

基于 RAHP 和 QFD 的智能空气净化器设计研究

郑祎峰¹, 王世伟²

(1.金陵科技学院 艺术学院, 南京 211169; 2.山东工艺美术学院 工业设计学院, 济南 250014)

摘要: **目的** 有效获取用户对家用智能空气净化器的需求及其优先级, 进一步将用户需求转化为设计要求, 识别出智能空气净化器的关键设计要求, 进而为设计提供参考依据, 提升用户满意度。**方法** 首先通过问卷调查以及访谈法获取用户需求, 并利用亲和图法(KJ法)构建关于智能空气净化器用户需求的层次模型, 再引入粗糙层次分析法(RAHP)获取各项用户需求初始重要度, 同时运用模糊卡诺模型(FKM)确定各项需求类别, 并基于需求类别引入调整系数对初始重要度进行调整, 最后利用质量功能展开(QFD)将用户需求转化为设计要素, 明确智能空气净化器的关键设计要求, 指导智能空气净化器的设计。**结论** 通过对智能空气净化器的用户需求进行较为深入的分析, 将用户需求转化为设计要求, 识别出了智能空气净化器在滤网模块、智能检测模块、信息显示模块、远程 APP 控制模块以及风速控制模块等方面的设计要求重要度较高, 并以此为依据提出了设计方案, 得到了用户较高的满意度, 所得研究方法流程可为设计出符合用户需求的产品提供参考。

关键词: 空气净化器; 用户需求; 粗糙层次分析法; 模糊卡诺模型; 质量功能展开

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)18-0072-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.18.010

Design of Intelligent Air Purifier Based on RAHP and QFD

ZHENG Yi-feng¹, WANG Shi-wei²

(1. School of Art, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China; 2. School of Industrial Design, Shandong University of Arts and Crafts, Jinan 250014, China)

ABSTRACT: The paper aims to effectively obtain user needs and priorities for home smart air purifiers, further transform user needs into design requirements, identify key design requirements for smart air purifiers, and provide reference for design and improve user satisfaction. First, user needs are obtained through questionnaire surveys and interviews, and affinity diagram method (KJ method) is used to build a hierarchical model of user needs for smart air purifiers, and then rough analytic hierarchy process (RAHP) is introduced to obtain the initial importance of various user needs. At the same time, the fuzzy Carnot model (FKM) is used to determine the various demand categories, and the adjustment coefficient is introduced based on the demand category to adjust the initial importance, and finally the quality function deployment (QFD) is used to transform user needs into design elements. The key design requirements of the smart air purifier are clarified to guide the design of it. Through a more in-depth analysis of the user needs of the smart air purifier, the user needs are transformed into design requirements, and it identified that the design requirements of the intelligent air purifier in the filter module, intelligent detection module, information display module, remote APP control module and wind speed control module are of high importance. And based on this, a design plan is proposed, which has obtained high user satisfaction. The research methods and processes in the paper can provide references for designing products that meet user needs.

KEY WORDS: air purifier; user needs; rough analytic hierarchy process; fuzzy Carnot model; quality function deployment

收稿日期: 2022-04-05

基金项目: 江苏省教育厅哲学社会科学研究项目(2018SJA0479)

作者简介: 郑祎峰(1981—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为工业设计、服务设计

通信作者: 王世伟(1981—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为工业设计、产品设计。

世界医学界的权威期刊《柳叶刀》在其刊登的专栏中提到空气污染作为危害人体健康的重要因素之一,其危害性被人们大大低估了,并称全球每年因空气污染而致死的人数大约有 670 万人,其中因为室内空气污染而致死的人数达到 350 万人之多^[1]。在中国,据统计每年大约有 11.1 万人死于室内空气污染,相当于我国平均每天有 304 人因空气污染而致死^[2]。此外,室内空气质量不好还容易引起各种各样的不适症状^[3-5],而人们平均每天呆在室内环境的时间超过 80%^[6],可见一个好的空气环境对人们的生活乃至生存环境至关重要。智能空气净化器作为一款洁净空气的家居产品,受到了越来越多人的欢迎,具有较大的市场需求^[7]。随着市场竞争进一步加剧,智能空气净化器的市场慢慢由以往的企业主导型转变成用户主导型,因此如何设计出满足用户切实需求的智能空气净化器显得尤为重要。

