

基于 AHP/QFD/TRIZ 集成理论的书柜设计方法

傅雷, 石畅, 王南轶, 梅小清
(南昌大学 建筑与设计学院, 南昌 330031)

摘要: **目的** 为了解决不同用户情感需求下的设计矛盾, 提高用户综合满意度, 优化传统模块化书柜设计, 提出一条基于 AHP/QFD/TRIZ 集成理论的书柜设计方法。**方法** 首先, 利用文献研究法与市场调查法收集筛选出用户需求并利用 KJ 法进行归纳, 利用 AHP 层次分析法建立情感层次模型并计算需求权重; 其次, 利用 QFD 将用户需求转化为对应的技术特征, 计算出其重要度并得出 5 条矛盾冲突; 再次, 利用 TRIZ 理论中的物理冲突与技术冲突, 筛选出与 5 条矛盾冲突相对应的最佳发明原理; 最后, 制定书柜设计策略, 进行整体的模块单元分类与重组, 将初步方案细化后得到最终产品设计方案。**结论** 通过 AHP/QFD/TRIZ 集成理论的设计流程, 高效、科学、逻辑地解决了用户综合情感需求问题与设计矛盾, 该方法为其他类似产品设计提供了参照思路。

关键词: AHP; QFD; TRIZ; 书柜; 产品设计; 模块化

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)14-0188-12

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.14.020

Bookcase Design Method Based on AHP/QFD/TRIZ Integration Theory

FU Lei, SHI Chang, WANG Nan-yi, MEI Xiao-qing
(Architecture and Design College, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a bookcase design method based on AHP/QFD/TRIZ integration theory, in order to solve the design contradiction under different users' emotional needs, improve users' comprehensive satisfaction and optimize the traditional modular bookcase design. Firstly, literature research method and market research method were used to collect and screen out users' needs, and KJ method was used for conclusion. AHP was used to establish the emotional hierarchy model and calculate the weight of needs. By QFD, the users' needs were transformed into the corresponding technical characteristics, and the corresponding importance degree was calculated and 5 contradictions were obtained. According to the physical contradiction and technical contradiction in TRIZ theory, the best invention principles corresponding to the five contradictions were selected. Finally, the bookcase design strategy was formulated, the overall module unit classification and reconstruction were carried out, and the preliminary scheme was refined to obtain the final product design scheme. Through the design process of AHP/QFD/TRIZ integration theory, the contradiction between users' comprehensive emotional needs and design is solved efficiently, scientifically and logically. This method provides a reference for the design of other similar products.

KEY WORDS: AHP; QFD; TRIZ; bookcase; product design; modularization

伴随着我国全面小康社会的建成, 人民素质和生活水平、社会文明程度有了质的飞跃。如今全民阅读更是成为一股社会新风潮, 北京每年发布的《中国图书零售市场报告》显示, 除近两年疫情影响外, 我国

从 2015 年开始一直保持着年均 10% 以上的增速, 实体纸质书的阅读量处于中高速上升的状态, 人们对书柜的需求也随之水涨船高。书柜用于书籍与陈设物的展示摆放, 是家居、办公室、书吧与图书馆等多种场

收稿日期: 2023-02-27

作者简介: 傅雷 (1999—), 男, 硕士生, 主攻工业设计。

通信作者: 梅小清 (1969—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为环境设计。

合中不可或缺的实用性产品,人们在选购与使用书柜时不再是只关注其单一性质需求,而是希望得到多方面需求尤其是情感需求方面的满足,提高使用过程中的愉悦感。因此,为了提高现有的传统书柜产品的用户满意度,设计的过程中应当深入挖掘用户的综合情感需求,有针对性地改善书柜产品的外观、功能与结构等。

集成理论被广泛运用于各种研究中,使研发流程更加紧凑、科学与高效。在工业创新领域中,有许多学者投身于集成理论的运用与研究,李晓杰等^[1]为了解决灾害救援问题,运用 AHP 将获取的用户需求进行权重确认,再利用 QFD 中的 HOQ 进行质量特性转换,最后利用 TRIZ 解决其技术与物理冲突,从而得出救援机器人的设计方案。苏建宁等^[2]将通过访谈得到的需求导入 AHP 判断矩阵表中,利用 QFD 分析了设计要素在基于 TRIZ 进行采摘机的设计策划,且结果表明机械运作过程效率有明显提高。李小彤等^[3]基于 QFD-TRIZ 集成理论,首先分析设计现状,对收集的用户需求进行层次模型的建立后,利用 QFD 将其转化为设计特征,确定矛盾并分类后寻找最优理想解,有效改进了筒纱包装生产线的统一外观。王年文等^[4]确定设计特性后,分析用户质量需求并建立 HOQ,最后进行矛盾的分析与解决,实现了理疗仪效率的显著上升。综上可知,AHP 可准确客观地判断出用户需求的重要程度;QFD 提供了用户需求与技术特性相互转换的路径;TRIZ 用于矛盾问题的解决。以上集成理论的研究方法目前较少被学者运用于家具产品设计中,因此在模块化书柜的设计过程中导入集成理论,可以帮助研究人员更加科学有效地研发出迎合用户与市场需求的新型产品,填补研究空白。

1 模块化设计概述与模块化书柜设计现状

模块化设计用于产品系统或服务系统中部件单元的替换,模块化后的各式部件或单元可以通过相同的接口相互连接进而组合成新的形式,工程师、设计师或用户可以根据市场或自身的需求组合出不同功能的产品^[5-6]。模块化产品的设计需要设计师由宏至微,先从整体开始考虑,根据结构与功能划分为相对独立的模块单元,进而对各局部模块进行详尽的考虑与深入的设计。模块化设计的优势在于其系统性与自由性之间的完美契合,即利用模块单元的划分与重组设计出不同功能或形式的产品,降低了研发成本与操作难度,提高了灵活度与通用性^[7]。

模块化设计早年被广泛用于重工业与机械设施的规划与设计^[8],例如汽车、模块建筑构件、涡轮机与计算机等,且发展已十分系统成熟。近年来,在家具等轻工业领域的模块化设计也初见雏形,伴随全民阅读的热潮,模块化书柜因其独特的造型与操作方式受到了消费者的青睐,在家具市场上占据了席之地,目前市面上常见的模块化书柜具有以下特点:模块化书柜的结构与骨架未进行单独设计,模块简单堆叠的组合方式导致书柜的结构稳定性较低,且移动不便,见图 1a;模块单元的种类与形式单一,使书柜通常不具备多项功能,能够满足的用户需求有限,见图 1b;模块自由度较低,模块只能安装在指定的位置,用户不能根据自身需求与爱好更改安装位置,见图 1c。因此,需要设计一款结构稳定、能够提供用户不同功能、组合自由度高的模块化书柜产品。



图 1 常见模块化书柜
Fig.1 Common modular bookcase

2 AHP/QFD/TRIZ 理论概述与设计步骤

2.1 AHP/QFD/TRIZ 理论概述

美国匹茨堡大学学者、运筹学家萨蒂于 20 世纪 70 年代提出了一种名为层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, AHP) 的全新层次权重决策分析方法

