

# 基于脑电探究外观特征对产品识别的影响

杨程<sup>1</sup>, 曾静<sup>2</sup>, 陈辰<sup>2</sup>, 王倩<sup>2</sup>

(1. 浙江大学城市学院, 浙江杭州 310011; 2. 浙江大学现代工业设计研究所, 浙江杭州 310012)

**摘要:** 采取行为实验和脑电实验相结合的方法, 分析产品外观特征元素(形状、颜色、材质)及其熟悉度(低、中、高)对产品识别的影响。脑电实验前, 通过问卷获取被试的主观评价数据, 进行实验假设。脑电实验采用经典的“学习-再认”范式, 实验材料为3(形状、颜色、材质)×3(低、中、高)混合设计。结果表明: 低和高熟悉度的颜色特征、低熟悉度的形状特征以及高熟悉度的材质特征能够有效提高产品的识别度。

**关键词:** 产品识别; 特征元素; 熟悉度; 事件相关电位(ERP)

**中图分类号:** TP391.7

**文献标志码:** A

## Investigation on Effect of Appearance Characteristics on Product Identity Based on EEG

YANG Cheng<sup>1</sup>, ZENG Jing<sup>2</sup>, CHEN Chen<sup>2</sup>, WANG Qian<sup>2</sup>

(1. City College, Zhejiang University, Hangzhou 310011, China;

2. Institute of Modern Industrial Design, Zhejiang University, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** A combination of behavioral and electroencephalogram (EEG) experiments was adopted to analyze the effect of appearance characteristics (shape, color, material) and its familiarity (low, medium, high) on product identity. Before the experiment, subjective evaluation data from participants were obtained through questionnaires and hypotheses were proposed. The EEG experiment is based on the classic learning-recognition paradigm, with the experimental materials of 3 (shape, color, material) × 3 (low, medium, high) hybrid design. The results show that low and high familiar color characteristics, low familiar shape characteristics, and high familiar material characteristics can enhance product identification degree.

**Key words:** product identity; characteristic elements; familiarity; event-related potential (ERP)

产品设计从过去以产品为中心转向以市场为中心, 继而转到以用户为中心<sup>[1]</sup>。为了使产品在设计竞争中脱颖而出, 进行产品创新设计时需要充分考虑用户的需求偏好<sup>[2]</sup>。消费者的消费冲动, 很大一部分是由色彩、造型、质感等诸多外在因素带来的直觉感受所决定的<sup>[3]</sup>。消费者对产品外观的偏好大于对性能的偏好<sup>[4]</sup>, 产品的外观设计对产品购买有很大影响, 识别度高的产品易于从平庸中脱颖而出。产品识别通常有两种定义, 一种是从企业形象角度定义产品识别<sup>[5]</sup>, 另一种是从产品属性与用户感受角度定义产品识别。

在消费者购物过程中, 有识别度的产品往往会给消费者留下更深的印象。一些研究基于用户体验, 利用各类计算模型来研究产品识别<sup>[6]</sup>。另外, 有研究提出视觉识别可以通过产品意象以及特征映射进行构建<sup>[7]</sup>。还有研究者通过分析用户认知过程的特征提出了产品识别设计原型的构建方法以提高企业在市场中的竞争力<sup>[8]</sup>。以上方法给产品识别研究提供了有价值的思路, 但是研究手段主要集中在主观评价和行为实验, 缺乏定量的生理数据分析。

随着信息技术的发展, 基于人体生理信号特别是脑信号的研究手段开始应用。事件相关电位(ERP)是人们对客观事物进行认知加工时, 通过平均叠加法从头颅表面记录到的脑电位, 是一种特殊的脑诱发电位<sup>[9]</sup>。基于ERP的产品设计认知研究也开始逐渐普及。陈默等<sup>[10]</sup>通过ERP研究了用户对产品意象与语义匹配的评价反馈, 认为ERP能客观且有效地获取用户对产品意象认知的内隐反馈, 为建立产品意象的精确评估模型提供了量化指标。Sylcott等<sup>[11]</sup>从脑认知的角度研究产品造型和功能对用户评价的影响, 通过改变汽车轮廓造型和对应的功能参数分析用户决策的差异。Nittono<sup>[12]</sup>采用

收稿日期: 2019-12-17

基金项目: 国家自然科学基金(61672451); 浙江省自然科学基金(LY18E050014)

第一作者: 杨程(1978—), 男, 教授, 工学博士, 主要研究方向为设计认知、智能设计与交互设计。

E-mail: yangchengyc@126.com

通信作者: 曾静(1994—), 女, 硕士生, 主要研究方向为基于脑电的设计认知。E-mail: zenganiu@zju.edu.cn



论文  
拓展  
介绍

ERP研究了不同商品外观吸引度下的用户脑认知,发现前额电极出现的晚期正电位(LPP)能够用于评价商品外观的吸引度。Yang等<sup>[13]</sup>用脑电数据量化用户的感性认知,探求消费者认知过程脑电与产品意象的对应关系。Guo等<sup>[14]</sup>提出了一个美学量化方法,可以帮助设计师衡量产品的视觉美感。Fitri等<sup>[15]</sup>用脑电技术研究了产品颜色对消费者选择的影响。王雪霜等<sup>[16]</sup>通过ERP测量用户对不同产品原型的情感偏好水平,从而获取在外观上相对更符合用户需求的产品,为整体用户体验的提升奠定基础。

已有研究表明,ERP成分与设计认知加工过程有关。P300与认知、理解和判断有关,还与记忆更新等认知功能有关<sup>[17]</sup>。N400与语义加工有关,在产品设计中可以作为产品意象<sup>[10]</sup>和语义评估<sup>[18]</sup>的指标。N200反映视觉皮质对刺激的加工<sup>[19]</sup>,被认为与决策认知过程有关<sup>[20]</sup>。在再认过程中,旧刺激(学习阶段出现过的椅子图片)比新刺激(学习阶段未出现过的椅子图片)诱发出更正性化的ERP波形,称为再认的新旧效应<sup>[21]</sup>,该效应一般出现于刺激出现后的300~500 ms,持续300~600 ms。根据主要的ERP成分和脑区分布可将新旧效应分为FN400额区新旧效应与晚期正成分(LPC)顶区新旧效应<sup>[22]</sup>。FN400反映的是早期额区效应(300~500 ms),LPC则反映晚期顶区效应(500~800 ms)。再认的双加工理论模型<sup>[23]</sup>认为,再认包含了两种加工,即熟悉感和回忆。额区新旧效应300~500 ms出现在双侧额叶电极,与熟悉感有关。顶区新旧效应500~800 ms对记忆痕迹的强度敏感,反映了外显记忆中对刺激的成功检索和回忆。综上所述,脑电实验和对再认新旧效应的分析,能够作为产品识别度的一种度量手段。

