

基于 Kano-QFD-PUGH 的激光清洁机设计研究

周红宇, 朱倩, 王嘉伦, 张学敏, 龚雯璟

(湖北工业大学 工业设计学院, 武汉 430068)

摘要: **目的** 解决现有激光清洁机产品与烟丝切割机设备不适配的问题, 提升用户的产品操作效率与使用满意度。**方法** 通过 Kano 模型进行用户需求分析与提取, 得到需求要素权重排序, 明确重点需求; QFD 质量功能展开解决需求到功能的转换问题, 获取产品功能要素及对应设计优先级顺序指导设计展开; 利用 PUGH 决策矩阵对设计产出方案从需求要素与功能要素角度进行综合评价, 获得最优设计方案。**结果** Kano-QFD-PUGH 的集成模型, 通过定位用户需求, 从造型、功能和安全性角度出发, 将其映射为相对应的设计需求, 指导产出激光清洁机最优设计方案, 最终方案操作合理、安全可靠, 满足用户需求。**结论** 基于 Kano-QFD-PUGH 模型的产品开发流程能够提升激光清洁机设计要素提取的准确度, 所得方案有效解决了激光清洁机与特殊设备适配问题, 验证了该方法在设计实践中的可行性与指导作用, 对同类清洁设备的产品开发与设计优化研究具有一定的参考价值。

关键词: 激光清洁机; 产品开发; Kano 模型; QFD 质量功能展开; PUGH 决策矩阵

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)10-0164-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.10.016

Design of Laser Cleaning Machine Based on Kano-QFD-PUGH

ZHOU Hong-yu, ZHU Qian, WANG Jia-lun, ZHANG Xue-min, GONG Wen-jing

(School of Industrial Design, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem that existing laser cleaning machine products do not match the tobacco cutting equipment and improve the user's product operation efficiency and use satisfaction. Kano model was used to analyze and extract user needs, get the weight order of need elements, and define the key needs. QFD quality function deployment solved the transformation problem from need to function and obtained the product function elements and corresponding design priority order to guide design deployment. PUGH decision matrix was used to comprehensively evaluate the design output scheme from the perspective of need elements and function elements, and the optimal design scheme was obtained. The integrated model of Kano-QFD-PUGH was mapped to the corresponding design needs by positioning user needs from the perspective of modeling, function and safety and used to guide the output of optimal design scheme of laser cleaning machine. Thus, the final scheme was reasonable in operation, safe and reliable and could meet user needs. The product development process based on the Kano-QFD-PUGH model can improve the extraction accuracy of laser cleaning machine design elements. The scheme effectively solves the matching problem between the laser cleaning machine and the special equipment and verifies the feasibility and guiding role of this method in design practice, which has certain reference value for product development and design optimization research of similar cleaning equipment.

KEY WORDS: laser cleaning machine; product development; Kano model; QFD quality function deployment; PUGH decision matrix

收稿日期: 2022-12-14

基金项目: 国家重点研发计划子课题资助项目 (2018YFD0301303-4); 湖北省教育厅教学研究项目 2021309; 国家级大学生创新创业训练计划 (202110500018)

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。

通信作者: 朱倩 (1998—), 女, 汉族, 硕士生, 主攻智能装备。

中国作为烟草消费与生产的第一大国^[1], 全国烟民数量已超过 3 亿人。国内整体烟草行业经济发展迅速, 市场规模不断扩大, 烟草产品已远销世界各地。烟丝切割是烟草产品生产加工过程中的重要环节, 切割设备每日需不间断工作, 易导致烟丝输送铜排链产生烟油积垢和烟丝附着等情况, 影响切丝工序质量, 造成烟丝宽度不均匀等问题。目前大多工厂采用人工拆洗的分级保养方式, 将铜管逐根拆卸进行清洗, 该方式劳动强度大、操作难度高, 并且清洁质量不可控, 还会加快轴承、驱动轮零部件的锈蚀损坏。激光清洗技术具有高效、准确、快捷、成本低等特点, 适用于金属材料表面清洁^[2], 此技术适合作为新技术引入, 改进烟草工厂传统的清洁方式。由于清洁对象及工作环境的特殊性, 现有的激光清洁机产品无法满足实际需求, 因此展开激光清洁机产品开发设计。在产品的设计过程中, 需要充分考虑到相关的用户期望因素及条件限制因素, 并将其量化成具体的产品设计要素^[3], 在最后产品方案的筛选与决策阶段^[4], 除了从感性的视觉角度判断外, 还需要通过逻辑化思维来进行理性的权衡分析。本次研究使用 Kano 模型结合 QFD (Quality Function Deployment, 质量功能展开) 进行用户需求及产品设计要素的分析与提取, 利用 PUGH 决策矩阵 (PUGH Decision Matrix, 普式矩阵) 得到最优方案, 最终完成此次激光清洁机产品开发设计。