一个好的产品在设计过程中都是以用户切实需求为基础的,挖掘用户切实需求是产品设计研发前期的第一要务,只有真正挖掘用户切实需求才能设计出让用户满意的产品^[8]。质量功能配置作为一种面向用户的产品设计指导性方法,将用户切实需求贯穿于整个产品生命周期,将用户需求和产品特性相结合,通过整合分析得到用户需求优先级和产品特性的重要度排序,进而将用户的切实需求转化为产品关键特性,识别出产品的设计重点,因而被广泛应用于产品设计中^[9-11]。但目前研究在确定用户需求重要度过程中往往带有一定的不确定性和模糊性,且在确定用户需求重要度时忽略了用户需求类别对提升用户满意度的参考价值,基于此,本文通过集成 RAHP/FKM/QFD 模型,对智能空气净化器的用户需求进行深入分析,为智能空气净化器的设计提供客观、准确的指导价值,进而提升用户满意度。

1 智能空气净化器设计流程

人们会在自身需求的支配下产生一系列行为,因而用户需求被认为是产品设计的起源,而通常情况下用户需求并不是统一的,可以被分为不同的层次,并且用户对众多需求的侧重点也不尽相同,因此为了使产品设计更好地满足人们的需求,提高用户满意度,需要从用户的切实需求出发^[12]。当前市场上的智能空气净化器仍然存在一些不够理想的地方,忽视了用户作为智能空气净化器的直接使用者的切实需求,造成用户满意度较低,使用体验感较差。基于此,本文构建了如图 1 所示的研究流程,以期通过对用户需求进行深入分析,识别出关键性的设计要求,进而设计出符合用户切实需求的智能空气净化器。首先通过问卷调查、用户访谈法获取目标用户需求,并通过 KJ 法对用户需求进行层次划分,构建智能空气净化器用户

需求层次模型,然后将粗糙集理论与 AHP 相结合,引入 RAHP 确定用户需求初始重要度,其次基于模糊卡诺模型依据用户需求的分类结果,引入调整系数对用户需求初始重要度进行修正,获得融合用户满意度的需求重要度,再借助 QFD 将用户需求进一步转化为设计要求,获取关键性设计要求,为智能空气净化器的设计提供参考依据。

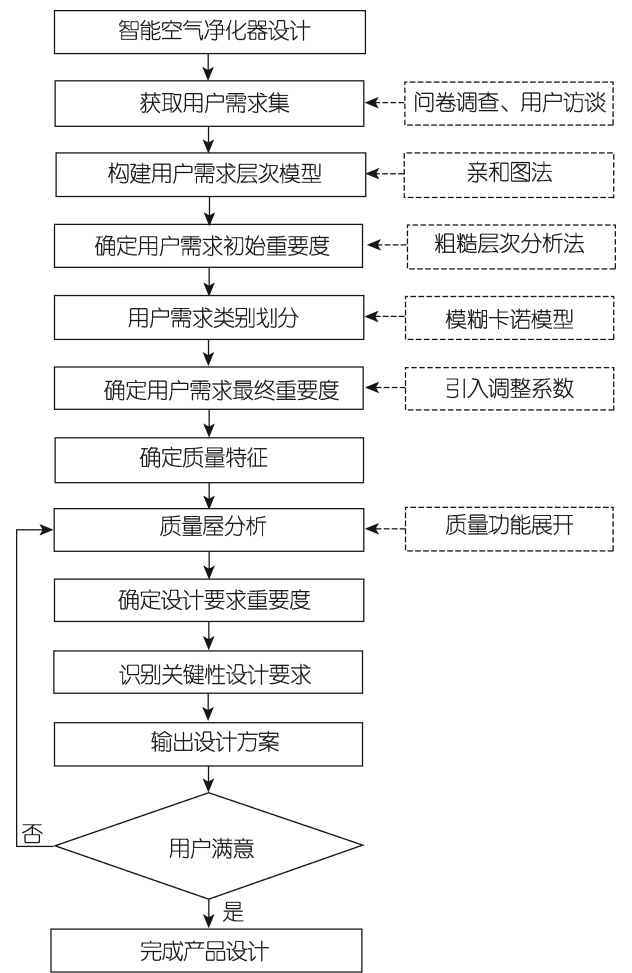


图 1 智能空气净化器设计研究流程
Fig.1 Design and research process of smart air purifier

2 研究过程

2.1 获取用户需求集

首先通过问卷调查、用户访谈等方式获取有关智能空气净化器的用户需求,经过初步统计与整合构成用户需求集,再利用亲和图法对用户需求集进行分类、筛选、归纳和补充,进而形成如表 1 所示的智能空气净化器用户需求层次模型,包括空气净化、智能控制、信息可视化以及人机造型四个维度及其包含的 16 个具体用户需求。

2.2 确定用户需求初始重要度

在确定用户需求初始重要度阶段,为避免用户评

表 1 智能空气净化器用户需求层次模型
Tab.1 Hierarchical model of user needs
for smart air purifiers

