

基于 QFD-TRIZ 理论的筒纱包装生产线造型设计

李小彤, 胡昌格

(天津工业大学, 天津 300387)

摘要: **目的** 为改善现有筒纱包装生产线的整体造型, 解决用户多样化需求下的造型设计矛盾, 提升操作人员使用满意度和造型设计效率, 提出一种基于 QFD-TRIZ 理论的筒纱包装生产线造型设计方法。**方法** 首先通过网络调研来收集典型样本, 并分析设备的造型设计现状。采用访谈法和焦点小组法获取用户的多种需求, 建立需求层次模型。其次运用 QFD 理论将用户需求转化为对应的设计特征, 结合层次分析法发掘、筛选、定位筒纱包装生产线造型的设计矛盾。最后将设计矛盾进行分类, 利用发明原理频率表筛选出各矛盾对应的最优发明原理, 并综合多种发明原理进行造型的优化设计。**结论** 此方法能够在满足防护有效性、造型美观性、成本控制 3 个方面需求的前提下, 高效解决筒纱包装生产线造型设计中的矛盾, 为今后类似的产品设计提供了参考。

关键词: 筒纱包装生产线; QFD-TRIZ; 层次分析法; 造型设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)08-0092-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.08.012

Modeling Design of Cheese Packaging Machinery Based on QFD and TRIZ

LI Xiao-tong, HU Chang-ge

(Tiangong University, Tianjin 300387, China)

ABSTRACT: In order to improve the whole industrial model of Cheese packaging machinery and solve the main design paradox under the many requirements of users and enhance model design efficiency and the using satisfaction of operational staffs, a kind of Cheese packaging machinery design method based on QFD-TRIZ theory is put forward. Firstly, the essay collected typical samples through network research and analyzed the status quo of equipment modeling design, adopted the method of interviews and focus groups to obtain user's requirements and established hierarchy model of requirements. Secondly, it applied QFD theory to transfer the users' needs to corresponding design character and located the main contradictions combined with the method of analytic hierarchy process. Finally, the design contradictions were classified, and the optimal invention principle corresponding to each contradiction type was screened out by using table of the invention principle frequency. Optimization scheme of modeling was carried out by integrating various solutions of invention principles. and achieved a better design scheme. The results show that QFD-TRIZ theory can efficiently solve the main paradox problems of Cheese packaging machinery's modeling design under the satisfaction of the protection effectiveness, model beauty and cost control, which can provide the reference for similar categories of product design and research.

KEY WORDS: cheese packaging machinery; QFD and TRIZ theory; analytic hierarchy process; modeling design

筒纱包装生产线是一种专门对筒纱进行包装的流水线作业设备, 由配重机、验纱机、裹膜机、码垛机等组成。目前, 多数企业在研发过程中仅聚焦于解

决技术难点, 却忽视了筒纱包装设备的造型设计, 导致其存在造型不够美观、用户体验不佳等问题。此外, 国内学者对筒纱包装生产线的研究主要停留在技术

收稿日期: 2021-11-23

作者简介: 李小彤 (1991—), 女, 硕士生, 主攻纺织机械设备造型设计。

通信作者: 胡昌格 (1965—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为工业设计。

层面。例如, 郭政良等^[1]设计了一套筒纱自动整列系统, 实现了筒纱的自动整列装袋。刘国梁等^[2]的 PLC 控制程序和人机交互界面设计, 提升了用户的操作体验。然而, 针对筒纱包装生产线造型的创新设计研究较少, 且较多依赖于设计师个人的设计经验, 缺少高效的产品创新方法和工具的支持, 导致方案设计不能很好地满足用户的多样化需求。针对这一情况, 业界引入了质量功能展开 (Quality Function Deployment, QFD) 理论, 把用户需求转化为相应的设计特征来定位造型设计矛盾, 从而有效针对用户需求进行产品要素设计。例如, 唐琳等^[3]综合运用 QFD 理论, 得出了老年人产品造型意象。吕中意等^[4]基于 QFD 的增强需求模型, 提升了复杂产品外观设计的科学性。然而, 上述方法仅能够定位设计矛盾, 却无法有效解决造型设计中存在的问题。对此, 苏晨等^[5]在 QFD 理论基础上引入了萃智理论 (TRIZ), 对瓦楞纸板生产线的舒适性、美观性等方面提出了相应的设计矛盾解决方案。针对 TRIZ 理论中对通用工程参数与发明原理的选择具有较大主观性和复杂性的问题, 曹国忠等^[6]以产品造型设计为出发点将发明原理进行分类与归纳, 有效提高了设计工作效率。以上案例证明, QFD-TRIZ 理论的集成应用能够科学地将用户需求转化为设计特征并有效解决矛盾问题, 为筒纱包装生产线造型设计提供了一定的参考。针对筒纱包装生产线造型设计不足的问题, 对 QFD 与 TRIZ 理论进行集成应用, 使设计师在满足用户需求的前提下精准发现并解决问题, 可以减少概念设计与生产制造之间的障碍, 并提升设备的美观性和安全性。

1 QFD 与 TRIZ 理论概述

QFD 理论是由日本质量专家赤尾洋二提出的以用户需求为设计驱动的产品开发方法, 其核心技术是构建质量屋^[7]。建立矩阵图并从中分析需求与设计的特征、资源与技术的关系, 从而将用户需求准确、科学地转化为工程措施, 为商业需求、艺术造型设计、现代生产和制造理念搭建沟通的桥梁, 在满足用户多样化需求的同时为科学生产提供良好的基础。

