2021 年 第21卷 第35期
2021, 21(35): 14976-06

科 学 技 术 与 工 程
Science Technology and Engineering

ISSN 1671—1815
CN 11—4688/T

引用格式: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 Ningning, 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.

一般工业技术

汽车数字仪表视觉设计要素的感性工学分析

张宁宁[1], 冯 晨[1], 纪 俐[2], 任 宏[1]*
(1. 沈阳航空航天大学设计艺术学院, 沈阳 110136; 2. 沈阳航空航天大学机电工程学院, 沈阳 110136)

摘 要 在感性工学理论框架下,研究汽车数字仪表视觉设计要素与用户情感认知的关系。通过聚类分析法选出具有代表性的汽车数字仪表样本和感性意象词汇,运用语义差分法对样本数据的感性意象进行分析评价。利用主成分分析法降维,用少数变量表示总体变量数据信息。提炼出汽车数字仪表的视觉设计元素,构建感性意向空间。应用数量化理论一构建汽车数字仪表视觉设计要素与用户感性意象特征关系的预测模型,量化了感性诉求与汽车数字仪表的关系。在汽车数字仪表视觉设计过程中运用该模型,可有效提高汽车数字仪表视觉设计的科学性和客观性,为汽车数字仪表视觉界面设计提供理论基础。

关键词 感性工学; 主成分分析; 数量化理论 I; 汽车数字仪表; 视觉设计要素
中图法分类号 TB472; **文献标志码** A

Kansei Engineering Research on Visual Design Elements of Automobile Digital Instrument

ZHANG Ning-ning[1], FENG Chen[1], JI Li[2], REN Hong[1]*
(1. School of Design Art, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China;
2. School of Mechatronics Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

[**Abstract**] Under the theoretical framework of Kansei engineering, relationship between visual design elements of automobile digital instruments and perceptual images of users were studied. Cluster analysis was used to select representative automobile digital instrument samples and appropriate perceptual image vocabulary, and semantic difference method was used to evaluate the perceptual image of sample images. Principal component analysis was used to reduce dimension, with a few variables represented overall data information. The visual design elements of automobile digital instrument were extracted, and the perceptual intention space was constructed. The quantification theory I was applied to build a prediction model of the relationship between visual design elements of digital instrument and user's perceptual image characteristics. The relationship between the emotional appeal and the automobile digital instrument were quantified. The application of this model in the visual design process of automobile digital instrument can effectively improve the scientificity and objectivity of the visual design of automobile digital instrument, providing a more reliable theoretical basis for the visual interface design of automobile digital instrument.

[**Keywords**] Kansei engineering; principal component analysis; quantification theory I; automobile digital instrument; visual design element

近年来,物联网技术在交通领域展开应用,智能网联汽车成为发展趋势[1]。汽车人车交互受到重视,液晶显示屏具有对比度高、色彩鲜艳的优势,基于液晶显示屏的数字化仪表界面成为汽车的显示中心、人车交互的接口[2]。汽车数字化仪表界面对提升驾驶员安全性、提升驾驶员用户体验、增强汽车品牌基因[3]等具有重要作用。中外学者纷纷展开汽车数字化仪表界面设计研究。

李维杰[4]结合实际驾驶场景,利用人机界面设计准则指导数字仪表布局设计,并提出了一种汽车数字仪表盘界面交互设计的方法流程。孙贵磊等[5]为研究汽车仪表盘人机交互设计对驾驶者辨识效率及正确率的影响,开展模拟试验。最终从表盘位置、配色设计、误读率和认读速度等四个方面

收稿日期: 2021-04-18; **修订日期**: 2021-09-13
基金项目: 教育部人文社会科学研究项目(20YJCZH227);辽宁省教育厅项目(JYT2020059);沈阳市社科联项目(SYSK2021-01-051)
第一作者: 张宁宁(1982—),女,汉族,辽宁沈阳人,博士,副教授。研究方向:人机交互、感性工学。E-mail:znninging@aliyun.com。
* **通信作者**: 任 宏(1967—),女,汉族,辽宁沈阳人,硕士,教授。研究方向:人机交互、感性工学。E-mail:renruby@126.com。

