

生蚝开壳机 设计说明书



团队成员：梁彦劼 523021910351

程一苓 523021910207

鲍欣怡 523021910089

林蔚然 523021910310

林晨曦 523021910269

内容目录

内容目录	2
1 设计任务书（调研+立项）	4
1.1 项目背景	4
1.1.1 市场需求：	4
1.1.2 产业规模	4
1.2 项目意义	4
1.3 潜在行业客户	5
2 方案构思与概念设计	5
2.1 总体思路	5
2.2 初步方案	6
2.2.1 升降机构	6
2.2.2 切割机构	7
2.2.3 翘壳机构	7
2.2.4 夹持机构	8
3 结构布局与详细设计	10
3.1 零件的设计与制造	10
3.1.1 主要零件最终建模图	10
3.1.2 主要零件实体图	14
3.2 结构零件选型	15
3.2.1 机架选型：	15
3.2.2 丝杆选型：	15
3.2.3 电动推杆及导轨选型：	16
3.3 机构运动受力分析	16
3.3.1 翘杆机构运动受力分析	17
3.3.2 丝杆机构运动受力分析	18

3.4 运动学仿真	19
3.5 成本估算	20
4 驱动系统设计与选型	21
4.1 电机选型	21
4.2 电源选择	22
5 控制系统设计与选型（含传感方案设计与传感器选型）	22
5.1 单片机选型	22
5.2 控制代码	22
6 原型制作、装配与调试	23
6.1 实物演示	23
6.2 遇到的困难及解决方法	24
7 项目总结	24
7.1 总结	24
7.2 团队分工	25
8 个人体会	26
9 参考文献	28
10 附录（计算程序源代码、程序使用说明、图纸、选购件一览表）	29

生蚝开壳机设计说明书

1 设计任务书（调研+立题）

1.1 项目背景

1.1.1 市场需求：

水产养殖规模化：中国是全球最大的蚝类养殖国。根据《中国渔业统计年鉴》数据，2022 年中国生蚝养殖总产量达到 535.2 万吨^[1]。

人力成本上升：自动开生蚝取肉机器可以提高开蚝效率，减少人工操作，降低成本。

食品安全要求提高：自动开生蚝可以减少人工接触生蚝的次数，降低污染风险。

生产安全：一旦生蚝壳刮破皮肤不加处理，其带有的海洋创伤弧菌可能使工人在一两天出现皮肤肌肉坏死、脓毒血症，进而引起多脏器功能衰竭。

1.1.2 产业规模

目前在水产加工厂里，生蚝处理在清洗、挑选和分级的处理上，很多已经实现了自动化。在一些流水线上，传送带结合喷淋清洗和刷洗滚筒，可以在短时间内完成大批量清洗。但在开壳环节仍需要人工。

根据《2025 至 2030 中国海鲜加工设备行业发展趋势分析与未来投资战略咨询研究报告》显示，中国海鲜加工设备行业预计从 2025 年约 185 亿元人民币增长至 2030 年的 285 亿元左右^[2]。

1.2 项目意义

因此，本项目有助于提升生蚝生产的效率 and 安全性，符合产业发展导向，对推动水产加工产业的自动化升级具有现实意义。

1.3 潜在行业客户

海鲜加工企业：中国贝类加工机械行业下游应用中，食品加工企业仍是主力客户，2024 年市场份额为 58%。像山东乳山市现有鲜品牡蛎初级加工厂 300 余家，福建霞美镇拥有 117 家牡蛎加工厂。

大型餐饮连锁企业：如蚝英雄等鲜蚝自助餐厅，以及一些主打生蚝菜品的餐饮连锁企业，为了提高开蚝效率和保证食品安全，存有自动开生蚝取肉机器的需求。

预制菜企业：预制菜产业的爆发式增长带动了精深加工设备的投资，2025 年海鲜预制菜加工设备采购规模预计达 78 亿元。预制菜企业在生产菜品时，对生蚝肉需求量大。

2 方案构思与概念设计

2.1 总体思路

模仿人工开蚝的动作，将开生蚝分解为三个步骤，即固定生蚝，从铰合部下锯切出缺口并切断连接，伸入刀片撬开上下两壳，完成开壳。

将本组自动化生蚝开壳机所处理的生蚝的结构参数进行如下简单定义：

长度：13cm，宽度：7cm；重心：（0,0）；贝柱：（-4，-1）；尾部下刀：x=-6.5

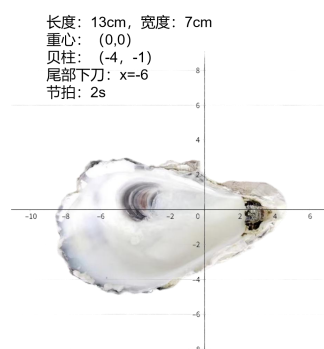


图 1：生蚝的结构参数

草图方案如下图:

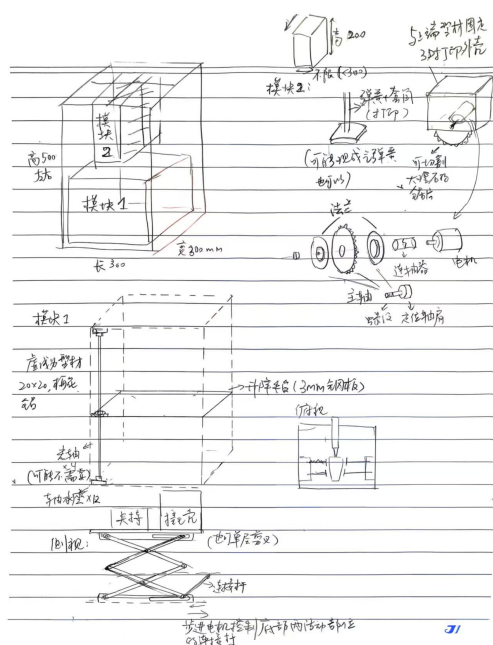


图 2: 方案草图

2.2 初步方案

装置由功能拆解为：升降机构、切割机构、翘壳机构、夹持机构四部分

2.2.1 升降机构

方案 1：将切割刀和夹持件向下移动

方案2: 升降台带动生蚝向上移动, 升降台上固结夹持机构和翹壳机构

考虑到布线方便及设备安全性,采用方案2



图 3: 升降机构示意图

2.2.2 切割机构

方案 1：采用剪开的方案

考虑用连杆机构实现上下运动。但承力能力太小，不满足剪开生蚝壳的需求且空载时已有很大扭力，设计不合理，故需要改进。

方案 2：固定刀具和垂直方向的夹持装置，替换为放置台的上下移动。保证生蚝开口所需力要求和设备安全性。

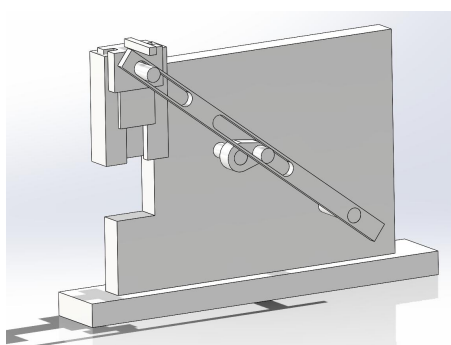


图 4：切割机构方案 1

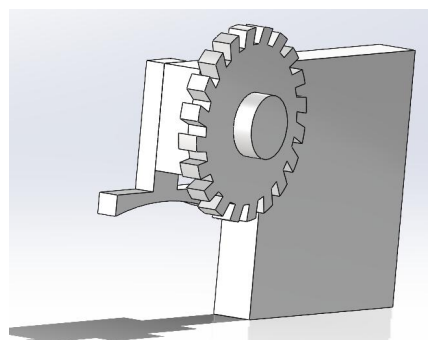


图 5：切割机构方案 2

2.2.3 翘壳机构

参考已有设计，利用电动推杆与杠杆实现生蚝撬壳

已有设计使用气缸，考虑到气体获取不便、活动精度不高且要用到步进电机，安装不便，故改用电动推杆。

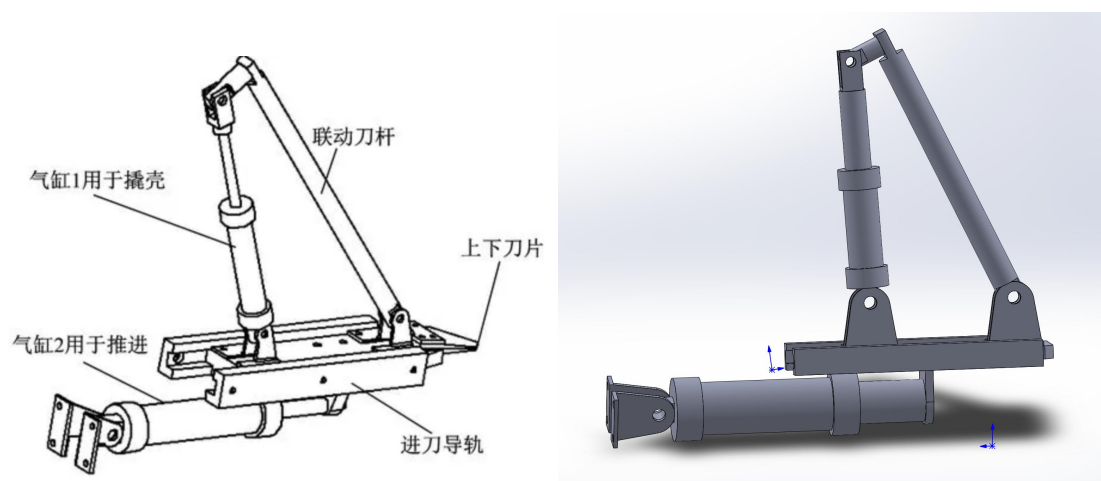


图 6：翘壳机构示意图

2.2.4 夹持机构

方案 1：采用台钳的思路，将两边挡板拆分成多个部分，通过丝杆进行移动，更好地契合生蚝的形状，使夹持更加牢固。

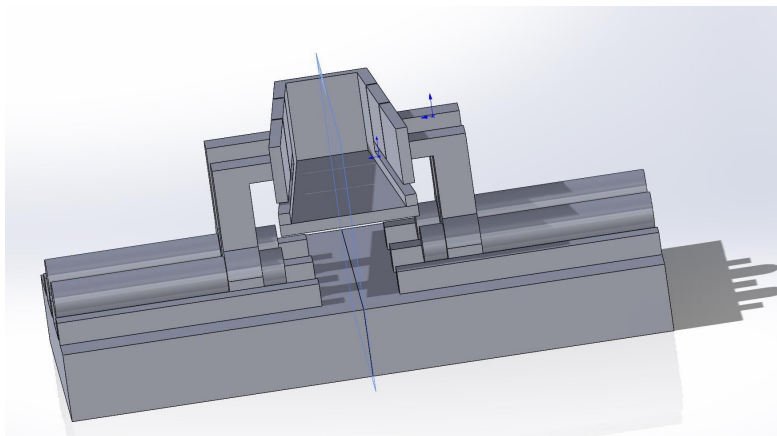


图 7：夹持机构方案 1

方案 2：考虑到生蚝底部形状，对夹持机构底板形状进行改良，使其能更好地放置生蚝，且在一定程度上起到定位和固定作用，同时将两侧挡板改良成单边移动，且单边两块挡板通过弹簧和套筒连接在一个滑块上，在实现对不规则物体夹持的功能的同时减少用到的丝杆电机数量。

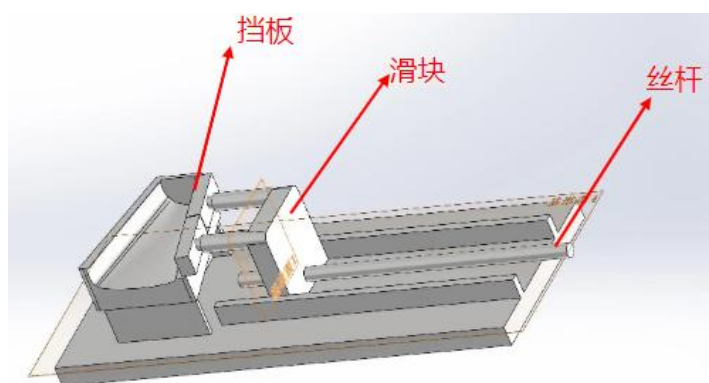


图 8：夹持机构方案 2

切割机构处夹持件设计：

方案 1：与切割件组合，在切割时压住生蚝防止滑脱，且切割后与生蚝分离，避免影响翘壳操作。采用分离式结构，便于拆装替换；套筒和构件间用弹簧连接，底部压件采用弧形加装橡胶结构，便于适应不同尺寸的生蚝。

