

基于视觉认知理论的产品形态优化设计方法

林丽, 高芸坤, 阳明庆, 蒋奇, 王美超
(贵州大学, 贵阳 550025)

摘要: **目的** 针对传统的产品形态设计与用户视觉认知之间因缺乏关联而产生设计代沟的问题, 提出一种基于视觉认知理论、结合眼动追踪技术的产品形态优化设计方法。**方法** 首先, 运用形态分析法提取产品的形态设计要素; 其次, 基于眼动追踪实验获取视觉形态的眼动认知数据; 接着, 采用单因素分析法, 筛选与形态高度关联的眼动指标; 最后, 应用数量化 I 类理论对设计要素进行参数化编码, 通过数据挖掘技术建立眼动追踪指标与设计要素的关系模型。**结果** 最终得出眼动追踪指标与设计要素的关系模型, 继而提炼出与用户视觉认知关联紧密的形态设计要素及其权重排序, 从而确定出形态设计的优选方案, 并以电热水壶为例, 验证了方法的可行性。**结论** 建立眼动追踪指标与形态设计要素关联的优化设计方法, 能够帮助设计师从用户视觉认知的视角优化产品形态, 从而提升设计的科学性和合理性。

关键词: 视觉认知; 眼动追踪; 设计要素; 数据挖掘; 关系模型

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)08-0016-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.08.003

Product Shape Optimization Design Method Based on Visual Cognition Theory

LIN Li, GAO Yun-kun, YANG Ming-qing, JIANG Qi, WANG Mei-chao
(Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a product shape optimization design method based on visual cognition theory and combined with eye tracking technology for solving the problem of design generation gap caused by the lack of correlation between traditional product form design and user visual cognition. First, the morphological analysis method was used to extract the design elements of the product form. Secondly, the eye movement cognition data of the visual form was obtained based on the eye tracking experiment. Then, the eye movement index highly correlated with the morphology was screened by the univariate analysis method. Quantitative I-class theory was applied to parameterize the design elements, and establish a relationship model between eye tracking indicators and design elements through data mining technology. Finally, the relationship model between eye tracking index and design elements was obtained, and then the morphological design elements closely related to the user's visual cognition and their weight ordering were extracted to determine the preferred scheme of morphological design. Taking the electric kettle as an example, the feasibility of the method was verified. The optimization design method based on the eye tracking index and the morphological design elements can help the designer to optimize the product form from the perspective of visual cognition, thereby improving the scientific and rational design.

KEY WORDS: visual cognition; eye tracking; design element; data mining; relational model

在竞争激烈的产品市场, 产品形态将影响消费者的第一印象^[1], 因而产品的形态设计是一项重要的用

户影响因素。随着跨领域合作趋势的不断增强, 将用户研究方法融合到产品设计领域已成为一种趋势。其

收稿日期: 2018-12-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51865003, 51465007)

作者简介: 林丽(1973—), 女, 四川人, 博士, 贵州大学教授、硕士生导师, 主要研究方向为产品设计、感性工学、文化及感性创意设计。

中,眼动追踪技术作为基于心理学的生理反应测量技术之一,可探究用户的心理及认知。正如学者 Rayner 在以网站为研究对象的研究中所认为的那样,眼动行为是用户与网站进行交互时的重要认知过程^[2], Francuz 等则认为眼动行为是视觉艺术研究中反映兴趣变化程度的重要因素^[3]。因此,眼动追踪技术已从心理学领域被广泛地借鉴和应用于网站界面设计、广告设计、游戏设计和产品设计等其他领域,旨在从用户视角探究设计问题。通过眼球的运动来探寻用户的心理活动,从而依据科学的眼动行为数据,提升设计与需求的匹配度。学者刘森等^[4]运用眼动追踪技术,分别对智能电源产品原型及改良型形态的视觉效果开展眼动评估,将眼动追踪技术引入到感性量化评价研究之中。史庆春等^[5]运用眼动追踪技术对抛光机各特征要素的意象尺度进行眼动追踪测试,通过分析同一意象词汇下,不同特征要素的首次注视时间、注视时长等参数,得到最符合意象定位的特征要素,并将此结果运用于抛光机造型设计之中,实现了基于用户客观意象认知的特征要素筛选研究。郭伏等^[6]基于眼动实验,研究网站设计要素与用户眼动行为的关系,从而提出能提高用户体验的设计变量组合建议,以提高网站设计的用户体验。此外,张育铭等^[7]结合人机工程学技术、感性工学及人类特有的认知能力,建立识别模式以及情感感知模型,确定消费者情感感知与设计要素的相互关系,以促进符合消费者情感感知的设计开发。

