

# 基于科学实验与用户体验的电热膜电暖器设计

李天赠, 谢静茵, 李成科, 赖春敏

(佛山科学技术学院, 佛山 528000)

**摘要:** **目的** 为更好解决家用电暖器快速加热与长效发热的兼备性问题, 提出基于科学实验与用户体验相结合的电暖器产品设计解决方案。**方法** 首先, 通过用户体验评估现有产品的工作性能, 提出初步需要解决的问题; 然后, 基于预设问题搭建科学测试平台进行探索性场景测试, 分析产品的基本工作原理, 寻找解决问题的突破点; 随后, 基于产品工作特性提出方案解决思路, 并通过科学实验与用户体验结合的模式确定最优的解决方案; 最后, 探讨功能结构与产品外观造型的关联性, 输出完整的设计解决方案, 并开展样机测试, 确定方案的最终可行性。**结果** 采用上下分离可调节电热膜板设计方案, 可有效解决电热膜电暖器快速加热(上电热膜板后仰 $5^{\circ}$ , 下电热膜板前倾 $10^{\circ}$ )及长效发热(上下电热膜板恢复垂直排列)的兼备性问题。**结论** 设计过程中采用科学实验与用户体验相结合的模式, 即可通过科学的测试手段确保设计方案的科学可靠性, 同时用户体验的介入可快速地了解使用者的主观感觉, 使设计方案更趋于人性合理化, 该设计模式可为相关家电产品改良设计提供参考。

**关键词:** 工业设计; 科学实验; 用户体验; 电热膜电暖器

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)22-0100-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.22.016

## Design of Electric Mica Heater Based on Scientific Experiment and User Experience

LI Tian-zeng, XIE Jing-yin, LI Cheng-ke, LAI Chun-min

(Foshan University, Foshan 528000, China)

**ABSTRACT:** The work aims to propose a design solution of electric heater based on the combination of scientific experiment and user experience to solve the problems in the rapid heating and the long-term heating of the electric heater. Firstly, the user experience was used to evaluate the performance of existing products, and the problems required to be solved were initially proposed. Secondly, based on the preset problems, a scientific test platform was built to conduct exploratory scenario testing to study the working mechanism the electric heater and find a breakthrough to solve the problems. Then, based on the working characteristics of the product, the design ideas were proposed, and the optimal solution was determined through the combination of scientific experiment and user experience. Finally, the relationship between functional structure and product appearance was discussed, and the complete design solution was output. The prototyping testing was carried out to determine the final feasibility of the solution. A solution of electric heating plate with the function of double blocks and adjustable angle could effectively solve the compatibility problem of rapid heating (the upper electric heating film plate was inclined backward by  $5^{\circ}$ , the lower electric heating film plate was inclined forward by  $10^{\circ}$ ) and the long-term heating (the upper and lower electric heating film plates were restored to the vertical alignment) of the electric heating film heater and. In this design process, the mode of combining scientific experiment with user experience can ensure the scientific reliability of the design solution through scientific testing means. Meanwhile, the subjective feelings of users can be quickly understood through the intervention of user experience, which makes the design solution

收稿日期: 2020-09-30

基金项目: 国家自然科学基金(11802061); 广东省普通高校青年创新人才项目(2017KQNCX208); 佛山科学技术学院高层次人才科研启动项目

作者简介: 李天赠(1988—), 男, 广东人, 博士, 佛山科学技术学院副教授, 主要研究方向为先进工业设计方法、运动仿生。

more humane and rational. This design mode can provide reference for the improved design of related home appliances.

**KEY WORDS:** industrial design; scientific experiment; user experience; electric mica heater

随着生活水平的提升,人们在选购家电产品时已不仅限于“能用”,而是更多关注于“好用”<sup>[1]</sup>。以电暖器为例,“好用”的电暖器不单对加热效率提出了更高的要求,也更为注重用户的体验感受,其表现为功能上的“高效加热”,体验上的“安全舒适”。因此,在电暖器产品设计过程中,做到产品功能客观合理性与使用者主观感觉的统一,是提出“好用”设计概念的关键。文中以电热膜电暖器设计为例,将科学实验与用户体验融入设计流程中,探究电暖器快速加热与长效发热的兼备性问题的解决方法。

## 1 科学实验及用户体验在产品设计中的应用

### 1.1 科学实验

产品的概念功能向实际功能的转化是决定概念设计能否成功转化为现实产品的核心,也是产品设计流程中最具挑战性的环节。为确保将产品的概念功能转化为实际效果,科学实验测试手段是此阶段重要的呈现方式。科学实验是以预设目的为指引,运用相应的测试与分析仪器,依据相应的流程,对研究对象的现象及其规律进行分析研究的一种实践活动。科学实验具有直观性强、结果可靠的特点,是获取经验事实和检验科学假说、理论真理性的的重要途径<sup>[2]</sup>。在产品设计流程中,科学实验可对设计方案的各项功能进行测试,利用数据与图表等形式准确客观地反映产品的性能,验证方案的可行性,为设计方案的优化及解决设计问题提供重要的科学参考依据<sup>[3-4]</sup>。