TRIZ 理论是由俄罗斯学者阿布里奇及其研究团队基于技术发展演化规律创造出的一套理论, 包括技术系统进化法则、40 条发明原理、矛盾矩阵表等问题的解决方法。设计师首先需要将发现的问题转化成 TRIZ 标准问题, 然后运用其丰富的工具库来找到理想的解决方案^[8]。与传统创新设计方法相比, TRIZ 理论在发明创造中整合了各领域的创新经验, 具有坚实的数据基础和丰富的创新资源, 打破了个体在知识上的局限性和思维上的惯性。

2 筒纱包装生产线设备概述

筒纱包装生产线主要包括输送、分拣、打包、码垛四大功能模块, 见图 1。在运行环境方面, 筒纱的原材料多以棉花为主, 因此在设备运行时空气中会漂浮丝状的微小棉絮, 同时设备自身也会产生较大的噪音与震动。在设备操作方面, 生产人员主要进行面板信息的查看、生产线的卫生清洁、物料的堆放与运输、设备故障处的维修等工作。

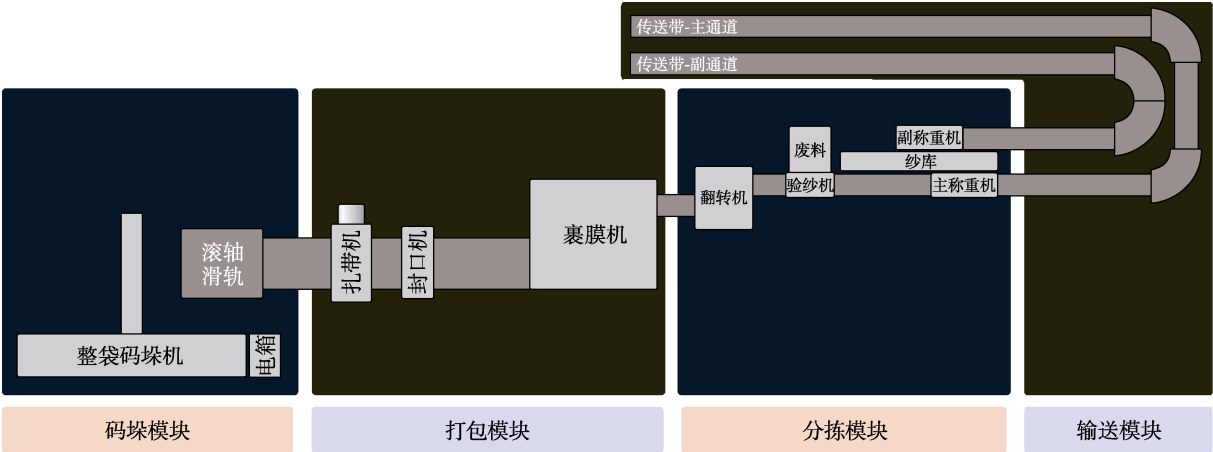


图 1 筒纱包装生产线功能模块
Fig.1 Function module of cheese packaging machinery

该设备体量较大, 其视觉中心主要聚焦在各功能模块的外观构件上, 因此对外观构件的造型特征进行优化创新是筒纱包装生产线造型设计的关键。该设备的外观构件按照功能可分为壳体、显示结构、连接结构。壳体包括设备外壳、底座、防护板、通风孔、维

修门等; 显示结构包括操作面板、警示灯、品牌标识等; 连接结构包括支撑件、铰链、螺钉等。由于生产线的形式大致相同, 壳体决定了占据主要视觉中心的设备形态^[9], 所以下面主要从各功能模块的壳体出发, 对筒纱包装生产线的造型进行设计及分析。

3 基于 QFD-TRIZ 的筒纱包装生产线造型设计流程

基于 QFD-TRIZ 的筒纱包装生产线造型设计流程, 见图 2。

3.1 收集样本和用户需求并进行权重计算

随着市场结构的不断优化, 用户对个性化、高品质和智能化的要求越来越高^[10], 因此了解同类相关产品和用户的需求变化是造型设计的首要步骤。笔者通过网络调研法来收集典型样本, 并分析当前设备造型设计现状, 随后运用访谈法获取用户多样化需求,

结合层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)^[11]进行需求权重排序。AHP 方法要求保证判断矩阵的数据在构建过程中具有思维的一致性和相容性^[12], 在判断矩阵和权重确定后, 需要进行一致性检验来保证判断矩阵评分的可用性, 其中判断矩阵一致性指标为 CI , 其计算公式如下:

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

式 (1) 中 n 为判断矩阵阶数, 当 $n > 2$ 时, 判断矩阵的一致性指标与随机一致性指标 RI 的比为随机一致性比率 CR , 若 $CR < 0.1$, 则认为该判断矩阵的赋值具有满意的一致性, 其计算公式如下:

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

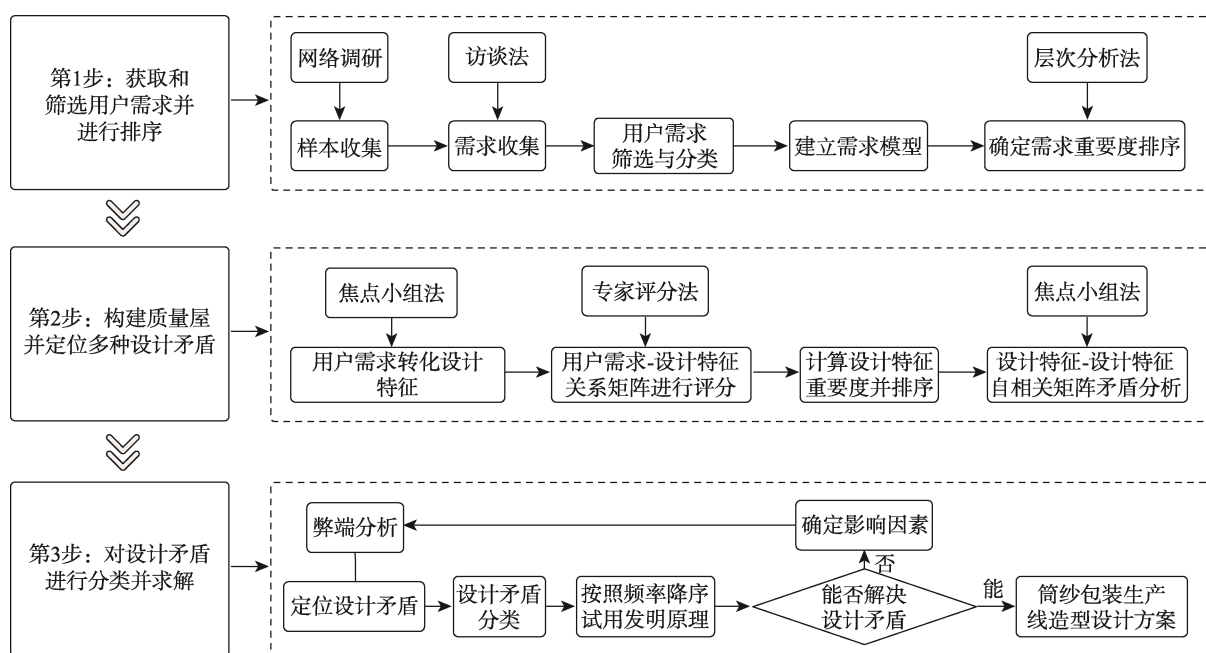


图 2 筒纱包装生产线造型设计流程

Fig.2 Modeling design flow of cheese packaging machinery

3.2 运用 QFD 理论构建质量屋并定位设计矛盾

采用焦点小组法对用户需求进行深入分析和探讨, 将用户需求转化为对应的设计特征后, 建立“用户需求-设计特征”“设计特征-设计特征”关系矩阵图。“设计特征-设计特征”自相关矩阵中的相互作用关系分为 3 种: 正相关、不相关、负相关, 分别用“+”(空白)“-”进行表示^[13]。在进行筒纱包装生产线设计时, 需要着重解决呈现负相关的设计特征之间的矛盾关系。用户需求与设计特征之间存在强、中、弱、不相关 4 种关系, 分别赋值为 9、3、1、0, 其表示方法与相关性分值见表 1。

根据“用户需求-设计特征”矩阵关系可计算设计特征的权重值。设用户需求相对权重集合为 W , $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, 其中 $w_i \in [0, 1]$, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, 其数值运用上述 AHP 方法计算完成; 设计特征相对权重集

表 1 “用户需求-设计特征”相关性分值

Tab.1 Correlation scores between user's requirements and design

相互关系	强	中	弱	不相关
分值	9	3	1	0
符号	●	○	△	(空白)

合为 V , $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, 其中 $v_j \in [0, 1]$, $\sum_{j=1}^m v_j = 1$;

“用户需求-设计特征”评分矩阵为 $R_{i \times j}$, 其表示方法如下:

$$R_{i \times j} = \begin{bmatrix} R_{11} & \cdots & R_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ R_{n1} & \cdots & R_{n \times m} \end{bmatrix}$$

第 j 个设计特征总评分为 M_j , 其计算公式如下:

$$M_j = \sum_{i=1}^n R_{i \times j} w_i \quad (3)$$

随后结合设计特征相对权重排序与呈现负相关的设计特征之间的冲突区域, 来确定需要解决的设计矛盾问题, 并着重平衡与其他设计矛盾间的关系。

3.3 对设计矛盾进行分类并求解

使用 TRIZ 理论解决设计矛盾时, 首先需要用特定术语来定义矛盾, 然后将该矛盾转换成 TRIZ 通用工程参数^[14]。在产品外观造型设计中涉及的通用工程参数共 19 个, 根据物理尺寸、功能结构、使用感受 3 个方面进行分类^[6], 可以使设计师在造型设计时能够快速定位设计矛盾所关联的工程特性。通用工程参数分类见表 2。

表 2 通用工程参数分类 Tab.2 Classification of general engineering parameters	
设计矛盾分类	通用工程参数
物理尺寸	03 运动物体的长度 04 静止物体的长度
	05 运动物体的面积 06 静止物体的面积
	07 运动物体的体积 08 静止物体的体积
	12 形状
功能结构	01 运动物体的重量 02 静止物体的重量
	13 结构稳定性 14 强度
	26 物质或事物的数量 32 可制造性
	36 设备复杂性
使用感受	27 可靠性 33 可操作性
	34 可维修性 35 适应性及多用性
	38 自动化程度