然而,现有的针对产品形态的研究多从主观感性

分析角度出发,少有基于用户客观眼动数据驱动的产品形态优化设计研究。因此,本文提出一种基于视觉认知的形态优化设计方法,根据用户眼动追踪信息的反馈,建立设计要素与眼动指标的关系模型,明确影响用户视觉认知的设计要素以及影响用户视觉认知的设计要素的排序,获取优化设计方案,实现基于用户信息挖掘的产品形态优化设计,从而促进产品形态的优化设计朝向更符合用户认知的方向发展。

1 产品形态视觉认知模型

近几年,认知心理学研究表明,设计师的设计活动主要源于目标用户认知与自身认知的结合^[8]。因此,从认知心理学的角度出发,将用户认知融入产品形态设计过程中,使产品的形态设计能满足用户心中的真实需求。

在认知心理学的感知觉领域,视知觉是获取外部世界绝大多数信息的主要通道^[9]。然而,人类的注意力是有限的,只能分配一定的资源到视觉系统,视觉选择性注意就会在这个过程中发挥作用^[9],因此基于视觉选择性注意理论和形状知觉理论得到的产品形态视觉认知模型^[8]见图1。

用户在对产品形态进行视觉认知时,产品样本形态特征作为刺激源,引发用户进行观察和感觉,其局部区域会引起选择性注意,之后用户通过自身记忆、知识和经验等进行整理分析后,产生判断规则,最终完成视知觉反应过程。

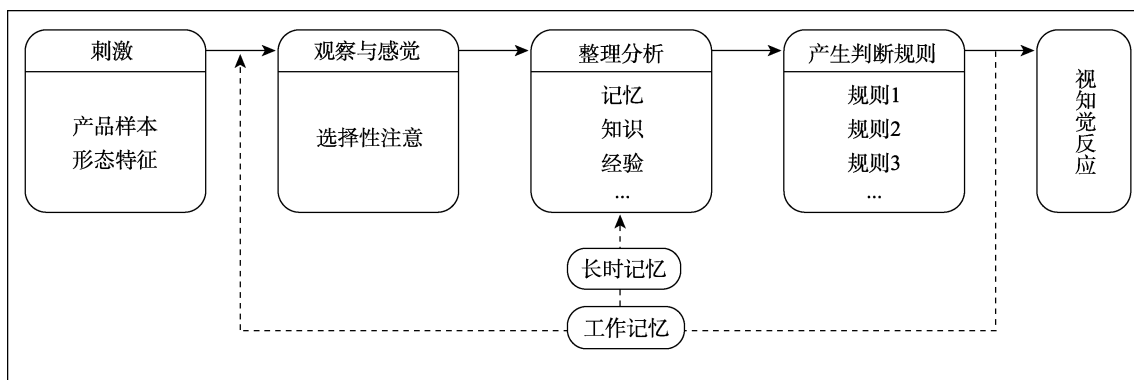


图1 产品形态视觉认知模型
Fig.1 Product shape visual cognition model

本文在视觉认知理论基础上,将形状知觉理论的特征分析模型与视知觉的选择性注意理论作为研究的理论支撑,而视觉选择性注意在人的生理层面上的反应主要就是眼球运动,且在产品形态的特征分析方法中,眼动追踪技术是一种有效且直接的研究方法,可通过观察眼球运动情况来获得人类视觉认知过程及其特性,因而运用特征分析模型的直接研究方法(即眼动追踪技术)对产品形态进行实验分析,获取视知觉选择性注意的直接数据,并应用于与形态设计

