



课程论文

COURSE PAPER



论文题目：面向肯德基的餐食分装传送装置
设计说明书

学生姓名：谭正 耿梓航 赵启 汤逸磊 徐哲

课程名称：设计与制造 II

指导教师：盛鑫军

学院(系)：机械与动力工程学院

面向肯德基的餐食分装传送装置

设计说明书

摘要

目前肯德基门店存在高峰期店员收银与取餐任务重叠，操作效率不高，取餐等候时间长的问题。本项目旨在设计出面向肯德基的餐食分装传送装置，即一个五自由度机械臂，为肯德基目前存在的取餐效率不高和一人多职的问题提供一种解决方案。制作出的装置能够在收到信指令后，转动到指定位置夹取汉堡、饮料、薯条，并放置到指定区域。本项目中设计一自适应结构来防止破坏食物完整；并在结构设计上力求降低重量和尺寸。

本设计说明书的内容包括引言、功能分解和总体设计思路、机械结构详细设计、模型的加工与装配、电路控制系统、总结与展望、致谢，共八章。本项目通过采访、实地调查确定意义性与可行性；通过理论计算、建模、仿真确定设计方案；通过机械加工与装配制作模型。

关键词：肯德基，餐食传送，五自由度机械臂，自适应

A SAMPLE DOCUMENT FOR LATEX-BASED SJTU THESIS TEMPLATE

ABSTRACT

Currently during rush hours, KFC staff often has to play the role of cashier and food collector at the same time, leading to poor efficiency and long waiting time. This project aims at designing a food-collecting and transferring equipment for KFC, which is a 5 DOF(Degree of Freedom) manipulator, providing a possible solution to KFC's current problems. After receiving signals, the equipment can rotate and move its arms to reach hamburgers, soft drinks or french fries, clamp them, and move them to certain locations. This project involves an adaptive design to protect foods' appearance, and seeks to reduce weight and size.

This design specification contains 8 chapters: introduction, function decomposition and overall design ideas, detailed structure design, physical model making and assembly, circuit control system, summary and prospect, and acknowledgement. This project's significance and feasibility are confirmed by interviews and field visits; final design scheme is based on theoretical calculation, 3D modeling, and simulation; physical model is made through machining and assembly.

Key words: KFC, food-collecting and transferring, 5 DOF manipulator, adaptive design

目 录

第一章 引言	1
1.1 立项背景	1
1.2 项目任务书	1
1.2.1 题目：面向肯德基的餐食分装传送装置	1
1.2.2 项目方案简介	1
1.2.3 项目预期目标	1
1.2.4 任务	2
1.2.5 成果呈现方式	2
1.2.6 项目起止时间：2019.9.27 至 2020.1.11	2
第二章 功能分解和总体设计思路	3
2.1 功能分解	3
2.1.1 接收和分析指令	3
2.1.2 夹取不同的工件	3
2.1.3 移动工件	3
2.2 运动转换的基本功能和传动、减速机构的选型	4
2.2.1 运动类型的转化	4
2.2.2 机构选型	4
2.3 工作流程	4
第三章 机械结构详细设计	7
3.1 机械臂	7
第四章 机械结构详细设计	9
4.1 自适应末端执行机构	9
4.1.1 下层传动模块	9
4.1.2 换向夹取模块	12
4.1.3 强度校核	17
第五章 软件分析	19
5.1 综述	19
5.2 基于 Matlab 分析的骨架设计	19
5.3 基于 Ansys 分析的蜗杆装配	22
5.4 基于 ROS 环境的机械臂分析	24
第六章 机电控制系统	25
6.1 电机选型	25
6.2 驱动器选择	27
6.2.1 步进电机驱动	27

6.2.2	直流电机驱动	27
6.3	电源选择	27
6.3.1	供 DM542 驱动器	27
6.3.2	供 DM542C 驱动器	28
6.3.3	供 L298N 驱动器	28
6.4	传感器选择	28
6.5	控制板选择	29

插图索引

图 2-1 输入本装置的指令结构	3
图 2-2 五杆机构夹取器	4
图 2-3 机械臂运动流程图	5
图 2-4 本装置的总工作流程图	5
图 4-1 末端执行机构总览	9
图 4-2 下部传动模块	10
图 4-3 电机外接竖轴	10
图 4-4 竖伞齿轮轴	11
图 4-5 直齿轮	11
图 4-6 上机架横板	12
图 4-7 下机架横板	12
图 4-8 换向夹取模块	13
图 4-9 switching	13
图 4-10 五杆机构	14
图 4-11 水平伞齿轮轴	14
图 4-12 伞齿轮	15
图 4-13 五杆机构构件 1 和构件 2	15
图 4-14 五杆机构构件 3 和构件 4	16
图 4-15 机架竖板	16
图 4-16 扭簧	17
图 5-1 matlab 建模	20
图 5-2 Matlab 输出扭矩	20
图 5-3 不同长度三杆组合分析	21
图 5-4 软件蜗杆的应力与扭矩	22
图 5-5 改进前正应力	22
图 5-6 正应力	23
图 5-7 切应力	23
图 5-8 拉伸位移	23
图 5-9 ROS 环境搭建	24
图 6-1 86 步进电机	26
图 6-2 42 步进减速电机	26
图 6-3 直流有刷电机	26
图 6-4 DM542	27
图 6-5 DM542C	27
图 6-6 L298N	27
图 6-7 250W 电源	27

图 6-8 100W 电源	28
图 6-9 12V 电源	28
图 6-10 压力传感器	29
图 6-11 arduino UNO	29

表格索引

表 5-1 KFC 食物实地调研结果 19

主要符号对照表

ϵ 介电常数
 μ 磁导率
 ϵ 介电常数
 μ 磁导率

第一章 引言

本项目设计“面向肯德基的餐食分装传送装置”。

本章节聚焦立项背景和设计任务书两部分。

1.1 立项背景

本项目的立项是基于对肯德基目前状况的调查后展开。

本项目选择人流量多的东川路地铁站肯德基门店作为调研对象。经过采访店员后，得到目前门店收银与取餐存在的问题有：高峰期人流多忙不过来；人手不少但效率不高；收银与取餐重叠，存在顾此失彼状况。另外，随机抽选五家上海不同处的肯德基，分析其店面布局，总结出以下特点：收银区域与取餐区域分离；食物集中摆放于食物架上，集中而固定；取餐区域后侧即为食物架，中间有一定可操作区域。

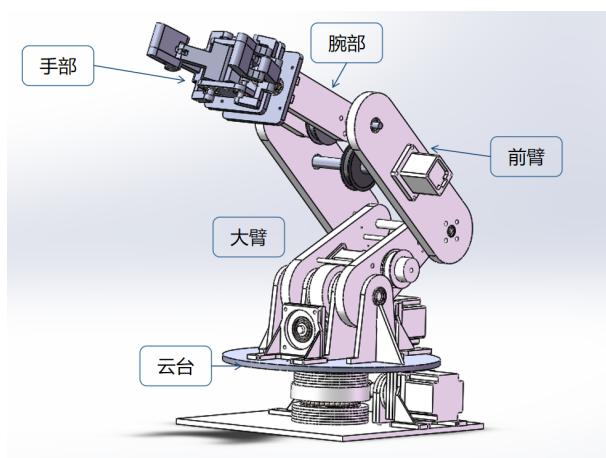
可以发现，肯德基目前需要一个能够减轻店员负担，解决店员一人负责多项任务的状况，且适合肯德基店面布局的产品。本项目旨在设计、制造出一个面向肯德基的餐食分装传送装置，尝试为目前存在的问题提供一种解决新思路。

1.2 项目任务书

1.2.1 题目：面向肯德基的餐食分装传送装置

1.2.2 项目方案简介

本项目设计一个五自由度机械臂来夹取汉堡、饮料、小食，其包含有：一个云台、一个大臂（1号臂）、一个前臂（2号臂）、一个腕部（3号臂）、一个自适应末端执行机构（手部）。机械臂功能要实现根据收到的指令，机械臂转动、自适应夹取食物，放置食物。



1.2.3 项目预期目标

制作出 1:1 的机械臂实物模型，并能够实现：

- (1) 云台 360° 转动

- (2) 1号臂俯仰 90°
- (3) 2号臂俯仰 50°
- (4) 腕部俯仰 90°
- (5) 手部张合 120°
- (6) 根据输入指令自动转动机械臂夹取食物，并放置于指定区域。

