

基于 KAB 模型的设计要素组合推导

蔡婉欣, 林丽, 郭主恩, 邓雅倩

(贵州大学, 贵阳 550025)

摘要: **目的** 为了提高产品感性设计开发效率及意象匹配精度, 采用定性和定量相结合的方法, 提出一种基于层次分析法 (AHP) 与 BP 神经网络相结合的产品意象设计要素组合推导方法。**方法** 首先通过网络爬虫和亲和图法建立产品意象及造型数据库, 以获得意象和设计要素; 其次运用 AHP 构建产品层次结构模型及判断矩阵, 计算意象及设计要素的权重系数; 接着, 基于形态拆解法与权重结果获得设计要素类型及优化组合编码, 再运用语义差异法 (SD) 获取组合编码的用户感性意象均值; 最后通过感性工学和 AHP-BP 神经网络构建 KAB 关键设计要素组合预测模型。**结果** 基于此模型预测四旋翼无人机设计方案, 应用逼近理想解排序法 (TOPSIS) 对其进行验证评价, 结果表明通过模型计算能够得到与目标感性意象高度匹配的设计要素组合编码。**结论** 基于此模型能够快速获得客观准确的产品意象造型设计要素组合, 提高产品设计开发过程的效率。

关键词: AHP-BP 神经网络; 感性工学; 造型意象; 四旋翼无人机; 设计要素组合

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)18-0048-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.18.007

Deduction of Design Elements Combination Based on KAB model

CAI Wan-xin, LIN Li, GUO Zhu-en, DENG Ya-qian

(Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: The paper aims to improve the efficiency of product perceptual design development and the accuracy of image matching, and propose a method of product image design elements combination derivation based on analytic hierarchy process (AHP) and BP neural network by combining qualitative and quantitative methods. Firstly, the database of product image and modeling is established by web crawler and affinity graph method to obtain the image and design elements; Secondly, AHP is used to construct the product hierarchy model and judgment matrix, and the weight coefficients of image and design elements are calculated and analyzed; Then, based on the morphological decomposition method and weight results, the type of design elements and the optimal combination code are obtained. The semantic difference method (SD) is used to obtain the average value of the user perceptual image of the combination code; Finally, Kansei Engineering and AHP-BP neural network are used to build KAB key design elements combination prediction model. Based on this model, the design scheme of quadrotor UAV is predicted, and the technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS) is used to verify and evaluate it. The results show that the combination coding of design elements highly matched with the perceptual image of the target can be obtained through model calculation. Based on this model, the objective and accurate product image modeling design elements combination can be quickly obtained, and the efficiency of product design and development process can be improved.

KEY WORDS: AHP-BP neural network; Kansei Engineering; modeling image; quadrotor UAV; design elements combination

收稿日期: 2022-04-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51465007); 贵州省科技计划资助项目 (黔科合平台人才[2018]5781); 贵州省科技计划项目 (黔科合基础-ZK[2021]重点 055 号); 贵州大学培育项目 (贵大培育[2019]06 号)

作者简介: 蔡婉欣 (1996—), 女, 硕士生, 主攻感性工学、产品设计理论及方法。

通信作者: 林丽 (1973—), 女, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为感性工学、产品设计、民间艺术创意设计。

随着行业集约化和社会进步, 现代产品同质化现象严重, 产品竞争不再仅限于产品质量、价格和功能, 通过产品创新设计满足消费者个性化需求和情感需求, 受到越来越多学者和企业的重视^[1]。不同的产品风格和造型会带给消费者不同的感觉体验, 消费者往往选择能体现自己心理预期的产品^[2]。因此, 研究用户偏好和需求并将其外显化, 使设计出的产品更好地满足用户需求, 成为工业设计研究的一大趋势。

产品感性意象 (Kansei Image, KI) 设计是将用户情感转化为产品设计要素的设计模式, 在产品设计中, 人们将对物的感觉通过感性意象值的定量方式表达出来^[3]。通过研究产品意象与设计要素间的关系, 辅助设计师以最有效的方式寻求到符合用户需求的造型外观, 设计出用户满意的产品^[4]。在产品意象与设计要素的相关研究中, 传统的研究多通过单一方法进行分析^[5], 近年来, 专家学者尝试分别结合多种方法进行设计研究。学者倪敏娜等^[6]综合运用 BP 神经网络技术, 对产品造型设计要素进行量化研究。张硕等^[7]运用 BP 神经网络研究了壁挂式充电桩产品形态。李阳等^[8]运用 BP 神经网络进行木制居民个性化定制。程永胜等^[9]结合感性工学和层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 提出汽车造型意象评价方法。苏珂等^[10]使用模糊层次分析法提出一种产品集约化设计方法。上述研究通过多种方法的结合, 克服了传统感性工学研究方法单一的局限性, 提高了感性意象研究成果在设计实践中的应用成效。但是现有研究仍存在以下不足: 产品意象与设计要素的匹配精度低下, 导致设计开发过程耗时过长; 缺少面向产品意象的形状设计要素组合推导方法。

