

工艺与装备

QFD 与 TRIZ 在菠萝去皮机设计中的应用

任工昌, 张博文, 张膺之
(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: **目的** 为简化菠萝去皮过程, 提高去皮效率, 减少因去皮而导致的浪费现象, 满足菠萝的加工需求, 结合菠萝的特性, 设计一种新型菠萝去皮机。**方法** 建立基于 QFD 和 TRIZ 的创新设计模型, 利用 QFD 法分析整理出用户需求, 并建立质量屋, 确定关键设计要素, 再运用 TRIZ 理论将设计要素转化为设计技术矛盾, 通过 40 个发明原理进行问题解决。**结果** 通过对技术矛盾的解决, 对菠萝去皮机进行创新设计, 使得菠萝去皮机能够适用于不同的菠萝, 减少了切削时间以及果肉浪费的现象, 并保持其完整、美观的形态。**结论** 依据 QFD 和 TRIZ 的创新设计模型, 在设计过程中既可以满足用户需求, 也可以缩短创新设计时间, 提高了设计效率, 进而为菠萝去皮机的设计提供了一种新的设计思路, 为菠萝加工产业的快速发展起着重要意义。

关键词: TRIZ 理论; QFD 法; 菠萝; 去皮机

中图分类号: TB486⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)07-0157-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.07.022

Application of QFD and TRIZ in the Design of Pineapple Peeling Machine

REN Gong-chang, ZHANG Bo-wen, ZHANG Ying-zhi
(Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to design a new type of pineapple peeling machine in combination with the characteristics of pineapple, in order to simplify the peeling process of pineapple, improve the peeling efficiency, reduce the waste caused by peeling and meet the needs of pineapple processing. An innovative design model based on QFD and TRIZ was established. The user needs were analyzed and sorted out in QFD method and the quality house was established to determine key design elements. Then, TRIZ theory was applied to transform design elements into design technical contradictions. The problems were solved based on 40 invention principles. The solution to the technical contradiction and innovative design of the pineapple peeling machine enabled the pineapple peeling machine to be applied to different pineapples, which reduced cutting time and pulp waste and maintained the complete and beautiful shape of pineapple. The innovative design model of QFD and TRIZ can meet the user needs in the design process, shorten the innovation design time and improve the design efficiency, thus providing a new design idea for the design of pineapple peeling machine and playing an important role in the rapid development of pineapple processing industry.

KEY WORDS: TRIZ theory; QFD method; pineapple; peeling machine

菠萝, 属凤梨科凤梨属, 是最受欢迎的亚热带水果之一, 随着人们生活的日益提高, 菠萝的发展前景

非常广阔, 目前年产量约占世界水果总产量的 5%^[1]。其果实富含各种营养物质, 如果糖, 维生素 B, C 和

收稿日期: 2019-06-29

基金项目: 国家自然科学基金 (51175314); “十二五”国家科技支撑计划 (2012BAF02B01)

作者简介: 任工昌 (1962—), 男, 陕西科技大学教授、博导, 主要研究方向为创新理论、机械设计等。

蛋白酶等物质；且菠萝性平，具有消食止泻、消暑解渴等功效，成为夏季受欢迎的时令佳果之一^[2]。由于菠萝需要去皮食用，去皮过程较为复杂、浪费较多、工作效率低，这便阻碍了菠萝市场的快速发展，因此，通过分析现有菠萝去皮装置的种类及不足，基于 QFD 与 TRIZ 的创新设计模型，有针对性地设计出满足用户需求的菠萝去皮装置，使得菠萝在去皮过程中的稳定性，保证去皮的精度跟准确性，减少果肉的浪费现象。

