



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20230050

IFS-KAQ 用户需求分析方法研究与应用

张峻霞, 徐国良

(天津市轻工与食品工程机械装备集成设计与在线监控重点实验室, 天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 为了精准获取用户的真实需求,提升新产品设计与研发中决策的准确程度和产品的用户满意度,本研究提出一种融合 Kano 模型、层次分析法(AHP)、质量功能展开(QFD)方法与直觉模糊集(IFS)的用户需求分析方法(简称 IFS-KAQ),从多角度对用户需求进行研究与分析。首先,用 IFS 处理 Kano 问卷结果,获得用户直觉偏好信息,确定用户需求类别和用户满意度系数(S_n);然后,将 IFS 与 AHP 相结合,通过专家访谈确定直觉偏好关系,并结合直觉模糊 Kano 模型(IFKM)和直觉模糊层次分析法(IFAHP)的结果确定各用户需求的最终权重;最后,将 IFS 与 QFD 相结合,获得用户需求与技术需求之间的关联度等级,构建相关性矩阵,从而建立技术需求目标,得出各用户需求和技术需求的权重。以分析结果为指导设计一款被动式腰部助力外骨骼,实验证明通过该方法对用户需求分析的结果指导设计的外骨骼产品用户满意度得到有效提升。此研究方法可以提升新产品设计与研发中决策的准确程度及决策结果的可靠性,提升产品的用户满意度,并且可以为解决新产品设计与研发过程中的决策问题提供参考。

关键词: 多方法融合; 用户需求分析; 用户满意度; 被动式腰部助力外骨骼

中图分类号: TB472

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2023)05-0041-08

Research and Application of Customer Requirement Analysis Method Based on IFS-KAQ

ZHANG Junxia, XU Guoliang

(Tianjin Key Laboratory of Integrated Design and On-line Monitoring for Light Industry & Food Machinery and Equipment, College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: In order to accurately obtain the real requirements of customers, improve the accuracy of decision-making in the design and development of new products and customer satisfaction of products, In this article we propose a customer requirement analysis method (IFS-KAQ) that integrates Kano model, analytic Hierarchy process (AHP), quality function expansion (QFD) method and intuitionistic fuzzy set (IFS), and further study and analyze user demand from multiple perspectives. Firstly, IFS was used to process the Kano questionnaire results, obtain the intuitive preference information of customers, and determine the customer requirement category and the customer satisfaction coefficient (S_n). Then, IFS and AHP were combined to determine the intuitive preference relationship through expert interviews, and the final weight of each customer's requirement was determined by combining the results of intuitions fuzzy Kano model (IFKM) and intuitions fuzzy analytic Hierarchy process (IFAHP). Finally, IFS and QFD were combined to obtain the correlation degree level between customer requirements and technical requirements and construct the correlation matrix to establish the technical requirements target and obtain the weight of each customer requirements and technical requirements. The analysis results were used to guide the design of a passive waist-assisted exoskeleton. The experiment proved that the customer satisfaction of exoskeleton products guided by the analysis results of customer requirements could be significantly improved by this method. This research method can improve the accuracy of decision-making and the reliability of decision-making results in the design and development of new products, improve the customer satisfaction of products, and provide reference for solving the decision-making problems in the design and development of new products.

收稿日期: 2023-03-08; 修回日期: 2023-05-06

基金项目: 天津市科技计划项目(22YFZCSN00160)

作者简介: 张峻霞(1968—),女,山西原平人,教授, zjx@tust.edu.cn

Key words: multi-method integration; customer requirement analysis; customer satisfaction; passive waist-assisted exo-skeleton

随着市场竞争的加剧和产品生命周期的不断缩短,新产品设计与开发方法已成为企业应对市场竞争的有效手段。随着科技的快速发展,新产品设计与开发也成为一个多样化和复杂化的综合过程^[1]。Anderson 等^[2]发现,用户对产品的满意度每增加1%,产品平均投资回报率会增加 2.37%,而满意度每减少 1%,产品平均投资回报率会减少 5.08%。因此,如何在产品设计与开发过程中提升产品的用户满意度是企业激烈的市场竞争中取得成功的关键。

在面向用户满意度的新产品设计与开发过程中,获得准确的用户需求及其类别至关重要,这决定了新产品开发的成败^[3]。近年来,随着互联网用户规模的不断扩大,越来越多的研究关注了用户需求分析方法的应用。Law 等^[4]结合用户体验设计和情境分析方法,对某款在线购物网站进行全面评估和改进,提高了用户的满意度和忠诚度。Foldesi 等^[5]通过应用模糊数和 Kano 模型获得具有财务约束的最大用户需求。Wu 等^[6]开发了连续模糊 Kano 模型,更准确地分析用户需求的模糊性。此外,还有一些研究探讨了用户需求分析的新方法和新技术。Kuhl 等^[7]提出不同的个性化策略,满足客户的个性化需求,并强调了每种策略所引发的复杂性、解决方案、由此产生的客户利益和局限性。Chen 等^[8]提出一种评估可持续价值需求的混合模型,并在产品服务系统中证明了该模型的可行性和潜力。综上所述,用户需求分析方法的应用和发展越来越被重视,相应的研究方法和手段也越来越多、越来越先进。但是,目前的研究仍然存在一些挑战和问题,例如仅从单一角度对用户需求进行分析,无法获取用户真实需求,不能有效整合多种数据和信息^[9]。为了获取用户真实需求,提升新产品设计与研发中决策的准确程度及决策结果的可靠性,本研究提出一种融合 Kano 模型、层次分析法(AHP)、质量功能展开(QFD)方法与直觉模糊集(IFS)的用户需求分析方法(简称 IFS-KAQ),从多角度对用户需求进行分析评价,精准获取用户的真实需求,得出准确的产品设计与研发的决策信息,并用于指导新产品的设计方案,从而提升用户的满意度。

