

# 基于眼动赋权及脑电意象认知的 产品形态感性工学模型研究

林丽, 尹鑫, 郭主恩, 邓雅倩, 杨濮瑜  
(贵州大学 机械工程学院, 贵阳 550025)

**摘要:** **目的** 为解决传统认知测量主观性强, 造成后续构建的感性工学模型可靠性低、客观性弱的问题, 提出一种基于眼动赋权及脑电意象认知的产品形态感性工学模型构建方法。**方法** 确定目标感性意象词及产品对象; 基于形态分析法解构产品获取形态特征, 通过正交试验法重构产品实验样本; 实施意象评价及眼-脑联合的意象认知实验, 通过被试者的行为数据分析明确关键意象, 根据眼动数据通过变异系数法计算形态特征认知权重, 并基于脑电数据的时频分析及ERP的P300成分提取, 确定出与意象紧密关联的脑电指标; 引入岭回归建立产品形态的感性工学模型。**结果** 以壁挂式充电桩机身形态进行实例研究, 经验证分析, 该模型预测结果与意象评估结果一致性高。**结论** 该模型可客观准确地预测产品形态意象, 从而更有效地协助设计师进行感性创新设计。

**关键词:** 感性工学; 产品形态; 眼动追踪; 脑电; 感性工学模型; 岭回归

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)14-0037-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.14.004

## KE Model of Product form Based on Eye-tracking Weighting and Image Cognition by EEG

LIN Li, YIN Xin, GUO Zhu-en, DENG Ya-qian, YANG Pu-yu  
(School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**ABSTRACT:** This paper aims to solve the problem that the traditional cognitive measurement has strong subjectivity, which leads to the low reliability and weak objectivity of the subsequent Kansei Engineering (KE) model, thereby proposing a construction method that KE model of product form based on eye-tracking weighting and image cognition by electroencephalogram (EEG). First, the target perceptual image word and product object were identified. Going forward, based on morphological analysis to deconstruct the product to acquire morphological features, the product experimental sample was reconstructed by orthogonal test methods. Next, the image cognition experiment of image evaluation and eye-tracking combined with EEG was performed, the key image was clear by analyzing testee behavioral data, the coefficient of variation method was used to calculate the cognitive weight of morphological features based on eye movement data, and EEG metrics that correlate closely with imagery were identified by time-frequency analysis of EEG data and P300 component extraction of event-related potential (ERP). Finally, ridge regression was introduced to establish the KE models of product form. The charging piles (wall-mounted) were taken as an example, after verification and analysis, the prediction results of the model are highly consistent with the image evaluation results. In conclusion, the model can objectively and accurately predict the image of product forms to assist designers more effectively in perceptual innovative design.

**KEY WORDS:** Kansei Engineering; product form; eye-tracking; electroencephalogram; KE model; ridge regression

收稿日期: 2022-02-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51865003); 贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2018]5781); 贵州省科技计划项目(黔科合基础-ZK[2021]重点055); 贵州大学培育项目(贵大培育[2019]06)

作者简介: 林丽(1973—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为产品设计、感性工学、民间艺术创意设计等。

通信作者: 尹鑫(1995—), 女, 硕士生, 主攻感性工学、产品创新设计。

随着科学技术水平的不断提高,产品设计在满足基本使用功能的同时,也越来越重视满足用户的情感体验及审美感受等需要<sup>[1]</sup>。产品的设计匹配用户感性需求是提升产品用户满意度及商业竞争力的关键步骤<sup>[2]</sup>。感性工学(Kansei Engineering, KE)作为一种帮助用户和设计者分析新产品开发需求和情感的方法,在产品设计领域的应用范围越发广泛<sup>[3]</sup>。目前,国内外众多学者研究了产品色彩<sup>[4-5]</sup>、形态<sup>[6-7]</sup>以及材质<sup>[8-9]</sup>等设计要素与人的感性认知的关系,建立了感性工学模型,基于模型分析帮助设计者量化探讨了用户的情感诉求,明确了产品创新设计的关键设计要素,使具有高度主观的产品设计过程趋向理性和可控化。然而,在传统的感性工学流程中,多采用问卷调查法、语义差异法及口语分析法等主观的测量方法来获取用户的感性认知数据,易受主观情绪的影响,造成KE模型的可靠性低、客观性弱。

如今,由于生理认知测量技术具有精度高、容易捕捉用户情感变化等特性,能更准确地收集用户的感性反馈和隐性知识<sup>[10]</sup>,所以它已成为认知研究的重要手段。目前在产品设计领域多采用脑电技术与眼动技术等方法来测量用户的生理数据,更客观精准地探查用户的情感状态。苏建宁等<sup>[11]</sup>通过被试者的首次注视时间、回视时间、回视次数等眼动数据,建立了设计要素评价模型;杨程等<sup>[12]</sup>通过被试者的行为数据、脑电信号和事件相关电位,构建了产品意象推理模型;Guo等<sup>[13]</sup>结合脑电数据和眼动数据,通过区分和量化产品的视觉美感,建立了一种基于机器学习分类器的量化方法;唐帮备等<sup>[14]</sup>通过联合用户体验的眼动与脑电数据,对汽车工业设计方案进行了评选;郭主恩等<sup>[15]</sup>联合眼动与脑电多模态内隐测量数据,建立了产品意象提取模型。综上可知,眼动追踪技术与脑电技术已逐渐在产品设计研究领域得到了认可和关注。

