

# 基于感性工学的通用飞机涂装设计方法研究

曹玉姝<sup>1</sup>, 崔庆康<sup>2</sup>, 项松<sup>2</sup>

(1.大邱大学, 庆山 38452; 2.辽宁通用航空研究院 沈阳 110136)

**摘要:** **目的** 探索感性工学在通用飞机涂装设计领域中的适用性及应用价值。**方法** 首先, 从理论层面介绍飞机涂装设计以及感性工学。其次, 在现有通用飞机涂装设计研究的基础上, 提出了一种基于感性工学的通用飞机涂装设计方法, 并阐述了具体的步骤及要求。最后, 以某型正常类通用飞机为案例进行了应用研究。**结果** 分析结果表明, 对通用飞机涂装感性认知影响最大的5个感性语汇分别是“灵巧的”“新能源的”“创新的”“流线型的”和“安全的”, 并且通用飞机涂装感性语汇间的相关性非常显著。以感性语汇分析结果作为设计目标的涂装方案获得了良好的设计效果。**结论** 基于感性工学的飞机涂装设计能够更好地满足用户的感性认知需求, 感性工学方法在飞机涂装设计领域具有良好的适用性和广泛的应用前景。

**关键词:** 感性工学; 通用飞机; 涂装设计; 语义差分法

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)02-0048-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.02.006

## General Aircraft Painting Scheme Design Method Based on Kansei Engineering

CAO Yu-shu<sup>1</sup>, CUI Qing-kang<sup>2</sup>, XIANG Song<sup>2</sup>

(1.Daegu University, Gyeongsan 38452, Republic of Korea;

2.Liaoning General Aviation Academy, Shenyang 110136, China)

**ABSTRACT:** The work aims to explore the applicability and value of Kansei Engineering in general aircraft painting scheme design. From a theoretical level, the aircraft painting scheme design and Kansei Engineering were introduced. Then, based on the research of the existing general aircraft painting scheme design, a general aircraft painting scheme design method based on Kansei Engineering was proposed. Furthermore, the specific steps and requirements of this method was explained. Finally, with a certain type of normal general aircraft as an example, applied research was carried out. According to the analysis results, the five kansei vocabularies having the greatest impact on the perceptual cognition of general aircraft painting were "smart", "new-energy", "innovative", "streamlined" and "safe". Furthermore, the correlation between the kansei vocabularies of general aircraft painting scheme was highly significant. The painting scheme with the analysis results of kansei vocabulary as the design goal achieved a good design effect. The aircraft painting scheme design based on Kansei Engineering can better meet the perceptual cognitive needs of users. The Kansei Engineering method will have good applicability and wide application prospects in the field of aircraft painting scheme design.

**KEY WORDS:** Kansei Engineering; general aircraft; painting scheme design; semantic differential method

通用飞机作为民用航空体系的重要组成部分, 在飞行训练、农林勘探、医疗救援、旅游观光等诸多领域发挥着巨大作用。近年来, 随着国家产业政策以及政府投入力度的不断增加, 我国通用航空产业具备了

深厚的发展潜力, 自主研发的通用飞机型号不断增加<sup>[1-2]</sup>。作为飞机外观的重要组成部分, 涂装传达的是用户对通用飞机的第一印象, 对提高其产品附加值和市场竞争能力起到了关键作用。在产品市场化的进程

收稿日期: 2022-08-19

基金项目: 辽宁省教育厅重点攻关和服务地方项目 (JYT19004)

作者简介: 曹玉姝 (1989—), 女, 博士生, 主要研究方向为包装设计、感性工学。

中,涂装设计逐渐成为了通用飞机设计的重要环节。此外,由于通用飞机的产品特征在外观上无法明显体现,在涂装效果差或没有涂装的情况下会导致用户的感性认知产生偏差,进而降低好感度。目前在欧美等发达航空国家,通用飞机涂装已经成为了一个较为成熟的设计领域。相比之下,我国对于通用飞机涂装设计的重视程度明显不足,设计目标不清晰,方法缺乏创新。通用飞机涂装普遍存在设计单调、缺乏美感、与飞机特征不协调等问题。

## 1 飞机涂装与感性工学

飞机涂装是指为达到某种要求对飞机蒙皮以及外露零件的表面进行喷涂处理。从功能角度分析,对飞机涂装的理解可以包含两个层面。第一,飞机涂装是飞机制造过程中的重要工序之一,具有机体表面防护、增强气动特性等功能。第二,飞机涂装是一种将飞机机体作为媒介,利用表面喷涂的视觉符号进行信息传达的方式<sup>[3]</sup>,具有美化飞机外观、标识特定信息、传播文化等功能。