1 基于 IFS-KAQ 的用户需求分析

1.1 Kano 模型

Kano 模型是东京理工大学教授狩野纪昭发明的

对用户需求分类和优先级排序的设计工具^[10]。该模型通过对需求的满意度、具备度进行二维分析,将需求划分为必备型需求、期望型需求、魅力型需求、无差异型需求、反向型需求,如图 1 和表 1 所示,其中 A 表示魅力型需求、O 表示期望型需求、M 表示必备型需求、I 表示无差异型需求、R 表示反向型需求、Q 表示可疑结果。针对用户需求对用户满意度的影响的分析表明,产品性能与用户满意度之间存在非线性关系^[11],但关于人类感知和偏好的信息往往是模糊和不确定的^[12],而 IFS 不仅描述了某种偏好的隶属程度和非隶属程度,还能反映犹豫程度^[13]。因此,本研究将通过 IFS 获得用户需求和用户满意度之间的关系,从而更准确、更高效地分析用户的偏好。

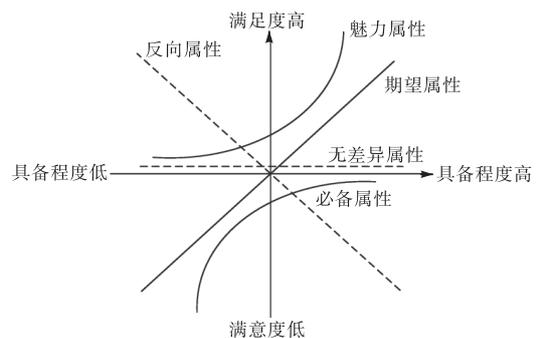


图 1 Kano 模型

Fig. 1 Kano model

表 1 Kano 模型评估表

Tab. 1 Kano model evaluation form

正向评价选项	反向评价选项				
	喜欢	理应如此	无所谓	勉强接受	不喜欢
喜欢	Q	A	A	A	O
理应如此	R	I	I	I	M
无所谓	R	I	I	I	M
勉强接受	R	I	I	I	M
不喜欢	R	R	R	R	Q

1.2 层次分析法

层次分析法是一种定性和定量相结合的决策工具,最早由萨蒂教授提出,已广泛用于解决多准则决策问题^[14]。层次分析法的关键是建立判断矩阵,判断矩阵是否科学合理将直接影响分析结果,而决策者在评分过程中的主观性和模糊性始终存在。Xu 等^[15]提出直觉模糊层次分析法(IFAHP)涵盖隶属度、非隶属度和犹豫度。由于犹豫度可以解释专家的犹豫性,因

此 IFAHP 方法可以有效解决评估过程中专家决策的主观性。基于此, 本研究以用户满意度为目标, 使用 IFAHP 构建各层次用户需求判断矩阵, 获得各用户需求的总体权重, 并结合直觉模糊 Kano 模型 (IFKM) 评价值, 获得用户需求的最终评估权重。

1.3 质量功能展开

质量功能展开 (QFD) 是由赤尾洋二和水野滋两位日本教授在 20 世纪 60 年代提出的一种面向用户的产品开发工具^[16]。QFD 通过用户考察和访谈将用户需求纳入产品开发周期, 将用户需求转换为技术需求、零件特征或生产计划, 实现更高的用户满意度。在 QFD 要素中, 质量屋 (HOQ) 是 QFD 的核心框架, 是一种将用户需求和产品或服务的性能进行关联的视图表达形式。根据 Hauser^[17] 的研究, QFD 可以减少 50% 的产品开发时间和 30% 的成本。由于质量屋中的语言关系 (不相关、弱相关、中等相关和强相关) 也具有肯定、否定和犹豫的特征, 因此本研究采用将 IFS 和 QFD 相结合的方法涵盖专家的偏好信息, 从而得到技术需求的权重和排序。

