

基于感性工学的产品形态设计研究 ——以保温饮水器的眼动试验为例

刘 淼, 郭名城, 江伦欣, 徐园园

(华东理工大学 艺术设计与传媒学院 上海 200237)

摘要: 运用感性工学的相关理论和方法评估保温饮水器的形态设计, 进而探索得出一种产品形态设计的合理方法。通过眼动追踪设备捕捉被试者观察试验图片时的眼动数据, 并利用划分兴趣区的方式分析被试者对于不同产品形态区域的关注度, 以及不同产品形态区域对于产品形态设计的影响。结合眼动数据分析和问卷访谈调研两个方面对保温饮水机形态进行设计评价。试验分析得到保温饮水器的外观形态与其杯身的倾斜程度、杯盖的造型、商标的位置存在的关联。在上述产品形态区域中, 商标最受到被试者的注意; 当商标位于容器下方时其美观程度高于位于上方位置; 杯盖的造型设计为带有卡扣、较为复杂精致的结构时, 其美观程度复变高于简单的旋盖结构; 当保温饮水机身越趋向于垂直时, 保温饮水器的美观程度更高。聚焦用户对保温饮水器的视觉认知规律, 验证了眼动实验对产品形态设计评估的有效性。

关键词: 保温饮水机; 形态设计; 眼动试验; 感性工学

中图分类号: TB 472 文献标志码: A

Product appearance design based on Kansei engineering: the case of eye movement test on thermal-insulated drinking water containers

LIU Miao, GUO Mingcheng, JIANG Lunxin, XU Yuanyuan

(School of Art Design and Media, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: The appearance design of thermal-insulated drinking water containers was evaluated based on the theory and method of Kansei engineering, and then a reasonable method for product appearance design was explored. Eye movement data were captured by an eye movement equipment when testees were observing test pictures. The attention of testees to different product morphology regions and the influences of different product morphology regions on the product appearance morphologies were analyzed by using the method of dividing AOI(area of interest). The appearance design of thermal-insulated drinking water containers was evaluated from both eye

收稿日期: 2019-11-22

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目 (51905175); 上海市设计学 IV 类高峰学科资助项目 (DA17014, DB17024, DB19304); 大学生创新创业训练计划项目 (X18223)

第一作者: 刘 淼(1984-), 副教授。研究方向: 工业设计、计算机辅助设计、感性工学等。E-mail: 183787975@qq.com

movement data and questionnaire evaluation. The relationships between the appearance and the inclination of the containers' body, the shape of the lid and the position of the trademark were obtained. The trademark is the most noticed by the testees. When the trademark is printed on the low area of the containers' surface, its aesthetic level is higher than that is printed on the high area. When the shape of the cup cover is designed with a snap and a more delicate structure, its aesthetic level is higher than that with a simpler rotating cover structure. When the inclination of a container body tends to be vertical, its aesthetic level is higher. The visual cognition of users to thermal-insulated drinking water containers was highlighted, and the effectiveness of the eye movement test on product appearance design evaluation was verified.

Keywords: *thermal insulation drinking water containers; appearance design; eye movement test; Kansei engineering*

产品的外观形态在消费者购买时起到非常重要的决策执行作用。在设计领域中对于产品外观的评判标准绝大多数情况下以主观经验为先且因人而异,缺乏普遍客观的评判标准。如何通过客观合理的方法比较存在差异的设计优劣,对于产品外观的设计研究具有较高的学术价值和应用价值。本研究通过数据统计和问卷调查的方式将主观评价和客观分析相结合,运用眼动设备和感性工学原理分析用户在观察过程中的眼部数据,从而使用户的心理需求外显化,客观地修正传统系列研究流程中的主观部分,使样本调查、产品评价结果具有较高的相关性和准确度。最终达到精准地把握用户的主观认知,得到更加符合用户情感认知的产品外观设计的合理评估方法,提高产品市场竞争力的目的^[1]。饮水是人类日常生活中维持生存的最常见行为,相应的,饮水器的使用频率也往往是最高的。因此,本研究选用饮水器作为现代产品形态特征研究的案例。研究物品的形态,即是研究人与物之间的交互关系^[2-3]。因为人认识一事物往往是从“形态”的某一部分入手,可以从一个微观的点拓展到整个物体,也可以逆向解构到具体细节,这些认知的过程往往脱离不了形态。

