



设计与制造 II 课程设计

## 蔬菜分拣包装装置

成 员                    沈宏炜 张贤航 盛伊津 乌英格

指导教师                    庄春刚

课程助教                    胡洪波

2026 年 1 月 12 日

# 目 录

第 1 章	项目背景及预期	3
1.1	项目背景	3
1.2	项目目标	2
1.3	调研工作	2
1.3.1	国内外研究现状	2
1.3.2	鸡毛菜特性调研	3
第 2 章	方案设计	4
2.1	设计总体思路	4
2.2	总体方案构成	4
2.2.1	机架	4
2.2.2	输送模块	5
2.2.3	塑料膜引导模块	5
2.2.4	纵向封口模块	5
2.2.5	横向封口与切断模块	5
2.2.6	可折叠支撑模块	5
第 3 章	机械部分	7
3.1	各模块 3D 建模	7
3.1.1	机架	7
3.1.2	输送模块	7
3.1.3	塑料膜引导模块	8
3.1.4	横向封口与切断模块	8
3.1.5	可折叠支撑模块	8
3.2	装配工程图	9
第 4 章	仿真	10
4.1	静力学仿真	10
4.1.1	对 45° 铝材进行静力学分析	10
4.1.2	对 45° 连接件与 45° 铝材间螺钉的静力学分析	11
4.2	动力学仿真	14
4.2.1	对凸轮进行动力学分析	14

4.3	运动仿真	16
4.3.1	对凸轮进行运动仿真	16
第5章	设计部分	17
5.1	设计原理	17
5.1.1	凸轮设计原理	17
5.1.2	传送带设计	18
第6章	集成调试结果	20
6.1	集成调试流程	20
6.2	集成调试关键问题	20
6.2.1	塑料膜跑偏导致纵向封口失败	20
6.2.2	输送模块与整机分离, 缺乏便携性	20
6.2.3	横向封切机构运动同步难题	21
第7章	外购清单	22

## 第1章 项目背景及预期

### 1.1 项目背景

我国作为农业大国, 蔬菜总产量多年以来稳居世界首位。随着人民生活水平不断提升, 对与蔬菜的供给也不仅局限于数量, 而是向着更加多元化、高质量的方向发展。

然而, 随着蔬菜种植行业的爆发式增长, 蔬菜加工、蔬菜运输等相关产业也面临着一系列的挑战。尤其在于蔬菜包装领域, 作为蔬菜加工与运输的上游产业, 包装技术的滞后限制了产业的进一步发展。传统人工包装效率低且极易导致损伤蔬菜, 远不能够满足如今高产量的蔬菜种植行业向高质量转型的需要。

在这样的背景下, 蔬菜包装的自动化与智能化将成为未来发展的趋势。通过引入更先进的包装技术和设备, 不仅可以提高包装效率, 降低人工成本, 还能有

效保护蔬菜的品质，从而提升整个产业链的竞争力。这些变革将推动我国蔬菜行业在全球市场中的地位进一步提升，并为消费者提供更加新鲜、高品质的蔬菜产品。

## 1.2 项目目标

本项目旨在设计一款自动化包装设备，从而完成鸡毛菜的分装。具体要求如下：

**调研与需求分析：**对现有蔬菜包装设备进行调研，分析鸡毛菜的物理特征，明确包装设备的设计需求。

**概念设计：**将机器的包装功能模块化，确定各模块的具体分工以及核心结构，确保设备能够针对于鸡毛菜的形态特征完成分装与封装工作。

**详细设计：**基于概念设计完成设备的详细设计，主要任务是完成各模块的 3D 建模，并最终完成装配工程图，确保所有模块协调工作的可行性。

**样机制作与调试：**根据详细设计进行材料采购或通过 3D 打印、激光切割制作非标零部件，将原型装配完成后进行调试、优化，确保设备稳定运行。

## 1.3 调研工作

### 1.3.1 国内外研究现状

随我国果蔬市场的持续扩大，包括包装在内的采后处理在保障品质、提升商品附加价值方面的重要性日益凸显。以北京市蔬菜采后加工情况为例，人工包装机依然是最常用的包装设备，占比近八成，其次为半自动包装机及真空包装机<sup>1</sup>。相较于自动包装机，人工包装在时间效率方面存在明显不足，导致包装周期延长以及一定程度的采后损耗。

包装机可依据加工方式和结构分为多种类型，市场主流机型主要有真空包装机、枕式包装机、立式包装机等。其中，枕式包装机以其结构成熟、应用范围广，被广泛应用于农产品包装。

从国际学术研究情况来看，以美国、日本、意大利、瑞士为代表的发达国家在包装机械领域具有先发优势，瑞士布勒公司、意大利 concetti 公司（如图

---

<sup>1</sup> 钱井,曹丽丽,满杰,等.北京市蔬菜采后初加工情况调研[J].中国蔬菜,2023,(04):8-14.DOI:10.19928/j.cnki.1000-6346.2023.1013.

