

基于模糊层次分析法的自动排泄处理器设计评估

陆宁¹, 徐伯初¹, 支锦亦¹, 胡杰²

(1.西南交通大学, 成都 610036; 2.四川传媒学院, 成都 610036)

摘要: **目的** 利用模糊层次理论将产品设计中的定性问题与用户需求结合起来, 对自动排泄处理器进行了综合分析评价, 以设计出符合用户心理需求及具有良好使用性的产品。**方法** 采用德菲尔调研法对用户及市场进行需求分析, 构建自动排泄处理器的评价因素集, 建立层次分析模型, 结合模糊综合评价法对其进行评价, 定量计算各设计因素评价指标。**结果** 通过实例验证, 表明该方法在自动排泄处理器设计元素综合评价中具有较强的可靠性和可行性。**结论** 该方法可对产品设计中的各项因素进行定量计算, 并对设计方案进行全面、客观评价, 为产品方案的选择提供了量化的决策依据。

关键词: 产品设计; 自动排泄处理器; 模糊层次分析法

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)08-0151-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.08.030

Evaluation of Automatic Defecation Device Based on Fuzzy Analytical Hierarchy Process

LU Ning¹, XU Bo-chu¹, ZHI Jin-yi¹, HU Jie²

(1.Southwest Jiaotong University, Chengdu 610036, China; 2.Sichuan Institute of Media, Chengdu 610036, China)

ABSTRACT: By using the fuzzy analytical hierarchy process theory, the qualitative problems are combined with the user's requirements in product design. A comprehensive analysis and evaluation of the automatic discharge nursing device is used to meet the psychological needs of users and has a good use of products. The Delphi survey method is used to analyze the needs of users and the market to come up with the design scheme. Construction of evaluation factors of automatic discharge nursing device. A hierarchical analysis model is established using the method of fuzzy mathematics to evaluate the various factors. Through the example, the results show that the method has a good reliability and feasibility in the comprehensive evaluation of the design elements. This method can be used to calculate the various factors in product design and carry on the comprehensive and objective evaluation of the design scheme. It provides the quantitative decision basis for the selection of the product plan.

KEY WORDS: product design; automatic defecation device; fuzzy analytical hierarchy process

自动排泄处理器作为一种新型的家用及医用护理仪器, 因具有自动化、人性化、卫生、方便等优点, 已越来越受到重视。简单的专家打分系统因受到专家的经验影响较大, 已不能客观的、科学的反映被评价产品的真实性, 因此, 大量的数学模型在评价中得到应用, 一方面既可以反映决策者的主观信息, 另一方面可以通过原始数据和数学模型, 使评价结果更为客观^[1]。国内外学者对产品设计评价方法理论做了大量

的研究, Aunan 提出的多目标综合评价, 奠定了多属性系统综合评价的理论基础与方法; TLSatty^[2]通过两两比较因素的相对重要性, 建立了描述系统功能或特征的内部独立的层次结构; 魏效玲^[3]为多目标多层次方案的产品性能评价提供了科学客观的可行途径; 朱永梅^[4]提出的根据各单项指标的特点运用不同的评价方法对其进行了评价, 最后采用灰度关联法进行产品设计的综合评价; 袁锋^[5]通过综合考虑各因素的影

收稿日期: 2018-01-01

基金项目: 成都市科技惠民计划技术研发项目“自动排泄处理装置的研发与应用”(2015-HM01-00558-SF); 中央高校基本科研业务费专项资金(268SWJTU15WCX05); 四川省科技服务业示范项目“成都市金牛区智慧健康小屋集成设计与研发应用示范”(2016GF0171); 2017年四川省科学技术厅软科学面上项目(2017ZR0187)