产品识别的基础是产品特征。从产品外观特征出发,通过ERP研究外观特征元素及其熟悉度对产

品整体识别度的影响,对今后的产品设计创新实践有指导意义。

## 1 研究假设

选择椅子作为研究载体。椅子是具有代表性的日常产品。在生活中,它被广泛使用,可以让实验过程更贴近真实的消费环境,也更容易对熟悉度分级。产品熟悉度是产品知识的一个维度,表示消费者积累的产品相关经验的数量<sup>[24]</sup>。另外,椅子的外观特征明显,易于对外观特征元素进行分解与提取;椅子的功能比较一致,针对椅子外观的评价可以在较公平的基础上进行。

### 1.1 事前问卷及分析

在脑电实验前,被试通过问卷评价各特征元素(形状、颜色、材质)对产品整体识别度的影响。采用“1~9标度方法”,评价特征元素对椅子整体识别贡献度的两两对比标度,含义如表1所示。被试首先阅读问卷填写说明,浏览需要填写的表格并熟悉打分要求,利用九分位标度,为这三个特征元素对产品整体识别的贡献度进行两两对比打分。对24名被试的问卷数据进行几何平均,得到三种特征元素对椅子的整体识别贡献度的判断矩阵 $A$ ,如表2所示。采用和积法计算判断矩阵 $A$ 的特征向量,对 $A$ 的每一列元素进行归一化,将归一化矩阵按行相加得到向量 $M$ ,再对 $M$ 作归一化处理,得到特征向量,即各特征元素的贡献度权重。对于椅子整体识别度的贡献中,颜色占39.62%,形状占37.65%,材料占22.73%。因此,各特征元素在椅子整体识别贡献度上的排序为颜色>形状>材质。

对被试的判断进行一致性检验,一致性指标 $C_1=0.000129$ ,检验系数 $C_R=0.000223<0.1$ ,可以认为被试的判断具有满意的一致性。

表1 打分标度

Tab.1 Scoring scale

标度	定义
1	元素 <i>i</i> 与 <i>j</i> 相比,对椅子识别贡献度一致
3	元素 <i>i</i> 与 <i>j</i> 相比, <i>i</i> 比 <i>j</i> 贡献度稍高
5	元素 <i>i</i> 与 <i>j</i> 相比, <i>i</i> 比 <i>j</i> 贡献度明显高
7	元素 <i>i</i> 与 <i>j</i> 相比, <i>i</i> 比 <i>j</i> 贡献度强烈高
9	元素 <i>i</i> 与 <i>j</i> 相比, <i>i</i> 比 <i>j</i> 贡献度极端高
2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中间值
倒数	若元素 <i>i</i> 与 <i>j</i> 的贡献度之比为 $a_{ij}$ ,则元素 <i>j</i> 与元素 <i>i</i> 贡献度之比为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

### 1.2 提出假设

研究目的是探索产品外观特征元素及其熟悉度

对产品识别的影响。根据事前问卷的结果,提出假设一:不同特征元素(形状、颜色、材质)对产品识别

表2 三种特征对椅子识别贡献度的判断矩阵及其权重

Tab.2 Judgment matrix of three characteristics for chair recognition contribution and its weight

特征	识别贡献度			贡献度权重
	形状	颜色	材质	
形状	1.000 0	0.935 2	1.683 4	0.376 5
颜色	1.069 3	1.000 0	1.715 3	0.396 2
材质	0.594 0	0.583 0	1.000 0	0.227 3

的贡献度不同,且为颜色>形状>材质。熟悉感与认知加工过程相关<sup>[25]</sup>,据此提出假设二:同一特征元素组中,不同熟悉度对用户产品识别有影响。

## 2 脑电实验

### 2.1 被试

本次实验招募了24名被试参加,年龄在21~27周岁之间,平均年龄为24周岁,学历均为本科及以上,均无脑损伤史,均为右利手,视力正常或矫正视力正常,色觉正常。实验获得的19份有效脑电数据中,来自男性被试9名,女性被试10名。5份无效数据中,1名被试的数据因该被试在实验过程中过度频繁眨眼而被排除,4名被试的数据因经过脑电(EEG)数据分析后有效片段太少而被排除。

### 2.2 设备

实验在光线柔和,无电磁干扰的隔离室内进行,被试用的显示屏被安置在一面空白墙的前面。实验设备为Brain Products GmbH制造的Brain Vision actiCAP电极帽,32通道。电极位于标准位置,电极位置分布如图1所示。Fz为采集数据时的参考电极。GND为接地电极,置于前额发际线下1 cm左右。头皮与电极之间的阻抗 $\leq 5$  k $\Omega$ ,采样率为500 Hz。数据预处理时,设置滤波带通0.05~40.00 Hz,设置双侧乳突TP9和TP10为转换后的参考电极,设置Fp1为垂直眼电(VEOG)。

### 2.3 材料

对椅子的造型、颜色、材质进行筛选和总结,得到较具代表性的63种椅子形状、32种椅子颜色和12种材质。产品熟悉度的测量借鉴相关研究<sup>[25]</sup>,通过专家小组分别对形状、颜色、材质的熟悉度进行打分,剔除差异较大的材料后,得到每类特征元素的熟悉度高中低分组。根据组别将不同熟悉度的特征重组,如形状组由不同熟悉度的形状特征与高熟悉度的材质和颜色特征重组后得到。最终获得90张经过特征重组的椅子图片,采用3(特征元素:形状、颜色、材质) $\times$ 3(熟悉度:低、中、高)混合设计,形状组、颜色组、材质组椅

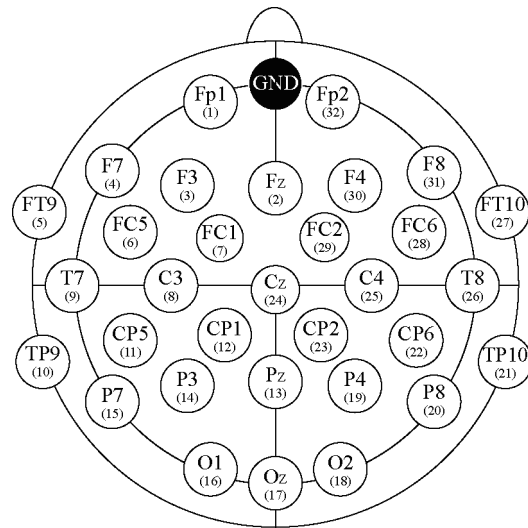


图1 32个导电电极位置分布

Fig.1 32-electrode position distribution

子图片各30张,每组30张图片中,低、中、高熟悉度各占10张,如图2所示。为排除不相关因素的影响,所有图片均经过统一尺寸处理,背景均为白色,椅子均朝同一方向(45°)置于屏幕中央。在学习阶段,从90张椅子图片中随机选取45张作为刺激材料;在再认阶段,90张椅子图片随机全部呈现。



