

基于感性设计方法的战斗机座舱概念设计研究

杨舒婷¹, 张学永^{1*}, 李珍¹, 曹淮², 吴磊², 毛非一²

(1.中国航空工业集团公司 沈阳飞机设计研究所, 沈阳 110035;

2.华中科技大学 机械科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: **目的** 基于感性设计方法对战斗机座舱开展设计研究, 探究战斗机座舱的工业设计方法, 以提升飞行员的操作感受和用户体验。**方法** 对相关文献进行梳理, 厘清感性设计的概念和理论来源; 对装备感性设计和飞机座舱的工业设计方法进行文献回顾; 针对以技术为主导的战斗机座舱设计, 其外观设计受到功能的严格限制。通过构建基于创意感性的战斗机座舱感性设计方法, 将“感性”思维融入战斗机座舱的工业设计程序, 通过风格意象、主题分析、主题造型化等设计阶段产出设计方案, 最后进行验证评估。**结论** 根据感性设计方法对战斗机座舱开展概念设计案例实践, 验证了感性设计方法的可行性, 为战斗机座舱工业设计提供相应的参考建议。

关键词: 战斗机座舱; 设计方法; 感性设计; 意象

中图分类号: TB472 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3563(2024)04-0033-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.04.003

Conceptual Design of Fighter Cockpit Based on Emotional Design Method

YANG Shuting¹, ZHANG Xueyong^{1*}, LI Zhen¹, CAO Huai², WU Lei², MAO Feiyi²

(1. Shenyang Aircraft Design & Research Institute, Aviation Industry Corporation of China Limited,

Shenyang 110035, China; 2. School of Mechanical Science and Engineering,

Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

ABSTRACT: The work aims to conduct a design research on the fighter cockpit based on the emotional design method and explore the industrial design methods for the fighter cockpit, to enhance the pilot's operational experience and user experience. Firstly, the relevant literature was reviewed and the concept and theoretical sources of emotional design were clarified. Then, the literature on equipment emotional design and industrial design methods for the fighter cockpit was reviewed. Secondly, for the fighter cockpit design dominated by technology, the appearance design was strictly limited by functionality. By constructing a creative and emotional design method for the fighter cockpit, the "emotional" thinking was integrated into the industrial design program of the fighter cockpit. Design solutions were produced through design stages such as style image, thematic analysis, and theme modeling, and finally validated and evaluated. Based on the emotional design method, the conceptual design case studies are conducted on the fighter cockpit, verifying the feasibility of the emotional design method and providing corresponding reference suggestions for the industrial design of the fighter cockpit.

KEY WORDS: fighter cockpit; design method; emotional design; image

随着航空科技的发展, 航空飞行器设计已经成为工业设计和人因工程的重要交叉研究领域。座舱又称为驾驶舱、操作舱或控制舱, 是供机组人员控制、操作、监视和管理航空飞行器的主要工作区域。座舱设

计的目的是提供一个舒适、安全、高效的工作环境, 确保飞机的安全和平稳运行。战斗机是用于夺取制空权的核心武器装备, 战斗机座舱作为飞行员操控航空飞行器的重要工作环境, 飞行员需要一边执行复杂飞

行任务,一边实时执行敏捷的作战任务。对于战斗机座舱中复杂的人机界面信息、紧凑的空间环境,通过工业设计方法对座舱开展设计赋能,提高飞行员人机工效和驾驶舒适性、操控安全性,体现源于工业美学、设计心理学、色彩心理学等的“以飞行员为中心”的操控体验。

综上所述,在现代战斗机座舱设计中,工业设计发挥着重要的作用,通过考虑可维护性、人因工效和可达性,优化座舱布局设计,提高飞行员的工作效率和舒适度,提升座舱美学品质和情感体验。此外,通过优良的工业设计和制造工艺,可提升座舱感官质量,降低飞行员操作疲劳。因此,开展相关探索具有重要的理论研究和实践意义。