要素的关系模型构建,以外显用户的设计知识,实现对产品形态优化设计的指导。

2 基于眼动数据的形态设计方法

由上述对于产品形态视觉认知相关理论的讨论,结合眼动追踪技术的相关研究,提出一种基于眼动数据与产品形态设计要素相关联的形态优化设计方法,其流程见图2。

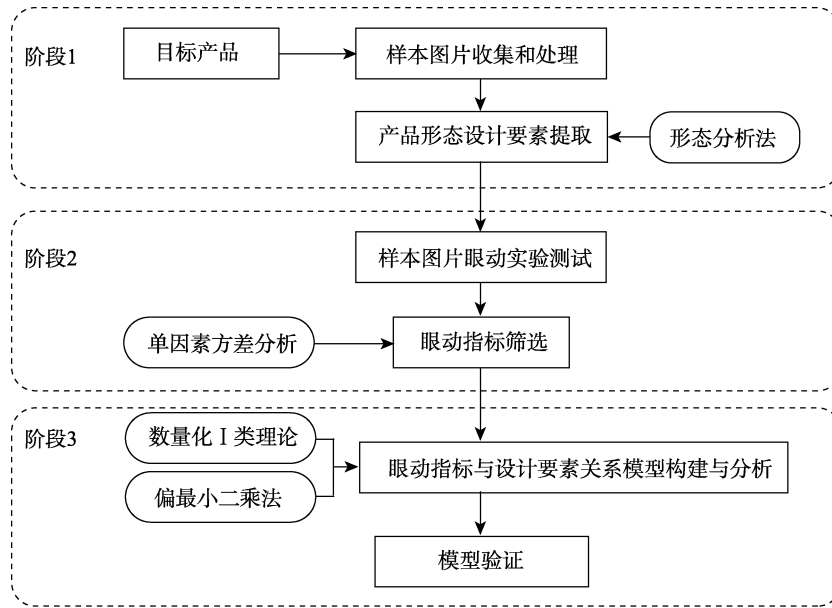


图2 基于眼动数据的形态设计方法流程
Fig.2 Flow chart of the shape design method based on eye movement data

该方法主要由3个阶段组成。

阶段1: 确定目标产品。由设计师对样本图片进行选择, 根据形态特征差异性, 去除相似度较高的样本图片。为减少商标、颜色和尺寸大小对研究的影响, 去掉其商标且做无彩化处理, 并进行同背景和同尺寸大小的处理; 再利用形态分析法提取出产品的基本形态设计要素, 结合专家评估法进行筛选, 最终得到设计要素。

阶段2: 将上述筛选出的样本图片进行眼动实验测试, 获取并整理相关的眼动数据, 对其进行单因素方差分析, 获取与设计要素显著相关的眼动指标。

阶段3: 该阶段应用数量化I类理论^[10]及偏最小二乘法。其中, 运用数量化I类理论中的编码方法对设计要素进行0和1编码, 并通过偏最小二乘法对眼动指标和设计要素进行多元回归分析。针对多个自变量和因变量进行回归建模而言, 偏最小二乘法比传统的回归分析性能更优^[11], 因此本文采用偏最小二乘法以实现多元回归分析, 通过MATLAB软件实现基于偏最小二乘法的设计要素与眼动指标关系模型的建立。

根据偏最小二乘回归建模原理^[12], 结合本研究内容, 将设计要素作为自变量 X_0 , 眼动指标作为因变量 Y_0 , 设自变量有 m 个, 因变量有 n 个, 并选取 N 个样本点作为测试点, 由此构成自变量与因变量的数据表 $X_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0m})_{N \times m}$ 和 $Y_0 = (y_{01}, y_{02}, \dots, y_{0n})_{N \times n}$, 并对数据进行标准化处理, 得到标准化后的因变量矩阵 Y 和自变量矩阵 X 。

