

面向汽车造型的用户视觉模式识别比较

卢兆麟^{1,2,3}, 李升波¹, 徐少兵¹, Fritz Frenkler²⁺

(1. 清华大学 汽车工程系汽车节能与安全国家重点实验室, 北京 100084;

2. 合肥学院 艺术设计系, 安徽 合肥 230601; 3. 慕尼黑工业大学 工业设计系, 德国 慕尼黑 80805)

摘要:为使汽车造型设计更好地符合目标用户的审美心理,以跨文化视角对用户视觉模式识别进行了比较研究。基于 Treisman 的特征整合理论,提出汽车造型视觉识别一般模型。以汽车前视正面造型为样本,选取中德两国用户作为被试者,以品牌识别为任务,首先使用 Dikablis 眼动仪进行眼动跟踪实验,再结合 Likert 量表进行识别度的问卷调查。利用灰度直方图对眼动热点图进行特征提取,并对用户感兴趣区域的各项指标进行了对比分析,所得结论为面向中国市场的车型开发提供了借鉴和参考。

关键词:产品设计;汽车造型;比较研究;视觉模式识别;眼动跟踪

中图分类号:TB47;TP391

文献标识码:A

Comparative research on users' visual pattern recognition oriented to automotive styling features

LU Zhaolin^{1,2,3}, LI Shengbo¹, XU Shaobing¹, Fritz Frenkler²⁺

(1. Department of Automotive Engineering, State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Department of Art and Design, Hefei University, Hefei 230601, China;

3. School of Industrial Design, Technical University of Munich, Munich 80805, Germany)

Abstracts: To make automotive design conform to aesthetic psychology of target users, users' visual pattern recognition was researched comparatively with cross-culture perspective. Based on Feature Integration Theory (FIT) theory of Treisman, a general model for automotive styling feature's visual recognition was proposed. Automotive front face was taken as a sample, and China and Germany users were selected as subjects in the experiment; in first step, Dikablis eye tracker was used for eye-tracking experiment; the questionnaire survey combined with Likert scale was made in second step. Grey level histogram and SPSS software were used to analyze the experimental data, and the results provided reference for automotive styling feature's development oriented to the Chinese market.

Keywords: product design; automotive styling features; comparative research; visual pattern recognition; eye tracking

0 引言

根据调查,我国消费者在购买乘用车时,有

77.2%的用户认为外观造型是首要影响因素^[1]。用户从汽车造型的视觉识别开始,进而在头脑中形成感性意象,并最终完成汽车品牌的认知。目前国内

收稿日期:2014-04-22;修订日期:2014-07-03。Received 22 Apr. 2014; accepted 03 July 2014.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51205228);中国博士后科学基金资助项目(2014M560955);安徽高校省级优秀青年人才基金重点资助项目(2013SQRL078ZD);安徽省自然科学基金资助项目(1508085QG144);合肥学院人才基金资助项目(2014rc16)。Foundation items: Project supported by the National Natural Science Foundation, China (No. 51205228), the Postdoctoral Foundation, China (No. 2014M560955), the Outstanding Young Talent of Universities in Anhui Province, China (No. 2013SQRL078ZD), the Anhui Provincial Natural Science Foundation, China (No. 1508085QG144), and the Foundation for Talent in Hefei University, China (No. 2014rc16).

外学者对汽车造型和意象问题进行了大量研究,例如:Lai等^[2]应用鲁棒法研究了汽车轮廓的感性意象;王巍^[3]研究了汽车造型知识的获取、表达和应用方法;胡伟峰等^[4-5]求出了敏感感性意象形容词与汽车主特征线E1的定量关系,并基于遗传算法提出用户期望意象驱动的汽车造型基因进化思想和方法流程;HSIAO等^[6-8]应用模糊集方法研究了汽车造型风格、色彩及意象;Jay等^[9]运用形状文法,总结出别克汽车的设计语言;Peter等^[10]提出用多次显示的方法对汽车设计原型进行美学评价。

此外,有关学者对汽车造型的设计方法也进行了广泛研究,例如:黄琦等^[11]基于意象认知模型开发了汽车草图设计原型系统;张坪等^[12]提出一种面向风格创新设计的汽车形态特征识别方法;曹立波等^[13]通过建立基于特征和特征线的轿车造型特征参数描述模型,赋予造型特征以碰撞安全属性;Yadav等^[14]提出以质量功能展开(Quality Function Deployment, QFD)构建模型,将用户感性意向转化为可用的设计数据;Luo等^[15]提出一套评价方法,用以建立汽车轮毂造型与车体外轮廓造型之间的感性匹配关系。

然而,不同用户群体对汽车外观造型的感性意象受视觉模式识别的影响很大^[16],汽车的造型设计能否得到用户认可,关键在于是否符合特定群体的文化特征与规范。尤其是在一般技术日益同质化的趋势下,用户购买的不是基本的使用价值,更重要的是附加价值(如身份象征、精神满足等),从而突出了文化差异问题,而现有研究对此尚未涉及。为使汽车造型设计更加符合中国市场目标用户的审美心理,本文将基于跨文化视角,以中国和德国用户为例,对中西方用户的汽车识别模式进行比较研究,以期面向中国市场的车型开发提供参考和借鉴。

