

产品意象原型形态耦合优化设计研究

师洁, 苏建宁, 李雄

(兰州理工大学, 兰州 730050)

摘要: **目的** 为使产品原型设计契合消费者的感性认知与情感需求, 对产品原型形态进行意象造型与形态耦合优化设计。**方法** 首先, 以产品原型理论为基础开展原型实验; 其次, 采用最小距离的 NURBS 曲线的形态混合算法对产品原型与意象原型进行融合均化; 然后, 应用频谱分析法量化产品形态特征, 通过余弦相似度计算形态耦合度, 并结合消费者意象评价值与造型偏好度分析形态耦合机制; 最后, 运用遗传算法建立优化设计系统对目标意象下的产品原型形态进行优化。**结果** 实现目标意象下产品原型设计方案的耦合优化, 获得契合消费者情感认知的细化形态。**结论** 此方法可对产品意象原型进行合理有效的耦合优化, 实现产品形态的细化设计。

关键词: 产品原型; 感性意象; 形态耦合; 优化设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)08-0047-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.08.008

Coupling Optimization Design Research of Product Image Prototype Form

SHI Jie, SU Jian-ning, LI Xiong

(Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

ABSTRACT: The work aims to carry out the image styling and form coupling optimization design for the prototype form of the product, so as to make the product prototype design in line with the consumer's perceptual cognition and emotional needs. Firstly, the prototype experiment was carried out based on product prototype theory. Then, the form blending algorithm of NURBS curve with minimum distance was adopted to fuse and homogenize the product prototype and image prototype. Next, the spectrum analysis method was applied to quantify the form characteristics of the product. The form coupling degree was calculated by cosine similarity, and the form coupling mechanism was analyzed by combining consumer's image evaluation value and form preference degree. Finally, the genetic algorithm was used to establish an optimization design system to optimize the product prototype form under the target image. The coupling optimization of product prototype form design under the target image was realized, and the refined form of consumer emotion cognition was obtained. This method can optimize the product image prototype reasonably and effectively, and realize the detailed design of product form.

KEY WORDS: product prototype; kansei image; form coupling; optimized design

产品设计中原型是潜在集体无意识对需求的理解^[1], 比较集中地体现最初的需求状态。产品细化设计则需要综合考虑多因素彼此间的相互作用和协同效应^[2], 外观造型作为产品视觉感知的外显形态, 更需要协调各设计要素, 以实现满足消费者情感认知的

产品形态设计方案, 因此, 在产品形态精细设计过程中, 探讨形态要素间的耦合关系至关重要, 进而可对产品意象原型进行优化设计。

产品原型方面, 王艳敏^[3]从用户认知出发, 探究了原型理论与注意力理论对设计的影响, 强化产品的

收稿日期: 2019-02-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51465037)

作者简介: 师洁(1992—), 女, 甘肃人, 兰州理工大学硕士生, 主攻感性工学。

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。

识别性和自明性,提高了用户的情感价值体验,为产品创新研究提供了新的方法;刘慧薇等人^[4]运用原型设计理论,提出了一种创造产品熟悉感和亲和力的设计方法,使产品原型与用户心理模型趋于一致或接近,从而提高产品的综合竞争力;高瞩等人^[5]以产品外观结构体的最适包围盒作为形态原型的基本构造单元,描述了形态原型的重构过程。耦合研究方面,刘浩等人^[6]构建了用于分析城市土地集约利用与城市化的耦合模型;张阿维等人^[7]在产品仿生设计过程中引入认知耦合概念,提出了基于产品情感语义的造型仿生设计方法,实现了产品造型仿生信息的认知契合;苏建宁等人^[8]探索了产品设计中意象造型要素间的耦合特性。综上分析,以消费者感性认知与情感需求为出发点,对产品原型进行再设计,并以此进行形态耦合优化的研究较少。据此,针对产品原型展开意象造型耦合优化设计研究。