1 感性工学和眼动试验

感性工学(Kansei engineering)最早由日本学者山本健一提出^[4],是一种运用工程技术手段将消费者感性需求与产品造型设计要素相关联的理论及方法。在产品造型设计上有广泛应用,其中包括

汽车设计、消费类电子产品等方面。随着以眼动设备为例的各类研究设备的发展,这种理论和方法得以不断完善和进步。本研究通过眼动试验的方式,结合感性工学的理论,研究产品形态设计的方法与原理。在进行试验前,本研究选择生活中极为常见的物品——饮水容器为例,展开设计研究。

2 以保温饮水器为例的设计研究

2.1 保温饮水器市场调研

作为日常生活中必不可少的产品,保温饮水器市场非常丰富。饮水器在外观形态上存在较大差异,本研究将市面上的饮水器进行形态归纳,把具备特定功能的饮水容器排除,尽量确保外观是用户购买的主要因素。在前期走访中发现,受访者普遍认为如果选购保温饮水器时只考虑外观因素,会偏向选择售价200元以上的该类产品。因此研究团队从京东商城在售的200元以上价位的此类产品中,挑选出销量最高的20款保温饮水器,并通过描述保温饮水器感性意象的词汇进一步筛选出最具代表性的10款产品。

2.2 保温饮水器形态组成特征

保温饮水器的外观形态存在较大差异。归纳其形态特征,发现其外观形态主要由以下几个特征部分组成:杯身笔直部分、杯身曲线部分、商标LOGO部分、杯盖部分,如图1所示。本研究后续的眼动试验根据特征部分划分兴趣区,进而完成眼动数据分析。

2.3 通过感性工学进行产品意象描述

作为一种技术,感性工学研究包括了3方面

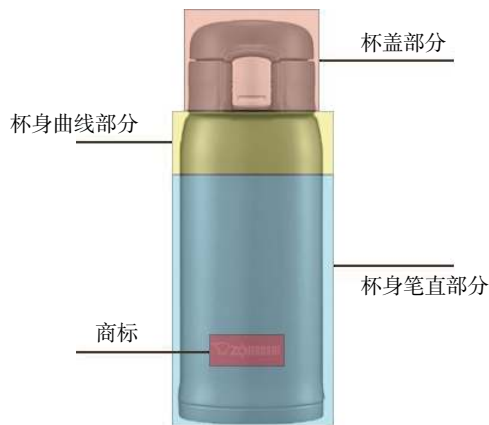


图1 保温饮水器特征部分示意图

Fig.1 Schematic diagram of characteristic part of thermal-insulated drinking water containers

的内容：一是依据感性层面对新产品进行分类，建立产品的感性结构，从而获取设计要素^[5]；二是通过计算机支持的感性工程系统(Kansei engineering system, KES)，从定性和定量层面分析消费者的感性认知；三是搭建感性工程模型，通过实验检测发现设计特性。

本研究在不同阶段采用以上3个方面的研究方法。在选取10款保温饮水器作为试验样本的过程中，通过造型感性意象词汇对保温饮水器进行划分归类，选取不同造型感性意向词汇的保温饮水器作为实验样本。其中，描述保温饮水器感性意象的词汇包括：简洁的、优雅的、活泼的、运动的、时尚的、复杂的、粗糙的、开放的、圆润

的、稳固的、尖锐的、高贵的、轻巧的、厚重的、清新的、规整的、细腻的、精致的。

3 眼动实验设计

3.1 试验目的与原理

利用眼动设备捕捉被测试者观察试验图片时的眼动数据，并利用划分兴趣区的方式分析测试者对于不同产品形态区域的关注度以及不同产品形态区域对于外观设计的影响程度^[6]。结合主观评价结果，从眼动数据和问卷评价两方面评估保温饮水器外观设计原理^[7]。被试者包括华东理工大学在校师生共22人，其中男性11人，女性11人，年龄范围从18岁到35岁不等。纳入标准为裸眼或矫正视力1.0以上。所有试验样本均接受过仪器使用的培训。

3.2 试验材料及步骤

试验器材：德国SMI iView XTM头戴式眼动设备。

实验步骤：

步骤1 播放10张保温饮水器试验图片(图2)，呈现时间为15 s/张，间隔时间为3 s，通过眼动设备捕捉被试者眼动数据。图片为10款销量排名靠前的保温饮水器，经过图象统一处理，以标准正视图视角呈现，在尺寸和角度上保持一致，且均进行去色处理。



