

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.05.005

# 新型环形榨菜剥皮装置的设计

谢志强, 沈培玉, 黎鸿峦, 董文强, 张恒笛, 赵晓梦

(江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122)

**摘要:**针对目前榨菜加工厂的榨菜剥皮仍采用传统手工作业,存在耗时耗力的问题,课题组提出了一种新型的环形榨菜剥皮装置。课题组采用滑块摇杆机构,设计了一种摆动的撕皮机构;采用行程开关控制,设计了装置的气动控制系统;利用Creo软件对执行机构进行了动力学分析,得到了刀杆应力最大的受力情况;并进一步利用ANSYS分析软件对刀杆进行有限元分析,得到了刀杆的等效应力云图和变形云图,验证了机构的稳定性和强度要求。实验表明该装置能正常完成剥皮工作,大幅提高了生产效率。

**关键词:**榨菜剥皮;撕皮机构;有限元分析;Creo软件;ANSYS软件

中图分类号:TH122 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2019)05-0025-04

## Design of New Annular Pickled Tuber Mustard Peeler

XIE Zhiqiang, SHEN Peiyu, LI Hongluan, DONG Wenqiang, ZHANG Hengdi, ZHAO Xiaomeng

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

**Abstract:** The traditional manual pickle peeling is still used in the pickling plant, to solve the problem that the traditional manual peeling is time-consuming and laborious, a new annular pickled tuber mustard peeler was put forward. A sliding block rocker mechanism was used to design the flaking mechanism. The pneumatic control system of the device was designed by using the travel switch control. Based on the dynamics analysis of the actuator with Creo software, the maximum stress condition of the cutter bar was obtained. Further finite element analysis of the tool bar was carried out by using ANSYS software. The equivalent stress nephogram and deformation nephogram of the tool bar were obtained, which verified the stability and strength requirements of the mechanism. The experiments show that the device can complete pickle peeling normally and greatly improve the production efficiency.

**Keywords:** pickle peeling; flaking mechanism; FEA (finite element analysis); Creo; ANSYS

榨菜是茎用芥菜的加工产品,风味鲜美,营养丰富,可用作汤料和炒菜的辅料,也可佐餐,是家庭常备的美食,市场需求量大。目前,榨菜成品的加工过程大都实现了自动化生产,但榨菜成品加工工艺中<sup>[1]</sup>,对腌制后的菜头去除筋皮的过程尚采用传统的手工剥皮方法<sup>[2]</sup>,耗时耗力。虽已有学者提出了一种半自动剥皮机<sup>[3]</sup>,但由于其剥皮损耗率大、加工效率低,且剥皮过程一直需要人工进行协助操作,自动化程度低,因此并未得到使用。课题组设计了一种高效率、稳定的新型环形榨菜剥皮装置,操作简单方便,可实现剥皮自动化。该装置有效降低了生产成本,具有良好的实用性。

### 1 榨菜剥皮方案

榨菜剥皮的目的是去掉带粗纤维的筋皮,使口感更佳。传统的手工剥皮是以刀切入菜头的皮与肉之间,刀与手指夹紧榨菜皮,沿菜头的切线方向和法线方向把榨菜筋皮撕出,完成剥皮动作。笔者根据人手剥皮的原理,设计剥皮方案<sup>[4]</sup>。具体剥皮过程为:榨菜头定位、按压菜头、夹皮和撕皮,因此装置需要设置相应的执行机构。

### 2 榨菜剥皮装置的结构

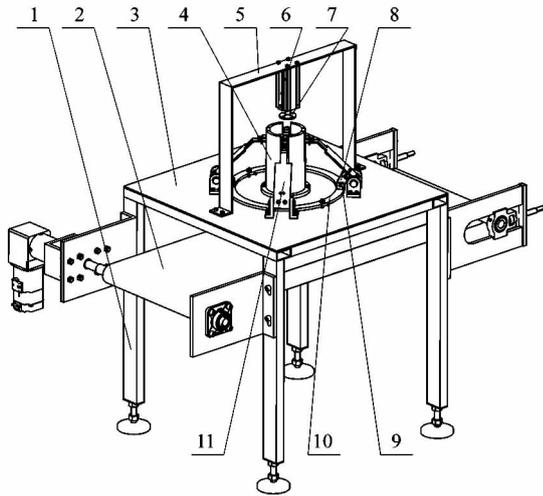
根据上述剥皮方案,为提高剥皮效率,装置设计了4个撕皮机械手,按环形布置,其具体结构如图1所