1 TRIZ

发明问题解决理论^[3] (Theory of inventive problem solving, TRIZ), 是发明家根里奇·阿奇舒勒与专家们花费 50 多年通过分析大量专利文献，并加以搜集、研究、归纳等总结出的一套具有完整体系的创新方法，并在创造性地解决问题中发挥重要作用^[4-5]。主要是从需要解决的问题中找到存在的物理矛盾并对其进行改善，从而达到解决目标的理论，成功地揭示了发明创造的内在规律和原理^[6]。TRIZ 工具有很多种，包括技术进化和技术系统、最终理想解(IFR)、矛盾、39 个通用工程参数和 40 个发明原理、物场分析、76 种标准解、资源、效应、小矮人模型等。TRIZ 解决问题的过程见图 1，首先，将特殊问题抽象为一般问题；然后，利用发明原理和技术效应等知识与法则来解决一般问题；最后，再从一般问题的解到特殊问题的解。

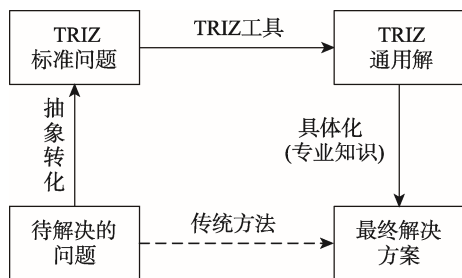


图 1 TRIZ 解决问题的过程

Fig.1 TRIZ process of solving the problem

2 QFD 法

质量功能配置 (quality function deployment, QFD) 理论是日本质量专家 Akao 等在 1967 年提出的，常用于产品的设计过程中^[7]。质量屋二维矩阵在 QFD 理论中起关键作用，将客户用户需求逐步分解为产品的设计要求、技术特性、工艺要求、生产要求的质量工程工具，据此设计并生产能够满足用户需求的产品^[8]，基本形式见图 2。QFD 能够将客户的需求语言转化成设计师的技术语言，使设计师设计出的产品更加符合客户的需求，并且通过程序化的流程推进了研发的进程，从而缩短了研发的时间。

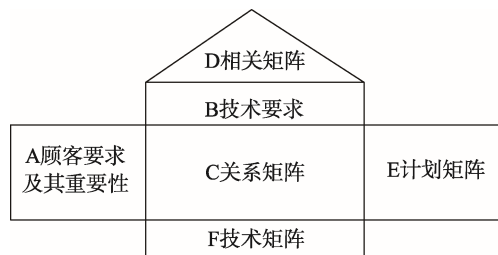


图 2 质量屋的基本形式

Fig.2 Basic form of the quality house

3 基于 QFD 与 TRIZ 的创新设计模型

QFD 能够有效地发现产品在设计过程中存在的技术问题，并将其转化为设计需求；TRIZ 则通过运用各种工具来处理设计中所遇到的技术问题，最终使设计师得到有效解决方案。通过两者的结合，使产品在创新设计过程中能够详细、全面地分析问题，设计过程严谨有序，提高了设计效率。基于 QFD 和 TRIZ 的创新设计模型见图 3，具体分析过程如下所述。

