

基于感性工学的汽车尾部造型设计研究

摘要：**目的** 以感性工学理论为基础，探索用户对于汽车尾部造型的感性意象与设计元素之间的映射关系。**方法** 收集并筛选代表性的汽车尾部造型图片样本和相关的感性词汇，采用语义差分法制作调查问卷，统计用户对于汽车尾部造型的感性评价均值，采用形态分析法提取汽车尾部造型的显著设计元素，基于数量化理论 I 建立设计元素的反应矩阵，使用多元线性回归分析构建感性意象与汽车尾部设计元素之间的预测模型。**结果** 根据线性回归分析的结果对设计元素进行重组，通过案例评估证明了预测模型的有效性。**结论** 不同的汽车尾部设计元素对用户感性意象的影响程度存在较大差异，基于感性工学的汽车尾部造型设计方法可以更好的满足用户的感性需求，有效地为汽车尾部造型设计提供客观的决策依据。

关键词：感性工学；感性意象；汽车尾部；造型设计；数量化理论 I

Research on the Design of Automobile Rear Modeling Based on Kansei Engineering

Abstract: Objective To explore the mapping relationship between the user's perceptual imagery and the design elements of the rear of the car based on the theory of perceptual engineering. **Methods** Collect and screen representative car tail styling image samples and related perceptual vocabulary, create a questionnaire using semantic difference method, count the mean value of users' perceptual evaluation of car tail styling, extract significant design elements of car tail styling using morphological analysis, build a response matrix of design elements based on quantitative theory I, and construct a prediction model between perceptual imagery and car tail design elements using multiple linear regression analysis. **Results** Reorganization of design elements based on the results of linear regression analysis, and the validity of the predictive model was demonstrated by case evaluation. **Conclusion** Different rear design elements have different degrees of influence on the user's perceptual imagery, and the design method based on perceptual engineering can better meet the user's perceptual needs and effectively provide an objective decision basis for the design of the rear of the car.

KEY WORDS: Kansei Engineering; Perceptual imagery; Car rear; Styling Design; quantification theory I

引言：随着新能源汽车产业的快速发展以及对市场渗透率的不断提高，未来的汽车行业将会发生明显变化。新能源汽车的发展为汽车市场不断注入新鲜血液，进一步加剧了汽车行业内的竞争，为了在日益激烈的市场竞争内占据一定的市场份额，汽车品牌要不断地提升自身的创新能力，探索新的设计方案，以独特的设计语言吸引消费者的目光。同时，随着个性化消费时代的到来，如今消费者在选择商品时更加注重自身的感性需求以及情感上的体验，因此为了得到消费者的青睐，汽车的设计创新应该以满足其感性需求为目标^[1]，而汽车外观设计作为影响消费者第一印象的决定性因素，不同的设计造型会给人们带来不同的心理感受和情感体验。在汽车的外观设计中，相比于汽车的前脸和侧面造型设计，车尾的造型设计往往容易被轻视，但实际上它同样是影响整辆汽车最终观感的重要因素，一个好的尾部造型设计可以使汽车更加吸引人的眼球，尾部造型设计的精美程度可以直接影响到整个汽车的美感，进而影响汽车带给消费者的情感体验，因此，如何将汽车尾部的造型设计与用户的感性意象偏好相匹配，以满足用户对汽车外观的心理感知需求也是汽车造型设计中的关键所在，而利用感性工学理论可以将用户的感性情感定量化，从而与产品的设计要素进行结合来指导设计^[2]。因此本文以汽车的尾部造型为研究对象，以感性工学理论为基础，基于数量化理论 I 建立用户感性

意象与汽车尾部设计要素之间的映射模型，从而为后续的汽车尾部造型设计提供理论参考。

1 汽车造型设计的研究现状

针对汽车的意象造型设计，相关学者做出了大量的研究。其中从感性工学的角度出发，许小侠^[3]等以数量化理论 I 为基础，运用感性工学技术对汽车的中控面板进行了设计。邓昭^[4]等提出一种基于感性工学和模糊综合评价法相结合的外观意象决策模型，并以此为指导对电动汽车的方向盘外观进行了设计。程永胜^[5]等提出了一种基于神经网络的电动汽车造型意象预测模型，并以电动 SUV 的前脸造型为研究对象展开案例研究。张宁宁^[6]等结合感性工学和数量化 I 类理论将各类感性意象贡献度最大的形态因素和项目提取出来，从而指导汽车数字仪表的设计。此外吴清^[7]等通过运用二元 logistic 回归分析方法总结了基于情感语义的汽车造型设计方法。李卓^[8]等从造型工程参数出发，借助参数化软件和遗传算法对汽车前脸格栅造型进行了设计。综上可知，相关学者运用不同的技术手段对汽车的意象造型设计进行了研究，其中包括前脸造型和汽车内饰中的数字仪表、方向盘以及中控面板的造型设计等，但是目前对于汽车尾部造型的设计研究还相对较少，因此本文通过运用感性工学的技术手段，探索汽车尾部造型和用户感性意象之间的映射关系，提出一种基于感性工学的汽车尾部造型设计方法，以期汽车意象造型设计研究提供有益的参考和指导。

