

基于人工神经网络的电动汽车前大灯意象造型设计研究

尹磊, 黄黎清, 李明珠
(江苏大学, 镇江 212013)

摘要: **目的** 针对电动汽车造型设计中的前大灯意象造型问题, 分析设计要素与用户情感之间的关系。**方法** 分析现有电动汽车前大灯样本, 提出一种新的前大灯造型描述方法, 形成设计要素。结合用户意象调研分析方法获得关键意象, 建立语义量表; 由设计要素与语义量表构成训练样本, 建立神经网络模型; 基于神经网络的泛化能力, 结合了枚举算法与控制变量思想, 分析设计要素与用户情感的关联性。**结论** 分析获得目标意象下的电动汽车前大灯设计要素最优组合形式, 以及设计要素与目标意象的相关性; 结合实验数据提出造型综合评价模型, 将用户对前大灯造型美观程度的感知解释为对其造型的综合评价, 以设计要素为线索, 造型综合评价与目标意象评价呈源与流的关系; 基于造型综合评价模型中设计要素、综合评价、目标意象评价之间的联系, 通过分析设计要素与目标意象评价的相关性, 间接获得设计要素与造型综合评价的相关性, 作为设计活动中保证预期造型综合评价和各目标意象评价的参考。**关键词:** 电动汽车造型; 前大灯造型; 人工神经网络; 感性意象
中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)20-0159-08
DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.20.016

Image Modeling Design of Electric Vehicle Headlight Based on Artificial Neural Network

YIN Lei, HUANG Li-qing, LI Ming-zhu
(Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

ABSTRACT: Aiming at the problem of headlight image in electric vehicle modeling design, the relationship between design elements and user emotion is analyzed. The existing headlight samples of electric vehicles are analyzed, and a new headlight modeling description method is proposed to form design elements. Combined with the research and analysis method of user image, the key image is obtained and the semantic scale is established; the training samples were composed of design elements and semantic scale, and the neural network model was established; based on the generalization ability of neural network, combining enumeration algorithm and control variable idea, the correlation between design elements and user emotion is analyzed. The optimal combination form of design elements and the correlation between design elements and target image are analyzed. According to the experimental data, a modeling comprehensive evaluation model is proposed to comprehensively evaluate the modeling by explaining the user's perception of the beauty of the headlight modeling. Taking the design elements as the clue, the relationship between the comprehensive evaluation of the modeling and the evaluation of the target image is in the form of source and flow. Based on the relationship among design elements, comprehensive evaluation and target image evaluation, the correlation between design elements and comprehensive evaluation of modeling is indirectly obtained by analyzing the correlation between design elements and target image evaluation, which can be used as a reference to ensure the comprehensive evaluation of expected modeling and each target image evaluation in design activities.

KEY WORDS: electric vehicle modeling; headlight design; artificial neural network; perceptual image

收稿日期: 2021-08-17

基金项目: 江苏大学第 18 批大学生科研课题立项 (18C663)

作者简介: 尹磊 (1996—), 男, 江苏人, 江苏大学硕士生, 主攻工业设计。

通信作者: 黄黎清 (1979—), 男, 江苏人, 硕士, 江苏大学副教授, 主要研究方向为产品创新设计及交通工具造型设计。

产品设计领域中,用户导向性的市场机制引导设计师从用户情感中寻找设计形式,从而保证概念设计的成功^[1]。当前,电动汽车保持良好的发展趋势,符合电动汽车情境语义是造型设计的策略之一。汽车前脸是整车造型中的重要部分,前大灯作为前脸中识别度较高的标志性特征,影响前脸整体造型的意象感受^[2]。苏建宁等^[3]总结了产品意象造型设计的技术体系,提出了人工神经网络常用于建立变量之间的复杂映射关系,适用于造型设计要素与用户情感意象之间的黑箱模型;周美玉等^[4]使用形态特征法建立产品的特征空间,借助神经网络的泛化能力获得产品最优设计形式;TUNG T C等^[5]使用BP神经网络预测用户面对特定图标时可能的意象感知,由图标的透视角度、颜色等获得设计要素,建立用于预测图标设计特征与用户认知之间关系的神经网络模型。目前,电动汽车造型设计与神经网络技术结合的研究较少,本文提出了一种新的电动汽车前大灯造型描述方法,结合感性意象用户调研方法构建神经网络模型,并使用该模型成功分析了电动汽车前大灯设计要素、前大灯综合评价、意象评价之间的关系。