图2 10张统一处理后的试验图片

Fig.2 Ten experimental pictures after unified processing

步骤2 播放9张保温饮水器图片(图3)，呈现时间为15 s/张，间隔时间为3 s。这9张保温杯饮水器为三组三件同样造型、但商标LOGO位置不同的保温饮水器。

步骤3 播放1张由7个不同倾斜程度的保温饮水器组成的简化模型图片，持续观察时长20 s。这7个保温饮水容器的简化模型倾斜角度分别为75°，80°，85°，90°，95°，100°，105°。将模型图片随机打乱顺序后围成一个环形(图4)。

步骤4 将试验中播放的图片以问卷表格的形

式发放给每位被试者，问卷内容由上述图片整理而成的调查表格和李克特量表组成。

3.3 测试指标

试验采用的测试指标为关注程度、有效程度和喜爱程度(表1)。总注视时间是指被试者在试验期间对指定区域的整体观察时间；首次注视时间是指用户凝视点初次停留在某区域的注视时间，时间越长表明该区域的信息量越大，越具备吸引力^[8]。注视次数为被试者在整个观察过程中进入某区域的总次数，数值与该区域的吸引力成



图 3 实验步骤 2 中的 9 张保温饮水器

Fig. 3 Nine thermal-insulated drinking water containers in step two

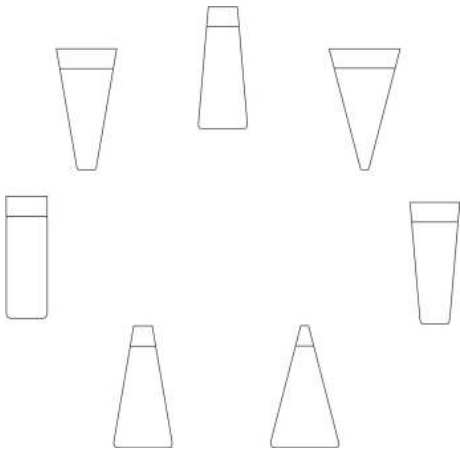


图 4 保温饮水器简化模型图片环形排列

Fig. 4 Simplified model of thermal-insulated drinking water containers in circular arrangement



图 5 10 张试验照片的 AOI 区域划分示意图

Fig.5 Schematic diagram of AOI region partition of ten experimental photographs

表 2 10 张保温饮水器试验图片各兴趣区域眼动数据均值

Tab.2 Average value of the eye movement data of AOI regions in ten experimental pictures of thermal-insulated drinking water containers

兴趣区域	总注视时间/ms	首次注视时间/ms	注视次数	平均注视时间/ms	兴趣区域面积/px
杯身直线区域	45 818.13	12 432.43	5.2	8 811.18	49 252.89
杯身曲线区域	30 429.53	8 402.29	4.5	6 762.12	12 792.78
商标LOGO区域	17 520.38	9 442.32	6.2	2 825.87	2 874.11
杯盖区域	23 364.42	10 785.98	7.3	3 200.61	8 853.78

可以看出, 各个兴趣区域按照总注视时间由高向低排列依次为: 杯身直线区域, 杯身曲线区

正比关系。平均注视时间为总注视时间/注视次数, 表示被试者观察该区域的平均用时。由于不同面积的兴趣区所含信息量存在差异, 为保证试验的有效性, 在评判该区域对于被试者的吸引力时加入兴趣区的大小作为有效程度的考量。被试者对于观察事物的喜好程度由李克特量表来评价计算。

表 1 本研究试验所用指标说明
Tab.1 Indicators used in the study

指标	指标内容	眼动数据
关注程度	总注视时间/ms	t_1
	首次注视时间/ms	t_2
	平均注视时间/ms	t_3
有效程度	注视次数	N
	兴趣区大小/px	S
喜爱程度	李克特量表/分	P

4 数据结果分析

4.1 保温饮水器造型关键特征优先顺序

将试验步骤 1 中的 10 张试验图片按照杯身笔直部分、杯身曲线部分、商标 LOGO 部分、杯盖部分进行 AOI 区域划分(图 5)。统计数据如表 2 所示。

域, 杯盖区域和商标 LOGO 区域; 按照首次注视时间由高向低排列依次为: 杯盖区域、商标 LOGO

区域、杯身直线区域、杯身曲线区域；注视次数由高到低排列依次为杯盖区域、商标区域、杯身直线区域和杯身曲线区域。根据既往学者的研究结果^[9]，总注视时间、首次注视时间和注视次数是反映兴趣区域的重要数据指标。