1.2.4 任务

- (1) 云台、1号臂、2号臂、腕部、手部分别的详细设计图纸
- (2) 重要零件应力分析
- (3) 各加工部分的零件图
- (4) 机械臂的总体装配图
- (5) 机械臂运动学仿真
- (6) 电机、驱动器型号选择
- (7) 机械臂实物制作
- (8) 设计说明书撰写

1.2.5 成果呈现方式

本项目成果最主要呈现方式为 1:1 实物模型展示，并能现场演示各项功能。其他成果包括本设计说明书。

1.2.6 项目起止时间：2019.9.27 至 2020.1.11

第二章 功能分解和总体设计思路

2.1 功能分解

本项目所设计的装置的目标功能可以分解为接收和分析指令、夹取不同的工件和将其移动到指定位置。

2.1.1 接收和分析指令

本装置接受到的指令需要包含夹取的工件位置列表，所需夹取的工件的类别列表等信息。位置坐标使用笛卡尔坐标系，以本装置的基坐标为基底描述；工件的类别用不同的字符串描述。在本装置完成夹取装盘后，是否通知顾客取单还取决于以实时取餐区域剩余工件数量等，所以本装置接收到得指令中应能够指示其完成夹取后的行为。

综上所述，输入本装置的指令应可用如图2-1所示的数据结构储存。

```
msg = [
    ['all', [0, 0, 0]],
    # 'all' 表示仅由该装置就可以夹取本次订单上的所有所需工件
    # 第一个元素的坐标不具有实际意义，[0, 0, 0] 也是根本不可能达到的坐标
    ['cola', [1, 2, 2]],
    ['hamburger', [1, 3, 3]]
]
```

图 2-1 输入本装置的指令结构

Figure 2-1 Input command structure

为保证系统的稳定运行，我们拟不对用户开放设置装置运动快慢的接口。

2.1.2 夹取不同的工件

为了使我们的末端执行机构能够夹取不同形态的工件，我们在设计末端执行机构时使用了两自由度的夹取器。举个例子，在如图2-2所示的末端执行机构中，原动件有就有两个：跟电机输出轴相连接的轴（图2-2中的 E, E' ）和工件的形态尺寸的对夹取作用的杆（图2-2中的 $3, 3'$ ）。

2.1.3 移动工件

在移动工件有很多解决方案，为了方便直接改装现有的肯德基餐厅并且保留更多的可开发性，本项目在设计时放弃了诸如传送带等运输方式，而是采用一个具有多自由度的机械臂来移动工件。考虑到在移动特殊工件（如饮料）时，机械臂的末端需要保持水平以防止液体溢出，所以我们所设计的机械臂应有一个冗余的自由度，而移动工件的空间坐标 (x, y, z) 至少需要 3 个自由度，所以我们所设计的机械臂至少需要 4 个自由度。

根据上述功能分解，为了满足我们对肯德基快餐的分装传送需求，我们给出的解决方案为：一个四自由度的机械臂加一个自适应末端执行机构。

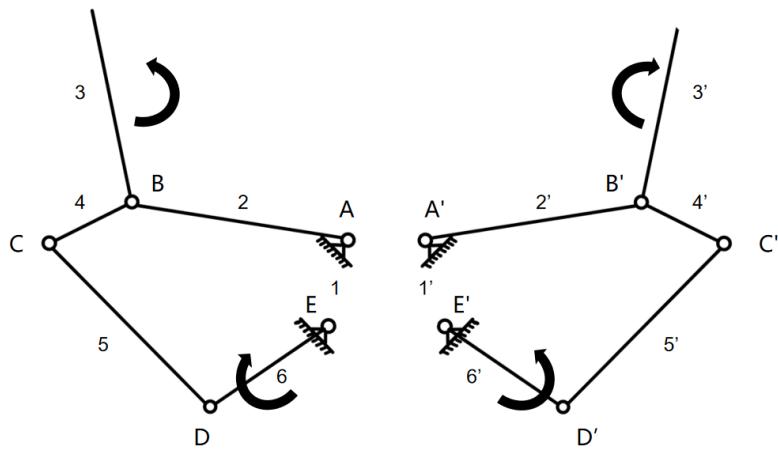


图 2-2 用五杆机构实现的末端执行机构
Figure 2-2 End effector with five-bar mechanism

2.2 运动转换的基本功能和传动、减速机构的选型

2.2.1 运动类型的转化

在本装置中，四自由度机械手的是一个位置随动的开环控制系统，各个关节的转动由步进电机就可以驱动，通过发送脉冲可控制其转动到指定角度。因此在这一部分，原动件运动类型为转动（周转、摆动），从动件的运动类型为摆动，所以运动类型不需要转化；而在本装置的末端执行机构中，需要将原动件的转动转化为夹取运动，采用图2-2所示的五杆机构就可以实现这种转化。

2.2.2 机构选型

设计时需要我们进行选型的机构主要是传动、减速机构，选择的依据如下：

1. 根据从动件的运动轨迹（不与实际设计的机架相干涉）选择末端执行机构；
2. 根据市面上方便买到的电机的功率、额定扭矩和我们所大致需要的扭矩选择我们的减速机构；
3. 在满足基本要求的前提下，选取较轻、市场上容易买到而且价格便宜的材料。

2.3 工作流程

根据上述分析可以绘制本装置的工作流程图如图2-4。其中，机械臂运动的可以用工作流程图可以表示如图2-3。在提取下一时刻各个关节位置时，若已经到达运动轨迹终点，则下一时刻各关节位置与当前相同。

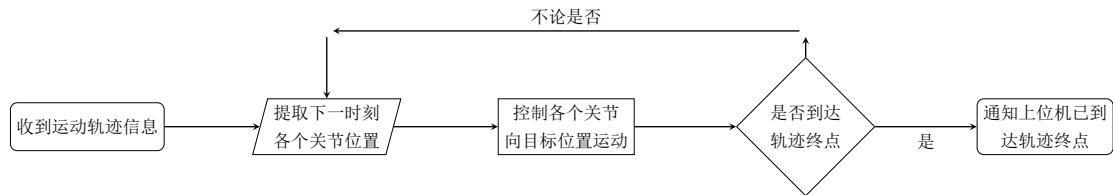


图 2-3 机械臂运动流程图
Figure 2-3 Robotic arm moving flow chart

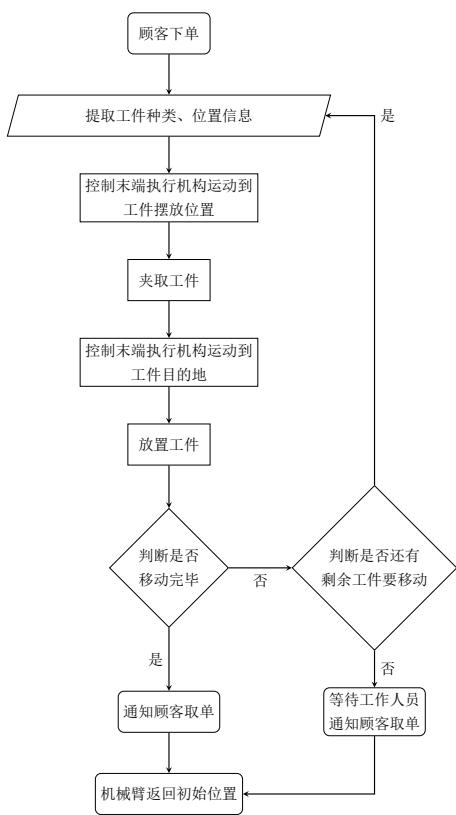


图 2-4 总工作流程图
Figure 2-4 Overall workflow

第三章 机械结构详细设计

3.1 机械臂

为了实现从货架上抓取汉堡、可乐等并放置到顾客面前，

3.2 自适应末端执行机构

为了能够使用同一个抓手抓取不同的 KFC 产品，例如不同大小的汉堡、可乐、薯条等，需要夹取机构能够适应不同的大小和形状，并且在夹取物品的同时保持其较小的形变。因而末端执行机构采用了如下图所示的自适应设计。