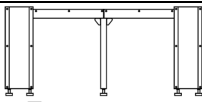
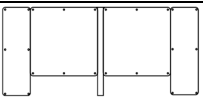
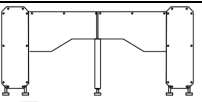
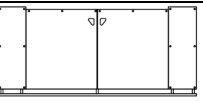
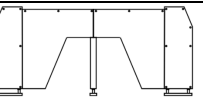
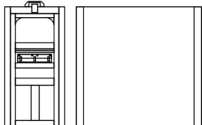
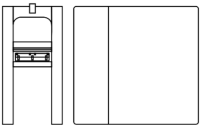
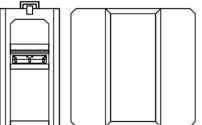
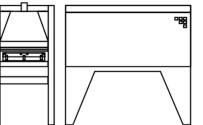
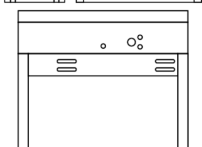
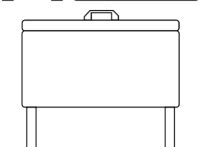
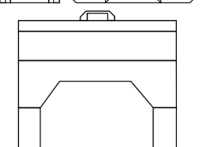
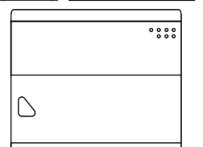
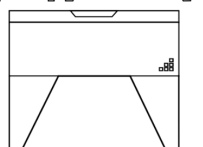
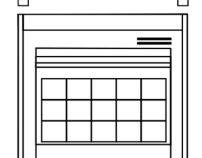
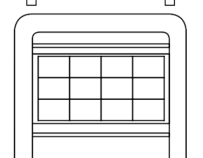
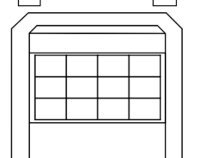
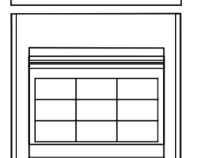
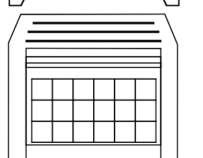
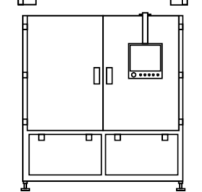
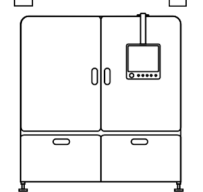
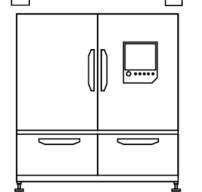
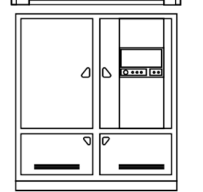
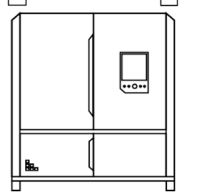
对设计矛盾进行分类后, 再对照发明原理使用频率表^[6], 对频率由高到低的发明原理进行试用, 直至确定出最优解决方案。发明原理使用频率见表 3。

表 3 发明原理使用频率 Tab.3 Application frequency of invention principle											
矛盾类型	发明原理 (从前到后, 频率依次降低)										
物理尺寸	4	7	14	35	15	17	1	2	10	29	5
功能结构	1	29	40	14	15	35	13	26	28	2	10
使用感受	15	1	16	35	13	29	14	10	2	4	17

4 基于 QFD-TRIZ 理论的筒纱包装生产线造型设计实例

4.1 收集同类产品样本并进行形态分析

产品的用户需求可划分为基本需求、期望需求及特殊需求^[15], 深入剖析同类相关产品的典型样本, 有助于挖掘和明确用户多样化需求。笔者通过网络调研收集并筛选出 5 个典型样本, 对样本中的输送机、称重机、验纱机、纱库、裹膜机进行矢量化处理, 汇总得到样本矢量表, 见表 4。从中可知, 筒纱包装生产线各功能模块的体量及壳体轮廓大致相同, 局部造型设计特征相对灵活。通过形态分析, 可将筒纱包装生产线的壳体设计风格归纳为硬朗型和圆润型 2 种, 其中硬朗型又可分为斜角型和长直型。

表 4 样本矢量表 Tab.4 Sample vector table					
类型	样本 1	样本 2	样本 3	样本 4	样本 5
输送机					
称重机					
验纱机					
纱库					
裹膜机					

4.2 基于访谈法收集用户需求并进行权重计算

中大型机械装备的竞争影响因素主要来自研发人员、操作人员与维修人员的感受与评价^[16]。在设计调研阶段,笔者对某企业筒纱包装生产线的操作人员与研发人员进行访谈后发现,当前该设备主要存在以下几点问题:设备部分机械结构和骨架裸露,存在一定的安全隐患;设备外观较为简陋、粗糙,缺少设计美感;设备在运行过程中会产生噪音和棉絮,对操作人员有一定危害;设备结构复杂,清洁、维修困难。

明确基本问题后,由 1 名设备研发工程师和 5 名经验丰富的工业设计师组成专家小组,结合典型样本造型设计现状,对该企业筒纱包装生产线壳体的设计需求进行深入探讨,从而获得用户需求层次模型。随后邀请上述相同专家组成员,对用户需求各层级的判断矩阵进行一致性判断并记录评分结果^[17]。为降低不同元素之间比较的困难性,采用相对尺度^[18]即 1—9 级比较标准进行判断,获得评分后利用方根法计算需求权重值,并根据式(1)和式(2)对其进行一致性检验。计算结果表明,各层级判断矩阵的 CR 值皆小于 0.1,因此可确定判断矩阵的赋值具有满意的一致性,用户需求层次模型及权重值见表 5。

表 5 用户需求层次模型及权重值
Tab.5 Hierarchical model of user requirements and weight value

需求层次 1	权重值	需求层次 2	权重值
功能实现	0.581 5	防护性能良好	0.297 3
		清洁与维修便捷	0.116 2
		通风散热良好	0.081 3
外观造型	0.309 0	造型美观	0.184 0
		符合企业形象	0.085 4
		具有辨识性	0.039 6
生产制造	0.109 5	便于生产加工	0.196 2