1 感性设计方法概述

感性在《中国汉语大辞典》的释义为:作用于人的感觉器官而产生的直观认识。感性设计方法是适用于现代产品设计的情感化设计思维方法,感性意象是用户在使用产品过程中产生的情感体验和心理感受。随着学科的融合发展,感性设计方法逐渐成为工业设计理论的主要研究方向之一。杨裕富^[1]将设计方法分为创意理性和创意感性。具体而言,创意理性是指运用可计算、可推理的数学逻辑方式从事设计构思与改良。创意感性是指通过人的情景设想、想象力和联想力开展产品的创意与设计。基于理性的设计方法,主要关注设计的理性思维,是以问题为中心的设计方法,注重创意结构的实用性和生产的经济性。基于感性的设计方法,主要聚焦设计的感性,是以感性体验为中心的设计方法,注重设计内容的感受性与用户的接受性,见图1。



图1 理性设计方法和感性设计方法比较
Fig.1 Comparison between rational design methods and emotional design methods

设计方法论是研究设计方法的逻辑核心,能够对设计的实现途径和手段进行规范。设计方法是开展设计实践的理论指导和依据,主流的设计方法论有直觉设计方法、系统设计方法、用户研究方法等^[2]。张晓晨等^[3]针对工业设计概念界定模糊的现状,梳理归纳工业设计的定义,展开工业设计方法的多维交叉可视化分析。时吉星等^[4]对工业设计方法使用问题进行了

讨论,提出面向企业需求的工业设计方法。在装备产品感性设计方法研究领域,曹淮等^[5]通过对理性设计与感性设计的比较,以IC精密自动划片机设计研究为例,阐述了基于创意感性的产品开发方法在装备工业设计中的应用。朱志娟等^[6]将演出观设计程序在设计实践中进行应用,以TK坦克装备产品设计为案例,验证了设计方法的可行性。该文提出在装备设计中,将产品识别战略与演出观设计程序进行结合,可设计出符合企业品牌个性的家族化产品设计。

2 相关文献综述

2.1 基于感性设计的工业装备设计

在工业装备的感性设计研究领域,蒋佳慧等^[7]以工业视觉检测设备为例,运用感性工学分析造型设计语言与工业产品感性词汇之间的关系,获取最优造型设计方案,为工业装备产品设计提供参考。王莉等^[8]基于感性工学和形状文法,运用形态分析法对农机产品造型要素进行提取,运用定性和定量结合的方法探究感性意向和造型要素之间的关联,以拖拉机造型为例进行验证。陈国强等^[9]为满足用户多样化感性需求,提出BP神经网络优化遗传算法的智能座舱感性意象设计方法。高云^[10]归纳了非标产品在工业设计过程中的问题,将改进后的工业设计流程应用在流向试验器的研发生产中,有效缩短了工业设计周期^[10]。刘明远等^[11]提出虚拟感性工学下的农业装备形态设计方法,并以打捆机为例验证其有效性。郑刚强等^[12]从工业设计的视角出发,探索符合高端装备特征的创新设计原理与方法^[12]。张宗登等^[13]针对工程装备产品配色问题,运用色彩心理学和感性工学等方法,以装载挖掘机设计为例,提出工程装备产品的配色比例区间。苏建宁等^[14]构建了面向品牌风格的机械装备造型设计方法,并以应力试验机为例进行了验证。

2.2 飞机座舱工业设计方法

在飞机座舱造型设计研究领域,刘顿等^[15]基于语义差异法和感性意象理论,采用AHP评价方法对座舱空间布局进行评价研究。陈彦嵩等^[16]提出基于犹豫模糊集的飞机驾驶舱设计形态综合评价方法。叶坤武等^[17]基于数字软件模拟方法研究驾驶舱可达域的约束条件,对驾驶舱的布局进行优化。杨莉等^[18]分析了客舱工业设计的安全性和舒适性等四项要素,阐述了感性工学、虚拟现实设计等三种适用于飞机客舱的工业设计方法。李转等^[19]运用AHP层次分析和灰色聚类法,通过对飞机客舱工业设计因素的分析,建立层次化评价指标体系,对飞机客舱工业设计方案开展有效评价。在飞机座舱的人机交互领域,赵丹华等^[20]通过态势感知模型,开展战斗机智能座舱信息一体化设计研究。林榕等^[21]针对飞机座舱人机交互系统