1 人工神经网络意象造型研究方法

1.1 神经网络的构建与训练

人工神经网络是一种模拟人脑信息处理的算法,多个概念神经元以一定规则连接构成网络结构,综合网络层数、层神经元数、激活函数等参数设定,形成完整的神经网络,见图1。

训练神经网络最常见的形式是监督学习。在意象造型研究中,参数化数据与意象评价组成监督学习所需训练样本;训练神经网络的目的是调整权重从而使网络输出符合实际情况。LECUN Y等^[6]认为权重是定义系统输入输出功能的“数字旋钮”,训练过程也就是连续调整“旋钮”减小输出误差的过程。另外,发展于1974年的BP算法有效解决了多层神经网络的训练问题,该算法使用实际输出与期望输出之间的误差项作为训练过程中更新权重的依据,在前馈神经网络中,误差项的计算是由输出层到底层隐藏层的反向过程^[7]。

1.2 人工神经网络与电动汽车前大灯意象造型

在人工神经网络中,输入与输出之间的关联信息存储在神经元与权重里,其泛化能力来源于对现有样本的分析,从而能对同类样本的可能变化做出合理的预测。结合神经网络的泛化能力与枚举算法,通过对有限的设计要素组合进行意象值验证,可获得设计要素的最优组合形式^[4]。在此基础上进一步结合控制变量思想,衍生出分析相关性的研究方法:固定设计要素A,记录包含该设计要素的所有组合的意象值,对数值集合做统计分析形成设计要素A与意象B的相

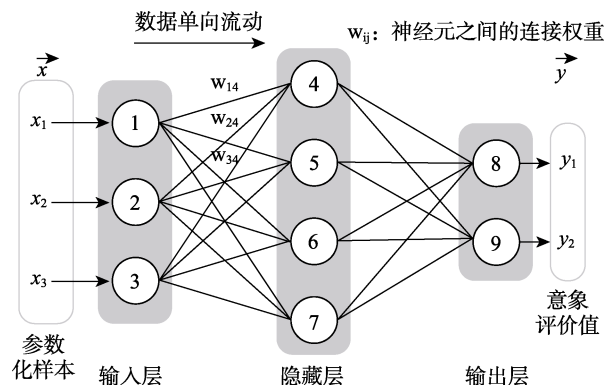


图1 多层神经网络结构

Fig.1 Structure of multilayer neural network

关性指标。电动汽车前大灯意象造型研究基于设计要素寻优算法、相关性算法,以人工神经网络为核心展开。

2 电动汽车前大灯造型设计要素

2.1 电动汽车前大灯造型描述

在汽车网站上使用新能源等词条搜索近年市场在售电动汽车车型,经分析对比前大灯造型的识别度,保留轿车、SUV2种类型的电动汽车样本共25个,见图2。

汽车造型特征的描述方法有曲线控制法^[8]、形态特征法^[9-11]等方法;在傅炯等^[12]的研究中基于人脸审美与汽车前脸的类比,提出使用5点模型描述前大灯,其中4点用于定位前大灯轮廓,使用1点标记前灯;赵丹华等^[13]提出特征线对比特征面、特征点,能更充分地描述造型信息且易于表达;邓亚林等^[14]认为电动汽车造型设计中形态特征线是最直接的设计语言。因此,本文结合5点模型与汽车造型特征线理论提出一种新的电动汽车前大灯造型描述方法:使用四边形框架理解现有的电动汽车前大灯造型,分解构成四边形框架的线段,结合对前灯几何形态的理解,由前大灯轮廓线形成轮廓形态设计要素,由前灯表现和组合方式形成前灯形态设计要素,见图3。

2.2 轮廓形态设计要素

分解四边形框架得到的设计特征线ABCD,依据“设计特征—线段属性—设计要素”的层级关系,需为其指定属性并细分,进而形成设计要素。属性细分的参考包括线段的线型属性,如直线、曲线、折线等形式;线段的空间关系,即特征线在空间中的一定位置;特征线之间的连接方式,有平滑连接和转折连接2种主要形式。使用 N_{ij} 表示设计要素, N 代表具体的设计特征, i 代表第 i 类属性, j 代表该属性的第 j 种形式,见表1。

不同特征的属性细分需结合样本做出决策。样本中特征线A的线型有3种形式:直线 A_{11} 、凹曲线 A_{12} 、凸曲线 A_{13} ;线段A的空间关系以水平倾角 15°



图 2 电动汽车前大灯样本
Fig.2 Sample of electric vehicle headlight

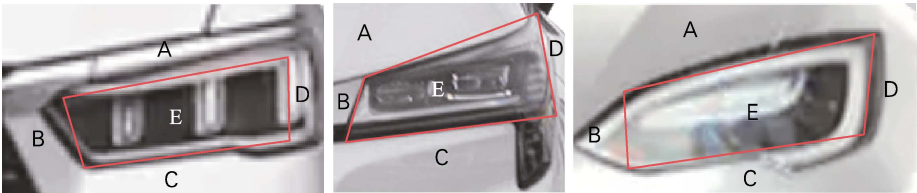


图 3 前大灯造型的四边形框架
Fig.3 Quadrangle frame of headlight modeling

表 1 电动汽车前大灯设计要素分类及其示例
Tab.1 Classification of design elements of electric vehicle headlights and examples