作为人类工业智慧的结晶,飞机的外观与功能间的协调关系营造出一种独特的产品美感,这种美激发了人们对飞机的感性认知<sup>[4]</sup>。而用户的感性认知是建立在既有产品认知的基础之上<sup>[5]</sup>,因此人们对一架飞机的感性认知是通过涂装与其既有认知的共同作用而产生的。由于飞机功能的复杂性,飞机涂装带给人们的是一种多重的、综合性的感知结果。出色的涂装设计需要制定合理的设计目标,并综合考虑飞机的气动外形、用途范围、民航法规、工艺水平、涂装材料、视觉传达原则等多种影响因素。在飞机的设计过程中,随着影响因素和设计目标的变化,涂装设计也需要不断迭代才能达到满意的效果。由于人体所具有的视觉误差,不同的涂装设计会对飞机外观的视觉效果造成巨大差异,进而影响用户对飞机的感知体验。因此,通用飞机的涂装设计需要契合用户的感性认知,才能更好地凸显其特征,进而提高产品附加值和市场竞争能力。

感性工学最早是由日本学者长町三生于20世纪70年代开始系统研究的<sup>[6-7]</sup>,并率先在日本汽车工业得到了成功应用。感性工学旨在将用户模糊的感性需求进行量化,将用户的感性偏好转化为可执行的设计参数,从而指导设计出更加符合用户心理需求和偏好的产品。发展至今,感性工学已经完成了涵盖多种方法的理论体系建构,在机械装备、交通工具、电子产品、包装等设计领域得到了广泛应用<sup>[8-10]</sup>。

## 2 基于感性工学的通用飞机涂装设计方法

在飞机涂装设计研究方面,国内学者主要从功能、文化等层面探讨飞机涂装的整体设计原则,而从

感性工学角度开展的研究较为有限。宫浩钦<sup>[11]</sup>从涂装的功能以及视觉符号的角度,研究了飞机涂装设计中的功能诉求和文化象征。张临凤等<sup>[12]</sup>采用了感性工学定性推论的方法,建立了用户感性需求与直升机涂装外观元素间的映射关系。而在其他交通运输产品的设计领域中感性工学的应用研究十分丰富,为通用飞机涂装设计提供了有效参考。李明等<sup>[13]</sup>基于语义差分法与平面设计软件开发了用户感性意象数据的可视化工具,并以地铁车辆造型为案例进行了应用研究;程永胜等<sup>[14]</sup>将感性工学方法与层次分析法相结合,建立了一种针对工程车造型设计评价的有效方法;苏畅等<sup>[15]</sup>运用主成分分析对感性语汇进行处理,得出了A级汽车的车身色彩设计优先级。姚湘等<sup>[16]</sup>通过因子分析与阶层聚类分析,得到了感性语汇与汽车侧面形态要素的关联关系。

通过对比和分析现有研究成果发现,运用感性工学方法能够有效地将用户对产品的感性认知进行设计转化。通过建立和分析通用飞机涂装的感性语汇空间,能够进一步明确通用飞机涂装的设计目标,对于更好地指导和确定涂装设计方案有着积极意义。本文将前向式感性工学与通用飞机设计流程相结合,提出了一种基于感性工学的通用飞机涂装设计方法,试图探索感性工学在通用飞机涂装设计中的适用性及应用价值,准确定位涂装的感性设计目标,进而提高用户对通用飞机外观的感知体验。

基于感性工学的通用飞机涂装设计方法主要包括以下八个步骤,见图1。

1) 确定产品定位。按照总体布局形式以及应用场景的不同,通用飞机的分类极其广泛,不同类型的通用飞机特征存在巨大差异,目标用户也不尽相同,因此首先要对通用飞机的总体布局和应用场景进行分析以确定目标用户。

2) 选取涂装样本。在选取涂装样本时应依照两个原则:一是选择与案例机型的总体布局特征和应用场景相似的飞机作为产品样本;二是选择设计元素特征差异较大的涂装样本,如色彩、线条、图形、字体等。

3) 筛选通用飞机设计特征。首先对于通用飞机这类复杂产品,产品设计特征过多会导致感性语汇难以确定。此外,用户对通用飞机的感性认知与其设计特征有密切关联,尤其是具有专业知识背景的用户,但涂装并不能完全体现通用飞机的所有设计特征。基于上述两点,需要对设计特征进行分析和筛选,运用专家访谈法来筛选与涂装关联程度更高的设计特征。