1 研究流程

研究流程见图1,包括原型实验、形态融合、认知分析、优化设计4个步骤。借助原型实验可快速获得消费者对目标产品的感性认知与情感需求,使用形态融合获得目标意象下的产品原型设计方案,通过认知分析量化消费者对产品形态的感性认知与造型偏好的规律,获得产品形态耦合机制,以此指导并优化设计,完成产品意象原型形态设计方案的细化。

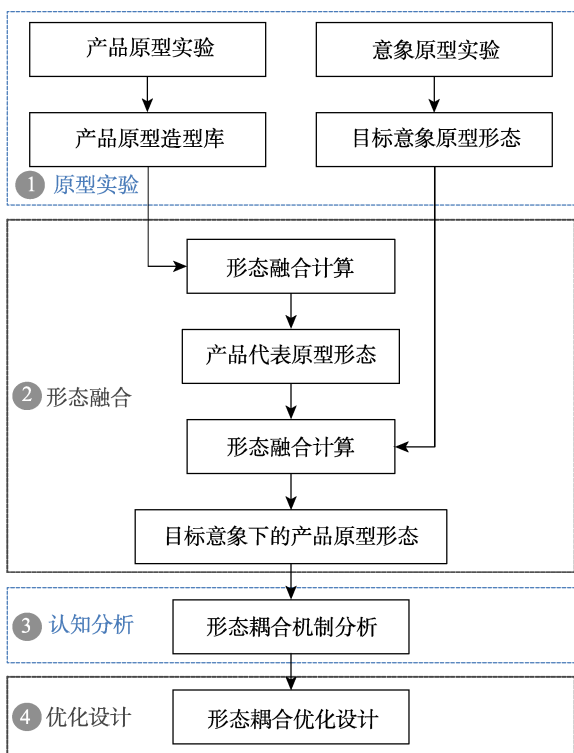


图1 研究流程
Fig.1 Research flow chart

2 原型实验

消费者初次面对新产品时,会习惯性地借助其知识储备中已有的经验对产品进行认知判断,这种经验与消费者的认知原型息息相关。通过原型实验可获取消费者认可的意象原型与产品原型,从而在设计中比较准确地体现消费者的感性认知与情感需求。

2.1 产品原型实验

以香水瓶造型设计为例进行研究,邀请设计专业36名研究生作为消费者参与实验。在不告知其研究目的的情况下,要求受试者绘制香水瓶原型草图。为了避免干扰,受试者被集中安置在安静的空间进行实验,并保证在空间内看不到任何有关香水瓶的信息,时间也不受限制,最后统一进行收集整理。

为保证实验的有效性,受试者遵守以下实验协议:(1)绘制一幅自己脑海中的香水瓶原型草图;(2)受试者只需画出造型轮廓;(3)受试者只需绘制正视图;(4)允许受试者在绘图过程中进行擦除和修改;(5)使用规格统一的A4草图纸。

实验完成后共收集到36张香水瓶原型草图,剔除相似草图后最终获得32个原型形态,通过对草图的二次处理建立原型造型库,见图2。

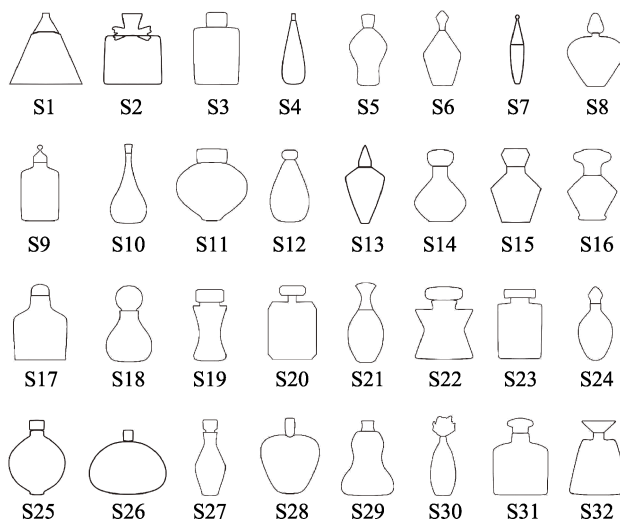


图2 香水瓶原型造型库
Fig.2 Perfume bottle prototype library

2.2 意象原型实验

从网络评价中收集描述香水瓶的54个感性意象词,经过小组讨论后,选取认可度最高的16个意象词汇作为代表,通过语意相似度调查与K-Means聚类分析聚为5类,见表1,每个类别从集群中心选择距离最近的词汇作为代表性感性意象:性感、清新、独特、温暖和高贵。

