

基于 QFD-TRIZ 的电热水器设计

周红宇, 陈悦, 张学敏

(湖北工业大学 工业设计学院, 武汉 430000)

摘要: **目的** 为明确电热水器产品功能要素与需求要素的对应关系, 提高电热水器用户的使用满意度。**方法** 通过构建 QFD 与 TRIZ 的集成设计模型, 使用亲和图筛选分析顾客需求, 利用 QFD 整理顾客需求权重并构建质量屋, 从而明确关键设计要素; 通过 TRIZ 分析方法判断了质量屋中的矛盾类型后, 将设计要求转换为与工程要素间的矛盾, 并利用阿奇舒勒矩阵中相应的发明原理, 提出了解决矛盾的方法。**结果** 通过模糊综合评价法筛选最优设计方案, 最终的评估结果表明新的设计方案满足了实际市场用户需求的目标问题优化。**结论** 从用户被动发现产品零部件寿命耗尽转换为产品信息主动提示, 并具备辅助用户操作的结构, 提升了用户需求与产品功能的匹配度, 可见质量功能展开理论与发明问题解决理论的集成设计方法对产品概念设计阶段的重要性, 为之后的室内智能家电设计研究提供了参考。

关键词: 产品设计; 电热水器; QFD; TRIZ

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)06-0215-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.06.023

Design of Electric Water Heaters Based on QFD-TRIZ

ZHOU Hong-yu, CHEN Yue, ZHANG Xue-min

(College of Industrial Design, Hubei University of Technology, Wuhan 430000, China)

ABSTRACT: The work aims to clarify the corresponding relationship between the functional elements and need elements of electric water heater products, and to improve the user satisfaction of electric water heaters. By constructing an integrated design model of QFD and TRIZ, the affinity graph was used to screen and analyze customer needs, QFD was used to sort out the weight of customer needs and construct a house of quality, to clarify the key design elements; the types of contradictions in the house of quality were judged by TRIZ analysis. Then, the design requirements were converted into contradictions with engineering elements, and a method to solve the contradiction was proposed with the corresponding invention principles in the Altshuller matrix. The optimal design scheme was screened by the fuzzy comprehensive evaluation method, and the final evaluation result showed that the new design scheme satisfied the target problem optimization of the actual market user needs. The change from user's passive discovery of product parts life exhaustion to an active prompt of product information with structure assisting user operation improves the matching degree between user needs and product functions, shows the importance of the integrated design method of quality function deployment theory and inventive problem solving theory for the conceptual design stage of products, and provides a reference for the subsequent research on the design of indoor smart home appliances.

KEY WORDS: product design; electric water heater; QFD; TRIZ

储水式电热水器, 主要用途是将内胆中的水加热, 并提供淋浴等生活功能。目前随着物联网与信息

技术的迅速发展, 产品设计理念注重产品、环境、用户三元素在产品全生命周期中的相互作用和关联, 以

收稿日期: 2022-10-16

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0301303-4); 国家大学生创新创业训练计划(202010500021); 湖北省教育厅教学研究项目(2021309)

作者简介: 周红宇(1984—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为智能装备设计与工业设计方法。

通信作者: 陈悦(1997—), 女, 硕士, 主攻智能制造装备。

此提升智能家居生活的品质^[1]。传统的水热水器市场产品注重满足用户的生活需求,近些年的热水器行业消费趋势由基础功能需求上升为个性化定制、心理层面的需求。《2021家用热水器消费升级趋势调查》的研究结果显示:消费者希望产品具备良好、舒适的使用体验。在国内由于南北地域差异性导致水体环境差别很大,在水体条件恶劣的区域电热水器加热时长会产生明显变化,并且易于滋生细菌,影响沐浴体验。随着用户安全意识的提升和对健康生活方式的需求日益增长,用户的消费倾向也由基本型过渡为升级改善型。目前电热水器的研究大多以功能与技术创新为主,以用户需求为驱动力的研究尚处于初步阶段,用户需求转化为技术要素的过程较为模糊,不能客观、科学地给设计师提供有效的指导与帮助。

1 概念综述

在产品设计中, QFD 理论更加注重顾客需求与产品质量要素之间的关系, TRIZ 理论中的工具与方法则着重于设计解决手段、推导最优理想解,因此可以通过 QFD-TRIZ 的产品设计模型,在确定顾客需求的基础之上,帮助设计人员提供更加客观、合理的解决方案^[2]。目前这种集成设计模型广泛应用于产品创新阶段,并取得了丰富的成果。其中发明问题解决理论中的物质-场分析、冲突解决等工具最适用于解决技术与物理的矛盾。

陈亮等^[3]基于 QFD、TRIZ,结合仿生学理论内容构建了产品创新设计过程模型,通过对风扇叶片的创新设计验证了 QFD-TRIZ 其他设计理论融合使用的可行性。黎云峰^[4]基于感性工学获取用户需求,结合 QFD-TRIZ 创新设计模型对汽车内饰副仪表台进行创新设计。苏建宁等^[5]运用 QFD-TRIZ 对玫瑰花蕾采摘机提出设计思路,提高了产品的花蕾采摘效率。曹国忠等^[6]整合了服务设计阶段流程与 QFD-TRIZ 的集成模型,基于情感层次理论构思设计概念,结合服务属性评价方法与用户测试反馈信息,评估并整合可