1.4 IFS-KAQ 用户需求分析方法理论模型

将 Kano 模型、AHP、QFD 与 IFS 结合, 从多角度对用户需求进行研究与分析, 用户需求分析技术路线图如图 2 所示。

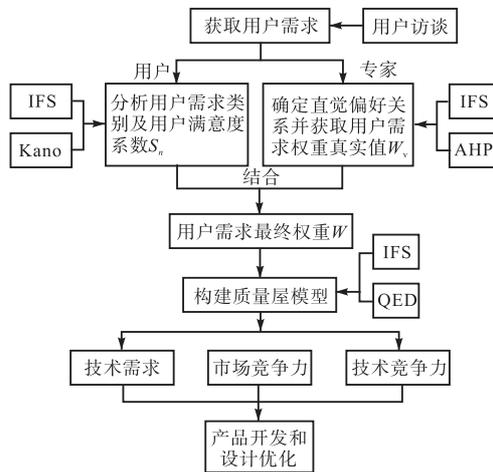


图 2 用户需求分析技术路线图

Fig. 2 Customer requirements analysis technology roadmap

首先, 用 IFS 对 Kano 问卷结果进行处理, 获得用户直觉偏好信息, 确定用户需求类别和用户满意度系数 (S_n); 然后, 结合 IFS 和 AHP, 通过专家访谈确定直觉偏好关系, 并结合 IFKM 和 IFAHP 的结果确定各用户需求的最终权重; 最后, 将 IFS 与 QFD 相结合, 获得用户需求与技术需求之间的关联度等级,

构建相关性矩阵, 从而建立技术需求目标, 用于指导产品设计和设计优化。

2 IFS-KAQ 用户需求分析方法应用

为了验证该种用户需求分析方法的有效性, 本研究以被动式腰部助力外骨骼设计作为研究示例。

2.1 基于 IFKM 的用户需求分析

通过用户访谈获取用户需求, 总结分析得到用户的满意点和期望点主要集中在: 棱角分明 (C1), 即产品采用棱角分明的造型; 造型圆润 (C2), 即产品采用圆润流畅的造型; 单一色系 (C3), 即产品整体采用单一色系的配色; 多色系组合 (C4), 即产品整体采用多色系的配色; 防水防潮 (C5), 即产品具备一定的防水防潮功能; 模块化 (C6), 即产品整体含有模块化单元; 助力大小可调 (C7), 即产品具备助力大小调节的功能; 外骨骼锁定 (C8), 即产品具备锁定/解锁功能; 人体疲劳监测 (C9), 即产品具备人体疲劳监测功能; 人体局部部位提供热敷 (C10), 即产品具备给人体局部部位提供热敷的功能; 轻量化 (C11), 即产品整体实现轻量化; 一体式穿戴 (C12), 即产品在穿脱过程中不需要拆卸零部件; 尺寸可调 (C13), 即产品能实现穿戴尺寸可调, 从而满足不同人群的穿戴尺寸需求; 反馈提示 (C14), 即产品在正确穿戴和错误穿戴时会有不同的反馈提示; 透气性 (C15), 即产品整体具备一定的透气性。

对被动式腰部助力外骨骼的设计建立层次结构, 其中目标层为被动式腰部助力外骨骼的设计; 构建准则层包括造型设计 (R1)、功能设计 (R2) 和交互设计 (R3); 通过使用德尔菲法^[18]进行多次分析, 使其整体意见趋于一致性, 从而建立二级评价指标集, 最终建立被动式腰部助力外骨骼设计的层次结构如图 3 所示。以需求 C1—C15 为对象设计 Kano 问卷, 题项设置为: 当需求 C1—C15 被满足和不被满足时, 用户的评价分别对应哪个满意度选项。

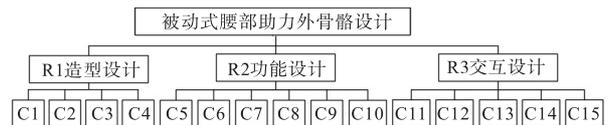


图 3 外骨骼设计层次结构

Fig. 3 Hierarchy of exoskeleton design

由于被动式腰部助力外骨骼主要用于物流业的货物搬运、部队的物资运输、车间的产品装配等场景, 因此选取物流工人和外骨骼领域研究专家作为问

卷调研对象,分别进行线上和线下调研,共发放问卷100份,回收100份,有效问卷94份,问卷有效回收率为94%。采用克伦巴赫系数(Cronbach- α)信度检验方法对有效问卷进行信度检验,其中Kano正向问题和反向问题的总体信度均大于0.8,且提取的共因子的信度也均大于0.7,表明该Kano问卷具有较好的信度。对Kano问卷进行效度检验中的验证性因子分析(CFA),结果见表2,其中卡方自由度比(χ^2/df) < 3, 0.05 < 近似误差均方根(RMSEA) < 0.08, 拟合优度指数(GFI) \geq 0.90, 调整拟合优度指数(AGFI) \geq 0.80, 比较拟合指数(CFI) \geq 0.90, 增值拟合指数(IFI) \geq 0.90, Tucker-Lewis 指数(TLI) > 0.9, 表明模型拟合较好,该Kano问卷具有较好的效度。