设 X 的第一个主成分轴向量为 w_1 , 有 $m \times 1$ 维, Y 的第一个主成分轴向量为 c_1 , 有 $n \times 1$ 维, 由 w_1 和 c_1 可以表示出 X 和 Y 的第一对主成分 t_1 和 u_1 , 其中 $t_1 = Xw_1, u_1 = Yc_1$ 。

由上可知, 通过典型关联分析增大 t_1 和 u_1 之间的

相关性, 即 $\text{Corr}(t_1, u_1) \rightarrow \max$, 而通过主成分分析增大 t_1 和 u_1 各自的方差, 即 $\text{Var}(t_1) \rightarrow \max, \text{Var}(u_1) \rightarrow \max$, 结合两者可得 $\text{Cov}(t_1, u_1) = \sqrt{\text{Var}(t_1)\text{Var}(u_1)} \text{Corr}(t_1, u_1) \rightarrow \max$ 。

数学的形式化如下: Maximize $\langle Xw_1, Yc_1 \rangle$, Subject to: $\|w_1\|=1, \|c_1\|=1$ 。通过引入拉格朗日乘子法, 求出 $w_1, c_1, t_1 = Xw_1, u_1 = Yc_1$ 。 w_1 是对应于矩阵 $X'Y'YX$ 最大特征值的单位特征向量, c_1 是对应于矩阵 $Y'XX'Y$ 最大特征值的单位特征向量。然后分别求 X_0, Y_0 对 t_1 和 u_1 的3个回归方程, 即 $X = t_1 p_1 + E, Y = u_1 q_1 + G, Y = t_1 r_1 + F$ 。其中, 回归系数向量分别为 $p_1 = \frac{X't_1}{\|t_1\|^2},$

$$q_1 = \frac{Y'u_1}{\|u_1\|^2}, r_1 = \frac{Y't_1}{\|t_1\|^2}$$

而 E, G, F 分别是3个回归方程的残缺矩阵。 X 和 Y 被残缺矩阵 E 和 F 代替, 再求 w_2 和 c_2 以及 t_2 和 u_2 。按前面的方法进行回归, 如果 X 的秩是 $A, X = t_1 p_1' + t_2 p_2' + \dots + t_A p_A' + E_A, Y = t_1 r_1' + t_2 r_2' + \dots + t_A r_A' + F_A$, 由于 t_1, \dots, t_A 相对应表示为 X_{01}, \dots, X_{0m} 的线性组合, 因此 $Y = t_1 r_1' + t_2 r_2' + \dots + t_A r_A' + F_A$ 可还原为 $y_{ok}^* = Y_k$, 关于 $x_{0j}^* = X_j$ 的偏最小二乘回归方程为:

$$y_{ok}^* = b_{k1} X_{01}^* + \dots + b_{kj} X_{0j}^* + F_{Ak} \quad (k=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m)$$

其中, b_{kj} 为求得的回归系数, F_{Ak} 为残差矩阵(即常数项)。

以设计要素为自变量, 眼动指标为因变量, 进行多元回归分析, 获得了引起眼动指标显著变化的设计要素特征参数, 包括设计要素的权重系数大小, 并据此排序。模型建立之后, 应用其他样本进行验证, 且在验证模型的可行性之后, 便可将模型用于指导产品形态优化设计。

3 实例研究

3.1 目标样本图片选取及设计要素提取

本文实验选用电热水壶作为样本。样本图片主要从网站获得，从 10 款国内外领先品牌的电热水壶中共选取 50 个样本，对其进行筛选后最终产生 20 个样

本，见图 3。

在对电热水壶形态设计要素提取方面，挑选 10 名设计师并结合以往研究电热水壶形态设计要素的相关文献资料，采用形态分析法^[13]将其分解，提取设计要素，最终提取并筛选出把手 (A)、壶身 (B)、壶嘴 (C) 和壶底 (D) 4 种设计要素，形态设计要素及水平见表 1。