为解决这些问题, 本文提出基于 KAB (Kansei-AHP-BP 神经网络) 模型的产品意象设计要素组合推导方法, 将定性与定量的方法相结合, 从而实现以下几个目标: 运用 AHP 将主观需求信息量化为客观数据, 为后续 BP 神经网络的运算优选训练数据, 减少训练时间; 依托神经网络算法自学习、收敛快、计算精确、常用于建立变量之间复杂的关系^[11]等特点, 快

速得到与意象匹配的设计要素组合编码; 基于 KAB 模型能够准确得到优化的设计要素组合, 还可以协助设计师提高产品意象与设计要素的匹配精度和设计效率。

1 基于 KAB 模型的设计要素组合推导方法

AHP 具有清晰的逻辑判断准则^[12], 可以把无序的指标设定成有序的层层递阶的评价指标^[13], 通过构建判断矩阵获得各权重系数, 进行权重排序, 得到最优解。BP 神经网络具有高度非线性映射能力和较好的容错性^[14], 特别适合解决非线性的复杂系统^[15]。因此, 本文首先运用 AHP 建立层次结构模型, 进行意象与设计要素相关性分析, 获得目标意象与设计要素类型; 其次在感性工学技术支持下, 将两者通过 BP 神经网络进行非线性拟合, 构建 KAB 模型; 接着通过模型获得优化的关键设计要素组合编码, 最后使用 TOPSIS^[16]法对有限方案进行多目标决策分析, 选取最佳设计方案, 以指导设计。本文提出的方法由以下四大步骤组成:

- 1) 选取目标产品, 筛选产品样本图片和意象, 获取设计要素, 建立产品感性意象及造型数据库。
- 2) 基于 AHP 建立产品造型意象层次结构模型, 并进行综合排序, 得到关键意象和设计要素。
- 3) 获取关键设计要素类型及编码, 验证其与目标意象的相关性, 计算后续用于 BP 神经网络训练的感性评价均值。
- 4) 构建意象与设计要素间的 KAB 关键设计要素组合预测模型, 获得最优设计要素组合编码, 形成新设计方案, 应用 TOPSIS 法筛选得到新设计方案。具体研究流程, 如图 1 所示。

1.1 产品意象及造型数据库建立

1.1.1 选取目标产品

按照实际需求选择拟创新的产品, 一般为造型元素复杂、需要个性化定制生产的产品。

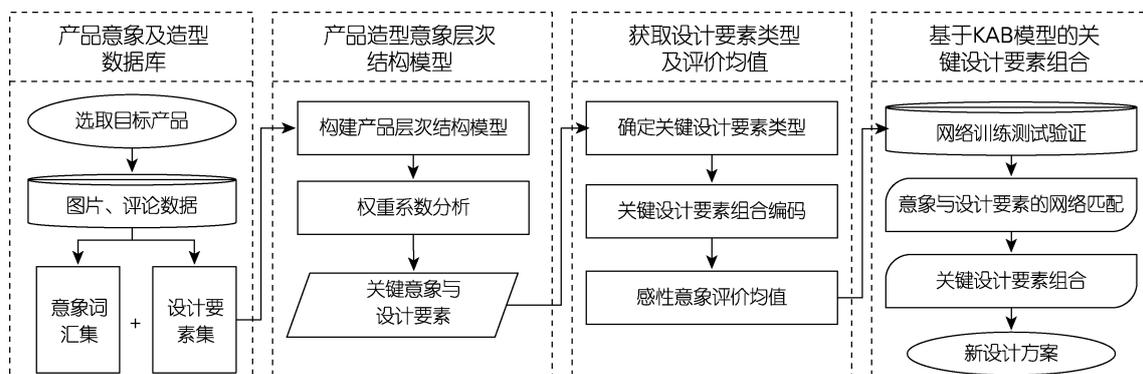


图 1 基于 KAB 模型的设计要素组合推导

Fig.1 Deduction of design elements combination based on KAB model

1.1.2 获取意象及样本图片

通过 Python 网络爬虫获取目标产品的图片和评价信息,由专家对图片数据进行筛选,选择部分样本图片作为分析对象;通过评价数据和产品语义调查问卷获取大量意象,并对结果进行分析获得目标意象。

1.1.3 确定设计要素

使用形态分析法对目标产品整体造型进行解构,将目标产品分解为多个单元部件,每个单元部件细分为多个设计要素,经专家评审得到主要设计要素。

1.2 构建产品造型意象层次结构模型

1.2.1 构建层次结构模型

根据层次分析法中 Saaty 提出的层级构造法^[17],构建目标产品的层次结构模型,确定目标层为产品整体造型 A ,准则层为意象 B ,方案层为设计要素 C 。

1.2.2 构造评价判断矩阵

通过结构模型确定判断矩阵指标,其中判断矩阵为正负反矩阵,应满足以下要求: $a_{ij}>0$; $a_{ij}=1/a_{ji}$; $a_{ij}=1$ 。其中 a_{ij} 表示要比较的各准则层 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ 对上一层级的重要性评估, a_{ij} 是 a_i 相对于 a_j 的重要性评估。焦点小组根据目标产品评价体系,按照九级标度法进行评判打分构造产品评价判断矩阵。