设计特征	线段线型			空间关系		连接方式	
特征 A	直线 A ₁₁	凹曲线 A ₁₂	凸曲线 A ₁₃	倾角小 A ₂₁	倾角大 A ₂₂	平滑 A ₃₁	转折 A ₃₂
特征 B	直线 B ₁₁	折线 B ₁₂	/	内倾 B ₂₁	外倾 B ₂₂	平滑 B ₃₁	转折 B ₃₂
			/				
特征 C	直线 C ₁₁	浅泪眼 C ₁₂	深泪眼 C ₁₃	倾角小 C ₂₁	倾角大 C ₂₂	平滑 C ₃₁	转折 C ₃₂
特征 D	直线 D ₁₁	折线 D ₁₂	曲线 D ₁₃	/	/	平滑 D ₃₁	转折 D ₃₂
				/	/		

为界限分为倾角小 A₂₁、倾角大 A₂₂，与特征线 C 的空间属性相同（以 6°为界限）；特征线 A 与特征线 B 的连接方式分为平滑连接 A₃₁、转折连接 A₃₂。分析样本中特征线 B 的形式得到设计要素直线 B₁₁和折线 B₁₂，而其空间关系简化后分为内倾 B₂₁与外倾 B₂₂，对应方向的规定依据表中示例。特征线 C 的线型特殊情形是采用泪眼式的设计，并有浅泪眼 C₁₂与深泪眼 C₁₃的区别。



图 4 电动汽车前灯形态组合形式
Fig.4 Combination form of electric vehicle headlights

表 2 电动汽车前大灯设计要素参数
Tab.2 Parameters of design elements of electric vehicle headlight

序号	A ₁	A ₂	A ₃	B ₁	B ₂	B ₃	C ₁	C ₂	C ₃	D ₁	D ₃	E
样本 01	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0.50	0	1
样本 02	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0.75
样本 03	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
.....												
样本 24	0.50	1	0.50	1	1	0	1	0	1	1	1	0.50
样本 25	0.50	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0.50

另外, 由于特征线 D 在前脸视图中显示不完整, 因此特征线 C 的连接方式、特征线 D 的线型和连接方式均结合 45°视图指定。分析样本得出特征线 D 的线型有直线 D₁₁、折线 D₁₂、曲线 D₁₃, 其与特征线 A 的连接方式如示例所示。

2.3 前灯形态设计要素

分析样本中前灯形态特征 E 的不同表现和组合方式形成设计要素: 圆形形态 E₁、矩形形态 E₂、长条矩形形态 E₃、栅格形态 E₄ 及整合形态 E₅, 见图 4。

对比样本中前灯前 4 种规则的几何形式, 将前灯形态并不凸显的情形归类为整合形态 E₅。样本 01(雪佛兰—畅巡)、样本 02(别克—微蓝) 的前灯形式属于整合形态; 另外, 样本 20(Model S)、样本 21(Model X) 的前灯并非规则几何形, 同样将其视作整合形态。

2.4 电动汽车前大灯参数化

遵循“设计特征—属性—设计元素”的造型分析方式, 确定 12 种属性下共 30 类设计要素作为造型特征参数化的依据。考虑到使用梯度下降法训练时, 是否对数据做归一化处理影响最终的神经网络训练效果, 因此设计要素的映射数值应参考归一化原则。

对于数据集 $X = \{x_1 \ x_2 \ \cdots \ x_n\}$, x_n 的映射值为:

$$x_n = \frac{x_n - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

以属性 A₁ 为例, 属性 A₁ 包含直线 A₁₁、凹曲线 A₁₂、凸曲线 A₁₃ 3 种设计要素, 记为 {0, 1, 2}, 归一化处理后应是 {0, 0.5, 1}。对所有属性细分做相同处理, 所有前大灯样本的参数化数据, 见表 2。

3 电动汽车前大灯意象词汇

从汽车网站、学术论文、汽车杂志中获取有关电动汽车前大灯的意象词汇共 70 个, 结合问卷调研、

表 3 电动汽车前大灯意象评价

Tab.3 Image evaluation value of electric vehicle headlight

序号	时尚的	优雅的	运动的	科技的
样本 01	3.90	3.77	3.73	3.57
样本 02	3.13	3.37	3.10	2.90
样本 03	3.50	2.87	3.77	3.77
.....				
样本 24	3.73	3.33	3.60	3.83
样本 25	3.97	3.40	3.60	3.97