行的设计概念,为服务设计实践提供了参考。Yang 等^[7]在质量屋的基础上,提出了基于 TRIZ 的功能分解和性能分析方法,通过风力发电系统的设计,提供更有创造性的解决方案。文献^[2,8-9]探索了产品概念设计的新思路:提出了功能的汉语表达方式,在功能分析后建立第二个 HOQ,采用 TRIZ 冲突分析与解决原理得出概念设计结果;产品关键情景信息提取与 TRIZ 功能求解工具共同应用于产品创新设计的可行性。众多学者的研究表明 QFD-TRIZ 的集成使用,有效确保了设计过程中的逻辑性与科学性。但目前的 QFD-TRIZ 集成设计模块大多运用于生产优化设计和产品改进中,以满足用户需求为导向的新产品设计研发则使用较少^[5]。且在发明原理推荐的解决方案中,抉择最终设计方案的过程往往需要依靠设计人员的过往经验,存在一定的局限性与模糊性。

2 基于 QFD 与 TRIZ 的电热水器设计模型

QFD 理论展示了产品开发中用户需求和工程信息的关联^[10-12], TRIZ 解决冲突原理解决了中间所缺少的设计过程^[13-16],基于 QFD-TRIZ 的电热水器设计模型的具体流程叙述如下所示:(1)首先通过线上问卷调查获取用户需求,采用亲和图(Affinity Diagram)法整理用户需求数据,运用层次分析法的一致性指标检验需求信息的科学性,最终得到用户需求目标权重排序结果;(2)然后根据电热水器功能特征,确定最终的工程措施指标,使用质量屋的二维矩阵反映用户需求与产品技术特征信息的强弱关系;(3)之后描述与分析质量屋信息和屋顶的冲突关系,并将其中具体的质量要素冲突转化成 TRIZ 标准的通用工程参数,根据矛盾类型寻找对应的解决原理;(4)与调研人员沟通,运用模糊综合评价的方法选择合适的设计方案,形成评价方案;(5)最终通过 5 阶 Linker 度量表验证方案的有效性。基于 QFD-TRIZ 的电热水器设计框架如图 1 所示。

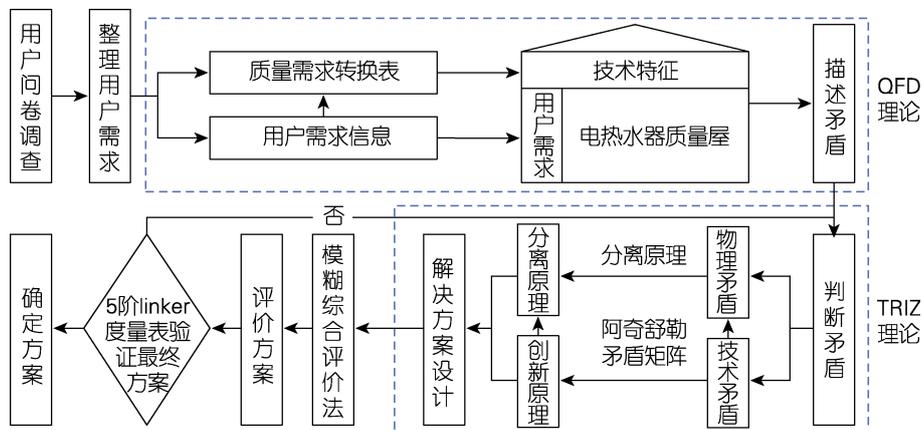


图 1 基于 QFD-TRIZ 的电热水器设计框架

Fig.1 Design framework of electric water heaters based on QFD-TRIZ

3 构建电热水器质量屋

3.1 用户需求分析

因为用户需求信息展开表是建立质量屋的第一步, 所以先确定产品设计中的用户需求, 把目标用户的原始数据转化为相应需求信息, 然后再将目标用户需求信息汇总整理后输入质量屋之中。该阶段对 170 位目标用户展开问卷调查, 男女比例约为 1:1, 部分问卷调研结果如图 2 所示。

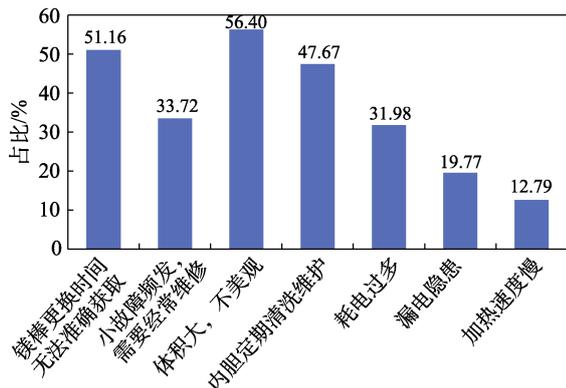


图 2 市场用户问卷调查结果
Fig.2 Survey results of market users

通过回收市场发放的用户问卷进行研究分析, 超过一半的用户不了解镁棒过度消耗对热水器带来的影响以及安全隐患。电热水器最困扰用户的主要问题为: 镁棒更换时间无法准确获取, 体积大不美观、内胆需要定期清洗维护。结合企业生产商与产品设计师的意见, 采用亲和图法整理细分用户需求; 筛选重复频度高的用户需求项目进行归类分组, 设目标用户需求为 D_1 、 D_2 、 D_3 …… D_{17} , 用户需求展开表及对应编号见表 1。

