

基于 SGS 模型与 AHP 的侦测无人机造型设计研究

尹项迎, 常瑜, 刘宝顺
(天津商业大学, 天津 300134)

摘要: **目的** 为了满足无人机用户需求, 完善侦测无人机造型设计方法, 进一步拓展产品设计路径。**方法** 将管理学中的门径管理模型 (SGS) 融入产品系统开发设计流程; 调研用户需求并结合层次分析法 (AHP) 构建判断矩阵, 计算各个设计指标权重并排序, 以此促进设计决策, 完成侦测无人机造型设计方案; 采用 7 点量表法进行初步方案设计评价, 验证设计模型和过程的科学性。**结论** 以侦测无人机造型设计为例, 通过构建 SGS 产品系统开发模型, 运用 AHP 分析方法进行设计方案指标决策, 为侦测无人机造型设计拓展设计路径, 为相关产品的设计提供新思路。

关键词: 产品设计; 门径管理模型 (SGS); 层次分析法 (AHP); 侦测无人机

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)14-0045-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.14.005

Modeling Design of Detection UAV Based on SGS Model and AHP

YIN Xiang-ying, CHANG Yu, LIU Bao-shun
(Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

ABSTRACT: This paper aims to further expand the product design path, meet the needs of UAV users, and improve the detection UAV modeling design method. This paper integrates Stage-Gate System (SGS) model in management into the product system development and design model; investigates user needs, combines tomographic analysis (AHP) to construct a judgment matrix, calculates the weight and ranking of various design indicators, promote design decisions, and completes detection UAV modeling design plan; the 7-point scale method is used to evaluate the preliminary plan design to verify the scientific nature of the design model and process. In conclusion, taking the detection of UAV modeling design as an example, through the construction of SGS product system development model, the proper use of AHP analysis method for the design scheme index decision, for detection of UAV modeling design to expand the design path, this paper provides a brand-new idea for the design of related products.

KEY WORDS: product design; Stage-Gate System (SGS); Analytic Hierarchy Process (AHP); handrail design; conceptual design

随着无线通信、图像处理等技术的迅猛发展, 侦测无人机的应用领域迅速扩展, 其测绘、监视、寻找等工作功能被越来越多地应用于农业、矿业、服务体验、救灾等多个领域^[1-3]。特别是在险情救灾时, 侦测无人机可在未知环境中无需人为干预而实现工作准备, 弥补无法第一时间获取灾情信息的不足^[4], 因

此对侦测无人机的研究意义重大。

目前针对侦测型无人机的研究主要集中在技术系统^[5-6]、硬件融合^[7]、结构力学^[8]和研究方法^[9-11]等方面。尽管这些研究从不同应用类型和不同研究角度进行了分析, 但针对侦测无人机造型的研究较为缺乏, 且研究方法较为单一, 缺少创新方法模型的融入

收稿日期: 2022-02-10

基金项目: 天津市企业科技特派员项目 (20YDTPJC00360); 哲学社会科学规划课题 (TJSR20-010); 教育部产学研合作协同育人项目 (202102150009)

作者简介: 尹项迎 (1991—), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向为产品设计。

通信作者: 常瑜 (1986—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为产品创新设计。

来拓展产品开发设计路径。因此,文中在侦测无人机产品开发流程中,以多维的视角阐述跨学科整合和创新特性,引入管理学中的 SGS 模型,并结合 AHP 层次分析法,对用户使用需求和方案指标进行权重分析,依据用户感性意向量化分析进行侦测无人机造型设计。

1 SGS 模型与产品系统设计

1.1 SGS 模型

SGS 是 Stage-Gate-System 的简称,即门径管理系统^[12],形成于 20 世纪 80 年代,由营销学专家 Cooper

通过对近 60 家企业的成熟产品设计实例进行分析的基础上,构建的一套完整的产品创新开发设计流程,其核心理念是阶段和门径。因此,SGS 模型又称阶段—关卡流程模型^[13],该流程旨在帮助企业获得高效、完整的阶段性设计模式,以进行突破性、概念性的产品设计,见图 1。将设计流程分为 5 个关键阶段,即阐释问题—建立产品框架—设计开发—设计测试与评价—生产上市,完成了从发现问题到形成成熟产品的过程,其中,发现问题为整个过程的逻辑起点。可以看出,通过 SGS 模型的介入,产品系统设计流程中的关键不再是单一、具体的产品设计层面,而是更加注重产品所能营造的价值层面^[12]。