图2 形状组、颜色组、材质组不同熟悉度的实验材料举例  
Fig.2 Examples of experimental materials with different familiarities in shape, color and material groups

### 2.4 实验程序

脑电实验采用经典的“学习-再认”<sup>[26]</sup>实验范式,分为学习阶段、休息阶段和再认阶段三部分,流程如图3所示。

实验开始前,告知被试实验目的、实验流程以及

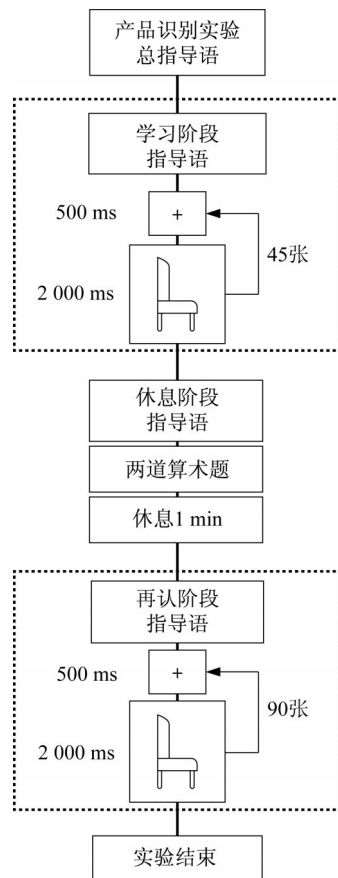


图3 脑电实验流程

Fig.3 EEG experimental procedure

实验过程中的注意事项。将电极帽以从前往后的方式佩戴在被试的头上,在电极和对应头皮位置打上导电膏后将电极插入电极帽,调整电极和头皮的接触直到头皮与电极之间的阻抗 $\leq 5\text{ k}\Omega$ ,即记录软件

界面相应位置电极颜色显示为绿色。被试坐在屏幕前,距离、姿势等调整至舒适状态,眼睛与屏幕的距离约为62~68 cm。

学习阶段,从90张实验材料中随机自动呈现45张,要求被试尽量记住所看到的椅子图片但不做任何反应。每次测试首先在屏幕中央呈现引导被试注意的“+”,呈现时间为500 ms,然后随机呈现椅子图片,呈现时间为2 000 ms。学习阶段完成后,进入休息阶段。

在休息阶段,被试首先需要完成两道算术题,算术时大脑进行逻辑推理和数学计算,这是与学习阶段视觉识别和记忆差异较大的大脑活动,可以强制被试不去回忆之前看过的图片,以保证再认阶段的有效性。算术题完成后,屏幕呈现白屏1 min,1 min后自动进入再认阶段。

再认阶段,随机自动呈现90张椅子图片,其中包括学习阶段出现过的45张,被试被明确要求回忆之前看过的椅子图片,并做出判断反应:若在学习阶段见过则按“←”键,没有则按“→”键。做出判断反应后自动呈现下一刺激,每次测试首先在屏幕中央呈现引导被试注意的“+”,呈现时间为500 ms,然后随机呈现刺激图片,呈现时间最多为2 000 ms。

### 3 实验结果

#### 3.1 行为数据

E-prime 程序记录了再认阶段被试做出的判断和反应时间。各个特征组的平均正确率和平均反应时间计算结果如表3所示。

表3 被试的平均正确率与平均反应时间(均值±方差)

Tab.3 Average correct rate and average reaction time

组别	行为数据	特征熟悉度		
		低	中	高
形状组	正确率/%	79.00±13.75	67.50±15.77	54.50±15.64
	反应时间/ms	947.22±157.80	969.82±157.43	992.75±167.25
颜色组	正确率/%	75.50±13.59	67.50±17.28	64.00±17.44
	反应时间/ms	941.97±147.92	993.20±168.87	968.81±151.52
材质组	正确率/%	67.50±18.13	68.50±16.52	69.00±18.41
	反应时间/ms	938.73±157.52	954.96±156.92	1 007.57±166.61

在反应时间上,形状组、颜色组和材质组均呈现低熟悉度下反应时间最短的现象。进一步观察,在低、中熟悉度下,材质组反应时间最短;高熟悉度下,颜色组反应时间最短。对反应时间进行3(特征元素:形状、颜色、材质) $\times$ 3(熟悉度:低、中、高)两因素重复测量方差分析,发现特征元素主效应不显著;熟悉度主效应显著, $F(2, 36)=3.308, p=0.048<$

0.05。特征元素与熟悉度交互效应不显著。

在再认正确率上,形状组与颜色组呈现组内特征熟悉度越低,正确率越高的现象;而材质组在不同熟悉度下的正确率无较大差别。低熟悉度下,形状组和颜色组的正确率高于材质组;中熟悉度下,三组正确率无较大差别;高熟悉度下,形状组正确率明显低于颜色组和材质组。对正确率进行3(特征元素:

形状、颜色、材质)×3(熟悉度:低、中、高)两因素重复测量方差分析,发现特征元素主效应不显著;熟悉度主效应显著, $F(2,36)=8.915, p=0.001<0.05$ 。特征元素与熟悉度交互作用显著, $F(4,72)=4.893, p=0.002<0.05$ 。两者交互作用如图4所示。

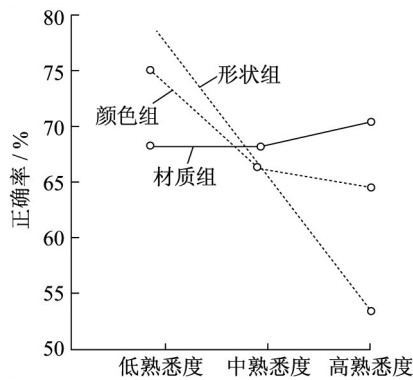


图4 特征元素和熟悉度在正确率上的交互作用

Fig.4 Interaction of feature element and familiarity on correct rate

### 3.2 脑电数据

用分析软件Brain Vision Analyzer 2.1对采集到的原始数据进行一系列处理,如滤波、参考电极设置、眼电纠正、伪迹去除、基线矫正等,对相应的时频图、波形图和平均波幅等进行分析。