^[9-11]。该方法将一个涉及多个复杂要素的问题系统化,确定目标层后,将系统内部规划为若干个指标层以此来判断各要素之间的关系,规划工作完成后利用定性转定量的方法对同级指标要素进行评价,以此计算出要素的优先权重以确定其重要程度。该理论适用于各种指标错乱繁琐的目标系统的定量决策问题^[12]。

QFD 全称为质量功能展开 (Quality Functional Deployment), 是由日本学者赤尾洋二和水野滋于 20 世纪 60 年代提出^[13-15]。QFD 被广泛用于用户需求到技术特征与零部件特征之间的转换工作, 其核心概念便是质量屋 (House of Quality, HOQ), 质量屋通过构建图表的方式直观地展现各要素之间的关系与权重, 其主要使用步骤包括: 将用户需求转化为对应的技术特征; 将用户需求与其重要度导入 HOQ “左墙”; 将技术特征导入 HOQ “天花板”; 利用 “强相关” “中等相关” 与 “弱相关” 确定用户需求与技术特征之间的矩阵关联度, 并导入 HOQ “屋身”; 计算出技术特征的相对权重与绝对权重, 并导入 HOQ “地下室”; 确定技术特征内部之间的正负关联性, 并导入 HOQ “屋顶”^[11]。如今 QFD 已被广泛应用于企业、学术与实践过程中, 用于创新设计领域更是可以帮助设计人员降低返工次数与成本, 提高研发效率^[16-17]。HOQ 模型见图 2。

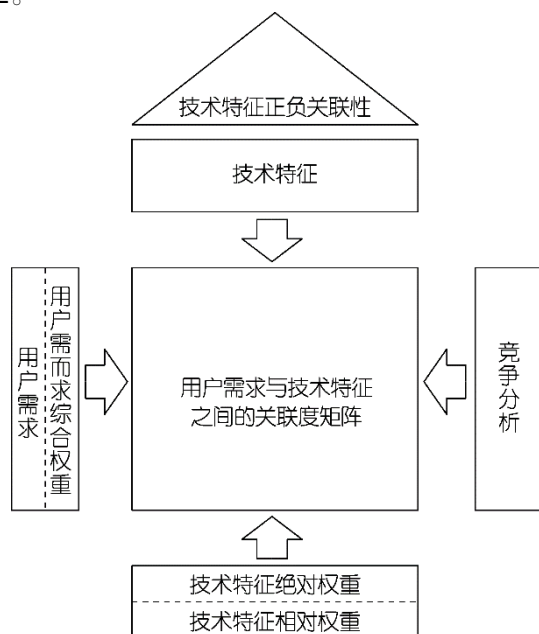


图2 HOQ模型
Fig.2 HOQ model

TRIZ 理论 (TRIZ Theory) 全称为发明问题解决理论 (Theory of the Solution of Inventive Problems), 最早可以溯源到发明家根里奇·阿奇舒勒于 20 世纪 40 年代所参与的专利研究与处理^[18-19]。阿奇舒勒在剖析了数以万计的各国发明专利后总结归纳其背后的规律与法则, 构建了一个用于解决技术难题、实现创新发明的全新理论体系, 简称 TRIZ 理论^[20]。矛盾冲突解决原理是 TRIZ 理论中的核心方法, 根据参数数量与要求的不同可以分为技术矛盾与物理矛盾, 而物理矛盾又可分为空间分离、时间分离、条件分离、整体与部分分离 4 种, 最后对应 40 条发明原理给出理想解。该理论可运用于多种学科与领域, 尤其是近年来在工业设计领域得到了长足的发展和利用^[21-22]。

2.2 基于 AHP/QFD/TRIZ 的模块化书柜设计方法步骤

阶段一: 基于情感层次理论, 构建出模块化书柜的用户情感需求层次模型, 收集并筛选出可用的二级指标需求, 并利用 KJ 法对其进行分类, 利用层次分析法构建一级指标层与二级指标层的判断矩阵, 对数据进行计算与分析以确定用户需求的权重。

阶段二: 将用户需求及其权重导入 QFD 质量屋, 判断出用户需求与技术需求之间的关联度, 计算出技术需求权重, 并且判断各技术需求内部之间的正负相关性。

阶段三: 针对呈现负相关的技术矛盾问题, 各自对应 TRIZ 理论中的技术冲突矛盾与物理冲突矛盾, 借助 39 条矛盾矩阵与 40 条发明原理找到问题的最优解。

阶段四: 将各技术需求与发明原理转化为具体的设计要素, 设计出初步方案后进行深入细化, 最后利用 Rhino 软件进行建模并渲染, 得到满足消费者情感需求的产品设计。设计方法流程见图 3。

3 基于层次分析法的用户情感需求分析

3.1 用户情感需求层次模型构建

情感层次理论由美国心理学家唐纳德·A·诺曼提出^[23], 该理论重视人与产品之间的情感交流, 从心理学的视角探析如何在设计中实现用户的情感需求, 诱发用户的情感反应从而综合提高用户与产品的情感羁绊^[24]。《情感化设计》^[25]中将人对产品的情感划分为 3 类: 本能层、行为层与反思层。其中本能层指用户在初次接触产品时, 凭借自身感官接收其形态、色彩、材料等外在形式, 将其反映给大脑从而形成的产品第一印象, 是一种较为低级的情感; 行为层不再讨论产品的外观问题, 而是转向用户在具体的使用体验过程中, 对产品的功能、效用与使用性产生的情感; 反思层脱离了产品的初级印象, 涉及文化、背景与信息复杂因素而引起用户的二次思考, 是用户在回忆过去与预测未来的长期思考过程中产生的一种深层次情感。

本研究的模块化书柜设计基于上述情感层次理论, 利用 AHP 层次分析法建立用户情感需求层次模型。首先, 将模型划分为一级与二级指标层, 一级指标层包括本能层、行为层与反思层; 二级指标层在一级的基础上, 通过以下两种方法收集用户需求。方法一, 文献研究法, 通过阅读与书柜相关的文章, 分析归纳出前人的研究成果; 方法二, 线上市场调查法, 通过线上访问多家购物网站与品牌官网, 如宜家、京东和淘宝网等, 了解国内模块化书柜产品的设计现状, 同时查看 50 种型号款式书柜产品的消费者评价, 筛选出有用信息并进行收集处理。经过初步归纳得到各式需求共 38 条, 邀请 5 位产品设计领域的专家组

