

自我介绍

田傲飞

天津大学机械工程学院

硕士研究生



目录

CONTENTS

01 基本信息

02 学习情况

03 科研竞赛

04 组织经历

1

基本信息



- 姓 名：田傲飞
- 就读院校：河北工业大学（211）/天津大学（985）
- 专 业：机械电子工程/机械工程
- 预计毕业时间：2025.6
- 研究方向：基于柔顺机构的传感器设计、并联结构设计

- 熟悉材料力学、理论力学等相关力学知识
- 对制造工艺及常用材料有基本了解
- 具备良好的机械结构设计和机械加工工艺理论知识
- 熟练使用Solidworks、Adams、Ansys等软件
- 掌握柔性机构设计理论，有着高精度传感器敏感元件设计经验

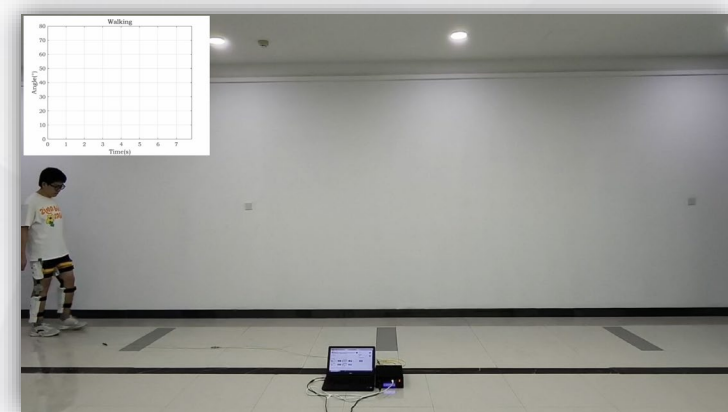
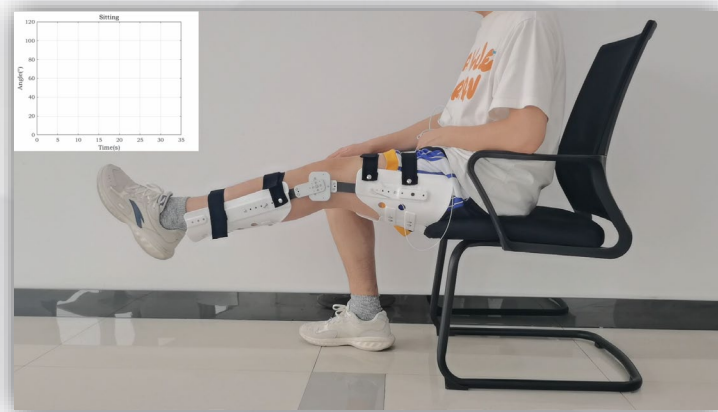
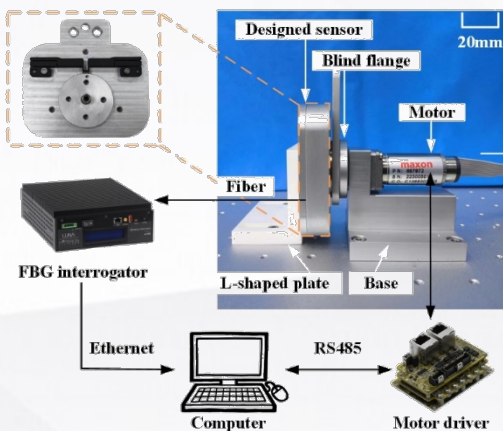
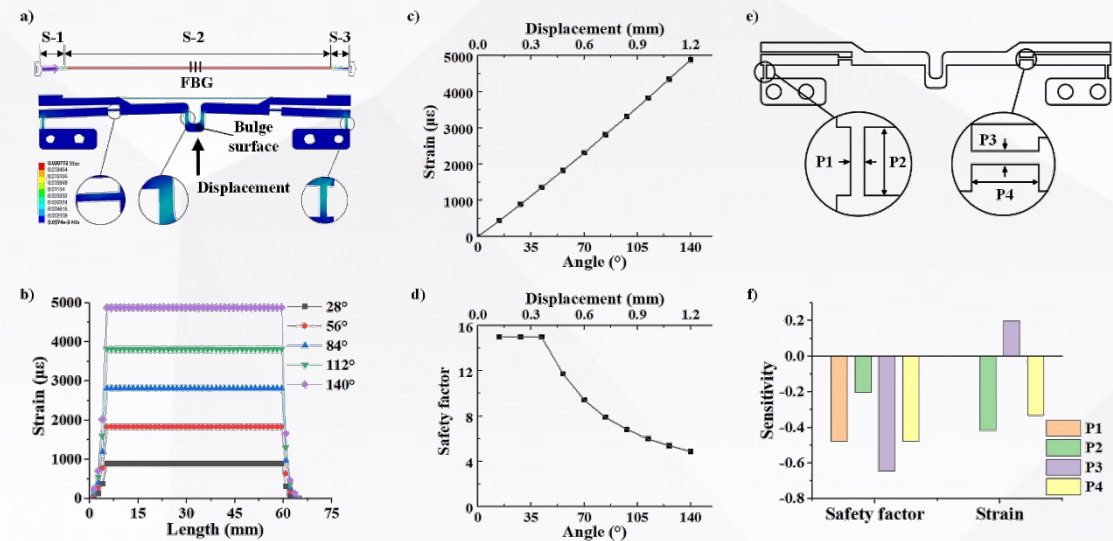
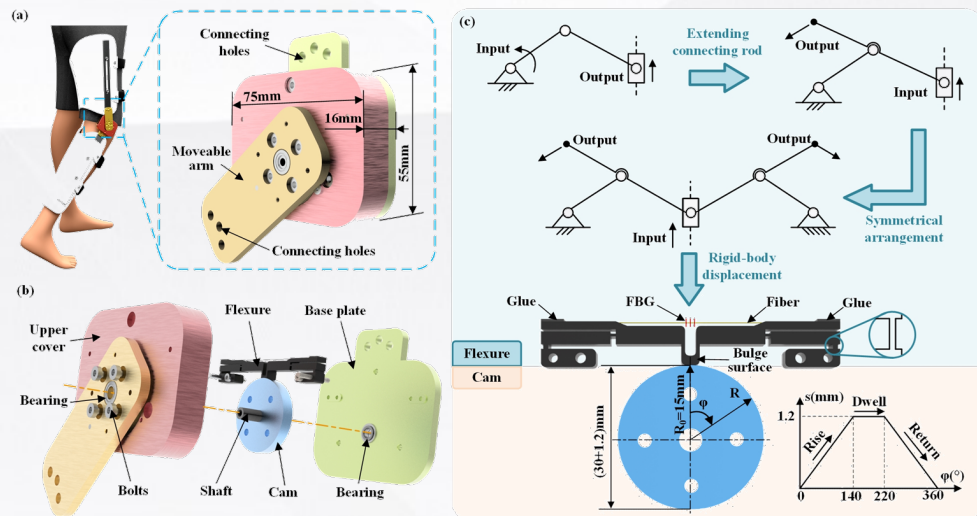
2

学习情况

3

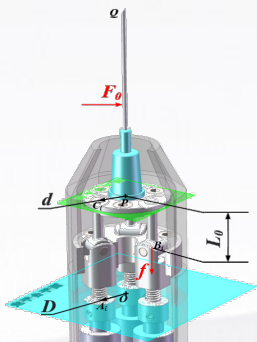
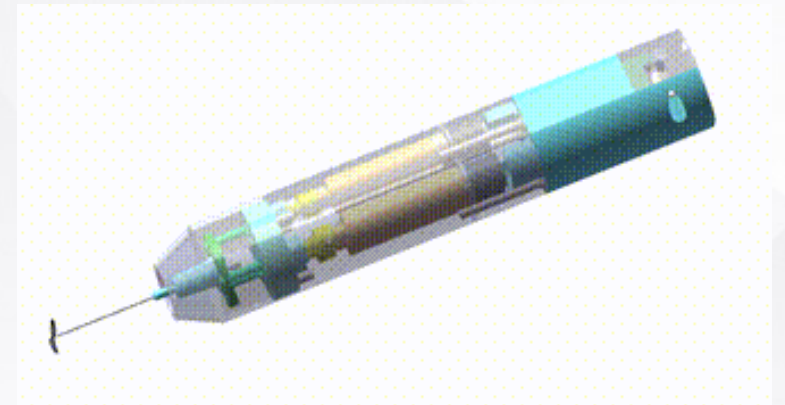
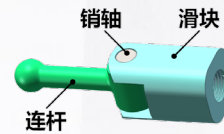
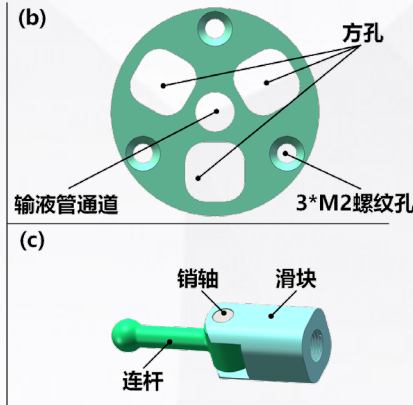
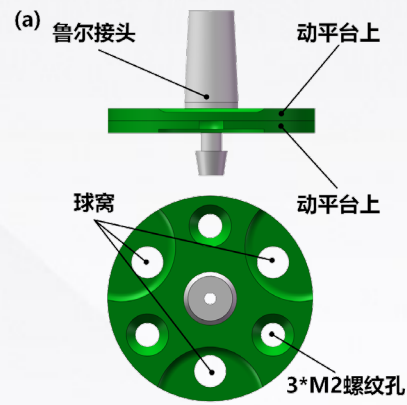
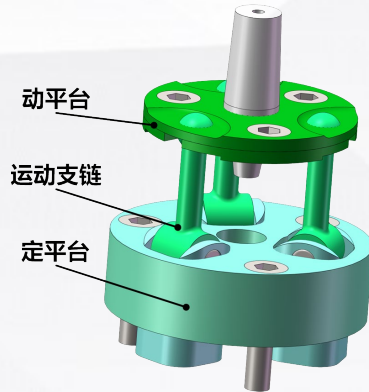
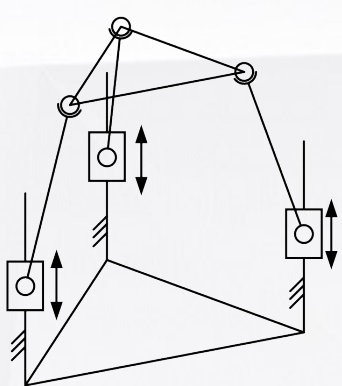
科研竞赛