1 基于跨文化视角的比较研究与汽车造型视觉模式识别

1.1 基于跨文化视角的比较研究方法

比较研究是对物与物、人与人之间的相似性或相异性进行研究与判断,从而发现特殊或者普遍规律^[17],该方法已被广泛运用于科学研究的各个领域。其中,跨文化比较研究(cross-cultural studies)是一项重要分支,它运用来自许多社会的实地研究资料,以考察人类行为的视野,检视人类行为与文化

的假设^[18]。文化形态表现为地域性、民族性和排他性,并且影响到社会特征的各个方面。在具体研究中,跨文化研究的一般方法是通过选取来自不同文化背景的被试者进行比较分析,了解文化因素对个体的影响。美国著名学者 Collier 指出,比较研究方法是针对小规模样本或者少量案例的研究方法^[19],并且通过集中关注可比样本和控制变量数目提高实验结果的信度。

1.2 跨文化研究视角下汽车造型的视觉模式识别问题

1.2.1 视觉模式识别的跨文化研究

已有研究提出主要的跨文化差异理论模型包括:①荷兰学者 Hofstede 提出的五维度差异模型^[20],即权力距离、不确定回避、阳性—阴性、个人主义—集体主义、时间取向,据此设计了一份标准量表;②美国学者 Hall 提出的沟通脉络和单工—多工取向差异^[21];③近年来以 Nisbett 为代表的学者针对个体认知行为提出的推理风格差异等^[16]。

基于上述理论模型,国内外学者对视觉模式的文化差异性进行了实验和分析,特别是针对东西方族群用户,例如:Masuda等^[22]以日本人和美国人为样本,揭示了东亚人和西方人在视觉模式上的差异,结果表明东亚人较为关注场景以及场景和对象的关系,西方人则更关注对象本身,并且倾向于将对象从场景中剥离出来;Nisbett等^[23]提出,认知机制可以分为整体性(holistic)和分析性(analytic)两种模式,并分别进行了阐述;Dong Ying等^[24]提出用户网页视觉模式识别差异的假设,并以美国、韩国和中国用户作为研究样本,通过实验进行了验证。上述研究工作多为原理性实验,并不针对特定对象,因此对实际设计的指导作用尚不够充分。

1.2.2 汽车造型视觉模式识别的形式化描述

在汽车的各部分中,前视正面造型最能传达汽车的意象与风格信息。Sonja Windhager 通过眼动跟踪实验^[25]发现人类存在一种同形同构的内在心理机制,即如果外部事物的运动和形状与人的心理或生理特性类同,则外部事物就会引起人相应的感情活动。汽车前视正面造型之所以通常被称为“前脸”,就是因为人们习惯性地将它看作一张动物的脸,可以认为汽车前视正面造型的若干元素或成分按一定关系形成了某种固定刺激结构。本文基于 Treisman 的特征整合理论 (Feature Integration Theory, FIT)^[26]对汽车造型视觉识别的一般模型

进行如下形式化描述:

定义1 设 R 为物体的模式识别, 则 R 为一个五元组

$$R = \{A, P, S, C, K\}. \quad (1)$$

式中: A 为预处理, 指人的大脑会自发和无意识地将待识别的物体分解成为若干特征, 如形体、色彩和态势等; P 为平行加工, 指对特征的单一属性进行总体认知; S 为序列加工, 指在平行加工的基础上, 人脑对各重要特征逐一进行深度认知; C 为特征整合, 指人脑将各特征综合在一起, 获得整体认知; K 为先验知识, 指人头脑中已存在的知识与经验。

定义2 由定义1, 用巴科斯范式(Backus Normal Form, BNF)表示汽车造型的视觉模式识别:

$$\langle A \rangle ::= \langle \text{造型特征分解} \rangle; \quad (2)$$

$$\langle P \rangle ::= \langle \text{造型特征扫视} \rangle; \quad (3)$$

$$\langle S \rangle ::= \langle \text{造型特征注视} \rangle; \quad (4)$$

$$\langle C \rangle ::= \langle \text{造型特征捆绑} \rangle; \quad (5)$$

$$\langle K \rangle ::= \langle \text{长时记忆} \rangle. \quad (6)$$

定义3 设 T 为汽车造型特征, 则其视觉模式识别的信息处理过程描述为:

造型特征分解: $T \rightarrow \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}, t_i \in T$;

造型特征扫视: $\{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\} \rightarrow \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$;

造型特征注视: $\{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\} \rightarrow \{t_m\}, 1 < m < n$;

造型特征捆绑: $\{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\} \rightarrow T', T \cap T' \neq \emptyset$ 。

