

[文章编号] 1003-4684(2023)06-0092-08

基于 QFD 和前景理论的产品设计评价与决策

王 军, 吴 晓

(湖北工业大学工业设计学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 为了提高企业产品设计决策的科学性和合理性,使企业在激烈的市场竞争中处于优势地位,提出基于质量功能展开(QFD)和前景理论的产品设计评价模型。通过模糊层次分析法(FAHP)构建用户需求体系计算需求权重,将用户需求转化为产品设计评价指标,结合用户需求和设计评价指标构建质量屋模型,并根据两者相关性确定评价指标权重。在直觉模糊语言环境下引入前景理论来表达决策者在不同风险前景下的心理偏好行为,构建正、负前景矩阵,并确定各个备选方案在不同指标下的总前景值,继而计算各方案的综合前景值,根据计算结果对方案进行排序优选。以儿童旅行箱包产品为例进行评价优选,对决策结果进行验证,证明该评价模型的可行性,为今后企业产品设计决策提供新思路。

[关键词] 产品设计评价; 方案决策; FAHP; QFD; 直觉模糊集; 前景理论; 儿童旅行箱包

[中图分类号] TB472 **[文献标识码]** A

在复杂多变的市场竞争环境中,企业通过工业设计来实现新产品的快速研发和创新,以此抢占更高的市场份额。工业产品设计决策作为设计过程的关键环节,评选方案的优劣将直接影响后续制造、销售、使用及回收等多个重要方面。因此合理、科学的决策有助于促进新产品研发战略的顺利实施,降低产品市场销售风险,提高企业内部核心竞争力。

产品设计方案评价属于多属性决策问题,设计方案的选择涉及定性与定量评价信息。王志愿等^[1]集成熵权法和多准则妥协解排序法(vlsekriterijumska optimizacija i kompromisno resenje, VIKOR)对家用净化消毒产品进行定量和定性相结合的评价方法。张婉玉等^[2]引入 Delphi 法和离差最大化法,提高服务机器人的造型设计评价的科学性。李雪瑞等^[3]在指标赋权中融合 AHP 和熵权法,通过主、客观相结合的方法,减少了专家意见的主观性,并结合灰色关联分析法选出最佳方案。由于人的认知具有局限性,在评价时往往具有模糊性和不确定性。以上这些方法在对指标进行评价时,没有考虑到指标的主观性以及精确数难以反映其综合评价信息。为了表达评价过程中的模糊性信息,杨梅等^[4]在打分过程中引入三角模糊数进行评价,解决评价过程中的主观模糊性。吴涛等^[5]将区间二型模糊集运用在复杂多属性决策活动中,陈帼鸾等^[6]运用直觉模糊

集将评价变量转化为更符合实际情况的直觉模糊数,降低了评价的模糊性。考虑到直觉模糊集在处理模糊和复杂信息方面的优势,本研究使用直觉模糊集作为产品设计方案评价工具。

在以上研究中,多属性决策信息集成通常用逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)和 VIKOR 法等。在这个过程中,决策者被当作“完全理性人”。但在实际中,产品决策人员经常面临快速变化的消费市场和不确定的环境,且决策结果常常受到个人主观风险偏好的影响。前景理论表明决策人员根据某些参考点而不是实际价值来评估方案,从非理性的角度来探讨决策者个人风险偏好因素对决策结果的影响。目前,许多领域已将前景理论引入到多属性决策中。杨延璞等^[7]通过前景理论反映不同决策阶段下,决策者对方案感知的心理偏好行为,从而构建前景价值函数,实现决策信息的有效集结;邢青松等^[8]针对复杂产品设计变更决策问题,从有限理性视角出发,结合前景理论,对设计人员进行行为研究,构建了工序关联下的设计任务变更决策模型;陈艳芬等^[9]针对决策体验引导的交互设计问题,通过前景理论分析决策者的风险偏好行为,构建决策体验引导设计模型,从而减少用户在移动理财决策活动中的认知成本。

[收稿日期] 2022-12-13

[基金项目] 湖北省教育厅社会科学研究项目(HBCY1906)

[第一作者] 王 军(1970-),男,湖北武汉人,湖北工业大学副教授,研究方向为产品创新设计、儿童娱乐产品设计。

[通信作者] 吴 晓(1997-),女,湖北黄冈人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为工业设计、儿童娱乐产品设计。

由于产品设计决策最终的目的是投入市场,而现在的消费市场由顾客主导,因此在设计决策过程中,重视用户需求对决策结果的影响是至关重要的。彭定洪等^[10]为了使产品设计方案质量满足用户期望,利用模糊 KANO 模型以问卷的形式筛选相关指标,建立以用户需求为导向的评价指标体系,提高决策结果的用户满意度。杨东等^[11]引入质量功能展开 (quality function deployment, QFD),通过质量屋将用户需求权重信息转化为产品质量特性信息,提高绿色产品设计方案的用户满意度。QFD 作为系统性的决策技术,可以在最短时间内较为准确地将顾客需求转换为产品特性,减少产品开发周期。