收稿日期:2019-05-16;修回日期:2019-07-05

基金项目:江苏省2018年国家级大学生创新创业训练计划资助(1078088201190700)。

第一作者简介:谢志强(1997),男,江西樟树人,本科,主要研究方向为食品机械。通信作者:沈培玉(1964),女,上海崇明人,副教授,主要研究方向为食品机械设计。E-mail:shenpy@jiangnan.edu.cn

示。装置主要由机架、工作平台、定位导向筒、输送机构、压菜机构和撕皮机构组成。



1—机架; 2—输送机构; 3—工作平台; 4—定位导向筒; 5—支架; 6—压菜气缸; 7—压菜定块; 8—连杆; 9—支座; 10—移动环; 11—摇杆。

图1 榨菜剥皮装置整体结构

Figure 1 Integral structure of pickle peeling device

### 2.1 压菜机构

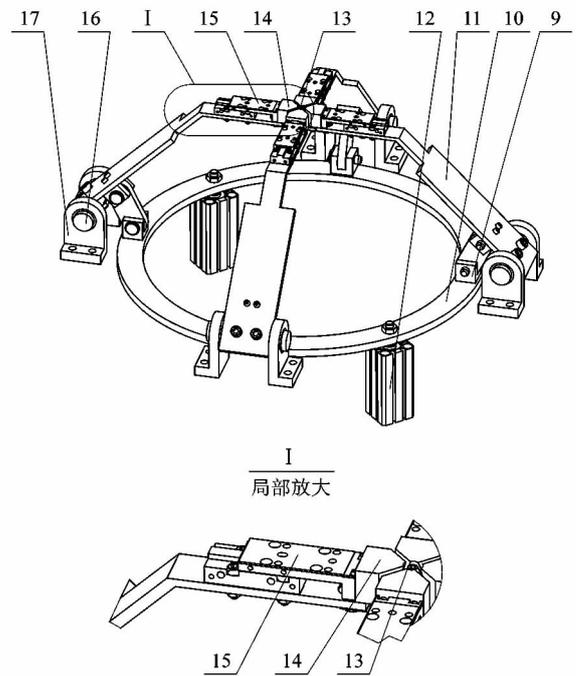
压菜机构由顶部的压菜气缸和压菜定位块组成,安装在机架和定位导向筒中心上方位置。气缸带动定位块向下运动压住榨菜,使其不能上下活动,而采用柔性材料的压菜定位块可以适应不同菜头顶部的形状以起到良好的定位作用,也避免了碰伤榨菜。

### 2.2 撕皮机构

撕皮机构是榨菜剥皮装置的核心机构,由围绕定位导向筒中心环形对称安装的4个撕皮机械手、移动驱动组件和连杆组成,实质为4个环形布置的滑块摇杆机构,其结构示意图如图2所示。

撕皮机构实现夹皮与撕皮运动,榨菜夹皮时夹紧力的大小及分布取决于固定在夹皮滑台气缸的刀垫结构,其结构局部放大图如图2所示,撕皮运动关键在于撕皮刀的运动轨迹。为保证运动时能完好地切入榨菜头使筋皮分割成4个部分,为避免直接将榨菜撕裂,剪切力不宜过大。为此,将刀设计为圆锥形,并由4块零件组合而成。刀的锥面与刀垫的凹面相吻合,便于夹紧榨菜皮。其具体结构如图3所示。

同时为保证良好的传动性能和撕皮的彻底性,经过多次取值和优化选择,摇杆与工作平台水平角度应为 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 之间,而摇杆的极限位置需 $\geq 90^{\circ}$ ,以便于榨菜皮的后续收集与处理。因此取摇杆水平夹角为 $45^{\circ}$ ,摇杆的最大摆角为 $45^{\circ}$ 。