设 M 为用户头脑中存在的关于汽车造型特征的长时记忆, F 为识别度, δ_{\min} 为用户能够识别汽车的最小值, 则

$$F = \frac{T' \cap M}{M} = \delta \geq \delta_{\min}, \delta_{\min} > 0. \quad (7)$$

综上, 本文提出汽车造型视觉模式识别的模型如图1所示。

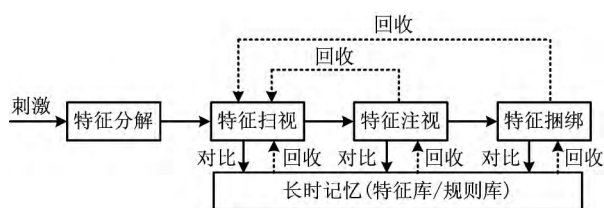


图1 基于FIT的汽车造型视觉模式识别模型

1.2.3 待研究关键问题

基于上述一般模型, 本文针对下列关键问题进

行深入探讨:

(1) 跨文化用户群体在汽车造型视觉模式识别的具体过程上有何不同。

(2) 不同用户群体的视觉模式识别是否存在先天性生理差异。

(3) 除了差异性, 汽车造型的视觉模式识别是否存在共性规律, 如果存在, 则具体表现如何。

2 实例研究

2.1 实验样本的选取

对设计师而言, 作为点和面的过渡, 特征线最适合于设计表达, 因此被普遍用于汽车设计。然而对用户而言, 面特征包含了最丰富的造型信息, 而且除了实现造型效果的特征线, 车身表面还存在装配所形成的分缝线(如图2^[27])。为了避免视觉效果受分缝线影响, 使被试对象获得完整有效的造型信息, 在实验中将采用汽车实景图片, 而非汽车造型特征线图。

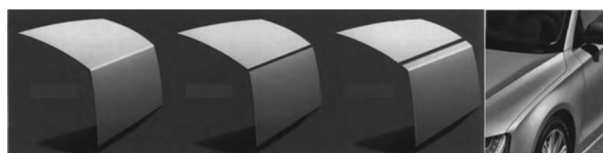


图2 造型特征线与装配分缝线关系示意图

2.2 实验准备

2.2.1 样本图片处理

基于与某跨国汽车企业的合作项目, 选取某型汽车前脸造型作为研究样本。为避免色彩和车标对实验的影响, 将图片处理为灰色模式, 将车标覆盖。分辨率为 600 dpi, 并将汽车前脸造型划分为 6 个感兴趣区(area of interest), 分别为: ①车窗; ②后视镜; ③引擎盖; ④车灯; ⑤进气格栅; ⑥转角。如图3所示。

2.2.2 被试对象选择

被试对象为随机选取的慕尼黑工业大学师生共 10 人, 其中: 德国人 5 名, 中国人 5 名; 男性 5 人, 女性 5 人; 平均年龄 26.4 岁, 矫正后双眼视力良好。试验地点为慕尼黑工业大学人机工程研究所眼动跟踪实验室, 实验过程由笔者主持。

2.2.3 实验设备与调查问卷介绍

(1) 使用德国 Ergonomeers 公司生产的 Dikablis 头戴式眼动跟踪仪进行测试, 该眼动跟踪仪为单眼式跟踪模式, 以红外摄像头捕捉左眼瞳孔。在测试

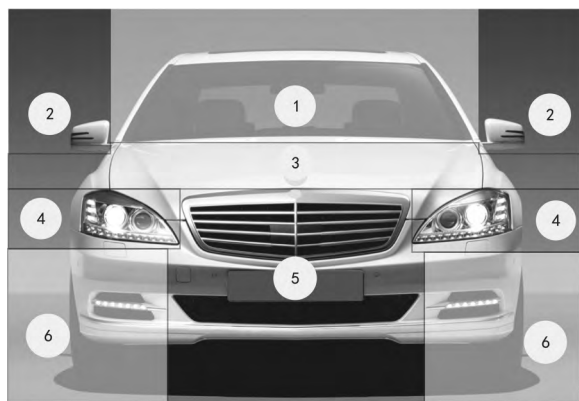


图3 样本感兴趣区划分

开始前,对每一位被试者分别进行调校。实验开始后将样本的图片全屏呈现在 19 英寸显示器上,被试者采用坐姿并与显示屏保持平视,相距约 90 cm 左右(如图 4)。



图4 实验装置实拍图

(2) Likert 量表是美国社会心理学家 Rensis Likert 发明的一种心理反应量表,是目前调查研究中使用最广泛的量表,受测者被要求指出对问题所陈述的认同度,如强烈同意、同意、中、反对、强烈反对。

2.2 实验过程

(1) 眼动跟踪实验 主试人向被试者介绍实验的目的和方法后,发出指令,要求被试者在观看样本图片时识别出汽车品牌,时间为 15 000 ms。被试者的眼动跟踪数据将由软件 Dikablis Recorder 记录和编辑。最后,实验结果由专业软件 D-Lab 进行分析。眼动实验过程模型如图 5 所示。

