主要包括产品意象挖掘定位、产品造型要素分析、意象造型设计等方面, 其中意象造型设计可从单目标意象、多维意象、意象形态仿生、意象形态融合等角度展开。**结论** 产品意象造型设计是现代工业设计的重要发展方向, 其应用产品种类广泛, 核心建模思想和方法在不断地完善和更新, 其中准确挖掘产品意象, 深层次解析产品要素、多维意象与智能化设计等, 将是未来应用研究的难点和热点。

关键词: 产品设计; 意象造型; 研究进展

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)08-0001-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.08.001

Review of Product Image Form Design and Its Application

LI Xiong¹, SU Jian-ning¹, CHEN Yan-hao², ZHANG Qin-wei³, ZHANG Xin-xin⁴, YNAG Wen-jin¹

(1.Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2.Northwestern Polytechnical

University, Xi'an 710072, China; 3.North Minzu University, Yinchuan 750021, China;

4.East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

ABSTRACT: The paper aims to review the application research of product image form design and understand its development status, hot spots and trends. It analyzed the system structure and application process of product image form design through research on relevant literature at home and abroad. Product image form design and application process mainly included product image mining and positioning, analysis of product form elements, image form design and other aspects. Image form design can be carried out from the perspective of single-objective image, multi-dimensional image, image form bionics, image form fusion and so on. Product image form design is an important development direction of modern industrial design. It is widely used in various product designs. Its core modeling ideas and methods are constantly updated and evolved. The difficulties and hotspots of future application research are accurately mine of product image, implicit mechanism of cognitive products, high-dimensional image fusion and intelligent design.

KEY WORDS: product design; image form; research progress

随着云计算、物联网、大数据、区块链、人工智能等新一代信息技术与先进设计方法理论体系的融合, 如今设计的定义, 不仅仅是指创建实体产品的过

程, 已发展为创建包括服务、流程、战略和政策等泛化创新的一种核心手段。从强调对产品特质属性的提取, 转向关注人与产品之间复杂的相互作用, 以其本

收稿日期: 2019-02-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51465037)

作者简介: 李雄(1984—), 男, 新疆人, 兰州理工大学博士生, 兰州城市学院讲师, 主要研究方向为智能设计、参数化设计、设计思维。

通信作者: 苏建宁(1974—), 男, 甘肃人, 兰州理工大学教授、博士生导师, 主要从事感性工学、智能设计等方面的研究。

能、行为及反思的基本维度交替运行^[1]，情感特征已成为产品研究的关键模块^[2]。人们对产品直接体验的静态表现、动态思考与姿态行动已满足浅层的需求动机，但其抽象层的认知情感通常是促发行为产生的关键驱动因素。其中，物理约束、相关人因尺度、颜色及美学参数等外显物质层，逐渐被表征为情感需求的感知反应。感性设计旨在将用户的期望和情感转化为产品属性，以此对产品的语义和情感特征进行有效整合，形成一种基于情感语境和个人关系整体性的认知机制。产品设计过程中的多物理特性与其唤起的用户主观感知之间的关系，是感性认知链接的重要环节，有效选择与产品设计要素相关的感性变量，是产品情感化发展的基础^[3]。随着情感测量、认知计算等方法与技术交叉学科背景下的发展和完善，个体及社群的情感意识被提取，认知主体对产品表象信息的传递逐渐明晰，并将其表达为一种高度凝结的意识产物，即产品的感性意象^[4]。产品感性意象是透过产品的外显语义、内在含义与认知主体所形成的沟通语言的媒介，是感性属性的具象精炼。产品意象造型设计是探讨设计中蕴含的用户感性属性与引起响应的设计要素之间关联的设计方法^[5]。感性意象造型设计的过程中，依据不同的意象和产品类型，以情感契合度为标准进行优选，产品的感性信息被传达，情感认知纽带呈现出多因素、多层次的高阶综合体状态。

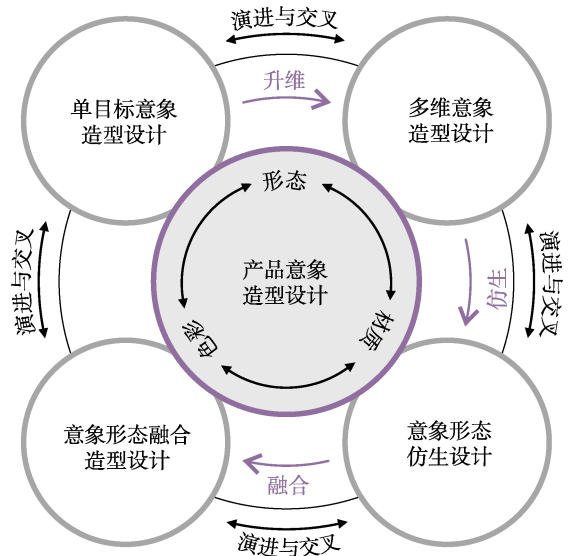
通过运用感性工学等理论进行产品意象造型设计，提升消费者对产品的情感体验，已成为工业设计的重要方向^[6]，在现代制造与服务行业中体现出相当重要的竞争力^[7]。目前在产品的形态设计、色彩设计、材质设计方面，做出了较多的应用探索，其在产业领域的应用研究逐步建立了一些实用的方法和体系。

1 产品意象造型设计

产品意象造型设计的研究涉及感性工学、符号学、美学、计算机、语言学、心理学、认知学、人机工程等多种领域^[8]，目前主要的方法有语意差分法、形态分析法、多元回归法、灰色关联法、邓氏关联法、数量化 I 类理论、神经网络、遗传算法等，面向家居产品、交通工具、装备产品、文创产品等展开应用和研究。