为此,面向产品创新设计,本文在眼动联合脑电意象认知数据的支持下,基于岭回归构建更可靠客观的感性工学模型,以提高KE模型的实际应用价值。

## 1 模型研究方法

首先,搜集筛选用户感性意象词汇,构建感性意象空间;其次,搜集样本图片,提取样本形态特征,并重构实验样本;随后,实施主观语义评价及基于眼动联合脑电的意象认知实验;再者,通过分析行为数据与脑电数据确定关键指标,并通过眼动数据计算各形态特征影响用户视觉认知的权重值,为产品形态特征参数赋权;最后,基于岭回归建立产品形态的感性工学模型。具体研究流程见图1。

### 1.1 确定感性意象词

通过文献资料获取感性意象词,对收集到的感性评价词通过多维尺度法进行分析,再聚类分析精简意

象词并配对,记为 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ ,其中 $k$ 表示感性词对的数目。

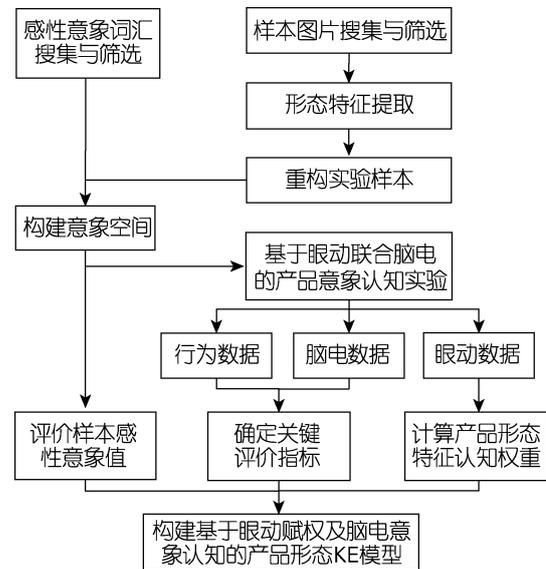


图1 研究流程  
Fig.1 Research process

### 1.2 形态特征解构与实验样本获取

应用聚类分析和形态分析法解构产品形态特征单元图,构建形态特征单元集,确立形态特征项目及其类目,采用正交试验法重组形态特征,获取实验的代表性样本。将产品形态特征单元集记为:

$$X = \begin{Bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

式中, $i$ 表示形态特征的项目分类, $j$ 表示形态特征项目的类目分类。

### 1.3 基于SD法的意象认知

基于语义差异法(Semantic Differential, SD)法的7点量表对代表性样本进行意象评分,并统计意象评价价值。

所有被试者对每个样本的感性意象综合评价价值为:

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n A_{nm}^k \quad (2)$$

式中, $A_{nm}^k$ 为 $k$ 类感性意象下,第 $n$ 个被试者对第 $m$ 个样本的意象评价价值。

### 1.4 眼动联合脑电产品形态意象认知

通过眼动联合脑电产品形态意象认知实验,获取被试者对样本意象判别的眼动与脑电数据。通过眼动数据分析出产品形态认知相关的各眼动指标,记为 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_p\}$ ,其中 $p$ 为眼动指标类别,各样本下

眼动指标综合数据记为:

$$f_b = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n B_{nm}^p \quad (3)$$

式中,  $B_{nm}^p$  为  $p$  类眼动指标下, 第  $n$  个被试者对第  $m$  个样本的眼动数据。

通过脑数据分析出与意象紧密关联的各脑电指标数据, 记为  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_q\}$ , 其中  $q$  为脑电指标类别, 各样本下脑电指标综合数据记为:

$$f_e = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n E_{nm}^q \quad (4)$$

式中,  $E_{nm}^q$  为  $q$  类脑电指标下, 第  $n$  个被试者对第  $m$  个样本的脑电数据。

为了消除不同指标量纲差别的影响, 需要对各指标数据进行标准化处理, 将所有数据映射到  $[0, 1]$ , 计算公式为:

$$F = \frac{f - \min\{f\}}{\max\{f\} - \min\{f\}} \quad (5)$$

式中,  $F$  为标准化后的数据,  $f$  为原始指标数据。

### 1.5 基于眼动赋权的产品形态特征参数化

在传统 KE 模型中产品形态特征参数化将各形态特征的重要性同等看待, 事实上, 不同的产品形态特征对用户认知的影响程度是不同的。由于眼动指标数据可以直接获取用户对产品不同形态特征区域的关注程度, 所以本文采用眼动数据对产品形态特征进行参数赋权。首先通过变异系数法, 基于眼动数据计算出各形态特征对视觉认知影响的权重值, 各项形态特征的权重为:

$$V_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{x_{bi}} \quad (6)$$

$$w_{bi} = V_{bi} / \sum_{i=1}^i V_{bi} \quad (7)$$

式中,  $V_{bi}$  为第  $i$  项形态特征的变异系数, 也称为标准差系数;  $\sigma_{bi}$  为第  $i$  项指标的标准差;  $x_{bi}$  是第  $i$  项指标的平均数。