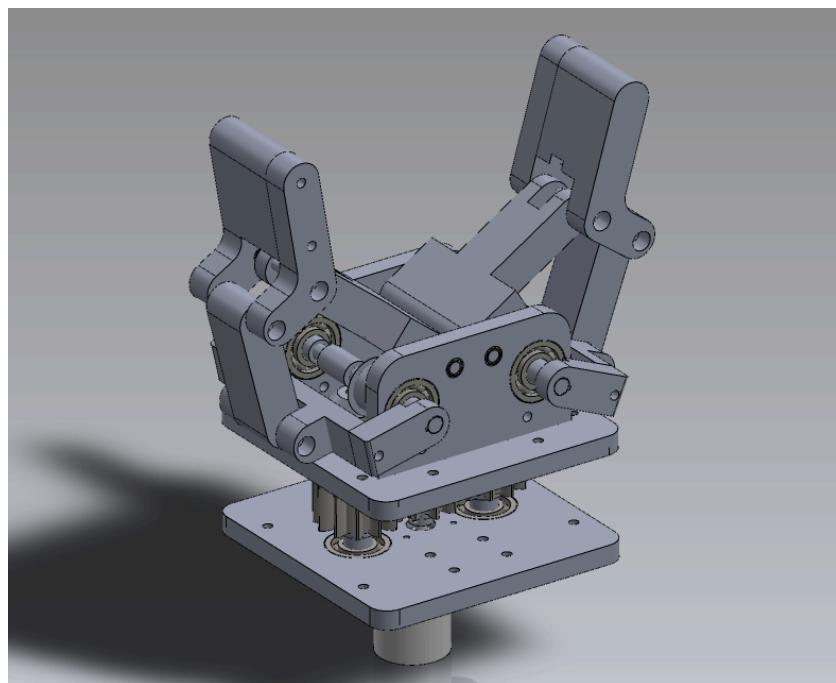


图 3-1 末端执行机构总览
Figure 3-1 Overview of end actuators

末端执行机构可以分为两个模块分别是：下层传动模块和换向夹取模块。下层传动模块负责将电机的转动转化为伞齿轮的转动，换向夹取模块则将伞齿轮轴的转动转化为抓手的相对转动从而实现夹取动作。

3.2.1 下层传动模块

传动模块总览如图4-2，主要由电机、三个直齿轮、伞齿轮、轴承和上下两个机架横板组成。

电机通过螺钉和下机架横板固定，电机 D 型轴和电机外接竖轴通过紧定螺钉实现周向固定。外接竖轴带动中间伞齿轮转动，进而通过直齿轮传动带动竖伞齿轮轴的转动。竖伞齿轮轴上部也通过紧定螺钉和伞齿轮连接，最终使伞齿轮同向转动。

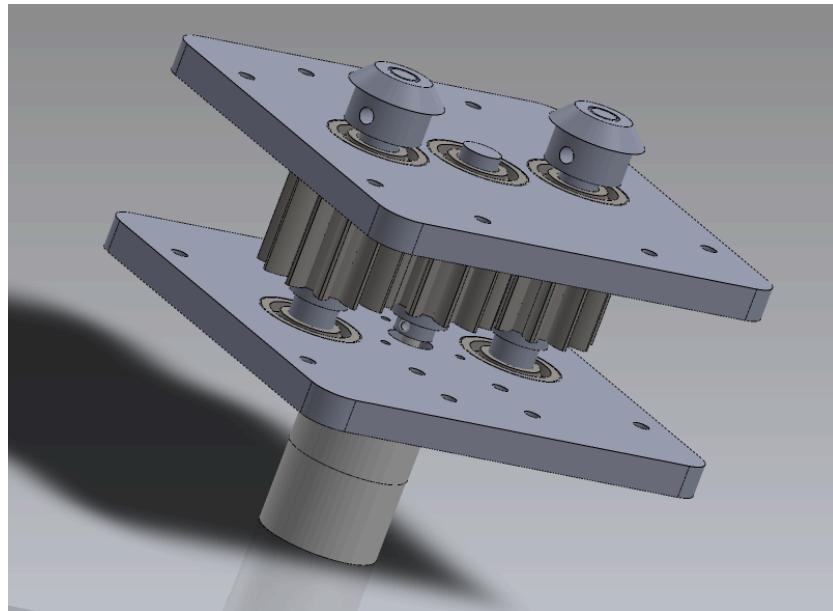


图 3-2 下部传动模块
Figure 3-2 module for transmission

3.2.1.1 电机外接竖轴

电机外接竖轴如图4-3，轴底部开有 5mm 的孔和电机轴连接，侧面开有 3mm 的孔用以安装紧定螺钉，轴头开键槽用以带动直齿轮转动。轴颈部分和轴承内圈过盈配合，轴承和齿轮之间有 5mm 的套筒以进行轴向定位。

3.2.1.2 竖伞齿轮轴

竖伞齿轮轴中部轴头开键槽由直齿轮带动转动。上下轴颈分别和 6201 深沟球轴承过盈配合，其中下轴颈上有砂轮越程槽以方便表面磨削，直齿轮和上侧轴承由套筒轴向定位。上轴头上装有伞齿轮，通过紧定螺钉周向定位。竖伞齿轮轴有两个，对称分布在电机外接竖轴两侧。

3.2.1.3 直齿轮

直齿轮的模数为 3，内径为 16mm，分度圆为 36mm，齿宽为 30mm，直齿轮中开键槽（查阅机械设计手册，采用标准键槽 5*5，轮毂上的深度为）。直齿轮如图4-5。

