

基于主成分分析和模糊 Kano 模型的并条机造型设计研究

柴敏, 彭鹏, 马彧

(天津工业大学, 天津 300387)

摘要: **目的** 为了更准确地获取并条机的用户需求, 从生产实践中获取设计相关因素, 提出一种并条机的设计开发流程。**方法** 采用主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 和模糊 Kano 模型相结合的方法, 综合两种方法各自的优势, 通过 PCA 剔除信息重复和交叉的设计因素以降低数据维度, 减少分析并条机设计因素的数量, 依据模糊 Kano 模型中用户需求的计算方法和相关规范, 结合各设计相关因素进行问卷设计, 再对调研数据统计和分析后得到并条机各设计影响因素的用户需求类别, 最后融入并条机的创新设计过程中。**结论** 以并条机造型设计为例, 基于主成分分析和模糊 Kano 模型的分析结果进行了造型上的创新设计, 验证了并条机设计开发流程的有效性和可行性, 为并条机的设计提供依据, 也为相关类别产品的设计提供量化分析参考。

关键词: 工业设计; 纺织机械; 并条机; 主成分分析; 模糊 Kano 模型

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)14-0051-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.14.006

Drawing Frame Modelling Design Research Based on the Principal Component Analysis and Fuzzy Kano Model

CHAI Min, PENG Peng, MA Yu

(TIANGONG University, Tianjin 300387, China)

ABSTRACT: The paper aims to obtain the user demand of drawing frame more accurately, obtain the design-related factors from the production practice, and propose a drawing frame design and development process. Principal Component Analysis (PCA) and fuzzy Kano model were used to combine the advantages of the two methods, and the design factors of the drawing frame were eliminated through PCA to reduce the data dimension and reduce the number of drawing frame design factors to facilitate analysis. According to the calculation method and the relevant specification of user requirements in the Kano model, questionnaire design was carried out by combining various design-related factors. After the statistics and analysis of the survey data, the user demand categories of the design factors affecting the drawing machine were obtained, and finally integrated into the innovative design process of the drawing machine. Based on the analysis results of principal component analysis and fuzzy Kano model, the innovative design of drawing frame is carried out. The feasibility and effectiveness of the drawing frame design and development process are verified, which provides the basis for the design of the drawing frame and quantitative analysis reference for related category product design.

KEY WORDS: industrial design; textile machinery; drawing frame; PCA; fuzzy Kano model

纺织工业是我国的传统支柱产业, 作为世界上最大的纺织生产国和出口国, 纺织行业在我国国民经济发展中起到了积极的促进作用, 具有举足轻重的地位^[1]。对比国外优秀的纺机企业, 我国纺机行业在追

逐技术领先的同时也对工业设计的意识进行了加强, 在设计方面也有了很大进步。并条机是一种改善纤维条均匀度并使其伸直平行的纺织机械, 作为纺纱工艺流程的重要组成部分, 其方案的设计非常重要。一个

收稿日期: 2022-02-17

作者简介: 柴敏 (1995—), 男, 硕士生, 主攻工业设计工程。

通信作者: 马彧 (1962—), 男, 硕士, 教授, 主要研究方向为设计艺术学。

科学且合理的设计方案,不仅在使用过程中能保证安全和舒适的用户体验,而且还能提供美观的造型。主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)是一种常用的降低数据维度的多元统计分析方法,在处理复杂庞大的问题时只需要研究少数的主成分且不会损失过多信息,从而将更加容易抓住其主要矛盾,以此使问题更加简化且还能提高分析效率^[2],近年来已被广泛应用。Sun等^[3]运用主成分分析法来约简人机系统的评价指标以降低整个评价过程中计算的难度;刘俊艳等^[4]借助主成分分析法从人因工程的角度对便携式塑料水杯的主要影响因素进行了分析;孙志娟等^[5]使用模糊主成分分析方法对机器人灵活性、运动性进行综合分析和评价,提高了分析结果的准确性和可信度。然而主成分分析虽然保留了原始指标的信息,但对设计的综合质量无法做出直观的表达,为了更好地分析设计的质量,郭书良等^[6]构建了PCA与BP网络相结合的巷道锚杆支护方案优选模型并对综放回采巷道锚杆支护方案的多个样本进行了预测;侯智等^[7]采用主成分分析与信息熵结合分析的方法对人机系统方案完成了评价。

Kano模型是日本著名学者狩野纪昭(Noriaki Kano)于20世纪80年代提出^[8],可以准确地反应用户的需求^[9],适用于用户体验量化的模糊问题^[10],近年来广泛应用产品开发领域。如王贤等^[11]基于Kano模型对户外净水器进行了改进设计,提高了用户对产品的满意度;田正清等^[12]运用感性工学和Kano模型分析了感性需求在一定程度上对用户自身满意度的影响。然而传统Kano模型在实际应用中很大程度会受到人为主观因素的影响,采用模糊Kano模型进行