表 1 香水瓶感性意象词分类
Tab.1 Image words classification of perfume bottle

感性意象词						
第 1 类	知性	性感				
第 2 类	清新	简约				
第 3 类	时尚	神秘	别致	创意	独特	惊喜
第 4 类	可爱	温暖	甜蜜	活力		
第 5 类	华丽	高贵				

以“高贵”作为设计目标意象，调研消费者的“高

贵”意象原型，得出满足消费者心目中“高贵”意象的产品有：钻石、月牙、香槟杯、提琴、女士晚礼服、珠宝首饰、玉玺、王冠、钢琴、茶具、高跟鞋和跑车，选取上述产品制作意象版，见图 3。

针对意象版对消费者感性认知进行再次调研，选择意象认可度较高的产品作为意象原型代表。根据投票选出最能代表“高贵”意象的原型产品，即英国君主加冕王冠的造型，如图 3d，以此作为“高贵”意象的设计原型，并对其形态进行提取，见图 4。



图 3 “高贵”意象版
Fig.3 Image version of "Noble"

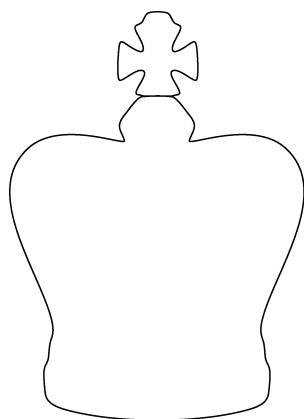


图 4 “高贵”意象原型形态
Fig.4 "Noble" image prototype form

3 形态融合

形态融合是将两个或两个以上的物体，变换为继承原始物体形状特征的中间物体的过程，又称为形态均化法^[9]。形态融合技术可通过融合源物体的形状特征，构建两个或多个形体间的自然过渡，实现形态之

间的均化演变过程。

应用形态混合算法对原型造型库中的产品形态进行融合计算，以此获得产品的代表原型形态，对产品代表原型形态与目标意象形态继续进行形态融合计算，最终获得目标意象下的产品原型设计形态。此处混合算法使用 NURBS 曲线的拟合形态轮廓，采用最小距离进行控制点间的匹配；并通过加权平均法生成中间形态序列，从而实现均值形态。该算法稳定可靠、实时性强，融合计算时可避免形态匹配过程中产生畸形变形，较好地保留原曲线的细节特征^[10]。算法过程包括数据预处理、匹配、等比例映射和插值 4 个步骤。本实验中实现控制点的匹配后，应用公式(1)的加权平均法计算出中间形态的控制点坐标进行插值，以生成新的形态结果。

$$q = \lambda \times q_1 + (1 - \lambda) \times q_2 \quad (1)$$

其中： q 为新生成形态的控制点； q_1 和 q_2 为两个原始形态轮廓的控制点； λ 为插值权重，取值范围为 $(0, 1)$ 。为实现形态的均化，形态融合计算 λ 的取值为 0.5。