面向医疗康复的下肢关节角度传感系统的研发

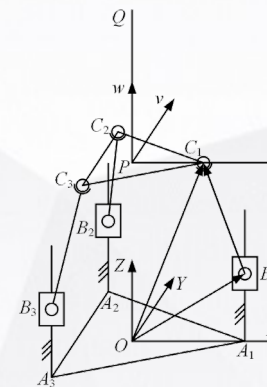
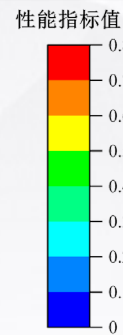
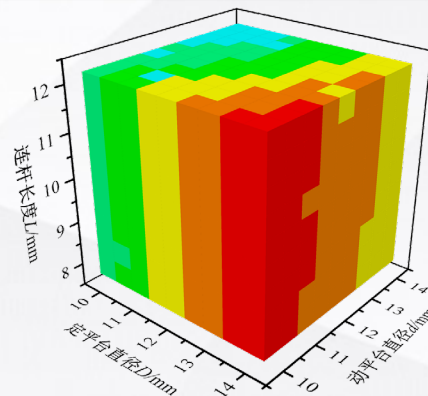
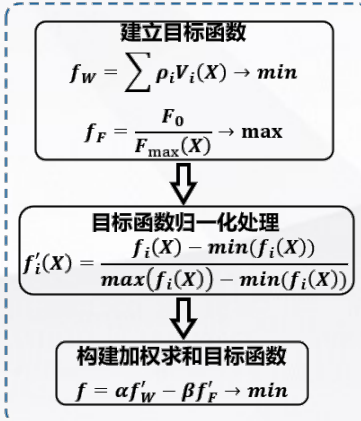


基于柔性结构进行传感器设计，并对其性能进行有限元分析与优化，最终达到 $0.015^{\circ}/\mu\text{m}$ 的分辨率。

基于并联机构的手持式眼科注射机器人设计

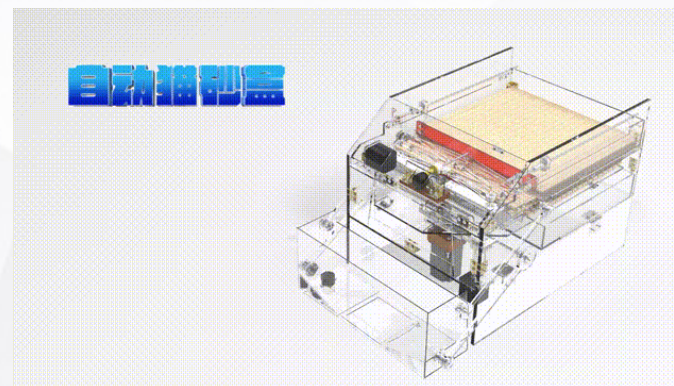
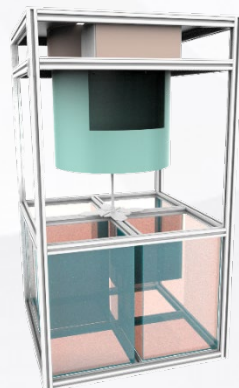
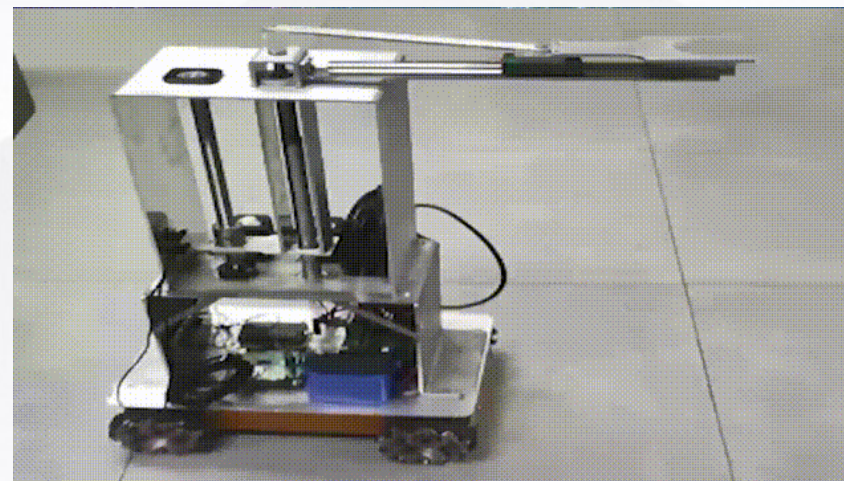
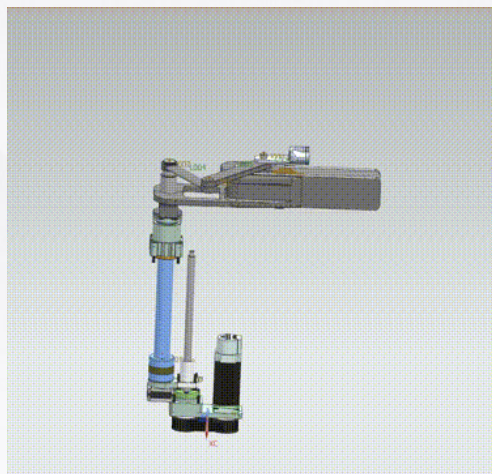
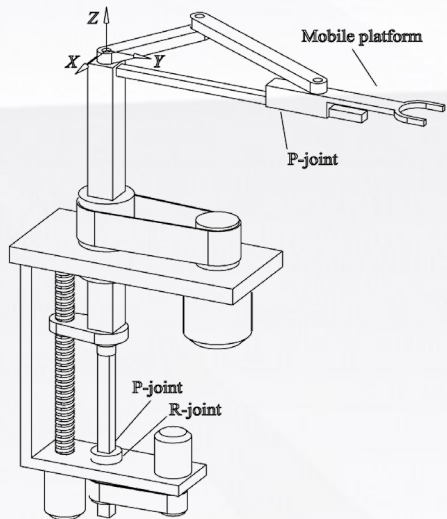


- 定平台直径D
- 动平台直径d
- 连杆长度 L_0



基于3-PRS并联机构完成注射机器人结构设计，并进行多参数优化以及运动学正逆解的计算。

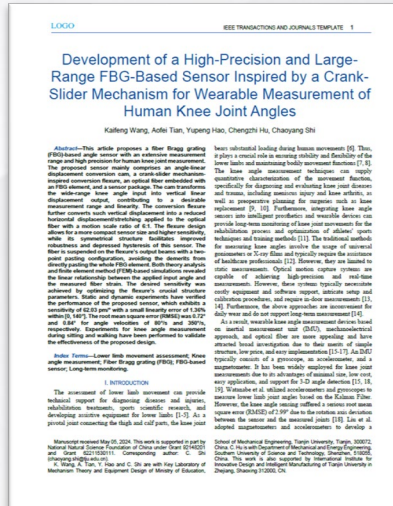
本科竞赛项目



在本科期间积极参加竞赛，期间获得国奖3项，省奖3项，专利2项。

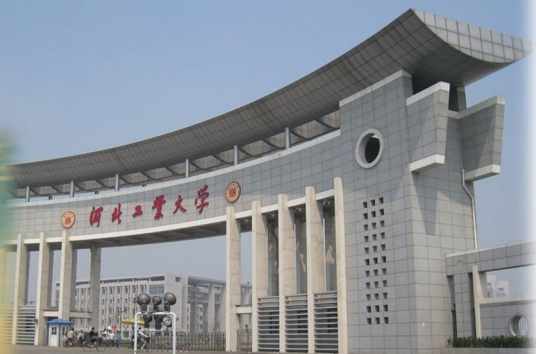
项目成果

- 英文论文1篇，国家级奖项3项，省级奖项3项，发明专利1项，外观专利2项。
- 2021年中国大学生工程实践与创新创新能力大赛银奖
- 第八届中国TRIZ杯创新方法大赛国家二等奖
- 第八届中国TRIZ杯创新方法大赛国家三等奖
- 第四届河北省大学生力学竞赛一等奖
- 2020年河北省机器人大赛省级二等奖
- 第十四届ICAN国际创新创业大赛河北分赛区三等奖
- 发明专利（一种膝关节角度测量传感装置及测量系统，审查阶段）
- 外观专利（自动存取立体车库、物流小车）



4

组织经历



- 河北工业大学机械工程学院机电3班班长
- 河北工业大学青年志愿者协会办公室部长
- 河北工业大学机械工程学院导员助理
- 天津大学机械工程学院机械3班团支书

项目经历简介

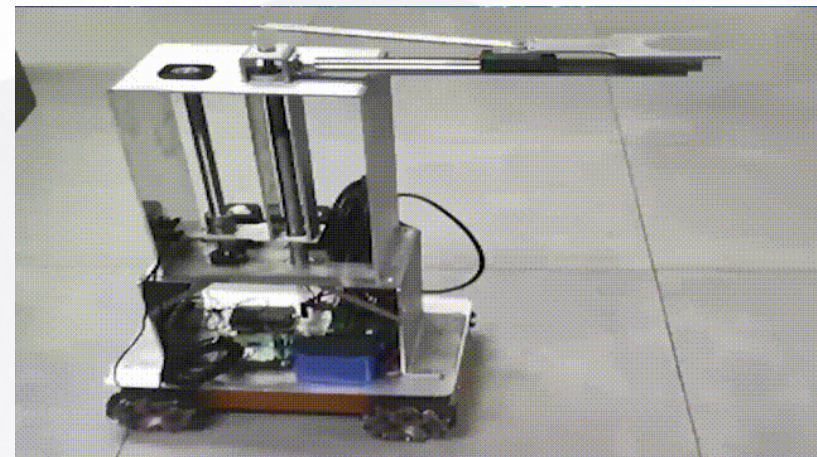
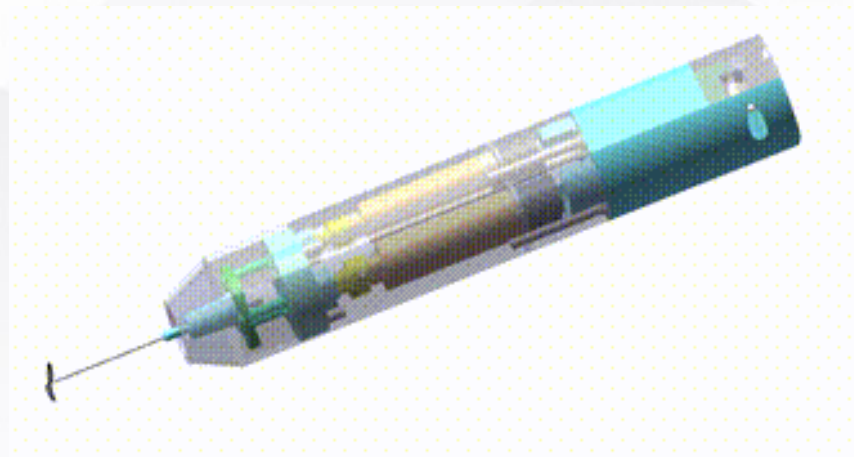
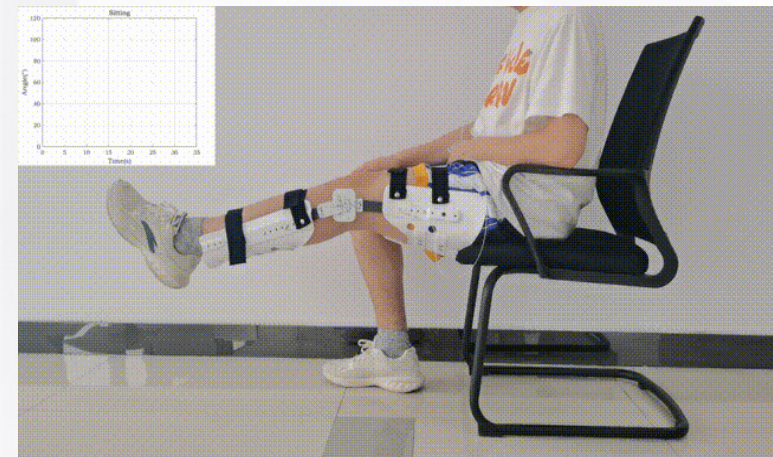
田傲飞

