

感性工学

1.1 感觉的含义

感觉是过去的经验在头脑中的反映,也是大脑对直接作用于感觉器官中的客观事物的个别属性的反映,包括视、听、嗅、味等。它是最初级的认识过程,也是一种最简单的心理现象,但感觉并不一定在某一时间内只反映一种属性,而是可以反映许多。例如,一个人进入某个完全陌生的环境里,虽然这个环境中既有各种声音,又有各种气味,但他分辨不清声音和气味的来源,这时对他来说,各种声音和气味只是一大堆杂乱无章的刺激。

感觉是知觉、记忆、思维等复杂的认识活动的基础,也是最简单、最基本的心理活动^[1]。感觉分为欲望和感知两个部分。“欲望”是动物的一种需求,例如,动物需要进食、睡眠、排泄、性刺激等方面的需求;而“感知”则是动物对需求的知觉,例如,当剧烈运动之后感到疲劳。

作为最简单的心理过程,感觉不仅是人类认知过程的开端,而且给人类提供了认识外部世界的色彩、状态等环境信息和人类自身的各种机能状态,如劳累、饥饿等,同时也保证了人体与外界环境之间的信息交流平衡。

1.2 感性的含义

现代汉语词典中,“感性”释义为:属于感觉、知觉等心理活动的(跟“理性”相对)。近年来,一些日本学者将“感性”运用到多个领域,也体现出多层含义,它既是一个静态的概念,又是一个动态的过程:静态的“感性”是指人的感情,获得的某种印象;动态的“感性”是指人的认识心理活动,即对事物的感受能力,对未知的、多义的、不明确的信息从直觉到判断的过程。

日本心理学家饭田建夫运用人对物的反应流程将感性的动态概念进行了定义。他用人们看到一朵红色牡丹花时的反应过程来说明这一概念。

(1) 花朵本身所具有的物理特性(波长 650nm 左右的红色可见光)经过媒介向外传递,其中一部分进入人类的感官器官——眼睛。

(2) 经过视网膜与接受光刺激的视觉细胞,人类成功收到视觉上的刺激情报。

(3) 这些情报信息随即传递至大脑,并产生“是红色的,整体是圆的”等色彩和形状上的

感觉。

(4) 这些感觉情报与在之前的学习或经验中所积累的知识相互对照后,认知、认识它是“红色的牡丹花”。

(5) 在认知、认识的同时,对牡丹花或是伴随它的意象等特征,衍生出如漂亮、热情、喜欢、感动等心理反应。

(6) 将发生在内心的感性、感动等,利用言语、表情或是行动表达出来。

因而我们可知,在这一过程中,步骤(3)和步骤(4)是引发感性的基础,对于感性的产生具有辅助作用。步骤(4)~步骤(6)是在人们认知和认识对象物后所产生的心理反应与表现,属于感性的主要范围。

在信息化时代,“感性”已成为时代发展的能力象征,它包含感受信息和交换信息的能力,即在复杂的外界刺激的环境下,提取自己所需信息的能力和将这些信息以某种方式准确地传递给他人的能力。

1.3 感性工学

感性工学将人类情感和工学的理性分析相结合,主要运用工程技术手段来探讨“人”的感性与“物”的设计特性间关系的理论及方法。具体来说,感性工学是将人们对“物”(包括实物产品、虚拟数字产品等)的感性意象定量、半定量地表达出来,与产品设计特性相关联,以此来实现在产品设计中体现“人”的感性感受,设计出更符合“人”的感觉期望的产品^[2]。

1.3.1 感性工学的学科背景

20世纪70年代,日本广岛大学的研究人员首次将人类感性导入了工学理性的研究范围内,并且运用于住宅的设计中,提取和考量居住者的情感需求,并将居住者的情感意象具体化为工学技术,这一技术最初被称为“情绪工学”。参与该研究的长町三生敏锐地觉察到了这一市场动向,并认为感性需求将成为今后市场导向的风向标,从1989年开始,他陆续发表了多篇关于感性工学的论文、著作,奠定了其在感性工学领域的重要地位^[3]。