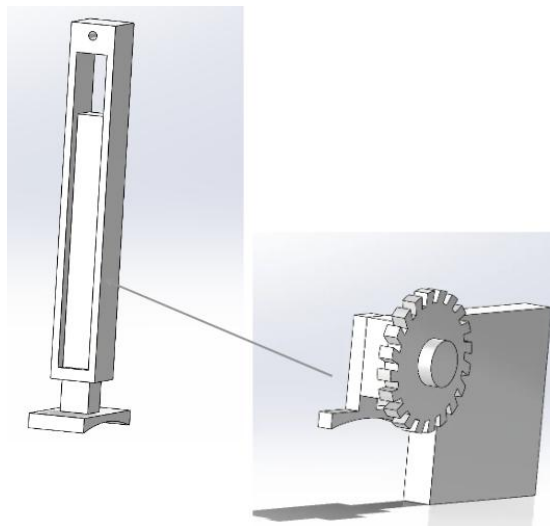


图 9：切割机构处夹持件方案 1

方案 2：与方案 1 基本思路相同。改变形状以配合最新切割机构；取消两侧镂空，确保弹簧稳定性；更新弹簧连接部分；顶部弹簧连接件改为可拆卸，方便拆装、更换。

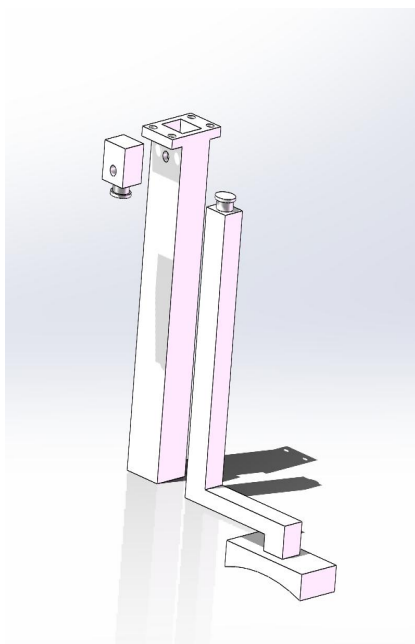


图 10：切割机构处夹持件方案 2

3 结构布局与详细设计

3.1 零件的设计与制造

3.1.1 主要零件最终建模图

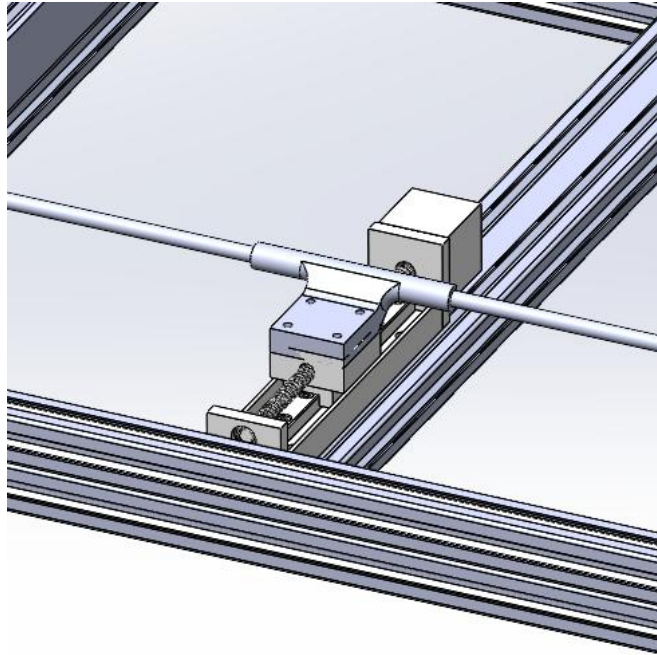


图 11：升降机构推杆

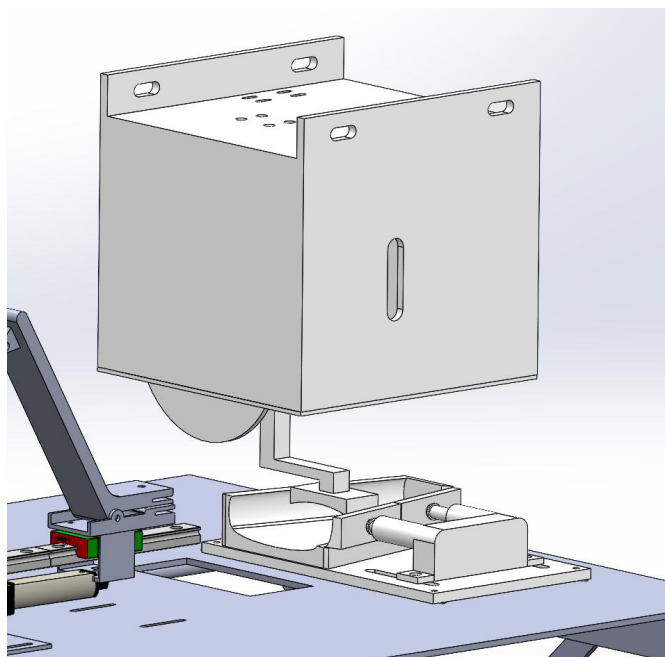


图 12：切割机构与夹持机构

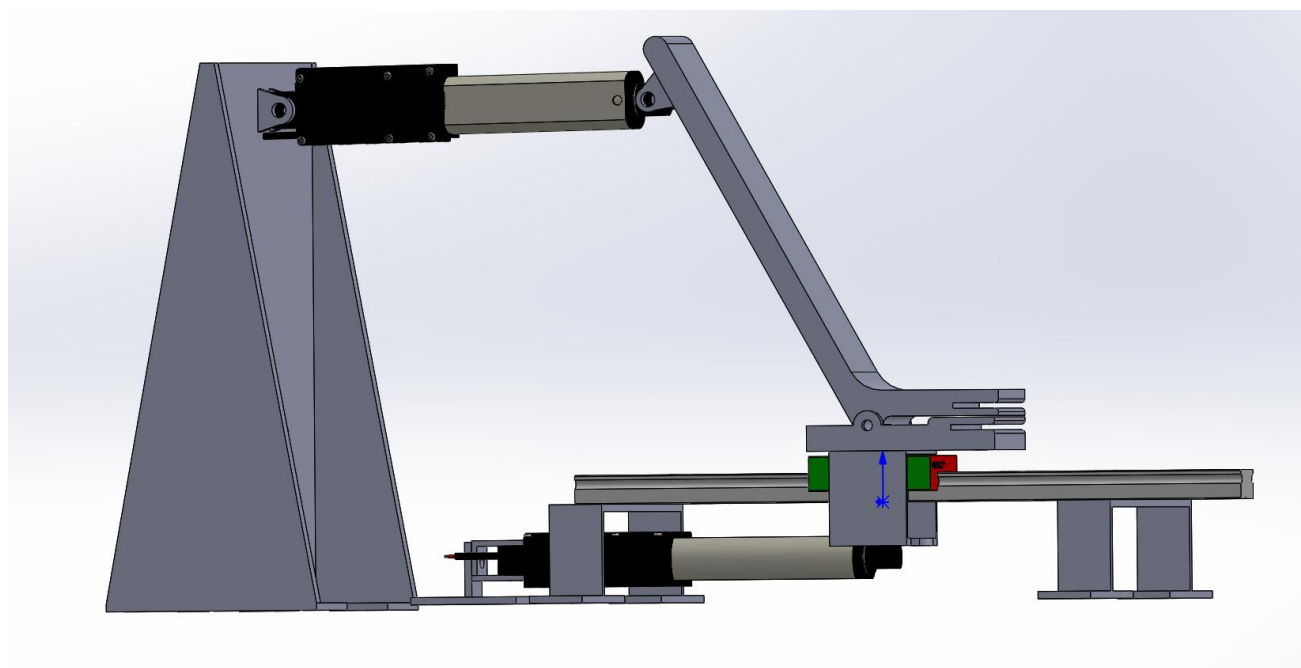


图 13：翘壳机构工程图

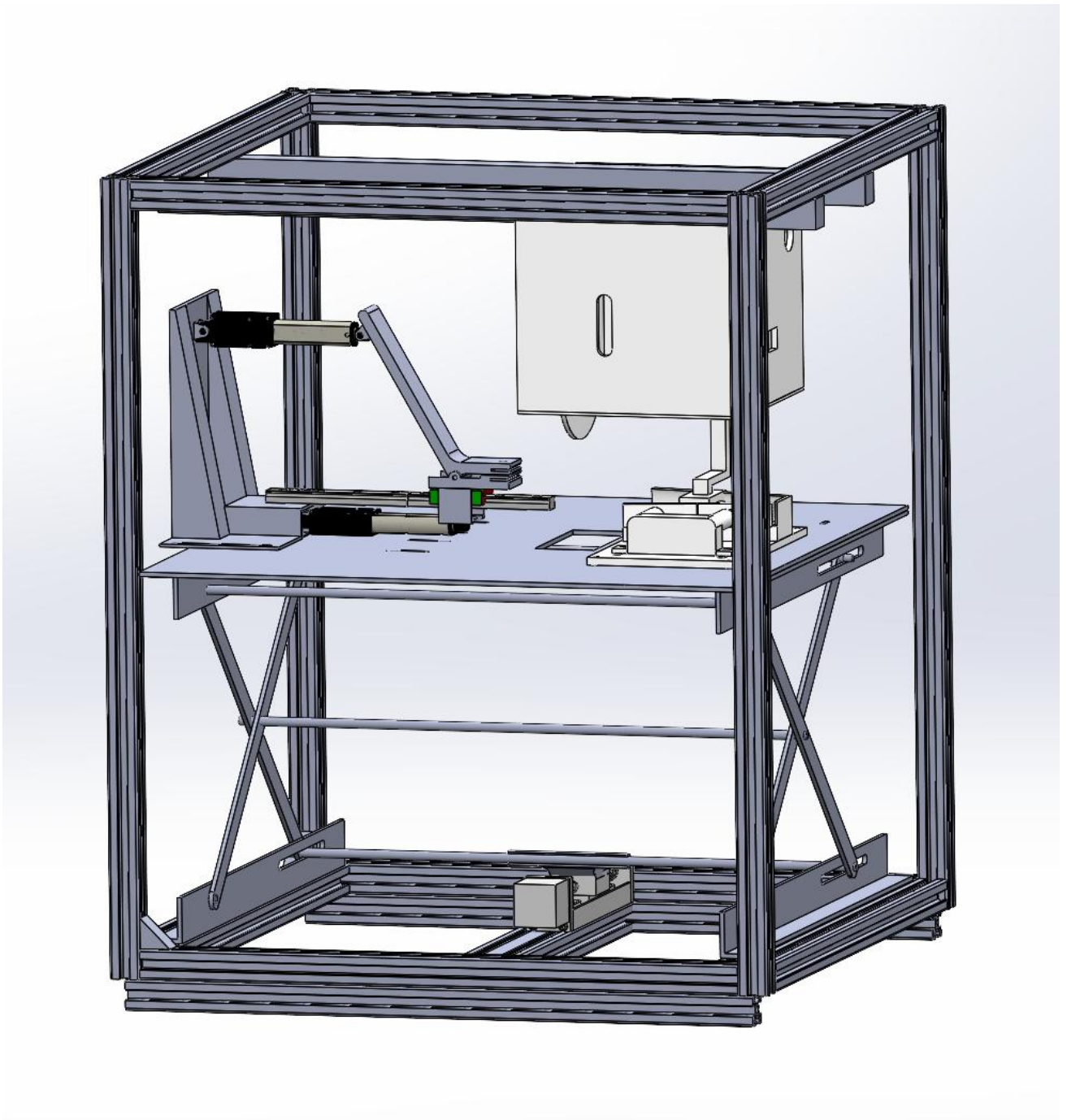


图 14：总装建模图

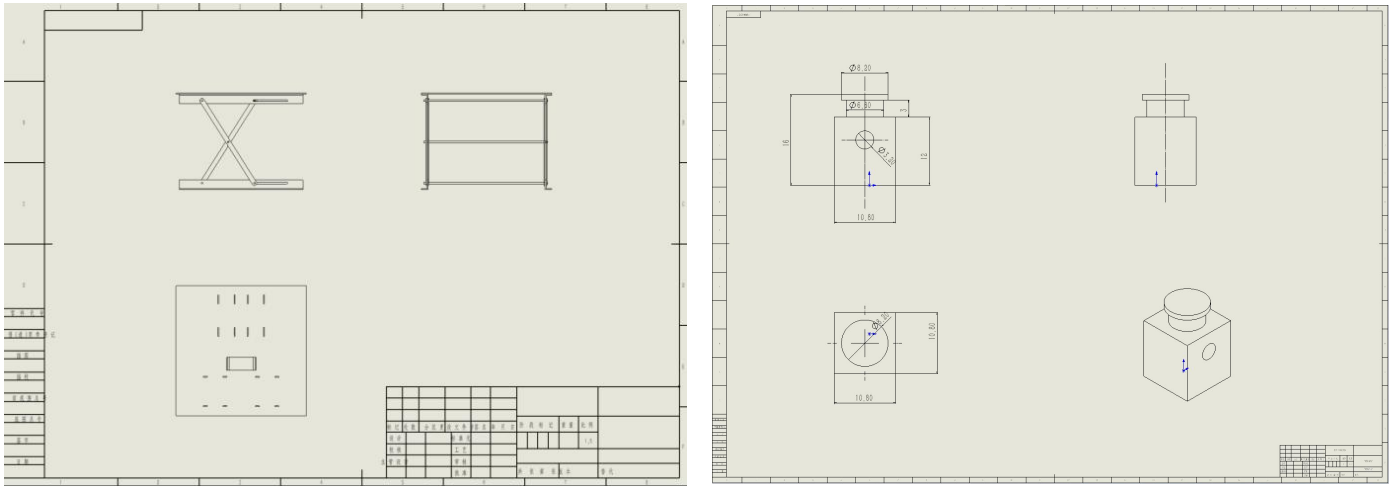


图 15: 部分零件工程图

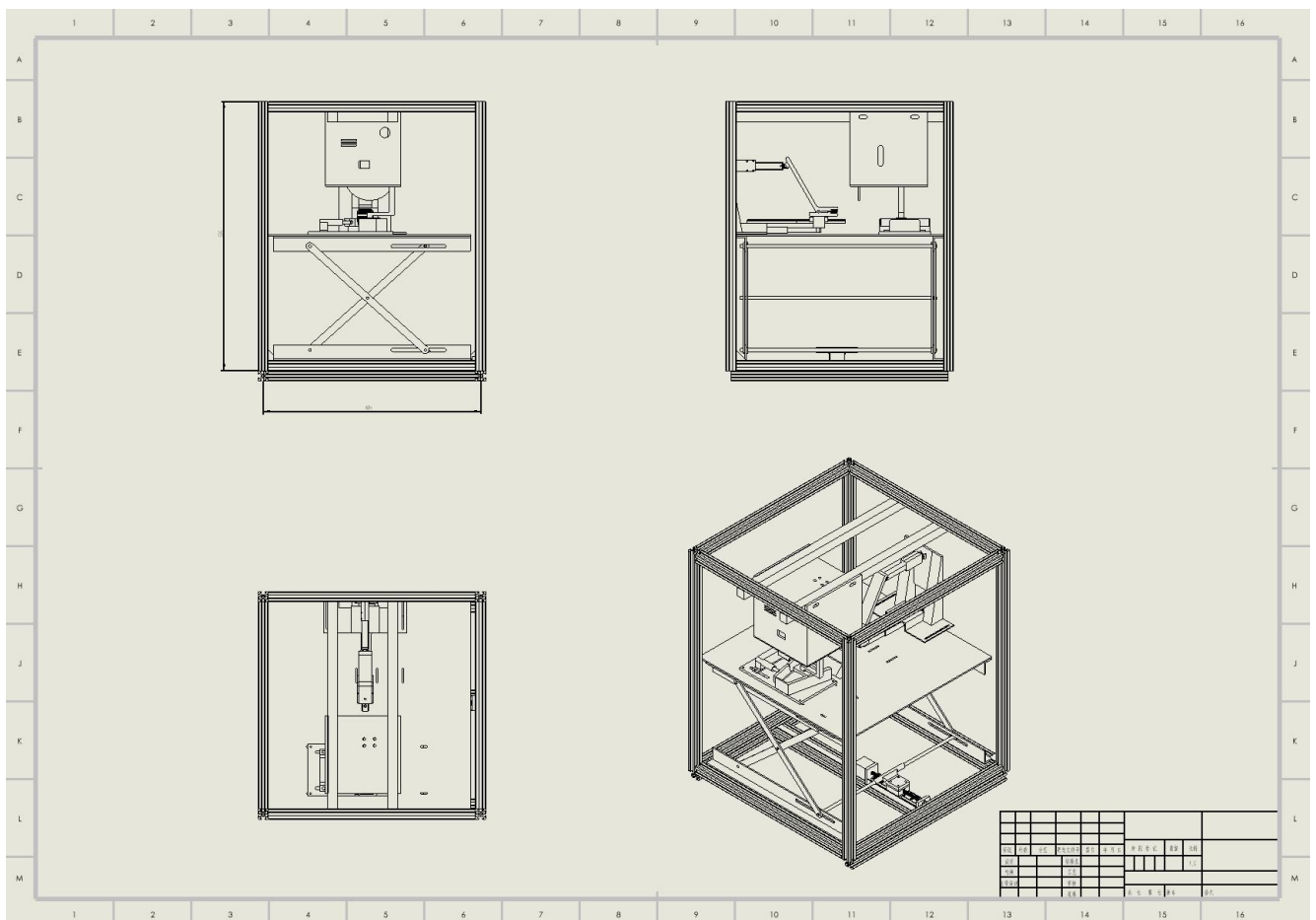


图 16: 总装工程图

3.1.2 主要零件实体图



图 17：切割机构实物图



图 18：翘壳机构实物图

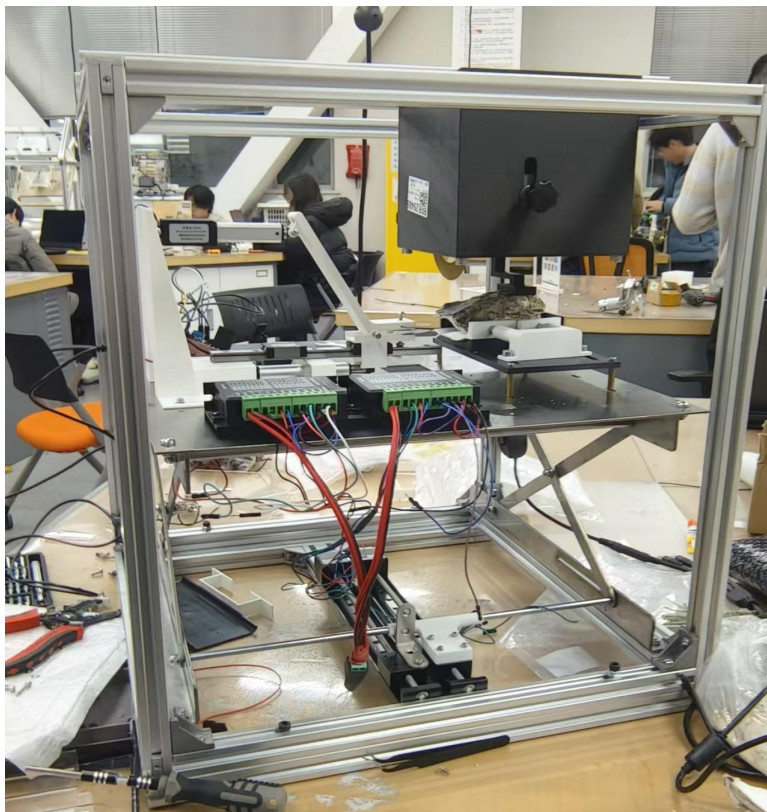