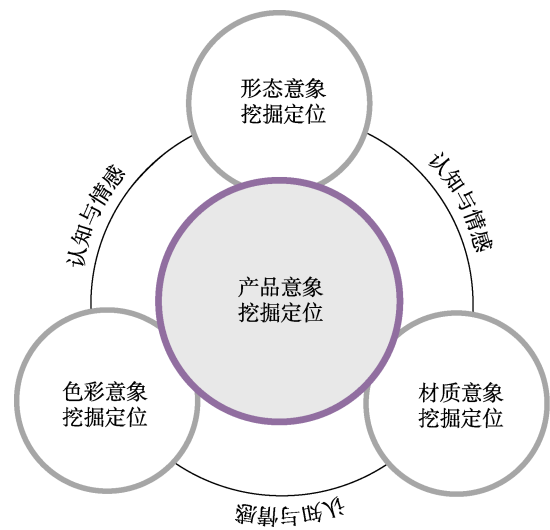
产品意象造型设计大致可分为如下关键步骤：首先，理解设计任务，明确设计目标；其次，通过调研分析等，挖掘定位用户的需求意象；然后，针对目标产品，进行相关产品造型要素分析；最后，将用户需求意象与产品设计要素关联，进而运用相关方法展开产品造型创新设计。从应用研究的角度出发，综合考虑设计方法、意象维度、设计对象等主要因素，将产品意象造型设计分为单目标意象造型设计、多维意象造型设计、意象形态仿生设计、意象形态融合造型设计等 4 种类型，并进行深入探讨。产品意象造型设计的类别见图 1，从方法和技术的角度来看，4 种类型也是不断演进与交叉的结果。

计等 4 种类型，并进行深入探讨。产品意象造型设计的类别见图 1，从方法和技术的角度来看，4 种类型也是不断演进与交叉的结果。



2 产品意象挖掘定位

产品意象的形成源自人们对产品的认知过程，人们透过产品本身的形态、色彩、质感和结构等因素，结合外在文化环境所赋予的内在含义，形成与产品沟通的语言^[9]。产品造型意象一般由感性形容词表述，挖掘定位即确定产品意象造型设计的目标意象词汇，主要包括形态意象、色彩意象和材质意象等，见图 2。



产品意象挖掘定位一般包括收集初始意象词汇、人工初步筛选和分析确定目标意象 3 个步骤。收集初

始意象词汇是广泛收集相关的意象词汇,主要方法有文献法、设计师描述^[10]、用户描述、自然语言处理^[11]和文本挖掘^[12]等。人工初步筛选是设计师对收集的初始感性意象词汇进行分析和比较,删除明显不符合的意象词汇,以降低后期数据的处理数量。确定目标意象的方法有人工分类法、问卷调查法、数理统计分析法、粗糙集等。如曾栋等人^[13]结合市场医用产品的现状,通过项目组讨论,确定了符合离心机造型语义的4个意象词语;陈黎等人^[10]经过问卷调查,统计出了办公自动化设备的4个目标意象;苏畅等人^[14]针对车身色彩设计,按照科学性等原则选出了100个感性词汇,并按照审美属性、描述属性、时间属性等划分成了11个类别,筛选出了21组词汇,最后通过认可度问卷调查筛选出了6组目标感性词汇;沈洁等人^[15]整理出了市面上最常用的手机材质及描述手机的感性词汇,运用因子分析法得出了常用材质语义与用户感性词汇之间的映射关系,为后续手机的感性设计提供了指导。

感性形容词表达造型意象是相对主观的,其具有一定的局限性。目前,人们与网络的互动越发密切,产生了大量的用户数据,例如从在线产品描述与评论中,可有效提取和总结用户情感特征和感知偏好^[16-17]。另外,基于生理信号的感知意象挖掘也是近年研究的一个方向^[18-19],同时应用机器学习、深度学习技术在产品意象识别和情感挖掘分析中亦可获得良好效果^[20-21],联合生理信号数据和互联网用户数据,并借助深度学习技术能够有效地逼近和预测用户的感性意象需求。由此可见,构建以生理信号数据、互联网用户数据为联合数据,并应用深度学习技术挖掘定位产品感知意象是未来的一个研究热点。

3 产品造型要素分析

产品造型要素分析的核心是产品造型特征的解构,是对原始设计的逆向思维过程。产品激发出的情感意象,是产品的形态、色彩、材质等多维造型要素联合作用的结果^[22]。产品造型要素是用户感知中的关键作用点,包含显性特征和隐性特征,所有特征在人机交互过程中显现,与人们的综合感官密切相关。依据 Norman^[23]的三层次理论,产品造型要素分析可从外观层、使用交互层和精神层方面展开^[24-25],见图3。

外观层关注的是产品的本体特征,即形态、色彩、材质纹理,是在本能层的解构。外观要素可视为形态变量集、色彩变量集、材质变量集等3个主要本体设计变量的集合,解构常用形态分析、因素分析、聚类分析等方法。其中最常用的是形态分析法,由 Zwick^[26]提出,最早用于设计巡航导弹,在工业设计领域得到了广泛应用,其关键步骤为要素分解、要素