1.2.3 各指标权重获取

通过产品评价判断矩阵获取意象与设计要素的权重值,建立两者之间的线性关系,并验证矩阵的准确性。步骤如下:

步骤一:假设矩阵 B 由 n 个要素构成,分别为 $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ 。得到判断矩阵中每行指标乘积 M_i :

$$M_i = \prod_{j=1}^n C_{ij} \quad (1)$$

其中, $i=1, 2, \dots, n$; C_{ij} 为要素 C_i 相对于 C_j 的标度值。

步骤二:求得各行指标的平均值 a_i :

$$a_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (2)$$

步骤三:得到矩阵 B 中每个要素的相对权重值 w_i :

$$w_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (3)$$

步骤四:为保证评测者在评价过程中思维的一致性和判断矩阵的相容性,对评价结果进行一致性检验,确保矩阵构建的准确性。验证一致性指标为:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i} \quad (4)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

其中, λ_{\max} 为矩阵 B 的最大特征值, $[Aw]_i$ 为矩阵 B 与相对权重矩阵 w 相乘所获得的矩阵 Aw , i 为矩阵要素个数, CI 为一致性指标, RI 为随机一致性指标,当 $CR \leq 0.1$ 时,认为判断矩阵的不一致程度在允许范围内,有满意的一致性,并通过一致性检验,反之要重新调整比较矩阵。

1.2.4 归一化处理

对矩阵 A 、 B 中 n 个要素进行归一化处理,并求得矩阵 B 中 n 个要素对矩阵 A 的综合排名权重,分析权重系数得到关键意象与设计要素。

1.3 获取设计要素类型及评价均值

1.3.1 确定关键设计要素类型及编码

结合形态拆解法获得目标产品的部件架构关系,并基于权重分析结果得到关键设计要素,用 X_1, X_2, \dots, X_n 表示,根据现有产品样本逐一梳理提炼出各种基本设计要素类型的可能性,得到关键设计要素类型,用编码 $X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_{n-n}$ 表示。引用文献[18]提出的相关性分析算法,验证设计要素类型与目标意象的相关性:首先获取基本设计要素类型的各种形态组合,其次获得各组合的目标意象值形成意象值集合。当分析设计要素类型 X_{i-1} 与意象关联性时,通过形态组合得到 n 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 :

$$T_1 = \sum_{i=1}^i I_i^k / i \quad (7)$$

$$T_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^i (I_i^k - T_1)^2}{i - 1}} \quad (8)$$

其中, T_1 表示设计要素类型与目标意象的关联程度, T_2 表示两者关联的稳定程度。为 T_1 与 T_2 分配相同权重得到相关性指标 T ,当目标意象对应的设计要素类型 T 值越高,表明两者越相关:

$$T = 0.5T_1 + 0.5(1 - T_2) \quad (9)$$

1.3.2 确定感性评价均值

随机筛选出部分现有样本方案,运用 SD 法对样本进行感性意象评测打分,运用 SPSS 运算得到感性评价均值。

1.4 构建 KAB 关键设计要素组合预测模型

1.4.1 面向产品意象设计的 BP 神经网络匹配训练

基于 Matlab 2016 平台进行 BP 神经网络结构的建立与模拟,如图 2 所示。图 2 中, X_n 为设计要素编码,同为网络的输入; W_{ij} 为输入层的输出值,隐藏层的输入值; W_j 为隐藏层输出值,输出层的输入值; Z 为输出层的输出值,即感性意象均值。

根据式 (10) 获得隐藏层节点个数 m :

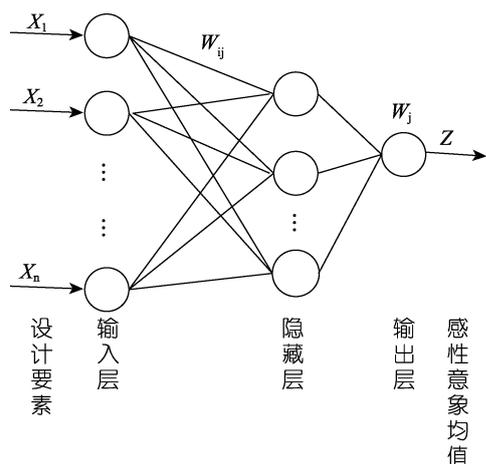


图 2 面向产品意象设计的 BP 神经网络模型
Fig.2 BP neural network model for product image design

$$m = \sqrt{n+1} + a \quad (10)$$

其中, n 为输入层节点数, l 为输出层节点数, a 为 1~10 的调节常数。输入层与输出层之间选用多数 S 型函数进行映射:

$$f_x = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (11)$$

首先将神经网络学习最大训练次数设置为 8 000, 使用梯度下降法进行操作, 误差目标值为 0.001, 选取前 70% 现有样本图片导入 BP 神经网络模型中进行训练, 用均方误差衡量训练结果, 最后选择剩余样本进行验证训练, 测试网络有效性。

1.4.2 面向创新的关键设计要素组合推导

由模型训练得到最大意象均值, 获取所对应的最优化设计要素组合编码, 指导创新设计。

1.4.3 基于 TOPSIS 法的设计方案验证

运用 TOPSIS 法验证设计方案的有效性, 其步骤如下:

步骤一: 邀请设计师针对设计方案中的设计要素类型进行打分, 采用 5 阶里克特量表进行打分 (1~5 分为很不满意、较不满意、满意、比较满意、非常满意), 选取打分结果的均值作为各指标的最终得分, 形成正向化矩阵 E 。得到初始评价矩阵后进行标准化处理, 获得标准化矩阵:

$$r_{ij} = \frac{e_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m e_{ij}^2}} \quad (12)$$

其中, 标准化矩阵记为 r , r 中的每一个元素为 r_{ij} , $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 。

步骤二: 给各设计要素类型赋予相同的权重, 由标准化矩阵得到正理想解 X^+ , 负理想解 X^- , M_m^+ 为每列元素的最大值, M_m^- 为每列元素的最小值:

$$X^+ = (M_1^+, M_2^+, \dots, M_m^+) \quad (13)$$

$$X^- = (M_1^-, M_2^-, \dots, M_m^-) \quad (14)$$

步骤三: 计算各方案到正理想解 X^+ 的距离 d_i^+ 和负理想解 X^- 的距离 d_i^- , 即:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^+)^2} \quad (15)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^-)^2} \quad (16)$$

每个方案到理想解的相对贴进度为 S_i , 即:

$$S_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (17)$$

其中, 由 S_i 值的大小判断方案的优劣, 当 S_i 值越大, 说明方案越符合目标意象。

2 案例验证

2.1 无人机意象及造型数据库建立

2.1.1 选取无人机样本类型

文献[19]指出, 多旋翼无人机的研究成为当下一大热点, 其外观设计是无人机造型研发中较为重要的一环。因此本文选取四旋翼无人机作为案例, 验证方法的有效性。

2.1.2 获取意象及样本图片

使用 Python 网络爬虫获得无人机图片和评价信息, 由专家小组使用相似性分析的方法筛选出 300 个样本图片, 为了避免样本颜色影响判断, 对所有图片进行灰度处理, 由于篇幅限制, 部分样本见图 3。根据评价信息初步筛选意象 130 个, 通过亲和和图法设计调查问卷做进一步筛选, 共发放有效问卷 30 份, 收回有效问卷 27 份。被试者均为具有工业设计背景的设计师或学生, 以聚类法分析问卷调查结果, 并对相关数据进行处理, 最终获得表达用户感性需求的意象为: 现代的、轻巧的、实用的。

2.1.3 确定无人机设计要素

无人机造型部件为: 机身、螺旋桨、电机、支撑架、云台、起落架、相机、飞控等。其外观结构大体相同, 主要部件为机身、云台、螺旋桨、起落架与支撑架, 根据无人机造型评价体系, 经专家评审确定此五个部件用于后续研究。