4) 确定感性语汇。通过多渠道搜集与通用飞机相关的感性语汇。使用KJ法剔除语义相近或与设计特征不相关的感性词汇,确定与通用飞机特征相匹配的感性语汇,建立通用飞机涂装的感性语汇空间。

5) 问卷调查测量。使用语意差分法设计调查问

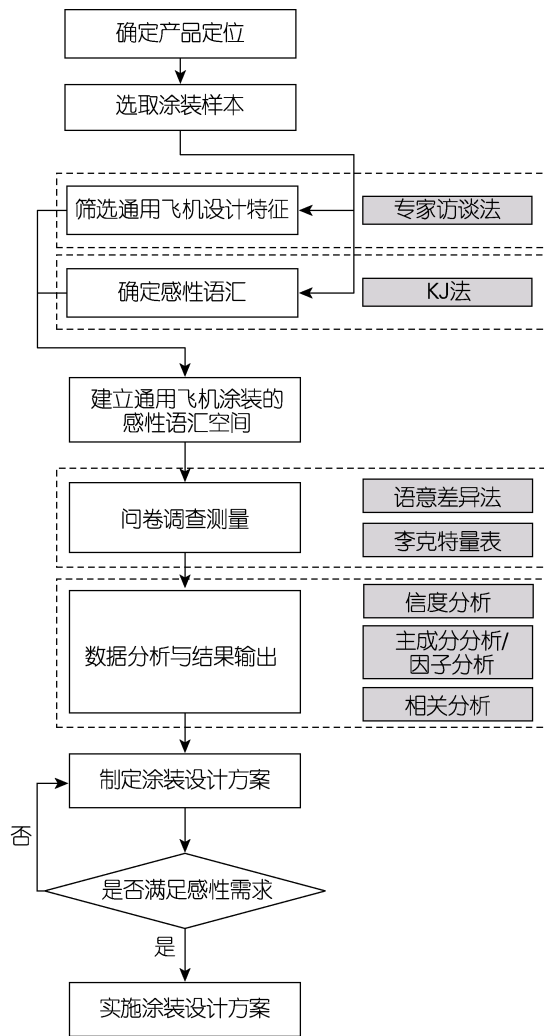


图1 基于感性工学的通用飞机涂装设计方法  
Fig.1 General aircraft painting scheme design method based on Kansei Engineering

卷, 根据目标用户的总体特征确定被调查对象, 对涂装样本的感性评价进行测量。

6) 数据分析与结果输出。使用 SPSS 软件对样本数据进行处理, 具体包括三个环节: 首先使用信度

分析评价问卷数据的一致性; 第二, 使用主成分分析及因子分析对数据进行降维, 从主成分中得到因子载荷较大的感性语汇, 并从通用飞机的设计角度对主成分的构成进行解释; 第三, 使用相关分析评估各个感性语汇的相关性水平, 确定主要感性语汇的影响因素。

7) 制定涂装设计方案。将数据分析结果作为飞机涂装的感性设计目标, 然后将设计目标分配至具体的涂装设计要素中, 同时考虑其相互之间的关联性, 确定详细的涂装设计方案, 制作三维渲染图。

8) 设计方案效果验证。选择与目标用户特征相似的调研对象, 针对设计方案的三维渲染图展开评价调研, 评估涂装设计方案是否能够满足用户的感性认知需求。

### 3 案例研究

#### 3.1 确定产品定位

本文的案例机型为某型四座电动飞机, 该机型是满足 CCAR-23 部适航规章的正常类飞机。其总体布局采用前置单发动机、拉进式螺旋桨、上单翼、下置水平尾翼、前三点式起落架设计, 最大起飞重量为 1260 kg。该机的主要用途为飞行训练、短途运输、旅游观光等, 主要定位于专业领域, 因此面向的主要用户为通用飞机运营公司、具有私人飞行驾照的个人用户、私人飞机购买者以及航空运动爱好者等。目标用户的总体特征是具备航空专业知识基础, 对飞机的功能及性能指标有一定的了解。

#### 3.2 选取涂装样本

通过市场调研、网络搜集等方式, 初步得到 40 个与案例机型相似的通用飞机样本。通过涂装的文字、色彩、图形、线条等具体设计要素的特点进行分类, 删除其中涂装设计相似的样本, 确保所选样本的代表性和全面性。最终得到 15 个具有明显差异的通用飞机涂装样本, 见图 2。