基于此,本文提出的针对产品设计评价与决策问题与现有方法之间的差异在于:1)提出一种基于 QFD 和前景理论的产品设计评价与决策方法,该方法在直觉模糊语言环境下,整合 QFD 和前景理论,在构建用户评价指标时融入用户需求信息,并通过前景理论高效处理决策者的主观风险偏好问题;2)将市场营销学中的 QFD 和行为经济学中的前景理论相结合,实现了跨学科整合,提高了本文的逻辑性、结构性和整体性;3)采用定性与定量结合的方法,提高决策过程的科学性。

1 研究框架

科学地处理评价信息有助于提高决策结果的客观性。本研究从评价指标构建和方案评价优选两个部分对产品进行综合评价,运用 QFD 将用户需求转化为设计评价指标,提高决策结果的用户满意度,增强企业竞争力。根据前景理论来分析决策过程中决策者主观风险偏好行为因素,对产品进行决策优选,提高决策过程的科学性。具体评价流程见图 1。

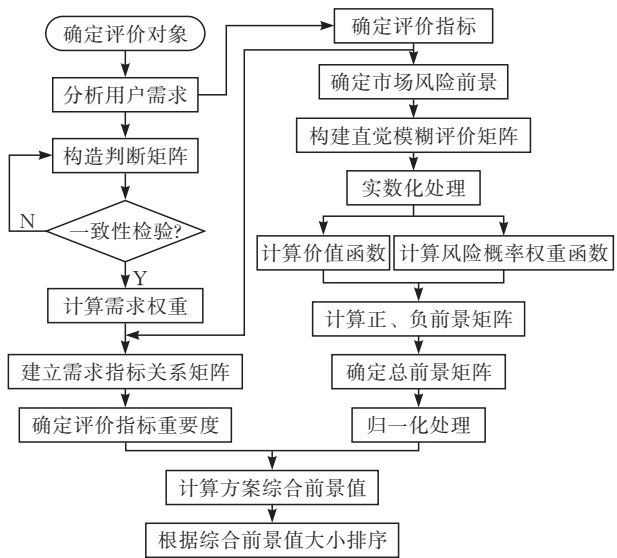


图 1 基于 QFD 和前景理论的产品设计评价流程

2 QFD 评价指标分析

质量功能配置作为一种由顾客驱动的产品设计规划工具,其目的是在产品概念设计阶段创造更高的客户满意度。质量功能配置的核心是质量屋,通过构建由用户需求和产品技术特性组成的基本框架图,从而实现用户需求到产品技术特性的转换和量化分析。

2.1 FAHP 用户需求权重计算

在 QFD 模型中,用户需求的评分标准往往具有很强的主观模糊性,从而降低计算结果的精确性,导致客户满意度下降。为了避免这一问题,文中采用 FAHP 来确定用户需求权重,具体步骤如下:

1)通过对用户需求进行细致深入的分析,构建用户需求指标的递进式模糊层次分析模型,设有 S 名顾客根据 0.1~0.9 的标度原则对需求指标进行两两比较,标度取值参考文献^[12]。并构建 S 个用户需求的互补判断矩阵:

$$R = [a_{ij}]_{m \times m} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中, a_{ij} 为第 i 个用户需求相较于第 j 个用户需求的重要性;其中, $a_{ij} + a_{ji} = 1$ ($1 \leq i, j \leq m$)。

2)为了避免因人为因素造成的前后不一现象,因此有必要对判断矩阵进行一致性检验。模糊互补判断矩阵一致性检验通过的充要条件是任意两行之间对应元素之差为常数。

3)文中采用徐泽水^[13]在文献中提出的求解模糊互补判断矩阵权重向量的通用公式,对判断矩阵进行层次单排序计算。公式如下:

$$e_i = \frac{\sum_{j=1}^m a_{ij} + \frac{m}{2} - 1}{m(m-1)} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式中, e_i 为各单层次用户需求。

4)将用户需求下各准则层的需求权重分别与其子准则层的需求权重相乘,计算出各子需求的综合权重^[14]

$$C_i = U_i \times U_{ij} \quad (3)$$

式中, U_i 为准则层权重; U_{ij} 为子准则层权重。

2.2 QFD 计算评价指标权重

根据具体产品设计方案的特征,挑选具有代表性的评价指标。将上文得出的用户需求权重和设计评价指标导入质量屋模型中,分析用户需求和设计评价指标之间的关联程度。通过比例赋值形成关联矩阵。具体步骤如下。

1)根据用户需求计算评价指标的重要性权

数为：

$$T_j = \sum_{i=1}^n C_i \times k_{ij} \quad (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m) \quad (4)$$

式中， k_{ij} 为用户需求和评价指标的关联度； n 为用户需求的数量； m 为评价指标的数量。

2) 计算各评价指标的权重为：

$$w_j = T_j / \sum_{i=1}^n T_j \quad (1 \leq j \leq m) \quad (5)$$

3 前景理论方案优选

前景理论 (Prospect theory, PT) 以心理学的角度来解决经济学领域的问题, 将复杂非理性的人类行为融入到理性决策过程中^[15]。在传统期望效用理论中的基础上, 进一步提出决策者通常选择让自己最满意的方案, 而不是结果效用最大。并且, 决策者在面对损失和收益时的风险偏好是不一致, 通过与参考点进行对比衡量, 在面对收益时, 决策者表现为风险厌恶。在面对损失时, 表现为风险偏好。而参考点的选择取决于决策者的主观意愿和个人知识经验。由于其能够反映决策者不同的主观风险偏好, 已被广泛地运用到各个领域的决策中。