然而，上述的4个兴趣区域面积相差巨大，忽略面积进行单项排名并不合理。有研究^[10]指出，对象大小也是影响视觉注意的重要因素：通常大对象比小对象更容易吸引视觉注意。因此本研究引入“单位面积下的眼动指标”的概念，用于削弱面积因素对于被试者兴趣程度的影响。考虑到有效程度(兴趣区域面积)的影响因素，对单位面积下的指标数据进行计算，排名发生显著变

化(表3)。商标LOGO区域在各项数据上显著领先于其他区域，尤其在单位面积下首次注视时间和注视次数这两个指标中分别超出排名第二的区域221.31%和153.17%，商标LOGO获得了被试者最高的关注。与此同时，杯盖区域在单位面积下的总注视时间、首次注视时间和注视次数这3项数据上都位列第二，超过其在表2中的排名。根据文献的研究，较高的注视频次代表更多的信息处理^[11]。因此，数据表明杯盖区域在造型上细节较多，所产生的视觉信息量较大。

数据表明，在保温饮水器的形态特征中，LOGO最受被试者的关注，其他特征排名依次为杯盖区域、杯身曲线区域、杯身直线区域。

表3 单位面积下的眼动指标数据
Tab.3 Eye movement index data on unit area

兴趣区域	总注视时间/(ms·px ⁻¹)	首次注视时间/(ms·px ⁻¹)	注视次数	平均注视时间/(ms·px ⁻¹)
杯身直线区域	0.93	0.25	1.06×10 ⁻⁴	0.18
杯身曲线区域	2.38	0.66	3.52×10 ⁻⁴	0.53
商标LOGO区域	6.10	3.29	21.57×10 ⁻⁴	0.98
杯盖区域	2.64	1.22	8.52×10 ⁻⁴	0.36

4.2 保温饮水机关键特征的设计原理

4.2.1 LOGO 位置

为进一步探究商标LOGO位置区域对于形态的影响，本研究将同样造型的3组保温饮水机上面的商标LOGO位置进行变动，分别位于杯身表面的上、中、下3个位置，其他形态特征不变。记录被试者在观察这3组商标LOGO时产生的眼动数据和主观喜爱程度，数据指标为商标LOGO

区域的总注视时间、首次注视时间、注视次数、平均注视次数和李克特量表评分均值。

3组对照试验所得数据(表4)表明，3组保温饮水机LOGO位于最下方时李克特量表均分最高，位于中间时排名居中，位于上方时排名最后。在总注视时间、首次注视时间和注视次数这3项指标中，排名同样由高到低为位于下方时、位于中间时和位于上方时。

表4 保温饮水机LOGO区域指标数据
Tab.4 Index data regarding the LOGO region of thermal-insulated drinking water containers

商标LOGO所处区域	总注视时间/ms	首次注视时间/ms	注视次数	平均注视时间/ms	李克特量表均分
上方	15 732.76	7 592.23	5.1	3 084.85	4.29
中间	17 484.38	8 403.51	5.6	3 122.21	4.37
下方	23 159.75	110 333.16	6.9	3 356.49	4.51

由以上数据可以得出：保温饮水器的商标LOGO区域位于杯身下方时该区域受到的关注度更高，且受被试者喜爱程度更高。根据设计原则和前文数据，商标LOGO和杯盖区域都引起视觉注意力，而位于下方时，整个杯身视觉观感更加平衡，且此时周边没有其他形态特征吸引被试者注意力，因而获得更多的关注度。

4.2.2 杯盖设计

挑选出的10款保温饮水机模型可以按照杯口类型分为两组(图6)。A组杯盖具备卡扣，且外观较为复杂精致；B组杯盖为旋盖结构，外观更为简单。对比两组保温饮水器的眼动数据(表5)，A组的5项数据均高于B组。其中A组的杯盖区域平均总注视时间高于B组57.33%，平均首次注

表 5 AB 组保温饮水器杯盖区域指标数据

Tab.5 Index data regarding the cup region of group A&B thermal-insulated drinking water containers