图2 通用飞机涂装样本  
Fig.2 General aircraft painting scheme samples

### 3.3 筛选通用飞机设计特征

首先根据通用飞机总体设计中所涉及的概念及参数<sup>[17]</sup>, 总结出 22 项主要的通用飞机设计特征。然后与五名通用航空领域的专家分别进行探讨, 根据专家的咨询意见, 评价每项设计特征与飞机涂装的关联程度。将关联程度分为三个级别, 每个级别对应不同的分值, 包括“不明显的体现(1分)”“中等的体现(2分)”“明显的体现(3分)”。将评价结果

汇总后, 总分高于 10 分(不含 10 分)确定为“明显的体现”, 低于 10 分(含 10 分)确定为“不明显的体现”, 专家评价结果中有 9 项设计特征具有明显体现, 见表 1。但由于案例机型的用途较为单一, 该特征不适合作为变量进行分析, 因此排除了“用途”这一特征。最终确定了 8 项能够在飞机涂装上明显体现的设计特征, 分别为市场定位、安全性、科技感、动力类型、飞行操纵特性、飞行速度、气动造型和装饰。

表 1 设计特征与飞机涂装的关联程度评价结果

Tab.1 Evaluation results of the degree of correlation between design features and aircraft painting

序号	通用飞机设计特征	专家评价结果汇总	序号	通用飞机设计特征	专家评价结果汇总
1	市场定位	明显的体现(13分)	12	动力类型	明显的体现(15分)
2	用途	明显的体现(12分)	13	发动机类型	不明显的体现(5分)
3	科技感	明显的体现(14分)	14	翼型	不明显的体现(5分)
4	座舱布局	不明显的体现(5分)	15	气动造型	明显的体现(11分)
5	起飞重量	不明显的体现(7分)	16	升力特性	不明显的体现(6分)
6	航程	不明显的体现(5分)	17	阻力特性	不明显的体现(6分)
7	航时	不明显的体现(5分)	18	滑翔特性	不明显的体现(5分)
8	飞行速度	明显的体现(15分)	19	起飞特性	不明显的体现(5分)
9	失速速度	不明显的体现(5分)	20	飞行操纵特性	明显的体现(11分)
10	安全性	明显的体现(13分)	21	着陆特性	不明显的体现(5分)
11	结构强度	不明显的体现(8分)	22	装饰	明显的体现(15分)

### 3.4 确定感性语汇

借助互联网、文献等渠道广泛搜集与通用飞机涂装相关的感性语汇样本。以 8 项通用飞机特征为分类基准, 通过 KJ 法确定感性语汇的共同特征及相关性, 对初步搜集的感性语汇进行归类 and 整理, 删除与设计特征不相关的词汇, 最终确定了 8 组具有代表性的感性语汇。每组感性语汇对应一项飞机设计特征, 见表 2。

表 2 通用飞机涂装的感性语汇

Tab.2 Kansei vocabularies of general aircraft painting

序号	通用飞机设计特征	感性语汇
1	市场定位	高端的一低端的
2	安全性	安全的一危险的
3	科技感	创新的一保守的
4	动力类型	新能源的一传统能源的
5	飞行操纵特性	灵巧的一稳定的
6	飞行速度	快速的一缓慢的
7	气动造型	流线型的一非流线型的
8	装饰	精致的一简约的

### 3.5 问卷调查及数据统计

使用语意差分法对筛选出的 8 组感性语汇进行

量化。利用李克特量表构建 7 级评价尺度, 对应分值设置为-3~3, 制定调查问卷, 见表 3。其中, 将“高端的”“安全的”“灵巧的”“创新的”“新能源的”“快速的”“流线型的”“简约的”分值设置为正数, 代表更加符合用户认知的感性语汇, 将每组中对应的另一个词汇设置为负数。由于样本数量较多, 为降低样本顺序对调查结果的影响, 在调查问卷中将 15 个样本随机排列。同时为排除品牌及机型对感性认知的影响, 在填写调查问卷前, 会告知所有被调查者忽略样本的品牌及机型, 只针对飞机的涂装进行打分。

选择与目标用户特征相似的被调查者进行问卷调查, 共 70 人。其中, 从事通用飞机设计的工程师 30 人, 飞行器设计专业学生 35 人, 通用飞机飞行员 5 人。实际发出问卷共计 70 份, 回收 70 份, 其中有效问卷 63 份。对 63 份有效问卷的数据进行统计, 得到全部 15 个样本的感性语汇得分平均值, 见表 4。

