

基于 iNPD-AHP-TRIZ 集成模型的手部按摩仪设计研究

李衍豪, 戚彬, 娄轲, 杨雪, 祝贺

(山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255000)

摘要: **目的** 由于手部工作压力越来越大, 双手出现不适的状况日益增多, 为满足人们对手部按摩保养新的需求、填补市场空白, 精准有效地开发新型手部按摩仪具有重要的现实意义。**方法** 通过梳理产品设计与评价方法, 将层次分析法 (AHP) 和发明问题解决理论 (TRIZ) 融入一体化新产品开发 (iNPD) 过程中, 得到用于产品创新设计的集成模型。分析设计缺口, 进行概念化设计, 制作产品模型, 得到使用评价, 从而指导手部按摩仪的设计研究。**结果** 在集成模型的指导下, 科学高效地开发设计了新型手部按摩仪, 该产品通过改进的经皮电技术刺激手部肌肉, 达到按摩效果, 其全新的功能设计、外观设计、交互设计填补了市场空白, 满足了人们的使用需求。**结论** 实践证明, 在集成模型指导下能够准确把握手部按摩仪设计机会, 科学地解决技术问题, 有效满足用户需求, 缓解手部疲劳, 同时, 该理论模型能够为设计师及企业在相关产品创新设计时提供思路与方法。

关键词: 一体化新产品开发; 层次分析法; 发明问题解决理论; 产品设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)12-0172-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.12.018

Design and Research of Hand Massage Instrument Based on iNPD-AHP-TRIZ Integrated Model

LI Yan-hao, QI Bin, LOU Ke, YANG Xue, ZHU He

(College of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Shandong Zibo 255000, China)

ABSTRACT: Due to the increasing pressure on hands, the discomfort of hands is increasing day by day. It is of great practical significance to accurately and effectively develop a new hand massage instrument to meet people's new demand for hand massage maintenance and fill the market gap. By combing product design and evaluation methods, analytic hierarchy process (AHP) and theory of inventive problem solving (TRIZ) were integrated into the process of integrated new product development (iNPD), and the integrated model for product innovation design was obtained. The design gap was analyzed, the conceptual design was carried out, the product model was made, and the use evaluation was obtained to guide the design and research of the hand massage instrument. Under the guidance of the integrated model, a new hand massage instrument was developed and designed scientifically and efficiently. The product could stimulate the hand muscles through the improved transcutaneous electrical technology to achieve the massage effect. Its brand-new functional design, appearance design and interactive design filled the gap in the market and met people's use needs. Practice proves that under the guidance of the integrated model, the design opportunity of the hand massage instrument can be accurately taken, the technical problems can be scientifically solved, the user needs can be effectively met, and the hand fatigue can be alleviated. At the same time, the theoretical model can provide ideas and methods for designers and enterprises in innovative design of related products.

KEY WORDS: integrated new product development (iNPD); analytic hierarchy process (AHP); theory of inventive problem solving (TRIZ); product design

收稿日期: 2023-01-11

基金项目: 山东省重点研发计划项目 (鲁渝协同) (2021LYXZ012)

作者简介: 李衍豪 (1997—), 男, 硕士生, 主攻产品设计及其理论。

通信作者: 戚彬 (1980—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为工业设计及其理论。

日益增长的手部劳动,如打字、操作手机等大大加重了手的使用程度,导致手部腕管综合征、关节痛等疾病发作呈增长趋势,特别是以手部高强度活动为职业的人群,此类问题更为严重。因此,对于肌肉放松、缓解疼痛的手部按摩仪的需求日渐增长,但传统的手部按摩仪受时间、地点的使用限制,用户使用率不高、体验不佳。所以,综合考虑社会、经济、技术、用户使用需求等多方面因素,对手部按摩仪进行创新设计具有一定的现实意义。针对传统产品的创新设计与评价研究,国内学者,如武春龙等^[1]应用 TRIZ 和 AHP 对服务型产品进行了创新设计,有效提高了服务产品的核心竞争力;李浩等^[2]基于产品设计制造一体化开发内涵,结合用户使用需求,为创新设计落地提供了有效途径;苏建宁等^[3]建立了 AHP/QFD/TRIZ 模型,对玫瑰花蕾采摘机再设计,提高了采摘效率。国外学者为了获取产品的创新方向和新型应用技术,将 iNPD^[4]、I-KANO^[5]、SWOT-FAHP^[6]等方法应用于产品需求调研、产品概念设计等方面。由上述研究可知,对产品进行创新设计需要采用合理的方法获取用户需求并有针对性地对产品的功能、技术和结构作出改进。但现有的设计方法过程复杂、作用单一,无法精准地把握用户的使用需求,且目前针对手部按摩产品的创新设计较少。面对手部按摩仪的设计开发任务,没有合适的理论能够指导前期调研、中期设计、后期评价,在进行设计工作时,常是按照设计师的主观意志进行的。基于此问题,本研究通过对不同学者提出的产品设计与评价方法进行梳理,创新性地提出基于 iNPD-AHP-TRIZ 的集成模型。该模型将 3 种方法有机融合,从不同设计阶段指导手部按摩仪设计,能够在短时间内对现有的手部按摩仪设计缺口与解决方法进行系统化、流程化分析,优化手部按摩仪产品外观,创新按摩技术,缩短手部按摩仪产品创新时间,提高工作效率,激发创造性思维。