3.1 获得产品代表原型形态

以产品原型造型库中的S1和S2两个原始样本为例，进行形态融合计算，见图5。

据此，对产品原型造型库中的32个原型形态两两组后进行形态融合计算。通过形态的逐级两两均化，以获得产品的最终代表原型形态，见图6。

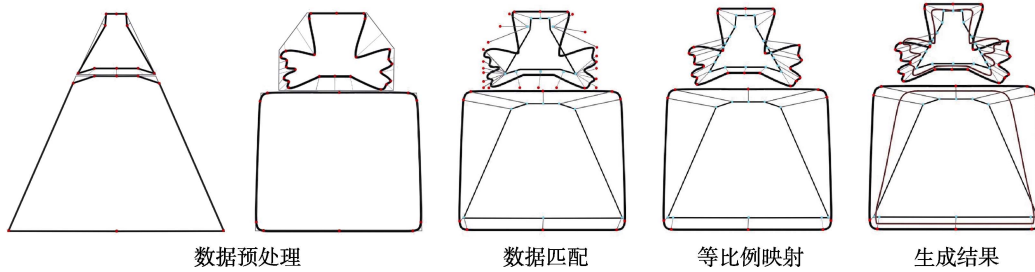


图5 样本S1和S2形态融合过程
Fig.5 Form blending process for samples S1 and S2

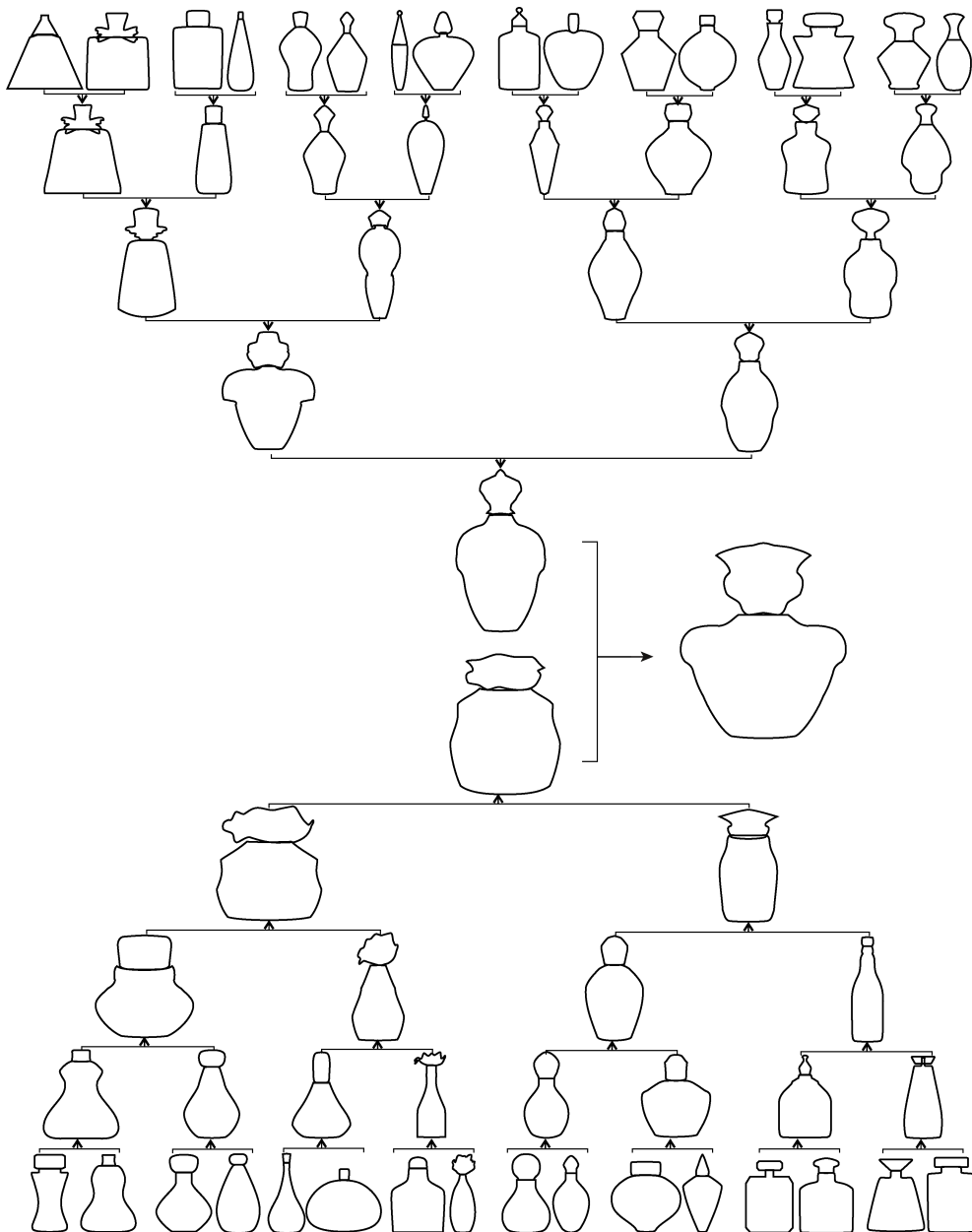


图6 产品原型形态融合过程
Fig.6 Blending process of product prototype form

通过形态均化,最终获得香水瓶造型的代表原型形态,见图 7。

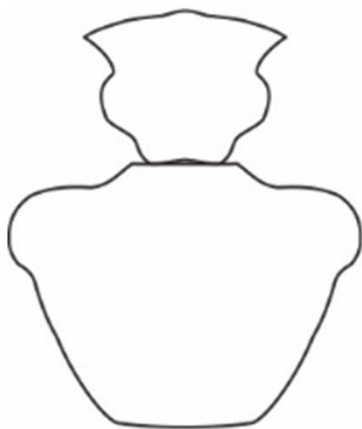


图 7 香水瓶造型原型形态
Fig.7 Perfume bottle prototype form

3.2 产品意象原型设计

产品意象原型设计是将消费者的感性意象信息具象化,进而对产品原型形态进行再设计的过程。以目标意象原型形态作为目标形态,与产品代表原型形态进行形态融合以获得中间形态,使其既具有意象原型形态的特征,又包含代表性原型形态的特征。

对目标意象原型的王冠进行形态提取,然后与代表性原型形态相融合,得出具有“高贵”意象的产品原型设计方案,见图 8。