天津大学机械工程学院

硕士研究生

主要项目经历

1. 面向医疗康复的下肢关节角度传感系统的研发
2. 基于并联机构的手持式眼科注射机器人设计
3. 类SCARA机构助老机器人
4. 其他

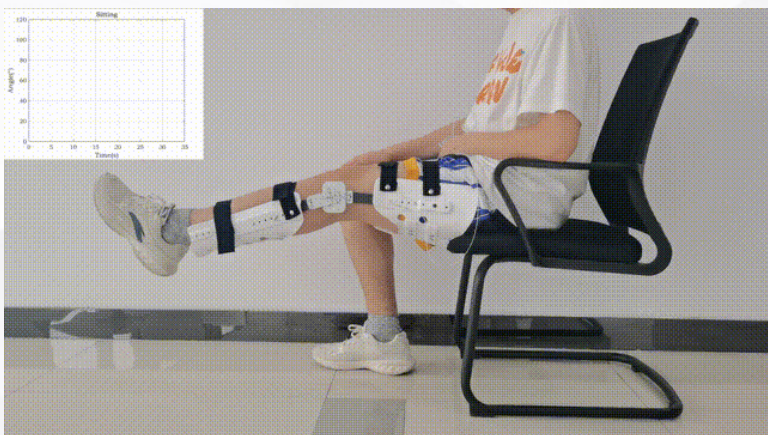


1

面向医疗康复的下肢关节角度传感系统的研发

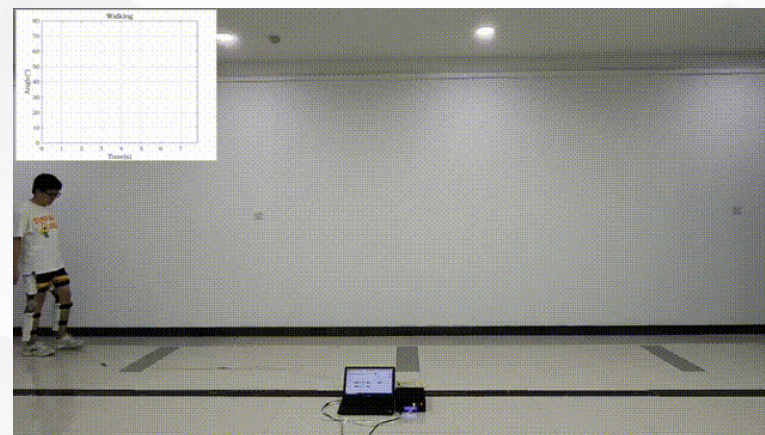
项目内容

1. 基于柔性机构设计理论设计敏感元件
2. 使用Ansys进行静力学仿真，进一步优化敏感元件
3. 其他零件的设计、加工
4. 完成传感器的标定、动态以及穿戴试验



项目技能点

1. 柔性结构设计
2. 有限元分析
3. 机械设计基础知识
4. 传感器标定与性能验证

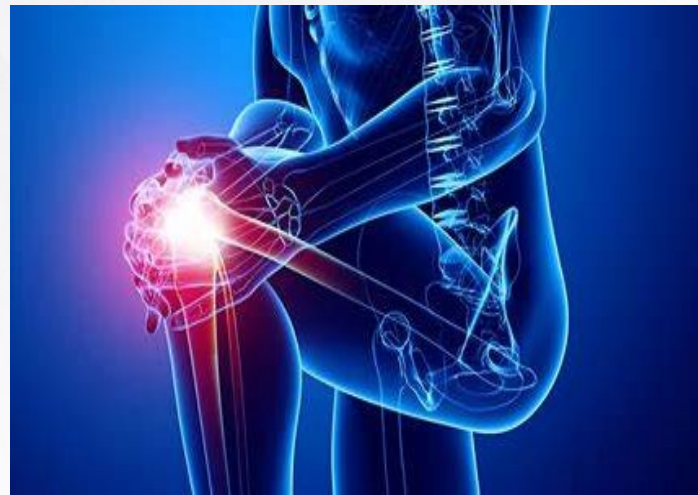




50~80%的脑卒中患者出现**下肢运动功能障碍**

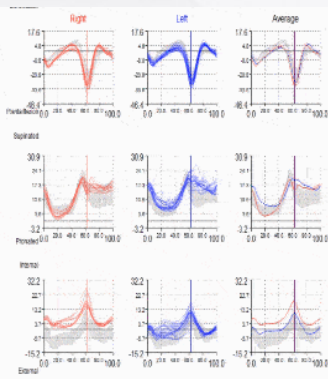
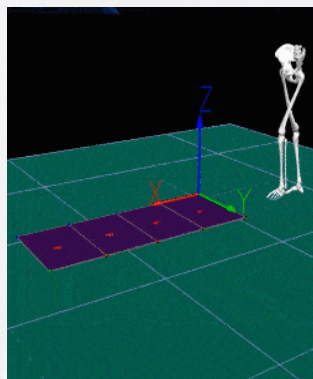


下肢运动功能障碍是**脊髓损伤**常见并发症

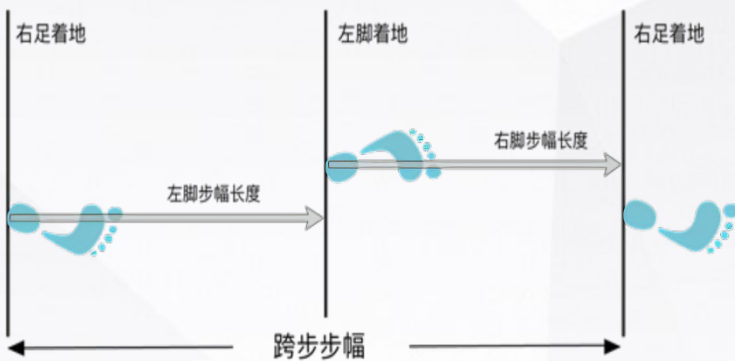


下肢骨科手术后，易产生术后黏连和肌肉萎缩等

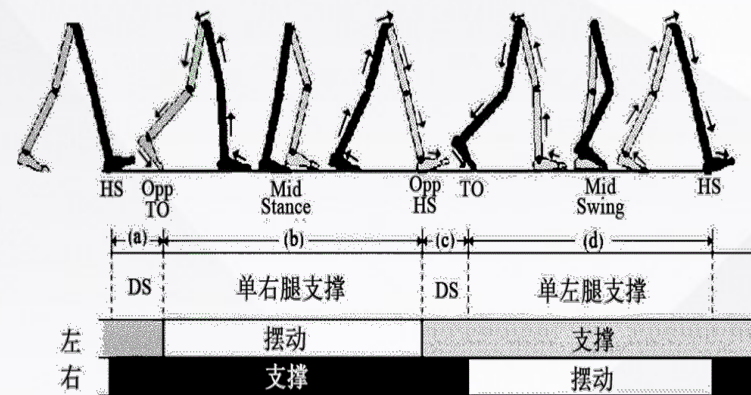
- **脑卒中、脊髓损伤以及下肢骨科疾病**等会导致患者**下肢运动功能障碍**，严重影响患者生活质量
- 康复期间，有效的**运动功能评估**，可以确定患者的**康复效果**，为选择**合适的康复治疗方式**提供依据



步频 (关节角度变化的周期性)



步幅 (关节角度变化幅度与身体各段参数)

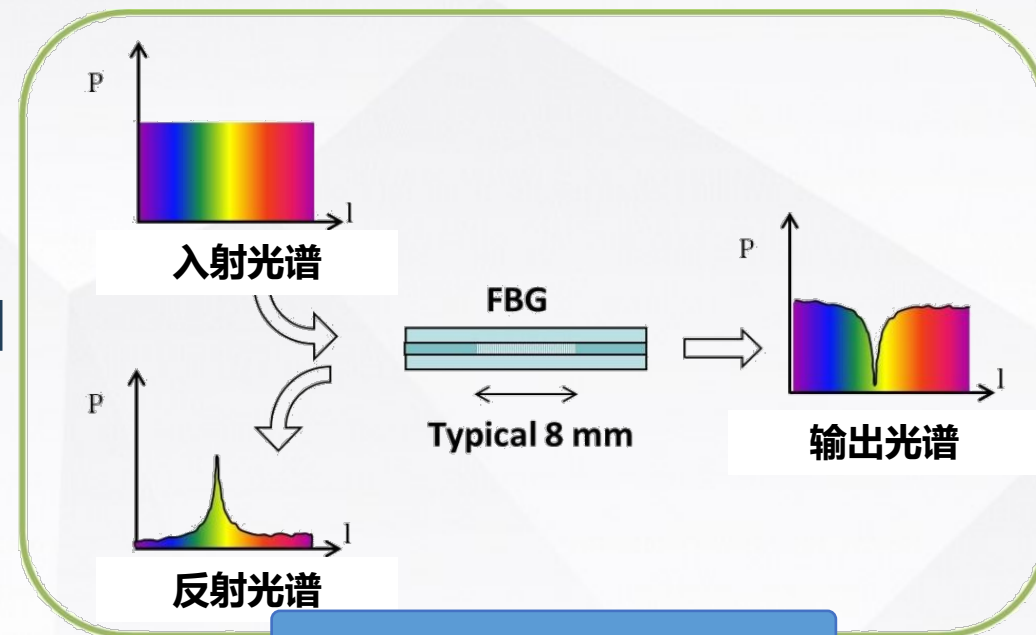


运动时间占比(关节角度不同特征时间占比)