1 iNPD-AHP-TRIZ 集成模型概述

iNPD (integrated New Product Development) 包括识别机会、理解机会、产品机会概念化、实施产品机会 4 个阶段^[7],是整合产品创新开发的重要设计方法^[8-9]。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 强调在面临多个方案选择时,通过结构分层、科学比较的思维,计算出各项指标权重的大小^[10],因此被广泛应用于设计领域和决策领域^[11-13]。发明问题解决理论 (TRIZ) 认为,各种技术的发展都遵循着类似的进化规律^[14],不同领域的创新发明存在着共通之处,因此,TRIZ 可以为产品的创新设计提供科学技术指导^[15-16]。

在手部按摩仪设计过程中, iNPD 可以将各方面因素考虑进设计的不同阶段,对创新方向进行定性分析; AHP 将各级各类需求建立层次结构,确定各项

指标权重,进行定量分析。两者相结合可得到社会、用户等多方面因素对手部按摩仪的综合评价及其不足之处,进而找到创新方向。在手部按摩仪的设计需求转化为具体设计方案时,会遇到设计矛盾, TRIZ 作为矛盾冲突的解决工具,能够为其设计提供适合的发明原理,为产品设计的具体矛盾找到解决办法。

iNPD-AHP-TRIZ 集成模型不是简单的叠加关系,而是功能互为补充,有机地融合于手部按摩仪设计的 4 个阶段,快速高效地分析手部按摩仪的设计方向,进行概念化设计,制作产品模型,得到使用评价以指导产品迭代升级,设计开发出能够满足使用需求的新型产品。

2 iNPD-AHP-TRIZ 集成模型应用

2.1 应用集成模型对产品进行综合评价

iNPD 的第 1 阶段是对产品进行 SET 因素分析,识别产品机会,第 2 阶段是理解机会并结合 AHP 将各需求进行量化,计算相应的权重值并对重要度进行排序。具体流程如下:

1) 将产品需求分级分类并构建三级层次结构。

2) 构建评价矩阵。假设有元素 $a_1, a_2 \dots a_n$, 则可以构建优先关系矩阵: $M = \{B_{ij}, i=1, 2 \dots n; j=1, 2 \dots n\}$ 。其中, B_{ij} 为元素 a_i 和元素 a_j 对于上一层级的贡献程度。为了更加直观量化,采取九级标度法表示指标的重要程度,具体说明如表 1 所示。

表 1 判断矩阵标度说明
Tab.1 Scale description of judgment matrix

标度	评价等级	具体含义
1	同样重要	指标 i, j 同等重要
3	稍微重要	指标 i 比指标 j 稍微重要
5	明显重要	指标 i 比指标 j 明显重要
7	强烈重要	指标 i 比指标 j 强烈重要
9	极端重要	指标 i 比指标 j 极端重要
1/3	稍微不重要	指标 i 比指标 j 稍微不重要
1/5	明显不重要	指标 i 比指标 j 明显不重要
1/7	强烈不重要	指标 i 比指标 j 强烈不重要
1/9	极端不重要	指标 i 比指标 j 极端不重要

3) 进行一致性检验。为保证评价过程的准确性和逻辑性,需要对结果进行一致性检验,见式(1)~(3)。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(CW)_i}{w_i} \quad (2)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

式中: CR 为计算一致性比例; CI 为判断矩阵一

致性指标； RI 为随机一致性指标，数值可查表得出； λ_{\max} 为最大特征值； w 为对应的特征向量； n 为指标数量； $(CW)_i$ 为特征向量 CW 的第 i 个分量。当计算出的一致性比率 $CR \leq 0.1$ 时，则认为该评价矩阵的一致性是可以通过的；反之，需要重新构建评价矩阵。