1 Kano-QFD-PUGH 方法综述

Kano 模型主要用于研究用户的个性化需求, 对其进行定性分析并合理分类^[5], 是产品设计调研阶段的一种需求解析模型。它将用户满意度的反馈结果映射到产品的功能设计上, 进而对用户需求进行优先层级划分排序, 便于后续准确定位产品设计切入点, 提高设计效率。QFD 质量功能展开主要用于研究用户需求与产品功能属性之间的关系, 对两者进行定量分析并相互连接^[6], 是产品设计分析阶段的一种功能转换工具。它通过需求功能要素矩阵, 得到用户反馈结果及产品功能要素间的关联度, 依此对产品功能进行取舍判断, 起到缩短产品开发周期的作用。PUGH 决策矩阵是一种操作简单灵活的决策工具, 它通过与参照方案之间的对比评分来进行候选方案的定性排序^[7], 利用产品设计需求进行多层次筛选, 有助于决策的合理性、逻辑性。这三种研究方法都各有其长处, Kano 模型解决用户需求因素定性分析问题, QFD 质量功能展开解决功能设计定量分析问题, PUGH 决策矩阵解决评价思维逻辑问题, 但每种方法在产品的设计过程中都具有使用局限性。因此, 将三者结合使用贯穿本次设计过程: Kano 为功能设计分析做好需求连

接的前期铺垫, QFD 弥补定性分析主观性强、无法精准判断等问题, 两者相辅相成、优势互补, 完成以 Kano-QFD 设计方法为指导的产品设计方案产出, 最后使用 PUGH 进行方案评价决策, 通过设计指标评分排序来验证产品的适用性。三者共同提升设计过程的可靠性与科学性, 形成一个完整的产品开发流程。

目前, 已有部分学者使用了 Kano、QFD 及 PUGH 方法, 从不同的角度对各种产品进行设计与优化研究。韦艳丽等^[8]使用 Kano-QFD 模型结合 EPO 模型, 从可用性角度对云养宠 APP 的交互功能进行方案设计。邓杏仪等^[9]使用用户旅程图结合 Kano-QFD 模型, 围绕用户需求对健身游戏系统进行优化改进。杨静等^[10]提出了一种 AHP 集成 PUGH 的评价模型, 完成了针对概念设计的产品综合评价体系构建。李惠等^[11]提出融合 QFD 与 PUGH 的评价方法, 结合层次分析法完善了针对人机界面评价流程。何若乔等^[12]将 Kano 模型和 PUGH 引入 QFD 中, 优化了老年人的车载信息系统, 验证了此模型的客观实用性。根据上述文献可知, Kano、QFD 及 PUGH 三种方法已被引入各个领域中使用, 但目前还没有形成完善且统一的研究范式, 尚存一定的研究空间及价值。

2 基于 Kano-QFD-PUGH 的激光清洁机设计流程构建

Kano-QFD-PUGH 集成的设计研究方法, 贯穿了产品的用户需求提取、设计需求转化与设计方案决策验证的设计全流程, 保证了用户需求转化为功能设计要素过程中的准确性, 以及最优设计方案选定的科学性。结合本次设计项目的产品特性, 对全局进行阶段性规划, 具体操作流程如下。