2 理论基础与研究思路

2.1 感性工学

“感性工学”一词由马自达汽车集团前会长山本健一先生于 1986 年在美国密西根大学发表题为《汽车文化论》的演讲中首次提出。在工业设计领域，它主要用于将人们对“物”的感性意象定量或半定量地表达出来，并与产品设计特性相关联，从而设计出符合用户感觉期望的产品^[2]。感性工学最早应用于汽车行业，对于建立以汽车用户需求为导向的汽车造型创新系统具有指导性作用^[9]，在感性工学中将用户的感性意象与产品的设计要素进行联系时，常用的方法有数量化理论 I、遗传算法、神经网络算法、粗糙集分析等，其中数量化理论 I 是最常用的方法^[10]。

2.2 数量化理论 I

数量化理论由日本的林知己夫教授于 20 世纪 50 年代提出，它属于多元统计学的一个分支，根据研究目的不同，又将数量化理论分为 I、II、III、IV 四类^[10]。其中数量化理论 I 主要用于在自变量为定性变量同时因变量为定量变量的情况下，通过将多个因变量进行量化赋值，然后利用多元回归分析建立数学模型，从而预测因变量对感性意象的贡献值，如今数量化理论 I 被广泛的应用于产品意象造型设计的研究中^[11]。

2.3 研究思路

本文以汽车的尾部造型为研究对象，基于感性工学的创新设计研究主要按照以下思路进行，见图 1。

- 1) 设计定位。明确目标产品范围和相应的用户群体，便于后续样本收集以及问卷调研工作的进行。
- 2) 造型样本收集与筛选。为了获取目标用户群体对于产品造型的偏好，需要广泛收集各种有关的汽车尾部造型样本，并根据相似度等对造型样本进行筛选，从而得到最具有代表性的造型图片样本库。
- 3) 提取样本造型设计元素。根据样本库中产品的典型造型，挖掘产品具有代表性的造型特征要素。
- 4) 感性词汇的收集与筛选。通过多种渠道收集与汽车尾部造型有关的感性词汇，筛选后得到最具有代表性的感性意象词汇。
- 5) 感性意象评估。采用语义差分法和李克特七级量表制作调查问卷，对产品造型样本进行感性意象评估。
- 6) 数据处理与分析。使用信度分析评价问卷数据的一致性，然后使用主成分分析法对数据进行降维，从主成分中得到因子载荷比较大的感性语汇。

- 7) 构建数量化理论 I 映射模型。基于数量化理论 I 建立产品造型设计要素的反应矩阵, 结合 SPSS 统计软件进行多元线性回归分析, 根据结果构建设计要素与感性意象之间的数学模型。
- 8) 设计方案与验证。根据数据分析的结果对设计元素进行重组, 通过案例分析验证结论的合理性。