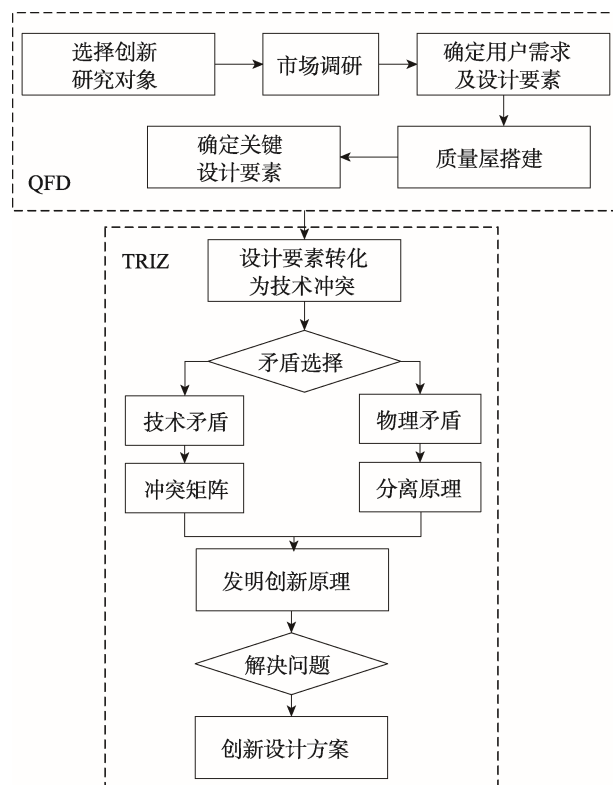


图 3 QFD 与 TRIZ 的创新设计模型

Fig.3 Innovative design model of QFD and TRIZ

1) 选择创新研究对象，通过采用问卷调查、访谈法等进行市场调研。

2) 对调研的结果进行分析整理，确定用户需求及用户需求权重，有针对性地将用户需求转化为设计要素。

3) 搭建“用户需求—设计要素”部分质量屋, 获得设计要素的重要度排序, 确定关键设计要素。

4) 将设计要素转化为设计技术矛盾, 选择合适的 TRIZ 工具寻找对应冲突解决矛盾。

5) 解决问题, 得出创新设计方案。若方案并未很好地解决用户需求, 则需重新进行分析, 反之则得到最终创新设计方案。

4 菠萝去皮机优化设计

由于菠萝的皮为花苞片状的硬皮, 排列呈现出螺旋式状态, 比较难削, 因此食用比较麻烦。且在每个花苞片上面都有一个较深的“果眼”或“黑芯”^[9], 所以食用并不像苹果、橘子那么方便, 需要切掉菠萝的外皮, 去除菠萝的果眼。少量的菠萝可以人工切除, 但如今市场庞大, 进口出口数量多, 机械式去皮虽能节省时间与人力, 却易造成果肉浪费现象, 无法提高加工效率和去皮精准性, 因此, 设计一种快速、安全、卫生、高效的菠萝去皮机很有必要且应用前景十分广阔。

4.1 问题分析

通过基于 QFD 与 TRIZ 的创新设计模型, 对菠萝去皮机问题分析。

1) 该次选择创新研究的对象为菠萝去皮机, 通过采用问卷调查、访谈法等对现有市场上使用的菠萝去皮机进行调研。得到当前菠萝去皮的方式有 2 种: 手工去皮是较常用的去皮方式, 主要使用专用的刀具对菠萝进行去皮及去果眼操作, 如削皮小弯刀、削皮器、V 型菠萝去籽器、菠萝去眼夹, 见图 4。此外, 应用于酒店和某些餐馆菠萝去皮机, 见图 5, 类似于红酒开瓶器, 边缘的锯齿可从菠萝一端旋到另一端, 只留外面一层菠萝皮; 另一种机械式菠萝去皮机利用电机提供动力, 利用专用刀具对菠萝进行去皮、去果眼处理, 见图 6, 这种机械设备种类繁多, 例如: 韩晓冰^[10]、曾新怡^[11]、蓝福裕^[12]等都设计了一种菠萝去皮机构, 其机械原理各不相同。



