

# 用户集群驱动的适老化产品优化策略研究

杨梅, 王怡妍, 李雪瑞, 侯幸刚

(山东科技大学 艺术学院, 山东 青岛 266590)

**摘要:** **目的** 为解决用户诉求表述模糊所导致的需求获取不足、设计决策复杂难定等问题对适老化产品及应用服务推广的阻碍, 最大程度提升用户体验满意度, 提出一种用户集群评价驱动的短周期、高效率的感性设计方法。**方法** 引入评价信息对目标用户集群的需求进行精准而真实地深层挖掘, 结合 TextRank 算法量化感性描述文本, 构建评价指标体系; 充分借助犹豫模糊决策算法构建方案评价模型 (I-HFCJM), 计算各产品评价指标得分函数值对样本产品优劣予以可视化分析, 以现有产品的可借鉴点与注意问题为依据指导产品改进设计。**结论** 以老年家用制氧机改进设计为例, 计算改进方案同样本产品的综合权重并进行优劣排序, 验证了该方法的有效性, 为老年家用制氧机及其他适老化产品设计开发提供了改进策略。

**关键词:** 产品设计; 用户集群; TextRank; 犹豫模糊决策算法; I-HFCJM 模型

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)16-0177-12

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.16.020

## Optimizing Strategies for Aging Products Driven by User Clusters

YANG Mei, WANG Yi-yan, LI Xue-rui, HOU Xing-gang

(School of Arts, Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266590, China)

**ABSTRACT:** This paper aims to solve the problem of demand caused by vague user appeal expressions and of the complexity of its design decision complexity to adapt to the adaptive product and application service promotion, and the user experience satisfaction is improved to a large extent. This paper proposes an inductive design method for user cluster evaluation drivers with short period of time and high efficiency. First, this essay excavates the needs of the target user cluster from the evaluation information, and combines the TextRank algorithm to describe the text to build up the evaluation index system; furthermore, this thesis makes full use of hesitant fuzzy decision-making algorithm to evaluate the evaluation model (I-HFCJM), calculate each product evaluation index score function value for sample products, visualization analysis, and guide the product improvement design through existing products. This paper uses the elderly household oxygen generator improvement design as an example, by calculating the comprehensive weight of the improvement plan and the sample product, and sorting, the effectiveness of this method is verified, providing the improved strategy for design and development of the older household oxygen generator and other suitable age production products.

**KEY WORDS:** product design; user evaluation; TextRank; hesitant fuzzy decision-making algorithm; I-HFCJM

近年来, 我国老年群体基数逐渐增大, “银发经济” 逐渐升温, 老年用户的产品选购行为愈发倾向于综合考虑产品各方面特性是否满足自身诉求<sup>[1-2]</sup>, 智能养老终端设备的适老化升级压力加剧, 且该使用群

体对产品诉求的表述具有模糊性、动态性和不确定性, 对产品研发的引导性较弱, 传统用户需求推演式智慧养老研发设计难以坚持问题导向、目标导向。因此亟须整合多方资源, 推动养老服务智慧化升级。

收稿日期: 2022-03-20

基金项目: 山东省专业学位研究生教学案例库建设项目 (SDYAL20058); 山东省 2018 年研究生导师指导能力提升项目 (SDYY18082); 齐鲁乡村文化旅游平台化服务体系研究 (21DWYJ13)

作者简介: 杨梅 (1973—), 女, 教授, 硕士, 主要研究方向为工业设计及其理论。

通信作者: 王怡妍 (1997—), 女, 硕士生, 主攻工业设计及其理论。

## 1 理论基础

针对诉求模糊问题,科特勒·菲利普等<sup>[3]</sup>提出用户集群理论,将属性域<sup>[4]</sup>相同或相似的一组用户集合,从该角度出发,更好地挖掘用户的深层次需求。目前,需求挖掘方面以感性工学为代表的改进方法最为盛行,通过将用户感性意象推演融入产品研发,对上述问题予以极大解决。但考虑到传统感性工学的应用存在强主观性、弱时效性、数据样本有限等弊端,目前有学者致力于从客户评论中提取用户需求,典型文本挖掘方法对比见表1。

表1 典型文本挖掘方法对比  
Tab.1 Comparison of typical text mining methods

方法	优势	劣势
TF-IDF <sup>[5-6]</sup>	简单易行,应用场景丰富	短文本使用受限;忽略了keywords的语义相关性
LDA <sup>[7-8]</sup>	可得语义关键词,实现有监督的降维	偏向于提取不能很好地代表相应文本主题的一般关键词
TextRank <sup>[9-10]</sup>	无监督的算法,应用领域广泛	没有完全基于语义;低频关键词提取效果较差

本文选用 TextRank 算法对产品评论文本进行数据清洗,提取重要词汇作为词图节点,迭代计算各节点的 Rank 值并排序,将所得关键词应用于网络评价文本中生成关键字和摘要,有效挖掘隐含其中的精准而真实的目标用户集群的诉求。

用户的多元化诉求决定了产品设计决策的复杂性<sup>[11-12]</sup>,依据评价指标体系产出互补判断矩阵是提高提取信息与产品特征映射拟合程度的关键。截至目前,犹豫模糊互补判断矩阵(Hesitant Fuzzy Complementary Judgement Matix, HFCJM)<sup>[13-17]</sup>因对模糊信息的有效处理已成为描绘复杂选择评价问题不确定性的有效工具,可以为每个待评价对象收集多个可能的评价价值,以避免评价数据的丢失。

在复杂样本评价的过程中,依据 TextRank 算法构建评价指标体系及其权重归判在一定范畴内突破了专家自身判断的主观局限性,以及样本群的客观复杂性对评价决策的限制,但判断矩阵一致性调整仍为评价决策可靠性的重、难点。已有相关学者对此进行了相关研究工作。Zhu 等<sup>[18]</sup>开发两种犹豫的模糊偏好关系转换回归方法,以专家给定的 HFCIM 为基础,分别设计优化模型和一致性改进算法来计算评价对象的优先权向量,并结合实例验证了所提出方法的实用性和优越性。Wu 等<sup>[19]</sup>基于加性一致性提出两种优化模型,对不完整犹豫的模糊语言偏好关系信息的补全,或导出运用判断矩阵排序权重生成的优先级向

量。Wu 等<sup>[20]</sup>在具有乘法偏好关系的小组决策中,引入了个体一致性指数和群体共识指数的概念构成对比较矩阵,以获得有意义且可靠的解决方案。Zhang 等<sup>[21]</sup>引入一种基于 HFCJM 的决策支持系统模型,对其一致性调整算法、共识性达成模型和备选方案排序过程展开系列研究,从区间模糊偏好关系中获得优先级的目标规划模型并确定了评价对象的排序结果。甘昕艳等<sup>[22]</sup>对 HFCJM 幂等性的不足加以改进构造出直觉模糊加权平均算子进行应用。因此,本文依据文献<sup>[22]</sup>研究了 HFCJM 的一致性改进算法和决策模型,通过完全乘性一致改造后的 I-HFCJM 决策模型使最终决策效果更具可靠性。

针对目前用户诉求表述及判断矩阵一致性等方面存在的不足,本文通过 TextRank 算法量化感性的文本描述构建评价指标体系,用以规避目标用户集群调研中所表现的偏好与真实偏好的偏差问题,借助改造后的 I-HFCJM 决策模型和计算机技术计算各产品评价指标排序,得到用户评价综合权重,进而推演出最为合理高效的产品改进设计,使产品设计再现用户的真实诉求。

## 2 研究框架

本文提出一种用户集群驱动的产品优化策略,具体流程见图1。从产品样本及其评价信息获取和预处理入手,对用户诉求进行深层次挖掘;从中量化提取关键词汇构建评价指标体系,应用于完全乘性一致改造后的 I-HFCJM 决策模型;对产品样本各评价指标及评价综合权重进行计算,从而实现产品优劣的可视化分析,以此作为产品改进设计依据。