### 1.2 用户体验

用户体验是指用户在使用特定产品、系统或服务时的感知反馈,包括情感、认知印象、生理和心理反应等各方面。由于产品设计最终目的是面向市场与消费者<sup>[5]</sup>,用户对于产品体验感觉的好坏是评价产品设计是否成功的根本,所以产品设计的用户体验研究一直是工业设计领域研究的重点<sup>[6-8]</sup>。目前,基于用户体验的设计方法几乎覆盖各类产品设计研究,大到绿色建筑<sup>[9]</sup>、小到母婴产品的改良<sup>[10]</sup>都需要运用用户体验方法去挖掘用户的需求,确定优化及改进的方向。用户体验在本质上反映的是用户个体对于系统或产品的纯主观感受,这种主观感受会因个体的经历、时间和场景的变换而有所不同,因此进行用户体验研究之前需要对这些因素有足够的了解和分析。

## 2 基于科学实验与用户体验的产品设计流程

工业设计是一个发现、分析及解决问题的过程,

合理的设计流程是引导问题顺利解决的关键。本研究围绕发现、分析及解决问题三大环节,将科学实验与用户体验方法融入产品设计流程,在遵循以用户为中心的设计理念基础上,借助科学实验方法驱动问题的解决,形成从用户体验出发,科学测试介入,再回归用户的解决设计问题的模式。此外,在设计流程后期加入了功能与形式的探讨环节,引导方案的输出,并进行样机测试,验证最终方案的可行性,形成完整的设计流程。基于科学实验与用户体验的产品设计流程的具体实施步骤如下。

1) 提出问题。对现有产品进行分析,确定设计对象与目标;进行产品体验测试,获取体验感受,指出问题。

2) 分析问题。针对主要问题,搭建科学测试平台,分析产品的工作机理。

3) 解决问题。基于产品工作特征,提出解决问题的思路,利用科学实验分析方法筛选方案;通过用户体验模式测试方案效果,确定解决方案。

4) 输出方案。探讨功能与造型的关联性,输出完整的设计方案,开展样机测试验证方案的最终可行性。设计流程模型见图 1。

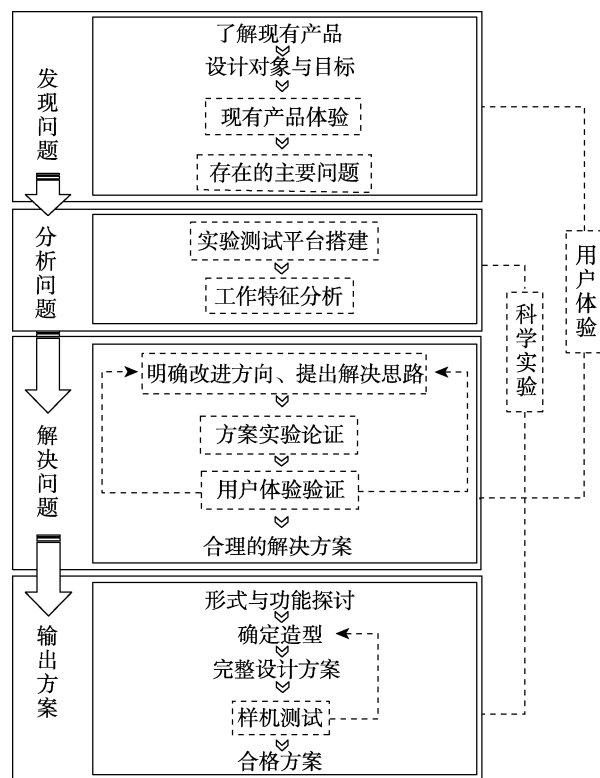


图 1 基于科学实验与用户体验的产品设计流程  
Fig.1 Product design process based on scientific experiment and user experience

表 1 各类电暖器性能特点  
Tab.1 Performance characteristics of various types of electric heaters

| 传热类型           | 对流                                                                                |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    | 热辐射                                                                                 | 对流+热辐射                                                                              |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 主要产品系列         | 对衡式电暖器                                                                            | 踢脚线取暖器                                                                            | 油汀取暖器                                                                             | 暖风机                                                                                | 小太阳电暖器                                                                              | 电热膜电暖器                                                                              |
| 产品图            |  |  |  |  |  |  |
| 快速加热效果         | 一般                                                                                | 一般                                                                                | 较差                                                                                | 优良                                                                                 | 优良                                                                                  | 一般                                                                                  |
| 局部加热效果         | 较差                                                                                | 较差                                                                                | 一般                                                                                | 优良                                                                                 | 优良                                                                                  | 一般                                                                                  |
| 取暖面积效果         | 优良                                                                                | 优良                                                                                | 优良                                                                                | 较差                                                                                 | 一般                                                                                  | 优良                                                                                  |
| 温度恒定效果         | 优良                                                                                | 优良                                                                                | 优良                                                                                | 一般                                                                                 | 较差                                                                                  | 优良                                                                                  |
| 加热均匀效果         | 优良                                                                                | 优良                                                                                | 优良                                                                                | 较差                                                                                 | 较差                                                                                  | 优良                                                                                  |
| 静音效果           | 优良                                                                                | 优良                                                                                | 优良                                                                                | 较差                                                                                 | 一般                                                                                  | 优良                                                                                  |
| 安全性            | 优良                                                                                | 优良                                                                                | 一般                                                                                | 一般                                                                                 | 较差                                                                                  | 优良                                                                                  |
| 长时间使用<br>舒适度效果 | 优良                                                                                | 一般                                                                                | 优良                                                                                | 较差                                                                                 | 较差                                                                                  | 优良                                                                                  |