3.2.1.4 机架横板

上下两个机架横板用来固定轴承，两个横板通过双头螺柱固定。其中上机架横板另打有四个孔用以安装角铁来固定机架竖版，如图4-6。（机架竖版将在下一个模块介绍）



图 3-3 电机外接竖轴
Figure 3-3 External axis of the motor

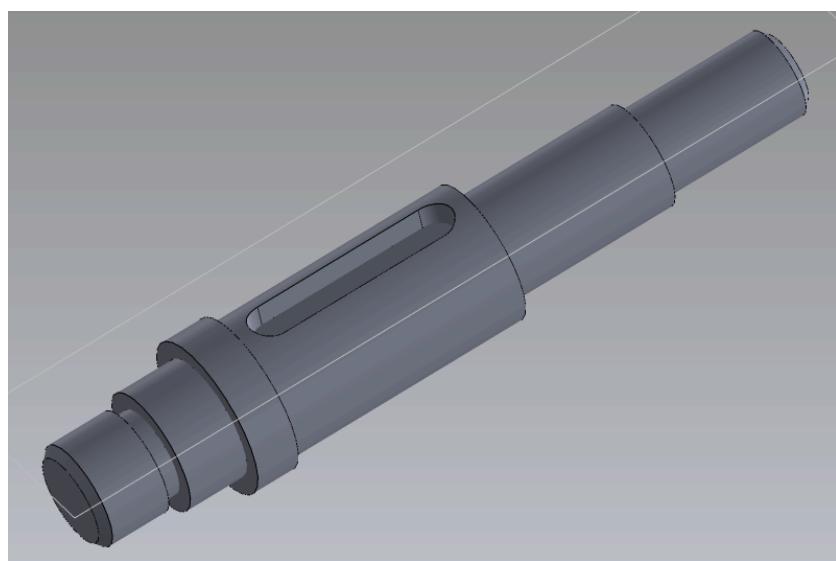


图 3-4 竖伞齿轮轴
Figure 3-4 Vertical axis for bevel gear

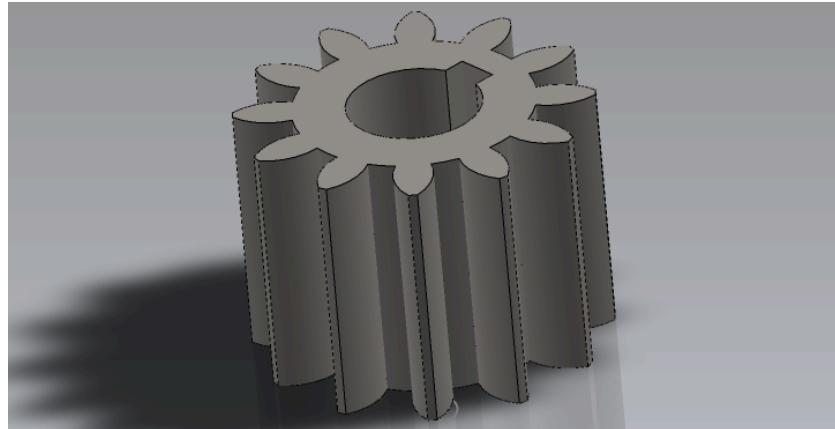


图 3-5 直齿轮
Figure 3-5 Spur gear

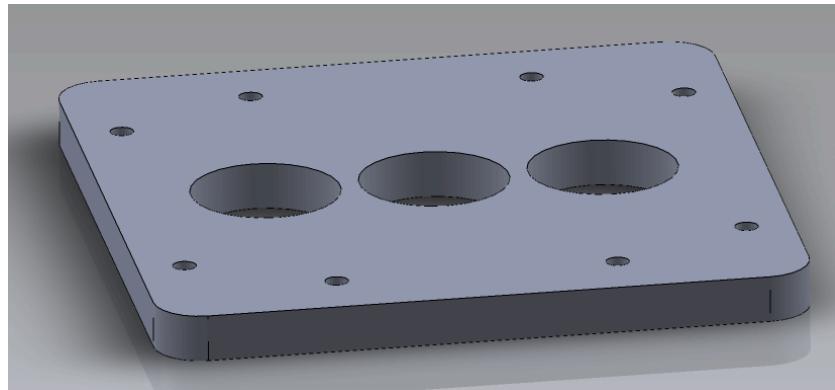


图 3-6 上机架横板
Figure 3-6 Frame (upper horizontal board)

下机架横板中间的大圆孔直径比电机轴稍大，大孔周围的四个小孔用来固定电机，具体结构如图4-7。此外，电机轴孔两侧共还有 8 个 5mm 孔用来通过螺栓和腕部进行固定。

3.2.2 换向夹取模块

该模块主要为了实现两部分功能：一是将竖直放置的伞齿轮的同向转动，转换为横向放置的伞齿轮的相对转动，以使夹取物品时两抓手同时向中间靠拢；二是通过对称的两个五杆机构和扭簧相结合实现自适应抓取。如图4-8。

本模块通过将水平放置的伞齿轮分别在啮合在竖直伞齿轮的对侧，实现换向功能。为了能够使机构两侧对称，并且两侧轴承类型相同以便于加工和装配，采用两个长短不同的轴通过联轴器连接共同构成水平伞齿轮轴。实际情况如图4-9

夹取物品通过五杆机构实现，五杆机构实际具有两个自由度，但本装置利用扭簧和被抓

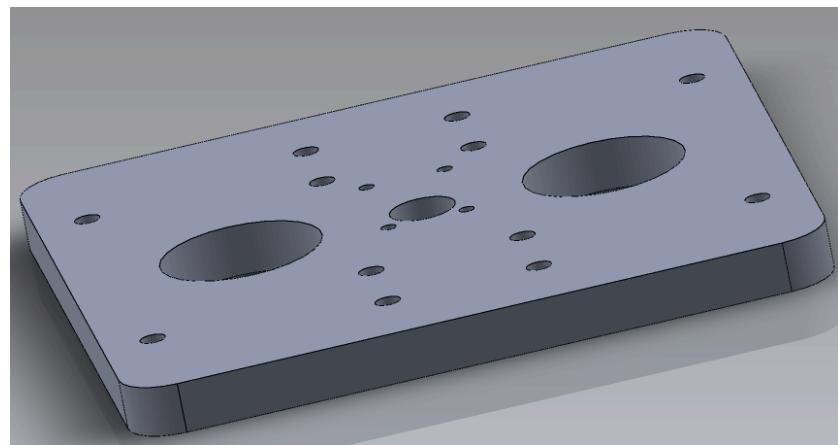


图 3-7 下机架横板
Figure 3-7 Frame (lower horizontal board)

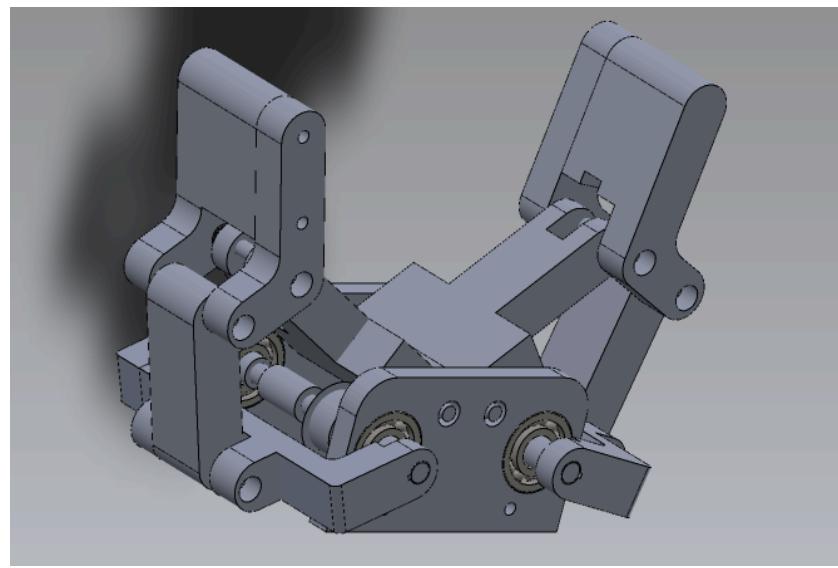


图 3-8 换向夹取模块
Figure 3-8 Module for switching and clamping

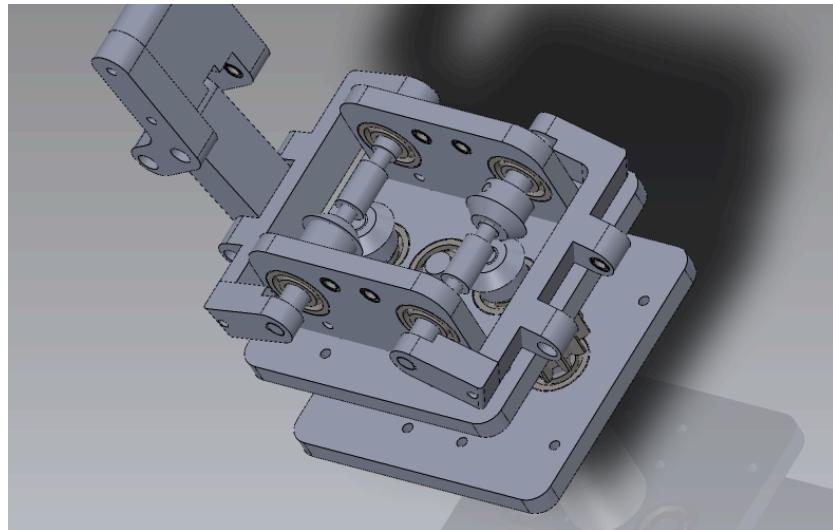


图 3-9 换向原理图

Figure 3-9 switching

物体的反作用力使抓手在夹取物品的不同阶段只具有一个自由度。扭簧套在构件 3 和构件 4 的铰链轴上，扭簧的两脚分别和构件 3 与构件 4 固结。如图4-10, 在构件 4 接触到被夹取物之前，由于扭簧的扭力的作用，构件 3 和构件 4 的相对运动会受到阻碍，此时这两个构件近似于一个整体，相当于一个类四杆机构，构件 3 和构件 4 同时向内旋转；当构件 4 接触到被夹取物时受到反作用力难以继续转动，此时杆 1 在水平伞齿轮轴的驱动下作为原动件，推动构件 3 克服扭簧的扭力继续向内旋转。合理调整扭簧的参数就可以实现自适应的目的构件 3 上装有薄膜传感器，因而可以实现对不同形状和软硬度的物品的包络和夹取，并且不会造成损坏。