分析、构造设计矩阵等,如熊艳等人^[27]通过产品形态特征线解析了产品外观形态上的特征要素。另外,也有学者从外观基因特征入手分析,如李雪瑞等人^[28]采用21个形态基因参数解析并定义了汽车侧面轮廓特征参数;刘肖健等人^[29]基于聚类提取特征颜色,构建出了色彩网络辅助设计配色。由于视网膜上的图像与物体反射之间并不是简单的映射关系,人们对色彩和材料的感知是复杂视觉计算的结果^[30]。对产品材质的解析,主要从视觉感知和触觉感知方面进行,还需从材质本质特征出发探寻材质变量^[31],例如木材可考虑粗糙度、表面纹理、平滑度等,玻璃材质则包含透明度、平滑度、折射率等。

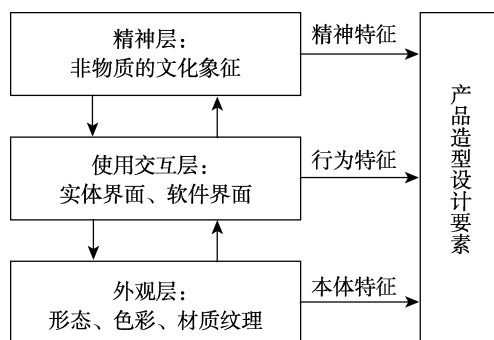


图3 产品造型要素解构的三层次模型
Fig.3 Three hierarchical models of deconstruction of product form elements

使用交互层是在行为层的解构,重点在于分析信息的输入与反馈,以及形态构成的逻辑顺序、层级架构、界面布局等。产品造型通过使用和交互才能让用户获得真实的体验,包括能量与信息的交互,在三层次中属于中间过渡层,是精神层与外观层的桥梁,因此,从使用交互层面解构造型要素能获得更重要的特征参数,让信息交互得更有秩序,能量交换更合理。Han S H等人^[32]将设计变量定义为用户看、听、触摸或操作等综合感官的人机界面元素(HIEs)的集合,从软件和硬件两个方面对产品造型要素进行了解析;刘玲玲等人^[24]从使用交互层对 Philips 空气净化器的造型要素解构出了21项人机特征参数,并进行了编码分析。

精神层是在反思层的解构,偏重于审美和情感的共鸣,具有沟通心灵的作用。在产品外观和使用功能解析的基础上,偏重对产品内涵的解析,关注产品造型要素传递的符号和象征,关注非物质层面的主体概念、故事意蕴、社会特质等。精神层面的解析是研究的难点,目前在产品造型要素分析中往往被忽略,如 Guo Fu等人^[33]在数码相机的特征解构中则忽略了精神层面的解析。

4 单目标意象造型设计

单目标意象造型设计,首先是通过研究多个设计

因子和一个目标意象之间的对应关系,常用的方法有类目层次法、数量化 I 类、多元回归、人工神经网络、以及目前备受关注的深度学习等^[4];然后是从定性和定量层面上,分析并压缩设计师与用户需求间的认知

距离,进而针对需求意象展开创新设计,见图4。从用户意象集中甄选一个目标意象,分析造型要素解构设计变量,依据具体条件选择合适的意象建模方法,逐步压缩认知主体间的认知距离,满足用户感性偏好。

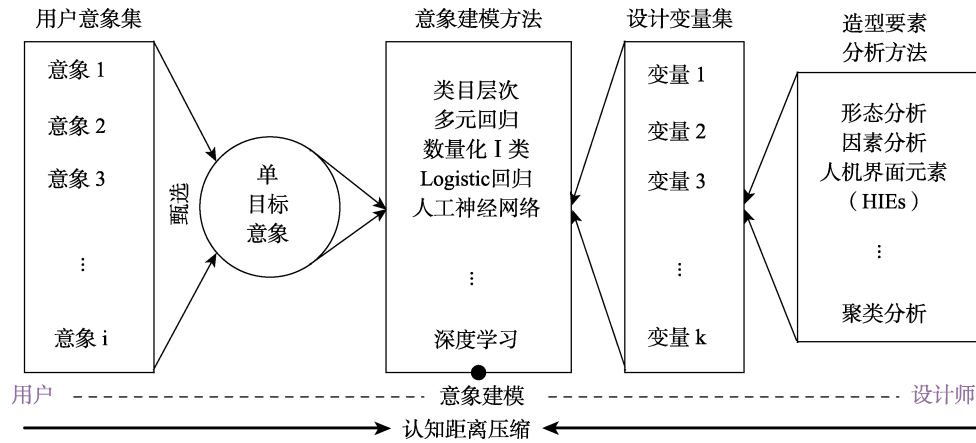


图4 单目标意象造型设计示意
Fig.4 Schematic diagram of single target image form design

苏建宁等人应用类目层次法逐级透析出与电热水壶设计相关的设计要素,从而对电热水壶进行了感性设计^[34]; Hsiao S W^[35]应用数量化 I 类,并结合语意差分法进行了办公椅的设计;熊艳等人^[27]通过多元回归探索单目标意象与手机特征线之间的关系,有助于手机形态的创新设计;李永锋等人^[36]以办公椅为设计对象,利用次序 Logistic 回归构建了意象与设计要素间的相关性,发现了办公椅的“腿脚”对用户的感性意象影响最大,而“头枕”的影响最小;朱炜等人^[37]从单个品牌意象出发,构建了以硬朗-圆润为目标品牌意象的多元线性模型,并设计了吉利 SUV;李雪瑞等人^[28]通过复杂网络理论构建了感性意象形态基因网络(K-FGN),并以“优雅”为单目标意象对汽车侧轮廓进行了设计实践,取得了良好的设计效果;张硕等人^[38]通过反向传播 (BP) 神经网络为壁挂式充电桩构建了感性意象与设计因子间的关联模型;Diego-Mas 等人^[39]提出了一种基于神经网络的产品形态设计情感反应建模方法,为单个用户的感知开发了一个理论框架,建立了预测单个用户对不同产品反应的数学模型;胡志刚等人^[40]基于产品感性意象与配色之间的关联性,应用神经网络实现了豆浆机配色设计的智能化;Chen H Y 等人^[41]则开发了一种基于数字定义方案 (NDS) 和 BP 神经网络 (BPNN) 的计算机辅助产品形态设计 (CAPD) 工具。

