多方法融合的柑橘自动剥皮设备创新设计

汤亮[1,2]，李倩[1]，李宸宇[1]，刘冠军[1]，杨敏[1]，李飞扬[1]
（1.湖北工业大学 机械工程学院，武汉 430070；
2.湖北省制造业创新方法与应用工程技术研究中心，武汉 430070）

摘要：目的 设计一种能提高一次剥净率、降低果肉破损率的柑橘自动剥皮设备。**方法** 提出一种多方法融合创新设计模型，并将其应用于柑橘自动剥皮设备的创新设计中。首先，根据 Kano 模型得到柑橘自动剥皮设备的用户需求属性；然后，结合公理设计理论完成域间映射，得到设计矩阵；由独立公理判断出设计矩阵类型，得到设计矩阵是准耦合设计，运用 TRIZ 理论进行解耦设计，得到柑橘自动剥皮机的创新设计方案；最后，结合层次分析法和模糊综合评价法对设计方案进行评价。**结果** 利用该创新设计模型得到的柑橘自动剥皮机创新设计方案，在功能属性、安全属性和经济属性等 3 个方面都要优于现有的柑橘自动剥皮设备。**结论** 设计的柑橘自动剥皮设备满足设计要求，验证了该创新设计模型的可行性及合理性。

关键词：公理设计理论；TRIZ；Kano 模型；柑橘自动剥皮设备；评价方法
中图分类号：TH122；TB486　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1001-3563(2019)21-0036-08
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.21.006

Innovative Design of Citrus Automatic Peeling Equipment Based on Multi-method Integration

TANG Liang[1,2], *LI Qian*[1], *LI Chen-yu*[1], *LIU Guan-jun*[1], *YANG Min*[1], *LI Fei-yang*[1]
(1.School of Mechanical Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430070, China;
2.Hubei Engineering Research Center for Manufacturing Innovation Method, Wuhan 430070, China)

ABSTRACT: The work aims to design a unit of automatic peeling equipment for citrus, which can improve the one-time peeling rate and reduce the pulp damage rate. An innovation design model based on multi-method integration was proposed and applied to the innovative design of citrus automatic peeling equipment. Firstly, according to Kano model, the user requirement attributes of citrus automatic peeling equipment were obtained. Secondly, the design matrix was obtained by mapping between domains based on axiomatic design theory. Thirdly, the type of design matrix was judged by independent axiom, and the design matrix obtained was quasi-coupled design. The decoupling design was carried out by TRIZ theory, and the innovative design scheme of citrus automatic peeling machine was obtained. Finally, the design scheme was evaluated in combination with the analytic hierarchy process and the fuzzy comprehensive evaluation method. The innovative design scheme of citrus automatic peeling machine based on the proposed innovative design model was superior to the existing citrus automatic peeling equipment in three aspects: function attribute, safety attribute and economic attribute. The designed citrus automatic peeling equipment meets the design requirements and verifies the feasibility and rationality of the proposed innovative design model.

KEY WORDS: axiomatic design theory; TRIZ; Kano model; automatic peeling machine for citrus; evaluation method

收稿日期：2019-05-13
作者简介：汤亮（1978—），男，博士，湖北工业大学副教授，主要研究方向为轻工机械设计。

随着柑橘种植面积的逐年扩大，年产量的逐年递增，我国柑橘产业呈现产量大、出口激增、设备自动化程度低等特点，大量的柑橘需要及时被加工处理。由于种植特性的差异，我国柑橘的物料特性与国外的差异性较大，无法适应国外的设备，我国大多数柑橘深加工企业很少成套引进柑橘剥皮设备[1]。我国对柑橘剥皮机械的研究起步较晚，市场上尚没有成熟的柑橘剥皮设备。

近年来，创新设计理论的研究成为了国内外研究的热点，合理运用创新理论，对于产品创新设计流程系统化和逻辑化具有重要的价值与意义[2]。Kevin Di Genova 和 Chris Coleman[3]将公理设计应用于手动轮椅的牵引机设计上，设计了一款牵引机，能帮助轮椅使用者增加垂直的高度。黄斌达等[4]在构建机加夹具多级实例库的基础上，运用公理设计和 TRIZ 理论设计开发了机加夹具方案设计系统。杨涛等[5]提出了一种对相关属性进行迭代匹配与合并的扩展 AD 理论，并将其应用于下肢康复机器人设计中。孙蕾蕾[6]运用 Kano 模型构建了反映用户需求的公用充电桩产品需求模型，有效地指导了公用充电桩的创新设计。

柑橘剥皮是柑橘加工过程中必备的环节之一，然而，目前柑橘剥皮完全依赖人工，使得在生产过程中需投入大量人力，一方面无法保障食品卫生安全，另一方面产品一致性差，生产效率低。目前柑橘剥皮机械普遍存在一次剥净率低、果肉破损率高等问题，在以往柑橘剥皮机的设计过程中，大多是依靠设计人员的经验，没有充分的理论支撑。文中通过将公理设计理论、TRIZ 理论、Kano 模型相结合，对柑橘自动剥皮机进行创新设计。