3 设计案例

本文以电热膜电暖器创新设计为例,对文中提出的方法进行探讨。

3.1 发现问题

3.1.1 了解现有产品

不同于我国北方集中供热模式,南方主要采用多元化的分散供暖方式,供暖设备主要为空调或电暖器。其中,电暖器因其价格适中、使用方便等特点受到消费者的欢迎。家用电暖器的主要热量传导方式包括对流与辐射两类。对流式电暖器加热原理为发热体通电发热加热周围空气,热气上升,遇冷下沉,形成对流,进而提升室温;热辐射式电暖器加热原理为发热体以红外辐射或可见光形式对外直接辐射热量。基于以上两类传热方式,目前市面上的电暖器可大致划分为对流式、辐射式、对流与辐射复合式电暖器等,其性能特点见表 1。

3.1.2 确定设计对象与目标

由表 1 可知,自然对流式电暖器(对衡式、踢脚线、油汀取暖器)在取暖面积、温度恒定、加热均匀、静音性能方面均具有优良的表现,但在局部快速加热方面表现不佳,比较适合大面积及长时间供热;主动送风式电暖器(暖风机)和可见光辐射式电暖器(小太阳)在快速加热性能方面表现良好,但在取暖面积、温度恒定、长时间加热舒适性及安全性能方面表现不佳,不适合长时间供暖使用;对流与热辐射复合型电暖器(电热膜电暖器)结合自然对流与辐射加热的特点,整体表现较良好,没有明显的缺陷,但在快速与局部加热方面还有一定的提升空间。综合上述,本研究选择电热膜电暖器作为设计对象,设计的目标为寻

找提升对流与辐射式电暖器局部快速加热性能的方法,使其具备优良的短期快速发热及长期持续供暖的性能。

3.1.3 现有产品体验及反馈的主要问题

对流与热辐射复合型电暖器的核心发热部件一般为硅晶电热膜,硅晶电热膜具有升温快、无污染的特点,且其发出的红外辐射有促进人体血液循环的保健理疗效果。本环节主要目的为通过用户体验形式了解现有对流与热辐射复合型电暖器局部快速加热性能情况。体验准备情况如下。

1)电暖器:较为常见的长虹 CDN-RG155T 双面硅晶加热电热膜电暖器。

2)体验者:南方某高校学生及教职工,按年龄划分为青年群体(大学生)、中年群体(在职教职工群体)及老年群体(退休人员),每一群体各随机选择男女测试对象各一名,总计六人。

3)测试环境:房间面积 30 m<sup>2</sup>,室温 25 ℃,湿度 70%。

4)体验设置:体验者采用常规坐姿正对电暖器坐立,脚尖与电暖器的测试距离为 0.1 m 至 1 m,电暖器功率为 2000 W,每次体验时间为 30 s。

值得注意的是,由于本研究测试时间为南方春夏时节,而电暖器一般在秋冬季节使用,为较准确地反映实际使用季节人体对温度的主观感觉,本研究在骆月珍等人<sup>[1]</sup>提出的体感温度修正经验公式的基础上,基于南方地区冬夏气候特点(参考数据为《中国统计年鉴:行政区划和自然资源》),推导出本研究使用的冬夏两季室内人体体感温度的对应关系式:

$$T_w = 1.875T_s - 41.875\text{ }^{\circ}\text{C} \tag{1}$$

其中:  $T_w$  为冬季室内体感温度;  $T_s$  为夏季室内体感温度。体感温度与人体感觉的对应关系见表 2<sup>[1]</sup>。

表 2 体感温度与人体感觉的对应关系  
Tab.2 Correspondence between body temperature and human sensation<sup>[11]</sup>

| 体感温度/℃  | 热感觉 | 坐姿人生理特征 |
|---------|-----|---------|
| 大于 38   | 很热  | 热调节功能障碍 |
| 33 至 38 | 热   | 过度出汗    |
| 28 至 33 | 暖   | 出汗      |
| 23 至 28 | 温暖  | 轻度出汗    |
| 15 至 23 | 舒适  | 中性      |
| 8 至 15  | 凉爽  | 血管收缩    |
| 2 至 8   | 凉   | 血管收缩    |
| -4 至 2  | 冷   | 稍有体温下降  |
| 小于-4    | 很冷  | 发抖      |