开展综述研究, 梳理面向未来飞机座舱设计的智能人机交互关键技术。冯悦等^[22]通过分析座舱人机交互方式的发展, 明确了战机座舱人机交互方式的发展趋势, 如基于自然语言理解的语音交互、空间方位的三维音频告警、视觉跟踪的眼动交互等。

在飞机座舱的色彩、材质设计研究领域, 曹玉姝等^[23]提出基于感性工学的飞机涂装设计方法, 探索飞机涂装的感性词汇在飞机涂装设计中的适用性。谭于琳等^[24]针对飞机内饰设计开展研究与探讨, 从色彩材料与表面处理效果的角度寻求新的解决方案, 提出飞机内饰天顶设计新概念。初建杰等^[25]通过对色彩和材质纹样的主观意象进行量化分析, 提出飞机客舱座椅色彩和材质纹样设计方法。左恒峰等^[26]以 CMF 设计为重点对民航客机内饰进行研究, 基于感性设计提出飞机内饰的概念性创新思路。谈卫等^[27]针对感性工程学的设计流程, 提出了基于视觉意象的飞机座舱塑料材质设计方法, 以不透明塑料材质为例, 对座舱操纵台进行案例设计验证。

综上所述, 目前学术界对工业装备的感性设计和飞机座舱布局已有一定的研究基础, 已在部分装备产品和飞机座舱工业设计中开展研究实践, 但采用感性设计方法对战斗机座舱开展工业设计研究还存在一定的不足。因此, 本文针对战斗机座舱工业设计开展设计研究, 进而探索相关研究路径和方法。

3 基于感性设计的战斗机座舱工业设计方法

战斗机座舱是直接面向制造业的高精尖科技装备, 作为以技术为主导的大型装备产品, 其外观设计受到座舱功能布局的严格限制。而感性设计方法, 其与传统的问题观设计方法不同, 可以使科技理性的座舱造型具有感性设计特点, 产生科技与人文融合的创新设计方案。将“创意感性”思维融入“科技理性”的座舱设计全流程, 不仅有助于造型创意思维的产生, 而且使产品具有人性化和人情味的特征。

在战斗机座舱工业设计开发中, 采用与“问题观设计”不同的“感性设计”思维。传统“问题观设计目标”的战斗机座舱工业设计流程是: 问题设定→收集相关座舱产品市场资料与使用资料→资料分析→组合出新产品特性→提出数个解决问题的座舱造型方案→评估各个造型方案的效益并选择设计造型方案→修正与修饰造型方案→地面样机构建→座舱样机评估测试。这种设计方法在工业美学以及面向用户的驾乘体验方面存在一定缺陷。而基于“感性设计”的创意设计流程, 则能够很好地克服传统的“问题观设计”流程的弊端, 更好地从感性的层面突破原有工业设计方案的思维定式, 为提升战斗机座舱感性品质提供更好的工业设计创意路径。综上所述, 基于感性设计的战斗机座舱设计流程为: 产品定义→意象初步

