

---

# 滚筒式蔬菜洗净一体机设计报告



姓 名：钱永晋，孙叶明，王航，蔡翔宇，田泽宇  
学 号：523021910 (115, 341, 080, 273, 069)  
课 程 名 称：设计与制造II  
课 程 老 师：庄春刚  
指 导 老 师：刘建国  
院 系：机械与动力工程学院

2026年1月14日

---

# 目录

摘要.....	3
1 项目背景 .....	3
2 产品设计 .....	3
2.1 设计概念的产生和选择 .....	3
2.1.1 市场调查与结果分析 .....	3
2.1.3 重点设计特性及产品规格.....	4
2.1.4 初步设计方案分析 .....	4
2.2 详细设计 .....	7
2.2.1 最终设计概念的选择理由.....	7
2.2.2 最终设计概念草图 .....	9
2.2.3 最终设计工程图 .....	9
2.2.4 设计方案建模及实物图 .....	14
2.2.5 小组工作甘特图.....	19
3 成本及其他.....	19
3.1 成本计算 .....	19
3.2 其他 .....	19
4 仿真与校核.....	19
4.1 运动学仿真.....	19
4.2 强度校核 .....	22
4.2.1 扭转强度校核.....	22
4.2.2 轴承强度校核.....	22
5 集成调试结果.....	23
5.1 组装集成 .....	23
5.2 调试过程与结果.....	24
5.2.1 调试准备.....	24
5.2.2 传动系统调试.....	24
5.2.3 开合机构调试.....	25
5.2.4 清洗性能与防溅水调试 .....	25
5.2.5 调试结果总结.....	26
5.3 安装难点 .....	26
6 外购清单链接.....	26
7 总结与心得.....	26
7.1 总结 .....	26
7.2 全组个人心得.....	27
7.2.1 钱永晋 .....	27
7.2.2 孙叶明 .....	27
7.2.3 王航 .....	27
7.2.4 蔡翔宇 .....	27
7.2.5 田泽宇 .....	28
8 致谢 .....	28

---

## 摘要

本项目针对当前食品安全需求升级与现有洗菜设备痛点，研发了一款兼具高清洁能力与高性价比的滚筒式一体化洗菜机。随着消费者对食材深度除残需求的提升，传统手工清洗效率低下，市面上超声波式、气泡式等洗菜机存在清洁不彻底、伤菜、价格高昂或功能单一等问题。为此，项目团队以滚筒洗衣机为设计原型，采用“亚克力外壳+3D 打印滚筒”的核心结构，搭配 60KTYZ 爪极永磁同步电机与万向节传动系统，创新设计滚筒开合四杆机构，确保清洁过程中滚筒稳固闭合。产品通过激光切割、3D 打印等工艺加工组装，经性能调试实现对菜品表面农药残留、泥土及细小杂质的深度去除，同时控制生产成本在 500-550 元区间。项目响应洗菜机市场 12.3% 的年复合增长率及多功能设备 18.7% 的增速需求，填补了中低端高性价比洗菜设备的市场空白，未来可通过电机智能控制、搬运结构优化及传动系统升级进一步提升产品竞争力，具备广阔的市场推广前景。

## 1 项目背景

随着全球食品安全意识的提升，消费者对食材清洁的需求已从基础去污升级为深度除残（农药、激素等）与品质筛选并重。传统清洁方式效果有限，清水冲洗仅能去除 10%-15% 的表面残留，盐水浸泡 30 分钟除残率不足 30%，且易导致果蔬营养流失。手工清洗效率低下，难以满足规模化清洁需求；市面上主流的气泡式、超声波式、喷淋式洗菜机存在明显缺陷——低端超声波产品对细小缝隙残留的去除率仅 65%，清洁效果不佳；高端大型化集成产品价格普遍超 3000 元，日均耗电 0.5 度以上，且 80% 以上的设备仅针对单一品类食材，通用性差。

## 2 产品设计

### 2.1 设计概念的产生和选择

#### 2.1.1 市场调查与结果分析

洗菜机市场正以年复合增长率 12.3% 快速扩张，其中多功能集成设备增速高达 18.7%，但当前市场渗透率不足 8%，远低于智能电饭煲 40% 的渗透率，市场增长空间广阔。据《2025-2030 中国家用炊事用具行业发展分析报告》预测，中国炊事用具市场规模将从 2025 年的

1200 亿元增长至 2030 年的 1600 亿元，多功能料理设备增速达 18%，远超传统品类。本项目研发的滚筒式洗菜机精准切入多功能、高性价比细分赛道，具备明确的市场需求基础。

### 2.1.3 重点设计特性及产品规格

本产品是一款面向家庭及小型餐饮场景的滚筒式蔬菜洗净一体机，核心设计理念为“高清洁力、高性价比、便捷操作”。产品采用滚筒结构，借鉴洗衣机工作原理，通过滚筒旋转带动蔬菜翻动，与水流实现周期性接触，实现物理摩擦与水流冲刷的双重清洁效果。

设定整机清洁率实测达 90%以上，运行稳定，噪音低，适用于叶菜、根茎等多种食材。成本控制在 500 – 550 元区间，大小控制在长宽高 50cm 以内，体积较小，且便于使用，具有显著市场竞争力，填补了中低端多功能洗菜设备的市场空白。

### 2.1.4 初步设计方案分析

初始设想借鉴滚筒洗衣机的工作原理，采用“外壳+滚筒”的方案，以 3D 打印材料或亚克力板制造壳体，采用 3D 打印材料作为滚筒。滚筒内置在外壳中，通过电机驱动滚筒滚动，利用蔬菜与滚筒内壁、蔬菜之间的摩擦作用实现深度清洗。同时优化设备的传动方式、开合结构与材质选择，平衡清洁效果、操作便捷性与成本控制。

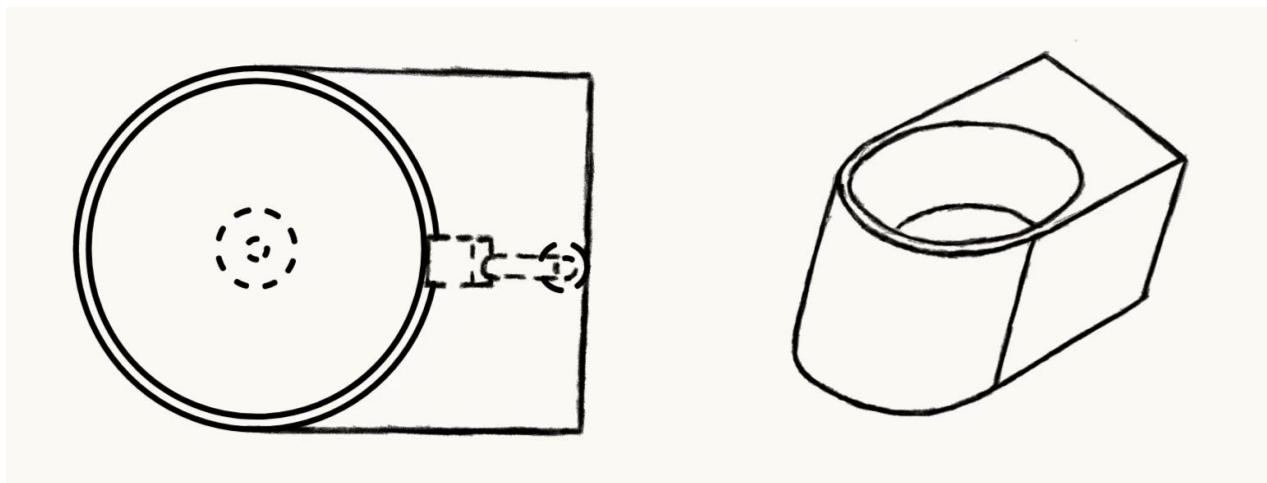


图 1 初步设计方案的俯视草图

图 2 初步设计方案的轴测草图

在外壳设计方面，初步采用碗型外壳，内胆设计为深碗型，贴合内筒，底部镂空设计预留电机空间，外壳预留振动机构空间，为内置机构提供防水防护，其优点在于形状简单加工方便，且安装便捷，缺点在于全壳体均需要 3D 打印，消耗成本过大。