图 2 用户体验场景  
Fig.2 User experiencing scenarios

经体验测试，六位体验者集中反馈的主要问题有以下两点：（1）体感温度与取暖距离密切相关，靠近电暖器时有强烈的灼热感，通过式(1)计算及参考表 2 对应关系，得出修正后冬季热感觉亦为很热，远离电暖器后短时间内感受不到温度的明显提升，距离电暖器 0.2 m 至 0.4 m 区间取暖较暖，通过式(1)计算及参考表 2 对应关系，得出修正后冬季热感觉为舒适；（2）热量多集中在小腿、膝盖，身体和头部升温缓慢，全身受热不均匀，舒适感欠佳。

由上体验结果可知，所测试的电暖器在距用户一定范围内基本可实现快速加热的效果，但用户受热均匀度不佳，需要进一步优化，用户体验场景见图 2。

3.2 分析问题

为了解电暖器的工作特点及探究上阶段用户体验反馈的主要问题产生的原因，本阶段采用科学实验方法对电暖器的工作情况进行分析。

3.2.1 实验平台搭建

在实验中，采用实验仪器取代用户，利用测量数据客观分析电暖器的工作性能。本实验将电暖器放置于离墙面一定距离的位置（距墙面 0.2 m~0.6 m 处），记录热量辐射到墙面的分布情况（墙面上以 0.2 m 为间隔高度设置六个温度监测点），测试场景见图 3。

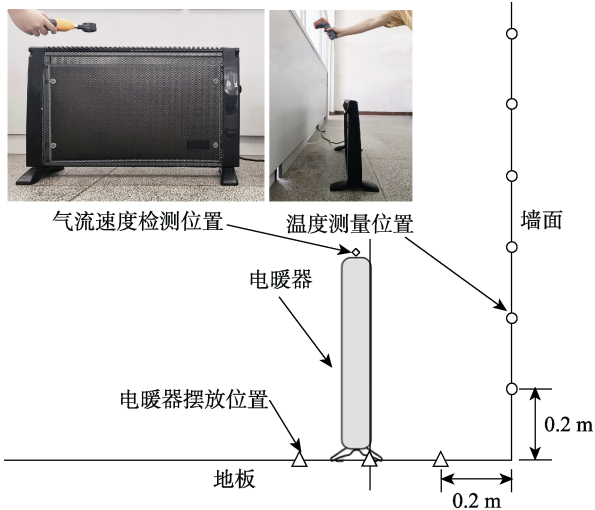


图 3 测试场景示意  
Fig.3 Schematic diagram of testing scenarios

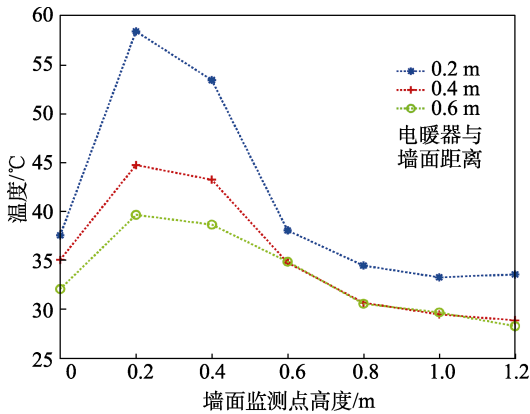


图 4 电暖器摆放位置对墙面温度分布的影响  
Fig.4 Influence of the position of the electric heater on the wall temperature distribution

另外，为探究电暖器的对流性能，本实验也对电暖器发热后引起的热气流动情况及室内温度变化情况进行了测量。本实验主要仪器为红外线测温枪、风速仪等，每组工况在电暖器工作 3 min 后进行测量。

3.2.2 工作特征分析

电暖器不同摆放位置对墙面温度分布的影响情况见图 4。分析图 4 可得出下面结论：（1）电暖器的热辐射传递方向十分集中，主要作用范围为电热膜板投影区域（高度为 0.2 m~0.6 m 区域）；（2）接近电暖器区域（离电暖器距离小于 0.2 m）温度过高（大于 50 ℃）；（3）电暖器在与电热膜板垂直方向的热量传递距离是有限的，理想的取暖距离为 0.2 m~0.4 m。

两个不同面积房间中电暖器的空间加热性能情况见图 5。由图 5 可知，该款电暖器较适合小面积房间使用。此外，电暖器顶部的监测点记录到电暖器工作时该处气流速度约为 0.184 m/s，由此可知，电热膜板除向外辐射热量，还具备对流加热功能。