随后, 进行产品形态特征参数赋权, 过程如下: 设  $L$  为一个产品 ( $X_m$ ) 形态特征项目  $i$  的总数量, 设  $\delta(i, j)$  为产品形态设计项目的参数化转化公式。在第  $m$  个样本中, 若第  $i$  项形态特征的定性数据为第  $j$  类时, 则  $\delta(i, j) = 1$ , 反之, 则  $\delta(i, j) = 0$ 。产品形态特征的加权参数表达式为:

$$x_{ij}^* = iw_{bi} \delta(i, j) = iw_{bi} ([Array(L)])_{i, j} \quad (8)$$

式中,  $w_{bi}$  为第  $i$  项形态特征通过眼动数据  $B$  计算的权重值;  $x_{ij}^*$  为产品形态特征第  $i$  项第  $j$  类目的加权参数值。

### 1.6 模型构建

在模型构建中, 以意象值为因变量, 以基于眼动赋权的形态特征参数以及脑电指标为自变量, 根据岭回归建立感性意象与形态特征及脑电指标的加权关系模型:

$$y_{mk} = (\alpha_1 x_{1j}^* + \alpha_2 x_{2j}^* + \dots + \alpha_i x_{ij}^*) + (\beta_1 F_{e1} + \beta_2 F_{e2} + \dots + \beta_q F_{eq}) + \theta \quad (9)$$

式中,  $y_{mk}$  为样本  $m$  在意象词汇  $k$  下的意象值;  $\alpha$ 、 $\beta$  为岭回归分析后的各项指标权重值;  $\theta$  为常数项。

## 2 实例验证

以壁挂式充电桩样本为例, 应用该方法构建 KE 模型。

### 2.1 确定感性意象词对

初步收集了 100 个描述壁挂式充电桩的感性意象词汇。邀请 20 名被试者对感性意象词汇进行人工分群, 对构建的相似性矩阵进行层次聚类分析后, 将词汇分为 8 个群, 并进一步通过判断矩阵分析出最能体现充电桩感性的 3 组感性意象词对, 即“独特的-大众的”“轻便的-笨重的”“前卫的-复古的”, 它们共同构成一个意象空间。

### 2.2 实验样本形态特征提取与样本重构

壁挂式充电桩产品形态特征繁多, 为保证在后续实验中用户眼脑数据的准确性, 不宜设置过多的实验量, 因此本文以壁挂式充电桩机身造型为例进行研究。针对 60 张壁挂式充电桩图片, 运用多维尺度法、聚类分析和形态分析法对机身造型进行解构, 提取出机身造型的关键形态特征, 确立形态特征项目及其类目, 见表 1。

表 1 解构出的形态特征  
Tab.1 Deconstructed morphological features

项目	类目			
正面轮廓线 $X_a$	$X_{a1}$ 矩形	$X_{a2}$ 多边形	$X_{a3}$ 曲线形	$X_{a4}$ 不规则形
分割线 $X_b$	$X_{b1}$ 直线	$X_{b2}$ 曲线	$X_{b3}$ 直线加曲线	$X_{b4}$ 无
圆角弧度 $X_c$	$X_{c1}$ 小弧度	$X_{c2}$ 中弧度	$X_{c3}$ 大弧度	
侧面轮廓 $X_d$	$X_{d1}$ 矩形	$X_{d2}$ 三角形	$X_{d3}$ 半圆弧形	

采用正交试验法重构具有代表性的产品外观原型, 通过 SPSS 软件生成 16 种正交组合方案。利用 Rhino 6.0 三维建模软件绘制正交组合实体模型, 并赋予统一的材质及色彩渲染, 最终获得 16 个壁挂式充电桩模型。16 个壁挂式充电桩模型的位置与展示方式相同, 包含正视图、侧视图、透视图, 见图 2。

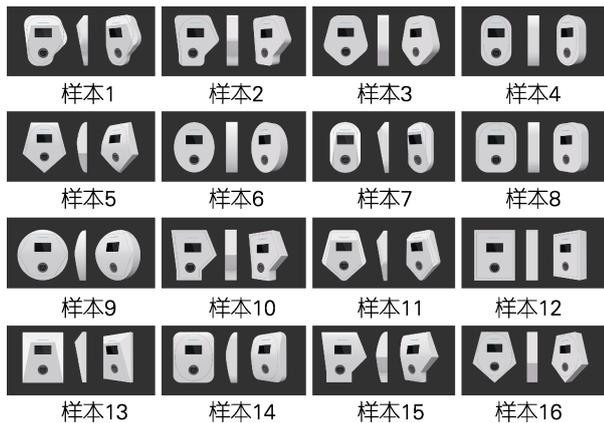


图2 重构的代表性壁挂式充电桩样本  
Fig.2 Reconstructed representative samples of wall-mounted charging piles