2.2 构建无人机造型意象层次结构模型

2.2.1 建立无人机层次结构模型

其中目标层为无人机整体造型, 准则层为产品意象: 现代的、轻巧的、实用的, 方案层为机身、云台、螺旋桨、起落架与支撑架, 层次结构模型如图 4 所示。

2.2.2 构造评价指标判断矩阵

邀请专业设计师 3 名, 设计专业学生 10 名, 用户 5 名, 无人机销售人员 4 名, 共 22 人组成焦点小

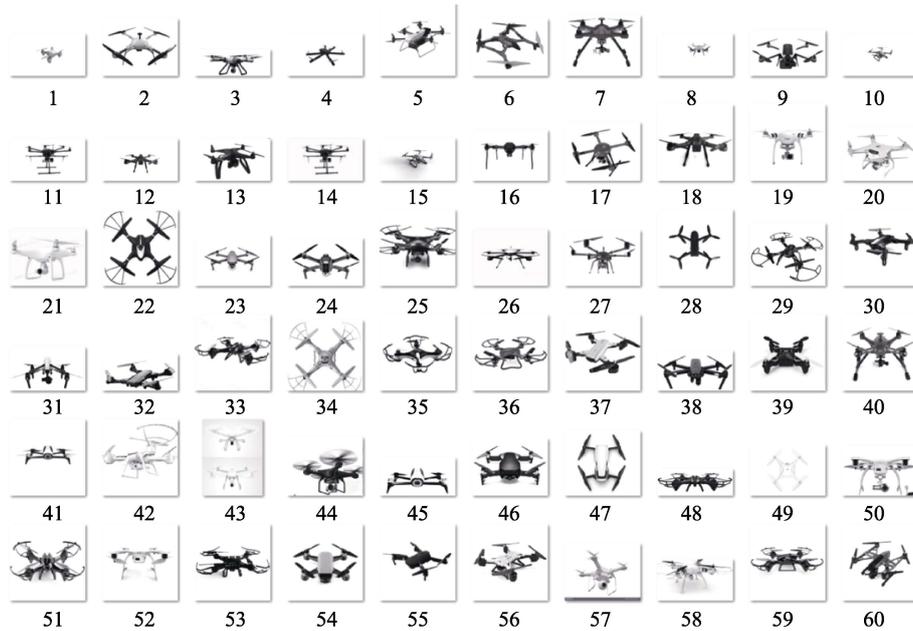


图3 无人机部分样本图片
Fig.3 Some sample pictures of UAV

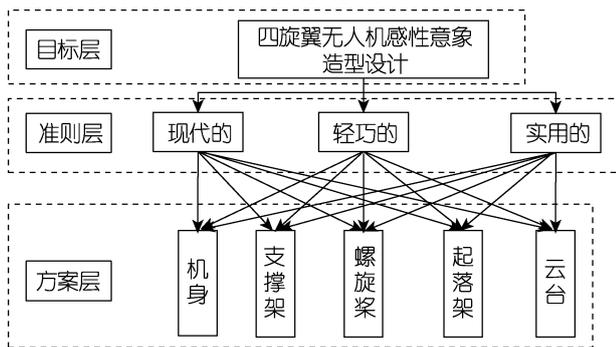


图4 无人机层次结构模型
Fig.4 Hierarchy model of UAV

组, 根据九级标度表进行评测打分, 建立1个目标层判断矩阵、3个准则层判断矩阵。

目标层为无人机造型, 用 A 表示; 准则层三个意象为现代的、轻巧的、实用的, 分别用 B_1 、 B_2 、 B_3 表示; 方案层五个要素为机身、支撑架、螺旋桨、起落架和云台, 分别用 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 表示, 分别构建矩阵 A 、 B_1 、 B_2 、 B_3 。

2.2.3 评价指标权重计算

判断矩阵中相对权重值如表1和表2所示, 用矩阵 A 、 B 进行一致性检验, CR 均小于 0.1, 因此矩阵构建正确, 如表3所示。由表1可知, 矩阵 A 中 B_1 所占权重最大为 0.625, 因此用户偏好的关键意象为: “现代的”。

2.2.4 归一化处理

进行一致性验证后, 综合计算矩阵 B_1 、 B_2 、 B_3 对矩阵 A 的权重并进行归一化处理与综合排序, 如表4所示。排名前四的设计要素为: C_1 、 C_4 、 C_1 、 C_2 。由表2可知, 矩阵 B_1 、 B_2 、 B_3 中前两名的权重分别

为: C_1 、 C_2 、 C_4 。因此, 对此意象造型最具影响力的关键设计要素为: 机身、起落架、支撑架。

表1 准则层判断矩阵
Tab.1 Criterion level judgment matrix

A	B_1	B_2	B_3	w_A
B_1	1	3	4	0.625
B_2	1/3	1	2	0.238 5
B_3	1/4	2	1	0.136 5

表2 方案层判断矩阵
Tab.2 Judgment matrix of scheme layer

B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	$wB1$
C_1	1	2	5	4	8	0.469 7
C_2	1/2	1	3	2	5	0.254 7
C_3	1/5	1/3	1	1/2	2	0.086 2
C_4	1/4	1/2	2	1	3	0.139 9
C_5	1/8	1/5	1/2	1/3	1	0.049 5
B_2	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	$wB2$
C_1	1	3	5	1/2	2	0.255 9
C_2	1/3	1	2	1/6	1/2	0.083 5
C_3	1/5	1/2	1	1/8	1/3	0.049
C_4	2	6	8	1	3	7 0.462
C_5	1/2	2	3	1/3	1	0.148 9
B_3	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	$wB3$
C_1	1	4	2	8	3	0.445 7
C_2	1/4	1	1/2	3	1/2	0.111 4
C_3	1/2	2	1	4	3	0.256
C_4	1/8	1/3	1/4	1	1/2	0.054 4
C_5	1/3	2	1/3	2	1	0.132 5

表 3 一致性比率结果
Tab.3 Consistency ratio results

	1	2	3	4
λ_{max}	3.018 3	5.030 1	5.021 7	5.147 6
CI	0.009 2	0.007 5	0.005 4	0.036 9
CR	0.015 7	0.006 7	0.004 8	0.032 9

表 4 综合权重排序
Tab.4 Comprehensive weight ranking

	B_1	B_2	B_3	权重	综合排序
C_1	0.469 7			0.16	1
C_2	0.254 7			0.086 7	4
C_3	0.086 2			0.025 6	12
C_4	0.139 9			0.047 6	8
C_5	0.049 5			0.016 9	14
C_1		0.255 9		0.086 8	5
C_2		0.083 5		0.028 3	11
C_3		0.049 7		0.016 9	15
C_4		0.462		0.156 7	2
C_5		0.148 9		0.050 5	7
C_1			0.445 7	0.144 4	3
C_2			0.111 4	0.036 1	10
C_3			0.256	0.083	6
C_4			0.054 4	0.017 6	13
C_5			0.132 5	0.042 9	9