感性工学是社会经济快速发展的必然产物。目前,Toyota、Hyundai、Samsung、Cannon等企业都将感性工学应用到了产品的前期开发设计中^[4]。作为一门诞生不到半个世纪的新兴学科,感性工学已经在许多国家和地区引起了学术界的广泛关注与研究,其研究成果已被引入至各种新产品的设计开发过程中。因此,在产品设计中引入感性工学将成为企业的立足之本。

近年来,感性工学成为我国从事设计行业和设计教育的专家学者的热点研究课题,许多专家学者对其理论和方法展开了研究,分别在日用品、交通工具和色彩设计等领域进行了探讨,如手机、平板电视机、汽车和自行车等。研究手段涉及模糊逻辑、神经网络和遗传算法等数理方法。感性工学主要注重的是用户的情感需求层面,是符合“以人为本”理念的一种有效的研究方法,从用户的生理、心理和深层次的社会文化内涵等方面入手,关注用户在使用产品时的舒适度、愉悦感和个性体验等多方面的需求来考虑产品的开发和设计。

国内外的感性研究方兴未艾,研究内容不断扩大,从物质到非物质领域,比如,对于人机交

互界面的研究,即 UI 设计就属于非物质领域。从工学应用的层面扩展到人的知觉认知等方面,不仅在理论研究方面,而且在应用研究和教育研究等方面也越来越受到人们的重视^[5]。

国内外有许多专家学者围绕感性工学,运用数理分析和计算机技术对不同的产品造型设计展开了研究和探讨。例如,苏建宁等^[6]总结分析了感性工学所涉及的感性意象挖掘、产品造型设计要素辨识、产品感性意象与设计要素关联及产品意象造型智能设计等关键技术和方法,为产品造型设计建立了实用的体系;李娟等^[7]在感性工学的理论基础上,通过数量化理论 I 类理论数学分析方法,得出设计要素与设计风格之间的量化关系,予以指导高速列车座椅设计定位,使其更加符合旅客的情感诉求;Ngip Khean Chuan 等^[8]运用感性工学挖掘了在网络购物环境下用户对于太阳眼镜的情感意象,并分析语义与对应的设计特征;杨琦等^[9]采用前向定量推论式感性工学的实施程序,对便携式水壶感性特质及用户对水壶造型的感性诉求进行分析,得出了水壶造型的感性特质与水壶设计要素的对应关系,对类似产品的设计具有参考价值。但以上研究都未能将设计师的情感意象考虑在内。

1.3.2 感性工学系统的分类

根据应用思路,可将感性工学分为六类^[10,11]: 类目分类层级法、感性工学系统、复合式感性工学系统、感性工学数学模型、虚拟感性工学和交互式感性工学系统。

1. 类目分类层级法

类目分类层级法(category classification)是最简单、应用最为普遍且实施起来最快的方法。在明确产品策略之后,通过建立识别消费者情感需要的树状结构,由产品概念(第 0 次元感性概念)向下逐步展开,直到最后出现产品设计的物理参数阶层为止^[12]。

2. 感性工学系统

感性工学系统(Kansei engineering system)是通过数学统计工具将感性与产品特性联系起来,予以建立一个拥有丰富内容的感性信息数据库和正确的逻辑推理功能的专家系统,以此进行物理量和感性量之间的转译,基本的感性数据库和专家系统已经成为工程与设计的一种通用的感性工学实施方法^[11]。一个完整的感性工学系统应该具有三个数据库:感性意象库(Kansei image database)、知识数据库(knowledge database)以及设计元素数据库(design element database)。同时,感性工学系统是一个动态平衡的系统。根据市场变化与消费者感性的变迁,不断通过将新的感性数据纳入数据库或将旧的数据进行改进等调整措施,予以适应新的变化。该系统既可以帮助设计者根据消费者需求进行产品设计,也可以帮助消费者挖掘自身的感性需求予以选择符合自己要求的产品。通过该系统,设计者和消费者二者之间可以进行实时的无障碍交流,从而将消费需求快速地转化为设计理念或产品设计元素。