#### 3.2.1 时频分析

分析时程为刺激呈现前200 ms到刺激呈现后800 ms。通过快速傅里叶变换(FFT)获得EEG数据的频谱图。 $\alpha$ 波(7.5~12.5 Hz)被证明与想象有关<sup>[27]</sup>, $\beta$ 波(12.5~30.0 Hz)与注意以及思维有关<sup>[28]</sup>,因此将 $\alpha$ 波和 $\beta$ 波的头皮功率分布图作为依据,如图5所示。红色表示功率较高,绿色表示功率较低,可知前额区和中央区的脑电信号最强。额区红色区域主要覆盖电极Fp1和Fp2,这两个电极靠近眼皮,伪迹较大,因此选择中央区的Cz电极做进一步分析。

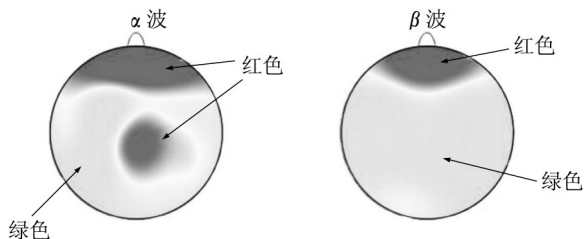


图5  $\alpha$ 和 $\beta$ 波的头皮功率分布图

Fig.5 Power distribution diagram of  $\alpha$ -wave and  $\beta$ -wave

通过小波变换(WT)得到不同特征元素和不同熟悉度下各个通道的时频分析图,Cz通道时频分析

图如图6所示。在认知的早期阶段即刺激材料出现后的0~400 ms,形状组低、高熟悉度和材质组高熟悉度出现了明显的高频波段( $\beta$ 波)能量提高,形状组低熟悉度和材质组高熟悉度出现了明显的低频波段( $\alpha$ 波)能量提高。在认知的晚期阶段即刺激材料出现后的500~800 ms,形状组低熟悉度、颜色组中熟悉度和材质组低、中熟悉度出现明显的高频波段( $\beta$ 波)能量提高,形状组低、高熟悉度和颜色组低熟悉度以及材质组低、高熟悉度出现了明显的低频波段( $\alpha$ 波)能量提高。能量提高说明大脑动用了更多的认知资源对刺激材料进行信息加工。

#### 3.2.2 ERP分析

分析时程为刺激呈现后800 ms,基线为刺激前200 ms。在再认过程中,不同特征元素组不同脑区新旧刺激的ERPs平均波形如图7所示,不同熟悉度下不同脑区新旧刺激的ERPs平均波形图如图8所示。

比较不同特征元素组不同脑区的新旧刺激(见图7)发现:在额区(F3)、中央位置(Cz)均诱发出了N200、P300、N400和LPC,在顶区(Pz)诱发出了P300和N400。形状组位于额区(F3)、中央区(Cz)和顶区(Pz)的旧刺激,均在刺激产生后300~800 ms时间段内比新刺激诱发出更正向的ERP波形,初步认为反映了FN400额区新旧效应和LPC新旧效应。比较不同熟悉度下不同脑区的新旧刺激(见图8)发现:在额区(F3)、中央区(Cz)均诱发出了N200、P300、N400和LPC,在顶区(Pz)诱发出了P300和N400。低熟悉度下位于中央区(Cz)的旧刺激,在刺激产生后420~580 ms时间段内比新刺激诱发出更正向的ERP波形,初步认为反映了LPC新旧效应;中熟悉度下位于额区(F3)、中央区(Cz)和顶区(Pz)的旧刺激,均在刺激产生后0~800 ms时间段内比新刺激诱发出更正向的ERP波形,初步认为反映了FN400额区新旧效应和LPC新旧效应。行为学指标正确率和反应时间的分析结果显示,熟悉度的主效应均为显著,不同熟悉度下的正确率为低熟悉度>中熟悉度>高熟悉度,反应时间为低熟悉度<中熟悉度<高熟悉度。结合图8来看,对于不同熟悉度的额区(F3)波形图,呈现熟悉度越高,ERP成分的波幅越大。波幅大说明注意资源增大<sup>[9]</sup>,大脑动用更多的资源来加工信息,从而花费更多的时间,这与行为数据呈现一致性。

