

基于眼动追踪的汽车造型特征线设计方法研究

马丽莎, 吕健, 单军军, 潘伟杰

(贵州大学现代制造技术教育部重点实验室, 贵阳 550025)

摘要: **目的** 在汽车造型设计开发之前, 有效预测汽车造型特征线产生的意象是否真正符合用户隐性意图, 便于提高汽车行业情感意象设计水平。**方法** 首先, 获取用户群体需求信息, 引导设计方向; 其次, 建立汽车造型意象认知模型, 通过案例分析, 构建“标杆车”造型特征线目标意象集; 再次, 依据眼动实验, 提出基于眼动指标(注视点数目、注视时间、平均注视时间)的汽车造型特征线提取模型, 进行汽车造型特征线显著性分析与特征线提取; 最后, 采用形状文法坐标变换规则, 结合贝赛尔曲线描述, 通过类比形式进行规则映射分析, 使用矢量工具 Adobe Illustrator 改变特征曲线各锚点与控制点坐标值, 实现汽车造型特征的继承与变异。**结果** 以阿尔特 SUV 概念研发项目为例, 论述该设计方法, 通过奔跑的狮子形态进行意象类比, 得出最终设计方案。**结论** 对最终设计方案进行用户喜好度意象评估, 用户喜好度为 87.65%, 证实了该汽车造型意象设计方法的可行性, 为汽车行业满足用户群体偏好特征意象, 提供了一种新的设计方法。

关键词: 汽车造型; 造型意象; 眼动实验; 用户喜好度

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)04-0234-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.04.038

Design Method of Automobile Modeling Feature Line Based on Eye Movement Tracking

MA Li-sha, LYU Jian, SHAN Jun-jun, PAN Wei-jie

(Key Laboratory of Modern Manufacturing Technology of the Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: The work aims to effectively predict whether the image produced by the car styling characteristic line truly meets the user's implicit intention, and to improve the design level of the emotional image of the automobile industry before the design and development of automotive modeling. First, users demand information was obtained and design direction was guided. Secondly, the automobile form image cognition model was established. Through case analysis, "standard car bar" target image set was constructed. Thirdly, on the basis of eye movement experiment, the automobile form feature extraction model based on the eye movement index (the number of fixation point, fixation time, average fixation time) was proposed and the significance of automobile design features and characteristics of image extraction were analyzed and extracted. Finally, the rules mapping was analyzed through analogy by shape grammar rules combined with coordinate transformation of the Bézier curve and characteristic curve coordinates of each anchor point and control point value was changed by vector tools Adobe Illustrator change so as to realize the inheritance and variation of the automobile form feature. The design method of image analogy was discussed with IAT SUV concept development project as an example by a lion running form and then the final design scheme was obtained. The user preferences of the final design scheme are evaluated. The user preference is 87.65%, which confirms the feasibility of the vehicle form image design method, and

收稿日期: 2018-08-29

基金项目: 国家科技支撑项目(2014BAH05F01); 贵州省科技项目([2015]6014, [2016]7467, [2016]2327, [2017]1046, [2016]12, [2017]2016)

作者简介: 马丽莎(1992—), 女, 山东人, 贵州大学硕士生, 主攻设计认知及产品设计方法。

通信作者: 吕健(1983—), 男, 河北人, 博士, 贵州大学副教授、硕士导师, 主要研究方向为先进制造模式及制造信息系统、数字化设计与制造、工业设计。

provides a new design method for the automotive industry to meet user preferences.

KEY WORDS: automotive modeling; modeling image; eye movement experiment; user preferences

汽车造型特征线对其造型意象的影响,逐渐成为汽车设计行业研究的热点,其设计能否满足用户期望,是各汽车设计公司研发成败的关键。如何围绕用户偏好进行汽车创新设计,学者们从不同方面对该问题展开了研究。傅业焘^[1-2]研究了汽车外形基因设计对汽车造型意象的贡献率,并提出了基于偏好驱动的SUV产品族外形基因设计方法。Toni^[3]从语义层面进行了汽车品牌与风格的研究。Oscar^[4]研究了VOLVO货车前脸造型的遗传与变异机制。胡伟峰^[5]以汽车造型特征线为研究对象,提出了用户期望意象驱动的汽车造型基因进化模型。胡婷婷^[6]探究了汽车造型意象设计中设计师和用户的认知差异性。李明珠^[7]以汽车造型为研究对象,提出了基于数量化理论I类的汽车意象造型设计方法。卢兆麟^[8]阐述了汽车造型风格特征的本体知识,并提出了认知过程模型。

