

# 用户行为分析视角下的产品人机优化设计

姚湘, 郭雨晴, 李萌  
(湘潭大学, 湘潭 411105)

**摘要:** **目的** 以提升用户体验为前提, 结合产品的实际功能, 从使用过程、用户行为分析、人机工程等多个方面探索产品的设计方法。**方法** 以医疗保健类产品手持式头部按摩器为例, 从用户使用产品时的行为出发, 以非参与式方法, 观察用户使用产品的整个过程。基于 SAPAD 架构, 完成行为—意义—对象三个维度之间的映射分析, 得到手持式头部按摩器在整个使用过程中的关键部件和用户内心潜在需求。再以人机工程学原理和方法为依据, 提出了基于用户需求的产品人机设计原则, 为设计研发提供参考并最终得出设计结果。**结论** 提出了一种手持式头部按摩器的设计方法, 优化了用户体验, 提高了产品的工作效率。为产品的人机优化设计提供了一种新思路, 对相关实体产品的工业设计具有一定的参考。

**关键词:** 用户行为; SAPAD 框架; 人机工程; 产品设计; 手持式头部按摩器

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)18-0090-11

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.18.011

## Product Man-machine Optimization Design from the Perspective of User Behavior Analysis

YAO Xiang, GUO Yu-qing, LI Meng  
(Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

**ABSTRACT:** It aims to explore the design methods of product from using process, analysis of user behavior, ergonomics and other aspects in combination with the functional requirements of product on the premise of enhancing the user experience. With health care product - the handheld head massager as an example, starting from the user's behavior when using the product, the whole process of using the product was observed in a non-participatory way. Based on the SAPAD framework, the mapping analysis between the three dimensions of behavior-significance-object was completed, and the key parts of the handheld massager in the whole use process and the potential demands of users were obtained. Based on the ergonomic principles and methods, the ergonomic design principles of products based on user demand were proposed to provide reference for the design and development and finally get the design. A design method of a handheld head massager is presented, which optimizes the user experience and improves the work efficiency of the product. It provides a new idea for the man-machine optimization design of the product, and has some reference for the industrial design of the related entity products.

**KEY WORDS:** user behavior; SAPAD framework; ergonomics; product design; handheld head massager

新时代下, 人们都将目光聚焦到产品的体验, 根据市场反馈发现: 产品正在由单一的功能特性和视觉感受转为提供体验<sup>[1]</sup>。为了在激烈的市场竞争中赢得大众认可, 产品开发设计越来越重视更好的用户使用

体验。通过关注人的行为来发现用户在使用产品过程中的不便, 将更有利于对旧有设计进行改良<sup>[2]</sup>, 能为用户带来更好的产品体验。本文将从用户的操作行为出发, 对用户行为背后对应的用户需求进行人机工程

收稿日期: 2020-05-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51505405); 湖南省机械智能产品工业设计中心开放课题(KH010860102); 湘潭大学博士科研启动基金(KZ08039)

作者简介: 姚湘(1982—), 男, 湖南人, 博士, 湘潭大学副教授, 主要研究方向为工业设计。

通信作者: 郭雨晴(1993—), 男, 湖南人, 湘潭大学硕士生, 主攻产品形象识别设计。



而头部按摩器应运而生并快速发展。因为该类产品有区别于医院的医疗器械与设备,缺少相关专业参数规范<sup>[15]</sup>,且对这类产品的人机分析和用户需求分析研究较少。由于此类产品与人的手部、头部都直接接触,所以产品的安全性、操作性、舒适性、灵活性等方面至关重要。因此,从人机工程学的角度研究头部按摩器的设计与开发是很有必要的。本研究将以手持式头部按摩器为例,重点挖掘用户在办公室情境下使用手持式头部按摩器的行为意义以及在用户体验上的不足,构建意义层次,进而据此进行人机优化,实现良好的用户操作体验。挑选市场反应好、学术认可度高的“倍轻松”手持式头部按摩器为实验产品对象,见图 2。

2.2 用户行为观察流程

用户行为观察是有计划、有目的地对测试者进行观察,并记录测试者行为的基本心理特征,建立用户行为观察记录表,以方便研究人员明确观察目的并及时将每一位测试者的观察数据记录下来。本文选择了三十名年龄为 24~40 岁的,每天工作或学习八小时以上的学校师生作为实验用户,男女各十五名,身高为

157~180 cm。在正常办公室环境下进行非参与式观察,观察用户使用头部按摩器的过程与状态。在用户行为观察中,利用摄像机记录过程,同时在观察结束后运用及时反馈法让用户说出主观感受。行为观察记录表显示,用户行为跟观察者的使用习惯有很强的关联性,导致观察结果多且复杂。课题组通过对观察结果进行统计分析,将受访用户的行为进行归纳对比,把整个活动大致划分为六个子流程(见图 3),包括准备阶段、拿起按摩器、按摩、放下按摩器、充电、存放,进一步分解这六个步骤,包含二十四四个动作(见图 4)。行为关联物指的是与用户行为接触或者产生交互关系的物品,通过对二十四四个动作的观察,将每一个动作背后的行为关联物一一例举出来,见表 1。

2.3 行为观察的意义分析与层次构建

通过表 1 可以清晰地看出按摩过程中行为与物的关系。然而,其中还存在着一些不能理解的用户行为。例如,在按摩的操作中,为什么要换手?其操作意义是什么?为了弄清楚用户在按摩活动中二十四四个操作背后的意义,需要根据 SAPAD 方法建立各个层次上的意义。