4.3 构建筒纱包装生产线质量屋

邀请上述专家组将二级需求转化成对应的设计特征后作出一致性判断,得到设计特征与用户需求的相关性关系与分值,根据式(3)计算各项设计特征总评分并进行排序,最终构建出筒纱包装生产线质量屋,见图 3。评分结果的前 3 项是设计中需要重点满足的设计特征,分别是设备安全性、外观形态、加工难度。根据质量屋中设计特征之间自相关矩阵关系,确定共有 3 对设计矛盾:安全性与可维修性、美观性与通风面积、外观形态与加工难度。

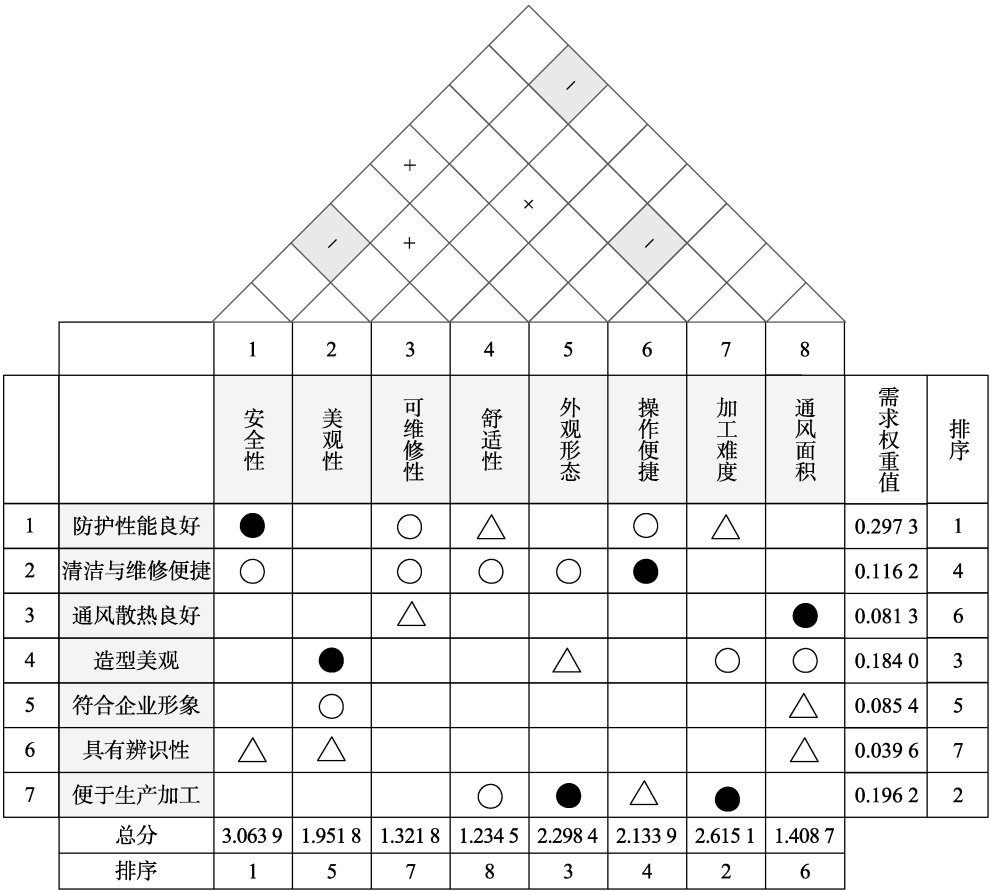


图 3 筒纱包装生产线质量屋
Fig.3 HOQ of cheese packaging machinery

4.4 运用 TRIZ 理论对矛盾问题求解

对安全性与可维修性、美观性与通风面积、外观形态与加工难度之间的设计矛盾进行深入分析并完成分类工作。随后对照发明原理频率表进行筛选, 最终采用 1 号与 10 号, 1 号、4 号与 10 号, 1 号与 35 号最优发明原理进行方案设计。设计矛盾类型与最优发明原理见表 6。拟选用的最优发明原理内容见表 7。

表 6 设计矛盾类型与最优发明原理
Tab.6 Types of design contradiction and principles of invention

设计矛盾	矛盾分类	最优发明原理
安全性与可维修性	功能结构	1 分割
	使用感受	10 预操作
美观性与通风面积	物理尺寸	4 不对称
	功能结构	1 分割
	使用感受	10 预操作
外观形态与加工难度	物理尺寸	1 分割
	使用感受	35 性状变化

表 7 拟选用的最优发明原理内容
Tab.7 Content of the principle of optimal invention

序号	名称	内容
1	分割原理	将一个物体分成几个相互独立或容易拆装的部分
4	不对称原理	将物体的对称外形变为不对称或增强其不对称程度
10	预操作原理	提前设计产品的某个功能和造型
35	性状变化原理	改变零部件的物理状态、柔性、颜色和纹理

4.4.1 解决安全性与可维修性之间的设计矛盾

筒纱包装生产线壳体可以对内部机械结构进行有效保护, 也可以为操作人员提供安全保障。安全性能越好, 意味着壳体的强度及稳定性越高, 壳体可拆卸零件数量越少, 其可维修性就越差。通过对照通用工程参数分类表, 可判断出设备壳体外观造型与功能结构、使用感受之间产生了设计矛盾。基于发明原理频率表, 可以确定 1 号分割原理与 10 号预操作原理具有较大的应用价值。具体解决方案如下: 首先, 运用 1 号发明原理对筒纱包装生产线壳体进行合理分割, 对壳体中安全性要求较高的关键部位加强防护, 如增加防护板或减震板, 针对安全性需求较低的位置可设计维修口和观察口; 其次, 运用 10 号发明原理, 在设备上预留较大的维修空间, 以提升维修人员的安全感和操作效率。改进后的分割与防护设计方案见图 4。