4) 通过方根法计算各个指标的权重值，过程如下。首先计算评价矩阵 M 每一行数值的乘积 M_i

$$M_i = \prod_{j=1}^n C_{ij} (i=1, 2 \dots n) \tag{4}$$

式中： C_{ij} 表示评价矩阵中第 i 行第 j 列的指标； n 为指标数量。

然后计算评价矩阵中各行指标的几何平均值 a_i ，见式 (5)。

$$a_i = \sqrt[n]{M_i} (i=1, 2 \dots n) \tag{5}$$

3) 归一化处理，得到相对权重

$$w_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \tag{6}$$

5) 得到不同需求的权重值后，按其重要程度排序，确定产品的设计方向。

2.2 应用集成模型对产品创新设计

iNPD 的第 3 阶段（产品机会概念化阶段）需要将产品改进方向转化为具体的设计方案。在此过程中会存在设计矛盾，而 TRIZ 作为解决矛盾冲突的重要工具，提出 39 个通用参数和 40 项发明原理，为产品创新提供了方法指导。对产品完善修改后，最终实现 iNPD 的第 4 阶段，即完成产品的创新设计。iNPD-AHP-TRIZ 集成模型应用流程见图 1。

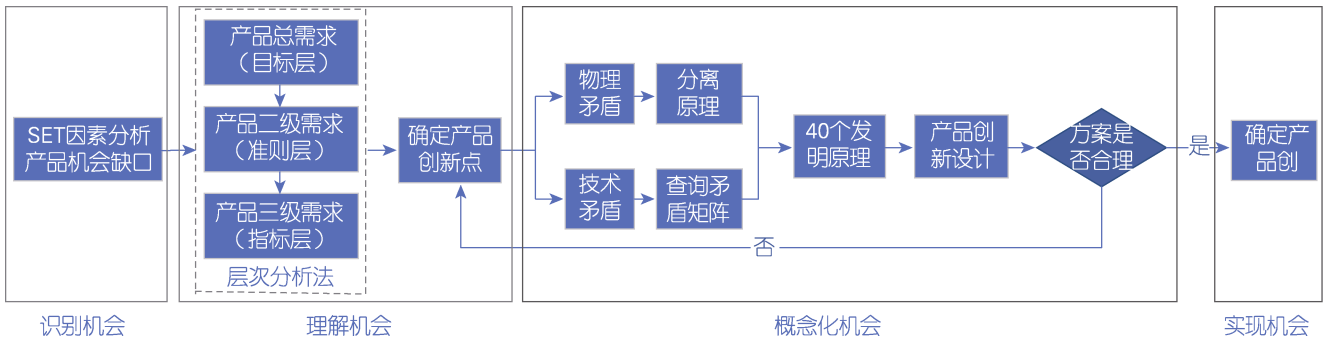


图 1 iNPD-AHP-TRIZ 集成模型应用流程图
Fig.1 Application flow chart of iNPD-AHP-TRIZ integrated model

3 iNPD-AHP-TRIZ 集成模型在手部按摩仪设计与评价中的应用

3.1 识别并理解手部按摩仪创新机会

传统的手部按摩仪受使用条件和体积限制，用户使用率不高，市场反馈不佳，图 2 为市场上几类传统的手部按摩仪。

手部按摩仪主要的目标用户为手部劳动工作者（如电竞选手、白领等）和手部肌肉不适的中老年人，

因此，本研究将这两类人群作为主要调研对象。在调研时，既要宏观层面的经济社会对产品的影响进行定性分析，也要对微观层面的每位用户对产品的不同需求进行定量分析，综合考虑后，才能更好地识别产品设计机会。分别采用 SET 因素分析和层次分析法对新型手部按摩仪进行综合调研。

SET 因素分析可以定性地研究社会因素、经济因素和技术因素分析对产品的影响，是能够得到新的产品机遇的科学方法。通过对目标对象的调研，得到新型手部按摩仪的社会、经济、技术分析，如图 3 所示。



图 2 传统手部按摩仪
Fig.2 Traditional hand massage instrument



图 3 手部按摩仪设计的 SET 分析
Fig.3 SET analysis of hand massage instrument design

结合目前手部按摩仪设计缺口分析,考虑社会因素方面,设计在不同环境、不同时间能够通用的产品,提高使用频率和适用范围;考虑经济因素方面,产品可以作为亲人之间的情感投资,能够及时关注亲人的手部健康情况;考虑技术因素方面,将物联网技术应用到产品当中,将健康情况数据化,及时掌握个人信息。在设计新型手部按摩仪时,将以上因素重点考虑。