3.1 构造评价矩阵

在工业产品设计方案优选决策体系中, 产品设计方案的评价指标多为造型、功能、色彩、结构等难以测量其具体的数值。因此, 评审专家根据其过往经验来判断指标重要性。但在实际决策过程中, 评审专家对评价指标的态度不是“非黑即白”的, 而是带有一定的犹豫度, 单一精确数不能完全反映复杂的决策心理活动。因此, 引入直觉模糊集来处理工业产品设计决策中的不确定性问题。确定专家评价矩阵步骤如下：

1) 设有 x 名专家在产品未来会面临的风险情况下对 k 个设计方案的 m 项指标进行直觉模糊评价, 构建 k 个风险前景下的直觉模糊评价矩阵 $D = (d_{ij})_{m \times n}$ 。其中 $d_{ij} = \langle u_A(x), v_A(x) \rangle$ 为方案 i 在指标 j 下的直觉评价模糊数, $u_A(x)$ 和 $v_A(x)$ 分别代表净支持程度和净反对程度, 且满足条件 $0 \leq u_A(x) + v_A(x) \leq 1, x \in N$ 。

2) 通过记分函数对直觉模糊数 d_{ij} 进行实数化处理, 得到 d_{ij} 的实数值

$$s_{ij} = u_A(x) - v_A(x) \quad (6)$$

3) 根据 s_{ij} 的分值, 可以判断决策专家的心理风险偏好和净支持程度。从而得到不同风险前景下的实数化矩阵 $S = (s_{ij})_{m \times n}$ 。

3.2 确定前景矩阵

在实际工业产品设计决策过程中, 由于现代工业产品设计决策活动的跨学科性、多领域性特征, 评

审专家在进行工业产品设计决策活动时需要融合处理多学科之间的复杂信息。因此, 评审专家个人的主观风险偏好因素对决策结果具有直接影响。基于此, 本文利用前景理论来表达评价过程中的专家主观风险偏好行为。具体流程如下。

1) 计算价值函数。在前景理论中, 风险偏好由价值函数和概率权重反映^[16]。价值函数是将决策者的主观风险态度感受考虑在内, 通过参考点来衡量收益和损失。此处为了使参考点的选择更符合决策流程, 减少其主观随意性。结合直觉模糊集的取值特征, 采用 0 为参考点。计算其价值函数为：

$$c(x) = \begin{cases} x^a, & x \geq 0 \\ -\sigma(-x)^\beta, & x < 0 \end{cases} \quad (7)$$

式中, x 为收益或损失值; a 为风险偏好系数; β 为风险厌恶系数; σ 为风险敏感系数。当 $\sigma > 1$ 时, 表示决策者对损失更敏感。在前景理论中决策者对损失比收益更敏感^[17]。

2) 确定概率决策权重。决策者依据风险状况发生的概率, 给出自己的主观判断, 计算决策者分别面对收益和损失时的决策权重函数为：

$$h^+(p_k) = \frac{p_k^\gamma}{(p_k^\gamma + (1 - p_k)^\gamma)^{\frac{1}{\lambda}}} \quad (8)$$

$$h^-(p_k) = \frac{p_k^\delta}{(p_k^\delta + (1 - p_k)^\delta)^{\frac{1}{\delta}}} \quad (9)$$

式(8)、(9)中, γ 为风险收益系数; δ 为风险损失系数; p_k 为风险概率权重。

3) 根据价值函数和概率决策权重, 确定决策者在面对收益和损失时的不同方案前景值。根据正、负前景价值, 计算出方案的总前景值为：

$$W^+ = \sum_{i=1}^n h^+(p_k) c(x_i) \quad (10)$$

$$W^- = \sum_{i=1}^n h^-(p_k) c(x_i) \quad (11)$$

$$W = W^+ + W^- \quad (12)$$

式(10)–(12)中: W^+ 为方案收益前景值; W^- 为方案的损失前景值; W 为方案的总前景值。

4) 根据以上步骤, 计算方案综合前景值, 并对方案进行优选。

$$D_i = \sum_{j=1}^n w_j W \quad (13)$$

4 实例验证

现有一校企合作项目需要对三款儿童旅行箱包的设计方案进行快速评价, 在评价过程中由于儿童旅行箱包属于快消类产品, 需要考虑到市场风险前景。经过市场调研后挑选出三款与待评价方案的设计相似的产品, 用来验证基于 QFD 和前景理论的

产品设计评价决策模型的可行性。从已投入市场的产品中挑选三款不同设计类型的儿童旅行箱包,如图 2 所示。



图 2 儿童旅行箱包评价方案

4.1 儿童旅行箱包用户需求及权重分析

由于儿童产品的购买者大多不是用户本人,且不同年龄段的儿童有不同的身心发展特征,这里选取部分目标产品资深顾客和学龄期儿童作为调查对象,调查对象资料汇总如表 1 所示。

表 1 调查对象资料汇总

	调查人群	
	资深顾客	学龄期儿童
年龄	26—35 岁	6—12 岁
工作	白领、公务员、教师	学生
受教育程度	本科、硕士	小学
人数	15 人	20 人
购买次数	2—4 次	2—4 次