4.4.2 解决美观性与通风面积之间的设计矛盾

筒纱包装生产线的良好通风能够保证设备及时

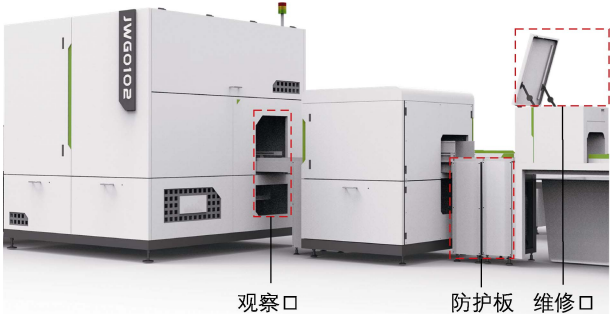


图 4 改进后的分割与防护设计方案
Fig.4 Improved segmentation and protection scheme

散热, 有利于延长零部件的使用寿命。通风性能的影响因素包括通风孔的位置和大小, 同时其造型特征也直接影响着设备的美观性。通过对照通用工程参数分类表, 可判断出设备外观造型与物理尺寸、功能结构、使用感受之间产生了设计矛盾。基于发明原理频率表, 可以确定 1 号分割原理、4 号非对称原理与 10 号预操作原理具有较大的应用价值。通风口设计方案见图 5, 具体如下: 首先, 运用 1 号发明原理, 采用分割的方法明确通风孔的功能区域; 其次, 运用 4 号发明原理, 采用非对称结构对通风孔进行造型设计, 在加强结构强度的同时提升艺术价值与美观性, 见图 5a; 最后, 运用 10 号发明原理, 在设备上预留结构件以达到过滤棉絮的目的, 见图 5b。

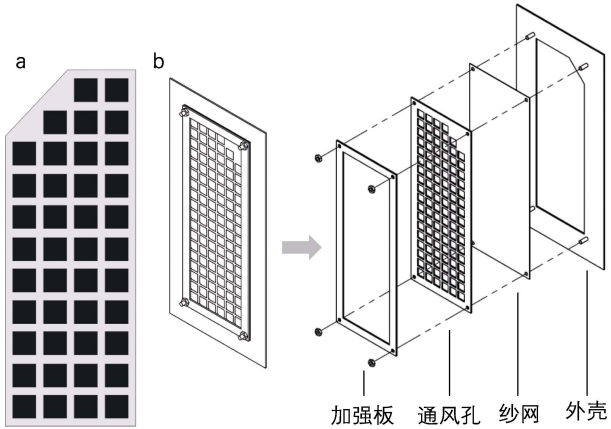


图 5 通风口设计方案
Fig.5 Design scheme of vent modeling

4.4.3 解决外观形态与加工难度之间的设计矛盾

筒纱包装生产线从造型设计到落地使用主要包括设计研发、生产制造、原材料等成本, 造型设计直接影响着生产环节的成本能耗, 其中形态要素的影响尤为重要, 然而设备壳体的形态越复杂, 其可制造难度就越大。通过对照通用工程参数分类表, 可判断出壳体外观造型与物理尺寸、使用感受之间产生了设计矛盾。基于发明原理频率表, 可以确定 1 号分割原理与 35 号性状变化原理具有较大的应用价值。具体解

决方案如下：首先，运用 1 号发明原理对筒纱包装生产线壳体进行分割，通过分离零部件来降低生产加工难度；其次，运用 35 号发明原理对筒纱包装生产线

壳体的材质和色彩进行优化，统一相同功能区域的色彩和材质，可以在降低工艺难度的同时提升企业形象和品牌辨识度。相同功能区域的造型设计方案见图 6。

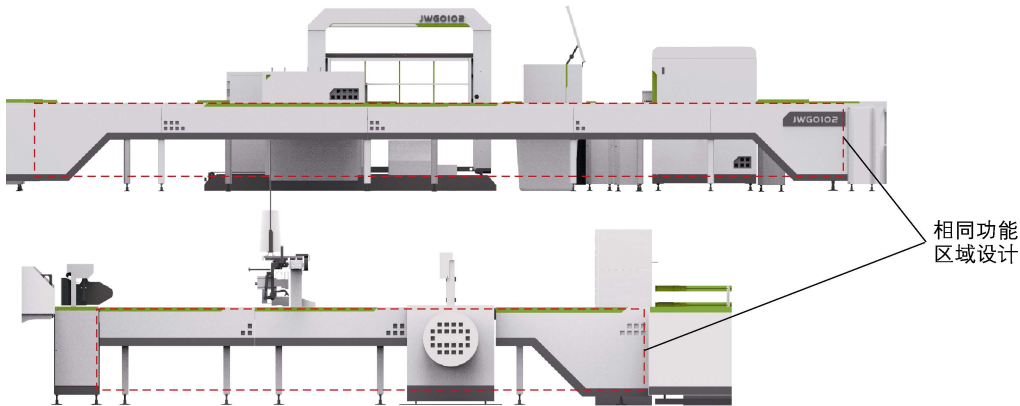


图 6 相同功能区域的造型设计方案
Fig.6 Modeling design scheme of same functional areas

5 最终造型设计方案

根据上述分析，最终的筒纱包装生产线设计方案见图 7。筒纱包装生产线的壳体主要由钣金加工而成，硬朗的形态风格能够有效降低加工难度，因此确定采用直线作为主要形态元素，方正的整体造型既便于生产制造，又能够体现出大型机械设备的稳重感和秩序