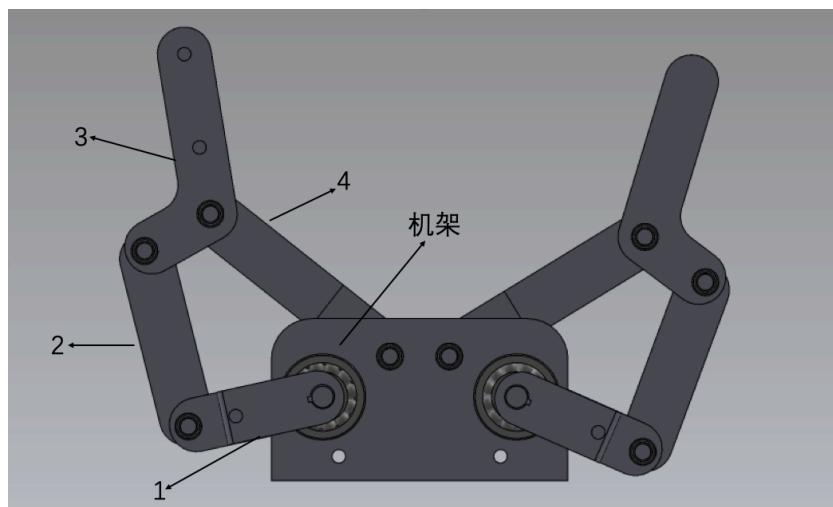
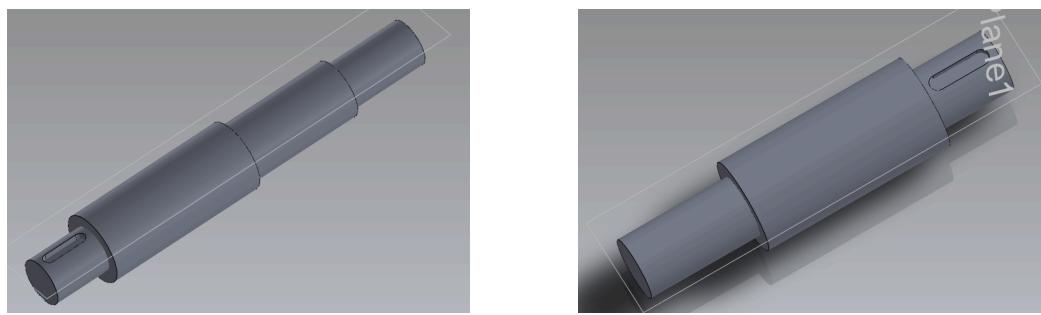


图 3-10 五杆机构

Figure 3-10 five-pole mechanism

3.2.2.1 水平伞齿轮轴

考虑到轴承的购买和装配，以及两侧的机架竖版的加工问题，水平伞齿轮轴拟采用两部分组成，水平伞齿轮轴 1 和水平伞齿轮轴 2 由联轴器连接，两侧轴颈部分均和 6201 轴承过盈配合，两个部件如图4-14。



a) 水平伞齿轮横轴 1 b) 水平伞齿轮横轴 2
a) Horizontal axis one for the bevel gear b) Horizontal axis two for the bevel gear

图 3-11 水平伞齿轮轴
Figure 3-11 Example with subcaptionbox

水平伞齿轮轴 1 左下方轴头上开键槽（公称直径为 2mm*2mm），用以带动五杆机构中的杆 1 转动，右上第二个阶梯上装有伞齿轮并与下层传动模块上的伞齿轮啮合，无键槽的另一侧连联轴器。

水平伞齿轮轴 2 右上方轴头开键槽（公称直径也为 2mm*2mm），中部轴颈和轴承配合，左下方与联轴器相连。

3.2.2.2 伞齿轮

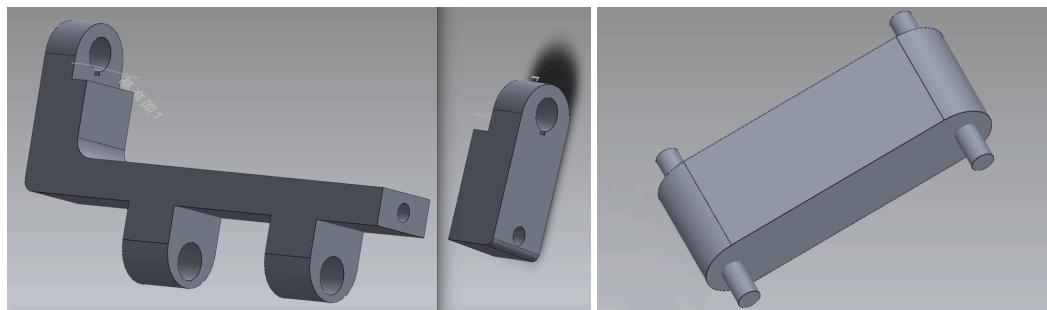
伞齿轮采用 1.5 模 20 齿，内孔为 10mm，伞齿轮采用 5mm 的紧定螺钉固定在水平伞齿轮轴 1 上。



图 3-12 伞齿轮
Figure 3-12 Bevel gear

3.2.2.3 五杆机构构件 1 和构件 2

构件一由两部分组成，由长螺钉固定。装配时距离较远的两个孔中有键槽，因此可以通过键链接被水平伞齿轮轴带动；距离较近的孔通过轴承和构件 2 连接。构件 1 构件 2 如图4-14。



a) 五杆机构构件 1
a) Component one

b) 五杆机构构件 2
b) Component two

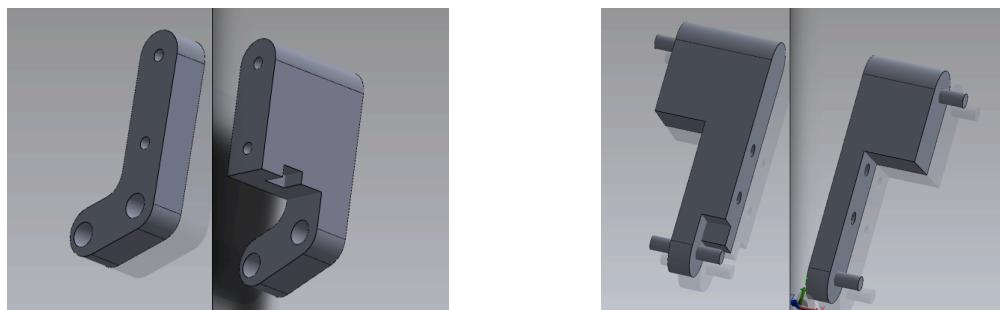
图 3-13 五杆机构构件 1 和构件 2

Figure 3-13 five-pole mechanism

3.2.2.4 五杆机构构件 3 和构件 4

构件 3 也由两部分组成，通过连个螺钉连接固定。两对通孔内均装轴承，分别可夹住构件 2 和构件 4。构件 3 的主要部分上设有凹槽用来固定扭簧的一脚。

构件 4 设计成两部分来安装扭簧，较大的一部分上有内伸轴作为扭簧的固定轴，并且也有凹槽来固定扭簧的另一脚。构件 4 的两对外伸轴分别通过轴承和构件 3 以及机架竖板相连。



a) 五杆机构构件 3
a) Component three

b) 五杆机构构件 4
b) Component four

图 3-14 五杆机构构件 3 和构件 4

Figure 3-14 five-pole mechanism

3.2.2.5 机架竖板

换向夹取机构含有两个相同的机架竖板，板厚 10mm，最大的一对孔用来放置 6201 滚动轴承，上方小孔用来放置较小的 608 轴承，下方的一对小孔用来固定角铁。

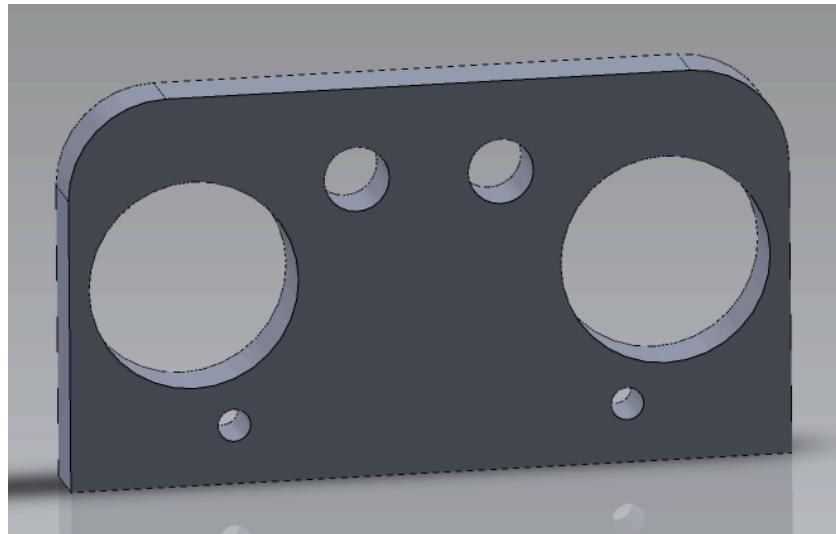


图 3-15 机架竖板
Figure 3-15 Frame (vertical board)