## 3 构建评价指标体系

### 3.1 评价信息获取

选择评分较高、评论数较多的医疗型老年制氧机作为样本,使用 Scrapy 网络爬虫,在检查目标网站、查找与数据爬取有关服务条款的基础上,于公开的数据来源中获取并筛选目标用户集群所对应的评论文本,以外形数据相近为标准区分样本类别,将评论数较多的台式制氧机产品作为分析样本,共计 51 个。

#### 评价准则选取分类

1) 使用 Scrapy 网络爬虫爬取相关评论文本,使用 Python 中 Jieba 分词器依据 TextRank 算法<sup>[9-10]</sup>对评论文本进行分词,对明显不属于目标用户集群的评论予以清洗,将所得的文本进行分割、分词、词性标注及停用词剔除,依据所需设置保留下来的名词、动词、形容词等指定词数量阈值,量化提取重要词汇作为关键词图节点,通过共现关系(Co-occurrence)来构造节点间的边,给节点指定任意初值,迭代传播节点之间的权重,直到收敛,迭代公式如下。

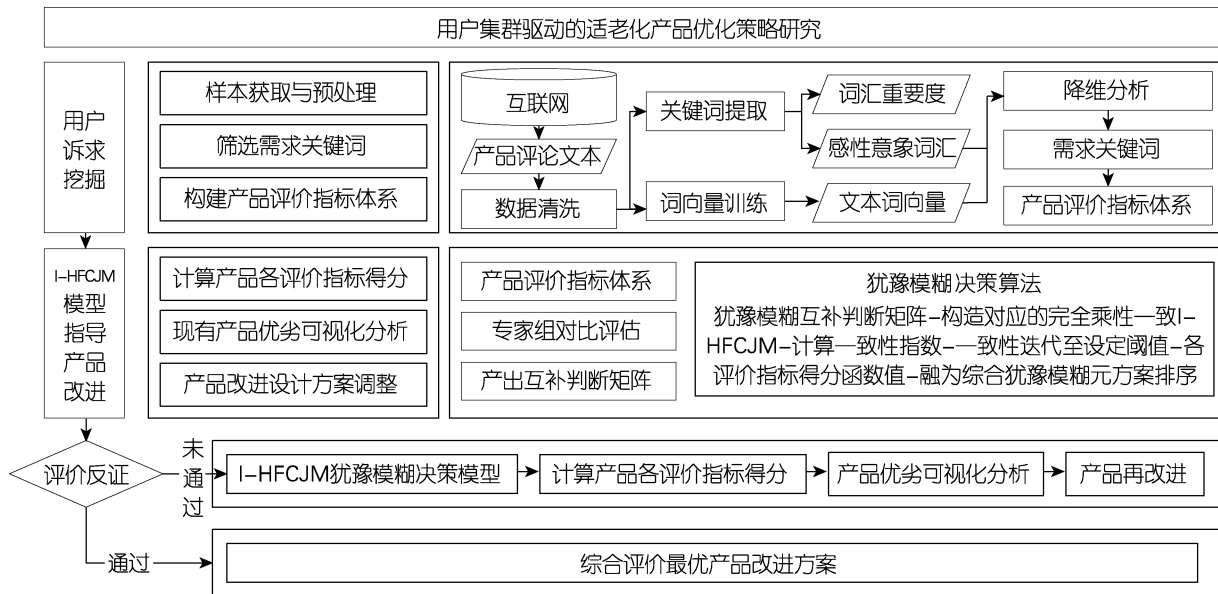


图 1 用户集群驱动的适老化产品优化策略框架

Fig.1 A strategic framework for optimizing aging products driven by user clusters






$$T_{V_i} = \frac{(1-d)}{n} + d \left( \sum_{V_j \in I_{V_i}} \frac{w_{ji}}{\sum_{V_k \in O_{V_j}} w_{jk}} T_{V_j} \right) \quad (1)$$

式中,  $T_{V_i}$  为词语  $V_i$  的重要度;  $d$  为阻尼系数(常

为 0.85);  $I_{V_i}$  为重要词汇的集合;  $O_{V_j}$  为词语  $V_j$  及其共现的重要词汇的集合;  $w_{ji}$ 、 $w_{jk}$  为两节点间边的权重(即节点间相似度)。基于式(1)提取产品关键词和权重, 部分结果见表 2。

表 2 代表意象词汇及其权重(部分)

Tab.2 Representing image vocabulary and its weight (partial)

样本(型号)	样本示例	意象词汇编号									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
大金 (LiteTEC-5X)		静音	耐用	节能	服务	美观	稳定	品牌	方便	安心	价格
		1.000	0.971	0.617	0.578	0.309	0.223	0.183	0.170	0.168	0.149
亚适 (Companion 5)		耐用	全能	轻便	稳定	量大	安全	美观	车载	简便	噪音
		1.000	0.995	0.649	0.456	0.446	0.302	0.285	0.221	0.167	0.163
3DeVilbis (JV525KS)		稳定	实惠	耐用	功能	噪音	沉稳	简便	美观	安全	售后
		1.000	0.793	0.562	0.467	0.428	0.326	0.307	0.226	0.201	0.158
英维康 (IRC5LXO2AW)		噪音	耐看	实惠	亲民	品牌	简洁	沉稳	稳定	售后	耐用
		1.000	0.623	0.607	0.558	0.519	0.322	0.316	0.212	0.209	0.163
鱼跃 (8F-5W)		实惠	售后	噪音	耐用	服务	方便	轻巧	美观	亲民	安全
		1.000	0.620	0.611	0.542	0.528	0.315	0.306	0.202	0.189	0.158

转用 Word2vec 工具训练文本词向量, 将上述数据作为原始数据保存到新的 txt 中, 词向量维度默认设定为 100, 部分输出结果见表 3。

对训练好的词向量做后处理, 考虑关键词图中节点实质为无法直接计算的独立词汇, 因此, 本文通过

词向量(Distributed Representation)对反映语义关系的关键词群进行参数化描述, 进而转换为词向量用以构建词向量空间, 并将其视为空间内一点, 在此基础上于空间内引入“距离”, 则可通过点间距离来衡量词间语义相似性, 进而对词向量降维至  $m$  维度, 即可

表3 词向量输出及关联度(部分)  
Tab.3 Word vector output and degree of relevance (partial)

出氧口		静音		外观		大字面板	
关联词语	关联度	关联词语	关联度	关联词语	关联度	关联词语	关联度
吸氧管	0.772	大金	0.603	流线型	0.763	遥控	0.706
噪音	0.769	欧姆龙	0.585	美观	0.729	静音	0.659
氧浓度	0.715	Devibiss	0.569	科技感	0.726	按键	0.647
流量	0.658	台式	0.523	舒适	0.689	傻瓜式	0.633
接口	0.637	英伟康	0.486	弧形	0.652	故障报警	0.625
运行时间	0.613	鱼跃	0.453	斜面	0.648	智能锁	0.581
连续开机	0.586	稳定	0.451	小巧	0.637	节能	0.563
过滤	0.575	5L	0.429	沉稳	0.631	两用	0.549
维护	0.523	PHILIPS	0.416	笨重	0.516	定时	0.537
保修	0.516	便携	0.397	柔和	0.413	耐用	0.526

遴选其所包含的关键信息,描述如下。

$$K_i = \sum_{j=1}^N (T_{ij} D(W_{ij})) = \sum_{j=1}^N \begin{bmatrix} T_{ij} D_1(W_{ij}) \\ T_{ij} D_2(W_{ij}) \\ \vdots \\ T_{ij} D_m(W_{ij}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中,  $K$  为样本的关键词群;  $D(W_{ij})$  为样本  $i$  中关键词的重要性参数所构成的向量,  $D_m(W_{ij})$  为  $m$  维上该节点值。鉴于关键词的可叠加性,通过对应词向量在相应维度求和即可得到样本关键评价信息,即产品  $i$  的意象关键词可用实数向量  $K_i$  描述如下。

$$K_i = \left[ \sum_{j=1}^N T_{ij} D_1(W_{ij}) \quad \sum_{j=1}^N T_{ij} D_2(W_{ij}) \quad \dots \quad \sum_{j=1}^N T_{ij} D_m(W_{ij}) \right]^T \quad (3)$$