在滚筒设计方面，初步采用深碗状滚筒，底部圆弧曲线更易用后清洁，造型简单，安装方

---

便，但由于滚筒为竖向放置，易使菜沉积在底部，不利于蔬菜的清洗，并且碗无法漏水，水在清洁过程中变混浊后，碗无法将水排出，换水较麻烦。

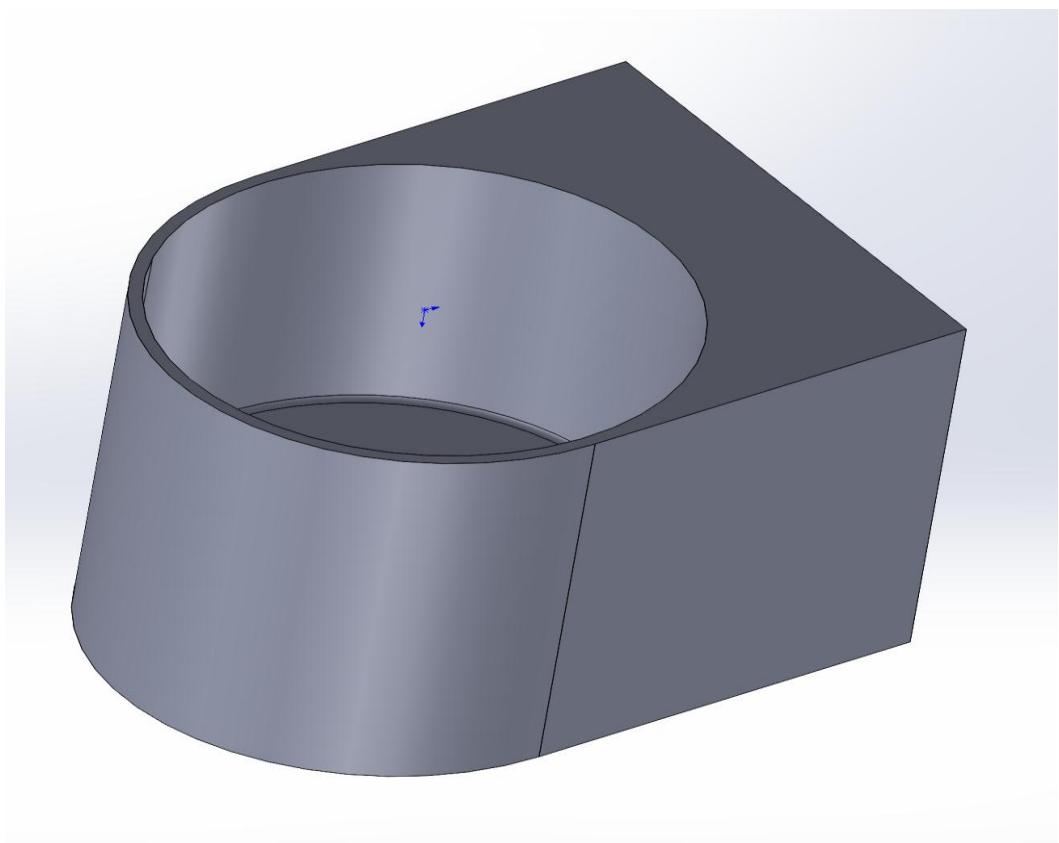


图 3 初步设计方案外壳建模

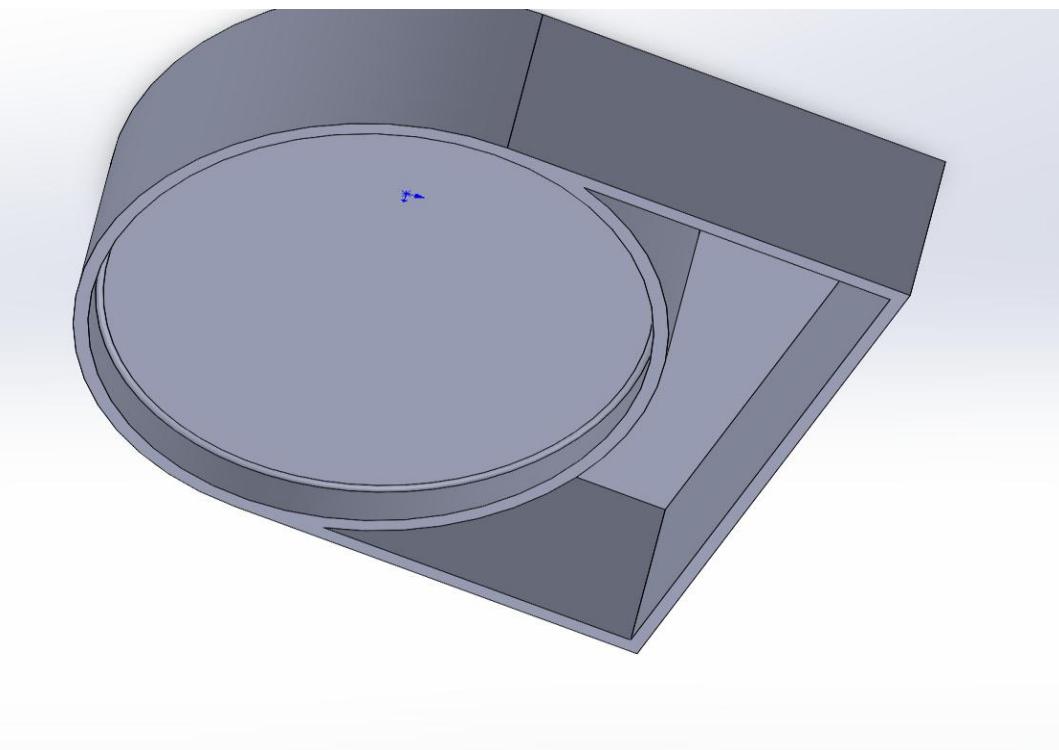


图 4 初步设计外壳建模（底部）

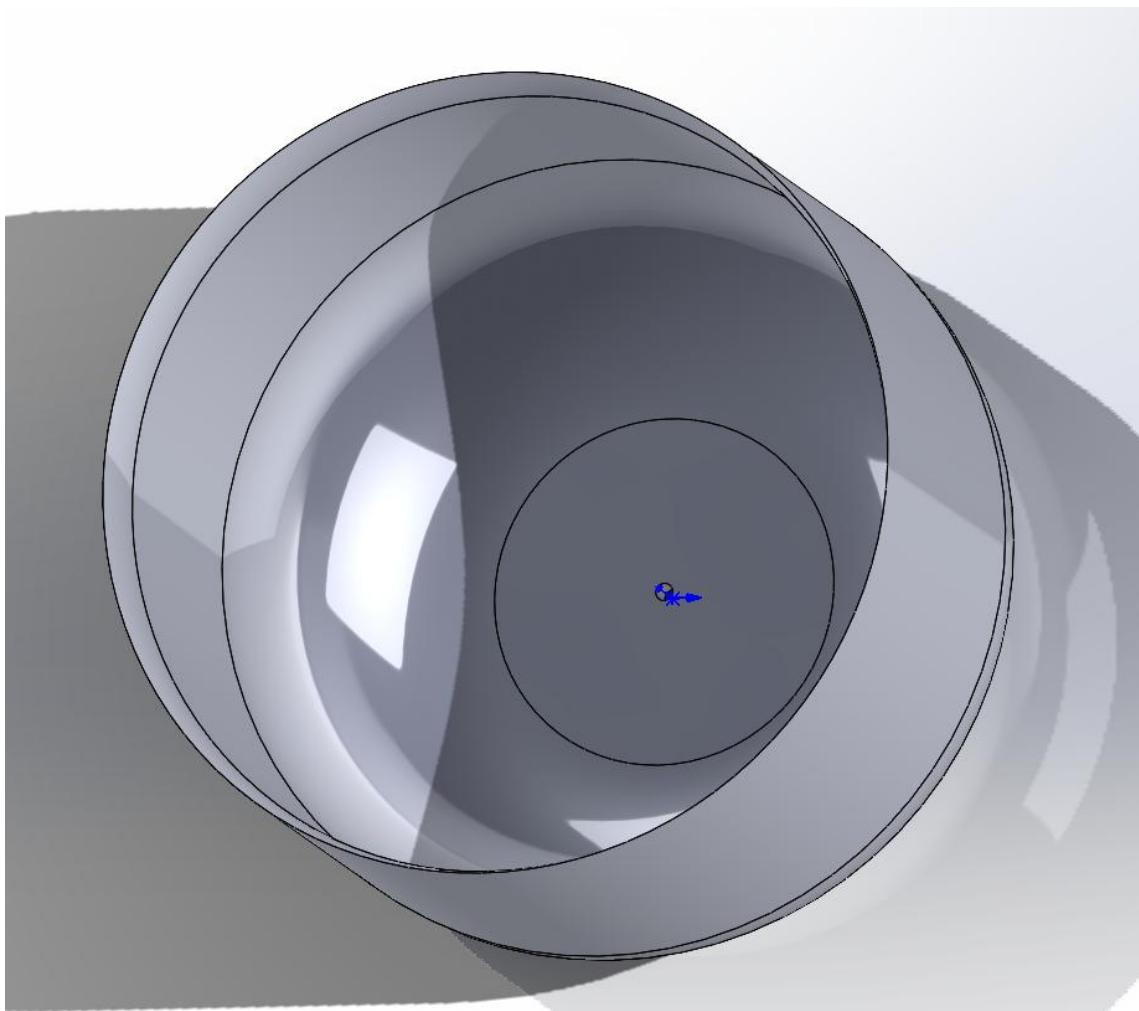


图 5 初步设计方案滚筒建模

## 2.2 详细设计

### 2.2.1 最终设计概念的选择理由

经过评估，初步设计方案在加工可行性与结构规划方面均存在较大优化空间，且方案细节有待完善。为此，我们基于原方向进行了多轮评审与讨论，最终确定了以下设计概念方案：