图 3 电热水壶样本
Fig.3 Sample of electric kettle

表 1 电热水壶形态设计要素及水平
Tab.1 Electric kettle shape design elements

设计要素	要素水平					
	1	2	3	4	5	6
把手 (A)						
壶身 (B)						
壶嘴 (C)						
壶底 (D)						

3.2 眼动追踪实验

3.2.1 眼动实验过程

1) 实验目的：为了考察用户在关注不同电热水壶时的眼动特征，获取眼动热点区域的电热水壶设计要素及其相关的眼动数据。

2) 被试人员选择：选择 16 名在校大学生作为被试对象，其中男生 8 名，女生 8 名，年龄范围为 20~25 岁，均有 5 年以上的电热水壶使用经验。被试者双眼矫正视力均正常，无视力障碍。

3) 实验器材准备：采用德国 SMI 公司的 RED 桌面型眼动仪，硬件分别有 1 台自配的笔记本电脑、1 台液晶显示屏和 1 套红外追踪组件。软件分别有眼动实验设计软件 Experiment Center、眼动数据记录软件 iView X 和眼动数据分析软件 BeGaze。

4) 实验任务设计：设定实验任务为浏览任务，利用聚类分析方法将样本总共分为 5 组，每组 4 张图片，根据自己的兴趣去浏览每组图片，以第一组图片为例，见图 4。

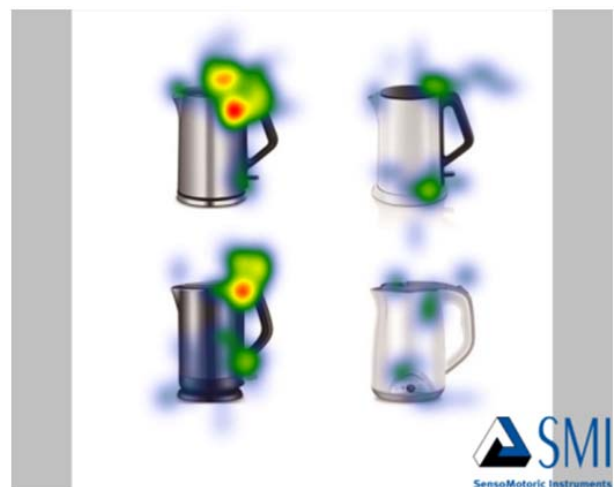


图 4 眼动实验热点图
Fig.4 Experiment heat map of eye movement

5) 实验准备与调试：首先向被试者简单介绍实验目的、实验流程及注意事项。在被试者的身心得到休息后，研究者指导他们调整坐姿并进行视点追踪校准，直到校准精度达标。

6) 实验步骤：每位被试者需完成对每组样本的浏览任务，每浏览完一组样本后休息片刻，之后继续浏览实验样本，以确保实验任务的顺利进行，直到实验结束。

3.2.2 眼动指标筛选

通过整理 BeGaze 软件导出的眼动数据，共得到

32 个眼动指标数据。通过对文献[2]中眼动指标的整理及研究,最终选取均值性质和最大值性质的眼动指标(包括最大/最小凝视时间、平均凝视时间、最大/最小扫视时间、平均扫视时间、最大/最小注视时间、平均注视时间等)作为备选眼动指标,以体现浏览过程中对兴趣区域的吸引程度。设影响因素为产品形态,运用 SPSS 软件对眼动数据做方差齐性检验,保留眼动指标中出现的显著性水平大于 0.05 的指标选项,并对筛选出的眼动指标进行单因素方差分析。眼动指标单因素方差分析见表 2。最大注视时间和最大扫视时间的显著性水平均小于 0.05,表明该指标在不同的产品形态设计上差异比较显著,可用于后续的关键模型建立。因此,本文最终选择最大注视时间和最大扫视时间这两项眼动指标用于后续研究。