对汽车仪表盘的设计提出建议。赵丹华等[6]对汽车内饰的设计价值、品牌、情感塑造等进行了分析,明确了设计作为一种架构,可以起到构建领域概念的知识框架作用,从而推进汽车内饰的创新设计。国外学者对卡车上的数字仪表盘进行了相关研究,结论是仪表设计会影响任务完成时间、在仪表上的注视持续时间和满意度,可通过基本的优化设计来促进信息传递、提升用户体验[7]。感性工学是研究用户情感认知的重要方法,广泛地应用于各设计领域。蒋长江[8]对汽车的全液晶仪表显示界面进行了相关评价体系研究,并且使用了主观评价和客观生理测量相结合的实验方法;程永胜等[9]融合层次分析法与感性工学理论,搭建出工程车辆形象评价体系模型,在工程车的造型设计评判中进行了应用。

中外相关研究多数集中于界面信息的传递效率,对于人机界面情感认知的研究相对较少,并且划分的视觉设计要素还不全面。现基于感性工学理论,对汽车数字仪表视觉设计要素与用户感性意象建立对应的数学模型,为后续的数字仪表视觉设计提供理论建议。

1　研究程序

感性工学相关研究的辅助设计可以通过数学建模进行[10-11]。基于感性工学的汽车数字仪表视觉设计要素研究可以分为三个步骤。

(1)构建造型要素空间。对各类汽车的数字仪表聚类进行处理,对汽车数字仪表的设计要素进行概括和分类,收集的样本要尽可能包含全面的设计要素。

(2)构建感性意向空间。感性意向空间是感性意象词汇的集合,以获取能准确表述用户对汽车数字仪表的主观感受的词汇为目标,运用KJ法对大量的感性词汇进行筛选,最后留下的感性意象词汇是最具有代表意义的。

(3)运用数学的方法得到预测模型。把汽车数字仪表视觉设计要素与用户感性意象特征之间的具体联系,使用数量化理论Ⅰ进行解释。将感性评价尺度转换为工学尺度,量化了感性诉求与汽车数字仪表的关系。研究流程如图1所示。

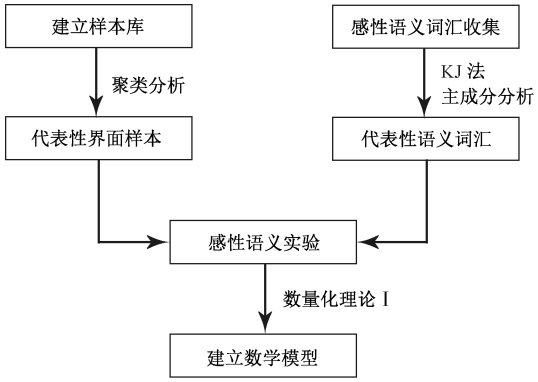


图1　汽车数字仪表视觉设计要素研究流程

Fig. 1　Research flow of visual design elements of automobile digital instrument

2　汽车数字仪表感性实验

2.1　汽车数字仪表样本

通过网络调研的手段,广泛收集世界范围内知名汽车公司的官方网站、大型汽车交易网站,汽车杂志上的数字仪表图片,共整理出32个品牌、79款车型,包含2010—2020年期间市场上各大品牌的主流车型。为了保证实验的准确性,去掉样本图上的水印、商标、广告等干扰因素,并将样本图的尺寸统一化处理,由于实验探究的是汽车数字仪表中视觉要素的影响,所以在保留视觉要素的同时,弱化样本图片中的文字元素和特殊图形等可能干扰因素,重点保留形态、线条、色彩、仪表布局方向的设计要素。经过专家访谈、问卷调查,以及对图片进行聚类分析,按照不同感性意象将数字仪表样本分为10组。按照样本应包含本组最普遍一致的设计要素的原则,每一组挑选出1幅有代表性的汽车数字仪表图片代表该组样本,样本的车型尽量选择在市场占有率高、对未来数字仪表设计趋势有引领作用的主流品牌。共计10幅图片代表10组样本如图2所示。

(a) 宝马i8 2017款　(b) 迈凯伦720S 2019款　(c) 本田雅阁 2018款　(d) 兰博基尼 Urus 2021款　(e) 长安CS85 COUPE