对再认阶段的平均波幅进行2(新旧刺激:新刺激、旧刺激)×3(特征元素:形状、颜色、材质)×3(熟悉度:低、中、高)×5(脑区电极:额区F3、F4,中央区

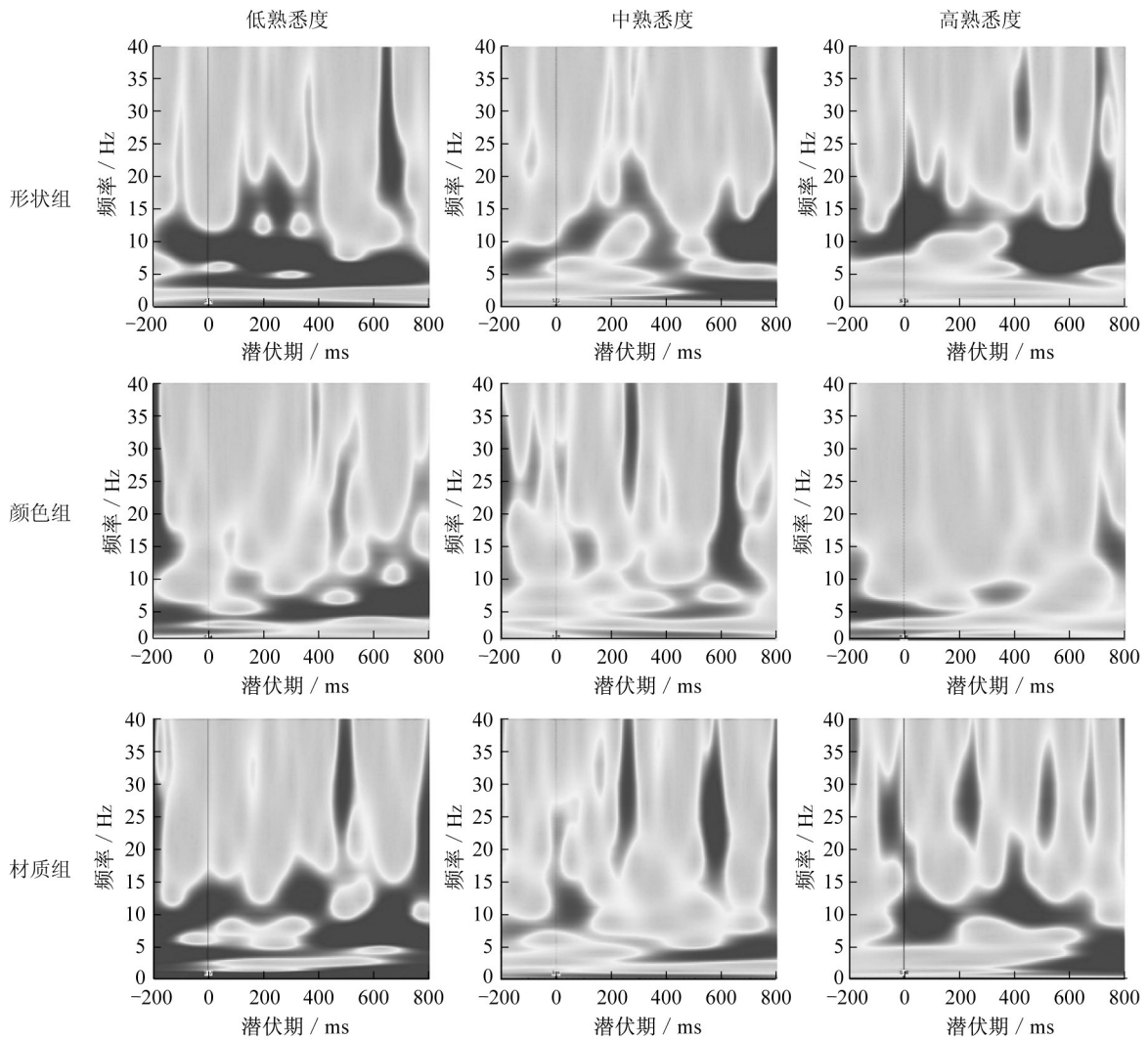


图6 不同特征元素及其熟悉度下的时频图(Cz通道)

Fig.6 Time-frequency diagram for different feature elements and their familiarities (Cz channel)

Cz, 顶区Pz, 枕区Oz)四因素重复测量方差分析,对于交互作用显著的因素再进行简单效应检验。根据相关文献<sup>[22]</sup>的新旧效应以及对ERP平均波形图新旧效应出现时间的观察,选取测量的时间窗口为200~350 ms、350~500 ms、500~800 ms。

在时窗200~350 ms内,电极位置主效应显著, $F(1.58, 28.49)=9.524, p=0.001<0.05$ 。新旧刺激与特征元素存在交互效应, $F(2, 36)=3.466, p=0.042<0.05$ 。新旧刺激与熟悉度存在交互效应, $F(2, 36)=3.924, p=0.029<0.05$ 。新旧刺激、熟悉度、电极位置与特征元素四者存在交互作用, $F(6.84, 123.19)=2.096, p=0.05$ 。进行简单效应检验,仅展示交互效应显著的结果,如表4所示。在颜色组低熟悉度和中熟悉度下,左前额叶(F3)出现明显新旧效应;在颜色组高熟悉度下,额区(F3、F4)和中央区(Cz)均出现明显新旧效应;在材质组高熟

悉度下,枕区(Oz)出现明显新旧效应;在形状组低熟悉度下,额区(F3、F4)出现新旧效应。

在时窗350~500 ms内,特征元素主效应显著, $F(2, 36)=5.704, p=0.007<0.05$ 。电极位置主效应显著, $F(1.67, 30.12)=13.542, p=0.000<0.05$ 。新旧刺激与特征元素存在交互效应, $F(2, 36)=6.635, p=0.004<0.05$ 。进行简单效应检验,仅展示交互效应显著的结果,如表5所示。在颜色组低熟悉度下,左前额叶(F3)出现新旧效应;在颜色组高熟悉度下,额区(F3、F4)、中央区(Cz)和枕区(Oz)均出现明显新旧效应;在材质组高熟悉度下,枕区(Oz)出现明显新旧效应;在形状组低熟悉度下,额区(F3、F4)出现明显新旧效应。

在时窗500~800 ms内,特征元素主效应显著, $F(2, 36)=4.769, p=0.015<0.05$ ;脑区电极主效应显著, $F(2.04, 36.64)=8.610, p=0.001<0.05$ 。电