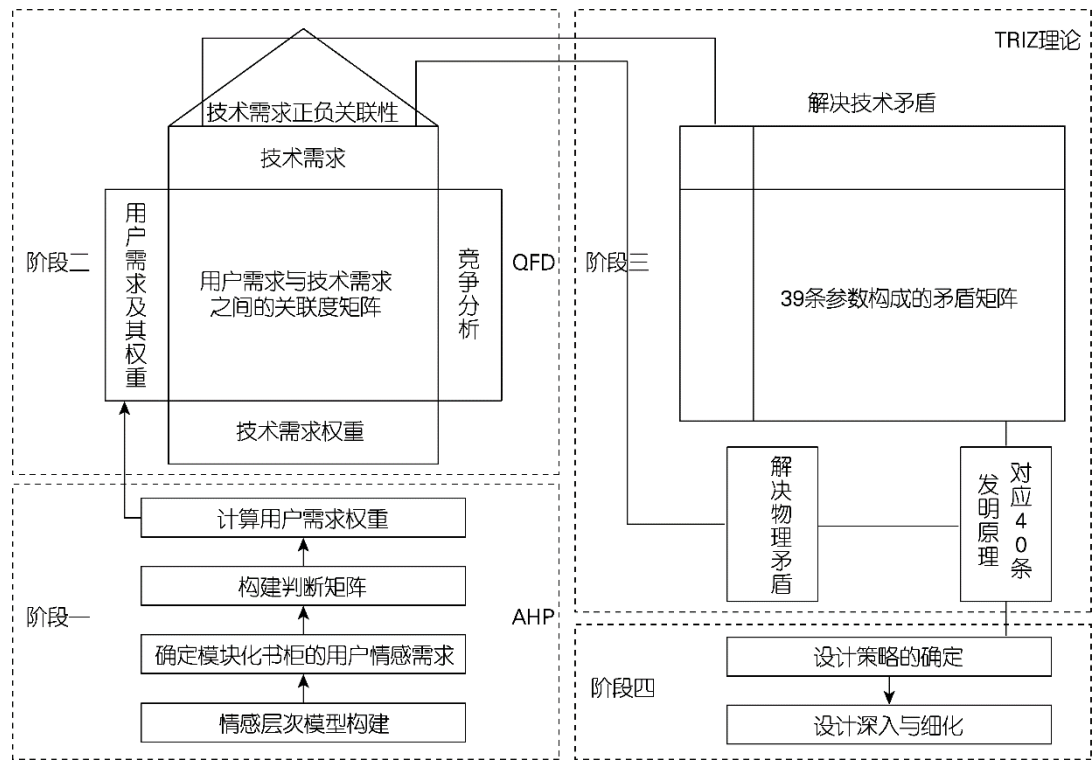


图 3 设计方法流程
Fig.3 Design method process

成专项小组,组织专项小组筛剔除掉不恰当的和概念重复的需求,并对保留的有效需求进行适当处理使其表达更加简明通畅,利用 KJ 法将各需求制作为二级指标的需求卡片,按照需求特征对其进行一级指标归类工作,最终保留有效需求 14 条,其中本能层 5 条,行为层 6 条,反思层 3 条,见表 1。

表 1 模块化书柜的用户情感需求层次模型
Tab.1 Hierarchy model of users' emotional needs for modular bookcase

一级指标层	内容	二级指标层	内容
C1	本能层	C11	风格简约现代
		C12	用色素雅
		C13	比例协调
		C14	造型新颖多变
		C15	质感上层
C2	行为层	C21	机动性强
		C22	适用多种用途
		C23	空间利用率高
		C24	稳定牢固
		C25	交互便捷快速
		C26	使用安全
C3	反思层	C31	彰显个性
		C32	操作过程有趣味性
		C33	绿色环保

3.2 用户需求权重计算

根据以上构建的用户情感需求层次模型,基于 AHP 层次分析法创建两两判断矩阵,以确定各指标之间的权重关系,同时在运算的过程中引入标度与 RI 取值体系^[26-27](见表 2—3),并进行一致性检验的计算,保证矩阵体系的合理性与逻辑性。

表 2 标度及其含义
Tab.2 Scale and its meaning

标度	含义
1	两个因子相比,具有相同的重要性
3	两个因素相比,前一个因子比后一个因子稍微重要
5	两个因素相比,前一个因子比后一个因子明显重要
7	两个因素相比,前一个因子比后一个因子强烈重要
9	两个因素相比,前一个因子比后一个因子极端重要
2、4、6、8	两相邻因子判断的中间值
倒数	因子 i 与因子 j 相比标度为 a_{ij} ,反之因子 j 与因子 i 相比为 $1/a_{ij}$

本研究邀请了数位研究相关领域的专家进行集体决策并给出打分,以一级指标层为例的运算过程如下。

表 3 R/取值标准
Tab.3 RI values

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

1) 构建一级指标判断矩阵，专家组对层内指标进行两两判断并打分（见表 4）。

2) 对矩阵结果进行权重计算。

3) 进行矩阵最大特征值的计算，得到 $\lambda_{\max} = 3.0182$ 。然后进行一致性检验，需要计算一致性指标 CI 与一致性比率 CR，结果见式（1）—（2）。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3.0182 - 3}{3 - 1} = 0.0091 \quad (1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0091}{0.58} = 0.0157 < 0.10 \quad (2)$$

4) 根据计算结果得到一致性比率 $CR < 0.10$ ，证明该矩阵通过了一致性检验，该矩阵结果有效。

表 4 一级指标层判断矩阵
Tab.4 Level 1 index level judgment matrix

一级指标层	C1	C2	C3
C1	1	1/3	2
C2	3	1	4
C3	1/2	1/4	1

按照同样的方法对二级指标层进行权重判断与计算，并分别进行一致性检验，结果表明均通过检验。最后将一级指标权重乘以其下属的二级指标层权重，可以计算出所有用户需求的最终权重，需求综合计算汇总见表 5。

表 5 需求综合计算汇总
Tab.5 Comprehensive calculation and summary of needs

目标层	一级指标层	权重 W	一致性指标 CI	检验系数 CR	二级指标层	权重	综合权重	一致性指标 CI	检验系数 CR
模块化书柜的用户情感需求 C	$C1$	0.238 5	0.009 1	0.015 7	C11	0.218 5	0.052 1	0.007 4	0.006 6
					C12	0.201 5	0.048 1		
					C13	0.380 4	0.090 7		
					C14	0.092 9	0.022 2		
					C15	0.106 7	0.025 4		
	$C2$	0.625 0			C21	0.055 8	0.034 9	0.019 2	0.015 5
					C22	0.172 2	0.107 6		
					C23	0.088 6	0.055 4		
					C24	0.273 4	0.170 9		
					C25	0.136 7	0.085 4		
					C26	0.273 4	0.170 9		
	$C3$	0.136 5			C31	0.195 8	0.026 7	0.026 8	0.046 2
					C32	0.493 4	0.067 3		
					C33	0.310 8	0.042 4		

综上所述，对模块化书柜用户需求的最终权重进行重要程度排序，得到排名为，稳定牢固=使用安全>适用多种用途>比例协调>交互便捷快速>操作过程有趣味性>风格简约现代>用色素雅>绿色环保>机动性强>彰显个性>质感上层>造型新颖多变。

4 基于 QFD 的用户需求转换

如表 5 所示，将用户需求及其权重值导入质量屋（HOQ）“左墙”；然后进行用户需求与技术特征之间的关系转换，见表 6。

对以上技术特征进行整合与分析，再结合模块化书柜特有的形态特征与骨骼结构，可将其划分为 3 类

技术特征：骨架、构件与整体。将技术特征划分为以上 3 类的依据如下：其一，骨架与构件进行分离设计，骨架的独立有利于书柜的结构稳定与整体移动；其二，由于骨架承担了承重与主要结构功能，构件能够在骨架上进行自行更替，有利于书柜的多功能化与模块化；其三，整体中包含的技术特征既适用于骨架，也适用于构件。其中骨架的设计重点囊括占地面积小、结构稳固与材料坚实；构件的设计重点囊括模块化与适用多种用途；而书柜整体的设计重点囊括造型简洁、色彩和谐、轻量化、符合人体工学、避免尖角、实用空间大与空间尺寸小，技术特征分类见图 4。将以上技术特征导入质量屋（HOQ）的“天花板”。