作者简介: 陆宁(1984—), 女, 江苏人, 西南交通大学博士生, 主要从事老龄产品设计与人因工程方面的研究。

响,并通过将模糊综合评价与层次分析法有机结合,提出了一种新的原理决策模型。另外,对于产品综合评价法还有基于神经网络的综合评价法^[6],基于可拓物元方法的优度评价法^[7]等。这些评价方法各有其特点,但大体上分为两类,一类是采用综合咨询评分的定性方法确定权重;另一类是根据各指标之间的相关关系或各项指标的变异程度来确定权数。根据着眼点不同,可以选用不同的方法从不同的角度进行综合评价。作为医疗产品,目前市面上的排泄处理器仅偏重功能的实现,设计师忽略了全面、客观的设计策略,仅靠专家打分系统已不能客观、科学地反映被评价产品的真实性,因此,为了避免在评价的过程中出现片面性和过于主观性,本文通过模糊层次分析法,实现定性指标的定量转化,根据各因素指标权重赋予各指标确定的分值,建立量化的人机工效综合评价分值,使产品设计评估更为客观。

1 自动排泄处理器的设计研究

1.1 自动排泄处理器概述

长期以来,卧床病人的护理工作是一项十分繁重的工作。卧床病人因功能丧失的程度不同,情况也各不相同,意识完全丧失、排泄能力丧失、肢体活动能力完全丧失等情况对护理的需求重点也各不相同。排泄护理是卧床照护最常见的需求之一,这些人群的大小便只能在床上解决,现在普通的做法是采用尿壶或床用坐便器等,这给护理人员的工作带来了许多难题。随着技术水平的不断提高,越来越多的病人追求更为人性化的卧床护理。

运用现代化技术的科学护理,可以有效解决卧床病人的排泄问题。当患者排出大、小便后,感应器自动感知,立即抽取大小便并存储在污物桶内,冲洗净水通过各处喷嘴自动喷出,冲洗患着的隐私部位及集便器内部,最后设有干燥、消毒臀部和隐私部位的功能,即时进行暖风干燥,使患者保持局部洁净干爽,有效改善卧床环境。自动排泄处理器结构图,见图1。

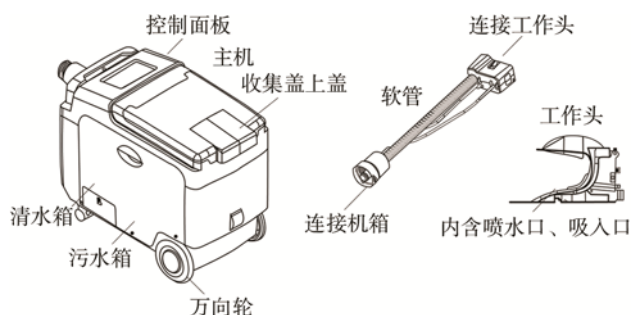


图1 自动排泄处理器结构

Fig.1 Structure diagram of automatic discharge nursing device

1.2 用户需求分析

采用德菲尔调查法^[8-9],随机邀请老年用户、医院护工、专家、设计师进行调查统计。此种调查方法是一种匿名的专家问卷调研方法,它与普通问卷调查法不同,受访专家不受干扰地独立对调查问卷发表观点,并保持有充分的时间进行查阅资料、分析问题、确保意见的真实性、可靠性^[10]。依据现有市场上自动排泄处理器存在的问题,有针对性的制订调研问卷,可以发现,使用者对自动排泄处理器需求主要集中在以下几点:(1)自动感应及清洗烘干功能,机器内置的传感器在第一时间感应到大小便,并启动清洗烘干功能,可以有效地减少使用者的不适感;(2)使用者操作方式及界面问题,机器使用者多为高龄老人、患者和护理人员,对现代智能化机器的操作具有一定的畏难心理,因此,机器自带的遥控界面及机器显示屏界面设计简洁,使用方便是使用者对机器的基本需求;(3)使用者穿戴的舒适性,临床显示,不符合人体工程学的设计,容易使患者引起褥疮、便秘等问题;(4)机器的造型、色彩问题,通过现场及手机端发放60份调查问卷,整理有效调研问卷为42份,统计信息并分析得出自动排泄处理器的设计需求,见图2。