### 3.6 数据分析

#### 3.6.1 信度分析

首先需要使用信度分析对整体样本的原始数据进行校验, 当克隆巴哈系数越接近 1, 表明数据的一致性越好。由表 5 可知, 样本数据的克隆巴哈系数为 0.849, 在 0.8~0.9 区间内, 同时结果显示 63 份问卷中共有 945 个观察值参与信度分析, 无缺失值。

表3 调查问卷示例  
Tab.3 Questionnaire example

样本	通用飞机设计特征	感性词汇	量化分值							感性语汇
 <p>样本 1</p>	市场定位	低端的	-3	-2	-1	0	1	2	3	高端的
	安全性	危险的	-3	-2	-1	0	1	2	3	安全的
	科技感	保守的	-3	-2	-1	0	1	2	3	创新的
	动力	传统能源的	-3	-2	-1	0	1	2	3	新能源的
	操纵特性	稳定的	-3	-2	-1	0	1	2	3	灵巧的
	飞行速度	缓慢的	-3	-2	-1	0	1	2	3	快速的
	气动造型	非流线型的	-3	-2	-1	0	1	2	3	流线型的
	装饰	复杂的	-3	-2	-1	0	1	2	3	简约的

表4 样本的感性语汇平均值  
Tab.4 Average values of kansei vocabularies in samples

样本	感性语汇平均值							
	高端的	安全的	创新的	新能源的	灵巧的	快速的	流线型的	简洁的
样本 1	1.16	1.43	1.33	1.59	1.70	1.84	0.97	1.11
样本 2	0.56	1.24	-1.92	-2.14	-0.87	0.41	0.76	1.37
样本 3	-0.32	-0.52	0.95	1.02	1.75	2.02	-1.06	-1.03
样本 4	2.14	1.29	0.68	0.78	1.06	2.33	1.56	1.87
样本 5	-1.52	-0.48	0.71	2.44	1.56	0.48	1.78	-2.13
样本 6	-1.75	1.59	-2.06	-2.67	-1.73	-0.17	-0.94	0.78
样本 7	1.59	1.49	-0.38	1.05	1.71	1.33	2.44	2.05
样本 8	-0.95	0.13	-2.33	-2.40	-1.97	-1.29	-0.41	1.29
样本 9	2.25	2.03	2.14	1.35	2.63	1.95	1.89	0.86
样本 10	0.78	1.84	0.18	-1.24	-1.43	0.54	1.03	2.67
样本 11	2.51	1.95	1.43	1.06	2.14	2.79	-0.54	-1.05
样本 12	1.87	1.76	-0.32	0.43	1.25	0.89	-1.32	-0.21
样本 13	1.06	1.32	-2.11	-2.52	-1.68	-1.49	0.56	1.02
样本 14	2.05	2.45	2.41	1.59	1.98	2.17	-1.79	1.14
样本 15	-0.95	-0.21	-2.32	-2.46	-1.86	-2.02	0.43	1.29

3.6.2 主成分分析及因子分析

首先使用主成分分析对数据进行降维,公因子方差见表5,总方差解释见表6,旋转成分矩阵见表7。当KMO检验系数大于0.5且Bartlett球形检验的显著性系数小于0.05时,拒绝变量间相互独立的假设,说明样本数据使用主成分分析是适合的<sup>[18]</sup>。分析结果显示,KMO检验系数为0.739且Bartlett球形检验的显著性系数P值为0,表明适合进行主成分分析。公因子方差代表了提取出的公因子对变量原始信息的解释率,从表5可知,通用飞机涂装感性语汇的公因子方差在0.849~0.968,公因子提取效果较理想。总方差解释用于显示主成分因子对总体变量信息的解释程度,一般选择特征值大于1的主成分。从表6可知,共有三个主成分因子的特征值大于1,累加的方差贡献率达到90.910%,因此选择前三个主成分因子。之后使用方差最大正交法进行因子分析,从表7

可知,在因子1中因子载荷较大的变量有“灵巧的”“新能源的”“创新的”,因子载荷分别为0.978、0.970和0.925;在因子2和因子3中因子载荷最大的变量分别为“安全的”和“流线型的”,其因子载荷达到了0.915和0.980。