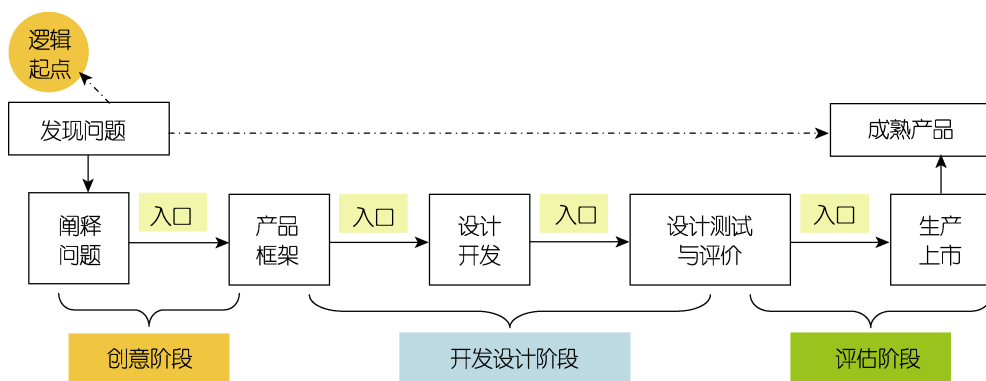


图 1 SGS 模型
Fig.1 SGS model

SGS 模型以阶段式工作的完成来推进整个设计流程,围绕概念产品创新开发的关键点,每个阶段都由指定的若干设计活动组成,成果需进行评价并通过验收才能递进至下一阶段。因此,线性的组织设计步骤是建立 SGS 模型的关键点,步骤间衔接呈现高效、紧密的状态,一个步骤的完成点是下一个步骤的起始点。工作流程中的步骤可理解为阶段,阶段性设计完成时,需及时实施设计评价与验证,以相应的评价结果判定阶段性工作的进退,如此形成步骤间的递进发展关系,最终完成产品的创新开发设计。

1.2 产品系统设计的重构

SGS 模型的介入,对传统的 product 系统设计而言是一种重构。在传统的 product 系统设计中,设计的中心点是有形的产品,运用 SGS 模型则更新为有形与无形相结合,能够将只是关注生产和销售有形产品的经济模式转变为关注能满足顾客需求的产品和服务的整合,成为更全面的设计系统。具体而言,SGS 模型的介入可协调产品系统开发设计过程中的矛盾,帮助分解设计流程,主要分为 4 个关键阶段,见图 2。研究与观察阶段,目的在于阐释用户需求;分析阶段,在量化用户需求的基础上,整合具体的产品设计技术要求;创意阶段,包含构建设计概念、选择概念;开发和执行阶段,主要为细节与服务设计。其中,每个阶