3.2.2.6 扭簧

扭簧为非标准定制，扭簧线径为 0.8mm，内径为 6.4mm 比内伸轴的直径略大以便于安装，圈数为两整圈，材质为不锈钢，扭簧右旋。



图 3-16 扭簧
Figure 3-16 Torsion spring

3.2.3 强度校核

3.2.3.1 轴校核

3.2.3.2 直齿轮校核

3.2.3.3 伞齿轮校核

第四章 软件分析

4.1 综述

在整个项目的设计与之后的装配分析中，我们均学习探索并使用了一些软件进行辅助性分析，这对于我们进行相关的材料选择、整体设计、寿命分析以及装配的整体合理性都有了很大的帮助。

4.2 基于 Matlab 分析的骨架设计

在最开始的设计中，我们需要初步探索出最合适的大致臂长，以满足我们对于三个臂长的设计需求。对此，我们采用了数学软件 Matlab 进行了建模分析。

首先，我们通过实地探访肯德基的各种产品，通过食品称、直尺获得了我们所需要夹取的食品的长、宽、高、内径、外径以及重量等参数。在各个数据中我们选取了最大重量的食物——可乐，作为我们的目标载荷。

对于三杆机械臂，我们进行了如图所示的建模，如图 5-1 所示。我们分别对基座和连杆的铰链和各个壁进行了分别编号和建系，并在末端加载可乐的重量作为负载，以及加入初步估计的连杆的重量以及电机的重量，连杆的重量由设计的体积、45 号钢的密度由公式

$$G = \rho A l g \quad (4-1)$$

$$\Sigma M = \Sigma Fl \quad (4-2)$$

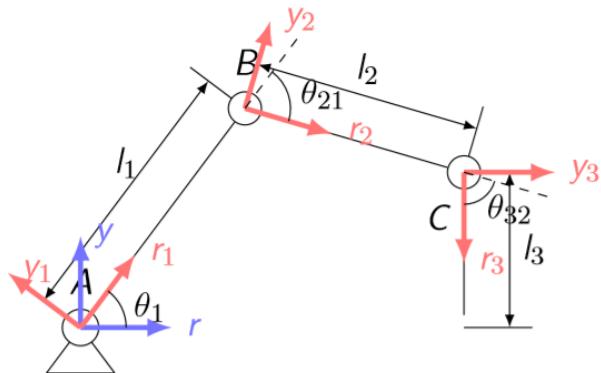
可以计算出每个铰链所受弯矩的大小。

之后，便可以在 Matlab 软件中对此三杆机构进行模拟建模，并输出 Gif 动图实时显示出在杆移动的过程中 A、B、C 三点的扭矩，如图 5-2 所示。之后再在合理的结构条件下对三个杆的长度进行不断调整组合，从而得到在保证满足夹取条件的前提下（如图 5-2 所示）获得尽可能地获取扭矩小的三杆长度组合。

最终我们通过不断实验初步确定，通过 Matlab 计算得到当三杆长度分别为 45cm、40cm、10cm 的时候可以在最大移动范围（基座 360° 旋转的情况下）140cm 左右承受扭矩的最大值为 $45 N \cdot m$ 。

表 4-1 KFC 食物实地调研结果

食物	重量 (g)	长 (cm)	宽 (cm)	高 (cm)
黄金鸡块	100.5	12	7.2	4.2
薯条	80.5	5	4.5	5.1
鸡腿堡	202.5	11	11	6.8
蛋挞	60	6.5	3.8	2.8
可乐	460	8.8	6	13



$$\begin{bmatrix} r_o \\ y_o \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_{21}) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_{21} + \theta_{32}) \\ l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_{21}) + l_3 \sin(\theta_1 + \theta_{21} + \theta_{32}) \\ \theta_1 + \theta_{21} + \theta_{32} \end{bmatrix}$$

图 4-1 matlab 建模

Figure 4-1 Matlab modeling

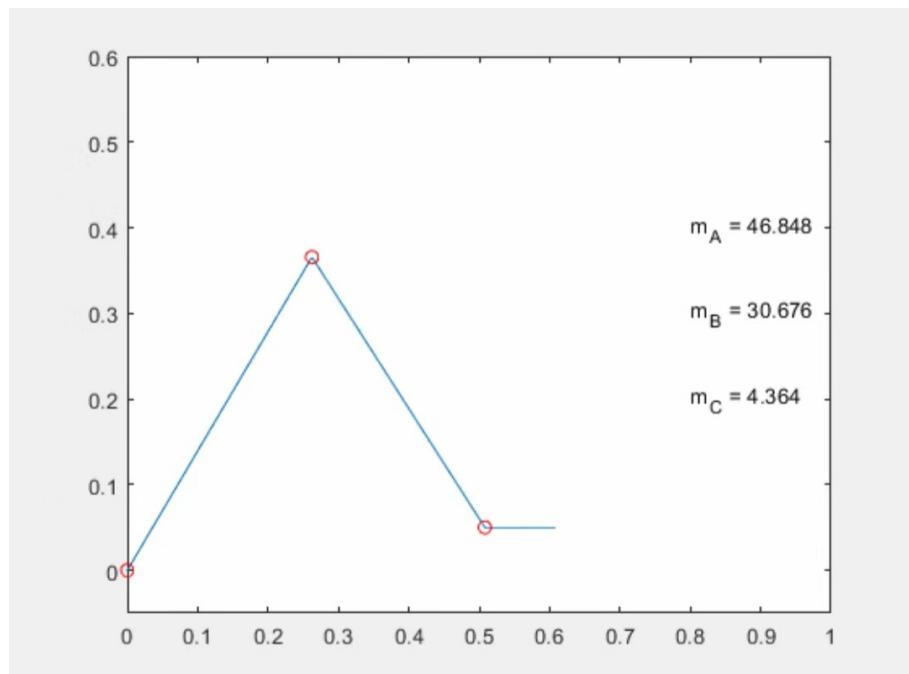


图 4-2 Matlab 输出扭矩

Figure 4-2 Matlab torque outputing

$l_1 = 0.4;$	$l_1 = 0.5;$
$l_2 = 0.5;$	$l_2 = 0.4;$
$l_3 = 0.1;$	$l_3 = 0.1;$
180.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000	0.2091 0.0854 0.0798 -0.0463
83.2226 12.8386 8.2360 -25.2635	6.0612 12.8386 7.4299 2.5321
39.4860 25.8419 19.0923 -6.3266	12.1978 25.8419 14.8601 5.0613
16.1695 39.1950 26.9622 10.4904	18.4946 39.1950 22.2911 7.5843
0 53.1301 30.0960 21.4560	25.0576 53.1301 29.7233 10.0969
13.3194 67.9757 40.8186 21.8770	32.0364 67.9757 37.1575 12.5931
25.6651 84.2608 51.1573 22.8912	39.6711 84.2608 44.5948 15.0627
38.3208 103.0029 61.2770 24.2439	48.4219 103.0029 52.0378 17.4853
53.1301 126.8699 71.2992 25.7472	59.4898 126.8699 59.4929 19.8055
$l_1 = 0.4;$	$l_1 = 0.45;$
$l_2 = 0.5;$	$l_2 = 0.45;$
$l_3 = 0.1;$	$l_3 = 0.15;$
180.0000 0.0000 -0.0000 -0.0000	80.4059 19.1881 10.4774 -22.8597
83.2226 12.8386 8.2360 -25.2635	44.7549 23.1100 16.4325 -9.6204
39.4860 25.8419 19.0923 -6.3266	20.7423 32.2552 21.6800 5.2057
16.1695 39.1950 26.9622 10.4904	4.6842 43.7617 25.3519 16.4414
0 53.1301 30.0960 21.4560	7.7816 56.6753 31.8747 19.6526
13.3194 67.9757 40.8186 21.8770	18.7525 70.9035 40.8719 20.5951
25.6651 84.2608 51.1573 22.8912	29.3714 86.8153 49.7536 21.9836
38.3208 103.0029 61.2770 24.2439	40.6016 105.3926 58.5768 23.5980
53.1301 126.8699 71.2992 25.7472	54.1201 129.4795 67.3940 25.2351