2.3 获取无人机设计要素类型及评价均值

2.3.1 确定关键设计要素类型及编码

通过形态拆解法得到无人机整体形态的架构为 一体式及拼接式, 根据关键设计要素机身轮廓 X_1 、起落架轮廓 X_2 、支撑架轮廓 X_3 、形态架构关系 X_4 , 提炼现有产品样本得到 21 种基本设计要素类型, 利用相关性分析算法, 验证设计要素类型与目标意象的相关性: 如当分析设计要素类型 X_1-1 与意象“现代的”关联性时, 通过形态组合得到 $1 \times 6 \times 6 \times 2 = 72$ 个意象值 T_2 , 求得平均值 T_1 与标准差 T_2 , 得到相关性指标 T , 如表 5 所示。对比表中设计要素类型 T 值的分布情况, 所有设计要素类型对应意象“现代的” T 值均较高, 可知两者的相关性建立合理。由此得到关键设计要素类型及编码, 其编码用 1—7 表示, 如表 6 所示。

2.3.2 确定感性意象评价均值

基于 5 点里克特量表焦点小组对 300 个无人机样本针对“现代的”意象进行打分, 因实验样本较多, 为保证被试者结果的真实性, 实验分为 5 组进行, 每组 60 个评价样本, 约 5 min 完成, 整体实验时间为 33 min, 得到均值如表 7 所示。

表 5 设计要素类型与意象“现代的”相关性
Tab.5 Correlation between design element type and image "modern"

设计要素类型	T 值	设计要素类型	T 值	设计要素类型	T 值	设计要素类型	T 值
机身 X_1-1	2.31	机身 X_1-7	2.11	起落架 X_2-6	2.16	支撑架 X_3-6	2.09
机身 X_1-2	2.24	起落架 X_2-1	2.14	支撑架 X_3-1	2.26	形态架构 X_4-1	2.23
机身 X_1-3	2.12	起落架 X_2-2	2.15	支撑架 X_3-2	2.13	形态架构 X_4-2	2.26
机身 X_1-4	2.13	起落架 X_2-3	2.24	支撑架 X_3-3	2.15		
机身 X_1-5	2.21	起落架 X_2-4	2.08	支撑架 X_3-4	2.06		
机身 X_1-6	2.25	起落架 X_2-5	2.09	支撑架 X_3-5	2.14		

表 6 关键设计要素类型
Tab.6 Types of key design elements

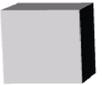
设计要素	设计要素类型						
	1	2	3	4	5	6	7
机身轮廓 X_1	 圆角矩形	 正方形	 六边形	 梯形	 圆形	 椭圆形	 有机形
起落架轮廓 X_2	 T形	 U形	 圆柱形	 三角形	 弧形	 梯形	
支撑架轮廓 X_3	 圆锥形	 斜角矩形	 圆弧形	 平行四边形	 柱形	 斜角弧形	
形态架构关系 X_4	一体的	拼接的					

表7 现有样本感性均值
Tab.7 Perceptual mean of existing samples

样本序号	X_1	X_2	X_3	X_4	感性意象均值
1	4	6	4	2	3.125
2	1	6	4	2	3.289
3	1	2	1	1	2.985
4	2	6	5	2	3.012
5	7	1	1	1	4.017
6	7		2	1	3.725
7	6	1	6	2	3.581
8	6	2	4	1	4.023
9	6	2	1	1	3.746
10	4	3	4	2	2.986
...		
...		
295	1	2	4	2	2.974
296	5	3	3	1	3.543
297	1	3	2	2	3.877
298	1	6	1	2	3.567
299	6	5	3	1	4.021
300	7	6	1	1	3.751

2.4 构建无人机 KAB 关键设计要素组合预测模型

2.4.1 面向无人机意象设计的 BP 神经网络训练

由研究获得 4 个设计元素,可确定输入层节点数为 4 个,隐藏层节点数为 6 个,输出层节点数为 1 个。

随机选取表 6 前 70%的样本数据导入 BP 神经网络模型进行训练,用均方误差衡量训练结果。由图 5 可知,此网络在 2 674 次训练时达到训练目的,实际

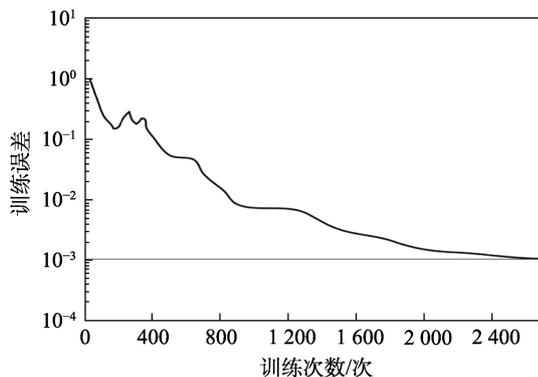


图5 Matlab 训练结果
Fig.5 Matlab training results

训练的误差值为 0.009 48。为了验证模型的有效性,选择了表 7 后 30%的样本数据进行验证训练,将训练得到的样本数据与实际样本数据进行对比,若对比误差低于 3%,说明训练网络构建了产品意象与设计要素之间正确的映射模型。如表 8 所示,实际数据与预测数据误差较小,网络精度达到目标要求,模型建立正确。

表8 验证训练结果
Tab.8 Validation training results

样本	实际感性意象均值	预测感性意象均值	误差%
210	2.358	2.414	2.37
211	1.253	1.274	1.66
212	2.361	2.429	2.88
213	3.504	3.458	1.31
...
...
298	3.567	3.608	1.15
299	4.021	3.967	1.34
300	3.751	3.697	1.44