发放并回收 132 份有效问卷,实地走访当地实验小学进行相关访谈、收集购物平台上儿童箱包售后反馈信息等方式获取儿童旅行箱包用户需求信息。由 8 名工业设计小组人员将收集到的信息进行整理筛选,得出平稳结实、操作方便、有机形态等 16 项用户需求。运用亲和图法对用户需求进行组合分类,将 16 项用户需求分为四大类,分别为:安全性、功能性、趣味性和经济性。构建目标用户需求层次体系,如图 3 所示。

考虑到不同层次的需求所需的打分人员的类型不同,因此,邀请了专家、儿童用户、儿童家长和产品设计师共同完成打分活动,共计 26 人。26 名打分人员的个人简介和打分任务如表 2 所示。

表 2 打分人员资料汇总

打分人员	简介	打分任务	人数
专家	儿童领域的专家	安全性需求、趣味性需求、功能性需求、经济性需求	9 人
产品设计师	资历在 3—5 年的年轻设计师	功能性需求、趣味性需求、安全性需求	7 人
儿童家长	购买过两次以上的儿童家长	经济性需求、安全性需求	5 人
儿童用户	年龄在 6—12 岁的儿童	功能性需求、趣味性需求	5 人

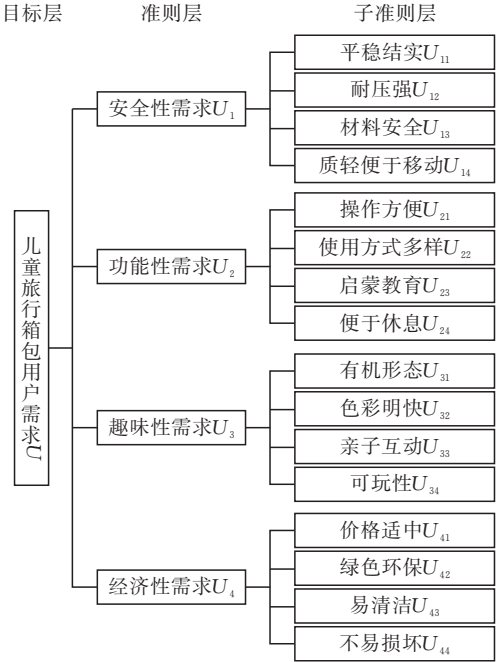


图 3 儿童旅行箱包用户需求层次结构

根据构建的需求层次结构图,制作需求指标层次分析问卷由打分人员对不同需求进行两两比较,并根据式(1)采用 0.1~0.9 标度法打分,构造用户需求互补判断矩阵。计算矩阵相邻两行之间的差值对矩阵进行一致性检验,经计算,准则层的相邻行差为:0.15,0.05,0.15;子准则层的相邻行差为: U_1 : 0.25,0.15,0.15。 U_2 : 0.2,0.1,0.2。 U_3 : 0.2,0.15,0.25。 U_4 : 0.15,0.3,0.1。经检验,同一行元素对下一行元素的差值均为同一常数,一致性检验通过。根据式(2)计算各单层次矩阵为:

$$U = \begin{pmatrix} 0.308 & 0.258 & 0.242 & 0.192 \\ 0.300 & 0.217 & 0.267 & 0.217 \\ 0.300 & 0.233 & 0.200 & 0.267 \\ 0.204 & 0.279 & 0.225 & 0.308 \\ 0.229 & 0.179 & 0.279 & 0.313 \end{pmatrix}$$

根据式(3)将各准则层与其子准则层相乘得到各子准则层用户需求总权重,结果如表 3 所示。

由表 3 可知准则层的重要性排序为:

$$U_1 > U_2 > U_3 > U_4$$

由于产品的用户为儿童,因此,安全性需求为用户需求的基本需求,在满足安全需求的基础上,儿童旅行箱包的功能性需求需要被满足。

其次,用户期待产品能够在外观和功能上有趣,从而吸引用户的注意。经济性需求权重占比最低,对用户满意度影响较小。在安全性需求中,平稳结实和材料安全的重要性大于耐压强和质轻便于移动。

对于儿童用户,材料安全无毒和产品性能稳定是至关重要的;在功能性需求中,直观简便的操作

方式能够使儿童快速熟悉产品，另外希望儿童旅行箱包方便减缓疲劳；在趣味性需求中，产品的可玩性和色彩搭配是首先要被满足的需求。作为一款旅行箱包，用户期待能附加玩耍的乐趣；在经济性需求中，用户更看重的是不易损坏和容易清洁，作为旅行途中使用的产品，不易损坏能够减少途中因产品质量而造成的突发状况。容易清洁能够保证儿童使用过程中的安全卫生问题。

表 3 模糊层次分析法用户需求权重计算结果

准则层	FAHP 权重	子准则层	FAHP 权重
U_1	0.308	U_{11}	0.0924
		U_{12}	0.0668
		U_{13}	0.0822
		U_{14}	0.0668
U_2	0.258	U_{21}	0.0774
		U_{22}	0.0601
		U_{23}	0.0516
		U_{24}	0.0689
U_3	0.242	U_{31}	0.0494
		U_{32}	0.0675
		U_{33}	0.0545
		U_{34}	0.0745
U_4	0.192	U_{41}	0.0440
		U_{42}	0.0344
		U_{43}	0.0536
		U_{44}	0.0601