图 2 倍轻松手持式头部按摩器  
Fig.2 Bero handheld head massager



图 3 用户使用流程  
Fig.3 User usage process

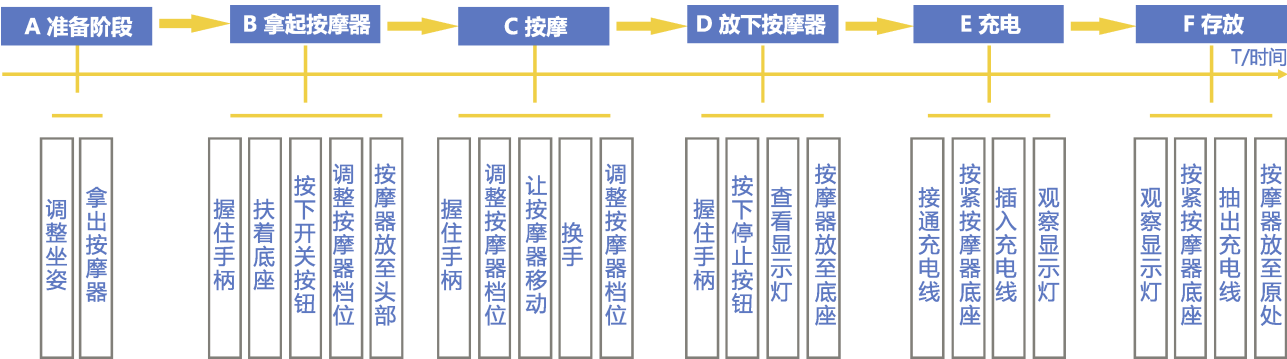


图 4 用户使用步骤  
Fig.4 Picture of user steps

表 1 用户行为—对象的映射关系  
Tab.1 Analysis of activity and object mapping of users

| 用户操作流程  | 操作动作        | 行为相关联物             |
|---------|-------------|--------------------|
| A 准备阶段  | A1 调整坐姿     | 办公座椅、办公桌           |
|         | A2 拿出按摩器    | 按摩器底座              |
| B 拿起按摩器 | B1 握住按摩器手柄  | 按摩器握把              |
|         | B2 扶着底座     | 按摩器底座              |
|         | B3 按下开关按钮   | 按摩器开关、按摩器握把        |
|         | B4 调整按摩器档位  | 档位调节开关、按摩器握把       |
|         | B5 按摩器放至头部  | 按摩器握把、按摩器抓手、按摩器电机  |
| C 按摩    | C1 握住按摩器手柄  | 按摩器握把、按摩器抓手        |
|         | C2 调整按摩器档位  | 档位调节开关、按摩器电机、按摩器握把 |
|         | C3 让按摩器移动   | 按摩器握把、按摩器抓手        |
|         | C4 换手       | 按摩器握把              |
|         | C5 调整按摩器档位  | 档位调节开关、按摩器电机、按摩器握把 |
| D 放下按摩器 | D1 握住按摩器手柄  | 按摩器握把              |
|         | D2 按紧按摩器底座  | 按摩器底座、按摩器握把        |
|         | D3 查看显示灯    | 显示灯                |
|         | D4 将按摩器放至底座 | 按摩器底座、按摩器握把        |
| E 充电    | E1 接通充电线    | 显示灯、充电线、电源插座       |
|         | E2 按紧按摩器底座  | 按摩器底座              |
|         | E3 插入充电线    | 充电线、显示灯            |
|         | E4 观察显示灯    | 显示灯                |
| G 存放    | G1 观察显示灯    | 显示灯                |
|         | G2 按紧按摩器底座  | 按摩器底座              |
|         | G3 抽出充电线    | 充电线                |
|         | G4 将按摩器放至原处 | 办公座椅、办公桌、按摩器底座     |

意义的提取就是对二十四四个操作行为进行解释，分析用户行为背后的真实意图。在 SAPAD 方法模型中，意义构建是指用户行为在物理层、语构层、经验层、语意层、语用层、社会层六个层面中分别表示的意义。通过对用户使用按摩器行为的观察，对用户与相关部件进行交互的行为进行详尽描述，将获取的意义分别划分到 SAPAD 的各个意义层次中，从而得到用户在各个层次对产品各部件的需求。在本案例研究中，寻求的是用户行为背后的相关信息，考虑手持式头部按摩器的隐私性，在意义构建的过程中，对该类产品单独构建意义层次。重点从经验层、语意层和语用层找出目标用户在使用产品行为中的核心意义。最后得到行为观察的意义，经过实时反馈、简化后的意义构建表，见表 2。

意义的映射关系描述的是用户行为在三个意义维度中分别代表的意义。从表中可以看出：语构层共出现十二个意义，是产品应具有的功能模块。经验层共出现十九个意义，是人对产品的操作模块，强调人与物之间的交互关系。语意层共出现十二个意义，是用户对产品的期望，强调个人的情感体验。

使用手持式头部按摩器的整个过程是一个连续性活动，可以通过分析行为在不同层次中分别指向的

意义，确定意义之间的相关性。本文引入了{0,3}布尔逻辑算法<sup>[16]</sup>关联矩阵，对意义进行聚类。通过课题组讨论分析，在合并相同意义之后，将意义之间的关联性划分为 0，1，2，3 共四个层次。以经验层为例，“信息反馈及时性”与按摩器的“易抓取”程度没有直接关联，为无关联，记为“0”，“取放的平稳性好”在一定程度上带来了“易抓取”的感受，为弱关联，记为“1”，“就近取用”决定了“易抓取”的整体空间位置，为强关联，记为“2”，“防滑”是“易抓取”的直接表现，为核心关联，记为“3”。按上述关联性原则，分析总结出各层次意义之间的关联性（见图 5），得到意义簇。

在语构层，通过聚类分析发现五大意义簇，分别是：（1）放置—存放—收纳；（2）部件连接—开关控制；（3）力传动—按摩；（4）充电—能量储存；（5）信息—提示。在经验层，通过聚类分析发现七大意义簇，分别是：（1）放置收纳方便—拿取放下平稳性好—就近取用；（2）操作逻辑关系易懂—操作过程连续性好—操作步骤简单；（3）按摩器信息反馈及时—反馈信息明显易识别；（4）按摩器抓握性好—防滑—手部受力合理舒适度高—手部操作简单方便；（5）按摩舒适度好—控制器反应灵敏—按摩器力度可选择性

