

产品草图方案感性评价中的 脑认知加工机制研究

杨濮瑜*, 林 丽#

贵州大学机械工程学院, 贵州 贵阳
Email: 981516996@qq.com, #linlisongbai@163.com

收稿日期: 2021年4月25日; 录用日期: 2021年6月2日; 发布日期: 2021年6月9日

摘 要

为减少产品草图方案感性评价中主观因素的影响,改善依赖主观偏好和个人经验进行感性评价的局限性,开展用户对不同草图方案设计感性评估脑认知加工机制的研究。以充电桩草图方案为评价对象,运用语义差异法和头皮脑电采集技术,设置“传统感”和“现代感”感性意象明确且语义相对的刺激样本,使用SPSS、EEGLAB软件对用户感性评价过程中行为反应和脑电反馈进行统计分析,探讨用户在两类感性评价中脑认知加工过程。结果表明,圆角及曲面造型方案更容易诱发用户“现代感”的感性意象,用户匹配正确率最高,且视觉诱发顶区P300振幅要显著高于“传统感”意象;在“传统感”意象的评价中,用户普遍认为具有直线造型特征的草图方案更具有“传统感”,反应时变长,正确率降低,且更容易在额区和中央区诱发N400成分。P300、N400诱发情况和振幅大小可有效消除主观因素在产品草图方案评价中的影响,为草图方案评价过程提供客观的参考依据。

关键词

感性工学, 感性评价, 脑电技术, 脑认知

Brain Cognitive Processing Mechanism in Kansei Evaluation of Product Sketch Scheme

Puyu Yang*, Li Lin#

School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang Guizhou
Email: 981516996@qq.com, #linlisongbai@163.com

*第一作者。

#通讯作者

Abstract

In order to reduce the influence of subjective factors in the kansei evaluation of product sketches, and to improve the limitations of relying on subjective preference and personal experience in kansei evaluation, we have carried out research on the cognitive processing mechanism of users' kansei evaluation of the design of different sketches, taking the charging pile sketches as the evaluation object, using the semantic difference method (SD) and EEG technology, setting up "traditional" and "modern" kansei images with definite and semantically relative stimulus samples, using SPSS and EEGLAB software to evaluate the user's kansei evaluation process perform statistical analysis on behavioral responses and EEG feedback to explore the cognitive processing process of users in the two types of kansei evaluation. The results show that the rounded corners and curved surface modeling schemes are more likely to induce users' "modern" kansei image, and the user's matching accuracy is the highest, and also the P300 amplitude of the visually induced top zone is significantly higher than the "traditional" one; in the evaluation of "traditional" kansei image, users generally think that the sketch with linear modeling features is more "traditional", the response time becomes longer, the accuracy rate is reduced, and it is easier to induce N400 components in the frontal and central brain areas. The induced conditions and amplitude of P300 and N400 can effectively eliminate the influence of subjective factors in the evaluation of product sketches, and provide an objective reference for the evaluation process of sketches.

Keywords

Kansei Engineering, Kansei Evaluation, EEG Technology, Brain Cognition

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

设计本质上是一种创造活动[1]。产品草图方案在设计师前期进行产品造型推敲时具有重要作用[2], 产品草图的方案是整个设计流程的起点, 而设计师对产品方案评选对后续设计的走向起到决定性作用[3]。现阶段, 产品方案的评价通常依赖于专家和领导的主观偏好和个人经验[4], 以致方案评选的过程缺乏可靠的科学依据, 对产品方案进一步深化产生了不利影响。同时, 在产品开发过程中, 用户的核心地位[5]不可替代, 仅通过研发人员单方面的评估势必具有单一性和片面性, 无法客观、可靠地反映用户内心真实的想法, 以致大量产品开发不能满足用户期望, 从而导致产品市场占有率和使用率不高。

目前, 国内外学者对不同背景的开发人员在草图方案创作行为中的思维表现展开了多方面的研究, 吴志锋等[6]通过口语分析法将不同经验的设计人员在草图创作过程中的抽象程度和行为模式编码, 量化研究不同经验的设计人员基于任务分解的草图设计策略。王新亭等[7]基于眼动技术, 以“循环设计流程”展开针对新手和专家设计师在理解用户感性意象的草图创作过程中认知差异的研究。Self J A [8]以四种不同类别的草图作为刺激, 以眼动注视热点和瞳孔直径结合卡片归类的自我报告方式, 解释了经理、设