组别	总注视时间/ms	首次注视时间/ms	注视次数	平均注视时间/ms	李克特量表均分
A组	28 569.49	14 027.68	8.4	3 401.13	4.49
B组	18 159.35	7 544.28	6.2	2 928.93	4.05



图 6 10 款保温饮水器模型分组情况

Fig. 6 Grouping of ten models of thermal-insulated drinking water containers

视时间高出 85.94%，平均注视次数高出 35.48%，平均注视时间高出 16.12%，李克特量表均分高出 10.86%。

由此可以得出结论，相比简单的旋盖式杯盖设计，具备卡扣的精致杯盖的造型设计，受到被试者更多的关注，受被试者喜爱的程度更高，也

反映出其美观程度更高。

4.3 保温饮水器倾斜角度对于美观程度的影响

保温饮水器的直线区域与曲线区域都属于影响杯身美观程度的重要因素，而保温饮水器造型中直线与曲线的变化特征较多，实际产品的图片难以进行定量分析。因此，本研究简化了杯身线条的特征。根据此前的数据，本文建立了不同倾斜程度的杯身模型。这 7 个不同倾斜程度的杯身模型对应不同感性词汇描述的感性工程模型^[12]，从左至右依次排列的顺序对应的词汇从“稳固的”到“不稳固的”变化，同时也从“厚重的”变化为“轻巧的”（图 7）。将 7 个存在差异倾斜程度的模型随机打乱后排成一个圆形，呈现在一张 PPT 中，尽可能排除观察顺序带来的试验误差。本研究将正视图下杯壁与地面形成的夹角内角定义为 θ ，用于描述杯身的倾斜程度（图 8）。试验通过眼动数据和问卷调查两种形式相结合的方法判断保温饮水器的美观程度。为探究 θ 与被试者对于产品喜好程度 P 之间的关系，通过线性拟合采集的相关数据得出 P 与 θ 的函数关系。

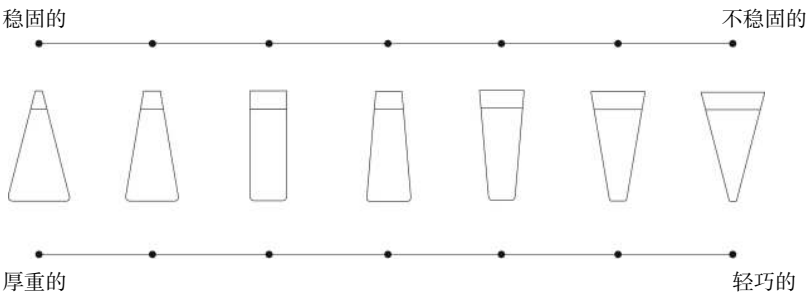


图 7 不同倾斜角度保温饮水器感性工程模型

Fig.7 Kansei engineering model of thermal-insulated drinking water containers with different inclined angles

该阶段的眼动数据依旧采用总注视时间、首次注视时间、注视次数、平均注视次数，将 7 个随机排列的保温饮水器简化模型划分为面积相同的 7 个 AOI 兴趣区域，编号 1~7 对应倾斜角度 θ 从小到大的保温饮水器简化模型（图 9）。

在被试者观察后本研究继续采用李克特量表测验用户的喜爱程度。为方便计算转化，将评分

标为 1~5 分：1 分表示非常不喜欢，记 20 分；2 分表示比较不喜欢，记 40 分；3 分表示无喜好倾向，记 60 分；4 分表示比较喜欢，记 80 分；5 分表示非常喜欢，记 100 分。获得的指标数据如表 6 所示。

试验数据表明，倾斜角度为 90°的简化模型在总注视时间和注视次数上位列 7 个保温饮水器最

表 6 7 个保温饮水器简化模型指标数据

Tab.6 Index data regarding seven simplified models of thermal-insulated drinking water containers

眼动数据	1	2	3	4	5	6	7
总注视时间/ms	2 952.51	2 733.24	2 510.16	2 495.38	2 574.42	2 711.05	2 893.21
首次注视时间/ms	1 003.85	899.30	684.48	858.42	1 422.87	1 247.76	1 204.88
注视次数	3.29	2.41	2.26	1.89	1.99	2.67	3.16
平均注视时间/ms	897.42	1 134.12	1 110.69	1 320.31	1 293.68	1 015.37	915.57
李克特量表均分	2.40	3.25	4.10	4.65	4.45	2.65	1.90