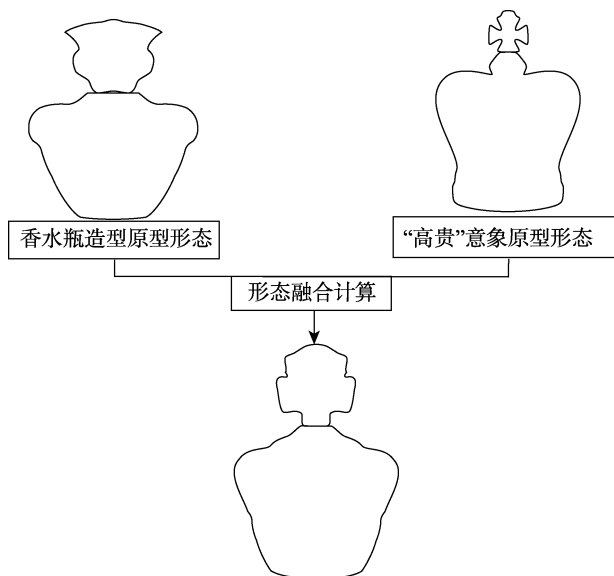


图 8 “高贵”意象的香水瓶原型设计过程及结果
Fig.8 Process and results of the perfume bottle prototype design under "Noble" image

4 形态耦合机制

耦合是一个源自物理学的概念,指两个或两个以

上的系统或运动形式,通过相互作用而彼此影响的现象^[11]。产品设计要素之间也存在这样相互依赖和制约的关系^[12]。通过对产品形态要素间的耦合度分析,获得符合消费者心理偏好认知的形态耦合机制,以此指导、细化设计阶段的形态耦合优化。

4.1 形态描述

在对产品形态描述的研究上,主要有区域特征法^[13]、曲线控制法^[14]、参数模型法^[15]和广义超椭圆拟合技术^[16]。文献[17]使用的频谱分析法,通过对空间形态信号的转化生成形态的频谱信号,以此描述形态特征。该方法结构紧凑,操作简单,抗干扰能力强^[18],因此,本文选用频谱分析法描述产品形态,通过预处理、形态信号提取、信号标准化和傅里叶转换 4 个步骤,获得产品形态的傅里叶系数^[19]。实验中样本图像为 200×200 像素点,采样点 N 取值为 512。形态信号按傅氏系数展开:

$$r_g(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m e^{-2\pi imt} \quad (2)$$