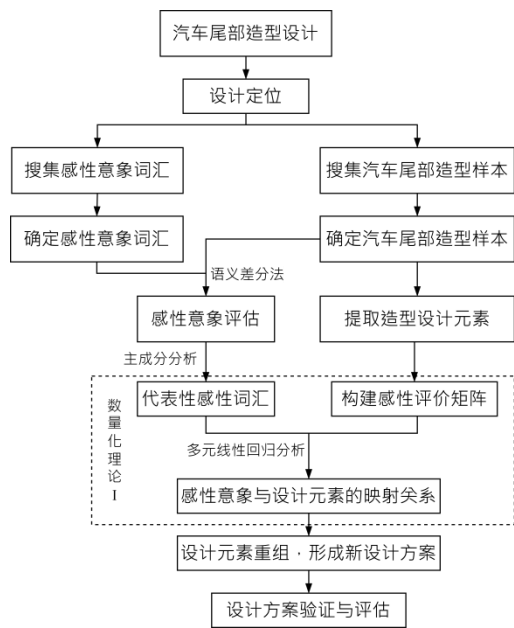


图 1 研究思路
Fig.1 Research ideas

3 研究过程

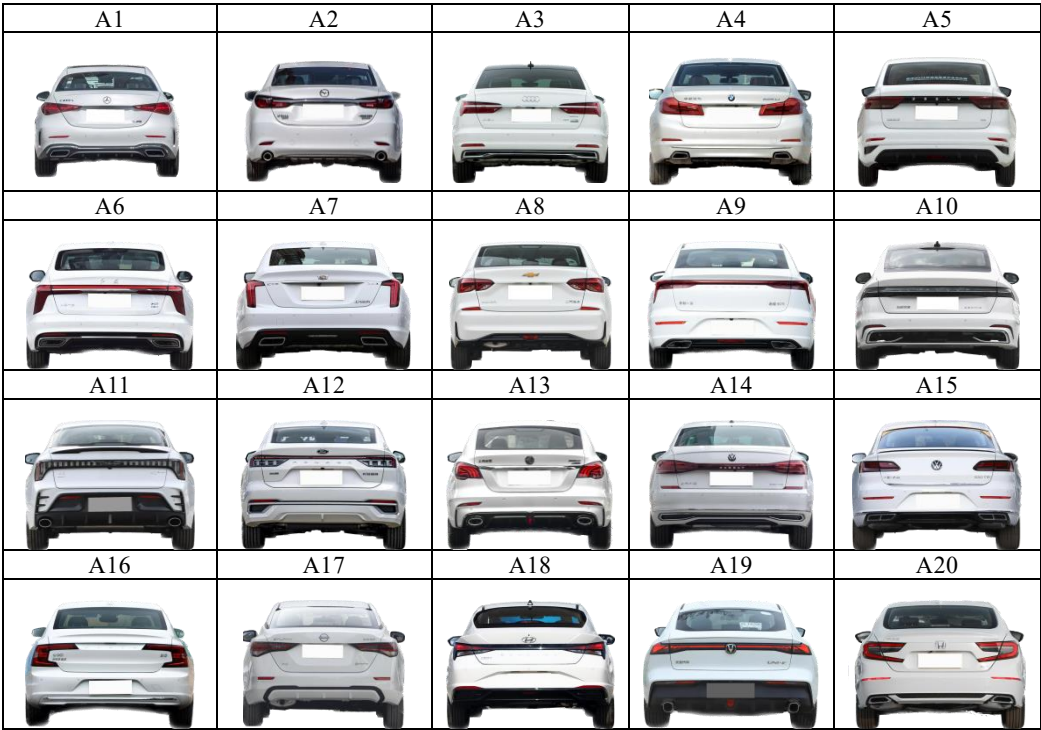
3.1 设计定位

据有关报告显示, 当下汽车市场的用户逐渐趋向于年轻化, 以 90 后为主的年轻人开始成为消费的主力军, 其汽车占有率超过四成, 作为新一代的消费群体, 他们在选购标准、消费习惯等方面均有显著变化, 将影响汽车消费市场的整体走向, 因此研究将主要针对 24~33 岁的年轻群体展开调研, 这个年龄段的用户主要是即将毕业走向社会或者刚刚参加工作的年轻人, 他们个性鲜明、喜好新鲜事物, 并且具有潜在的购车需求, 因此通过了解其感性需求可以更好地引领汽车行业的发展, 同时, 在汽车市场上不同类型的汽车之间尾部造型也存在很大的差异, 其中轿车的车尾往往具有较为独特的特点, 因此本文选取轿车车型的尾部造型作为研究对象, 展开案例研究, 以此探究汽车尾部造型的设计方法。

3.2 汽车尾部造型样本收集

通过使用汽车之家、懂车帝、易车网等多个汽车资讯服务平台, 并查阅汽车杂志期刊以及各大汽车品牌的官网等多种渠道, 搜集相关汽车的尾部造型样本, 在搜集的过程中摒弃一些汽车制造商中的顶级豪华轿车以及跑车品牌, 主要针对近三年市场上畅销的普通家用三厢轿车, 同时为了统一视觉效果主要选取各款车型中的白色或银色系列作为样本图片, 最终从 32 个汽车品牌中累计选取有效汽车尾部造型图片 112 张, 然后使用图像识别技术, 提取每张图像的特征向量来表示其关键特征, 根据不同的关键特征采用聚类分析法将 112 张图片进行分类, 最终保留与聚类中心相似度最高的 20 张汽车尾部造型图片作为样本, 并邀请 3 名汽车设计行业人员以及 2 名工业设计专业老师对聚类过程和结果进行检验与评估, 从而确保筛选结果的准确性与完整性, 对筛选过后的 20 张汽车尾部造型样本图片进行编号与细节处理, 结果见表 1。