表 6 用户需求与技术特征的关系转换 Tab.6 Transformation of the relationship between users' needs and technical characteristics		
一级指标层	二级指标需求	对应的技术特征
C1	风格简约现代 C11	造型简洁 色彩统一和谐
	用色素雅 C12	色彩统一和谐
	比例协调 C13	符合人体工学
	造型新颖多变 C14	具有多项功能 模块化
	质感上层 C15	色彩统一和谐 轻量化
C2	机动性强 C21	轻量化 模块化 符合人体工学 空间尺寸小
	适用多种用途 C22	模块化 具有多项功能
	空间利用率高 C23	占地面积小 空间尺寸小 轻量化 实用空间大
	稳定牢固 C24	结构稳固合理 材料坚实
	交互便捷快速 C25	造型简洁 模块化 符合人体工学
	使用安全 C26	避免尖角 轻量化 结构稳固合理
C3	彰显个性 C31	具有多项功能 模块化
	操作过程有趣味性 C32	模块化
	绿色环保 C33	轻量化

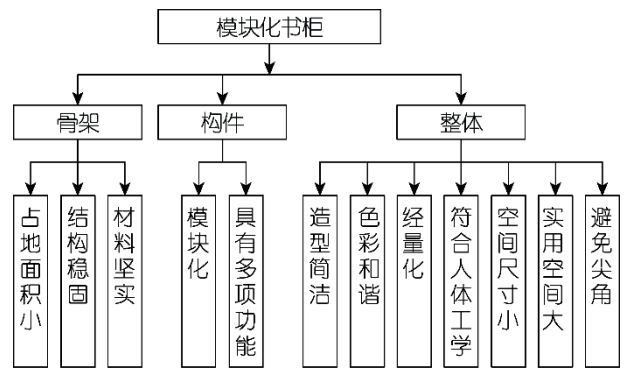


图 4 技术特征分类
Fig.4 Classification of technical characteristics

质量屋 (HOQ) 的“屋身”,即用户需求与技术特征矩阵图中,设立关联度等级以确定两者之间的关联程度,进行赋值,见表 7。对关联程度进行判断,并填入相关符号进行标识,构建出质量屋的“屋身”部分。

表 7 用户情感需求与技术特征的对应赋值 Tab.7 Corresponding assignment of users' emotional needs and technical characteristics				
关联程度	强相关	中等相关	弱相关	无相关
符号	●	◎	△	无
分值	5	3	1	0

导入式 (3), 计算出技术特征重要度的绝对权重与相对权重, 式中, W_j 指代技术特征绝对权重, W_i 指代用户需求综合权重, P_{ij} 指相关性系数, W_k 指技术特征相对权重。最后将两种权重的计算结果导入质量屋的地下室。

$$W_j = \sum_{i=1}^q W_i P_{ij}, \quad W_k = \frac{W_j}{\sum_{i=1}^q X_j}$$

(3)

最后对构成质量屋“天花板”的技术特征进行正负关联性判断,并对其进行标识后导入质量屋(HOQ)的“屋顶”部分。其中“+ 正相关”意味着某方技术特征会伴随另一方技术特征的改进而得到改进,“- 负相关”意味着某方技术特征会由于另一方技术特征的改进而恶化,空白意味着两方技术特征之间无关联性,以此确定技术特征之间的矛盾冲突。模块化书柜质量屋模型见图 5。

观察模块化书柜质量屋的“地下室”部分,依据重要度权重可知模块化是最为重要的技术特征,重要程度排序依次为: 模块化>材料坚实>结构稳固>具有多项功能>避免尖角>符合人体工学>色彩和谐>轻量化>造型简洁>实用空间大=空间尺寸小>占地面积小。

5 基于 TRIZ 理论的矛盾分析与解决

5.1 矛盾分析

由图 5 可知,以“负相关性”标识存在的矛盾冲突共有 5 对,对该 5 对矛盾冲突进行解释分析。

1) 矛盾一: 空间尺寸小与实用空间大。这对矛盾属于物理矛盾下的空间分离情况,这对矛盾中的参数为“体积”。在同一空间中,体积小,书柜空间尺寸随之减小以节约空间;体积大,书柜的实际可用空间随之增大以放置更多的书籍、陈设与杂物等。

2) 矛盾二: 占地面积小与结构稳固。这对矛盾属于技术矛盾,书柜的占地面积小会导致其底面受力面受限,在书柜质量不变的情况下,受力面减小导致推倒书柜所需的力矩随之减小,结构越不稳定。