计师、工程师三个利益相关者是如何根据自我专业知识寻找、识别草图表达的不同信息。Zhou 等[9]针对工业设计师产出结果和设计过程中信息的有限性,提出了基于问题的研究策略和基于网络的认知图描述问题解决认知过程的新方法,开展了基于新手设计师的设计思维认知形成过程定量研究,这项研究加深了对设计思维活动的深刻理解。Yang E K 等[10]采用 VR 手绘草图与传统手绘草图对比研究,基于协议分析模型将设计师在概念生成阶段的认知活动编码,并通过新的美学、功能目标和思维方式考察 VR 草图在概念生成阶段对设计思维过程的认知影响。

但是,对于设计草图方案的研究大多集中于对设计师或者不同背景开发人员的设计思维形成过程与认知差异的研究,从用户对产品草图方案的感性认知加工机制方面展开的研究较少。为此,本文借助统计学和认知神经科学理论,运用 SPSS 软件和基于 MATLAB 开发的 EEGLAB 工具包处理用户方案评估过程中的脑电数据,从认知本源的视角出发,研究用户在不同产品草图方案评价中的脑电加工机制,为设计人员在草图方案评价过程中提供生理层面上的可靠理论支持。本文研究路线如图 1 所示。

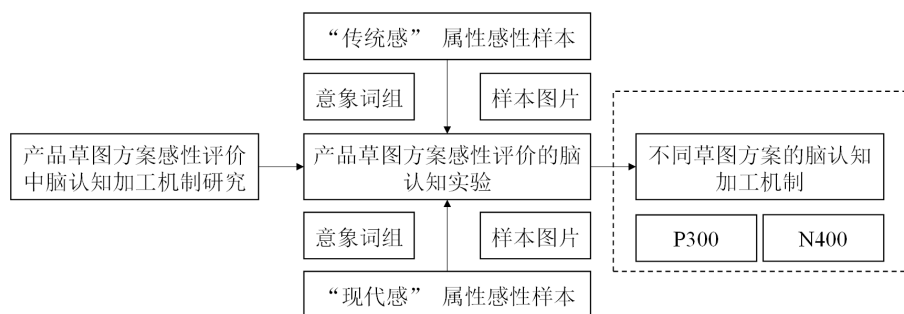


Figure 1. Research process of brain cognitive processing mechanism in kansei evaluation of product sketch scheme

图 1. 产品草图方案感性评价中的脑认知加工机制研究流程

2. 用户脑认知过程

认知神经科学指出,大脑的认知过程是外部信息经神经元之间传递中枢系统大脑进行统一加工的过程[11],如图 2。而大脑皮质中不同分区在认知过程中发挥了重要作用,额叶在运动准备和执行方面体现重要作用,枕叶则是外界视觉信息加工的主要区域。

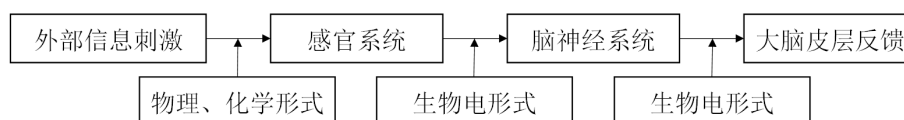


Figure 2. User's brain cognitive physiological process

图 2. 用户脑认知生理过程

用户的脑认知过程是对外部信息进行反馈产生脑电活动的过程,在脑认知过程中常伴随着脑电电位的变化,事件相关电位(Event-related Potentials, ERPs)是一种通过特定刺激引起脑电电位变化的活动,通过 ERPs 技术可获取用户关于外部信息的视觉注意、语言、图像决策和推理等过程的脑认知数据。在脑认知过程中,可分为认知前期、中期、晚期三个阶段[12],大多数研究表明,P300 和 N400 两种成分属认知中期的内源性成分,参与了人们的认知加工过程,且该成分能在一定条件下稳定诱发。P300 幅值大小反映任务的注意力分配,与选择性注意和记忆更新密切相关[13],后顶叶的 P300 激活程度反映了在任务集的更新与配置[14],P300 对在新异刺激产生是激活程度更大[15]。杨元等[16]借助 ERPs 技术以不同偏