图 19：升降机构实物图

3.2 结构零件选型

3.2.1 机架选型：

整体框架：铝型材 GB20*20*R1.5

连杆、平台、L 型支座：2mm 不锈钢钢板

连杆连接：夹板对锁子母钉 M5*6-6/ $\Phi 5$ 光轴

其他连接：角码若干、M5 螺丝螺母若干

3.2.2 丝杆选型：

步进电机基本参数：

步距角： 1.8° /步（标准 200 步/转）

额定电流：1.0 A

驱动模式：细分驱动（1 细分）

每转脉冲数 (1 细分): 200 pulse/rev

驱动器设置:

细分设置: 1 细分 (S1 ON, S2 ON, S3 OFF)

电流设置: 额定电流 1.0A, 峰值电流 1.2A (S4 ON, S5 OFF, S6 ON)

丝杠参数:

类型: 滚珠丝杠

头数 (n): 4

螺距 (p): 1 mm

导程 (s): $n * p = 4 * 1 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$

运动学计算:

目标移动距离: 32 mm

所需转动圈数: 转动圈数 = 目标移动距离 / 导程

转动圈数 = $32 \text{ mm} / 4 \text{ mm/rev} = 8 \text{ rev (圈)}$

所需脉冲数 = 转动圈数 * 每转脉冲数 (1 细分) = $8 \text{ rev} * 200 \text{ pulse/rev} = 1600 \text{ pulse}$

3.2.3 电动推杆及导轨选型:

电动推杆: 12V 直流往复器自动伸缩杆

导轨: MGN12 导轨 200mm

滑块: MGN12C 标准滑块

3.3 机构运动受力分析

代码见附录 A

3.3.1 翘杆机构运动受力分析

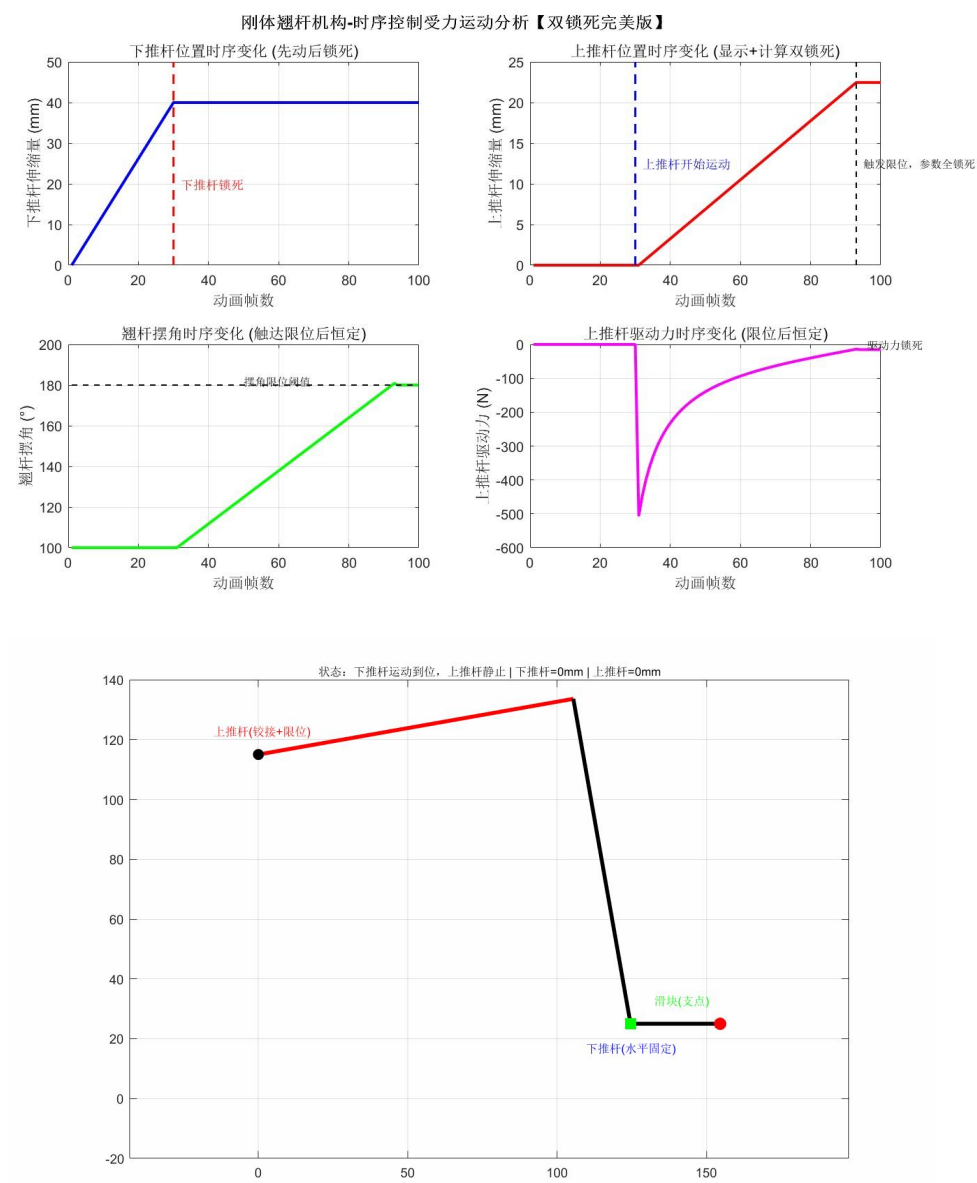


图 20: 连杆机构运动受力分析图

3.3.2 丝杆机构运动受力分析

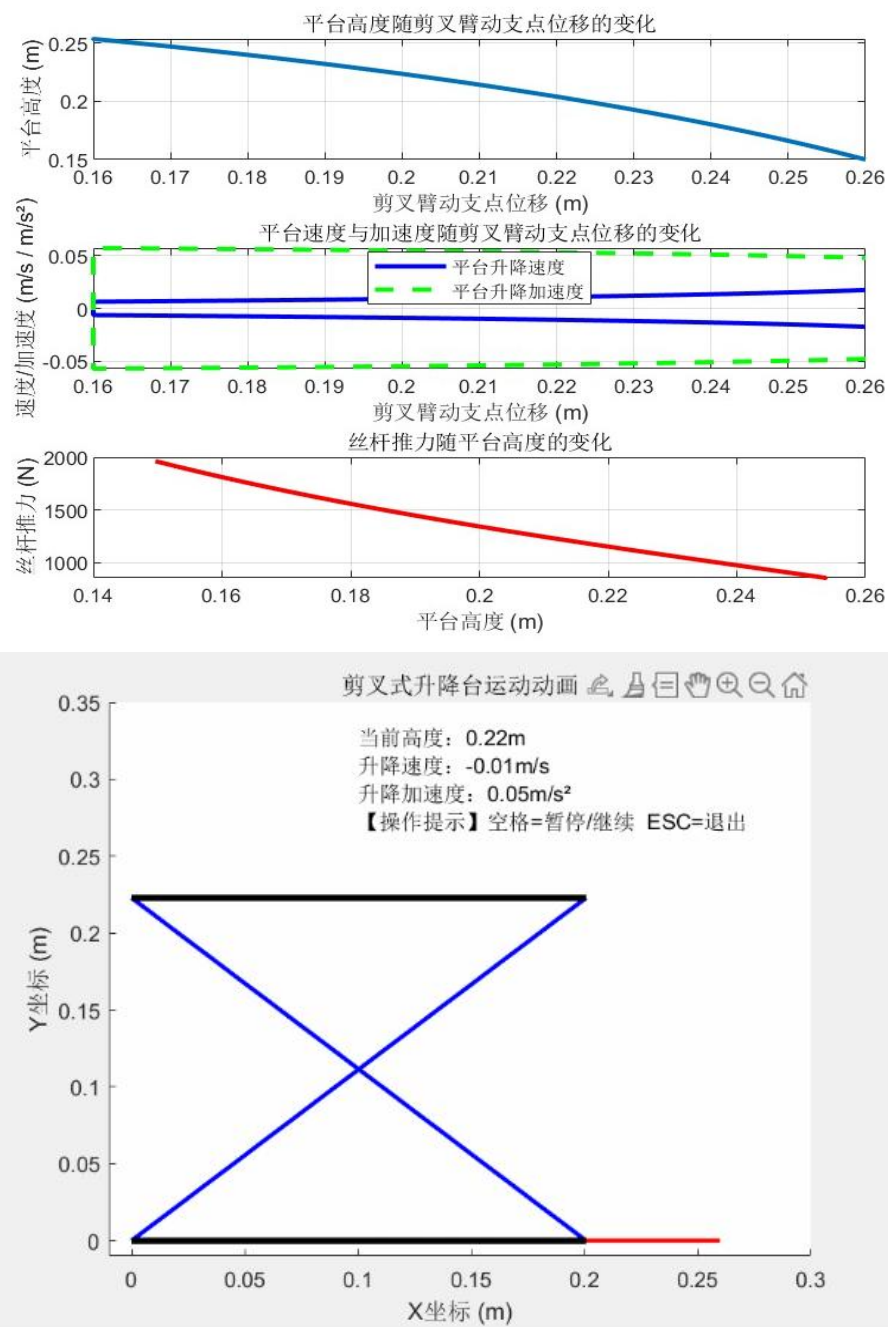


图 21: 连杆机构运动受力分析图

3.4 运动学仿真

上推杆：

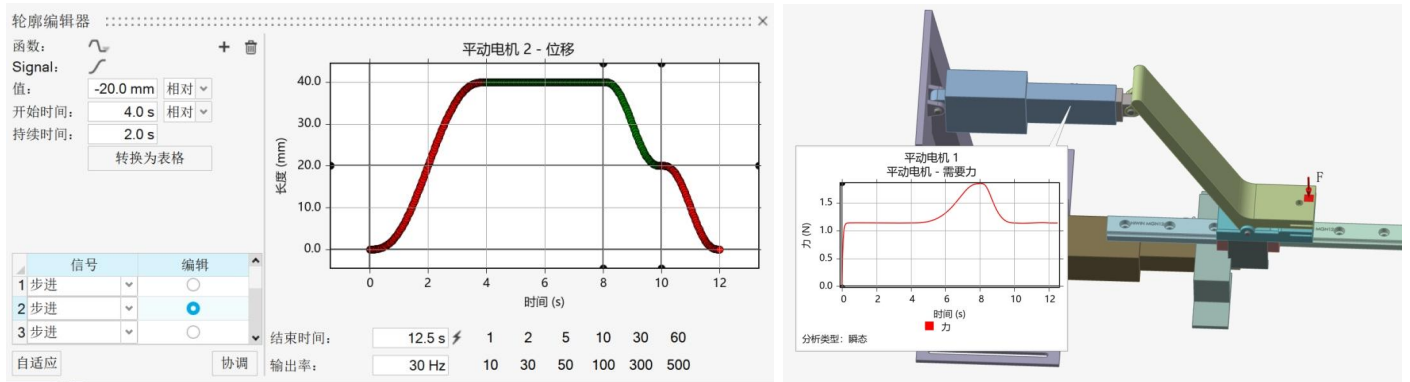


图 22: 上推杆运动设置及电机受力分析图

下推杆：

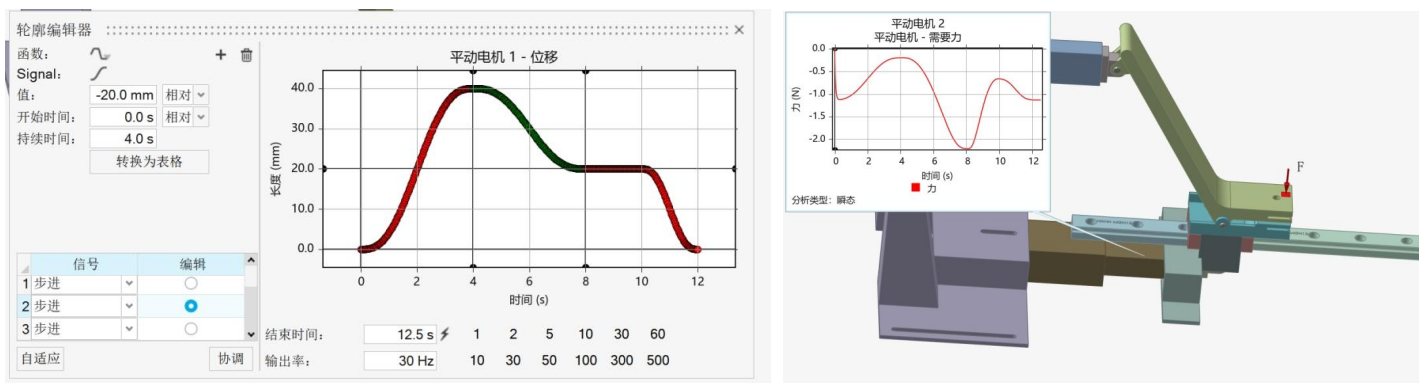


图 23: 下推杆运动设置及电机受力分析图

3.5 成本估算

表 1：零件成本清单

名目	链接	价格 (数量*单价=总价) (单位/元)
电锯升降主轴 +795 电机	https://e.tb.cn/h.SwQvXxlXe7rNZyR?tk=0asRfNgGP3r CZ009	(1*77=) 77
电动推杆×2	迷你电动推杆电机直流 12V 小型 24vDIY 直流往复器自动伸缩杆-淘宝网	(2*88.2=) 176.4
导轨+滑块	国产微型滑块直线导轨滑块精密 MGN5C7C9C12C15CMGW7H9H1215 打印机-淘宝网	(2*6.31+2*12.13=) 36.88
24V10A 电源	https://e.tb.cn/h.7Q680qNj8Pze84e?tk=uunDU2kIopK CZ007	(1*55=) 55
金刚石锯片	https://e.tb.cn/h.7Q6Rru4BUqTfTJG?tk=XescU2kIMCC CZ356	(1*13.5=) 13.5
小子开关	https://e.tb.cn/h.7QqJA3zqUo24oVX?tk=T7FmU2ksoNP HU071	(2*9.32=) 18.64
DC 直流一分三 电源线 5.5*2.1MM	https://e.tb.cn/h.7QqrF03Tbq0gPc1?tk=6DfaU2ks5cN HU293	(1*8.8=) 8.8
DC 直流电源插 头 5.5*2.1MM	https://e.tb.cn/h.7QqrxTIaiCxOXTL?tk=bSH7U2kIphj CZ225	(2*2.16)=4.32
28 步进电机	https://item.taobao.com/item.htm?id=615543340805&mi_id=0000dY-BjKAMKY9zCurmlWKqh7J-6nKT5THzFUvF9WMXeEQ&spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl e.1.18522e8d0VNmu5	(1*55=) 55
不锈钢钢板	https://item.taobao.com/item.htm?id=591663483897&mi_id=0000b22-YbbS_CO9w-JnZrHV90Xn7FRvEKnfVjhFjSUD8bc&spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl e.1.18522e8d0VNmu5	(1*150=) 150
型材	https://item.taobao.com/item.htm?id=931080416675&mi_id=0000G58tsyUkU-XzjFDJXiRdAgCt_x_Vsol3XmNgv4_1lYs&spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl e.1.18522e8d0VNmu5	(1*152.45=) 152.45

光轴	https://item.taobao.com/item.htm?id=671911651052&mi_id=0000ncHmMd68REB BR0zx210iMcwD7XJA0vNnFmVCtP4XuuU&spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl e.1.18522e8d0VNmu5	(1*90=) 90
螺丝螺母_第一批	https://detail.tmall.com/item.htm?id=607908895740&mi_id=0000p_6dXaFGQfzR3lDlnVm67N1jtVi30GH5dNPhf3gS2Es&spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl le.1.18522e8d0VNmu5	4.04
螺丝螺母_第二批	https://item.taobao.com/item.htm?spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl e.1.69332e8dDoudS3&id=607908895740&mi_id=0000p_6dXaFGQfzR3lDlnVm67JBDR RSN8VWs-346nrmyN08	10.6
角码 2020	https://item.taobao.com/item.htm?spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl e.1.69332e8dDoudS3&id=837742599403&mi_id=0000e4MYmUBlZ039DqIwX685Xhiq4 6CFsw4Z_-xicx1M5uU	11.5
铝型材 L 型配件角码	https://item.taobao.com/item.htm?spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl e.1.69332e8dDoudS3&id=717487316197&mi_id=0000ZWbVmNni9JwkcE7JWYnKf9f1C cKm2uxr0j7Dnixn0c4	18.82
纳米胶	https://item.taobao.com/item.htm?spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl e.1.69332e8dDoudS3&id=705014354355&mi_id=0000_Zto_EQ9QBmuso04Z_NRgwbio L1m2-wTwFsTMy7TsOw	4.71
总价	/	887.61

4 驱动系统设计与选型

4.1 电机选型

选择了 795 双滚珠轴承直流电机，它具有以下特点：

1. 宽电压适配与较高转速：支持 DC 12V 至 24V 宽电压输入，空载转速范围覆盖 5000 至 10000 转/分钟，适用不同供电场景，调速灵活。

2. 双滚珠轴承结构：前后端均采用滚珠轴承，承载能力强，运行稳定性高，使用寿命优于普通含油轴承电机，适合中等负载连续工作。

3. 结构紧凑、安装便捷：机身直径 42mm，机身长 70.5mm，体积小巧；提供 M4 安装孔位，并配有标准台阶轴（轴径 5mm），便于集成到各类机械结构中。

4. 明确极性标识与电气保护：端子旁设有红色正极标识，接线方便不易出错；机身带磁

环，有助于抑制电磁干扰，提升兼容性。

该电机适用于需要中等扭矩、较高转速且对运行可靠性有一定要求的场合，如小型机械设备、模型驱动、自动化工具等。使用前需匹配 24V/10-15A 开关电源，不可直接接入 220V 交流电。

4.2 电源选择

选择型号为 YS-2410 的恒功率 180W 直流电源，它支持 AC 110V-240V 全球通用输入，内置多重安全保护机制，使用安全可靠，适用于多种用电环境。额定输出 24V/180W，持续电流在 1-6A，并提供高达 13A 的瞬时峰值电流能力，可有效应对电机启动、堵转等瞬时大电流冲击，适用于 555/775/795 等常见直流电机。其采用通用 DG5.5×2.1 输出接口，标配国标电源线，接线简便，能够为丝杆、电动推杆等其他设备提供稳定供电。

5 控制系统设计与选型（含传感方案设计与传感器选型）

5.1 单片机选型

采用单片机系统，Arduino Uno 负责输出控制信号至 L298N 驱动模块，进而驱动电动推杆完成连杆机构的撬壳动作，整体控制链路为“单片机→电机驱动模块→电动推杆”。