将表3中51个样本的代表意象词汇及其权重数据作为原始数据,为使数据变量之间的关系更加清晰,将原始数据中许多相关性很高的变量转化成彼此相互独立或不相关的变量,选出比原始数据个数少,能解释大部分数据中变量的几个新变量,用以解释产品的综合性指标。本文选用主成分分析(PCA)提取各关键词的词向量值并进行降维,得到相应的  $m$  维

向量,既满足数据的降维又能包括原始数据的大部分信息,对原始数据压缩精简的同时可有效保留词向量间共性关键信息。碎石图分析结果见图2,在维度4时,根据各主成分对数据变异的解释程度绘制的陡坡趋于平缓;且维度4后累计方差贡献率达到了73.798%,见表4。因此,应用上述公式进一步降维至维度4后得到的关键词及其权重见表5。

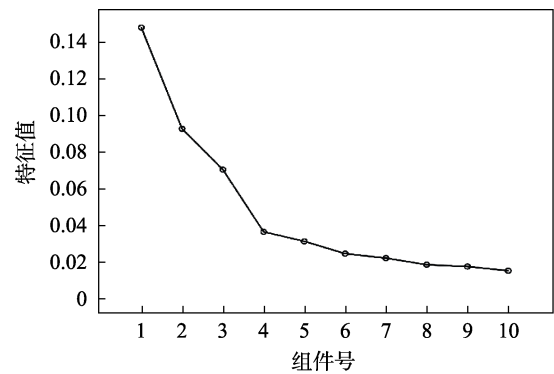


图2 碎石图  
Fig.2 Scree plot

表4 总方差解释(部分)  
Tab.4 Total variance interpretation (part)

成分	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	总计	方差百分比	累积/%	总计	方差百分比	累积 %	总计	方差百分比	累积/%
1	0.147	31.616	31.616	0.147	31.616	31.616	0.106	22.900	22.900
2	0.092	19.702	51.318	0.092	19.702	51.318	0.089	19.070	41.970
3	0.069	14.900	66.219	0.069	14.900	66.219	0.091	19.608	61.579
4	0.035	7.579	73.798	0.035	7.579	73.798	0.057	12.219	73.798
5	0.030	6.464	80.262						
6	0.023	5.020	85.282						
7	0.021	4.492	89.774						
8	0.017	3.718	93.493						
9	0.016	3.500	96.993						
10	0.014	3.007	100.000						

表 5 需求关键词及其权重 (部分)  
Tab.5 Demand keywords and their weights (partial)

关键词	权重值	关键词	权重值	关键词	权重值	关键词	权重值
亲和	1.000	傻瓜式	0.757	故障报警	0.681	便携	0.639
静音	0.926	安全	0.736	便利	0.669	稳定	0.625
美观	0.818	简单	0.727	沉稳	0.657	直观	0.618
舒适	0.793	操作	0.705	耐用	0.651	爱用	0.602

考虑到本文目标用户集群为老年用户的特殊性,采集到的部分文本为家属代为描述,对提取结果造成干扰。因此本文依据表 5 所得高权重词汇对老年用户进行访问验证,将访问内容作为验证语料,部分验证语料见图 3,重新代入 TextRank 算法,对需求关键词进行再提取。结合领域专家知识与主流领域文献<sup>[23-24]</sup>中实体类别定义,将调整后的需求关键词加以分组汇

总,见表 6。

### 3.3 评价指标体系建立

邀请专家对需求关键词汇编撰归类,构建老年制氧机产品的评价指标体系(见表 7),并将指标对应关键词权重进行归一化处理<sup>[25]</sup>作为指标权重,为后期决策模型对现有产品评价分析及产品改进提供理论依据。

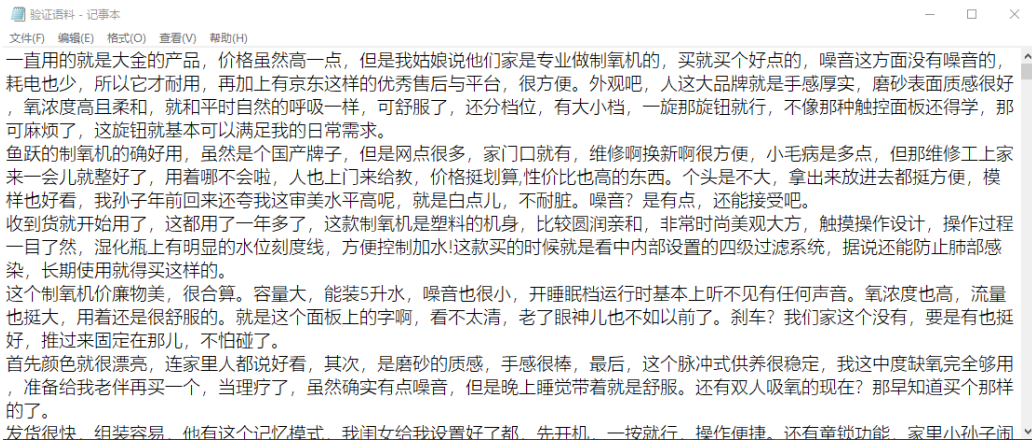


图 3 验证语料 (部分)  
Fig.3 Verification corpus (partial)

表 6 验证后需求关键词及其分属类别  
Tab.6 After verification, the required keywords and their entity classification

分属类别	需求关键词 (及比重)
外观和材质	亲和 (1.0) 美观 (0.78) 便利 (0.66) 沉稳 (0.62)
操作方式	简单 (0.75) 字 (0.66) 直观 (0.63) 傻瓜式 (0.60)
功能属性	静音 (0.96) 舒适 (0.78) 故障报警 (0.70) 稳定 (0.63) 好用 (0.62)
其他	安全 (0.75) 耐用 (0.65) 爱用 (0.60)

表 7 老年制氧机产品的评价指标体系  
Tab.7 Evaluation index system of oxygen generator products for the elderly

一级 C (权重)	二级 N (权重)	需求
美学性指标 C <sub>1</sub> (0.27)	美观性 N <sub>1</sub> (0.26)	造型线条流畅自然,实用与美观结合
	时代性 N <sub>2</sub> (0.32)	附加值与品牌价值与时代性相统一
	协调性 N <sub>3</sub> (0.19)	协调的比例尺度和色彩搭配
	体量性 N <sub>4</sub> (0.23)	符合用户要求的外观设计体量感,使用方便又舒适
交互性指标 C <sub>2</sub> (0.23)	易操作性 N <sub>5</sub> (0.28)	交互方式多样化
	直观性 N <sub>6</sub> (0.24)	界面布局视觉化简洁且逻辑合理
	容错性 N <sub>7</sub> (0.23)	避免错误操作,明显的物理限制及良好的反馈机制
	移情性 N <sub>8</sub> (0.25)	交互行为的触发方式友好

续表 7

一级 C (权重)	二级 N (权重)	需求
功能性指标 C <sub>3</sub> (0.26)	可用性 N <sub>9</sub> (0.21)	功能合理, 满足用户多方面的要求
	可靠性 N <sub>10</sub> (0.21)	材料合用, 品质精良
	先导性 N <sub>11</sub> (0.32)	设计理念先进, 产品竞争力高
	易学性 N <sub>12</sub> (0.26)	可迅速学会并熟练应用
社会性指标 C <sub>4</sub> (0.24)	经济性 N <sub>13</sub> (0.24)	大牌品质, 物美价廉, 经济适用
	时效性 N <sub>14</sub> (0.28)	服务速度与供货速度快捷
	尊重性 N <sub>15</sub> (0.22)	自我价值得以体现
	安全性 N <sub>16</sub> (0.26)	对老年人的人身财产安全无危害