结合层次分析法,对不同用户的各项需求进行定量分析。线上通过各大销售网站获取购买手部按摩仪用户的评价及需求,线下对淄博市使用过手部按摩仪的职业游戏玩家、文字工作者和一部分中老年群体进行调查,获取在使用手部按摩仪过程中存在的问题以及对未来设计的期望。调研共发放 178 份调查问卷,回收有效问卷 162 份。处理数据信息得到新产品需求 35 项,去除相似需求、非设计需求后,获得二级需求 3 项作为准则层,三级需求 9 项作为指标层并建立层次结构,如图 4 所示。

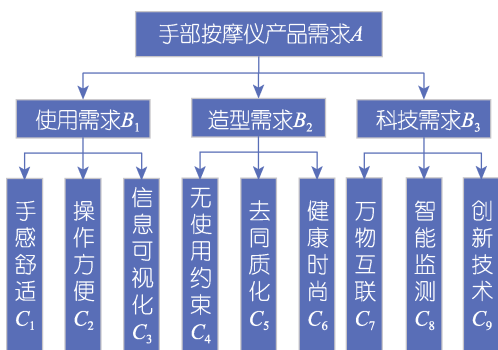


图 4 手部按摩仪需求层次结构
Fig.4 Demand hierarchy structure of hand massage instrument

确定各项需求的权重是对手部按摩仪进行客观综合评价的关键,也为后续设计指明方向。邀请 16 名手部按摩仪使用者、10 名工业设计工程师、8

名手部按摩仪企业专家按照产品综合评价流程对每个层次中的各个指标进行两两比较并给出相应分值。具体评价结果如表 1—4 所示。

表 1 准则层评价矩阵及权重
Tab.1 Criteria layer evaluation matrix and weight

评价指标	B_1	B_2	B_3	权重 w_A
B_1	1	3	5	0.63
B_2	1/3	1	3	0.26
B_3	1/5	1/3	1	0.11

表 2 使用需求指标评价矩阵及权重
Tab.2 Use demand index evaluation matrix and weight

评价指标	C_1	C_2	C_3	权重 w_{B_1}
C_1	1	1/3	3	0.26
C_2	3	1	5	0.64
C_3	1/3	1/5	1	0.10

表 3 造型需求指标评价矩阵及权重
Tab.3 Modeling demand index evaluation matrix and weight

评价指标	C_4	C_5	C_6	权重 w_{B_2}
C_4	1	7	3	0.67
C_5	1/7	1	1/3	0.09
C_6	1/3	3	1	0.24

表 4 科技需求指标评价矩阵及权重
Tab.4 Technical demand index evaluation matrix and weight

评价指标	C_7	C_8	C_9	权重 w_{B_3}
C_7	1	3	1/3	0.26
C_8	1/3	1	1/5	0.10
C_9	3	5	1	0.64

对结果进行一致性检验,各指标一致性比率 $CR \leq 0.1$,说明评价结果真实可靠。具体计算结果如表 5 所示。

表 5 一致性检验计算结果
Tab.5 Calculation results of consistency test

一致性指标	A	B_1	B_2	B_3
λ_{max}	3.04	3.27	3.00	2.88
CI	0.02	0.019	0.01	0.05
RI	0.52	0.52	0.52	0.52
CR	0.038	0.037	0.02	0.10

由此得到指标层的综合权重及重要度排序,如表 6 所示。

由表 6 可知,操作方便、无使用约束、手感舒适、创新技术这 4 个指标最影响产品的使用体验,也是手部按摩仪创新设计的重点。

表6 指标层综合权重
Tab.6 Comprehensive weight of index layer

指标层	权重	排序
手感舒适	0.16	3
操作方便	0.40	1
信息可视化	0.06	5
无使用约束	0.17	2
去同质化	0.02	8
健康时尚	0.06	6
万物互联	0.03	7
智能监测	0.03	9
创新技术	0.07	4