一级用户需求	二级用户需求
空气净化	净化空气质量 减少二次污染
智能控制	控制风速的大小 睡觉时低速运行 空气质量较好时停止工作 控制净化时间 手机远程控制 语音控制
信息可视化	了解滤网的使用时间 查看当前室内 PM 值 查看甲醛含量 显示空气质量的好坏
人机造型	外观简约 方便移动 便于拆卸更换 防止小孩乱按

价的主观性和不确定性等问题,使结果更加准确,因而引入 PAHP 来确定用户需求初始重要度。RAHP 主要是指将粗糙集理论中提出的粗糙数和粗糙边界区间二者的优点相结合,以此运用于层次分析法中,RAHP 在确定用户需求重要度时,无需提供所处理数据之外的其他先验信息,且能很好地应对决策多需求的问题,可有效解决用户语言的不确定性等问题^[13]。本研究通过邀请目标用户以两两比较的形式对用户需求重要度进行评价,进一步构建 RAHP 判断矩阵,并对其进行必要的一致性检验,检验公式如下:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$F^* = \begin{bmatrix} 1,1,1,1,1 & 3,3,3,2,5 & 3,3,2,2,3 & 4,3,3,3,5 \\ 1/3,1/3,1/3,1/2,1/5 & 1,1,1,1,1 & 1/2,1/3,1/3,2,1/3 & 3,1/2,1/2,2,3 \\ 1/3,1/3,1/2,1/2,1/3 & 2,3,3,1/2,3 & 1,1,1,1,1 & 4,3,3,2,5 \\ 1/4,1/3,1/3,1/3,1/5 & 1/3,2,2,1/2,1/3 & 1/4,1/3,1/3,1/2,1/5 & 1,1,1,1,1 \end{bmatrix}$$

以 F^* 中 F_{12} 为例,计算其中划分 3 的粗糙数,对 $F_{12} = (3, 3, 3, 2, 5)$ 而言,有:

$$\overline{Lim}(3) = \frac{[R(F_{12}^1) + R(F_{12}^2) + R(F_{12}^3) + R(F_{12}^5)]}{4} = 3.5$$

$$\underline{Lim}(3) = \frac{[R(F_{12}^1) + R(F_{12}^2) + R(F_{12}^3) + R(F_{12}^4)]}{4} = 2.75$$

$\overline{Lim}(3)$ 和 $\underline{Lim}(3)$ 分别代表粗糙数 3 的上限和下限。粗糙边界区间为:

$$RBnd = \overline{Lim}(3) - \underline{Lim}(3) = 0.75$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

以一级用户需求为例,即空气净化(A1)、智能控制(A2)、信息可视化(A3)、人机造型(A4),共获取了 5 名用户重要度判断矩阵 $E_i(i=1, 2, 3, 4, 5)$,具体如下:

$$E_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 3 \\ 1/3 & 2 & 1 & 4 \\ 1/4 & 1/3 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}, CR_1 = \frac{CI_1}{RI} = 0.0591$$

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 1/3 & 3 & 1 & 3 \\ 1/3 & 2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}, CR_2 = \frac{CI_2}{RI} = 0.0797$$

$$E_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 1/2 & 3 & 1 & 3 \\ 1/3 & 2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}, CR_3 = \frac{CI_3}{RI} = 0.0449$$

$$E_4 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}, CR_4 = \frac{CI_4}{RI} = 0.0263$$

$$E_5 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1 & 1/3 & 3 \\ 1/3 & 3 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}, CR_5 = \frac{CI_5}{RI} = 0.0734$$

通过式(1) — (2) 计算得出各判断矩阵的 CR 值均小于 0.1,说明文中所构建的判断矩阵通过一致性检验,可进行下一步分析。紧接着在此基础上构建粗糙集决策矩阵,求出粗糙成对比较矩阵,将上述 5 个判断矩阵表示为粗糙集决策矩阵的形式,表示为 F^* :

因此划分 3 的粗糙数为:

$$RN(3) = [\overline{Lim}(3) - \underline{Lim}(3)] = [2.75, 3.5]$$

同理可求出划分 2 的粗糙数为:

$$RN(2) = [\overline{Lim}(2) - \underline{Lim}(2)] = [2, 3.2]$$

划分 5 的粗糙数为:

$$RN(5) = [\overline{Lim}(5) - \underline{Lim}(5)] = [3.2, 5]$$

同理进一步可获取 F_{13} 、 F_{14} 、 F_{21} 、 F_{23} 、 F_{24} 、 F_{31} 、 F_{32} 、 F_{34} 、 F_{41} 、 F_{42} 、 F_{43} ,根据粗糙数和平均粗糙区间可构建用户需求 A1—A4 粗糙成对比较矩阵 G 。

$$G = \begin{bmatrix} [1.000, 1.000] & [2.780, 4.040] & [2.360, 2.840] & [3.170, 4.060] \\ [0.288, 0.393] & [1.000, 1.000] & [0.415, 1.070] & [1.120, 2.453] \\ [0.340, 0.440] & [1.730, 2.810] & [1.000, 1.000] & [2.747, 4.080] \\ [0.259, 0.301] & [0.624, 1.513] & [0.261, 0.391] & [1.000, 1.000] \end{bmatrix}$$