图 4 手工刀具
Fig.4 Hand tool



图 5 菠萝去皮器
Fig.5 Pineapple peeler

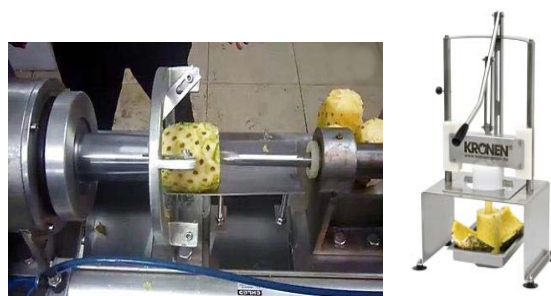


图 6 机械式菠萝去皮机
Fig.6 Mechanical pineapple peeling machine

2) 通过调研分析得出: 手工去皮装置结构单一, 劳动强度较大, 效率低, 不适应于菠萝加工产业的快速发展^[13]; 应用于酒店和某些餐馆菠萝去皮机会造成大量浪费, 不适用于普通家用或商贩使用; 机械式菠萝去皮机装夹困难, 且去除果眼时无法完成准确的机械定位, 在切削不同大小菠萝时要进行人为换刀, 虽然去皮效率得到提升, 但却没有人工去皮美观、干净。确定用户需求是建立质量屋的前提, 只有确定好用户需求才有可能设计出超乎用户期望的产品^[14], 因此用 KJ 法整理出需要大批量去皮的菠萝去皮机的用户需求为: 能够准确去皮且去皮美观的准确性; 适用于各种尺寸大小的菠萝的适用性; 减少果肉浪费现象的低成本; 方便清理去掉的果皮、果眼的易清理性; 易装夹, 避免受伤的安全性。最终根据用户需求, 确定出菠萝去皮机设计要素有以下 6 点: 刀具结构简单、装置适用性、操作简单、缩减浪费、工作区域灵活、减少装夹次数。

3) 运用李克特量表法对用户需求进行重要度打分, 取值范围为 0~5, 5 分为最高分, 分值越高则表示其更具设计价值, 得到相对应的用户需求权重。根据“用户需求—设计要素”二维关系矩阵绘制出的质量屋见图 7。并采用一组关系符号来表示用户需求与技术特性之间的关联程度, 由专家对用户需求与技术特性进行关联度判定。用符号“●”表示关联程度关系为“强”, 取值为 5; 符号“○”表示“中等”, 取值为 3; 符号“△”表示关系“弱”, 取值为 1; 空格表示无相关关系; “+”代表正相关, “-”代表负相关。

从图 7 可以看出, 缩减浪费所占的百分比最高, 是菠萝去皮机设计要素的重中之重。其次, 装置适用性为次要考虑要素, 为确保菠萝去皮机能够适用于大小不同的菠萝。最后, 减少装夹次数能够节省去皮时间、提高效率。

4) 将设计要素转化为设计技术矛盾。从质量屋中得知在技术特征中存在有 2 个负相关关系。其中刀具结构简单与减少装夹次数成负相关关系。菠萝的削皮去眼需要使用不同的刀具, 分 2 次进行切削处理, 这就意味着菠萝要 2 次装夹, 增加了菠萝去皮机刀具的复杂性; 若减少菠萝的装夹次数, 势必会使刀具结构变得复杂。因此, 要减少菠萝的装夹次数则存在改善 TRIZ 理论中第 26 个参数物质或事物的数量和第 36 个参数装置的复杂性之间的技术矛盾。装置适用性与缩减浪费成负相关关系。由于菠萝大小尺寸不一, 且果肉较软, 水分较多, 为确保不同的菠萝能够装夹准确稳定, 可能会导致菠萝的浪费, 也无法保持其完整、美观的形态, 因此, 要改善菠萝去皮机能够适用于大小不同的菠萝, 且能够减少浪费现象则存在改善 TRIZ 理论中第 23 个参数物质损失和第 35 个参数适应性及通用性之间的技术矛盾。通过分析这 2 个负相关的关系, 将设计要素转化为技术矛盾, 查询得到相应的发明原理, 建立冲突矩阵, 见表 1。由矛盾矩阵得到如下 6 个发明原理: “2”抽取原理、“3”局部

质量原理、“10”预先作用原理、“13”反向作用原理(逆向思维)、“15”动态化原理、“27”廉价替代品原理。通过 TRIZ 矛盾矩阵推荐以上 6 个发明原理作为一般性解决方案, 针对机械式菠萝去皮机的具体设计需求进行深入的讨论, 具体分析后得出与该设计问题有关的原理为“3 局部质量原理”和“15 动态化原理”, 因此将采用这 2 个原理进行问题的解决。

5) 为完成同时去皮及去果眼的操作, 对切削刀具进行特别设计, 使其刀具的均匀结构变得不均匀, 刀具前端与后端结构不同。对去皮机的装夹装置进行上下 2 部分设计以及在刀具及传动系统下面设置导轨, 使其通过相对的运动, 从而实现适用不同大小的菠萝, 减少果肉的浪费。