3.2 手部按摩仪的机会概念化

通过手部按摩仪需求的调研结果可知,目前急需一款使用不受时间环境影响、亲人能够及时掌握信息、操作方便、手感舒适、有创新技术的新型手部按摩仪。

根据 TRIZ 理论指导,对一个技术参数的改进会引起另一个技术参数的恶化,形成矛盾冲突。建立矛盾矩阵后,利用 40 个发明原理,可以将矛盾冲突转化为具体的设计方案。在手部按摩仪使用中,操作方便可以大大节省使用的时间成本;方便携带必须改变原有产品的结构设计。参考 39 个通用技术,操作方便对应 33 号通用参数“可操作性”,节省时间成本对应 25 号通用参数“时间的无效损耗”;方便携带对应 8 号通用参数“静止物体的体积”,改变结构对应 12 号通用参数“形状”。将矛盾冲突建立成矛盾矩阵,根据推荐的发明原理找到具体设计方案,如表 7 所示。

表7 TRIZ 矛盾冲突矩阵
Tab.7 TRIZ conflict matrix

改善的参数	恶化的参数	发明原理
可操作性 (33)	时间的无效损耗 (25)	非对称原理 (4)
		替代机械系统原理(28)
		预先作用原理 (10)
		抛弃与再生原理 (34)
静止物体的体积 (8)	形状 (12)	嵌套原理 (7)
		抽取原理 (2)
		改变状态原理 (35)

4 手部按摩仪创新设计的实现

4.1 手部按摩仪设计方案

传统的手部按摩仪通过机械结构对手部肌肉进行按压达到缓解效果,但繁琐的机械结构使按摩仪体积庞大。据 TRIZ 提供的解决方案,结合使用者的实

际需求和新兴技术的发展,选择 28 号“替代机械系统原理”和 35 号“改变状态原理”以及电刺激恢复按摩领域医疗相关领域的研究^[17],提出以经皮电刺激 (TENS) 为主的手部相关问题缓解方案^[18-19],具体设计流程如图 5 所示。

替代机械系统原理是利用其他物理场来替代原有的机械作用。传统的手部按摩仪采用机械、气囊按压模式,在 28 号原理的指导下提出针对手部的经皮神经电刺激的作用方式,利用电场释放的能量代替机械作用。在传统 TENS 要求的安全范围内进行了放电曲线的改良优化,创造了特有的 TENSfH (Transcutaneous Electric Nerve Stimulation for Hands) 方案。该方案创造性地使用电场带来的能量刺激代替原有的机械按压,通过电刺激促进手部血液循环、放松肌肉,达到按摩效果。TENSfH 方案脉冲刺激如图 6 所示。

为满足产品不受时间地点使用限制,须减小体积。35 号“改变状态原理”通过改变物体的结构来满足产品需求。随着技术发展,传感器集成化程度更高、体积更小,改进的手部按摩仪内置薄膜压力传感器,大大缩小了产品体积。

新型手部按摩仪为满足用户需求,改变了传统的交互方式,采用了主动抓握与捏握的方式来触发经皮神经刺激脉冲的释放。产品两侧设有电感应金属条,当手掌握住按摩仪,传感器收到信号,内部的电器装置发出双向方波,手部肌肉便会感受到脉冲和震动反馈,从而舒缓手部不适。新技术的应用使产品不受时间和空间的使用限制,在满足用户需求的同时也满足了产品的社会需求与技术需求,产品交互方式如图 7 所示。

相比传统手部按摩仪具有数百个零部件,为实现新型产品外观的整体性和简约的美感^[20]、满足手感舒适等需求,在 35 号原理指导下,简化组装过程,重新设计了产品的内部结构。在结构设计上采用了左右壳的设计,内部零部件高度集成化、紧密排列,产品有足够的机械强度。结构重新设计后,产品体积、重量大大缩减,携带更加便捷,操作更加方便,提高了产品的使用率。产品效果图、结构图如图 8—9 所示。

传统手部按摩仪受工作原理、技术限制,无法实现数据化、智能化。为满足产品经济、技术方面等需求,在外观设计上与低能耗的 LED 灯结合,使用冰蓝色的 LED 灯从色彩心理学上达到舒缓身心的效果。同时,在手机端开发配套程序,可以自定义产品刺激强度、时间等参数,方便用户自己及亲人更好地掌握产品使用情况及手部健康情况,实现产品的技术升级,满足情感投资。产品使用效果图、部分系统界面如图 10—11 所示。