感。在色彩方面，采用浅灰色（PANTONE 420）、深灰色（PANTONE 445）作为主色，采用绿色（PANTONE 368）的装饰条作为点缀图案。浅灰色体现了现代感和洁净感，深灰色加强了机械设备的体量感和稳定感，绿色能够在增添整体造型活泼感的同时减少操作人员的视觉疲劳感。

以下为筒纱包装生产线造型设计创新点：



图 7 筒纱包装生产线设计方案
Fig.7 Design scheme of cheese packaging machinery

1) 运用 1 号分割发明原理。对钣金壳体进行分割设计，使维修口、观察口、门柜、通风口等操作区成为半独立结构，利用统一、有序的钣金加工手段能够有效降低制造成本。将原来单独分离的操作面板经过钣金分割后，嵌入并整合到分拣设备中成为独立的子系统，以显著地扩大观察与操作空间。减少分拣设备壳体的分割特征，提升其结构强度和防护性能，将输送模块壳体设计成半包裹形式，对外露结构起到防护作用的同时也有助于清洁和通风。

2) 运用 4 号非对称发明原理。设备功能的多样性和结构的复杂性要求对筒纱包装生产线的外观造型进行系统设计，使设备具有简洁感和统一感，因此运用非对称发明原理，对设备把手、观察窗、维修口、

防护板等结构进行非对称设计，从而与通风口非对称造型保持一致。

3) 运用 10 号预操作发明原理。分拣模块是筒纱包装生产线的核心功能区，也是易产生噪音、棉絮等危害的区域，因此对设备中易产生噪音的电机部位利用隔音材料进行包裹，在通风口处预留防尘或棉絮过滤网，能够减少机器正常运行时的噪音、粉尘、棉絮，从而提升作业环境质量并降低对操作人员的伤害。

4) 运用 35 号性状变化发明原理。对设备型号、企业标志进行色彩的优化设计，以突出符号元素的视觉效果。对同种功能区域采用相同色彩和材质，以增强整体感和秩序感，同时采用主辅有序的色彩层次对功

能区进行划分, 从而提升筒纱包装生产线的整体性和层次感。

6 结语

文中提出了基于 QFD-TRIZ 理论的筒纱包装生产线造型设计方法, 通过案例深入分析验证了设计流程的有效性。首先通过收集同类产品样本进行形态分析, 并采用访谈法与焦点小组法建立了需求层次模型。然后运用 QFD 理论将用户需求转化为对应的设计特征, 获得了重要度排序, 并定位了主要设计矛盾。最后应用 TRIZ 理论中的通用工程参数分类表获取了设计矛盾类型, 结合发明原理使用频率筛选出了矛盾问题的最优解, 最终确定了优化设计方案。

研究证明, 基于 QFD-TRIZ 理论对筒纱包装生产线进行造型设计, 能够帮助设计师在分析用户需求时运用定量化方法获得重要度较高的用户需求与设计特征, 为造型设计提供了更为精准的设计方向, 同时 TRIZ 理论中丰富的工具资源也是对 QFD 理论中以顾客需求为驱动方法的重要补充和拓展。该方法不仅能够解决设计师在设计前端阶段进行选择 and 决策时的经验依赖性问题, 使方案设计结果更加客观、理性, 而且能帮助设计师在设计研发阶段减小筛选造型设计矛盾解决方法的范围, 有效缩短设计工作周期, 并减少概念设计与生产制造之间的障碍, 为筒纱包装生产线的造型设计提供新思路。然而, 文中对 QFD-TRIZ 理论的集成应用, 未能考虑设计师在矛盾问题解决阶段选择最优发明原理所具有的经验依赖性对造型设计的影响。因此, 在今后的研究中, 需要将最优发明原理的科学选择纳入考虑范围, 从而对研究流程加以完善和改进。

参考文献:

- [1] 郭政良, 马思乐, 陈纪旸. 筒子纱包装自动整列系统的设计与实现[J]. 包装工程, 2019, 40(11): 137-141.
- [2] 刘国梁, 戴曦, 冯徐鑫. 筒纱生产线分拣设备控制系统设计[J]. 机械工程师, 2020(10): 4-6.
- [3] 唐琳, 常瑜, 王子瑞. 基于 QFD 与 AHP 的老年人健身器械造型设计[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 199-204.
- [4] 吕中意, 杨波, 黄峰. 基于 QFD 的复杂产品外观设计与改进[J]. 机械设计, 2019, 36(11): 119-126.
- [5] 苏晨, 章莎莉, 肖莉. 基于 QFD 和 TRIZ 的瓦楞纸板生产线造型设计研究[J]. 包装工程, 2019, 40(20): 118-124.
- [6] 曹国忠, 张曙, 解秋蕊. 基于冲突解决理论的产品造型设计方法研究[J]. 包装工程, 2018, 39(14): 1-7.
- [7] 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.
- [8] 王佳帅, 江牧. 基于 QFD 和 TRIZ 的视障者药品标签器设计研究[J]. 包装工程, 2020, 41(12): 62-66.
- [9] 汪卫, 干静, 李显铃. 基于机械设备常用造型特征的设计方法研究[J]. 机械, 2016, 43(1): 64-68.
- [10] 吕仁龙. 浅谈数控机床趋同化发展现状[J]. 科技创新导报, 2018, 15(22): 90-91.
- [11] SAATY T L. Analytic Hierarchy Process[J]. Mathematical Models for Decision Support, 2013(4): 109-121.
- [12] 侯士江, 刘甲财, 孙可. 基于 AHP-FCE 的医院陪护病床设计与评价[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 174-178.
- [13] 吴若仟, 江屏, 卢佩宜. 产品设计中基于 QFD 的需求转化过程研究[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(5): 1410-1421.
- [14] 赵延玲, 马苏常. 基于 TRIZ 的机床可重构设计研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2014(7): 12-14.