1) 通过文献阅读、实地考察、用户访谈、问卷调查等方式收集与总结激光清洁机用户需求, 并进行需求层次划分。

2) 以所获的用户需求为中心, 制作 Kano 问卷进行深入调研, 通过问卷转化数据进行用户需求定性划分及需求重要度计算, 为质量屋的构建提供数据支持。

3) 总结产品功能设计需求, 并通过专家打分构建功能需求映射矩阵, 辅助质量屋构建。

4) 构建激光清洁机产品质量屋 (HOQ), 对功能设计需求量化处理并进行功能设计优先级分析, 以此为依据进行设计展开。

5) 为保证输出方案的科学性及适用性, 使用 PUGH 决策方法对设计方案进行粗筛, 缩小选择范围。

6) 对剩余方案进行设计需求评级及综合评分, 输出最优方案。激光清洁机产品设计流程框架见图 1。

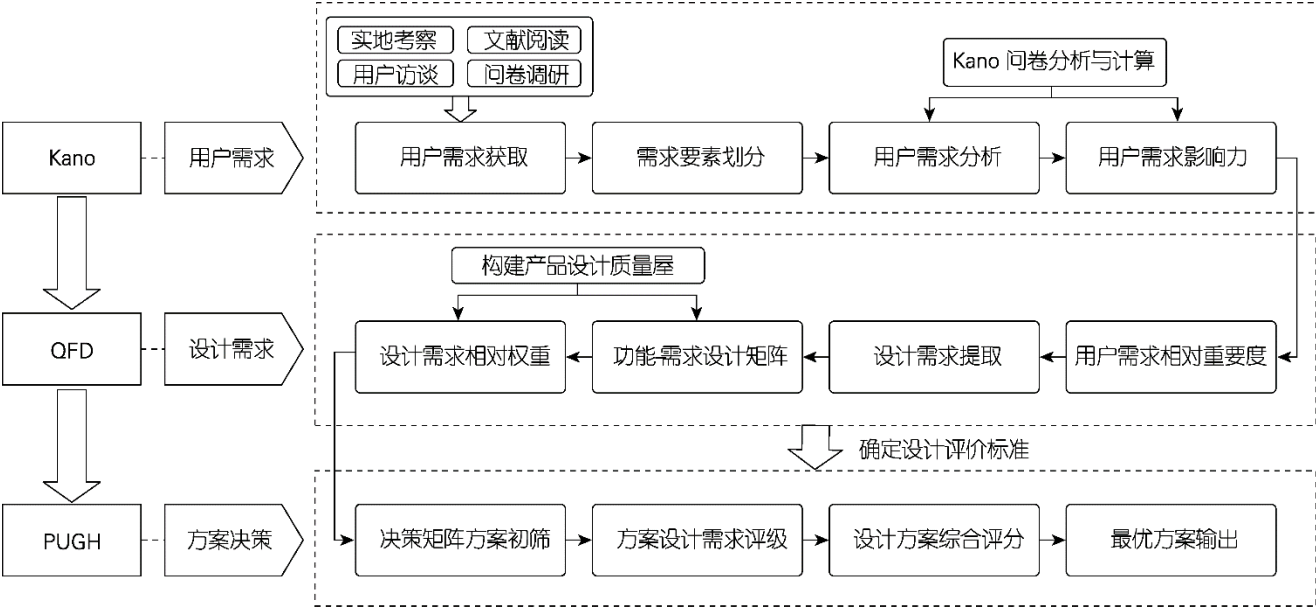


图 1 激光清洗机设计流程框架
Fig.1 Design process framework of laser cleaning machine

3 基于 Kano 模型的激光清洗机用户需求分析

3.1 用户需求要素划分

Kano 模型是根据用户需求划分原理所开发出的挖掘工具,而用户需求是对产品进行设计的依据来源^[13]。本次设计项目通过与对接人员及相关工作人员的交流访谈,再到产品实际应用场景进行实地考察,最后通过问卷分析和文献查阅来确定用户需求。最终决定从造型指标 U_1 、功能指标 U_2 、安全性指标 U_3 三个方面出发,作为激光清洗机的一级用户需求要素。并划分出科技感 U_{11} 、轻量化 U_{12} 、外形简洁 U_{13} 、操作便捷 U_{21} 、方便检修 U_{22} 、手推移动 U_{23} 、状态监测 U_{24} 、三轴运动 U_{25} 、位置固定 U_{26} 、散热通风 U_{27} 、多工位适配 U_{28} 、机械臂防护 U_{29} 、故障反馈 U_{31} 、结实耐用 U_{32} 、安全保障 U_{33} 、激光防外泄 U_{34} ,这 16 项设计任务为二级用户需求要素。构建的激光清洗机

用户需求指标体系见图 2。

3.2 Kano 问卷分析

Kano 模型根据用户满意度将需求要素划分成五类^[14]:魅力型需求 A,即意想不到的要素,若具备则用户满意度大幅上涨;期望型需求 O,即用户希望的要素,它与满意度呈正向关系;无差异型需求 I,即可忽略的要素,其不会导致用户满意度变化;基本型需求 M,即产品的基础质量,若不具备则用户满意度大幅下滑;逆向型需求 R,即不希望产品具备的要素,它与满意度呈反向关系。通过 Kano 问卷对用户需求重要度进行进一步分析,需求分类度量见表 1。

本次激光清洗机设计属于定制类产品,具有面向用户范围小、适用人群固定等特点。因此,确定调研人群包括项目对接人员 5 名、技术工程师 6 名、生产线工作人员 25 名、相关产品专家 3 名、设计团队成员 6 名,共计 45 人。统一发放 Kano 问卷并回收后,对获得的需求结果进行权重计算,计算步骤如下。