设定→基于“工业美学”的风格意象→调整初步设定的意象→主题分析(推演出主题和要素)→主题造型化→座舱工业设计评估, 如图 2 所示。

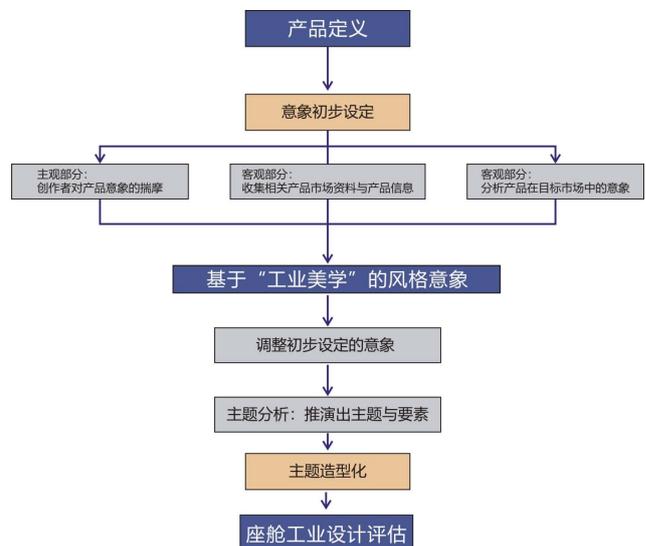


图 2 战斗机座舱感性设计方法流程
Fig.2 Flowchart of emotional design method for the fighter cockpit

4 基于感性设计的战斗机座舱设计实践

4.1 产品定义

基于对现有国外战机座舱的设计与需求分析, 工业设计任务的重点围绕座舱空间布局与内饰总体设计展开, 涉及多个关键组成部分, 如飞行员座椅、座舱盖、座舱仪表盘、操纵台、操纵开关、人机接口设备、通风喷口、内饰板与仪表操纵台衔接过渡面、结构件搭接和连接件等。设计过程综合考虑任务作业空间、生命保障安全、使用维护工效与工业造型美学, 旨在最大程度地满足飞行员使用座舱时的生理和心理需求, 优化操作可用性与空间利用率, 并确保人机界面使用友好。

座舱总体布局方案基于平台约束和人机工效原则, 考虑飞行员的操作流程和人体工程学要求。通过合理安排仪表盘、控制台以及各种操作元件的位置, 旨在提高飞行员的工作效率和操作安全性。内饰形态设计的重点是座舱空间的工业美学营造。在材质和色彩设计方面, 关注座舱的视觉效果和品牌形象, 选择适合的材质可以提供舒适的触感和质感, 并考虑其抗磨损和易清洁性。通过色彩设计营造舒适专业和先进的氛围, 同时与飞机整体外观风格相协调, 提升座舱的美学价值。

4.2 意象初步设定

深入广泛地调研国外战斗机座舱竞品设计趋势, 并跨行业领域调研民用客机和智能汽车等产品的

座舱内饰风格设计现状。主要梳理美国、俄罗斯等的战斗机发展历史和关键机型,了解设计创新带来的座舱造型、设计风格布局等设计发展趋势,并对各个典型机型的座舱风格意象进行总结,见图3。

工业美学(Industrial Aesthetics)主要研究产品设计形态与文化要素中的美学问题,也称作“技术美学”。在战斗机座舱工业设计实践中,将意象初步设

定为“工业美学”,这也是装备类产品所遵从的美学基调,契合此类产品的设计原则与构成要素。工业美学追求富有力量感且平直的线条、几何感的连接和强劲的互动,它是现代工业的机械制造、现代建筑的解构主义和机甲科幻的综合体。工业美学的审美来自于对先进技术与工业发展的呈现,在设计手法上着重体现为功能美、技术美、材料美与秩序美的融合。



图3 国外战斗机座舱竞品调研
Fig.3 Analysis of the foreign fighter cockpit competitors

4.3 基于“工业美学”的风格意象

基于以上分析,将座舱设计的整体风格定义为:“极限航空,极致美学”。产品的造型风格是由造型元素通过不同的组合特征构成的集合形式。形态是产品设计美学的基础因素,造型风格中的点、线、面、体都对用户产生相应的情感认知与体验。在风格意象定义中,因为难以用文字精准描述设计风格,通过“风格意象情绪版”的方法来描绘设计意象,并作为造型设计和空间营造的风格指导。

具体而言,基于“工业美学”的风格意象有以下几种:

1) 力量感的风格意象。在形态设计上采用富有秩序感且平直的线条、几何感的连接和强劲的互动,用以展现工业美学下座舱的基本设计原则,工业之美融合科技的力量和逻辑严谨的构形理念,蕴含沉着冷静力量感,为飞行员带来稳定和安全感。