目前研究中,在设计开发之前,并未能有效地预测汽车造型特征线对用户隐性需求的影响。本文获取用户群体偏好特征,通过汽车案例分析,建立“标杆车”汽车造型特征线目标意象集作为参考,从生理学角度出发,提出基于眼动追踪技术的汽车造型特征线设计方法,辅助设计师获取真正符合用户的隐性需求,从而快速设计出满足用户感性意象的汽车。

1 用户群体需求信息获取

汽车造型设计中,用户与设计师的认知模式存在差异,尽管设计是从以用户为中心的角度出发,但设计师对汽车感性意象的理解与描述,仍不能等同于用户的真实意象。同一用户群体需求具有相似性,可用一组共同需求特征 $C = \{c_i (i=1,2,\dots,m)\}$ 来描述,其中特征 c_i 对应 v_i 个特征值 $V_i^c = \{v_{ig}^c (g=1,2,\dots,r_i)\}$ 。在用户需求知识获取时,可通过用户需求特征 c_i 获取一个特征值 v_i , 表示为:

$$PC = \langle c_1, v_1^c \rangle \vee \langle c_2, v_2^c \rangle \vee \dots \vee \langle c_m, v_m^c \rangle, v_i^c \in V_i^c \quad (1)$$

2 汽车造型意象认知模型

设计意象是设计者通过形态赋予产品生命,使用户经过想象、思考等大脑思维活动,对产品审美认知进行加工的过程。对汽车造型意象认知而言,其过程是对汽车造型本体知识的提取和解读,既包含造型特征、设计规则等特征,又包含对汽车造型的认知过程。

2.1 汽车造型本体知识表征

依据知识能否被清晰表达,英国著名心理学家Polanyi^[9]把知识划分为隐性知识和显性知识。本文将

汽车造型本体知识中物理层面的特性,如材质、肌理、特征线等划分为显性知识;而精神层面的特性,如情感体验、品牌效应等划分为隐性知识。基于巴科斯范式(Backus-Naur form, BNF)对汽车造型本体知识的一般模型进行如下形式化表征:

$$\langle X \rangle ::= \langle \text{形态} \rangle \langle \text{颜色} \rangle \langle \text{材质} \rangle \langle \text{肌理} \rangle \langle \text{特征线} \rangle \langle \dots \rangle$$

$$\langle Y \rangle ::= \langle \text{品牌} \rangle \langle \text{情感} \rangle \langle \text{价值} \rangle \langle \text{文化} \rangle \langle \text{信念} \rangle \langle \dots \rangle$$

$$\langle M \rangle ::= \langle \text{显隐性知识匹配关系} \rangle$$

设 Q 为汽车造型本体知识,则 $Q = \{X, Y, M\}$ 。其中: X 为显性知识集合; Y 为隐性知识集合; M 为显隐性知识匹配关系集合。将汽车造型本体知识视为有序三元组,则汽车造型设计就是对三元组知识的理解与操作。

2.2 基于“标杆车”的汽车造型特征线认知过程

在汽车设计过程中,通常采用“标杆车”作为参考造型意象,通过视觉、触觉等多感官通道识别汽车的本体信息,将某些造型特征属性作为知识,回馈到新的设计开发中。设 B 为代表性“标杆车”的造型特征集, $B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$, 对每个“标杆车”样品进行造型特征线量化描述,得到可识别特征线集, $b = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$, 则代表性样本的目标意象集矩阵为:

$$B_{m,n} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \dots & b_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} \dots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中: n 代表“标杆车”样本的个数; m 代表可识别特征参数的维数。

汽车造型意象能否被用户认知,关键在于用户对造型特征线与意象语义概念知识的转化。用户在获取汽车造型特征线信息时,与已有经验知识进行比对,当可识别特征集高于一定认知经验水平时,就会被用户确立为目标意象,然后目标意象的显性造型特征线 $b_{m,n}$ 会唤起与之对应的隐性情感 $a_{m,n}$, 见图1。