图2 自动排泄处理器设计需求

Fig.2 Design requirements for automatic discharge nursing device

2 模糊层次法分析评价的建模

2.1 层次分析法确定权重

层次分析法是由美国运筹学家 T L Satty 于 20 世纪 70 年代提出的一种解决多目标的复杂问题的定性与定量相结合的决策分析方法。它利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化,采用两两比较的方法确定判断矩阵,然后把判断矩阵的最大特征向量的分量作为相应的系数,最后综合给出各方案的权重(优先程度)。通常它的步骤是:(1)构建评估指标的层次结构模型;(2)确定各指标间的相对重要性,计算判断矩阵;(3)判断矩阵的一致性检验;(4)计算评估指标的权重。层次分析法中,判断矩阵元素的值反映了评估指标重要性的两两比较结果,一般采用 1~9 来进行标度,见表 1。

表 1 元素相对重要性的比例标度
Tab.1 Scale of relative importance of elements

标度	两个指标的相对重要性
1	两个元素相比同等重要
3	两个元素相比，前者比后者略为重要
5	两个元素相比，前者比后者明显重要
7	两个元素相比，前者比后者强烈重要
9	两个元素相比，前者比后者极度重要
2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中间值

对于每一个指标设定 5 个级别评语，见表 2，即 $V=[V1, V2, V3, V4, V5]=[好, 较好, 一般, 较差, 很差]$ ，并且赋值为 $V=[5, 4, 3, 2, 1]$ ，邀请专家单独对指标层的每个指标进行等级打分。判断矩阵元素的值反映了人们对各元素相对重要性的认识，简单明了，但在实际应用中因为评估指标的模糊性，导致了相对重要性的评估结果具有不确定性，此时可以采取模糊计算法算出评估指标的值再行比较。

表 2 各指标权重数值
Tab.2 Weight value of each index

一级指标权重		二级指标权重	
使用功能	0.4786	清洗烘干	0.5
		自动感应	0.5
操作方式	0.2444	简单便捷	0.6667
		携带方便	0.3333
人机交互	0.1604	操作界面	0.75
		佩戴方式	0.25
造型色彩	0.1166	柔和舒适	0.6667
		稳重大气	0.3333

2.2 模糊综合评价法的结果向量

模糊综合评价法又称为多目标决策，源于模糊数学理论，是研究和处理模糊性现象的数学理论与方法，被广泛应用于业绩评估、专家评分系统、研究性学习系统、天气预报、医疗诊断、服务质量评价、教

学质量评价、设备质量评价、软件项目风险评价等^[11]。它是研究现实中许多界限不分明问题的一种数学工具，其基本概念之一的模糊集合，利用模糊数学和模糊逻辑，能很好地处理各种模糊问题^[12]。一般具有以下几个步骤。

- 1) 确定评价对象的因素论域。
- 2) 确定评语等级论域， $v=\{v_1, v_2, \cdots, v_p\}$ ，每一个等级对应一个模糊子集。

3) 建立模糊关系矩阵， $R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pm} \end{bmatrix}$

4) 确定评价因素的权向量： $A=(a_1, a_2, \cdots, a_p)$ 。

5) 合成模糊综合评价结果向量：

$A \cdot R = (a_1, a_2, \cdots, a_p) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pm} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \cdots,$

$b_m) = B$

6) 对模糊综合评价结果向量进行分析。使用加权平均求隶属等级的方法，对于多个被评事物并可以依据其等级位置进行排序，并计算结果。

3 实例验证

3.1 自动排泄处理器各指标权重数值

在产品设计中，产品造型方案的评价指标多为主观性指标，不仅包含了客观的因素，也包含了主观精神因素。评价应结合主客观因素，对产品的各个因素做客观中肯的定性分析，并将评价中的主客观因素结合起来加以综合考虑，使评价结果更具有可信度^[13]。待评价自动排泄处理器设计方案见图 3，是一款自动排泄处理器的外观设计效果图，将对其设计元素进行综合评价。