1.1 )等先后研发出性能稳定、各具优势的包装设备,在全球范围内占有较大市场份额。而我国在该领域虽起步较晚,但在国内庞大市场需要的推动下,包装机械行业迅速发展,国内多所高校和研究机构围绕枕式包装机展开了系统性研究,如中北大学李瑞琴、合肥工业大学孙明迁、天津商业大学杨传民等学者,分别针对装袋系统、套袋装置、取代装置进行了优化研究。



图 1.1 IMF 给袋式包装

### 1.3.2 鸡毛菜特性调研

鸡毛菜是市场中常见的蔬菜,在江浙一带具有广泛且稳定的市场需求。其生长周期短,多以散装或简易包装形式流通市场。

在形态结构上看,鸡毛菜整体细长,由可食部分由根茎、叶片两部分组成。其茎短且具有一定刚性,而叶片部分则是柔软平滑状。此外,鸡毛菜叶片含水量较高,因此在运输和包装过程中需要考虑到发生堆叠、附着的可能性。从尺寸上来看,鸡毛菜单株长度普遍为 150-250mm 范围内,横向尺寸相对较小,因此在包装时主要考虑其长度。

综上所述,鸡毛菜具有典型绿叶类蔬菜的共性特征,因此是研究蔬菜包装设备具有代表性的对象。

## 第 2 章 方案设计

### 2.1 设计总体思路

基于前期调研工作，针对鸡毛菜等叶菜类蔬菜统一存在的根茎短硬、叶片扁大的形态特征，本项目提出一种结构模块化、设计一体化的小型鸡毛菜自动包装设备设计方案。

首先，核心设计思路在于结构一体化。将整机功能划分为若干相对独立的功能模块，包括机架、输送模块、纵向封口模块、横向封口与切断模块、可折叠支撑模块、塑料膜引导模块，总计六个模块。各模块功能明确，具体设计及功能将于 2.2 总体方案构成部分展开说明，结构模块化便于组内前期分工与后期装配、调试。

其次，为降低制造成本与难度，在满足各模块预期功能的前提下，尽量采用标准化部件，从而保障设计可实施性。

此外，鉴于包装装置使用场景较为灵活，需在设计过程中考虑通过合理布局与连接装置，实现各模块一体化连接，使得设备具有便携性优势。

基于以上设计思路，可将整机的工作流程概括为：

- 塑料膜经引导装置以合理的姿态进入纵向封口机；
- 封口机完成塑料膜的纵向封口，形成两端开口的圆筒状包装袋；
- 传送带将鸡毛菜平稳运输至包装袋内部；
- 热刀在凸轮机构驱动下完成横向封口并切断塑料膜；
- 包装完成的鸡毛菜成品落入机架底部的收集箱中。

### 2.2 总体方案构成

根据设计总体思路，整体方案主要由以下功能模块组成：

#### 2.2.1 机架

机架作为整机的骨架，用于支撑各个功能模块，并且在底部设有亚克力板包围而成的收集框。由于铝型材能够满足包装设备强度和刚度的基本需求，并且模块化程度高，本方案采用 3030 欧标铝型材拼装式立方机架结构。

### 2.2.2 输送模块

输送装置用于将鸡毛菜运送至包装袋内部，需要满足输送平稳、速度可调、对蔬菜无挤压的基本要求，因此采用**皮带式传送带**作为输送装置。

### 2.2.3 塑料膜引导模块

在第一版样机调试过程中发现，塑料膜进入封口机之前的姿态对于封口质量有决定性影响。若塑料膜未能在进入封口机前调整至合理姿态，原本对齐的塑料膜边缘将会在摩擦轮的作用下产生相对滑移，导致纵向封口失败。

因此又加装了塑料膜引导模块，主要用于对塑料膜姿态进行预先调整以及稳定支撑，从而确保塑料膜以两侧对称、边缘对其的姿态稳定地进入纵向封口模块，并在摩擦轮推动下不易产生滑移。该模块采用 SolidWorks 进行三维模型设计，并利用 3D 打印进行样品制作。

### 2.2.4 纵向封口模块

纵向封口模块用于塑料膜的初步封口，能够将平面塑料膜加工为两端开口的圆筒状结构。

从原理上看，封口模块应由加热原件与摩擦轮驱动协同作用。加热原件可将塑料膜加热软化，在摩擦轮的驱动与挤压下，两侧塑料膜完全封合。

考虑到大功率加热系统的安全隐患，纵向封口模块最终选择外购的**滚轮式加热塑料封口机**，该机器加热温度可调，并且能够调节进出料速度，为后续的调试过程提供了更多改进空间。

### 2.2.5 横向封口与切断模块

横向封口与切断模块采用**热刀与凸轮结合**方案，实现了包装袋的横向封口及分切。

通过凸轮机构带动热刀进行周期性往复运动，能够通过调节凸轮转速调整热刀运动周期，同时，也能够通过合理设计凸轮形状调节热刀停留时长。凸轮采用 SolidWorks 进行三维建模设计，并利用 3D 打印进行样品制作。

### 2.2.6 可折叠支撑模块

为实现机器的一体化便携设计，最终为优化机器整体功能在传送带与机架之间加装了可折叠支撑装置。在工作时，该模块能够对于输送模块提供稳定支撑；在搬运及闲置状态下亦可折叠收纳。

该模块包含 **90° 自锁折叠铰链**、**3030 欧标铝型材及连接零件**。90° 自锁折叠铰链能够实现 0°、90°、180° 折叠或展开并产生自锁，具有一定稳定性；

3030 欧标铝型材起支撑作用，其长度主要由机架与传送带工作时要求的相对位置决定；连接零件分别用于实现铰链-型材连接、型材-机架固定以及型材-传送带连接，采用 SolidWorks 进行三维建模设计，并利用 3D 打印进行样品制作。