好度的办公座椅对诱发 P300 成分峰值大小展开了研究,不同偏好程度对 P300 成分峰值有显著影响,“低”偏好度图片诱发 P300 成分峰值显著高于“一般”和“高”偏好度座椅图片,且在女性群体中诱发的 P300 振幅更大。N400 成分的研究常与语义相关,陈默等[17]以相关词、模糊词、无关词三种匹配等级语义词汇为检测材料,对跑车产生的感性意象的关联程度展开了感知层面上的语义评估。结果显示 N400 的波幅大小与匹配等级具有相关性,匹配等级越低则 N400 波幅越大。因此, P300、N400 在用户脑认知的研究中具有不同的检测效应。

3. 产品草图方案感性评价的脑认知实验

3.1. 实验样本与被试

从网络、文献中收集本次实验所需样本图片和感性词汇,专家组(专家组由 6 名 6 年以上设计经验人员组成)依据词汇和图片与该实验研究的相关性,筛选掉相似性较强的图片和词汇,初步筛选 198 张图片和 142 个形容词后,将意象词反向配对形成意象词组,按照 KJ 法分类,聚类为 4 组代表性感性词组(见表 1),经专家组讨论,设置词组中左侧意象词如“守旧的、复杂的、厚重的、机械的”归为“传统感”属性意象组,而“创新的、简单的、轻薄的、智能的”归为“现代感”属性意象组。图片刺激选取重复率达 100% 的样本,得到 22 个代表性极强的样本,采用问卷调查的方式,发放 68 份问卷,测试者根据 22 个样本草图方案进行“传统感”属性和“现代感”属性归类,将 62 份有效问卷结果导入到 SPSS 软件进行可靠性统计分析,得到 Cronbach’s Alpha = 0.970 > 0.8,表明量表的内在一致性好、可靠性强。根据问卷意象统计值表 2 进行图片归类,分组结果如图 3(a)、图 3(b)所示。

Table 1. The results of representative kansei phrases selection

表 1. 代表性感性词组选取结果

意象词组 (选取次数达三分之一以上)	立体的 - 扁平的 安全的 - 危险的	创新的 - 守旧的 圆润的 - 硬朗的	轻薄的 - 厚重的 小巧的 - 巨大的	变化的 - 单一的 豪华的 - 廉价的	智能的 - 机械的 简单的 - 复杂的
意象词组	守旧的 - 创新的	复杂的 - 简单的	厚重的 - 轻薄的	机械的 - 智能的	

Table 2. Statistical results of kansei image value of each sample

表 2. 各样本感性意象值统计结果

感性词组	样本编号										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
守旧的 - 创新的	2.75	1.94	3.31	3.19	4.50	1.50	3.81	4.31	4.00	2.50	3.81
复杂的 - 简单的	2.81	2.19	3.94	4.00	4.06	1.69	3.31	4.44	3.44	3.63	3.88
厚重的 - 轻薄的	2.13	1.00	3.69	2.56	3.31	1.06	3.00	3.75	2.94	2.81	3.25
机械的 - 智能的	1.69	1.25	3.56	3.19	4.13	1.31	3.38	4.00	3.00	2.81	3.88
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
守旧的 - 创新的	3.44	3.00	2.25	2.19	4.19	4.69	4.75	3.31	3.63	2.50	2.88
复杂的 - 简单的	4.00	4.13	3.75	2.56	4.13	4.50	4.25	4.06	3.50	2.81	3.25
厚重的 - 轻薄的	3.75	3.06	2.38	1.63	4.38	4.63	4.63	4.38	3.69	3.56	3.81
机械的 - 智能的	3.44	2.94	2.88	1.56	4.25	4.69	4.69	3.75	3.56	2.69	3.25

