

基于 AHP-FAST 的产品概念创新设计模式研究

宋端树¹, 许艳秋¹, 崔天琦², 董贝贝¹

(1.江苏师范大学, 徐州 221116; 2.徐州市高新技术创业服务中心, 徐州 221000)

摘要: **目的** 针对 AHP 和 FAST 两种方法在产品概念设计阶段存在的单一理论缺陷, 有效融合二者各自的优势, 研究基于 AHP 与 FAST 理论集成的产品创新设计模式。**方法** 从用户提出的离散需求信息中总结需求, 并使用 AHP 确定各需求指标重要度, 发掘用户的核心需求。在此基础上通过 FAST 理论的嵌入集成, 采用符合逻辑的方式将用户需求合理地融入产品功能设计, 经过功能定义、分解、转换、整理, 完成产品设计过程中关键设计区域的准确识别定位与过渡, 并以老年人智能盥洗设施设计为例详解整个集成创新设计模式的总体框架及流程。**结论** 基于 AHP 和 FAST 理论的集成创新设计模式能够量化用户需求, 强化用户需求与产品功能的联系, 为产品创新提供内在驱动力, 也能够为其他产品的创新设计提供新思路。

关键词: 层次分析法; 功能分析系统技术法; 集成设计模式; 老年人; 盥洗设施

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)24-0228-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.24.037

Innovation Design Model of Product Concept Based on AHP-FAST

SONG Duan-shu¹, XU Yan-qiu¹, CUI Tian-qi², DONG Bei-bei¹

(1.Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China;

2.Xuzhou High-tech Entrepreneur Service Center, Xuzhou 221000, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the single theoretical defects of AHP and FAST in the conceptual design stage of products, effectively combine the advantages of AHP and FAST, and study the product innovation design mode based on AHP and FAST theory integration. User requirements were summarized from the discrete demand information proposed by users, and AHP was used to determine the importance of each demand indicator and explore the core needs of users. On the basis of this, through the embedded integration of FAST theory, the user needs were reasonably integrated into the product function design stage in a logical way. After the function definition, decomposition, conversion and finishing, the accurate identification, positioning and transition of key design areas in the product design process were completed. The design of the intelligent washing facilities for the elderly was taken as an example to explain the overall framework and process of the integrated innovative design model. The integrated innovation design model based on AHP and FAST theory can quantify user needs, strengthen the connection between user needs and product functions, provide internal driving force for product innovation, and provide new ideas for innovative design of other products.

KEY WORDS: analytic hierarchy process; functional analysis system technology; integrated design model; the elderly; washing facilities

概念设计是产品创新的核心, 是产品研发体系中最能彰显用户需求并决定产品功能的关键。功能是用

户对产品的本质需求, 产品只是功能的一种表现形式^[1]。合理有效的功能设计理论是产品设计最大程度

收稿日期: 2019-06-12

基金项目: 江苏省重点研发项目 (BE2016651); 徐州市科技计划项目 (KC17138); 徐州市科技计划项目 (KC18145)

作者简介: 宋端树 (1982—), 男, 江苏人, 中国矿业大学博士生, 江苏师范大学副教授, 主要从事产品通用设计、人因工程研究。

地满足顾客需求的根本保障,同时也能够帮助设计人员打破传统思维惯性,最终能得到更加合理、适用的产品。

近年来,FAST 法被广泛应用于产品功能设计。陈晨等^[2]通过用户需求分析,建立了废弃物处理机的 FAST 功能树,分析并形成新的概念设计方案,验证了 FAST 法在新产品开发设计中应用的可行性。吴晓莉^[3]通过建立 FAST 功能树对儿童自行车进行功能组合式创新,验证了 FAST 法在产品设计中的合理应用。宋云^[4]应用 FAST 法,结合仿生设计等理念,对滑沙板的造型、形态语义进行了研究,证明了运用 FAST 法可对产品功能进行整合及创新。上述研究在应用 FAST 法展开功能设计前虽然进行了用户需求分析,并未考虑用户需求的优先性问题,且未针对用户需求重要度进行差异化的产品功能设计。另外,对于从用户需求角度出发的功能设计流程缺乏较系统地研究。功能作为产品的属性,需要以满足用户需求为基础。因此,本文在现有功能设计理论的基础上,引入用户需求重要度这一驱动要素,研究 AHP 与 FSAT 理论集成的产品创新设计模式,利用 AHP 获得概念产品的用户评价数据,确定创新设计需要解决的重点问题,再应用 FSAT 促使用户需求与产品功能二者之间能够精确映射,将 AHP 的分析评价优势与 FSAT 的功能设计优势相结合,进行产品创新设计。