图 4-3 不同长度三杆组合分析
Figure 4-3 Analysis of three bar combination with different length

4.3 基于 Ansys 分析的蜗杆装配

在实体装配的过程中，我们通过定性分析可知，基座上的蜗杆处于较下方的位置且其上装配有最多的轴承支座并和涡轮相啮合，因此会承受很大的应力并产生切变。出于对装配体的寿命和安全性的考虑，为了探究其切应力和正应力是否超过其屈服强度和切应力的许用值，我们利用 Ansys 进行有限元辅助分析。

在 Ansys 中，我们根据装配体的结构情况，进行前处理、输入蜗杆的几何模型、对几何模型划分网格、根据装配体的实际情况施加载荷（图 5-4），求解后进行输出应力应变云图。

在一开始我们设计的装配体中，蜗杆中央受到了极大的正应力，中间一部分超过了 45 号钢的屈服强度，因此极大地影响了蜗杆的工作和使用寿命（图 5-5）。之后，我们对上方装配体进行了一系列改进优化，如机械手部分尽可能采用 3D 打印结构并对其结构进行优化，并增加了支座分担蜗杆的应力，最终获得了较为理想的输出结果（图 5-6）（图 5-7）（图 5-8）。

由云图可以看出，改进后正应力极大降低，切应力也满足 45 号钢的许用值（除了极其微小的一部分稍微超过之外），能够满足蜗杆的安全工作条件。

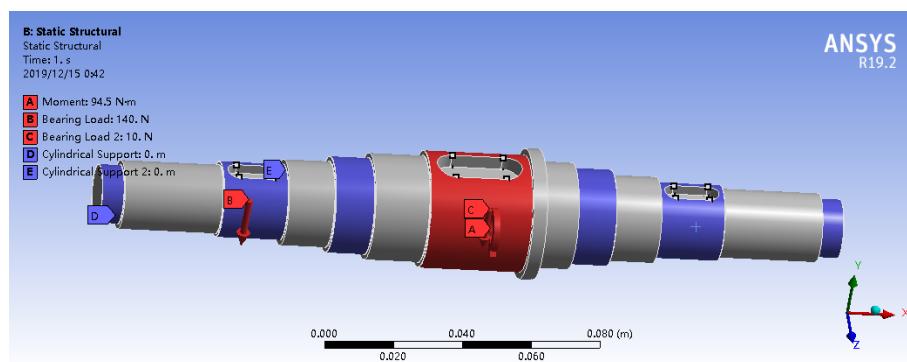


图 4-4 蜗杆的应力与扭矩
Figure 4-4 Stress and torque of worm

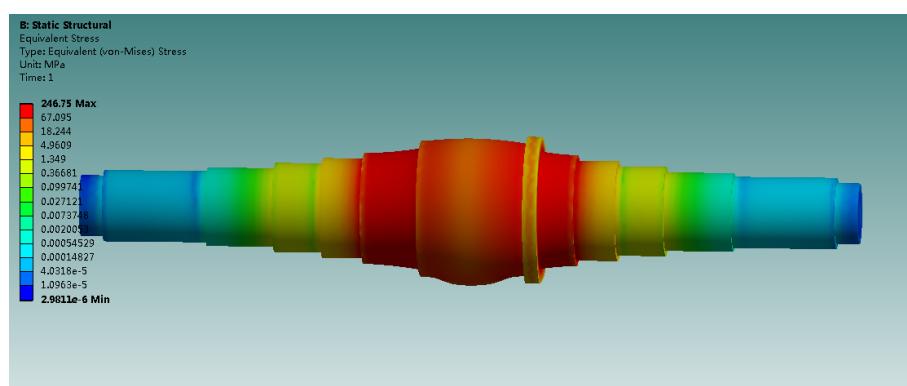


图 4-5 改进前正应力
Figure 4-5 Normal stress before improvement

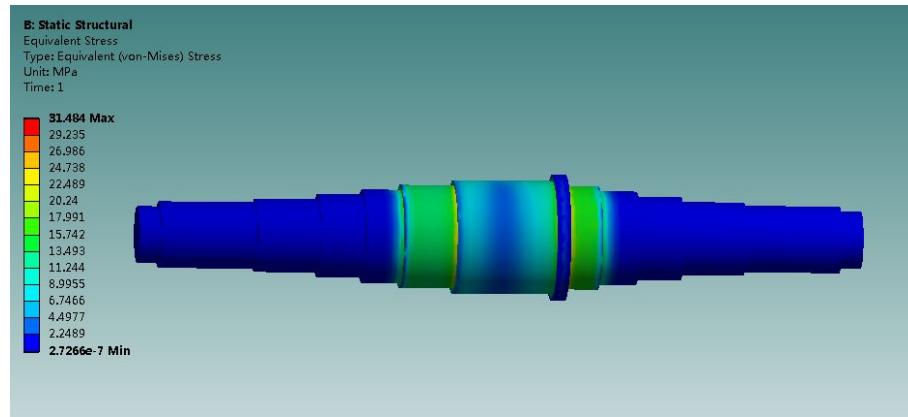


图 4-6 正应力

Figure 4-6 Normal stress

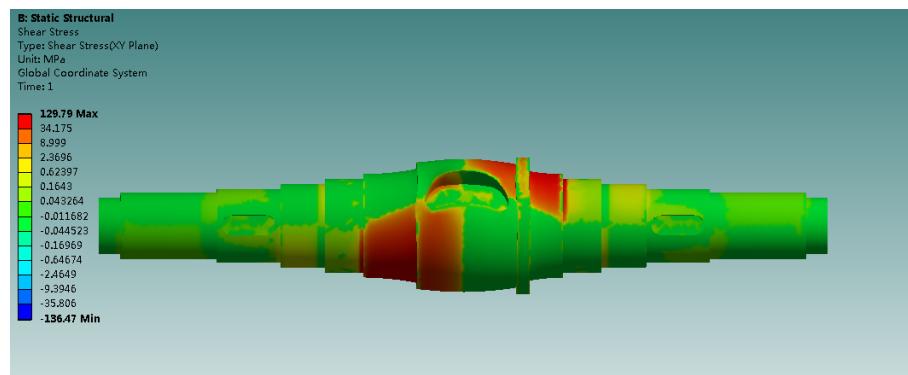


图 4-7 切应力

Figure 4-7 Shear stress

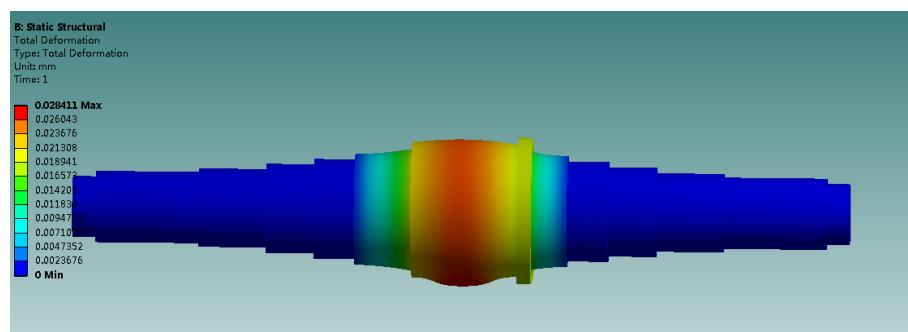


图 4-8 拉伸位移

Figure 4-8 Tensile displacement

4.4 基于 ROS 环境的机械臂分析

为了更好地去分析整个装置，我们小组尝试了 Robot Operating System 机器人操控系统（以下简称 ROS），首先，我们下载安装了 Ubuntu 系统，并在 Ubuntu 系统上搭建 ROS 环境和相关功能包，之后在 SolidWorks 软件中搭建六自由度机械臂的坐标系体系，使用 sw_urdf_exporter 插件生成了通用机器人描述文件（URDF），成功地把我们设计的模型导入进入了 ROS 系统。