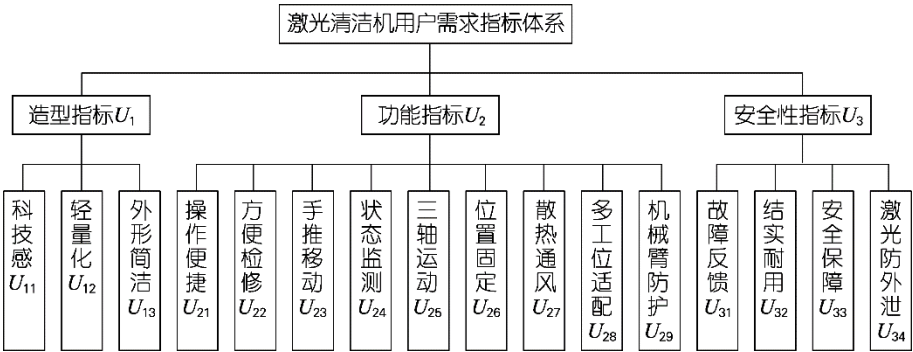


图 2 激光清洗机用户需求指标体系
Fig.2 User need index system of laser cleaning machine

表 1 Kano 需求分类度量
Tab.1 Kano need classification scale

用户需求		不具备该需求要素				
		很满意	理应如此	无所谓	勉强接受	很不满意
具备该需求要素	很满意	Q	A	A	A	O
	理应如此	R	I	I	I	M
	无所谓	R	I	I	I	M
	勉强接受	R	I	I	I	M
	很不满意	R	R	R	R	Q

- 1) 将每项需求要素获得的 A、O、I、M 评价个数分别记为 a 、 o 、 i 、 m 。
- 2) 计算第 i 个需求要素对用户满意度的上升率 T_i , 见式 (1)。
- $$T_i = \frac{a+o}{a+o+i+m} \tag{1}$$
- 3) 计算第 i 个需求要素对用户满意度的下降率

P_i , 见式 (2)。

$$P_i = -\frac{o+m}{a+o+i+m} \tag{2}$$

4) 计算第 i 个需求要素的影响力权重 ω_i , 见式 (3)。

$$\omega_i = \max \left(\frac{T_i}{\sum_{i=1}^n T_i}, \left| \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \right| \right) \tag{3}$$

根据式 (1) — (3) 的计算, 得出问卷分析及需求影响力结果, 见表 2。其中, 魅力型需求 A 为状态监测 U_{24} 、多工位适配 U_{28} 、故障反馈 U_{31} 、安全保障 U_{33} ; 期望型需求 O 为轻量化 U_{12} 、方便检修 U_{22} 、位置固定 U_{26} 、机械臂防护 U_{29} ; 无差异型需求 I 为科技感 U_{11} ; 基本型需求 M 为外形简洁 U_{13} 、操作便捷 U_{21} 、手推移动 U_{23} 、三轴运动 U_{25} 、散热通风 U_{27} 、结实耐用 U_{32} 、激光防外泄 U_{34} 。

表 2 Kano 需求分析及影响力结果
Tab.2 Kano need analysis and impact results

需求	人数/个					属性	T_i	P_i	ω_i	需求	人数/个					属性	T_i	P_i	ω_i
	A	O	I	M	R						A	O	I	M	R				
U_{11}	9	7	20	8	1	I	0.364	-0.341	0.364	U_{26}	8	16	10	9	2	O	0.558	-0.581	0.581
U_{12}	7	14	12	11	1	O	0.477	-0.568	0.568	U_{27}	10	5	10	20	0	M	0.333	-0.556	0.556
U_{13}	8	4	14	17	2	M	0.279	-0.488	0.488	U_{28}	17	8	10	8	2	A	0.581	-0.372	0.581
U_{21}	7	11	6	21	0	M	0.400	-0.711	0.711	U_{29}	10	17	8	9	1	O	0.614	-0.591	0.614
U_{22}	10	19	8	8	0	O	0.644	-0.600	0.644	U_{31}	23	4	10	8	0	A	0.600	-0.267	0.600
U_{23}	6	4	12	20	3	M	0.238	-0.571	0.571	U_{32}	8	6	10	21	0	M	0.311	-0.600	0.600
U_{24}	19	8	10	7	1	A	0.614	-0.341	0.614	U_{33}	18	11	7	9	0	A	0.644	-0.444	0.644
U_{25}	6	8	8	23	0	M	0.311	-0.689	0.689	U_{34}	11	9	8	17	0	M	0.444	-0.578	0.578

4 基于 QFD 模型的激光清洗机设计要素分析

4.1 用户需求重要度改进

通过对市场上相关产品的调研与竞品分析, 明确现有产品的设计重点与质量均值, 便于规划本次设计的目标质量, 完成需求要素的量化分析。围绕需求要素, 选取市面上设计较为成熟的三款激光清洁设备展开产品质量要素评价问卷调查, 分别是 LaserAX 公司 Robot Laser Cleaning Machine、Laser Photonics 公司 CleanTech™ Titan Express、Duellk 公司机器人激光清洗工作站。调研对象为装备产品设计师及相关行业从业人员, 采用分值打分方式, 以 5 个分值 (1, 2, 3, 4, 5), 分别对应等级 (差, 一般, 中, 良好, 优秀) 进行评价。汇总结果后, 通过计算可以得到用户需求重要度改进率 R_i , 见式 (4)。