段的履行需不断进行设计评价与反馈,直至产品投入市场,由此重构为一个循环式的产品系统开发模型。

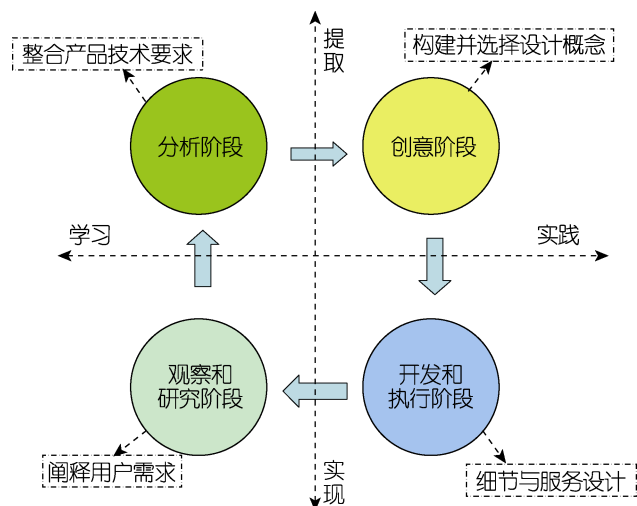


图 2 SGS 产品系统开发模型
Fig.2 SGS product system development model

作为准备阶段的重要步骤,SGS 产品系统开发模型使具体的用户体验成为各阶段设计工作完成的重要评级指标,能够积极识别目标用户深层次需求。客观、有效的用户需求量化指标将极大地推进 SGS 模型与产品系统开发设计的融合。具体来说,阐释用户

需求应结合实际条件,采取问卷调查、需求层次分析法进而完成用户感性意向分析,捕捉用户对产品的需求与喜好,进而构建设计概念,完成最终设计评价与测试,具体 SGS 产品系统开发流程见图 3。

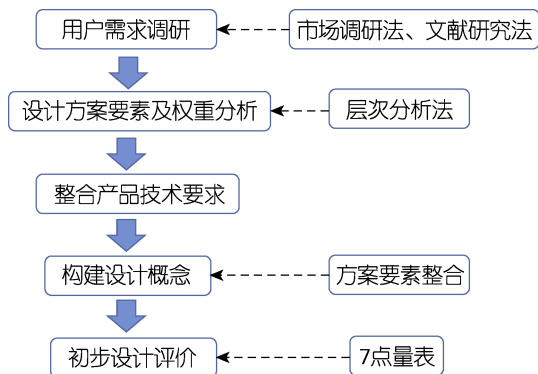


图 3 SGS 产品系统开发流程
Fig.3 SGS product development process

2 用户需求分析

2.1 侦测无人机市场调研分析

在 SGS 模型的观察与研究阶段,着重基于用户需求分析进行设计问题的提出与阐释。市场调研主要针对专业的相关人员与用户从多个方面展开。选取了 30 位专业用户,其中 20 位高校科研人员,10 位专业侦测人员,通过调查问卷方式对目标专业用户展开设计调研。调研内容主要围绕侦测无人机造型设计方面展开。通过调研汇总了专业用户感性意向数据,见图 4。结果表明,专业用户对侦测无人机造型的主要需求表现为可靠性、易用性和美观性的期望。

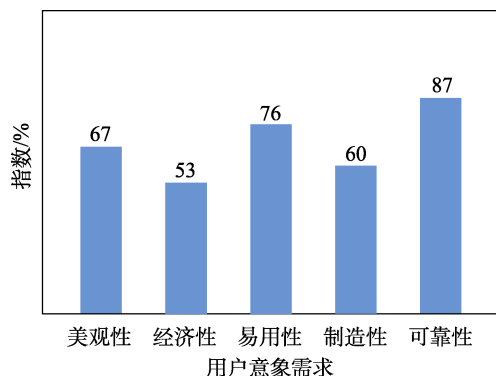


图 4 用户意象需求市场调研数据
Fig.4 Market research data of user image demand

2.2 侦测无人机造型设计层次分析模型

根据上述调研结果,构建层次分析法决策模型,展开对侦测无人机造型设计需求的权重分析。该层次结构模型分为目标层、准则层、方案层。

1) 目标层:即符合专业用户需求的侦测无人机

造型设计;

2) 准则层:侦测无人机造型研究属于无人机造型领域,而对于无人机造型设计评价主要是从其经济性、稳定性、审美性等层面展开设计评价的^[11];其次,无人机产品本身存在一定操作门槛,着重考虑用户操作的易用性,提高安全性,避免用户无意识误操作而产生损坏,影响用户使用积极性^[3]。另外,对产品造型设计而言,外观是一大设计要素,无人机设计还要符合一定的美学原则,考虑外观造型艺术性的同时,要体现出现代审美特征^[14]。基于此,对同类产品造型设计进行了针对性的调研、分析,将侦测无人机造型设计实践中层次分析法的准则层指标定义为“可靠的、易用的与美观的”3个意象形容词。