## 第 3 章 机械部分

### 3.1 各模块 3D 建模

该设计采用 SolidWorks 先依据不同分工对于各功能模块进行了三维建模。

#### 3.1.1 机架

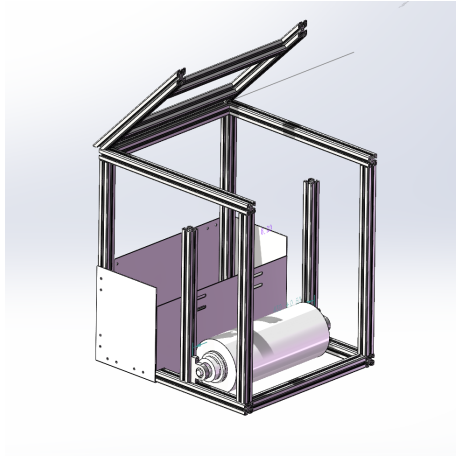


图 3.1 机架三维模型

#### 3.1.2 输送模块

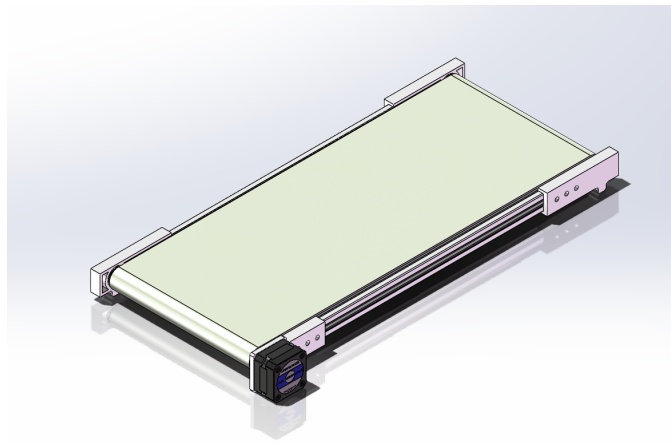


图 3.2 输送模块三维模型

### 3.1.3 塑料膜引导模块

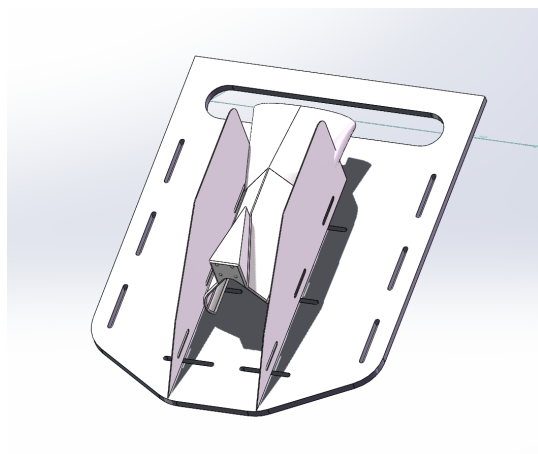


图 3.3 塑料膜引导模块三维模型

### 3.1.4 横向封口与切断模块

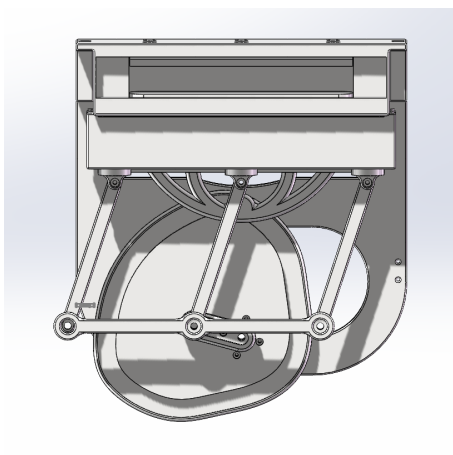


图 3.4 横向封口与切断模块三维模型

### 3.1.5 可折叠支撑模块

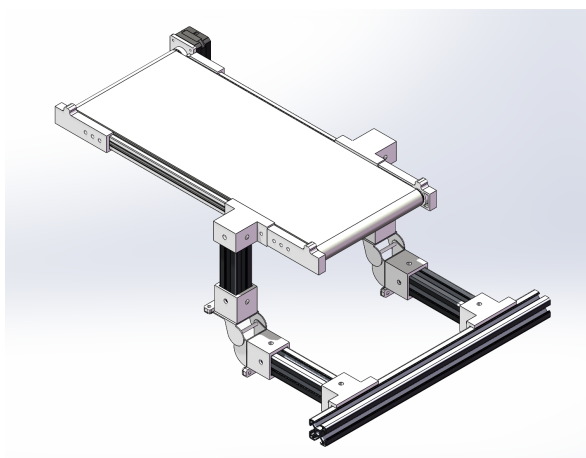


图 3.5 可折叠支撑模块三维模型

## 3.2 装配工程图

在完成各模块三维建模的基础上，对于整机进行了装配建模。

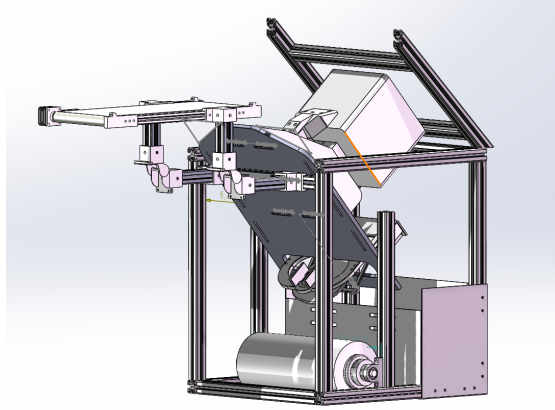


图 3.6 工作状态整机装配图

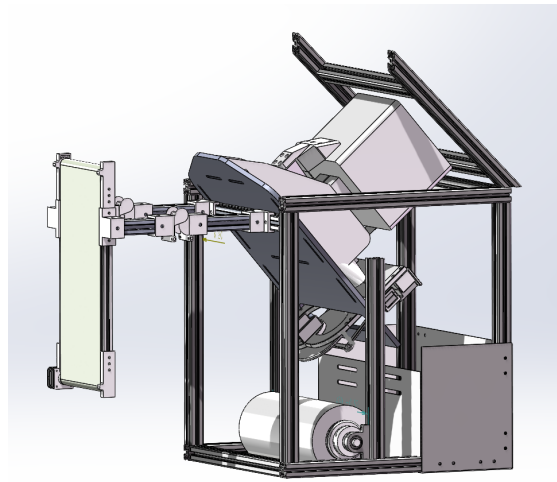


图 3.6 非工作状态整机装配图

## 第 4 章 仿真

### 4.1 静力学仿真

#### 4.1.1 对 45° 铝材进行静力学分析

为方便计算，将 45° 铝材等效为一段固定、在中点位置承受集中载荷的直杆。首先基于理论力学进行初步计算，其受力如图 4.1。

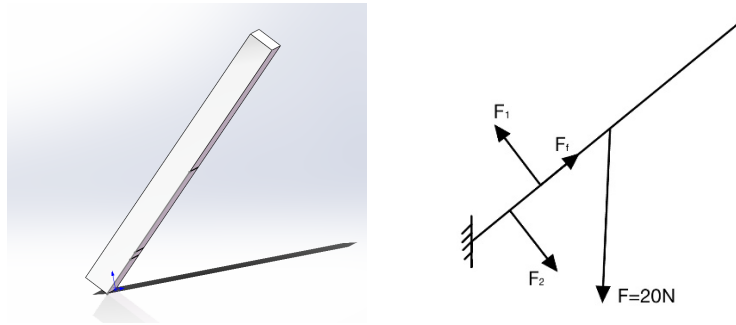


图 4.1 45° 铝材简化模型及受力示意图

沿杆方向：

$$F_f = 20N \times \cos 45^\circ = 14.142N$$

垂直杆方向：

$$F_1 = 20N \times \sin 45^\circ + F_2$$

力矩平衡：

$$F_1 \times 57.59mm = 20N \times \sin 45^\circ \times 170mm + F_2 \times 47.59mm$$