2) 严谨理性的设计意象。深入洞察人因要素,

在设计上弱化影响用户人机体验和工效的装饰性元素。合理布局座舱各功能性模块,通过设计手法优化操控面板边界,使分区逻辑更严谨,信息反馈更清晰明确,提升操控的流畅化体验。在多元混合中理解并强化座舱布局,通过氛围灯、模块分区、色彩提示等元素设计,支持用户在各种极端飞行场景下的精准操作,提升飞行操控保障。

3) 技术美的设计意象。技术美是功能与形式的统一,在座舱设计中形态和色彩、产品的操作便捷性、舒适性等方面,都是衡量技术美的重要标准。技术美代表了座舱的技术先进程度,是战斗机综合能力的体现。

4) “视觉降噪”的CMF设计。色彩的心理效应源自色彩的物理光刺激对人的生理产生的影响,偏蓝的色调能让人冷静,在材质上以低反射率材料来营造座舱“视觉降噪”的作业环境,避免光污染等因素影响安全飞行,见图4。



图4 基于“工业美学”的风格意象
Fig.4 Style image based on "industrial aesthetics"

4.4 调整初步设定的意象

形态分析法旨在运用系统的分析方法促进设计创作并提出解决方案,运用此方法将产品的整体功能解构成多个不同的子功能。形态分析法将整体功能拆解为多个子系统,是一个化繁为简的过程。当面对一个复杂的座舱系统集成时,其内在运作原理也潜藏其中,将拆解后各个功能组的形态构成适当简化,加强设计师对各个子功能的理解能力,进而通过设计师的形态重构完成造型布局,如图 5 所示。

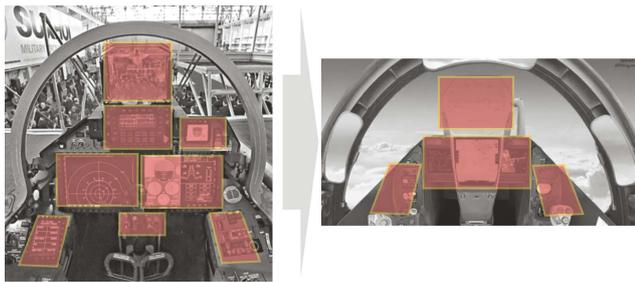


图 5 用形态分析法对座舱组成部分进行拆解
Fig.5 Morphological analysis method for disassembling cockpit components

通过形态分析法,明确总体系统是由哪些部分构建而成,从而探明其运作原理、组成逻辑和构成方式,并找出其主线和最具特征的代表性元素。形态简化的过程就是对无序实物进行有序定义的过程,有了秩序和可定义性,才能够让设计师在解构与重构过程中,保持设计的初衷。通过形态的简化,找到构成系统的各个有效的组成部分以及它们的主要特征,建立起满足重新构型的条件。在本次座舱的设计实践中,采用了类比与隐喻的设计手法来应用感性设计理念。类比和隐喻的再加工过程是对设计方案的进一步提升,进而衍生出新的形态解读,使设计方案更富感染力。

4.5 主题分析:推演出主题和要素

基于上述感性设计方法的导入,在设计对象工程总布置的基础上,提炼出相应的造型意象创新点,在意象上联想到高山意境恢宏与立意高远。通过山河意象进行简化和抽象设计,山峰和奔流而下的“三江源头”构成了两侧操控台的造型特征。山峰的层叠通过两侧墙板的蜿蜒曲面造型来展现,两侧的操控面板通过平直且富含张力的形面造型,描绘“三江源头”朝气蓬勃的江河之源,如图 6 所示。

4.6 主题造型化

围绕提升战斗机飞行员的极致操控体验,开展座舱空间布局与内饰总体设计,仔细推敲座舱仪表盘、操纵台及人机接口设备、通风喷口、内饰板与仪表操纵台衔接过渡面、连接件、标识等细节设计。综合考虑任务作业空间、驾乘体验与工业造型美学,满足飞行员使用的生理和心理需求。具体的概念设计方案,如图 7 所示。