表 2 用户行为—意义的映射分析  
Tab.2 Analysis of activity and meaning mapping of users

| 操作行为        | 语构层                                            | 经验层                                                                                                                                     | 语意层                                              |
|-------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| A1 调整坐姿     | 坐姿调整                                           | 椅子靠背角度好、身体受力少                                                                                                                           | 愉悦、舒服、轻松感                                        |
| A2 拿出按摩器    | 提供操作顺畅度                                        | 就近取用、操作连续                                                                                                                               | 操作灵活                                             |
| B1 握住按摩器手柄  | 控制按摩器整体位置移动                                    | 抓握力度大小、按摩器握把大小直径、<br>手部与按摩器握把的贴合度、触感、具<br>有一定的防滑作用                                                                                      | 品质感、掌控感                                          |
| B2 扶着底座     | 保证按摩器主体部分顺利取出                                  | 单手不能将按摩器取出、按摩器底座可<br>供受力面积较小                                                                                                            | 多余、不耐烦                                           |
| B3 按下开关按钮   | 力传动、控制                                         | 控制好、过程流畅、其间的逻辑关系<br>易懂、反馈及时                                                                                                             | 掌控感                                              |
| B4 调整按摩器档位  | 力传动、控制                                         | 反馈及时、控制好、过程流畅、操作<br>简单                                                                                                                  | 轻便感                                              |
| B5 按摩器放至头部  | 支撑、连接、力传动                                      | 按摩位置准确可控、手臂弯曲度较大、                                                                                                                       |                                                  |
| C3 让按摩器移动   | 支撑、连接、力传动、按摩                                   | 手部腕关节、肩关节、肘关节活动幅度<br>大小、支撑力度强弱、头部舒适度、头<br>部受力大小                                                                                         | 轻便感、舒适感、发<br>型完整                                 |
| C4 换手       | 换手                                             | 按摩器握把长度与手的匹配、控制其震<br>动幅度、肩肘舒适性                                                                                                          |                                                  |
| D3 查看显示灯    | 提示、显示、控制、连接                                    | 显示灯对应按摩器状态、对应控制器是<br>否停止、                                                                                                               | 反馈、提示                                            |
| D4 将按摩器放至底座 | 整理                                             | 按摩器与底座易于贴合                                                                                                                              | 轻松、整洁、省力、<br>智能                                  |
| E1 接通充电线    | 连接                                             | 桌面整洁度、充电线接口的普适性、易<br>操作性                                                                                                                | 整洁                                               |
| E2 按紧按摩器底座  | 连接、放置                                          | 按摩器的稳定性                                                                                                                                 | 防滑                                               |
| E3 插入充电线    | 能量存储、放置                                        | 步骤简单、接口清晰可辨、位置易到达                                                                                                                       | 快捷、省力                                            |
| E4 观察显示灯    | 反馈                                             | 识别性强度、逻辑清晰度、信息时效性                                                                                                                       | 智能                                               |
| F4 将按摩器放至原处 | 存放、收纳                                          | 充电线的易整理性、易收纳性、                                                                                                                          | 灵活、轻松                                            |
| 统计          | 存放、支撑、控制、能量存储、<br>力传动、放置、收纳、连接、<br>提示、显示、按摩、抓挠 | 就近取用、连续性好、逻辑关系清晰、<br>按摩舒适性好、手部贴合度强、易握取、<br>防滑性强、易识别、易控制、整洁性强、<br>手臂肘部肩关节受力小、手臂操作动作<br>幅度小、操作步骤简单、按摩力度可选<br>择性、反馈及时性、操作直观性、易收<br>纳、外观贴合度 | 轻便、舒服、稳定、<br>快捷、轻松、省力、<br>防滑、灵活、智能、<br>整洁、简单、易收纳 |

多;(6)手臂摆动幅度合理—手臂受力适度无疲劳感;  
(7)充电过程简单快捷—数据线好收纳。在语意层,  
通过聚类分析发现五大意义簇,分别是:(1)易收纳—  
方便存放;(2)省力—轻松—舒服;(3)智能;(4)  
轻便—操作方便—便捷—快捷;(5)整洁性—头发整洁。

2.4 意义—对象映射

在 SAPAD 框架中,意义对应行为,行为对应相  
关对象,因此,核心意义的关联构建直接反映用户需  
求,而意义对应的相关部件直接把用户需求反应到产  
品相关部件。通过意义与物的映射关系,构建不同层

次核心意义对应的意义关键物,经验层意义到物的映  
射见表 3。

将映射得到的不同层次的关键物,通过出现频率  
筛选得到强关联的关键物,见图 6。

3 手持式头部按摩器的人机优化设计

通过用户行为观察,将用户需求通过行为—意义  
—对象的构建映射到产品部件上。对产品进行人机优  
化设计,即是对语构层、经验层、语意层所对应的具  
有强关联性的关键物进行人机工程学研究。