### 4 I-HFCJM 决策模型构建

在实际的产品评价决策过程中, 很多评价指标概念内涵是明确的, 但外延是模糊的, 专家审判时的犹豫术语不足以表达评价信息, 因此以准确数形式给出的决策信息存在一定局限, 犹豫模糊决策法 (Hesitating Fuzzy Decision Method) 已成为一种很有实用价值的工具。对传统犹豫模糊决策模型进行完全乘性一致的改进, 并引入满足幂等性的犹豫模糊加权平均 (I-HFWA) 算子对所得 I-HFCJM 模型加以完善, 用于计算各产品评价指标得分函数值及综合权重, 进而推演出最为合理高效的产品改进设计, 使得产品设计再现用户的真实诉求。具体流程见图 4。

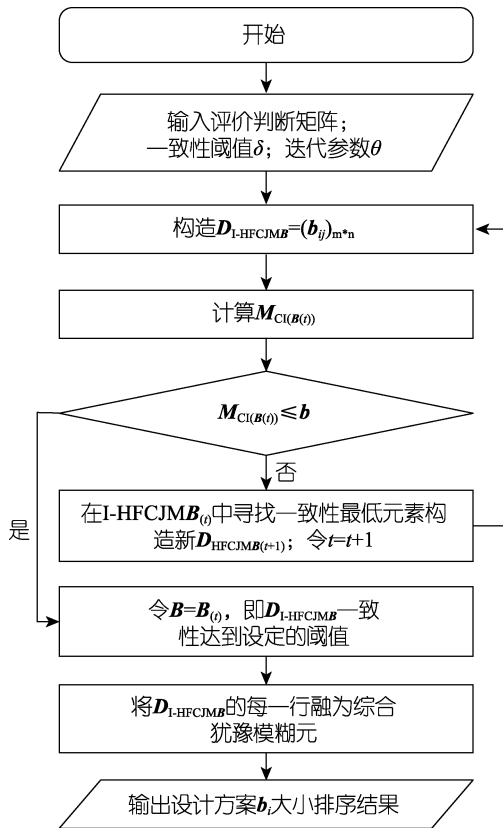


图 4 基于犹豫模糊算法的方案评价模型 I-HFCJM  
Fig.4 Project evaluation model I-HFCJM based on hesitating fuzzy algorithm

#### 4.1 I-HFCJM 决策模型要素

I-HFCJM 是在犹豫模糊互补判断矩阵 (Hesitant Fuzzij Complementarij Judgement Matrix, HFCJM) [13-17] 的基础上, 引入改进的犹豫模糊加权平均 (I-HFWA) 算子 [22], 构建 I-HFCJM 模型对原有模型幂等性等不足加以改进, 进一步优化最终决策结果的合理性与可靠性。

##### 4.1.1 互补判断矩阵

设一组待评价的适老化产品为  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 。专家们通过对产品样本进行两两对比后给出满足一定条件的评估信息, 可以将定义在集合  $x$  上的实数矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  构造为不同类型的互补判断矩阵,  $a_{ij} \in [0,1]$  表示为产品样本  $x_i$  相对于  $x_j$  的偏好度信息, 如下。

$$a_{ij} + a_{ji} = 1, a_{ii} = 0.5, \forall i, j \in N \quad (4)$$

且对所有  $i, k, j \in N$  :

$$a_{ij} \cdot a_{jk} \cdot a_{ki} = a_{ik} \cdot a_{kj} \cdot a_{ji} \quad (5)$$

则称  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  满足乘性一致性。

##### 4.1.2 I-HFCJM 模型乘性一致性检验

受研究对象的客观复杂性及专家判断的主观局限性影响, HFCJM 越来越重视对模糊信息的处理, 判断矩阵的一致性高低直接影响到最终的排序结果是否能够真实的反应客观实际情况。

假设  $B = (b_{ij})_{n \times n}$  是定义在集合  $X$  上的,  $b_{ij} = \{b_{ij}^m \mid m = 1, 2, \dots, \#b_{ij}\}$  ( $\#b_{ij}$  指的是  $b_{ij}$  中元素的个数) 称为犹豫模糊元 (Hesitant Fuzzij Element, HFE), 表示产品样本  $x_i$  相对于  $x_j$  的可能偏好度信息。若对所有的  $i, k, j \in N, m = 1, 2, \dots, s$ , 满足以下条件。

$$b_{ij}^m \cdot b_{jk}^m \cdot b_{ki}^m = b_{ik}^m \cdot b_{kj}^m \cdot b_{ji}^m \quad (6)$$

则称  $B = (b_{ij})_{n \times n}$  具有乘性一致性。

面对日益复杂的产品评价问题, 专家们给出的  $D_{I-HFCJMB} = (b_{ij})_{n \times n}$  一般都难以满足上式中的条件不具备完全乘性一致性。于是, 令  $\tilde{B} = (\tilde{b}_{ij})_{n \times n}, \tilde{b} = \{\tilde{b}_{ij}^m \mid m = 1, 2, \dots, l\}$  对原始给定的  $D_{I-HFCJMB} = (b_{ij})_{n \times n}$  进



行完全乘性一致性改造如下, 并借助于两者之间的差距来描述原始  $D_{1-HFCJMB} = (b_{ij})_{n \times n}$  的一致性水平。

$$\bar{b}_{ij}^m = \left( \frac{\sum_{l=1}^n \frac{b_{il}^m}{\sum_{h=1}^n b_{hl}^m}}{\sum_{l=1}^n \frac{b_{il}^m + b_{jl}^m}{\sum_{h=1}^n b_{hl}^m}} \right) \quad (7)$$

其中, 矩阵  $\bar{B} = (\bar{b}_{ij})_{n \times n}$  中元素的每一项, 均是由原始  $D_{1-HFCJMB} = (b_{ij})_{n \times n}$  中的多项评价数据通过一定运算后得到, 构造所得的  $D_{1-HFCJMB} = (b_{ij})_{n \times n}$  具有完全乘性一致性, 且  $D_{1-HFCJMB}$  与其对应的  $\bar{B}$  越接近, 则  $D_{1-HFCJMB}$  的一致性水平就越高。

因此, 可以借助  $D_{1-HFCJMB}$  与  $\bar{B}$  之间的距离来衡量  $D_{1-HFCJMB}$  的一致性水平, 定义其一致性指数如下。

$$M_{CI(B)} = \frac{2}{sn(n-1)} \sum_{m=1}^s \sum_{i < j} |\bar{b}_{ij}^m - b_{ij}^m| \quad (8)$$

由于公式 (8) 中共有  $2/sn(n-1)$  项  $|\bar{b}_{ij}^m - b_{ij}^m|$ , 并且  $|\bar{b}_{ij}^m - b_{ij}^m| \in [0, 1]$ , 因此  $M_{CI(B)} \in [0, 1]$ 。而  $M_{CI(B)}$  表示  $D_{1-HFCJMB}$  与其对应完全一致  $D_{1-HFCJMB}$  的距离, 因此  $M_{CI(B)}$  越小表示  $B$  的一致性越好。

为提高  $D_{1-HFCJMB}$  一致性水平, 当  $M_{CI(B)}$  值高于一致性阈值时, 在  $D_{1-HFCJMB} = (b_{ij})_{n \times n}$  中寻找一致性水平最低的元素  $b_{i^*, j^*}^{m^*}$ , 其满足

$$|\bar{b}_{i^*, j^*}^{m^*} - b_{i^*, j^*}^{m^*}| = \max_{1 \leq m \leq s, i < j} |\bar{b}_{ij}^m - b_{ij}^m| \quad (9)$$