1 AHP-FAST 概述

1.1 AHP 与 FAST 简介

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP),能够通过定性分析与定量运算,为复杂的评估问题提供科学、简便的分析决策方法^[5]。它的特点是对多目标、多准则的评价因素进行层次化、数量化地分析,获得最终评价决策结果^[6]。

功能分析系统技术法 (Functional Analysis System Technology, FSAT) 遵循自顶向下的分析顺序,能够将总功能需求以逐层分解的方式划分到各个子功能,用以寻求实现目标的最佳手段^[7]。在 FSAT 分析法中,产品功能的关键路径是以“怎么做—为什么”的逻辑方式来确定产品各功能之间的关系,基本功能是子功能的目的,子功能是基本功能的手段,形成完整的功能系统。借助 FAST 功能树,以产品的基本功能为目的,对子功能进行扩展,初步完成产品的功能分解过程。

1.2 AHP-FAST 集成方法

在产品概念创新设计中,借助 AHP 将决策问题数量化,可在一定程度上避免决策结果的主观性和随意性,宏观系统地提高产品概念设计阶段后期决策的高效性和可靠性^[8]。但它却无法提供解决问题的具体方法,FSAT 作为强大的功能创新设计理论,能为解

决这些问题提供创新方法和工具。

在基于 FAST 分析法的产品功能分析过程中,整体功能以满足用户需求为目的,受到用户需求的制约。功能分析过程虽然始于用户需求,但 FAST 分析法并未提供用户需求分析的具体方法。而 AHP 可以对用户需求进行准确分析与评价,确定创新设计要解决的关键问题,从而有效避免用户需求的模糊、不确定性对产品功能设计所造成的干扰^[9]。

综上所述,AHP 和 FAST 分析法都有各自的优缺点,AHP 重在突出关键问题,FAST 分析法重在解决问题。分析问题是解决问题的前提和基础,二者结合使用,能够提供发现问题的方法和解决问题的途径。AHP-FAST 集成应用,将用户对概念设计指标的 AHP 评价与 FAST 的功能创新有效结合,突出产品功能设计重点。针对 AHP 评价中反映出的问题,应用 FAST 分析法去解决,形成具有创新性的概念设计方案。基于 AHP-FAST 的集成设计方法见图 1。