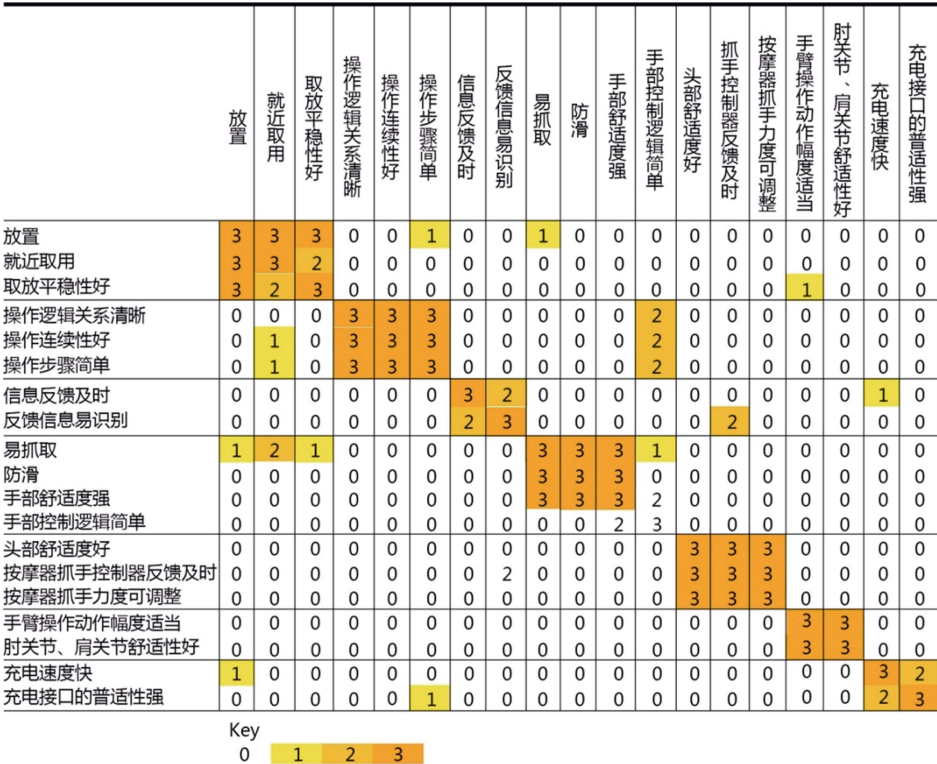


图 5 经验层意义聚类  
Fig.5 Significant cluster of experience level

表 3 经验层意义到物的映射  
Tab.3 Mapping of empirical meaning to objects

| 意义簇                            | 行为          | 意义相关物                    | 意义关键物                |
|--------------------------------|-------------|--------------------------|----------------------|
| 放置收纳方便—拿取放下平稳性好—就近取用           | A2 拿出按摩器    | 办公桌、按摩器底座                | 按摩器底座                |
|                                | B2 扶着底座     |                          |                      |
|                                | G4 将按摩器放至原处 |                          |                      |
| 操作逻辑关系易懂—操作过程连续性好—操作步骤简单不复杂    | B3 按下开关按钮   | 按摩器开关、按摩器握把、按摩器显示灯、按摩器电机 | 按摩器握把、按摩器电机          |
|                                | C4 换手       |                          |                      |
|                                | B4 调整按摩器档位  |                          |                      |
|                                | D3 查看显示灯    |                          |                      |
| 按摩器信息反馈及时—反馈信息明显易识别            | F4 观察显示灯    | 按摩器显示灯、按摩器开关、按摩器电机       | 按摩器显示灯、按摩器电机、按摩器开关   |
|                                | B4 调整按摩器档位  |                          |                      |
| 按摩器抓握性好—防滑—手部受力合理舒适度高—手部操作简单方便 | B1 握住按摩器手柄  | 按摩器握把、按摩器电机、按摩器开关、按摩器底座  | 按摩器握把、按摩器开关          |
|                                | B3 按下开关按钮   |                          |                      |
|                                | B4 调整按摩器档位  |                          |                      |
|                                | B5 按摩器放至头部  |                          |                      |
|                                | C3 让按摩器移动   |                          |                      |
|                                | C4 换手       |                          |                      |
| 按摩舒适度好—控制器反应灵敏—按摩器力度可选择性多      | D4 将按摩器放至底座 |                          |                      |
|                                | C3 让按摩器移动   | 按摩器电机、按摩器显示灯、按摩器握把、按摩器抓手 | 按摩器电机、按摩器抓手、按摩器开关    |
|                                | B4 调整按摩器档位  |                          |                      |
|                                | D3 查看显示灯    |                          |                      |
| 手臂摆动幅度合理—手臂受力适度无疲劳感            | C3 让按摩器移动   | 按摩器握把                    | 按摩器握把                |
|                                | B5 按摩器放至头部  |                          |                      |
| 充电过程简单快捷—数据线好收纳                | F3 插入充电线    | 按摩器充电线、按摩器显示灯、按摩器充电口、办公桌 | 按摩器充电线、按摩器显示灯、按摩器充电口 |
|                                | F4 观察显示灯    |                          |                      |

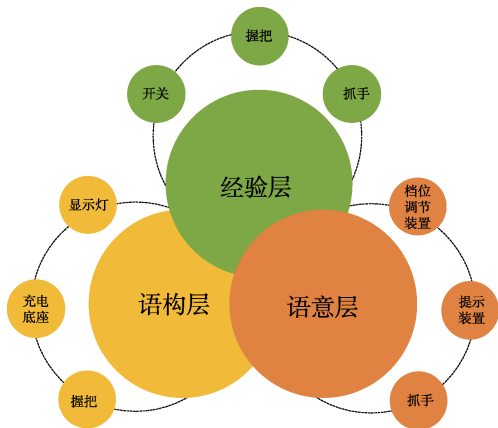


图 6 意义层强关联的关键物  
Fig.6 Key objects of strong correlation in the meaning level

表 4 显示灯参数  
Tab.4 Display lamp parameters

| 显示信息   | 颜色 | 方式 | 说明             |
|--------|----|----|----------------|
| 正常运行   | 绿色 | 弱光 | 常亮直至设备关机       |
| 开机启动   | 绿色 | 强光 | 频率：1.5 Hz 闪烁三次 |
| 电池电量低  | 红色 | 弱光 | 一直闪烁，频率 1.5 Hz |
| 电池充电中  | 红色 | 强光 | 常亮，直至充满        |
| 电池充电完成 | 绿色 | 强光 | 常亮直至拔掉电源       |