4.2 确定儿童旅行箱包评价指标及权重

通过 QFD 构建质量屋来映射用户需求与评价指标之间的对应关系矩阵，确保指标权重符合用户需求。为了使儿童旅行箱包的设计评价指标更加科学化和规范化，在建立评价指标时应遵循系统性、全面性、科学性、实用性、明确性、整体性、可比性和可操作性原则。建立由 QFD 小组将儿童旅行箱包用户需求转化为儿童旅行箱包设计评价指标，并结合儿童箱包设计方案的特点，如：用户需求“平稳结实”对应到设计评价指标是产品的结构和工艺等指标，用户需求“操作方便”对应到的是产品的结构、功能、交互方式(交互)、人机尺寸(人机)、便携等指标。一一分解对应完成之后整理出结构(I_1)、材料(I_2)、工艺(I_3)、色彩(I_4)、形态(I_5)、功能(I_6)、交互(I_7)、便携(I_8)、易用(I_9)、趣味(I_{10})、益智(I_{11})、人机(I_{12})共 12 项评价指标。

将用户需求和权重值代入质量屋的左墙，将设计评价指标填入质量屋的屋檐，屋子的主体部分由左墙和屋檐的关联度构成。关联度分为三个级别：“强关联度”(○)、“中关联度”(●)、“弱关联度”(▲)，相应分值分别为：5 分，3 分，1 分。关联程度由工业设计小组进行评定，最后根据式(4)和式(5)计算评价指标的重要性权数和权重值，将计算结果填入质量屋的地板。最终结果如图 4 所示。

用户需求		评价指标												
		需求权重	结构	功能	色彩	交互	材料	人机	易用	形态	趣味	益智	便携	工艺
安全性需求	平稳结实	0.0924	○			▲	○		▲	○			●	○
	耐压强	0.0668	○				○		▲	▲			▲	
	材料安全	0.0822					○		▲					
	质轻便于移动	0.0668		▲		▲	○	▲	○			▲	○	▲
功能性需求	操作方便	0.0774	●	●		○		○	○	▲	▲	●	○	
	使用方式多样	0.0601	▲	○		○		●			○	○		▲
	启蒙教育	0.0516		○	●	○				●	○	○		
	便于休息	0.0494	▲	○		●	▲	○	▲	○	▲		●	
趣味性需求	有机形态	0.0494	▲					▲		○	●	▲	▲	○
	色彩明快	0.0675			○						●			
	亲子互动	0.0545	▲	○		○		●			○	○		
	可玩性	0.0745	▲	○		○		▲		●	○	○		
经济性需求	价格适中	0.0440	▲	▲			○							●
	绿色环保	0.0344					○							
	易清洁	0.0536	▲				○			○				
	不易损坏	0.0601	○			▲	●			▲	▲		●	●
评价指标重要性权数			1.734	1.891	0.492	2.017	2.450	1.266	1.031	1.904	1.761	1.552	1.501	1.148
评价指标权重			0.092	0.101	0.026	0.108	0.131	0.068	0.055	0.102	0.094	0.083	0.080	0.061

图 4 用户需求和评价指标关系矩阵

4.3 构建专家评价矩阵

考虑到产品评价指标的复杂性和多样性，邀请 16 名工业产品设计领域专家完成此次设计评价任

务。16 名工业设计专家根据自己经验讨论出 4 种产品投放市场后面临的风险状况为： Z_1 (质量风险)、 Z_2 (经济风险)、 Z_3 (政策风险)、 Z_4 (市场风险)。

由于这四种风险前景很难算出其客观发生概率,因此其相应的概率权重和描述信息(表 4)。此使用主观概率数据,即风险概率由专家讨论得出,

表 4 风险状况概念说明及其相应权重

风险状况	概念说明	相应权重
Z_1	在前期,由于设计师考虑不周、生产过程把关不严等原因,造成产品在保质期内因自身的缺陷无法使用。需要在设计阶段考虑设计工艺的适应性和成熟度,以及产品材料的耐用性和产品结构的稳固性	0.3
Z_2	企业在新产品投入市场后获取的收益无法支撑其前期设备、劳务等成本支出,新产品处于亏损状态,因此造成企业出现经济风险。这就要求设计师在前期概念设计阶段对成本进行把控。如对产品加工工艺、结构装配、运输存储等进行选取、简化	0.4
Z_3	新产品在推向社会后,由于其功能、技术、材料等不符合消费者、国家社会利益和生态环境利益等,受到国家政策制约不能正常推向市场而产生风险	0.2
Z_4	因消费者接受新产品的程度较低造成企业发生市场风险。企业对市场定位不准,产品不符合市场需求或是需求不够充分。在前期调研阶段不够深入。产品的目标客户及其消费需求,或因当地的客观地理环境、生活习惯造成的特殊需求也需进行充分的调研	0.1

儿童旅行箱包的评价指标均为主观性指标,其相应的分值由专家打分获得。邀请 16 名设计相关行业专家对 3 款方案的 12 项指标在不同的风险前景下进行逐一评分。项目管理人员根据评分结果剔除极端数据、无效数据后,结果采用专家群体打分的