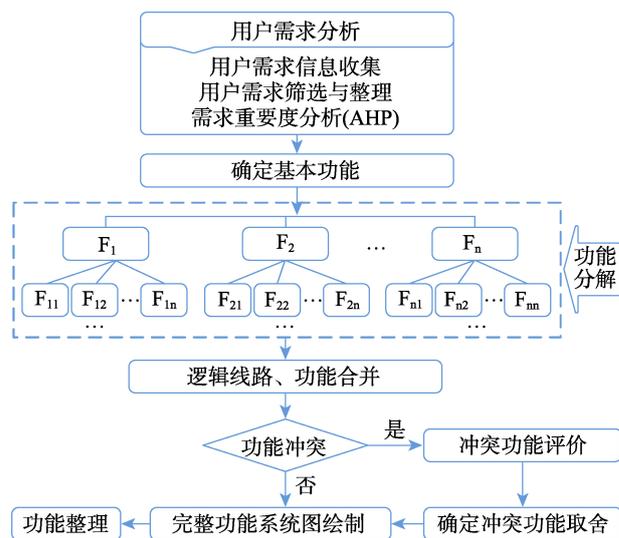


图 1 基于 AHP-FAST 的集成设计方法

Fig.1 The integrated design method based on AHP-FAST

2 AHP-FAST 集成研究方法与流程

2.1 应用 AHP 确定用户需求权重

2.1.1 构建用户需求指标的递阶层次结构

通过问卷调查、访谈等方式获取用户需求,进行筛选、分解、组合,建立递阶层次结构。

2.1.2 层次单排序

以上一层要素为比较基准,对某层次因素相较于上层隶属因素的重要度进行计算排序,称为层次单排序。

1) 构造判断矩阵。按照表 1 中判断标度量值,对隶属同一层次的因子进行两两比较。

表1 判断标度量化值及意义

Tab.1 Judgment scale quantization value and significance

判断标度	含义	判断标度	含义
1	前者与后者同等重要	2, 4, 6, 8	上述两相邻判断的中值
3	前者比后者稍微重要	1/3	前者比后者稍微不重要
5	前者比后者明显重要	1/5	前者比后者明显不重要
7	前者比后者显著重要	1/7	前者比后者显著不重要
9	前者比后者极端重要	1/9	前者比后者极端不重要

构造出判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$, 其中 $a_{ij}=1/a_{ji}$ 。

2) 采用列向量平均值法计算权重。

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

并求得特征向量 $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ (2)

计算判断矩阵的最大特征值为:

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n (AW)_i}{nW_i} \quad (3)$$

式中 $(AW)_i$ 表示向量 AW 的第 i 个元素。

3) 对判断矩阵进行一致性检验。一致性检验可以通过计算一致性比例 CR 来决定, 即:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

式中: n 为矩阵阶数, RI 为平均随机一致性指标, 取值见表 2。当 $CR < 0.10$, 即认为判断矩阵通过一致性检验^[10]。

表2 1-9 阶判断矩阵的随机一致性指标

Tab.2 Random consistency indicators of the 1-9 order judgment matrix

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

2.1.3 层次总排序

对最底层因素相较于最高层因素的权重进行计算排序, 即将总目标下需求指标的权重分别与其子需求指标的权重值相乘。

2.2 基于 FAST 法的产品功能构建

基于上述 AHP 评价得出的用户需求权重结果, 构建产品功能。借助 FAST 功能结构图, 将总功能需求分解到若干基本功能中, 进而逐层递阶地将产品的分解到各个子功能, 见图 2。

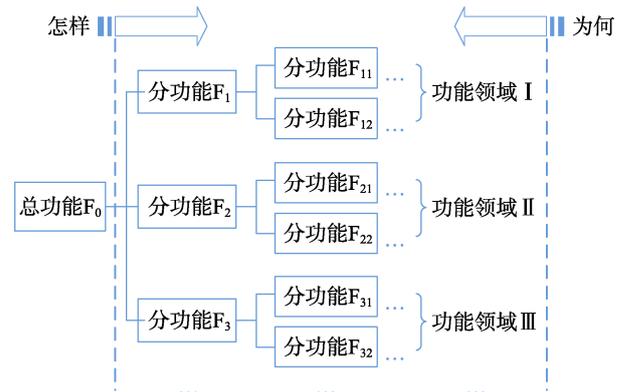


图2 FAST 功能结构图

Fig.2 FAST functional structure diagram

3 实证研究

下文将针对盥洗区, 以老年人智能化盥洗设施设计为例, 对基于 AHP-FAST 集成运用的产品创新设计模式进行实证研究。

3.1 研究对象

依据《老年人建筑设计规范》中老年人群的划分标准——生理状态及生活自理能力的不同^[11], 由于介助老人(生活无法完全自理, 日常行为需借助扶手、轮椅等辅助工具来完成)的盥洗需求基本可以覆盖自理老人(生活可以自理, 能够独立生活, 行动不需要他人帮助)的盥洗需求。因此, 本文将主要研究对象定位为介助老人, 并进一步划分为助行器老人和轮椅老人。

3.2 构建老年人盥洗需求指标的层次结构

分别选取 5 名不同背景的助行器老人、轮椅老人, 对其进行一对一深度访谈, 并经深入研究分析得知, 对于盥洗活动, 在水平空间属性上, 助行器老人单腿难以保持平衡, 需要平衡辅助; 在垂直空间的行动上两类老人均存在低处取物不便, 且轮椅老人的操作高度有所降低。因此老年人盥洗设施设计需要融入可调节设计, 以实现多适性来适应不同人群的需求。为便于轮椅老人使用, 盥洗盆下方应留有一定的容腿空间。