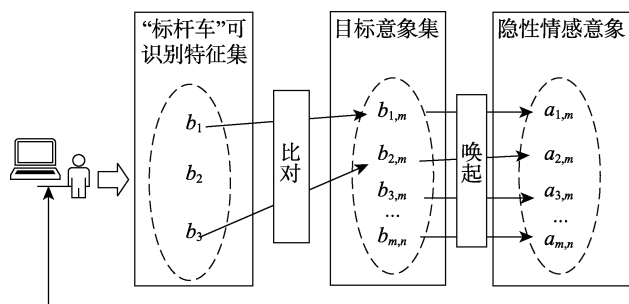


图1 用户识别汽车造型特征意象模型

Fig.1 Car modeling feature image model by user recognition

2.3 基于眼动指标的汽车造型特征线提取模型

用户对汽车造型的审美认知过程主要从视觉开始,进而形成感性意象。眼动模式作为获取用户隐性情感的有效手段,通过注视刺激材料,获取热点图、注视时间、注视次数等指标,分析感兴趣区域(AOI, Area Of Interest)对用户的吸引力,从而实现汽车造型特征线的提取^[10]。设眼动实验中被试 h_i 对刺激材料 g_j 的各项眼动指标数据为:

$$Z(h_i, g_j, K) = \begin{bmatrix} Z(h_1, g_1, K) & Z(h_1, g_2, K) & \cdots & Z(h_1, g_m, K) \\ Z(h_2, g_1, K) & Z(h_2, g_2, K) & \cdots & Z(h_2, g_m, K) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Z(h_n, g_1, K) & Z(h_n, g_2, K) & \cdots & Z(h_n, g_m, K) \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中: $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ 为眼动数据指标, 包含兴趣区域的热点图、注视点、注视时间等。所有被试对刺激材料 g_j 的眼动数据指标 k_w 的综合值为:

$$Z(h_{1-n}, g_j, k_w) = \frac{Z(h_1, g_j, k_w) + Z(h_2, g_j, k_w) + \cdots + Z(h_n, g_j, k_w)}{n} \quad (4)$$

则汽车造型待提取造型特征线 T 是眼动指标综合值最大的设计特征线, 表示为:

$$T \leftarrow \text{MAX}(Z(h_{1-n}, g_j, k_w)) \quad (5)$$

2.4 汽车造型特征线的遗传变异

汽车造型实体通过层级细分结构进行知识表达,

包含整体造型层、特征属性层和特征属性描述层^[11]。汽车造型特征线实质上是汽车造型进化操作的基本类别层, 是汽车遗传因子中的显性基因, 可使用形状文法进行造型特征线的遗传变异, 使其造型意象满足用户的感性需求。形状文法的变异规则应侧重于“遗传”, 在原有造型的基础上调整、交叉和变换^[12], 其规则包含: $r1$ 置换、 $r2$ 增删、 $r3$ 缩放、 $r4$ 复制、 $r5$ 旋转、 $r6$ 错切和 $r7$ 坐标变动等。

设形状 A , 执行几何变换的过程 TA 表示为:

$$TA = [x, y, 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \Delta x & \Delta y & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中: Δx 和 Δy 表示形状 A 的坐标变动量。

基于汽车是由点、线、面多信息层组成的几何特征空间, 汽车造型的特征面包含特征线, 特征线包含特征点, 因此特征点是汽车造型特征的重要表征^[5]。贝塞尔曲线将特征线基因分为若干个锚点 $p_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 本文采用三次方贝塞尔曲线, 其表达式为:

$$B(t) = P_0(1-t)^3 + 3P_1t(1-t)^2 + 3P_2t^2(1-t) + P_3t^3, \quad t \in [0, 1] \quad (7)$$