2.4.2 基于 KAB 模型的实例关键设计要素组合推导

由上述可知,无人机关键设计要素类型随机组合后可生成组合编码为: $7 \times 6 \times 6 \times 2 = 504$ 种。将所有组合编码输入建构好的网络模型,经网络测试计算后,得到“现代的”最大感性均值为 4.726。所对应的设计要素组合编码为: 6、1、5、2。此模型预测能为设计师提供理性逻辑支撑,结合实际需求与产品设计流程,将理论与实践并行。因此,设计无人机时需着重关注“现代的”目标意象,紧密围绕新产品研发时的目标意象需重点关注的设计特征为:机身轮廓为椭圆形 (X_1-6),其形变程度较大为宜,细节以曲线为主、直线为辅来塑造机身的造型线、分模线等;起落架的轮廓为 T 形 (X_2-1),支柱要长于落脚架,以圆柱状为主要造型;支撑架轮廓为柱形 (X_3-5),以有一定形变程度为宜,其放射状圆柱造型较为符合实际需求;形态结构均为拼接式 (X_4-2)。由约束条件下的最优设计要素组合编码,得到初步创新设计方案如表 9 所示。

2.4.3 基于 TOPSIS 法的设计方案验证

为验证生成设计方案的有效性,邀请 10 名设计师针对方案的设计要素类型进行评测打分,形成正向化矩阵 E ,结果如表 10 所示。根据式 (12) 对矩阵 E 进行标准化处理,得到标准化矩阵如表 11 所示。

由式 (13) 和 (14) 得到评价方案的正理想解

表 9 四旋翼无人机设计模型
Tab.9 Four rotor UAV design strategy model

四旋翼无人机设计要素组合方式及方案				
造型特征设计要素	设计要素类型	设计方案		
机身轮廓 X_1		 方案一	 方案二	 方案三
起落架轮廓 X_2				
支撑架轮廓 X_3				
形态架构关系 X_4	拼接式			
感性意象词汇	现代的			

表 10 初始正向化矩阵
Tab.10 Initial normalization matrix

评价指标	X_1-6	X_2-1	X_3-5	X_4-2
方案一	4.1	3.8	3.7	4.3
方案二	3.7	3.8	3.6	4.2
方案三	3.5	3.7	3.6	4.3

表 11 标准化矩阵
Tab.11 Standardization matrix

评价指标	X_1-6	X_2-1	X_3-5	X_4-2
方案一	0.61	0.58	0.59	0.58
方案二	0.57	0.58	0.57	0.57
方案三	0.54	0.57	0.57	0.58

$X^+ = (0.627, 0.582, 0.588, 0.582)$, 负理想解 $X^- = (0.535, 0.567, 0.572, 0.568)$ 。由此, 得到各方案正负理想解的距离及各方案到理想解的相对贴进度, 如表 12 所示。由表 12 可知, 方案一的 S_i 值最大, 最为符合目标意象的设计要素类型, 可以为下一阶段的产品研发起到导向作用。

表 12 正负理想解距离及相对贴进度
Tab.12 Distance between positive and negative ideal solutions and relative progress

评价指标	d_i^+	d_i^-	S_i	排序结果
方案一	2	0.095	1	1
方案二	0.065	0.034	0.346	2
方案三	0.094	0.014	0.125	3

3 结语

本文以产品整体造型意象设计为出发点, 定量地分析了产品意象与设计要素及其组合的对应关系, 建立了基于 KAB 模型的设计要素组合推导方法。基于此模型能够推导出与目标意象匹配的设计要素组合编码, 提高了设计效率及意象匹配精度。以四旋翼无人机为例, 证实了此方法可协助设计师快速设计出

更加符合用户感性需求的产品, 从而缩短产品设计周期, 加快产品开发速度。

本文预测模型仅针对产品意象造型的形状设计要素, 而产品意象是产品形色质等多维设计要素共同作用的结果, 因此, 针对同时预测多维设计要素的情况以及更多带有特殊情况的数据, 现有的训练集难以胜任, 致使现有模型存在一定的局限性。在后续研究中综合产品多维意象设计要素并拓展训练集, 提高产品用户满意度和预测模型的可信度是需要开展并拟解决的问题。

参考文献:

- [1] 傅业焘, 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] 朱斌, 杨程, 俞春阳, 等. 基于深度学习的产品意象识别[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018, 30(9): 1778-1784.
ZHU Bin, YANG Cheng, YU Chun-yang, et al. Product Image Recognition Based on Deep Learning[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2018, 30(9): 1778-1784.
- [3] 陈金亮, 赵锋. 产品感性意象设计研究进展[J]. 包装工程, 2021, 42(20): 178-187.
CHEN Jin-liang, ZHAO Feng. Review of Product Kansei Image Design[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(20): 178-187.
- [4] 周爱民, 苏建宁, 阎树田, 等. 基于形态美度的产品多意象预测模型[J]. 图学学报, 2018, 39(4): 654-660.
ZHOU Ai-min, SU Jian-ning, YAN Shu-tian, et al. Product Multi-Image Prediction Model Based on Aesthetic Measure of Form[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(4): 654-660.
- [5] 林丽, 郭主恩, 阳明庆. 面向产品感性意象的造型优化设计研究现状及趋势[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 65-79.
LIN Li, GUO Zhu-en, YANG Ming-qing. Current Research Situation and Trend of Product Image-Based