3. 复合式感性工学系统

感性工学系统也称“顺向感性工学系统”,其主要作用是通过输入消费者的感性需求予以得到产品设计要素。“逆向感性工学系统”则是通过输入产品的设计细节草图来预测消费

者可能产生的感性意象。该系统能够由设计者的设计方案推导出消费者的感性意象,予以帮助设计者了解其所设计的产品特性以及其与消费者感性意象之间的关联^[13]。顺向和逆向感性工学系统应用相同的数据库,因此二者通常被研究者结合在一起应用,使其产生了可双向转译的混成系统,即“复合式感性工学系统”(hybrid Kansei engineering system)。复合式感性工学系统不仅可以顺向地将消费者的感性意象转译为产品的具体设计细节要素,而且更可以逆向地对设计者所绘制的草图给出消费者的感性意象评判,使得产品设计要素和感觉意象之间的转译更便捷。复合式感性工学系统如图 1-1 所示。

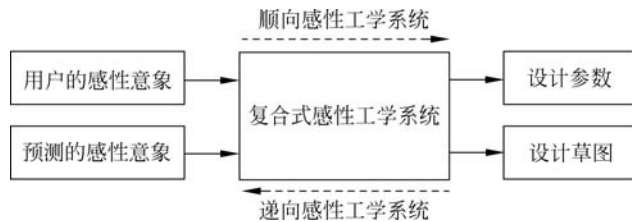


图 1-1 复合式感性工学系统

4. 感性工学数学模型

感性工学数学模型(Kansei engineering model)是应用数学函数模型建立的模拟系统,以此寻求产品设计要素与感性需求信息之间的量化关系。日本三洋电机株式会社的Fukushima 研究团队成功地运用模糊感性逻辑(fuzzy Kansei logic)理论设计出一款智能彩色复印机,该复印机首先运用三原色分析人脸色彩,再经 RGB 色度系统对其进行处理,最终输出更漂亮、更精致的脸部图片^[14]。

5. 虚拟感性工学

虚拟感性工学(virtual Kansei engineering)是一种高级计算机技术,是感性工学系统与计算机虚拟现实系统相结合的产物,它运用虚拟现实(VR)技术呈现设计方案,让消费者在虚拟空间中体验产品^[15]。虚拟感性工学在产品正式投产之前就为设计者和消费者建立了产品感性空间。日本松下电器与广岛大学合作将虚拟感性工学用于厨房和餐厅的设计。该系统的数据库是基于一万名日本女性感受的厨房餐厅设计图片库,用户只需通过输入自身的生活方式、习惯以及所涉及的感性工学词汇等信息,便可得到一个相应的设计方案,同时,用户还可以根据需要对设计细节进行改进。之后,上述的系统进一步扩展到房屋设计,称作“HousMall”。

6. 交互式感性工学系统

交互式感性工学系统(collaborative Kansei engineering system)是一种基于网络的感性工学系统。网络便于用户和设计者、设计者和设计者之间进行实时交流,大大简化了产品研发阶段的调研工作。长町三生教授将其诸多的优势总结为:“方便了设计者之间的合作,加快了产品研发的速度,使产品制造商和用户之间的对话更为高效,更方便地让不同方面的参与者加入到产品设计研发的过程中来,极大地提高了产品研发的效率,并且为更多的参与者提供更为丰富的灵感。”

产品感性意象挖掘

2.1 产品意象认知

“意象”是一种基于意识的活动,意象是由物体的外界刺激引发的人脑反应,包括人的记忆、联想和感受。产品造型意象的形成,来自用户对产品形态的认知过程。在认知过程中,用户将产品造型本身所蕴含的感情色彩转换为产品的情感语言,形成产品造型意象。

产品意象造型设计首先是要定位用户的感性意象需求,感性意象可用感性形容词来描述。确定目标感性意象是以用户为中心进行设计的第一步,用户群体是复杂和多样的,不同用户的心理状态,包括认知思维和情感需求等方面,存在明显的个体差异性。

在产品造型所传递的信息方面,已知产品造型的几何信息经过用户结构化的信息处理同时存入长时记忆,当再次观察时由于前期长时记忆的参与,观察时所占用信息通道的容量就较少。结构化的信息是指造型实体本身的整体信息,而不是造型实体的一部分局部信息。在一次新的观察中由于视觉刺激的新颖性,如果产品造型实体信息与产品已知造型不同时,新信息占用的信息通道容量就明显较多。D. Berlyne 提出的视觉中间论,即视觉刺激的新颖性与观察者的心理偏好之间的关系曲线,如图 2-1 所示。例如,对同一用户而言,在产品造型设计中对某造型进行间隔性的测试,该造型视觉刺激的新颖性随着观察次数的增多呈递减趋势。