4.2 问题解决

菠萝去皮机的整体设计见图 8, 其工作原理: 通过上下 2 个固定装置来夹持菠萝, 根据菠萝的大小通过下方的调整机构来调整菠萝与切削刀具之间的距离。当机器开始工作时, 机器左边的上夹持装置带动菠萝转动, 机器右边安装在链条上的刀具开始运动, 刀具可以挖入果肉进行切削, 通过菠萝和刀具的同步运动, 可以使得刀具沿着菠萝果眼螺旋线“挖”出一条沟槽, 两侧的刀片则可以切除两边的果皮, 从而达到同时去皮及去果眼的操作。

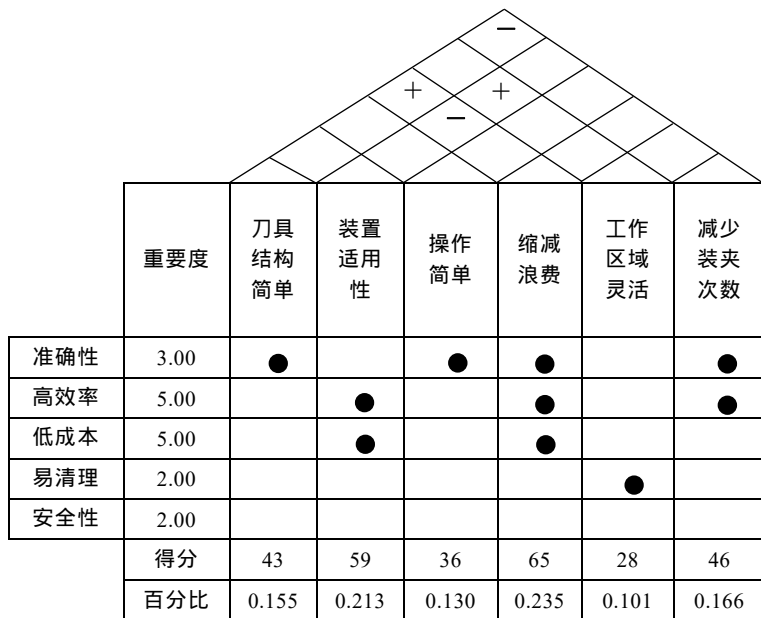


图 7 质量屋

Fig.7 Quality house

表 1 冲突矩阵

Tab.1 Conflict matrix

改善的参数	恶化的参数	对应的发明原理
26 物质或事物的数量	36 装置的复杂性	3, 13, 27, 10
35 适应性及通用性	23 物质损失	15, 10, 2, 13

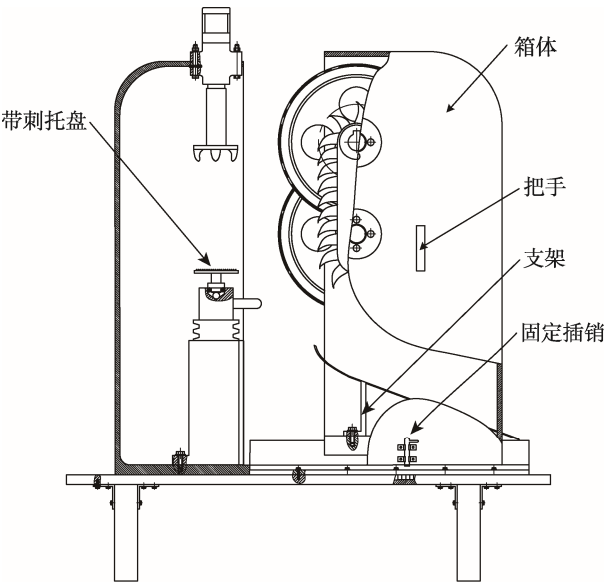


图 8 菠萝去皮机外部结构
Fig.8 External structure of the pineapple peeling machine

整个机器中核心部分包括刀具、夹持装置以及调整结构等，因此文中主要针对此进行优化设计。在对局部质量原理和动态化原理相应的实例进行分析后得到相对应的结构优化设计启发。