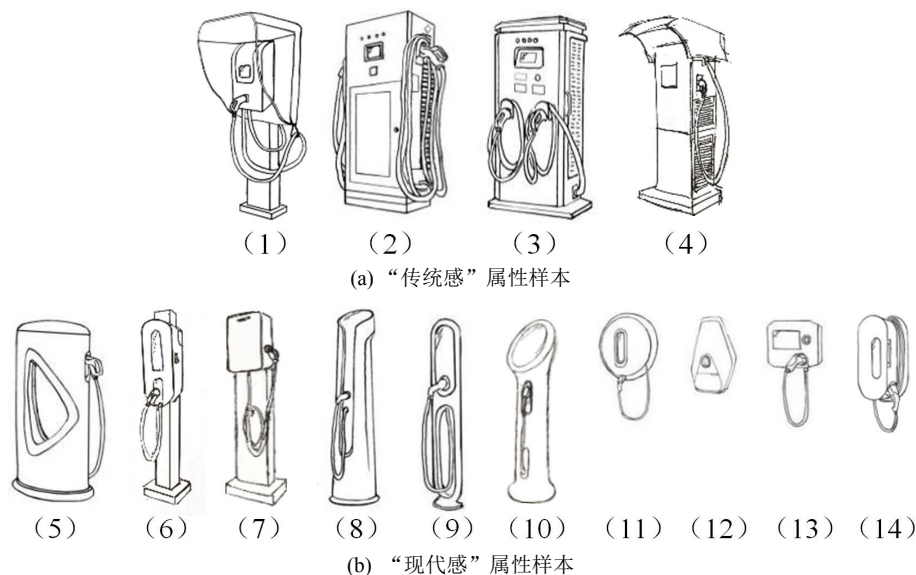


Figure 3. The grouping results of image samples of “traditional kansei” and “modern kansei”
图 3. “传统感”与“现代感”属性意象样本分组结果

本次实验共招募在校大学生被试 27 名(男 12 人, 女 15 人), 平均年龄 23.4 岁($SD = 2.72$), 视力正常, 在与屏幕一臂距离阅读五号字体无障碍, 无神经疾病。被试对充电桩有使用体验, 经训练后, 对草图方案认知无障碍, 实验前签署纸面实验协议, 实验后给予一定报酬。

3.2. 实验设备与数据采集

实验设备有联想 14 英寸显示屏, 联想主机, 鼠标、键盘各 1 个, 以及导电膏, 洗发水等物品。实验使用无线 EPOC Flex32 通道电极帽采集数据, 通过 Emotiv PRO 软件进行实时采样, 下采样率为 128 Hz, 电极放置位置按照国际 10-20 系统。联通的 32 通道电极分别为(Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, FT9, FC5, FC1, FC2, FC6, T7, C3, Cz, C4, TP9, CP5, CP1, CP2, CP6, TP10, P7, P3, Pz, P4, P8, O1, Oz O2), 参考电极选择全脑平均。

3.3. 实验设计与流程

实验通过 Eprime 软件编程实现, 以充电桩草图方案为样本图片刺激, 被试根据样本图片传递的感性意象, 按对应数字键数字进行打分操作, 感性意象根据实验样本步骤筛选的感性词组为测量尺度, 分为“1~5”五个匹配程度, 匹配度为“1”越符合左侧意象描述, 匹配度为“5”越符合右侧意象描述。例如“守旧的 - 创新的”感性评价维度如图 4 所示。

守旧的 1 2 3 4 5 创新的

Figure 4. “Conservative-Innovative” kansei evaluation dimension
图 4. “守旧的 - 创新的”感性评价维度

实验分为预实验和正式实验, 预实验和正式实验试次除测试样本图片和意象词组不同外, 其他因素均一致。预实验开始前, 被试阅读实验指导语, 经过练习熟悉实验流程后进入正式实验。采用“启动 - 刺激”范式, 首先有 4 秒的预判形容词组呈现, 在图片刺激出现前有 1 秒的视觉注意引导, 随后呈现图片刺激 5 秒后按匹配度打分, 直至图片样本及感性词组测完, 整个过程记录被试感性评分和脑电数据。