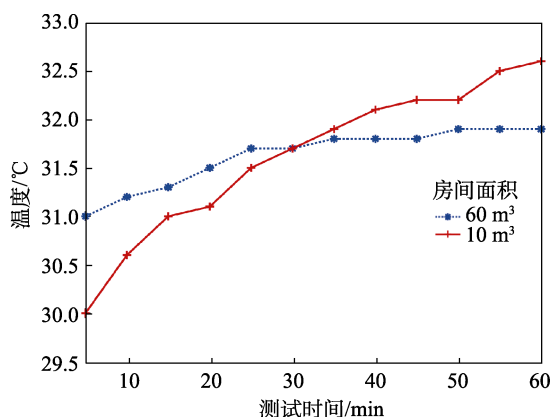


图5 电暖器的空间加热性能情况

Fig.5 Space heating performance of electric heater

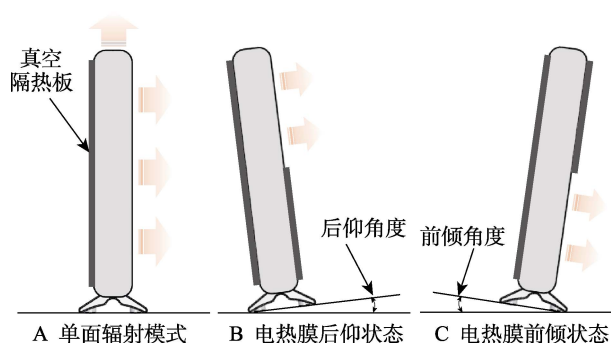


图6 电暖器测试状态示意

Fig.6 Schematic diagram of testing status of electric heater

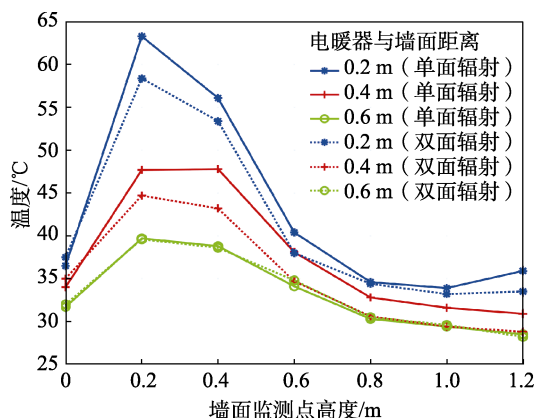


图7 电暖器单双面模式辐射加热性能对比情况

Fig.7 Comparison of radiant heating performance of single and double-sided mode of electric heater

### 3.3 解决问题

#### 3.3.1 解决思路

根据上阶段的电暖器工作特征分析,可明确所测试的电暖器存在的主要问题为:(1)安全性问题,所测试电暖器为双面辐射发热工作模式,但障碍物与电暖器距离小于0.2 m时,温度过高,如果在小空间内摆设不当可能会引发安全性问题;(2)舒适性问题,所测试电暖器的辐射热量分布不均且范围过于集中,离地面高度为0.2 m至0.4 m的区域温度最高,

而电暖器电热膜投影范围外的脚部及上半身加热效果不佳,但这些部位恰恰对温度较为敏感。因此,本研究的设计改进方向应该是解决电暖器的安全与舒适性问题。

针对现有电暖器的上述问题,结合其工作特性,可提出以下解决思路:(1)将现有电暖器的双面辐射加热模式改为单面辐射加热模式,改善安全性能;(2)调整现有电热膜板辐射发热的角度,改善热量分布的均匀性,提升舒适性。如将传统的单块电热膜板更改为由上下两块电热膜组成,上下两部分电热膜分别后倾和前倾以改善人体上下半身的受热情况。

#### 3.3.2 方案实验论证

本环节采用科学实验方法分析上一环节提出的解决思路的合理性。

针对电暖器安全性问题解决思路,实验中采用真空隔热板将电暖器的背面屏蔽,保留正面辐射发热面及顶部热量排气口,见图6。电暖器单双面模式辐射加热性能对比情况见图7,根据对比情况显示,在近距离取暖区间0.2 m~0.4 m处的单面模式加热性能均比双面模式好,当与电暖器距离为0.6 m时,两种模式的加热效果基本相同,单面加热模式总体具有较好的辐射加热性能。为验证电暖器单面加热模式对自然对流性能的影响,本阶段也对单面加热模式工作时顶部排气口的气流速度进行了测试。测试数据显示,当采用单面加热模式时,电暖器顶部气流速度约为0.25 m/s,比双面加热模式工作时的0.184 m/s高出近35%,有利于加快空气对流。另外,为确定单面加热工作模式长时间工作的安全性,本研究对单面辐射发热电暖器进行了1 h的满负荷(功率2000 W)持续发热测试,结果显示,机体未出现极端过热与产生异味的现象,顶部热气排放顺畅,机体运行平稳。

针对电暖器舒适性问题解决思路,实验中以单面加热模式为原型机,在测试上部电热膜加热性能时,利用真空隔热板将下部电热膜板屏蔽;测试下部电热膜板加热性能时,也采用类似处理方法,见图6。由于电热膜角度调整范围直接影响电暖器体积大小,为避免对传统机型体积的过多改变,本研究初步确定电热膜板的调整角度范围为0°~10°。本测试模拟成人正常坐姿取暖,脚尖距离电暖器约0.3 m,距离上半身大约0.6 m,检测下部电热膜板对下半身加热情况时,选择距离地面高度0 m及0.2 m处作为监测点,检测上部电热膜对上半身加热情况时,选择距离地面高度0.4 m~1.2 m处作为监测点。