表 1 汽车尾部造型典型样本库
Tab.1 Typical sample library of automobile tail modeling



3.3 汽车尾部造型设计元素提取

针对汽车尾部造型的关键特征向量，利用图像处理以及计算机视觉技术的特征提取算法，从汽车尾部造型图片中提取设计元素的特征点，然后采用形态分析法将产品造型拆解为不同的组成构件，经过对二十名潜在用户以及三名汽车设计师进行调研与访谈，最终得出尾灯、后备箱盖、后保险杠、扩散器以及排气管作为汽车尾部造型的主要特征，对于汽车尾部的观感影响最大，以别克君威为例提取相关构件的外轮廓曲线，见图 1，其中尾灯是汽车尾部最显著的特征元素之一，其形状和大小会对整个尾部造型产生重要影响，后备箱盖作为汽车尾部的主要构成部分，根据其打开方式的不同出现了掀背式和阶背式的设计，同时后保险杠的造型也代表了尾部扩散器以及排气管包围饰板的整体外形。最后根据不同的设计元素总结各个元素相应的设计类目并编码，见表 2。

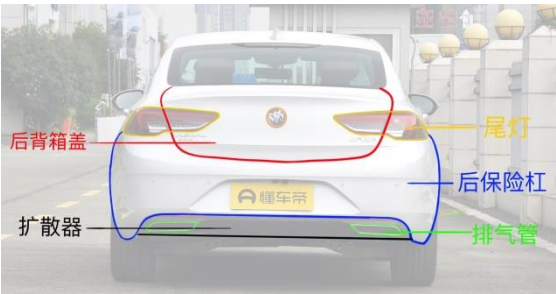

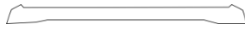






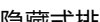


图 2 造型特征外轮廓曲线
Fig.2 The outer contour curve of modeling features

表 2 设计元素分类编码表
Tab.2 Classification and coding table of design elements

设计元素		设计类目		
分体式尾灯 (X ₁)				镀铬饰条 连接装饰
	柳叶形 (C ₁₁)	竖形 (C ₁₂)	L形 (C ₁₃)	

				(C ₁₄)
贯穿式尾灯 (X ₂)	 连接变细型 (C ₂₁)	 连接等宽型 (C ₂₂)	 两端竖型 (C ₂₃)	——
后备箱盖 (X ₃)	掀背式 (C ₃₁)	阶背式 (C ₃₂)	——	——
后保险杠 (X ₄)	 全包围型 (C ₄₁)	 半包围型 (C ₄₂)	——	——
排气系统 (X ₅)	 贯穿型 (C ₅₁)	 分体四边型 (C ₅₂)	 分体椭圆型 (C ₅₃)	 隐藏式排气 (C ₅₄)
号牌水平位置 (X ₆)	后保险杠 (C ₆₁)	后备箱盖 (C ₆₂)	——	——
汽车标识水平位置 (X ₇)	尾灯水平线上方 (C ₇₁)	与尾灯齐平 (C ₇₂)	——	——

3.4 感性词汇的提取与筛选

通过阅读与汽车设计有关的书籍、杂志、论文等文献，同时分析相关汽车制造商的品牌定位报告以及汽车资讯平台上有关汽车尾部造型的讨论和评论，寻找与汽车尾部造型相关的描述性词汇，最终初步搜集了 54 个与汽车尾部造型有关的感性词汇，对搜集到的感性词汇进行分类与整理，删去意思相近以及出现频率较低的词汇，并将剩余的词汇进行正反义词配对，最终确定出 6 组具有代表性的感性词汇，见表 3。

表 3 感性词汇
Tab.3 Perceptual phrases

序号	感性词汇
1	动感的—呆板的
2	时尚的—老套的
3	流畅的—生硬的
4	精致的—简陋的
5	稳重的—轻浮的
6	大气的—平凡的

3.5 感性意象评估

使用语义差分法对汽车尾部造型的感性意象进行评估，利用 7 级李克特量表制作调查问卷，见表 4。将“动感的”、“时尚的”、“流畅的”、“精致的”、“稳重的”、“大气的”分值设置为正数，被调研者根据自己的主观感受做出评价，选择 -3、-2、-1 表示被调研者认为该样本符合左边的形容词，其中 -3 表示符合程度最高，反之右边同理，0 则表示左右两边都不符合。针对定位中的目标群体发放网络问卷，最终回收有效问卷 66 份，导入 SPSS 软件进行问卷的信度分析，得出 Cornbach's α 值为 0.936，说明问卷具有较好的信度，然后经过计算得到代表性样本的感性评价均值，见表 5。