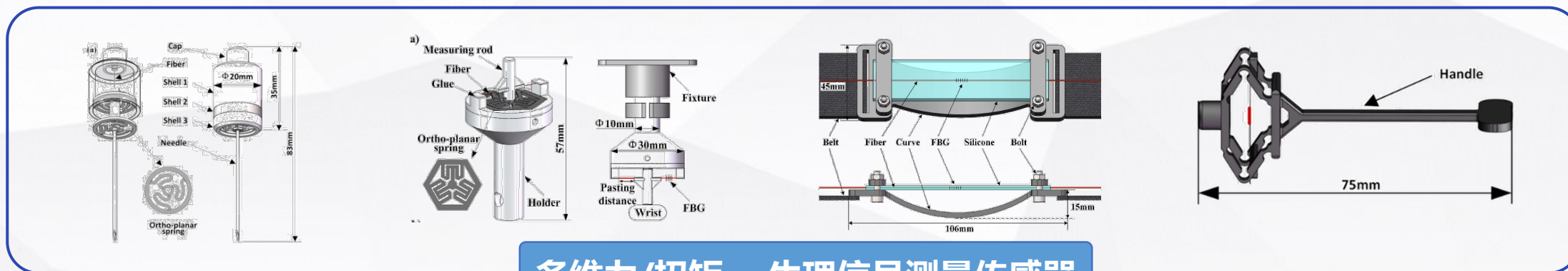
- **关节角度检测**是**运动功能评估**的重要手段，可用于量化**关节运动范围、步频、步幅、下肢运动过程中摆动与站立时间占比**等参数，帮助医生**更准确了解患者情况**。



柔性结构设计



光纤布拉格光栅(FBG)



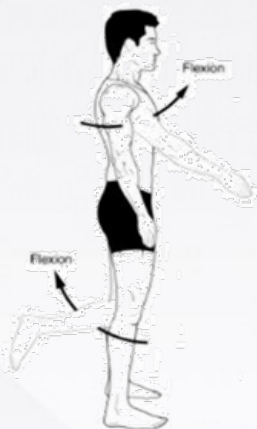
多维力/扭矩、生理信号测量传感器

设计难点

下肢关节运动

运动形式：转动

运动范围：140°左右



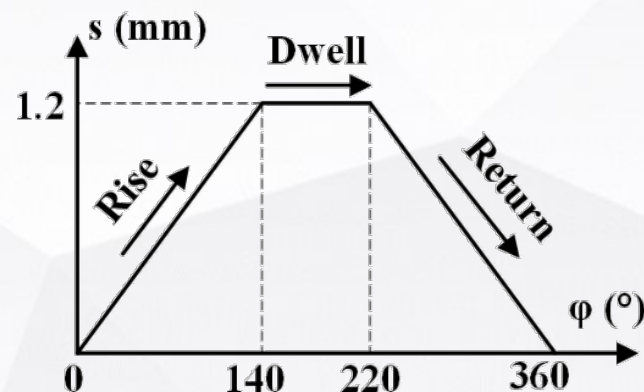
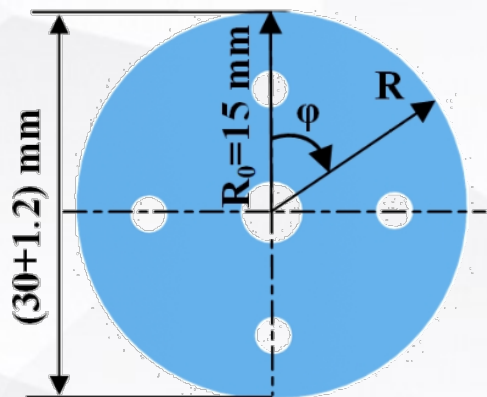
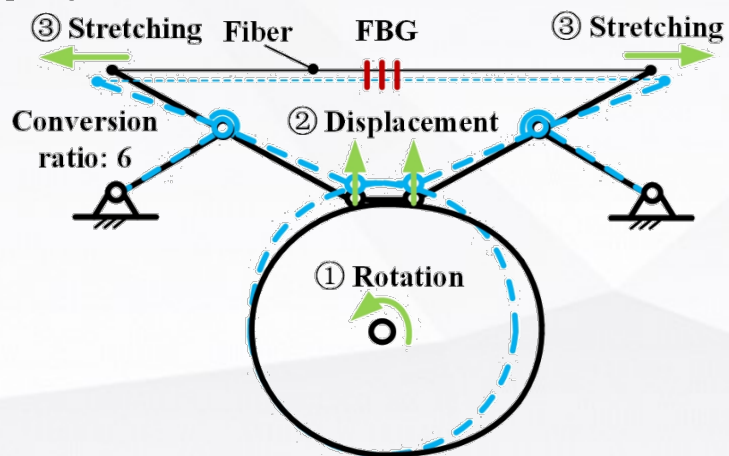
FBG应变

运动形式：平动

应变范围：小于1%

基底材料：SiO₂

技术路线



传感原理

关节大范围转动

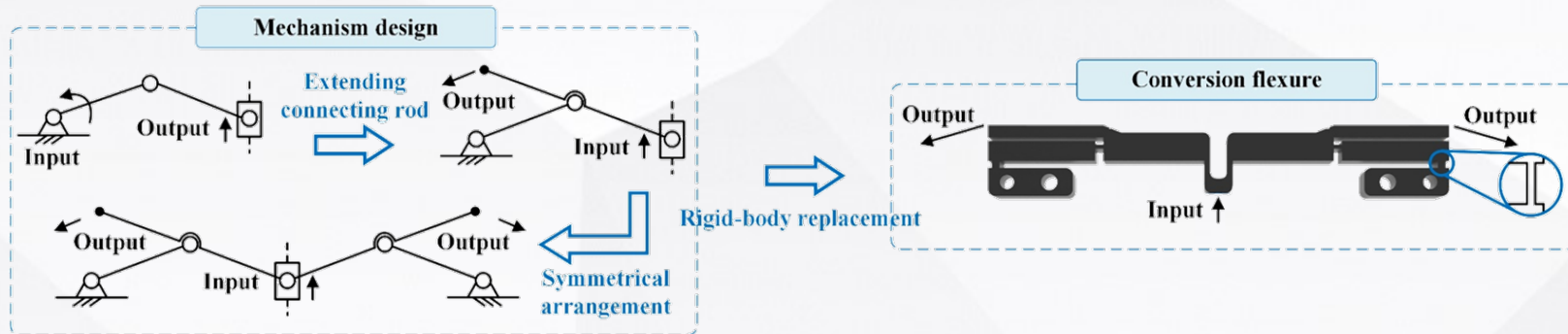
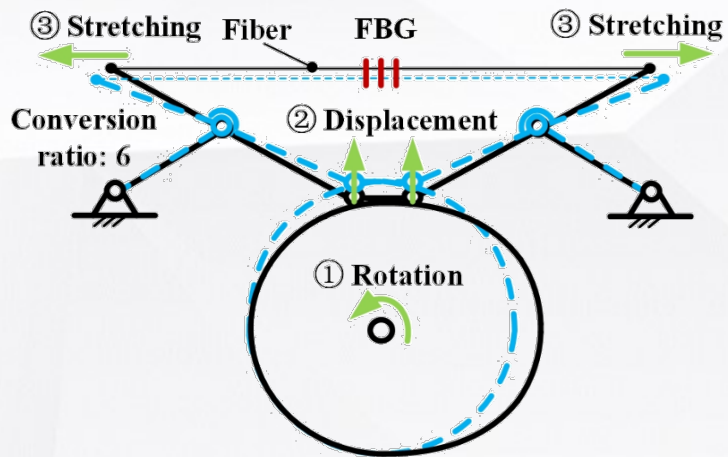
凸轮