- Modeling Optimization[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 65-79.
- [6] 倪敏娜, 孙志宏, 王梓, 等. 面向产品造型感性意象评价的BP神经网络模型的应用[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2016, 42(4): 604-607.
NI Min-na, SUN Zhi-hong, WANG Zi, et al. Applied Research on BP Neural Network Modeling for the Evaluation of Kansei Images and Elements of Product Design[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2016, 42(4): 604-607.
- [7] 张硕, 吴俭涛. 基于BP神经网络的壁挂式充电桩产品形态研究[J]. 图学学报, 2017, 38(6): 865-868.
ZHANG Shuo, WU Jian-tao. Research on Form of Wall Set Charging Pile Base on BP Neural Network[J]. Journal of Graphics, 2017, 38(6): 865-868.
- [8] 李阳, 吕健, 刘翔, 等. 基于BP神经网络的木制民居个性化定制[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41(8): 2374-2380.
LI Yang, LYU Jian, LIU Xiang, et al. Personalization of Wooden Houses Based on BP Neural Network[J]. Computer Engineering and Design, 2020, 41(8): 2374-2380.
- [9] 程永胜, 徐晓琪, 卜俊, 等. 基于KE和AHP理论的汽车造型意象评价方法研究[J]. 现代制造工程, 2020(7): 102-109.
CHENG Yong-sheng, XU Xiao-qi, BU Jun, et al. Evaluation Method of Automobile Modeling Image Based on KE and AHP[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2020(7): 102-109.
- [10] 苏珂, 郑艺, 朱运海, 等. 面向产品设计前期的集约化设计方法[J]. 计算机集成制造系统, 2020, 26(10): 2670-2677.
SU Ke, ZHENG Yi, ZHU Yun-hai, et al. Intensive Design Method in Early Stage of Product Design[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2020, 26(10): 2670-2677.
- [11] 颜波, 褚学宁, 张磊. 结构方程模型与人工神经网络结合的用户感知建模方法[J]. 上海交通大学学报, 2019, 53(7): 830-837.
YAN Bo, CHU Xue-ning, ZHANG Lei. User Perception Modeling by Combining Structural Equation Model and Artificial Neural Network[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2019, 53(7): 830-837.
- [12] 高喜银, 王贺, 宋强, 等. 基于AHP-TOPSIS的果园作业平台舒适性评价及优化[J]. 图学学报, 2020, 41(5): 788-795.
GAO Xi-yin, WANG He, SONG Qiang, et al. Evaluation and Optimization of the Orchard Work Platform's Comfortability Based on AHP-TOPSIS[J]. Journal of Graphics, 2020, 41(5): 788-795.
- [13] SAATY T L. Analytic Hierarchy Process[M]. Newyork: John Wiley & Sons, Ltd, 2013.
- [14] 李少波, 全华凤, 胡建军, 等. 基于在线评论数据驱动的产品感性评价方法[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(3): 752-762.
LI Shao-bo, QUAN Hua-feng, HU Jian-jun, et al. Perceptual Evaluation Method of Products Based on Online Reviews Data Driven[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(3): 752-762.
- [15] 李彦龙, 蔡谦, 孙久康, 等. 基于BP神经网络的汽车外观设计评价方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2021, 49(1): 116-123.
LI Yan-long, CAI Qian, SUN Jiu-kang, et al. An Evaluation Method of Vehicle Exterior Design Based on BP Neural Network[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2021, 49(1): 116-123.
- [16] 尹磊, 黄黎清, 李明珠. 基于人工神经网络的电动汽车前大灯意象造型设计研究[J]. 包装工程, 2021, 42(20): 159-166.
YIN Lei, HUANG Li-qing, LI Ming-zhu. Image Modeling Design of Electric Vehicle Headlight Based on Artificial Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(20): 159-166.
- [17] SAATY T L, VARGAS L G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process[M]. Boston, MA: Springer US, 2012.
- [18] 赵小林, 曾冲寒, 薛静锋, 等. 基于TOPSIS的多维网络安全度量模型研究[J]. 北京理工大学学报, 2021, 41(3): 311-321.
ZHAO Xiao-lin, ZENG Chong-han, XUE Jing-feng, et al. A Multi-Dimensional Network Security Metrics Model Based on TOPSIS[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2021, 41(3): 311-321.
- [19] 刘帅. 从工业设计角度谈多旋翼无人机的设计[J]. 中国民航飞行学院学报, 2020, 31(3): 18-22.
LIU Shuai. Discussion on the Design of Multi-Rotor UAV from the Angle of Industrial Design[J]. Journal of Civil Aviation Flight University of China, 2020, 31(3): 18-22.

责任编辑: 马梦遥