3.1 语构层关键物的人机分析

语构层的需求是用户在使用产品过程中视觉、听觉、触觉综合产生的人机需求。可以从显示灯、握把、充电底座上进行人机分析。

显示灯是一种视觉显示装置，其主要作用为指示用户操作和显示工作状态。手持式头部按摩器的显示

灯主要显示产品的工作状态。为了保证用户通过显示灯能正确识别产品运行状态，指示灯设计应遵守以下原则<sup>[17]</sup>：（1）显示灯应清晰，醒目，且颜色与主体色彩保持差异，保证看得清信号而又不致炫目；（2）根据功能不同采用不同颜色和方式显示，作为禁戒、不安全警告时可用红色信号灯，正常则用绿色表示，较优先或较紧急的信息可用闪光，闪光频率为 0.67~1.67 Hz；（3）指示灯应布置在醒目位置。按照以上原则，其具体设计见表 4。

握把在语构层的用户需求主要体现为材料的质感感知。用户使用按摩器的整个过程中，视觉引导和触觉引导的感知方式是用户对材料质感最主要的感知方式。视觉引导的感知方式是眼睛了解产品外部材质特性的感知方式，是人对产品进行探测与编码的初始过程。当视觉器官受到刺激后会产生一系列的感知。产品设计时对产品的视觉感知主要从图案的视觉感知和色彩的视觉感知进行设计<sup>[18]</sup>（见图 7）。按摩器作为医疗保健类产品，在视觉设计时要注意视觉的宜人性，相对较多的图案设计将会增加用户的心理压力。因此在视觉设计时可以巧妙地运用色彩来表达产品信息，引导用户操作。在不同的功能部位用不同色彩表现，比如在受力的部位用深沉的颜色来体现稳定感等。

触觉引导的感知方式是通过皮肤触摸产品表面，感知到材料表面特征。通过触觉的感知构成（见图 8），结合用户的抓握和触摸行为进行分析，触觉感知生理构成的压觉、震动觉、柔软度是用户在使用按摩器时最直接相关的三个生理指标。在按摩器材质的设计过程中，既要保证产品结构的强度、硬度、稳定性等属性，同时也要考虑用户触觉感知的生理构成，选用与用户需求相匹配的材质。

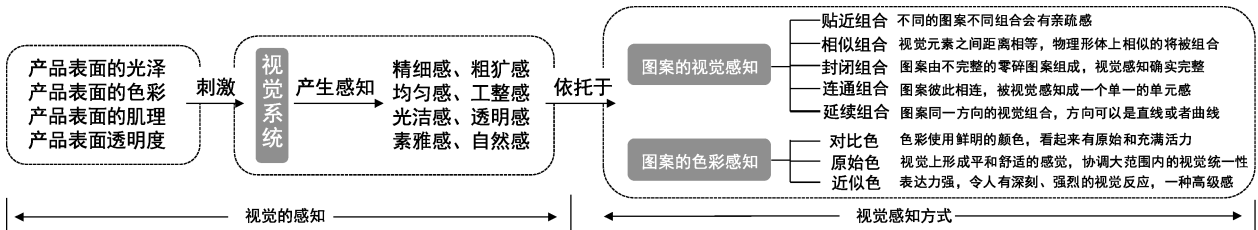


图 7 视觉的感知  
Fig.7 Visual perception

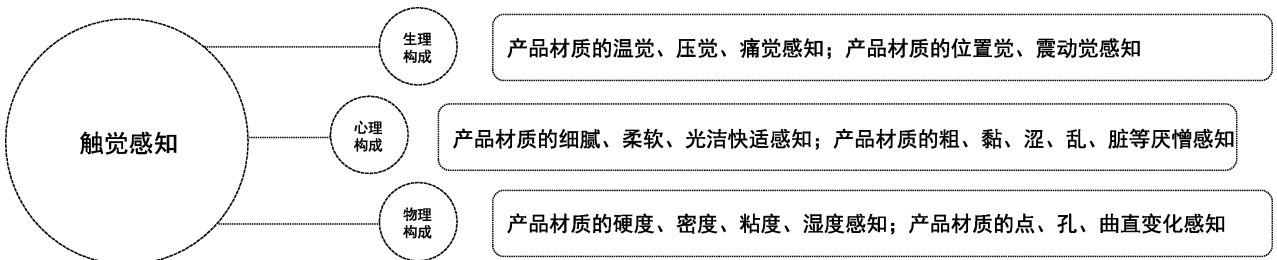


图 8 触觉的感知  
Fig.8 Tactile perception

充电底座采用通用性高的充电接口。用户在操作按摩器过程中，扶着充电底座的目的是防止底座跟随，因此在做充电底座的尺寸设计时，按摩器机身与充电底座之间当留有一定的空间间隙，减少用户在拿取按摩器过程中的操作复杂度。

3.2 经验层关键物的人机分析

经验层的需求是人对产品的操作模块，强调人与物之间的交互关系。主要从握把、电机、开关、抓手四个关键部件进行人机工程学分析。

用户通过手把握住按摩器握把。握把在使用过程中主要的设计触点集中于上肢的舒适度、手掌的舒适度。根据用户在使用产品的姿态观察，建立手臂与手的六自由度空间结构模型（见图 9），将肩关节 A 作为空间坐标原点，AB 为上臂，BC 为前臂，CD 为手掌。

获取实验者上肢数据（见表 5），让被试者保持使用状态；摄像机一直记录整个使用过程，在按摩过程中，若中途实验者出现不舒适或脱力感则立即停止测试。通过对视频记录数据进行整体分析，采用摄像机的定时截图对各关键角度进行测量，结合钱月建等<sup>[19-20]</sup>对手臂与手指舒适姿势调节范围，获得实验者舒适性范围见表 6。