小尺寸直线运动

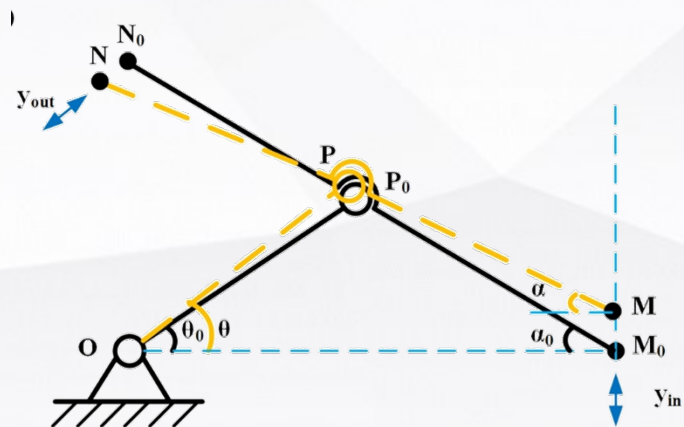
柔性结构

光纤微应变

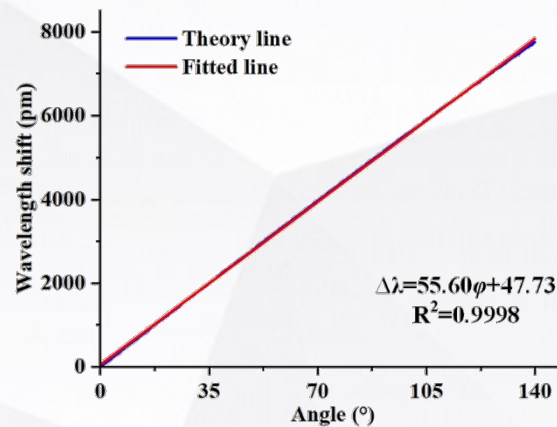
技术路线



柔性结构的特点

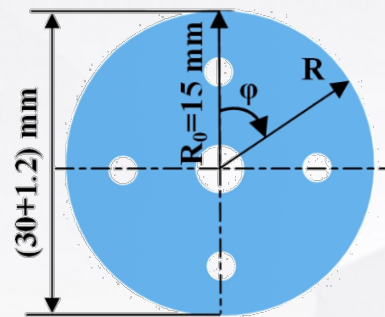
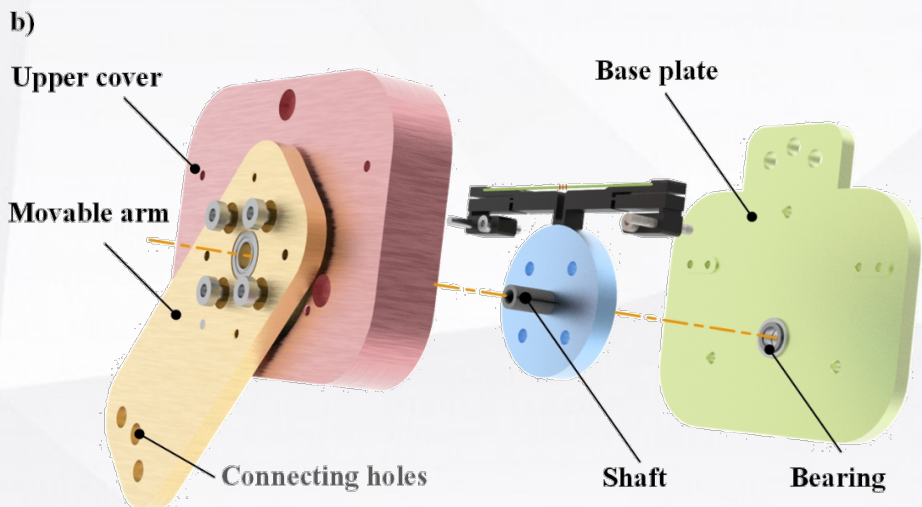
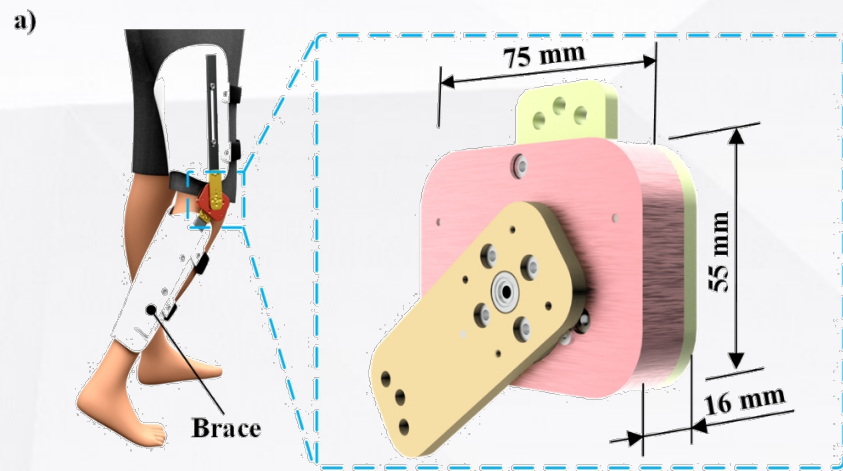


y_{in} 与 y_{out} 垂直



y_{in}/y_{out} 近似定值

结构设计



材料：7075铝
加工方法：线切割慢走丝
结果：表面轮廓度 $10\mu\text{m}$

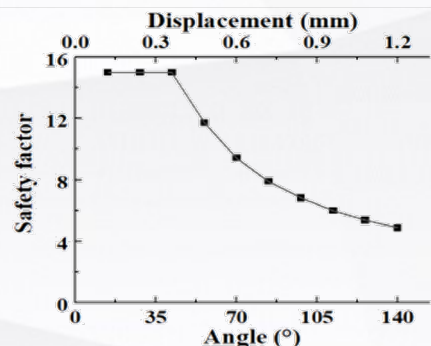
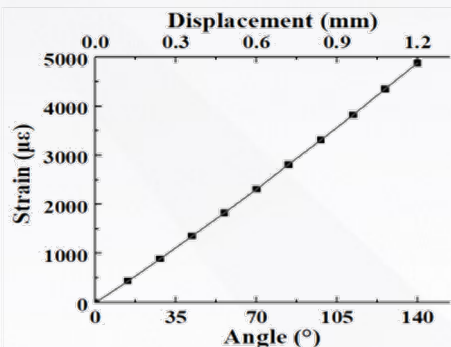
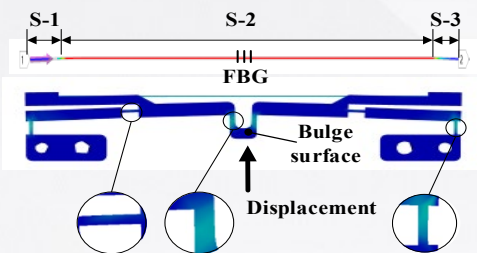
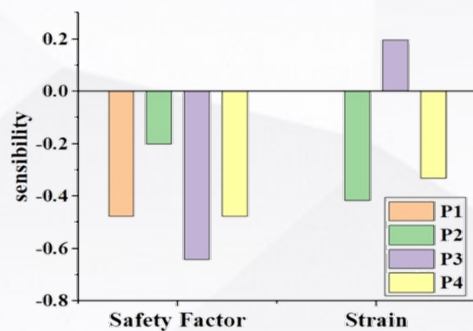
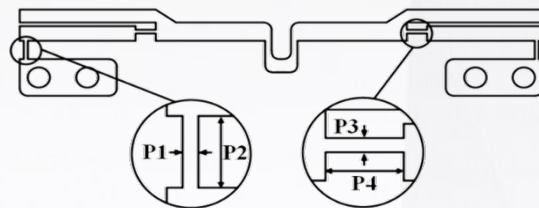


材料：7075铝
加工方法：机加工
结果：良好旋转中心定位精度



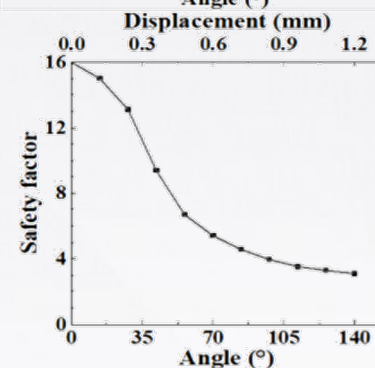
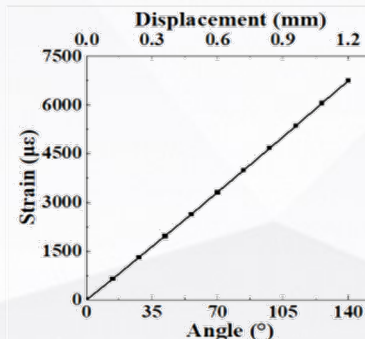
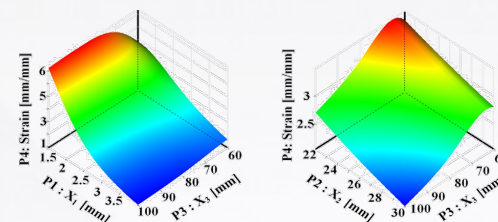
材料：PAHT-CF
加工方法：3D打印
结果：变形能力强

结构验证与优化

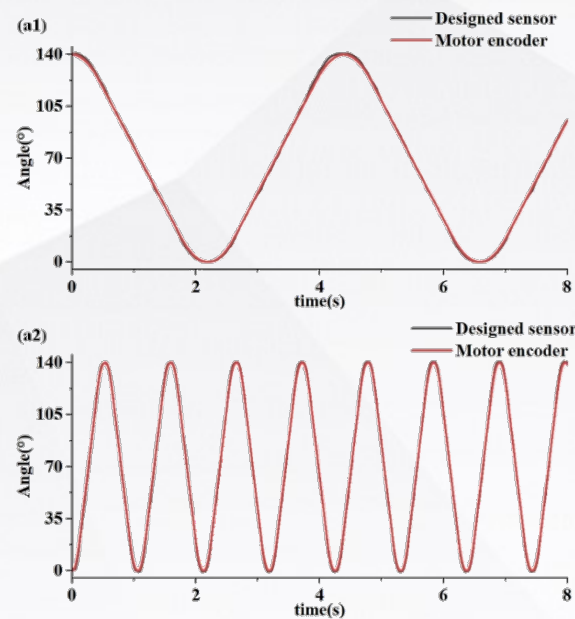
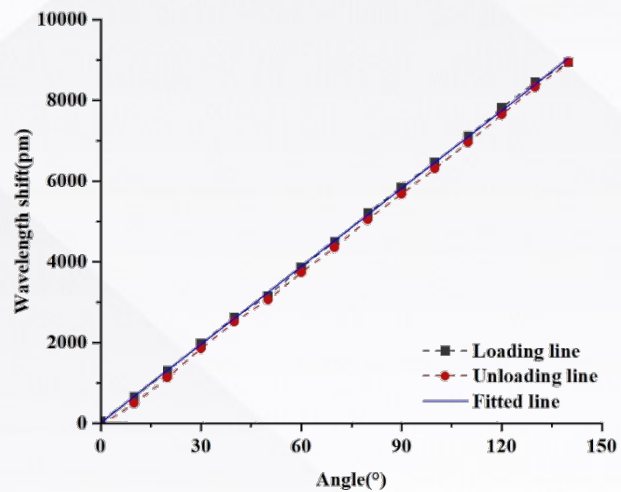
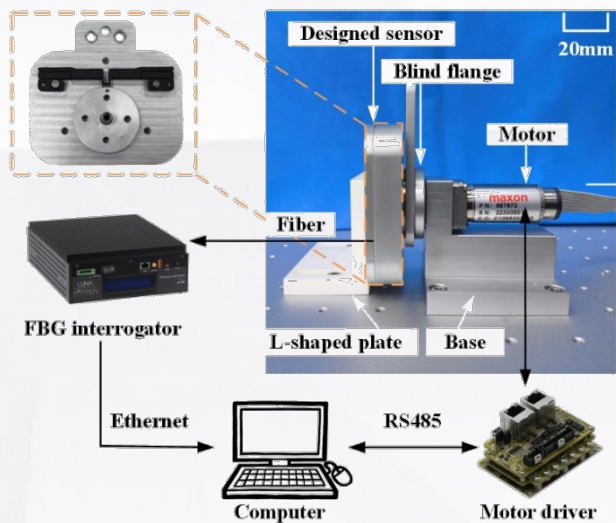
静力学仿真
验证测量性能参数化建模
设计变量灵敏度分析

$$Z = \varepsilon(P) = 0.0067$$

$$\text{subject to } \begin{cases} P_{min} < P < P_{max} \\ \text{Safety factor}(P) > 3 \end{cases}$$