获取一级用户需求 A1—A4 的重要度。将上述粗糙成对比较矩阵 G 拆解为粗糙下边界矩阵 G^- 和粗糙上边界矩阵 G^+ :

$$G^- = \begin{bmatrix} 1.000 & 2.780 & 2.360 & 3.170 \\ 0.288 & 1.000 & 0.415 & 1.120 \\ 0.340 & 1.730 & 1.000 & 2.747 \\ 0.259 & 0.624 & 0.261 & 1.000 \end{bmatrix}$$

$$G^+ = \begin{bmatrix} 1.000 & 4.040 & 2.840 & 4.060 \\ 0.393 & 1.000 & 1.070 & 2.453 \\ 0.440 & 2.810 & 1.000 & 4.080 \\ 0.301 & 1.513 & 0.391 & 1.000 \end{bmatrix}$$

进一步求出粗糙下边界矩阵 G^- 和粗糙上边界矩阵 G^+ 对应的特征值和特征向量。

粗糙下边界矩阵 G^- 的特征值和特征向量分别为:
 $\lambda^- = 3.679$

$$H^- = (0.846, 0.235, 0.443, 0.180)$$

粗糙下边界矩阵 G^- 的特征值和特征向量分别为:
 $\lambda^+ = 5.318$

$$H^+ = (0.797, 0.308, 0.477, 0.207)$$

分别对特征向量 H^- 和 H^+ 进行规范化处理, 得到:

$$[f_1^-, f_2^-, f_3^-, f_4^-] = [0.497, 0.138, 0.260, 0.105]$$

$$[f_1^+, f_2^+, f_3^+, f_4^+] = [0.445, 0.172, 0.267, 0.116]$$

获取一级用户需求 A1—A4 的重要度:

$$f(G_i) = \frac{(|f_i^-| + |f_i^+|)}{2}$$

得到一级 A1—A4 的用户需求重要度为:

$$(f_1, f_2, f_3, f_4) = (0.471, 0.155, 0.263, 0.110)$$

同理可得到二级 Bi 的用户需求重要度, 进而得到智能空气净化器各项用户需求的初始重要度, 如表 2 所示。

2.3 划分用户需求类别

在用户需求分析阶段, 不仅仅只是考虑用户需求的相对权重, 还需综合考虑各项用户需求的属性, 明确各项用户需求对用户满意度的影响关系, 才能为智能空气净化器的设计提供更加全面有效的指导, 因此本文引入卡诺模型对用户需求进行进一步的属性划分。Kano 模型由狩野纪昭于 1984 年提出, 该模型最大的优点在于以用户满意度为前提, 将产品或者服务属性以用户满意程度进行类别划分, 主要将用户需求划分为五个类别属性^[14], 如图 2 所示。在具体研究中, 为避免传统 Kano 模型在进行问卷调查时, 不能准确反映出用户的实际体验与需求, 文中引入模糊数学理

论对问卷进行改进, 利用模糊区间值[0,1]代替确定性值 0 和 1, Kano 模型需求分类评估表, 见表 3。

表 2 智能空气净化器各项用户需求的初始重要度
Tab.2 Initial importance of various user needs of smart air purifiers

一级需求	二级需求	初始重要度
空气净化	净化空气质量	0.331
	减少二次污染	0.140
智能控制	控制风速的大小	0.039
	睡觉时低速运行	0.033
	空气质量较好时停止工作	0.019
	控制净化时间	0.012
	手机远程控制	0.043
	语音控制	0.009
信息可视化	了解滤网的使用时间	0.039
	查看当前室内 PM 值	0.108
	查看甲醛含量	0.079
	显示空气质量的好坏	0.036
人机造型	外观简约	0.045
	方便移动	0.034
	便于拆卸更换	0.014
	防止小孩乱按	0.018