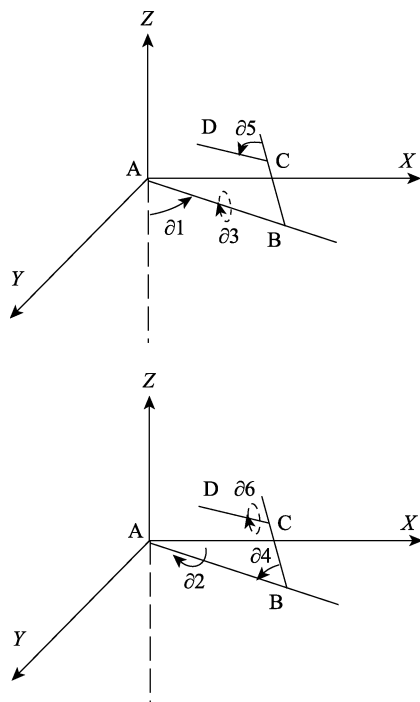


图 9 手臂与手的空间结构模型  
Fig.9 Model of spatial structure of arms and hands

表 5 被试者手臂各项值  
Tab.5 Subjects' arm values

| 测量项目 | 上臂长 L1 |     |     | 前臂长 L2 |     |     | 手掌长 L3 |     |     |
|------|--------|-----|-----|--------|-----|-----|--------|-----|-----|
|      | P5     | P50 | P95 | P5     | P50 | P95 | P5     | P50 | P95 |
| 长度   | 290    | 318 | 337 | 208    | 226 | 249 | 100    | 108 | 120 |

表 6 上肢舒适姿势的调节范围  
Tab.6 Adjustment range of comfortable posture of upper limbs

| 关节  | 操作及涉及到的活动          | 舒适调节角度                      |
|-----|--------------------|-----------------------------|
| 肩关节 | 前后摆 $\partial 1$   | $+40^{\circ} - +90^{\circ}$ |
|     | 外展 $\partial 2$    | $+15^{\circ} - +35^{\circ}$ |
|     | 内外旋 $\partial 3$   | $+30^{\circ} - +60^{\circ}$ |
| 肘关节 | 屈曲 $\partial 4$    | $+45^{\circ} - +90^{\circ}$ |
| 腕关节 | 伸与曲 $\partial 5$   | $0^{\circ} - +30^{\circ}$   |
|     | 挠屈和尺屈 $\partial 6$ | $-30^{\circ} - +30^{\circ}$ |

以上作为满足用户舒适度的参数标准，亦是握把长度和形态设计的参考依据。手部的径向尺寸应符合正常握把尺寸，一般尺寸在 30~40 mm 左右的有利于握把的抓握。而握把的截面形状采用矩形，这样有利于增大手掌与握把的摩擦力，增加工具的稳定性。

3.3 语意层关键物的人机分析

语意层的需求是人对客观事物是否满足需要而产生的态度体验。主要从档位调节开关、按摩器抓手、提示装置等几个关键部件进行人机分析。

档位调节开关的情感需求主要是减少用户操作步骤，在按摩的同时能调节按摩档位大小。因此按键位置要在保持持握状态下，手指能达到的区域。按键操作的合理性分析首先要求了解每一个按键动作的人体姿态（在持握姿态已定的情况下主要是手指的姿态），然后计算姿态参数的评价指标。刘肖健<sup>[20]</sup>等人经过实测分析，对按键操作的人机交互评价有两个指标：即操作舒适度和按键辨认效率。舒适度系数与拇指操作姿态偏离放松姿态的距离有密切关系，距离越大，舒适度越差，其计算表达式为：

$$c = \frac{1}{3} \sqrt{(\alpha - \alpha_0)^2 + (\beta - \beta_0)^2 + (\gamma - \gamma_0)^2}$$
 (1)

式中： $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  分别为手指第一指节的弯曲角度、第二指节的弯曲角度、和指根指节绕手掌边缘掌骨的旋转角度； $\alpha_0$ 、 $\beta_0$ 、 $\gamma_0$  分别为三个角度的放松姿态值。

按摩器抓手主要是对舒适性材料物理性质的要求。抓手与头皮接触，因此要求产品具有柔软度。而避免与头发太过粘连则是材料选择的另一个重点，可以在按摩器抓手表面采用布料或者纤维性材料，提高产品的安全性。

3.4 设计实践及评估

通过对类似手持产品的调研分析，结合上一节所讨论的相关设计参数对产品进行手绘方案表达（见图 10），提取相关产品设计意象，在基本参数的限制条件下对产品进行推敲。最后通过课题组的讨论确定三组不同的方案作为主要方案，并对三组不同的方案进行草模使用测试（见图 11）与手握测试（见图 12）。



图 10 草图推敲  
Fig.10 Draft mold refinement



图 11 模型使用测试  
Fig.11 Model usage test



图 12 模型手握测试  
Fig.12 Hand-holding test of model

对三组不同的方案进行模型推敲，一方面能更好地查看产品的整体比例尺寸，另一方面能够让研究人员测试具体的产品尺寸以及相关的细节，对比筛选相对更加符合人机工程学的产品，同时对产品不合理的地方进行修正，得到最终各部分人机工程学参数（见表 7）。

通过上文对三组不同方案的对比筛选，得到了产品的最终方案。利用 3D 软件犀牛（Rhino）进行整体建模，在这一过程中应当考虑产品工艺与制造的可行性，在 3D 软件中主要注重对面的处理，使其达到生产标准并最终得到产品效果图（见图 13）。

表 7 产品人机工程学尺寸  
Tab.7 Ergonomic size of product

| 部件名称   | 尺寸类型       | 尺寸大小   |
|--------|------------|--------|
| 按摩器整体  | 高度         | 145 mm |
|        | 长度         | 100 mm |
|        | 宽度         | 100 mm |
| 握把     | 高度         | 83 mm  |
|        | 截面厚度（手握处）  | 20 mm  |
|        | 最大圆角（手握截面） | 28°    |
|        | 宽度         | 40 mm  |
| 档位调节装置 | 长度         | 18 mm  |
|        | 宽度         | 13 mm  |
| 显示灯    | 长度         | 10 mm  |
|        | 宽度         | 4 mm   |
| 开关     | 操作阻力       | 5 N    |
|        | 按键深度       | 3 mm   |