单目标意象与设计因子间映射模型的构建,从最初的类目层次法到复杂网络的应用,从多元回归到神经网络,从线性映射机制到非线性映射机制,计算模型的能力逐步增强,智能设计的效果越来越接近人脑的形象思考,更好地拉近了设计师与用户感知之间的距离。

5 多维意象造型设计

现实中消费者对产品的情感意象需求具有多样性和复杂性^[5],要求产品设计同时满足多个情感复合意象需求。人类的情感受视觉、触觉、嗅觉、味觉、听觉 5 种感觉的影响,具有多维特性,用户的情感意象自然也与多种感觉器官捕获的能量和信息有关^[42]。另外,多维意象也可能是用户、设计师、工程师等共同作用下的意象融合,因此,用户复合意象、多意象融合等都属于多维意象形态设计的范畴。由此可见,多维意象形态设计是指多个目标意象与众多设计因子间的关系,即多对多的映射关系,见图5。应用研究的基本思路是将多维意象降维或加权融合^[43],常用的方法有熵值法、模糊理论、灰度关联、基于精英保留的非支配排序遗传算法 (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II, NSGA-II)^[9]、复杂网络理论等,后续的过程与单目标意象造型设计基本一致。

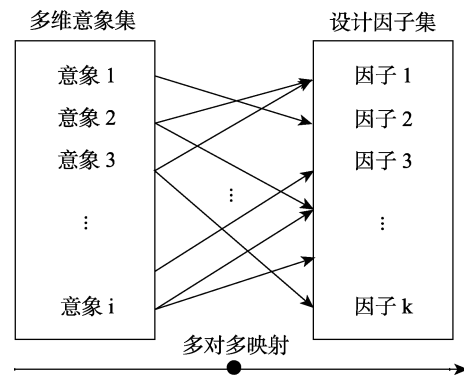


图5 多维意象造型设计的多对多映射关系示意
Fig.5 Schematic diagram for many-to-many mapping of multi-dimensional image form design

苏建宁等人^[44]在融合用户、设计师、工程师认知的基础上，以“简洁”、“舒适”、“时尚”为复合目标意象，对矿泉水瓶形态设计进行了分析；陈国东等人^[45]为了满足用户的多维度意象需求，构建了一种基于多目标优化的复合意象形态设计方法，并以豆浆机为例进行了设计验证；Ding Man 等人^[46]以儿童药片为设计对象，通过灰色预测模型构建了设计要素与用户感知图像的关联模型，并采用粒子群算法对片剂形态设计方案进行了优化；柳禄等人^[47]提出了一种多意象驱动的拖拉机产品族外形基因进化设计方法；李愚等人^[48]以 20 对目标意象词为网络节点，构建出了汽车三维形态的意象复杂网络，并借助数据可视化技术分析了其复杂关系；Yumer M E 等人^[49]将形态语义作为设计驱动因子构建了形态驱动模型，即意象语义与设计间的复杂网络模型，并借助数据可视化技术实现了对产品形态的意象编辑；LI Z 等人^[50]提出了一种基于机器学习的情感设计动态映射方法，采用 4 种机器学习算法对设计元素与用户情感意象进行了关联建模，并以智能手表设计进行了验证。目前，随着降维技术和处理复杂模型能力的提升，以及多目标优化技术的应用^[51]，多维意象造型设计的应用研究越来越深入，在高维意象融合、意象建模精度提升等方面取得了一定的成果。

6 意象形态仿生设计

模仿大自然是人类获得设计灵感的重要来源之一。意象形态仿生设计是将感性工学与仿生学相结合的成果，是意象造型设计研究及应用的一个重要方面。意象形态仿生重点在于生物神态特征及其象征意义的挖掘，用高度凝练的手法将生物的神态特征提炼出来，应用在产品形态设计中^[52]，其目标是融情于物，情态共鸣。在意象形态仿生设计中，从挖掘用户意象到选择匹配的生物，再从生物形态向产品形态的融合过程，并不是某个单一的匹配过程，而是经过两次映射达到设计目标，即二重映射关系，见图 6。用户意象通过仿生对象与设计要素间的关联模型获得表达，其意象维度可以是单目标意象，也可以是多维意象，形态、色彩、材质都可通过此过程获得呈现。二次映