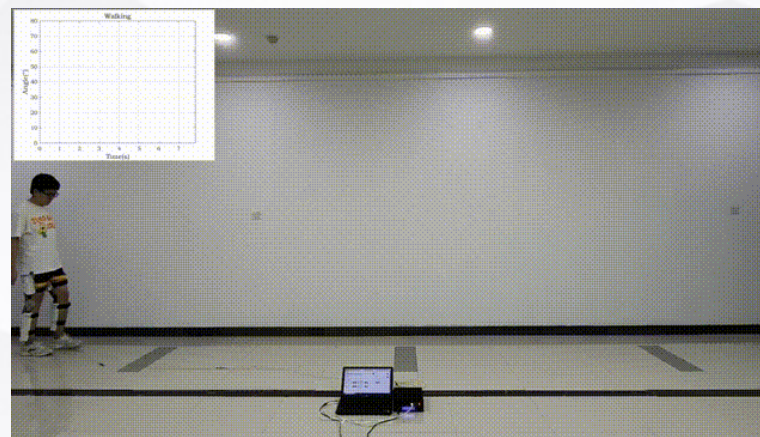
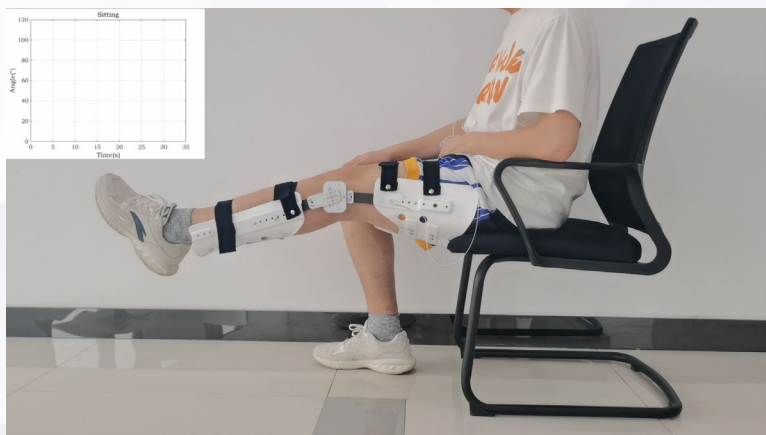
结构优化
优化结果验证

标定与动态实验



分辨率: 0.015°
 线性度: 1.36%
 重复性: 0.54%
 测量误差: 0.78°

穿戴实验



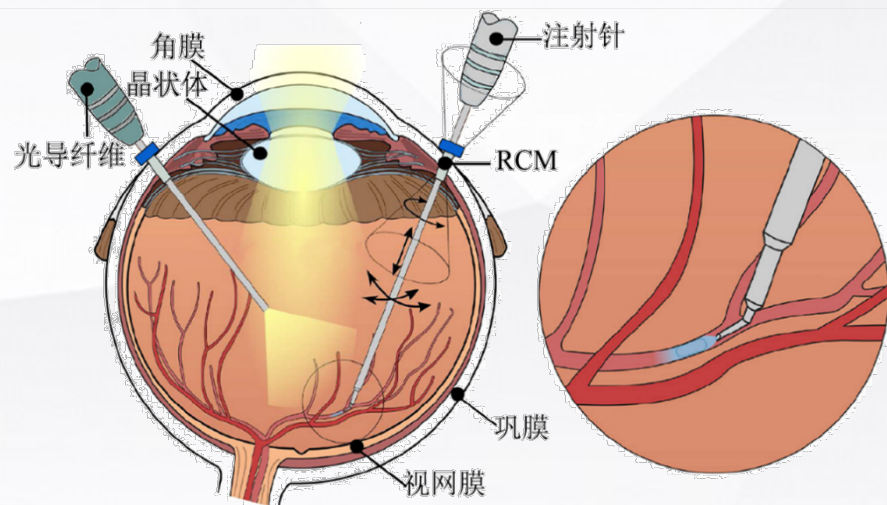
- **英文论文1篇，发明专利1项（审查阶段）。**
- K. Wang, A. Tian, Y. Hao, C. Hu, C. Shi, "Development of a High-Precision and Large-Range FBG-Based Sensor Inspired by a Crank-Slider Mechanism for Wearable Measurement of Human Knee Joint Angles" IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics. (影响因子: 3.9, 学生一作, 在投)
- 一种膝关节角度测量传感装置及测量系统.2024. (一作, 审查阶段)

2

基于并联机构的手持式眼科注射机器人设计

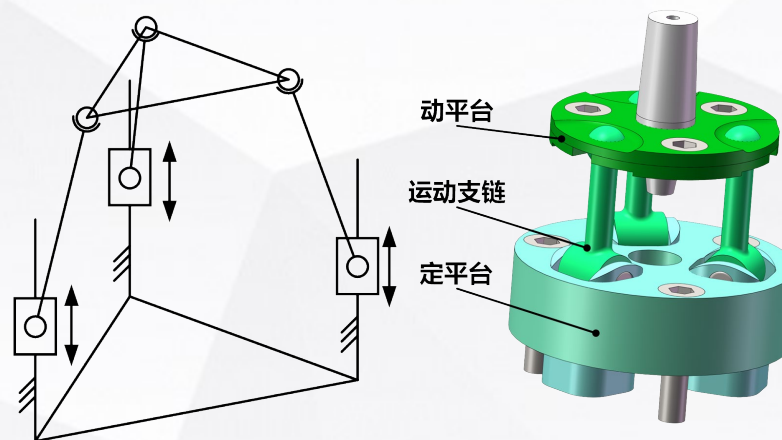
项目内容

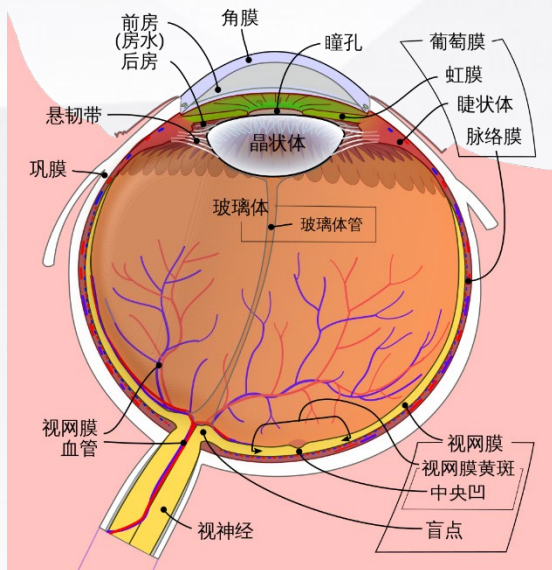
1. 结构与电机选型
2. 3-RPS并联结构运动学建模与静态仿真分析
3. 几何参数多目标优化
4. 样机搭建与精度测量实验