综上， $F_1 = 173.113N$ ， $F_2 = 158.972N$ ， $F_f = 14.142N$ 。

此外，还对于简化模型进行静力学仿真，将应力分布、位移响应以及应变情况可视化。

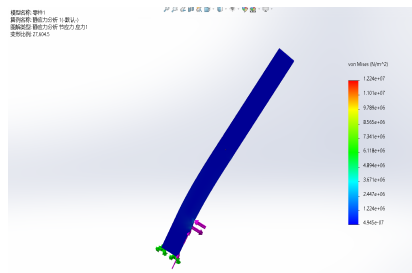


图 4.2 45° 铝材应力分布

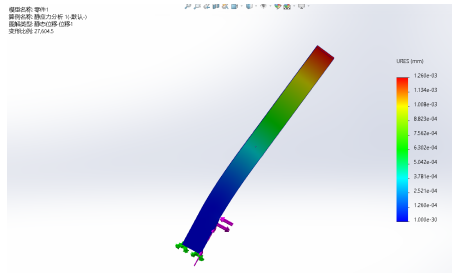


图 4.3 45° 铝材位移响应

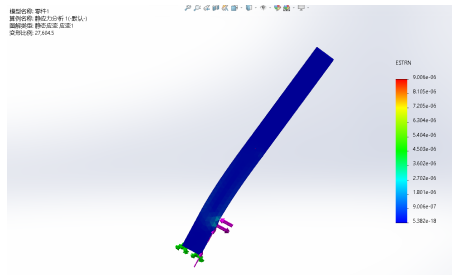


图 4.5 45° 铝材应变情况

#### 4.1.2 对 45° 连接件与 45° 铝材间螺钉的静力学分析

由上文计算得，螺钉受 158.97N 的拉力作用。其应力分布、位移响应以及应变情况如图 4.6-4.8 所示。

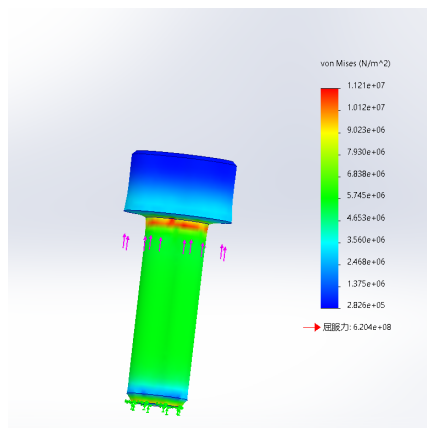


图 4.6 螺钉应力分布

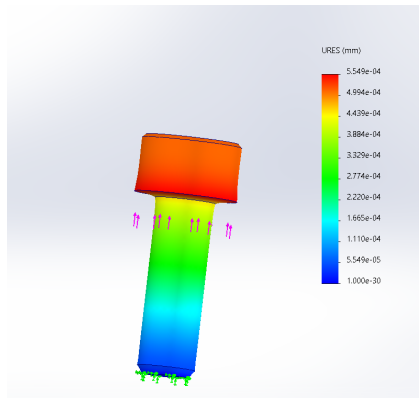


图 4.7 螺钉位移响应

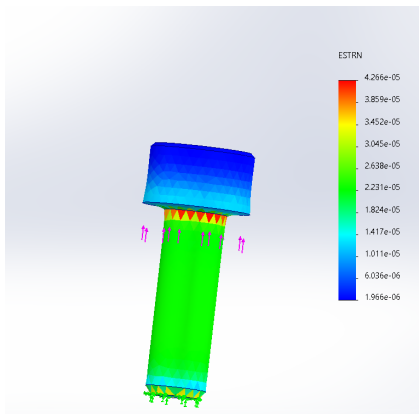


图 4.8 螺钉应变情况

#### 4.1.3 对承载包装膜的轴进行静力学分析

为方便计算，将轴等效理论力学中简支梁。首先基于理论力学进行初步计算，其受力如图 4.9。

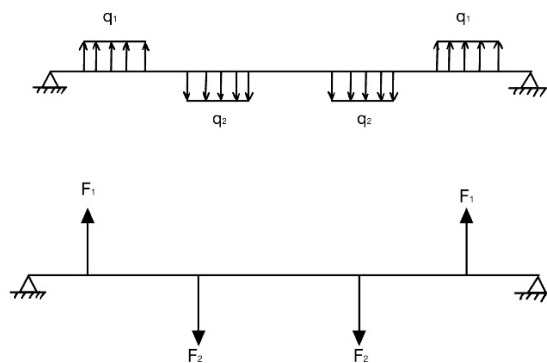


图 4.9 轴受力示意图