根据前倾角度对下部电热膜板辐射加热性能影响统计(见图8)显示,在可调节角度范围内,地面及0.2 m处的温度总体随着电热膜角度的增加而升高,而当角度到达10°时,地面及0.2 m处温度最高且比较均衡。根据后仰角度对上部电热膜板辐射加热性能影响统计显示,在0.6 m~1.2 m高度区域内,各

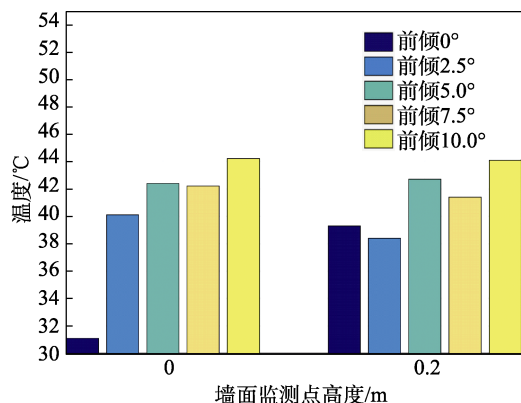


图 8 前倾角度对下部电热膜板辐射加热性能影响统计

Fig.8 Influence of inclinations on radiant heating performance of lower electric heating film

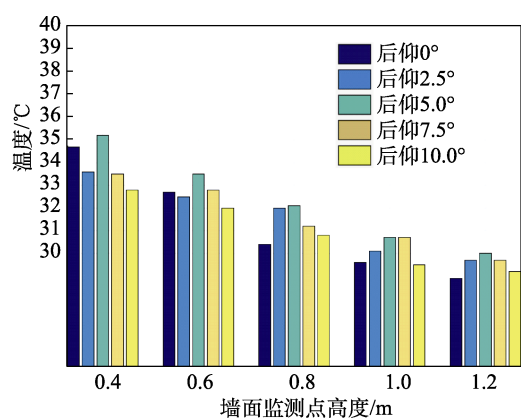


图 9 后仰角度对上部电热膜板辐射加热性能影响统计

Fig.9 Influence of elevations on radiant heating performance of upper electric heating film

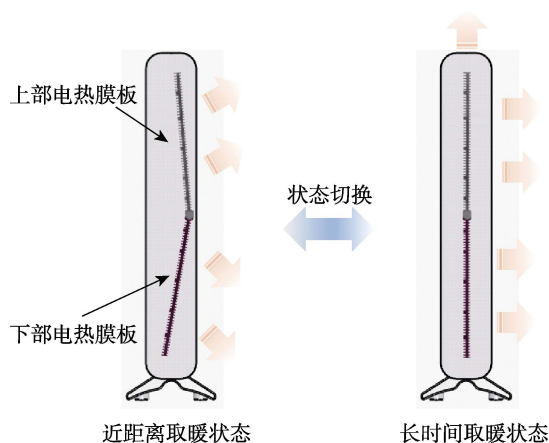


图 10 电热膜板状态切换示意

Fig.10 Schematic diagram of mode switching of the electric heating film

监测点的温度总体呈正态分布特征,其中当后仰角度为 $5^\circ$ 时,加热性能最佳。

综上所述,本研究提出的提升电暖器安全性及舒适性的解决思路基本可行。电暖器采用单面辐射加热模式,可解决电热器的安全性问题,且有助于提升辐射加热及对流加热性能;采用电热膜板上下分离模

式,可解决电热器加热死角问题,提升近距离加热性能,电热膜板较优的调整角度为上部电热膜板后仰 $5^\circ$ 、下部电热膜板前倾 $10^\circ$ 。

### 3.3.3 方案体验测试

为了进一步验证解决方案的实际效果,本阶段通过用户体验的方式对改良后的电暖器性能进行测试。由前面的测试发现(见图5),电暖器空间整体加热效果需较长时间才能体现出来,较难实现快速体验反馈,本阶段体验主要针对近距离加热性能的测试。用户体验测试工况与上阶段的实验测试对应,用真实的体验者取代墙体,记录各工况时用户的体验感受。经体验测试,反馈如下。

1) 电热膜往前倾斜 $0^\circ\sim 10^\circ$ 时,热量主要集中在下半身,随着倾斜角度增大,脚部升温感也逐渐强烈。

2) 当电热角度为 $0^\circ\sim 5^\circ$ 后仰时,膝盖和上半身区域随仰角增大热感逐渐强烈;当仰角为 $5^\circ$ 后热感反应变得迟钝。

3) 单独将上部电热膜后仰角设置为 $5^\circ$ ,下部电热膜前倾角设置为 $10^\circ$ ,长时间体验,没有出现明显的灼热感,上下半身受热均匀,感受较好。