图 13 效果图  
Fig.13 Picture of rendering

设计评价标准要根据用户需求属性建立。本文对手持式头部按摩器的人机优化分析是基于 SAPAD 框架下的经验层、语构层、语意层进行的, 根据上文的意义分析, 建立基于经验层、语构层、语意层的设计评价标准, 获得用户需求属性 (见表 8)。在获得用户需求的过程中, 利用了语义学的相关属性来获得用户需求, 因此, 本文选用通过语意处理过程获取用户对某个事物感受值的语意区分法进行评价。

权值系数是量化各项需求属性之间差异性的的重要途径, 针对十七个用户需求属性, 用权值系数表示评价标准的重要程度。通过建立权值因子表为计算权重因子提供原始数据, 将十七个需求属性通过计算分值得到最终的需求属性的权值分数表, 最终得到每一需求属性的权值因子。

根据十七个需求属性, 制作用户意见调查表供评价者评分。将每一个属性分为五个等级, 分别是优、良、中、偏差、差, 相对的赋予每个等级 2、1、0、-1、-2 五种分值。并且要对每一个级别提供对应的基本描述, 以便评价者区分。制定完评价表后, 选择适当人群进行问卷发放, 本文选择了六十名研究对象

(包含实验用的三十名实验人员) 作为问卷发放对象, 让他们在使用两款按摩器后, 对评价表进行评价, 得到评价数据, 为后续评价提供数据支撑。

根据权重因子分析和语意区分表所到的数据, 采用加权平均值法计算统计的评价结果, 发放语意区分表所得到的分值用  $M_i$  来表示, 上文所得到的权重因子用  $C_i$  表示, 将所有的数据代入加权平均值公式中:

$$S = \left( \sum_{i=1}^n (C_i \times M_i) \right)$$

(2)

式中  $S$  为总分;  $C_i$  为权重因子;  $M_i$  为语意区分数;  $n$  为总人数。

将公式 (2) 展开为:

$$S = (C_1 \times M_1 + C_2 \times M_2 + C_3 \times M_3 + \dots + C_{17} \times M_{17}) / n$$

(3)

将得到的数据代入各项评分标准所得的平均分即为该产品的总分。通过具体的评价数据, 可以很直观地得出不同产品之间的优劣。同时可以得出新、旧两款按摩器的各需求属性分值, 见表 9。

表 8 用户需求属性  
Tab.8 User requirement attribute

| 需求层次 | 产品变量      | 设计需求属性        | 设计属性描述              |
|------|-----------|---------------|---------------------|
| 语构层  | 按摩器显示灯    | 精准度 (M1)      | 显示灯显示产品运行状态的精准性     |
|      |           | 辨识度 (M2)      | 显示灯显示颜色具有辨识性        |
|      | 按摩器充电底座   | 重量 (M3)       | 按摩器的稳定性             |
|      |           | 便携性 (M4)      | 收纳、整理比较容易           |
|      | 按摩器握把     | 整体颜色 (M5)     | 按摩器握把颜色具备一定的导视作用    |
|      |           | 整体材质 (M6)     | 表面材料, 柔软或坚硬程度、质感好   |
| 经验层  | 按摩器开关     | 操控性 (M7)      | 操作起来方便, 启动停止等操作容易完成 |
|      |           | 握把形状 (M8)     | 使得握把抓握比较舒服          |
|      |           | 握把尺寸 (M9)     | 握把直径和长度都比较适中        |
|      | 按摩器握把     | 握把抓握舒适性 (M10) | 手掌压力分布适中            |
|      |           | 握把抓握稳定性 (M11) | 平衡性好, 抓握稳固          |
|      | 按摩器抓手     | 力反馈 (M12)     | 使用中的力反馈适合           |
| 语意层  | 按摩器档位调节装置 | 舒适性 (M13)     | 达到按摩力度的同时具备一定的舒适性   |
|      | 按摩器提示装置   | 便捷性 (M14)     | 调节档位时方便、简单          |
|      |           | 安全性 (M15)     | 控制时间, 安全性高          |
|      | 按摩器抓手     | 愉悦性 (M16)     | 产品令人开心, 不会产生烦闷的情绪   |
|      |           | 按摩器抓手材质 (M17) | 不与用户头发生粘连           |

表 9 按摩器评分对比  
Tab.9 Massager score comparison

| 需求属性 | 优化后按摩器 | 实验用按摩器 | 需求属性 | 优化后按摩器 | 实验用按摩器 |
|------|--------|--------|------|--------|--------|
| M1   | -0.32  | 1.16   | M10  | 0.43   | 0.89   |
| M2   | -0.21  | 0.85   | M11  | 0.55   | 1.2    |
| M3   | 0.57   | 0.93   | M12  | 0.86   | 1.0    |
| M4   | 0.28   | 1.06   | M13  | 0.36   | 1.18   |
| M5   | 0.66   | 1.24   | M14  | 0.63   | 0.86   |
| M6   | 0.56   | 0.94   | M15  | 0.85   | 0.88   |
| M7   | -0.34  | 1.36   | M16  | 0.68   | 1.02   |
| M8   | 0.47   | 1.148  | M17  | 0.63   | 1.2    |
| M9   | 0.66   | 1.11   |      |        |        |

通过表中数据可知,优化后的按摩器的得分高于实验用按摩器,说明其在综合性上高于实验用按摩器,总体表现良好,能很好地满足用户的使用体验,符合“以人为中心”的设计原则。通过表中数据可以看出,优化后的按摩器在状态显示、使用性、舒适性以及趣味性方面表现优异,说明对产品进行人机优化设计在给用户提供良好的使用体验的同时也大大满足了用户的心理感受。然而,不可忽视的是该产品在新颖性上略有不足,这是由于本研究是基于现有产品的人机优化,主要针对产品带来的不适性的考虑,对产品设计定义上考虑较少。