表 2 眼动指标单因素方差分析

Tab.2 One-way analysis of variance of eye movement index

眼动指标	自由度	F	显著性
平均凝视时间/ms	4	1.767	0.188
平均扫视时间/ms	4	1.641	0.216
最大扫视时间/ms	4	3.876	0.023
平均扫视次数	4	0.524	0.720
平均注视点数目	4	0.645	0.639
平均注视时间/ms	4	1.802	0.181
最大注视时间/ms	4	4.427	0.015

3.3 电热水壶设计要素与眼动指标关系模型

3.3.1 基于数量化 I 类理论的水壶形态设计要素编码

由于电热水壶形态设计要素为定性变量,而研究需将其转换为定量变量,所以根据数量 I 类理论,将不同的定性变量用 0 和 1 来表达。数据 0 表示无此类目,数据 1 则与此相反。对电热水壶样本和提取的形态设计要素进行整合分析后,对其样本进行 0~1 编码,以第 1 个样本为例,其参数化数列为[0,1,0,0,0,0,1,0,0,1,0,0,0,0,1]。

3.3.2 回归模型的建立与分析

在编码基础上,运用偏最小二乘法分别建立不同的眼动指标与形态设计要素之间的关系模型,并对其进行分析,明确设计要素的权重排序,根据排序找到影响用户视觉认知的重要设计要素,从而进一步选择出优化的设计方案,为其形态优化设计提供设计指导方向。

根据产品形态视觉认知模型分析,在眼动实验过程中,实验样本的目标区域或感兴趣区域会引起被试者的选择性注意(眼动数据的提取来源于兴趣区域,即 AOI)。然而形态设计要素水平的变化将影响着眼

动指标数值的变化,因此需建立它们之间的关系模型。以每个样本所对应的设计形态参数为自变量,分别以最大注视时间和最大扫视时间为因变量,得到两个眼动指标的关系模型,如模型(1)和模型(2)所示, Y_1 和 Y_2 分别代表最大注视时间和最大扫视时间的数值。

$$Y_1 = 10.631 + \begin{pmatrix} 0.757A_1 \\ 0.379A_2 \\ 0.984A_3 \\ -0.957A_4 \\ -1.409A_5 \\ -0.598A_6 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -1.697B_1 \\ 0.869B_2 \\ 1.916B_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.342C_1 \\ 0.457C_2 \\ -2.168C_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.372D_1 \\ 0.5D_2 \\ -0.894D_3 \end{pmatrix} \quad \text{模型(1)}$$

$$Y_2 = 11.48 + \begin{pmatrix} 0.791A_1 \\ 0.363A_2 \\ 0.991A_3 \\ -1.005A_4 \\ -1.359A_5 \\ -0.526A_6 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -1.786B_1 \\ 0.913B_2 \\ 2.02B_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.34C_1 \\ 0.442C_2 \\ -2.122C_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.352D_1 \\ 0.56D_2 \\ -0.956D_3 \end{pmatrix} \quad \text{模型(2)}$$

由于眼动行为与注意、思维等认知机制密切相关,能反映被试者识别、理解设计元素等信息加工的耗时、认知负荷等具体情况^[14],因此注视是反映信息加工的关键眼动行为。眼动数据中的注视是指眼睛盯着目标时间保持 100 ms 以上的行为。在浏览任务中,某一区域最大注视时间越长表明该区域对于观察者来说更为重要,并有更大的吸引力,说明该样本区域内的设计形态更能引起注意以抓住被试者的眼球^[14]。对于模型(1),设计要素系数为负数且绝对值越大表示对用户吸引力越小,其为正数且数值越大表示对用户吸引力越大^[10]。

扫视即把眼球快速地从注视一个目标转移到注视另一个目标,是影响用户注视点集中程度的一个重要指标,在浏览任务中,最大扫视时间越长,表明注意力越集中,说明该样本区域内的设计形态对用户的吸引程度越大^[14]。对于模型(2),设计要素系数为负数且绝对值越大,就越不能引起用户高度注意,而设计要素系数为正数且数值越大,则越能引起用户的高度注意^[10]。