经整理得出两类介助老人对于盥洗活动的原始需求共 28 项, 见表 3。采用 5 级李克特量表将每个原始需求指标划分为 5 个评价等级, 即非常不重要、不太重要、一般、比较重要和非常重要, 分别对应 5 个评分, 设计成样卷。在徐州老年社区共对 80 名介助老人进行小范围问卷调研, 共回收有效问卷 73 份, 其中助行器老人问卷 34 份, 轮椅老人问卷 39 份。

根据问卷结果进行题项分析, 并结合专家小组意见, 经筛选、整合, 最终确定介助老人盥洗需求指标共 12 项。通过对用户需求分解组合, 以 KJ 法展开对用户需求的层次分类, 构建老年人盥洗需求指标层次结构, 见图 3。

表 3 原始需求描述及得分
Tab.3 Original demand description and score

编码	需求描述 (得分)	编码	需求描述 (得分)	编码	需求描述 (得分)
1	地面防滑 (3.29)	11	相关物品易取放 (4.07)	21	自动杀菌 (3.83)
2	身体平衡控制 (4.71)	12	操作简单省力 (4.34)	22	湿度监测 (2.73)
3	形态美观 (3.03)	13	辅助设施防滑 (3.86)	23	扶手尺度可调节 (3.16)
4	面盆下方容腿 (4.71)	14	增加设施表面触感 (3.07)	24	配备应急药箱 (3.29)
5	紧急呼救 (3.93)	15	配备足浴设施 (3.31)	25	利于清洁 (3.63)
6	用户差异性调节 (4.59)	16	水龙头出水调控 (4.36)	26	面部健康检测 (2.84)
7	肢体支撑辅助 (4.62)	17	墙面方便悬挂物品 (3.03)	27	容错性 (4.17)
8	水温检测装置 (3.33)	18	物品分类明确 (2.84)	28	动作精确性补偿 (4.12)
9	娱乐 (3.07)	19	感官辅助补偿 (4.21)		
10	材料绿色环保 (3.29)	20	洗漱活动多适性 (4.53)		

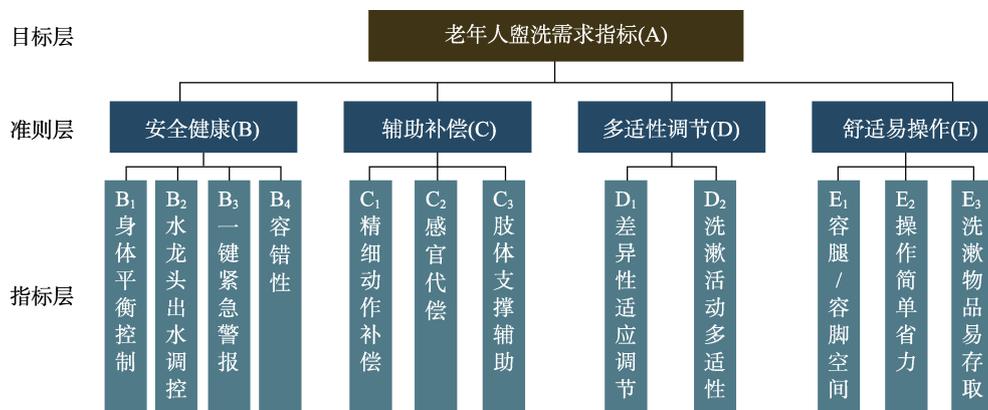


图 3 老年人盥洗需求指标层次结构
Fig.3 Senior's washing demand factor hierarchy

3.3 应用 AHP 确定用户需求指标权重

针对图 3 老年人盥洗需求指标层次结构模型，针对准则层和指标层两个层次的因子分别设计成 2 份问卷。第一份问卷针对准则层 4 个因子按照表 1 中判断标度量值进行成对比较，第二份问卷则针对每一个准则层因子下的指标层因子间进行成对比较。在江苏徐州、安徽宿州两个城市，将 2 份问卷同时发放给助行器老人和轮椅老人共 121 名用户进行终调研，回收有效问卷 109 份。有效样本基本特性如下：助行器老人 53 名，轮椅老人 56 名。其中，男性 58 名，女 51 名。60—69 岁 44 名，70—79 岁 37 名，80 岁以上 28 名。从基本数据来看，此调查样本两类老人数量以及男女性别比例基本相当，该调查样本符合统计学意义。