(2) 问卷调查 问题是“哪一部分最能帮助你认出这辆车的品牌”,除了 6 个感兴趣区域外,另增加“整体侦型”选项,使用-3(否)~3(是)的 7 点 likert 量表作答。在测试开始前首先向被试者详细介绍实验目的和方法,实验过程中不对被试者进行任何形式的思维引导和干涉,由各被试者分别独立完成,结果由 SPSS 软件处理。

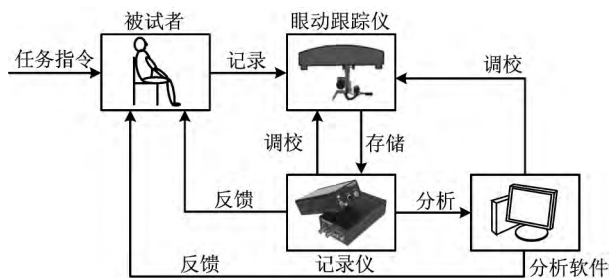


图5 眼动实验过程模型

3 分析与讨论

3.1 眼动热点图的特征提取与分析

排除无效数据,共采集到中国被试者 5 人、德国被试者 5 人的有效数据,并由软件分别生成 10 幅眼动跟踪热点图,如图 6 和图 7 所示。

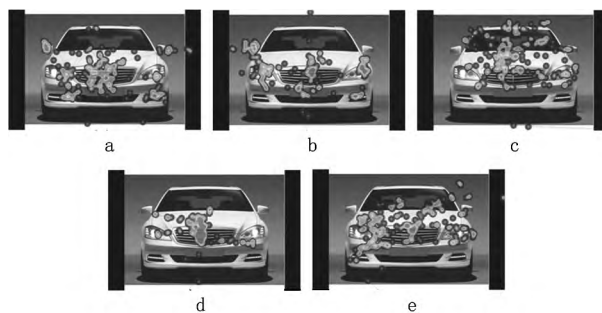


图6 中国被试者眼动热点图

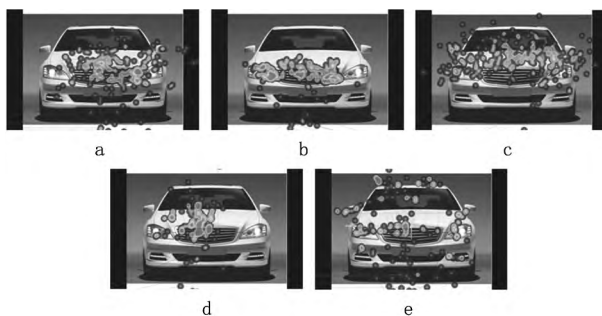


图7 德国被试者眼动热点图

本文采用灰度直方图特征提取的方法对眼动热点图进行处理,即

$$H(i) = \frac{n_i}{N}, i = 0, 1, \dots, L-1. \quad (8)$$

式中: i 为灰度级, L 为灰度级种类数($0 \sim 255$), n_i 为图像中具有灰度级 i 的像素的个数, N 为图像总的像素数。以图 6e 为例,经上述方法处理后的灰度图及直方图如图 8 所示。

为进一步描述灰度直方图的特征,采用方差和峰态(kurtosis)作为统计指标。方差反映的是一幅图像的灰度在数值上的离散分布情况,计算公式为

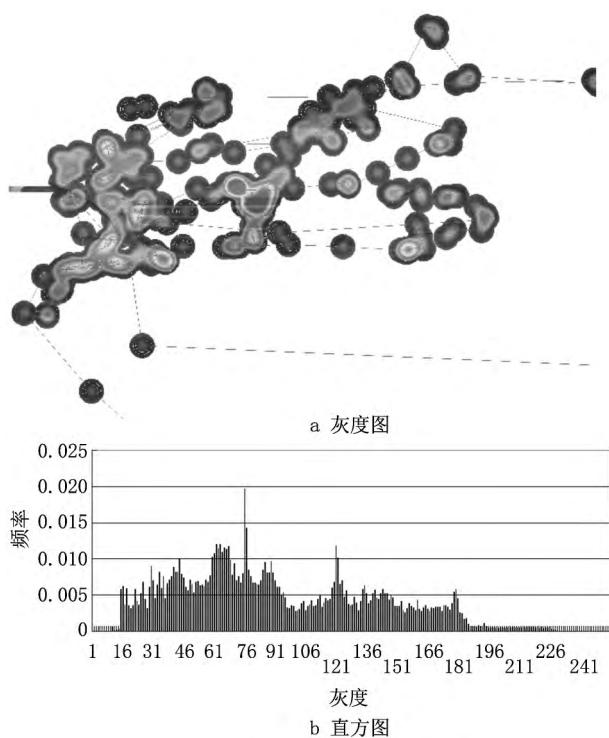


图8 灰度图及直方图

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu)^2 H(i). \quad (9)$$

峰态反映的是图像的灰度分布在接近均值时的状态,用以判断图像的灰度分布是否非常集中于平均灰度附近,峰态越小表示越集中,反之越分散,计算公式为

$$\mu_k = \frac{1}{\sigma^4} \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu)^4 H(i) - 3. \quad (10)$$