12—驱动气缸; 13—撕皮刀; 14—刀垫; 15—夹皮滑台气缸; 16—转轴; 17—轴承座。

图2 撕皮机构结构

Figure 2 Peeling mechanism structure

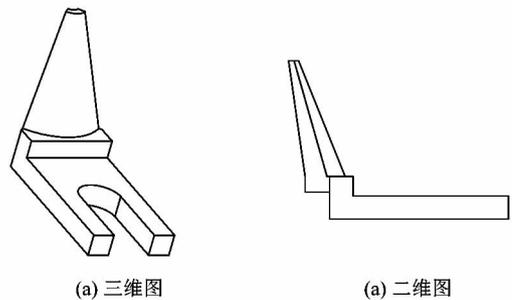


图3 刀具结构示意图

Figure 3 Structural diagram of tool

### 2.3 工作原理

该榨菜剥皮装置的具体工作原理及流程:

4个撕皮刀合拢成轴线为竖直方向的组合锥形刀,且轴线与定位导向筒中心重合,撕皮机构处于初始位置,如图2所示;紧接着由工人将榨菜菜头插入于锥形刀顶部,插入深度约15 mm左右;压菜气缸向下运动,带动压菜定位块向下压住榨菜尾部,同时夹皮滑台气缸的活塞杆向套筒中心方向移动,带动刀垫向中心移动,夹紧榨菜头筋皮;撕皮机械手的2个驱动气缸的活塞同时开始向上运动,带动移动环向上移动,通过连杆带动撕皮机械手的摇杆绕各自的转轴向外转动,同时压菜气缸活塞下移,使压菜定位块沿定位导向筒轴

线向下压菜,压菜机构和撕皮机构同时作用,将榨菜筋皮撕拉开,剥皮中的榨菜沿定位导向筒内壁逐渐下滑,直至完成剥皮运动;完成剥皮的榨菜通过工作台中心孔落至输送带,由输送机构进行运输和收集;再由2个驱动气缸的活塞反向运动带动移动环向下运动,使撕皮机械手的摇杆绕各自的转轴向内转动,与此同时,压菜气缸和4个夹皮滑台气缸反向运动回到撕皮机构的初始位置,至此完成了一个榨菜的剥皮工艺流程。

### 3 气动控制系统

通过上述榨菜剥皮装置工作原理可知,在剥皮过程中,压菜、夹皮和撕皮等运动与动作均由气缸驱动,各执行机构运动的协调性取决于气动控制系统<sup>[5]</sup>。其中夹皮、撕皮的运动主要由4个同步的夹皮滑台气缸和底部2个驱动气缸控制,而压菜动作由位于上端的压菜气缸控制;当夹皮滑台气缸运动至相应位置时,触发行程开关实现上端的压菜气缸的有序运动。本文气动控制系统均采用行程控制开关来实现各个气动元件的控制,控制原理如图4~5所示。

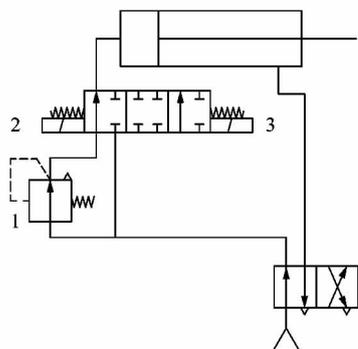


图4 气动控制原理图

Figure 4 Diagram of pneumatic control

开始工作时,换向阀4位于左位,气源使得图5中4个夹皮滑台气缸同步运动,当夹紧气缸行程达到一定值时会触动行程开关S1使得图4中电磁铁2得电,将三位四通换向阀调至左位,此时气源通过减压阀1获得低压,压菜气缸在低压作用下向下运动压紧榨菜;夹皮滑台气缸继续运动到最大行程触动行程开关S2使得电磁铁4得电,将二位四通换向阀调节至右位工作,在气源作用下,2个驱动气缸开始同步运动,使得移动环开始向上运动;运动后继而触动行程开关S3使得三位四通换向阀位于右位工作,这时气源不再经过减压阀而直接接入压菜气缸的回路,在移动环带动刀具剥皮的同时压菜气缸继续向下运动,直至一个剥皮步骤完成。