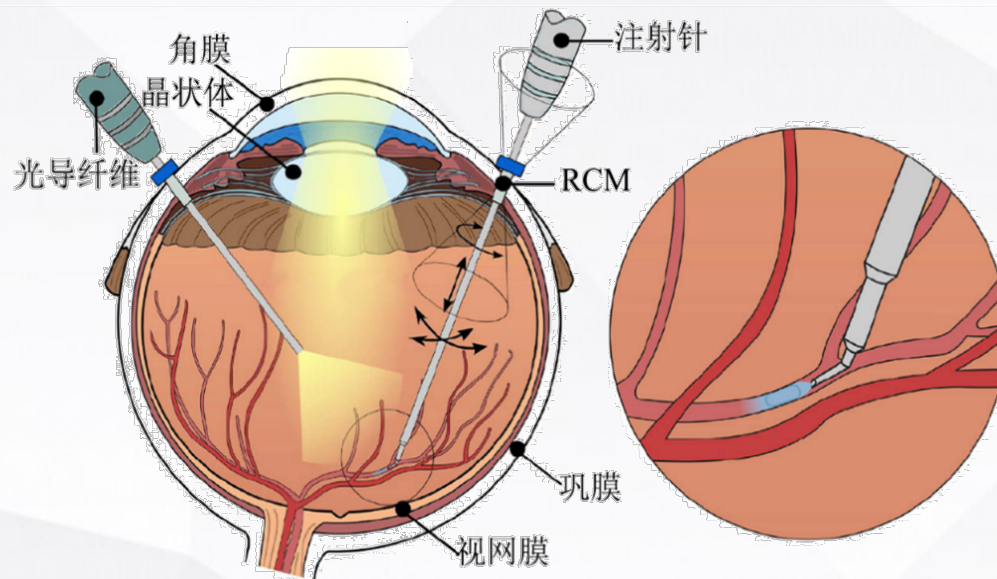
项目技能点

1. 机械设计基础知识
2. 并联结构正逆运动学计算
3. 基于Adams的运动学分析
4. 基于倍福PLC的并联机构控制





眼球结构组成



眼科注射手术示意图

- 视网膜的厚度：100-300 μm
 - 大的手部震颤幅度易在手术过程中造成视网膜损伤
- 医生手部生理性震颤的平均幅度：180 μm

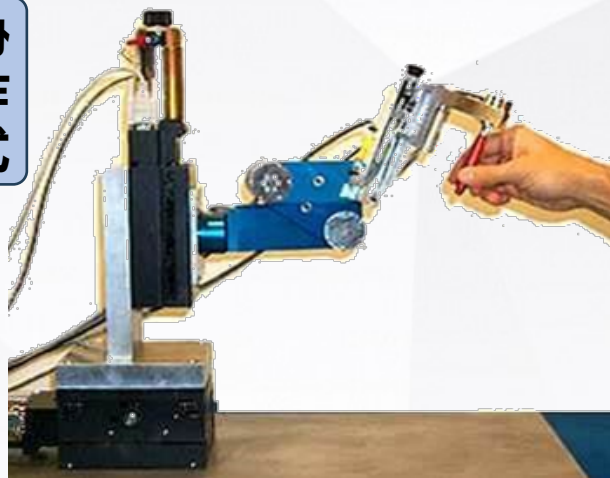
远程操作式



优：运动缩放、触觉反馈、远程手术等
 缺：成本高、体积大、操作不直观等

共享控制式

协作式



优：触觉反馈、稳定性高、主动约束等
 缺：成本高，受惯性摩擦等因素影响大

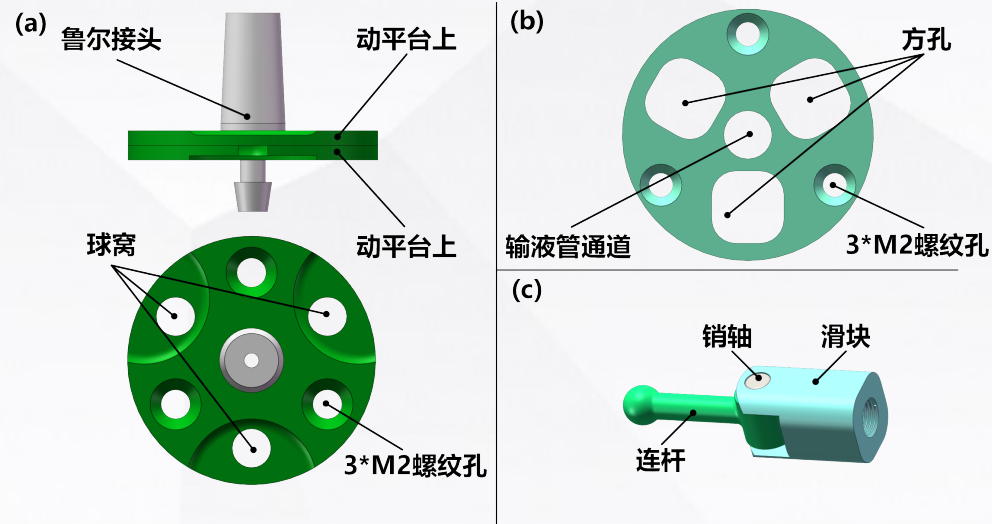
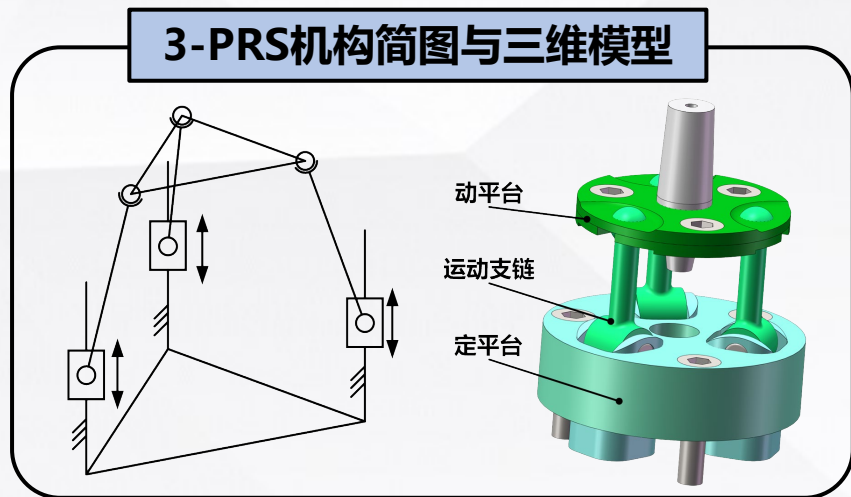
手持式



优：操作直观，成本低，体积小等
 缺：设计集成难度高

- 手持式机器人在**提高手术精度**的同时，还**保留了医生对器械的直接控制**，具有较大优势。

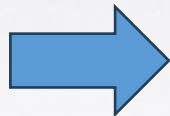
结构设计



◆ 3-PRS并联机构尺寸：动平台直径 15mm；定平台直径 20mm；连杆长度 10mm；球铰直径3mm

结构特点

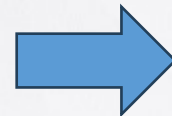
上、下球窝



球副

球状端面

丝杠螺母

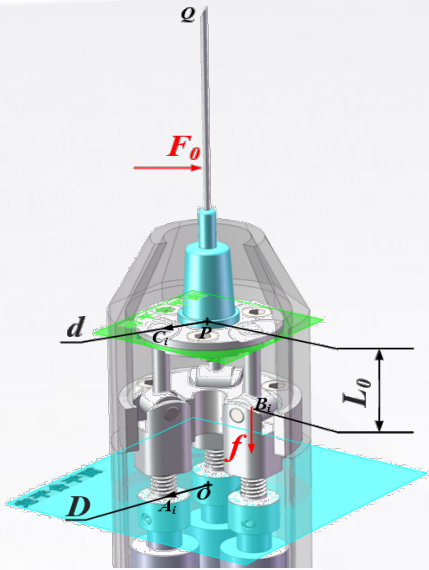


移动副

方孔

尺寸优化

优化参数的选择



- 定平台直径D
- 动平台直径d
- 连杆长度 L_0

目标函数的确立

建立目标函数

$$f_W = \sum \rho_i V_i(X) \rightarrow \min$$

$$f_F = \frac{F_0}{F_{\max}(X)} \rightarrow \max$$

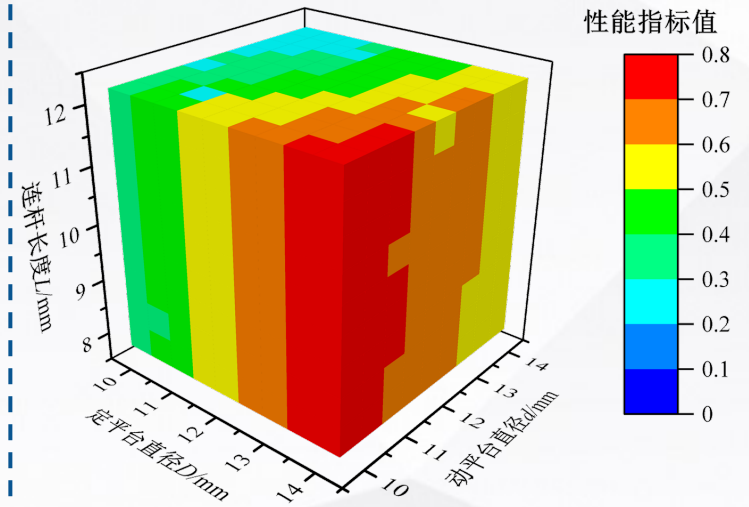
目标函数归一化处理

$$f'_i(X) = \frac{f_i(X) - \min(f_i(X))}{\max(f_i(X)) - \min(f_i(X))}$$

构建加权求和目标函数

$$f = \alpha f'_W - \beta f'_F \rightarrow \min$$

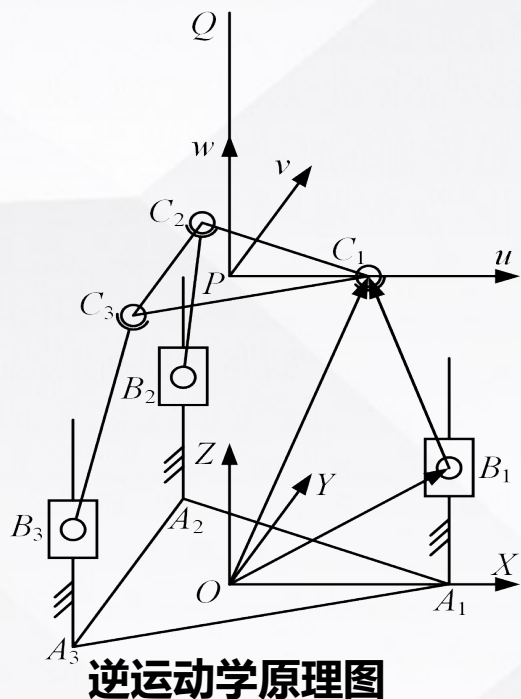
构造响应曲面



几何参数优化结果图

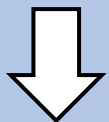
通过几何参数优化，实现器械重量减轻：19.3%，力传递效率提高：26.4%

逆运动学计算

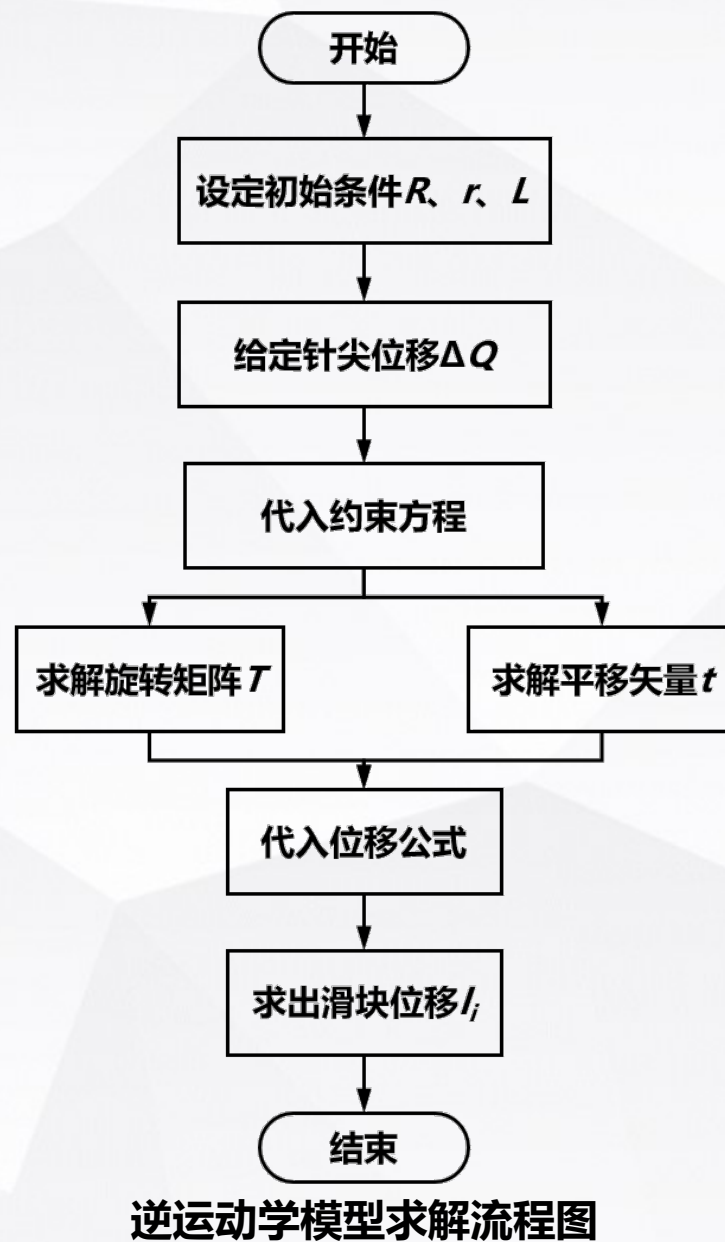


位置矢量法

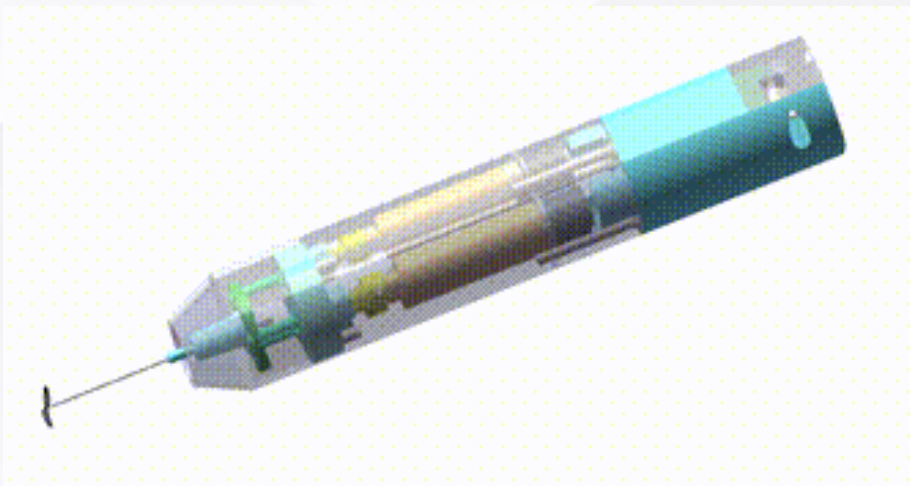
$$\overrightarrow{B_i C_i} = \overrightarrow{O C_i} - \overrightarrow{O B_i}$$



$$l_i = C_{iz} \mp \sqrt{L_0^2 - (C_{ix} - B_{ix})^2 - (C_{iy} - B_{iy})^2} - 12$$