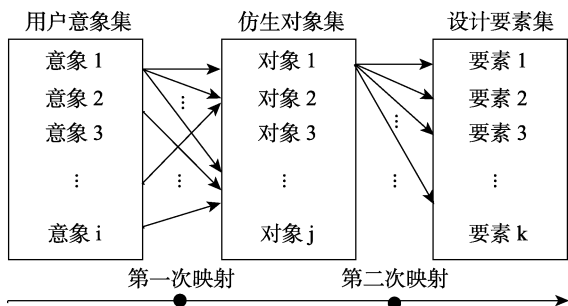


图 6 意象形态仿生二重映射关系示意

Fig.6 Schematic diagram for double mapping of image form bionics

射模型则是设计的关键，不仅建立了生物形态特征与产品形态间的映射模型，更重要的是实现了从用户意象到生物形态特征语义的映射过程。

Ding L 等人^[53]应用语意差分法获取了用户对产品的感性意象和仿生对象，用聚类分析和模糊综合评价获取了电饭锅形态特征和仿生对象特征，并最终指导设计出了具有贝壳意象的电饭锅新形态；陆冀宁等人^[54]提出了高速列车意象仿生思维映射设计方法，以大白鲨为仿生对象，考虑高速列车约束条件与大白鲨特征的匹配问题，成功设计了具有鲨鱼意象的高速列车，并对方案进行了气动性能评估；袁雪青等人^[55]采用灰度关联法对用户意象词进行了意象评价实验，从而聚类出核心意象词汇匹配生物原型，并借助 CorelDraw 平台开发了意象形态仿生设计基因库，从而提高了意象造型设计的效率；高小针等人^[56]以大象为形态仿生对象，借助眼动实验分析了高压电机的关键形态设计要素，在高压电机造型特征中融入了大象的意象特质，隐喻地传达了高压电机高强度的性能；朱赫^[57]在认知耦合的基础上，以企鹅为意象仿生对象，开发了企鹅水壶意象仿生智能设计系统。以上研究，均体现出意象仿生的二重映射模式，折射出设计认知的过程，但还不够深入和完善，需要不断地去探索。

7 意象形态融合造型设计

借助计算的形态融合技术，能够自动生成大量与众不同的新形态。形态融合是指将两个或多个初始形态，光滑且连续地变换为继承初始形态特征的中间形态的技术过程，主要依靠形态融合算法^[58]来实现。形态融合的同时意象也随之融合，由此展开基于形态融合技术的意象形态设计，意象形态融合造型设计示意，见图 7。目前，常利用形态混合技术，在甄选的目标形态和初始形态之间生成新的中间形态。在二维方面，通常应用插值法拟合计算产品形态特征线，如局部特征线的融合^[59-60]。三维方面，则主要使用混合变换技术融合形态特征数据。无论是二维或是三维融合后所获得的新形态，往往具有序列

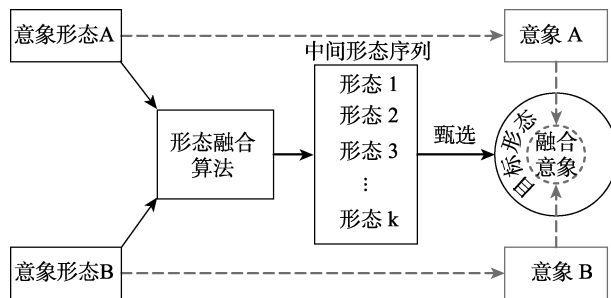


图 7 意象形态融合造型设计示意

Fig.7 Schematic diagram for image form fusion design

性和衍生性,形态间会有微妙的变化,从中筛选融合度较好的方案进行二次创作,如此,形态意象便可巧妙融入其中。

李明珠等人^[61]以数码相机为研究对象,将形状混合技术引入了产品意象造型设计中,构建出了基于特征的形态混合设计方法,并对数码相机的轮廓线和表面装饰线进行了意象形态混合;韩超艳^[62]通过差值算法构建了二维形态混合器,以“硬朗”为目标意象对SUV侧面轮廓进行了融合设计;Breen D E^[63]提出了一种基于层级设置方法的变形技术,可以与多种扫描转换、模型处理技术相结合,创建出了一个通用的变形方法,用户可在一个动画中创造出一个变形序列;Lin C H 等人^[64]提出了一种通过动态添加或删除顶点,将三维多面体的连通性从源模型逐步转化为目标模型,同时生成中间形态的三维变形技术;苏建宁等人^[65]提出了基于球面调和映射的方法,对两个具有形态差异的鼠标进行了融合,从而获得了更多的中间鼠标形态。形态融合的本质是数据的融合,近年来参数化脚本技术的发展对三维形态融合设计产生了良好的促进作用^[66],例如Grasshopper、Dynamo Studio等可视化编程语言的出现,降低了实现形态融合的算法门槛。

8 结语

意象造型设计面向的产品种类广泛,关键步骤大致相同,但核心建模思想和方法在不断完善和更新。意象挖掘定位已不满足于感性词汇的映射,开始向生理数据和网络大数据渗透,特别是基于生理信号数据和网络用户数据的感知意象挖掘得到了研究者的青睐,应用人工智能辅助挖掘分析可取得更好的效果。不同的目标意象确定方法各有特点,初始意象词汇的广泛性、人工分类法的客观性、问卷调查法的准确性以及数理统计分析中基础数据的有效性等,将是未来研究的重点。

产品造型要素分析可从3个层次分析,外观层属于底层,是造型的本体层,产品意象造型设计常在该层面展开;使用交互层处于中间衔接层,是信息与能量的置换渠道,产品的交互设计需在此层面展开;精神层位于顶层,是对产品内涵的解析,该方面的应用研究是未来重要的方向。

意象建模技术和方法从简单到复杂,已呈现多样化、非线性化、交叉化的特点,所构建的模型逐渐拉近了用户认知和设计师认知间的距离。从一对多到多对多映射模型的构建,反映了设计创新的真实情况和复杂程度,意象分析模型能够处理的设计变量逐步增多。产品意象造型设计研究朝着多维意象与智能化设计的方向发展,并呈现出向大自然获取意象灵感和形态融合的发展态势。