表5 公因子方差  
Tab.5 Common factor variance

感性语汇	初始	提取
高端的	1.000	0.849
安全的	1.000	0.890
创新的	1.000	0.898
新能源的	1.000	0.958
灵巧的	1.000	0.962
快速的	1.000	0.885
流线型的	1.000	0.968
简洁的	1.000	0.863



表 6 总方差解释  
Tab.6 Explained total variance

成分	起始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差%	累加%	合计	方差%	累加%	合计	方差%	累加%
1	4.308	53.848	53.848	4.308	53.848	53.848	4.091	51.141	54.141
2	1.843	23.040	76.888	1.843	23.040	76.888	2.028	25.353	76.495
3	1.122	14.022	90.910	1.122	14.022	90.910	1.153	14.416	90.910
4	0.296	3.701	94.611						
5	0.197	2.457	97.068						
6	0.132	1.656	98.724						
7	0.079	0.982	99.706						
8	0.023	0.294	100.000						

表 7 旋转成分矩阵  
Tab.7 Rotation component matrix

感性语汇	成分		
	1	2	3
灵巧的	0.978	0.069	0.029
新能源的	0.970	-0.058	0.117
创新的	0.925	0.204	-0.021
快速的	0.885	0.312	-0.061
安全的	0.183	0.915	-0.136
简洁的	0.523	0.757	0.049
高端的	-0.490	0.685	0.391
流线型的	0.084	-0.011	0.980

3.6.3 相关分析

首先对通用飞机感性语汇进行正态分布检验, 结果显示各个变量基本符合正态分布, 可使用 Pearson 相关系数作为评价变量间相关性水平的指标, 输出通

用飞机感性语汇的相关性矩阵, 见图 3。Person 相关系数的绝对值越接近 1, 相关性越强; 反之相关性越弱。当相关系数在 0.8~1.0 时表明变量高度相关; 当相关系数在 0.6~0.8 时表明变量强相关; 当相关系数在 0.4~0.6 时表明变量中等程度相关; 当相关系数在 0.2~0.4 时表明变量弱相关; 当相关系数在 0.0~0.2 时表明变量极弱相关或无相关<sup>[18]</sup>。从图 3 可知, “灵巧的” “创新的” “新能源的” 和 “快速的” 四组感性语汇间具有高度相关性; “安全的” 与 “高端的” 具有强相关性; “流线型的” 与其他变量不具有明显的相关性。

3.6.4 分析结果解释

主成分分析和因子分析的结果表明, 用户对通用飞机的飞行操纵特性、科技感、安全性、动力类型以及气动造型的感知更加强烈, 这些设计特征在飞机涂装感性认知中的作用也更加突出。在因子 1 上主要贡献的变量为飞行操纵特性、动力类型和科技感, 反映

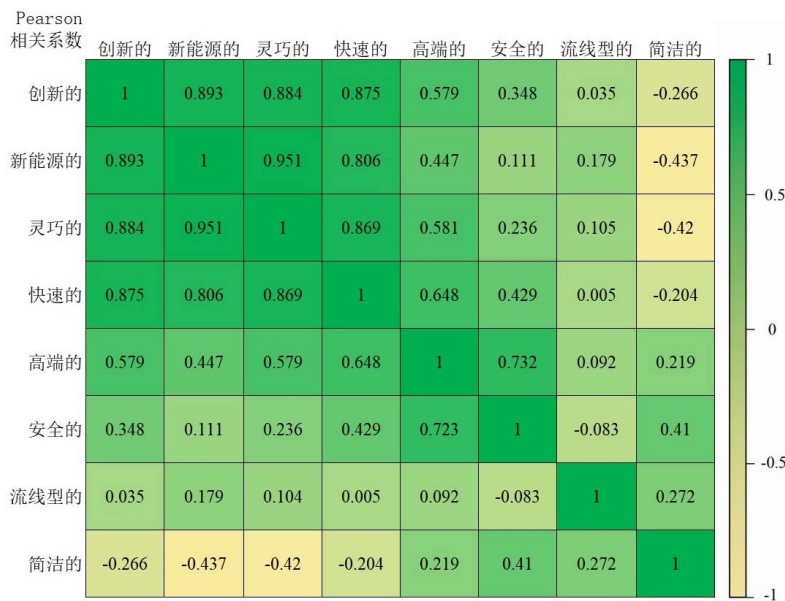


图 3 通用飞机涂装感性语汇的相关性矩阵  
Fig.3 Correlation matrix of kansei vocabularies for general aircraft painting