在对汽车造型意象设计案例应用形状文法推理时, 改变贝塞尔曲线锚点坐标, 可实现汽车造型特征线的遗传与变异, 能更好地对造型风格进行延续, 其过程见图2。

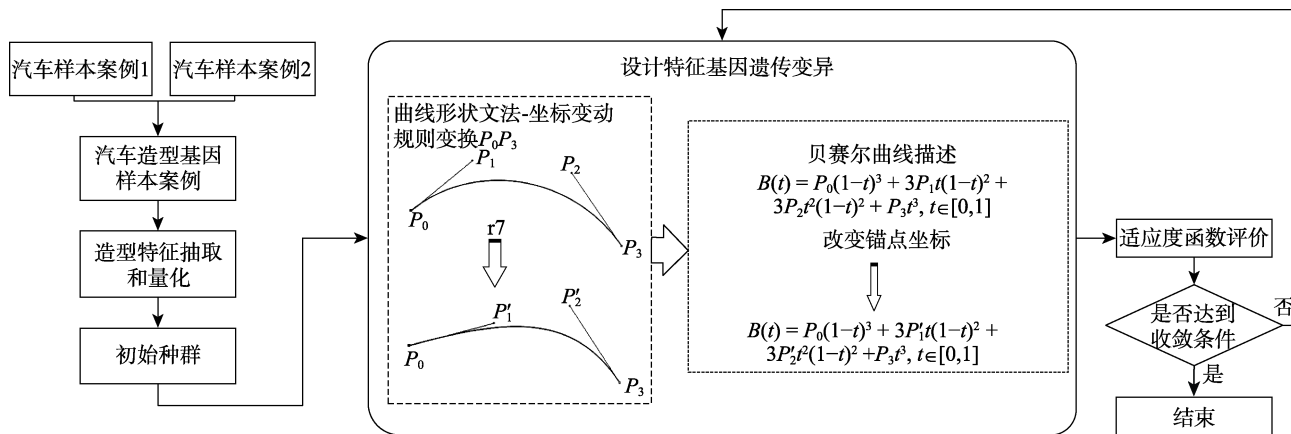


图2 汽车造型特征遗传变异过程
Fig.2 Genetic variation process of car styling characteristics

3 设计方法实施

3.1 用户群体需求定位

不同用户群体对汽车造型设计的审美认知和感性需求具有差异性。本文通过访谈、问卷调查等方法, 对22~30岁年轻男性群体获取对汽车造型特征意象的需求信息, 整理并总结得出如下共同需求特征:

$$PC = \langle \text{车型, SUV} \rangle \vee \langle \text{轮廓造型, 沉稳} \rangle \vee \langle \text{情感意象, 速度感} \rangle \vee \langle \text{颜色, 时尚感} \rangle$$

3.2 构建“标杆车”造型特征意象集

利用媒体、网络、杂志等相关渠道, 获取大量SUV汽车造型图片, 对汽车造型知识展开研究, 依据用户群体需求信息进行筛选, 将图片按相似性进行

分组，剔除不符合需求的图片，选取 3 款具有代表性的 SUV 汽车造型，构成“标杆车”造型特征意象集，其过程见图 3。

3.3 基于眼动实验的汽车造型特征线提取

眼动模式作为获取用户隐性知识及设计对象知识的有效手段，将难以表达的隐性知识外显化，形成设计所需的知识体系。通过热点图、平均注视时间、注视时间、注视次数、感兴趣区域等数据分析与转换方法，获取汽车造型特征线对消费者视觉的吸引力，挖掘用户的显隐性知识。

3.3.1 实验设备

EyeSo 眼动仪；一台安装眼动仪软件 EyeSo 的电脑；遮光罩。

3.3.2 实验被试

汽车造型特征线意象实验的被试为 20 名 22~30

岁的在校研究生，均为男生，所有的被试眼睛矫正后视力良好，没有色盲和色弱等情况。

3.3.3 实验材料

在汽车造型特征设计中，影响汽车造型特征意象的关键特征为汽车侧轮廓、前脸轮廓、进气格栅、车灯、轮毂等，因此本文选取 3 款具有代表性的 SUV 汽车造型的这几个特征作为实验样本，每幅特征图像中预设 3 个感兴趣区域（AOI），形成对比。影响汽车造型设计的因素是多维的，为了避免同一造型不同色彩对汽车造型意象带来的影响，故对每幅图片进行灰度处理，将实验图片的主要特征线进行矢量化抽取，每个兴趣区域上半部分为汽车造型意象特征图，便于被试理解下方量化抽取的特征线，见图 4。