表2 CFA整体拟合系数

Tab. 2 Overall fit coefficient of the CFA

χ^2/df	RMSEA	GFI	AGFI	CFI	IFI	TLI
2.350	0.062	0.902	0.874	0.923	0.914	0.903

采用直觉模糊集(IFS)对Kano问卷结果进行处理,5项评分标准转换为9级评分量表,评分标准度量如图4所示,并使用三角隶属函数〔式(1)—式(5)〕表示个人偏好对5项评分标准的隶属度。



图4 Kano模型评分标准度量

Fig. 4 Measurement of the Kano model scoring criteria

(1) 不喜欢(1, 1, 3)

$$f(x) \begin{cases} \omega, & x=1 \\ \frac{1}{2}(3-x)\omega, & 1 < x \leq 3 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

(2) 勉强接受(1, 3, 5)

$$f(x) \begin{cases} \frac{1}{2}(x-1), & 1 \leq x < 3 \\ \omega, & x=3 \\ \frac{1}{2}(5-x), & 3 < x \leq 5 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

(3) 无所谓(3, 5, 7)

$$f(x) \begin{cases} 1/2\omega(x-3), & 3 \leq x < 5 \\ \omega, & x=5 \\ 1/2(7-x)\omega, & 5 < x \leq 7 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

(4) 理应如此(5, 7, 9)

$$f(x) \begin{cases} \frac{1}{2}\omega(x-5), & 5 \leq x < 7 \\ \omega, & x=7 \\ \frac{1}{2}(9-x)\omega, & 7 < x \leq 9 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

(5) 喜欢(7, 9, 9)

$$f(x) \begin{cases} \frac{1}{2}\omega(x-7), & 7 \leq x < 9 \\ \omega, & x=9 \end{cases} \quad (5)$$

式中: x 为基于Kano模型评分标准量表的评分, ω 为个人属性的最大隶属度。通过隶属度函数可以获得个人对评分标准的偏好隶属度 $f(x)$,最大隶属度和最小隶属度分别为0.9和0。

IFKM使用Kano模型评估表(表1)将受访者对正向问题和反向问题的回答相结合,受访者对评分标准组合(i, j)的隶属度 μ_{nij} 由式(6)得到。

$$\mu_{nij} = m(F_i)_n \times m(D_j)_n \quad (6)$$

式中: n 表示第 n 个被采访者; $m(F_i)_n$ 和 $m(D_j)_n$ ($i, j=1, 2, \dots, 5$)分别表示第 n 个被采访者对正向问题第 i 个选项的隶属度和对反向问题第 j 个选项的隶属度。

Tan等^[19]以及Chen等^[20]建议分配必备型需求、期望型需求、魅力型需求的影响值分别为2、1、0.5,因此确定各类型需求影响值的标准矩阵 ν 如式(7)所示。最终用户需求满意度系数 S_n 由式(8)得到,各用户需求类别、用户需求满意度系数及优先级见表3。

表3 用户需求分析

Tab. 3 Customer requirement analysis

用户需求	需求类型	S_n	优先级
C1	A	0.110 0	1
C2	I	0.010 3	4
C3	I	0.018 7	3
C4	I	0.040 2	2
C5	O	0.374 8	3
C6	A	0.134 3	6
C7	O	0.395 1	2
C8	M	0.180 2	4
C9	A	0.420 3	1
C10	A	0.171 4	5
C11	O	0.255 3	4
C12	I	0.087 8	5
C13	O	0.378 6	3
C14	O	0.709 9	1
C15	O	0.668 6	2

$$v = \begin{bmatrix} 0 & 0.200 & 0.250 & 0.300 & 0.500 \\ -0.100 & 0 & 0.050 & 0.075 & 0.900 \\ -0.125 & -0.025 & 0 & 0.100 & 1.000 \\ -0.150 & -0.038 & -0.050 & 0 & 0.800 \\ -0.250 & -0.450 & -0.050 & -0.400 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$S_n = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 v_{ij} \times \mu_{nij} \quad (8)$$

2.2 基于 IFAHP 的用户需求权重分析

IFKM 可用于分别获得用户同一准则层要素下各用户需求之间的优先级和 Kano 类别, 但无法直接比较隶属于不同准则层要素的用户需求之间的权重。由于感性形象和功能是隶属不同范畴的抽象概念, 而专家在区分权重方面比用户更全面、更专业, 因此采用 IFAHP 获得各用户需求的权重。根据表 4 标准建立直觉模糊判断偏好矩阵 $A = (r_{ij})_{n \times n}$, 并通过式 (9)、式 (10) 对其进行一致化处理, 得到直觉模糊一致性判断矩阵 $\bar{A} = (\bar{r}_{ij})_{n \times n}$ 。

表 4 要素两两比较度量表

Tab. 4 Scale of pairwise comparison of elements

标度	定义	IFN $(\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \pi_{ij})$
0.1	绝对不重要	(0.10, 0.90, 0.00)
0.2	非常不重要	(0.20, 0.75, 0.05)
0.3	比较不重要	(0.30, 0.60, 0.10)
0.4	稍微不重要	(0.40, 0.45, 0.15)
0.5	同等重要	(0.50, 0.30, 0.20)
0.6	稍微重要	(0.60, 0.25, 0.15)
0.7	比较重要	(0.70, 0.20, 0.10)
0.8	非常重要	(0.80, 0.15, 0.05)
0.9	绝对重要	(0.90, 0.10, 0.00)