其中: $t=k/N(k=0,1,2,\dots,N-1)$,表示在产品形态上第 k 个点的位置,对应极坐标为 $(\theta_g(t),r_g(t))$; a_m 为傅氏系数。通过傅里叶转换可得到傅氏系数:

$$a_m = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} r_g(k) e^{-2\pi imk/N} \quad (3)$$

经对比分析,选取前 32 个傅里叶系数以描述产品的形态。计算香水瓶“高贵”意象原型设计形态中的瓶身和瓶盖的傅里叶系数,得出该设计形态的频谱描述。

4.2 耦合计算

通过形态特征间的余弦相似度量形态要素间的耦合度。利用形态频谱分析得出的傅里叶系数作为形态特征数值,建立形态的空间特征向量,设瓶盖的形态特征向量为 T_i ,瓶身的形态特征向量为 B_i 。根据“高贵”意象原型设计形态样本的频谱分析得出的傅里叶系数,构建出瓶身与瓶盖的形态特征向量为:

$$T_i = \begin{bmatrix} T_0 \\ T_1 \\ T_2 \\ \dots \\ T_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.21464685268691 \\ 0.05132353683273 \\ 0.02390930901365 \\ \dots \\ 0.00266318017310 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$B_i = \begin{bmatrix} B_0 \\ B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.43228785008077 \\ 0.00664328962026 \\ 0.00908560139144 \\ \dots \\ 0.00042607749121 \end{bmatrix} \quad (5)$$

应用公式(6)计算两向量之间夹角 α 的余弦值,而后通过反余弦计算向量间的角度值,以此评价形态间的耦合度。计算得出“高贵”意象原型设计形态的瓶身与瓶盖间的耦合度为 42.41°。

$$\cos \alpha = \frac{T_i \cdot B_i}{|T_i| |B_i|} (i = 0, 1, 2, \dots, 31) \quad (6)$$

4.3 耦合机制分析

在产品形态细化设计中,需重点考虑设计要素间的相关性与协调性等耦合特性,将造型设计要素耦合成优良样本,以符合消费者视觉认知偏好及感性需求。产品形态设计要素彼此独立又互相依存,相互匹配的同时共同影响着产品的整体形象。形态要素间耦合度过低会影响产品形态的整体协调性,而耦合度过高则会超出消费者的认知感受,引起感性认知造型偏好的下降。产品形态的细微变化会通过消费者的视觉感知影响消费心理。

通过对已有香水瓶造型的认知偏好和“高贵”意象评价进行消费者问卷调查,可量化分析形态耦合度,得出香水瓶造型的造型偏好-耦合度和意象值-耦合度间的关系,见图9。图9中的黄线代表造型偏好与耦合度的关系,蓝线代表“高贵”的意象值与耦合度的关系。图9中显示,形态耦合度在39.5°~54°和65.5°~67.5°区间时,消费者的意象认可与造型偏好出现明显波峰。该范围内产品意象认可度与造型偏好度,均能较高度地满足消费者的心理需求,且形态耦合度在50.9°附近时,消费者的综合感受可达到全局最佳状态。

对于“高贵”意象原型设计形态,其瓶身与瓶盖形态间的耦合度为42.41°,处于形态耦合的较优区间,但与耦合最佳值仍有一定差距,因此后续还将展开形态耦合优化设计。

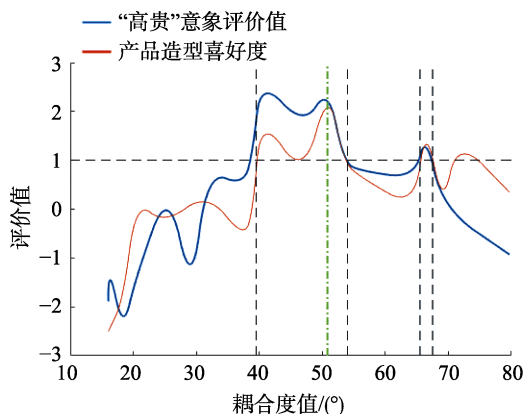


图9 香水瓶意象值、造型偏好度与形态耦合度间的关系
Fig.9 Relationship between the perfume bottle image value, morphological preference and coupling degree