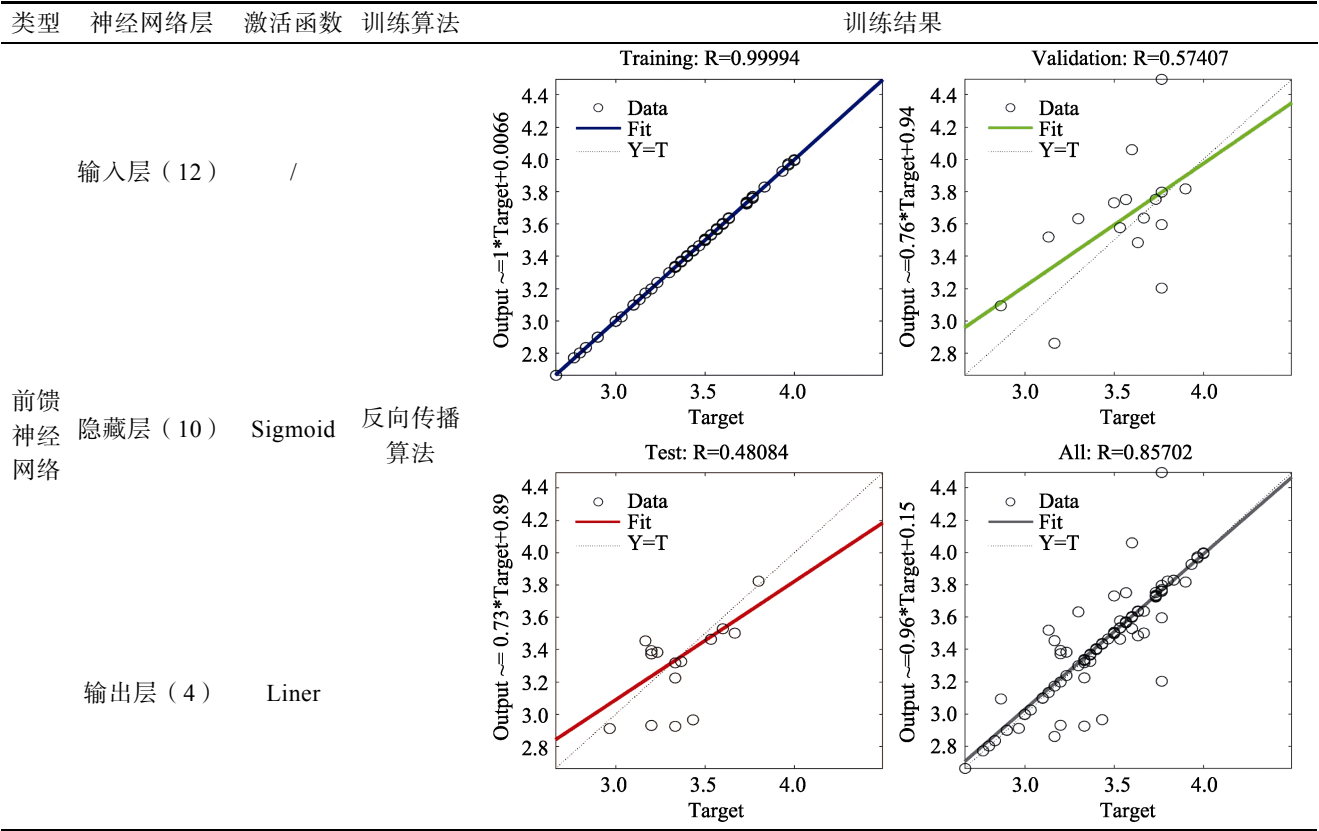
词汇词性检查确定问卷结果中 15 个出现频率较高的词汇; 再经过聚类分析, 得到 4 个基础词汇(时尚的、优雅的、运动的、科技的)。使用李克特量表结合 4 个词汇与 25 个样本建立 5 级量表, 样本做颜色处理、遮挡处理和多角度展示, 呈现方式以前大灯造型为主, 前脸中的呈现效果为辅, 形成电动汽车前大灯意象认知问卷。问卷通过网络发放, 共回收 32 份, 经统计分析获得电动汽车前大灯意象评价价值见表 3。

4 基于人工神经网络的前大灯意象造型研究

4.1 构建神经网络模型

构建神经网络需确定所选择的网络类型、训练算法、激活函数、各层节点数等关键参数。本文在 Matlab 中建立模型, 输入、输出层神经元数与训练样本数据结构一致(见表 2—3), 除系统默认参数外, 需确定隐藏层层数和神经元的数量。理论上, 一层隐藏层的神经网络可以拟合任何“包含从一个有限空间到另一个有限空间的连续映射”的函数, 而为了避免由于神经元数量过少导致的欠拟合和神经元数量过多出现的过拟合问题, 确定合理的隐藏层神经元数量的经验原则, 即隐藏神经元的数量应为输入层大小的 2/3 加上输出层大小的 2/3。最终根据研究的性质为一般的