表 1 用户需求展开表
Tab.1 Expanded table of user needs

1 次项目	2 次项目	3 次项目
用户需求	附属功能 D_1	镁棒消耗提醒 D_5
		恒温控制 D_6
		预约功能 D_7
		滤水抑菌 D_8
	外观需求 D_2	比例协调 D_9
		纤薄机身 D_{10}
		时尚气质体态 D_{11}
	心理需求 D_3	淋浴氛围感 D_{12}
		适宜温度 D_{13}
		触控面板灵敏 D_{14}
	基础性能 D_4	低噪音、容量大 D_{15}
		省电高效燃水 D_{16}
		内胆质量优 D_{17}

根据表 1 所示的内容, 使用层次分析法比较质量需求展开图的每个项目, 并计算该项目用户需求重要度, 层次分析法应用流程图如图 3 所示。

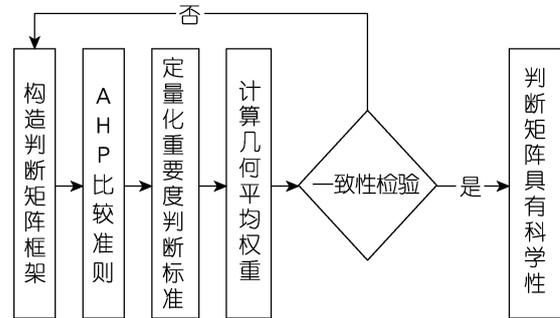


图 3 层次分析法应用流程图
Fig.3 Application flow chart of analytic hierarchy process

具体实施的步骤为:

1) 首先根据层次分析法的比较准则, 如表 2 所示, 构造用户需求一次项目的判断矩阵框架, 将一次需求项目输入表格的横向与纵向各栏, 构造判断矩阵。

表 2 AHP 法中两两比较值及意义
Tab.2 Pairwise comparison value and significance in AHP method

两两比较值	意义
1 : 1	双方同样重要
3 : 1	前项比后项稍微重要
5 : 1	前项比后项重要
7 : 1	前项比后项非常重要
9 : 1	前项比后项绝对重要

2) 将判断矩阵 $B = (b_{ij})_{n \times n}$ 记作构造的判断矩阵, b_{ij} 是因素 i 相对于因素 j 的重要程度, 显然 $b_{ij} = 1/b_{ji}$ 。比较值取 1—9 的整数或倒数。

3) 重复前两个步骤, 构建用户需求三次项目判断矩阵, 而后构造重要度判断标准并计算用户需求各项的几何权重系数。计算权重向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_n)^T$, 如式 (1) — (2) 所示:

$$\bar{w}_i = n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n b_{ij}} \quad (1)$$

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i} \quad (2)$$

式中, w_i 为因素 i 的重要度值, b_{ij} 为因素 i 相对于因素 j 的重要程度。

具体运算结果如图 4 所示。

4) 使用 Yaahp 软件分析各项的权重系数, 计算出用户需求在三次项目中的绝对重要度, 采用一致性比率验证一致性检测是否通过, 如式 (3) — (5) 所示:

$$CR = CI / RI \quad (3)$$

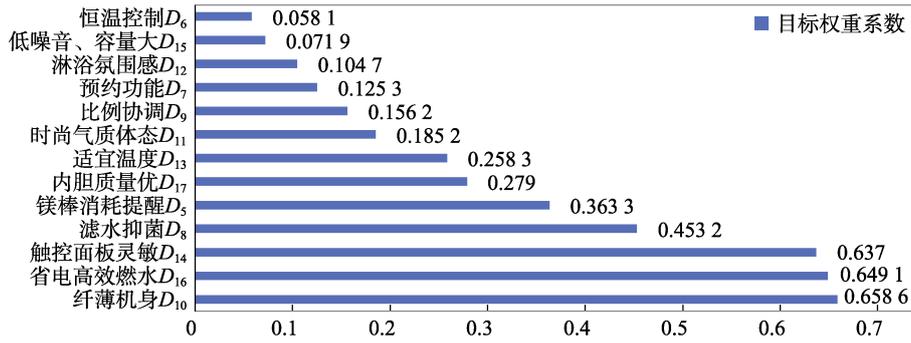


图4 用户需求各项的目标权重系数排序图

Fig.4 Sorting diagram of target weight coefficients of each item of user needs

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

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{(cw)_i}{w_i} \quad (5)$$

式中, CR 为一致性比率, CI 为一致性指标, RI 为平均随机一致性指数, λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值。

通过上述公式的运算, 一致性运算结果排序如表3所示。

表3 三次项目各因素最大特征值及一致性运算结果与排序

Tab.3 The maximum eigenvalues of each factor of the three items and the results of consistent calculations and ranking

项目	λ_{\max}	CR	项目	λ_{\max}	CR
D_5			D_{12}		
D_6	4.082 0	0.030 7<0.1	D_{13}	3.038 5	0.037 0<0.1
D_7			D_{14}		
D_8			D_{15}		
D_9			D_{16}	3.064 9	0.062 4<0.1
D_{10}	3.029 1	0.027 9<0.1	D_{17}		
D_{11}					