1　多方法融合的创新设计模型

以公理设计理论为创新设计框架，融合 TRIZ 理论、Kano 模型，建立了柑橘自动剥皮机创新设计模型，见图 1。该模型将柑橘自动剥皮机设计总结为以下 4 个步骤。

1）柑橘自动剥皮机的产品用户需求分析。通过对现有的柑橘自动剥皮机存在的缺陷进行分析整理，从柑橘种植者、工程技术人员和企业经营者 3 个角度出发，应用 Kano 模型设计调查问卷进行调研，对调查结果进行整理分析得到柑橘自动剥皮机产品用户需求。

2）柑橘自动剥皮机设计域之间的映射过程。借助公理设计完成用户域-功能域的映射，以及功能域-设计域的映射，得到功能域-设计域的设计矩阵，利用独立公理，判断设计矩阵的类型，确定冲突存在的位置。

3）柑橘自动剥皮机冲突识别以及解决过程。在运用公理设计的过程中会出现准耦合设计或耦合设计的情况，可以运用 TRIZ 理论进行解耦设计。运用 TRIZ 理论的冲突分析和物质-场模型对耦合部件进行分析，并利用对应的发明原理和标准解对其进行求解，最终得到柑橘自动剥皮机的创新设计方案。

4）方案评价。在得到的创新设计方案里，需要选择合适的方案去进行后续的加工生产。通过对现有的方案评价方法进行分析。采用层次分析法从功能属性、经济属性和安全属性等 3 个方面构建评价体系，并确定评价指标的权重，然后根据模糊综合评价法得到各属性的综合评价值，最终根据最大隶属度原则对方案进行评价。

2　柑橘自动剥皮机创新设计

日本在 20 世纪 60 年代后期发明了一种柑橘剥皮机[7]，利用热蒸汽将柑橘皮软化，然后通过旋转刀具随机划皮，最终利用相对转动的齿辊将橘皮从果实上撕扯下来。我国柑橘的物料特性与国外的差异性较大，无法适应国外的设备，而且研究起步较晚，目前尚没有成熟的成套柑橘加工设备[8]。目前市面上常用的剥皮方式是对辊式，如浙江象山双鱼轻工机械有限公司[9]和浙江省农科院[10]研制的剥皮机，这种剥皮机械都存在着剥皮效率低、柑橘破损率高的缺点，针对这一问题，应用多方法融合的创新设计模型对柑橘自动剥皮机进行创新设计。

2.1　产品用户需求识别

由于目前柑橘加工企业都处于人工剥皮的阶段，缺乏自动化的剥皮机械，针对这种现状，对柑橘加工企业的负责人以及项目设计人员进行问卷调查。Kano 模型设置调查问卷时，从正反 2 个方面设置：一是当产品具备该功能时，用户对产品的满意度；二是当产品不具备此功能时，用户对产品的满意度[11—12]，见表 1。对调查问卷进行整理，分析出柑橘加工企业对柑橘自动剥皮机的用户需求，见表 2。将其整理成四象限模型，见图 2。

表 1 中：M 表示基本需求；O 表示一维需求；A 表示魅力型需求；R 表示逆向需求；I 表示无差异需求；Q 表示问题需求。

根据下述公式计算出用户满意度系数 S_i 和不满意度系数 D_i，然后绘制顾客满意度系数图[13]：

$$S_i = \frac{A+O}{A+O+M+I}，\quad D_i = \frac{M+O}{A+O+M+I}$$

式中：A，O，M，I 分别表示 4 种用户对产品需求要素的 Kano 分类数量。

根据图 2 可知，柑橘自动剥皮机的基本需求是要高效地将橘皮剥净，且不损伤果肉，能适应不同大小的柑橘，同时能保证食品安全。一维需求是机器结构

简单且操作简单，自动化程度高，尽量减少营养物质的流失。魅力型需求是机器能够加工多个品种的柑橘，能生产多种类型的产品。在设计过程中，设计者必须满足基本需求，在此基础上，应该首先满足一维需求，在开发设计之余，尽量满足魅力型需求。

2.2　确定功能需求

通过 Kano 模型得到了柑橘自动剥皮机的用户需求{CA}：高效地将橘皮剥净，对橘肉无损伤，且能适应不同大小的柑橘，在整个加工过程中能保证食品安全，因此，总功能需求{FR}是能将橘皮完全剥离的设备，总的约束{C}是对果肉没有损伤，保持果肉的完整。由于这种要求过于笼统，需要对其进行分解，因此得到柑橘自动剥皮机的功能需求 FR：FR_1，柑橘果实果径差异较大，对柑橘进行分级；FR_2，为了保证食品安全，对柑橘进行清洗；FR_3，将柑橘平稳输送