### 2.3 基于SD法的产品意象语义评价

基于SD法,得到66位被试者对16个样本的感性意象语义评价价值,见表2。

表2 16个代表样本的感性意象评价价值  
Tab.2 The evaluation value of perceptual image of 16 representative samples

样本	独特的-大众的	轻便的-笨重的	前卫的-复古的
1	-1.576	0.682	-1.455
2	-1.242	0.621	-0.636
3	-1.333	1.182	-0.258
...	...	...	...
14	0.864	-0.515	0.424
15	-1.667	-0.576	-0.985
16	-0.242	0.258	-0.242

### 2.4 眼-脑意象认知实验

在实验中,被试者判断实验样本与意象符合或不符合的情况。采集被试者在不同形态和不同意象匹配情况下的行为数据、脑电数据及眼动数据。基于脑电数据分析脑电成分的波幅及脑区分布情况。基于眼动数据计算各形态特征项目的认知权重值排序。

#### 2.4.1 实验材料

将16张代表性样本图片作为启动材料,采用“启动-目标”实验范式。每张样本图片的大小、分辨率及背景均保持一致。

#### 2.4.2 实验被试者

选择26名在校生自愿参与实验,这些被试者身体健康、无精神病史、视力正常,且均为右利手,对壁挂式充电桩意象有良好的认知能力。

#### 2.4.3 实验设备与流程

实验采用无线多通道EEG系统EPOC Flex Gel Sensor Kit脑电仪采集脑电数据,并采用德国SMI公

司的RED桌面型眼动仪采集眼动数据。

在实验时,首先出现1000ms的注视点“+”光标,接着呈现5000ms的刺激图片,最后显示意象词。由被试者判断产品形态是否符合意象,然后重复该步骤,直至完成所有样本关于所有意象词的判断。

### 2.5 实验数据分析

#### 2.5.1 行为数据分析

1) 被试者反应时分析。反应时表示在意象刺激下,被试者判断匹配结果所花的时间,代表了被试者认知决策所需的时间。统计意象匹配判别的平均反应时数据,通过对比主观评价价值可知,当意象值越高或越低时,用户反应时较短,当意象值越接近0时,被试者反应时较长。被试者反应时与意象值具有显著相关性。

2) 被试者选择分析。以意象选择率作为组内因素,意象值作为组间因素,进行单因素方差分析,发现意象选择率和样本意象值有显著的主效应。

通过意象选择率的方差分析,发现“独特的-大众的”之间方差最大,样本意象差异也更大,因此选择“独特的-大众的”意象用于后续研究,以获取差异性较大的眼动和脑电数据,有利于KE模型的构建。

#### 2.5.2 脑电数据分析

截取样本出现前1000ms到意象词出现后2000ms,共7500ms的脑电数据进行分析。基于32个脑电通道的数据绘制频谱图,每条彩色曲线代表每个通道的脑电数据频率,见图3。由该频谱图可知,左右脑额叶区域的脑电信号最强,其次是枕叶区域,根据脑区思维决策分部可知<sup>[16]</sup>,额叶区域与思维功能相关。因此,选择前额区的脑电电极数据用于后续研究。

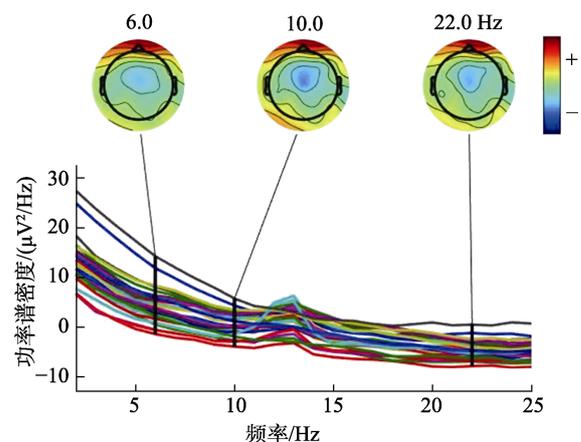


图3 EEG32通道频谱图  
Fig.3 EEG32 channel spectrum diagram

对前额各电极进行时频分析,见图4。该时频分析图由事件相关光谱摄动(Event-related Spectral Perturbation, ERSP)与试问的相位叠加(Inter Trail Coherence, ITC)组成<sup>[12]</sup>。由图4的ERSP图发现, $\alpha$