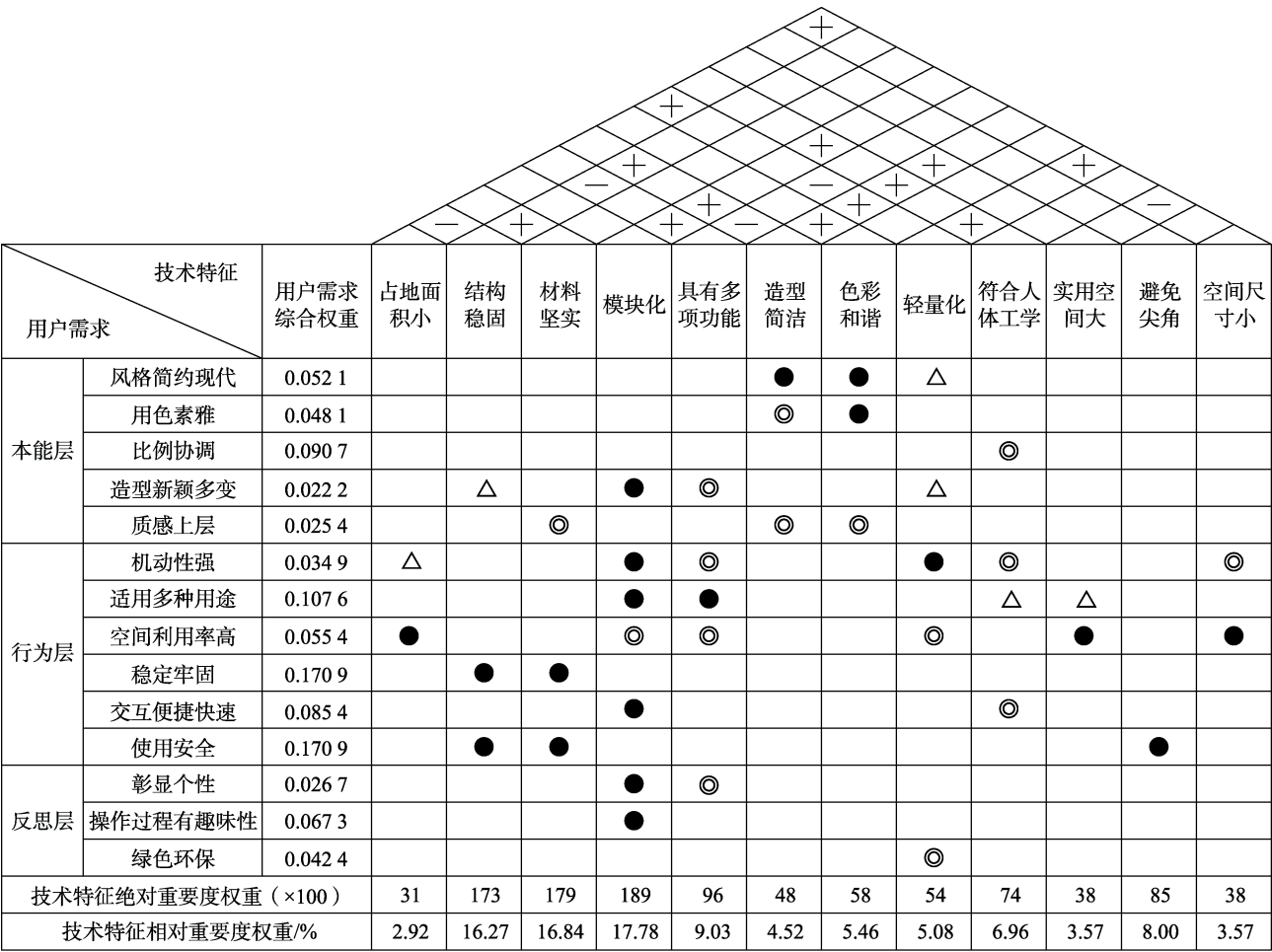


图 5 模块化书柜质量屋模型
Fig.5 House of Quality model of modular bookcase

3) 矛盾三: 结构稳固与具有多项功能。这对矛盾属于技术矛盾, 既要求书柜的结构稳定合理, 又希望书柜可以具备尽可能多的功能。

4) 矛盾四: 造型简洁与具有多项功能。这对矛盾属于技术矛盾, 书柜具备多种功能虽然能够满足用户的不同需求, 但是其外观往往会随之变得十分繁琐复杂。因此, 研究人员希望设计出既具备多项功能又造型简洁明了, 能够迎合现代审美与市场的书柜。

5) 矛盾五: 具有多项功能与轻量化。这对矛盾

属于技术矛盾, 用户希望书柜的功能越多越好, 但这可能会导致质量的增加, 而用户又同时希望使用到更加轻量化的产品。

将以上 5 对矛盾与 TRIZ 理论中不同类型的矛盾冲突相对应, 即技术矛盾与物理矛盾, 物理矛盾又包括空间分离、条件分离、时间分离及整体与部分分离。通过查阅 39 条技术冲突矩阵表找到 40 条技术矛盾的发明原理, 利用分类找到 40 条物理冲突的发明原理, 最终找到理想解以期实现问题的解决。矛盾分析及对发明原理见表 8。

表 8 矛盾分析及其对应发明原理
Tab.8 Contradiction analysis and its corresponding invention principle

矛盾类型	矛盾冲突	改善参数	恶化参数	对应发明原理
物理冲突	空间尺寸小-实用空间大		空间分离	1, 2, 3, 4, 7, 13, 17, 24, 26, 30
技术冲突	占地面积小-结构稳固	06 静止物体的面积	13 结构的稳定性	2, 38
	结构稳固-具有多项功能	13 结构的稳定性	35 适应性及多用性	35, 33, 34, 2
	造型简洁-具有多项功能	12 形状	35 适应性及多用性	1, 15, 29
	具有多项功能-轻量化	35 适应性及多用性	02 静止物体的重量	19, 15, 29, 16

5.2 矛盾解决

1) 依据表 8 中列出的对应发明原理, 针对此 5 对矛盾冲突逐一寻找最为适合的发明原理予以问题解决。在空间尺寸小与实用空间大冲突中, 选用 17 号发明原理 (多维运作), 利用多层结构代替单层结构, 根据用户需求增加书柜的实际可用层数, 同时不需要时可以减少可用层数, 将实用空间最大化。

2) 在占地面积小与结构稳定冲突中, 选用 2 号发明原理 (拆出), 将可有可无的非结构功能部件全部拆出单独设计, 省略了部件后的书柜的占地面积得到了有效控制; 拆出书柜的非结构部件, 使书柜仅保留自身的骨骼框架, 其结构复杂性得到了极大改善, 通过结构的简化使书柜重量可以通过同一垂直线均匀地抵达地面, 可靠性与稳定性得到提升。

3) 在结构稳定与具有多项功能冲突中, 同样选用 2 号发明原理 (拆出), 将书柜各部分分为骨架与部件, 再将除骨架外的所有部件拆出, 仅利用骨架进行承重, 书柜结构简化, 稳定性提升; 有针对性地设计出满足多种功能的不同部件 (抽屉、层板、格框与桌面), 且这些部件不承担任何的结构作用。因此, 用户可以根据自身需求自由选择部件安装在骨架上, 实现书柜的多功能特性。

4) 在造型简洁与具有多项功能冲突中, 传统的一体式书柜内部部件皆为固定式, 无法对层高等要素进行更改, 也无法根据用户需求进行部件替换, 而具备多项功能的传统书柜又伴随着外观繁琐复杂、空间浪费等问题。选用 1 号发明原理 (分割), 利用 5 组接口将 1 个书柜骨架均匀分割为相对独立的 4 格, 同时对各部件进行整体设计保证风格与规格尺寸的统一, 且与骨架分割大小对应吻合, 每个构件模块恰好占据骨架 1 或 2 格, 这样既使整体造型更加轻盈简约、风格统一, 又保证了书柜的多功能性。

5) 在具有多项功能与轻量化冲突中, 选择 15 号发明原理 (动态), 将传统书柜中的不可动部件设计为可移动的, 允许部件在骨架内部上下垂直移动以调整高度, 一件多用满足特定需要, 在保证书柜多功能特点的同时又减轻了书柜质量。

6 模块化书桌设计实践

6.1 模块单元的划分与重组

基于上述 AHP/QFD/TRIZ 等理论的分析结果展开书柜设计, 在系统内部矛盾利用 TRIZ 发明原理得到有效解决后, 考虑到模块化作为最为重要的技术特征, 需要对其进行优先考虑, 并在其基础上, 对系统的结构、形态、组合方式等展开创新设计。因此, 首先根据系统各部分的具体功能对模块单元进行划分,

李伟湛等^[28]提出了模块简化的方式, 将功能模块分为核心模块与部件模块, 分别用不同的方块代替以获得初步直观的组合方案。本研究中将模块化书柜大致划分为两类, 骨架与构件。基于上文可知骨架作为书柜的主要结构, 承担了整体承重, 同时由于结构坚固作为重要的技术特征, 出于安全稳定的考虑, 故不进行形态多样化设计, 骨架 (Framework, F) 作为核心模块不可替换, 以灰色象征; 依据 TRIZ 的 2 号拆出原理, 构件由于不承重, 可以根据用户需求进行拆装与更换, 而骨架却不受影响, 这保证了结构的稳定, 同时考虑到构件应当具有多项功能, 因此提供 4 种不同的形态供用户选择, 作为可替换模块, 包括抽屉 (Drawer, D)、层板 (Plank, P)、格框 (Box, B) 与桌面 (Tabletop, T), 分别用红、蓝、黄与绿象征。模块功能的划分见图 6a。