根据设计要素的权重系数范围排序可知设计要素的影响程度,将最大注视时间和最大扫视时间的影响程度从大到小排序(见表 3)。每一项权重系数的值分别为每个不同设计要素水平系数的绝对值之和。

表 3 设计要素的权重系数排序
Tab.3 Ranking of weight factors for design elements

设计要素	把手 (A)	壶身 (B)	壶嘴 (C)	壶底 (D)
最大注视时间 (权重系数)	5.084	4.482	2.967	1.766
最大扫视时间 (权重系数)	5.035	4.719	2.904	1.868

由于最大注视时间和最大扫视时间对用户吸引程度的判断倾向趋于一致，从模型 (1) 和模型 (2) 综合可知， A_3 、 B_3 、 C_2 和 D_2 的设计要素系数为正值且偏大，表明对用户有较大的吸引力，因此要提升电热水壶对用户的吸引程度，可优先采取的形态设计方案为 $A_3B_3C_2D_2$ 。整体把手形态 (A_3) 选择偏弧形且向外扩，弧线偏向圆润；壶身形态 (B_3) 选择圆滑状，呈环绕包裹状态；壶嘴形态 (C_2) 优先选择向下倾斜；壶底形态 (D_2) 优先选择两侧形状向内凹，上窄下宽，给予底座稳定感。其形态优化方案见图 5。



图 5 形态优化方案
Fig.5 Shape optimization scheme

3.3.3 关系模型验证

为了证明模型的有效性，另外选择 8 名在校大学生作为被试者，其中男女各 4 人，重新选取 4 个样本图片，见图 6。眼动实验的其他流程与上次实验一致。通过关系模型获得预测值，并与眼动的实测值进行对比分析，以浏览任务中的最大注视时间的眼动指标为例，预测值及实测值见表 4。运用 SPSS 软件对数据做配对样本 T 检验，置信区间默认为 95%，最大注视时间的成对样本检验显著性水平为 0.061，大于 0.05，说明预测值与实测值之间没有显著性差异，检验结果表明建立的模型有效。由此可证明基于用户认知的客观数据可以反映为具有较高稳定性和准确性的真实主观数据，进而通过模型可快速高效预测用户对产品形态的认知，最终提升产品设计目标与用户需求的匹配度。



图 6 检验样本图片
Fig.6 Inspection sample picture

表 4 样本眼动数据的预测值与实测值
Tab.4 Predicted and actual values of sample eye movement data

眼动指标	样本 1		样本 2		样本 3		样本 4	
	预测值	实际值	预测值	实际值	预测值	实际值	预测值	实际值
最大注视时间	9.562	10.156	8.526	9.232	10.309	12.253	11.564	14.265

4 结语

本文在视觉认知理论支撑下，提出了基于用户眼动数据驱动的产品形态优化设计方法，通过对产品形态设计要素与眼动指标之间关系的研究，建立产品形态设计要素与眼动指标的定量关系模型，通过模型分析不同设计要素对用户视觉反应的影响程度，形成产品形态优化设计方法，并以电热水壶为例进行案例设计。本文提出的产品设计方法结合视觉认知理论与眼动追踪技术，站在以用户为中心的视角，通过基于用户认知的客观数据驱动产品形态优化设计，为设计师开展形态优化设计工作提供了用户设计知识的支撑，提升了产品对用户的吸引力及其市场竞争力。

参考文献：

[1] 熊艳, 李彦, 李文强. 基于形态特征线意象量化的产品形态设计方法[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2011, 43(3): 233—238.

XIONG Yan, LI Yan, LI Wen-qiang. Product Shape Design Method Based on Morphological Feature Line Quantification[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2011, 43(3): 233—238.

[2] CLIFTON C, FERREIRA F, HENDERSON J, et al. Eye Movements in Reading and Inshapeation Processing: Keith Rayner's 40 Year Legacy. [J]. Journal of Memory & Language, 2016, 86: 1—19.