(f) 宝马 Vision Future Luxury　(g) 众泰 Z500新能源　(h) 兰博基尼 Veneno　(i) 奥迪A7 2021款甄选型　(j) 奔驰B级 2020款时尚型

图2　汽车数字仪表样本

Fig. 2　Sample of automobile digital instrument

2.2 仪表感性意象词汇对

通过对消费者访谈,对相关书籍、互联网等媒介进行调研,搜集了 130 个对汽车数字仪表感性意象描述的词汇[12]。依据科学性、可操作性、统一性的原则,运用 KJ 法对 130 个语义描述词汇进行属性分类,选出 10 个感性词汇,并将这些词汇配以反义词,作为代表性词汇对,并对其进行编号,构成感性意象空间,如表 1 所示。

表 1 汽车数字仪表感性意象词汇对

Table 1 Car digital instrument perceptual image vocabulary pair

编号	感性意象词汇对	编号	感性意象词汇对
1	动感的-静止的	6	高端的-低档的
2	单一的-丰富的	7	协调的-突兀的
3	流畅的-曲折的	8	未来的-传统的
4	个性的-中庸的	9	严谨的-随意的
5	可靠的-冒险的	10	优雅的-狂野的

2.3 感性语意实验

选取 20 名参与者进行感性语意实验,年龄约为 23.6 岁,其中男性 10 人,参与者均具有 1 年以上驾驶经验。汽车数字仪表感性语意实验,首先分别用 10 幅图片和 10 个感性意象词构成汽车数字仪表的 10 组样本和汽车数字仪表的感性意象空间。其次把由 7 个区间组成的二维语义差分量尺用于语义差分[13]量表的编制,区间的左右两端放置为语义相反的一对感性词汇,语义量尺的区间值具体表现为正负值的 1、2、3 和自然数 0,这 7 个数值分别表现了被试对不同的样本图片的感觉认知程度。如“单一的-丰富的”的选项,依次取 -3、-2、-1、0、1、2、3 的分值,分别代表非常单一、比较单一、不太单一、区别不出、不太丰富、比较丰富和非常丰富。基于语义差分法的基本原则,进行感性实验的问卷调查。在调查问卷中,有 10 个汽车数字仪表样本,这 10 个样本图片与 10 组感性意象词汇构成了感性意象主观调查问卷,而每个语义量尺都有 7 个区间,因此最终得出的感性意向空间包含 700 个语义区间。

因为语义评价结果必须体现绝大多数人对汽车数字仪表的感觉,所以应先剔除特异的感觉,K 个评价者对样本图片 i 与感性词汇 j 之间的评分结果,展现了人们对不同样本的不同情感侧重,侧重结果的均值和方差公式为

$$\overline{A}_{ij} = \sum_{k=1}^{K} A_{ij}^{k}/K \tag{1}$$

$$\sigma = \left[\sum_{k=1}^{K} (\overline{A}_{ij} - A_{ij}^{k})/(k-1)\right]^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

其中满足

$$|\overline{A}_{ij} - A_{ij}^{k}| > 3\sigma \tag{3}$$

的结果不符合拉依达准则,因此将结果舍去。最后得到的均值 $\overline{A}_{ij}$ 为大多数人的评价值[14]。为确定实验结果的可靠性,采用信度分析的方法对得到的问卷数据进行检测。可靠性统计量结果中的 Cronbach's Alpha 系数如果大于 0.8,可以说明量表的信度较高,问卷量表的内在统一性较好。使用 SPSS 软件进行信度分析,得到的信度系数为 0.849,说明问卷的可靠性较强。

2.4 主成分分析

运用主成分分析法[15],提取出部分感性词汇,这部分感性词汇可以概括较多的感性信息。为检验问卷的效度情况,使用 SPSS 软件[16]进行 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)和 Bartlett's 球状检验,KMO 和 Bartlett's 球状检验的相关系数达到了 0.661,大于 0.500 的最低标准,结果显示 P 值也小于 0.001,证明实验数据可以进行因子分析。运用最大方差旋转法将 10 个样本的感性评价的数据进行直交转轴处理,用主成分分析法提取出一小部分感性词汇[17],这一小部分感性词汇可以代表大部分的感性信息。把数据运用统计分析手段进行分析处理,结果表明数据的前三个主成分特征值大于 1,且前三个主成分可以概括数据的 89.456%,因此保留前三个主成分,主成分分析的结果如表 2 所示。