3.3.4 实验过程

实验目的是从生理学角度出发，使用眼动追踪技

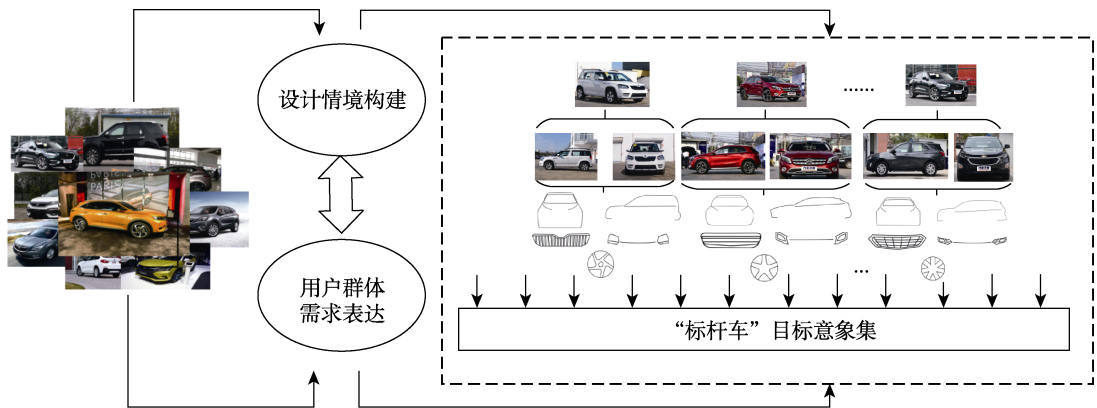


图 3 “标杆车”造型特征意象集
Fig.3 "Mark car" modeling image set

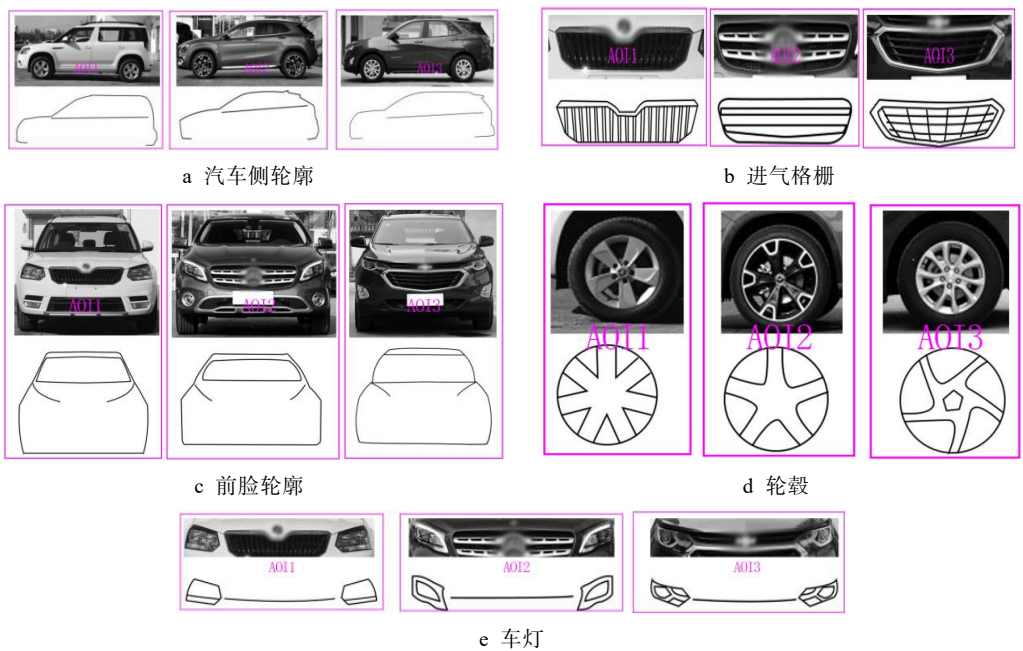


图 4 主要特征线矢量化提取
Fig.4 Main feature line vectorization extraction

术监测被试对汽车造型特征线刺激的反应,用客观数据代替主观意图,真实地反映被试的喜好,排除干扰因素对用户意愿带来的模糊性与不确定性。主试者向被试介绍实验的方法和任务,并对每位被试分别进行视觉校准,被试眼睛与显示器保持平视,相距约一臂

之长。校准后,发出指令,要求被试观看 5 幅样本图像 AOI 内的刺激材料,注视符合个人偏好的设计特征,时间为 20000 ms。
20 名被试依次观看 5 幅汽车造型特征线视觉刺激图像,以第 10 位被试形成热图分布为例,见图 5。