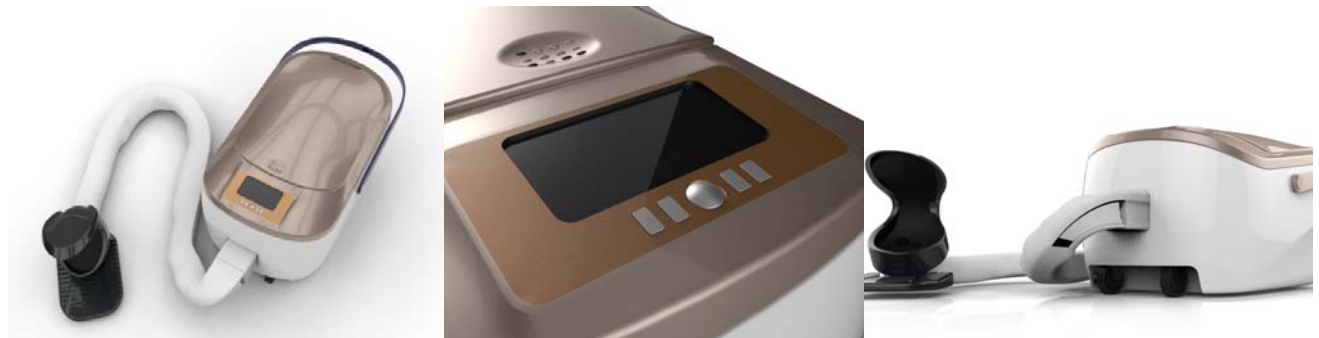


图 3 待评价自动排泄处理器设计方案
Fig.3 Design scheme of automatic excretory processor to be evaluated

根据自动排泄器的设计需求设定 4 个 1 级评价因素,每个 1 级评价评估因素细分为 2 个 2 级评价因素,即自动感应、清洗烘干、简单便捷、携带方便、操作界面、佩戴方式、现代简约、肌理质感、柔和舒适、稳重大气共 8 个评价因素。按照德菲尔调查法随机邀请 20 位人员参与调研,包含了 3 位专家、8 位设计师、4 位卧床病人、3 位研发人员、2 位医院护工进行调查统计,遵循层次分析法的评价原则,将其意见进行统计分析,作为确定影响因素指标权重的依据,如表 2。

3.2 模糊综合评价变换矩阵的确定

根据自动排泄处理器设定的 8 个评价因素集,表示为: $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 确定评语集对评价因素进行评价, 表示为: $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ [15]。

使用功能的综合评价变换矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.75 & 0.15 & 0.05 & 0 & 0.05 \\ 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

操作方式的综合评价变换矩阵为:

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.55 & 0.2 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0.65 & 0.1 & 0.15 & 0.05 & 0.05 \end{bmatrix}$$

人机交互的综合评价变换矩阵为:

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.25 & 0 & 0.05 \\ 0.45 & 0.1 & 0.3 & 0 & 0.15 \end{bmatrix}$$

造型色彩的综合评价变换矩阵为:

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.15 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.05 & 0.05 \end{bmatrix}$$

3.3 计算权重因素值

利用层次分析法的权重结合模糊评价矩阵得出的一级指标的评价向量如下。

使用功能的评价向量:

$$B_1 = (0.5, 0.5) \cdot \begin{bmatrix} 0.75 & 0.15 & 0.05 & 0 & 0.05 \\ 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} = (0.625, 0.175, 0.125, 0.05, 0.025)$$

操作方式的评价向量:

$$B_2 = (0.6667, 0.3333) \cdot \begin{bmatrix} 0.55 & 0.2 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0.65 & 0.1 & 0.15 & 0.05 & 0.05 \end{bmatrix} = (0.58333, 0.16667, 0.21667, 0.016665, 0.016665)$$