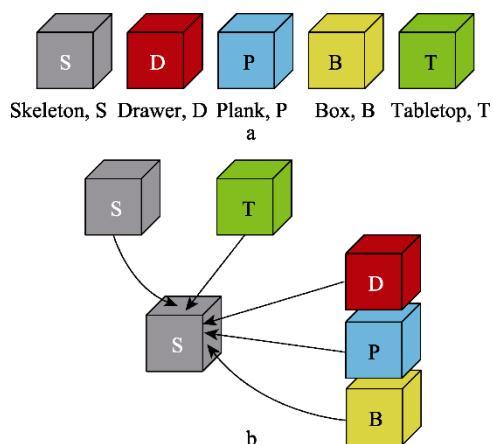


图 6 模块功能的划分与关系

Fig.6 Division and relationship of module function

对模块化书柜的各模块功能进行分析比较, 可知骨架是整体系统的主体结构, 其余部件的增减与替换无法离开该主体模块。因此, F 用于整体承重与模块连接, 依据 TRIZ 的 1 号分割原理, 将骨架划分为均等的几块, 使模块构件之间可以直接相互替换拆装: 首先, 一个 F 拥有 5 组横插式接口 (一组 4 个), 横插式接口用于 D、P、B、T 的连接, 或者用于自身 F 的连接。其次, D、P、B 可以与 F 任何一组接口连接。再次, T 作为桌面, 仅可以与最上端的一组接口连接。最后, 其中 D、P、T 占据一组接口 (1 格), B 占据两组接口 (2 格)。模块功能的关系见图 6b。通过以上逻辑关系分析, 研究人员对该五大模块单元进行科学组合, 并借助计算机软件 Adobe Illustrator 利用简化方块进行方案预演。

对上述几种模块进行方案预演可以有效地反映出模块间的相互关系, 由于版面有限选择其中 6 种具有代表性意义的方块组合方案, 见图 7a, 并对其进行形态推演, 得到 6 种方案雏形, 见图 7b。

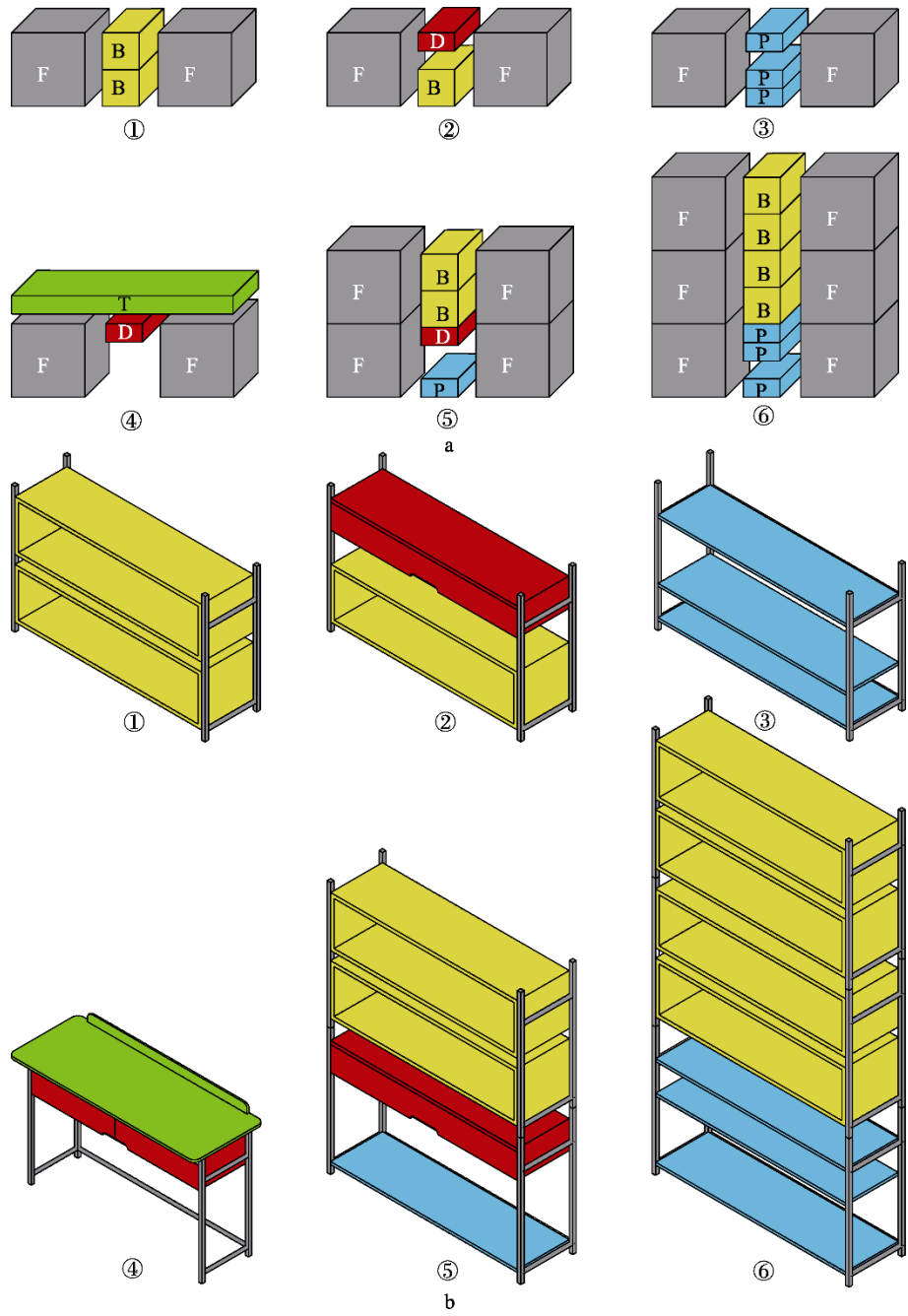


图 7 模块组合方案
Fig.7 Modular composition scheme

6.2 方案的深入与细化

依据研究人员完成的模块组合方式,进行方案细化,最终得出模块化书柜设计方案。如图 8 所示,骨架上端可根据需要利用双头固定件进行叠加固定,下端落地可以套用桌腿垫用于防滑耐磨,依据 TRIZ 的 15 号多维运作原理,用户可以根据自身实际需求加设至双层或三层骨架,这样不仅将书柜的实用空间最大化,而且不需要时可自行拆除骨架以减少空间维度,达到减少空间尺度的目的。或者在单层骨架的垂直四端上加设桌面模块,并借助螺丝固定在 4 个横插式接口中,用于伏案学习工作。抽屉有单格和双格两