式(9)和式(10)中的 μ 表示灰度平均值,

$$\mu = \sum_{i=0}^{L-1} iH(i). \quad (11)$$

由此计算可得到眼动热点图的方差与峰态值,如表1和表2所示。

表1 中、德用户眼动热点灰度图的方差值比较

国别	用户					均值
	1	2	3	4	5	
中国	2 244.528	2 369.537	2 245.221	2 262.408	2 284.228	2 281.184
德国	2 034.014	2 391.130	2 025.710	2 642.009	2 051.246	2 228.822

表2 中、德眼动热点灰度图的峰态值比较

国别	用户					均值
	1	2	3	4	5	
中国	-0.610 74	-0.593 93	-0.318 87	-0.596 90	-0.627 92	-0.549 67
德国	-0.162 18	-0.738 84	-0.435 64	-0.431 44	0.191 695	-0.315 28

分别对表1和表2中的眼动热点灰度图的方差值与峰态值进行独立样本 T 检验,以确定中、德用户样本总体数量水平是否存在显著差异性:

(1)眼动热点灰度图方差值 T 检验 Levene 方差齐性检验, $F(1,8)=15.965, P=0.004<0.05$,经检验两样本方差不相等,在此条件下进一步得到 $t=0.415, P=0.698>0.05$ 。

(2)眼动热点灰度图峰态值 T 检验 Levene 方差齐性检验, $F(1,8)=3.596, P=0.094>0.05$,可认为两样本方差相等,进一步得到 $t=-1.407, P=0.197>0.05$ 。

由计算结果可以看出,中、德用户眼动热点灰度图的方差值来自于不同的正态总体,总体均数并无显著性差异,反映出两国用户眼动热点图灰度在数值上的离散分布情况较接近;眼动热点灰度图峰态值总体均数比较虽无显著性差异,但相对于方差值则差异更大,说明中国用户眼动热点图的灰度更集中于平均灰度附近。综上所述,可知两国用户对样本汽车图片的注视的整体分布类似,相比之下中国用户的注视更加均匀。

3.2 眼动跟踪数据对比分析

本文主要采用四个指标作为判别识别模式的依据,即各感兴趣区总注视时间、各感兴趣区注视次数、各感兴趣区注视频率和水平眼动指数。经 SPSS 软件处理后,得到的结果如图9所示。

(1)各感兴趣区注视时间比较

从图9a可以看出,两国用户在格栅区域中的注视时间最长。根据文献[10]的研究,较长的注视时间意味着在进行品牌识别任务时,这一区域具有特别吸引力。德国用户在位于视觉中心区域的车窗、引擎盖、进气格栅的总注视时间均高于中国用户,而在位于视觉中心两侧的后视镜、车灯和转角的总注视时间均低于中国用户。此外,中国用户在各感兴趣区域的总注视时间标准差为1.59,低于德国用户的1.73,反映出中国用户在各区域的注视时间更加平均。

(2)各感兴趣区注视次数比较

由图9b可知,中国用户在进气格栅区域的注视次数最高,表明其不断对该区域进行往复注视,以读取更多有用信息进行品牌判断。德国用户在引擎盖区的注视次数最高,表明其更习惯于以视觉中心为原点进行目标扫视。另外,中国用户在各感兴趣区注视次数的总和为41.60,大于德国用户的32.60,