$$2 \times F_2 = 33.32N$$

$$2 \times F_1 = 2 \times F_2$$

综上， $F_1 = F_2 = 16.66N$ 。

此外，还对于简化模型进行静力学仿真，将应力分布、位移响应以及应变情

况可视化。

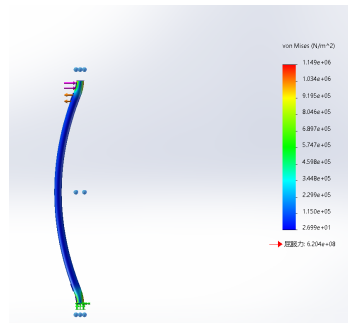


图 4.10 轴应力分布

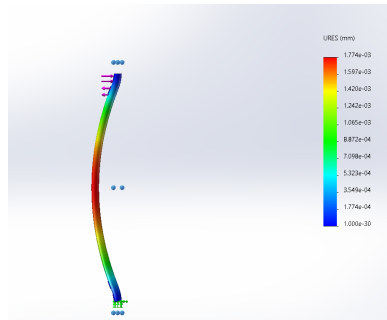


图 4.11 轴位移响应

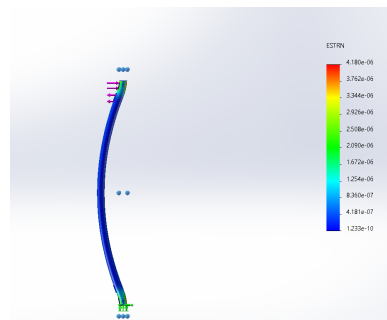


图 4.12 轴应变情况

#### 一. 4.1.4 引导管连接件静力学分析

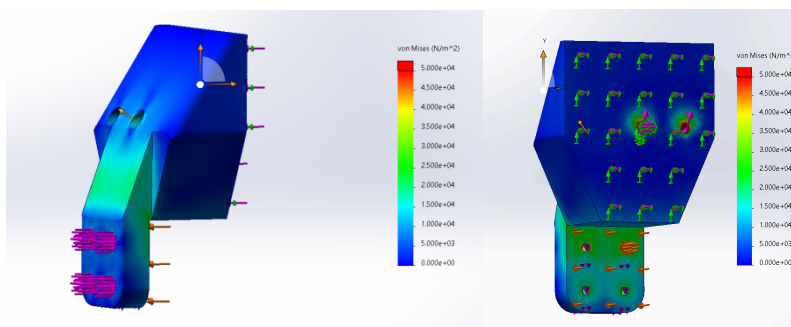


图 4.6 连接件应力分布

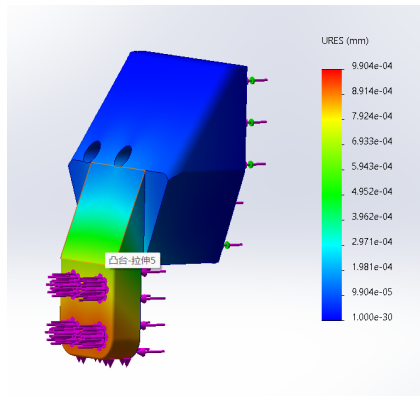


图 4.7 连接件位移响应

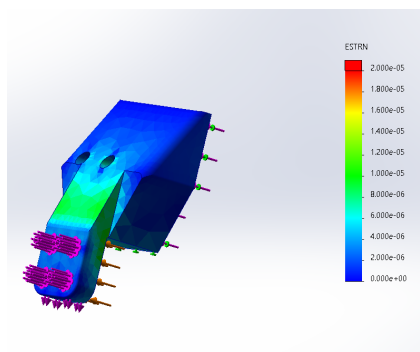


图 4.8 连接件应变情况

## 4.2 动力学仿真

### 4.2.1 对凸轮进行动力学分析

在横向封口与切断模块中，热刀通过凸轮进行驱动，因此热刀运动规律完全由凸轮轮廓设计决定。凸轮的轮廓设计直接影响热刀的运动周期、位移变化规律以及运动平稳性，进而对横向封口质量产生重要影响。因此，有必要对凸轮的运动过程进行动力学仿真分析，以验证其运动规律的合理性。