的是用户对通用飞机性能的感知,可以将因子1称为通用飞机涂装的“性能因子”;因子2上主要贡献的变量为安全性,反映的是用户对飞机的安全性及结构可靠性的感知,可以将因子2称为“安全因子”;因子3上主要贡献的变量是气动造型,反映的是用户对飞机的气动外形以及布局的感知,可以将其称为“造型因子”。由此可以得到案例机型涂装的感性设计目标,即性能因子应凸显灵巧的操纵特性、新能源动力、创新的科技感;安全因子应凸显可靠的安全性;造型因子应凸显流畅的气动造型。

相关分析的结果表明,设计特征的感性认知间存在高度相关性,当用户对某个设计特征的感知发生变化时可能会导致对其他设计特征感知的变化。在进行涂装设计时必须综合考虑这些设计特征之间的关系,通过合理的设计决策来满足相关性需求。例如飞机的飞行速度与飞行操纵性能之间存在物理关系,因此凸显快速飞行速度的设计决策能够给用户带来灵巧的操纵特性的感知;凸显新能源动力的设计决策能够提升用户对飞机技术创新的感知;突出飞机安全性的设计决策能够使用户认为该产品的市场定位更加高端,能够带来更安全舒适的飞行体验。

### 3.7 制定涂装设计方案

根据数据分析得到的感性设计目标,制定涂装方案中各种设计元素的具体策略。首先,案例飞机采用了上单翼、大展弦比设计,操纵特性十分稳定,在造型上偏向于灵巧的负面感知,因此采用贯穿机身的彩色线条配合大面积的白色来凸显轻盈、灵巧的感觉;其次,该型号飞机为新能源电动飞机,“electric airplane”使用简约且具有科技感的字体突出新能源动力的特征;第三,红色的感性意向代表着热烈、活力与进取,使用贯穿机身的红色线条增强动势,突出飞机的高性能,机型代号采用撞色的字体设计来凸显飞机的创新性,此外红色、斜体的字母以及前冲的尖锐线条给人以强烈的速度感,增强了对飞机性能的感受;第四,国籍登记号使用粗线条字体能够给人以稳重的感觉,烘托安全性氛围;第五,使用黑色的平滑曲线贯穿红色线条,在一定程度上弱化了红色线条的尖锐感,使飞机整体的视觉效果更加柔和。在确定感性设计方案后,使用 KeyShot 软件对涂装方案进行详细建模,三维渲染效果见图4。

### 3.8 设计方案效果验证

在涂装设计方案完成后,采用用户调研的方式对涂装设计方案的效果进行评估,共72人参与调研。结果显示73.6%的被调研者对该涂装方案表示出积极的评价。据此表明,依据感性工学方法制定的通用飞机涂装设计方案能够较好地满足目标用户的感性需求。案例机型涂装的实物效果见图5。



图4 某型电动飞机涂装方案渲染效果图  
Fig.4 Renderings of a certain type of electric aircraft painting scheme



图5 某型电动飞机涂装方案实物效果图  
Fig.5 Physical renderings of a certain type of electric aircraft painting scheme

## 4 结语

将感性工学方法应用于通用飞机涂装设计能够更加有效地捕获用户的感性认知需求,准确定位设计目标,从而帮助设计者更加合理地制定涂装设计方案。本文以某型正常类通用飞机为例进行了应用研究,建立了适用于通用飞机涂装的感性语汇空间,通过数据分析确定了面向CCAR-23部的正常类飞机涂装的三个设计因子与感性设计目标,对于同等级别飞机的涂装设计具有一定的参考价值。同时,通用飞机涂装的设计特征不是孤立存在的,需要综合考量各个设计特征间的相关性,才能达到更好的设计效果。研究表明,感性工学方法在飞机涂装设计领域具有广泛的适用性和较高的应用价值,为当前我国通用飞机涂装设计中存在的问题提供了新的解决思路。

然而,本文主要针对涂装的目标与策略层面进行研究,未能讨论色彩、字体、图形等具体设计要素与感性认知间的关系,接下来将针对涂装设计要素对感性认知的影响进行进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 孙传龙, 张子辰, 黄欣怡. 我国通用航空产业潜在市场研究[J]. 综合运输, 2020, 42(10): 14-17.  
SUN Chuan-long, ZHANG Zi-chen, HUANG Xin-yi.  
On the Potential Market of China's General Aviation