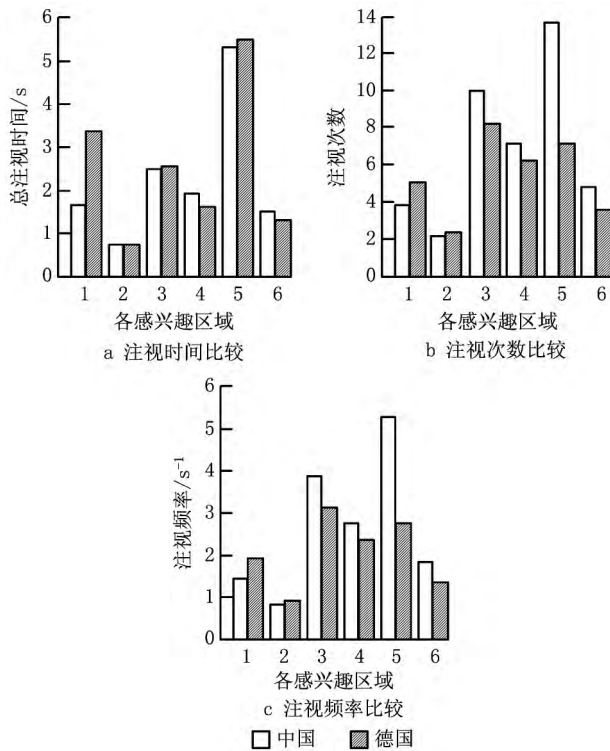


图9 眼动数据比较直方图

这意味着中国用户有更多的扫视和搜索,可以认为中国用户相对于德国用户更加趋向于由上而下的识别模式。

(3) 各感兴趣区注视频率

根据文献[10]的研究,较高的注视频率代表更多的信息处理。中国用户在引擎盖、车灯、进气格栅和转角区的注视频率高于德国用户,这些感兴趣区占据了样本图片的主要特征区域,表明中国用户在特征分析过程中的信息处理量更大。说明中国用户的信息处理更加活跃,但也意味着对造型特征较为不熟悉,因此需要更多的处理。

对以上三组数据分别进行单因素方差分析,目的在于检验单一因素影响的一个因变量分组的均值差异性是否具有统计意义。在本文中,单一因素为用户国别,因变量为中、德用户眼动注视各指标,即各感兴趣区的注视时间、注视次数与注视频率,计算结果如表 3 所示。

通过表 3 可以看到,组间自由度与组内自由度分别为 1 和 8, P 值分别为 0.807, 0.461 和 0.450, 均大于 0.05 的显著性水平。根据该结果可以否定有效假设,即认为中、德用户在各感兴趣区的注视时间、注视次数与注视频率三项指标上无显著性差异。

表 3 单因素方差分析

统计指标	眼动指标		
	各感兴趣区 注视时间	各感兴趣区 注视次数	各感兴趣区 注视频率
$F(1,8)$	0.063	0.588	0.618
P	0.807 > 0.05	0.461 > 0.05	0.450 > 0.05
是否显著	否	否	否

(4) 水平方向眼动指数

人眼有眼跳(saccade)、追踪运动(smooth pursuit movement)、辐辏运动(vergence movement)和前庭眼运动(vestibulo-ocular movements)四种基本运动^[28],在方向上分为垂直和水平两个方向。本实验中使用 Dikablis 眼动仪,对人眼在水平方向上的四种运动指标进行加权计算,得出眼动指数,以判断被试者水平方向眼动的积极与活跃程度。实验数据如表 4 所示。

表 4 水平方向眼动指数

国别	用户				
	1	2	3	4	5
中国	66.648	88.276	97.988	85.248	92.460
德国	62.630	81.602	56.202	72.318	66.965

以国别为组别进行单因素方差分析,得到 $F(1,8) = 7.045$, $P = 0.029 < 0.05$,表明中、德两国用户的水平眼动指数整体上存在显著性差异。中国用户的水平眼动指数均值为 86.12,明显高于德国用户的均值 67.94,表明相比于德国用户,中国用户在水平方向上的眼动更加积极和活跃,进一步解释了第 1 章中的实验结果,即德国用户注视时间多集中于视觉中心区域,而非两侧区域。

3.3 问卷调查结果分析

对问卷结果进行统计,分别计算出中、德用户在 6 个感兴趣区域以及整体造型的均值,了解哪一个区域最能帮助用户识别出汽车的品牌,结果如表 5 和图 10 所示。

两国用户排在前四位的区域相同,依次为进气格栅、整体造型、车灯、后视镜。值得提出的是,中、德两国用户均认为整体造型有助于品牌的识别,两国用户表现出了高度的一致性,体现了完形心理的识别模式^[29]。德国用户打分均值为 0.40,远高于中国用户的一 0.19,原因是:实验样本图片是一辆德国车(奔驰),相对于中国用户,德国用户的头脑中已经

表 5 Likert 量表得分均值

国别	感兴趣区							均值
	1. 车窗	2. 后视镜	3. 引擎盖	4. 车灯	5. 进气格栅	6. 转角	7. 整体造型	
中国用户	-2.20	-0.91	-1.80	0.40	2.80	-1.20	1.60	-0.19
德国用户	-2.00	0.00	-0.27	1.45	2.20	-0.55	2.00	0.40

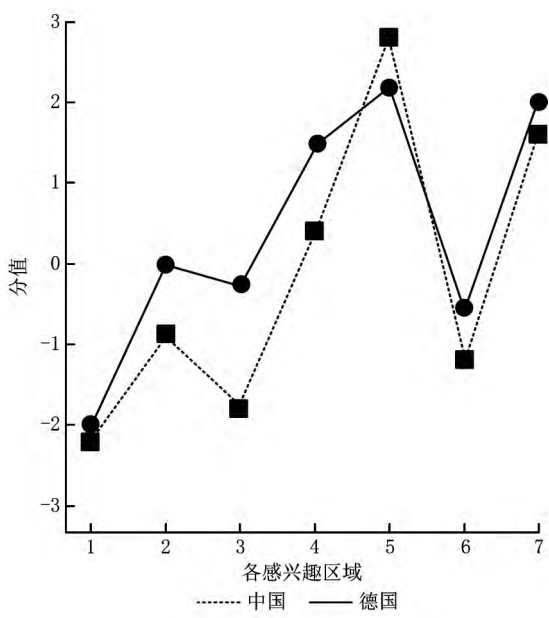


图10 Likert量表得分均值比较

形成了更深刻的长期记忆,换言之,德国用户头脑中的原型更加鲜明和准确,因此在模式识别的原型匹配过程中做出了更为自信和肯定的判断。

4 结束语

本文面向汽车造型特征,基于眼动跟踪技术和 likert 量表,对中德两国用户为代表的东西方文化背景下的模式识别进行跨文化研究,得出如下结论:

(1)在共同的主任务(汽车品牌识别)下,不同群体用户的基本认知方式具有相似性,特别是中德用户较为一致地具有完形心理的识别模式。相对于德国用户,中国用户更趋向于由上而下的识别模式,即在汽车造型的认知过程中由整体到局部。

(2)中国用户在汽车前脸造型视觉过程中的水平眼动更为活跃;德国用户的视觉更多地集中于汽车前视正面造型的中心区域,并且在识别过程中习惯回到中心区域,以此为原点再进行搜索;相比之下,中国用户搜索的跳跃性更强,中国用户在汽车造型特征注视的识别模式过程中的视觉信息处理量更大,过程更加复杂。

(3)就汽车前视正面造型而言,进气格栅、车灯、

后视镜的造型是最能帮助用户识别品牌的重要特征。用户对于熟悉的事物会形成更加深刻的长时记忆,汽车造型的良好继承性对用户识别品牌作用显著。

同时,由于人类认知机制的复杂性,尚存在很多值得进一步探讨的问题。Treisman 理论对特征的定义,通常是指线段、色块等,在解释三维图景的识别问题时存在不足,本文采用的样本即使是实景图片,严格地讲也仅是二维的;另外视觉启动 (visual priming)对造型识别机制的影响也不可低估,这些都是下一步研究工作中待解决的问题。

参考文献:

[1] WANG Chunyan, RAO Da, WANG Zhi, et al. Report of China automotive consumer trend[R]. Beijing: Xinhua International Information Consulting Co., Ltd., 2011(in Chinese). [王春燕, 饶达, 王智, 等. 中国汽车消费趋势报告[R]. 北京: 新华信国际信息咨询有限公司, 2011.]

[2] LAI H H, CHANG Y M, CHANG H C. A robust design approach for enhancing the feeling quality of a product: a car profile case study[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2005, 35(5): 445-460.

[3] WANG Wei. Description and application of domain knowledge in automotive styling[D]. Changsha: Hunan University, 2007 (in Chinese). [王巍. 汽车造型的领域知识与应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.]

[4] HU Weifeng, ZHAO Jianghong, ZHAO Danhua. Study on styling image of vehicle based on form feature lines[J]. China Mechanical Engineering, 2009, 20(4): 496-500 (in Chinese). [胡伟峰, 赵江洪, 赵丹华. 基于造型特征线的汽车造型意象研究[J]. 中国机械工程, 2009, 20(4): 496-500.]

[5] HU Weifeng, ZHAO Jianghong. Automobile styling gene evolution driven by users expectation image[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(16): 176-181 (in Chinese). [胡伟峰, 赵江洪. 用户期望意象驱动的汽车造型基因进化[J]. 机械工程学报, 2011, 47(16): 176-181.]

[6] HSIAO S W. Fuzzy set theory applied to car style design[J]. International Journal of Vehicle Design, 1994, 15(3): 255-278.

[7] HSIAO S W. Fuzzy set theory on car-color design[J]. Color Research and Application, 1994, 19(3): 202-213.

[8] HSIAO S W, CHAN G M S. A semantic recognition based approach for car's concept design[J]. International Journal of Vehicle Design, 1997, 18(1): 53-82.