选择了 Arduino Uno 开发板，它具有以下特点：

1.接口资源匹配撬壳控制需求 Arduino Uno: 配备 14 个数字 I/O 引脚（含 6 路 PWM 输出引脚），可直接与 L298N 电机驱动模块的 IN1~IN4 控制引脚连接，能精准实现两个电动推杆的伸缩动作、速度调节，完全覆盖生蚝撬壳的连杆机构动作逻辑。

2.开发效率适配：可快速编写并调整“推杆伸出 - 保持撬壳 - 推杆缩回”的动作时序代码，大幅缩短开发周期。

3.硬件兼容性适配驱动：模块与 L298N 电机驱动模块的电气特性（3.3V/5V 电平兼容）完全匹配，无需额外电平转换电路，即可稳定传输控制信号，降低电路设计复杂度。

4.运行稳定性满足场景需求：在生蚝开壳的小负载工作场景下，Arduino Uno 能保障撬壳动作连续、可靠执行。

5.2 控制代码

见附录 B

6 原型制作、装配与调试

6.1 实物演示

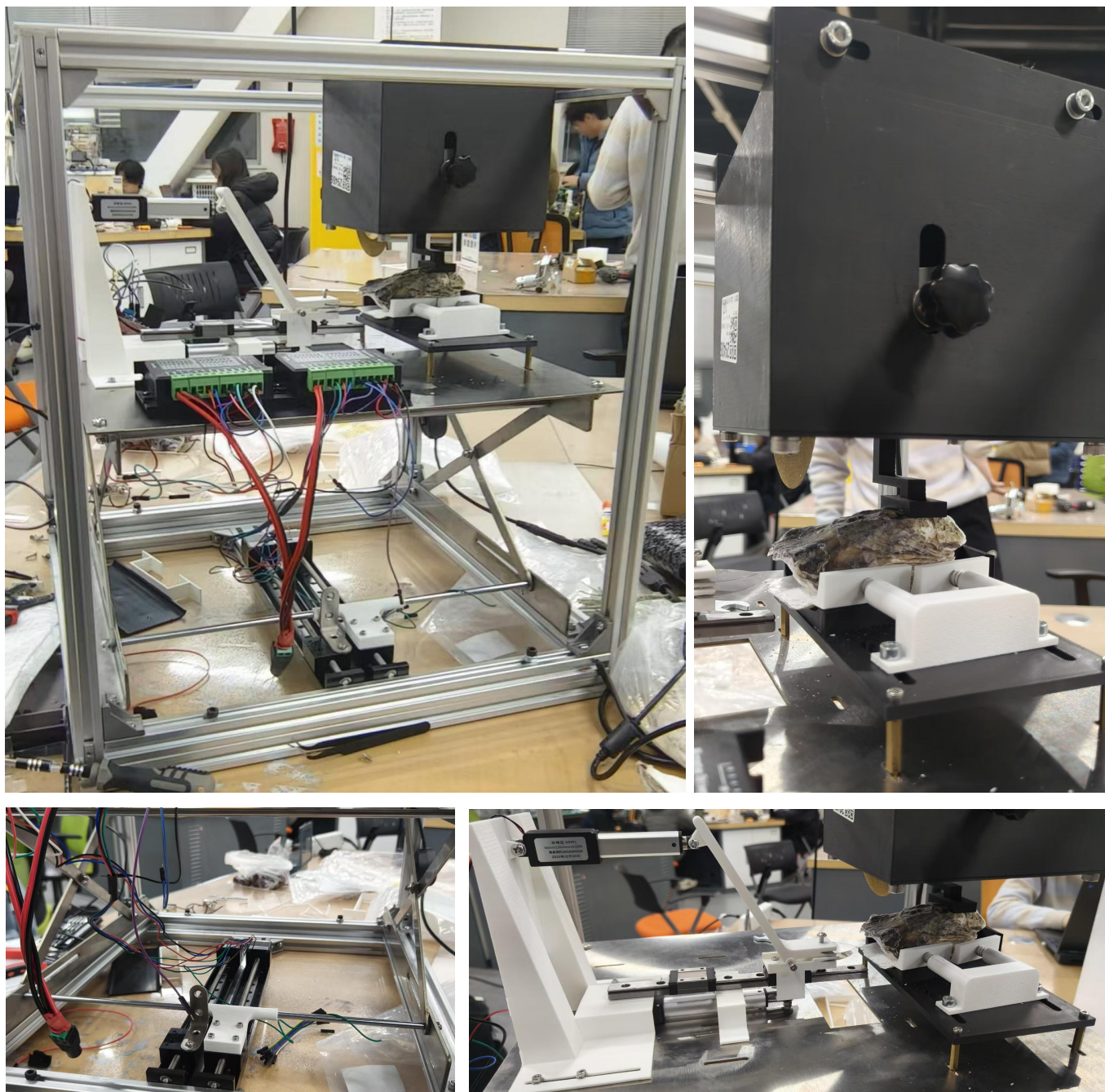


图 24：实物调试图

6.2 遇到的困难及解决方法

在装配与测试阶段，我们发现以下问题影响整体性能：

- 1) 底部丝杆在承受推力时出现不平衡现象，影响运动精度；
- 2) 台锯模块在高速运转时发生晃动，存在安全隐患；
- 3) 电动推杆输出力矩不足，导致刀具进给力不够、切割效率下降。

解决方案：

针对上述问题，我们进行了以下结构优化与增强设计：

1. 整体机构加固：在关键受力位置增加角码与中间连接件，显著提升框架的整体刚性和连接牢固度，有效抑制负载下的形变，确保长期运行的稳定性。
2. 丝杆推力平衡优化：设计并加装 T 型专用平衡零件，改善丝杆受力分布，使推力传递更加均匀平稳，提高运动精度与重复定位可靠性。
3. 台锯模块抑振处理：在支撑轴与外壳之间的空隙处填充垫片，消除装配间隙，大幅减少台锯高速运行时的晃动，增强切削过程的平稳性与安全性。
4. 电动推杆传力改造：通过重新设计刀具安装位置，延长力臂长度，显著增大推杆的作用力矩。同时优化推杆与刀具的连接结构，确保推力有效传递，提升切割进给的力度与响应速度。

7 项目总结

7.1 总结

本项目为生蚝开壳装置的设计与制作，旨在通过机械自动化方式实现生蚝的安全、高效开壳。在为期一个学期的项目周期内，本小组基于功能需求分析，确立了撬壳、夹持、升降等核心机构，并通过团队协作完成了从概念设计、方案迭代到实物组装测试的全过程。最终装置集成了破壳、翘壳模块，并配备了相应的定位、夹紧与安全防护结构，基本实现了预定的核心功能。

项目初期，我们在方案探索阶段遇到了主要挑战。对标实际生产需求，我们最初对结构紧凑性与动作可靠性提出了较高要求，但在初步尝试采用纯连杆机构时，发现其在破壳力度与运动行程上存在局限。后期经团队讨论与实验验证，果断将核心开壳方式调整为圆锯切割与撬杆联动的复合方案，并放宽了部分尺寸限制以优先保证功能实现，从而顺利推进了实物制作。

整个装置的设计与集成复杂度较高，不同阶段面临不同维度的困难：在概念设计阶段，难点在于如何将“开壳”这一模糊的生活动作分解为明确的机械运动，并协调撬壳力、夹持力与定位精度之间的关系；在详细设计阶段，挑战集中于各机构，如撬杆、压杆、夹持模块之间的空间布局与运动干涉校验，以及电动推杆、锯片、丝杆等关键元件的选型计算；在实物制作与装配阶段，则需克服 3D 打印件的累积误差、非标零件的加工适配以及多模块联动调试等问题。

在项目实施过程中，我们小组对开壳过程的力学分析、机构运动优化、材料选择与人机安全等方面进行了深入研究。通过软件仿真、手工计算与实物样机测试相结合的方式，不断验证并修正设计参数。然而，实际制作中暴露出的零件强度不足、装配公差导致卡涩等问题，也让我们深刻体会到理论模型的理想性与工程实践的复杂性之间的差距，认识到必须在设计中为“制造不确定性”预留调整空间。

尽管困难重重，在指导老师的悉心点拨与团队成员的紧密协作下，我们通过多轮设计迭代与问题排查，最终成功整合了各功能模块，完成了可演示运行的原型机。这一过程极大地锻炼了我们机械原理、工程制图、材料力学等课堂知识转化为解决实际工程问题的综合能力。

目前，本装置在生蚝尺寸的通用性、作业流程的连续性及控制自动化程度上仍有提升空间。未来的优化方向可包括：引入传感器与控制系统以实现更精准的定位与自适应调节；对核心机构进行轻量化与模块化再设计，提升可靠性；进一步研究贝壳力学特性，优化开壳刀具与运动轨迹。相信通过持续改进，本设计能够为小型化、智能化的水产加工设备开发提供有价值的实践参考。

7.2 团队分工

梁彦劼 (组长)

- 1) 统筹规划每周进度，安排任务
- 2) 机械建模、加工制作、仿真与电控
- 3) 答辩汇报

程一苓

- 1) 机械建模、电控设计与实物制作
- 2) 材料购买
- 3) 展板制作

鲍欣怡

- 1) 机械建模与实物制作
- 2) 材料购买
- 3) 设计说明书撰写

林蔚然

- 1) 机械建模与实物制作
- 2) PPT 制作
- 3) 实物调试

林晨曦

- 1) 机械建模与实物制作
- 2) 机械结构仿真分析

8 个人体会

梁彦劼：在“生蚝自动化开壳装置”项目中，作为组长，我承担了统筹规划、任务分配、核心机构设计与汇报等多重职责，这是一次集挑战与成长于一体的宝贵经历。

我的主要任务是统筹项目进度，确保各模块协同推进。面对项目初期概念的萌芽与方案的反复打磨，我深刻体会到，设计不能仅停留于想象，更需与现实条件如技术可行性、经济成本紧密结合。在这一过程中，我负责整体机架和升降台的建模、加工制作、仿真分析及电控集成。从 3D 建模到实物落地，我不断优化结构，调整尺寸，确保各部件的精确适配。例如，在升降台的设计中，我不仅要考虑其稳定性与精度，还要协调与其他机构的空间布局，确保整个装置的紧凑性与功能性。

同时，项目的顺利进行离不开所有团队成员的通力合作。这些经历让我深刻认识到，团队协作与高效沟通是项目成功的关键。从设计阶段的相互协调，每一次的讨论与调整都体现了集体智慧的力量。

通过此次项目，我不仅在机械设计、仿真分析和电控集成等专业技能上获得了显著提升，更重要的是，我学会了如何将理论知识应用于复杂工程实践，如何灵活应对突发状况，以及如何带领团队克服困难，最终将虚拟设计转化为稳定运行的实体产品。这段从概念到实物、从个体到协作的实践旅程，将成为我未来学习和职业发展中一笔宝贵的财富。

程一苓：在生蚝自动化开壳项目中，我负责撬杆机构的设计制作与电控，参与实物拼装调试及 PPT 制作。此次经历收获良多，不仅提升了 3D 建模把控与结构优化能力，更深刻领悟到虚拟设计到实物落地的转化逻辑，以及团队协作在跨机构适配中的关键作用。

撬杆机构设计历经四版迭代：初版因力臂过短、铰支座设计不当导致运动不流畅；第二版存在整体高度过高、与机架空间冲突的问题；后续版本又暴露架杆不稳、结构冗余过长等缺陷。为解决这些问题，我对照开壳运动轨迹，在 sw 建模中调整力臂长度、优化推杆布局与联动结构，删减冗余设计，在老师指导下最终确定 “上下两杆同步进刀、上杆收缩撬壳” 的核心方案。

装配阶段，我发现 3D 打印精度误差、螺帽预留空间不足等设计与实际安装的出入。这让我意识到，设计不能仅停留于软件装配，还需充分考量实物制作中的各类现实因素。

整个过程围绕 “精准适配” 推进，虽经多次调整，但在团队协作下顺利达成目标。此次经历让我熟练掌握了 3D 建模的结构优化与空间适配技巧，也明白了虚拟设计需兼顾实物可行性的重要性。感谢项目提供的实践机会，感谢庄老师、袁老师的指导，以及组长和伙伴们的支持帮助，这段共克难题的经历，将成为我后续学习中的宝贵财富。

鲍欣怡：在这次生蚝开壳机项目中，我主要负责开壳机构的设计与实现。从最初的方案构思到最终装配调试，我完整地经历了一个机械装置从设计到落地的过程。起初，我尝试采用连杆机构实现开壳动作，在实验老师的指导下，我认识到该方案在破壳力度上的局限性，进而转向圆锯方案，以确保能够有效破开生蚝坚硬的外壳。这让我深刻体会到，机械设计不仅需要理论支持，更离不开实践中的灵活应变与持续优化。

在与团队成员共同协商布局的过程中，我们逐步确定了开壳机构、升降机构及各部件的位置关系。在电机与锯片的选型阶段，我学到了许多超出课本的实际知识，原来锯片的选择不仅要考虑材料的硬度，还需兼顾脆性、应力集中等多种性能因素。为保障操作安全，我设计了防护外壳模型，并经过多次迭代改进，也学习了轴承安装、珐琅固定等安全装配方式，认识到机械设计中安全性与功能性必须并重。