然后构建新的  $D_{1-HFCJMB(t+1)} = (b_{ij(t+1)})_{n \times n}$ ,  $b_{ij(t+1)} = \{b_{ij(t+1)}^m | m = 1, 2, \dots, s\}$ , 其中:

$$b_{ij(t+1)}^m = \begin{cases} (1-\theta) \cdot b_{i^*, j^*}^{m^*} + \theta \cdot \bar{b}_{i^*, j^*}^{m^*}, & i = i^*, j = j^*, m = m^* \\ b_{ij}^m, & \text{其他} \\ 1 - b_{ij}^m, & i = j^*, j = i^*, m = m^* \end{cases} \quad (10)$$

从而对  $D_{1-HFCJMB}$  进行迭代更新, 调整  $M_{CI(B)}$  值至一致性阈值范围内, 确保  $D_{1-HFCJMB}$  的一致性水平及决策结果的合理性与可靠性。

#### 4.1.3 基于 I-HFWA 算子的综合犹豫模糊元融合

犹豫模糊元 (HFE)  $b_{ij}$  满足  $b_{ij}^m \in [0, 1]$ ,  $b_{ij}^m < b_{ij}^{m+1}$ ,  $b_{ji}^m < b_{ji}^{m+1}$ ,  $m = 1, 2, \dots, \#b_{ij} - 1, i < j, i, j \in N$  的同时, 应该满足对  $\forall m = 1, 2, \dots, \#b_{ij}$ , 见式 (11)。

$$b_{ii} = \{0.5\}, b_{ij}^m + b_{ji}^m = 1, \#b_{ij} = \#b_{ji} \quad (11)$$

不同犹豫模糊元 (HFE) 中的元素个数不一致情况, 可借助文献[21]中的法则进行规范化处理。设犹豫模糊元 (HFE) 为  $b = \{b^m | m = 1, 2, \dots, s\}$ , 则其得分函数可定义如下。

$$g(b) = \frac{1}{s} \sum_{m=1}^s b^m \quad (12)$$

对于 2 个犹豫模糊元 (HFE)  $b_1, b_2$  而言, 若  $g(b_1) > g(b_2)$ , 则  $b_1 > b_2$ ; 若  $g(b_1) = g(b_2)$ , 则  $b_1 = b_2$ 。

HFCJMB 的应用通常需要借助信息集成算子进行综合信息的融合, 由于传统模糊加权平均 (HFWA) 算子存在不满足幂等性等明显不足, 对最终决策结果的合理性与可靠性造成干扰。为此, 借助文献[22]中的法则, 引入满足幂等性的犹豫模糊信息集成方法——犹豫模糊加权平均 (I-HFWA) 算子对传统 HFWA 算子加以改进, 改进如下。

假设  $\{b_1, b_2, \dots, b_q\}$  为给定的犹豫模糊元 (HFE), 其对应权重向量为  $w = (w_1, w_2, \dots, w_q)^T$ , 满足  $w_j \geq 0$ ,

$\sum_{j=1}^q w_j = 1$ 。则称:

$$I-HFWA(b_1, b_2, \dots, b_q) = \bigoplus_{j=1}^q w_j b_j = \bigcup_{m=1}^s \left\{ 1 - \prod_{j=1}^q (1 - b_j^m)^{w_j} \right\} \quad (13)$$

利用犹豫模糊加权平均 (I-HFWA) 算子对犹豫模糊元 (HFE) 进行融合, 进而计算出各产品样本综合得分, 从而构建基于犹豫模糊算法的方案评价模型 (I-HFCJMB), 辅助设计师明确各待测产品样本优劣排序。

#### 4.2 基于 HFCJMB 的方案评价模型

保证结果合理性与可靠性的前提下, 基于犹豫模糊决策算法构造方案评价模型, 见图 4。

步骤 1: 专家基于选定产品样本集合  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  给出包含评价信息的  $D_{1-HFCJMB} = (b_{ij})_{n \times n}$ , 一致性阈值  $g_0$ , 迭代参数  $\theta$ 。

步骤 2: 算法初始化。令  $B_{(t)} = B$ , 且  $t = 0$ 。

步骤 3: 运用公式 (7) 构造  $B$  对应的完全乘性一致的  $D_{1-HFCJMB} = (b_{ij})_{n \times n}$ 。

步骤 4: 运用公式 (8) 计算  $M_{CI(B(t))}$ 。

步骤 5: 若  $M_{CI(B(t))} \leq g_0$ , 则转到步骤 7; 否则执行下一步。

步骤 6: 运用公式 (9) 在  $D_{1-HFCJMB} = (b_{ij})_{n \times n}$  中寻找一致性水平最低的元素  $b_{i^*, j^*}^{m^*}$ , 然后运用公式 (9) 构建新的  $D_{1-HFCJMB(t+1)}$ 。

步骤 7: 令  $\bar{B} = (\bar{b}_{ij(t)})_{n \times n} = \bar{B}^{(t)}$ ,  $t^* = t$ , 则  $D_{1-HFCJMB \bar{B}}$  的一致性达到了设定的阈值,  $D_{1-HFCJMB \bar{B}}$  即为各指标得分函数值。

步骤 8: 运用公式 (13) 将  $D_{1-HFCJMB \bar{B}}$  的每一行融合成为综合犹豫模糊元。

步骤 9: 依据综合犹豫模糊元  $b_i (i \in N)$  的大小对

产品样本  $x_i (i \in N)$  集合进行排序, 并输出最佳的产品样本。

为便于复杂评价问题的高效处理, 借助 Matlab 程序对上述算法予以实现, 操作界面见图 5, 输出各指标得分函数值, 对样本产品优劣进行可视化分析, 指导产品后期改进; 输出融合后的综合犹豫模糊元值, 用于计算各产品的用户评价综合权重并排序, 对改进方案有效性进行检验。

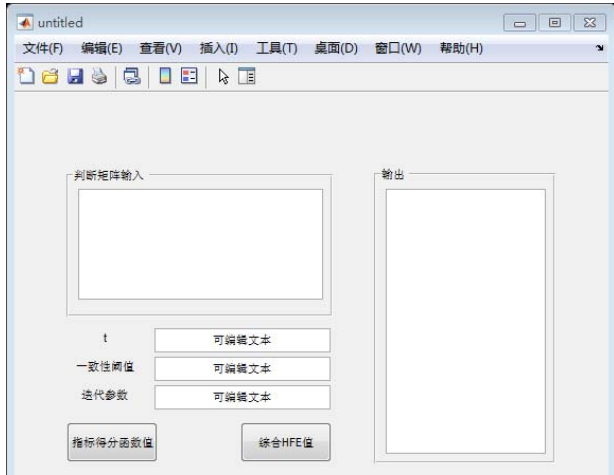


图 5 I-HFCJM 评价模型的应用界面  
Fig.5 Application interface of I-HFCJM evaluation model

$$B = \begin{bmatrix} \{0.5\} & \{0.3, 0.5, 0.7, 0.6\} & \{0.7, 0.5, 0.7, 0.5\} & \{0.5, 0.4, 0.6, 0.4\} & \{0.4, 0.7, 0.7, 0.6\} \\ \{0.7, 0.5, 0.3, 0.4\} & \{0.5\} & \{0.8, 0.5, 0.3, 0.2\} & \{0.7, 0.3, 0.2, 0.2\} & \{0.5, 0.6, 0.6, 0.4\} \\ \{0.3, 0.5, 0.3, 0.4\} & \{0.2, 0.5, 0.7, 0.8\} & \{0.5\} & \{0.4, 0.3, 0.5, 0.4\} & \{0.4, 0.7, 0.8, 0.4\} \\ \{0.5, 0.6, 0.4, 0.6\} & \{0.3, 0.7, 0.8, 0.8\} & \{0.6, 0.7, 0.5, 0.6\} & \{0.5\} & \{0.4, 0.8, 0.8, 0.5\} \\ \{0.7, 0.3, 0.3, 0.4\} & \{0.5, 0.4, 0.4, 0.6\} & \{0.6, 0.3, 0.2, 0.6\} & \{0.6, 0.2, 0.2, 0.5\} & \{0.5\} \end{bmatrix}$$