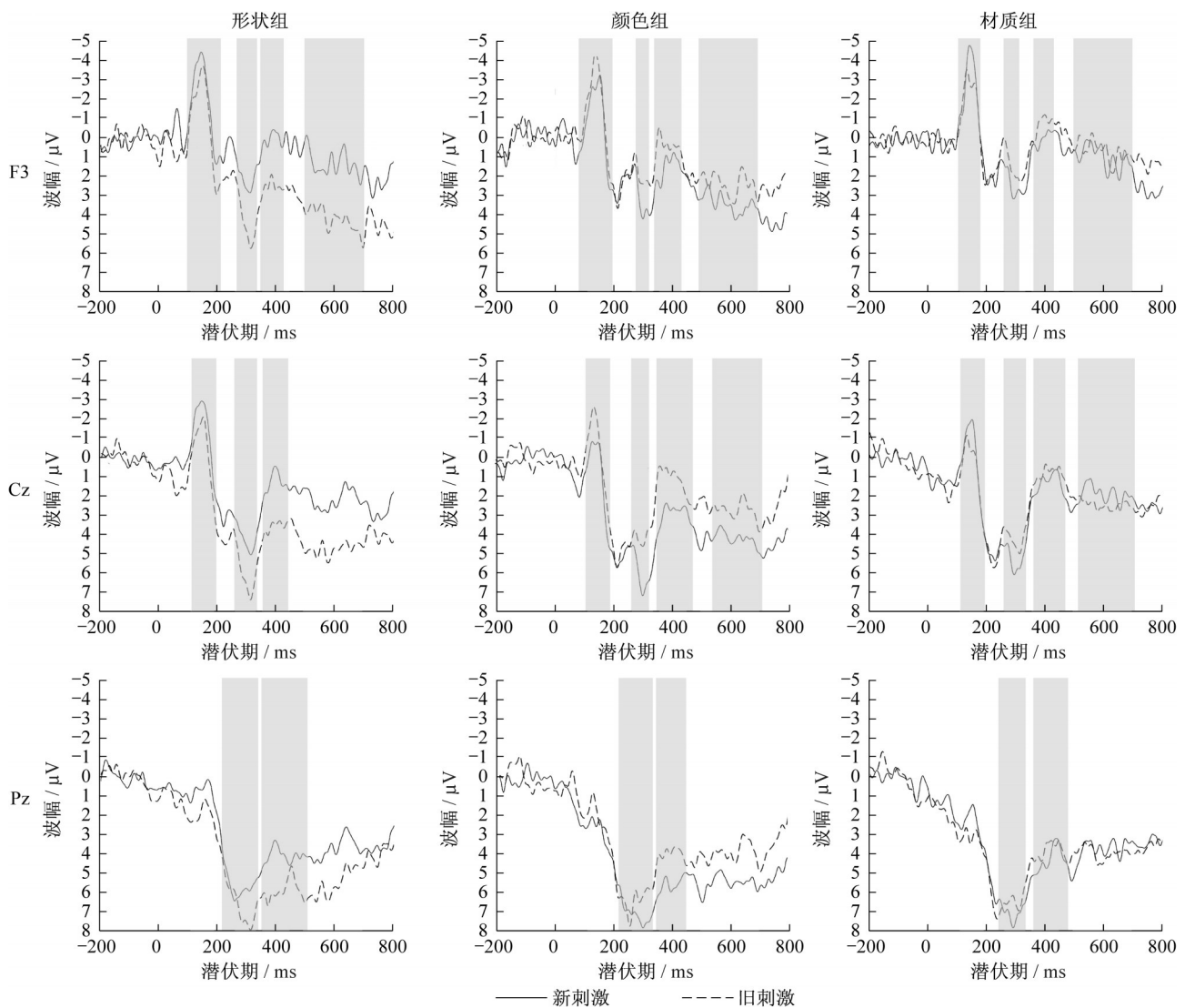


图7 不同特征元素下再认的ERPs平均波形(F3、Cz、Pz)

Fig.7 Average waveform of ERPs recognized for different feature elements (F3, Cz, Pz)

极位置与熟悉度存在交互效应,  $F(4, 43, 79.73) = 2.780, p = 0.028 < 0.05$ 。新旧刺激与特征元素存在交互效应,  $F(1.50, 27.03) = 3.919, p = 0.043 < 0.05$ 。进行简单效应检验, 仅展示交互效应显著的结果, 如表6所示。在颜色组高熟悉度下, 额区(F3、F4)、中央区(Cz)、顶区(Pz)和枕区(Oz)均出现明显新旧效应; 在材质组低熟悉度下, 左前额区(F3)出现明显新旧效应; 在材质组高熟悉度下, 枕区(Oz)出现明显新旧效应; 在形状组低熟悉度下, 额区(F3、F4)出现明显新旧效应。

## 4 讨论

### 4.1 从行为数据结果验证假设

假设一部分成立。同一熟悉度下, 不同特征元

素的识别正确率和反应时间不同, 正确率高和反应时间短都是识别度高的表现。因此, 不同特征元素对产品识别的贡献度不同, 但不为颜色>形状>材质。具体分析, 低熟悉度下, 正确率为形状>颜色>材质, 反应时间无较大差别; 中熟悉度下, 正确率无较大差别, 反应时间为颜色>形状>材质; 高熟悉度下, 正确率为材质>颜色>形状, 反应时间为材质>形状>颜色。

假设二成立。因为同一特征元素组中, 不同熟悉度下正确率和反应时间不同。在形状组, 熟悉度越低, 正确率越高, 反应时间越短; 在颜色组, 熟悉度越低, 正确率越高, 反应时间呈现低熟悉度<高熟悉度<中熟悉度; 在材质组, 熟悉度越低, 反应时间越短, 正确率无较大差别。