用户需求分类可弥补传统Kano模型需求分类处理能力的不足^[13],还可以有效规避主观性,如余森林等^[14]采用模糊Kano模型分析了户外音响各品质要素的用户需求类别并提出了产品创新设计流程;陈香等^[15]提出了将模糊Kano模型和TOPSIS法相结合的产品设计方法,得到了智能割草机设计的合理解决途径和方案。因此,文中采用主成分分析和模糊Kano模型相结合的方法,对并条机设计相关因素进行处理和分析,提出一种并条机的设计开发流程,为其设计提供新的研究思路。

1 并条机设计相关因素的确立

工业产品造型设计的应用非常广泛,将工业造型技术应用于纺织机械的外观造型设计中,在保证大力提高设备外观质量的同时,还具有相当的美观性,可以满足市场的实际要求,有助于提高纺织机械制造企业的经济效益和市场竞争能力。在并条机造型设计过程中,既要满足产品的实用性,又要充分考虑产品的美观性,在各种条件的约束下,把结构、功能和审美相融合,使艺术和技术综合协调以创造并条机的造型形象。

通过对并条机进行实地调研,搜集行业内专家及经验丰富的产品设计和纺机装备人员意见,再查阅研究相关文献资料,划分得出造型形态 u_1 、色彩 u_2 、结构布局 u_3 、支撑形式 u_4 、承受力 u_5 、人机 u_6 、肌理质感 u_7 、操作协调 u_8 、作业舒适性 u_9 、材料 u_{10} 、工艺 u_{11} 、视觉符号 u_{12} 、拆装方式 u_{13} 、机构连接方式 u_{14} 、技术水平 u_{15} 和工作环境 u_{16} 的共16个设计相关因素,见图1。

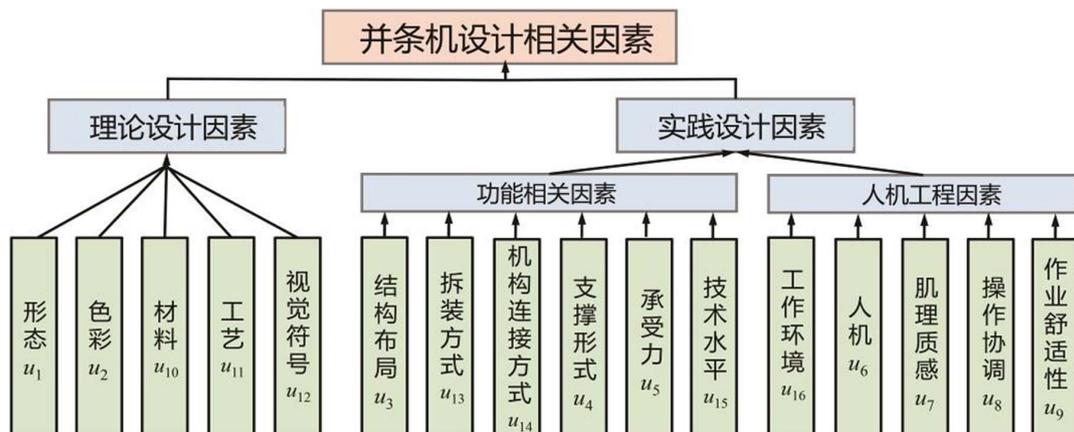


图1 并条机设计相关因素

Fig.1 Drawing frame design-related factors

2 基于PCA和模糊Kano的用户需求分析模型

2.1 主成分分析的计算

PCA是一种对数据进行降维处理的统计分析方

法,在尽可能保持原有信息的前提下,通过计算协方差的方式,将多个原有存在相关性的指标转变为少数不存在相关性的新指标。PCA本质上就是坐标的平移和旋转^[16],假设一个2维数据表中的数据呈长方形分布,其重心为 G ,见图2。如果将坐标系原点平移到 G 点,并且作旋转的变换,再以数据变异最大的方向

作为轴, 可以得到一个正交坐标系 x_2Gy_2 。再者, 忽略数据变异相对较小的方向即 y_2 轴方向, 将数据点投影在 x_2 轴上, 于是就可以将原有的 2 维数据空间的问题简化到 1 维数据空间来进行分析。