$$R_i = \frac{Q_b}{Q_a} \tag{4}$$

其中: Q_a 为现有设计的需求质量均值, Q_b 为目标需求质量取值。问卷调查结果及式 (4) 计算数据见表 3。

4.2 HOQ 质量屋构建

HOQ 质量屋构建是质量功能展开的核心部分^[15], 其构建过程主要是从用户需求要素到设计功能要素的映射与转换, 得到设计要素排序来控制产品设计质量。

以激光清洗机产品设计构建质量屋。首先, 对已获得的用户需求展开进一步整理, 以便于后续设计工程推进为原则进行需求划分, 确定激光清洗机设计功能要素为造型简洁大方 G_1 、色彩搭配协调 G_2 、轻量化设计 G_3 、材料工艺合理 G_4 、人机交互设计 G_5 、可移动设计 G_6 、散热口位置规划 G_7 、机

表 3 需求要素质量规划
Tab.3 Need element quality planning

需求	竞品评价			Q_a	Q_b	R_i	需求	竞品评价			Q_a	Q_b	R_i
	R	C	D					R	C	D			
U_{11}	3	2	2	2	3	1.5	U_{26}	4	4	3	4	4	1
U_{12}	2	1	3	2	2	1	U_{27}	3	3	3	3	4	1.333
U_{13}	3	3	3	3	3	1	U_{28}	2	2	3	2	3	1.5
U_{21}	4	4	3	4	4	1	U_{29}	2	3	3	3	4	1.333
U_{22}	3	2	3	3	4	1.333	U_{31}	2	3	2	2	3	1.5
U_{23}	3	2	2	2	3	1.5	U_{32}	4	4	3	4	4	1
U_{24}	2	3	3	3	4	1.333	U_{33}	3	4	3	3	4	1.333
U_{25}	3	4	4	4	4	1	U_{34}	3	4	3	3	3	1

械臂防护罩 G_8 、监测摄像头 G_9 、检修门设计 G_{10} 、多尺寸适配 G_{11} 、可视化设计 G_{12} 、多重启动机制 G_{13} 、故障反馈设计 G_{14} 、防误触设计 G_{15} 、稳定性设计 G_{16} 。其次，以 5、3、1、0 由强到弱为标度，表示需求要素与功能要素之间的关联度，构建功能需求设计矩阵 C_{ij} 最后，对需求重要度 D_i 及其相对权重 D'_i 、设计功能重要度 E_j 及其相对重要度 E'_j 进行计算，见式（5）—（8）。

$$D_i = \frac{\omega_i}{R_i} \tag{5}$$

$$D'_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^m D_i} \tag{6}$$

$$E_j = \sum_{i=1}^m D'_i C_{ij} \tag{7}$$

$$E'_j = \frac{E_j}{\sum_{j=1}^n E_j} \tag{8}$$

根据以上步骤，构建激光清洗机设计质量屋，如表 4 所示。由此可得到其功能要素相对重要度优先级排序结果，见图 3。

表 4 激光清洗机设计质量屋
Tab.4 Design quality house of laser cleaner machine

需求要素	设计功能要素																D_i	$D' / \%$
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8	G_9	G_{10}	G_{11}	G_{12}	G_{13}	G_{14}	G_{15}	G_{16}		
U_{11}	5	3	3	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.243	3.1
U_{12}	3	3	5	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.568	7.2
U_{13}	5	3	3	3	1	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.488	6.2
U_{21}	0	0	0	0	5	1	0	1	0	1	1	3	0	0	5	0	0.711	9.0
U_{22}	0	0	0	0	3	0	1	1	0	5	0	3	0	5	1	1	0.483	6.1
U_{23}	0	0	3	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.381	4.8
U_{24}	0	0	0	0	3	0	0	3	5	0	0	5	1	3	1	0	0.461	5.8
U_{25}	0	0	3	0	3	5	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0.689	8.7
U_{26}	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	5	0.581	7.3
U_{27}	3	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0.417	5.3
U_{28}	1	1	0	0	1	0	0	5	0	0	5	0	0	0	0	1	0.387	4.9
U_{29}	1	0	0	1	0	0	0	5	3	0	0	3	3	0	0	0	0.461	5.8
U_{31}	0	3	0	0	0	0	0	0	5	3	0	1	1	5	3	0	0.400	5.0
U_{32}	0	0	0	5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0.600	7.6
U_{33}	0	0	0	3	0	0	3	1	1	1	0	1	3	3	0	0	0.483	6.1
U_{34}	0	0	0	1	0	0	0	5	3	0	0	1	5	1	1	0	0.578	7.3
E_j	94.7	69.4	104.4	127.1	125.2	111.8	72.6	154.5	99.4	65.9	87.7	115.4	83	98.5	79.2	118		
$E'_j / \%$	5.9	4.3	6.5	7.9	7.8	7	4.5	9.6	6.2	4.1	5.5	7.2	5.2	6.1	4.9	7.3		
排序	10	15	7	2	3	6	14	1	8	16	11	5	12	9	13	4		