刀具作为去皮装置的重要结构，设计过程中需调整其相关参数从而达到理想的去皮效果^[15]。考虑到局部质量原理，将菠萝去皮机的切削刀具进行特别设计，使刀具结构变为不均匀的形状，刀具的前端与后端都有各自需完成的任务，见图 9。刀具前端为半圆锥型，可以很好地挖入果眼进行切削，从而沿着菠萝果眼螺旋线“挖”出一条沟槽，而旁边的刀片则可以切除两边的果皮，从而达到同时去皮及去果眼的操作。该刀具安装在链板与销轴之间，见图 10，随着链条的运动而运动，链条置于凹槽滑轨内，避免切削菠萝时发生较大的相对移动。

同时对菠萝去皮机运用动态化原理，将部分结构设计为可移动的，通过一定的运动能够改变其相对位置。首先，将菠萝去皮机的装夹部分分为上夹持装置及下调整装置。上夹持装置安装在机箱上面且为竖直放置，需承受轴向拉力，因此使用膜片联轴器，见图 11，膜片联轴器下端与连接轴上端连接，上端外接

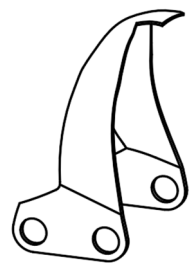


图 9 切削刀具
Fig.9 Cutting tool

减速电机，减速电机运转可带动连接轴旋转。连接轴下端设置有挡板，挡板下方设置有固定刀片。菠萝由下托盘顶上来，固定刀片插入菠萝，电机带动轴旋转，插入菠萝的刀片为菠萝提供转矩带动菠萝旋转。由于菠萝个体大小不同，高度范围在 160 ~ 250 mm 之间。为使菠萝去皮机可以适用于不同大小的菠萝，菠萝固定部分的下调整半装置应该使其能够快速地上下调整。一般去皮机在设计中采用了弹簧调整间距，但这种方式只适用于调整较小差距，当菠萝个体之间相差较大时，就无法靠弹簧的弹力实现这种差距的调整。故该设计采用螺纹传动进行调整，下固定调整装置见图 12，包括固定在箱体支架上的内螺纹筒，内螺纹筒内设置有外螺纹轴，外螺纹轴螺纹上方部位设置有把手，因为螺纹配合，可通过把手转动调整下固定装置的高度，使得上面的托盘上下移动，从而达到适应菠萝大小的目的。外螺纹轴顶部设置有带刺托盘，因托盘上表面有圆锥状小突刺，可增大托盘表面摩擦因数，有效防止菠萝在切削过程中发生打滑脱落等现象。将菠萝插入带刺托盘，托盘下面安装有轴承，当菠萝旋转的时候通过摩擦力带动下面的托盘旋转。