设定凸轮转速为  $60^\circ/\text{s}$ ，由图 4.13 可知，凸轮基圆半径为  $95\text{mm}$ ，行程为  $56\text{mm}$ ，在最远点停留时间大约为  $1.4\text{s}$ ，在最近点停留时间大约为  $0.7\text{s}$ 。此外，由图 4.15 可知，机构无冲击。

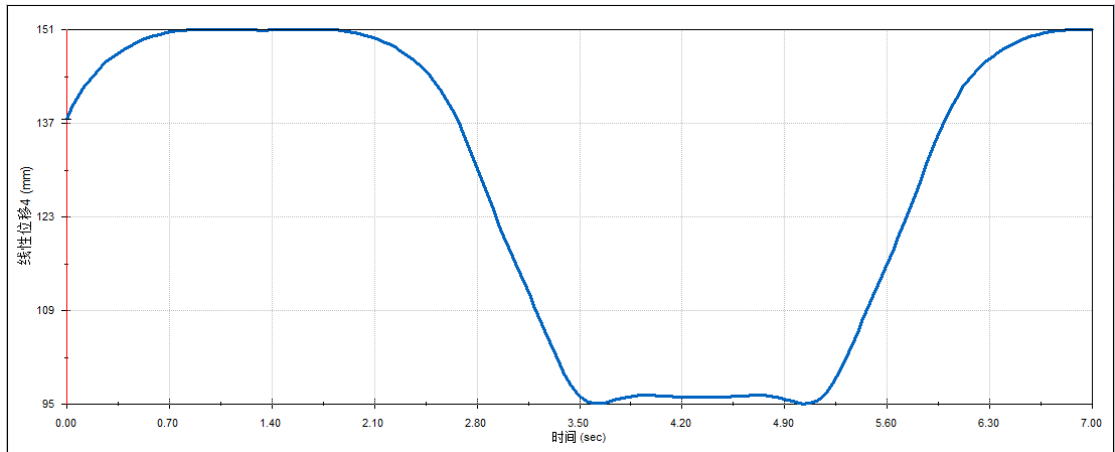


图 4.13 凸轮位移-时间曲线

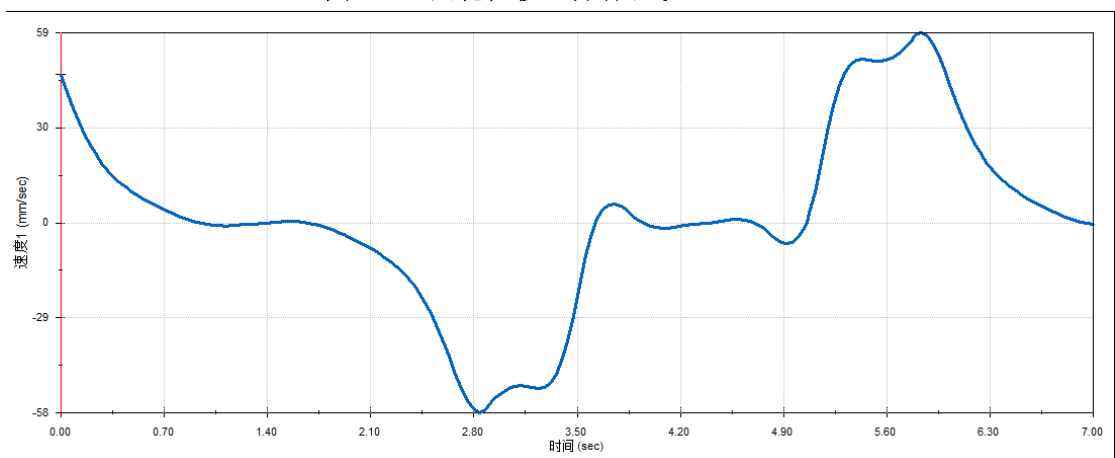


图 4.14 凸轮速度-时间曲线

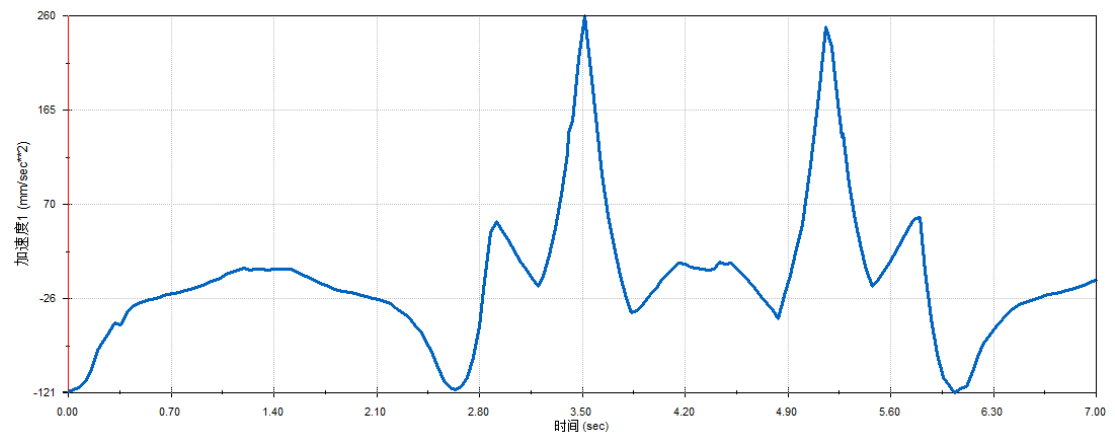


图 4.15 凸轮加速度-时间曲线

## 4.3 运动仿真

### 4.3.1 [对凸轮进行运动仿真](#)

如链接中视频所示，热刀运动平稳连贯。与运动学仿真结合分析，凸轮的位移、速度及加速度随时间变化规律合理，表明凸轮轮廓设计能够满足横向封口与切断模块对平稳性的要求。

## 第 5 章 设计部分

### 5.1 设计原理

#### 5.1.1 凸轮设计原理

在本装置中，热刀结构主要用于完成塑料膜的横向封口及切断，需要满足以下要求：

- 热刀需要实现周期性往复运动，以完成连续封口。
- 在最大位移处设置较长停留区，从而保证塑料膜具有充足的压合时间。
- 位移、速度、加速度均连续变化，避免加速度突变，从而实现无冲击运动，减少振动与磨损。