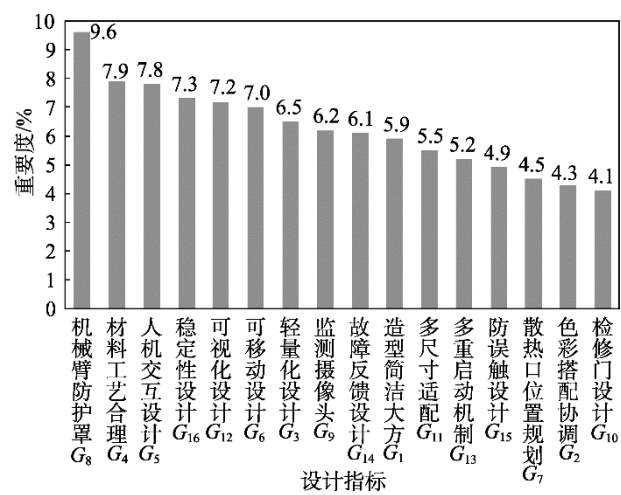


图 3 功能设计相对重要度结果
Fig.3 Results of relative importance of function design

5 基于 PUGH 的激光清洗机设计方案评价

PUGH 决策矩阵是一种快速的定性决策方法^[16],

帮助权衡分析识别出最优设计方案。设计小组根据质量屋得出的功能要素排序结果进行设计方案产出,使用 PUGH 矩阵进行方案初筛及进一步的综合评价,完成最终的方案敲定。

5.1 设计方案初筛

由 2 名产品经理、4 名技术工程师及 9 名生产线操作人员组成 15 人方案评审小组,对经过两轮设计所产出的五款激光清洗机方案进行初步评价。首先,由于本非标定制化产品其功能需求与市场主流产品所具备功能重合度不高,缺少同类产品对照,因此选用在第一轮设计方案中讨论得出功能设计较为完备的方案 2 为评价基准参照方案;其次,使用“+”代表较参照方案更优、“-”代表较参照方案稍差、“S”代表与参照方案相当^[17],从一级需求指标角度对经过了第二轮设计方案修改后的其他可选方案进行评价;最后,统计各方案每项评价数量,得到方案初步评分排序。方案评价及取舍结果见表 5。

表 5 激光清洗机设计方案初步评分排序
Tab.5 Preliminary scoring sort of laser cleaning machine design scheme

参数					
	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
造型指标	+	S	-	+	-
功能指标	S	S	-	S	-
安全性指标	S	S	+	+	S
“+” 个数	1	0	1	2	0
“-” 个数	0	0	2	0	2
“S” 个数	2	3	0	1	1
净分数	1	0	-1	2	-2
排序	2	3	4	1	5
结果	保留	保留	舍弃	保留	舍弃

5.2 设计方案综合评价

经过第一轮方案初筛,决定将方案 1、方案 2 和方案 4 保留,并进入下一阶段综合性评价。综合评价仍以方案 2 为评价标准,使用 1-5 级评价打分方式,从 G₁-G₁₆ 各项设计功能要素方面进行等级划分,则方案 2 各项指标得分等级均为 3。将各项要素等级划分结果 d_{jw} 与各项功能要素权重 E'_j 进行计算,得到各方案综合评分,具体计算过程如下。

1) 计算第 w 个方案下第 j 个功能要素指标得分 W_{jw}, 见式 (9)。

$$W_{jw} = E'_j \cdot d_{jw} \tag{9}$$

2) 计算方案综合评分 S_w, 见式 (10)。

$$S_w = \sum_{i=1}^m W_{jw} \tag{10}$$

收集专家小组评价打分结果并进行整理,确定 3 个方案各项功能指标下的等级水平,根据式 (9) — (10) 计算得到各方案综合评分,结果见表 6。

根据表 6 方案综合评分结果可知,方案 4 为最优方案,其整体最为符合设计项目要求,具备较强的产品可开发性。对方案 4 各项指标评分数据进行分析,可以发现此方案在材料工艺合理 G₄ 及可移动设计 G₆ 还有待提高,在后期的产品迭代过程中可以较为注重这两个方面的优化改进。

表 6 激光清洁机设计方案综合评分
Tab.6 Comprehensive scoring of laser cleaning machine design scheme