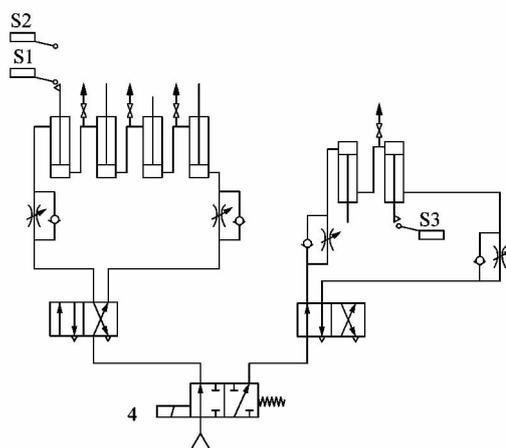


图5 气动控制原理图

Figure 5 Diagram of pneumatic control

### 4 剥皮运动的力学分析

#### 4.1 动力学分析

为了保证榨菜剥皮过程中撕皮机构运动的稳定性,需要对撕皮机构进行动力学分析,而刀杆为主要受力部件,只需求出其受力条件最恶劣的位置点,并进行强度校核即可。利用Creo软件建立撕皮机构模型<sup>[6]</sup>,拟定驱动气缸沿竖直方向的速度为25 mm/s,驱动气缸直线运动50 mm达到撕皮机构的极限位置,在极限位置停留0.5 s后再做反向回程运动,完成一个剥皮动作来回需要4.5 s。在机构分析中对撕皮机构进行运动仿真,以撕皮刀与刀杆的受力点为分析对象,得到了机构刀杆的角速度随时间的变化规律,如图6所示。

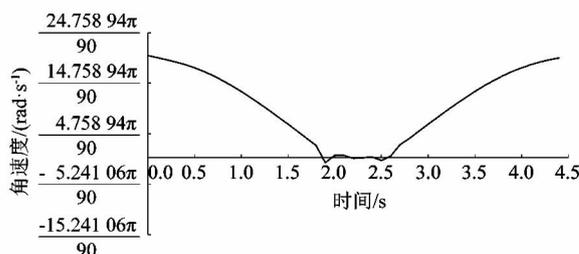


图6 刀杆角速度与时间的关系

Figure 6 Relationship between angular velocity and time of tool bar

刀杆受力如图7所示。刀杆是绕转轴进行旋转运动的<sup>[7]</sup>,其主要受连杆对刀杆的力 $F_1$ ,夹皮滑台气缸夹紧时对刀杆的夹紧力 $F_2$ ,自身的重力 $G$ 以及转动过程的惯性力 $F$ 。其中 $F = ma$ , $m$ 为刀杆与夹皮滑台气缸形心的质量, $a$ 为刀杆运动时的加速度。

由图6可知,在初始位置时角速度最大为 $\frac{2}{9}\pi$

rad/s, 而  $F_2$  的力不变,  $F_1$  随角度变大而变小, 可知在水平角度为  $45^\circ$  时, 即撕皮机构的初始位置为应力最大的位置。

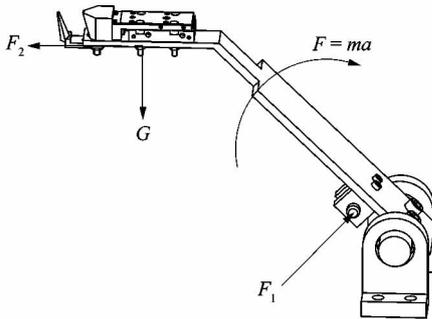


图7 刀杆受力图

Figure 7 Force diagram of tool bar

### 4.2 有限元分析

由上述动力学分析可知刀杆的最差受力条件<sup>[8]</sup>, 在此基础上对刀杆进行静力学分析。在 ANSYS 中建立刀杆模型, 根据一般金属材料特性, 取其弹性模量  $E=2.06 \text{ GPa}$ , 泊松比  $\mu=0.3$ , 将刀杆旋转轴位置进行固定约束, 添加图 7 所示载荷, 可得出刀杆的等效应力云图和等效变形云图, 分别如图 8 和图 9 所示。