从认知学角度来看,对产品的认知首先是由人的感官感知获取产品信息,再以其信息处理方式对接收到的信息自发进行处理,最终根据具体情况综合选择已接收的信息予以解决问题的一系列过程。人对产品的认知过程主要有以下几个阶段,如图 2-2 所示。

(1) 信息收录。该阶段主要涉及用户对感知到的外界产品信息进行筛选、知觉体验和

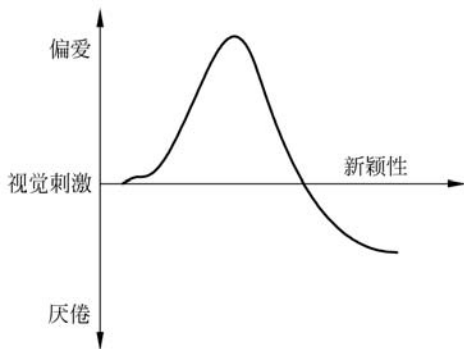


图 2-1 视觉刺激的新颖性与观察者的心理偏好之间的关系曲线

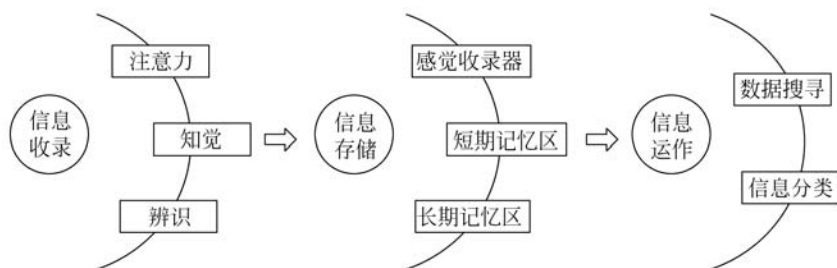


图 2-2 产品信息的认知过程

辨识区分。具体来说，“注意力”就是用户在对产品信息接收的过程中，大脑会自发地排除与产品无关的干扰信息，作为过滤器对信息进行筛选。知觉就是把产品信息给予的刺激有序地转化为对产品形态的心理体验。辨识就是结合自己的心理体验对所接收的信息进行区分，是整理信息的一个过程。

(2) 信息存储。该阶段主要在三个存储区中完成，实现对信息的存储。首先是对已接收的信息进行感知的感觉收录器，感知到的信息将以原型的形式暂存，但保存的时间会一直延长至信息被辨认为止；其次被辨识的信息进入短期记忆区进行处理区分；最后将一部分信息删除，将另一部分关键信息存储在长期记忆区内。

(3) 信息运作。该阶段包括数据搜寻和信息分类，既是人们将存储的信息进行分类，综合运用该信息处理具体问题，也是人们更深层次的认知行为。从认知心理学角度来看，产品意象认知的过程就是对产品信息进行加工的过程。设计师根据设计任务会对产品造型进行构思，以具象的形式完成自己对产品设计任务的理解，而用户根据自己的实际需求及偏好与产品进行感性交互，用户对产品产生的不同意象正是在这一交互中形成的，如图 2-3 所示。从产品意象的认知过程来看，感官记忆(sensory memory, SM)是对产品造型进行注意和辨识、基于知觉的表面认识活动。短期记忆(short-term memory, STM)不仅是对产品造型进行心理评价，而且是形成产品意象的核心阶段，同时也是更为深入的知觉活动；而长期记忆(long-term memory, LTM)则是用户根据自身的文化、喜好进行的认知活动。