- [9] MCCORMACK J P, CAGAN J, VOGEL C. Speaking the Buick language: capturing, understanding, and exploring brand identity with shape grammars [J]. *Design Studies*, 2004, 25(1): 1-29.
- [10] COUGHLAN P, MASHMAN R. Once is not enough; repeated exposure to and aesthetic evaluation of an automobile design prototype [J]. *Design Studies*, 1999, 20(6): 553-563.
- [11] HUANG Qi, SUN Shouqian. Research on automobile sketch design based on image cognition model [J]. *Journal of Zhejiang University: Engineering Science*, 2006, 40(4): 553-559 (in Chinese). [黄琦, 孙守迁. 基于意象认知模型的汽车草图设计技术研究 [J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2006, 40(4): 553-559.]
- [12] ZHANG Ping, XUE Chengqi. A style-innovation-oriented automobile feature recognition method [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2011, 47(10): 157-163 (in Chinese). [张坪, 薛澄歧. 一种面向风格创新设计的汽车形态特征识别方法 [J]. *机械工程学报*, 2011, 47(10): 157-163.]
- [13] CAO Libo, LONG Tengjiao, ZHANG Guanjun, et al. Study on sedan frontal styling features based on pedestrian protection [J]. *China Mechanical Engineering*, 2013, 24(16): 2266-2271 (in Chinese). [曹立波, 龙腾蛟, 张冠军, 等. 基于行人保护的轿车前部造型特征研究 [J]. *中国机械工程*, 2013, 24(16): 2266-2271.]
- [14] YADAV H C, JAIN R, SHUKLA S, et al. Prioritization of aesthetic attributes of car profile [J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2013, 43(4): 297-303.
- [15] LUO Shijian, FU Yetao, ZHOU Yuxiao. Perceptual matching of shape design style between wheel hub and car type [J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2012, 42(1): 90-102.
- [16] NISBETT R E, NORENZAYAN A. Culture and cognition [M]. New York, N. Y., USA: John Wiley & Sons, 2002: 2-3.
- [17] EMBER C R, MELVIN E. Handbook of methods in cultural anthropology [M]. Walnut Creek, Cal., USA: AltaMira Press, 1998: 647-690.
- [18] LIANG Jue, ZHOU Fan. Cross-cultural research methods: review and prospect [J]. *Acta Psychologica Sinica*, 2010, 42(1): 41-47 (in Chinese). [梁觉, 周帆. 跨文化研究方法的回顾及展望 [J]. *心理学报*, 2010, 42(1): 41-47.]
- [19] COLLIER D. Small number of samples for analysis and comparison methods [M]//ZHANG Yuan, transl. *Frontier of Comparative Politics*. Beijing: Central Compilation and Translation Press, 2013(1): 237-271 (in Chinese). [David Collier. 小样本分析与比较研究方法 [M]//章远, 译. *比较政治学前沿*. 北京: 中央编译出版社, 2013(1): 237-271.]
- [20] HOFSTADTER G. Culture's consequences: international differences in work-related values [M]. Beverly Hills, Cal., USA: Sage, 1980.
- [21] HALL E T, HALL M. Understanding cultural difference: Germany, French and Americans [M]. Boston, Mass., USA: Intercultural Press, 1990.
- [22] MASUDA T, NISBETT R E. attending holistically versus analytically: comparing the context sensitivity of Japanese and Americans [J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 2001, 81(5): 992-934.
- [23] NISBETT R E, PENG K, CHOI I, et al. Culture and systems of thought: holistic versus analytic cognition [J]. *Psychological Review*, 2001, 108(2): 291-310.
- [24] DONG YING, LEE K P. A cross-cultural comparative study of users' perceptions of a webpage: a focus on the cognitive styles of Chinese, Koreans and Americans [J]. *International Journal of Design*, 2008, 2(2): 19-30.
- [25] WINDHAGER S, HUTZLER F, CARBON C C, et al. Laying eyes on headlights: eye movements suggest facial features in cars [J]. *Collegium Antropologicum*, 2010, 43(3): 1075-1080.
- [26] TREISMAN A M, GELADE G. A feature-integration theory of attention [J]. *Cognitive Psychology*, 1980, 12(1): 97-136.
- [27] LAN Wei. Study on design methods for rational automotive styling [D]. Changchun: Jilin University, 2010 (in Chinese). [兰巍. 理性化汽车造型的设计方法研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2010.]
- [28] LUO Shijian, ZHU Shangshang, YING Fangtian, et al. Vision-behavior-emotion based product family design gene [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2009, 15(12): 2289-2295 (in Chinese). [罗仕鉴, 朱上上, 应放天, 等. 基于视觉—行为—情感的产品族设计基因 [J]. *计算机集成制造系统*, 2009, 15(12): 2289-2295.]
- [29] HOWARD T J, CULLEY S J, DEKONINCK E. Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature [J]. *Design Studies*, 2008, 29(2): 160-180.
- [30] LU Zhaolin, TANG Wencheng, XUE Chengqi. Method of design DNA reasoning based on shape grammar [J]. *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*, 2010, 40(4): 704-711 (in Chinese). [卢兆麟, 汤文成, 薛澄歧. 一种基于形状文法的产品设计 DNA 推理方法 [J]. *东南大学学报: 自然科学版*, 2010, 40(4): 704-711.]

作者简介:

卢兆麟(1980—),男,安徽阜阳人,清华大学博士后,合肥学院艺术设计系副教授,东南大学-慕尼黑大学联合培养博士,研究方向:产品可用性、用户体验等, E-mail: luzhaolin9807@mail. tsinghua. edu. cn;

李升波(1982—),男,山东日照人,工学博士,助教,研究方向:经济性驾驶、主动安全;

徐少兵(1989—),男,安徽庐江人,博士研究生,研究方向:经济性驾驶策略、最优控制;

+Fritz Frenkler(1956—),男,德国布伦瑞克人,教授,主任,研究方向:产品设计、设计理论与方法,通信作者, E-mail: frenklen@lrz. tu-muenchen. de.