5 形态耦合优化设计

产品形态耦合优化设计是在消费者意象认知的基础上,应用遗传算法^[20]全局寻优的特性,以形态设计要素为对象,形态耦合机制为适应度,来优化意象原型的设计方案。应用 Matlab 构建耦合优化设计系统,见图10,将香水瓶“高贵”意象原型设计形态作为耦合优化设计系统的初始样本,对其进行形态耦合优化,使形态要素间的耦合度逐步逼近消费者意象认可的最优值。此过程模拟设计师在形态设计过程中的收敛思维,通过选择、交叉和变异生成形态丰富的进化种群,以耦合机制对进化种群进行优选,最终实现形态的细化设计。

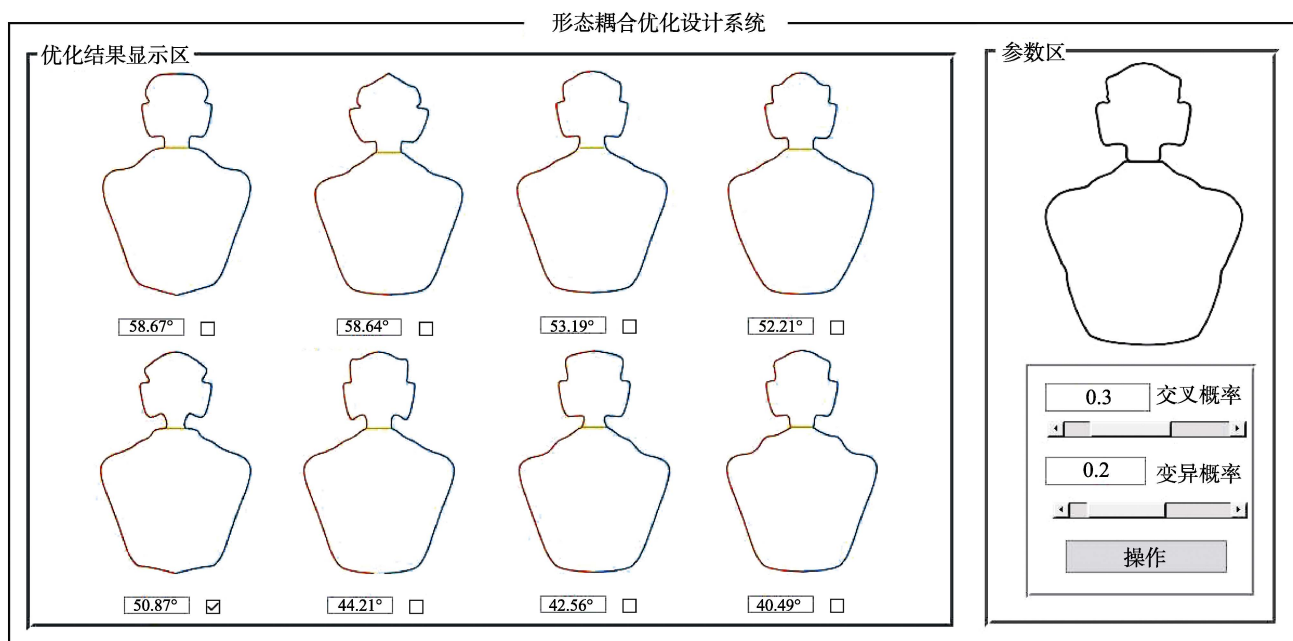


图10 耦合优化设计系统
Fig.10 Coupling optimization design system

经过4代优化后得到耦合最优样本,其形态耦合度为50.87°。选择输出最优样本形态,最终的香水瓶耦合优化设计结果见图11。



图11 香水瓶耦合优化设计结果

Fig.11 Result of the perfume bottle coupled optimization design

6 结语

产品形态设计中要素间的协调与匹配,是产品细化设计阶段需要考虑的关键问题之一。本文以香水瓶的意象造型设计为例,从消费者的情感认知出发进行原型实验,可获得产品造型设计原型与目标意象原型,并通过形态混合算法生成具有目标意象的产品原型方案。从产品形态要素间的耦合特性出发,对消费者的感性认知与造型偏好进行调查,解析获得产品形态的耦合机制。据此对产品设计原型进行细化设计,实现形态要素间的协调匹配,使其更符合消费者的审美认知需求。