人机交互的评价向量:

$$B_3 = (0.75, 0.25) \cdot \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.25 & 0 & 0.05 \\ 0.45 & 0.1 & 0.3 & 0 & 0.15 \end{bmatrix} = (0.4125, 0.25, 0.2625, 0, 0.075)$$

造型色彩的评价向量:

$$B_4 = (0.6667, 0.3333) \cdot \begin{bmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.05 & 0.05 \\ 0.6 & 0.15 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix} = (0.53333, 0.183335, 0.2, 0.033335, 0.033335)$$

整体评价向量:

$$B = (0.4786, 0.2444, 0.1604, 0.1166) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.625 & 0.175 & 0.125 & 0.05 & 0.025 \\ 0.58333 & 0.16667 & 0.21667 & 0.016665 & 0.016665 \\ 0.4125 & 0.25 & 0.2625 & 0 & 0.075 \\ 0.56667 & 0.166665 & 0.2 & 0.016665 & 0.016665 \end{bmatrix} = (0.57393, 0.184022, 0.178204, 0.029946, 0.030011)$$

将评价的各指标按照评级等级算出各因素的评价向量后,将各向量对照评价等级分数表,算出各评价因素的评价值。

使用功能的评价值:

$$V_1 = 5 \times 0.625 + 4 \times 0.175 + 3 \times 0.125 + 2 \times 0.05 + 1 \times 0.025 = 4.3250$$

操作方式的评价值:

$$V_2 = 5 \times 0.58333 + 4 \times 0.16667 + 3 \times 0.21667 + 2 \times 0.016665 + 1 \times 0.016665 = 4.2833$$

人机交互的评价值:

$$V_3 = 5 \times 0.4125 + 4 \times 0.25 + 3 \times 0.2625 + 2 \times 0 + 1 \times 0.075 = 3.9250$$

造型色彩的评价值:

$$V_4 = 5 \times 0.56667 + 4 \times 0.166665 + 3 \times 0.2 + 2 \times 0.016665 + 1 \times 0.016665 = 4.1500$$

整体评分值:

$$V = 5 \times 0.57393 + 4 \times 0.184022 + 3 \times 0.178204 + 2 \times 0.029946 + 1 \times 0.030011 = 4.2203$$

同样的方法算出各二级指标权重的评分值,整体评价值见表 3。

表 3 各指标权重评分值
Tab.3 Weight value of each index

一级指标评分值		二级指标评分值	
使用功能	4.3250	清洗烘干	4.55
		自动感应	4.10
操作方式	4.2833	简单便捷	4.30
		携带方便	4.25
人机交互	3.9250	操作界面	4.00
		佩戴方式	3.70
造型色彩	4.1500	柔和舒适	4.20
		稳重大气	4.05

3.4 评价结果分析

由最终表 4 数值可知,该自动排泄处理器设计方案的整体评分值为 4.2244,在评价等级分数表中介于较好与很好之间,由此可见,该方案的整体评价为好,相对隶属度较高,验证了依据用户需求设计的自动排泄处理器是一个较好的创意方案。

根据模糊算法计算出的各个指标的评价值分别为使用功能为 4.3250,操作方式的评价值为 4.2833,

人机交互的评价值为 3.9250, 造型色彩的评价值为 4.1500, 其中, 该方案的使用功能、操作方式列权重的前两位, 说明用户对该方案功能和操作方式的评估比较满意。具体落实到各二级指标, 由计算结果可以得到, 对清洗烘干的满意度最高。操作方式中的简单便捷评价值为 4.30, 略高于携带方便的评价值, 说明用户对两者的评价较为平均; 造型色彩中的柔和舒适的评价值高于稳重大气, 说明该方案的造型设计基本符合用户的需求; 人机交互中的操作界面, 评价值为 4.00, 可以看出用户对此类机器的使用界面的合理度较为满意, 而人机交互中的佩戴方式评价值略低, 说明该方案的人机工程并没有完全符合用户的使用需求, 有待后期进一步的设计研究。