基于上述需求，本设计最终决定采用**凸轮连杆机构**作为热刀的驱动结构。凸轮持续的匀速圆周运动能够推动连杆实现周期性往复运动，并且可以通过对于凸轮的廓线设计以及合理选择凸轮运动周期，从而实现对于热刀行程、停留时间以及与运动平稳性综合要求。

根据凸轮机构的设计流程，首先需要从整机结构及热刀安装位置出发，并考虑其余相关部件的几何尺寸，确定凸轮的基圆半径、从动件行程以及远休止角等关键运动参数。

最终确定基圆半径 50mm，从动件行程 41mm，远休止角  $120^\circ$ 。在完成运动参数确定后，需要根据课程所学凸轮机构设计理论，对凸轮理论廓线进行设计，考虑到在 SolidWorks 中采用函数生成廓线的局限性，最终采用等分圆周法构建凸轮理论廓线。需要将凸轮圆周等分为  $20^\circ$  圆弧，根据预先设定的位移要求逐点确定轮廓位置，从而得到满足设计要求的凸轮理论廓线。最终利用 SolidWorks 软件对凸轮轮廓线进行绘制与建模，为后续仿真分析与样机制作提供几何基础。

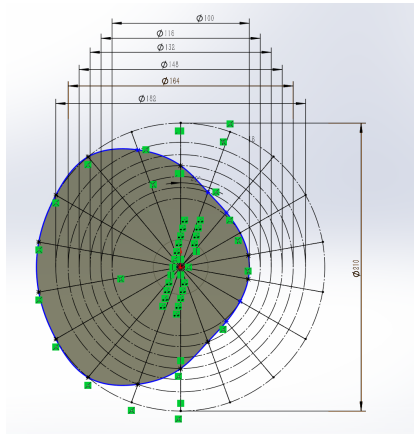


图 5.1 凸轮廓线设计

此外，凸轮设计采用**形锁合方式**，即在凸轮盘上开设等宽槽，通过槽与极佳的连接带动凸轮回复。由于加工条件限制，凸轮采用 3D 打印制造，但由于 3D 打印件表面粗糙，凸轮与机架接触表面会产生较大运动阻力。因此，在装配前对于凸轮与机架接触面用砂纸进行了一定程度打磨，并在凸轮与机架之间加装滚动轴承作为转动副的过渡元件，从而最大程度降低转动阻力，提高了机构运行的平稳性。

### 5.1.2 传送带设计

在传送带设计中，保证设备正常平稳运行的关键为确定合理的传送带带长。根据带传动设计理论，带长可采用如下近似计算公式：

$$L \approx 2a + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}$$

其中， $L$ 为传动带长度； $a$ 为两带轮中心距； $d_1$ 、 $d_2$  分别为主动轮与从动轮直径。

传送带框架采用 2020 欧标铝型材搭建，轴选用直径 8mm 标准光轴外套 3D 打印套筒作为转动轴，3D 打印套筒的作用为增大带轮直径，此外利用 3D 打印件的粗糙度防止了打滑现象。为实现轴、轴承、型材间的连接，还通过 SolidWorks 建模并通过 3D 打印制作了轴承座。轴承座与铝型材之间的连接形式类似于滑动副，通过 T 型螺母与螺栓进行固定，因此轴承座在安装时可沿型材方向进行距离微调，从而实现带轮中心距可调。轴承座的特殊设计不仅便于传送带在长期工作中张紧，也为带的长度计算提供了一定的容错空间。

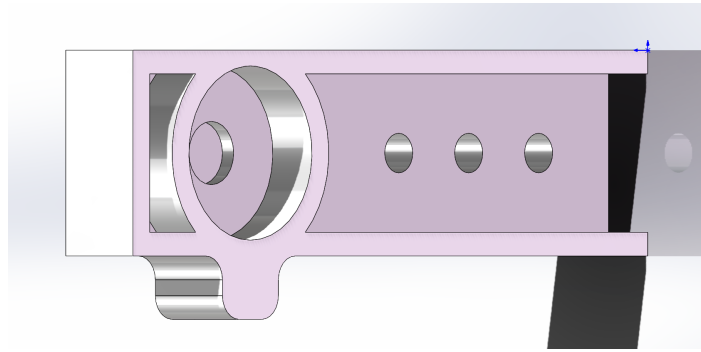


图 5.2 轴承座三维模型

结合机架整体尺寸，最终确定传送带有效工作尺寸为长度 400 mm、宽度 200 mm、厚度 20 mm。在此基础上，根据带轮直径及中心距代入上述公式进行计算，最终得到传动带理论长度约为 942 mm。