尽管项目过程中遇到了方案调整、选型复杂等多重挑战，在团队成员的协作与帮助下，我们顺利完成了装置的装配与测试，通过这次项目，我不仅提升了机械设计能力，也更明白了团队协作的重要性。非常感谢小组成员的帮助与互相积极地配合，让我感受到了一个好的团队的温暖，获得了愉快的团队合作体验。

林蔚然：在 “生蚝开壳装置” 这一课程项目，我主要负责了压杆机构的设计，参与了实物的拼装和调试、PPT 制作等工作。此次项目，我受益颇丰，不仅增强了机构设计的能力和灵活性，还认识到了团队协作沟通的重要性，以及从设计到实现、从理想到实际的差异和如何改善弥补这一差异。

在项目初期，我遇到了不同目标功能之间的冲突，后通过目标功能拆分、逆向思维等方式，较好地解决了问题，实现了初步设计。而到了初步装配阶段，则出现了空间分配、装配困难、机构功能性不足等问题，但在与组员间的沟通下，我们调整了各自的设计，完成了目标功能的

实现。比如我的部分：我将尺寸，形状调整至满足功能与配合，也将机构进行拆分，采取分步组合的方式完成装配。同时，还遇到了实物的误差导致的问题，但通过灵活变通、积极思考、主动实践，比如手动利用锯子等工具进行切割调整，不仅解决了问题，还节约了成本和工期。

整个过程中，虽然遇到了一些问题，但好在大家的通力合作下，我们的项目最终做出了成果。同时非常感谢能有这次小组项目，不仅是因为成果的实现、能力的提升，更是因为各个组员间的互相帮助与理解，促成了此次愉快的合作体验。

林晨曦：在参与“生蚝开壳装置”的设计与制造项目过程中，我经历了一段充满挑战与惊喜的旅程。从最初概念的萌芽，到设计方案的反复打磨，再到最终产品的成功制造，每一个环节都凝聚着团队的智慧与汗水，也让我对设计与制造有了更为深刻和全面的认识。

在本项目中，我主要负责夹持机构的设计，参与了升降台与翘杆机构的受力与运动分析以及实物装配等工作。在项目开始阶段，我们通过广泛的调研与相关资料的采集，为创意的萌发提供了理论基础，经过进一步的探讨与分析，发现许多想法存在种种问题，这让我深刻认识到，创意不能仅仅停留在想象层面，必须与现实条件相结合，充分考虑技术可行性、经济成本等因素。在不断的质疑与改进下，我们得到了最终的方案，然后就其展开分工与设计。在这一过程中我们团队成员分工明确，又密切配合，在一次次沟通与交流中，不断改进方案，协调各个部分，才使得最终能做出一个如此完善的产品。这让我明白了团队协作与项目沟通的重要性，一个产品的各个部分往往是密切相关的，哪怕是分工完成设计也需要有总体的协调与沟通，才能有效避免后续的装配问题，位置问题，强度问题等等。

通过参与“生蚝开壳装置”的设计与制造项目，我不仅在专业技能方面得到了提升，还在团队协作、问题解决和沟通管理等方面积累了宝贵的经验。我深刻认识到，设计与制造是一个系统工程，需要综合考虑多个方面的因素，注重细节，不断创新。同时，团队协作和有效的沟通是项目成功的关键。

9 参考文献

- [1]曾昊，高宏泉 主编. 中国渔业统计年鉴:2025[M]. 北京：中国农业出版社，2025.
- [2]中国报告大厅. 2025-2030 年中国加工海鲜和海鲜加工设备行业市场分析及发展前景预测报告[R/OL]. 北京：中国报告大厅，2025.
- [3]倪洋. 厚壳贻贝脱半壳固定装置设计及控制研究[D]. 浙江海洋大学, 2022. DOI:10.27747/d.cnki.gzjhy.2022.000163.
- [4]郭为忠 主编. 机械原理与设计——现代机器的认知、分析与设计[M]. 北京：高等教育出版社，2024.

10 附录（计算程序源代码、程序使用说明、图纸、选购件一览表）

附录 A 受力分析 MATLAB 代码

翘杆分析

```
%% ===== 1. 机构核心参数定义（时序控制+物理约束+刚体参数） =====

clear; clc; close all; % 清理工作区+命令行+关闭旧图

%% 几何尺寸（单位：mm）严格匹配图纸，可直接修改

L_up_push0 = 105.1; % 上推杆初始长度（图纸标注值）

L_rocker_arm1 = 110.28; % 刚体翘杆长臂长度（滑块→上推杆铰接点）

L_rocker_arm2 = 30; % 刚体翘杆短臂长度（滑块→外力作用点）

alpha = 100 * pi/180; % 翘杆长臂-短臂固定夹角（100°，可自定义修改）

d_pin = 4; % 销轴直径（4mm，备用参数）

stroke_up = 25; % 上推杆总伸缩行程（撬动有效行程）

stroke_down_total = 50; % 下推杆总可调行程（最大限位 50mm）

%% 力学参数（单位：N，牛顿）工程实测值

F_ext = 320; % 竖直向下的恒定外力（仅上推杆运动段生效）

m_rocker = 0.5; % 翘杆刚体质量（kg），设 0 可直接忽略自重影响

g = 9.81; % 重力加速度（m/s²）

F_self = m_rocker * g; % 翘杆自重（N），自动计算

%% 固定约束坐标（全局坐标系，mm）机构底座固定点，不可动

base_up = [0, 115]; % 上推杆铰接底座（固定不动）

base_down = [124.58, 25]; % 下推杆固定底座（固定不动）

y_slider = 25; % 滑块 Y 坐标永久固定，下推杆严格水平伸缩

%% ===== 核心 1：运动时序控制参数（核心逻辑：下推杆先到位锁死，再上推杆运动） =====

s_down_target = 40; % 下推杆目标固定位置（mm，≤50，可改）

N_total = 100; % 总动画帧数（越大越流畅，推荐 80-120）

N1 = 30; % 前 30 帧：下推杆单独运动到位，上推杆静止不动

N2 = N_total - N1; % 后 70 帧：下推杆锁死位置不变，上推杆单独伸缩撬动

% 分段生成运动序列 - 严格时序，无耦合

s_down = linspace(0, s_down_target, N1); % 段 1：下推杆 0→目标位，匀速

s_up_stage1 = zeros(1, N1); % 段 1：上推杆伸缩量=0，静止

s_down = [s_down, repmat(s_down_target, 1, N2)]; % 段 2：下推杆锁死，恒定值
```

```

s_up_stage2 = linspace(0, stroke_up, N2);      % 段 2: 上推杆 0→总行程, 匀速

s_up = [s_up_stage1, s_up_stage2];            % 上推杆完整运动序列

%% ===== 核心 2: 物理限位参数 (防干涉核心) =====

theta_limit = 180 * pi/180;    % 翘杆下摆极限角度 (180°水平向右, >0 更安全)

theta0 = 100 * pi/180;        % 翘杆初始摆角 (段 2 运动时的基准角度, 100°)

%% ✔ 新增: 用于显示的上推杆伸缩量数组 + 限位标记+缓存

limit_flag = false;           % 限位触发标记, false=未触发, true=已触发

theta_lock = 0;               % 缓存: 触发限位时的摆角值

F_up_lock = 0;                % 缓存: 触发限位时的上推杆驱动力

F_slider_lock = 0;            % 缓存: 触发限位时的滑块总支反力

s_up_lock = 0;                % 缓存: 触发限位时的上推杆伸缩量

s_up_display = zeros(1, N_total); % ✔ 关键: 用于显示的伸缩量数组

%% 预定义存储数组 (提前初始化, 提升运算速度)

x_slider = zeros(1, N_total);    % 滑块实时 X 坐标

theta_rocker = zeros(1, N_total); % 翘杆实时摆角 (rad)

L_up_push = zeros(1, N_total);    % 上推杆实时长度 (mm)

F_up_drive = zeros(1, N_total);    % 上推杆需要提供的驱动力 (N)

F_slider_total = zeros(1, N_total); % 滑块总支反力 (N)

%% ===== 2. 分段运动学+受力分析 (时序控制+物理约束+力矩平衡+双锁死) =====

for i = 1:N_total

    % ===== 基础运动学计算: 全局通用 =====

    x_slider(i) = base_down(1) + s_down(i); % 滑块 X 坐标 = 下底座+下推杆伸缩量

    if i <= N1

        % -----

        % 段 1: 下动上不动

        % -----

        theta_rocker(i) = theta0;    % 翘杆摆角固定为初始值, 无摆动

        F_up_drive(i) = 0;           % 上推杆静止, 驱动力为 0

        F_slider_total(i) = 0;       % 无受力, 滑块支反力为 0

        L_up_push(i) = L_up_push0;   % 上推杆长度固定初始值

        s_up_display(i) = 0;         % 显示值为 0

    else

        % -----

        % 段 2: 下锁死, 上运动 (核心计算段 + 双锁死逻辑)

        % -----

        if ~limit_flag % 未触发限位: 正常计算所有参数, 数值实时变化

            s_up_local = s_up(i) - s_up(N1); % 段 2 局部行程, 从 0 开始递增

```

```

theta_theory = theta0 + s_up_local * pi/(2*stroke_up); % 理论摆角

% 判断是否触达限位

if theta_theory >= theta_limit

    % ✔ 触发限位：缓存所有参数，标记置为 true，永久锁死

    limit_flag = true;

    theta_lock = theta_limit;

    s_up_lock = s_up(i);

    % 计算并缓存限位瞬间的力矩和受力

    M_ext = F_ext * L_rocker_arm2 * cos(theta_lock - alpha);

    M_self = F_self * L_rocker_arm2/2 * cos(theta_lock - alpha);

    M_resist = M_ext + M_self;

    F_up_lock = M_resist / ( L_rocker_arm1 * cos(theta_lock) );

    % 缓存限位瞬间的滑块支反力

    F_up_x = F_up_lock * cos(theta_lock);

    F_up_y = F_up_lock * sin(theta_lock);

    F_slider_lock = sqrt(F_up_x^2 + (F_up_y + F_ext + F_self)^2);

end

% 未触发限位时的正常赋值

theta_rocker(i) = theta_theory;

L_up_push(i) = L_up_push0 + s_up(i);

s_up_display(i) = s_up(i); % 显示值=真实值

% 正常计算驱动力和支反力

M_ext = F_ext * L_rocker_arm2 * cos(theta_rocker(i) - alpha);

M_self = F_self * L_rocker_arm2/2 * cos(theta_rocker(i) - alpha);

M_resist = M_ext + M_self;

F_up_drive(i) = M_resist / ( L_rocker_arm1 * cos(theta_rocker(i)) );

F_up_x = F_up_drive(i) * cos(theta_rocker(i));

F_up_y = F_up_drive(i) * sin(theta_rocker(i));

F_slider_total(i) = sqrt(F_up_x^2 + (F_up_y + F_ext + F_self)^2);

else % ✔ 已触发限位：计算+显示 双锁死，数值完全不变!!!

    theta_rocker(i) = theta_lock; % 摆角固定为限位阈值

    L_up_push(i) = L_up_push0 + s_up_lock; % 上推杆长度固定

    F_up_drive(i) = F_up_lock; % 驱动力固定不变

    F_slider_total(i) = F_slider_lock; % 滑块支反力固定不变

    s_up_display(i) = s_up_lock; % ✔ 关键：显示值也固定锁死

```

```

        end

    end

end

%% ===== 3. 绘制时序化受力运动分析图（限位后曲线水平，直观可见） =====

figure('Name','时序控制-受力运动分析结果(双锁死完美版)','Color','w','Position',[50,50,1000,600]);

% 子图 1: 下推杆位置-帧数曲线（前 N1 帧运动，后 N2 帧锁死）

subplot(2,2,1);

plot(1:N_total, s_down, 'b-', 'LineWidth',2); grid on; hold on;

plot([N1,N1],[0,stroke_down_total],'r--','LineWidth',1.5);

text(N1+2, s_down_target/2, '下推杆锁死','Color','r','FontSize',9);

xlabel('动画帧数'); ylabel('下推杆伸缩量 (mm)');

title('下推杆位置时序变化（先后后锁死）');

% 子图 2: 上推杆显示值-帧数曲线（限位后彻底水平不变）

subplot(2,2,2);

plot(1:N_total, s_up_display, 'r-', 'LineWidth',2); grid on; hold on;

plot([N1,N1],[0,stroke_up],'b--','LineWidth',1.5);

text(N1+2, stroke_up/2, '上推杆开始运动','Color','b','FontSize',9);

% 绘制限位触发线（可选，直观看到限位点）

if limit_flag

    lock_frame = find(s_up_display==s_up_lock,1);

    plot([lock_frame,lock_frame],[0,stroke_up],'k--','LineWidth',1);

    text(lock_frame+2, stroke_up/2, '触发限位，参数全锁死','Color','k','FontSize',8);

end

xlabel('动画帧数'); ylabel('上推杆伸缩量 (mm)');

title('上推杆位置时序变化（显示+计算双锁死）');

% 子图 3: 翘杆摆角-帧数曲线（带物理限位，触达后水平不变）

subplot(2,2,3);

plot(1:N_total, theta_rocker*180/pi, 'g-', 'LineWidth',2); grid on; hold on;

plot([1,N_total],[theta_limit*180/pi,theta_limit*180/pi],'k--','LineWidth',1);

text(50, theta_limit*180/pi+2, '摆角限位阈值','Color','k','FontSize',8);

xlabel('动画帧数'); ylabel('翘杆摆角 (°)');

title('翘杆摆角时序变化（触达限位后恒定）');

% 子图 4: 上推杆驱动力-帧数曲线（核心优化：限位后驱动力水平不变）

subplot(2,2,4);

plot(1:N_total, F_up_drive, 'm-', 'LineWidth',2); grid on; hold on;

if limit_flag

    lock_frame = find(theta_rocker==theta_limit,1);

    plot([lock_frame,lock_frame],[0,max(F_up_drive)],'k--','LineWidth',1);