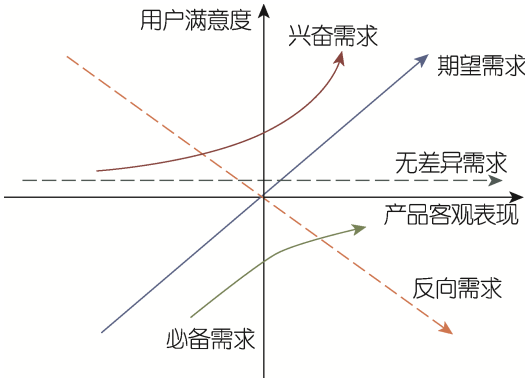


图 2 Kano 模型用户需求类别属性
Fig.2 Kano model user demand category attributes

表 3 Kano 模型需求分类评估表
Tab.3 Kano model requirements classification evaluation table

		具备该项需求要素				
		很满意	应该如此	无所谓	勉强接受	不满意
不具 备该 项要 求要 素	很满意	Q	A	A	A	O
	应该如此	R	I	I	I	M
	无所谓	R	I	I	I	M
	勉强接受	R	I	I	I	M
	不满意	R	R	R	R	Q

文中以模糊卡诺模型问卷的形式^[15]将前文关于智能空气净化器的 16 项用户需求制作成调查问卷,

发放给用户填写。此次调查共发放 100 份，最终收回有效问卷 81 份，对收回的优先问卷进行整理，并根据模糊卡诺模型的分类步骤^[16-17]，对用户需求进行属性划分，最终结果如表 4 所示。

表 4 用户需求类别属性划分结果
Tab.4 Classification results of user demand category attributes

用户需求	A	O	M	I	R	Q	需求类别
净化空气质量	0	0	81	0	0	0	M
减少二次污染	7	25	49	0	0	0	M
控制风速的大小	13	36	32	0	0	0	O
睡觉时低速运行	34	21	26	0	0	0	A
空气质量较好时停止工作	20	23	38	0	0	0	M
控制净化时间	25	14	42	0	0	0	M
手机远程控制	3	26	52	0	0	0	M
语音控制	37	15	29	0	0	0	A
了解滤网的使用时间	5	33	43	0	0	0	M
查看当前室内 PM 值	0	30	51	0	0	0	M
查看甲醛含量	0	25	56	0	0	0	M
显示空气质量的好坏	12	39	30	0	0	0	O
外观简约	35	27	19	0	0	0	A
方便移动	20	26	35	0	0	0	M
便于拆卸更换	17	36	28	0	0	0	O
防止小孩乱按	16	20	45	0	0	0	M

2.4 调整用户需求重要度

在实际的研究过程中，对各用户需求进行分类，在确定用户需求重要度方面具有一定的指导意义，因此在确定用户需求重要度时，引入 λ 作为用户需求重要度调整系数，用户需求类别中 A、O、M 对应的 λ 值分别为 2、1、0.5^[18]，具体的用户需求重要度调整公式为：

$$G_j^* = G_j \lambda_j / \sum_{j=1}^n G_j \lambda_j \tag{3}$$

式中： G_j^* 为调整之后的最终重要度； G_j 为用户需求的初始重要度。

综合用户需求初始重要度及用户需求属性划分结果，根据式（3）对初始用户需求重要度进行调整，计算得出智能空气净化器用户需求最终重要度如表 5 所示。

2.5 确定质量特征

QFD 是由日本著名学者 Akao 等人在 1972 年提出的一项品质管理系统，QFD 作为一个为开发设计人员提供的面向用户的实用手段，可以将用模糊语言描述的基本要求转化为可行的替代方案，用于改善各

表 5 智能空气净化器用户需求最终重要度
Tab.5 Ultimate importance of user needs of smart air purifiers

用户需求	初始重要度	需求类别属性	调整系数	最终重要度
B1	0.331	M	0.5	0.245
B2	0.140	M	0.5	0.104
B3	0.039	O	1.0	0.058
B4	0.033	A	2.0	0.098
B5	0.019	M	0.5	0.014
B6	0.012	M	0.5	0.009
B7	0.043	M	0.5	0.032
B8	0.009	A	2.0	0.027
B9	0.039	M	0.5	0.029
B10	0.108	M	0.5	0.080
B11	0.079	M	0.5	0.059
B12	0.036	O	1.0	0.054
B13	0.045	A	2.0	0.132
B14	0.034	M	0.5	0.025
B15	0.014	O	1.0	0.021
B16	0.018	M	0.5	0.013

种系统的需求，并转换为优先改进活动^[19-21]。运用 QFD 可从用户角度出发，将用户有关智能空气净化器的主观需求准确地转化为具体的设计要求，使所设计的产品能真正地满足用户的切实需求，进而提高用户对智能空气净化器的满意度。