平均值作为各方案的评价结果,形成直觉模糊评价矩阵,见表 5。为简化后续计算程序,利用式(6)将直觉模糊数进行实数化处理,得到 4 个不同风险状态下的实数评价矩阵。即:

$$\mathbf{S}_1 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.2 & -0.1 & -0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.2 \\ 0.4 & 0.4 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0.5 & 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0.3 & -0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0.6 & 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{S}_2 = \begin{pmatrix} -0.5 & -0.2 & -0.1 & -0.3 & -0.5 & -0.7 & -0.6 & -0.7 & -0.5 & -0.6 & -0.4 & -0.7 \\ 0 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ -0.3 & 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.7 & -0.1 & -0.1 & 0 & 0 & -0.1 & 0 & -0.3 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{S}_3 = \begin{pmatrix} -0.1 & -0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0.2 & 0.5 & 0.4 & 0.5 \\ -0.7 & 0.4 & 0.6 & 0.1 & 0.5 & 0 & -0.6 & -0.5 & -0.3 & -0.2 & -0.1 & -0.2 \\ 0.4 & 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.5 & 0.3 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{S}_4 = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.4 & -0.1 & -0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0.2 \\ -0.3 & 0.1 & -0.8 & -0.8 & -0.8 & 0.6 & 0.8 & 0.6 & 0.6 & -0.1 & -0.3 & -0.1 \\ 0 & 0.3 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0.3 & 0 & 0.2 & 0 \end{pmatrix}$$

表 5 不同风险前景下的直觉模糊评价

评价 指标	质量风险			经济风险			政策风险			市场风险		
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3
I_1	$\langle 0.3,0.5 \rangle$	$\langle 0.5,0.1 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.2,0.7 \rangle$	$\langle 0.3,0.3 \rangle$	$\langle 0.2,0.5 \rangle$	$\langle 0.4,0.5 \rangle$	$\langle 0.1,0.8 \rangle$	$\langle 0.7,0.3 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.2,0.5 \rangle$	$\langle 0.4,0.4 \rangle$
I_2	$\langle 0.4,0.3 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.5,0.1 \rangle$	$\langle 0.3,0.5 \rangle$	$\langle 0.4,0.2 \rangle$	$\langle 0.4,0.3 \rangle$	$\langle 0.3,0.5 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.4,0.3 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.5,0.4 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$
I_3	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.3,0.4 \rangle$	$\langle 0.3,0.1 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.7,0.1 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.3,0.4 \rangle$	$\langle 0.1,0.9 \rangle$	$\langle 0.4,0.3 \rangle$
I_4	$\langle 0.6,0.3 \rangle$	$\langle 0.6,0.1 \rangle$	$\langle 0.4,0.1 \rangle$	$\langle 0.2,0.5 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.6,0.1 \rangle$	$\langle 0.5,0.3 \rangle$	$\langle 0.5,0.4 \rangle$	$\langle 0.4,0.1 \rangle$	$\langle 0.2,0.3 \rangle$	$\langle 0.1,0.9 \rangle$	$\langle 0.5,0.3 \rangle$
I_5	$\langle 0.7,0.2 \rangle$	$\langle 0.4,0.4 \rangle$	$\langle 0.7,0.1 \rangle$	$\langle 0.1,0.6 \rangle$	$\langle 0.6,0.1 \rangle$	$\langle 0.1,0.8 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.6,0.1 \rangle$	$\langle 0.5,0.3 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.1,0.9 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$
I_6	$\langle 0.5,0.4 \rangle$	$\langle 0.6,0.1 \rangle$	$\langle 0.6,0.3 \rangle$	$\langle 0.1,0.8 \rangle$	$\langle 0.7,0.1 \rangle$	$\langle 0.3,0.4 \rangle$	$\langle 0.7,0.1 \rangle$	$\langle 0.5,0.5 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.4,0.1 \rangle$	$\langle 0.7,0.1 \rangle$	$\langle 0.3,0.1 \rangle$
I_7	$\langle 0.6,0.4 \rangle$	$\langle 0.5,0.3 \rangle$	$\langle 0.5,0.3 \rangle$	$\langle 0.1,0.7 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.1,0.2 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.1,0.7 \rangle$	$\langle 0.5,0.3 \rangle$	$\langle 0.4,0.3 \rangle$	$\langle 0.9,0.1 \rangle$	$\langle 0.7,0.2 \rangle$
I_8	$\langle 0.4,0.5 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.1,0.8 \rangle$	$\langle 0.4,0.4 \rangle$	$\langle 0.1,0.1 \rangle$	$\langle 0.3,0.3 \rangle$	$\langle 0.1,0.6 \rangle$	$\langle 0.4,0.1 \rangle$	$\langle 0.5,0.1 \rangle$	$\langle 0.8,0.2 \rangle$	$\langle 0.6,0.3 \rangle$
I_9	$\langle 0.4,0.5 \rangle$	$\langle 0.4,0.3 \rangle$	$\langle 0.5,0.4 \rangle$	$\langle 0.2,0.7 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.1,0.1 \rangle$	$\langle 0.5,0.3 \rangle$	$\langle 0.2,0.5 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.7,0.1 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$
I_{10}	$\langle 0.7,0.3 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.3,0.1 \rangle$	$\langle 0.1,0.7 \rangle$	$\langle 0.4,0.3 \rangle$	$\langle 0.4,0.5 \rangle$	$\langle 0.6,0.1 \rangle$	$\langle 0.4,0.6 \rangle$	$\langle 0.3,0.1 \rangle$	$\langle 0.3,0.2 \rangle$	$\langle 0.3,0.4 \rangle$	$\langle 0.3,0.3 \rangle$
I_{11}	$\langle 0.6,0.3 \rangle$	$\langle 0.2,0.3 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.2,0.6 \rangle$	$\langle 0.5,0.3 \rangle$	$\langle 0.3,0.3 \rangle$	$\langle 0.6,0.2 \rangle$	$\langle 0.1,0.2 \rangle$	$\langle 0.7,0.2 \rangle$	$\langle 0.4,0.3 \rangle$	$\langle 0.2,0.5 \rangle$	$\langle 0.4,0.2 \rangle$
I_{12}	$\langle 0.5,0.3 \rangle$	$\langle 0.4,0.2 \rangle$	$\langle 0.6,0.3 \rangle$	$\langle 0.1,0.8 \rangle$	$\langle 0.2,0.2 \rangle$	$\langle 0.2,0.5 \rangle$	$\langle 0.6,0.1 \rangle$	$\langle 0.1,0.3 \rangle$	$\langle 0.5,0.2 \rangle$	$\langle 0.4,0.2 \rangle$	$\langle 0.4,0.5 \rangle$	$\langle 0.3,0.3 \rangle$