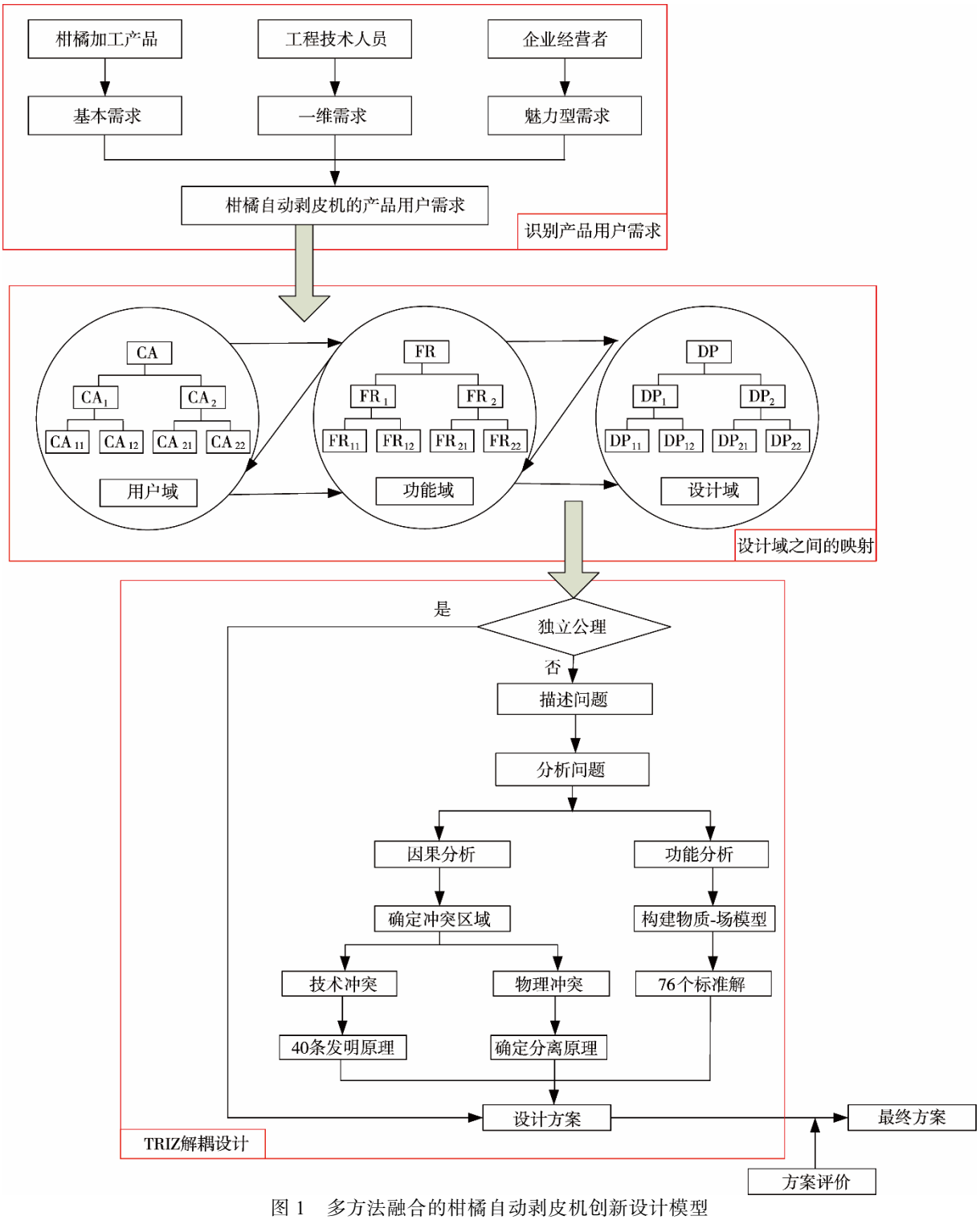

图 1　多方法融合的柑橘自动剥皮机创新设计模型

Fig.1 Innovative design model of citrus automatic peeling machine based on multi-method integration

表 1　柑橘自动剥皮机 Kano 调查问卷（部分）

Tab.1 Kano questionnaire for citrus automatic peeling machine (Part)

柑橘自动剥皮机Kano调查问卷		
客户需求1	正向问题：如果柑橘自动剥皮机的操作简单，无需投入大量的人力，您感觉会怎样？	□ 满意 □ 理应如此 □ 无所谓 □ 可以接受 □ 不满意
	反向问题：如果柑橘自动剥皮机的操作不是那么简单，而需投入大量的人力去操作机器，您感觉会怎样？	□ 满意 □ 理应如此 □ 无所谓 □ 可以接受 □ 不满意