为了降低技术知识获取的片面性、差异性，通过查阅文献，通过对智能空气净化器企业技术人员进行访谈等方式，收集智能空气净化器技术特性相关资料，并进一步整合后形成可描述的设计要求，具体智能空气净化器的设计要求如表 6 所示。

2.6 分析用户需求与设计要素关系矩阵

在确定了家用智能空气净化器的用户需求和设计要求后，通过构建质量屋建立用户需求和设计要求之间的关系矩阵（见表 7），以便明确家用智能空气净化器的关键设计要求，进而指导设计。

2.7 识别关键性设计要求

从表 7 可以看出，在智能空气净化器的研发过程中，滤网模块、智能检测模块、信息显示模块、远程 APP 控制模块以及风速控制模块五项设计指标重要度达到 72.3%，占有较大比重，因此，在智能空气净化器的方案设计中，要着重考虑用户在滤网模块、智能检测模块、信息显示模块、远程 APP 控制模块以及风速控制模块这五方面的需求，进而有效满足用户切实需求，提升用户满意度。

表 6 智能空气净化器的设计要求
Tab.6 Design requirements for smart air purifiers

智能空气净化器设计要求										
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
滤网模块	智能检测模块	远程 APP 控制模块	信息显示模块	风速控制模块	定时模块	语音控制模块	形态设计	移动模块	可拆卸结构设计	童锁模块

表 7 关系矩阵
Tab.7 Relationship matrix

用户需求	质量技术特性										
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
B1	●	●			△	△		△	△	△	
B2	●	○								△	
B3			○		●		○				
B4			○		●		○				
B5		●	○	○		△					
B6						●	△				△
B7	△		●	●	○	○			○		△
B8					○	○	●				
B9	●	●	○	○				△		●	
B10			○	●							
B11			○	●							
B12			○	●							
B13				△				●	△	△	
B14			△					△	●		
B15								△		●	
B16											●
重要度系数 (%)	15.8	14.5	13.2	10.7	11.2	5.5	5.4	6.7	8.7	7.2	1.1
排序	1	2	3	5	4	9	10	8	6	7	11

注：●表示强相关，取值为 5；○表示中相关，取值为 3；表示弱相关，取值为 1；空白表示无相关，取值为 0。

3 智能空气净化器设计

3.1 设计分析

从以上分析结果可以看出，滤网模块这一设计要求所占比重最大，在设计当中应当着重考虑。滤网模块作为智能空气净化器的核心组成部分，能有效过滤掉空气中的大颗粒灰尘、纤维绒、可吸入颗粒以及甲醛等，进而能为用户创造一个洁净的居住环境，在空气净化过程中发挥着及其重要的作用。可以看出，用户最注重的功能也是空气净化器最核心的功能，即净化空气。因此，在滤网模块设计方面，采用三层过滤网进行空气净化，包括由聚酯纤维材料制成的粗效过滤网、玻璃纤维材料组成的高效 HEPA 过滤网以及活性炭过滤网，此外，采用 UV 紫外线对 HEPA 过滤网上附着的细菌病毒进行定向消杀，防止细菌病毒在滤网上滋生繁殖形成二次污染；其次智能检测模块这一设计要求占比也比较大，说明用户非常关心空气净化的

效果及状况，基于此，在智能检测模块设计方面，主要通过多种传感器，包括 PM2.5 传感器、光照度传感器、温湿度传感器以及甲醛传感器等，通过提取室内空气，经过单片机处理和计算检测当前室内空气质量情况，空气质量状况可通过灯带颜色显示，绿色、橙色以及红色分别代表优、良、差三种空气质量状况，便于用户直观地了解当前室内空气的整体质量状况；设计要求占比排在第三的是信息显示模块，结合前期用户需求调研，在设计中设定有一块液晶触控显示屏，可将当前室内空气中的甲醛含量、PM2.5 浓度以及空气温度和湿度等信息以量化的方式显示在显示屏上，便于用户对当前空气质量有一个更加具象的认知，同时考虑到风速控制模块所占比重较高，在液晶触控显示屏上设定有风速大小调整控制功能按键，分为四档风速，用户可根据自身需求调节风速大小；最后，在远程 APP 控制模块设计方面，设计了与智能空气净化器配套的手机端 APP，用户可通过 APP 远程控制智能空气净化器并查看相关数据。

基于以上功能分析,构建了如图 3 所示的智能空气净化器工作原理示意图。进一步通过三维软件将设计方案加以渲染展现,最终整体效果图如图 4 所示,智能空气净化器爆炸图如图 5 所示,APP 控制界面设计如图 6 所示。