为指导产品改进方向, 将所得判断矩阵带入上述程序对 5 款产品各评价指标 C 排序, 步骤如下。

步骤 1: 令  $B_{(t)} = (b_{ij(t)})_{5 \times 5} = B = (b_{ij})_{5 \times 5}$  且  $t = 0$ , 迭代参数  $\theta = 0.2$ , 一致性阈值  $\delta_0 = 0.1$ 。

步骤 2: 将  $B_{(0)}$  所对应的完全乘性一致的  $D_{I-HFCJM \bar{B}_{(0)}} = (\bar{b}_{ij(0)})_{5 \times 5}$  进行一致性调整, 对比  $B_{(0)}$  和  $\bar{B}_{(0)}$  找出一致性水平最低元素, 并进行类似的迭代更新计算, 经过若干次迭代更新直至一致性指数为  $M_{CI(\bar{B})} = 0.093 < \delta_0$  时, 输出能够达到一致性阈值的  $D_{I-HFCJM \bar{B}}$  的得分函数值, 见表 8。

表 8 一级指标得分函数值

Tab.8 First-level indicator score function value

方案	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$X_1$	0.7042	0.6761	0.8376	0.6385
$X_2$	0.7256	0.6134	0.5501	0.5126
$X_3$	0.7625	0.6396	0.6552	0.6172
$X_4$	0.6978	0.7585	0.6875	0.7561
$X_5$	0.6917	0.5968	0.4943	0.5349

## 5 实例研究

### 5.1 同种产品样本选取与预处理

为让老年用户集群真正享用到数字化、智能化时代带来的便捷康养服务, 选取兼具保健功能与医疗功能、市场潜力巨大的老年家用制氧机产品为样本。基于用户集群理论, 将患有呼吸疾病需要长期进行家庭氧疗, 且经历了传统产品至数字产品转变的 50 岁以上的老年患者定为目标用户集群。运用 Scrapy 网络爬虫爬取有关制氧机的感性评价文本, 基于 TextRank 算法从制氧机相关评价中挖掘该目标用户集群显性和隐性需求, 并构建评价指标体系, 见表 7。

### 5.2 评价结果计算

为切实满足适老化需求, 邀请专家 8 名, 厂家工程师和销售人员 5 名, 设计师 7 名, 老年患者 10 名, 总计 30 人组成评审组, 于表 2 样本库中选取 5 款市场热门制氧机产品——大金 LiteTEC-5X、英维康 IRC5LXO2AW、欧姆龙 HAO-3000、DeVilbiss JV525KS、鱼跃 8F-5W, 从美观性指标  $C_1$  (0.27)、交互性指标  $C_2$  (0.23)、功能性指标  $C_3$  (0.26)、社会性指标  $C_4$  (0.24) 等方面, 对初选的 5 款产品  $X_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$  进行两两对比评估, 评价信息用  $D_{I-HFCJMB} = (b_{ij})_{5 \times 5}$  表示如下。

### 5.3 指导设计

依据上表中一级指标得分函数最大值找出对应的热门制氧机产品样本, 继续对该产品样本的二级指标同理进行评估计算, 结合 TextRank 算法提取该产品对应指标下的关键词, 据此对产品样本优劣进行可视化分析, 见表 9—10。

结合表 9—10 对产品样本优劣的可视化分析, 总结美学性、交互性、功能性及社会性指标下设计的可注意点和可借鉴点对可借鉴点, 予以传承、可注意点予以改进, 以此作为制氧机产品改进的方案指导, 见表 11, 生成改进方案即各指标优化结果, 见图 6。

### 5.4 评价反证

生成的新方案  $X_6$  与前 5 组热门产品  $X_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$  一起重新带入  $D_{I-HFCJMB}$  模型, 邀请评审组再次两两对比评估, 将所得判断矩阵  $D_{I-HFCJMB} = (b_{ij})_{6 \times 6}$  输入上述程序对 6 款产品各评价指标 C 进行计算排序。



表 9 产品改进方案可借鉴点分析  
Tab.9 Analysis of Reference Points for Product Improvement Programs

一级指标 C	得分最高的方案	二级指标 $N_i$	指标得分	得分函数值	$X_i$	得分最高指标对应关键词	指标解读
$C_1$	$X_3$	美观性 $N_1$ (0.26)	0.589 4	0.153 2		亲和 精致 流畅 轻巧	整体机身采用流线型设计, 外观精致小巧, 整体给人以亲和感, 较符合中国人的审美标准
		时代性 $N_2$ (0.32)	0.390 0	0.124 8			
		协调性 $N_3$ (0.19)	0.712 8	0.135 4			
		体量性 $N_4$ (0.23)	0.424 6	0.097 7			
$C_2$	$X_4$	易操作性 $N_5$ (0.28)	0.730 9	0.204 7		斜面 旋转阀 操作布局 简易	斜面面板布局简洁明了且配有旋转阀, 交互方式多样化的同时简易操作便于老年人理解和使用
		直观性 $N_6$ (0.24)	0.457 9	0.109 9			
		容错性 $N_7$ (0.23)	0.588 6	0.135 4			
		移情性 $N_8$ (0.25)	0.617 3	0.154 3			
$C_3$	$X_1$	可用性 $N_9$ (0.21)	0.728 6	0.153 0		静音 精准可控 双人 记忆模式	超静音节能; 氧流量精控; 一键记忆/锁定, 湿化瓶外置且可供双人用, 满足老年人多需求学用
		可靠性 $N_{10}$ (0.21)	0.605 0	0.127 1			
		先导性 $N_{11}$ (0.32)	0.604 1	0.193 3			
		易学性 $N_{12}$ (0.26)	0.468 5	0.121 8			
$C_4$	$X_4$	经济性 $N_{13}$ (0.24)	0.595 3	0.142 9		经济实惠 安全 故障报警 维修	材料经济耐用, 模块化结构对售后友好, 设有四类报警系统, 保障老年用户人身安全
		时效性 $N_{14}$ (0.28)	0.604 1	0.169 1			
		尊重性 $N_{15}$ (0.22)	0.605 0	0.133 1			
		安全性 $N_{16}$ (0.26)	0.723 2	0.188 0			

表 10 产品改进方案可注意点分析  
Tab.10 Product improvement plan can be noticed analysis


一级指标 C	得分最低的方案	二级指标 $N_i$	指标得分	得分函数值	$X_i$	得分最低指标对应关键词	指标解读
$C_1$	$X_2$	美观性 $N_1$ (0.26)	0.435 1	0.113 1		太大 笨重 冷冰冰的 移动	以米白色为主, 线条略硬, 体积略大, 比例略显笨重, 实用性较强美观性较弱
		时代性 $N_2$ (0.32)	0.517 3	0.165 5			
		协调性 $N_3$ (0.19)	0.286 9	0.054 5			
		体量性 $N_4$ (0.23)	0.326 2	0.075 0			
$C_2$	$X_5$	易操作性 $N_5$ (0.28)	0.245 3	0.068 7		看不清 太简洁 提示 不灵敏	界面布局小且密, 支持无线遥控但遥控器界面过于简洁老年人识用不便, 且无语音播报
		直观性 $N_6$ (0.24)	0.262 8	0.063 1			
		容错性 $N_7$ (0.23)	0.469 2	0.107 9			
		移情性 $N_8$ (0.25)	0.237 6	0.059 4			
$C_3$	$X_5$	可用性 $N_9$ (0.21)	0.272 3	0.057 2		噪音 鼻息管 内置 不会换	噪音大, 使用寿命短, 鼻息管使用受限, 湿化瓶取换需技巧, 设计理念过于现代, 老年用户学用难
		可靠性 $N_{10}$ (0.21)	0.300 1	0.063 0			
		先导性 $N_{11}$ (0.32)	0.514 6	0.164 7			
		易学性 $N_{12}$ (0.26)	0.371 9	0.096 7			
$C_4$	$X_3$	经济性 $N_{13}$ (0.24)	0.265 3	0.063 7		3L 小毛病多 二级过滤 一级报警	3L 不便于长期使用, 维修问题频发, 性价比低, 且仅有一个报警系统, 老年用户人身安全保障低
		时效性 $N_{14}$ (0.28)	0.258 6	0.072 4			
		尊重性 $N_{15}$ (0.22)	0.372 7	0.082 0			
		安全性 $N_{16}$ (0.26)	0.256 1	0.066 6			