## 第 6 章 集成调试结果

### 6.1 集成调试流程

整机的集成调试采用从分模块调试到逐步集成的思路展开进行。具体流程如下：

首先，完成机架的安装。

随后，依次对各关键功能模块进行单独安装与调试。调试对象主要包括凸轮连杆机构、传送带以及外购滚轮式加热封口机。

在各关键模块均通过单独调试并确认运行可靠后，最终将其安装至机架，完成整机集成调试。

### 6.2 集成调试关键问题

#### 6.2.1 塑料膜跑偏导致纵向封口失败

在首轮整机调试中发现，塑料膜在进入纵向封口机时边缘容易发生相对滑移，导致封口线不齐，无法形成有效筒状包装，甚至会导致流程中断。分析发现根本原因在于塑料膜在进入摩擦轮区域前缺乏有效的姿态约束，在摩擦轮驱动下两侧膜料位移不一致，从而引发纵向封口失败。

针对该问题，最终决定**加装塑料膜引导模块**。该模块通过对塑料膜宽度及进入角度进行限定，使其在进入纵向封口模块前形成对称、稳定的姿态。引导模块采用 SolidWorks 进行三维建模，并通过 3D 打印方式快速制作样件。最终

调试结果表明，该加装引导模块后有效解决了塑料膜滑移问题，包装袋成型质量达到设计预期。

#### 6.2.2 输送模块与整机分离，缺乏便携性

在最初设计中，输送模块作为独立单元布置，与整机间缺少有效的结构连接，此外由于传送带尺寸相对较大，因此还需考虑空间利用率的问题。

针对该问题，最终决定引入**基于 90° 自锁铰链的可折叠支撑机构**。该结构采用 3030 欧标铝型材作为支撑结构，并用 3D 打印连接件实现各部分连接。

调试结果表明，3D 打印连接件与型材间的连接类似于滑动副，因此可以实现传送带边缘与机架间的水平、竖直距离可调，从而保障精准送料。

### 6.2.3 横向封切机构运动同步难题

调试结果表明，3D 打印连接件与型材间的连接类似于滑动副，因此可以实现传送带边缘与机架间的水平、竖直距离可调，从而保障精准送料。

## 第 7 章 外购清单

序号	物品名称	数量	具体型号	总价
1	<a href="#">型材</a>	20 根	欧标 400*30*30 (12) 加 500*30*30 (8)	166.3
2	<a href="#">90 度连接件</a>	30 个	30 欧标 90 度连接件	30
3	<a href="#">任意角度连接件</a>	5 套	30 国欧通用任意角度连接件	4.45
4	<a href="#">鲜花包装玻璃纸</a>	1 卷	35cm 款 30 米长	7.57
5	<a href="#">带轴卷筒</a>	1 个	直径 38 管长 400 轴长 440	8.7
6	<a href="#">连续封口机</a>	1 台	桔米小型封口机	341
7	<a href="#">连杆轴承</a>	若干	内 3 外 6 厚 2.5 内 5 外 10 厚 4	(10+11.5)
8	<a href="#">传送带轴承</a>	3 个	608ZZ	3.9
9	<a href="#">小型封口机</a>	一台	200 型长 20cm 封口机	29.2
10	便携式封口机	1 个	无	14.81
11	<a href="#">拉力传感器</a>	1 个	1kg 型	25
12	<a href="#">不锈钢长条刀片</a>	4 片	200*20*1mm	20.7
13	<a href="#">铁氟龙胶带</a>	5m	0.18 米厚 15mm 宽	10.13
14	<a href="#">加热丝</a>	5m	3mm 扁条	9.49
15	<a href="#">绝缘耐高温电木板</a>	2 条	300 型	18
16	<a href="#">角码</a>	10 个	3*6.5 白色	12.5

17	<a href="#">自锁折叠铰链</a>	2 个	无	7.14
18	<a href="#">传送带转轴</a>	2 根	8mm*200mm 8mm*180mm	14.6
19	<a href="#">A4988 驱动模块</a>	2 个	无	9.12
20	<a href="#">欧标 t 型螺母</a>	10 个	<a href="#">欧标 30M6T 型</a> <a href="#">欧标 20M5T 型</a>	(22.84+6.7)
21	<a href="#">内六角螺丝</a>	20 枚	M6*12 M6*16	(5.83+7.48)
22	<a href="#">凸轮轴承</a>	1 个	内径 40mm 外径 52mm 厚 7mm	6
23	<a href="#">42 步进电机支架</a>	2 个	无	6.5
24	<a href="#">聚四氟乙烯胶带</a>	1 卷	0.08mm 厚*25mm 宽*10m	30
25	<a href="#">滑块滑轨</a>	两套	MGN9C 滑块, 173mm 滑轨*2	69.3
26	<a href="#">硅胶胶垫</a>	4 个	3cm, 300LSE	4.68
27	<a href="#">3D 打印耗材</a>	1kg	PETG-CF	49.58
28	<a href="#">弹簧</a>	10 个	2cm	5.94
29	<a href="#">斜角型材连接件</a>	(9+2)	<a href="#">45 度欧标 30</a> <a href="#">135 度欧标 30</a>	(40.63+8.6)
30	<a href="#">精密滑块</a>	2 组	TGN5C-25MM	130
31	<a href="#">侧板连接固定件</a>	4 个	欧标 2020 型	9
32	<a href="#">联轴器</a>	2 个	5*8	4.2
33	<a href="#">欧标 2020L-1.5</a>	2 根	400mm	16
34	<a href="#">TCN5C 导轨</a>	4 根	10cm	68
35	<a href="#">传送带</a>	1 条	188*942*2	100

36	PET-PE 复合膜	1 卷	3.4kg	44
总计				1275.81