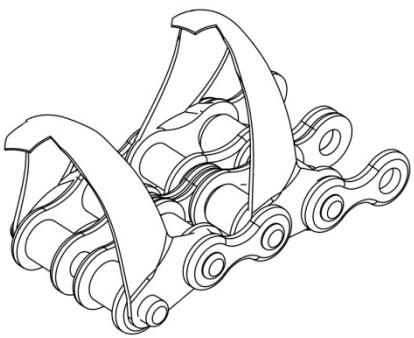


图 10 刀具与链条装配示意
Fig.10 Schematic diagram of tool and chain assembly

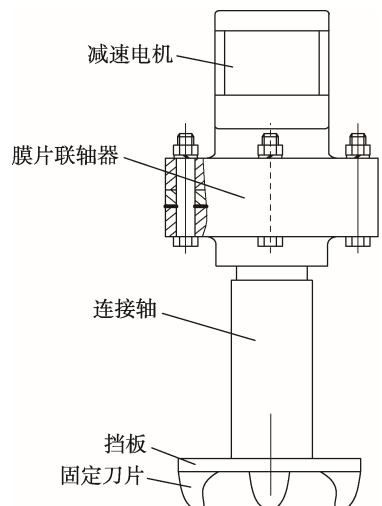


图 11 上固定装置
Fig.11 Upper fixture

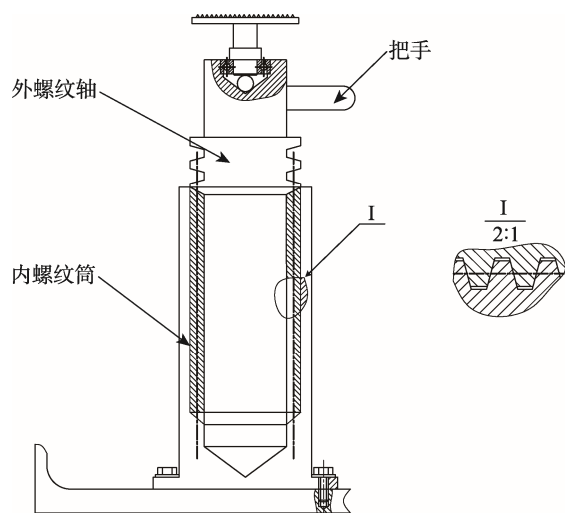


图 12 下调整装置

Fig.12 Lower adjustment device

为应对大小不同菠萝的切削任务,就需要菠萝或者刀具可以左右移动以适应大小不同的菠萝。通过参考数控车床的导轨设计并按实际情况对整体结构考虑,设计导轨见图 13,导轨设置在刀具及传动系统下面,调整的时候通过整体滑动传动系统及电机座来实现这种调整。同时,因执行机构置于滑动导轨上,随着菠萝大小的不同调整位置,以达到减少浪费,准确切削菠萝螺旋线的目的。当机构运动到某个位置进行切削时,切削运动带来的振动可能会使箱体偏移,因为切削运动产生的作用力是在竖直方向,所以这种偏移量不会太大,所以就需要一个简易的装置来锁定箱体的位置,如图 14 所示,用于锁定调整后的传动系统位置。

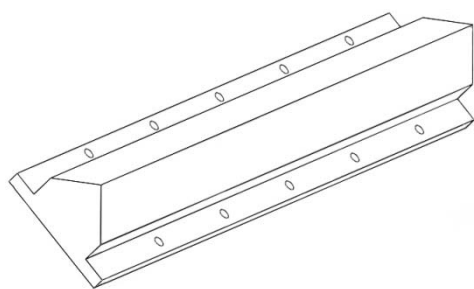


图 13 滑动导轨

Fig.13 Slide rail

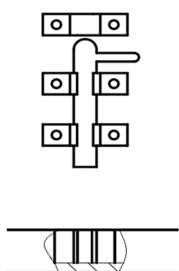


图 14 插销及插孔

Fig.14 Pin and socket

5 结语

菠萝去皮对菠萝产业及菠萝制品快速发展至关重要,因此在传统设计的基础上,利用 QFD 将用户需求转化为关键设计要素,借助 TRIZ 在整个设计过程中解决矛盾冲突,最终得到最优设计方案,并解决了 2 个关键性问题。

1) 设计特殊的切削刀具,使去果皮与果眼能够一次性完成,节约切削时间,提高效率,且刀具结构简单。

2) 将菠萝去皮机的装夹部分设计为上夹持装置及下调整装置,确保大小菠萝都能够稳定装夹,精准去皮,不浪费果肉,并保持其完整、美观的形态。

参考文献:

- [1] 任晓智, 李有立, 李福敏, 等. 机电一体立式夹持菠萝采收装置的设计与制造[J]. 农机化研究, 2020, 42(3): 94—99.
REN Xiao-zhi, LI You-li, LI Fu-min, et al. Design of an Electromechanical Vertical Clamping Device for Pineapple Harvest[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020, 42(3): 94—99.
- [2] 宋淑红, 徐慧琴. 6°P 菠萝果啤的生产[J]. 农产品加工(学刊), 2014, 358(7): 35—36.
SONG Shu-hong, XU Hui-qin. Processing on the 6°P Juice Beer of Pineapple Fruit[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2014, 358(7): 35—36.
- [3] VANEKER T, DIEPEN T V. Design Support for Maintenance Tasks using TRIZ[J]. Procedia CIRP, 2016, 39(39): 67—72.
- [4] NURI S, YAKUP B. Development of Car Wishbone Using Sheet Metal Tearing Process Via The Theory of Inventive Problem-solving (TRIZ) Method[J]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2019, 41(10): 1—10.
- [5] KHADIJA H, MOHAMMED S, ABDELAZIZ A, et al. A Preliminary Design Innovation aid Methodology Based on Energy Analysis and TRIZ Tools Exploitation[J]. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 2018, 12(3): 919—928.
- [6] 任工昌, 张魏, 张强, 等. 基于 TRIZ 与知识库的创新模型构建及在注塑机设计中的应用[J]. 制造技术与机床, 2019(6): 93—96.
REN Gong-chang, ZHANG Wei, ZHANG Qiang, et al. Construction of Innovative Model Based on TRIZ and Knowledge Base and Its Application in Design of Injection Molding Machine[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2019(6): 93—96.
- [7] HAKTANIR E, KAHRAMAN C. A Novel Interval-valued Pythagorean Fuzzy QFD Method and its

- Application to Solar Photovoltaic Technology Development[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 132(6): 361—372.
- [8] 王秀红, 唐淑珍, 李淑方. 基于TRIZ和QFD理论的视障儿童玩具创新设计[J]. 包装工程, 2019, 40(4): 168—172.
WANG Xiu-hong, TANG Shu-zhen, LI Shu-fang, et al. Innovative Design of Toy for Visually Impaired Children Based on TRIZ and QFD[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(4): 168—172.
- [9] 白颖, 朱理瀚, 王青. 菠萝削皮机: 中国, 201621060419.7[P]. 2017-07-07.
BAI Ying, ZHU Li-han, WANG Qing. Pineapple Peeling Machine: China, 201621060419.7[P]. 2017-07-07.
- [10] 韩晓冰. 一种菠萝全自动去皮机: 中国, 201810846268.5[P]. 2018-11-20.
HAN Xiao-bing. Pineapple Automatic Peeling Machine: China, 201810846268.5[P]. 2018-11-20.
- [11] 曾新怡, 刘璐华, 刘楚楚. 一种食品加工用菠萝去皮机: 中国, 201810052240.4[P]. 2018-06-08.
ZENG Xin-yi, LIU Lu-hua, LIU Chu-chu. Pineapple Peeling Machine for Food Processing: China, 201810052240.4[P]. 2018-06-08.
- [12] 蓝福裕. 一种菠萝去皮机构: 中国, 201720001156.0[P]. 2017-12-22.
LAN Fu-yu. Pineapple Peeling Mechanism: China, 201720001156.0[P]. 2017-12-22.
- [13] 宋玲, 史勇. 菠萝去皮装置的研究现状及发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(6): 109—113.
SONG Ling, SHI Yong. Research Status and Development Trend of Pineapple Peeling Device[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017, 38(6): 109—113.
- [14] 王年文, 王剑. 基于QFD/TRIZ的热透灸理疗仪创新设计[J]. 包装工程, 2018, 39(22): 218—224.
WANG Nian-wen, WANG Jian. Innovative Design of Hot Moxibustion Therapy Apparatus Based on QFD/TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(22): 218—224.
- [15] 巩桂芬, 陈宁. 螺旋横向运动式去皮裹包果蔬产品的机械及力学研究[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(5): 33—37.
GONG Gui-fen, CHEN Ning. Research in Machine and Force for Fruit or Vegetable Products Peeled or Wrapped by Lateral Movement of the Rotary Type[J]. Packaging and Food Machinery, 2016, 34(5): 33—37.