由公因子方差比可以看出,每一个指标变量数据的共性方差基本都超过 0.7,验证表明了这三个公共因子可以很好地展现大多数原始各项指标变量的信息。从 SPSS 统计分析结果中可以看出汽车数字仪表感性意象空间主要由三个主成分构成,三个感性词汇因子轴构建了对汽车数字仪表影响较大的感性词汇。对主成分载荷数值进行分析,选取三个词汇作为重点词汇,分别是未来的、优雅的、协调的。汽车数字仪表的突出感性意象可以由这些词汇进行概括。

表 2 主成分分析结果

Table 2 Principal component analysis results

因子	词汇	主成分载荷	特征值	解释变异量/%	累计变异量/%
1	高端的-低档的	0.949	6.143	61.432	61.432
	个性的-中庸的	0.831			
	动感的-静止的	0.850			
	单一的-丰富的	0.779			
	未来的-传统的	0.759			
2	流畅的-曲折的	0.743	1.749	17.489	78.921
	协调的-突兀的	0.667			
	严谨的-随意的	0.569			
3	优雅的-狂野的	0.506	1.053	10.535	89.456
	可靠的-冒险的	0.556			

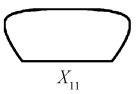
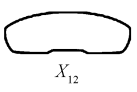
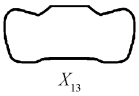
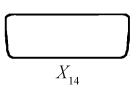
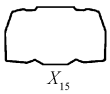
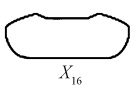
3　仪表视觉设计要素数学模型

3.1　设计要素提炼

对设计数字仪表视觉设计要素进行提炼,根据汽车数字仪表设计方法,分别从形态、颜色、表盘数量等方面分解汽车数字仪表造型。设计要素归为5个类别:形态特征面、形态特征线、仪表数量、仪表主要色调、颜色填充方式,并归纳出各个类别的要素类目,如表3所示。

表3　设计要素类目表

Table 3　List of design elements

设计要素	类目1	类目2	类目3	类目4	类目5	类目6
形态特征面 X_1	 X_{11}	 X_{12}	 X_{13}	 X_{14}	 X_{15}	 X_{16}
形态特征线 X_2	细线 X_{21}	线+面 X_{22}	粗线+拟物(金属质感) X_{23}	射线(金属质感) X_{24}	粗实线 X_{25}	粗断线 X_{26}
仪表数量 X_3	1个 X_{31}	2个 X_{32}				
仪表主要色调 X_4	白色 X_{41}	灰色 X_{42}	黄色 X_{43}	蓝色 X_{44}	红色 X_{45}	
颜色填充方式 X_5	纯色填充 X_{51}	渐变填充 X_{52}				

3.2　数学模型建立

数量化理论属于多变量分析,是将定量变量转化成定性变量的研究。数量化理论Ⅰ研究的主要目的是寻找自变量对因变量的作用情况,通过搭建数学模型的方式,达到改变自变量就可以合理预测出因变量,并发现二者间存在的关联性[18-19]。在数量化理论Ⅰ[20]的理论方法上,代入设计要素类目表和10个仪表各自包含的设计要素种类的数据,建立数学预测模型,其中的项目为汽车数字仪表设计项目,类目为汽车数字仪表设计类目。假设有 n 个样本中,第1个项目 x_1 有 r_1 个类目 c_{11}, c_{12}, …, c_{1r_2},第2个项目 x_2 有 r_2 个类目 c_{21}, c_{22}, …, c_{2r_2},第 m 个项目 x_m 有 r_m 个类目 c_{m1}, c_{m2}, …, c_{mr_m},共计有

$$\sum_{j=1}^{m} r_j = p \tag{4}$$

个类目,为第 j 个设计类目在第 i 个汽车数字仪表样本中的反应(感知意象语汇值),则

$$\delta_i(j,k) = \begin{cases} 1, & \text{第}k\text{个样本中,第}i\text{个项目} \\ & \text{定性数据为}j\text{类} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \tag{5}$$

$$x = \{\delta_i(j,k)\}, \quad i = 1,2,\cdots,n; \quad j = 1,2,\cdots, r; k = 1,2,\cdots,r_j \tag{6}$$