**外观与结构：**参照滚筒洗衣机的基本形式，采用横向布置的镂空滚筒。该结构取代了原有的振动清洗方式，通过滚筒旋转带动物料运动，实现清洗目的。

**物料装载方式：**滚筒仅用于容纳待清洗的菜品，内部不注入水。滚筒一侧设计为可开合结构，便于投放与取出菜品，提升操作便利性。

**水槽设计：**清洗用水独立置于底座水槽内，与滚筒分离。底座结构进行了简化处理，以降低加工难度、节约制造成本，并提高整体结构的稳定性与可靠性。

---

**清洗机制：**滚筒在驱动下持续旋转，带动内部菜品不断翻动，使其周期性地接触底座水槽中的水流，通过水流冲刷与物理摩擦相结合的方式实现有效清洗。

该方案在保持清洗效果的同时，显著提升了产品的可制造性与操作便捷性，为后续详细设计与工程开发奠定了明确方向。

## 2.2.2 最终设计概念草图

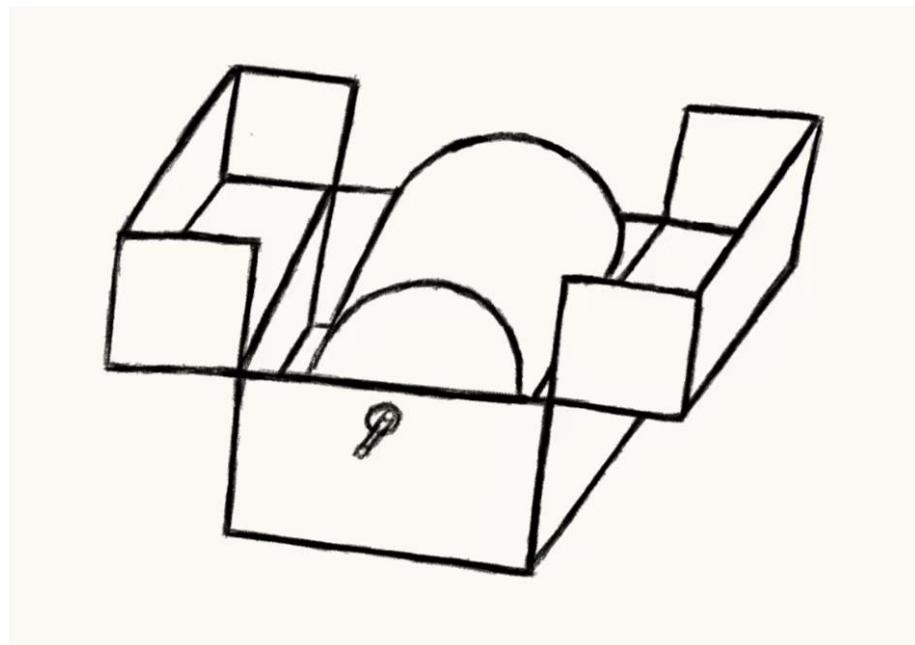


图 6 最终设计概念草图