5) 由表3所知, 各项需求的一致性比率都小于0.1, 证明了用户需求数据的科学性。基于图4中用户的目标权重排序结果与电热水器生产商进行讨论, 结合相关的技术要求, 确定储水式电热水器的质量要素, 如表4所示。

3.2 电热水器质量屋分析

质量屋的本质是一个二维矩阵, 它包含了产品技术特征和用户需求信息, 清晰地呈现出产品功能和用户需求之间的关系。技术特性之间的冲突通过质量屋的屋顶负相关得以体现, 这些冲突可以采用 TRIZ 理论寻找相应的解决方法。结合用户重要度的数据统计结果, 筛选出重要度较高的用户需求并与工程措施表相结合, 以此来建立完整的电热水器质量屋, 如图5所示。

表4 电热水器质量要素表
Tab.4 Quality factors of electric water heater

序号	工程措施	序号	工程措施
1	智能化	7	使用舒适度
2	零部件信息量	8	系统预留空间
3	售后清洗服务	9	成本可控
4	漏电防护	10	免清洗内胆
5	轻量化	11	操作容易性质
6	能量效率	12	生命周期

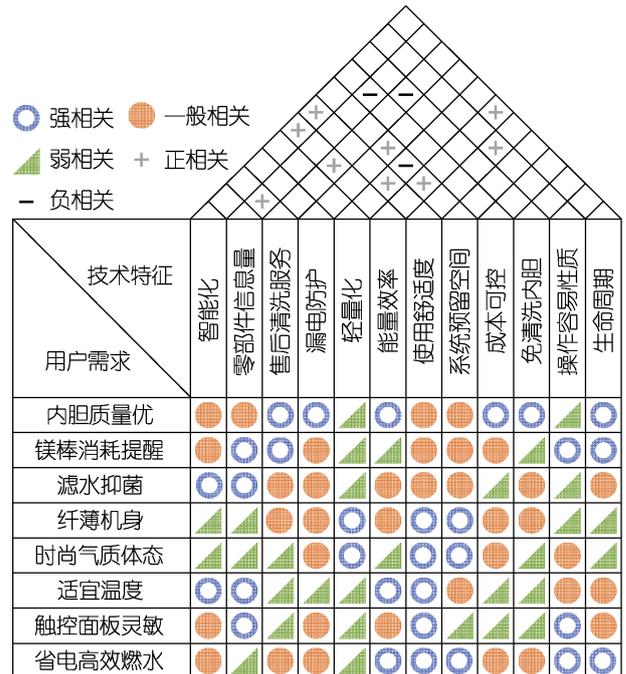


图5 电热水器质量屋

Fig.5 Quality house of electric water heater

由质量屋内容分析得知:

1) 设计过程中应注重产品的智能化、零部件信息量和操作容易性质三个技术特征, 同时增加可以改善内胆环境的相关技术与功能结构, 以此提升产品功能的多样性。

2) 通过用户需求调研, 发现用户在获取镁棒消

耗信息方面存在滞后性, 在联系售后更换、清洗等方面存在不足。

3) 电热水器质量屋屋顶中存在三对冲突, 即三对互相矛盾的问题。依次为系统的预留空间与轻量化, 零部件信息量与成本可控, 以及售后清洗服务与免清洗内胆。将系统预留空间大小与轻量化的负相关表述为工作范围, 要求热水器内胆留有足够的体积达到速热增容的效果, 满足多个用户共同用水的需求, 还需要更轻巧的造型外观, 所以构成了技术冲突。由于体积大小也是通用工程元素, 不同的设计要求对工作区的容积大小给出了完全相反的规定, 从而形成了物理冲突; 零部件信息量描述为监控与测试的困难程度, 该元素的改变可能使成本可控发生恶性变化, 两者之间又构成了一对技术矛盾。在售后清洗服务与免清洗内胆的矛盾中, 售后清洗服务在工程设计改善参数中用可操作性问题加以说明, 而有关定期清洁的工程设计改善措施中, 有可能导致免清洗内胆出现一定程度的污染, 此时免清洗内胆问题可表述为一定的工程设计恶化参数或能量损失, 该问题还包含了技术体系中的另外二个基本参数, 这样便形成了一个技术问题; 如何解决这三对问题就是电热水器创新设计的关键。

4 基于 TRIZ 理论解决冲突

4.1 冲突分析

采用 TRIZ 冲突分析法之前, 需要把具体的技术参数转化为 TRIZ 通用的工程参数。实现矛盾双方的分离就是物理矛盾的解决方法, 相应的创新原理由 TRIZ 的 40 个发明原理提供。将质量屋屋顶中的三组冲突问题转化为 TRIZ 的问题模型, 如表 5 所示。

表 5 TRIZ 冲突问题转化表
Tab.5 Conversion of TRIZ conflict issues

冲突序号	负相关特性	TRIZ 通用参数	矛盾类型
1	轻量化、系统预留空间	8. 静止物体的体积	物理矛盾
2	零部件信息量、低成本	37. 监控与测试的困难程度 32. 可制造性	技术矛盾
3	售后清洗服务、免清洗内胆	33. 可操作性 22. 能量损失	技术矛盾