设计项目中的各类目对感知意象评价值(y_i)的影响,可以建立线性数学模型为

$$y_j = \sum_{j=1}^{r}\sum_{k=1}^{r_j} a_{jk}\delta(j,k) + \varepsilon_i \tag{7}$$

式(7)中:ε_i 表示第 i 次抽样的随机误差;a_{jk} 只受第 j 个设计项目的第 k 类常数影响。将SPSS软件用于求解数学模型中,获取类目得分、常数项、复相关系数、决断系数及偏相关系数的数值。偏相关系数分析结果如表4所示。

表4　偏相关系数分析结果

Table 4　Analysis results of partial correlation coefficient

设计要素	偏相关系数						
	个性的	动感的	单一的	流畅的	严谨的	协调的	高端的
X_{11}	-0.177	-0.143	0.615	0.863	0.392	0.706	0.180
X_{13}	0.032	0.373	0.220	1.014	0.855	0.715	0.723
X_{15}	-0.316	0.023	0.390	0.665	0.684	0.670	-0.017
X_{16}	-0.696	-0.630	0.842	0.981	1.112	0.790	-0.286
X_{24}	-0.306	-0.140	-1.220	0.549	0.556	1.132	0.202
X_{41}	0.664	0.781	-0.463	0.050	-0.128	0.134	0.807
X_{42}	0.633	0.777	-0.374	-0.044	-0.684	0.040	0.157
X_{44}	0.620	0.400	-0.478	-0.841	-0.664	-0.706	-0.055
X_{52}	-0.121	-0.095	0.418	0.190	0.559	0.049	-0.055

从偏相关系数的分析研究结果中,可以得到一些具体的数值,来表明设计因素与人的感觉认知之间的联系。用户对仪表的感性评判结果受仪表包含的设计要素影响,具体关系表现在偏相关系数的大小上,也就是系数越大影响越大。综合分析可看出,对于感性意象而言,感性意象受仪表数量要素的影响不大。

"个性的-中庸的"词汇对的预测模型为

$$y = -1.000 - 0.316X_{15} - 0.696X_{16} - 0.306X_{24} + 0.664X_{41} + 0.663X_{42} + 0.620X_{44} - 0.121X_{52} \tag{8}$$

复相关系数和偏相关系数都是非常重要的统计量。复相关系数(即预测值 $\hat{y}$ 与实测值 y 之间的相关系数 $r_{\hat{y}y}$)主要用来衡量预测精度,计算公式为

$$r = \frac{\sigma_{\hat{y}y}}{\sigma_{\hat{y}}\sigma_y} = \frac{\sigma_{\hat{y}}}{\sigma_y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \tag{9}$$

模型精度也可用复相关系数 r_2 来表示,复相关系数 r_2 即决断系数 r_2。在汽车数字仪表意象造型设计中,偏相关系数也表示不同的设计项目对感性词汇的贡献情况,即值的大小影响贡献大小。据此可以得到项目与项目、项目与因变量之间的相关系数以及相关矩阵 R,在此基础上可计算偏相关系数。

根据数学模型以及相关数据分析结果可以得出:模型中的复相关系数与决定系数都非常接近于1,其值分别为 0.994 和 0.988,表示因变量感性词汇"个性的-中庸的"与自变量设计类目的线性回归关系较为密切,样本数据对所选用的回归模型拟合较好,分析结果可信度较强。

设计类目与感性意象形容词对"个性的-中庸的"关系分析结果如表 5 所示,仪表主要色调的得分范围最高为 1.917,对汽车数字仪表界面的个性化影响最大。颜色填充方式得分范围最低,为 0.121,对于汽车数字仪表界面的个性化影响最小。

表 5 设计类目与感性意象形容词对"个性的-中庸的"关系分析结果

Table 5 Analysis results of the relationship between design category and a pair of perceptual image adjectives "individual-neutral"

设计项目	设计类目	类目得分 个性的-中庸的		得分范围
X_1	X_{15}	-0.316	—	1.012
	X_{16}	-0.696	—	
X_2	X_{24}	-0.306	—	0.306
X_4	X_{41}	—	0.664	1.917
	X_{42}	—	0.633	
	X_{44}	—	0.620	
X_5	X_{52}	-0.121	—	0.121
常数项		-1.000		