图 6 主题分析:推演出主题和要素
Fig.6 Theme analysis: deducing themes and elements



图 7 座舱造型设计方案
Fig.7 Cockpit styling design scheme

4.7 座舱工业设计评估

1) 战斗机座舱的可达性评估。在战斗机驾驶和飞行过程中,座舱可达性的优劣程度会直接影响飞行员操纵的舒适性和飞行的安全性。当飞行员处于紧张或危急状态时,若可达性设计不合理,会直接导致操纵失败而影响飞行安全。因此,对飞机座舱进行可达性分析,可以降低人因问题导致的事故发生概率,提升飞行安全性。采用量化实验研究方法,通过被试者在座舱开展典型操作任务、填写可达性检查表和问卷等,验证了座舱各功能部件的可达性满足设计要求。

2) 战斗机座舱的造型体验评估。采用感性工学评估方法,建立了战斗机座舱造型的评价指标问卷,对座舱的造型体验进行量化评估。具体研究方法为:被试者对座舱的造型进行充分观察、感受和体验后,针对实际的主观感受,进行李克特五点量表评价。具体包含被试者对座舱整体造型风格的感受,比如造型风格的硬朗和圆润等带来的情绪感受。座舱细节的造型风格感受,比如仪表盘、控制面板、控制按钮等部件,分别进行造型感受的评分和计算,验证了座舱造型体验的适宜性。

3) 战斗机座舱的 CMF 评估。座舱 CMF 内饰色彩对飞行员的主观舒适性具有较大影响,关系到飞行员视觉健康和飞行任务安全。采用感性工学方法,建立了飞机座舱 CMF 内饰色彩的评价指标体系,对座

舱内饰的色彩材质进行量化评估。被试者对座舱的 CMF 进行充分感受和体验后, 针对主观感受进行李克特五点量表评价, 包含座舱的色彩评估和材质评估。通过体验和问卷的方式, 获取被试者对座舱色彩和材质肌理的感受, 验证了座舱 CMF 设计的适合性。

综上所述, 通过战斗机座舱的可达性评估、造型体验评估和 CMF 评估, 对座舱整体的使用操作感受、造型感受和色彩材质感受进行验证, 初步证实了感性设计方法的可行性。

5 结语

本文对感性设计的理论来源、方法流程以及战斗机座舱设计的实践过程进行了初步论证, 后续将应用到更多型号的战斗机座舱中开展进一步的拓展验证。依据创意感性和创意理性两项思维要素, 面对战斗机座舱产品需求和飞行员的用户体验诉求, 感性设计理念将战斗机座舱通过感性设计链路组合出多种可能性, 赋予严谨的大型科技装备更多的情感色彩, 进而产生更具情感吸引力的方案。综上所述, 感性设计方法是融合感性与理性设计的整合性设计思路, 对大型装备产品尤其是战斗机座舱的工业设计具有实际的应用价值。

参考文献:

- [1] 杨裕富. 创意活力: 产品设计方法论[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2004.
YANG Y F. Product Design[M]. Changchun: Jilin Science & Technology Publishing House, 2004.
- [2] 王焱, 柳冠中. 评析四种不同的设计方法论[J]. 南京艺术学院学报(美术与设计版), 2010(2): 71-74.
WANG Y, LIU G Z. Comment on Four Different Design Methodologies[J]. Journal of Nanjing Arts Institute (Fine Arts & Design), 2010(2): 71-74.
- [3] 张晓晨, 姚小玉, 梁颖嫦, 等. 工业设计方法的多维分析及其可视化[J]. 包装工程, 2020, 41(4): 34-42.
ZHANG X C, YAO X Y, LIANG Y C, et al. Multi-Dimensional Analysis and Visualization of Industrial Design Methods[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(4): 34-42.
- [4] 时吉星, 胡飞. 我国制造业工业设计方法的使用问题研究[J]. 机械设计, 2022, 39(11): 139-145.
SHI J X, HU F. Research on the Application of Industrial Design Methods in Chinese Manufacturing Industry[J]. Journal of Machine Design, 2022, 39(11): 139-145.
- [5] 曹淮, 何人可. 基于创意感性的工业设计方法在数字装备设计中的应用研究[J]. 包装工程, 2006, 27(6): 285-288.
CAO H, HE R K. Application Research of Originality-Sensibility Based Technique of Product Development in the Design of Numeric Control Equipment[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 285-288.
- [6] 朱志娟, 吴磊, 曹淮. 基于产品识别战略的演出观设计程序在数字装备设计中的应用研究[J]. 艺术与设计(理论), 2016, 2(8): 110-112.
ZHU Z J, WU L, CAO H. Research on the Application of Cultural Perspective Design Process in Numerical Control Equipment Design Based on Product Identity Strategy[J]. Art and Design, 2016, 2(8): 110-112.
- [7] 蒋佳慧, 余胡艳. 基于感性价值创造的工业装备产品造型设计研究[J]. 设计, 2023, 36(11): 122-125.
JIANG J H, YU H Y. Research on Industrial Equipment Modeling Design Based on Kansei Value Creation[J]. Design, 2023, 36(11): 122-125.
- [8] 王莉, 戚彬, 赵树行, 等. 基于形状文法的农机装备造型感性设计研究[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2023, 37(5): 53-58.
WANG L, QI B, ZHAO S X, et al. Research on the Perceptual Design of Tractor Modeling Based on Shape Grammar[J]. Journal of Shandong University of Technology (Natural Science Edition), 2023, 37(5): 53-58.
- [9] 陈国强, 申正义, 孙利, 等. 基于 BP 神经网络优化遗传算法的智能座舱感性意象预测[J]. 汽车工程, 2023, 45(8): 1479-1488.
CHEN G Q, SHEN Z Y, SUN L, et al. Intelligent Cockpit Perceptual Image Prediction Based on BP Neural Network Optimization Genetic Algorithm[J]. Automotive Engineering, 2023, 45(8): 1479-1488.
- [10] 高云, 董军帅, 许育辉, 等. 非标产品工业设计流程的改进与应用[J]. 装备制造技术, 2023(2): 116-119.
GAO Y, DONG J S, XU Y H, et al. Improvement and Application of Industrial Design Process of Non-Standard Products[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2023(2): 116-119.
- [11] 刘明远, 贺成柱, 邹建强. 基于虚拟感性工学的农业装备形态设计[J]. 包装工程, 2022, 43(6): 41-48.
LIU M Y, HE C Z, ZOU J Q. Agricultural Equipment Form Design Based on Virtual Kansei Engineering[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(6): 41-48.
- [12] 郑刚强, 白铭玉, 饶飞云. 工业设计视角下的高端装备创新设计原理与方法探析[J]. 包装工程, 2020, 41(12): 87-92.
ZHENG G Q, BAI M Y, RAO F Y. Principle and Method of High-End Equipment Innovation Design from the Perspective of Industrial Design[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(12): 87-92.
- [13] 张宗登, 张红颖. 基于色彩意象的工程装备产品外观配色设计研究[J]. 图学学报, 2016, 37(5): 681-687.
ZHANG Z D, ZHANG H Y. Research of Coating Design of Construction Machinery Based on Color Image[J]. Journal of Graphics, 2016, 37(5): 681-687.
- [14] 苏建宁, 李晓晓, 王鹏, 等. 面向品牌风格的机械装备造型创新设计研究[J]. 包装工程, 2019, 40(18): 28-34.
SU J N, LI X X, WANG P, et al. Innovative Design of