## 2.2.3 最终设计工程图

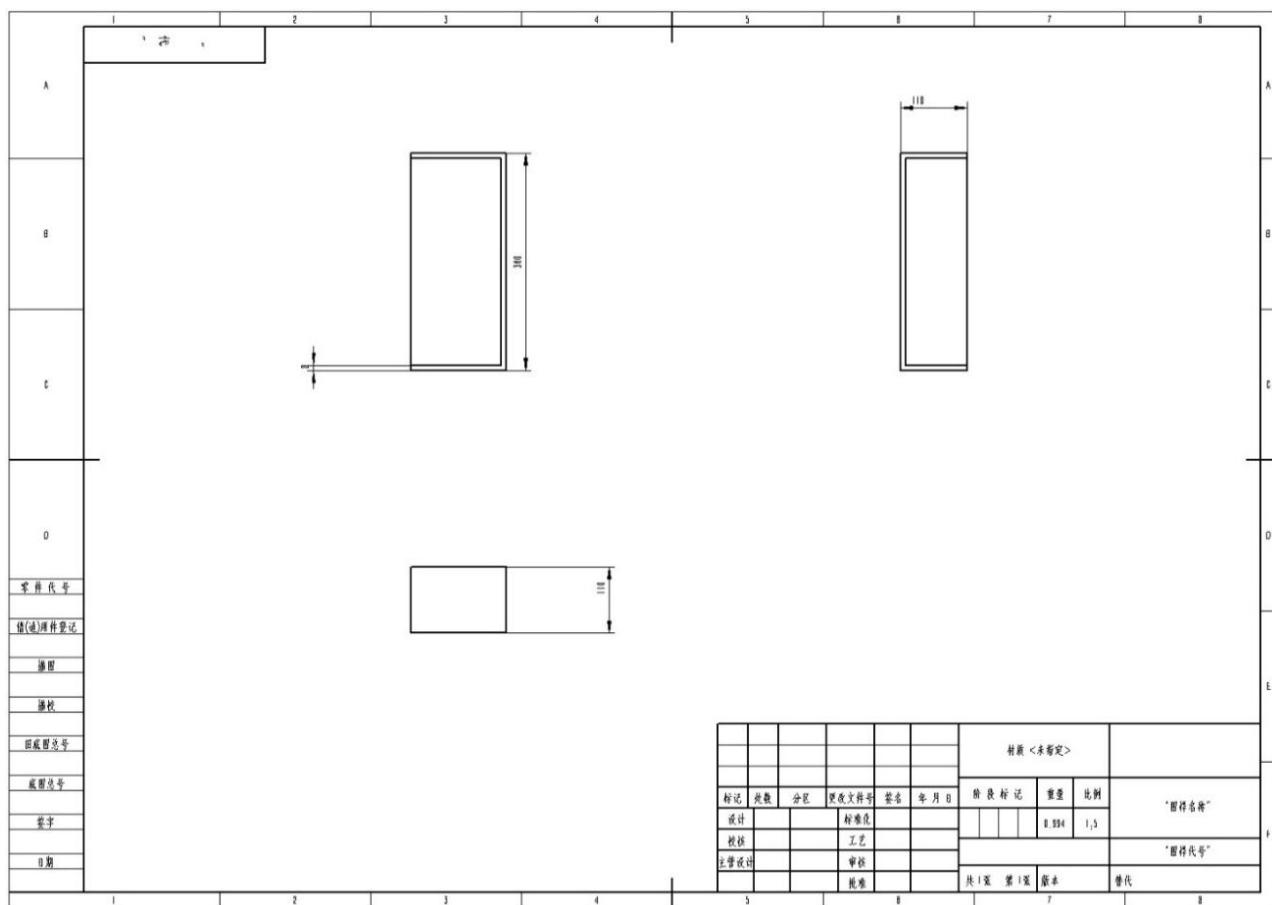


图 7 外壳罩（半截）

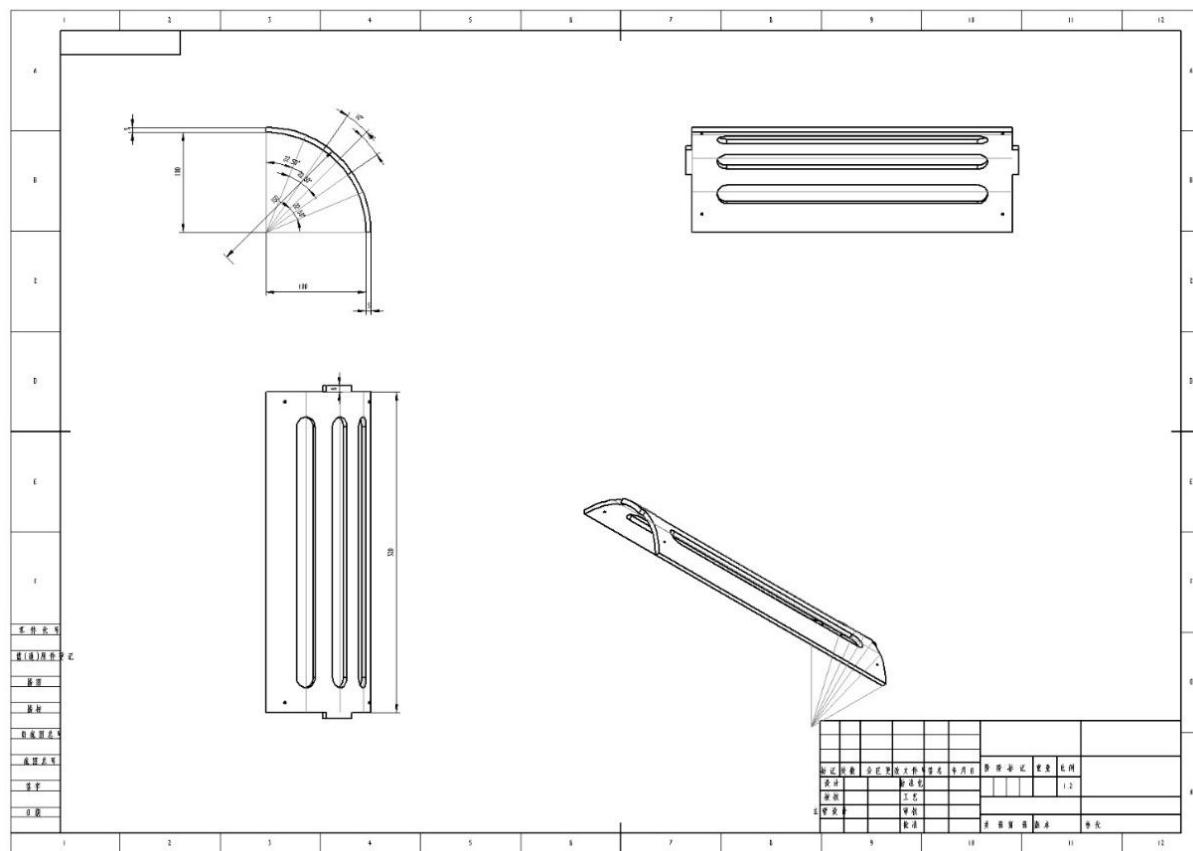


图 8 内筒片板

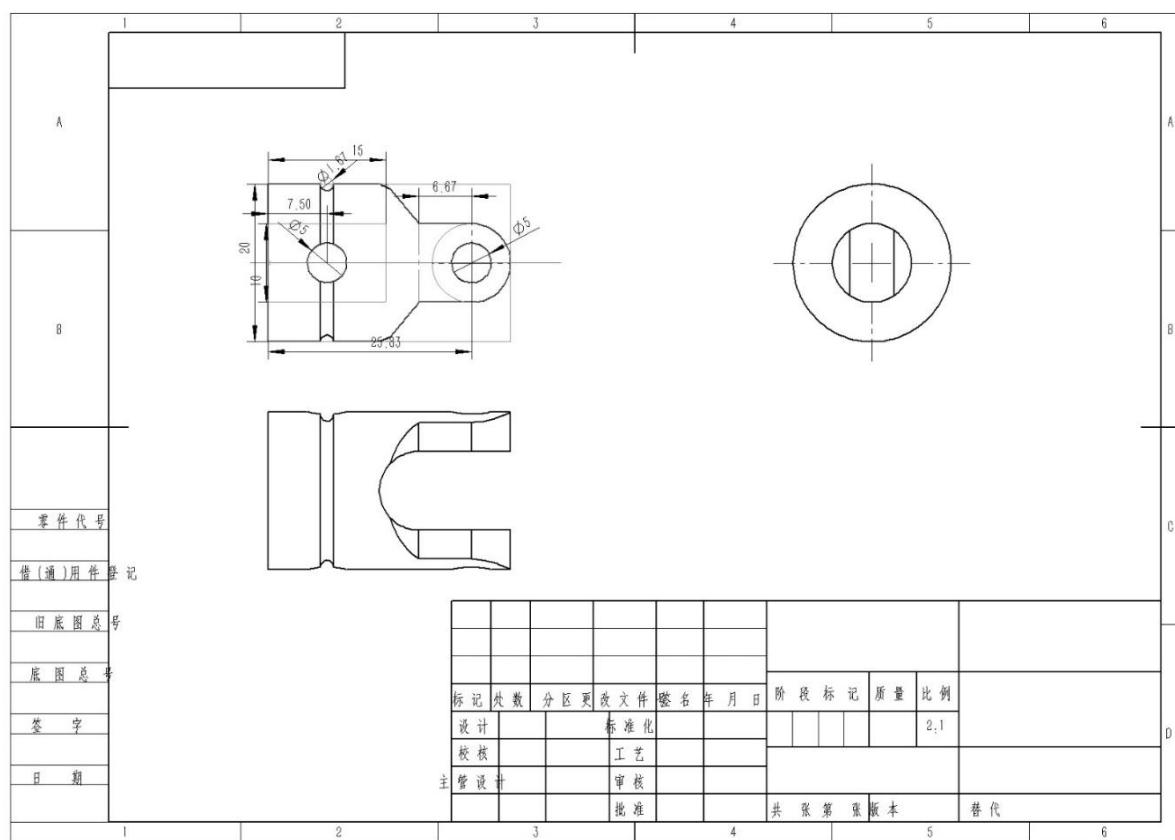


图 9 单节万向节

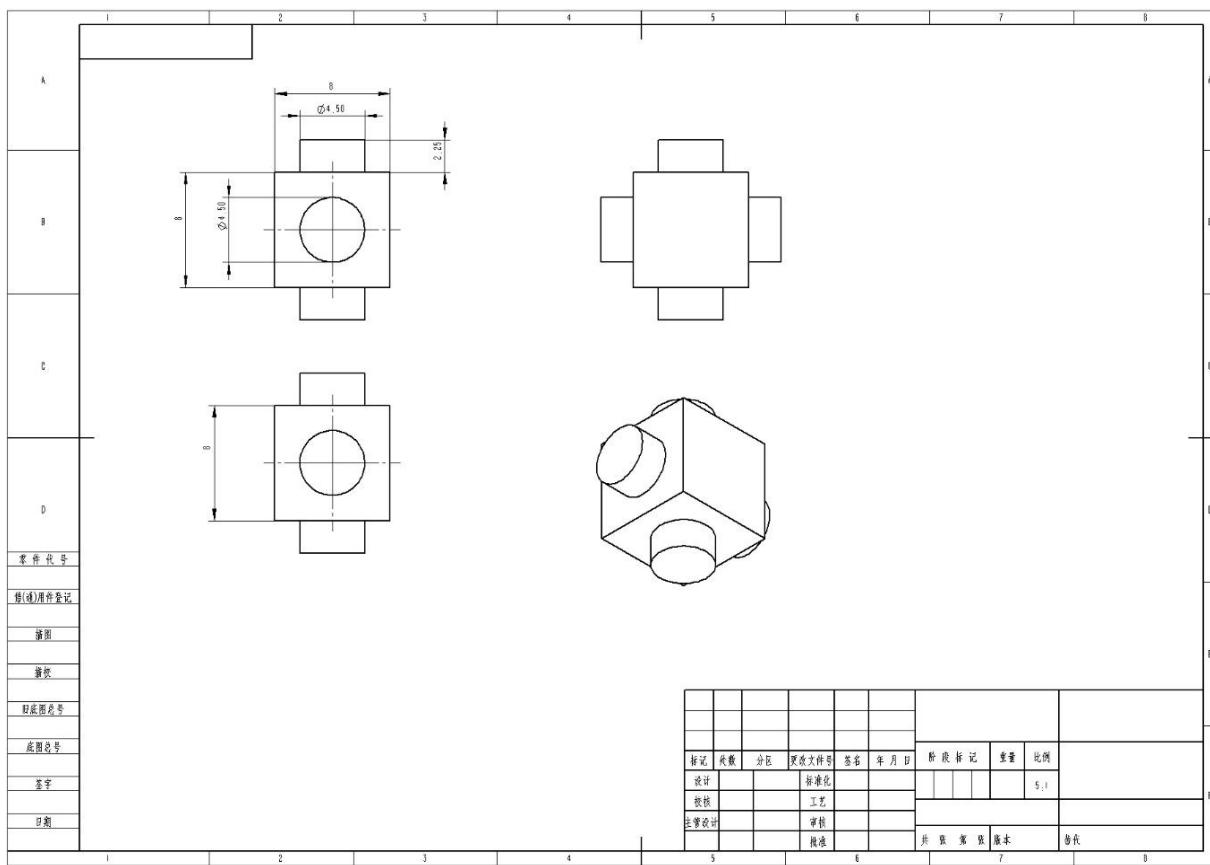


图 10 十字销

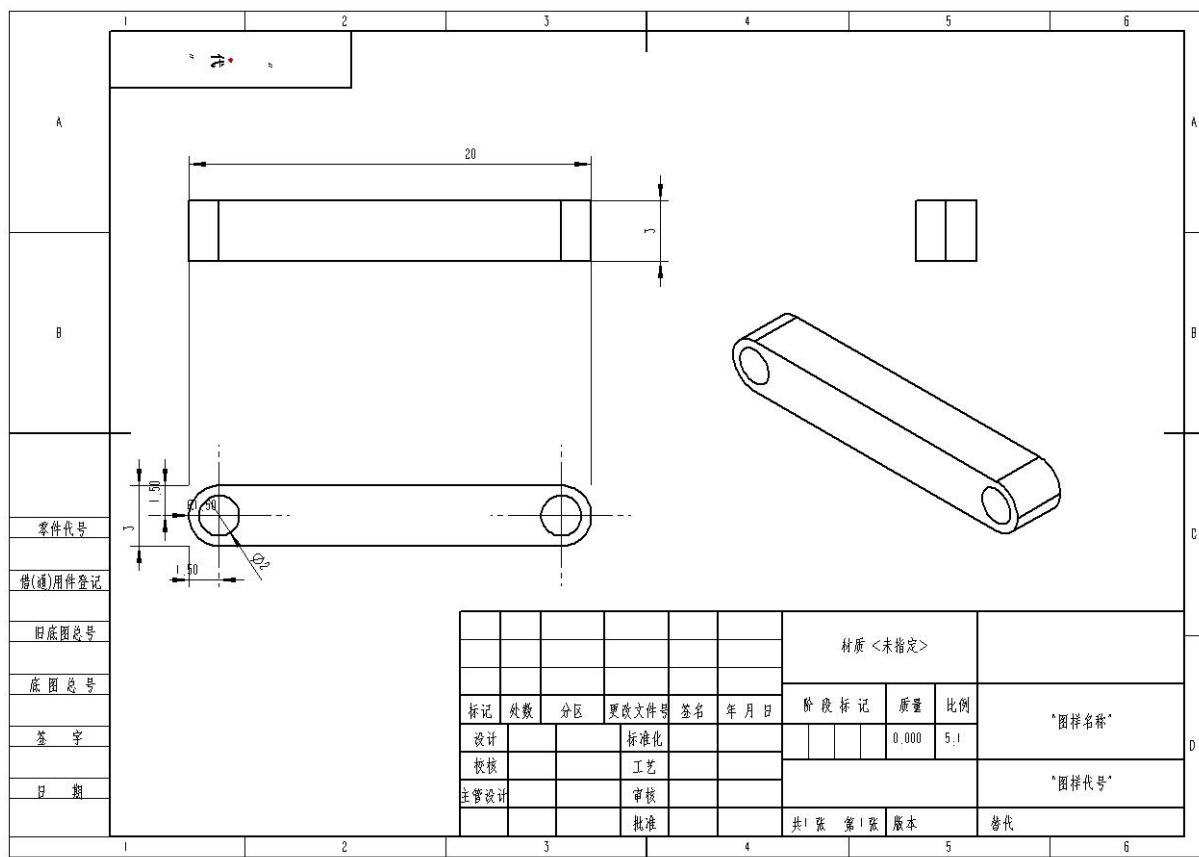


图 11 开合机构（长杆）

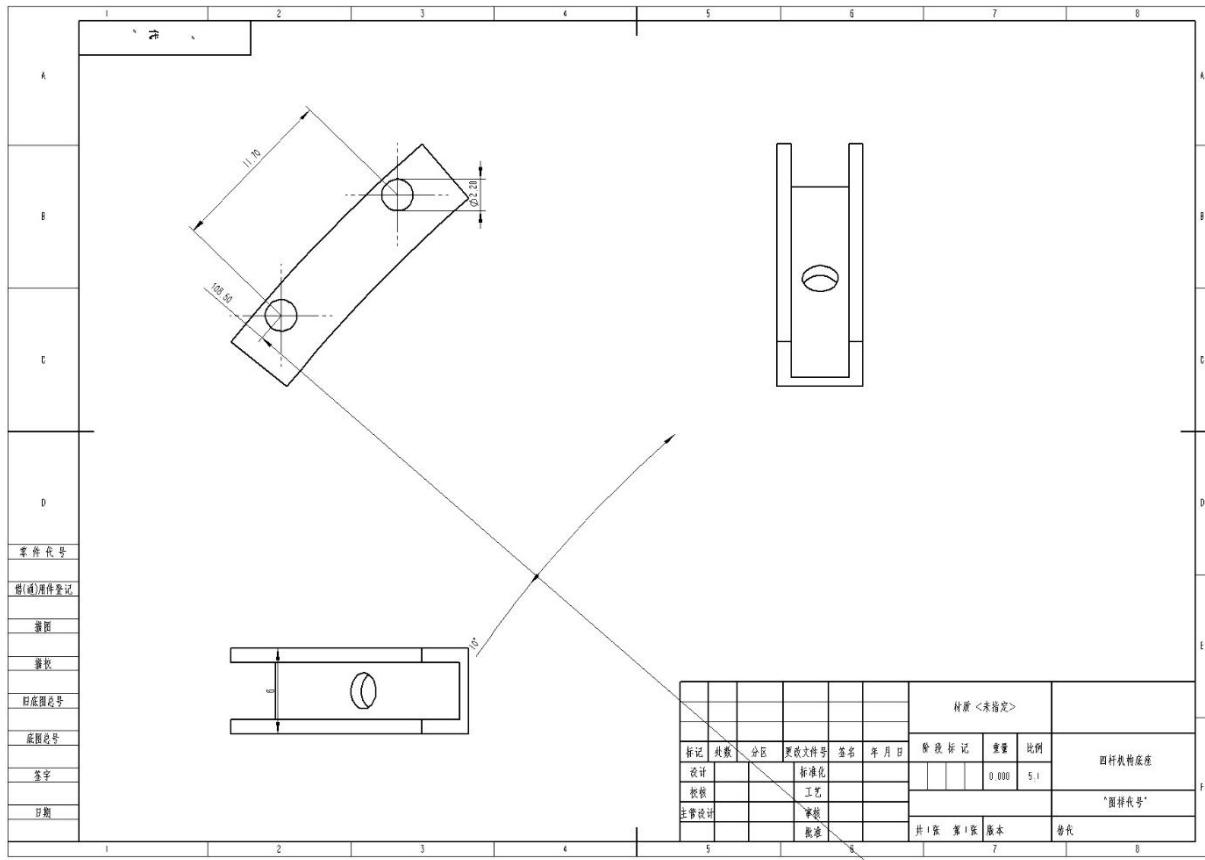


图 12 开合机构 (底座)

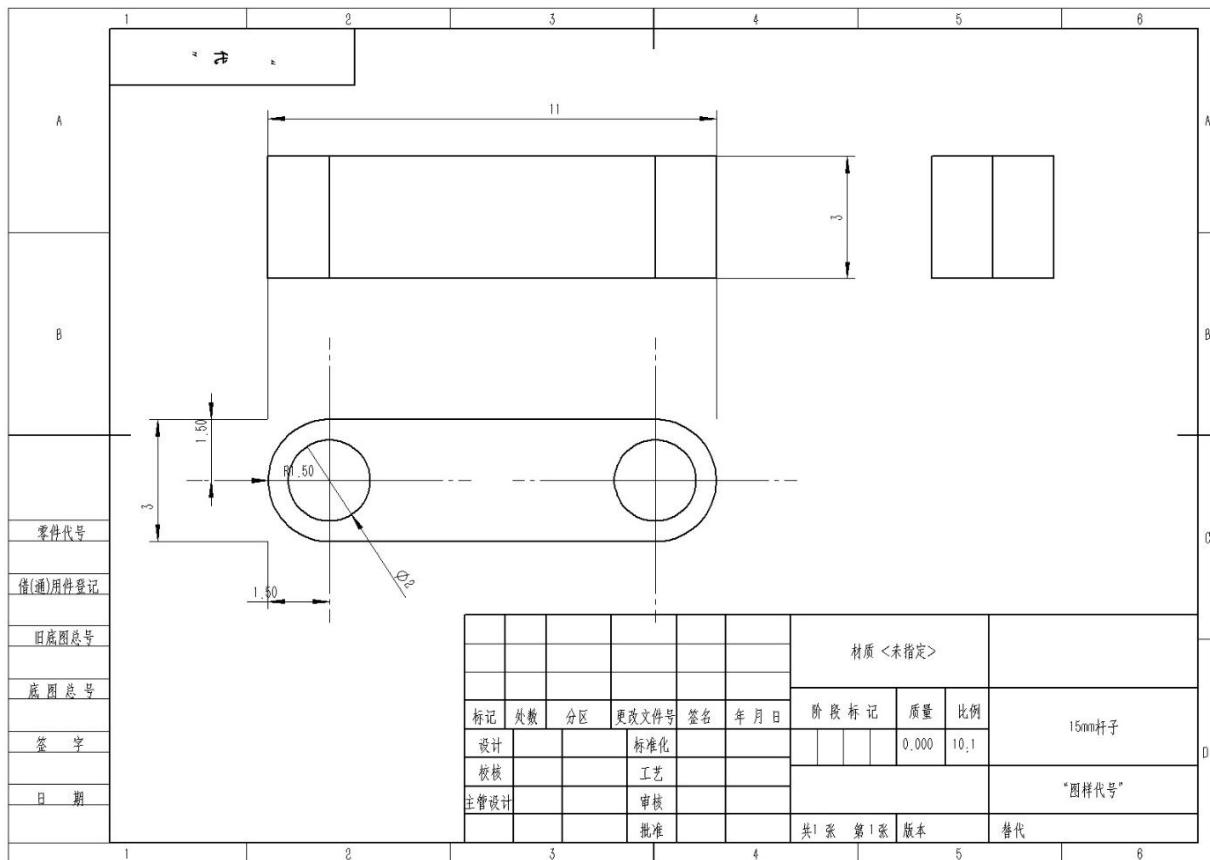


图 13 开合机构 (短杆)