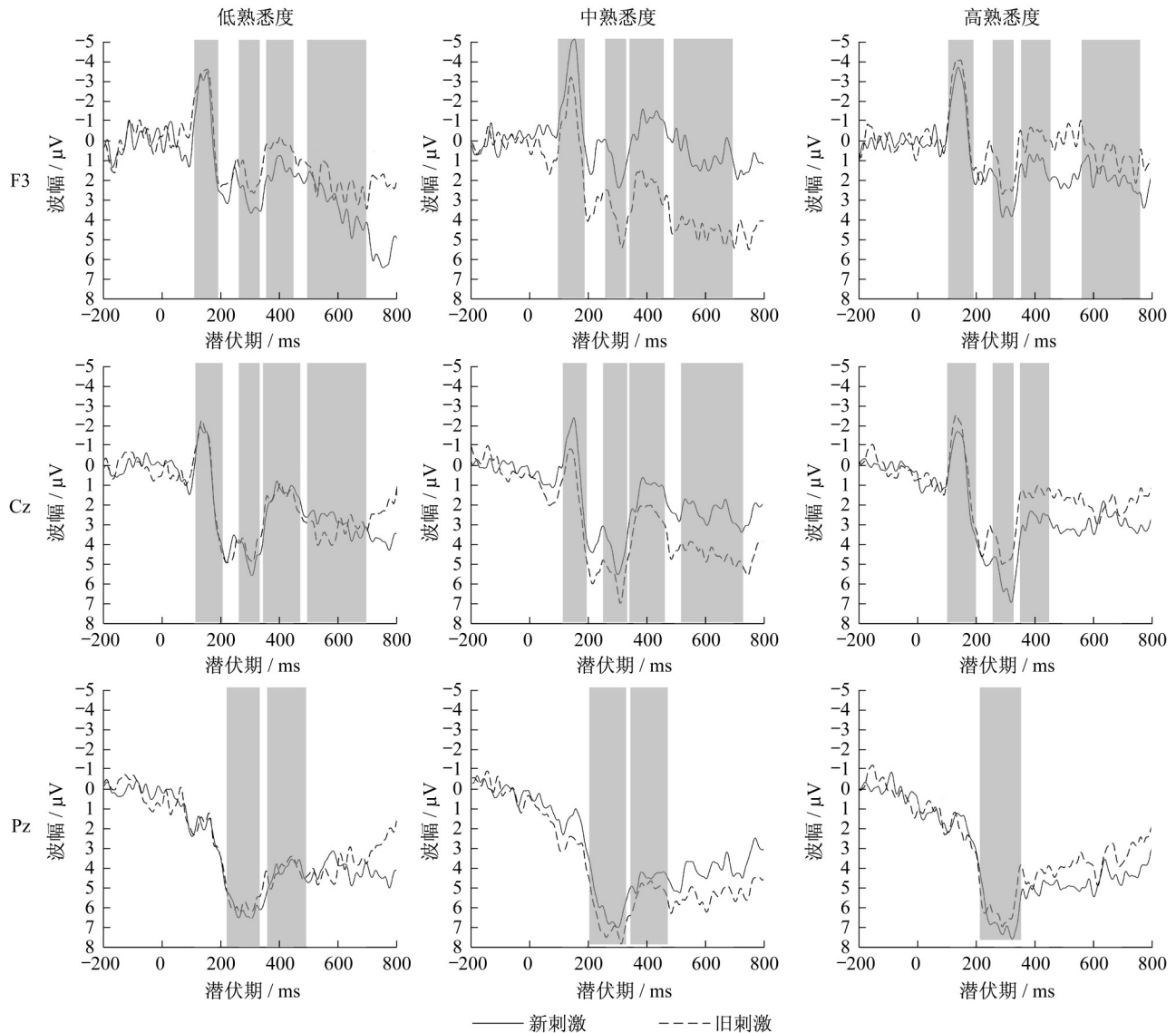


图8 不同熟悉度下再认的ERPs平均波形(F3、Cz、Pz)

Fig.8 Average waveform of ERPs recognized for different familiarities (F3, Cz, Pz)

表4 时窗200~350 ms简单效应检验后交互显著的结果  
Tab.4 Interaction significant results after time window 200~350 ms simple effect test

特征元素	熟悉度	电极位置	新旧刺激	显著性
颜色组	低	F3	新旧	0.012
	中	F3		0.021
		F3		0.023
	高	Cz		0.004
材质组	高	F4		0.037
		Oz		0.032
形状组	高	F3		0.034
	低	F4		0.028

表5 时窗350~500 ms简单效应检验后交互显著的结果  
Tab.5 Interaction significant results after time window 350~500 ms simple effect test

特征元素	熟悉度	电极位置	新旧刺激	显著性
颜色组	低	F3	新旧	0.046
		F3		0.043
	高	Cz		0.002
		Oz		0.035
材质组	高	F4		0.019
		Oz		0.013
形状组	高	F3		0.022
	低	F4		0.011

4.2 从脑电数据结果验证假设

假设一部分成立。根据时频图,形状组和材质组较颜色组出现更明显的能量提高。进一步根据ERP分析,不同特征元素产生的新旧效应不同,因此对产品识别的贡献度不同,但不为颜色>形状>材

质。整体上来看,颜色组产生更普遍的新旧效应,但材质组和形状组的新旧效应普遍程度差别不大。

假设二成立。根据时频图,低、高熟悉度较中熟悉度出现更明显的能量提高。进一步根据ERP分析,因为同一特征元素组中,不同熟悉度下产生的新



表6 时窗500~800 ms简单效应检验后交互显著的结果  
Tab.6 Interaction significant results after time window 500~800 ms simple effect test

特征元素	熟悉度	电极位置	新旧刺激	显著性
颜色组	高	F3	新旧	0.012
		Cz		0.001
		Pz		0.028
		Oz		0.010
		F4		0.037
材质组	低	F3		0.018
	高	Oz		0.043
形状组	低	F3		0.036
		F4		0.001

旧效应不同。结合熟悉度来看,形状组低熟悉度、材质组高熟悉度和颜色组低、高熟悉度产生更普遍的新旧效应。从不同脑区上看,额叶在低、高熟悉度下均可产生新旧效应,中央区、顶叶和枕叶只在高熟悉度下产生新旧效应;颜色组在各个脑区都会产生新旧效应,材质组主要在枕区产生新旧效应,形状组主要在额区产生新旧效应。

结合时间来看,在再认阶段的早期和晚期,颜色组高熟悉度、形状组低熟悉度和材质组高熟悉度均产生了新旧效应。再认的双加工理论模型<sup>[23]</sup>认为,再认包含了两种加工:熟悉感和回忆。脑成像记录表明,空间视觉的认知过程是从枕叶开始,完成对外界表象信息的整合。这些信息可能包括物体的形状、颜色、质感和空间位置,然后传至顶叶,最后进入额叶完成最后视觉的认知和联想<sup>[29]</sup>。

在再认早期阶段(200~500 ms),颜色组低熟悉度和形状组低熟悉度均产生早期额叶新旧效应,早期额叶新旧效应与熟悉度相关,即在未回忆起任何细节时,对旧刺激的单纯直觉反应,这说明低熟悉度的颜色和形状由于特殊和视觉刺激强等原因让人印象深刻,在再认时让人有熟悉感。颜色组高熟悉度早期在中央区、顶叶和枕叶均产生新旧效应,在认知的早期激活了大部分的脑区。另外,材质组高熟悉度早期在枕叶产生了新旧效应,这说明熟悉度高的颜色和材质在日常生活中随处可见,原有的记忆深入人心,并且颜色比材质更容易让人有熟悉感。

在再认晚期阶段(500~800 ms),只有颜色组高熟悉度产生了晚期顶区新旧效应,晚期顶区新旧效应对记忆痕迹的强度敏感反映了刺激的成功检索和回忆。颜色组高熟悉度晚期在额叶、中央区、顶叶和枕叶均产生了新旧效应,在认知的晚期也激活了大部分的脑区。另外,材质组高熟悉度晚期在枕叶产生了新旧效应,这说明高熟悉度的颜色和材质有利

于记忆,并且颜色比材质更有利于记忆。形状组低熟悉度和材质组低熟悉度晚期在额叶产生了新旧效应,这说明低熟悉度的形状和材质由于传达了特殊的意象有利于记忆。材质组高熟悉度在枕叶也产生了广泛的新旧效应,通过观察材质组高熟悉度的刺激材料,发现包含塑料、绒布等较为熟悉材料。

## 5 结语

在颜色组中,低和高熟悉度对产品识别的贡献很大,尤其是高熟悉度,而中熟悉度的贡献不明显。同时,形状组中的低熟悉度和材质组中的高熟悉度对产品识别的贡献也较大。

在产品外观设计过程中,可以选择低熟悉度或高熟悉度的颜色特征,同时选择低熟悉度的形状或者高熟悉度的材质,这样能够有效提高产品整体识别度。从设计实践的角度考虑,也不可为了追求产品的高识别度而选择不符合产品定位和用户需求的外观特征。设计师在实际产品创新设计过程中,应在综合考虑用户需求、产品功能和使用环境等重要因素的情况下,提高产品的整体识别度。