表 2　柑橘自动剥皮机需求调查结果统计

Tab.2 Statistics of survey results on demand of citrus automatic peeling machine

顾客需求	*M*	*O*	*A*	*R*	*I*	*Q*	合计
A1：操作简单，无需过多工人	12	9	9	0	0	0	30
A2：加工效率高	22	5	3	0	0	0	30
A3：结构简单，便于维修	14	4	12	0	0	0	30
A4：能生产多种类型的产品	3	8	19	0	0	0	30
A5：能适应不同大小的柑橘	21	7	2	0	0	0	30
A6：橘皮能一次剥净	27	2	1	0	0	0	30
A7：对橘肉无损伤	26	2	2	0	0	0	30
A8：对食品无污染	20	5	5	0	0	0	30
A9：能加工多个品种的柑橘	6	7	15	0	2	0	30
A10：减少营养物质的流失	13	10	6	0	1	0	30
A11：成本低	10	2	12	0	6	0	30

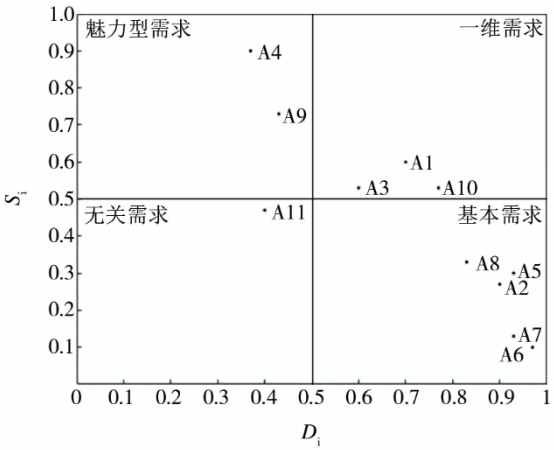

图 2　顾客满意度系数

Fig.2 Customer satisfaction factor

到每一个工序，避免跌落损伤；FR_4，对柑橘进行预处理，改善柑橘果皮特性，方便后续的破皮和剥皮操作，但不影响柑橘果肉口感；FR_5，将橘皮划破，且不损伤橘肉，方便后续剥皮操作；FR_6，能使橘皮与橘肉完全分离。

柑橘自动剥皮机的功能需求向量如下：

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ FR_4 \\ FR_5 \\ FR_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \text{分级} \\ \text{清洗} \\ \text{输送} \\ \text{预处理} \\ \text{破皮} \\ \text{去皮} \end{Bmatrix} \tag{1}$$

2.3　确定设计参数

根据表 2 所描述的功能需求$\{FR_s\}$，将其转化为设计参数$\{DP_s\}$，且保证各附属部件功能的独立性。

1）求解设计参数 DP_1。由于果径相差较大，需要进行分级处理，选用相应型号的柑橘分级机即可。DP_1：柑橘分级机。

2）求解设计参数 DP_2。柑橘采摘后，需进行清洗，以保持橘皮表清洁卫生，也减少了对后续加工过程中的污染。采用喷淋式清洗机。DP_2：喷淋式清洗机。

3）求解设计参数 DP_3。输送装置的目的是使柑橘

依次有序的进入下一个装置中，不同部位需要不用的传输装置。DP_3：传输装置。

4）求解设计参数 DP_4。柑橘果皮含水率较高，呈现脆性大，发生弯折后很容易断裂，这些都对柑橘去皮影响较大，因此在去皮前有必要对柑橘进行预处理。DP_4：预处理装置。

5）求解设计参数 DP_5。为了有效地提高一次剥净率，在去皮操作前，常增加一个划皮操作。常用的破皮方式是使用刀具将橘皮划破。DP_5：划皮装置。

6）求解设计参数 DP_6。目前国内外的柑橘去皮设备多采用对辊装置将橘皮与橘肉剥离，这种方式能有效地将橘皮从橘肉上撕扯下来。DP_6：去皮装置。

柑橘自动剥皮机的设计参数向量如下：

$$\begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ DP_4 \\ DP_5 \\ DP_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \text{柑橘分级机} \\ \text{喷淋式清洗机} \\ \text{传输装置} \\ \text{预处理装置} \\ \text{划皮装置} \\ \text{去皮装置} \end{Bmatrix} \tag{2}$$

2.4　建立矩阵方程

在对功能域进行分解的过程中，分级装置、清洗装置和运输装置对后续的预处理、破皮、去皮操作并没有产生直接影响，即 FR_1，FR_2，FR_3 是独立的，与其他功能需求之间没有发生耦合。然而，破皮的效果会受到预处理操作的影响，即 FR_5 会受到 FR_4 的影响。预处理操作和破皮操作对最终的去皮效果都有直接影响，即 FR_6 会受到 FR_4 和 FR_5 的影响。针对 FR_4，FR_5 和 FR_6，建立如下的矩阵方程：

$$\begin{bmatrix} FR_4 \\ FR_5 \\ FR_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} DP_4 \\ DP_5 \\ DP_6 \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中：FR_4 为预处理；FR_5 为破皮；FR_6 为去皮；DP_4 为预处理装置；DP_5 为破皮装置；DP_6 为剥皮装置。