A

B

零件代号										
借(通用)件登记										
旧底图总号										
底图总号										
签字										
日期										

标记	处数	分区	更改文件号	签名	年月日	材质 <未指定>			比例	20mm弯杆
						阶段	标记	质量		
设计		标准化						0.001	2:1	
校核		工艺								
主责设计		审核								
		批准								
						共1张	第1张	版本	替代	

图 14 开合机构（作用杆）

**零件代号**

**借(通)用件登记**

**附属图总号**

**底图总号**

**签字**

**日期**

材质 <未指定>						“图样名称”			
标记	处数	分区	更改文件号	签名	年月日		阶段标记	质量	比例
设计			标准化				0.160	1:5	
校核			工艺						
主管设计			审核						
			批准						
							共1张 第1张 版本		
							替代		

图 15 内筒左右盖板

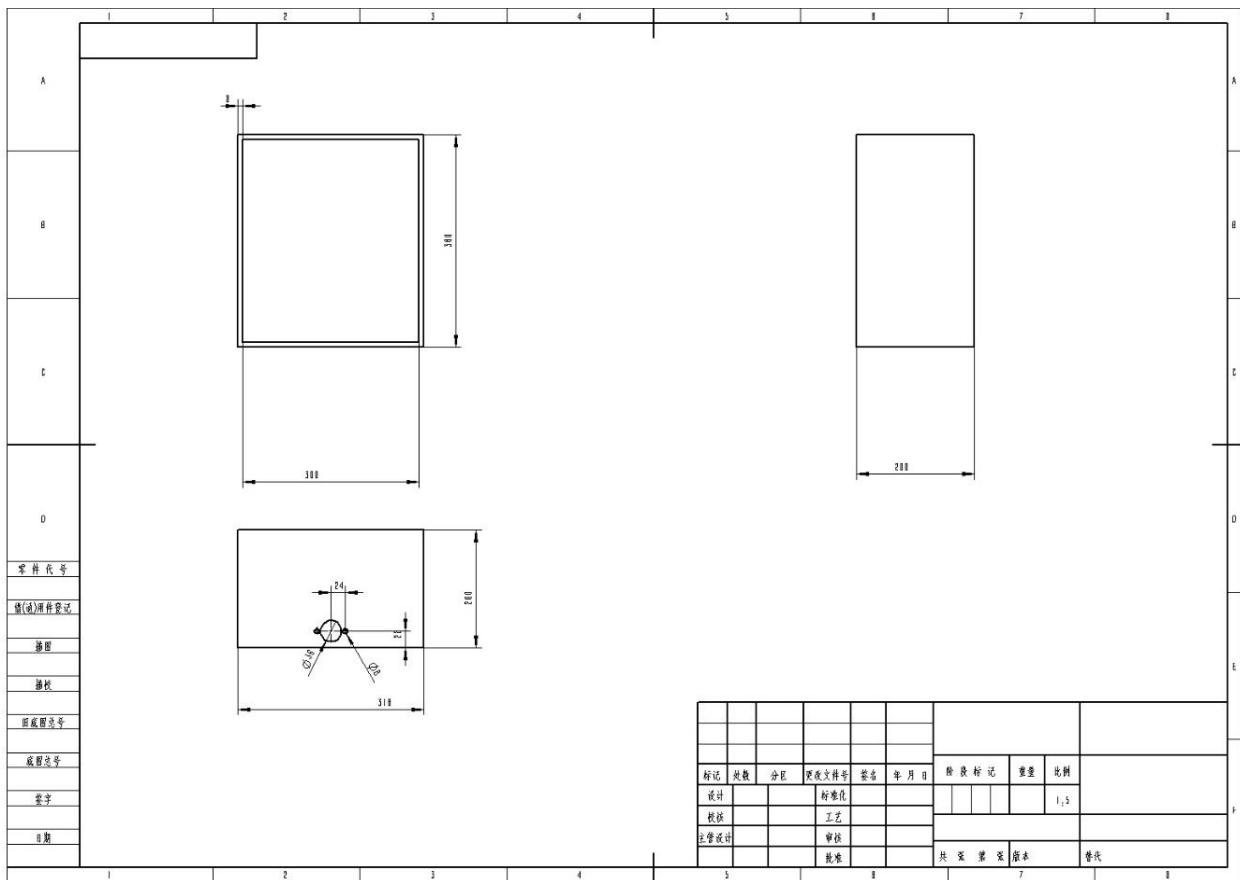


图 16 底部外壳

#### 2.2.4 设计方案建模及实物图

最终详细设计方案建模如下：

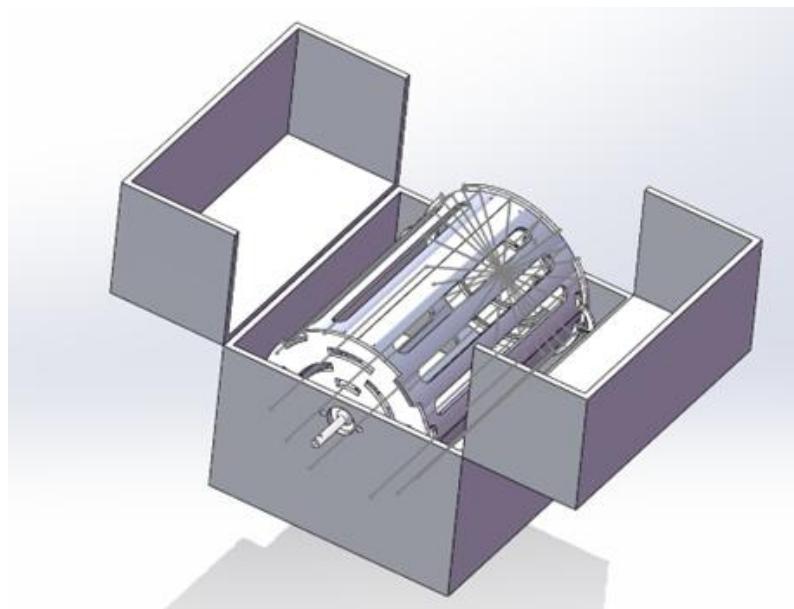


图 17 最终设计方案建模

其中中间的滚筒是我们设计的核心，采用四片圆筒盖板片进行组合（如下图）。

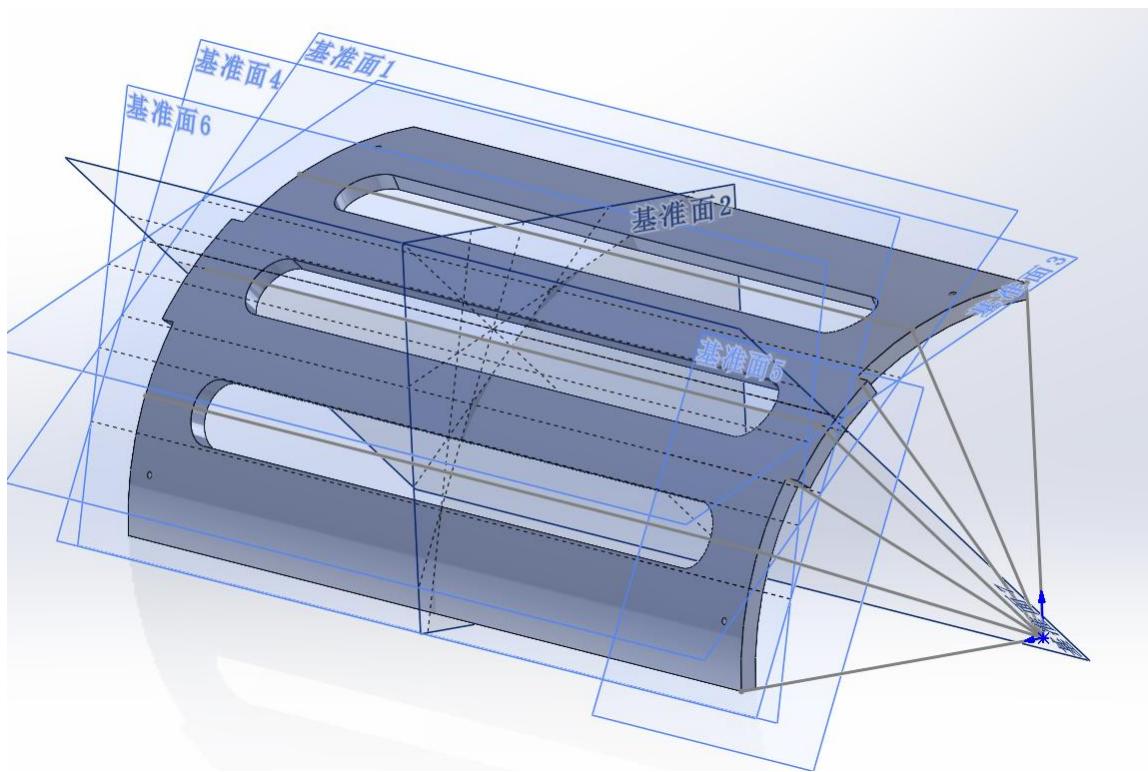


图 18 圆筒盖板片建模

筒盖设计了四个缺口与筒片上的突笋进行配合，同时可以观察到有两个缺口直接贯通至最外圈以便筒片的开合。筒盖上的轴可与底座水槽上预留的轴承座进行配合，并且通过万向节连接电机，从而实现旋转功能。