实验流程如图 5 所示。

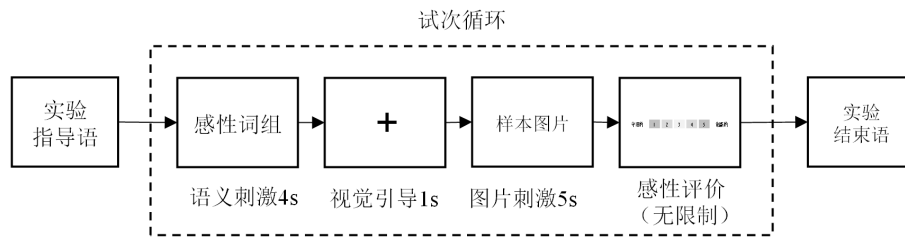


Figure 5. Experiment flow chart
图 5. 实验流程图

4. 实验数据结果与分析

4.1. 行为反应结果分析

通过被试者的打分情况, 统计各样本被试打分的正确率和反应时数据, 统计结果见表 3。结果显示, 被试者在样本 1 的反应时最长, 选择正确率为 65.22%, 排序倒数第三, 正确率最低的是样本 7; 而样本 11 被试匹配“现代感”意象的正确率最高(96.74%), 且被试反应时最短, 在“现代感”意象的产品特征中, 被试者认知加工时间显著缩短, 且正确率高于“传统感”意象下的样本。根据样本特点分析可知, 被试判断反应时加快是由于“现代感”意象的样本造型功能区域划分较为单一, 且外轮廓造型设计较为流畅, 而“传统感”意象样本功能区域划分较多, 不利于快速获取感性意象, 因此需要更多的反应时间。行为数据与正确率反映, “现代感”意象下被试的反应时明显缩短, 且选择正确率较高。

Table 3. Statistics of the mean reaction time and accuracy of the subjects' choice

表 3. 被试者选择平均反应时和正确率结果统计

样本编号	平均反应时(ms)	选择正确率
1	1983.62	65.22%
2	1343.954	84.78%
3	1255.407	91.30%
4	1437.37	77.17%
5	1343.278	67.39%
6	1236.13	63.04%
7	1711.278	60.87%
8	1494.194	75.00%
9	1178.065	92.39%
10	1531.815	88.04%
11	1036.426	96.74%
12	1148.657	90.22%
13	1097.713	71.74%
14	1114.583	67.39%

4.2. P300 结果分析

首先将脑电数据预处理, 选取传统感和现代感感性意象属性的被试脑电图导入 MATLAB 软件的

EEGLAB 工具包, 先后经过通道定位, 电极重参考, 滤波, ICA 去伪迹, 基线校准, 无效电极的插值处理, 叠加总平均等操作, 见图 6。为便于对各脑区的认知加工进行定位, 将各采样电极做如下划分: 额区(F3, Fz, F4)、中央区(C3, Cz, C4)、前额-中央区联合皮层(FC1, FC2, FC5, FC6)、中央-顶区联合皮层(CP1, CP2, CP5, CP6)、顶区(P3, Pz, P4)、枕区(O1, Oz, O2)、前颞(F7, F8)、中颞(T7, T8)、后颞(P7, P8), 其中单数为左侧电极, 双数为右侧电极。