通过式 (11) 对直觉模糊判断偏好矩阵进行一致性检验, 若 $d(\bar{A}, A) < 0.1$, 则说明直觉模糊判断偏好矩阵通过一致性检验。

$$\bar{\alpha}_{ij} = \frac{\sqrt[j-i-1]{\prod_{t=i+1}^{j-1} \alpha_{it} \alpha_{tj}}}{\sqrt[j-i-1]{\prod_{t=i+1}^{j-1} \alpha_{it} \alpha_{tj} + \sqrt[j-i-1]{\prod_{t=i+1}^{j-1} (1-\alpha_{it})(1-\alpha_{tj})}}} \quad (9)$$

$$\bar{\beta}_{ij} = \frac{\sqrt[j-i-1]{\prod_{t=i+1}^{j-1} \beta_{it} \beta_{tj}}}{\sqrt[j-i-1]{\prod_{t=i+1}^{j-1} \beta_{it} \beta_{tj} + \sqrt[j-i-1]{\prod_{t=i+1}^{j-1} (1-\beta_{it})(1-\beta_{tj})}}} \quad (10)$$

式中: $i < j < t (i, j, t = 1, 2, 3, \dots, n)$ 均为矩阵中的元素, α_{ij} 为初始偏好隶属度, β_{ij} 为初始偏好非隶属度, $\bar{\alpha}_{ij}$ 为一致性偏好隶属度, $\bar{\beta}_{ij}$ 为一致性偏好非隶属度。当 $j > i+1$ 时, $\bar{r}_{ij} = (\bar{\alpha}_{ij}, \bar{\beta}_{ij})$; 当 $j = i+1$ 时, $\bar{r}_{ij} = (\alpha_{ij}, \beta_{ij})$; 当 $j < i$ 时, $\bar{r}_{ij} = (\bar{\alpha}_{ji}, \bar{\beta}_{ji})$ 。

$$d(\bar{A}, A) = \frac{1}{2(n-1)(n-2)} \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (|\bar{\alpha}_{ij} - \alpha_{ij}| + |\bar{\beta}_{ij} - \beta_{ij}| + |\bar{\pi}_{ij} - \pi_{ij}|) \quad (11)$$

式中: π_{ij} 为初始犹豫度, $\bar{\pi}_{ij}$ 为一致性犹豫度, $\pi_{ij} = 1 - \alpha_{ij} - \beta_{ij}$, $\bar{\pi}_{ij} = 1 - \bar{\alpha}_{ij} - \bar{\beta}_{ij}$ 。

根据直觉模糊一致性判断矩阵, 通过式 (12) 计算各用户需求在所在准则层要素中的相对权重。通过式 (13)、式 (14) 进行聚合和加权, 得到各用户需求的总权重 $w(C_i)$ 。最终通过式 (15) 将各用户需求的总权重转换为真实值 V_i , 各准则层要素中加入调整系数, R1、R2、R3 的调整系数分别为 2/3、1、5/6, 并进行归一化处理, 从而得到归一化权重真实值 W_v , 用户需求的最终权重 W 由式 (16) 得到, 结果见表 5。

表 5 IFAHP 各因素权重列表

Tab. 5 Weight list of each factor of IFAHP

用户需求	各因素及其相对所在层权重 w_i			各因素相对目标层权重			
	R1 (0.274 3, 0.596 6)	R2 (0.333 9, 0.558 0)	R3 (0.235 4, 0.659 8)	$w(C_i)$	V_i	W_v	W
C1	(0.333 7, 0.595 1)	—	—	(0.091 5, 0.836 7)	0.128 11	0.094 04	0.104 38
C2	(0.202 9, 0.747 5)	—	—	(0.035 7, 0.918 1)	0.051 77	0.038 00	0.038 39
C3	(0.257 0, 0.681 5)	—	—	(0.070 5, 0.871 5)	0.099 86	0.073 30	0.074 67
C4	(0.094 5, 0.866 8)	—	—	(0.025 9, 0.946 3)	0.039 77	0.029 19	0.030 36
C5	—	(0.195 7, 0.670 7)	—	(0.065 3, 0.854 4)	0.104 85	0.115 45	0.158 72
C6	—	(0.137 6, 0.740 0)	—	(0.045 9, 0.885 1)	0.079 60	0.087 65	0.099 42
C7	—	(0.122 9, 0.776 6)	—	(0.041 0, 0.901 3)	0.069 37	0.076 38	0.106 56
C8	—	(0.158 5, 0.725 3)	—	(0.052 9, 0.878 6)	0.086 62	0.095 38	0.112 57
C9	—	(0.076 6, 0.843 7)	—	(0.025 6, 0.930 9)	0.046 96	0.051 71	0.073 44
C10	—	(0.045 0, 0.885 6)	—	(0.015 0, 0.949 4)	0.032 43	0.035 71	0.041 83
C11	—	—	(0.274 8, 0.611 7)	(0.064 7, 0.867 9)	0.098 31	0.090 21	0.113 24
C12	—	—	(0.174 8, 0.705 3)	(0.041 1, 0.899 7)	0.070 16	0.064 38	0.070 03
C13	—	—	(0.194 9, 0.671 2)	(0.051 5, 0.882 0)	0.083 66	0.076 76	0.105 82
C14	—	—	(0.086 5, 0.840 2)	(0.020 4, 0.945 6)	0.037 17	0.034 11	0.058 32
C15	—	—	(0.086 5, 0.815 3)	(0.020 4, 0.937 2)	0.041 13	0.037 74	0.062 97