观察矩阵方程可以看出，该设计矩阵是一个三角形矩阵，该矩阵在公理设计中被称为准耦合设计，该设计是可以被接受的，但是设计必须按照一定的顺序（FR_2-DP_2，FR_3-DP_3，FR_4-DP_4）来进行消除迭代。

3　基于 TRIZ 理论的关键部件的解耦设计

3.1　破皮装置的设计

在 TRIZ 理论中，描述一个完整的功能需要 2 个物质和 1 个场。在破皮过程中刀具划皮深度过大，会损伤果肉，但如果深度过小，也达不到破皮的效果，根据 TRIZ 理论建立了物质-场模型，见图 3。根据 76 个标准解中第 12 个标准解[14]：在一个系统中有用及有害效应同时存在，但 S_1 与 S_2 必须处于接触状态，增加场 F_2，使之抵消 F_1 的影响，或得到一附加的有用效应。根据这一原理，在刀具和橘肉之间增加一个机械场，使得刀具变成柔性刀具，能自动适应柑橘果实的大小，得到的设计方案见图 5。

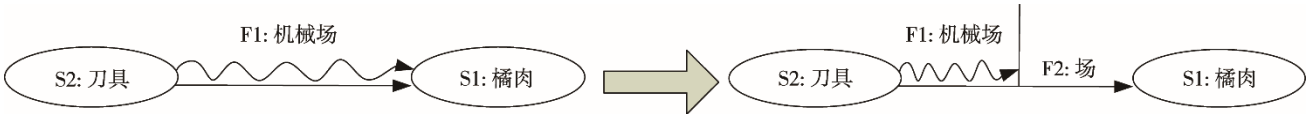

图 3　破皮装置的物质-场模型
Fig.3 Matter-field model of skin breaker

柑橘破口撕皮装置的工作原理是：经过烫皮处理后的柑橘，经过传送带输送到破皮装置的辊轮的凹槽中，通过固定在刀具架上的划皮刀具将橘皮划皮。破皮刀见图 4，破皮装置见图 5。

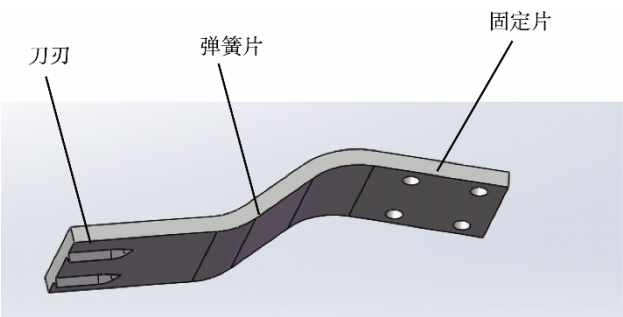

图 4　柑橘破皮刀具
Fig.4 Citrus peeling cutter

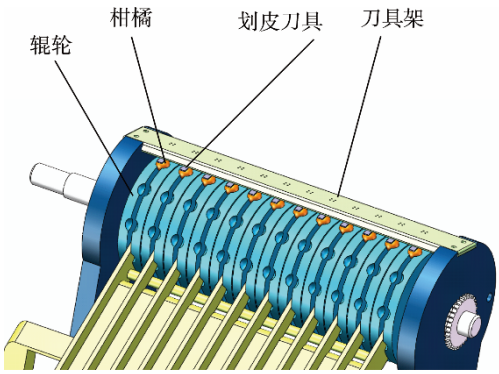

图 5　柑橘破皮装置
Fig.5 Citrus peeling device

3.2　去皮装置的设计

目前部分小型加工企业使用剥皮辊对柑橘进行摩擦去皮，在这个过程中，辊轮无法自动调节对柑橘

的挤压力，会出现无法剥皮或挤伤果肉的现象。利用 TRIZ 理论的矛盾分析法对其进行分析，构建物质-场模型，辊轮对柑橘既存在有用作用，也存在着有害作用，物质-场模型见图 6。

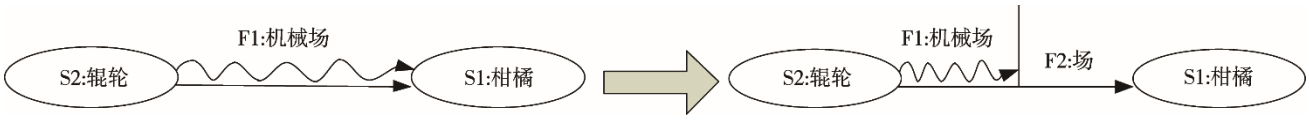

图 6　辊轮摩擦去皮装置的物质-场模型
Fig.6 Matter-field model of roller friction peeling device

根据 76 个标准解，在剥皮辊之间增加一个机械场，使柑橘剥皮辊能独立适应柑橘果径大小，见图 7 和图 8。链条带动剥皮辊转动，在剥皮辊和传动轴之间有一个肋板，支撑剥皮辊。当柑橘从划皮装置出来，经过倾斜刀辊进入剥皮辊的下方，柑橘将剥皮辊 2 向上顶起，由于剥皮辊的自重，给柑橘施加一定的挤压力，从而达到剥皮的效果。