与  $\beta$  波段的脑电波在样本出现 200 ms 后有明显的能量上升, 当样本出现 400 ms 后, 高频波段能量显著下降, 意象词出现后, 高频波段能量又出现显著提高。在样本及意象词出现 0~500 ms 后, 出现了明显的 ITC 变化, 说明实验相位锁定较好, 能够得到明显的 ERP 波形。

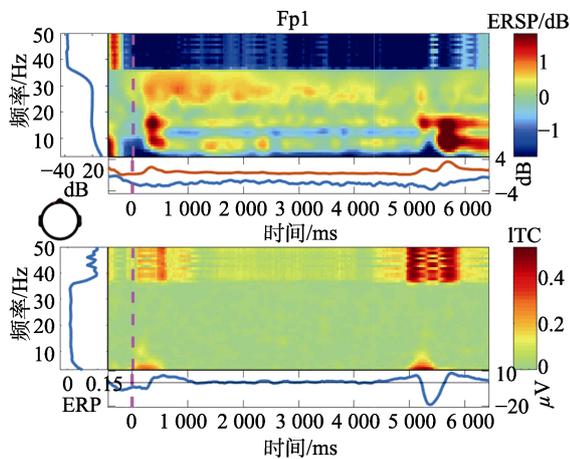


图 4 时频分析图 (Fp1)  
Fig.4 Time frequency analysis chart (Fp1)

对目标阶段所有被试者的脑电数据进行叠加, 得到前额部分电极的总平均波形图, 见图 5。由 ERP 总平均波形图可知, 额区在样本及意象词出现 300 ms 后, 出现了明显的 P300 成分。P300 是 ERP 中一种内源性的、与认知功能相关的特殊诱发电位, 可用于识别与人脑认知过程相关的活动<sup>[17]</sup>。

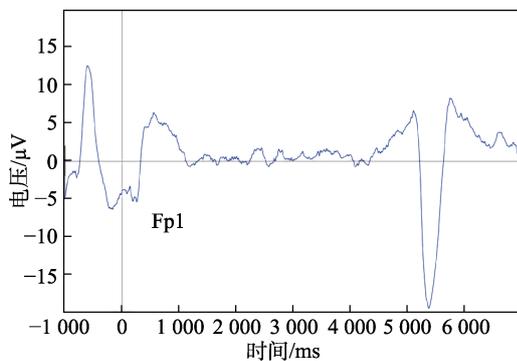


图 5 ERP 总平均波形图 (Fp1)  
Fig.5 ERP total mean waveform (Fp1)

通过 ERPlab 导出同一样本下所有被试者在意象词刺激下的 P300 平均波幅, 获得意象词汇与样本属性匹配状态下的 P300 数据, 进一步分析不同试次的 P300 成分在前额中的差异。提取前额的 13 个电极通道在“独特的-大众的”下的 P300 平均波幅, 以 P300 数据为自变量, 样本感性评价值为因变量, 进行回归分析, 电极 F7、FC1、FT10、FC6 及 FC2 的 P300 平均波幅与意象值具有显著相关性, 因此, 选用 F7、FC1、FT10、FC6 及 FC2 这 5 个电极通道 P300 数据进行后续研究。

### 2.5.3 眼动数据分析

截取样本呈现过程中的眼动数据, 通过样本的形态特征进行 AOI 划分, 获取各形态特征关键运行指标 (Key Performance Indicators, KPI) 值, 见表 3。KPI 数据呈现了各形态特征兴趣区内的分析数据指标, 如 Sequence 注视顺序、Dwell time 注视时间、Revisits 平均回视次数等, 兴趣区的注视点越多、时间越长, 代表该要素越能吸引被试者的注意力, 该形态设计特征在认知中的影响程度越大。

表 3 各形态特征的平均 KPI 值 (以样本 1 为例)  
Tab.3 Average KPI values of various morphological elements (take sample 1 as an example)

眼动指标	$X_a$	$X_b$	$X_c$	$X_d$
注视顺序	1	3	2	4
注视时间 (ms)	772.0	209.2	265.6	380.3
注视人数	104/150	57/150	62/150	87/150
平均回视次数	0.5	0.4	0.4	0.6
平均注视时间 (ms)	182.0	109.1	116.4	159.3
首次注视时间 (ms)	171.5	107.8	114.7	149.3
注视点数	2.8	0.7	0.9	1.4

根据式 (6) — (7) 通过眼动数据计算各形态特征对视觉认知影响的权重值 (见表 4), 最终计算出正面轮廓线、分割线、圆角弧度及侧面轮廓的影响权重值分别为 0.292、0.220、0.238、0.250。

表 4 各形态特征的视觉认知权重值  
Tab.4 The weight value of each morphological feature in visual cognition

	$X_a$	$X_b$	$X_c$	$X_d$
样本 1 变异系数	1.557	1.123	1.203	1.226
样本 2 变异系数	1.500	1.159	1.236	1.278
...	...	...	...	...
样本 16 变异系数	1.064	1.127	1.108	1.135
权重	0.292	0.220	0.238	0.250