$$w_i = \left[\frac{\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (1-\beta_{ij})}, 1 - \frac{\sum_{j=1}^n (1-\beta_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}} \right] \quad (12)$$

$$w_i \otimes w_j = (\alpha_{wi} \alpha_{wj}, \beta_{wi} + \beta_{wj} - \beta_{wi} \beta_{wj}) \quad (13)$$

其中: $w_i = (\alpha_{wi}, \beta_{wi})$, $w_j = (\alpha_{wj}, \beta_{wj})$, $i, j \in [1, n]$ 。

$$w(C_i) = w_{Rk} \otimes w_{C_i}, k, i \in [1, n] \quad (14)$$

其中: w_{C_i} 为用户需求 C_i 在所在准则层中的权重, w_{Rk} 为用户需求 C_i 隶属的准则层要素在目标层中的权重, $w(C_i)$ 为用户需求 C_i 在目标层中的总权重。

$$V_i = \bar{\alpha}_i + \frac{1 + \bar{\alpha}_{ij} - \bar{\pi}_i}{2} \bar{\pi}_i \quad (15)$$

$$W = W_v \times (1 + S_n) \quad (16)$$

2.3 基于 IFS 和 QFD 的外骨骼设计技术需求获取

本文最终构建的质量屋模型如图 5 所示。将由 IFKM 和 IFAHP 综合得到的用户需求最终权重导入质量屋用户需求矩阵中;将通过专家讨论确定的实现用户需求所需要的技术需求(表 6)导入质量屋的质量属性矩阵中,并通过专家对用户需求与技术需求关系度进行评分得到相关性矩阵,评分标准见表 7。质量屋的技术需求相关关系矩阵由专家通过对各技术需求之间相关性进行评价分析得到,评分标准见表 8。此外,通过市场调研分析 3 款同类型竞争产品,并通过 5 级 Likert 量表分析其市场竞争力和技术竞争力;最后将结果导入质量屋的评价矩阵并构建完整的质量屋模型。