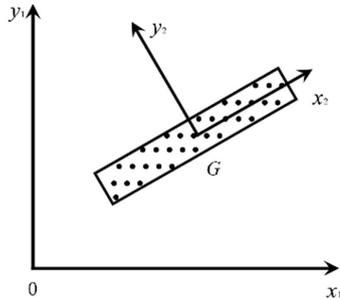


图 2 PCA 降维原理

Fig.2 PCA dimension reduction schematic diagram

设有 m 个样本, 各样本都有 n 个指标变量, 则可以构成 $m \times n$ 阶的原始数据矩阵, 其计算的具体方法步骤如下。

2.1.1 数据的标准化处理

在实际所得的数据中, 通常不同的数据会有不同的数量级和量纲, 不可直接比较, 故要标准化处理原始数据, 标准化公式如下:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

式中, x'_{ij} 为标准化数据; x_{ij} 为原始数据; $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$ 为第 j 个指标的均值; $s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}$ 为标准差; m 为样本数量, n 为指标数量。由此可得标准化矩阵 Z :

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_{m1} & z_{m2} & \dots & z_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.1.2 相关系数矩阵的计算

根据标准化后的数据可计算得到相关系数矩阵 $R=(r_{ij})_{n \times n}$, 该矩阵为 n 阶对称矩阵, 相关系数 r_{ij} 表示原变量第 i 个指标和第 j 个指标之间的相关程度, $r_{ij}=r_{ji}$, 其计算公式如下:

$$r_{ij} = \text{Cov}(x_{ki}, x_{kj}) = \frac{\sum_{k=1}^m (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{n-1}, n > 1 \quad (i,j=1,2,\dots,n; k=1,2,\dots,m) \quad (3)$$

式中, x_{ki} 、 x_{kj} 分别为第 i 、 j 个指标的第 k 个标准化后的数据。

2.1.3 计算相关矩阵特征值与特征向量

相关系数矩阵 R 的特征值 $\lambda_i (i=1,2,\dots,n)$ 为主成分 F_i 的方差, 通常选取特征根大于 1 的主成分来进

行分析^[17], 方差越大, 对总方差贡献越大。特征向量 $u_i (i=1,2,\dots,n)$, 要求 $\sum_{j=1}^n u_{ij}^2 = 1$, 其中 u_{ij} 表示向量 u_i 的第 j 个分量, $i, j=1,2,\dots,n$ 。

2.1.4 计算贡献率并确定主成分

贡献率 e_i 为某个主成分 F_i 的方差占全部主成分方差的比重, 可表示:

$$e_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (4)$$

通常选取累计方差贡献率 $E = \sum_{i=1}^n e_i \geq 90\%$ 的前 k 个主成分, 即被认为包含了原始信息的绝大部分, 并可进行综合分析。

2.1.5 计算主成分载荷与主成分因子分析

特征向量 u_i 与主成分载荷 l_{ij} 的关系式如下:

$$l_{ij} = \frac{u_{ij}}{\sqrt{\lambda_i}} (i, j=1,2,\dots,n) \quad (5)$$

根据选定的 k 个主成分的主成分载荷值, 选取每个主成分的主要控制因子, 作为最终的综合分析因子。

2.2 模糊 Kano 的研究方法

根据不同类型产品属性的质量特征和用户满意度之间的关系, Noriaki Kano 主要将用户需求划分为 5 种类型, 分别为基本需求 (Must-be Quality)、期望需求 (One-dimensional Quality)、魅力需求 (Attractive Quality)、无差异需求 (Indifferent Quality) 和反向型需求 (Reverse Quality)。用户需求性和用户满意度关系见表 1, Kano 模型评价结果分类对照, 见表 2。

表 1 用户需求性和用户满意度的关系
Tab.1 Relationship between user demand and user satisfaction

需求类型	用户满意度	
	不具备此属性时	具备此属性时
基本需求 M	下降	不变
期望需求 O	下降	上升
魅力需求 A	不变	上升
无差异需求 I	不变	不变
反向型需求 R	不变	下降

在传统 Kano 模型的问卷中忽略了用户的不确定性思维, 而当用户对某种产品的属性给出的答案不够准确时, 传统 Kano 模型对这部分用户获得的数据是不准确的。针对用户这种不确定性的心理, 模糊 Kano 模型可以最大化获取用户需求相关要素, 用户通过其问卷可对多个产品属性选项作出模糊的答案, 采用百

表2 评价结果分类评估表

Tab.2 Classification evaluation table of evaluation results

产品需求	不具备此属性				
	喜欢	理所应当	无所谓	可忍受	不喜欢
喜欢	<i>Q</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>O</i>
理所应当	<i>R</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>M</i>
无所谓	<i>R</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>M</i>
可忍受	<i>R</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>M</i>
不喜欢	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>Q</i>

分比表示满意度，其值则介于[0,1]之间，且行元素之和为1^[18]，2种问卷调查表的区别见表3—4。为了最大化反映用户思维的模糊性，可通过模糊问卷模板，并结合评价结果分类评估表识别得到用户属性需求分类，见表5。