4 结语

将层次分析法和模糊综合评价法相结合, 此方法用于单个方案的评估, 既可以得到受访者对自动排泄处理器设计的整体评价, 也可以通过评估矩阵的横向数据权重比较, 得出在同一个方案中, 针对关键因素设计问题, 可以较为客观地在多个因素中进行两两比较, 评估出哪种因素认可度更高, 哪种因素需要进一步改善。虽然专家评判依旧存在相对的主观性, 但是其评价指标和评价模型能够为后期计算机建模奠定基础, 从整体来看, 其判断权重的方法对自动排泄处理器设计评价是适用并且合理的。

参考文献:

- [1] 郭凯. 产品设计质量评价方法及其应用研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2009.
GUO Kai. Research on Product Design Quality Evaluation Method and Its Application[D]. Shenyang: Northeastern University, 2009.
- [2] SAATY T L. Modeling Unstructured Decision Problems: the Theory of Analytical Hierarchies[J]. Mathematics & Computers in Simulation, 1978(20): 147—158.
- [3] 魏效玲, 曹庆奎, 潘越. 产品性能评价模型研究[J]. 机械工程学报, 2004(6): 91—94.
WEI Xiao-ling, CAO Qing-kui, PAN Yue. Research on Product Performance Evaluation Model[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004(6): 91—94.
- [4] 朱永梅, 王明强. 机械产品设计综合评价的方法研究[J]. 华东船舶工业学院学报(自然科学版). 2004(18): 70—74.
- ZHU Yong-mei, WANG Ming-qiang. Research on the Comprehensive Evaluation Method of Mechanical Product Design[J]. Journal of East China Shipbuilding Institute(Natural Science Edition), 2004(18): 70—74.
- [5] 袁峰, 秦东晨, 王太勇. 机械产品设计方案评价决策方法[J]. 机床与液压, 2007(8): 72—73.
YUAN Feng, QIN Dong-chen, WANG Tai-yong. Evaluation Method of Mechanical Product Design[J]. Machine and Hydraulic, 2007(8): 72—73.
- [6] 祝世京, 陈珽. 基于神经网络的多目标综合评价[J]. 系统工程理论与实践, 1994(9): 74—80.
ZHUSHI-jing, CHEN Ting. Multi-objective Comprehensive Evaluation Based on Neural Network[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 1994(9): 74—80.
- [7] 蔡文. 可拓论及其应用[J]. 科学通报, 1999(7): 673—682.
CAI Wen. Extension Theory and Its Application[J]. Chinese Science Bulletin, 1999(7): 673—682.
- [8] PAKARINEN T J, ASIKAINEN A T. Consumer Segments for Wooden Household Furniture[J]. Eur Wood Prod, 2001, 59: 217—227.
- [9] KAUKO K, PALMROOS P. The Delphi Method in Forecasting Financial Markets: an Experimental Study [J]. International Journal of Forecasting, 2014(30): 313—316.
- [10] 田合伟. 男装设计元素的层次分析与模糊综合评价[J]. 北京服装学院学报(自然科学版), 2016(4): 18—24.
TIAN He-wei. Hierarchical Analysis and Fuzzy Comprehensive Evaluation of Men's Design Elements[J]. Journal of Beijing Institute of Fashion Technology(Natural Science Edition), 2016(4): 18—24.
- [11] 许雪燕. 模糊综合评价模型的研究及应用[D]. 成都: 西南石油大学, 2011.
XU Xue-yan. Research and Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Model[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2011.
- [12] 吴虹. 基于本体与模糊数学的自动分词系统研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2008.
WU Hong. Research on Automatic Segmentation System Based on Ontology and Fuzzy Mathematics[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2008.
- [13] 高瞩. 模糊理论在电动工具的造型审美评价中的应用[J]. 包装工程, 2007, 28(2): 127.
GAO Zhu. Application of Fuzzy Theory in the Aesthetic Evaluation of Power Tools[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(2): 127.