### 2.6 产品形态特征参数化处理

根据上述产品的形态特征参数赋权处理过程, 结合各形态特征的视觉认知权重, 得到赋权后的各样本形态特征参数, 见表 5。

### 2.7 感性工学模型构建

#### 2.7.1 确定自变量与因变量

以样本的平均感性意象评价值为模型构建的因变量, 以基于眼动赋权的形态特征参数、被试者行为数据及脑电 P300 平均波幅为自变量, 进行相关性分析, 结果显示指标之间存在多重共线性, 且因变量指标多于样本量, 因此引入岭回归<sup>[18]</sup>构建感性工学模型, 提高模型的数值稳定性及计算精度。

表 5 基于眼动赋权的产品形态特征参数  
Tab.5 Product morphological feature coding based on eye movement weighting

编号	$X_{a1}$	$X_{a2}$	$X_{a3}$	$X_{a4}$	$X_{b1}$	$X_{b2}$	$X_{b3}$	$X_{b4}$	$X_{c1}$	$X_{c2}$	$X_{c3}$	$X_{d1}$	$X_{d2}$	$X_{d3}$
1	0	0	0	1.144	0	0.888	0	0	0	0	0.92	0	1.048	0
2	0	0	0	1.144	0	0	0.888	0	0	0.92	0	1.048	0	0
3	0	0	0	1.144	0.888	0	0	0	0.92	0	0	1.048	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14	0	0	1.144	0	0	0	0	0.888	0	0.92	0	1.048	0	0
15	0	0	1.144	0	0	0	0.888	0	0.92	0	0	0	1.048	0
16	0	0	1.144	0	0.888	0	0	0	0	0	0.92	0	0	1.048

2.7.2 基于岭回归的模型构建

以“独特的-大众的”意象均值为因变量，以眼动赋权后的产品形态特征参数值、标准化后的脑电各

项指标、反应时及选择率为自变量，通过岭回归计算回归系数、常数等数据，整理后可得标准化的各类目系数，见表 6。

表 6 各变量类目得分  
Tab.6 Score of each variable category

项目	类目	类目系数	常数	项目	类目	类目系数	常数
正面轮廓线	$X_{a1}$	0.246	0.038	“独特的” F7 电极 P300	$E_{s1}$	0.134	
	$X_{a2}$	0.015		“独特的” FC1 电极 P300	$E_{s2}$	-0.147	
	$X_{a3}$	0.017		“独特的” FT10 电极 P300	$E_{s3}$	0.36	
	$X_{a4}$	-0.278		“独特的” FC6 电极 P300	$E_{s4}$	-0.042	
分割线	$X_{b1}$	0.036		“独特的” FC2 电极 P300	$E_{s5}$	-0.349	
	$X_{b2}$	0.293		“大众的” F7 电极 P300	$E_{p1}$	-0.325	
	$X_{b3}$	-0.206		“大众的” FC1 电极 P300	$E_{p2}$	0.149	
	$X_{b4}$	-0.124		“大众的” FT10 电极 P300	$E_{p3}$	0.152	
圆角弧度	$X_{c1}$	-0.05		“大众的” FC6 电极 P300	$E_{p4}$	-0.061	
	$X_{c2}$	0.077		“大众的” FC2 电极 P300	$E_{p5}$	0.262	
	$X_{c3}$	-0.011		“独特的” 选择率	$S_1$	-0.993	
侧面轮廓	$X_{d1}$	0.219		“大众的” 选择率	$S_2$	0.824	
	$X_{d2}$	-0.341		“独特的” 反应时	$T_1$	-0.524	
	$X_{d3}$	0.05		“大众的” 反应时	$T_2$	-0.082	

通过岭回归分析得到各项自变量类目得分及常数项值，以各产品形态特征、脑电指标以及行为数据为自变量，感性意象值为因变量，建立的回归模型如式 (10)：

$$y_{mk} = \begin{Bmatrix} 0.246X_{a1}^* \\ 0.015X_{a2}^* \\ 0.017X_{a3}^* \\ -0.278X_{a4}^* \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0.236X_{b1}^* \\ 0.293X_{b2}^* \\ -0.206X_{b3}^* \\ -0.124X_{b4}^* \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0.05X_{c1}^* \\ 0.077X_{c2}^* \\ -0.011X_{c3}^* \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0.219X_{d1}^* \\ -0.341X_{d2}^* \\ 0.05X_{d3}^* \end{Bmatrix} + 0.134E_{s1} - 0.147E_{s2} + 0.360E_{s3} - (10) \\
 0.042E_{s4} - 0.349E_{s5} - 0.325E_{p1} + 0.149E_{p2} + \\
 0.152E_{p3} - 0.061E_{p4} + 0.262E_{p5} - 0.993S_1 + \\
 0.824S_2 - 0.524T_1 - 0.082T_2$$