表3 传统 Kano 模型问卷调查表

Tab.3 Traditional Kano model questionnaire

产品功能	喜欢	理所应当	无所谓	可忍受	不喜欢
可实现		√			
不可实现					√

表4 模糊 Kano 模型问卷调查表

Tab.4 Fuzzy Kano model questionnaire

产品功能	喜欢	理所应当	无所谓	可忍受	不喜欢
可实现	0.4	0.6			
不可实现				0.2	0.8

表5 模糊问卷模板表

Tab.5 Fuzzy questionnaire template table

产品功能	喜欢	理所应当	无所谓	可忍受	不喜欢
可实现	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
不可实现	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5

根据模糊 Kano 获得用户服务需求的相关因素的具体步骤如下。

依据表5所示的模糊问卷模板，设想能够实现的功能矩阵 $X = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5]$ ，不能够实现的功能矩阵 $Y = [y_1, y_2, y_3, y_4, y_5]$ ，可生成模糊关系矩阵 Z ：

$$Z = X^T Y \tag{6}$$

把矩阵 Z 中的各个数值与 Kano 模型分类评估表中的用户需求属性相对应，确定得到需求的隶属度向量 T ：

$$T = \left(\frac{z_1}{M}, \frac{z_2}{O}, \frac{z_3}{A}, \frac{z_4}{I}, \frac{z_5}{R}, \frac{z_6}{Q} \right) \tag{7}$$

为了使获得的数据更准确，在此引入阈值 α 进一步筛选，当隶属度向量中数据值大于或等于 0.4 时，则 α 取值为 1，以此表示该用户认为的产品某项功能属性相匹配的需求类别，确定需求向量。

对该项需求的所有调查用户分别进行以上计算，并统计每个参与该产品问卷调查的用户对于需求类别的意向，出现次数频率最高的为该产品特征对应的需求类别。假如出现两种需求类别频率相同的情况，则按照需求类别的优先级从高到低排序为基本需求 M 、期望需求 O 、魅力需求 A 、无差异需求 I 。

3 并条机创新设计实例

3.1 设计相关因素的主成分分析

根据上述划分得出的 16 个设计相关因素可知，各因素之间存在着信息上的重复和交叉，如肌理质感 u_7 、工艺 u_{11} 和技术水平 u_{15} ，当技术水平提高的时候，加工工艺会变得先进，处理得到的肌理质感也会更好，因此为剔除信息重复交叉的设计因素，得到不相关的、无信息交叉的数个设计因素，采用 PCA 对设计相关因素进行降维处理。

人们一般对定性属性的判断趋向于相当、稍好、好、很好、极好这类定性语言的描述表达，同样有稍差、差、很差、极差等共 9 个定性等级，通常为符合习惯取 0~10 的整数。从生产实践中选择 JWF1313 并条机、TM3817S 并条机等已获实际批量生产的 25 台设备作为调研样本，对于并条机设计相关影响因素这类定性指标，文中选取集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_6\} = \{2, 3, 4, 6, 7, 8\}$ 分别对应 {很差，差，稍差，稍好，好，很好} 6 个等级来进行描述，将定性描述语言转化为定量指标。由于受篇幅所限，文中只给出 10 个样本的 10 项指标数据，以此获得原始数据，见表 6，可建立原始数据矩阵 X_{ij} 。根据式 (1) — (2) 可得标准化矩阵 Z ，见表 7，根据式 (3) 可得相关系数矩阵 R 与特征向量矩阵，见表 8—9。

表6 各影响因素指标原始数据规范取值

Tab.6 Raw data specification value table

样本	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}
样本 1	6	8	8	4	7	4	7	4	6	6
样本 2	6	8	8	6	7	4	7	4	6	6
样本 3	7	7	7	3	3	3	6	7	3	4
样本 4	6	6	7	6	6	4	6	6	4	6
样本 5	3	6	7	4	4	4	4	4	4	4
样本 6	6	4	8	7	6	3	6	4	6	6
样本 7	4	4	7	7	4	4	6	4	6	4
样本 8	6	6	6	6	6	6	7	3	7	6
样本 9	4	3	4	4	4	3	6	4	3	4
样本 10	4	3	4	4	4	6	6	4	3	4

根据式 (4) 可以得到各主成分的单体贡献率和累计贡献率，按照主成分的选取标准来确定主成分的数量，见表 10，通常选取累计方差贡献率 $E \geq 90\%$ 的前 k 个主成分，第 1 个、第 2、第 3、第 4、第 5、