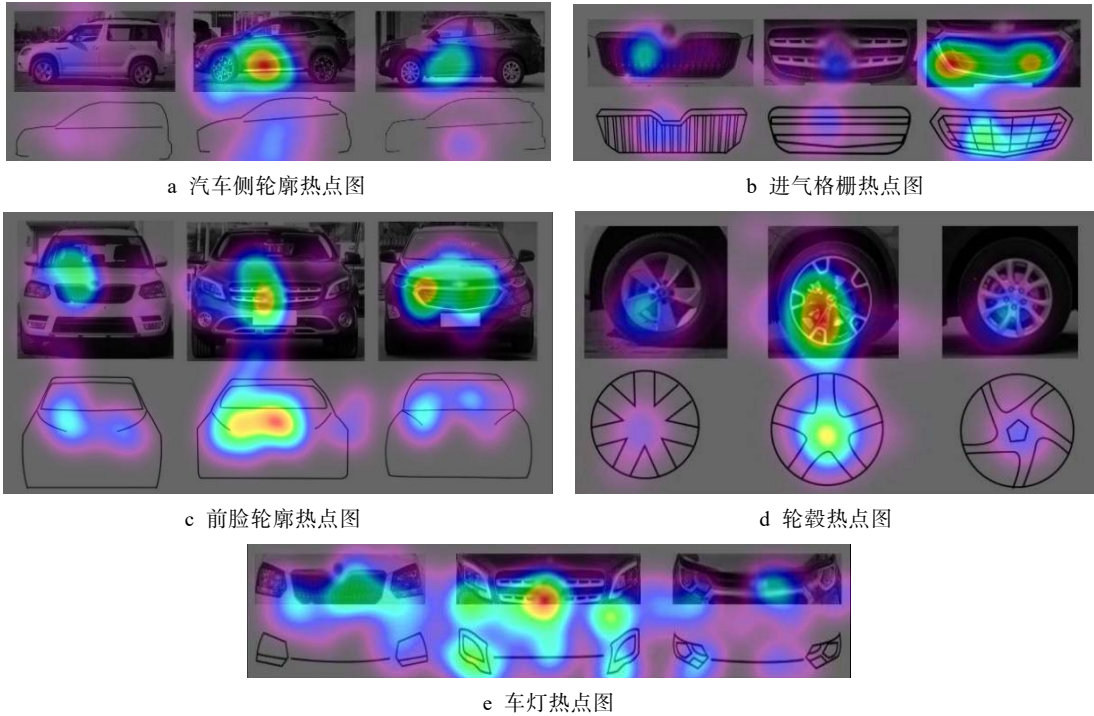


图 5 主要特征线热点图
Fig.5 Main feature line hotspot map

3.3.5 设计特征线显著性分析与提取

为了进一步量化汽车造型设计特征线的显著性权重,提取最能表达用户意象的造型特征线,以车灯特征为例,统计设计特征线对应感兴趣区域(AOI)内的注视时间、注视点个数、平均注视时间 3 个指标。第 10 位被试对感兴趣区域(AOI)内的注视时间图、注视点个数图、平均注视时间图,见图 6—8。表 1 表示 3 款车灯设计特征线对应的目标意象 1、目标意

象 2、目标意象 3 的眼动指标。
用户对汽车造型审美特征线的提取,以感兴趣区域(AOI)内的注视时间、注视点个数、平均注视时间 3 个眼动指标的综合数据处理为原则,分析感兴趣区域(AOI)内刺激内容对用户的吸引力大小及重要程度。将 20 名被试的车灯特征实验数据带入公式(4),计算所有受试者对 3 款车灯目标意象的综合指标值,见表 2。



图 6 注视时间
Fig.6 Fixation time

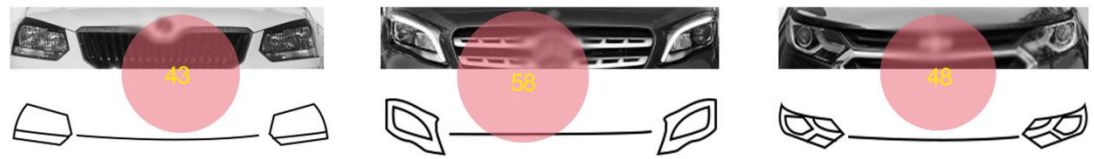


图 7 注视点个数
Fig.7 Number of fixation points



图 8 平均注视时间
Fig.8 Average fixation time

表 1 目标意象的眼动指标
Tab.1 Eye movement data of target image

指标	目标意象 1	目标意象 2	目标意象 3
注视时间/ms	10234	16550	8808
注视点/个	43	58	48
平均注视时间/ms	483	698	397

表 2 目标意象的综合指标值
Tab.2 Comprehensive index value of the target image

车灯目标意象	目标意象 1	目标意象 2	目标意象 3
$Z(h_{1-20}, g_j, k_w)$	517.35	765.28	462.65

从以上数据来看，以综合数据处理为主衡量指标，目标意象的显著性顺序依次为： $Z(h_{1-20}, g_2, k_w) > Z(h_{1-20}, g_1, k_w) > Z(h_{1-20}, g_3, k_w)$ 。根据公式(5)，选择目标意象 2 作为汽车造型意象待提取造型特征线 T 。

3.4 基于形状文法规则的车灯造型特征线的遗传与重用

在汽车造型进化过程中，单亲遗传算法是模仿生物界的遗传与变异，通过单个个体繁殖后代，即仅通过一条染色体实现传统两条染色体的基因重组功能。设计特征线的提取构成了汽车形态自动求解的初始种群，本文采用形状文法规则，通过类比的形式进行规则映射分析，实现汽车造型特征线的遗传与变异。