图 8 保温饮水器倾斜角度 θ 的定义示意图

Fig. 8 Definition schematic diagram of the inclination angle of thermal-insulated drinking water containers

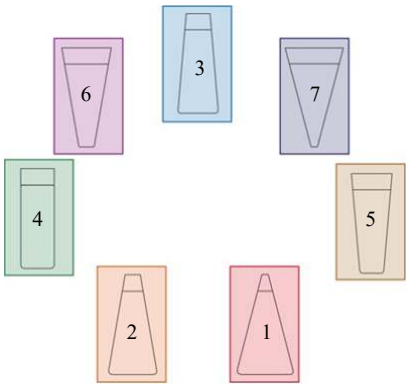


图 9 7 个随机排列保温饮水器简化模型 AOI 兴趣区域

Fig. 9 AOI regions of seven simplified randomly arranged thermal-insulated drinking water containers

低。相反，该模型在李克特量表均分上最高。整体趋势上，角度 θ 与 90° 差值越大，获得的注意越多，但受到被试者的主观评分却越低。通过既往文献的研究结果和后续分析被试者的访谈记录可以一定程度上解释这一现象^[13-14]。在此阶段的试验中，关注程度与喜好程度成负相关的原因是生活中倾斜角度为 90° 的饮水器最为常见，因此容易造成被试者的忽略。相反，倾斜角度偏离 90° 的饮水器较为罕见，因此容易获得被试者的注意力。

统计所有被试者的主观平均值后，在坐标图中标记数据，横轴 θ 表示杯身倾斜角度(图 8)，纵轴 P 为评分均值对应得分。通过计算机进行 P 与

θ 的多项式函数关系拟合。
如图 10 所示，当多项式最高次幂为 2 次时，拟合优度 $R^2=0.9127$ ，此时最高点横坐标为 89.21，即当倾斜角度 θ 为 89.21° 时，平均主观评分 P 最高，此时多项式函数关系为

$$P=-0.2167\theta^2+38.664\theta-1\,636.3,\theta\in[75,105]$$

当多项式最高次幂为 3 次时(图 11)，拟合优度 $R^2=0.9142$ ，进一步提高。当角度在 $75\sim105^\circ$ 范围内最高点横坐标为 90.29，即倾斜角度 θ 为 90.29° 时，平均主观评分 P 最高。此时多项式函数关系为

$$P=-0.0011\theta^3+0.0833\theta^2+11.859\theta-843.76,\theta\in[75,105]$$

由此可以得出结论：保温饮水器瓶身倾斜角度越接近于垂直时，其美观程度越高，但同样存在易被消费者忽略的情况。这种情况下保温饮水器不偏向于“厚重的”或“轻巧的”，也不偏向于“稳固的”和“不稳固的”这 4 种用于描述产品意象的感性词汇。