4.4 计算前景矩阵

根据上文确定的参考点为 0,并根据文献[18]

可知,风险态度系数的取值为 $a = \beta = 0.88$,风险敏感系数为 $\sigma = 2.25$,且满足 $\gamma = 0.61$, $\delta = 0.72$,此时

的系数和经验数据比较接近。根据式(7)－(9)计算各个方案在不同指标下的价值函数和概率权重函数,并在此基础上,结合式(10)和(11)得出各方案的正前景价值和负前景价值(表 6)。

表 6 各个方案在不同指标下的正、负前景值

评价 指标	正前景价值			负前景价值		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
I ₁	－0.639	－0.432	－0.030	－0.684	－0.399	－0.050
I ₂	－0.219	0.373	0.290	－0.239	0.378	0.289
I ₃	0.062	0.022	0.380	0.061	0.071	0.387
I ₄	－0.170	－0.009	0.447	－0.183	0.048	0.457
I ₅	－0.099	－0.002	－0.259	－0.137	0.051	－0.309
I ₆	－0.335	0.528	0.162	－0.391	0.536	0.149
I ₇	－0.313	－0.015	0.132	－0.355	－0.122	0.112
I ₈	－0.620	－0.058	0.297	－0.678	－0.059	0.291
I ₉	－0.401	0.086	0.197	－0.449	0.087	0.188
I ₁₀	－0.223	－0.038	0.030	－0.264	－0.020	0.024
I ₁₁	－0.121	－0.227	0.297	－0.150	－0.204	0.292
I ₁₂	－0.344	－0.120	－0.088	－0.396	－0.107	－0.108

根据式(12)得出总的前景价值矩阵,将总的前景评价矩阵进行归一化处理,得到前景评价矩阵为:

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 0.21 & 0.52 \\ 0.36 & 0.87 & 0.80 \\ 0.61 & 0.59 & 0.88 \\ 0.41 & 0.57 & 0.93 \\ 0.46 & 0.58 & 0.32 \\ 0.25 & 1.00 & 0.69 \\ 0.27 & 0.54 & 0.66 \\ 0.01 & 0.51 & 0.80 \\ 0.20 & 0.63 & 0.72 \\ 0.35 & 0.53 & 0.58 \\ 0.44 & 0.37 & 0.80 \\ 0.24 & 0.46 & 0.47 \end{pmatrix}^T$$

根据式(13)计算各方案的综合前景值,得到各方案的综合前景矩阵(表 7)。

表 7 各方案综合前景值

方案	综合前景值	排序
X ₁	0.287	3
X ₂	0.570	2
X ₃	0.666	1

根据表 7 可知,方案 3 的综合前景值最高。因此可判断方案 3 为最优方案,其次是方案 2,方案 1 最差。

4.5 结果检验

为了验证基于 QFD 和前景理论模型的科学性和合理性,在亚马逊网站上搜索前文评价的三款儿童旅行箱包的评价信息。亚马逊购物平台作为国际第一大购物平台,流量高,覆盖国家范围广,又因其独特的 A9 推送算法,能结合用户喜好准确推送让

消费者感兴趣的产品,其核心是让销量高的产品有更高的曝光度。提取 3 款儿童箱包在亚马逊平台上的评分数据,评分等级分为:不太满意、一般、较满意、满意和很满意,相应分值为:1 分,2 分,3 分,4 分,5 分。根据系统评分算法得到 3 款产品的综合评分(表 8)。

表 8 各方案综合评分

方案	评分人数	评分	排序
X ₁	238	4.5	3
X ₂	312	4.6	2
X ₃	471	4.7	1

根据表 8 可知,亚马逊平台上的购买用户,对方案 3 的认可度最高,其次是方案 2,方案 1 的满意值较低。3 款方案用户反馈的综合排序与本文所提方法排序一致,因此验证了本文所提方法的科学性和合理性。