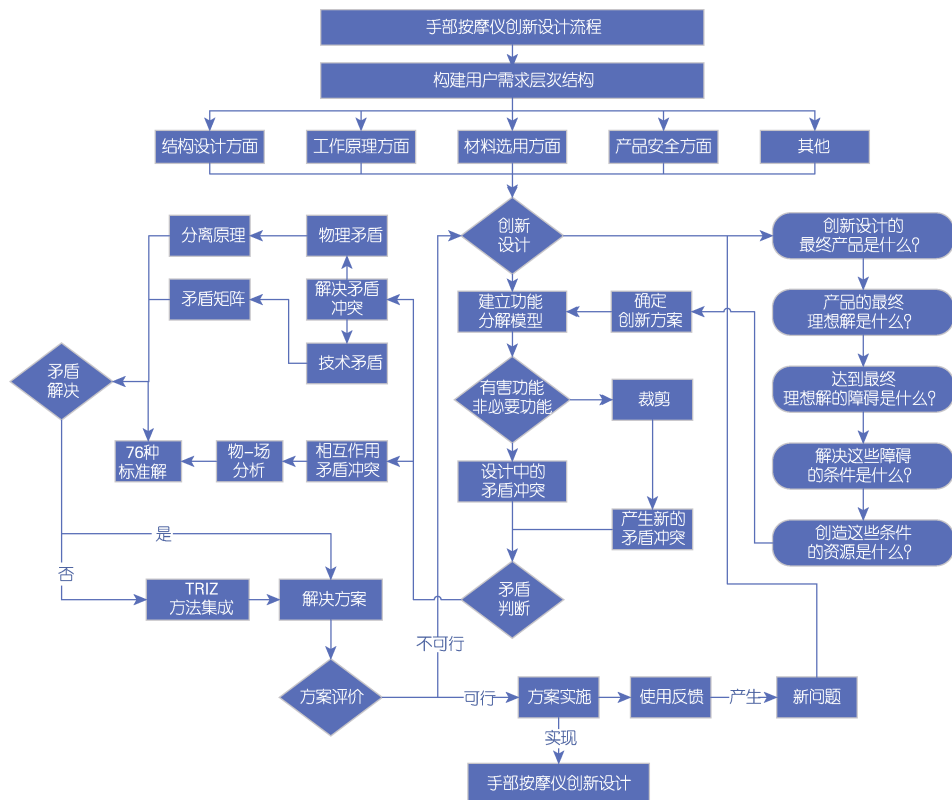
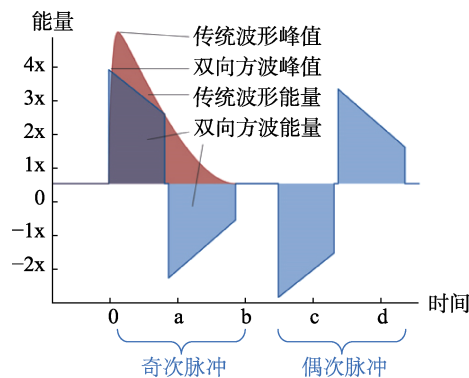


图 5 手部按摩仪创新设计流程

Fig.5 Innovative design process of hand massage instrument



注: x 表示倍数。

图 6 TENSfH 方案脉冲刺激

Fig.6 Pulse stimulation in TENSfH scheme



图 7 手部按摩仪的交互方式

Fig.7 Interactive mode of hand massage instrument

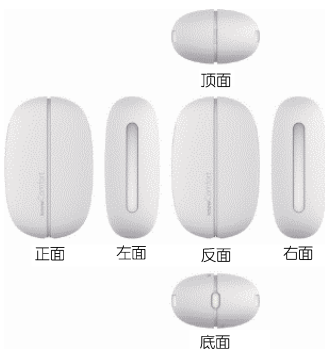


图 8 产品效果图

Fig.8 Product renderings

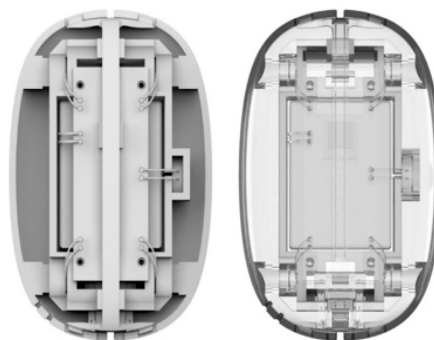


图 9 手部按摩仪内部结构

Fig.9 Internal structure of hand massage instrument



图 10 产品使用效果图

Fig.10 Effect drawing of product use



图 11 系统界面
Fig.11 System interface

4.2 手部按摩仪效果对比评价

为验证新型手部按摩仪的用户满意度,对使用需求较高的几项指标进行调查评估。12名使用者对比使用了传统的手部按摩仪和新型手部按摩仪,试验如图 12 所示。



图 12 产品对比试验
Fig.12 Product comparison test

12名使用者完成产品对比体验后,采用李克特量表对各项指标进行满意度评价,分值为1~5分,数值越高表示满意度越高。各项指标均分相加,传统手部按摩仪总得分为18.8分,新型手部按摩仪总得分为27.2分,各项指标得分如图13所示。