表 7 各影响因素指标标准化矩阵
Tab.7 Standardized matrix of each influencing factor index

样本	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}
1	0.497	1.385	1.247	-0.771	1.315	-0.391	0.854	-0.775	0.436	0
2	0.497	1.385	1.247	0.606	1.315	-0.391	0.854	-0.775	0.436	0
3	1.271	0.778	0.554	-1.459	-1.743	-1.145	-0.074	1.549	-1.607	-1.68
4	0.497	0.17	0.554	0.606	0.551	0.392	-0.074	0.774	-0.926	0
5	-1.834	0.17	0.554	-0.771	-0.979	-0.392	-1.931	-0.775	-0.926	-1.68
6	0.497	-1.044	1.247	1.294	0.551	-1.145	-0.074	-0.774	0.436	0
7	-1.057	-1.045	0.554	1.294	-0.979	-0.392	-0.074	-0.775	0.436	-1.68
8	0.497	0.17	-0.139	0.606	0.551	1.116	0.854	-1.549	1.117	0
9	-1.057	-1.652	-1.524	-0.771	-0.979	-1.146	-0.074	-0.775	-1.607	-1.68
10	-1.057	-1.652	-1.524	-0.771	-0.979	1.116	-0.074	-0.775	-1.607	-1.68

表 8 各影响因素指标相关系数矩阵
Tab.8 Correlation coefficient matrix of each influencing factor index

因素	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}
u_1	1	0.679	0.453	0.399	0.482	0.227	0.73	0.401	0.347	0.517
u_2	0.679	1	0.393	0.102	0.309	0.165	0.554	0.216	0.371	0.51
u_3	0.453	0.393	1	0.525	0.256	-0.013	0.391	0.112	0.122	0.146
u_4	0.399	0.102	0.525	1	0.486	0.247	0.34	0.067	0.37	0.241
u_5	0.482	0.309	0.256	0.486	1	0.249	0.25	0.099	0.596	0.375
u_6	0.227	0.165	-0.013	0.247	0.249	1	0.32	0.097	0.435	0.369
u_7	0.73	0.554	0.391	0.34	0.25	0.32	1	0.06	0.271	0.422
u_8	0.401	0.216	0.112	0.067	0.099	0.097	0.06	1	0.176	0.325
u_9	0.347	0.371	0.122	0.37	0.596	0.435	0.271	0.176	1	0.596
u_{10}	0.517	0.51	0.146	0.241	0.375	0.369	0.423	0.325	0.596	1

表 9 相关系数特征向量矩阵
Tab.9 Correlation coefficient eigenvector matrix

因素	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}
u_1	-0.393	-0.416	0.276	-0.185	0.319	0.269	-0.094	0.171	-0.209	0.118
u_2	0.267	0.509	0.149	-0.088	0.041	-0.031	-0.104	0.496	-0.202	-0.094
u_3	0.449	-0.234	0.317	-0.153	-0.061	-0.066	-0.104	-0.047	0.345	0.189
u_4	-0.237	0.312	-0.117	-0.033	-0.05	-0.066	0.377	0.206	-0.287	0.17
u_5	0.15	-0.143	-0.258	0.499	0.12	0.140	-0.047	0.091	0.242	-0.206
u_6	-0.126	-0.081	0.295	0.076	-0.126	-0.26	-0.11	0.428	0.297	-0.422
u_7	0.140	-0.238	-0.258	0.138	-0.535	-0.243	-0.158	-0.056	-0.419	0.002
u_8	0.124	0.107	-0.222	0.067	0.003	-0.123	-0.149	-0.099	0.041	-0.008
u_9	0.032	-0.055	0.001	-0.578	-0.078	-0.061	-0.065	-0.374	-0.157	-0.442
u_{10}	-0.012	0.054	0.522	0.338	-0.302	0.067	0.372	-0.305	-0.024	0.215

表 10 相关系数特征值矩阵
Tab.10 Correlation coefficient eigenvalue matrix

主成分	特征值	单个贡献率/%	累计贡献率/%	主成分	特征值	单个贡献率/%	累计贡献率/%
1	6.429	0.402	0.402	9	0.422	0.026	0.933
2	1.919	0.120	0.522	10	0.342	0.021	0.955
3	1.615	0.101	0.623	11	0.216	0.014	0.968
4	1.293	0.081	0.704	12	0.183	0.011	0.980
5	1.170	0.073	0.777	13	0.171	0.011	0.990
6	0.851	0.053	0.830	14	0.09	0.006	0.996
7	0.728	0.046	0.875	15	0.046	0.003	0.999
8	0.504	0.031	0.907	16	0.021	0.001	1.000

第6、第7、第8主成分单体的贡献率分别为40.2%、12%、10.1%、8.1%、7.3%、5.3%、4.6%和3.1%，其累计贡献率为90.7%，即说明了它们基本包含了原始信息的绝大部分，在此可见 $k=8$ ，即选取前8个主成