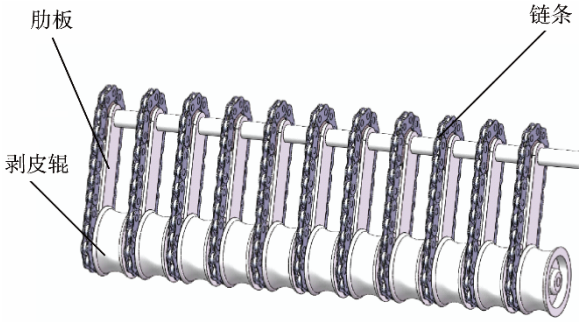

图 7　柑橘剥皮辊
Fig.7 Citrus peeling roller

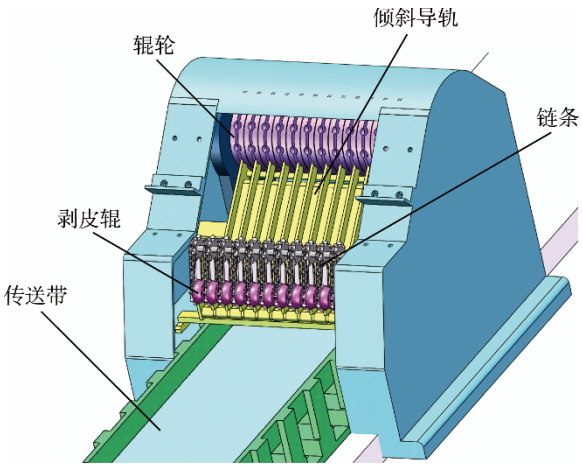

图 8　辊轮摩擦去皮装置
Fig.8 Roller friction peeling device

3.3　柑橘自动剥皮机创新设计方案

经过解耦设计，得到的柑橘自动剥皮机的创新设计方案见图 8。柑橘经过分级清洗后，由链板输送机进入蒸汽烫皮装置，经过烫皮处理后的柑橘进入剥皮装置的辊轮的凹槽中，凹槽能保证柑橘在划皮过程中不会产生偏移。柑橘被固定在刀具架上的划皮刀对橘皮进行破皮处理。由于划皮刀的后端固定在弹簧片上，能自动适应柑橘的大小，避免损伤果肉。被划皮后的柑橘经过倾斜导轨进入剥皮区域，通过剥皮辊与倾斜导轨下端之间的摩擦，完成去皮操作，见图 9。

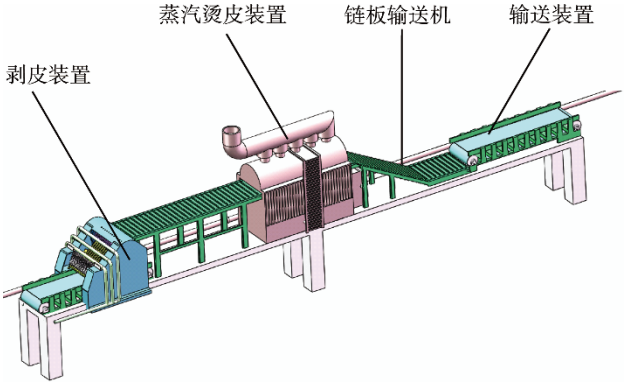

图 9　柑橘自动剥皮机示意
Fig.9 Schematic diagram of citrus automatic peeling machine

4　方案评价

将层次分析法和模糊综合评价法进行结合，首先利用层次分析法构建柑橘自动剥皮机设计方案的评价指标集，并得到各指标的权重，然后利用模糊综合评价法得到各指标的隶属度，由此对设计方案进行评价[15]。

4.1　建立评价指标体系

柑橘自动剥皮机设计方案的评价指标集分为 2 层：第 1 层包含了产品的功能属性、安全属性和经济属性；第 2 层是产品评价的具体指标，见图 10。将评语分为 5 个等级，$V=\{v_1,v_2,v_3,v_4,v_5\}=\{$好，较好，一般，较差，差$\}$。

4.2　确定评价因素的权重向量

层次分析法主要是通过对每一层次中各因素相对重要性给出判断，并通过引入合适的标度用数字表示，形成判断矩阵。

第 1 层评价指标的判断矩阵 $\boldsymbol{A}$ 为：

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}1 & 3 & 5\\ 1/3 & 1 & 3\\ 1/5 & 1/3 & 1\end{bmatrix}$$