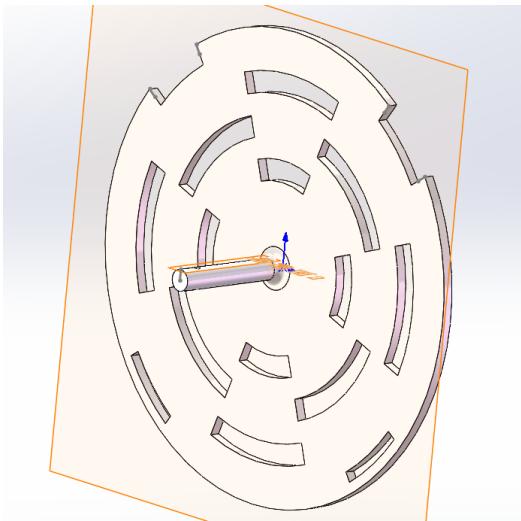


图 19 圆筒侧板建模

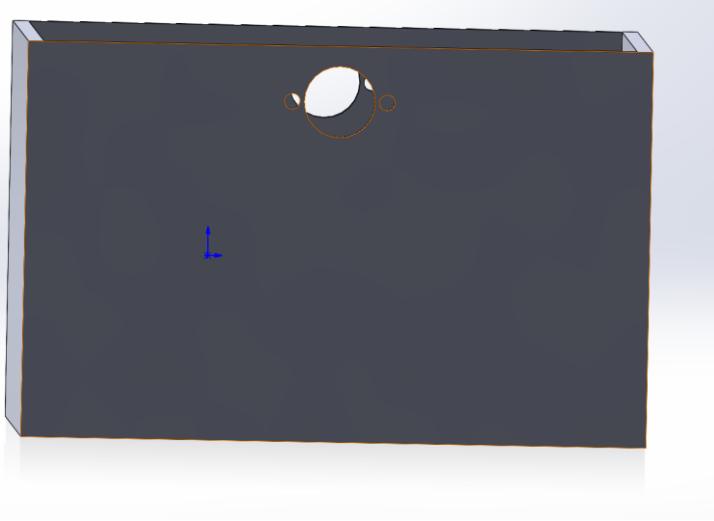


图 20 外壳建模（含轴承座固定孔）

如图所示选中的两片筒片可以借助四杆机构向两边开合，并且四杆机构在运动到图示死点位置时筒片恰好完全闭合，从而实现锁止功能，清洗结束后，用手将杆件向外拨动即可解除锁止从而打开筒片取出菜品。