5 结论和展望

为了实现产品设计决策问题的快速求解,提高企业在市场上的竞争力,并满足用户需求。针对工业产品设计决策问题,提出基于 QFD 和前景理论的产品设计评价和决策模型。

结合 QFD 质量功能展开法建立用户需求和评价指标之间的有效映射,并根据用户需求获得指标权重,有效解决产品评价过程中用户需求信息缺失问题,提高用户满意度。在方案评定部分,考虑到决策人员在面对风险时的有限理性行为。引入前景理论来反映不同市场风险前景下,决策人员的参考依赖和损失厌恶行为,使决策过程更符合人们本身的决策模式,并符合市场前景预期。运用直觉模糊数代替精确数来描述不确定环境下的语言偏好信息,保留了较多的评价信息,避免因信息缺失导致的决策失误。通过对儿童旅行箱包设计方案进行评价优选,说明该评价模型的可行性,并通过结果验证说明其科学性和合理性。

文中存在一定的不足,如风险前景概率权重和评价指标构建均由有经验的人讨论得出,存在一定的主观性。未来的研究重点是借助计算机深度学习及新兴的人工智能技术来弥补依据传统经验打分的不足。

[参 考 文 献]

[1] 王志愿,闫磊磊,邓迎寅,等.基于熵权与 VIKOR 方法的设计方案评价与优选[J].机械设计,2022,39(02): 154-160.

[2] 张婉玉,周春燕,陈宇.改进 Delphi 和多属性决策的老年服务机器人造型设计评价[J].机械设计,2020,37(10):134-138.

[3] 李雪瑞,侯幸刚,杨梅,等.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(04):670-679.

[4] 杨梅,丛扬帆,李雪瑞.融合 FAHP 和 TOPSIS 的适老化产品综合评价与优选方法:以老年智能手环为例[J].图学学报,2020,41(03):469-479.

[5] 吴涛,李燕飞,郭海艳.基于区间二型犹豫熵与风险偏好的多属性决策方法[J].安徽大学学报(自然科学版),2022,46(01):7-14.

[6] 陈帼鸾,田森平.基于直觉模糊 VIKOR 的混合多属性群决策方法[J].控制工程,2019,26(06):1204-1210.

[7] 杨延璞,雷紫荆,兰晨昕,等.融合贝叶斯网络与前景理论的产品工业设计多阶段决策方法[J].图学学报,2022,43(03):537-547.

[8] 邢青松,梁闯,梁学栋.工序关联下考虑主体心理感知的复杂产品设计变更决策优化[J].中国机械工程,2022,33(03):366-377.

[9] 陈艳芬,肖狄虎.基于前景理论的移动理财决策体验引导设计[J].包装工程,2018,39(10):209-214.

[10] 彭定洪,黄子航,彭勃.用户需求导向的产品设计方案质量评价模型[J].小型微型计算机系统,2021,42(01):218-224.

[11] 杨东,柴慧敏.基于 QFD 和案例推理的绿色产品设计方案选择研究[J].科技管理研究,2018,38(16):251-259.

[12] 董志斌,庞新宇,李博,等.基于模糊层次分析法的刮板输送机中部槽中板材料选择[J].机械设计与制造,2021(03):248-252.

[13] 徐泽水.模糊互补判断矩阵排序的一种算法[J].系统工程学报,2001(04):311-314.

[14] 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.

[15] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Prospect theory: Analysis of decision under risk[J]. Econometria, 1979, 47:263-291.

[16] 包顺,徐鑫,肖箭,等.Pythagorean 犹豫模糊灰色关联前景多属性决策方法[J].计算机工程与应用,2020,56(18):119-123.

[17] 王正新,党耀国,裴玲玲,等.基于累积前景理论的多指标灰关联决策方法[J].控制与决策,2010,25(02):232-236.

[18] TVERSKY A, KAHNEMAN D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty [J]. Journal of Risk and Uncertainty, 1992, 5(04):297-323.

Product Design Evaluation and Decision Making Based on QFD and Prospect Theory

WANG Jun, WU Xiao

(School of Industrial Design, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China)

Abstract: In order to improve the scientificity and rationality of enterprise product design decision making and make enterprises in a dominant position in the fierce market competition, a product design evaluation model based on quality function development (QFD) and prospect theory is proposed. The user demand system is constructed by the fuzzy analytic hierarchy method (FAHP) to calculate the demand weight, convert the user demand into product design evaluation index, build the quality house model by combining user demand and design evaluation index, and determine the evaluation index weight according to the correlation between the two. In the intuitive fuzzy language environment, prospect theory is introduced to express the psychological preference behavior of decision makers under different risk prospects, construct positive and negative prospect matrices, and determine the total prospect value of each alternative under different indicators, and then calculate the comprehensive prospect value of each scheme, and rank and select the schemes according to the calculation results. Taking children's luggage products as an example, the evaluation and optimization are carried out, and the decision making results are verified, which proves the feasibility of the evaluation model and provides new ideas for future enterprise product design decisions.

Keywords: product design evaluation; scenario decisions; FAHP; quality function deployment; intuition fuzzy set; prospect theory; children's travel bag