表 4 调查问卷示例
Tab.4 Questionnaire example


样本	感性词汇		量化分值							感性词汇
	呆板的	-3	-2	-1	0	1	2	3	动感的	
	老套的	-3	-2	-1	0	1	2	3	时尚的	
	生硬的	-3	-2	-1	0	1	2	3	流畅的	
	简陋的	-3	-2	-1	0	1	2	3	精致的	
	轻浮的	-3	-2	-1	0	1	2	3	稳重的	
	平凡的	-3	-2	-1	0	1	2	3	大气的	

表 5 感性评价均值
Tab.5 Average value of perceptual evaluation

样本编号	动感的一 呆板的	时尚的一 老套的	流畅的一 生硬的	精致的一 简陋的	稳重的一 轻浮的	大气的一 平凡的
A1	0.14	-1.43	6.43	5.14	12.71	6.86
A2	3.43	3.57	4.71	4.57	4.86	6.86
A3	4	5.86	6.57	6	9.57	10.86
...
A18	5	5.57	3.43	5.57	3.86	6.14
A19	4.14	5.57	5.86	4.86	5.86	5.14
A20	5	4.71	2.43	1.71	3.14	4

3.6 主成分分析

使用主成分分析法可以对数据进行降维，从而提取出最具代表性的成分因子^[12]，然后通过少数几个主成分尽可能地解释所有变量的信息。首先进行 KMO 和 Bartlett 的检验，判断是否可以主成分分析^[13]，结果见表 6。表中 KMO 效度分析值为 0.743>0.5，Bartlett 球形检验显著性 P 值为 0.000<0.05，说明各变量之间存在相关性，可以进行主成分分析。

表 6 KMO 和 Bartlett 检验
Tab.6 KMO and Bartlett test

KMO值	0.743	
Bartlett球形度检	近似卡方	89.752
验	df	15
	P	0.000

然后采用主成分分析法对公因子进行提取，从而得出主成分对于变量解释的贡献率，结果见表 7。从表中可以看出有两个因子的特征值大于 1，且对于变量解释的累计贡献率为 88.088%，说明这两个主成分中包含了相关指标中的大部分信息，对其进行提取能够很好的代表被访者对于汽车尾部造型的感性认知。

表 7 总方差解释
Tab.7 Total variance explained

成分	特征根	旋转前方差解释率		特征根	旋转后方差解释率	
		方差解释率 (%)	累计方差解释率 (%)		方差解释率 (%)	累计方差解释率 (%)
1	3.552	59.203	59.203	280.124	46.687	46.687
2	1.733	28.885	88.088	248.405	41.401	88.088
3	0.337	5.61	93.699			
4	0.149	2.479	96.177			
5	0.138	2.305	98.483			
6	0.091	1.517	100			

使用最大方差旋转方法进行旋转，以便找出因子和研究项的对应关系，其结果见表 8。由表中数据可知，第一主成分中流畅的、精致的、大气的、稳重的四组感性词汇的相关性较高，其中又以流畅的相关性值最大，因此可以将流畅的作为第一组关键感性词汇。第二主成分中动感的、时尚的两组感性词汇的相关性较高，其中又以时尚的相关性值最大，因此可以将时尚的作为第二组关键感性词汇。

表 8 旋转后的因子载荷系数表
Tab.8 Table of factor loading coefficients after rotation

感性词组	因子1	因子2
动感的—呆板的	0.222	0.929
时尚的—老套的	0.139	0.956
流畅的—生硬的	0.896	0.285
精致的—简陋的	0.747	0.534
大气的—平凡的	0.845	0.34
稳重的—轻浮的	0.811	-0.474

3.7 基于数量化理论 I 的映射模型构建

根据数量化理论 I 类的思想，将汽车尾部造型的设计元素设为项目，设计元素下的子类设为类目，感性评价均值设为因变量^[14]。假设某问题包含的项目数量为 m ，第 i 个项目的类目为 r_i ，则对于 n 个样本， $y_n = \delta_n(i, j)(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, r_m)$ 表示第 n 个样本下的第 i 个项目中对应的第 j 个类目对基准变量 y 的影响，并按照式（1）确定：

$$\delta_n(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{当第}n\text{个样本中第}i\text{个项目的定性数据为}j\text{类目时} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

由所有 $\delta_n(i, j)$ 构成的矩阵称为反应矩阵 A ，见（2）式：

$$A = \begin{bmatrix} \delta_1(1,1) & \cdots & \delta_1(1,r_1) & \delta_1(2,1) & \cdots & \delta_1(2,r_2) & \cdots & \delta_1(i,1) & \cdots & \delta_1(m,r_m) \\ \delta_2(1,1) & \cdots & \delta_2(1,r_1) & \delta_2(2,1) & \cdots & \delta_2(2,r_2) & \cdots & \delta_2(i,1) & \cdots & \delta_2(m,r_m) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \delta_n(1,1) & \cdots & \delta_n(1,r_1) & \delta_n(2,1) & \cdots & \delta_n(2,r_2) & \cdots & \delta_n(i,1) & \cdots & \delta_n(m,r_m) \end{bmatrix} \quad (2)$$