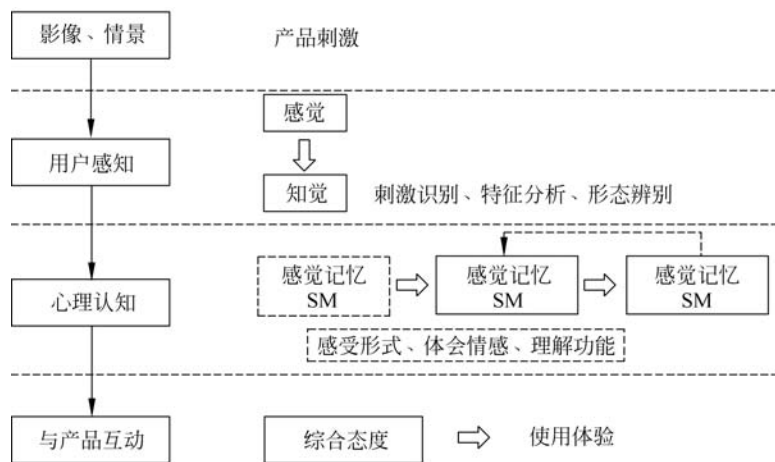


图 2-3 产品意象的认知过程

2.2 基于心理测量的产品意象调查

心理测量是依据相关心理学理论,通过科学、客观、标准的测量手段对人的能力、人格等心理特性和行为进行测量、分析评价。广义的心理测量不仅包括以心理测验为工具的测量,同时也包括观察法、访谈法、问卷法、实验法、心理物理法等测量方法。

在产品领域,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。语义差分法^[16](semantic difference, SD)是一种借助调查、统计及计算等手段,对主体的心理活动进行计算和测量的方法。将主体对客体的感性评价具体化后,可以清楚地分析产品的意象等级,进而探寻其中的一般规律。它的核心要素有三个,分别是目标意象、研究样本和受测者。目标意象的量化尺度由感性词汇和评价级别组成,常用的评价级别有3级、5级、7级和9级。

它的一般过程是:受测者根据目标意象的量化尺度对研究样本进行打分,经过统计分析调查结果,将受测者模糊不清的感性认知转化为客观存在的物理量。通常,将调查数据进行平均数处理,得到受测者对研究样本的意象认知评价,其公式如下:

$$\overline{A_{ij}} = \sum_{k=1}^K A_{ij}^k / K \quad (2-1)$$

其中, $\overline{A_{ij}}$ 为受测者对第*i*个研究样本的第*j*个目标意象的认知评价; *K*为受测者人数。

2.3 基于生理心理学的感性意象测量

在科技发展的推动下,能够度量用户生理数据的眼动仪和脑电仪应运而生,同时,生理测量设备在诊断和康复疾病方面已经有了广泛的运用。随着眼动理论研究的进步和精密眼动追踪设备的相继问世及发展,眼动研究已经开始逐步运用在网站、广告多媒体界面等人机交互可用性测试领域。眼动脑电研究在国外相对成熟,以前主要运用在心理学、临床、康复治疗、广告、图形学的认知研究领域等,现阶段的研究主要集中在计算机交互、可用性测试、用户体验等领域。通过眼动生理数据的评价,其可以表示为

$$E = f(w_1\varphi_1, w_2\varphi_2, \dots, w_n\varphi_n) \quad (2-2)$$

其中,*E*表示用户的生理评价期望值; φ_n 表示眼动各指标数据; w_n 表示相应眼动指标数据权重值。

基于上述分析总结,本节通过生理检测分析,运用眼动仪检测设备,从客观生理量的变化来阐述用户在感性工学整个流程中心理量的演变,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较主观的步骤,使样本调查、产品评判结果具有较高的相关性和准确度,从而更精准地把握用户的心理需求,得到更加符合用户情感认知的产品,进而提高产品市场竞争力。

2.3.1 产品意象造型视觉认知

1. 视觉认知

视觉认知以信息加工为核心,主要包含三个步骤:

- (1) 视觉信息的输入；
- (2) 通过编码的方式将信息进行存储；
- (3) 对存储的信息进行输出使用^[17]。

过程如图 2-4 所示,其中生理指标主要包括注视、追随、眼跳等参数,首次注视时间、注视次序、回视时间、回视次数等指标是视觉跟踪试验关注的重点。

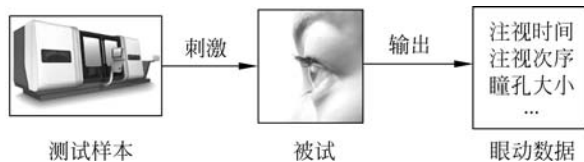


图 2-4 视觉认知过程

假设试验过程中样本集合为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, 被试者集合为 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, 各项眼动指标数据集合 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ 。则产品视觉认知测试样本设计要素评价各项眼动指标数据矩阵为

$$F = \begin{bmatrix} f(a_1, c_1, E) & f(a_1, c_2, E) & \cdots & f(a_1, c_n, E) \\ f(a_2, c_1, E) & f(a_2, c_2, E) & \cdots & f(a_2, c_n, E) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(a_m, c_1, E) & f(a_m, c_2, E) & \cdots & f(a_m, c_n, E) \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

其中, $f(a_i, c_n, E)$ ——被试者 c_n 对样本 a_i 各项眼动指标数据。

2. 眼动指标

眼动技术是对视觉运动测量和记录的过程^[18],可实时地客观反映被试者视觉认知处理信息。眼动仪作为专业的测试设备,可对视线检测追踪,记录被试者的眼动轨迹,用来分析被试者视觉注意模式。其中,主要测量的指标有:

(1) 首次注视时间。指被试者对实验材料的某个区域首次注视到离开注视的时间差,结合眼动数据分析软件,可以获得被试者的首次视觉重心分布情况。

(2) 注视次序。指在实验过程中被试者对实验材料所有区域注视的先后顺序,通过数据的分析可以间接获得被试者对实验材料所有区域的感兴趣情况。

(3) 回视时间。指被试者对实验材料某个区域进行首次注视后再次注视的时间。其代表了被试者对本区域的关注程度。

(4) 回视次数。指被试者对实验材料整体观察后在局部区域反复对比,对已经注视过的区域再次注视的次数。其代表了被试者对所回视区域的重视程度。

与以往外显测量方法相比,眼动测试主要有以下特点:

(1) 直接性。眼动注视点可直接记录被试者的关注内容,实时反映被试者的认知过程,尤其是视觉的注意力。

(2) 高效性。眼动测试可有效缩短测试时间,减轻数据整理、现象解释的难度,直接发现用户界面设计上的缺陷,能有效提高测试的效率。

(3) 自然性。可穿戴、非接触式眼动测试设备的出现使眼动测试对实验条件的要求大大降低,摆脱了实验室环境的限制,更接近自然环境。

(4) 眼动测试能够揭示用户在浏览界面或完成实验任务时视觉注意的认知策略。

2.3.2 视觉跟踪实验的产品造型设计要素评价模型

生理唤醒量是消费者生理反应的量化,代表着生理的激活水平。本节将视觉跟踪实验的眼动指标数据作为生理唤醒量的表征,对产品造型设计要素进行评价。主要步骤如下。

1. 产品目标意象挖掘

目标意象通常代表消费者对产品造型的主要评价。目前,研究者常采用访谈、口语分析、意象尺度等方法挖掘产品目标意象。熵是衡量系统稳定性的重要指标,信息熵是用来表示系统有序程度的负熵,可运用信息熵理论构建以用户、设计师和工程师的复合认知空间为核心的产品造型意象评价模型,用以指导产品典型案例库的选取。因此运用信息熵原理可挖掘最具代表性的产品感性意象,作为视觉跟踪实验的理论依据。

通常情况下,用熵表征的产品意象评价价值计算公式为

$$I_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (2-4)$$

其中, I_j 为意象熵值; p_{ij} 为第 i 个样本的第 j 项目标意象概率, $0 \leq p_{ij} \leq 1$; i 为研究样本, $i=1,2,\dots,m$; j 为目标意象, $j=1,2,\dots,q$; k 为常数, $k=1/\ln m$ 。

将数据归一化处理得到目标意象概率。应用公式(2-4),计算得出第 j 项目标意象的熵值 I_j ,则该目标意象在评价过程中所占权重 w_j 为

$$w_j = \frac{1 - I_j}{\sum_{h=1}^n (1 - I_h)} \quad (2-5)$$

根据所得各意象的权重值,选择权重值较大的为目标意象。

2. 产品造型设计要素分解

在产品造型设计要素分解过程中,常用形态分析法进行。本书中将运用形态分析法对研究样本进行设计要素分解,得到设计要素集合 $G = \{g_1, g_2, \dots, g_t\}$,以便进行后续的产品设计要素评价。