3.3 综合评价

综合上述数据分析,结合感性工学理论知识,在仪表造型元素评估结果的基础上,建立了汽车数字仪表感性意向空间和视觉设计元素与人的感知之间的预测模型,总结出了汽车数字仪表的设计影响因素。

(1)对汽车数字仪表样本进行设计元素的解构,建立了汽车仪表盘界面设计元素的矩阵关系,由三个感性词汇因子轴构成了数字仪表的感性意向空间。通过主成分分析法得到了对汽车数字仪表影响较大的感性词汇,并以个性的、协调的、优雅的这种词汇为代表。以想使得界面风格更倾向于个性化为例,界面元素应最好具有以下特征:以 X_{16} 形态特征面为首要设计要素,同时满足 X_{24} 射线(金属质感)形态特征线,颜色填充方式为 X_{52} 渐变填充。

(2)为增强仪表界面设计师的预见性,满足使用者对数字仪表界面的情感需求,可根据上述数据结果,设计符合数量化理论模型的汽车数字仪表界面应具有的特征元素。

(3)应用感性工学理论,深化处理分析汽车数字仪表界面,通过数据分析深入的了解使用者的情感认知情况,了解使用者对不同设计元素的情感认知倾向,为汽车数字仪表视觉设计提供出新的设计理论依据。

4 结论

汽车数字仪表的视觉舒适性往往影响着驾驶员驾驶汽车时的安全性,而驾驶员对仪表的感知不容易直接测量,因此对汽车数字仪表界面要素与驾驶员感性认识之间的关系,进行分析评价研究也尤为重要。汽车数字仪表发展迅速,未来的汽车数字仪表设计也会注重人的感知因素,界面设计也将更符合人类的审美。在汽车数字仪表设计中,不同用户对数字仪表风格的需求不同。利用感性工学和数量化Ⅰ类理论结合的方法可以将各类感性意象贡献度最大的形态因素和项目提取出来,指导新的汽车数字仪表设计,满足不同的用户对汽车数字仪表的要求。

在感性工学理论基础上,对样图与人的感性意象使用语义差分法进行评价。用主成分分析的方法将获得到的评价结果处理,得到比原始变量更优秀的综合变量,也就是与仪表关联更强的感性词汇。最终获得相应用户对不同设计风格的仪表界面的对应感知,分析出影响感性意向的具体视觉设计元素,归纳总结出汽车数字仪表设计方法。本文在汽车和用户之间建立一个合理的情感交流渠道,将用户的情感化需求附加到汽车数字仪表视觉设计的研发流程中,并得出符合市场需求的用户评价系统。

参 考 文 献

[1] 包 涵. 汽车内饰设计趋势研究[J]. 设计, 2017(21): 58-59.
Bao Han. Research on trends of automotive interior design[J]. Design, 2017(21): 58-59.

[2] 张 颖. 数字化时代, 汽车座舱显示屏技术的发展之路[J]. 汽车与配件, 2019(23): 48-49.
Zhang Ying. In the digital age, the development of automobile cockpit display technology[J]. Automobiles and Accessories, 2019(23): 48-49.

[3] 尹彦青. 基于多模态感知的汽车内饰品牌调性研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2018.
Yin Yanqing. Research on automotive interior brand tonality based

on multi-modal perception[D]. Changsha: Hunan University, 2018.

[4] 李维杰. 汽车数字仪表盘的交互设计研究[J]. 设计, 2018(11): 138-140.
Li Weijie. Research on interactivedesign of automobile digital dashboard[J]. Design, 2018(11): 138-140.

[5] 孙贵磊, 李 琴, 傅佩文, 等. 基于人因工程的汽车仪表盘信息编码分析与优化[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(8): 68-74.
Sun Guilei, Li Qin, Fu Peiwen, et al. Analysis andoptimization of vehicle dashboard information coding based on human factor engineering[J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(8): 68-74.

[6] 赵丹华, 顾方舟. 汽车内饰的造型设计与设计研究[J]. 包装工程, 2019, 40(16): 43-61.
Zhao Danhua, Gu fangzhou. Research on styling design and design of automobile interior [J]. Packaging Engineering, 2019, 40(16): 43-61.