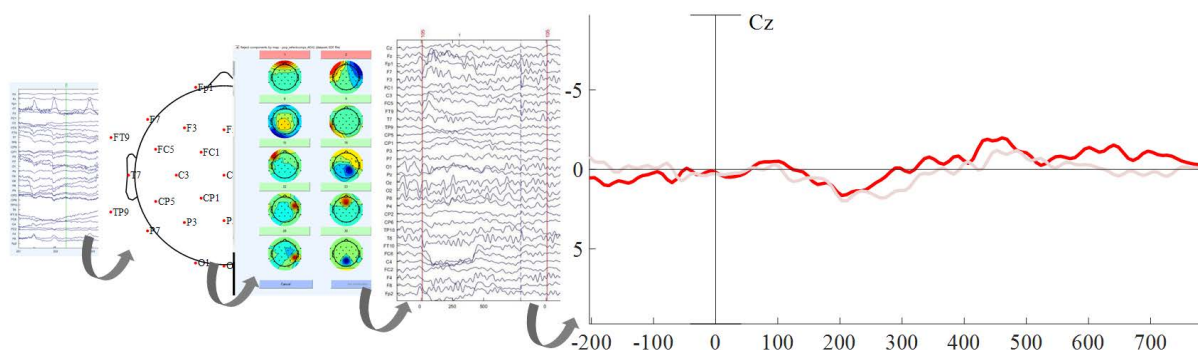


Figure 6. EEG data processing flow

图 6. 脑电数据处理流程

其次, 对两组感性意象诱发的脑电数据做正态性检验, 数据均符合正态分布。在“传统感”和“现代感”两组意象下对各电极诱发波幅值做相关性分析, 结果见表 4。P300 振幅大小在中央-顶区相关性最强, 属于高度正相关(相关系数 = 0.868)。而 N400 振幅大小在中央顶区也呈现高度正相关关系(相关系数 = 0.897), 而在前颞呈现高度负相关(相关系数 = -0.916)。相关性结果显示大脑认知加工过程, 各脑区产生成分在各脑区有不同的分布情况, 且前后脑区存在不对称性。

选取“传统感”和“现代感”意象的被试脑电进行叠加平均(如图 7), 从 ERPs 波形图可看出, 在中央区 C4 ($t = -21.871, p = 0.000$)、中央-顶区 CP1 ($t = -11.75, p = 0.000$)、CP2 ($t = -25.483, p = 0.000$)、CP6 ($t = -12.073, p = 0.000$)、顶区 Pz ($t = -32.563, p = 0.000$)均诱发了明显的 P300, 经独立样本 t 检验可

Table 4. Correlation analysis results of electrodes under the image of “traditional kansei” and “modern kansei”

表 4. “传统感”和“现代感”意象下各电极相关性分析结果

ERP 成分	脑区名称	相关系数	Sig(双尾)
P300	中央区	0.784*	0.012
	前额-中央区	0.724*	0.027
	中央-顶区	0.868**	0.002
	顶区	0.831**	0.005
N400	中央区	0.809**	0.008
	前额-中央区	0.725*	0.027
	中央-顶区	0.897**	0.001
	顶区	0.813**	0.008
	后颞	0.889**	0.001
	额区	-0.886**	0.001
	前颞	-0.916**	0.001

知, 中央 - 顶区联合皮层和顶区引发的 P300 振幅强度差异更为显著, 且“现代感”意象条件下诱发的振幅显著大于“传统感”意象。结合脑区的定位电极来看, 左侧脑区 P300 潜伏期更短, 左侧脑区对感性意象的判断过程更加积极, 而在右侧电极引发 P300 振幅强度要显著高于左侧, 说明右侧脑认知加工激活程度更大。结合 300~450 ms 时间窗内“传统感”与“现代感”脑地形图 8 的变化过程来看, 在两种感性意象的判断中均引发了被试顶区的认知活动, 但“传统感”诱发的是左侧顶区的活动, 而“现代感”诱发的是右侧顶区的活动, 而经过一定时间, “传统感”感性评价过程也会引发右侧顶区活动。由此可知, 对于不同属性感性信息的处理各脑区敏感程度不同, 对于“传统感”感性信息, 左侧脑区活动较活跃且潜伏期短, 而对于“现代感”感性信息, 右侧脑区认知活动激活程度更大且所需潜伏期更长。