参考文献:

- [1] RAZZA B, PASCHOARELLI L C. Affective Perception of Disposable Razors: a Kansei Engineering Approach[C]. Amsterdam: Procedia Manufacturing, 2015: 6228—6236.
- [2] CHANG Yu-ming, CHEN Chun-wei. Kansei Assessment of the Constituent Elements and the Overall Interrelations in Car Steering Wheel Design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2016, 56: 97—105.
- [3] VIEIRA J, OSORIO J M A, MOUTA S, et al. Kansei Engineering as a Tool for the Design of In-vehicle Rubber Keypads[J]. Applied Ergonomics, 2017, 61: 1—11.
- [4] 苏建宁, 王鹏, 张书涛, 等. 产品意象造型设计关键技术研究进展[J]. 机械设计, 2013, 30(1): 97—100.
SU Jian-ning, WANG Peng, ZHANG Shu-tao, et al. Review of Key Technologies of Product Image Styling Design[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(1): 97—100.
- [5] 苏建宁, 张秦玮, 张书涛, 等. 产品意象造型进化设计研究进展[J]. 机械设计, 2014, 31(2): 97—102.
SU Jian-ning, ZHANG Qin-wei, ZHANG Shu-tao, et al. Development of Product Image Modeling Evolutionary Design[J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(2): 97—102.
- [6] ZHOU Yan, YANG Ping, WANG Si-yu. Research of Kansei Image Based on Product Appearance Form Deconstruction[J]. Advanced Materials Research, 2014, 971—973: 1316—1320.
- [7] WONJOON K, TAEHOON K, IISUM R, et al. Mining Affective Experience for a Kansei Design Study on A Recliner[J]. Applied Ergonomics, 2019, 74: 145—153.
- [8] 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.
- [9] 苏建宁, 张秦玮, 吴江华, 等. 产品多意象造型进化设计[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(11): 2675—2682.
SU Jian-ning, ZHANG Qin-wei, WU Jiang-hua, et al. Research on Evolutionary Design of Product Multi-image Styling[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(11): 2675—2682.
- [10] 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.

- [11] 卢兆麟, 程若丹, 石清吟, 等. 基于自然语言处理的汽车造型风格推导与评价[J]. 汽车工程, 2016, 38(5): 553—560.
LU Zhao-lin, CHENG Ruo-dan, SHI Qing-yin, et al. Vehicle Styling Feature Derivation and Evaluation Based on Natural Language Processing[J]. Automotive Engineering, 2016, 38(5): 553—560.
- [12] 蒲骄子, 李延来, 刘宗鑫. 基于文本挖掘与神经网络的高速列车意象造型设计[J]. 机械设计, 2017, 34(9): 101—105.
PU Jiao-zi, LI Yan-lai, LIU Zong-xin. Image Modeling Design of High-Speed Train Based on Text Mining and Neural Network[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(9): 101—105
- [13] 曾栋, 巩敦卫, 李梅子, 等. 产品造型设计中的思维固化策略及应用[J]. 机械工程学报, 2017, 53(15): 58—65.
ZENG Dong, GONG Dun-wei, LI Mei-zi, et al. Thinking Fixation Strategy in Product Form Design and Its Application[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(15): 58—65.
- [14] 苏畅, 付黎明, 魏君, 等. 基于感性工学和主成分分析的车身色彩设计[J]. 吉林大学学报(工学版), 2016, 46(5): 1414—1419.
SU Chang, FU Li-ming, WEI Jun, et al. Design Method in Exterior Color Based Kansei Engineering and Principal Component Analysis[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2016, 46(5): 1414—1419.
- [15] 沈洁, 薛澄岐, 朱嫣绯. 材质语义在手机设计中的应用[J]. 设计, 2018(18): 123—125.
SHEN Jie, XUE Cheng-qi, ZHU Yan-fei. Application of Material Semantics in Mobile Design[J]. Design, 2018(18): 123—125.
- [16] WANG W M, LI Z, TIAN Z G, et al. Extracting and Summarizing Affective Features and Responses from Online Product Descriptions and Reviews: a Kansei Text Mining Approach[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2018, 73: 149—162.
- [17] IRELAND R, LIU A. Application of Data Analytics for Product Design: Sentiment Analysis of Online Product Reviews[J]. Cirp Journal of Manufacturing Science and Technology, 2018, 23: 128—144.
- [18] 张艳河. 基于脑电的用户感知意象思维表征[J]. 机械设计, 2017, 34(6): 117—122.
ZHANG Yan-he. User Thinking Representation of Product Image Based on ERPs[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(6): 117—122.
- [19] 张艳河, 杨颖, 罗仕鉴, 等. 产品设计中用户感知意象的思维结构[J]. 机械工程学报, 2010, 46(2): 178—184.
ZHANG Yan-he, YANG Ying, LUO Shi-jian, et al. Mental Construction of User Perception Image in Product Design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(2): 178—184.
- [20] 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.
- [21] ZHANG Lei, WANG Shuai, LIU Bing. Deep Learning for Sentiment Analysis: a Survey[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 2018, 8(4): 1—34.
- [22] CHANG C C, WU J C. The Underlying Factors Dominating Categorical Perception of Product Form of Mobile Phones[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2009, 39(5): 667—680.
- [23] NORMAN D A. 设计心理学 3: 情感设计[M]. 北京: 中信出版社, 2015.
NORMAN D A. Emotional Design: Why We Love(or Hate) Everyday Things[M]. Beijing: China Citic Press, 2015.
- [24] 刘玲玲, 薛澄岐. 面向多维 KE 模型构建的产品特征解构方法[J]. 工程设计学报, 2014, 21(4): 323—328.
LIU Ling-ling, XUE Cheng-qi. Product Feature Deconstruction Method by Constructing a Multi-dimensional Kansei Engineering Model[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2014, 21(4): 323—328.
- [25] 苏建宁, 刘志君. 基于感性工学的传统器物形态创新设计方法研究[J]. 创意与设计, 2016, 47(6): 80—83.
SU Jian-ning, LIU Zhi-jun. A Research of Innovative Design Methodology for the Modality of Traditional Utensils Based on the Methods of Kansei Engineering[J]. Creation and Design, 2016, 47(6): 80—83.
- [26] ZWICK W R, VELICER W F. Factors Influencing Four Rules for Determining the Number of Components to Retain[J]. Multivariate Behav Res, 1982, 17(2): 253—269.
- [27] 熊艳, 李彦, 李文强, 等. 基于形态特征线意象量化的产品形态设计方法[J]. 工程科学与技术, 2011, 43(3): 233—238.
XIONG Yan, LI Yan, LI Wen-qiang, et al. An Image Quantization of Product Form Design Method Based on Form Feature Lines[J]. Advanced Engineering Sciences, 2011, 43(3): 233—238.
- [28] 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.