[7] François M, Fort A, Crave P, et al. Gauges design for a digital instrument cluster: efficiency, visual capture, and satisfaction assessment for truck driving[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2019, 72: 290-297.

[8] 蒋长江. 基于眼动信息和语义差分的汽车仪表界面评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
Jiang Changjiang. Evaluation research ofautomobile instrument interface based on eye movement information and semantic difference [D]. Changchun: Jilin University, 2018.

[9] 程永胜, 徐骁琪, 陈国强. 基于层次分析法和感性工学的工程车造型设计评价[J]. 包装工程, 2020, 41(20): 85-90.
Cheng Yongsheng, Xu Xiaoqi, Chen Guoqiang. Evaluation of vehicle modeling design based on analytic hierarchy process and kansei engineering[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(20): 85-90.

[10] 姚干勤, 薛澄岐. 产品造型风格意象认知空间构建方法研究[J]. 包装工程, 2018, 39(12): 100-106.
Yao Ganqin, Xue Chengqi. Research on theconstruction method of image cognitive space of product modeling style[J]. Packaging Engineering, 2008, 39(12): 100-106.

[11] 李 勇, 马洪杰, 刘远哲, 等. 基于SPSD评价标准的纯电动汽车感性意象设计方法[J]. 机械设计, 2019, 36(3): 134-138.
Li Yong, Ma Hongjie, Liu Yuanzhe, et al. A perceptual image design method for pure electric vehicles based on SPSD evaluation criteria[J]. Mechanical Design, 2019, 36(3): 134-138.

[12] 程传鹏, 王海龙. 情感倾向判断中基准词的选择[J]. 智能系统学报, 2013, 8(4): 349-355.
Cheng Chuanpeng, Wang Hailong. The choice of benchmark words in the judgment of emotional orientation[J]. Journal of Intelligent Systems, 2013, 8(4): 349-355.

[13] Llinares C, Page A F. Differential semantics as a Kansei engineering tool for analysing the emotional impressions which determine the choice of neighbourhood: the case of Valencia, Spain[J]. Landscape and Urban Planning, 2008, 87(4): 247-257.

[14] 李淑江, 张育辉, 窦如宏. 游艇设计中感性意象空间的构建[J]. 包装工程, 2020, 41(14): 135-142.
Li Shujiang, Zhang Yuhui, Dou Ruhong. Construction of perceptual image space in yacht design[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(14): 135-142.

[15] 马士国, 余桐奎, 王志伟. 改进的主成分分析方法[J]. 舰船科学技术, 2012, 34(10): 21-23, 80.
Ma Shiguo, Yu Tongkui, Wang Zhiwei. Improved principal component analysis method [J]. Ship Science and Technology, 2012, 34(10): 21-23,80.

[16] 杜 强, 贾丽艳. SPSS统计分析从入门到精通[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
Du Qiang, Jia Liyan. SPSS statistical analysis from entry to proficient[M]. Beijing: People Post Press, 2011.

[17] 刘 江, 赵卫国, 李小龙, 等. 多元统计分析在产品设计要素分析中的应用[J]. 机电产品开发与创新, 2007(5): 73-75.
Liu Jiang, Zhao Weiguo, Li Xiaolong, et al. Application of multivariate statistical analysis in product design factor analysis[J]. Mechanical and Electrical Product Development and Innovation, 2007(5): 73-75.

[18] 王新亭, 王 灿, 王欢欢, 等. 基于数量化Ⅰ类理论的电动代步车造型设计[J]. 机械设计与制造, 2020(7): 165-169.
Wang Xinting, Wang Can, Wang Huanhuan, et al. Based on the theory of quantification Ⅰ class electric car instead of walking modelling design[J]. Journal of Mechanical Design and Manufacturing, 2020(7): 165-169.

[19] 于 娜, 张 聪, 杜 游, 等. 基于数量化理论的家具造型意象设计[J]. 包装工程, 2018, 39(22): 183-188.
Yu Na, Zhang Cong, Du You, et al. Furniture modeling imagedesign based on quantitative theory[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(22): 183-188.

[20] 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(4): 40-43.
Li Yongfeng. Based on the theory of quantification Ⅰ of product image design research[J]. Journal of Mechanical Design, 2010, 27(4): 40-43.