针对两类被调查者问卷中的量化值分别构造判断矩阵 A—E (助行器老人)，F—J (轮椅老人)，其中矩阵 A，F 为准则层判断矩阵，其余为指标层判断矩阵。应用公式 (1)，(2) 对准则层和指标层需求指标进行权重计算，二者相乘得出每个子需求指标相较于目标层因子的综合权重值。助行器老人盥洗需求指标权重见表 4，轮椅老人盥洗需求指标权重见表 5。同时运用公式 (3)、(4) 计算判断矩阵一致性检验指

标分别为： $CR_A=0.0429<0.1$ ， $CR_B=0.0139<0.1$ ， $CR_C=0.0159<0.1$ ， $CR_D=0<0.1$ ， $CR_E=0.0237<0.1$ ； $CR_F=0.0039<0.1$ ， $CR_G=0.0158<0.1$ ， $CR_H=0.0232<0.1$ ， $CR_I=0<0.1$ ， $CR_J=0.0039<0.1$ ，可见判断矩阵均通过一致性检验，结果可信度较高。

3.4 需求权重结果分析

3.4.1 一级需求权重分析

由表 4、表 5 中第 1 层次的需求权重可获知，两类老人对安全健康的需求度均属最高，同时也是对盥洗设施设计的基本要求。两类老人由于其生理机能衰退，感官能力日渐迟钝，在盥洗时比年轻人更容易受到意外性损伤^[12]。加之抓握等行为能力也均呈现不同程度的衰退，因此对辅助补偿均有较高要求。另外，轮椅老人对多适性调节的需求度高于助行器老人，且仅次于安全健康，助行器老人由于自身较难维持平衡和单手操作困难，对舒适易操作的需求度略高于轮椅老人。

3.4.2 二级需求权重分析

由表 4、表 5 中综合权重可以得出，两类老人由于自身的典型盥洗行为特征差异，对于盥洗活动有着各自的特异性需求。在设计过程中，对于各自的特异

表4 助行器老人盥洗需求指标权重及排序
Tab.4 Weights and rankings of the washing demand indicators of the elderly with walking aids

准则层 (A) (权重)	指标层		综合权重	排序
	因子	权重		
安全健康 (B) (0.327)	身体平衡控制 B ₁	0.446	0.145	1
	水龙头出水调控 B ₂	0.290	0.093	4
	紧急呼救 B ₃	0.093	0.026	12
	容错性 B ₄	0.171	0.064	8
辅助补偿 (C) (0.274)	动作精确性补偿 C ₁	0.214	0.062	9
	感官辅助补偿 C ₂	0.302	0.069	7
	肢体支撑辅助 C ₃	0.484	0.143	2
多适性调节 (D) (0.206)	用户差异性适应调节 D ₁	0.407	0.088	5
	适应多项洗漱活动 D ₂	0.593	0.118	3
舒适易操作 (E) (0.193)	面盆下方容腿 E ₁	0.430	0.059	10
	操作简单省力 E ₂	0.418	0.084	6
	相关物品易取放 E ₃	0.152	0.049	11

表5 轮椅老人盥洗需求指标权重及排序
Tab.5 Weights and rankings of washing demand indicators of the elderly with wheelchair

准则层 (F) (权重)	指标层		综合权重	排序
	因子	权重		
安全健康 (G) (0.293)	身体平衡控制 G ₁	0.054	0.022	11
	水龙头出水调控 G ₂	0.434	0.127	4
	紧急呼救 G ₃	0.098	0.023	10
	容错性 G ₄	0.414	0.121	6
辅助补偿 (H) (0.231)	动作精确性补偿 H ₁	0.402	0.093	7
	感官辅助补偿 H ₂	0.531	0.123	5
	肢体支撑辅助 H ₃	0.067	0.015	12
多适性调节 (I) (0.269)	用户差异性适应调节 I ₁	0.519	0.139	1
	适应多项洗漱活动 I ₂	0.481	0.129	3
舒适易操作 (J) (0.207)	面盆下方容腿 J ₁	0.631	0.131	2
	操作简单省力 J ₂	0.221	0.046	8
	相关物品易取放 E ₃	0.148	0.031	9