表 11 设计方案指导  
Tab.11 Design guidance

指标	保留	改进	指标	保留	改进
$C_1$	流畅外形 亲和配色	大体积 笨重比例	$C_3$	一键记忆/锁定 可供双人用	噪音大 湿化瓶取换不便
$C_2$	斜面面板 旋转阀 简易操作	界面布局小且密 界面过于简洁	$C_4$	材料经济耐用 模块化结构	3 L 不便于长期使用 报警系统级别低



图6 产品改进效果

Fig.6 Product improvement effect chart

$$B = \begin{bmatrix} \{0.5\} & \{0.3, 0.5, 0.7, 0.6\} & \{0.7, 0.5, 0.7, 0.5\} & \{0.5, 0.4, 0.6, 0.4\} & \{0.4, 0.7, 0.7, 0.6\} & \{0.5, 0.5, 0.6, 0.4\} \\ \{0.7, 0.5, 0.3, 0.4\} & \{0.5\} & \{0.8, 0.5, 0.3, 0.2\} & \{0.7, 0.3, 0.2, 0.2\} & \{0.5, 0.6, 0.6, 0.4\} & \{0.6, 0.3, 0.2, 0.4\} \\ \{0.3, 0.5, 0.3, 0.4\} & \{0.2, 0.5, 0.7, 0.8\} & \{0.5\} & \{0.4, 0.3, 0.5, 0.4\} & \{0.4, 0.7, 0.8, 0.4\} & \{0.2, 0.4, 0.4, 0.5\} \\ \{0.5, 0.6, 0.4, 0.6\} & \{0.3, 0.7, 0.8, 0.8\} & \{0.6, 0.7, 0.5, 0.6\} & \{0.5\} & \{0.4, 0.8, 0.8, 0.5\} & \{0.5, 0.5, 0.4, 0.5\} \\ \{0.7, 0.3, 0.3, 0.4\} & \{0.5, 0.4, 0.4, 0.6\} & \{0.6, 0.3, 0.2, 0.6\} & \{0.6, 0.2, 0.2, 0.5\} & \{0.5\} & \{0.4, 0.2, 0.2, 0.4\} \\ \{0.5, 0.5, 0.6, 0.4\} & \{0.6, 0.3, 0.2, 0.4\} & \{0.2, 0.4, 0.4, 0.5\} & \{0.5, 0.5, 0.4, 0.5\} & \{0.4, 0.2, 0.2, 0.4\} & \{0.5\} \end{bmatrix}$$

为选出最符合老年用户美观性、交互性、功能性及社会性的产品样本，迭代更新直至一致性指数为  $M_{CI(\tilde{B})} = 0.097 < \delta_0$  时，将能够达到一致性阈值的  $D_{L-HFCIM\tilde{B}}$  的每一行进行融合集成，计算得到每个综合犹豫模糊元的得分函数，若新方案  $X_6$  为最佳方案，则改进效果可证，若新方案  $X_6$  不是最佳方案，则将6个方案重新代入评价模型继续分析改进。

$$g(\tilde{b}_1) = 0.5585, g(\tilde{b}_2) = 0.4276, g(\tilde{b}_3) = 0.4381$$

$$g(\tilde{b}_4) = 0.5489, g(\tilde{b}_5) = 0.4195, g(\tilde{b}_6) = 0.5717$$

以上述得分函数数值为依据对产品  $X_i (i=1, 2, 3, 4,$

$5, 6)$  排序为  $X_6 > X > X_4 > X_3 > X_2 > X_5$ 。于是，综合评价最佳的制氧机产品为  $X_6$ ，可证实该模型对产品方案的指导改进有效，满足了老年用户美观性、交互性、功能性及社会性的需求，已超越市场现有版本，具有投产发行的可行性。

为证实该模型对产品方案指导的可行性与有效性，运用目前较为成熟的 TOPSIS 评价法<sup>[26]</sup>，借助软件 SPSS 25 进行辅助计算对评价结果予以验证，评价流程见图7。

将已有评价判断矩阵信息代入辅助软件 SPSS 25，计算结果见表12。

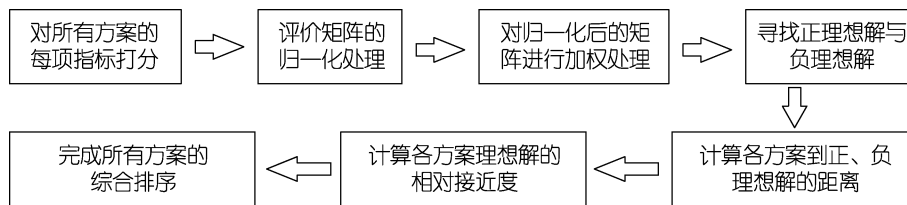


图7 TOPSIS 主要计算步骤

Fig.7 The main calculation steps of TOPSIS

表12 TOPSIS 评价计算结果

Tab.12 Evaluation and calculation results of TOPSIS method

方案	正理想解 距离 D+	负理想解 距离 D-	相对 接近度 C	排序	方案	正理想解 距离 D+	负理想解 距离 D-	相对 接近度 C	排序
$X_1$	0.51	2.66	0.84	2	$X_4$	0.53	2.53	0.83	3
$X_2$	1.02	1.84	0.64	4	$X_5$	1.82	1.51	0.45	6
$X_3$	1.25	1.88	0.60	5	$X_6$	0.40	2.65	0.87	1

综合以上算法分析过程和表 12 的结果分析可知,虽然借助于 TOPSIS 评价法与本文构造的 I-HFCJM 评价模型得到的最佳产品一致,验证了本文构建产品优化模型的可行性。但对 6 种产品的得分排序略有差异。深入分析可知,I-HFCJM 评价模型相对于 TOPSIS 法受异常值的影响更少,在面临复杂样本评价时思路明晰、数据信息损失少、工作量较少等优势是 TOPSIS 法所不具备的,两种方法的对比结果见表 13。

表 13 评价方法对比结果分析

Tab.13 Evaluation method comparison result analysis

评价方法	优势	劣势
I-HFCJM	一致性水平高,结果科学可信; 信息损失少;适应性、 操作性强,受影响小	评价信息调整 成本较大
TOPSIS	受数据分布及样本量、指标 多少的影响小;应用范围广, 几何意义直观	评价结构易受 异常值干扰

## 6 结语

本文提出适老化背景下基于用户集群驱动的产品优化策略研究。通过结合目前已有的 Scrapy 网络爬虫技术和 TextRank 算法,系统、层次、合理的量化构建一套用户集群驱动的产品评价指标体系。该方法以精准而真实地深层挖掘目标用户集群的需求为出发点,通过引入基于犹豫模糊决策算法的方案评价模型(I-HFCJM)建立模糊评价机制,聚类汇总现有产品优缺点,以指导产品方案改进。经实例验证,通过本文构建的优化策略应用于组内项目生成的改进方案,一举成为综合评价最优产品的成功率约有 87.35%,对提高提取信息与产品特征的映射拟合程度具有一定意义,为提升适老化产品使用满意度、建立一种用户集群驱动的短周期、高效率的感性设计模式提供技术支撑。

目前应用于适老化背景下的用户集群驱动产品优化策略研究,主要集中于对现有产品的问题改进,未来有待深入研究数据在深度与宽度上,并进一步提高关键词识别精度、深化提取信息与产品特征的映射拟合程度,构建数据库进行研究改进,为从目标用户集群的意象描述中,生成用户所言不明的新需求产品奠定前期基础,为感性意象智能设计应用于适老化产品提供理论和方法参考。

### 参考文献:

[1] 窦金花,齐若璇. 基于情境分析的适老化智能家居产品语音用户界面设计策略研究[J]. 包装工程, 2021, 42(16): 202-210.