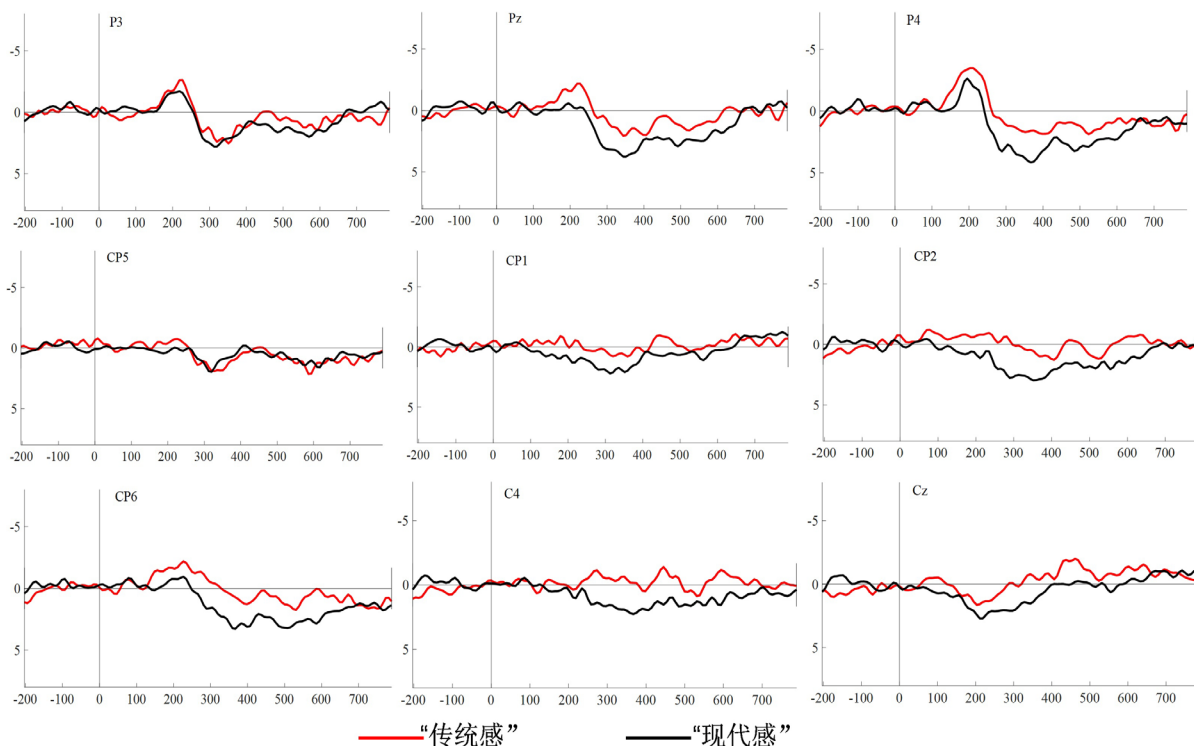


Figure 7. Comparison of ERPs waveforms between “traditional kansei” and “modern kansei” (Abscissa: time [ms]; Ordinate: voltage[μ V])

图 7. “传统感”与“现代感”被试 ERPs 波形图对比(横坐标: 时间[ms]; 纵坐标: 电压[μ V])

4.3. N400 结果分析

N400 成分在中央区 Cz ($t = -20.376, p = 0.000$)、中央 - 顶区 CP1 ($t = -40.6, p = 0.000$)、CP2 ($t = -48.367, p = 0.000$)、CP5 ($t = -29.71, p = 0.000$)、CP6 ($t = -14.659, p = 0.000$)、顶区 P3 ($t = -37.643, p = 0.000$)、Pz ($t = -61.947, p = 0.000$)、P4 ($t = -17.711, p = 0.000$)、枕区 Oz ($t = -12.973, p = 0.000$) 有显著差异, 其中“传统感”意象引起的 N400 波幅均比“现代感”意象大。在此过程中, N400 产生的振幅强度不高, 由于语义刺激词汇和被试的感性偏好意象一致性较强或模糊判断的原因导致 N400 波幅并不明显。结合脑地形图发现, “传统感”意象下在前额和中央区产生了 N400 的活动, 而“现代感”意象却没有产生, 是由于“传统感”的判断过程诱发了被试不明确的情感认知, 当倾向于不匹配或模糊感性意象的认知状态时, 则会激活被试额区与中央区的 N400 成分, 该结果与前人研究结果具有一致性[17]。

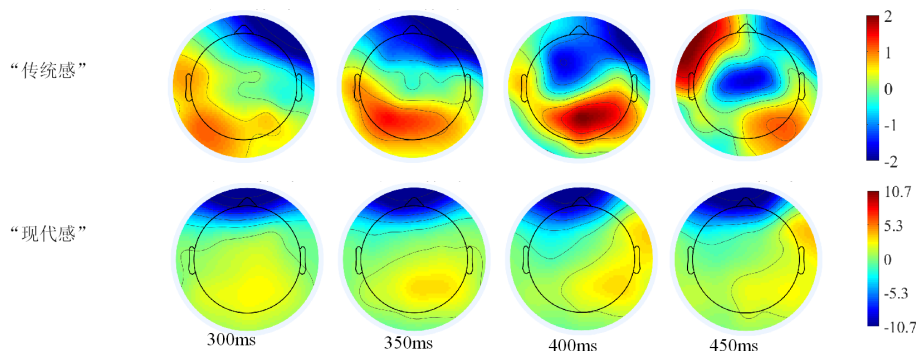


Figure 8. 300~450 ms “traditional kansei” and “modern kansei” brain topographic map