- [29] 刘肖健, 曹愉静, 赵露晞. 传统纹样的色彩网络模型及配色设计辅助技术[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(4): 897—905.
LIU Xiao-jian, CAO Yu-jing, ZHAO Lu-xi. Color Networks of Traditional Cultural Patterns and Color Design Aiding Technology[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(4): 897—905.
- [30] BRAINARD D H, COTTARIS N P, RADONJIC A, et al. The Perception of Colour and Material in Naturalistic Tasks[J]. Interface Focus, 2018, 8(4): 1—12.
- [31] FLEMING R W. Visual Perception of Materials and Their Properties[J]. Vision Research, 2014, 94: 62—75.
- [32] HAN S H, YUN M H, KIM K J, et al. Evaluation of Product Usability: Development and Validation of Usability Dimensions and Design Elements Based on Empirical Models[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2000, 26(4): 477—488.
- [33] GUO Fu, LIU Wei-lin, LIU Fan-tao, et al. Emotional Design Method of Product Presented in Multi-dimensional Variables Based on Kansei Engineering[J]. Journal of Engineering Design, 2014, 25(4—6): 194—212.
- [34] 苏建宁, 王瑞红, 赵慧娟, 等. 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]. Chinese Journal of Engineering Design, 2015, 22(1): 35—41.
- [35] HSIAO S W, CHEN C H. A Semantic and Shape Grammar Based Approach for Product Design[J]. Design Studies, 1997, 18(3): 275—296.
- [36] 李永锋, 朱丽萍. 基于序次 Logistic 回归的产品意象造型设计研究[J]. 机械设计, 2011, 28(7): 8—12.
LI Yong-feng, ZHU Li-ping. Research on Product Image Form Design Based on Ordinal Logistic Regression[J]. Journal of Machine Design, 2011, 28(7): 8—12.
- [37] 朱炜, 赵磊, 王小龙. 基于品牌形象的 SUV 造型设计方法[J]. 机械设计, 2017, 34(1): 122—125.
ZHU Wei, ZHAO Lei, WANG Xiao-long. SUV Modeling Design Method Based on Brand Image[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(1): 122—125.
- [38] 张硕, 吴俭涛. 基于 BP 神经网络的壁挂式充电桩产品形态研究[J]. 图学学报, 2017, 38(6): 865—868.
ZHANG Shuo, WU Jian-tao. Research on Form of Wall Set Charging Pile Base on BP Neural Network[J]. Journal of Graphics, 2017, 38(6): 865—868.
- [39] DIEGO-MAS J A, ALCAIDE-MARZAL J. Single Users' Affective Responses Models for Product Form Design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2016, 53: 102—114.
- [40] 胡志刚, 吕娜, 乔现玲, 等. BP 神经网络在产品配色中的应用研究[J]. 包装工程, 2016, 37(10): 136—141.
HU Zhi-gang, LYU Na, QIAO Xian-ling, et al. Application of BP Neural Network in Product Color-matched Design[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(10): 136—141.
- [41] CHEN H Y, CHANG Y M. Development of a Computer Aided Product-form Design Tool Based on Numerical Definition Scheme and Neural Network[J]. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 2014, 8(3): 1—15.
- [42] HSIAO S W, TSAI H C. Applying a Hybrid Approach Based on Fuzzy Neural Network and Genetic Algorithm to Product Form Design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2005, 35(5): 411—428.
- [43] 苏珂, 王硕. 产品多意象造型设计研究[J]. 机械设计, 2016, 33(3): 115—119.
SU Ke, WANG Shuo. Study of Product Modeling Design with Multiple Images[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(3): 115—119.
- [44] 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(3): 105—108.
SU Jian-ning, ZHANG Xin-xin, JING Nan, et al. Research on the Entropy Evaluation of Product Styling Image Under the Cognitive Difference[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(3): 105—108.
- [45] 陈国东, 陈思宇, 王军, 等. 面向复合意象的产品形态多目标优化[J]. 中国机械工程, 2015, 26(20): 2763—2770.
CHEN Guo-dong, CHEN Si-yu, WANG Jun, et al. Multi-objective Optimization Method of Composite Imagery-oriented Product Form[J]. China Mechanical Engineering, 2015, 26(20): 2763—2770.
- [46] DING Man, BAI Zhong-hang, LI Mei. Image-based Tablet Form Design[J]. Cluster Computing, 2018(6): 1—8.
- [47] 柳禄, 章永年, 丁为民, 等. 多目标驱动的拖拉机产品族外形基因设计[J]. 农业工程学报, 2017, 33(17): 82—90.
LIU Lu, ZHANG Yong-nian, DING Wei-min, et al. Design of Multi-objective Driven Product Family Shape Gene for Tractor[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(17): 82—90.
- [48] 李愚, 卢纯福, 刘肖健, 等. 汽车外形设计的基因网络模型[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(5): 189—200.
LI Yu, LU Chu-fu, LIU Xiao-jian, et al. Gen Network Model of Automobile Styling Design[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2018, 24(5): 189—200.
- [49] YUMER M E, CHAUDHURI S, HODGINS J K, et al. Semantic Shape Editing Using Deformation Handles[J]. ACM Transactions on Graphics, 2015, 34(4): 1—12.
- [50] 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.