通过 ROS 环境中模拟出的模型，我们获得了机械臂运动的包络面和模拟路径。并通过后续的学习可以了解到在 ROS 环境中可以实现电控，但由于时间和精力有限所以小组准备在寒假进行进一步探索。

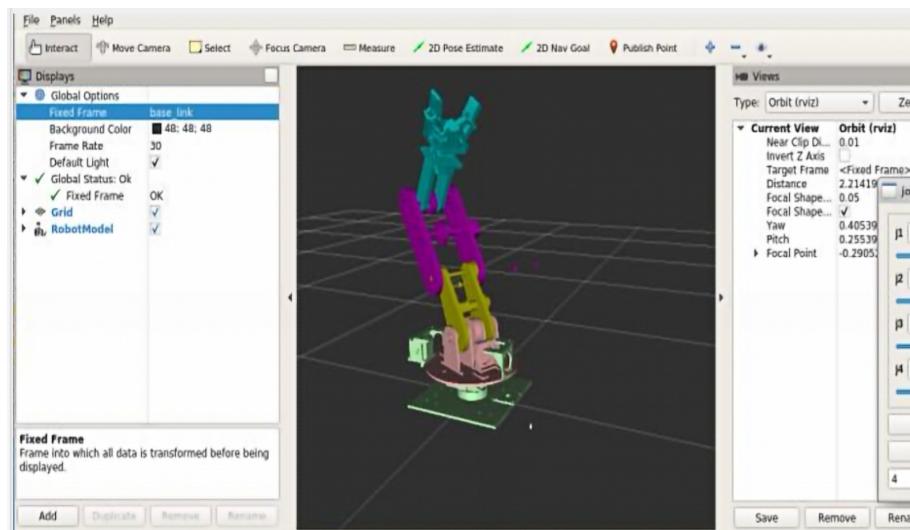


图 4-9 ROS 环境搭建
Figure 4-9 ROS environment construction

第五章 机电控制系统

5.1 电机选型

由本项目的结构设计可知，整体共有五个自由度，需要五个电机进行驱动。鉴于机械臂及云台转动角度的精准度要求较高，本项目的机械臂部分均采用步进电机进行驱动。而手部仅要求简单控制电机轴正反转即可，因此手部选用直流有刷电机。

接下来将根据各个关节输入的需求，分析电机的选型。

1. 云台：经过搜索，我们能买到的较大扭矩的步进电机（86 步进电机，如图 6-1）可以提供约 $4N \cdot M$ 的扭矩，经过与蜗轮蜗杆的配合减速，正常运行时能产生约 $200N \cdot M$ 的扭矩，以及约 3.5 转/分的转速，可以满足对云台的驱动要求。
2. 1 号臂：由于 1 号臂所承受的载荷最大，驱动 1 号臂需要的扭矩也较大，因此同样选择与云台相同的大型 86 步进电机（ $4N \cdot M$ 型），经过蜗轮蜗杆的配合减速，正常运行时能产生约 $150N \cdot M$ 的扭矩，经 Matlab 核算，可以满足 1 号臂的扭矩需要，减速后的转速最快可至 6 转/分，也足够满足需求。
3. 2 号臂：由于 2 号臂与 3 号臂部分没有外加减速机构，因此选用电机时需要直接选用减速电机增大输出扭矩，且本身体积与质量不能过大，否则对 1 号臂负担过大。经过选择，2 号臂最终采用了减速比 1:99 的 42 减速电机（ $0.7N \cdot M$ 型，如图 6-2），减速后的输出扭矩可达 $69.3N \cdot M$ ，转速接近 2 转/分，可以满足 2 号臂的转动需要。
4. 3 号臂：3 号臂与 2 号臂要求类似，只是需要的扭矩较 2 号臂小一些，因此采用扭矩为 $0.55N \cdot M$ ，减速比 1:99 的 42 减速电机，减速后的输出扭矩约为 $54.45N \cdot M$ ，转速同样为 2 转/分，可以满足 3 号臂的转动需要。
5. 手部：根据上文中手部结构的设计，夹取时需要的输入扭矩大约为 $0.5N \cdot M$ ，故选用了减速比为 1:142 的直流减速电机（如图 6-3），其最终输出扭矩可达 $0.6N \cdot M$ ，满速转速为 30 转/分，可以满足手部输入的要求。

综上，电机部分的选型如下：云台：86 步进电机（ $4N \cdot M$ ）

1 号臂：86 步进电机（ $4N \cdot M$ ）

2 号臂：42 减速步进电机（ $69.3N \cdot M$ ）

3 号臂：42 减速步进电机（ $54.45N \cdot M$ ）

手部：直流减速有刷电机（ $0.6N \cdot M$ ）

86 步进电机型号：86BYG250B

转速：200 转/分 扭矩： $4N \cdot M$ 机身长度：80MM

轴径：14MM 电机电流：4A 出线：二相四线

42 步进电机型号：42BYGH47/42BYGH60

转速：200 转/分 扭矩： $0.55/0.7N \cdot M$ 机身长度：48/60MM 轴径：5MM

电机电流：1.5A 出线：二相四线 减速箱长度：48MM 减速比：1:99



图 5-1 86 步进电机

Figure 5-1 Step motor: model 86



图 5-2 42 步进减速电机

Figure 5-2 Step motor: model 42

直流有刷电机型号: XD-37GB520 (带减速箱)

输入电压: DC12V 负载电流: 0.68A 整体重量: 约 210g 额定功率: 7W

减速比: 1:99 减速箱长度: 28MM 输出转速: 30 转/分 输出扭矩: 0.6N · M



图 5-3 直流有刷电机

Figure 5-3 DC brush motor

5.2 驱动器选择

5.2.1 步进电机驱动

86步进电机驱动器型号：DM542

具体参数:脉冲信号: 3.3V/5V/24V 兼容

细分设定: 400-25600 细分

输入电压: 直流 DC12V-50V

电流范围: 1.0A-4.0A

42步进电机驱动器型号：DM542C

具体参数:脉冲信号: 3.3V/5V/24V 兼容

细分设定: 400-25600 细分

输入电压: 直流 DC20V-50V

电流范围: 1.0A-4.2A

5.2.2 直流电机驱动

驱动器型号: L298N 直流电机驱动芯片 蓝色版

具体参数:驱动电压范围 Vs: +5V-35V 逻辑电压范围 Vss: +5V-7V

控制信号和使能信号电压: 低电平-0.3V-1.5V 高电平 2.3V-Vss



图 5-4 DM542

Figure 5-4 DM542



图 5-5 DM542C

Figure 5-5 DM542C

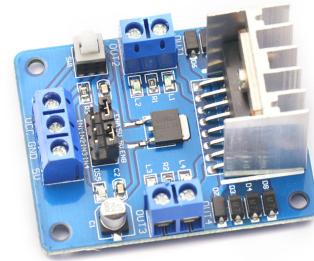


图 5-6 L298N

Figure 5-6 L298N

5.3 电源选择

5.3.1 供 DM542 驱动器

产品型号: S-250W-24V

直流输出电压: 24V

输出电流: 0-10A

输出功率: 250W



图 5-7 250W 电源

Figure 5-7 250W source

5.3.2 供 DM542C 驱动器

产品型号：S-100W-24V

直流输出电压：24V

输出电流：0-4.2A

输出功率：100W



图 5-8 100W 电源

Figure 5-8 100W source



图 5-9 12V 电源

Figure 5-9 12V source

5.3.3 供 L298N 驱动器

产品型号：YSN-1203000 锂电池组

直流输出电压：12V

5.4 传感器选择

本项目仅有手部需要传感器进行夹取力度的控制，考虑到对传感器有尺寸小、质量轻、灵敏度高等要求，最终选用了薄膜式压力传感器，将其固定于抓手内侧。

传感器型号：RP-C7.6-ST 外径：7mm 量程范围：2g-1.5kg



图 5-10 压力传感器

Figure 5-10 Pressure sensor

5.5 控制板选择

本项目选用 arduino UNO 作为机电系统的控制板，其输出端口数量与数据处理能力足够满足本项目需求。



图 5-11 arduino UNO

Figure 5-11 arduino UNO