DOU Jin-hua, QI Ruo-xuan. Elderly-Adaptability Voice User Interface Design Strategy of Smart Home Products Based on Context Analysis[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(16): 202-210.

[2] 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(3): 469-479.

YANG Mei, CONG Yang-fan, LI Xue-rui. Comprehensive Evaluation and Optimization Method of Products for the Elderly Based on FAHP and TOPSIS—A Case Study on the Smart Bracelet for the Elderly[J]. Journal of Graphics, 2020, 41(3): 469-479.

[3] PENALOZA L, TOULOUSE N, VISCONTI M L. Marketing Management[M]. London: Taylor and Francis: 2019-07-30.

[4] 苏建宁,唐钊山,景楠,等. 面向用户集群的产品设计方法研究[J]. 机械设计, 2019, 36(4): 119-123.

SU Jian-ning, TANG Zhao-shan, JING Nan, et al. Research on Product Design Method for User Cluster[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(4): 119-123.

[5] ZHOU Ya-jian, DENG Ding-peng, CHI Jun-hui. A Short Text Classification Algorithm Based on Semantic Extension[J]. Chinese Journal of Electronics, 2021, 30(1): 153-159.

[6] 张明西,乐水波,李学民,等. 文本配图系统的设计与实现[J]. 包装工程, 2020, 41(19): 252-258.

ZHANG Ming-xi, LE Shui-bo, LI Xue-min, et al. Design and Implementation of Picture Matching System for Text[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(19): 252-258.

[7] 姬建睿,孙春华,刘业政. 基于多重迭代合并策略的论坛版块关注点识别研究[J]. 情报理论与实践, 2021, 44(7): 118-124.

JI Jian-rui, SUN Chun-hua, LIU Ye-zheng. Recognizing Focuses in Sub-Forum Based on Multi-Iteration Combined Strategy[J]. Information Studies: Theory & Application, 2021, 44(7): 118-124.

[8] HE Zai-xing, WU Meng-tian, ZHAO Xin-yue, et al. Representative Null Space LDA for Discriminative Dimensionality Reduction[J]. Pattern Recognition, 2021, 111: 107664.

[9] 林丽,张云鹏,牛亚峰,等. 基于网络评价数据的产品感性意象无偏差设计方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2020, 50(1): 26-32.

LIN Li, ZHANG Yun-kun, NIU Ya-feng, et al. Unbiased Design Method for Product Kansei Image Design Based on Network Evaluation Data[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2020, 50(1): 26-32.

[10] 黄海涛. Python 3 破冰人工智能从入门到实战[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.

HUANG Hai-tao. Python ice-breaking Artificial Intelligence: From Beginner to Actual Combat[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2019.

[11] 李雪瑞,侯幸刚,杨梅,等. 数字孪生驱动的工业产品 CMF 设计服务模型构建与应用[J]. 计算机集成制

- 造系统, 2021, 27(2): 307-327.
- LI Xue-ru, HOU Xing-gang, YANG Mei, et al. Construction and Application of CMF Design Service Model for Industrial Products Driven by Digital Twins[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2021, 27(2): 307-327.
- [12] 杨延璞, 陈登凯, 成沛瑶. 工业设计决策问题研究[J]. 包装工程, 2020, 41(22): 1-6.  
YANG Yan-pu, CHEN Deng-kai, CHENG Pei-yao. Decision-Making Problems of Industrial Design[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(22): 1-6.
- [13] 徐泽水, 潘玲, 廖虎昌. 基于 MACBETH 方法的犹豫模糊语言多准则决策方法[J]. 控制与决策, 2017, 32(7): 1266-1272.  
XU Ze-shui, PAN Ling, LIAO Hu-chang. Multi-Criteria Decision Making Method of Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set Based on Improved MACBETH Method[J]. Control and Decision, 2017, 32(7): 1266-1272.
- [14] 廖虎昌. 复杂模糊多属性决策理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2016.  
LIAO Hu-chang. Theory and Method of Complex Multi-attribute Decision Making[M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [15] 王应明, 阙翠平, 蓝以信. 基于前景理论的犹豫模糊 TOPSIS 多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2017, 32(5): 864-870.  
WANG Ying-ming, QUE Cui-ping, LAN Yi-xin. Hesitant Fuzzy TOPSIS Multi-Attribute Decision Method Based on Prospect Theory[J]. Control and Decision, 2017, 32(5): 864-870.
- [16] 阮传扬, 杨建辉, 韩莉娜, 等. 考虑可信度和属性优先级的犹豫模糊决策方法[J]. 运筹与管理, 2016, 25(3): 125-131.  
RUAN Chuan-yang, YANG Jian-hui, HAN Li-na, et al. Hesitant Fuzzy Decision Making Method with Confidence Levels and Preference Relations on Attributes[J]. Operations Research and Management Science, 2016, 25(3): 125-131.
- [17] 许昌林, 沈菊红. 一种新的直觉模糊集距离及其在决策中的应用[J]. 计算机应用研究, 2020, 37(12): 3627-3634.  
XU Chang-lin, SHEN Ju-hong. New Distance between Intuitionistic Fuzzy Sets and Its Applications in Decision-Making[J]. Application Research of Computers, 2020, 37(12): 3627-3634.
- [18] ZHU Bin, XU Ze-shui. Regression Methods for Hesitant Fuzzy Preference Relations[J]. Technological and Economic Development of Economy, 2013, 19(sup1): S214-S227.
- [19] WU Peng, LI Hong-yan, ZHOU Li-gang, et al. Consistency Analysis and Priority Weights of Multiplicative Trapezoidal Fuzzy Preference Relations Based on Multiplicative Consistency and Logarithmic Least Square Model[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2019, 37(6): 8317-8334.
- [20] WU Zhi-bin, XU Jiu-ping. A Consistency and Consensus Based Decision Support Model for Group Decision Making with Multiplicative Preference Relations[J]. Decision Support Systems, 2012, 52(3): 757-767.
- [21] ZHANG Hui-min. A Goal Programming Model of Obtaining the Priority Weights from an Interval Preference Relation[J]. Information Sciences, 2016, 354: 197-210.
- [22] 甘昕艳, 高翔. 基于犹豫模糊决策算法的云制造系统选择研究[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(2): 134-142.  
GAN Xin-yan, GAO Xiang. Research on Cloud Manufacturing System Selection Based on Hesitant Fuzzy Decision Making Algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2021, 57(2): 134-142.
- [23] SU Zhao-jing, YU Sui-huai, CHU Jian-jie, et al. A Novel Architecture: Using Convolutional Neural Networks for Kansei Attributes Automatic Evaluation and Labeling[J]. Advanced Engineering Informatics, 2020, 44: 101055.
- [24] 黎兰平, 郭修远. 自动驾驶汽车车外人机交互界面设计研究[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 57-64.  
LI Lan-ping, GUO Xiu-yuan. EHMI Design for Automated Vehicles[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 57-64.
- [25] 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(4): 670-679.  
LI Xue-ru, HOU Xing-gang, YANG Mei, et al. 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.
- [26] 何劲涛, 陈登凯, 余隋怀. 旅游文化创意产品多文化意象色彩设计评价方法[J]. 机械科学与技术, 2021, 40(1): 92-100.  
HE Jin-tao, CHEN Deng-kai, YU Sui-huai. Multi-Cultural Image Color Design Evaluation Methods for Creative Products of Tourism Culture[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2021, 40(1): 92-100.

责任编辑: 陈作