综上分析,体验感觉与测试结果基本吻合。

### 3.3.4 合理解决方案

根据以上分析基本确定了采用具有一定后仰与前倾角度的上下分离式的电热膜板设计方案,这样可解决电暖器近距离快速加热的安全性及舒适性问题,但此方案用于解决电暖器的长效发热问题并不一定合适。目前市面上,不管是单一自然对流电暖器还是对流与热辐射复合型电暖器中的电热膜板均采用垂直排列布置,垂直排列的电热膜板可以让受热气流顺畅地从电暖器排出,有利于对流传热。因此,较为理想的解决方案为,需要近距离快速取暖时电热膜板可保持上部呈 $5^\circ$ 后仰及下部呈 $10^\circ$ 前倾状态;需要长时间对空间加热时,电热膜板复位为垂直排列状态。电热膜板状态切换示意图10。

## 3.4 输出方案

### 3.4.1 功能与造型探讨

为解决家用电暖器快速加热与长效发热的兼备性问题,本研究提出了分离式电热膜板角度可调节设计解决方案。由此可见,电热膜板的可变形结构特性是影响电暖器造型设计的核心因素。围绕此因素,对流与热辐射复合型电暖器的造型设计需解决以下问题:(1)分离式电热膜板的角度可调节结构特征与电暖器整体造型的关联性问题;(2)实现电暖器电热膜板切换变形的控制按键的人机交互设计问题。

### 3.4.2 造型的确定

针对电暖器整体造型设计,目前市面上的绝大部分电暖器外形均以方形为主,方形内腔可实现较为灵

活的内部结构布置,能够满足电热膜板小幅度角度调节的要求,且有利于内腔中的热气快速排出;另外,方形体较易塑造一种简约的设计风格,传递现代、简约的设计理念。因此,本研究选择方形作为电暖器的外观形态。

针对控制键造型设计,电热膜板角度的可调节结构是本产品的重要识别特征,因此可将控制按键与电热膜板的关键变形部位进行一体化设计,控制按键设置于电暖器右侧对应电热膜板旋转轴的位置,形状采用圆形设计。在交互方式方面,遵循便利性原则,按键外圈为物理旋钮,可切换电暖器的自动、普通及变形模式;圆形内屏为触屏控制,可进行定时、功率、节能等模式的调节,具体交互方式见图 11。在自动

模式下,电暖器可通过智能感应系统自动切换工作模式:当用户接近电暖器时自动切换为快速取暖模式(对应变形模式),远离时复位为长时取暖模式(对应普通模式)。

产品的色彩和材质与消费人群定位有较大关联性,本设计以中高端消费人群为例,外壳颜色以体现现代风格的冷淡色调为主,材料为白色 ABS 材料,辅以淡灰色金属磨砂材质,以体现轻奢、现代的设计风格。