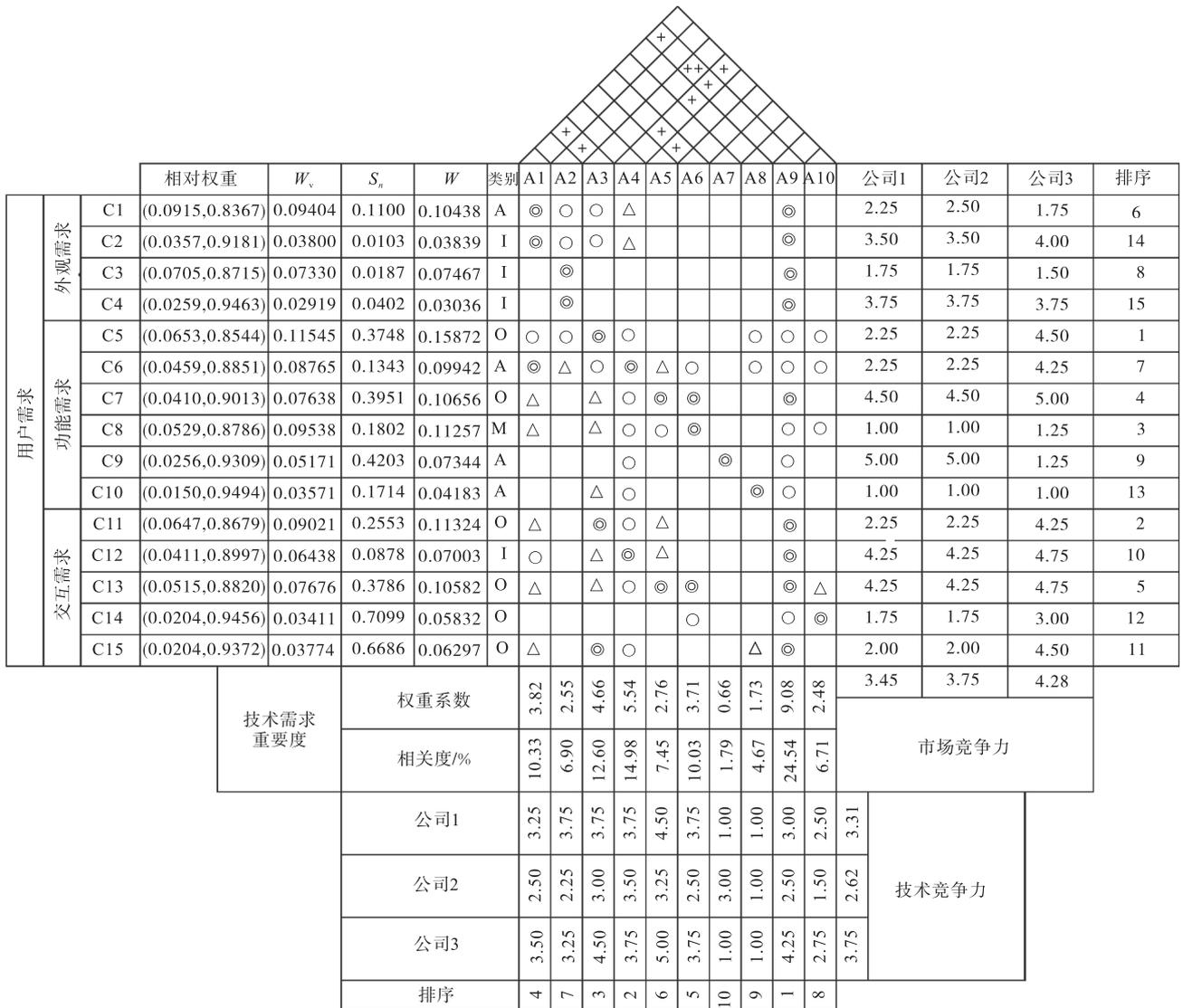


图 5 质量屋模型

Fig. 5 House of quality model

表 6 技术需求列表

Tab. 6 Technical requirements list

技术需求编号	技术需求内容
A1	模具结构造型设计
A2	色彩喷漆工艺
A3	零件材料
A4	模块化单元
A5	多挡位结构
A6	锁定/解锁结构
A7	表面肌电传感器
A8	加热模块
A9	整体设计
A10	安全提示模块

表 7 相关性矩阵用户需求与技术需求间关系度等级

Tab. 7 Correlation matrix level of relationship between customer requirements and technical requirements

项目	等级/符号	评价内容
相关矩阵用户需求	9/◎	强相关
与技术需求间关系度	5/○	中等相关
	1/△	弱相关
	0/	无相关性

表 8 各技术需求间关系度等级

Tab. 8 Level of relationship between technical requirements

项目	符号	评价内容
技术需求相关关系矩阵各	++	强正相关
技术需求间关系度	+	正相关
	-	负相关
	--	强负相关
		无相关性

3 外骨骼设计及用户满意度验证

由质量屋模型的结果可得到权重排序靠前的 5 个用户需求分别为 C5、C11、C8、C7、C13, 权重排序靠前的 5 个技术需求别为 A9、A4、A3、A1、A6, 表明 A9、A4、A3、A1、A6 对被动式腰部助力外骨骼的设计与研发较为重要, 而满足用户需求 C5、C11、C8、C7、C13 则能大幅提高用户满意度。

基于上述分析对被动式腰部助力外骨骼进行设计。在外观造型方面, 采用棱角分明的整体造型并搭配以沉稳的黑色为主色调、活跃的蓝色为辅色调的配色方案, 体现外骨骼的力量感; 在功能设计和交互设计方面, 为满足 C5、C8、C7、C11、C13 这 5 项用户需求, 分别提出对应的解决方案, 如图 6 所示。此外, 设计方案还在腰部加入支撑垫, 从而减少穿戴外骨骼对人体的腰部肌肉的负荷, 提升外骨骼穿戴舒适度, 最终设计方案模型如图 7 所示。

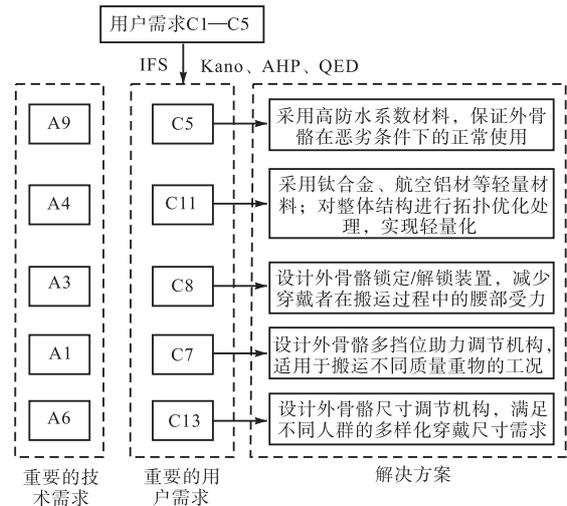


图 6 设计方案框架

Fig. 6 Design scheme framework



图 7 被动式腰部助力外骨骼模型

Fig. 7 Model of passive waist-assisted exoskeleton

为了验证通过该方法指导设计的外骨骼产品用户满意度是否有所提升, 研究选取 20 位受试者分别穿戴市面上某同类型产品与本研究设计的被动式腰部助力外骨骼, 并填写用户满意度调查问卷。问卷结果显示, 本研究设计的被动式腰部助力外骨骼的产品用户满意度比市面同类型产品高 11.2% (表 9), 表明本研究采用的用户需求分析方法能够较为准确地获取用户的真实需求, 有效提升了产品设计研发的决策准确性和产品的用户满意度。