分。其中，第1个主成分的所占比重是最高、最重要的，所包含的信息最多，对并条机设计的影响是最大的。

根据式(5)可求得主成分载荷值，见表11。

表11 主成分载荷矩阵
Tab.11 Principal component load matrix

因素	1	2	3	4	5	6	7	8
u_1	0.311	-0.164	0.23	-0.036	-0.337	-0.009	0.118	-0.209
u_2	0.285	-0.252	-0.18	-0.201	-0.108	0.318	-0.094	-0.202
u_3	0.207	-0.432	0.176	-0.021	0.383	-0.191	0.189	0.345
u_4	0.187	0.054	0.455	-0.03	0.419	-0.33	0.17	-0.287
u_5	0.197	0.137	0.489	-0.291	0.051	0.336	-0.207	0.242
u_6	0.209	0.377	-0.051	0.261	-0.011	-0.289	-0.422	0.297
u_7	0.291	-0.165	0.123	0.348	-0.187	0.072	0.002	-0.419
u_8	0.106	-0.055	-0.012	-0.498	-0.44	-0.644	-0.008	0.041
u_9	0.248	0.279	0.079	-0.301	0.171	0.148	-0.442	-0.157
u_{10}	0.306	0.215	-0.161	-0.216	-0.123	0.09	0.215	-0.024
u_{11}	0.276	-0.08	0.016	0.453	0.022	-0.217	-0.288	-0.093
u_{12}	0.337	-0.045	-0.176	0.054	0.064	0.156	0.171	0.087
u_{13}	-0.163	0.527	0.195	0.032	0.024	-0.028	0.37	-0.325
u_{14}	0.303	0.186	0.036	0.115	-0.068	0.114	0.421	0.439
u_{15}	0.285	0.291	-0.307	0.126	-0.04	-0.084	0.152	0.007
u_{16}	0.145	-0.004	-0.473	-0.244	0.515	-0.121	0.024	-0.224

根据以上主成分载荷统计表，在每个主成分中从大到小选取3到5个控制因子，再结合实际生产情况，最终选定各主成分的控制因子为形态 u_1 、色彩 u_2 、结构布局 u_3 、支撑形式 u_4 、人机 u_6 、操作协调 u_8 、视觉符号 u_{12} 、拆装方式 u_{13} 、机构连接方式 u_{14} 共9个设计因素。

3.2 并条机用户需求的获取

根据上述研究方法，以JWF1317并条机为研究对象，结合以上主成分分析得到的设计相关因素，从产品的造型、结构、体验出发建立评价指标体系，完成模糊Kano问卷的发放和收集，并对结果进行分析，最终完成其方案的设计。

将并条机的设计分为目标层，即现有产品的设计；基准层即用户对并条机造型设计意向和解读的过程，从并条机的造型、结构、体验出发，将并条机的基准层划分为美观性、安全性、用户体验共3个基准指标；指标层为进一步地详细描述，即根据基准层3方面划分出具有代表性的9项次基准评价指标，分别为形态、色彩、视觉符号、结构布局、支撑形式、机构连接方式、人机、操作协调、拆装方式，见表12。根据以下指标，以此为基础建立问卷并进行分析。

由于纺织机械设备使用环境的特殊性与对技术的高要求，分别对企业管理者、使用操作人员、检修维护人员和研发设计人员进行访谈和问卷调查，依据

表12 用户需求评价指标体系表
Tab.12 User demand evaluation index system table

目标层	基准层	指标层
并条机造型设计	美观性	形态
		色彩
		视觉符号
	安全性	结构布局
		支撑形式
		机构连接方式
	用户体验	人机
		操作协调
		拆装方式

表12设计模糊Kano模型问卷，设置喜欢、理所应当、无所谓、可忍受、不喜欢5个选项。问卷共计发放60份，调查覆盖的受访人员较为全面，保证了信息获取的准确性。最终回收问卷57份，设计人员对其进行了整理归类，去除漏填、错填和未按照问卷要求的无效问卷2份，实际收回了55份有效问卷，使问卷处理的可信度得到了保证。根据回收的问卷分析了企业和设备自身存在的问题。

以并条机各机构拆装方便为例，选取5位接受调查的用户来说明模糊Kano模型的运算过程，见表13。通过5位用户填写的模糊Kano问卷可获得用户对功能属性的满意度，根据式(6)一(7)得到需求类别

的隶属度向量 T , 统计整理后得到数据, 见表 14。取隶属度的阈值 $\alpha=0.4$, 筛选表 14 中的数据, 以此获得表 15 的阈值处理结果, 最后统计用户对该产品属性给出的分类频率, 最高为该项需求的类型。