性需求需要予以最大程度的满足。助行器老人一般采用站姿完成盥洗活动,维持身体平衡是整个盥洗活动中的首要障碍。从表4中的盥洗需求综合权重排序可以获知,身体平衡控制、肢体支撑辅助作为助行器老人相对轮椅老人的特异性需求,需求度最高。轮椅老人受轮椅影响,采用坐姿执行盥洗活动,其操作范围受到极大限制。从表5中的盥洗需求综合权重排序可以获知,该群体对用户差异性适应调节、容腿/脚空间需求度最高。因此,在设计过程中,应融入可调节设计,以适应用户差异性。同时,应将盥洗盆设计成悬挑式,方便下方预留容腿/脚空间。

从表4、表5中综合权重可以看出,在二者的共性需求中,两类老人对适应多项洗漱活动、水龙头出

水调控需求度仅次于各自的特异性需求,设计中需要针对洗脸、洗头、刷牙等不同的盥洗活动提供多样化的用水输出模式,对水温、水流、用水时长等进行可选择性设计。另外,对操作简单省力、感官代偿、容错性、动作精确性补偿、物品易取放等的需求度稍低,而对于一键紧急警报需求度均较低。

3.4 构建产品的FAST功能树

基于对用户需求的统计分析,区分出基本需求与辅助需求,确定需求重点,舍去不必要的需求。根据上述用户需求统计分析,舍去两类老人需求度均较低的紧急警报需求,将其他需求分解到具体功能,老年人盥洗设施功能系统分析图,见图4。