3 模型性能评估

另选形态特征重构的 4 个样本进行验证。首先，邀请 31 名被试者对“独特的-大众的”意象下 SD 的 7 点量表进行评分，并招募 10 名被试者按照文中实验范式再次实施眼动联合脑电意象认知实验。将各数据代入上述模型，计算意象预测值。具体数值见表 7。

表 7 评价意象值与模型计算值  
Tab.7 Evaluation of image value and model calculation value

	样本 1	样本 2	样本 3	样本 4
独特的- 评价意象值	-1.194	-1.452	0.030	1.032
大众的 模型计算值	-1.235	-1.501	0.043	1.259

对 4 个样本的评价意象值与模型预测值进行配对样本 t 检验, 见表 8。结果表明, 配对样本 t 检验平均值差值接近 0, 且  $p > 0.05$ , 数据间没有呈现出差异性, 即感性词对的评价意象值与模型计算值之间没有显著差异, 证明了模型有效。

表 8 配对样本 t 检验分析结果

Tab.8 Paired sample t test analysis results

配对项	平均值	标准差	平均值差值	t	p
评价意象值	-0.396	1.151			
模型计算值	-0.359	1.272	-0.037	-0.580	0.603

## 4 结语

针对传统认知测量易受主观影响, 造成感性工学模型的客观性较差问题, 提出了一种联合眼动与脑电技术的感性工学模型构建方法。首先, 在确定实验产品和意象词之后, 对市场已有产品进行形态特征提取并重构, 产生新的实验样本。其次, 从眼动联合脑电意象认知实验中获取认知生理数据并分析, 通过眼动数据计算各形态特征认知权重, 同时结合主观意象评价, 明确与意象认知关联的各项指标。再次, 基于岭回归建立形态特征、意象关联指标与意象之间的关系模型。最后, 以壁挂式充电桩机身形态为例验证该方法的可行性。该模型能在产品感性设计中提供有效指导, 为产品创新设计及感性意象评价提供支持。

## 参考文献:

- [1] 陈金亮, 赵锋. 产品感性意象设计研究进展[J]. 包装工程, 2021, 42(20): 178-187.  
CHEN Jin-liang, ZHAO Feng. Review of Product Kansei Image Design[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(20): 178-187.
- [2] AKGÜL E, ÖZMEN M, SINANOĞLU C, et al. Rough Kansei Mining Model for Market-Oriented Product Design[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2020, 2020: 6267031.
- [3] 林丽, 郭主恩, 阳明庆. 面向产品感性意象的造型优化设计研究现状及趋势[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 65-79.  
LIN Li, GUO Zhu-en, YANG Ming-qing. Current Research Situation and Trend of Product Image-Based Modeling Optimization[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 65-79.
- [4] 何劲涛, 陈登凯, 余隋怀. 基于色彩调和理论的文化创意产品色彩设计与评价方法研究[J]. 西北工业大学学报, 2020, 38(4): 766-773.  
HE Jin-tao, CHEN Deng-kai, YU Sui-huai. Research on Color Design and Evaluation Method of Cultural Creative Products Based on Color Harmony Theory[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2020, 38(4): 766-773.
- [5] QUAN Hua-feng, LI Shao-bo, HU Jian-jun. Product Innovation Design Based on Deep Learning and Kansei Engineering[J]. Applied Sciences, 2018, 8(12): 2397.
- [6] 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.
- [7] LV Zhong-yi. Application of Kansei Engineering in Product Form Design[J]. Advanced Materials Research, 2013, 753-755: 1515-1518.
- [8] 唐刚, 康亚君, 卜俊. 基于感性工学的女包材质触觉认知研究[J]. 皮革科学与工程, 2020, 30(4): 77-81.  
TANG Gang, KANG Ya-jun, BU Jun. Research on Tactile Perception of Female Bag Materials Based on Kansei Engineering[J]. Leather Science and Engineering, 2020, 30(4): 77-81.
- [9] VIEIRA J, OSÓRIO 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.
- [10] 谢伟, 辛向阳, 胡伟锋. 产品设计中用户的内隐测量方法研究现状[J]. 机械设计, 2015, 32(2): 105-110.  
XIE Wei, XIN Xiang-yang, HU Wei-feng. Research Status on User Implicit Measurement Method in Product Design[J]. Journal of Machine Design, 2015, 32(2): 105-110.
- [11] 苏建宁, 邱凯, 张书涛, 等. 基于眼动数据的产品造型设计要素评价方法研究[J]. 机械设计, 2017, 34(10): 124-128.  
SU Jian-ning, QIU Kai, ZHANG Shu-tao, et al. Evaluation Method Study of Product Modeling Design Elements Based on Eye Movement Data[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(10): 124-128.
- [12] 杨程, 陈辰, 唐智川. 基于脑电的产品意象推理模型研究[J]. 机械工程学报, 2018, 54(23): 126-136.  
YANG Cheng, CHEN Chen, TANG Zhi-chuan. Study of Electroencephalography Cognitive Model of Product Image[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2018, 54(23): 126-136.
- [13] GUO Fu, LI Ming-ming, HU Ming-cai, et al. Distinguishing and Quantifying the Visual Aesthetics of a Product: An Integrated Approach of Eye-Tracking and EEG[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2019, 71: 47-56.
- [14] 唐帮备, 郭钢, 王凯, 等. 联合眼动和脑电的汽车工业设计用户体验评选[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(6): 1449-1459.  
TANG Bang-bei, GUO Gang, WANG Kai, et al. User Experience Evaluation and Selection of Automobile Industry Design with Eye Movement and Electroencephalogram[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(6): 1449-1459.