第 2 层评价指标的判断矩阵为：

$$A_1=\begin{bmatrix}1 & 3 & 5 & 7\\ 1/3 & 1 & 5 & 7\\ 1/5 & 1/5 & 1 & 3\\ 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1\end{bmatrix},\quad A_2=\begin{bmatrix}1 & 3 & 7\\ 1/3 & 1 & 5\\ 1/7 & 1/5 & 1\end{bmatrix},$$

$$A_3=\begin{bmatrix}1 & 3 & 3\\ 1/3 & 1 & 1\\ 1/3 & 1 & 1\end{bmatrix}$$

通过对判断矩阵进行计算得到的特征向量，就是所求的权重向量，它表示了某一层对于上一层次每个元素的相对重要性。

根据计算得到各判断矩阵的权重向量 W_A=(0.63, 0.26, 0.11)，W_{A1}=(0.54, 0.31, 0.10, 0.05)，W_{A2}=(0.65, 0.28, 0.07)，W_{A3}=(0.6, 0.2, 0.2)。

4.3　模糊综合评价

在确定权重后，通过问卷调查的形式获取各评价指标对评价集的隶属度，调查对象选定为柑橘加工企业负责人和未参与设计的企业其他员工，调查规模为 30 人。2 种方案的指标隶属度情况见表 3。

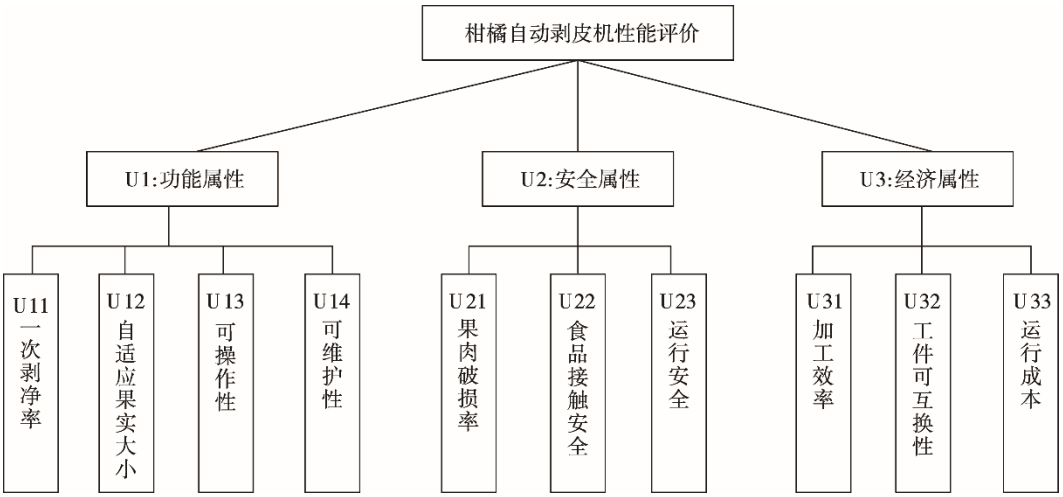

图 10　柑橘自动剥皮机的评价指标体系

Fig.10 Evaluation index system of citrus automatic peeling machine

表 3　柑橘自动剥皮机设计方案评判

Tab.3 Evaluation for design scheme of citrus automatic peeling machine

一级指标	权重	二级指标	权重	评价				
				好	较好	一般	较差	差
功能属性	0.63	一次剥净率	0.54	0.71	0.19	0.1	0	0
		自适应果实大小	0.31	0.62	0.16	0.09	0.13	0
		可操作性	0.1	0.79	0.06	0.05	0.04	0.06
		可维护性	0.05	0.68	0.1	0.02	0.11	0.09
安全属性	0.26	果肉破损率	0.64	0.63	0.22	0.05	0.06	0.04
		食品接触安全	0.26	0.64	0.11	0.09	0.08	0.08
		运行安全	0.1	0.66	0.13	0.16	0.02	0.03
经济属性	0.11	加工效率	0.6	0.64	0.14	0.12	0.1	0
		工件可互换性	0.2	0.6	0.19	0.01	0.1	0.1
		运行效率	0.2	0.7	0.12	0.08	0.06	0.04

柑橘自动剥皮机设计方案的模糊综合判断矩阵为：

$$\boldsymbol{B}=W_i\cdot\boldsymbol{R}_i=(b_1,b_2\cdots b_m)$$

式中：W_i 是二级指标权重；b_m 是评语 v_m 的权重值；$\boldsymbol{R}_i$ 是模糊冲突矩阵。

功能属性：

$$\boldsymbol{B}_1=W_{A1}\cdot\boldsymbol{R}_1=[0.69,0.16,0.09,0.05,0.01]$$

安全属性：

$$\boldsymbol{B}_2=W_{A2}\cdot\boldsymbol{R}_2=[0.64,0.18,0.07,0.06,0.05]$$

经济属性：

$$\boldsymbol{B}_3=W_{A3}\cdot\boldsymbol{R}_3=[0.64,0.15,0.09,0.09,0.03]$$

根据最大隶属度原则，柑橘自动剥皮机的创新设计方案在功能属性、安全属性和经济属性等方面的评价都属于“好”，与原设计方案相比，改进效果良好。

5　结语

文中构建了一种多方法融合的创新设计模型，并将其应用于柑橘自动剥皮机的创新设计中。运用 Kano 模型识别柑橘自动剥皮机的产品用户需求，以公理设计理论为框架，完成了各设计域之间的域间映射，得到了准耦合设计矩阵，并运用 TRIZ 理论对破皮装置和去皮装置进行了解耦设计，得到了柑橘自动剥皮机的创新设计方案。提出了一种基于层次分析法的模糊综合评价方法，并对创新设计方案进行了综合评价，根据最大隶属度原则，创新设计方案与原方案相比，改进效果良好。

参考文献：

[1] 王振亚. 基于对辊式剥皮机的柑橘果皮剥离及果肉损伤机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
WANG Zhen-ya. Mechanisms of Peeling and Pulp Damage of Citrus Fruits Based on Roll Peeler[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.