确定了工程参数之后, 为了解决两个主要技术问题, 采用了阿奇舒勒矛盾矩阵和对应的发明原理。39 个通用的参数组成了初始的阿奇舒勒矛盾矩阵, 后经学者的研究提升至 48 个, 不但扩大了各个矩阵中发明原理的数量, 也充实了技术与物理矛盾的解决原理内涵。关于阿奇舒勒矛盾矩阵见表 6。

表 6 阿奇舒勒矛盾矩阵
Tab.6 Archischuler contradiction matrix

改善参数	恶化参数	
	可制造性	能量损失
监控与测试的困难程度	No.5, No.28, No.11, No.19	No.35, No.3, No.15, No.19
可操作性	No.2, No.5, No.12	No.2, No.19, No.13

4.2 冲突解决方案

根据阿奇舒勒矛盾矩阵中推荐的发明解决原理内容, 发现 No.19 和 No.2 发明原理可以同时解决两组冲突, 具体的解决方案包含以下内容:

1) 依照 No.2 分离原理, 在传统的镁棒结构上优化设计, 镁棒结构工作状态说明: 在镁棒与内胆环境接触的的主体部分, 内置感应探头, 其主要作用是记录镁棒使用过程中质量的变化, 因为镁棒会吸附水垢。当感应器记录的质量超过设定的使用极限时, 将通过连接部件的蜂鸣器发出声音; 用户在接收到提示信息的情况之下, 可以通过旋转按钮的连接结构轻松实现更换镁棒的操作, 并且将这些关键部件设计在内胆以外的连接部件处, 避免对产品主体产生干扰。

2) 根据 No.19 周期性原理, 使用周期性运动替换连续运动。传统的内胆清洗服务依赖于用户主动联系售后, 由于各地区水质环境的差异性, 存在一定的时间滞后性, 容易影响内胆寿命。由周期性原理推导的解决方案为: 通过热水器的智能模块, 基于用户位置信息的水质等级和加热次数记录, 利用智能运算技术个性化定制适宜的内胆清洗周期, 并且在操控面板上设计提示性图标。其中优化后的镁棒更换操作如图 6 所示。

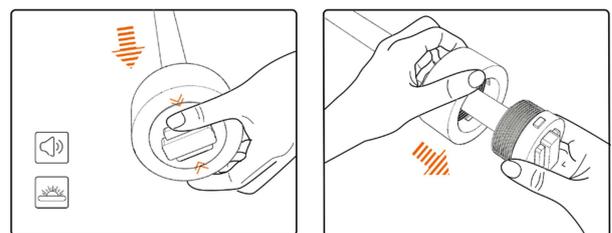


图 6 镁棒使用说明图
Fig.6 Instructions for use of magnesium rod

4.3 电热水器设计方案与评价

由于功能解决方案所对应的设计方案不具备唯一性, 并且只有功能优化的设计不能系统指导产品设计的全过程。在用户需求信息中除了功能需求, 同时还有一部分外观、色彩、质感表现需求, 设计人员由 TRIZ 冲突解决原理得到的解决方案的基础之上, 结合前期用户需求中的时尚体态、轻量化等要素, 围绕海洋主题进行头脑风暴设计。通过手绘和计算机绘

图软件辅助，完成对特征线的提取与造型推导工作。设计具有差异化的色彩元素、辨识度强的表面肌理，打造全新的视觉效果。头脑风暴内容如图7所示，具体的创意推导如图8所示。

方案一以海浪线条为设计原型，增加了曲线操控屏，搭配两侧凹陷的曲线造型增加产品的层次感。配色采用了海洋的深蓝和银色，操作屏的信息主要有内胆温度显示、水温设置等功能性图标，水温采用暗红

类别	图片内容	色彩	设计语义	质感
鱼类		黑色 蓝灰色	亲和温暖 大容量 神秘感	光滑 凹凸纹理
腔肠动物		渐变色系	透明 柔软 简洁	透明材质 磨砂玻璃
软体动物		浅色系	包容 永久 艺术感	磨砂 螺纹 肌理
植物		绿色	流动 动感 延续	光滑 叶脉 纹理
非生物		蓝色 梦幻 配色	勇敢 能量 温暖	水纹 海浪 纹理
海洋特点				
形态				
纹理意向图	 温馨，舒适			