参考文献:

- [1] 胡晓涛. 基于“无意识设计”中的设计原型积累途径研究[J]. 包装工程, 2012, 33(4): 72—75.
HU Xiao-tao. Research on Collection Methods of Design Archetypes Based on "Unconscious Design"[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(4): 72—75.
- [2] 李廖平, 陈亮, 肖品辉. 复杂产品设计决策中耦合因素处理的简便方法[J]. 福州大学学报, 2015, 43(4): 506—511.
LI Liao-ping, CHEN Liang, XIAO Pin-hui. The Simple Method to Deal with the Coupling Factors in Complex Product Design[J]. Journal of Fuzhou University(Natural Science Edition), 2015, 43(4): 506—511.
- [3] 王艳敏. 产品设计中的原型与注意力关联性研究[J]. 包装工程, 2018, 39(24): 199—203.
WANG Yan-min. The Correlation of Prototype and Attention in Product Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(24): 199—203.
- [4] 刘慧薇, 朱娜. 家族相似性的原型理论在产品中的应用[J]. 机械设计, 2013, 30(5): 127—128.
LIU Hui-wei, ZHU Na. Application of the Prototype Theory on Family Resemblance in Product Design[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(5): 127—128.
- [5] 高瞩, 吉晓民, 张娟. 工业产品形态原型及其建模方法的研究[J]. 常州工学院学报, 2011, 24(1): 16—20.
GAO Zhu, JI Xiao-min, ZHANG Juan. A Study on the Form Prototype and Modeling Method for Industrial Products[J]. Journal of Changzhou Institute of Technology, 2011, 24(1): 16—20.
- [6] 刘浩, 张毅, 郑文升. 城市土地集约利用与区域城市化的时空耦合协调发展评价——以环渤海地区城市为例[J]. 地理研究, 2011, 30(10): 1805—1817.
LIU Hao, ZHANG Yi, ZHENG Wen-sheng. Evaluation on Spatio-Temporal Development and Interaction of Intensive Urban Land Use and Urbanization: Case Studies of the Cities in the Bohai Rim Region[J]. Geographical Research, 2011, 30(10): 1805—1817.
- [7] 张阿维, 高小针, 陈彦蒿, 等. 基于认知耦合的产品造型仿生设计研究[J]. 机械设计, 2018, 35(6): 120—124.
ZHANG A-wei, GAO Xiao-zhen, CHEN Yan-hao, et al. Bionic Design Research of Product Shape Based on Cognitive Coupling[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(6): 120—124.
- [8] 苏建宁, 陈彦蒿, 景楠, 等. 产品意象造型设计中的耦合特性研究[J]. 机械设计, 2017, 34(1): 105—109.
SU Jian-ning, CHEN Yan-hao, JING Nan, et al. Coupling Characteristics Study in Product Image Modeling Design[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(1): 105—109.
- [9] HSIAO S W, CHUANG J C. A Reverse Engineering Based Approach for Product Form Design [J]. Design Studies, 2003, 24(2): 155—157.
- [10] 李明珠, 卢章平, 徐扬. 基于最小距离的NURBS曲线的形状混合方法[J]. 工程图学学报, 2008(4): 96—101.
LI Ming-zhu, LU Zhang-ping, XU Yang. An Approach to Shape Blending of NURBS Curves Based on Minimum Distance[J]. Journal of Engineering Graphics, 2008(4): 96—101.
- [11] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J]. 地理研究, 2003, 22(2): 211—220.
HUANG Jin-chuan, FANG Chuang-lin. Analysis of Coupling Mechanism and Rules between Urbanization and Eco-environment[J]. Geographical Research, 2003, 22(2): 211—220.
- [12] YU Y W, DENG Y M, LU W F, et al. Analysis of Mechanical Systems with Adaptable Functions for The Evaluation of Functional Coupling and Component Importance[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 76: 1449—1458.

(下转第129页)