假设感性意象评价值与汽车尾部造型设计要素各类目之间存在线性关系，则可以建立感性意象评估值 y 与设计元素类目之间的数学模型^[15]，见式（3）：

$$y_n = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{r_m} \delta_n(i, j) a_{ij} + \varepsilon_n \quad (3)$$

其中： y_n 表示第 n 个样本的感性意象评估值； a_{ij} 表示仅依赖于 i 项目的 j 类目的系数； ε_n 表示第 n 次抽样中的随机误差。

根据式（1）对设计类目进行赋值，得到二十个代表性样本的设计要素反应矩阵，见表 9。表中 1 代表该样本中具备设计项目下的类目属性，0 代表该样本无设计项目下的类目属性，从而将用户对代表性汽车尾部造型样本的定性描述进行量化。

表 9 反应矩阵
Tab.9 Reaction matrix

样本	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₃₁	C ₃₂	C ₄₁	C ₄₂	C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	C ₅₄	C ₆₁	C ₆₂	C ₇₁	C ₇₂
----	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

A1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0
A2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
...						
A19	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
A20	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1

将数据导入 SPSS 软件进行多元线性回归分析，以“流畅的一生硬的”为例，通过分析 F 值得到其显著性 P 值为 $0.021 < 0.05$ ，说明变量之间水平上呈显著性且存在着线性关系，因此可以用于后续的分析，然后分别计算出其类目得分、偏相关系数、决断系数、复相关系数、常数项等数值，以便于求解数学模型，实现对基准变量 y 的预测^[3]，最终的计算结果见表 10。

表 10 线性关系分析结果统计
Tab.10 Statistics of linear relationship analysis results

设计项目	设计类目	流畅的一生硬的		时尚的一老套的	
		偏相关系数	类目得分	偏相关系数	类目得分
X ₁	C ₁₁	0.352	-1.006	0.310	-1.596
	C ₁₂		2.098		-1.56
	C ₁₃		-0.143		-1.028
	C ₁₄		0.128		5.969
X ₂	C ₂₁	0.275	-2.558	0.528	3.132
	C ₂₂		2.084		2.326
	C ₂₃		0.953		-0.611
X ₃	C ₃₁	-0.844	-1.697	0.79	3.838
	C ₃₂		-1.92		3.489
X ₄	C ₄₁	0.124	3.159	0.737	-4.308
	C ₄₂		3.312		-1.694
X ₅	C ₅₁	0.281	1.934	-0.159	2.158
	C ₅₂		-0.252		1.822
	C ₅₃		0.239		-0.513
	C ₅₄		-0.495		0.511
X ₆	C ₆₁	-0.421	1.081	0.093	0.475
	C ₆₂		0.346		0.187
X ₇	C ₇₁	-0.770	2.151	0.295	-0.388
	C ₇₂		-0.724		1.05
		常数项	1.427	常数项	0.662
		复相关系数	0.903	复相关系数	0.958
		决定系数	0.815	决定系数	0.918

表中偏相关系数表示设计项目对于感性意象的贡献值，类目得分表示设计项目下各类目对感性意象的影响度，数值的正负则代表影响的方向。同时根据表中的数据 and 式 (3) 可以建立两组感性因子的预测模型 y，见式 (4) (5)，复相关系数 R 和决定系数 R² 可以反应出该数学模型的精度，由此可知两组感性因子的复相关系数分别为 0.903、0.958 均大于 0.85，决定系数分别为 0.815、0.918 均大于 0.7，因此说明该感性预测模型较为理想，可以用于汽车尾部造型设计的预测。