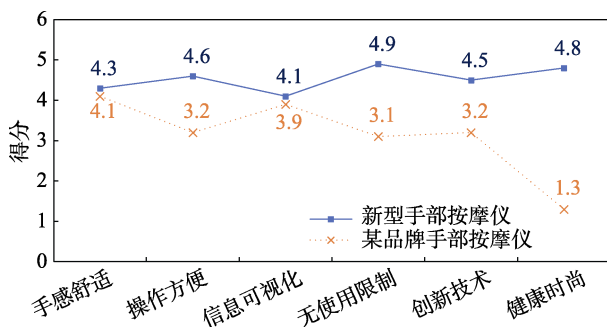


图 13 用户使用评价
Fig.13 User usage evaluation

由用户评价图及用户使用体验得出,新型手部按摩仪在6个主要需求指标中都超过4分,满足产品的使用需求。其中,操作方便、无使用限制、技术创新、健康时尚4个指标的表现都远超传统手部按摩仪。

该手部按摩仪设计针对社会、经济、技术及用户使用等需求进行了创新,效果理想,首批量产设备已获得市场初步认可,并荣获各级工业设计大赛奖项,证明iNPD-AHP-TRIZ集成模型对于手部按摩仪创新设计的可行性。在产品的创新升级阶段,可按照此集成模型对产品进行升级改进。

5 结语

与传统的设计调研方法如头脑风暴法、思维导图法、质量屋模型等相比,基于iNPD-AHP-TRIZ的集成模型优势显著,能够更加全面、有机地分析产品的用户使用需求,提供科学有效的发明原理对产品造型、功能等进行创新,同时做出合理的评价,为产品优化指明方向。在该理论模型指导下设计的新型手部按摩仪在一定程度上满足社会、经济、技术需求的同时,也提高了用户对产品的满意度。

1) 基于iNPD-AHP-TRIZ集成模型方法,以手部按摩仪为例进行创新设计,验证了该模型在新产品开发创新中的可行性,为今后相关产品的设计提供了一定的理论指导。

2) 从不同方面将新型手部按摩仪与传统手部按摩仪进行对比,用户使用体验总得分由18.8分提高到27.2分,用户使用反馈效果好,不仅满足了用户的使用体验,而且从一定程度上填补了市场空白。

3) 基于iNPD-AHP-TRIZ的集成模型仅经过手部按摩仪一个产品的论证,下一步将继续开展基于此模型的产品创新并等待市场经济指标数据,进一步验证该模型的可靠性。

参考文献:

- [1] 武春龙, 朱天明, 张鹏, 等. 基于功能模型和层次分析法的智能产品服务系统概念方案构建[J]. 中国机械工程, 2020, 31(7): 853-864.
WU Chun-long, ZHU Tian-ming, ZHANG Peng, et al. Conceptual Scheme Construction of Smart PSS Based on Functional Model and AHP[J]. China Mechanical Engineering, 2020, 31(7): 853-864.
- [2] 李浩, 陶飞, 王昊琪, 等. 基于数字孪生的复杂产品设计制造一体化开发框架与关键技术[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(6): 1320-1336.
LI Hao, TAO Fei, WANG Hao-qi, et al. Integration Framework and Key Technologies of Complex Product Design-Manufacturing Based on Digital Twin[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(6): 1320-1336.