[2] 陈敏慧, 蒋艳萍, 吕建秋. TRIZ 国内外研究现状、存在问题及对策研究[J]. 科技管理研究, 2015, 35(1): 24—27.
CHEN Min-hui, JIANG Yan-ping, LYU Jian-qiu. Research Status, Existing Problems and Countermeasures of TRIZ at Home and Abroad[J]. Research on Science and Technology Management, 2015, 35(1): 24—27.

[3] DI GENOVA K, COLEMAN C. Axiomatic Design of a Manually Powered Wheelchair Lift Mechanism[D]. Boston: Massachusetts Institute of Technology, 2007.

[4] 黄斌达, 周来水, 安鲁陵, 等. 集成 TRIZ 的机加夹具方案公理化设计[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(4): 1031—1040.
HUANG Bin-da, ZHOU Lai-shui, AN Lu-ling, et al. Axiomatic Design of Integrated TRIZ Fixture Scheme[J]. Journal of Instruments and Instruments, 2017, 38(4): 1031—1040.

[5] 杨涛, 高学山, 彭晋民, 等. 基于扩展 AD 理论的下肢康复机器人概念设计研究[J]. 机械设计, 2018, 35(7): 114—118.
YANG Tao, GAO Xue-shan, PENG Jin-min, et al. Conceptual Design of Lower Limb Rehabilitation Robot Based on Extended AD Theory[J]. Mechanical Design, 2018, 35(7): 114—118.

[6] 孙蕾蕾. 基于 Kano 模型的电动汽车公用充电桩设计研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2018.
SUN Lei-lei. Design and Research of Public Charging Pile for Electric Vehicle Based on Kano Model[D]. Shanghai: East China University of Technology, 2018.

[7] 叶兴乾. 柑橘加工与综合利用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005.
YE Xing-qian. Citrus Processing and Comprehensive Utilization[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2005.

[8] 陈红, 余豹, 王振亚, 等. 宽皮柑橘剥皮机对辊式剥皮装置工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 293—298.
CHEN Hong, YU Bao, WANG Zhen-ya, et al. Process Parameters Optimization of Roll-on-roll Peeling Device for Wide-skinned Citrus Peeler[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2015, 31(4): 293—298.

[9] 蒲焕祥, 周玉林, 欧昌豪. 桔子剥皮机: 中国, 1631272[P]. 2005-06-29.
PU Huan-xiang, ZHOU Yu-lin, OU Chang-hao. Orange Peeling Machine: China, 1631272[P]. 2005-06-29.

[10] 张俊, 邢建荣, 周锦云, 等. 一种柑橘剥皮机: 中国, 102429315A[P]. 2012-05-02.
ZHANG Jun, XING Jian-rong, ZHOU Jin-yun, et al. A kind of Orange Peeling Machine: Chinese, 102429315A [P]. 2012-05-02.

[11] 禹职业. 基于 Kano 模型老年人可穿戴智能产品服务设计研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2018.
YU Zhi-ye. Research on Service Design of Wearable Intelligent Products for the Elderly Based on Kano Model[D]. Shanghai: East China University of Technology, 2018.

[12] 常瑜, 唐琳, 李晓娜. 基于 Kano 模型的植保无人机造型设计研究[J]. 机械设计, 2019, 36(1): 139—144.
CHANG Yu, TANG Lin, LI Xiao-na. Modeling Design of Plant Protection UAV Based on Kano Model[J]. Mechanical Design, 2019, 36(1): 139—144.

[13] 贾晨茜. 基于用户需求评价模型的汽车电商视觉创新方法研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2016.
JIA Chen-xi. Research on Visual Innovation Method of Automobile E-commerce Based on User Demand Evaluation Model[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2016.

[14] 王晓敏. 基于标准解的创新支持系统的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
WANG Xiao-min. Research on Innovation Support System Based on Standard Solution[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.

[15] 王铁良, 张欣, 周林林, 等. 模糊数学在河口湿地水环境质量评价中的应用[J]. 沈阳农业大学学报, 2009, 40(5): 623—626.
WANG Tie-liang, ZHANG Xin, ZHOU Lin-lin, et al. Application of Fuzzy Mathematics in Estuary Wetland Water Environment Quality Assessment[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2009, 40(5): 623—626.