图7 头脑风暴内容图
Fig.7 Brainstorm content

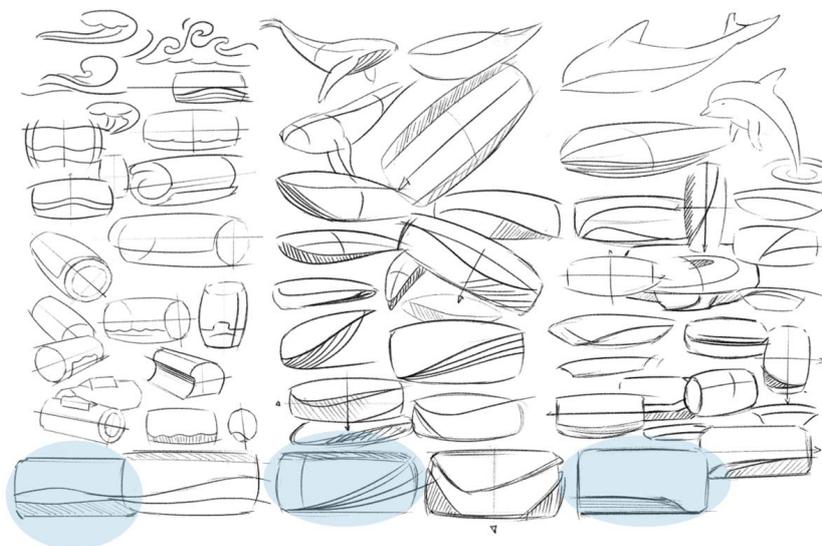


图8 设计推导展示图
Fig.8 Diagram of design derivation

色凸显出视觉重心。操作界面板中间的面积最多, 增加了功能性按键的集中性。方案二提取了鲸类的渐消特征线条, 主要通过金属磨砂和其他不同材质的碰撞, 体现产品时尚的质感。操控面板相较于方案一还增设了时间显示和加热状态的图标, 便于用户使用产品时可以直观了解加热信息。方案三采用了温暖柔和的白色与浅蓝色, 产品主体材质纹理采用拉丝效果,

在增加产品细节的同时丰富了表达效果。相较于前两个方案, 方案三触控面板左侧通过凹凸起伏的平行纹理引导用户视线, 可操作区域只保留了必要的六个触控按钮以及内胆温度显示, 以此提升用户手动操作的便捷性。与之前两个方案对比, 方案三的可拆卸模块更加方便, 易于后期维修。三个方案的效果图如图 9 所示。



图 9 设计方案效果图
Fig.9 Renderings of design scheme

采用模糊综合评估三个方案, 首先建立储水式电热水器解决方案的评价指标, 将评价指标集设为 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$, 评价指标包含色彩搭配、造型美观、材质表达、产品可达性四个因素, 之后建立评语集 M , 评语各等级含义与赋值如表 7 所示。其中评价人员由 24 名用户构成, 将问卷中因子向量归一化处理得出: $[0.3 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.2]$, 建立评价矩阵的同时获取每一个方案的满意度级别权重值, 解决方案 1—3 的权重结果分别为: S_1 、 S_2 、 S_3 。

$$S_1 = \begin{bmatrix} 0.08 & 0.25 & 0.29 & 0.36 & 0 \\ 0.04 & 0.08 & 0.58 & 0.29 & 0 \\ 0.04 & 0.13 & 0.42 & 0.42 & 0 \\ 0.04 & 0.33 & 0.54 & 0.08 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_2 = \begin{bmatrix} 0.08 & 0.33 & 0.58 & 0 & 0 \\ 0 & 0.38 & 0.54 & 0.08 & 0 \\ 0.21 & 0.46 & 0.25 & 0.08 & 0 \\ 0.13 & 0.25 & 0.46 & 0.17 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_3 = \begin{bmatrix} 0.42 & 0.54 & 0.04 & 0 & 0 \\ 0.33 & 0.5 & 0.17 & 0 & 0 \\ 0.38 & 0.33 & 0.29 & 0 & 0 \\ 0.29 & 0.54 & 0.17 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

表 7 评语集内容表
Tab.7 Content of comment set

评语集	意义	赋值
M_1	非常好	10
M_2	比较好	8
M_3	一般	6
M_4	较差	4
M_5	非常差	2

采用模糊综合评价法中的乘法-有界算子算法, 将因子向量的每一个值分别乘以各方案权重结果

矩阵的每一列, 并将每列结果总和与 1 作比较, 选取较小的值, 最后对它们进行归一化处理, 以此检测设计方案的实用性, 计算结果如表 8 所示:

表 8 模糊综合评价结果
Tab.8 Results of fuzzy comprehensive evaluation

方案	乘法-有界算子结果	综合评价结果
S_1	0.05、0.21、0.45、0.32	0.05、0.21、0.45、0.32
S_2	0.11、0.37、0.45、0.07	0.11、0.37、0.45、0.07
S_3	0.37、0.47、0.16、0.00	0.37、0.47、0.16、0.00

根据表 8 中的综合评价数值排序结果可知, 方案二与方案三的综合评价得分较高, 由于方案三在色彩搭配、造型美观、材质表达、产品可达性方面分数更高, 因此选择其为最优解方案, 并以此展开产品设计方案。