3) 方案层:基于层次分析法基本建构原理,将方案指标层进一步细分为子准则层。由于功能、结构、行为三者构成产品造型设计的重要因素^[3],所以侦测无人机造型设计方案指标也是围绕三者展开的。

高俊杰等^[11]在无人机造型设计层次评价中提到,无人机飞行稳定性可以从减轻机身重量、对称的结构形态等设计中保持飞行稳定性和可靠性;张雄雄等^[8]提出一种柔性变形机翼的设计方法来改善飞行性能和适应性。据此,针对准则层中的可靠性指标可解析为“对称结构”“轻量化结构”“柔性结构”3个方案指标。其次,侦测无人机的易用性依赖于用户行为方式。姚湘等^[15]认为用户行为分析视角下的产品人机优化设计是对传统人机方法的补充,更有效引导用户使用产品。白仲航等^[16]通过将功能引导等造型要素对应结合,建立起可供性对产品造型设计的指导方法,优化产品造型,减小产品属性传达与用户获取的偏差,辅助用户易于操作。蔡晓倩等^[4]提到为降低用户的无人机学习成本,满足安全使用要求,可以简化用户操作方式等。据此,针对准则层中的易用性指标可解析为“功能引导”“人机优化”“简洁操作”3个方案指标。最后,无人机造型设计评价中审美性指标在形态、色彩和社会因素中作了诠释^[13],一是形态视觉要均衡稳定,风格整体统一;二是色彩要符合目前审美趋势,合理规律搭配;三是审美要符合当下审美特点和认知。因此,针对准则层中的美观性指标可解析为“形态均衡”“色彩明确”“科技感”3个方案指标。AHP 构建的侦测无人机造型设计分析的层级模型,见图 5。

2.3 判断矩阵构建与权重分析

1) 由于侦测无人机用户的专业性,为保证权重分析的一致性,依然选取设计调研的 30 位专业用户,其中 20 位高校科研人员,10 位专业侦测人员进行指标评价,判断矩阵标度,见表 1。

面向层次分析法进行设计实践,其关键性手段是生成判断矩阵,然后可以运用计算机辅助软件对矩阵中各项指标的权重值进行计算,表 2—5 所示为计算结果,均符合方法要求。

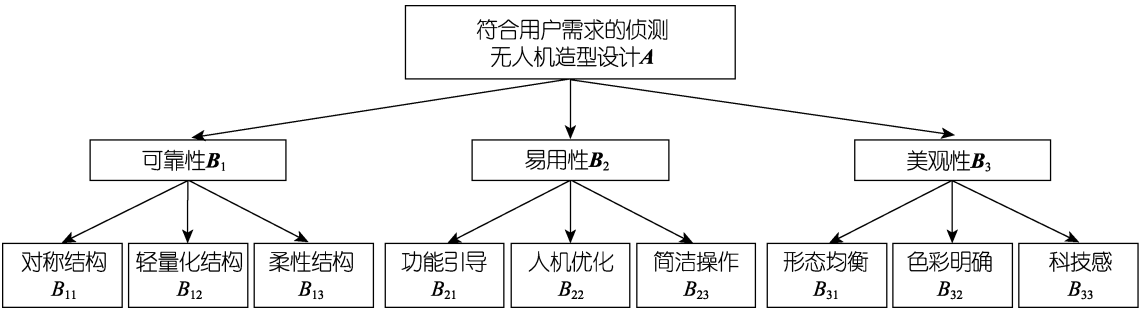


图 5 侦测无人机造型设计层次分析模型
Fig.5 Detect the UAV modeling design analytic hierarchy model