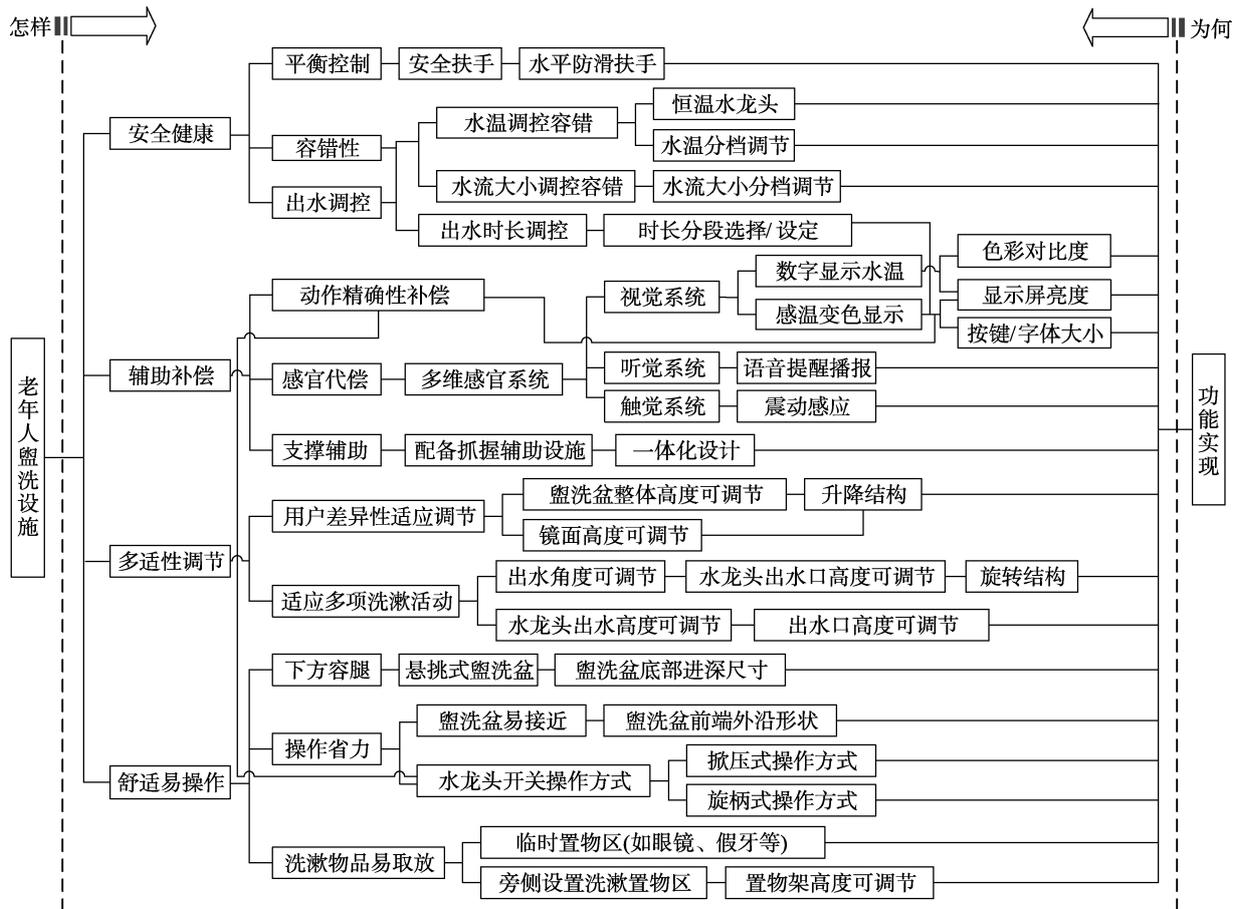


图 4 老年人盥洗设施功能系统分析图
 Fig.4 Analysis chart of the function system of the elderly washing facilities

4 设计案例

基于上述 AHP 定量研究与 FAST 定性研究结果，综合 11 项二级需求指标设计了老年人智能盥洗设施，见图 5a。首先，鉴于助行器老人常使用单手扶靠盥洗盆来支撑身体，将平衡控制需求与支撑辅助需求结合，将平衡扶手融入盥洗盆两侧边缘中，采用防滑材质，满足了助行器老人单手操作时对平衡控制与支撑辅助的特异性需求，见图 5b。同时，兼顾舒适易操作需求。其一，盥洗盆前端中间部位内凹，易于助行器老人扶靠和轮椅老人接近；其二，台面左右两侧分割出略微下凹的台面区域，可用于临时置放眼镜、假牙之类物品，见图 5b。



图 5 盥洗设施设计展示
 Fig.5 Design display of the washing facilities

其次，对于容错性和出水调控需求，将水温和水流大小进行安全范围内的分档调节设计，提升产品容错性。另外，针对老年人有时候会忘记关掉水龙头的情况，融入用水时长设定功能，见图 6。结合感官代偿需求，充分利用多维感官系统，辅助高对比度色彩显示，便于两类老年人正确区分水温和出水量，可以及时有效地避免两类老人因感官能力下降造成意外性伤害，屏幕显示及按键设计见图 6。



图 6 屏幕显示及按键设计
 Fig.6 Screen display and button design

接下来，在多适性调节设计上，智能镜子与其后置物架连接，高度可随置物架一体升降。盥洗盆及水

龙头与后端墙面升降板连接,高度可随升降板一体升降,实现用户差异性适应调节,方便两类老人使用,见图7a。数控水龙头出水口的位置设置在前端的弧面上,可通过转动两侧旋转式操作旋柄来实现水龙头出水角度的调节,以此来适应不同类型的盥洗活动,见图7b。

最后,针对舒适易操作设计,体现3个特点,下方容腿、操作省力、洗漱物品易取放。盥洗盆下方设有容腿净空空间,便于轮椅老人靠近盥洗盆时将下身随轮椅置入盥洗盆下方,见图7a。考虑到助行器老人左手或右手单手操作不便的情况,为实现舒适易操作,降低操作难度,所有开关操作方式均设计为触摸式按键和旋转式操作旋柄,操作简单省力,见图6和图7b。镜后设有3层置物架,用于放置基础的盥洗用品。智能镜子可左右滑动,便于取放镜后置物架内的盥洗物品,见图7c。