$$\begin{aligned}
 y_{\text{流畅的一生硬的}} = & 1.427 - 1.006 \cdot C_{11} + 2.098 \cdot C_{12} - 0.143 \cdot C_{13} + \\
 & 0.128 \cdot C_{14} - 2.558 \cdot C_{21} + 2.084 \cdot C_{22} + 0.953 \cdot C_{23} - \\
 & 1.697 \cdot C_{31} - 1.92 \cdot C_{32} + 3.159 \cdot C_{41} + 3.312 \cdot C_{42} + \\
 & 1.934 \cdot C_{51} - 0.252 \cdot C_{52} + 0.239 \cdot C_{53} - 0.495 \cdot C_{54} + \\
 & 1.087 \cdot C_{61} + 0.346 \cdot C_{62} + 2.151 \cdot C_{71} - 0.724 \cdot C_{72}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$y_{\text{时尚的一老套的}} = 0.662 - 1.596 \cdot C_{11} - 1.56 \cdot C_{12} - 1.028 \cdot C_{13} + \\ 5.969 \cdot C_{14} + 3.132 \cdot C_{21} + 2.326 \cdot C_{22} - 0.611 \cdot C_{23} + \\ 3.838 \cdot C_{31} + 3.489 \cdot C_{32} - 4.308 \cdot C_{41} - 1.694 \cdot C_{42} + \\ 2.158 \cdot C_{51} + 1.822 \cdot C_{52} - 0.513 \cdot C_{53} + 0.511 \cdot C_{54} + \\ 0.475 \cdot C_{61} + 0.187 \cdot C_{62} - 0.388 \cdot C_{71} + 1.050 \cdot C_{72} \quad (5)$$

4 设计方案与验证

针对上述研究的数据结果，可以看出汽车尾部造型中不同的设计项目以及类目对感性意象的影响程度是不同的，其中排气系统和分体式的尾灯造型对于汽车尾部流畅性的贡献度比较高，后保险杠以及贯穿式的尾灯造型对于汽车尾部时尚感的贡献度比较高，为了检验最终的结论以及预测模型的有效性，以“时尚的—老套的”为例，采用将不同分值的设计类目进行排列组合的方法，通过得到多个新的组合方案来对结果进行验证。首先使用设计类目中得分最高的 C_{14} 、 C_{21} 、 C_{31} 、 C_{42} 、 C_{51} 、 C_{61} 和 C_{72} 进行组合得到方案一，使用得分较高的 C_{14} 、 C_{22} 、 C_{32} 、 C_{41} 、 C_{52} 、 C_{62} 和 C_{72} 进行组合得到方案二，然后使用得分最低的 C_{11} 、 C_{32} 、 C_{41} 、 C_{53} 、 C_{62} 和 C_{71} 进行组合得到方案三，如图 3 所示。

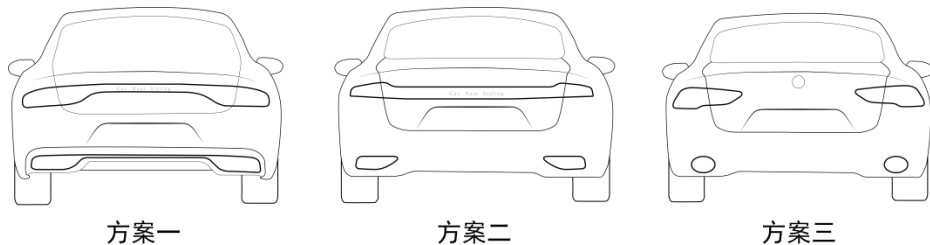


图 3 设计方案
Fig.3 design scheme

针对三组新的组合方案，依旧采用 SD 法制作调查问卷，为了保证最终结果的准确性，精确邀请设计行业内有较多驾驶经验的目标用户分别对三个方案进行感性意象评价，最终回收有效问卷 28 份，经过分析计算后得出均值，见表 11。由表可见，方案一到方案三的感性意象评分呈现递减的趋势，其中由得分最高的类目所组成的方案一最具有时尚感，而由得分最低的类目组合而成的方案三则更趋向于老套的，该结果与研究的设计思路和结论相一致，因此通过使用不同设计类目相组合的方法，以“时尚的—老套的”为例，证明了研究结论的准确性与有效性。

表 11 设计方案感性意象均值
Tab.11 Average value of perceptual image of design scheme

设计方案	方案一	方案二	方案三
感性意象均值	1.78	0.84	-0.13

5 结语

本文以汽车的尾部造型为研究对象，以感性工学理论为基础，通过使用 SD 法制作调查问卷，统计用户对于汽车尾部造型的感性评价均值，并将其作为因变量，将汽车尾部的设计元素作为自变量，基于数量化理论 I 探索感性意象与汽车尾部设计元素之间的映射关系，采用多元线性回归分析的方法得到感性意象与设计元素之间的数学模型，之后根据线性回归分析的结果将设计元素进行重组，通过案例评估测试对研究结论进行验证，结果证明，基于数量化理论 I 构建的汽车尾部造型设计的预测模型是有效的，不同的汽车尾部设计元

素对用户感性意象的影响程度存在较大的差异,该方法可以更好的满足用户的感性需求,为汽车尾部造型的创新设计提供新的理论指导。

参考文献:

- [1] 曾栋,程海峰,李坤刚,等.感性工学在汽车造型设计中的应用现状与发展趋势[J].现代制造工程,2019(03): 148-153+61.
ZENG Dong, CHENG Hai-feng, LI Kun-gang, et al. Research status and development trend of Kansei engineering in automobile styling[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2019(03): 148-153+61.
- [2] 罗仕鉴,潘云鹤.产品设计中的感性意象理论、技术与应用研究进展[J].机械工程学报,2007(03): 8-13.
LUO Shi-jian, PAN Yun-he. Review of theory, key technologies and its application of perceptual image in product design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2007(03): 8-13.
- [3] 许小侠,韩亚新,许牧云,等.基于数量化理论 I 的中控台面板造型设计研究[J].包装工程,2022,43(04): 175-181+250.
XU Xiao-xia, HAN Ya-xin, XU Mu-yun, et al. Research on Modeling Design of Automobile Central Control Panel Based on Quantification Theory I[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(04): 175-181+250.
- [4] 邓昭,冀婷,程永胜.电动汽车方向盘外观意象设计[J].机械设计,2022,39(07): 135-141.
DENG Zhao, JI Ting, CHENG Yong-sheng. Appearance image design of electric vehicle steering wheel[J]. Journal of Machine Design, 2022, 39(07): 135-141.
- [5] 程永胜,徐晓琪,陈国强,等.基于神经网络的电动汽车造型意象预测模型[J].计算机集成制造系统,2021,27(04): 1135-1145.
CHENG Yong-sheng, XU Xiao-qi, CHEN Guo-qiang, et al. Image prediction model of electric vehicle based on neural network[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2021, 27(04): 1135-1145.
- [6] 张宁宁,冯晨,纪俐,等.汽车数字仪表视觉设计要素的感性工学分析[J].科学技术与工程,2021,21(35): 14976-14981.
ZHANG Ning-ning, FENG Chen, JI Li, et al. Kansei Engineering Research on Visual Design Elements of Automobile Digital Instrument[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(35): 14976-14981.
- [7] 吴清,徐卿卉.基于二元 logistic 回归分析的汽车造型设计方法研究[J].设计艺术研究,2022,12(06): 1-5+29.
WU Qing, XU Qing-hui. A Binary Logistic Regression Analysis on Automobile Styling Design Methods[J]. Design Research, 2022, 12(06): 1-5+29.
- [8] 李卓,葛翔.基于参数集成与收敛的汽车格栅设计研究[J].设计,2022,35(21): 138-141.
LI Zhuo, GE Xiang. The research of automobile grille design based on parameter integration and convergence[J]. Design, 2022, 35(21): 138-141.
- [9] 毛宇梅,卢章平,李明珠,等.汽车意象造型设计研究态势的可视化分析[J].包装工程,2018,39(08): 187-192.
MAO Yu-mei, LU Zhang-ping, LI Ming-zhu, et al. Visual Analysis on the Research Development of Automobile Imagery Modeling Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(08): 187-192.
- [10] 李永锋.基于数量化理论 I 的产品意象造型设计研究[J].机械设计,2010,27(04): 40-43.
LI Yong-feng. Research on product image form design based on quantification theory type I[J]. Journal of Machine Design, 2010, 27(04): 40-43.
- [11] 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(04): 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(04): 105-108.
- [12] 曹玉姝,崔庆康,项松.基于感性工学的通用飞机涂装设计方法研究[J].包装工程,2023,44(02): 48-55.
CAO Yu-shu, CUI Qing-kang, XIANG Song. General Aircraft Painting Scheme Design Method Based on Kansei Engineering[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(02): 48-55.
- [13] 傅洪发.基于感性工学的汽车仪表盘设计研究[D].长春工业大学,2022.
FU Hong-fa. Research on the Design of Automobile Dashboard Based on Kansei Engineering[D]. Changchun University of Technology, 2022.
- [14] 宋莹,阮胜坤.基于数量化理论 I 的男衬衫设计要素感性评价[J/OL].丝绸: 1-11[2023-03-08].
SONG Ying, RUAN Sheng-kun. Perceptual evaluation of men's shirt design based on quantitative the theory I[J/OL]. Journal of Silk: 1-11[2023-03-08].
- [15] 陈金亮,赵锋,廖浩勤,等.基于感性意象的 SUV 前脸造型设计[J].包装工程,2020,41(20): 102-108+144.
CHEN Jin-liang, ZHAO Feng, LIAO Hao-qin, et al. SUV Front Face Styling Design Based on Perceptual Image[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(20): 102-108+144.