表 1 判断矩阵标度
Tab.1 Judgment matrix scale

判断标度	重要程度区分	含义
1	同等重要	两要素对比指定层次属性重要程度相同
3	稍微重要	相对指定属性，要素 <i>i</i> 比要素 <i>j</i> 稍微重要
5	明显重要	相对指定属性，要素 <i>i</i> 比要素 <i>j</i> 明显重要
7	强烈重要	相对指定属性，要素 <i>i</i> 比要素 <i>j</i> 强烈重要
9	绝对重要	相对指定属性，要素 <i>i</i> 比要素 <i>j</i> 绝对重要
2、4、6、8	中间值	取中
标度倒数	反比较	要素 <i>i</i> 对要素 <i>j</i> 的标度为 <i>b_{ij}</i> ，反之则为 1/ <i>b_{ij}</i>

表 2 目标层判断矩阵计算结果
Tab.2 Calculation results of target layer judgment matrix

A	B ₁	B ₂	B ₃	权重
B ₁	1	4	5	0.676 8
B ₂	1/4	1	3	0.225 5
B ₃	1/5	1/3	1	0.100 7

表 3 B₁层判断矩阵计算结果
Tab.3 B₁ layer judgment matrix calculation results

B ₁	B ₁₁	B ₁₂	B ₁₃	权重
B ₁₁	1	1/2	3	0.332 5
B ₁₂	2	1	3	0.527 8
B ₁₃	1/3	1/3	1	0.139 6

表 4 B₂层判断矩阵计算结果
Tab.4 B₂ layer judgment matrix calculation results

B ₂	B ₂₁	B ₂₂	B ₂₃	权重
B ₂₁	1	2	2	0.493 4
B ₂₂	1/2	1	1/2	0.195 8
B ₂₃	1/2	2	1	0.310 8

表 5 B₃层判断矩阵计算结果
Tab.5 B₃ layer judgment matrix calculation results

B ₃	B ₃₁	B ₃₂	B ₃₃	权重
B ₃₁	1	2	1/2	0.297
B ₃₂	1/2	1	1/3	0.163 4
B ₃₃	2	3	1	0.539 6

2) 根据各项准则层的方案指标权重值大小进行最终排序,为进一步侦测无人机造型设计创新与优化提供有效的参考,见表 6。

表 6 各指标权重排序
Tab.6 Weight order of indexes

方案层指标	权重
轻量化结构	0.355 7
对称结构	0.224 1
功能引导	0.111 3
柔性结构	0.094 1
简洁操作	0.070 1
科技感	0.054 3
人机优化	0.044 2
形态均衡	0.029 9
色彩明确	0.016 4

3 侦测无人机造型设计应用实例

3.1 概念设计的展开

在 SGS 产品系统开发模型中,概念设计的展开主要为创意阶段、开发阶段和执行阶段,主要目的在于构建并选择设计概念,以及开展产品细节和服务设计创新。结合上述指标权重指数和排序情况,侦测无人机造型设计的可靠性、易用性尤为重要,将轻量化结构、对称结构、功能引导、柔性结构作为设计实践的主要参考指标,以此完成侦测无人机造型的创新开发设计方案,见图 6。

该主机的中空设计减轻了整体机身重量,并采用工艺性能较好的高强度碳纤维材料,达到质地轻且牢

固的轻量化需求。同时，为增强侦测无人机的稳定性和可靠性，主要机体采用对称结构，其稳定的矩形结构是机器可靠运行的基础，机翼为柔性变形结构设计，起落架也以四足扁平的形式设计提高落地稳定性，为安全作业提供了基本保障。机翼螺旋桨及连接

件可自主拆卸折叠，明亮黄色引导用户使用这部分功能，在具有科技感的黑、灰深色为主色基础上，也增强侦测无人机功能区的辨识度。此外，为进一步满足用户意象，设计也提供了三种基本的主体配色方案，见图 7。