3. 视觉跟踪实验数据评价方法

为了更好地进行视觉实验测试分析,依据定义被试者对感性意象词汇(perceptual image vocabulary, PIV)的首次注视时间为 t ,其中 x 为被试者注视的次序; v_1 为表示先后的顺序因子,取值范围为 $[1, 2]$,首次注视时,注视因子取值为 2,以后每次注视时因子按顺序依次减少 x/u , u 为完成每个测试样本实验的所有有效注视点个数,则按照注视的先后顺序可得到每个 PIV 的首次注视时间为 $[t(2-x/u)]^{[19]}$ 。

当某个 PIV 在测试中有回视时间 t' 时,定义被试者对 PIV 的回视次数为 α ; v_2 为实验过程中回视因子,取值范围为 $[1, 2]$,其中,第一次回视时取值为 1,随着回视次数的增加,回视因子逐步增加 $1/20$,对于每个 PIV 都可能存在多次回视,因此每个 PIV 的回视时间应是多次回视时间的总和,则得到各个 PIV 某一次的回视时间为 $t'[1+(\alpha-1)/20]$ 。

最终,每个 PIV 的比例值为

$$W = \frac{1}{mn} \sum_{h=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{t_{(i,h)} \left(2 - \frac{x_{(i,h)}}{u_{(i,h)}} \right) + \sum_{a=1}^{y_{(i,h)}} t'_{(i,h)} \left(1 + \frac{\alpha_{(i,h)} - 1}{20} \right)}{T} \quad (2-6)$$

其中, W 为 PIV 的比例值; i 为研究样本, $i=1,2,\dots,m$; h 为被试者, $h=1,2,\dots,n$; y 为 PIV 被回视的总次数; T 为完成某个样本实验的所有有效注视时间之和。

在整个 PIV 的排序中,越靠前,比例值越大,说明其在产品造型意象评价过程中越需被重视。

2.3.3 基于心理体验量的产品设计要素评价模型

心理体验量作为消费者针对不同对象的主观感受程度,是其潜意识的情感表征。实验前,被试者将实验任务由意识转化为潜意识;实验过程中,将潜意识里的任务结果转化为意识,并通过口语的方式进行表达,获得相应的心理体验量^[20]。每观察过一个样本,被试者通过口语方式,运用语义差分法对其进行目标意象评分,实验结束后得到的口语评价矩阵 D 表示为

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nm} \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

该数据经数理统计分析可获得心理体验量,再通过数量化 I 类理论计算可得到设计要素的评价,将样本进行造型分解,提取归纳出产品设计要素项目及类目,假设样本共有 θ 个设计要素,第 β 个设计要素的类目为 Y_β ,则对所有样本而言, $\delta_i(\beta, \eta)$ ($\beta=1,2,\dots,\theta$; $\eta=1,2,\dots,Y_\beta$) 称第 β 个设计要素第 η 类在第 i 个样本中的反应,则目标意象与样本形态设计要素间的映射关系:

$$\delta_i(\beta, \eta) = \begin{cases} 1, & \text{第 } i \text{ 个样本中,第 } \beta \text{ 个设计要素的定性数据为第 } \eta \text{ 类} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2-8)$$

建立数学模型:

$$\mu_i = \sum_{\beta=1}^{\theta} \sum_{\eta=1}^{Y_\beta} \delta_i(\beta, \eta) \cdot O_{\beta\eta} + \varepsilon_i \quad (2-9)$$

其中, $O_{\beta\eta}$ 为仅依赖于 β 项目的 η 类目的系数; ε_i 为第 i 次抽样中的随机误差。

求解该模型,输出的复相关系数表示该模型的精度,其越接近 1 表示精度越高;输出的偏相关系数表示设计要素对目标意象的权重,可与生理唤醒量的结果进行对比分析。

2.3.4 实例分析

本节以机床形态为例,进行眼动实验研究。

1. 确定研究样本

首先对国内外机床进行形态分析,从网络、报纸、期刊及宣传手册等渠道收集到机床样