### 3.4.3 完整设计方案

对电暖器设计方案的细节进行完善,输出完整的设计方案。产品结构见图 12,产品六视图见图 13,产品使用场景见图 14。



图 11 控制按键交互模式

Fig.11 Interactive mode of control buttons

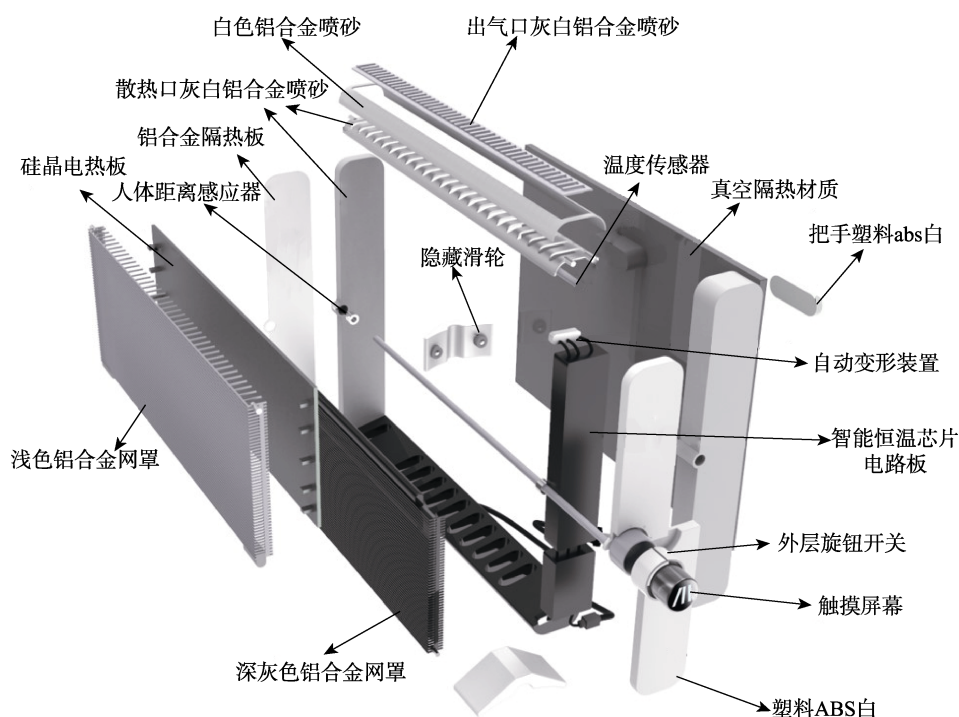


图 12 电暖器结构

Fig.12 Structure of electric heater



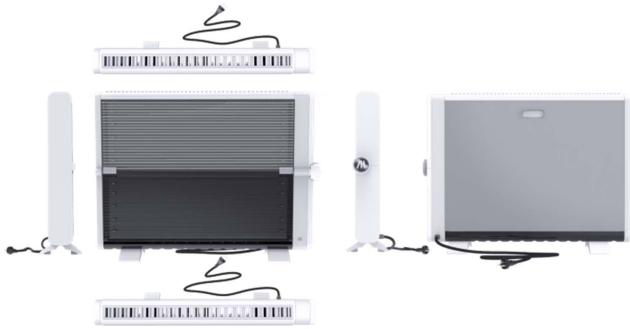


图 13 电暖器的六视图  
Fig.13 Six views of electric heater

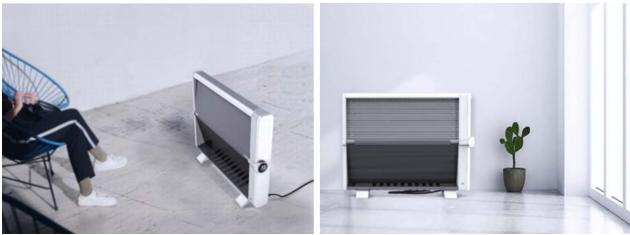


图 14 电暖器的使用场景  
Fig.14 Usage scenario of electric heater



图 15 电暖器样机的测试场景  
Fig.15 Test scenario of the electric heater prototype

表 3 电暖器样机测试结果  
Tab.3 Test results of the electric heater prototype

|         | 脚部表面<br>温度/℃ | 膝盖表面<br>温度/℃ | 胸前表面<br>温度/℃ |
|---------|--------------|--------------|--------------|
| 第一次测量   | 34.1         | 31.9         | 32.8         |
| 第二次测量   | 34.0         | 34.3         | 32.9         |
| 第三次测量   | 35.7         | 33.7         | 35.1         |
| 平均温度    | 34.6         | 33.3         | 33.6         |
| 对应冬季热感觉 | 舒适           | 舒适           | 舒适           |

3.4.4 样机测试

本环节参照最终设计方案制作了一款简易实验

样机。由于设计方案中电暖器未变形模式工作原理与传统电暖器一致，此处不作测试。本测试重点为验证最终设计方案中电暖器采用变形模式时的实际加热性能，测试样机与场景见图 15。电暖器样机测试结果（见表 3）显示，样机以近距离加热模式工作时，脚部、膝盖及胸前的表面平均温度均较为接近，热量分布均匀，根据式(1)及参考表 2 对应关系，可得出冬季对应的人体热感觉均为舒适。综上所述，本研究提出的最终设计方案可实现预期改善加热舒适性的效果，方案实际可行。

4 结语

本研究以电热膜电暖器设计开发为例，将用户体验与科学实验分析手段结合于设计流程中，探讨了电暖器设计中发现問題、分析問題、解決問題与方案输出的新模式，提出从用户体验出发，加入科学实验测试，再回归用户体验及最终方案样机测试的新设计流程。本研究验证了科学实验与用户体验相结合的设计模式是解决产品创新设计问题的有效途径，可为类似的家电产品创新设计提供参考。

参考文献：

[1] 李卓, 杨君顺. 基于需求心理学的家用产品设计的研  
究[J]. 包装工程, 2009, 30(4): 103-104.  
LI Zhuo, YANG Jun-shun. Research on Household Pro-  
ducts Design Based on Demand Psychology[J]. Packing  
Engineering, 2009, 30(4): 103-104.

[2] 夏有为. 实验为本 探索未知——访上海交通大学校  
长张杰院士[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(8): 1-3.  
XIA You-wei. Experimental Investigations on Unknown  
Frontier: Interview with Academician ZHANG Jie, the  
President of SJTU[J]. Research and Exploration in  
Laboratory, 2013, 32(8): 1-3.

[3] 王苗辉, 李艳, 宋武, 等. 基于科学实验的人机交互  
界面设计研究——以格力空调为例[J]. 图学学报,  
2019, 40(1): 181-185.  
WANG Miao-hui, LI Yan, SONG Wu, et al. Research on  
Man-machine Interface Design Based on Scientific Ex-  
periment: a Case Study of the Improved Design of Gree  
Air Conditioner Interface[J]. Journal of Graphics, 2019,  
40(1): 181-185.

[4] 李天赠, 樊敏达, 蔡文豪, 等. 数值模拟技术在工业  
设计中的应用——以多士炉的节能设计为例[J]. 装  
饰, 2018(6): 86-89.  
LI Tian-zeng, FAN Min-dan, CAI Wen-hao, et al. Ap-  
plication of Numerical Simulation Technology in Indus-  
trial Design: as an Example of an Energy-efficient To-  
aster Design[J]. Zhuangshi, 2018(6): 86-89.

(下转第 120 页)