图 6 侦测无人机造型设计方案
Fig.6 Design scheme of the detecting UAV shape



图 7 侦测无人机主体配色方案
Fig.7 Main color scheme of the detecting UAV shape

3.2 初步设计评价

SGS 产品系统开发模型阶段性的成果需要完成相关设计测试与评价，因此，侦测无人机造型设计展开后，在实验室条件下进行初步的专业用户感性意向评价。从早期设计调研的 30 名用户作为被测试对象，主要针对上述造型设计方案指标即“轻量化结构”“对称结构”“功能引导”“柔性结构”进行评价。评价结果见图 8。x 轴表示设计评价指标，y 轴表示分值，高等级与用户评价成正相关，评分等级越高用户满意度越高。

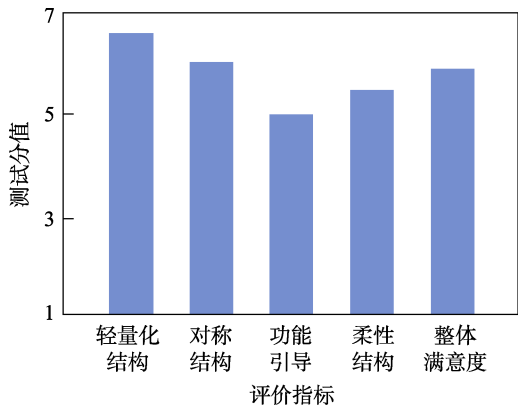


图 8 评价结果
Fig.8 Evaluation results

4 结语

将 SGS 模型与传统产品系统设计整合,形成 SGS 产品系统开发模型，实现多维视角跨学科领域整合，此方法在一定程度上弥补了侦测无人机造型设计方法的单一性，提供了更为客观的用户感性意向量化分析手段。基于 SGS 产品系统开发模型，在开发流程的准备阶段以及设计概念展开阶段，运用 AHP 层次分析法可快速有效量化用户需求和方案指标，为设计提供决策依据，提高了侦测无人机造型设计的可靠性和科学性，并通过设计评价为下一个阶段细节设计、生产工作的开展构建了理论和实践基础。其创新方法模型不仅为侦测无人机造型设计提供准确清晰、系统完善的设计决策和评价，也为同类产品设计提供新思路。

参考文献：

[1] 秦彩杰，李勇. 作物病虫害自动识别技术研究—基于视频监控和无人机平台[J]. 农机化研究, 2021, 43(10): 42-45.
QIN Cai-jie, LI Yong. Research on Automatic Identification Technology of Crop Diseases and Insect Pests: Based on Video Monitoring and UAV Platform[J].

- Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 43(10): 42-45.
- [2] 单春艳, 杨维, 耿翠博. 面向井下无人机自主飞行的人工路标辅助位姿估计方法[J]. 煤炭学报, 2019, 44(S1): 387-398.
SHAN Chun-yan, YANG Wei, GENG Cui-bo. Pose Estimation Method Based on Artificial Landmarks for the Autonomous Flight of Underground UAVs[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(S1): 387-398.
- [3] 綦晓倩, 张倩, 韩金杉等. 基于用户体验优化的旅游服务无人机设计[J]. 包装工程, 2020, 41(10): 83-89.
QI Xiao-qian, ZHANG Qian, HAN Jin-shan, et al. Design of Tourism Service Drone Based on User Experience Optimization[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(10): 83-89.
- [4] 秦玉鑫, 陈宇, 乔恒恒等. 灾情侦测无人机动态航迹规划算法设计[J]. 红外与激光工程, 2019, 48(10): 284-289.
Qin Yu-xin, CHEN Yu, QIAO Heng-heng, et al. Design of Dynamic Track Planning Algorithm for Disaster Detection UAV[J]. Infrared and Laser Engineering, 2019, 48(10): 284-289.
- [5] 盛蔚, 卢东辉. 基于云的无人机远程技术支持系统设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41(6): 1787-1795.
SHENG Wei, LU Dong-hui. Design and Implementation of Cloud-based Uav Remote Technical Support System[J]. Computer Engineering and Design, 2020, 41(6): 1787-1795.
- [6] 王大帅, LIU Xiao-guang, 李伟等. 基于多传感器融合的无人机精准自主飞行控制方法[J]. 农业机械学报, 2019, 50(12): 98-106.
WANG Da-shuai, LIU Xiao-guang, LI Wei, et al. Precision Autonomous Flight Control Method of UAV Based on Multi-sensor Integration[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(12): 98-106.
- [7] 郑学召, 童鑫, 张铎等. 矿井危险区域多旋翼侦测无人机关键技术探讨[J]. 工矿自动化, 2020, 46(12): 48-56.
ZHENG Xue-zhao, TONG Xin, ZHANG Duo, et al. Discussion on key technologies of multi-rotor detection UAVs in mine dangerous area[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(12): 48-56.
- [8] 张雄雄, 燕必希, 孙广开等. 柔性变形机翼设计及其结构力学性能分析[J]. 机械设计与制造, 2020(05): 163-166.
ZHANG Xiong-xiong, YAN Bi-xi, SUN Guang-kai, et al. The Design of Flexible Deformation Wing and Structural Mechanical Property Analysis[J]. Machinery Design & Manufacture, 2020(05): 163-166.
- [9] 王文龙, 马明旭, 胡耀中等. TRIZ 理论在无人机集群发射回收装置设计中的应用[J]. 机械设计与制造, 2020(12): 108-112.
WANG Wen-long, MA Ming-xu, HU Yao-zhong, et al. Application of TRIZ Theory in Design of Launch Recovery Device for UAV Cluster[J]. Machinery Design & Manufacture, 2020(12): 108-112.
- [10] 王晓海, 孟秀云, 李传旭. 基于 MPC 的无人机航迹跟踪控制器设计[J]. 系统工程与电子技术, 2021, 43(01): 191-198.
WANG Xiao-hai, MENG Xiu-yun, LI Chuan-xu. Design of Trajectory Tracking Controller for Uav Based on MPC[J]. Systems Engineering and Electronics, 2021, 43(01): 191-198.
- [11] 高俊杰, 余隋怀, 赵晓彤. 无人机造型设计层次灰关联评价方法研究[J]. 包装工程, 2020, 41(12): 106-110.
GAO Jun-jie, YU Sui-huai, ZHAO Xiao-tong. Multi-hierarchy Grey Relation Evaluation Method on UAV Styling Design[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(12): 106-110.
- [12] 钱晓波, 张凌浩, 陈香. 基于门径管理模型的电动滑板车概念设计[J]. 机械设计, 2015, 32(12): 116-119.
QIAN Xi-bao, ZHANG Lin-hao, CHEN Xiang. Conceptual Design of Electric Scooter Based on Sgs Model[J]. Journal of Machine Design, 2015, 32(12): 116-119.
- [13] 李蒙. 科研门径管理系统在国内科研院所及企业的应用前景分析[J]. 制造业自动化, 2013, 35(21): 145-147.
LI Meng. Application Analysis of Sgs Management System in the National R&D[J]. Manufacturing Automation, 2013, 35(21): 145-147.
- [14] 李雪瑞, 侯幸刚, 杨梅. 基于多层次灰色综合评价法的工业设计方案优选决策模型及其应用[J]. 图学学报, 2021, 42(4): 670-679.
LI Xue-rui, HOU Xing-gang, YANG Mei. The Optimal Decision-making Model of Industrial Design Scheme Based on Multi-level Grey Comprehensive Evaluation Method and Its Application[J]. Journal of Graphics, 2021, 42(4): 670-679.
- [15] 姚湘, 郭雨晴, 李萌. 用户行为分析视角下的产品人机优化设计[J]. 包装工程, 2020, 41(18): 90-100.
YAO Xiang, GUO Yu-qing, LI Meng. Product Man-machine Optimization Design from the Perspective of User Behavior Analysis[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(18): 90-100.
- [16] 白仲航, 李颖, 宋美佳等. 基于可供性的产品造型设计及评价研究[J]. 包装工程, 2021, 42(22): 103-107.
BAI Zhong-hang, LI Ying, SONG Mei-jia, et al. Design and Evaluation of Product Modeling Based on Affordance[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(22): 103-107.

责任编辑: 陈作