## 作者贡献声明

杨程:提出论文选题和设计构思,修订论文。

曾静:参与实验设计,进行实验数据采集和分析,进行论文写作和修订。

陈辰:参与实验设计和论文写作。

王倩:参与实验设计和修订论文。

## 参考文献:

- [1] REINERT F, GONTIJO L A. How to integrate ergonomics into product design through the user centered design approach [J]. *Work*, 2019, 63(1): 137.
- [2] 苏建宁,任芳冉,师容,等.基于用户偏好评价的龟形蛇纹寿文化产品设计研究[J]. *包装工程*, 2019, 40(24): 33.  
SU Jianning, REN Fangran, SHI Rong, *et al.* Turtle-shaped and serpentine long-lived cultural product design based on user preference evaluation [J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(24): 33.
- [3] MANIJEH B, AZADEH R. Consumers' perception of usability of product packaging and impulse buying [J]. *Journal of Islamic Marketing*, 2018, 9(2): 262.
- [4] MUGGE R, SCHOORMANS J P L. Product design and apparent usability: the influence of novelty in product appearance [J]. *Applied Ergonomics*, 2012, 43(6): 1081.
- [5] 朱上上,罗仕鉴,应放天,等.支持产品视觉识别的产品族设

- 计DNA[J]. 浙江大学学报:工学版, 2010, 44(4): 715.
- ZHU Shangshang, LUO Shijian, YING Fangtian, *et al.* Product family design DNA for product visual identity [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2010, 44(4): 715.
- [6] 陈梦月, 陈东萍, 褚学宁. 基于用户体验的产品服务系统再设计模块识别[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(11): 2522.
- CHEN Mengyue, CHEN Dongping, CHU Xuening. Redesign module identification of product service system based on user experience [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2016, 22(11): 2522.
- [7] 朱斌, 杨程, 俞春阳, 等. 基于深度学习的产品意象识别[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018, 30(9): 1778.
- ZHU Bin, YANG Cheng, YU Chunyang, *et al.* Product image recognition based on deep learning [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2018, 30(9): 1778.
- [8] ZHANG L, CHU X N, XUE DY. Identification of the to-be-improved product features based on online reviews for product redesign [J]. International Journal of Production Research, 2019, 57(8): 2464.
- [9] 魏景汉. 认知神经科学基础[M]. 北京: 人民教育出版社, 2008.
- WEI Jinghan. Basics of cognitive neuroscience [M]. Beijing: People's Education Press, 2008.
- [10] 陈默, 王海燕, 薛澄岐, 等. 基于事件相关电位的产品意象: 语义匹配评估[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2014(1): 58.
- CHEN Mo, WANG Haiyan, XUE Chengqi, *et al.* Product image-semantic matching evaluation based on event-related potentials[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2014(1): 58.
- [11] SYLCOTT B, CAGAN J, TABIBNIA G. Understanding consumer tradeoffs between form and function through metaconjoint and cognitive neuroscience analyses[J]. Journal of Mechanical Design, 2013, 135(10): 257.
- [12] NITTONO H. Late positive potentials associated with the attractiveness of the appearances of commercial goods [J]. Clinical Neurophysiology, 2013, 124(8): e35.
- [13] YANG C, CHEN C, TANG Z C. Study of electroencephalography cognitive model of product image [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2018, 54(23): 126.
- [14] GUO F, LI M M, HU M C, *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.
- [15] FITRI A, MUSTIKA S P. Effects of colour towards underwear choice based on electroencephalography (EEG) [J]. Australasian Marketing Journal, 2016, 24(4): 331.
- [16] 王雪霜, 郭伏, 刘玮琳, 等. 基于事件相关电位的产品外观情感测量研究[J]. 人类工效学, 2018, 24(1): 20.
- WANG Xueshuang, GUO Fu, LIU Weilin, *et al.* Affective measurement of product appearance by ERPs [J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2018, 24(1): 20.
- [17] 侯冠华, 卢国英. 标识设计中语义认知事件相关电位[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2018, 46(11): 1582.
- HOU Guanhua, LU Guoying. Semantic cognitive event-related potentials in logo design [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2018, 46(11): 1582.
- [18] CORNELIA DM, JOSEP D, PILAR F, *et al.* The role of meaning and form similarity in translation recognition in highly proficient balanced bilinguals: a behavioral and ERP study [J]. Journal of Neurolinguistics, 2016, 37: 1.
- [19] MICHELA B, MARIA E V. Hemodynamic (fNIRS) and EEG (N200) correlates of emotional inter-species interactions modulated by visual and auditory stimulation [J]. Scientific Reports, 2016, 6(1): 31.
- [20] CLAUDIO P, SERGIO M, OSCAR A, *et al.* Relationship between early and late stages of information processing: an event-related potential study [J]. Neurology International, 2012, 4(3): e16.
- [21] HIROKI R H, JEFFREY D J, MICHEAL D R. The relationship between the right frontal old/new ERP effect and post-retrieval monitoring: specific or non-specific [J]. Neuropsychologia, 2008, 46(5): 1211.
- [22] TSIVILIS D, ALLAN K, ROBERTS J, *et al.* Old-new ERP effects and remote memories: the late parietal effect is absent as recollection fails whereas the early mid-frontal effect persists as familiarity is retained [J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2015, 9: 532.
- [23] PETER K. On the normative insignificance of neuroscience and dual-process theory [J]. Neuroethics, 2018, 11(2): 195.
- [24] BENEDIKT S, ALEXANDRA B S, NICOLA E, *et al.* The effect of context attractiveness on product attractiveness and product quality: the moderating role of product familiarity [J]. Marketing Letters, 2017, 28(2): 241.
- [25] VAISHALI K, PRADEEP K, RAJKUMAR S, *et al.* EEG based word familiarity using features and frequency bands combination [J]. Cognitive Systems Research, 2018, 49: 33.
- [26] MICHAL B, JESSICA R N, CHARLES A P. Word learning: an ERP investigation of word experience effects on recognition and word processing [J]. Contemporary Educational Psychology, 2010, 35(2): 126.
- [27] JAARVELD S, FINK A, RINNER M, *et al.* Intelligence in creative processes: an EEG study [J]. Intelligence, 2015, 49: 171.
- [28] RANGI M, TYAGI A. Distinguishing cognitive tasks using statistical analysis techniques [J]. IOSR Journal of Computer Engineering, 2013, 11(5): 21.
- [29] 孙久荣. 脑科学导论[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.
- SUN Jiurong. Introduction to brain science [M]. Beijing: Peking University Press, 2001.