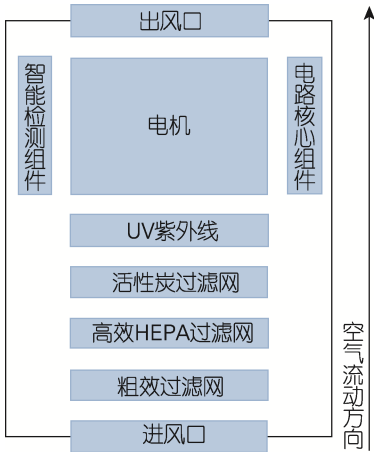


图 3 智能空气净化器工作原理示意图
Fig.3 Schematic diagram of the working principle of the smart air purifier



图 4 智能空气净化器效果图
Fig.4 Effect diagram of smart air purifier

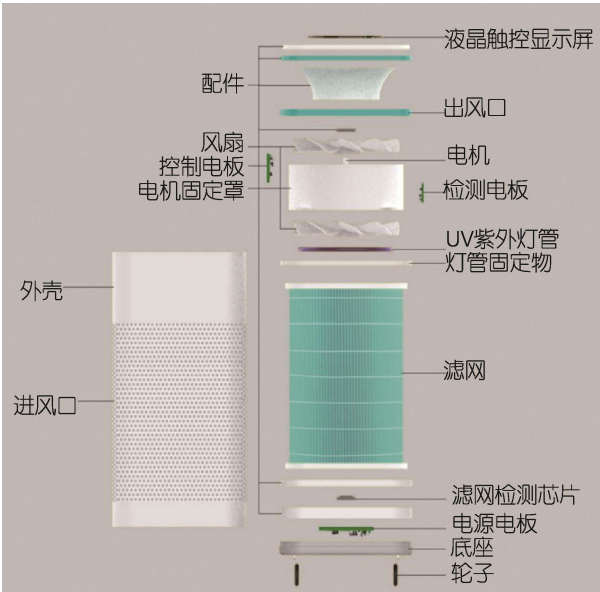


图 5 智能空气净化器爆炸图
Fig.5 Exploded view of smart air purifier



图 6 APP 部分界面展示
Fig.6 Part of the APP interface display

在完成智能空气净化器设计方案后,邀请 10 位用户运用李克特 5 级对设计方案进行总体评价,在用户评价之前向用户详细地介绍了设计方案,便于用户在评分之前对评价对象有一个良好的认知。最后计算 10 位用户评分的算术平均值,结果为 4.3,说明该设计方案能有效满足用户需求,得到了良好的用户评价。

4 结语

用户需求既是产品存在的缘由,也是产品设计的依据所在,如何从众多用户需求中识别出重要需求及其优先级,并转化为设计要求为产品设计研发提供导向,是提升用户体验、提高用户满意度的关键一环。基于此,本文通过集成 RAHP/FKM/QFD 模型,对智能空气净化器的用户需求进行较为全面的分析,首先基于用户调研获取用户需求池,并利用 KJ 法构建了用户需求层次模型;其次在用户需求重要度分析阶段引入粗糙集理论,运用 RAHP 较为客观地求解用户需求初始重要度,并借助 FKM 基于用户满意度对用户需求进行类别划分,进而引入用户需求重要度调整系数,确定了融合用户满意度的用户需求最终重要度;然后通过 QFD 模型将用户需求转化为设计要求,识别出了智能空气净化器在滤网模块、智能检测模块、信息显示模块、远程 APP 控制模块这几个方面的关键设计要求;最后根据研究结果对智能空气净化器进行了相应的方案设计,并通过用户评分,设计方案获得了较高的用户满意度,验证了本文所构建的研究流程具有一定的可操作性,有助于设计人员更明确地设计出符合用户需求的产品。

参考文献:

[1] FINE P, GOLDACRE B, HAINES A. Epidemiology—a Science for the People[J]. Lancet (London, England), 2013, 381(9874): 1249-1252.

[2] 苏珂. 造梦者的防霾梦想[J]. 中国外资, 2015(1): 44-45. SU Ke. Dreamer's Dream of Preventing Haze[J]. For-