```



```

    text(lock_frame+2, max(F_up_drive)/2, '驱动力锁死','Color','k','FontSize',8);

end

xlabel('动画帧数'); ylabel('上推杆驱动力 (N)');

title('上推杆驱动力时序变化 (限位后恒定)');

sgtitle('刚体翘杆机构-时序控制受力运动分析【双锁死完美版】','FontSize',12,'FontWeight','bold');

%% ===== 4. 时序化精准动画 + GIF 保存 (显示参数完全锁死) =====

figure('Name','时序控制-机构运动动画(双锁死最终版)','Color','w','Position',[200,200,950,600]);

filename = '时序控制_刚体翘杆机构动画_双锁死完美版.gif'; % GIF 保存文件名

axis([-40 180 -20 140]); grid on; axis equal; % 固定画布, 防止抖动

for i = 1:N_total

    cla; hold on; axis([-40 180 -20 140]); grid on; axis equal; box on;

    % ===== 实时坐标计算 (刚体几何关系, 无变形, 限位后坐标不变) =====

    slider_pos = [x_slider(i), y_slider]; % 滑块实时坐标 (X 变, Y 固定)

    down_push = [base_down; slider_pos]; % 下推杆线段坐标 (水平)

    % 刚体翘杆两端坐标 (长臂+短臂, 固定夹角 alpha, 限位后坐标永久不变)

    rocker_long_end = slider_pos + L_rocker_arm1 * [cos(theta_rocker(i)), sin(theta_rocker(i))];

    rocker_short_end = slider_pos + L_rocker_arm2 * [cos(theta_rocker(i)-alpha), sin(theta_rocker(i)-alpha)];

    rocker_rigid = [rocker_long_end; slider_pos; rocker_short_end]; % 翘杆完整刚体

    up_push = [base_up; rocker_long_end]; % 上推杆线段坐标

    % ===== 绘制机构部件 (区分颜色+粗细, 工程可视化) =====

    plot(down_push(:,1), down_push(:,2), 'b-', 'LineWidth',3); % 下推杆-蓝色

    plot(up_push(:,1), up_push(:,2), 'r-', 'LineWidth',3); % 上推杆-红色

    plot(rocker_rigid(:,1), rocker_rigid(:,2), 'k-', 'LineWidth',3); % 翘杆刚体-黑色

    plot(base_up(1), base_up(2), 'ko', 'MarkerSize',8, 'MarkerFaceColor','k'); % 上铰接座

    plot(base_down(1), base_down(2), 'ko', 'MarkerSize',8, 'MarkerFaceColor','k'); % 下固定座

    plot(slider_pos(1), slider_pos(2), 'gs', 'MarkerSize',10, 'MarkerFaceColor','g'); % 滑块支点

    plot(rocker_short_end(1), rocker_short_end(2), 'ro', 'MarkerSize',9, 'MarkerFaceColor','r'); % 外力作用点

    % ===== 时序状态文字标注 (动态显示当前运动状态+限位状态) =====

    if i <= N1

        status_text = '状态: 下推杆运动到位, 上推杆静止';

    else

        if ~limit_flag

            status_text = '状态: 下推杆锁死, 上推杆单独撬动翘杆';

        else

            status_text = '✔ 状态: 触达限位, 计算+显示参数全锁死 ✔';

        end

        text(rocker_short_end(1)-10, rocker_short_end(2)-10, ['F_{ext}= ', num2str(F_ext), 'N'], 'Color','r','FontSize',9);

    end

end

```

```

text(base_up(1)-15, base_up(2)+8, '上推杆(铰接+限位)', 'Color', 'r', 'FontSize', 9);

text(base_down(1)-15, base_down(2)-8, '下推杆(水平固定)', 'Color', 'b', 'FontSize', 9);

text(slider_pos(1)+8, slider_pos(2)+8, '滑块(支点)', 'Color', 'g', 'FontSize', 9);

% ✔ 关键修改: 用 s_up_display 替代 s_up, 显示值也锁死

title([status_text, ' | 下推杆=', num2str(round(s_down(i),1)), 'mm | 上推杆
=', num2str(round(s_up_display(i),1)), 'mm'], 'FontSize', 9);

% ===== 保存 GIF 动画 (无损+循环播放+流畅帧率) =====

frame = getframe(gcf);

img = frame2im(frame);

[img_ind, cm] = rgb2ind(img, 256);

if i == 1

    imwrite(img_ind, cm, filename, 'gif', 'LoopCount', inf, 'DelayTime', 0.05);

end

imwrite(img_ind, cm, filename, 'gif', 'WriteMode', 'append', 'DelayTime', 0.05);

hold off;

end

%% ===== 运行完成提示 =====

disp('=====');

disp('✔ 双锁死完美版运行完成! 彻底解决显示参数变化问题!');

disp('核心效果: ');

disp('1. 触达限位后, 上推杆计算长度+显示伸缩量 双锁死, 数值完全不变');

disp('2. 摆角、驱动力、支反力同步恒定, 机构姿态静止');

disp('3. 动画标题显示值与实际计算值完全一致, 无视觉误差');

disp('4. GIF 已保存至当前工作路径!');

disp('=====');

```

升降台分析

```

clear; clc; close all;

%% 1. 结构参数设置

L = 0.3;           % 剪叉臂长度 (m)

Q = 1000;          % 平台载荷 (N)

x_min = 0.16;      % 剪叉臂最小位移 (m)

x_max = 0.26;      % 剪叉臂最大位移 (m)

x_up = linspace(x_max, x_min, 50) ;   % 上升阶段位移

x_down = linspace(x_min, x_max, 50) ; % 下降阶段位移

x = [x_up, x_down]; % 完整往复位移数组

```

```

v_x = -0.01; % 丝杆速度 (m/s)

%% 2. 基础运动学分析

h = sqrt(L^2-x.^2); % 平台高度

x1 = x; % 丝杆铰点 x

x2 = x_max; % 丝杆固定端铰点 x

s = x1-x2; % 丝杆行程

% 速度/加速度（下降阶段取反）

v_h = (-x)./h*v_x;

v_h(51:end) = -v_h(51:end);

a_x = 0; % 角加速度（匀速）

a_h = -1*L^2*nthroot(h,3);

a_h(51:end) = -a_h(51:end);

%% 3. 受力分析

F = Q/4*(0.9+4*x./h);

%% 4. 绘制分析曲线

figure('Name','升降台运动、受力、速度加速度分析');

subplot(3,1,1);

plot(x, h, 'LineWidth',2);

xlabel('剪叉臂动支点位移 (m)'); ylabel('平台高度 (m)');

title('平台高度随剪叉臂动支点位移的变化'); grid on;

subplot(3,1,2);

plot(x, v_h, 'b-', 'LineWidth',2); hold on;

plot(x, a_h, 'g--', 'LineWidth',2);

xlabel('剪叉臂动支点位移 (m)'); ylabel('速度/加速度 (m/s / m/s^2)');

legend('平台升降速度','平台升降加速度','Location','best');

title('平台速度与加速度随剪叉臂动支点位移的变化'); grid on; hold off;

subplot(3,1,3);

plot(h, F, 'r-', 'LineWidth',2);

xlabel('平台高度 (m)'); ylabel('丝杆推力 (N)');

title('丝杆推力随平台高度的变化'); grid on;

%% 5. 动态动画：彻底修复句柄问题（可正常播放/暂停/退出）

% 初始化全局控制变量（用全局变量替代 appdata，避免句柄问题）

global is_paused is_running ;

is_paused = false; % 暂停标志

is_running = true; % 运行标志

fileName = 'shengjiangtai.gif'; % 定义文件名

record_done = false;

% 创建动画窗口并绑定按键回调

```

```

fig = figure('Name','升降台动态动画（循环播放+暂停控制）');

set(fig, 'KeyPressFcn', @keyPressCallback); % 绑定按键回调

set(fig, 'CloseRequestFcn', @closeFigCallback); % 关闭窗口时停止运行

% 设置动画窗口基础属性

axis([-0.01, L, -0.01, L+0.05]);

xlabel('X 坐标 (m)'); ylabel('Y 坐标 (m)');

title('剪叉式升降台运动动画');

grid off; hold on;

i = 1; % 帧索引

% 动画主循环（非阻塞）

while is_running

    if ~is_paused

        % 清空当前帧，保留坐标轴

        cla; hold on;

        axis([-0.01, L, -0.01, L+0.05]);

        grid off;

        title('剪叉式升降台运动动画');

        xlabel('X 坐标 (m)'); ylabel('Y 坐标 (m)');

        % 绘制升降台结构

        plot([0, x(i)], [0, h(i)], 'b-', 'LineWidth',2);

        plot([x(i), 0], [0, h(i)], 'b-', 'LineWidth',2);

        plot([0, x(i)], [0, 0], 'k-', 'LineWidth',3); % 下梁

        plot([0, x(i)], [h(i), h(i)], 'k-', 'LineWidth',3); % 上梁

        plot([x1(i), x2], [0,0], 'r-', 'LineWidth',2); % 丝杆

        % 显示状态和操作提示

        status_text = sprintf('当前高度: %.2fm\n 升降速度: %.2fm/s\n 升降加速度: %.2fm/s^2\n【操作提示】空格=暂停/继续  ESC=退出', ...

            h(i), v_h(i), a_h(i));

        text(0.1, L, status_text, 'BackgroundColor','none');

        drawnow expose; % 非阻塞刷新画面

        pause(0.05); % 播放速度（可调，数值越大越慢）

        % gif start

        if ~record_done && ishandle(fig) % 先判断窗口是否存活，再执行截图

            im = frame2im(getframe(fig));

            [imData, map] = rgb2ind(im, 256);

            % Write data

```

```

        if i==1 %First frame (create GIF file)

            imwrite(imData,map,fileName,'gif',...

                'LoopCount',inf,...

                'WriteMode','overwrite',...

                'DelayTime',0.05);

        else %Append data to file

            imwrite(imData,map,fileName,'gif',...

                'WriteMode','append',...

                'DelayTime',0.05);

        end

    end

% gif end

% 更新帧索引（循环重置）

i = i + 1;

if i == length(x) && record_done == false

    record_done = true;

end

if i > length(x)

    i = 1;

end

else

% 暂停时显示提示，仅刷新画面不更新帧

cla; hold on;

axis([-0.01, L, -0.01, L+0.05]);

grid on;

title('剪叉式升降台运动动画（按空格暂停/继续，ESC 退出）');

xlabel('X 坐标 (m)'); ylabel('Y 坐标 (m)');

% 重新绘制当前帧（暂停时保持画面）

plot([0,x(i)], [0, h(i)], 'b-', 'LineWidth',2);

plot([x(i), 0], [0, h(i)], 'b-', 'LineWidth',2);

plot([0, x(i)], [0, 0], 'k-', 'LineWidth',3);

plot([0, x(i)], [h(i), h(i)], 'k-', 'LineWidth',3);

plot([x1(i), x2], [0,0], 'r-', 'LineWidth',2);

% 暂停提示+状态信息

status_text = sprintf('当前高度: %.2fm\n升降速度: %.2fm/s\n升降加速度: %.2fm/s^2\n【暂停中】按空格键继续播放', ...