种形制,层板和格框皆可根据用户需求与场景需要人为自行更换,底部安装相同规格支撑架,同样可利用螺丝固定于接口。

骨架作为核心模块,高 730 mm、长 1000 mm、宽 300 mm,使用 15×15 mm 正方形合金管材,桌面厚 20 mm、长 1 060 mm、宽 450 mm,骨架上端连接桌面时总高 750 mm,如果在桌面下方插口连接抽屉模块时,抽屉底面距地面 525 mm,该尺寸迎合了中国人平均身高,符合人体工学。骨架接口之间上下垂直间隔 170 mm。所有可替换构件模块在底部通用相同规格的合金支撑架,高 40 mm;可替换构件模块中,

抽屉总高 165 mm、长 970 mm、进深 300 mm, 其中抽屉推拉部分高 125 mm, 适合收纳一些不常用的日用品或较为贵重的小物件, 如手表和文件; 层板总高 60 mm、长 970 mm、宽 300 mm, 板材厚 20 mm, 层板视线最为通透开阔, 适合摆放一些陈设艺术品或者经常拿取的书籍杂物, 如证书和瓷器; 格框总高 335 mm、长 970 mm, 进深 300 mm, 板材厚 20 mm, 尺寸适合垂直排列书籍。

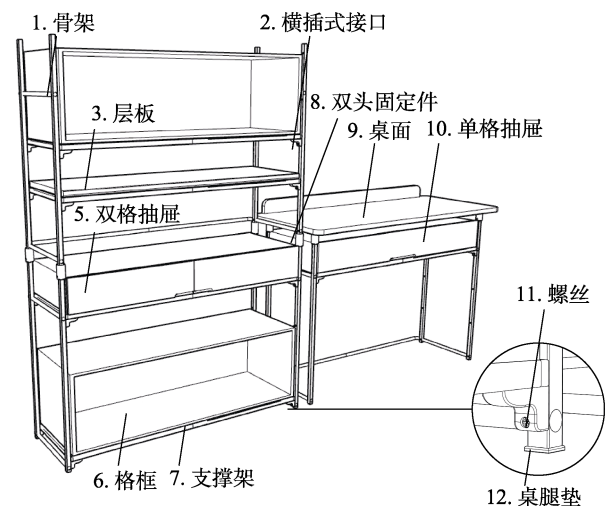


图 8 模块化书柜设计方案
Fig.8 Modular bookcase design scheme

造型方面, 该模块化书柜设计整体呈现为简约现代风格, 没有多余的装饰, 以功能为中心的设计使其符合造型简洁的特征要求。材料的选择方面, 由于材料坚固的技术特征会对书柜的稳定牢固与使用安全的用户需求造成影响, 同时出于轻量化减重的目的, 因此使用高硬度但更轻量化的白色外漆铝合金材料作为骨架和构件支撑架等金属部分的材质, 而对抽屉、格框、桌面和层板等部分, 则使用质量更轻、纹理细腻自然的实木板。色彩方面, 书柜整体色调为中性色, 以白色与原木为主, 雅致大气且能够与大多数场景相容, 符合色彩和谐的特征要求。考虑到交互的安全因素, 对骨架与构件均进行倒角处理, 不仅整体视觉更加柔和, 也避免尖角存在可能造成的潜在危险。操作方面, 模块化设计方便用户根据自身需求与场景需要自行调整构件模块的安装位置, 杜绝资源与空间的浪费, 依据 TRIZ 的动态原理, 模块方便随时上下移动与装卸, 如此不仅增加了书柜功能, 还增大了实际可用空间, 将有限的空间利用到极致, 减少了不必要的重量, 且自由度与趣味性较高, 共用接口的多模块设计使书柜具备多项功能以应对实际需要。例如, 安装桌面模块即可变成书桌使用, 而骨架可以累加至 2~3 层以减少占地面积, 提高空间利用率。模块化书柜组合效果见图 9。

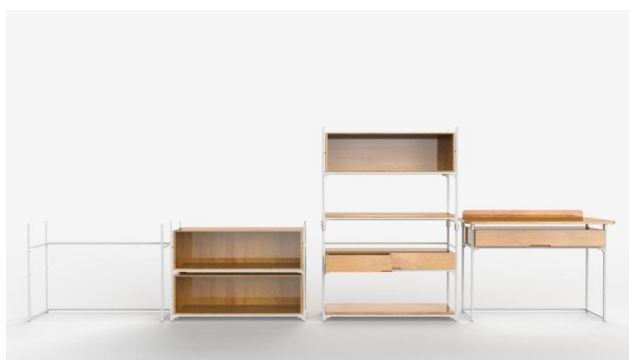


图 9 模块化书柜组合
Fig.9 Modular bookcase combination

7 结语

本研究以书柜设计为例, 基于情感层次理论分析用户需求, 利用层次分析法计算需求权重, 转入功能质量展开模型中获得相对应的技术特征与其重要度; 借助 TRIZ 解决其中的矛盾冲突后, 对书柜进行模块单元的分类与整体的初步方案判定, 再对各部件深入设计, 最终得到模块化书柜产品^[29-30]。该设计流程集成了包括 AHP、QFD 与 TRIZ 在内的多种理论与方法, 使整体的设计步骤与方式更加有理可循、有据可依, 且严丝合缝, 使书柜在造型外观、结构稳定与交互效率等多个方面综合提高了用户情感需求的满意度, 为

相关家具产品设计提供了参考样例。后续研究工作将进一步升级模块接口的接洽问题, 使相邻构件之间间隙更小, 可利用空间更大, 同时使模块的安装拆卸效率更高, 操作更简易。

参考文献:

[1] 李晓杰, 梁健, 李海泉. 基于 AHP/QFD 与 TRIZ 的地震救援机器人设计[J]. 机械设计, 2021, 38(11): 121-128.
LI Xiao-jie, LIANG Jian, LI Hai-quan. Design of Earthquake Rescue Robot Based on AHP/QFD and

- TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(11): 121-128.
- [2] 苏建宁, 魏晋. 基于 AHP/QFD/TRIZ 的玫瑰花蕾采摘机设计[J]. 机械设计, 2020, 37(8): 121-126.
- SU Jian-ning, WEI Jin. Design of Rose Buds Picking Machine Based on AHP/QFD/TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(8): 121-126.
- [3] 李小彤, 胡昌格. 基于 QFD-TRIZ 理论的筒纱包装生产线造型设计[J]. 包装工程, 2022, 43(8): 92-100.
- LI Xiao-tong, HU Chang-ge. Modeling Design of Cheese Packaging Machinery Based on QFD and TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(8): 92-100.
- [4] 王年文, 王剑. 基于 QFD/TRIZ 的热透灸理疗仪创新设计[J]. 包装工程, 2018, 39(22): 218-224.
- WANG Nian-wen, WANG Jian. Innovative Design of Hot Moxibustion Therapy Apparatus Based on QFD/TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(22): 218-224.
- [5] 杨亚坤. 老年人手机的模块化设计[J]. 科技信息, 2013(14): 128.
- YANG Ya-kun. Modular Design of Mobile Phones for the Elderly[J]. Science & Technology Information, 2013(14): 128.
- [6] 董欢欢, 王伟伟, 吕曼曼, 等. 面向个性化需求的模块化设计模型研究[J]. 包装工程, 2017, 38(6): 129-133.
- DONG Huan-huan, WANG Wei-wei, LYU Man-man, et al. Modular Design of Personalized Customization Model[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(6): 129-133.
- [7] 安苗苗. 基于摩托罗拉手机模块化设计的定量评价研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2018.
- AN Miao-miao. Research on Quantitative Evaluation Based on Modular Design of Motorola Mobile Phone[D]. Changsha: Hunan University, 2018.
- [8] 霍康, 尹娜, 余月强, 等. 基于家居一体化的整体软装模块化设计研究[J]. 包装工程, 2016, 37(16): 22-26.
- HUO Kang, YIN Na, YU Yue-qiang, et al. Modular Design of the Overall Soft Decoration Based on Home Integration[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(16): 22-26.
- [9] SAATY T L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process[J]. International Journal of Services Sciences, 2008, 1(1): 83.
- [10] 严铨磊, 李晟, 刘哲. 基于需求层次理论的设计师工作室讨论及优化[J]. 家具与室内装饰, 2021(10): 112-116.
- YAN Cheng-lei, LI Sheng, LIU Zhe. Discussion and Optimization of Designer Studios Based on Maslow's Hierarchy of Needs[J]. Furniture & Interior Design, 2021(10): 112-116.
- [11] 傅雷, 李一帆, 石畅, 等. 藏式传统民居文化因子提取及设计应用研究[J]. 家具与室内装饰, 2022, 29(10): 106-113.
- FU Lei, LI Yifan, SHI Chang, et al. Study on Extraction and Design Application of Cultural Factors of Tibetan Traditional Dwellings[J]. Furniture & Interior Design, 2022, 29(10): 106-113.
- [12] LEE W B, LAU H, LIU Zhuo-zhi, et al. A Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approach in Modular Product Design[J]. Expert Systems, 2001, 18(1): 32-42.
- [13] CHAN L K, WU Ming-lu. Quality Function Deployment: A Literature Review[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(3): 463-497.
- [14] 宋端树, 白道靖, 李英, 等. 基于 QFD 与 ARIZ 的适老化厨房家具设计[J]. 家具与室内装饰, 2022, 29(5): 26-30.
- SONG Duan-shu, BAI Dao-jing, LI Ying, et al. Design of Elderly-Friendly Kitchen Furniture Based on QFD and ARIZ[J]. Furniture & Interior Design, 2022, 29(5): 26-30.
- [15] 贾玉玉, 张胜, 杨滨, 等. 基于 QFD 和 TRIZ 的儿童家具集成设计研究——以软木多功能凳为例[J]. 家具与室内装饰, 2022, 29(7): 37-41.
- JIA Yu-yu, ZHANG Sheng, YANG Bin, et al. Study on the Integrated Design of Children's Furniture Based on QFD and TRIZ—Taking Cork Multifunctional Stool as an Example[J]. Furniture & Interior Design, 2022, 29(7): 37-41.
- [16] WANG Duo-jin, YU Hong-liu, WU Jing, et al. Integrating Fuzzy Based QFD and AHP for the Design and Implementation of a Hand Training Device[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2019, 36(4): 3317-3331.
- [17] HAUSER J R, CLAUSING D. The House of Quality[J]. Harvard Business Review, 1988, 66(3): 63-67.
- [18] 傅雷, 王逸轩, 梅小清. 基于 TRIZ 理论的闽南古厝雕花在室内设计中的应用[J]. 包装工程, 2022, 43(S1): 250-255.
- FU Lei, WANG Yi-xuan, MEI Xiao-qing. The Application of Carving in Minnan Ancient Buildings in Interior Design Based on TRIZ Theory[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(S1): 250-255.
- [19] AL'TSHULLER G S, SHULYAK L, RODMAN S. The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity[M]. Worcester: Technical Innovation Center, 1999.
- [20] 温丹妮, 章彰. 基于 KANO 和 TRIZ 理论的独居青年家具设计策略研究[J]. 家具与室内装饰, 2022, 29(3): 5-10.
- WEN Dan-ni, ZHANG Zhang. Study on Furniture Design Strategies for "Empty-Nest" Youths Based on KANO Model and TRIZ Theory[J]. Furniture & Interior Design, 2022, 29(3): 5-10.
- [21] 杨培, 曹国忠, 周坤, 等. 基于 TRIZ 理论的快递电动

- 车创新设计[J]. 包装工程, 2019, 40(14): 135-143.
- YANG Pei, CAO Guo-zhong, ZHOU Kun, et al. Innovative Design of Express Electric Vehicle Based on TRIZ Theory[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(14): 135-143.
- [22] 邵红合, 曾旭, 赵谦. 基于TRIZ理论的公共扶手消毒装置设计[J]. 包装工程, 2021, 42(18): 333-340.
- GAO Hong-he, ZENG Xu, ZHAO Qian. Design of Public Handrail Disinfection Device Based on TRIZ Theory[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(18): 333-340.
- [23] 顾蓉, 穆宝宁, 王刚, 等. 情感设计中本能、行为、反思的解析与表达[J]. 包装工程, 2015, 36(16): 87-90.
- GU Rong, MU Bao-ning, WANG Gang, et al. Analysis and Expression of Instinct, Behavior, Reflection in Emotional Design[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(16): 87-90.
- [24] 李君华. 产品设计中的情感化体现[J]. 包装工程, 2010, 31(4): 32-34, 38.
- LI Jun-hua. Emotional Expression in the Product Design[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(4): 32-34, 38.
- [25] 唐纳德·A·诺曼. 设计心理学3情感化设计[M]. 何笑梅, 欧秋杏, 译. 北京: 中信出版社. 2015.
- NORMAN A D. Design Psychology 3 Emotional Design [M]. HE Xiao-mei, OU Qiu-xing, Translate. Beijing: Citic Press. 2015.
- [26] 余劲松, 王尚书. 基于AHP层次分析法的命题性商业海报设计[J]. 包装工程, 2020, 41(16): 260-265.
- YU Jin-song, WANG Shang-shu. Propositional Commercial Poster Design Based on AHP[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(16): 260-265.
- [27] 宋晓林. 基于层次分析法的城市老居住区外环境适老化改造设计研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2020.
- SONG Xiao-lin. Research on the Design of Aging-Adaptive Transformation of the Environment Outside the Old Urban Residential Area Based on Analytic Hierarchy Process[D]. Qingdao: Qingdao Tehcnology University, 2020.
- [28] 李伟湛, 杨先英. 基于模块化功能分解的大型复杂构造产品造型设计方法[J]. 包装工程, 2019, 40(16): 134-139.
- LI Wei-zhan, YANG Xian-ying. The Modeling Design Method for the Large Complex Products Based on Modular Functional Decomposition[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(16): 134-139.
- [29] HSIEH H T, CHEN J L. Using TRIZ Methods in Friction Stir Welding Design[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 46(9): 1085-1102.
- [30] 刘春蕾. 基于模块化设计的地震救灾产品设计研究——以救灾推车为例[D]. 青岛: 青岛大学, 2021.
- LIU Chun-lei. Research on Design of Earthquake Relief Products Based on Modular Design— Taking Disaster Relief Cart as an Exam-Ple[D]. Qingdao: Qingdao University, 2021.

责任编辑: 陈作