- eign Investment in China, 2015(1): 44-45.
- [3] MØLHAVE L. The Sick Buildings and other Buildings with Indoor Climate Problems[J]. *Environment International*, 1989, 15(1-6): 65-74.
- [4] GOUYOU-BEAUCHAMPS J. Air Conditioning[J]. *Aerobiologia*, 1990, 6(1): 68-69.
- [5] 张寅平. 中国室内环境与健康研究进展报告-2012, 2012[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- ZHANG Yin-ping. Research advance report of indoor environment and health in China[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [6] 李先庭, 杨建荣, 王欣. 室内空气品质研究现状与发展[J]. *暖通空调*, 2000, 30(3): 36-40.
- LI Xian-ting, YANG Jian-rong, WANG Xin. Status and Development of Indoor Air Quality Research[J]. *Hv & Ac*, 2000, 30(3): 36-40.
- [7] 朱东梅. 空气净化器迎来战国时代[J]. *现代家电*, 2013(13): 60-62, 7.
- ZHU Dong-mei. Air Purifier Ushers in Warring States Period[J]. *Modern Household Appliances*, 2013(13): 60-62, 7.
- [8] 梁浩, 刘卓, 张芳燕. 基于用户需求建模的血压计造型设计[J]. *机械设计*, 2015, 32(8): 126-128.
- LIANG Hao, LIU Zhuo, ZHANG Fang-yan. Shape Design of Blood Pressure Meter Based on User Requirement Modeling[J]. *Journal of Machine Design*, 2015, 32(8): 126-128.
- [9] 陈国强, 戴成, 申正义, 等. 基于 QFD 与 FBS 的可移动电力检测设备创新设计[J]. *包装工程*, 2021, 42(2): 43-50.
- CHEN Guo-qiang, DAI Cheng, SHEN Zheng-yi, et al. Design of Movable Electric Testing Station Based on QFD and FBS[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(2): 43-50.
- [10] 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.
- [11] 白彦伟, 乔凤斌, 王瑾, 等. 质量功能配置在卫星包装箱开发中的应用[J]. *上海航天*, 2014, 31(S1): 122-125.
- BAI Yan-wei, QIAO Feng-bin, WANG Jin, et al. Application of Quality Function Deployment on Packaging Device for Satellite[J]. *Aerospace Shanghai*, 2014, 31(S1): 122-125.
- [12] 张幸荣. 以用户需求为导向的产品设计研究[J]. *包装工程*, 2020, 41(20): 303-305, 309.
- ZHANG Xing-rong. Product Design Oriented by User Demand[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(20): 303-305, 309.
- [13] 王晓曦, 熊伟. 质量功能展开中顾客需求重要度确定的粗糙层次分析法[J]. *计算机集成制造系统*, 2010, 16(4): 763-771.
- WANG Xiao-tun, XIONG Wei. Rough AHP Approach for Determining the Importance Ratings of Customer Requirements in QFD[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2010, 16(4): 763-771.
- [14] ATLASON R S, STEFANSSON A S, WIETZ M, et al. A Rapid Kano-Based Approach to Identify Optimal User Segments[J]. *Research in Engineering Design*, 2018, 29(3): 459-467.
- [15] MATZLER K, HINTERHUBER H H. How to Make Product Development Projects more Successful by Integrating Kano's Model of Customer Satisfaction into Quality Function Deployment[J]. *Technovation*, 1998, 18(1): 25-38.
- [16] 余森林, 陈茜月. 基于模糊 Kano 模型的户外音箱创新设计研究[J]. *包装工程*, 2020, 41(24): 202-208.
- YU Sen-lin, CHEN Xi-yue. Innovative Design of Outdoor Speaker Based on Fuzzy-Kano Model[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(24): 202-208.
- [17] 席乐, 张辉, 程建新. 基于模糊 Kano 模型的游客服务机器人造型设计[J]. *机械设计*, 2017, 34(7): 110-113.
- XI Le, ZHANG Hui, CHENG Jian-xin. Modeling Design of Tourist Service Robot Based on Fuzzy-Kano Model[J]. *Journal of Machine Design*, 2017, 34(7): 110-113.
- [18] 唐中君, 龙玉玲. 基于 Kano 模型的个性化需求获取方法研究[J]. *软科学*, 2012, 26(2): 127-131.
- TANG Zhong-jun, LONG Yu-ling. Research on Method of Acquiring Individual Demand Based on Kano Model[J]. *Soft Science*, 2012, 26(2): 127-131.
- [19] WANG Zeng-qiang, FUNG R Y K, LI Yan-lai, et al. An Integrated Decision-Making Approach for Designing and Selecting Product Concepts Based on QFD and Cumulative Prospect Theory[J]. *International Journal of Production Research*, 2018, 56(5): 2003-2018.
- [20] WU Xin, NIE Lei, XU Meng. Robust Fuzzy Quality Function Deployment Based on the Mean-End-Chain Concept: Service Station Evaluation Problem for Rail Catering Services[J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 263(3): 974-995.
- [21] BARAD M. Flexibility-Oriented Strategies[M]//Strategies and Techniques for Quality and Flexibility. Cham: Springer International Publishing, 2017: 31-57.

责任编辑: 马梦瑶