由图 8 可知, 刀杆应力集中较小, 主要分布在固定端以及变截面处和转折点, 其中最大应力值为  $1.22 \text{ MPa}$ , 远远小于材料的许用应力。由图 9 可知, 刀杆的应变主要在远离固定转轴处, 即撕皮刀所在位置的应变最大, 其最大变形为  $0.036574 \text{ mm}$ , 远小于刀杆的长度 ( $250 \text{ mm}$ ), 可知应变对剥皮过程的稳定性影响较小<sup>[9]</sup>。

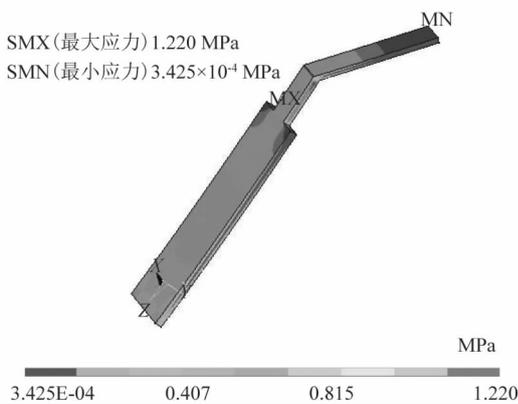


图8 刀杆等效应力云图

Figure 8 Equivalent stress nephogram of tool bar

### 5 结论

课题组设计了一种新型环形榨菜剥皮装置及其气动控制系统, 并在阐述装置结构与工作原理的基础上,

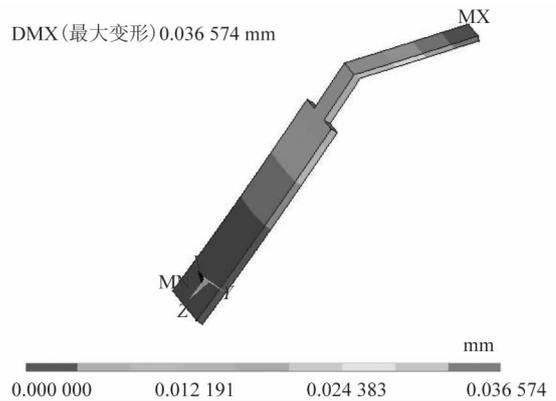


图9 刀杆等效变形云图

Figure 9 Equivalent deformation nephogram of tool bar

通过动力学分析及撕皮机构的有限元分析, 验证了榨菜剥皮装置运动的稳定性和可靠性。榨菜剥皮装置的样机实验表明, 该装置可正常完成剥皮运动, 一人使用机器每天可剥 3 000 个榨菜, 相当于人工剥皮的 5 ~ 6 倍, 可代替人工剥皮。

存在主要问题是榨菜头在收割过程中不规范, 菜头的大小不一, 导致剥皮装置的适应性降低。因此, 可对榨菜头进行预处理, 使菜头大小在剥皮装置的适应范围内。同时为了降低制造成本和提高适应性, 应设计配套的专用模具, 形成一定规模。为了适应工厂生产的高速化和自动化, 可将剥皮装置改成流水线布置, 并在流水线上设置自动上下料装置, 缩短生产节拍, 提高生产效率。

### 参考文献:

- [1] 贺云川, 周斌全, 刘德君. 涪陵榨菜传统工艺概述[J]. 食品与发酵科技, 2013, 49(4): 57-60.
- [2] 唐爱群. 涪陵榨菜存在的主要问题研究[J]. 现代农业科技, 2007(14): 224-225.
- [3] 何琳, 吴嘉榆. 榨菜剥皮机的研究[J]. 现代农业装备, 2006(10): 55.
- [4] 张锦辉, 黄辉安, 林钦, 等. 撑开式柑橘剥皮机构设计[J]. 内燃机与配件, 2018(1): 238-239.
- [5] 刘银水, 许福玲. 液压与气压传动[M]. 4版. 北京: 机械工业出版社, 2016: 130-134.
- [6] 詹友刚. Creo 3.0 高级应用教程[M]. 机械工业出版社, 2014: 398-412.
- [7] 孙桓, 陈作模. 机械原理[M]. 7版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 30-37.
- [8] 赵经文, 王宏钰. 结构有限元分析[M]. 科学出版社, 2001: 137-139.
- [9] 雷洁. 基于弹性接触理论的连杆机构有限元分析[J]. 硅谷, 2014(20): 46-47.