## 4 结语

在产品的开发设计中,人机工程学为人的生理和心理需求提供了客观根据。本文基于 SAPAD 方法模型,探索了用户行为背后的意义以及意义对应的产品部件,挖掘了用户对按摩器的需求,指出产品应满足的人机要素。用户行为分析视角下的产品人机优化设计是对传统人机工程学方法的补充,引导设计人员在产品开发的全过程中更关注用户行为体验,本文的研究建立在实践的基础上,而由于各种条件的局限性,此次研究还存在许多尚未完善的地方:(1)用户的选择上,典型用户存在一定的单一性,观察人员基数不够;(2)SAPAD 框架在学术界有了一些案例,但是框架模型研究时间尚短,对于进一步的优化与改善还存在不足,还需要更长时间的实践检验;(3)在产品人机优化分析中,仅通过简单的人机尺寸分析很难全面地优化产品,如果再结合生物力学分析与头部按摩器的实际运行环境模拟,所得到的结果会更加客观;(4)设计评估方面还需要进一步实验验证。

## 参考文献:

- [1] MARC H. The Thing and I: Understanding the Relationship Between User and Product[M]. Funology: From Usability to Enjoyment, 2018.
- [2] NORMAN, DONALD A. Human-centered Design Considered Harmful[J]. Interactions, 2005, 12(4): 14-19.
- [3] PUCILLO, FRANCESCO, CASCINI, et al. A Framework for User Experience, Needs and Affordances[J]. Design Studies, 2014, 35(2): 160-179.
- [4] XIONG Jing-hong, MURAKI S. An Ergonomics Study of Thumb Movements on Smartphone Touch Screen[J]. Ergonomics, 2014, 57(6): 943-955.
- [5] GREGOR H, BOJAN D. Tool-handle Design Based on a Digital Human Hand Model[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2013, 43(4): 288-295.
- [6] 张展硕,程旭峰. 基于人机工程学的增强现实眼镜设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(20): 61-66.  
ZHANG Zhan-shuo, CHENG Xu-feng. Design of Augmented Reality Glasses Based on Ergonomics[J]. Packaging Engineering, 2017, 38 (20): 61-66.
- [7] 石元伍,徐静. 用户行为分析在产品中的应用[J]. 设计, 2018(14): 100-101.
- [8] SHI Yuan-wu, XU Jing. Application of User Behavior Analysis in Product Design[J]. Design, 2018(14): 100-101.  
袁嘉,赵江洪. 基于用户行为的笔记本电脑输入模式研究及设计[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 145-148.  
YUAN Jia, ZHAO Jiang-hong. Research and Design of Notebook Computer Input Mode Based on User Behavior[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 145-148.
- [9] HU Fei, KEIICHI S, ZHANG Xi, et al. Semiotic Basis for Designing Product Architecture[C]. Seoul: The 19th International Conference on Engineering Design(ICED13), 2013.
- [10] HU Fei, ZHANG Xi, SHEN Xi-peng, et al. Semiotics Approach to Product Architecture Design: a Case Study of Cooking Activity[C]. Bangkok: International Conference on Advanced Engineering Materials & Technology, 2015.
- [11] 吴志军,张映琪,唐超. 用户行为导向的数控装备造型设计过程模型[J]. 机械设计, 2017, 34(7): 105-109.  
WU Zhi-jun, ZHANG Ying-qi, TANG Chao. User Behavior Oriented Modeling Design Process Model of CNC Equipment[J]. Mechanical Design, 2017, 34 (7): 105-109.
- [12] 刘泽恒,罗锦宏. 工业设计中的人机工程学理论、技术与应用研究进展[J]. 艺术科技, 2017, 30(1): 316.  
LIU Ze-heng, LUO Jin-hong. Research Progress of Ergonomics Theory, Technology and Application in Industrial Design[J]. Art Technology, 2017, 30 (1): 316.
- [13] ADILA M H, SITI Z M D. Kano Model and QFD Integration Approach for Ergonomic Design Improvement[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012(57): 22-32.
- [14] SUN Xiao-guang, HOUSSIN R, JEAN R, GARDONI M. Towards a Human Factors and Ergonomics Integration Framework in the Early Product Design Phase: Function-Task-Behaviour[J]. International Journal of Production Research, 2018(56): 13-14.
- [15] 牟福龙. 浅谈医疗器械的造型设计[J]. 文艺生活·文海艺苑, 2013, 000(005): 286-286.  
MOU Fu-long. On the Modeling Design of Medical Devices[J]. Literary Life-Wenhai Art Garden, 2013, 000 (005): 286-286.
- [16] 胡飞,周坤,刘章生. 基于 SAPAD 的社区老龄康复服务设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(2): 1-7.  
HU Fei, ZHOU Kun, LIU Zhang-sheng. Research on the Design of Community Elderly Rehabilitation Service Based on Sapad[J]. Packaging Engineering, 2018, 39 (2): 1-7.
- [17] 王娴雅. 产品设计中材料质感的表现方法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.  
WANG Xian-ya. Research on the Expression Method of Material Texture in Product Design[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2014.
- [18] 钱月建,薛强,黄莎莎. 基于人机工程学的螺旋榨汁机的控制面板设计[J]. 包装工程, 2018, 39(8): 193-199.  
QIAN Yue-jian, XUE Qiang, HUANG Sha-sha. Control Panel Design of Screw Juicer Based on Ergonomics[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(8): 193-199.
- [19] 周玉美. 工业设计应用人类工程学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.  
ZHOU Yu-mei. Applied Ergonomics in Industrial Design[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001.
- [20] 刘肖健,孙守迁,骆磊,等. 交互操作行为驱动的手机产品人机工程设计[J]. 计算机集成制造系统, 2008(2): 215-220.  
LIU Xiao-jian, SUN Shou-qian, Luo Lei, et al. Human Machine Engineering Design of Mobile Phone Products Driven by Interactive Operation Behavior[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2008 (2): 215-220.