- Mechanical Equipment Form for Brand Style[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(18): 28-34.
- [15] 刘顿, 代阳. 基于感性意象的国产大飞机客舱空间布局设计评价研究[J]. 设计, 2023, 36(3): 110-113.
LIU D, DAI Y. Evaluation Study of Cabin Space Layout Design of Domestic Large Aircraft Based on Perceptual Imagery[J]. Design, 2023, 36(3): 110-113.
- [16] 陈彦嵩, 余隋怀, 初建杰, 等. 基于犹豫模糊集的飞机驾驶舱形态评价[J]. 浙江大学学报(工学版), 2022, 56(8): 1568-1577.
CHEN Y H, YU S H, CHU J J, et al. Evaluation of Aircraft Cockpit Form Based on Hesitant Fuzzy Sets[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2022, 56(8): 1568-1577.
- [17] 叶坤武, 罗堤钦, 杨文佳, 等. 多约束条件下飞机驾驶舱布局优化设计[J]. 人类工效学, 2022, 28(5): 84-87.
YE K W, LUO D Q, YANG W J, et al. Optimal Design of Aircraft Cockpit Layout under Multi-Constraints[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2022, 28(5): 84-87.
- [18] 杨莉, 罗啸宇. 飞机客舱工业设计要素分析和设计方法研究[J]. 航空工程进展, 2021, 12(5): 152-158.
YANG L, LUO X Y. Analysis of Industrial Design Elements and Design Methods of Aircraft Cabin[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(5): 152-158.
- [19] 李转, 苟秉宸, 杨延璞, 等. 基于 AHP-灰色聚类的飞机客舱内环境工业设计评价[J]. 航空计算技术, 2013, 43(5): 52-55.
LI Z, GOU B C, YANG Y P, et al. Industrial Design Evaluation of Interior Environment of Aircraft Passenger Cabin Based on AHP and Grey Clustering[J]. Aeronautical Computing Technique, 2013, 43(5): 52-55.
- [20] 赵丹华, 薛仲杰, 谭征宇, 等. 基于战场时空信息一体化的战斗机智能座舱[J]. 包装工程, 2022, 43(14): 1-16, 44.
ZHAO D H, XUE Z J, TAN Z Y, et al. Space-Time Information-Based Integrated Battlefield Fighter Cockpit Design[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(14): 1-16, 44.
- [21] LIN R, YANG L, LIU J, et al. 面向未来座舱设计的人机交互技术展望[J]. Aviation Medicine of Air Force, 2022(3): 80-83.
林榕, 杨柳, 刘娟, 等. 面向未来座舱设计的人机交互技术展望[J]. 空军航空医学, 2022(3): 80-83.
- [22] 冯悦, 王言伟, 耿欢. 战斗机智能座舱人机交互方式发展及应用[J]. 飞机设计, 2020, 40(4): 54-58.
FENG Y, WANG Y W, GENG H. Development and Application of Human-Computer Interaction Mode of Fighter Smart Cockpit[J]. Aircraft Design, 2020, 40(4): 54-58.
- [23] 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(2): 48-55.
CAO Y S, CUI Q K, XIANG S. General Aircraft Painting Scheme Design Method Based on Kansei Engineering[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(2): 48-55.
- [24] 谭于琳, 左恒峰. 基于 CMF 创新的民用飞机内饰车顶研究及概念设计[J]. 装饰, 2022(2): 118-123.
TAN Y L, ZUO H F. Investigation and Conceptual Design of Civil Aircraft Ceiling Based on Innovation of CMF[J]. Zhuangshi, 2022(2): 118-123.
- [25] 初建杰, 张美璇, 王磊, 等. 基于感性意象的飞机客舱座椅色彩和材质设计研究[J]. 机械设计, 2020, 37(2): 126-130.
CHU J J, ZHANG M X, WANG L, et al. Research on Color and Material Design of Aircraft Cabin Seat Based on Kansei Image[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(2): 126-130.
- [26] 左恒峰, 彭露. 基于 CMF 的民用飞机内饰研究与设计创意[J]. 装饰, 2017(11): 100-103.
ZUO H F, PENG L. Civil Airplane Interior Investigation and Design Innovation Based on CMF[J]. ZhuangShi, 2017(11): 100-103.
- [27] 谈卫, 孙有朝, 徐争前, 等. 基于视觉意象的飞机座舱内塑料材质设计方法研究[J]. 计算机与数字工程, 2016, 44(10): 2061-2067.
TAN W, SUN Y C, XU Z Q, et al. Design Method of Plastic Material in Aircraft Cockpit Based on Visual Imagery[J]. Computer & Digital Engineering, 2016, 44(10): 2061-2067.