表 4 神经网络模型参数以及训练结果
Tab.4 Neural network model parameters and training results



预测性问题，使用一层隐藏层并设置 10 个隐藏层神经元，见表 4。

训练结果图中 R 值表示神经网络的预测精度(取值范围 0~1)。通过多次训练构建的模型 ($R\geqslant 0.85$) 精度较高，符合设计研究需要。

4.2 前大灯设计要素最优组合形式

神经网络的泛化能力可对同类样本的可能变化做出合理的预测，结合枚举算法可以通过验证设计要素的所有可能组合的方式得出研究结论。由上述神经网络模型创建函数，并在枚举算法中调用，可得到前大灯造型设计要素组合寻优算法。目标意象下的最优设计要素组合见表 5，目标意象最优设计形式图样见图 5。

4.3 造型综合评价模型

目标意象寻优实验数据显示，各目标意象评价呈现出整体性包括 2 点：(1) 目标意象的最优组合对应的其他意象评价处于较高水平；(2) 各目标意象最优组合中存在重复出现的设计要素。为验证数据规律设置对照实验，更改寻优算法为寻差算法，并记录数据，所获数据依然符合上述规律。最优与最差设计要素组合对应的意象评价见表 6。

根据实验数据与用户意象认知理论提出前大灯造型综合评价模型。研究中使用了抽象性较高的象征

表 5 目标意象下的最优设计要素组合
Tab.5 Optimal combination of design elements under target image

特征	时尚的	优雅的	运动的	科技的
特征 A	凸曲线 A ₁₃	凸曲线 A ₁₃	凸曲线 A ₁₃	凸曲线 A ₁₃
	倾角大 A ₂₂	倾角小 A ₂₁	倾角小 A ₂₁	倾角小 A ₂₁
	平滑 A ₃₁	平滑 A ₃₁	平滑 A ₃₁	平滑 A ₃₁
特征 B	直线 B ₁₁	折线 B ₁₂	直线 B ₁₁	直线 B ₁₁
	外倾 B ₂₂	外倾 B ₂₂	内倾 B ₂₁	内倾 B ₂₁
	平滑 B ₃₁	平滑 B ₃₁	平滑 B ₃₁	平滑 B ₃₁
特征 C	直线 C ₁₁	浅泪眼 C ₁₂	浅泪眼 C ₁₂	深泪眼 C ₁₃
	倾角小 C ₂₁	倾角小 C ₂₁	倾角小 C ₂₁	倾角小 C ₂₁
	转折 C ₃₂	平滑 C ₃₁	转折 C ₃₂	转折 C ₃₂
特征 D	曲线 D ₁₃	曲线 D ₁₃	曲线 D ₁₃	曲线 D ₁₃
	平滑 D ₃₁	转折 D ₃₂	平滑 D ₃₁	转折 D ₃₂
特征 E	长条矩形形态 E ₃	整合形态 E ₅	整合形态 E ₅	圆形形态 E ₁

语义，反应认知主体深层次的主观心理感受^[15]；意象认知过程中，这种深层次的心理量来源于用户的经验、知识，与当前设计特征相匹配而生成，匹配关系是定性的，用户情感是模糊的，整个过程是不能被清晰表述和转移的隐性知识。因而，当用户被要求将深层次心理量具象化时，倾向于使用“对造型美观程度的感知”作为依据指导产生意象评价。将用户对前