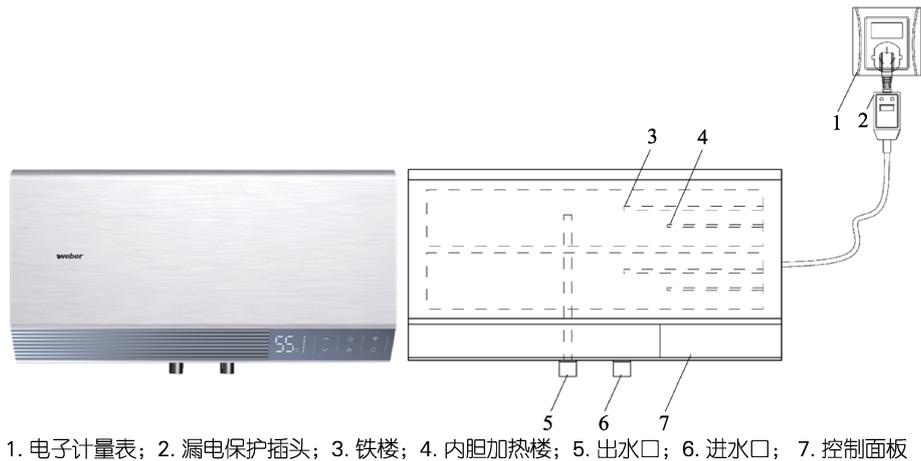
5 电热水器最终设计方案

根据 TRIZ 的发明原理, 结合电热水器用户需求, 对电热水器进行改良设计, 产生了三种优化设计方案, 经由模糊综合评价法筛选出最优方案解。产品结构如图 10 所示, 镁棒结构如图 11 所示, 场景图如图 12 所示。改进后产品的优点主要有:

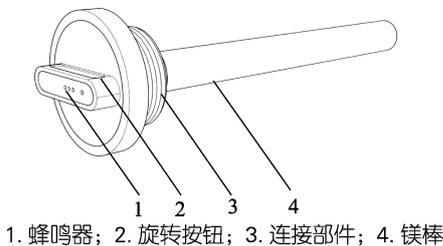
1) 产品整体造型更加轻盈, 体态柔美, 双内胆纵向合并结构有利于更加轻量化、提升美观性, 热水器内胆中冷、热水分层更加彻底, 按需加热, 有效提升热水输出率, 节能高效。

2) 预先设计便于更换镁棒的连接结构, 由外露的旋转按钮、蜂鸣器、内部连接等部分组成, 将被动更换改善为主动提醒更换, 防止结垢加热部件对内胆环境造成不良影响, 同时便于用户自主更换镁棒, 减少维修成本与零部件能量损失。

3) 在产品的电源部分使用了电量计量监测模块, 可以对电热水器使用过程中的电量进行实时监控, 可



1. 电子计量表; 2. 漏电保护插头; 3. 铁楼; 4. 内胆加热楼; 5. 出水口; 6. 进水口; 7. 控制面板
 图 10 电热水器设计结构图
 Fig.10 Design structure diagram of electric water heater



1. 蜂鸣器; 2. 旋转按钮; 3. 连接部件; 4. 镁棒
 图 11 镁棒结构图
 Fig.11 Structure of magnesium rod



图 12 场景图展示
 Fig.12 Scene diagram display

以通过电量异常波动反映出因产品其他部件损坏导致的电热水器加热问题。

4) 由于各地区水质差异较大, 而内胆的水垢沉积会造成电热水器加热缓慢的问题, 通过周期性清洗, 有效保障了内胆的洁净度。确保电热水器内胆环境良好, 避免水质中钙化离子对产品生命周期的影响, 可以防止滋生细菌, 提升用户沐浴体验。

将市场同款热水器与设计方案进行对比, 制作 5 阶 linker 度量表, 计算分值设置为 1、2、3、4、5 分, 并投放给 70 位用户; 通过对第三层次权重系数占比较高的 10 个用户需求进行满意度监测, 验证方案的有效性。根据图 11 所示, 优化后的电热水器方案共有 8 项指标: 纤薄机身、省电高效燃水、操作面板布局合理、内胆质量优、滤水抑菌、镁棒消耗提醒、时尚气质体态、比例协调、预约功能。以上指标都处于 4 分

以上, 如图 13 所示。验证了设计方案不仅符合生产商的开发技术要求, 而且也满足目标用户的需求。

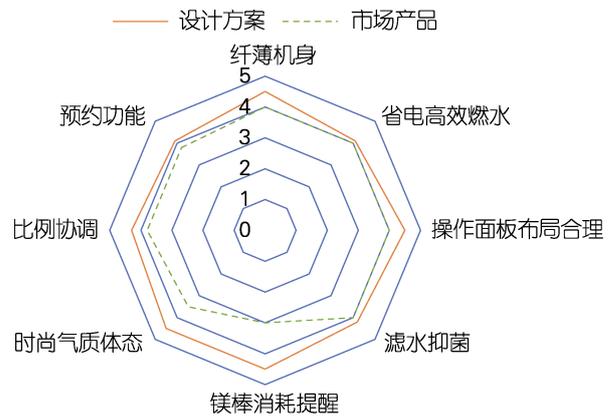


图 13 用户满意度检测图
 Fig.13 User satisfaction test diagram

6 结论

本文以用户需求为出发点, 从主观的用户需求因素演化为客观的工程措施因素, 分析发现了电热水器产品设计中存在的问题, 以质量屋为研究用户需求信息的工具, 实现用户需求与功能要素关系的可视化, 发明问题解决理论为后续的设计过程提供了科学的参考依据, 有效地解决了 QFD 无法细化设计要素与产品功能配置的问题。通过 5 阶 linker 度量表的 用户满意度数值, 验证了 QFD-TRIZ 设计模型的有效性。为现有的电热水器设计提供了一种新的解决方案, 并为其他家电产品的设计过程提供了理论参考。在评论 TRIZ 发明原理最优方案中引用了模糊综合评价法, 解决了原有依靠设计人员主观判断的不确定性问题, 但还存在一定的不足, 后续将沿着 TRIZ 解决方案与计算机学习评估的方法进一步探究。