表 9 用户满意度评价问卷结果对比

Tab. 9 Comparison of customer satisfaction evaluation questionnaire results

产品满意度评价选项	评分	
	某同类产品	本研究设计的外骨骼
外观造型	7.54	8.01
产品功能	7.62	8.21
人机耦合程度	7.01	8.09
穿戴舒适度	7.03	8.16
整体产品	7.50	8.33
整体满意度评分	7.34	8.16

4 结 语

本研究提出一种基于 Kano 模型、AHP、QFD 和 IFS 的用于分析用户需求的融合方法。以被动式腰部助力外骨骼为研究示例验证了该方法的可行性和有效性,这种用户需求的分析方法也可以应用于其他类型的产品。但本研究的内容仍存在一些不足,如:问卷样本数量较少,导致问卷结果反映的用户需求与真实用户需求可能存在一些偏差;融合多种设计方法导致用户需求分析工作量大大增加。因此还需要进行更深入、更系统全面的研究,进一步优化分析方法。

参考文献:

- [1] LI M, ZHANG J. Integrating Kano model, AHP, and QFD methods for new product development based on text mining, intuitionistic fuzzy sets, and customers satisfaction[J]. *Mathematical problems in engineering*, 2021, 2021: 2349716.
- [2] ANDERSON E W, MITTAL V. Strengthening the satisfaction-profit chain[J]. *Journal of service research*, 2000, 3(2): 107-120.
- [3] 牛菲菲, 李传艺, 葛季栋, 等. 用户特征请求分析与处理研究综述[J/OL]. *软件学报*: 1-32[2023-03-10]. <https://doi.org/10.13328/j.cnki.jos.006558>.
- [4] LAW E L C, ROTO V, HASSENZAHN M, et al. Understanding, scoping and defining user experience: a survey approach[C]//*Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Boston: ACM, 2009: 719-728.
- [5] FOLDESI P, KOCZY L T, BOTZHEIM J. Fuzzy extension for Kano's model using bacterial evolutionary algorithm[C]//*Proceedings of 2007 International Symposium on Computational Intelligence and Intelligent Informatics*. Agadir: IEEE, 2007: 147-151.
- [6] WU M, WANG L. A continuous fuzzy Kano's model for customer requirements analysis in product development[J]. *Proceedings of the institution of mechanical engineers, part B: journal of engineering manufacture*, 2012, 226(3): 535-546.
- [7] KUHL J, KRAUSE D. Strategies for customer satisfaction and customer requirement fulfillment within the trend of individualization[J]. *Procedia CIRP*, 2019, 84: 130-135.
- [8] CHEN Z H, MING X G, ZHANG X Y, et al. A rough-fuzzy DEMATEL-ANP method for evaluating sustainable value requirement of product service system[J]. *Journal of cleaner production*, 2019, 228: 485-508.
- [9] CAI L, ZHU Y Y. The challenges of data quality and data quality assessment in the big data era[J]. *Data science journal*, 2015, 14: 2.
- [10] 谢伟, 辛向阳, 丁静雯. 基于眼动测试的产品人机界面交互设计研究[J]. *机械设计*, 2015, 32(12): 110-115.
- [11] YANG S M, NAGAMACHI M, LEE S Y. Rule-based inference model for the Kansei Engineering System[J]. *International journal of industrial ergonomics*, 1999, 24(5): 459-471.
- [12] LIU B, FU W P, WANG W, et al. Research on cobot action decision-making method based on intuitionistic fuzzy set and game theory[J]. *IEEE Access*, 2022, 10: 103349-103363.
- [13] UREÑA R, CHICLANA F, FUJITA H, et al. Confidence-consistency driven group decision making approach with incomplete reciprocal intuitionistic preference relations[J]. *Knowledge-based systems*, 2015, 89: 86-96.
- [14] 康辉, 赵凯勋. 基于层次分析法的汽车设计方案评价模型[J]. *包装工程*, 2014, 35(22): 53-57.
- [15] XU Z S, LIAO H C. Intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process[J]. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 2013, 22(4): 749-761.
- [16] AKAO Y. Development history of quality function deployment[J]. *The customer driven approach to quality planning and deployment*, 1994, 339: 90.
- [17] HAUSER J R. The house of quality[J]. *Harvard business review*, 1988, 66(3): 63-73.
- [18] 王婷, 李长威. 水龙头活动手柄注射模设计与优化[J]. *模具制造*, 2019, 19(1): 34-39.
- [19] TAN K C, SHEN X X. Integrating Kano's model in the planning matrix of quality function deployment[J]. *Total quality management*, 2000, 11(8): 1141-1151.
- [20] CHEN L H, KO W C. A fuzzy nonlinear model for quality function deployment considering Kano's concept[J]. *Mathematical and computer modelling*, 2008, 48(3/4): 581-593.

责任编辑: 周建军