```

```

        h(i), v_h(i), a_h(i));

text(0.1, L, status_text, 'BackgroundColor','none');

text(0.5, 1.0, '■ 暂停', 'Color','red', 'FontSize',16, 'BackgroundColor','none');


drawnow expose;

pause(0.01); % 减少 CPU 占用

end

end

% ----- 回调函数定义 -----

% 按键回调：响应空格/ESC

function keyPressCallback(~, event)

    global is_paused is_running;

    switch event.Key

        case 'space' % 空格键：暂停/继续

            is_paused = ~is_paused;

        case 'escape' % ESC 键：退出

            is_running = false;

            disp('已退出升降台动画');

            % 优化：获取当前窗口句柄，使用 delete 销毁（而非 close(gcf)）

            fig = gcf;

            delete(fig);

        end

    end

end

% 窗口关闭回调：防止强制关闭窗口后变量残留，避免递归关闭警告

function closeFigCallback(src, ~)

    global is_running;

    is_running = false; % 停止动画主循环

    disp('动画窗口已关闭');

    % 核心修正 1：使用 delete 直接销毁窗口句柄（src 即为当前窗口对象）

    % 核心修正 2：移除重复的 close(gcf)，避免递归触发 CloseRequestFcn

    delete(src);

end

```

附录 B 控制系统程序源代码

撬壳控制

```

const int IN1 = 2;  // 1号杆方向引脚1
const int IN2 = 3;  // 1号杆方向引脚2
const int IN3 = 4;  // 2号杆方向引脚1
const int IN4 = 5;  // 2号杆方向引脚2

void setup() {
    // 设置所有方向引脚为输出模式

    pinMode(IN1, OUTPUT);

    pinMode(IN2, OUTPUT);

    pinMode(IN3, OUTPUT);

    pinMode(IN4, OUTPUT);

    // 初始状态: 所有杆停止 (IN 引脚全低)

    stopAll();
}

void loop() {
    // 步骤1: 1、2号杆同时伸长4秒

    extendBoth();

    delay(4000);

    stopAll();    // 停止所有杆

    delay(100);

    // 步骤2: 仅2号杆缩回2.5秒

    retractRod2();

    delay(2500);  // 保持缩回2.5秒

    stopAll();

    delay(100);

    // 静止1秒 (所有杆保持停止状态1秒)

    delay(1000);

    // 步骤3: 仅2号杆伸长2.5秒

    extendRod2();

    delay(2500);  // 保持伸长2.5秒 (1500毫秒=1.5秒)

    stopAll();

    delay(100);

    // 步骤4: 1、2号杆同时缩回4秒

    retractBoth();

    delay(4000);  //

    stopAll();

    // 动作完成后, 保持停止状态 (不再循环)

    while(true);
}

```

```

// 自定义函数：1、2 号杆同时伸长

void extendBoth() {

    digitalWrite(IN1, HIGH);

    digitalWrite(IN2, LOW);    // 1 号杆伸长

    digitalWrite(IN3, HIGH);

    digitalWrite(IN4, LOW);    // 2 号杆伸长

}

// 自定义函数：1、2 号杆同时缩回

void retractBoth() {

    digitalWrite(IN1, LOW);

    digitalWrite(IN2, HIGH);   // 1 号杆缩回

    digitalWrite(IN3, LOW);

    digitalWrite(IN4, HIGH);   // 2 号杆缩回

}

// 自定义函数：仅 2 号杆缩回

void retractRod2() {

    digitalWrite(IN3, LOW);

    digitalWrite(IN4, HIGH);   // 2 号杆缩回

    // 1 号杆保持停止（IN1、IN2 全低）

    digitalWrite(IN1, LOW);

    digitalWrite(IN2, LOW);

}

// 自定义函数：仅 2 号杆伸长

void extendRod2() {

    digitalWrite(IN3, HIGH);

    digitalWrite(IN4, LOW);    // 2 号杆伸长

    // 1 号杆保持停止

    digitalWrite(IN1, LOW);

    digitalWrite(IN2, LOW);

}

// 自定义函数：所有杆停止

void stopAll() {

    digitalWrite(IN1, LOW);

    digitalWrite(IN2, LOW);

    digitalWrite(IN3, LOW);

    digitalWrite(IN4, LOW);

}

```


升降控制

```
// 定义引脚

const int stepPin1 = 9; //blue,pul
const int dirPin1 = 8; //purple
const int stepPin2 = 6; //red
const int dirPin2 = 7; //green
int pulseDelay = 800;

void loop() {

    // --- 1. 正转 ---

    digitalWrite(dirPin1, HIGH); // 设置方向为正
    digitalWrite(dirPin2, HIGH); // 设置方向为正

    // 驱动器设置为 200 步转一圈
    // 发 1600 个脉冲
    for(int x = 0; x < 1600; x++) {

        digitalWrite(stepPin1, HIGH);
        digitalWrite(stepPin2, HIGH);
        delayMicroseconds(pulseDelay);
        digitalWrite(stepPin1, LOW);
        digitalWrite(stepPin2, LOW);
        delayMicroseconds(pulseDelay);
    }

    delay(8000); // 停顿一秒

    // --- 2. 反转 ---

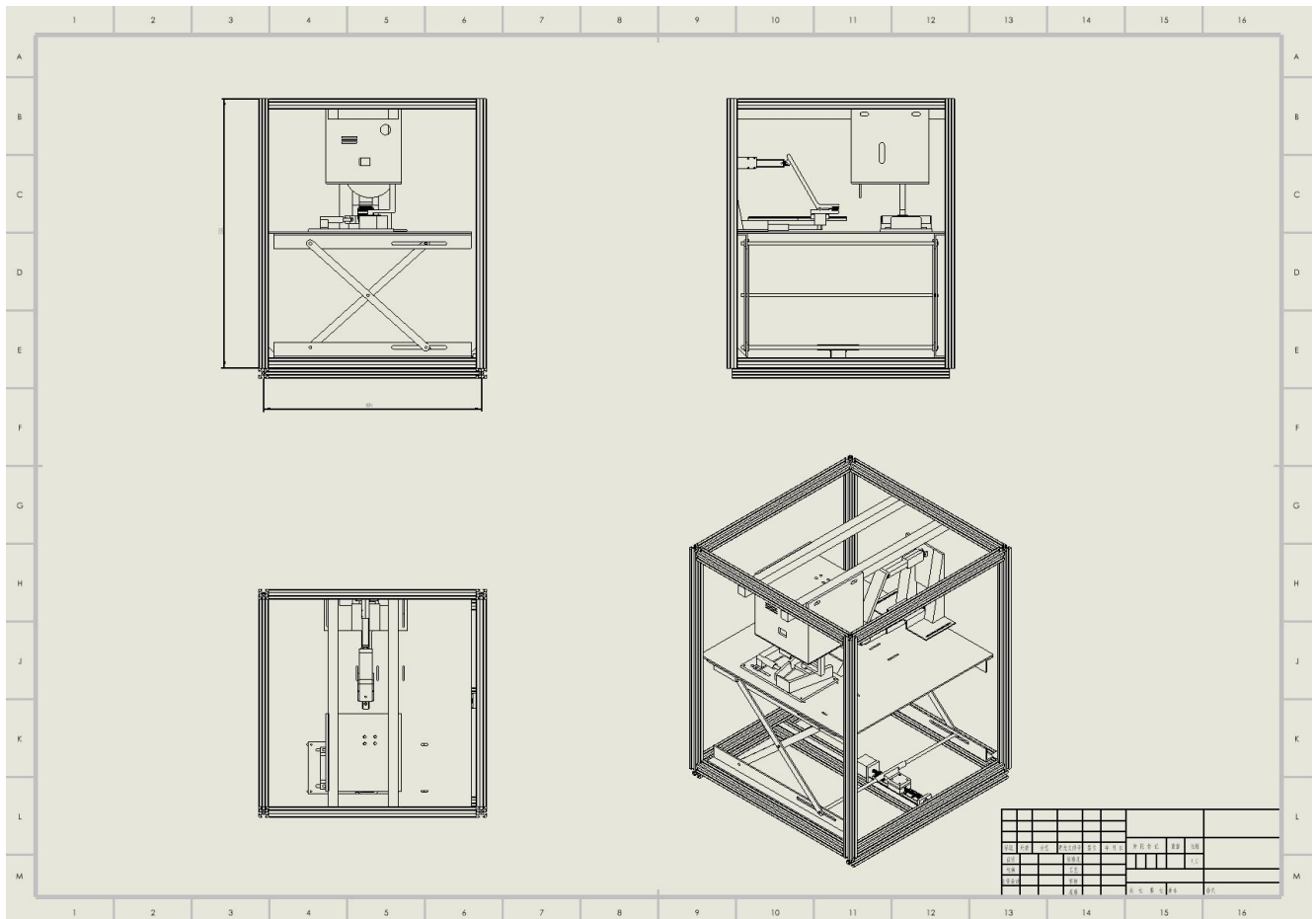
    digitalWrite(dirPin1, LOW); // 设置方向为反
    digitalWrite(dirPin2, LOW); // 设置方向为反

    for(int x = 0; x < 1600; x++) {

        digitalWrite(stepPin1, HIGH);
        digitalWrite(stepPin2, HIGH);
        delayMicroseconds(pulseDelay);
        digitalWrite(stepPin1, LOW);
        digitalWrite(stepPin2, LOW);
        delayMicroseconds(pulseDelay);
    }
}
```

```
delay(1000); // 停顿一秒
```

附录 C 总装配工程图



附录 D 选购件一览表

名目	链接	价格 (数量*单价=总价) (单位/元)
电锯升降主轴 +795 电机	https://e.tb.cn/h.SwQvXxlXe7rNZyR?tk=0asRfNgGP3r CZ009	(1*77=) 77
电动推杆×2	迷你电动推杆电机直流 12V 小型 24vDIY 直流往复器自动伸缩杆-淘宝网	(2*88.2=) 176.4
导轨+滑块	国产微型滑块直线导轨滑块精密 MGN5C7C9C12C15CMGW7H9H1215 打印机-淘宝网	(2*6.31+2*12.13=) 36.88
24V10A 电源	https://e.tb.cn/h.7Q680qNj8Pze84e?tk=uunDU2kIopK CZ007	(1*55=) 55
金刚石锯片	https://e.tb.cn/h.7Q6Rru4BUqTfTJG?tk=XescU2kIMCC CZ356	(1*13.5=) 13.5
小组子开关	https://e.tb.cn/h.7QqJA3zqUo24oVX?tk=T7FmU2ksoNP HU071	(2*9.32=) 18.64
DC 直流一分三 电源线 5.5*2.1MM	https://e.tb.cn/h.7QqRF03Tbq0gPc1?tk=6DfaU2ks5cN HU293	(1*8.8=) 8.8
DC 直流电源插 头 5.5*2.1MM	https://e.tb.cn/h.7QqrxTIaiCx0XTL?tk=bSH7U2kIphj CZ225	(2*2.16)=4.32
28 步进电机	https://item.taobao.com/item.htm?id=615543340805&mi_id=0000dY-BjKAMKY9zCurmlWKqh7J-6nKT5THzFUvF9WMXeEQ&spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl e. 1. 18522e8d0VNmu5	(1*55=) 55
不锈钢钢板	https://item.taobao.com/item.htm?id=591663483897&mi_id=0000b22-YbbS_CO9w-JnZrHV90Xn7FRvEKnfVjhFjSUD8bc&spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl e. 1. 18522e8d0VNmu5	(1*150=) 150
型材	https://item.taobao.com/item.htm?id=931080416675&mi_id=0000G58tsyUkU-XzjFDJXiRdAgCt_x_Vsol3XmNgv4_1lYs&spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl e. 1. 18522e8d0VNmu5	(1*152.45=) 152.45
光轴	https://item.taobao.com/item.htm?id=671911651052&mi_id=0000ncHmMd68REB BR0zx210iMcwD7XJA0vNnFmVCtP4XuuU&spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitl	(1*90=) 90

	e. 1. 18522e8d0VNmu5	
螺丝螺母_第一批	https://detail.tmall.com/item.htm?id=607908895740&mi_id=0000p_6dXaFGQfzR3lDlnVm67N1jtVi30GH5dNPhf3gS2Es&spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitle. 1. 18522e8d0VNmu5	4.04
螺丝螺母_第二批	https://item.taobao.com/item.htm?spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitle. 1. 69332e8dDoudS3&id=607908895740&mi_id=0000p_6dXaFGQfzR3lDlnVm67JBDRRSN8VWs-346nrmyN08	10.6
角码 2020	https://item.taobao.com/item.htm?spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitle. 1. 69332e8dDoudS3&id=837742599403&mi_id=0000e4MYmUBlZ039DqIwX685Xhmq46CFsw4Z_-xicx1M5uU	11.5
铝型材 L 型配件角码	https://item.taobao.com/item.htm?spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitle. 1. 69332e8dDoudS3&id=717487316197&mi_id=0000ZWbVmNni9JwkcE7JWYnKf9f1CcKm2uxr0j7Dnixon0c4	18.82
纳米胶	https://item.taobao.com/item.htm?spm=tbpc.boughtlist.suborder_itemtitle. 1. 69332e8dDoudS3&id=705014354355&mi_id=0000_Zto_EQ9QBmuso04Z_NRgwbi0L1m2-wTwFsTMy7TsOw	4.71
总价	/	887.61