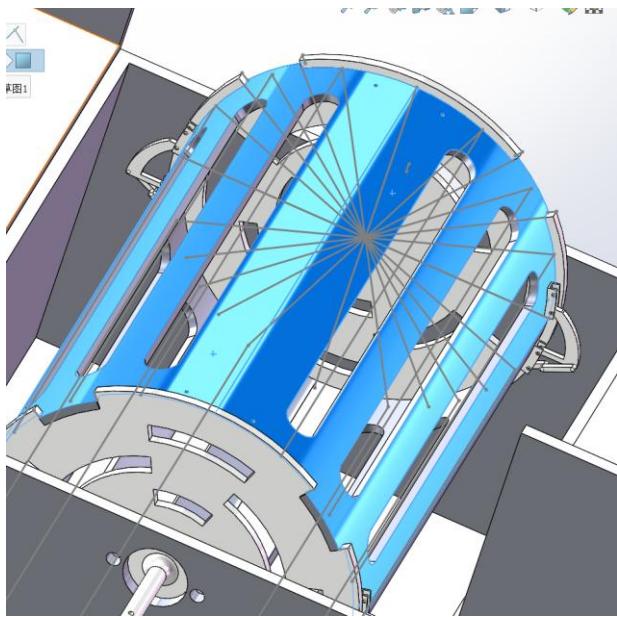


图 21 开合盖板片（两片）

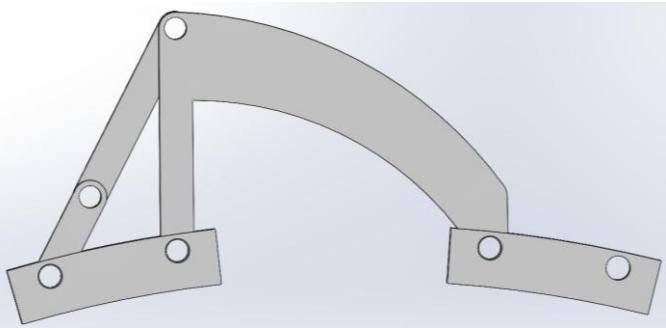


图 22 盖板开合四杆机构建模

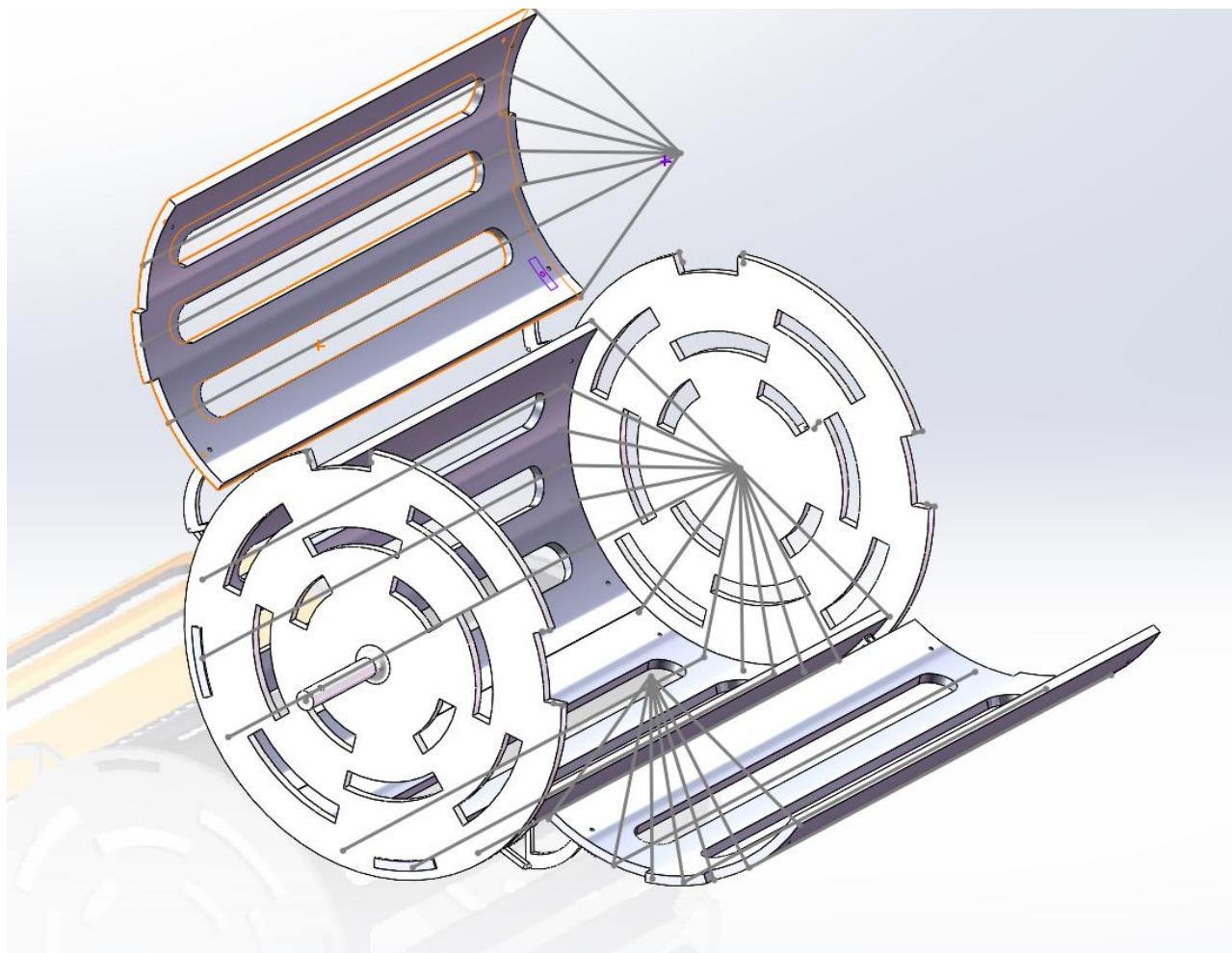


图 23 圆筒打开状态

同时还设计了外壳罩防止清洗时水溅出来，设计了万向节连接到筒盖上的轴上以便于连接电机。罩子与底座采用合页连接。

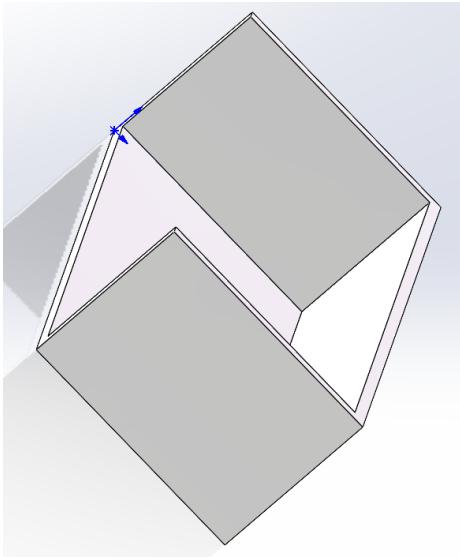


图 24 外壳防水罩建模

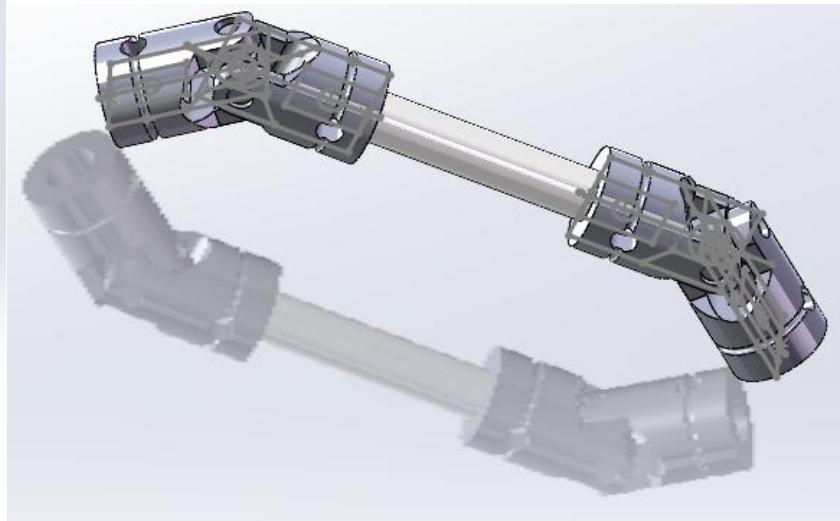


图 25 万向节建模

实物图如下：

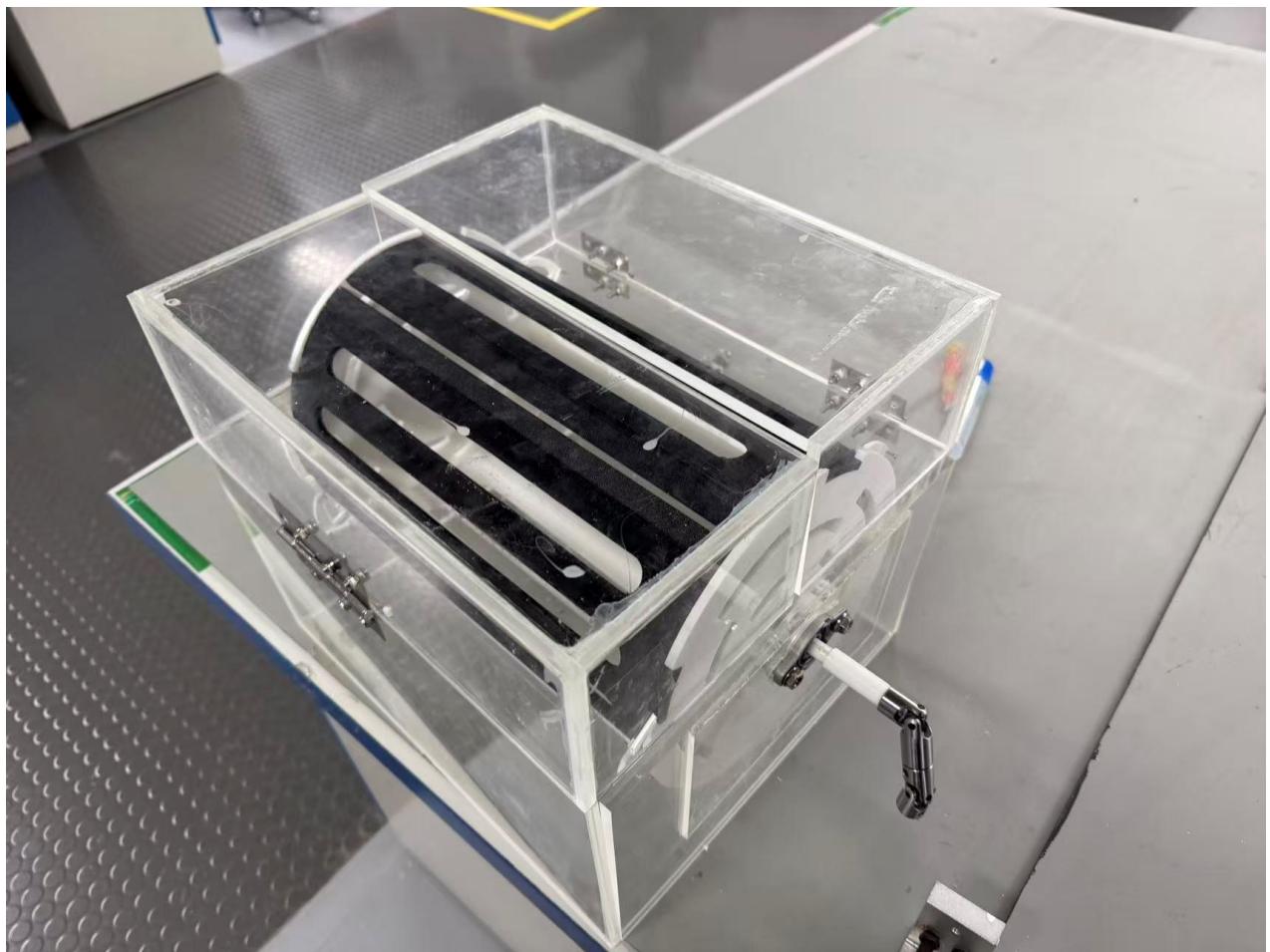


图 26 滚筒式蔬菜洗净一体机实物图

## 2.2.5 小组工作甘特图

表 1 蔬菜洗净一体机项目甘特图

任务名称	执行人员	日期 (周)																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
初步方案讨论	全组人员																	
初步方案建模	孙叶明、蔡翔宇																	
方案优化改进	全组人员																	
最终方案讨论	全组人员																	
最终方案建模	孙叶明、蔡翔宇、王航																	
采购与打印	孙叶明、蔡翔宇、王航、钱永晋																	
项目组装调试	全组人员																	
报告及ppt制作	田泽宇、蔡翔宇、王航、钱永晋																	

## 3 成本及其他

### 3.1 成本计算

表 2 成本计算表

设备	原料	成本 (元)
外壳板	亚克力	150
电机	不锈钢或其他金属材料	70
滚筒零件	3D 打印材料 (PLA)	200
器件连接和电线	/	50
万向节	40Cr 合金结构钢	180
轴承座	铸铁、GCR15 轴承钢	25
合计	/	675

### 3.2 其他

共使用 M5 螺钉 28 颗，M4 螺栓 16 个，M8 螺栓 4 个，金属铰链合页 4 个，亚克力胶 300mL1 瓶，共计约 20 元，由龙宾楼学生创新中心提供。

## 4 仿真与校核

### 4.1 运动学仿真

我们对主要负责盖板开合的四杆机构进行运动学仿真分析。本四杆机构是曲柄摇杆机构，

---

由于盖板机架限制,实际短杆曲柄1最大开合角为 $123.9^\circ$ ,开合作用杆摇杆3摆角为 $42.8^\circ$ 。为确保盖板在关闭后能保持闭合状态,曲柄1运行至死点位置时,机构正好驱动盖板处于闭合位置,保证盖板在清洗时保持锁止状态。盖板开合四杆机构机械运动简图如下图所示。

## 盖板开合四杆机构装置

1:2

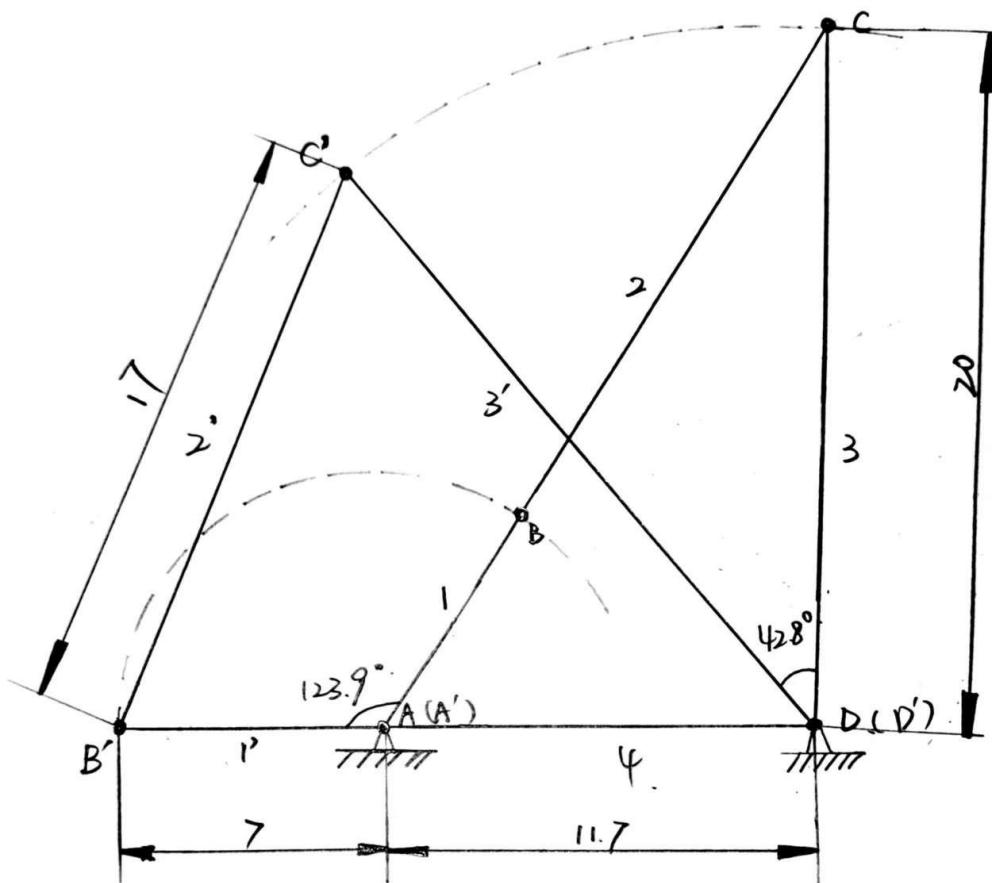


图 27 盖板开合四杆机构机械运动简图

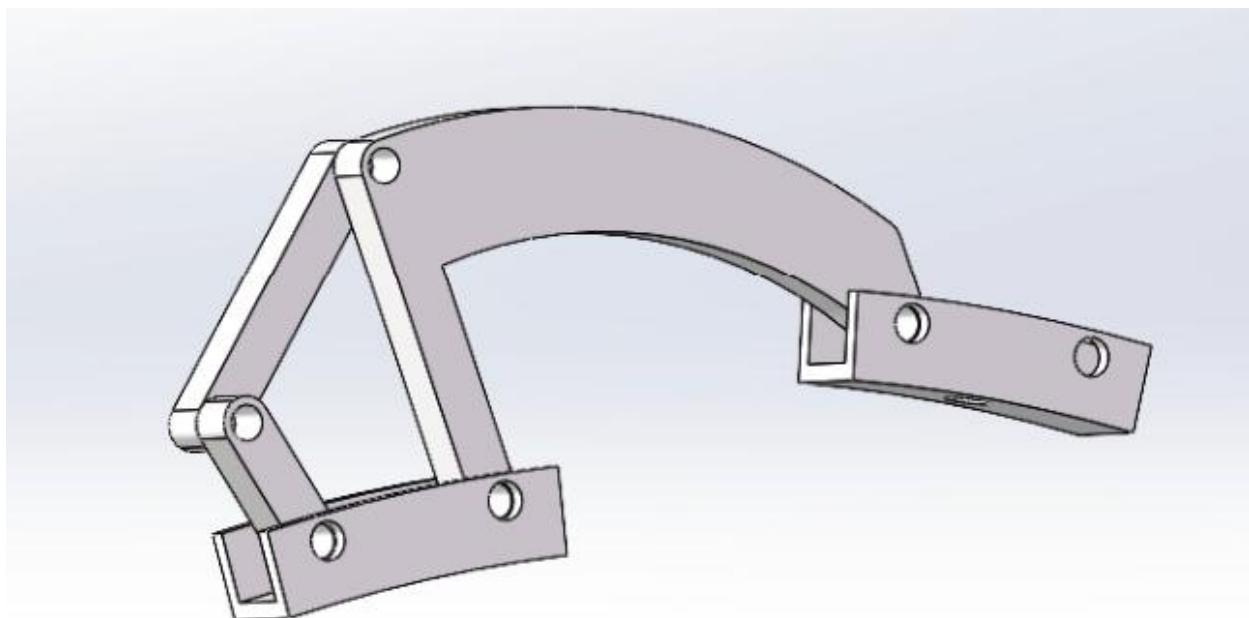


图 28 四杆机构真实样貌

## 4.2 强度校核

### 4.2.1 扭转强度校核

PLA 材料的抗拉强度约为 60MPa, 3D 打印成型的 PLA 材料性能下降约 20%, 由许用切应力计算公式:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b}{n_{st}}$$

$$[\tau] = (0.5 - 0.7)[\sigma]$$

取安全系数  $n_{st}=1.5$ , 经验系数为 0.5, 计算可得 3D 打印 PLA 材料许用切应力为  $[\tau] = 0.5 \times \frac{60 \times (1-20\%)}{1.5} = 16MPa$ 。

再计算扭转切应力, 由扭转强度校核公式:

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{T}{W_T} = \frac{T}{0.2d^3} \\ T &= 9.55 \times 10^6 \frac{P}{n}\end{aligned}$$

其中, P 为电机功率为 0.014kW, n 为轴转速 60r/min, d 为轴直径 10mm, 计算得到相应扭转切应力为  $\tau = \frac{9.55 \times 10^6 \times \frac{0.014}{60}}{0.2 \times 10^3} = 11.14MPa < [\tau]$ , 证明轴的扭转强度处于安全范围。

### 4.2.2 轴承强度校核

本产品使用轴承为外球面轴承 UCP201, 其基本额定静载荷  $C_0=6600N$ , 基本额定动载荷  $C_r=12800N$ 。

现校核其静载荷, 由静载荷校核公式:

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a \leq \frac{C_0}{S_0}$$

轴承仅受重力 (径向力) 作用, 取径向静载荷系数  $X_0=1.0$ , 轴向静载荷系数为  $Y_0=0$ , 滚筒质量为 450g, 则径向力  $F_r = \frac{mg}{2} = \frac{0.45 \times 9.81}{2} = 2.2N$ , 取安全系数  $S_0=1.5$ , 则当量静载荷  $P_0 = 1.0 \times 2.2 = 2.2N \ll \frac{6600}{1.5} = 4400N$ 。

由动载荷校核公式:

$$P = f_p \times P_0 \leq \frac{C_r}{S}$$

取载荷系数  $f_p=1.1$ , 安全系数  $S=1.3$ , 则当量动载荷  $P = 1.1 \times 2.2 = 2.42N \ll \frac{12800}{1.3} = 9846N$ 。

---

证明轴承强度处于安全范围。

## 5 集成调试结果

### 5.1 组装集成

内圆筒的构成为 4 片内盖板片、2 片侧板及 4 个盖板开合四杆机构装置，2 片固定盖板片使用榫卯完全固结在侧板上，另 2 片开合盖板片使用凹槽嵌入侧板，并使用开合四杆机构将其与固定盖板片连接。

每个四杆机构使用 7 颗 M2 型螺钉连接，其中 4 颗使用在四杆机构 4 铰支座处，2 颗用于机架固定，1 颗用于连接作用杆与合页，实现 2 片盖板片的开合功能。

外壳分为下部壳体和上部防水罩两部分组成，均使用亚克力板通过激光切割制成，下部壳体两侧设有 2 个轴承固定位孔，上部防水罩分别使用 2 个金属铰链合页连接在下部壳体上，使用打孔机在壳体与防水罩相应位置钻孔后，使用 8 个 M4 螺栓固定一侧，实现防水罩两侧的开合功能。

轴承选用的是外球面 UCP201 轴承，使用 4 个 M8 螺栓将轴承座固定在外壳两侧。



图 29 外球面轴承座 UCP201

将内圆筒轴柱穿过轴承内孔，右侧轴用万向节连接到 60KTYZ 爪极永磁同步电机上。

将电机引出的两段导线分别正确焊接到 2 线插头接线处，并用电工胶布缠裹，完成装配操作。



图 30 万向节



D 字型出轴 铣边 0.5mm  
孔直径 3mm

图 31 电机

## 5.2 调试过程与结果

### 5.2.1 调试准备

调试前完成设备全流程组装校验，确保核心部件连接可靠：内圆筒四杆机构锁止状态正常，2 片开合盖板片与固定盖板片衔接无卡顿；轴承座通过 M8 螺栓紧固于外壳两侧，内圆筒轴柱与轴承内孔配合间隙均匀，无松动或卡滞现象；万向节两端分别与内圆筒轴柱、60KTYZ 电机输出轴精准对接，传动无偏移；电机导线焊接牢固且绝缘包裹完整，电源连接极性正确；上部防水罩通过金属铰链合页开合顺畅，闭合后与下部壳体贴合紧密，无明显缝隙。

同时准备调试工具与测试物料：万用表、转速计、计时器，以及测试用青菜、白菜。

### 5.2.2 传动系统调试

电机运行状态下，观察万向节传动效果：万向节十字销与轴柱连接紧密，无松动或脱落，传动过程中无明显跳动，确保电机动力平稳传递至内圆筒。

检测内圆筒旋转状态：滚筒旋转均匀，无偏心摆动，两侧轴柱与轴承配合顺畅，无卡顿、摩擦异响；通过转速计测量滚筒转速，实际转速为 40r/min，符合设计目标，适配清洗需求。

连续运行 5 分钟后，停机检查传动部件磨损情况：万向节十字销、轴承无明显磨损，轴柱表面无划痕，证明传动系统适配性良好，满足长期使用需求。



图 32 传动系统调试实拍图

### 5.2.3 开合机构调试

手动操作四杆机构作用杆，测试盖板开合灵活性：推动作用杆时，开合盖板片可顺畅打开至最大角度，无卡滞或卡死现象；松开作用杆后，机构可复位至死点位置，盖板完全闭合，锁止牢固，无松动。

模拟清洗工况测试，滚筒旋转过程中，盖板始终保持闭合状态，无因离心力导致的松动或打开，确保清洗过程中食材不会掉落。清洗结束后，可轻松拨动作用杆解锁，盖板打开便捷，便于食材取出；

重复开合操作 30 次，检测机构疲劳性能：四杆机构连接螺钉无松动，盖板与侧板衔接处无变形，开合功能保持稳定，无失效现象。

### 5.2.4 清洗性能与防溅水调试

防溅水测试：向底座水槽注入适量清水（水位至滚筒底部 1/4 处），启动设备运行 5 分钟，观察防水罩密封效果：外壳及防水罩无漏水、溅水现象，台面保持干燥，证明防溅水设计有效。

清洁效果测试：将模拟污染的食材（叶菜、根茎、水果各 3 份）分别放入滚筒，启动设备清洗 5 分钟，清洗后检测清洁效果：经过清洗，青菜、白菜表面泥土完全去除，叶片无破损、无褶皱，清洁率达 90% 以上。

---

### 5.2.5 调试结果总结

通过分模块调试与综合性能测试，设备各系统运行状态均满足设计要求：电路与电机运行稳定，传动系统传动平稳，开合机构灵活可靠，清洗性能高效且不伤食材，防溅水指标达标。调试过程中未出现重大故障或设计缺陷，仅发现部分细节可优化（如电机转速调节缺乏智能化控制、滚筒内壁摩擦系数可进一步优化以提升清洁效率），为后续产品迭代提供了明确方向。

整体而言，设备集成调试合格，具备实际使用价值。

### 5.3 安装难点

内圆筒筒身及盖板开合四杆机构装置均为非标准件，通过 3D 打印进行制作。由于这种工艺存在的普遍误差，在建模设置零件尺寸时需要特别注意配合的关系。

3D 打印由于打印精度的存在会影响零件及零件上圆孔的尺寸，所以对上述 3D 打印零件在建模时需适当调大孔径以应对正值误差，从而放大拼插部分，顺利配合安装。

## 6 外购清单链接

轴承座：【京东】<https://3.cn/-2AXnmRb?jkl=@U6AOyDLn8AR@CA3576> 「外球面带座轴承 UCP201-UCP220」

二线接头：【京东】<https://3.cn/2AXnv-aG?jkl=@K1rJA4420fB@CA8680> 「二插 2 芯单头裸尾电源线」

电机：【京东】<https://3.cn/-2AXnuOT?jkl=@F11U55Lkhhv@CZ154> 「低速微型 交流 220V/60KTYZ 永磁同步电机/减速电机/14w 20 转 马达 一分钟 60 转 60KTYZ 中心轴 8MM 轴没有孔」

万向节：【淘宝】<https://e.tb.cn/h.79zRIPekXTQSXqO?tk=9l6sUW2ZUPwCZ009> 「WSSD 万向节 PGHA 万向联轴器精密单双可伸缩十字节接头滚针轴承钢制」

## 7 总结与心得

### 7.1 总结

本项目围绕食品安全升级需求与现有洗菜设备痛点，成功研发出滚筒式蔬菜洗净一体机。项目团队从市场调研切入，精准定位“高清洁力+高性价比”核心需求，历经初步方案设计、多轮优化迭代至最终落地，形成“亚克力外壳+3D 打印滚筒+万向节传动”的核心结构，创新

---

设计四杆开合机构确保使用便捷性。

研发过程中，团队完成了从三维建模、零件采购、设备组装到集成调试的全流程工作，通过运动学仿真与强度校核验证了结构可靠性，经实测设备清洁率达 90%以上，噪音、重量等指标均符合家用需求，总成本控制在合理区间。

项目不仅填补了中低端多功能洗菜设备的市场空白，更让团队在机械设计、工艺实现、团队协作等方面积累了宝贵经验。未来可通过电机智能控制、传动结构优化、材料升级等方向持续迭代，进一步提升产品竞争力与市场推广价值。

## 7.2 全组个人心得

### 7.2.1 钱永晋

这次项目制作让我深刻体会到了设计与制造的精髓与魅力。从初步方案设计到一步步排除优化，并结合课本所学的有关机构的相关知识，同时还需要大量的演算和仿真，我能感受到学与实践的真正结合，同时也加深了我对于一个项目从设计到制作再到总结的流程的规范性的认知，很感谢小组成员的合作与配合，我很享受设计、拼装到调试的过程，希望以后还有机会参与更高层次及更复杂的项目中来。

### 7.2.2 孙叶明

通过本学期的项目实践与团队协作，我的团队合作能力与 SolidWorks 应用技能均获得显著提升，同时掌握了多种典型机构的设计原理与实现方法，整体工程实践能力进一步增强。

### 7.2.3 王航

在设计与制造二的课程学习中，我学习到了多种机械设计中的典型机构，掌握了典型机构的参数设计与校核，同时在项目设计的过程中掌握了 SolidWorks 软件建模方法，锻炼了组装产品的动手能力，同时提高了与团队成员交流的能力。总之，这门课让我受益匪浅。

### 7.2.4 蔡翔宇

参与滚筒式蔬菜洗净一体机项目，我主要负责方案建模和组装调试，还参与了报告及 PPT 制作。从初步设计的 3D 建模到最终方案的优化落地，从零件采购筛选到设备亲手组装，每一步都充满挑战与收获。调试中攻克传动卡顿、盖板闭合等问题，让我深刻体会到理论与实践结合的重要性。团队协作里，我们互补短板、高效推进，不仅提升了我的机械设计与实操能力，

---

更懂得了对各个环节的严谨态度与团队配合对项目成功的关键意义。

### 7.2.5 田泽宇

在设计与制造二的课程学习中，我了解到了很多机械工程以及设计的原理和知识，让我深刻地体会到了我们专业的意义所在。不仅如此，在本次课程的项目设计制作中，也让我对于团队合作能力和相关知识得到了进步。非常感谢在本次课程中老师的悉心指导和同学以及组员们的帮助。

## 8 致谢

感谢庄春刚老师的知识传授和项目建议！

感谢刘建国老师的项目指导与优化！

感谢龙宾楼提供的项目制作材料与地点！

感谢小组成员的紧密联系与配合！