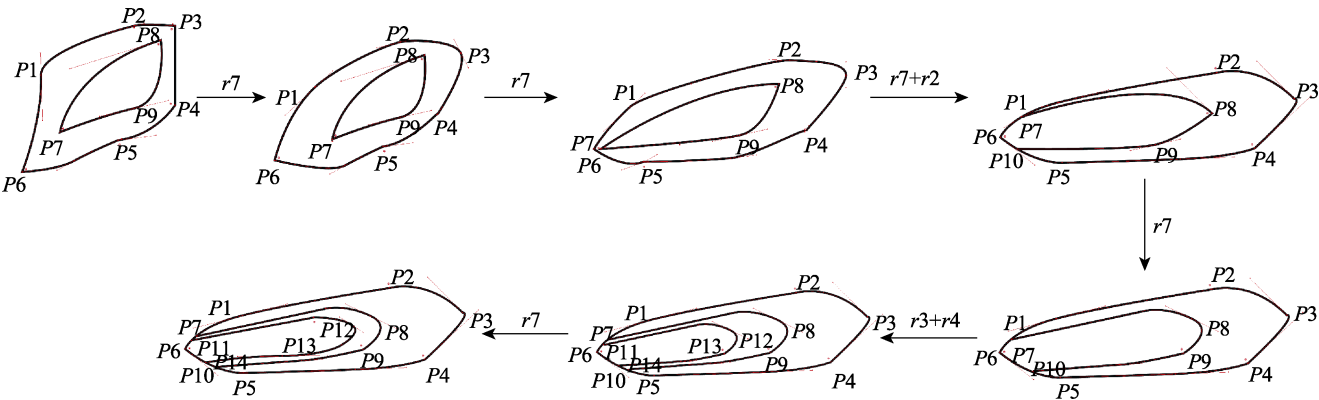


图 10 车灯造型特征衍变过程
Fig.10 Evolution process of vehicle lamp modeling features

3.5 设计案例

为了验证上述理论框架，基于阿尔特 SUV 概念研发项目，进行创意发散设计。将用户隐性知识降维于

以车灯造型特征线——目标意象 2 为例，展开其造型意象的重用研究。

1) 提出与设计意向相匹配的意象图片作为参照，建立类比推演规则。如年轻人偏爱具有速度感意象的 SUV，狮子捕捉猎物时的目光犀利，能准确的反映速度意象，建立类比关系，见图 9。

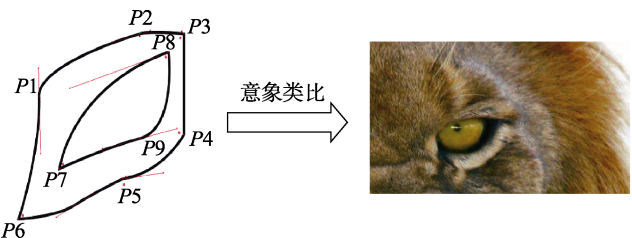


图 9 意象类比规则
Fig.9 Image analogy rule

2) 运用矢量工具 Adobe Illustrator 执行车灯形状文法衍变，采用类比思想将文法规则相互融合，仿射变换，进行意象重组。车灯造型特征衍变过程见图 10，使用 r_2 增加、 r_3 缩放、 r_4 复制和 r_7 坐标变动规则，通过对整体造型轮廓使用贝塞尔曲线描述，改变特征曲线各锚点与控制点的坐标值，实现对汽车车灯造型特征线的继承与变异，在形态风格延续的基础上，进行修改创新。本推演过程是个递归过程，直到满足用户感性意象方可结束。

汽车造型特征点、线、面的描述，通过奔跑的狮子形态进行意象类比，采用灰黄时尚颜色的搭配，进一步探索目标激发创意。汽车造型意象设计最终效果见图 11。

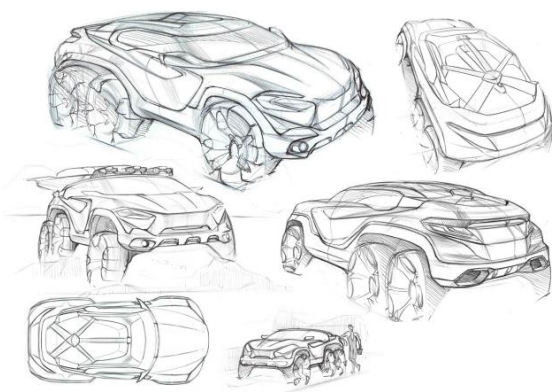


图 11 汽车造型意象设计最终效果
Fig.11 Final effect of image design for automobile modeling

4 用户喜好度评价

由于汽车造型意象的不确定性,汽车造型设计不是为了获取造型基因的“最优解”,而是搜索符合用户期望的“满意集合”,因此,用户对汽车造型意象的喜好度评价,可以帮助设计师判断其设计是否被认可。采用 7 等级 LIKERT 量表(−3~+3)测量用户对汽车设计的最终效果是否满意,设用户对汽车造型意象的喜好度为 F :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^p \varphi_i}{7p} \times 100\% \quad (8)$$