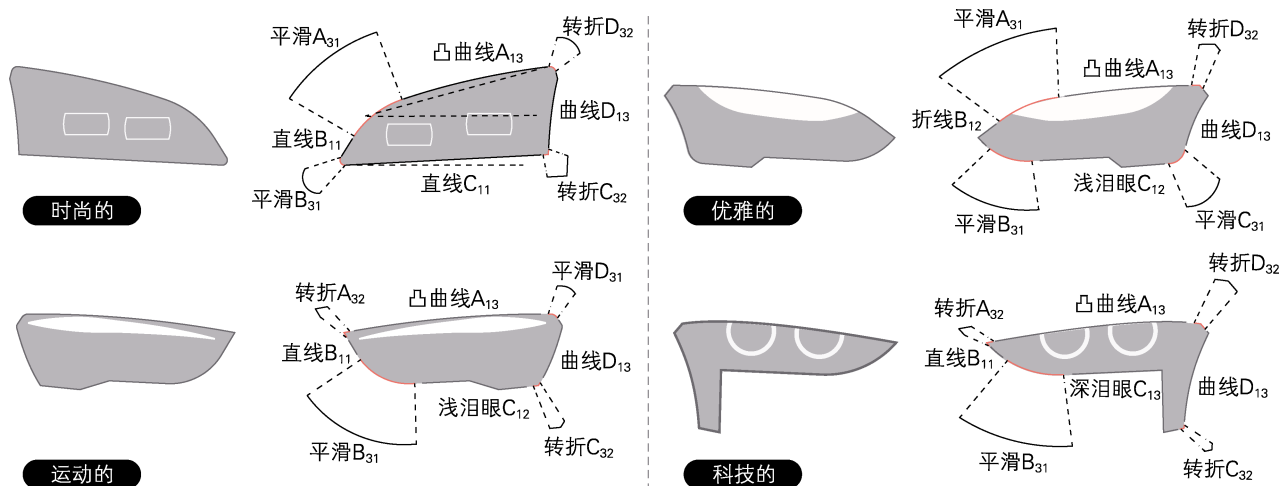


图5 目标意象最优设计形式图样
Fig.5 Optimal design pattern of target image

表6 最优与最差设计要素组合对应的意象评价
Tab.6 Image values corresponding to the combination form of the best and worst design elements

组合方式	时尚的	优雅的	运动的	科技的
最优组合	4.34	4.60	4.22	4.02
	4.00	4.64	4.04	3.7
	4.24	3.60	4.31	4.39
	4.2	3.97	4.08	4.86
最差组合	2.42	2.59	2.21	2.91
	3.11	1.54	3.12	3.29
	2.43	2.53	2.21	2.95
	3.11	2.66	3.01	2.26

大灯造型美观程度的感知表述为用户对造型的综合评价,在造型综合评价模型中以设计要素为线索,综合评价与目标意象评价存在源与流的关系,且保持内在的一致性,见图6。

4.4 设计要素与目标意象的相关性

神经网络的泛化能力、枚举算法、控制变量思想的结合形成相关性分析算法:借助计算机编程获得所

有包含特定设计要素的前大灯形态组合,并求取目标意象值组成意象值集合。当分析设计要素 A_{11} 与意象“时尚的”的关联性时,固定特征线 A 为直线,通过形态组合得到 $1 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 2 \times 2 \times 3 \times 5$ 共 11 520 个意象值 I_i^k (第 i 种设计要素组合的第 k 个意象评价),求取平均值 T_1 与标准差 T_2 :

$$T_1 = \sum_{i=1}^i \frac{I_i^k}{i} \quad (2)$$

$$T_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^i \left(I_i^k - T_1 \right)^2}{i-1}} \quad (3)$$

平均值 T_1 表示设计要素与目标意象的关联程度,标准差 T_2 表示两者关联的稳定程度。为 T_1 与 T_2 分配相同的权值给出相关性指标 T :

$$T = 0.5T_1 + 0.5(1-T_2) \quad (4)$$

设计要素与意象“时尚的”的相关性(部分)见表7,通过对比表7中设计要素 T 值分布情况,表5中意象“时尚的”对应的设计要素 T 值均较高,表明为 T_1 与 T_2 分配相同的权值,建立相关性指标的合理性。

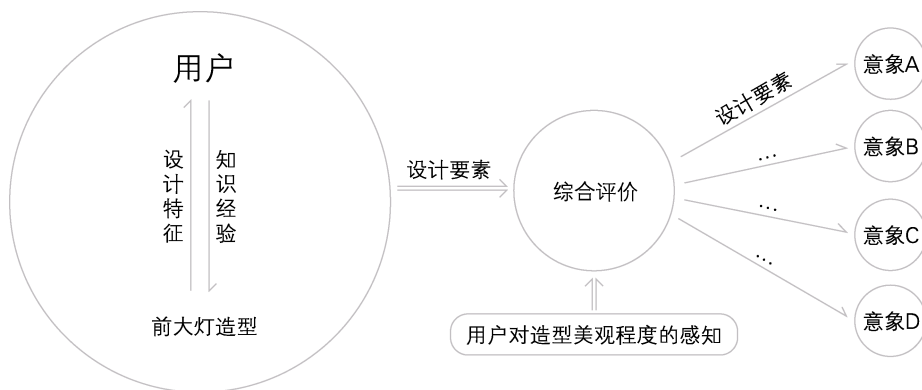


图6 前大灯造型综合评价模型
Fig.6 Comprehensive evaluation model of headlight modeling

表 7 设计要素与意象“时尚的”的相关性（部分）
Tab.7 Correlation between design elements and image“fashionable”(part)