指标	权重/%	方案 1		方案 2		方案 4	
		等级	得分	等级	得分	等级	得分
G_1	5.9	4	0.236	3	0.177	3	0.177
G_2	4.3	3	0.129	3	0.129	3	0.129
G_3	6.5	2	0.130	3	0.195	3	0.195
G_4	7.9	4	0.316	3	0.237	2	0.158
G_5	7.8	2	0.156	3	0.234	3	0.234
G_6	7.0	3	0.210	3	0.210	2	0.140
G_7	4.5	2	0.090	3	0.135	4	0.180
G_8	9.6	4	0.384	3	0.288	4	0.384
G_9	6.2	3	0.186	3	0.186	3	0.186
G_{10}	4.1	2	0.082	3	0.123	3	0.123
G_{11}	5.5	4	0.220	3	0.165	4	0.220
G_{12}	7.2	2	0.144	3	0.216	3	0.216
G_{13}	5.2	3	0.156	3	0.156	3	0.156
G_{14}	6.1	3	0.183	3	0.183	3	0.183
G_{15}	4.9	2	0.098	3	0.147	3	0.147
G_{16}	7.3	4	0.292	3	0.219	3	0.219
方案综合评分		3.012		3		3.047	

5.3 最终设计方案展示

对细节进行完善后,完成最终设计方案如图 4 所示。方案在造型方面,采用倾斜切面结合线条切割的设计手法,增强设备线条感、科技感,体现现代化风格,整体选用白灰配色打造轻盈感,满足用户造型简洁轻量化需求。在功能方面,增加机械臂监控设备,

双侧检修门与散热孔融合一体,可伸展屏幕方便多方位监测,与工位接口处的缓冲结构在保护装备的同时,也满足多工位适配的需求。在安全性方面,因烟草生产的特殊工作环境,产品整体材料选用食品级钢材,并且做到防止激光外泄造成伤害,多重防护机制保障设备安全使用。

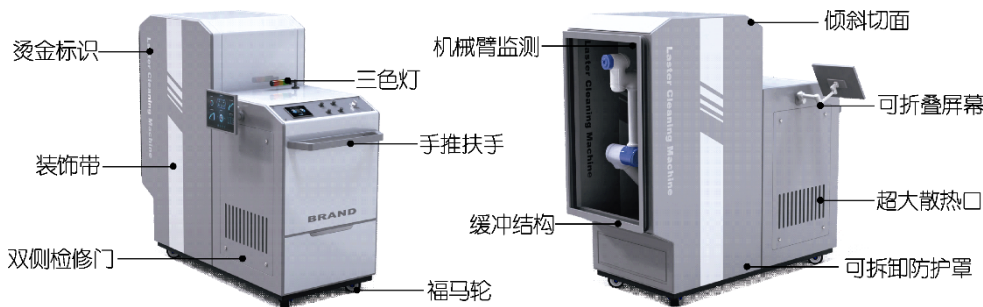


图 4 激光清洁机设计方案
Fig.4 Laser cleaning machine design scheme

6 结语

激光清洁机与烟丝切割机的适配问题及操作效率对提升激光清洁机的用户使用满意度至关重要。因此,建立基于 Kano-QFD-PUGH 集成方法的激光清洁机产品设计模型,将 Kano 模型、QFD 质量功能展开及 PUGH 决策矩阵结合使用,解决设计过程中用户需求提取、设计功能转化及方案产出后的设计决策等重难点问题。研究构建了激光清洁机设计

流程框架,从造型、功能及安全性角度建立激光清洁机用户需求指标体系,明确了用户需求重要度;通过质量屋构建,得到了激光清洁机设计功能要素指导方案产出;利用所获需求、功能要素进行综合评价找到最优方案,形成完整的设计流程。最终方案人机操作合理,解决设备间的适配问题,整体效果达到项目预期,验证了 Kano-QFD-PUGH 模型的科学与有效性,为激光清洁机产品的设计开发与优化提供了理论指导。

参考文献:

- [1] 吴崇康. 中国烟草及烟草制品的国际竞争力及影响因素分析[J]. 经贸实践, 2018(21): 54.
Wu Chong-kang. Analysis on the International Competitiveness and Influencing Factors of Tobacco and Tobacco Products in China[J]. Economic & Trade, 2018(21): 54.
- [2] 李文豪, 石玮玮, 李灌华, 等. 激光清洗技术在装备修理中的应用研究[J]. 激光与光电子学进展, 2022, 59(17): 269-273.
LI Wen-hao, SHI Wei-wei, LI Guan-hua, et al. Application Research of Laser Cleaning Technology in Equipment Repair[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2022, 59(17): 269-273.
- [3] 谭春辉, 李玥澎. 基于用户评论与 Kano 模型的虚拟学术社区优化策略研究[J]. 情报理论与实践, 2021, 44(11): 108-115.
TAN Chun-hui, LI Yue-peng. Research on Optimizing Strategy of Virtual Academic Community Based on Users' Comments and Kano Model[J]. Information Studies (Theory & Application), 2021, 44(11): 108-115.
- [4] 曹国忠, 刘孟然, 万子薇. 基于进化树的碎纸机刀具变型设计[J]. 机械设计, 2019, 36(10): 121-126.
Cao Guo-zhong, Liu Meng-ran, Wan Zi-wei. Variant Design of Shredder Cutter Based on Phylogenetic Tree[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(10): 121-126.
- [5] 吴剑锋, 汪圆圆, 矫东芳, 等. 基于 Kano 和 DEMATEL 方法的产品需求排序策略[J]. 机械设计, 2022, 39(2): 138-145.
Wu Jian-feng, Wang Yuan-yuan, Jiao Dong-fang, et al. Product Requirement Ranking Strategy Based on Kano and DEMATEL Methods[J]. Journal of Machine Design, 2022, 39(2): 138-145.
- [6] 强威. 基于 Kano-QFD 的新能源汽车移动端交互设计[J]. 包装工程, 2022, 43(20): 212-219.
QIANG Wei. Interaction Design on Mobile Terminal of NEVs Based on Kano-QFD[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(20): 212-219.
- [7] KARL T, Ulrich. Product and Development[M]. Beijing: China Machine Press, 2013.
- [8] 韦艳丽, 李安, 徐曦, 等. 基于 Kano-QFD 的云养宠 APP 可用性设计研究[J]. 包装工程, 2022, 43(2): 378-386.
WEI Yan-li, LI An, XU Xi, et al. Usability Optimization Design of Cloud Pet APP Based on Kano-QFD[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(2): 378-386.
- [9] 邓杏仪, 刘林, 张瑞秋. 基于 Kano-QFD 的健身游戏系统优化设计[J]. 包装工程, 2021, 42(14): 148-154.
DENG Xing-yi, LIU Lin, ZHANG Rui-qiu. Optimal Design of Fitness Game System Based on Kano-QFD[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(14): 148-154.
- [10] 杨静. 基于 AHP-PUGH 的产品概念选择技术研究[J]. 包装工程, 2016, 37(20): 162-167.
YANG Jing. Technical Research on Product Concept Selection Based on AHP PUGH[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(20): 162-167.
- [11] 李惠, 王时英, 李娟莉. 基于 QFD—PUGH 的人机界面评价方法研究[J]. 图学学报, 2021, 42(6): 1043-1050
LI Hui, WANG Shi-ying, LI Juan-li. Research on Human-Machine Interface Evaluation Method Based on QFD-PUGH[J]. Journal of Graphics, 2021, 42(6): 1043-1050
- [12] 何若乔, 李永锋, 朱丽萍. 基于 QFD 的老年人车载信息系统用户体验优化设计[J]. 包装工程, 2022, 43(8): 164-170, 202.
HE Ruo-qiao, LI Yong-feng, ZHU Li-ping. User Experience Optimization Design of Elderly Vehicle Information System Based on QFD[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(8): 164-170, 202
- [13] 王军锋, 杨舒雨. 基于 Kano 模型的家具电商平台设计研究[J]. 家具与室内装饰, 2022, 29(2): 60-65.
WANG Jun-feng, YANG Shu-yu. Research on Furniture E-Commerce Platform Design Based on Kano Model[J]. Furniture & Interior Design, 2022, 29(2): 60-65.
- [14] 胡珊, 刘晶, 王雨晴, 等. 基于用户动态需求的产品迭代创新设计方法研究[J]. 现代制造工程, 2020(12): 41-48.
HU Shan, LIU Jing, WANG Yu-qing, et al. Research on Product Iterative Innovation Design Method Based on User Dynamic Demand[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2020(12): 41-48.
- [15] 宫华萍, 尤建新, 王岑岚. 基于改进质量功能展开的质量特性重要度确定[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(9): 1359-1368.
GONG Hua-ping, YOU Jian-xin, WANG Cen-lan. Determination of Quality Characteristics Importance Based on Improved Quality Function Deployment Model[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2019, 47(9): 1359-1368.
- [16] 龙婷玉, 武美萍, 缪小进, 等. 基于 AHP 和 Pugh Matrix 法的叶片表面强化工艺研究[J]. 材料保护, 2022, 55(1): 135-141.
LONG Ting-yu, WU Mei-ping, MIAO Xiao-jin, et al. Study on Surface Strengthening Technology for Blades Based on AHP and Pugh Matrix Method[J]. Materials Protection, 2022, 55(1): 135-141.
- [17] ULRICH K T, EPPINGER S D. Product Design and Development[M]. 3rd. Boston: McGraw-Hill, 2004: 154-1.

责任编辑: 陈作