表 13 模糊 Kano 产品属性调查问卷表
Tab.13 Fuzzy Kano product properties survey questionnaire

用户	需求意向	喜欢	理所应当	无所谓	可忍受	不喜欢
用户 1	正	100				
	反		10	20	70	
用户 2	正	50	50			
	反			20	80	
用户 3	正	90	10			
	反			20	80	
用户 4	正	50	50			
	反		50	50		
用户 5	正	40	60			
	反			30	70	

表 14 需求类别处理过程表
Tab.14 Requirements category processing process table

用户	M	O	A	I	R	Q
用户 1	0.70	0	0	0.30	0	0
用户 2	0.40	0.40	0.10	0.10	0	0
用户 3	0.08	0.72	0.18	0.02	0	0
用户 4	0	0	0.50	0.50	0	0
用户 5	0.42	0.28	0.12	0.18	0	0

表 15 阈值筛选后处理结果
Tab.15 Results after threshold screening

用户	M	O	A	I	R	Q
用户 1	1	0	0	0	0	0
用户 2	1	1	0	0	0	0
用户 3	0	1	0	0	0	0
用户 4	0	0	1	1	0	0
用户 5	1	0	0	0	0	0
总频率	3	2	1	1	0	0

通过模糊 Kano 模型的处理, 用户对产品的各项需求属性的隶属数据, 见表 16, 取各项频率最大值作为该项需求属性的需求类别。从表中可以看到, 机构连接方式的合理性和拆装方式的便捷性属于基本需求, 形态设计比例均衡稳定、色彩搭配合理、结构布局符合要求和操作协调性较好属于期望需求, 视觉符号的良好识别性、支撑形式稳定可靠和人机工学的合理运用属于魅力需求。

根据表 16 统计得到的用户需求类型频率, 对并条机的造型研究进行设计总结。

1) 魅力需求 A 为产品某种属性可以使用户感到

表 16 模糊 Kano 模型用户需求调查频率统计结果
Tab.16 Statistical results of frequency of user demand survey in fuzzy Kano model

评价指标	M	O	A	I	R	Q	类别
形态	12	37	6	3	0	0	O
色彩	5	43	9	2	0	0	O
视觉符号	18	13	28	2	0	0	A
结构布局	11	40	8	2	0	0	O
支撑形式	9	16	33	3	0	0	A
机构连接方式	35	13	12	3	0	0	M
人机	6	10	45	1	0	0	A
操作协调	6	38	15	1	0	0	O
拆装方式	31	18	9	3	0	0	M

出乎意料的需求类型, 若提供该种功能属性, 满意度会得到很大的提升, 相反用户满意度也不会下降。设计要素中视觉符号为魅力型需求, 通常图形符号视觉表现形式能传达企业的思想理念、价值等信息, 该设计要素主要体现在企业的名称和简称、LOGO 文字字体、机台号字体、设备型号字体、警示语字体符号等, 需要具有良好的识别性, 有利于企业形象的塑造和产品品牌效应的提升。支撑结构形式则要求具备的强度和韧性要符合并条机的结构力学需求。人机要素作为又一个魅力型需求, 主要包括控制面板的设计是否符合人眼静视野视觉特性, 以及铸件底座、门锁和把手的设计是否符合动态人体尺寸, 以人体工学数据为基础, 对使用者操作习惯进行分析, 再结合并条机设备自身的特性, 重新规划操作界面。

2) 期望需求 O 是指产品具有该种功能属性时用户满意度会提升, 否则用户满意度就会下降。并条机造型设计中形态设计比例均衡稳定, 色彩要搭配合理符合审美趋势, 以上二者都具有创新的特性。结构布局位置合理且符合工程要求, 依据人机工程学使操作更加协调和作业舒适性更好。

3) 基本需求 M 是指产品具有该种功能属性时用户满意度没有影响, 否则就会大幅度降低用户的满意度。机构连接方式的合理性和拆装方式的便捷性属于基本需求, 在保证基本功能的前提下, 还要有安全的机构连接方式和拆装方式, 降低实际生产中的事故发生率是用户对产品的基本要求, 此外无差异需求 I 指产品不管是否具有此种功能属性都不会造成影响; 反向需求 R 指当产品具有此种功能属性时反而会降低满意度; 而问题需求 Q 指结果具有矛盾性。因此不需要考虑无意义因素需求 I 、 R 和 Q 。

根据上述分析结果, 以魅力需求为主要的切入点, 外形形态和人机作为主要的特征性参考因素, 通过图形符号视觉表现的形式传达企业的思想理念与精神、品牌文化、价值观念等信息, 提取企业生产线的造型特征, 使并条机形态设计比例与风格整体统