图 8. 300~450 ms “传统感”与“现代感”脑地形图

5. 结论

本研究基于用户群体对产品草图方案感性评估的行为、脑电结果,运用事件相关电位技术对用户脑认知过程中 P300、N400 潜伏期、脑区定位和振幅强度展开了研究,通过脑电记录的相关数据反馈整个脑认知加工过程。行为反应和脑电数据研究结果表明:

1) 圆形且功能分区单一的“现代感”产品造型特征能显著减少被试认知难度,提升认知效率,让被试认知加工过程更加顺畅。被试在具有“现代感”属性的产品特征样本中用时最少,选择正确率高,且能引发顶区右侧更强烈的 P300 振幅。

2) 直线型且功能分区复杂的“传统感”产品特征增加了被试认知加工难度,反应时间明显变长,选择正确率降低。且在脑认知过程中,左侧顶区 P300 成分表明被试对“传统感”意象的产品特征认知加工更为积极,但随后产生的中央区 N400 成分表明“传统感”引发了被试模糊或不匹配的感性意象,消耗一定认知资源而后产生 N400 成分。

综上,用户感性评价过程中的 P300、N400 内源性成分诱发脑区定位和振幅强度可有效表征用户感性意象偏好,能为决策者进行基于用户偏好意象的产品草图方案评选与开发过程提供有效生理依据。

参考文献

- [1] 李彦,刘红围,李梦蝶,等. 设计思维研究综述[J]. 机械工程学报, 2017, 53(15): 1-20.
- [2] 孙凌云,王长路,柴春雷,等. 基于创意拐点的计算机辅助草图设计技术[J]. 中国科学:信息科学, 2013, 43(8): 996-1011.
- [3] 尹碧菊,李彦,熊艳,等. 设计思维研究现状及发展趋势[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(6): 1165-1176.
- [4] 张芳兰,杨明朗,刘卫东. 基于模糊 TOPSIS 方法的汽车形态设计方案评价[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(2): 276-283.
- [5] 席涛,周芷薇,余非石. 设计科学研究方法探讨[J]. 包装工程, 2021, 42(8): 63-78.
- [6] 吴志锋,王坤. 产品设计人员草图行为的策略差异[J]. 泉州师范学院学报, 2019, 37(2): 94-98.
- [7] 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.
- [8] Self, J.A. (2019) Communication through Design Sketches: Implications for Stakeholder Interpretation during Concept Design. *Design Studies*, 63, 1-36. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.02.003>
- [9] Zhou, C., Chai, C. and Liao, J. (2021) Analysis of Problem Decomposition Strategies of Novice Industrial Designers Using Network-Based Cognitive Maps. *International Journal of Technology and Design Education*, 30, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09647-1>
- [10] Yang, E.K. and Lee, J.H. (2020) Cognitive Impact of Virtual Reality Sketching on Designers' Concept Generation. *Digital Creativity (Exeter)*, 31, 82-97. <https://doi.org/10.1080/14626268.2020.1726964>

- [11] Gazzaniga, M.S., Ivry, R.B., Mangun, G.R. 认知神经科学——关于心智的生物学[Z]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011: 17-47.
- [12] 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): 1582-1588.
- [13] 郑慧, 元小冬, 张萍淑, 等. 小脑参与脑认知功能的事件相关电位研究进展[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2020, 22(5): 556-558.
- [14] 王宇, 陈晨, 张家琦, 等. 任务提示的脑认知加工过程中神经振荡机制研究[J]. 电子学报, 2020, 48(5): 960-965.
- [15] 肖英霞. P300 与认知加工: 方法、机制和应用[J]. 中国健康心理学杂志, 2015, 23(9): 1425-1430.
- [16] 杨元, 刘文金, 李国华. 用户对家具产品不同偏好的脑认知探微[J]. 林业工程学报, 2019, 4(5): 152-158.
- [17] 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, 44(1): 58-62.