- [15] 郭主恩, 林丽, 阳明庆, 等. 基于无意识多模态内隐测量的产品意象提取模型构建[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(4): 1150-1163.  
GUO Zhu-en, LIN Li, YANG Ming-qing, et al. Product Image Extraction Model Construction Based on Multi-Modal Implicit Measurement of Unconsciousness[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2022, 28(4): 1150-1163.
- [16] MICHAEL S, RICHARD B, GEORGE R. 认知神经科学[M]. 中国轻工业出版社, 2011.
- MICHAEL S, RICHARD B, GEORGE R. Cognitive neuroscience[M]. China Light Industry Publishing, 2011.
- [17] MAJHI S K, KHANDELWAL K, SHRIVASTAVA M K. Tinnitus and Cognition: Linked?[J]. Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery, 2019, 71(S2): 1426-1430.
- [18] ZOU H. Comment: Ridge Regression-still Inspiring after 50 Years[J]. Technometrics. 2020, 62(4): 456-458.

责任编辑: 马梦遥

(上接第 16 页)

- [95] MOE K. Integrated design in contemporary architecture[M]. New York: Princeton Architectural Press, 2008
- [96] LIT P, DELCHAMBRE A. Integrated Design of a Product Family and Its Assembly System[M]. Boston, MA: Springer US, 2003.
- [97] 曾庆抒, 赵江洪. 电动汽车内室软硬人机界面的整合设计[J]. 包装工程, 2015, 36(8): 47-50.  
ZENG Qing-shu, ZHAO Jiang-hong. The Integral Design of Soft and Hard Human Machine Interface in Interior Design for Electric Vehicle[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(8): 47-50.
- [98] 杨建明, 李泽航, 李冠斌, 等. 基于协同设计理念的军事信息系统设计研究[J]. 包装工程, 2022, 43(2): 1-9.  
YANG Jian-ming, LI Ze-hang, LI Guan-bin, et al. Military Information System Design Based on Collaborative Design Theory[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(2): 1-9.
- [99] 赵丹华, 顾方舟. 汽车内饰的造型设计与设计研究[J]. 包装工程, 2019, 40(16): 43-61.  
ZHAO Dan-hua, GU Fang-zhou. Automobile Interior Form Design and Design Research[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(16): 43-61.
- [100] 孙海洋, 吴祐昕. 移动应用中的场景交互设计研究[J]. 设计, 2017(10): 104-105.  
SUN Hai-yang, WU You-xin. The Scenario Interaction Design in Mobile Applications[J]. Design, 2017(10): 104-105.
- [101] New Atlas. Rockwell Collins Unveils First Touch-control Primary Flight Display[EB/OL]. (2011-08-01) [2021-11-13]. <https://newatlas.com/touch-control-primary-flight-display/19390/>.

责任编辑: 陈作

(上接第 36 页)

- [21] 杨世莹, 高健. SPSS 统计分析案例教程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2016.  
YANG Shiyang, GAO Jian. Spss Statistical Analysis and Case Studies[M]. TsingHua University Press, 2016.
- [22] LAIOS L, GIANNATIS J. Ergonomic Evaluation and Redesign of Children Bicycles Based on Anthropometric Data[J]. Applied Ergonomics, 2010, 41(3): 428-435.
- [23] HSIAO H, WHITESTONE J, KAU T Y, et al. Firefighter Hand Anthropometry and Structural Glove Sizing: A New Perspective[J]. Human Factors, 2015, 57(8): 1359-1377.
- [24] SABIR S. Does Product Design Stimulate Customer Satisfaction? Mediating Role of Affect[J]. Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics, 2020(1): 1-15.
- [25] 王玉婷, 张守京. 老年浴缸设计中的感性要素研究[J]. 包装工程, 2020, 41(10): 168-174.  
WANG Yu-ting, ZHANG Shou-jing. Sensibility Elements in the Elderly Bathtub Design[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(10): 168-174.
- [26] 张爱莉, 杨欣蕾, 杨昌鸣. 基于用户感性需求的数据线收纳产品设计[J]. 包装工程, 2022, 43(8): 190-195.  
ZHANG Aili, YANG Xinlei. Product Design for Cable Storage Based on User's Perceptual Needs[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(8): 190-195.
- [27] POLS A J K. Characterising Affordances: The Descriptions-of-Affordances-Model[J]. Design Studies, 2012, 33(2): 113-125.

责任编辑: 陈作