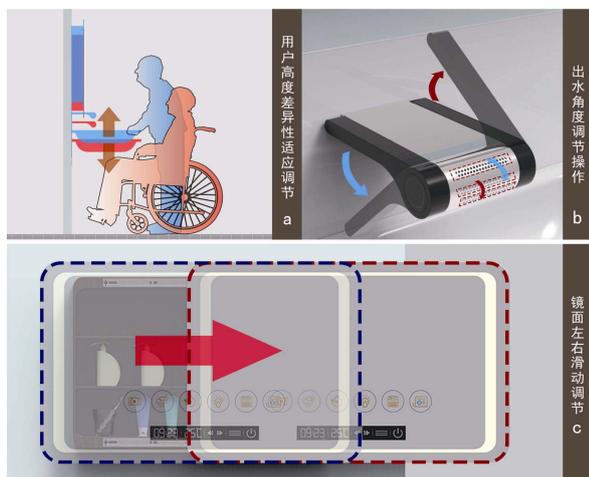


图7 多适性调节设计展示

Fig.7 Multi-adaptive adjustment design display

5 结语

本文利用 AHP 和 FAST 理论间的优势互补性,提出一种基于 AHP-FAST 的产品创新设计模式,并以老年人智能盥洗设施为例,基于 AHP 对用户需求和层次的分析,巧妙发挥 FAST 产生功能创新设计思路的作用,通过 AHP 向 FAST 的过渡实现了用户需求分析向产品功能设计的映射,验证了基于 AHP-FAST 的集成设计模式的可行性与有效性。将用户需求重要度置入产品创新模式中,发掘用户的核心需求,从而有效避免最终产品客观表现脱离用户需求,最大程度地满足用户不同层次的需求。在当下产品同质化严重的环境下,该集成模式的提出能够促进产品创新设计目标的快速实现。

参考文献:

[1] 李彦. 设计思维研究综述[J]. 机械工程学报, 2017,

53(15): 1-20.

LI Yan. Review on Research of Design Thinking[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(15): 1-20.

[2] 陈晨. FAST 法在家用智能固体有机废弃物处理机概念设计中的应用[J]. 机械设计, 2017, 34(1): 110-113.

CHEN Chen. Application of FAST Method in the Conceptual Design of Domestic Intelligent Solid Organic Waste Processor[J]. Mechanical Design, 2017, 34(1): 110-113.

[3] 吴晓莉. 用 FAST 法设计功能组合式儿童自行车[J]. 机械设计与研究, 2012, 28(1): 98-101.

WU Xiao-li. Design of Functional Combination Children's Bicycle by FAST Method[J]. Machinery Design and Research, 2012, 28(1): 98-101.

[4] 宋云. 基于 FAST 法的可控滑沙板概念设计[J]. 机械设计, 2013, 30(6): 110-112.

SONG Yun. Conceptual Design of Controllable Sand Board Based on FAST Method[J]. Mechanical Design, 2013, 30(6): 110-112.

[5] 周清华. 基于层次分析法的包装质量分析[J]. 包装工程, 2015, 36(1): 145-150.

ZHOU Qing-hua. Packaging Quality Analysis Base on Analytic Hierarchy Process[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(1): 145-150.

[6] PORNWASIN S. Fuzzy AHP-TOPSIS Approaches to Prioritizing Solutions for Reverse Logistics Barriers[J]. Computers & Industrial Engineering, 2018, 117(1): 303-318.

[7] 吕瑟. 基于功能分析系统技术与 TRIZ 的牙签包装机设计[J]. 包装工程, 2015, 36(20): 65-69.

LYU Se. Design of Toothpick Packaging Machine Based on Functional Analysis System Technology and TRIZ [J]. Packaging Engineering, 2015, 36(20): 65-69.

[8] GNANAVELBABU P. Arunagiri Ranking of MUDA Using AHP and Fuzzy AHP Algorithm[J]. Materials Today Proceedings, 2018, 5(5): 45-66.

[9] 陈媛. 集成 QFD/TRIZ/AHP 的产品创新设计模式研究[J]. 包装工程, 2017, 38(20): 150-155.

CHEN Yuan. Product Innovation Design Method Integrated with QFD/TRIZ/AHP[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(20): 150-155.

[10] 倪燕. 基于 AHP 层次分析法的高校图书馆员新型能力指标体系[J]. 大学图书馆学报, 2018, 36(1): 50-55.

NI Yan. Construction of the Index System of University Librarians' New Capabilities Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Library and Information Sciences, 2018, 36(1): 50-55.

[11] 高玉卓. 介助老人家居环境卫生间智能化设计[J]. 家具, 2016(6): 93-98.

GAO Yu-zhuo. Intelligent Design of the Home Environment Bathroom for the Device-aided Elderly[J]. Furniture, 2016(6): 93-98.

[12] 钟振亚, 张继娟, 申黎明. 基于老年人生理特征的家具设计原则[J]. 湖南包装, 2016(2): 59-78.

ZHONG Zhen-ya, ZHANG Ji-juan, SHEN Li-ming. Furniture Design Principles Based on the Physiological Characteristics of the Elderly[J]. Hunan Packaging, 2016(2): 59-78.