设计要素	<i>T</i> 值	设计要素	<i>T</i> 值	设计要素	<i>T</i> 值	设计要素	<i>T</i> 值
倾角小 C_{21}	2.25	外倾 B_{22}	2.12	转折过渡 B_{32}	2.08	转折连接 C_{32}	2.07
曲线 D_{13}	2.18	直线 C_{11}	2.12	转折 D_{32}	2.08	折线 B_{12}	2.06
凸曲线 A_{13}	2.16	平滑连接 B_{31}	2.11	内倾 B_{21}	2.08	直线 A_{11}	2.05
直线 B_{11}	2.14	折线 D_{12}	2.11	整合 E_5	2.08	直线 D_{11}	2.03
平滑连接 C_{31}	2.13	平滑 D_{31}	2.11	深泪眼 C_{13}	2.07	倾角大 C_{22}	2.03

4.5 设计要素与综合评价的相关性

基于综合评价模型分析设计要素与造型综合评价的相关性。定义集合 $A=\{A_{13},A_{22},A_{31},\cdots,D_{13},D_{21},E_3\}$ ，表示意象“时尚的”对应的最优前大灯造型设计要素组合，集合 B 、 C 、 D 分别与优雅的、运动的、科技的相对应；集合 A^- 表示意象“时尚的”最差前大灯造型设计要素组合，集合 B^- 、 C^- 、 D^- 分别与优雅的、运动的、科技的相对应。

显然，根据造型综合评价模型，存在交集 $C_1=A\cap B\cap C\cap D=\{A_{13},A_{21},A_{31},B_{31},C_{21},C_{32},D_{13}\}$ ，是与造型综合评价相关性较高的设计元素；存在交集 $C_3=A^-\cap B^-\cap C^-\cap D^-=\{A_{11},A_{31},B_{12},B_{21},B_{32},C_{22},D_{11},D_{32}\}$ ，是与造型综合评价相关性较低的设计元素；从集合 C_1 、 C_3 中去掉集合 $C_1\cap C_3$ 中的元素，给定设计要素全集 F ，存在集合 $C_2=C_F(C_1\cup C_3)$ ，表示相关性一般的设计要素；存在集合 $C=\{C_1,C_2,C_3\}$ ，其中元素分段分布，每段元素顺序未知，集合中元素的顺序表示相关性的

高低。

对比表 7 数据，集合 C_1 中元素 T 值较高，集合 C_3 中元素 T 值较低也从数据分析的角度反映了综合评价与目标意象评价有内在一致性。因此，在一定适用范围内，目标意象评价可作为集合 C 中元素分段排序的依据。而表 6 数据显示，意象“时尚的”相较于其他意象词汇与综合评价具有更高的一致性，可依据 T 值为集合 C_1 、 C_2 、 C_3 中元素排序，最终确定设计要素与前大灯造型综合评价的相关性： $C=\{\text{倾角小 } C_{21}, \text{曲线 } D_{13}, \text{凸曲线 } A_{13}, \text{平滑连接 } B_{31}, \text{倾角小 } A_{21}, \text{平滑 } A_{32}, \text{直线 } B_{11}, \text{平滑 } C_{31}, \text{外倾 } B_{22}, \text{直线 } C_{11}, \text{折线 } D_{12}, \text{平滑 } D_{31}, \text{圆形灯 } E_1, \text{矩形 } E_2, \text{凹曲线 } A_{12}, \text{浅泪眼 } C_{12}, \text{长条矩形 } E_3, \text{转折 } A_{31}, \text{倾角大 } A_{22}, \text{栅格 } E_4, \text{整合 } E_5, \text{深泪眼 } C_{13}, \text{转折 } C_{32}, \text{转折 } B_{32}, \text{转折 } D_{32}, \text{内倾 } B_{21}, \text{折线 } B_{12}, \text{直线 } A_{11}, \text{直线 } D_{11}, \text{倾角大 } C_{22}\}$ ；集合中元素以降序形式代表设计要素与造型综合评价的相关性。

为保证用户对电动汽车前大灯造型的意象感受，提出一种基于造型综合评价的开放性设计策略：不同于目标意象优化所提供的造型规范形式，在设计过程中，结合设计师的主观创造性、设计要素与综合评价的相关性，参考集合 C 中给出的设计要素相关性分布，使用排序靠前的设计要素，并避免排序靠后的设



图 7 基于设计要素相关性的前大灯造型设计
Fig.7 Design of headlight modeling based on correlation of design elements

计要素，保证良好的预期造型综合评价与目标意象评价，见图 7。

5 结语

基于人工神经网络的产品意象造型方法能将用户模糊的情感转化成为有效的设计策略，在设计师、用户和产品之间构建沟通的桥梁。前大灯是电动汽车前脸造型设计重要的组成部分，通过制定一种新的前大灯造型描述方法，明确“设计特征—属性—设计要素”的分析方式，得到 30 类设计要素；结合意象词汇的分析方法，获得构建人工神经网络的训练样本，建立了神经网络模型。基于神经网络模型分析电动汽车前大灯造型得到结论：特定意象目标下的最优设计形式；在用户角度建立以设计要素为线索的前大灯造型综合评价模型，分析了设计要素与造型综合评价的关系，所得结论可在前大灯造型设计活动中为设计师提供参考。