- ZHAO Yan-ling, MA Su-chang. Research on Reconfigurable Design of Machine Tool Based on TRIZ[J]. Modular Machine Tool and Automatic Machining Technology, 2014(7): 12-14.
- [15] CRISTIANO J J, LIKER J K, WHITE C C I. Key Factors in the Successful Application of Quality Function Deployment (QFD)[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2001, 48(1): 81-95.
- [16] 卫汉华, 张曙. 机床的工业设计(上)[J]. 机械设计与制造工程, 2017, 46(5): 1-8.
- WEI Han-hua, ZHANG Shu. Industrial Design of Machine Tools (I)[J]. Mechanical Design and Manufacturing Engineering, 2017, 46(5): 1-8.
- [17] 李永锋, 侍伟伟, 朱丽萍. 基于灰色层次分析法的老年人 APP 用户体验评价研究[J]. 图学学报, 2018, 39(1): 68-74.
- LI Yong-feng, SHI Wei-wei, ZHU Li-ping. Research on the Evaluation of APP User Experience for the Elderly Based on Grey Analytic Hierarchy Process[J]. Acta Graphica Sinica, 2018, 39(1): 68-74.
- [18] 丁玮, 洪黎, 宋彬. 基于 AHP 法对单兵火箭弹弹丸炸点精度影响因素的分析改进[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(5): 29-35.
- DING Wei, HONG Li, SONG Bin. Analysis and Improvement of Influencing Factors on the Burst Point Accuracy of Individual Rocket Projectile Based on AHP Method[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016, 37(5): 29-35.

责任编辑: 马梦遥

(上接第 49 页)

- [20] AKTAR DEMIRTAS E, ANAGUN A S, KOKSAL G. Determination of Optimal Product Styles by Ordinal Logistic Regression Versus Conjoint Analysis for Kitchen Faucets[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2009, 39(5): 866-875.
- [21] 卢兆麟, 汤文成, 薛澄岐. 简论形状文法及其在工业设计中的应用[J]. 装饰, 2010(2): 102-103.
- LU Zhao-lin, TANG Wen-cheng, XUE Cheng-qi. Discussion on Shape Grammar and Its Application in Industrial Design[J]. Art & Design, 2010(2): 102-103.
- [22] CUI J, TANG M X. Integrating Shape Grammars into a Generative System for Zhuang Ethnic Embroidery Design Exploration[J]. Computer-Aided Design, 2013, 45(3): 591-604.
- [23] 杨涛. 基于形状文法的汽车前脸造型意象重组方法研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
- YANG Tao. The Research on the Method of Image Recombination of Automobile Front Based on the Shape Grammar Theory[D]. Changsha: Hunan University, 2009.
- [24] 陈金亮, 赵锋, 廖浩勤, 等. 基于感性意象的 SUV 前脸造型设计[J]. 包装工程, 2020, 41(20): 102-108.
- CHEN Jin-liang, ZHAO Feng, LIAO Hao-qin, et al. SUV Front Face Styling Design Based on Perceptual Image[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(20): 102-108.

责任编辑: 陈作

(上接第 91 页)

- [13] 祁卓娅. 机械产品模块化设计方法研究[D]. 北京: 机械科学研究总院, 2006.
- QI Zhuo-ya. Research on Modular Design Method of Mechanical Products[D]. Beijing: China Academy of Machinery Science and Technology, 2006.
- [14] 纪雪洪, 吴永林, 孙道银. 产品模块化与供应链协同设计[J]. 物流技术, 2012, 31(13): 318-320.
- JI Xue-hong, WU Yong-lin, SUN Dao-yin. Product Modularization and Supply Chain Collaborative Design[J]. Logistics Technology, 2012, 31(13): 318-320.
- [15] 抄佩佩, 沈斌. 跨国车企“平台化”车型开发综述[J]. 汽车维修与保养, 2013(7): 68-70.
- CHAO Pei-Pei, SHENG Bin. Overview on the Development of "Platformized" Vehicle Models for Multinational Automobile Enterprises[J]. For Repair & Maintenance, 2013(7): 68-70.
- [16] 黄方庆. 大众横置发动机模块战略(MQB)分析[J]. 汽车与配件, 2012(14): 20-21.
- HUANG Fang-qing. Analysis of Volkswagen's Transverse Engine Module Strategy (MQB)[J]. Automobile & Parts, 2012(14): 20-21.
- [17] 田静. 汽车平台及发展趋势简析[J]. 科技和产业, 2013, 13(10): 166-169.
- TIAN Jing. Automobile Platform and Development Trend[J]. Science Technology and Industry, 2013, 13(10): 166-169.
- [18] 叶风, 宋佳, 梁嘉琪. 以儿童收纳产品为例的平台化设计方法研究[J]. 包装工程, 2020, 41(22): 121-129.
- YE Feng, SONG Jia, LIANG Jia-Qi. Platform Design Method Taking Children's Storage Products as an Example[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(22): 121-129.
- [19] 赵福全, 刘宗巍, 李赞. 汽车产品平台化模块化开发模式与实施策略[J]. 汽车技术, 2017(6): 1-6.
- ZHAO Fu-quan, LIU Zong-wei, LI Zan. Development Mode and Implementation Strategy of Automotive Product Platform and Modularity[J]. Automobile Technology, 2017(6): 1-6.

责任编辑: 马梦遥