其中: p 代表被试总人数; $i, 1 \leq i \leq p$ 表示第 i 位受试者; φ_i 表示第 i 位被试的 LIKERT 量表值,则本文 20 名被试对图 11 的喜好度为 87.65%,表明此设计符合用户的意象需求。

5 结语

本文以获取用户群体需求信息为基础,通过眼动追踪技术对汽车造型意象设计方法展开研究。

(1) 获取用户群体的需求信息,并对其进行表征。(2) 创造性地提出汽车造型意象认知模型,从汽车本体知识表征、基于“标杆车”的造型特征认知过程展开研究,结合眼动追踪设备,以注视点数目、注视时间、平均注视时间 3 个指标的综合值,建立汽车造型特征线提取模型,并提取可供参考的设计特征线意象。(3) 采用形状文法规则,结合贝塞尔曲线描述,改变特征曲线各锚点与控制点的坐标值,使用类比的形式进行规则映射分析,实现汽车造型特征线的遗传与变异。

由于汽车造型的复杂性,该方法有待于进一步研究,未来的研究方向有:影响汽车造型的多维度因素,如色彩对同一款汽车造型意象的影响;汽车造型二维特征线带来的三维特征面对用户意象认知的影响,以此来完善该设计方法。

参考文献:

- [1] 傅业焄, 罗仕鉴. 面向风格意象的产品族外形基因设计[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(3): 449—457.
FU Ye-tao, LUO Shi-jian. Style Perception-oriented Product Family Shape Gene Design[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012, 18(3): 449—457.
- [2] 傅业焄. 偏好驱动的 SUV 产品族外形基因设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
FU Ye-tao. Shape Gene Design for SUV Product Family Driven by Preference[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [3] TONI-MATTI K. It Looks Like a Toyota: Educational Approaches to Designing for Visual Brand Recognition [J]. International Journal of Design, 2007, 1(1): 67—81.
- [4] OSCAR P, JAN S, DIRK S, et al. Should New Products Look Similar or Different? The Influence of the Market Environment on Strategic Product Styling[J]. Design Studies, 2008, 29(1): 30—48.
- [5] 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.
HU Wei-feng, ZHAO Jiang-hong. Automobile Styling Gene Evolution Driven by Users' Expectation Image[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(16): 176—181.
- [6] 胡婷婷, 赵江洪, 赵丹华. 设计师和用户的汽车造型意象认知差异研究[J]. 包装工程, 2015, 24(36): 33—36.
HU Ting-ting, ZHAO Jiang-hong, ZHAO Dan-hua. Imagery Cognition Differences between Designers and Users Automobile Modeling[J]. Packaging Engineering, 2015, 24(36): 33—36.
- [7] 李明珠, 何灿群, 卢章平, 等. 基于数量化理论 I 类的汽车意象造型设计研究[J]. 机械设计, 2016, 33(4): 105—108.
LI Ming-zhu, HE Can-qun, LU Zhang-ping, et al. Research on Car Image Modeling Design Based on Quantification Theory Type I[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(4): 105—108.
- [8] 卢兆麟, 李升波, 徐少兵, 等. 基于眼动跟踪特征的

- 汽车造型评价方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2015, 7(50): 775—781.
- LU Zhao-lin, LI Sheng-bo, XU Shao-bing, et al. Automobile Style Evaluation Based on Eye Tracking[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2015, 7(50): 775—781.
- [9] MICHAEL P. Tacit Dimension[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1966.
- [10] 马丽莎, 吕健, 潘伟杰, 等. 基于眼动模式的隐式意图识别分类方法研究[J]. 图学学报, 2017, 3(38): 332—340.
- MA Li-sha, LYU Jian, PAN Wei-jie, et al. Research on Implicit Intention Recognition and Classification Based on Eye Movement Pattern[J]. Journal of Graphics, 2017, 3(38): 332—340.
- [11] 王震亚, 李海旺. 基于眼动追踪技术的汽车造型特征提取与认知研究[J]. 包装工程, 2016, 37(20): 54—58.
- WANG Zhen-ya, LI Hai-wang. Automotive Styling Feature Extraction and Cognition Based on the Eye Tracking Technology[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(20): 54—58.
- [12] 李雪瑞, 余隋怀, 初建杰. 意象驱动的产品形态基因网络模型构建与应用研究[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 3(24): 103—114.
- LI Xue-rui, YU Sui-huai, CHU Jian-jie. Research on Construction and Application of Product Form Gene-Net Work Model Driven by Kansei[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 3(24): 103—114.