- Industry[J]. *China Transportation Review*, 2020, 42(10): 14-17.
- [2] 范振伟, 杨凤田, 项松, 等. 我国电动飞机发展现状及建议[J]. *航空科学技术*, 2019, 30(11): 18-21.  
FAN Zhen-wei, YANG Feng-tian, XIANG Song, et al. Present Situation and Advice of Electric Aircraft Development in China[J]. *Aeronautical Science & Technology*, 2019, 30(11): 18-21.
- [3] 叶峻滔. 视觉传达设计在我国飞机涂装中的应用[D]. 西安: 西北大学, 2019.  
YE Jun-tao. Application of Visual Communication Design in Aircraft Coating in China[D]. Xi'an: Northwest University, 2019.
- [4] 宫浩钦. 关于飞机审美认知的五个维度[J]. *图学学报*, 2016, 37(1): 56-59.  
GONG Hao-qin. On the Five Dimensions of Aesthetic Cognition of Airplane[J]. *Journal of Graphics*, 2016, 37(1): 56-59.
- [5] 罗仕鉴, 朱上上. 用户和设计师的产品造型感知意象[J]. *机械工程学报*, 2005, 41(10): 28-34.  
LUO Shi-jian, ZHU Shang-shang. Users' and Designers' Product Form Perceptual Image[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2005, 41(10): 28-34.
- [6] NAGAMACHI M. The Role and Methods of Kansei Engineering[J]. *Journal of Japanese Kansei Engineering Committee*, 1999, 1(1): 24-30.
- [7] NAGAMACHI M, et al. Kansei Engineering as a Powerful Consumer-Oriented Technology for Product Development[J]. *Applied Ergonomics*, 2002, 33(3): 289-294.
- [8] 丁满, 程语, 黄晓光, 等. 感性工学设计方法研究现状与进展[J]. *机械设计*, 2020, 37(1): 121-127.  
DING Man, CHENG Yu, HUANG Xiao-guang, et al. Status and Progress of Kansei Engineering Design Method[J]. *Journal of Machine Design*, 2020, 37(1): 121-127.
- [9] 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.
- [10] NAGAMACHI M. Kansei Engineering: A New Ergonomic Consumer-Oriented Technology for Product Development[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1995, 15(1): 3-11.
- [11] 宫浩钦. 飞机涂装设计中的功能诉求和文化象征[J]. *科教导刊(中旬刊)*, 2019(2): 143-144, 147.  
GONG Hao-qin. Practical Functions and Cultural Symbols of Aircraft Painting Design[J]. *The Guide of Science & Education*, 2019(2): 143-144, 147.
- [12] 张临风, 邹炎彰, 石春琴. 基于感性工学的民用直升机涂装设计[J]. *中国科技信息*, 2021(8): 35-36, 39, 12.  
ZHANG Lin-feng, ZOU Yan-zhang, SHI Chun-qin. Painting Design of Civil Helicopter Based on Kansei Engineering[J]. *China Science and Technology Information*, 2021(8): 35-36, 39, 12.
- [13] 李明, 刘肖健. 用户感性意象数据的可视化分析技术[J]. *机械设计*, 2021, 38(4): 123-128.  
LI Ming, LIU Xiao-jian. Visualization Analysis Technology of User Perceptual Image Data[J]. *Journal of Machine Design*, 2021, 38(4): 123-128.
- [14] 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 Yong-sheng, XU Xiao-qi, CHEN Guo-qiang. Evaluation of Engineering Vehicle Design Based on AHP and KE Method[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(20): 85-90.
- [15] 苏畅, 付黎明, 魏君, 等. 基于感性工学和主成分分析的车身色彩设计[J]. *吉林大学学报(工学版)*, 2016, 46(5): 1414-1419.  
SU Chang, FU Li-ming, WEI Jun, et al. Design Method in Exterior Color Based Kansei Engineering and Principal Component Analysis[J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2016, 46(5): 1414-1419.
- [16] 姚湘, 胡鸿雁, 李江泳. 基于感性工学的车身侧面造型设计研究[J]. *包装工程*, 2014, 35(4): 40-43.  
YAO Xiang, HU Hong-yan, LI Jiang-yong. Automotive Body-Side Styling Design Based on Kansei Engineering[J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(4): 40-43.
- [17] GUDMUNDSSON S. General aviation aircraft design: applied methods and procedures[M]. First edition.
- [18] 陈胜可. SPSS 统计分析从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.  
CHEN Sheng-ke. Statistical Analysis of SPSS from Entry to Mastery[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2010.

责任编辑: 马梦遥