[3] FRANCUZ P, ZANIEWSKI I, AUGUSTYNOWICZ P, et al. Eye Movement Correlates of Expertise in Visual Arts[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2018, 12: 87—100.

[4] 刘森, 聂桂平, 马翀. 感性量化评价技术在工业产品设计中的认知研究与应用——以智能电源产品设计的眼动实验为例[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2015, 41(4): 536—541.

LIU Miao, NIE Gui-ping, MA Chong. Cognitive Research and Application of Perceptual Quantitative Evaluation Technology in Industrial Product Design: A Case Study of Eye Movement Experiments Based on

- Intelligent Power Product Design[J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2015, 41(4): 536—541.
- [5] 史庆春, 孙金红, 王健. 基于眼动追踪技术的抛光机造型设计与色彩优选[J]. 机械设计, 2016(8): 105—108.
SHI Qing-chun, SUN Jin-hong, WANG Jian. Modeling and Color Optimization of Polishing Machine Based on Eye Tracking Technology[J]. Mechanical Design, 2016(8): 105—108.
- [6] 郭伏, 屈庆星, 张夏英. 用户眼动行为与网站设计要素关系研究[J]. 工业工程与管理, 2014, 19(5): 129—133.
GUO Fu, QU Qing-xing, ZHANG Xia-ying. Research on Relationship between Eye Movement Behavior and Website Design Elements of Users[J]. Industrial Engineering and Management, 2014, 19(5): 129—133.
- [7] CHANG Y M, CHEN C W. 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.
- [8] 韩飞. 基于风格特征的居室集成吊顶设计研究[D]. 浙江: 浙江工业大学, 2015.
HAN Fei. Research on Design of Residential Integrated Ceiling Based on Style Characteristics [D]. Zhejiang : Zhejiang University of Technology, 2015.
- [9] 王海燕, 黄雅梅, 陈默. 图标视觉搜索行为的 ACT-R 认知模型分析[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2016, 28(10): 1740—1749.
WANG Hai-yan, HUANG Ya-mei, CHEN Mo. Analysis of ACT-R Cognitive Model for Visual Search Behavior of Icons[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2016, 28(10): 1740—1749.
- [10] 李明珠, 何灿群, 卢章平. 基于数量化理论 I 类的汽车意象造型设计研究[J]. 机械设计, 2016(4): 105—108.
LI Ming-zhu, HE Can-qun, LU Zhang-ping. Research on Automobile Imagery Modeling Design Based on Quantitative Theory I [J]. Mechanical Design, 2016(4): 105—108.
- [11] 孙杨, 许承明, 夏锐. 研发资金投入渠道的差异对科技创新的影响分析——基于偏最小二乘法的实证研究[J]. 金融研究, 2009(9): 165—174.
SUN Yang, XU Cheng-ming, XIA Rui. The Analysis on the Impact of Different R&D Input Channels on the Scientific and Technological Innovation: An Empirical Research Based on the Partial Least Square Method[J]. Journal of Financial Research, 2009(9): 165—174.
- [12] 马明德, 马学娟, 谢应忠. 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 682—689.
MA Ming-de, MA Xue-juan, XIE Ying-zhong. Partial Least-squares Regression Analysis of Influence Factors of Ecological Footprint in Ningxia[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 34(3): 682—689.
- [13] 朱彦, 陈刚. 基于感性工学和 BP 神经网络的服务机器人头部形态设计研究[J]. 包装工程, 2016, 37(14): 63—67.
ZHU Yan, CHEN Gang. Research on Head Shape Design of Service Robot Based on Kansei Engineering and BP Neural Network[J]. Package Engineering, 2016, 37(14): 63—67.
- [14] 汪海波. 基于认知机理的数字界面信息设计及其评价方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2015.
WANG Hai-bo. Digital Interface Information Design and Evaluation Method based on Cognitive Mechanism [D]. Nanjing: Southeast University, 2015.