- [51] SHIEH M D, LI Y, 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.
- [52] 祝莹, 曹建中, 韦艳丽. 汽车造型设计中的形态仿生研究[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2010, 33(10): 1458—1460.
ZHU Ying, CAO Jian-zhong, WEI Yan-li. Research on Bionic Form Design in Automobile Modeling Design[J]. *Journal of Hefei University of Technology(Natural Science)*, 2010, 33(10): 1458—1460.
- [53] DING Lei, CHE Jian-ming, DONG Xiao-fei. Product Bionics Form Design Based on Users' Kansei Image[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2010, 37—38: 910—914.
- [54] 陆冀宁, 徐伯初, 支锦亦, 等. 高速列车头型的意象仿生设计[J]. *机械设计*, 2017, 34(9): 106—110.
LU Ji-ning, XU Bo-chu, ZHI Jin-yi, et al. Image Bionic Design of High Speed Train Head Modeling[J]. *Journal of Machine Design*, 2017, 34(9): 106—110.
- [55] 袁雪青, 陈登凯, 杨延璞, 等. 意象关联产品形态仿生设计方法[J]. *计算机工程与应用*, 2014, 50(8): 178—182.
YUAN Xue-qing, CHEN Deng-kai, YANG Yan-pu, et al. Bionic Imagery Associated with Product Form Design[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2014, 50(8): 178—182.
- [56] 高小针, 张阿维. 基于眼动实验的高压电机意象仿生设计[J]. *西安工程大学学报*, 2018, 32(3): 330—335.
GAO Xiao-zhen, ZHANG A-wei. Image Bionic Design of High-Voltage Motor Based on Eye-Tracking Experiment[J]. *Journal of Xi'an Polytechnic University*, 2018, 32(3): 330—335.
- [57] 朱赫. 基于认知耦合的产品意象形态仿生进化设计方法[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2018.
ZHU He. Cognitive Coupling Based Product Image Morphology Bionic Evolutionary Design Method[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2018.
- [58] 沙春发, 卢章平, 何灿群. 三维形状混合技术在产品造型设计中的应用[J]. *包装工程*, 2008, 29(8): 201—203.
SHA Chun-fa, LU Zhang-ping, HE Can-qun. Application of 3D Metamorphosis in Product Modeling Design[J]. *Packaging Engineering*, 2008, 29(8): 201—203.
- [59] 袁浩, 薛澄歧, 卢章平, 等. 基于局部形态融合的产品创新设计研究[J]. *包装工程*, 2011, 32(20): 30—33.
YUAN Hao, XUE Cheng-qi, LU Zhang-ping, et al. Product Innovative Design Based on Local Shape Integration[J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(20): 30—33.
- [60] HUI K C, LI Y. A Feature-based Shape Blending Technique for Industrial Design[J]. *Computer-Aided Design*, 1998, 30: 823—824.
- [61] 李明珠, 卢章平, 王春艳, 等. 基于形状混合的产品意象造型设计方法[J]. *机械设计*, 2015, 32(7): 105—108.
LI Ming-zhu, LU Zhang-ping, WANG Chun-yan, et al. Method of Product Image Modeling Design Based on Shape Blending[J]. *Journal of Machine Design*, 2015, 32(7): 105—108.
- [62] 韩超艳. 基于二维形状混合的产品形态设计方法[J]. *机械设计*, 2015, 32(9): 116—119.
HAN Chao-yan. Product Form Design Method Based on 2D Shape Blending[J]. *Journal of Machine Design*, 2015, 32(9): 116—119.
- [63] BREEN D E, MAUCH S, WHITAKER R T, et al. 3D Metamorphosis between Different Types of Geometric Models[J]. *Computer Graphics Forum*, 2001, 20(3): 36—48.
- [64] LIN C H, LEE T Y. Metamorphosis of 3D Polyhedral Models Using Progressive Connectivity Transformations[J]. *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, 2005, 11(1): 2—12.
- [65] 苏建宁, 吴江华, 刘芸, 等. 基于球面调和映射的三维产品形态融合方法研究[J]. *图学学报*, 2014, 35(3): 417—422.
SU Jian-ning, WU Jiang-hua, LIU Yun, et al. Research on 3D Product Shape Merging Technology Based on Spherical Harmonic Map[J]. *Journal of Graphics*, 2014, 35(3): 417—422.
- [66] OXMAN R. Thinking Difference: Theories and Models of Parametric Design Thinking[J]. *Design Studies*, 2017, 52(9): 4—39.