一、视觉比例均衡稳定。色彩的运用符合使用环境和当前的审美趋势要求,符合色彩搭配规律。使用 Rhino 三维建模软件进行计算机辅助设计,用 Keyshot 软件

进行效果图渲染得到并条机造型设计方案效果,见图 3。最后选择方案 P_2 , 经过完善细节后得到最终设计方案,见图 4。

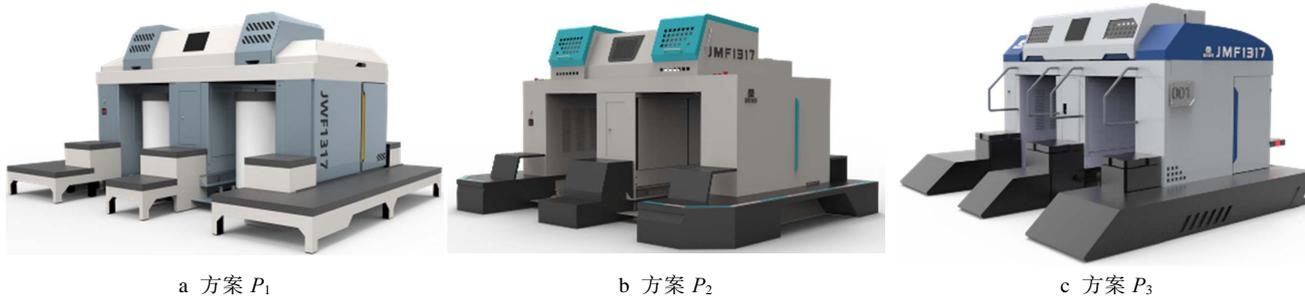


图 3 3 种不同的设计方案
Fig.3 Three different designs



图 4 最终设计方案
Fig.4 Final design

4 结语

从企业的生产实际情况出发,依据企业的价值理念,并结合企业产品属性对并条机进行分析研究,从而总结出具有代表性的设计影响因素,运用 PCA 和模糊 Kano 模型相结合挖掘得到用户需求并对设计要点进行分析,基于分析结果完成了并条机造型上的创新设计,验证了并条机设计开发流程的有效性和可行性,为并条机的设计提供依据,也为相关类别产品的设计提供量化分析参考。以上研究主要解决了两大问题,一方面是通过对外观形态、色彩、肌理质感、视觉符号进行提升设计,从而使整体产品品牌形象得到提升,增加其企业辨识度;另一方面通过调研分析了设备的功能和使用情况,使检修和使用过程中存在的问题充分显露,更利于对设备进行再次优化设计。文中对于用户需求心理复杂多变的主观性问题的研究仍存在不足,因此该方面是后续研究的重点,需要进一步优化模型,改进设计流程,以便更好地指导产品创新设计。

参考文献:

[1] 王佳丽. 提升我国纺织行业的国际竞争力研究[J]. 中国商贸, 2013(6): 159-160.

- WANG Jia-li. Research on Improving the International Competitiveness of China's Textile Industry[J]. China Business & Trade, 2013(6): 159-160.
- [2] 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- ZHANG Yao-ting, FANG Kai-tai. Introduction to multivariate statistical analysis[M]. Beijing: Science Press, 1982.
- [3] SUN J, KALENCHUK D K, XUE D, et al. Design Candidate Identification Using Neural Network-Based Fuzzy Reasoning[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2000, 16(5): 383-396.
- [4] 刘俊艳, 时蒙蒙, 马肖, 等. 便携式塑料水杯的人因工程分析与设计[J]. 技术与创新管理, 2020, 41(4): 362-368.
- LIU Jun-yan, SHI Meng-meng, MA Xiao, et al. Human Factors Analysis and Design of Portable Plastic Cups[J]. Technology and Innovation Management, 2020, 41(4): 362-368.
- [5] 孙志娟, 赵京, 李立明. 基于 FPCA 的机器人运动灵活性增强综合评价[J]. 机械设计与研究, 2014, 30(4): 41-46.
- SUN Zhi-juan, ZHAO Jing, LI Li-ming. Research on Enhanced Comprehensive Evaluation of Robotic Kinematic Dexterity Based on FPCA[J]. Machine Design & Research, 2014, 30(4): 41-46.
- [6] 郭书良, 陈建宏, 杨珊. 基于主成分分析与 BP 网络的锚杆支护方案优选[J]. 工程设计学报, 2012, 19(2): 150-155.
- WU Shu-liang, CHEN Jian-hong, YANG Shan. Optimization of Bolting Scheme Based on Combination of Principal Component Analysis and BP Neural Network[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2012, 19(2): 150-155.
- [7] 侯智, 余忠华. 采用主成分分析-信息熵法评价人机系统方案[J]. 机械设计与研究, 2009, 25(6): 15-17.
- HOU Zhi, YU Zhong-hua. Scheme Evaluation of Man-Machine System Based on PCA & IE[J]. Machine Design & Research, 2009, 25(6): 15-17.

(下转第 121 页)