最后，电动汽车前大灯与人工神经网络技术的结合是前脸造型意象研究的缩影，而前脸意象是前大灯意象的延伸。将研究范围扩大至前脸，会产生更多的特征与属性、设计要素种类，以合理的造型描述方法、多语义层次的感性意象去匹配神经网络与电动汽车前脸造型，是神经网络技术与汽车造型设计的深层次结合。

参考文献：

[1] NAGAMACHI M. Kansei Engineering: a New Ergo-

- nomic Consumer-Oriented Technology for product development[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1995, 15(1): 3-11.
- [2] 卢兆麟, 张悦, 成波, 等. 基于风格特征的汽车造型认知机制研究[J]. 汽车工程, 2016, 38(3): 280-287.
LU Zhao-lin, ZHANG Yue, CHENG Bo, et al. A Study Research on the Cognitive Mechanism of Car Styling Based on Style Feature[J]. Automotive Engineering, 2016, 38(3): 280-287.
- [3] 苏建宁, 王鹏, 张书涛, 等. 产品意象造型设计关键技术研究进展[J]. 机械设计, 2013, 30(1): 97-100.
SU Jian-ning, WANG Peng, ZHANG Shu-tao, et al. Review of Key Technologies of Product Image Styling Design [J]. Journal of Machine , 2013, 30 (1): 97-100.
- [4] 周美玉, 李倩. 神经网络在产品感性设计中的应用[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2011, 37(4): 509-513.
ZHOU Mei-yu, LI Qian. Application of Neural Network in kansei Design[J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2011, 37(4): 509-513.
- [5] TUNG T C, CHEN H Y. Application of Back-Propagation Neural Network-Based Approach to Icon Image Design [C]. Okinawa: 2016 International Conference on Applied System Innovation, 2016.
- [6] LECUN Y, BENGIO Y, HINTON G . Deep Learning[J]. Nature, 2015, 521(7553): 436-444.
- [7] 焦李成, 杨淑媛, 刘芳, 等. 神经网络七十年: 回顾与展望[J]. 计算机学报, 2016, 39(8): 1697-1716.
JIAO Li-cheng, YANG Shu-yuan, LIU Fang, et al. Seventy Years Beyond Neural Networks: Retrospect and Prospect[J]. Chinese Journal of Computers, 2016, 39(8): 1697-1716.
- [8] 李雪瑞, 余隋怀, 初建杰, 等. 意象驱动的产品形态基因网络模型构建与应用[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(2): 464-473.
LI Xue-rui, YU Sui-huai, CHU Jian-jie, et al. Construction and Application of Image Driven Product Morphology Gene Network Model[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(2): 464-473.
- [9] 姚湘, 余祥杰. 情境语义下的汽车前车灯造型特征与用户意象映射研究[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 154-160.
YAO Xiang, YU Xiang-jie. Research on the Modeling Features of Automobile Front Lights and the Mapping of User Image in Context Semantics[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 154-160.
- [10] 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.
- [11] 栗嘉琪, 周力辉. 基于参数化描述的电动汽车前脸造型发展趋势研究[C]. 上海: 2019 中国汽车工程学会年会, 2019.
LI Jia-qi, ZHOU Li-hui. Research on Development Trend of Electric Vehicle Front Face Modeling Based on Parametric Description[C]. 2019 China Society of Automotive Engineering Annual Conference, 2019.
- [12] 傅炯, 杨倩. 基于脸部审美规则建立的汽车前脸评价模型[J]. 设计, 2013(2): 22-24.
FU Jiong, YANG Qian. Car Face Aesthetic Model Based on Human Face Aesthetic Rules[J]. Design, 2013(2): 22-24.
- [13] 赵丹华, 赵江洪. 汽车造型特征与特征线[J]. 包装工程, 2007, 28(3): 115-117.
ZHAO Dan-hua, ZHAO Jiang-hong. Automobile Modeling Features and Characteristic Lines[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3): 115-117.
- [14] 邓亚林, 刘宝乾, 尹欢. 基于形态特征线的电动汽车造型设计[J]. 包装工程, 2018, 39(10): 199-203.
DENG Yalin, LIU Baoqian, YIN Huan. Design for the Modeling Design of Electric Vehicles Based on the Feature Line[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(10): 199-203.
- [15] 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, 36(24): 33-36.
HU Ting-ting, ZHAO Jiang-hong, ZHAO Dan-hua. Imagery Cognition Differences between Designers and Users Automobile Modeling[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(24): 33-36.