- [3] 苏建宁, 魏晋. 基于 AHP/QFD/TRIZ 的玫瑰花蕾采摘机设计[J]. 机械设计, 2020, 37(8): 121-126.
SU Jian-ning, WEI Jin. Design of Rosebud Picker Based on AHP/QFD/TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(8): 121-126.
- [4] STÜRMLINGER T, JOST D, MANDEL C, et al. Impact and Risk Analysis in the Integrated Development of Product and Production System[J]. Procedia CIRP, 2020, 91: 627-633.
- [5] LEE S, PARK S, KWAK M. Revealing the Dual Importance and Kano Type of Attributes through Customer Review Analytics[J]. Advanced Engineering Informatics, 2022, 51: 101533.
- [6] ILIĆ D, MILOŠEVIĆ I, ILIĆ-KOSANOVIĆ T. Application of Unmanned Aircraft Systems for Smart City Transformation: Case Study Belgrade[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 176: 121487.
- [7] 孙志学. 以用户为中心的 iNPD 方法的应用[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 255-256.
SUN Zhi-xue. Application of User-Centered iNPD Method[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 255-256.
- [8] 胡康, 邱杰, 艾险峰. 基于 iNPD 与 AHP 的老年人陪护产品创新设计[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 179-186.
HU Kang, QIU Jie, AI Xian-feng. Innovation Design of the Elderly Accompanying Products Based on iNPD and AHP[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(24): 179-186.
- [9] 李晓杰, 梁健. 基于 INPD 与 KE 的老年人辅助陪伴机器人造型设计[J]. 包装工程, 2020, 41(24): 70-78.
LI Xiao-jie, LIANG Jian. Design of Assisted Companion Robot for the Elderly Based on INPD and KE[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(24): 70-78.
- [10] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 148-153.
GUO Jin-yu, ZHANG Zhong-bin, SUN Qing-yun. Study and Applications of Analytic Hierarchy Process[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(5): 148-153.
- [11] DAS S, GUPTA A. Multi-Criteria Decision Based Geospatial Mapping of Flood Susceptibility and Temporal Hydro-Geomorphologic Changes in the Subarnarekha Basin, India[J]. Geoscience Frontiers, 2021, 12(5): 333-347.
- [12] 何思俊, 支锦亦. 基于 AHP-独立性权数法的列车旅客界面设计评价[J]. 西南交通大学学报, 2021, 56(4): 897-904.
HE Si-jun, ZHI Jin-yi. Evaluation of Train Passenger Interface Design Based on Analytic Hierarchy Process with Independent Weight Method[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2021, 56(4): 897-904.
- [13] 韩自强, 岳文辉, 单武斌, 等. 基于区间层次分析法的机械加工绿色工艺方案决策[J]. 机床与液压, 2020, 48(17): 117-121.
HAN Zi-qiang, YUE Wen-hui, SHAN Wu-bin, et al. Green Process Plan Decision of Mechanical Processing Based on Interval Analytic Hierarchy Process[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2020, 48(17): 117-121.
- [14] 牛占文, 徐燕申, 林岳, 等. 发明创造的科学方法论——TRIZ[J]. 中国机械工程, 1999, 19(1): 84-89.
NIU Zhan-wen, XU Yan-shen, LIN Yue, et al. Inventive Scientific Methodology-TRIZ[J]. China Mechanical Engineering, 1999, 19(1): 84-89.
- [15] 辜俊丽, 宋端树, 崔天琦, 等. 基于 AHP 与 TRIZ 的残疾人轮椅设计[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 187-193.
GU Jun-li, SONG Duan-shu, CUI Tian-qi, et al. Design of Wheelchair for the Disabled Based on AHP and TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(24): 187-193.
- [16] YANG Wen-dan, CAO Guo-zhong, PENG Qing-jin, et al. Effective Radical Innovations Using Integrated QFD and TRIZ[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 162: 107716.
- [17] 燕学智, 李瑞格, 武秋爽. 表面触觉再现技术现状和评估方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2018, 44(10): 2078-2095.
YAN Xue-zhi, LI Rui-ge, WU Qiu-shuang. Status and Evaluation Method of Surface Tactile Representation Technology[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2018, 44(10): 2078-2095.
- [18] 尹琪敏, 李晓欧, 刘巧红. 具有表面肌电反馈的功能性阵列电极电刺激系统设计[J]. 生物医学工程学杂志, 2020(6): 1045-1055.
YIN Qi-min, LI Xiao-ou, LIU Qiao-hong. Design of Functional Array Electrode Electrical Stimulation System with Surface Electromyography Feedback[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2020(6): 1045-1055.
- [19] 胡少康, 张道辉, 赵新刚, 等. 基于特征工程与级联森林的中风患者手部运动肌电识别方法[J]. 机器人, 2021, 43(5): 526-538.
HU Shao-kang, ZHANG Dao-hui, ZHAO Xin-gang, et al. An SEMG-Based Hand Motion Recognition Method for Stroke Patients with Feature Engineering and Cascade Forest[J]. Robot, 2021, 43(5): 526-538.
- [20] 林丽, 郭主恩, 阳明庆. 面向产品感性意象的造型优化设计研究现状及趋势[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 65-79.
LIN Li, GUO Zhu-en, YANG Ming-qing. Current Research Situation and Trend of Product Image-Based Modeling Optimization[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 65-79.