参考文献:

- [1] 狄九龙. 设计生态学的理论思考——以智能家居模式下的空调设计为例[J]. 家具与室内装饰, 2019(8): 122-123.
DI Jiu-long. Theoretical Thinking of Design Ecology—Taking Air Conditioner Design in Smart Home Mode as an Example[J]. Furniture & Interior Design, 2019(8): 122-123.
- [2] 檀润华, 马建红, 张换高, 等. 基于QFD及TRIZ的概念设计过程研究[J]. 机械设计, 2002, 19(9): 1-4.
TAN Run-hua, MA Jian-hong, ZHANG Huan-gao, et al. Study on the Conceptual Design Process Based on QFD and TRIZ[J]. Machine Design, 2002, 19(9): 1-4.
- [3] 陈亮, 窦昊, 魏煌, 等. 基于质量功能展开、发明问题解决理论和仿生学的产品创新设计[J]. 中国机械工程, 2020, 31(11): 1285-1295.
CHEN Liang, DOU Hao, WEI Huang, et al. Product Innovation Design Based on QFD, TRIZ and Bionics[J]. China Mechanical Engineering, 2020, 31(11): 1285-1295.
- [4] 黎云峰. 基于QFD与TRIZ的汽车副仪表台创新设计方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
LI Yun-feng. Based on QFD and TRIZ Car Assistant Instrument Desk Innovation Design Method Research[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.
- [5] 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 Rose Buds Picking Machine Based on AHP/QFD/TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(8): 121-126.
- [6] 曹国忠, 刘刚, 陈美, 等. 基于多方法融合的服务设计过程优化[J]. 机械设计, 2021, 38(3): 132-139.
CAO Guo-zhong, LIU Gang, CHEN Mei, et al. Optimization of Service Design Process Based on Multi-Method Fusion[J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(3): 132-139.
- [7] 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.
- [8] 刘力萌, 檀润华, 张换高, 等. 基于情景与TRIZ的产品概念设计过程研究[J]. 机械设计, 2021, 38(2): 15-22.
LIU Li-meng, TAN Run-hua, ZHANG Huan-gao, et al. Research on the Process of Product Conceptual Design Based on the Scenarios and TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(2): 15-22.
- [9] 檀润华, 王庆禹, 苑彩云, 等. 发明问题解决理论: TRIZ——TRIZ过程、工具及发展趋势[J]. 机械设计, 2001, 18(7): 7-12, 53.
TAN Run-hua, WANG Qing-yu, YUAN Cai-yun, et al. Theory for Solving the Inventive Problems(TRIZ)—The Process, Tools and Developing Trends of TRIZ[J]. Machine Design, 2001, 18(7): 7-12, 53.
- [10] HO W, HE Ting, LEE C K M, et al. Strategic Logistics Outsourcing: An Integrated QFD and Fuzzy AHP Approach[J]. Expert Systems With Applications, 2012, 39(12): 10841-10850.
- [11] YAZDANI M, KAHRAMAN C, ZARATE P, et al. A Fuzzy Multi Attribute Decision Framework with Integration of QFD and Grey Relational Analysis[J]. Expert Systems With Applications, 2019, 115: 474-485.
- [12] 曾庆臻, 韩鑫, 黎荣, 等. 基于联合分析和QFD构建高速列车需求模型[J]. 机械设计与研究, 2018, 34(2): 154-158.
ZENG Qing-zhen, HAN Xin, LI Rong, et al. Research of Method to Construct the Bogie Requirement Model Based on Research on Conjoint Analysis and QFD[J]. Machine Design & Research, 2018, 34(2): 154-158.
- [13] MANSOR M R, SAPUAN S M, HAMBALI A, et al. Conceptual Design of Kenaf Polymer Composites Automotive Spoiler Using TRIZ and Morphology Chart Methods[J]. Applied Mechanics and Materials, 2015, 761: 63-67.
- [14] 张建辉, 王素, 张文旭, 等. 基于TRIZ和约束理论的复杂产品生产管理优化[J]. 机械设计与研究, 2021, 37(1): 170-176.
ZHANG Jian-hui, WANG Su, ZHANG Wen-xu, et al. Research on the Optimization of Complex Product Production Management Based on TRIZ and Theory of Constraints[J]. Machine Design & Research, 2021, 37(1): 170-176.
- [15] 左斌, 黄海洋, 陶宇. 基于TRIZ的数控机床进给系统改进创新设计[J]. 机械设计与研究, 2021, 37(1): 139-143, 155.
ZUO Bin, HUANG Hai-yang, TAO Yu. Innovative Design of Feed Drive System in CNC Machine Tools Based on TRIZ[J]. Machine Design & Research, 2021, 37(1): 139-143, 155.
- [16] 张雷, 张伟伟, 蒋诗新, 等. 基于TRIZ与专利分析的产品绿色创新设计方法[J]. 机械设计与研究, 2016, 32(5): 1-4, 24.
ZHANG Lei, ZHANG Wei-wei, JIANG Shi-xin, et al. Green Product Innovation Design Method Based on TRIZ and Patent Analysis[J]. Machine Design & Research, 2016, 32(5): 1-4, 24.

责任编辑: 马梦遥