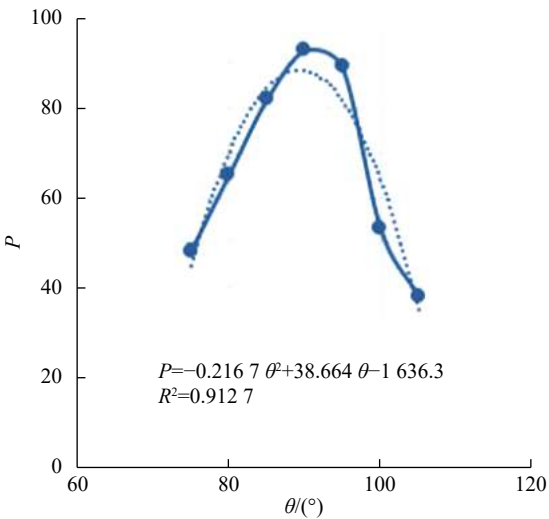


图 10 二次多项式拟合函数图像

Fig. 10 Quadratic polynomial fitting function image

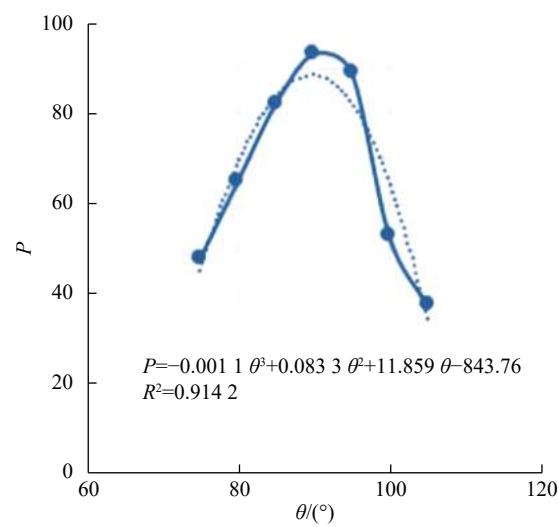


图 11 三次多项式拟合函数图像

Fig. 11 Cubic polynomial fitting function image

5 结束语

试验分析得到保温饮水器的外观与其杯身的倾斜程度、杯盖的造型、表面商标的位置相关。因此,在设计保温饮水器时,在这 3 方面中应着重进行设计,研究结果具体包括:

- a. 在观察过程中,商标受到的关注程度最高;
- b. 同样造型下,当保温饮水器的表面商标位于杯身下方位置时,其美观程度高于位于上方位置时;
- c. 杯盖的造型设计为带有卡扣、较为复杂精致的结构时,其美观程度高于简单的旋盖结构;
- d. 当保温饮水器杯身越趋向于垂直时,保温饮水器的美观程度更高。

本研究以保温饮水器为例,基于眼动试验和感性工学原理对产品形态进行设计研究。研究将产品划分出多个特征区域,通过眼动数据得出不同产品形态特征的不同感性意象的反映,进而得出对于美观程度影响的优先级排序,再通过控制变量的形式,研究各个形态特征的设计原理。对于较为复杂的特征区域,采用简化模型的方式,通过眼动数据和李克特量表两种形式相结合的方式进一步探究分析。综合眼动数据和被试者对样本的主观评价,建立对应的产品意象模型,根据实验数据获得对产品形态设计要素的整体评价,精准把握用户对产品的情感化认知,确定产

品形态的设计原理,从而得出一套对于产品形态的分析方法,此方法同样可以适用于其他产品的形态分析。

参考文献:

[1] 刘昕. 混合感性工学驱动的舱内人机设计与评价方法研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2016.

[2] 吕富强. 基于眼动追踪的 ATM 机界面通用性设计研究 [D]. 杭州: 浙江理工大学, 2017.

[3] 汪颖, 吕富强. 基于眼动数据的 ATM 机界面可用性测试 [J]. 人类工效学, 2017, 23(1): 48-54.

[4] NAGAMACHI M. Kansei Engineering: a new ergonomic consumer-oriented technology for product development[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1995, 15(1): 3-11.

[5] 原田昭. 感性工学研究策略 [C]//清华大学国际设计管理论坛专家论文集. 北京: 清华大学艺术与科学研究中心, 2002: 1-12.

[6] 王新亭, 邓玮丹. 基于眼部追踪技术的产品意象草图认知差异研究 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019, 31(2): 287-294.

[7] 卢兆麟. 面向工业设计的产品设计 DNA 关键技术与应用方法研究 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2016: 100-114.

[8] 付炜珍, 代小东, 丁锦红. 眼睛运动参数评价产品外观的可行性 [J]. 中国临床康复, 2005, 9(28): 1-3.

[9] 杨元. 办公座椅形态要素的视觉和逸性研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.

[10] 张菁, 沈兰荪, 高静静. 基于视觉注意模型和进化规划的感兴趣区检测方法 [J]. 电子与信息学报, 2009, 31(7): 1646-1652.

[11] 高晓宇. 基于眼动数据的可用性测试方法研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.

[12] HOU W J, JIANG Z Y, LIAO X H. A new method of smartphone appearance evaluation based on Kansei engineering[M]//MARCUS A, WANG W T. Design, User Experience, and Usability. Design Philosophy and Theory. Cham: Springer, 2019: 439-449.

[13] ZHENG P, YU S Q, WANG Y B, et al. User-experience based product development for mass personalization: a case study[J]. *Procedia CIRP*, 2017, 63: 2-7.

[14] SUN L Y, XIANG W, CHAI C L, et al. Creative segment: a descriptive theory applied to computer-aided sketching[J]. *Design Studies*, 2014, 35(1): 54-79.

(编辑: 丁红艺)