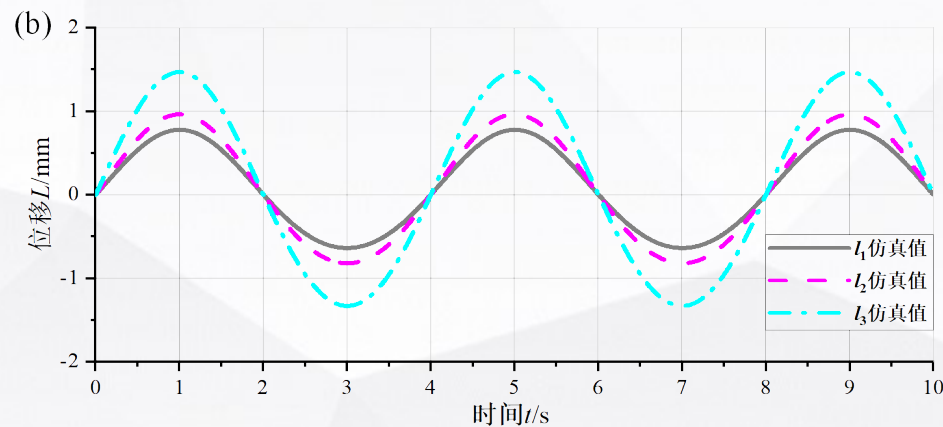
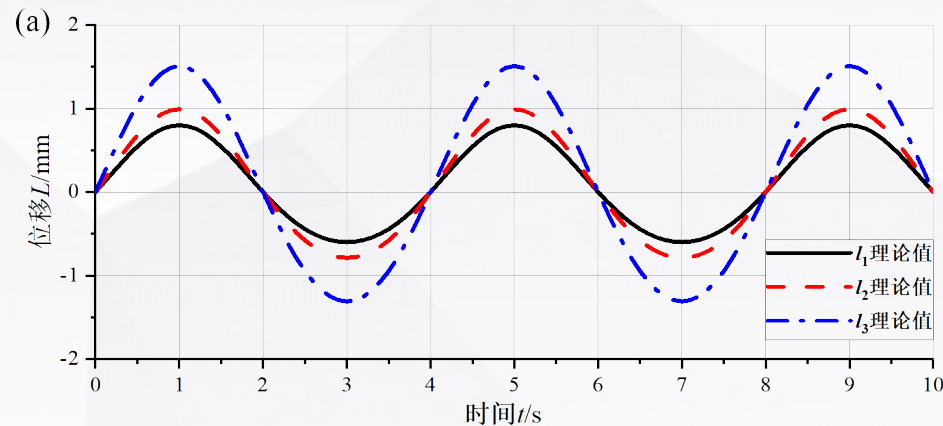


逆运动学验证



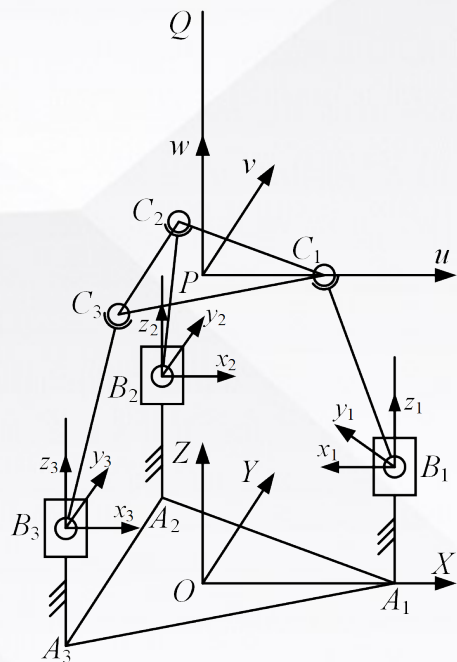
注射针针尖运动方程:

$$\begin{cases} x = 2\sin(0.5\pi t) \\ y = 2\sin(0.5\pi t) \\ z = \sin(0.5\pi t) \end{cases}$$



验证了建立的3-PRS并联机构的逆运动学模型的准确性

正运动学计算



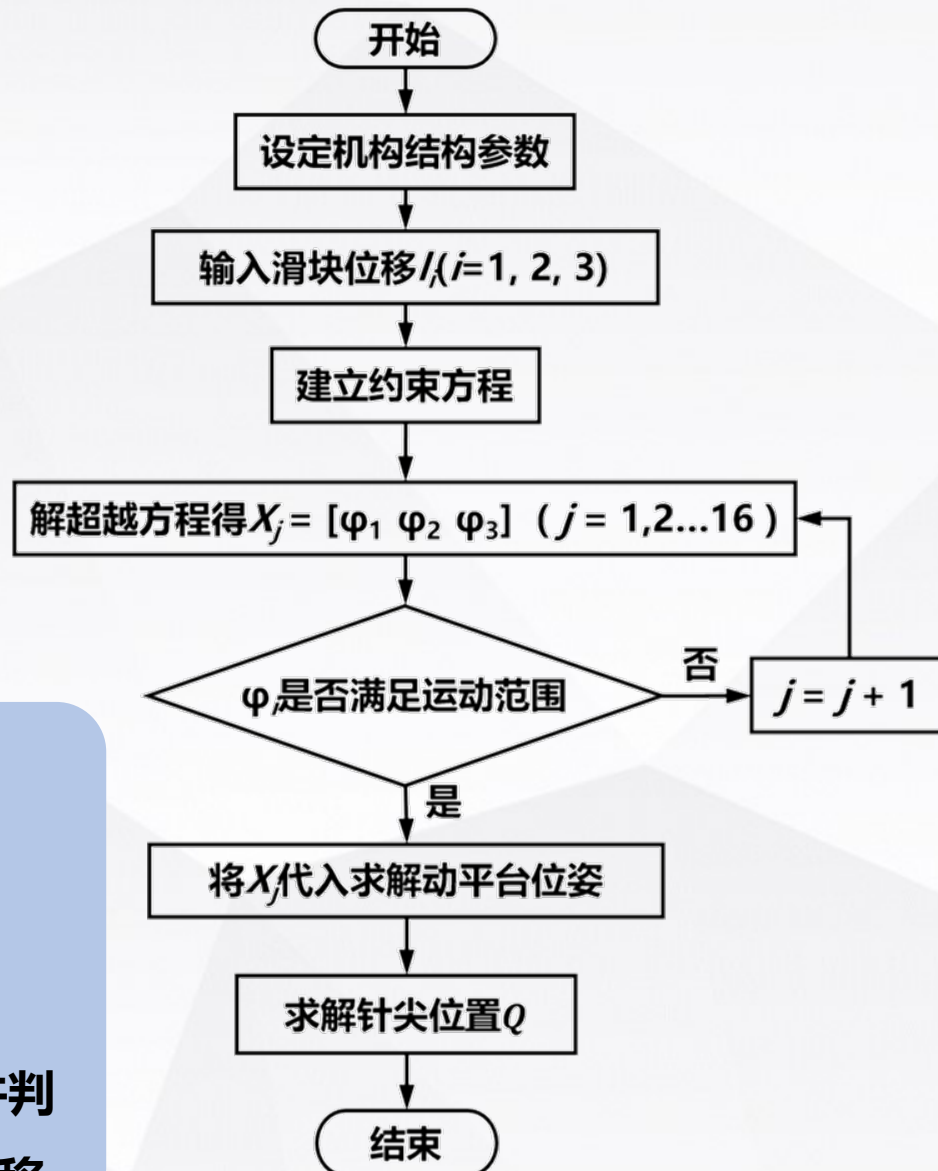
利用三角平台法建立约束方程:

$$(\overrightarrow{C_1 C_2})^2 = 3r^2$$

$$(\overrightarrow{C_2 C_3})^2 = 3r^2$$

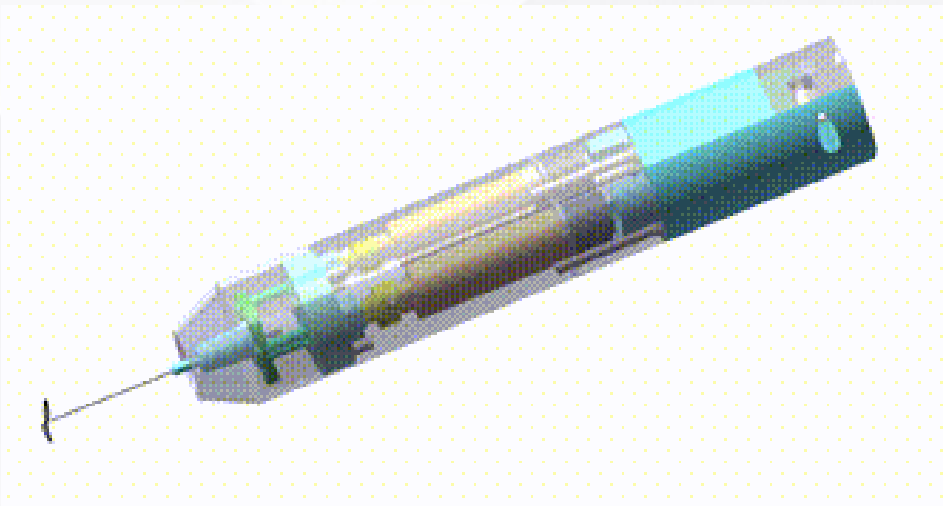
$$(\overrightarrow{C_3 C_1})^2 = 3r^2$$

通过对约束方程变形化简, 转换为16次一元方程求解并判断, 从而求解动平台的位姿 $(X, Y, Z, \alpha, \beta, \gamma)$, 进而计算针尖位移



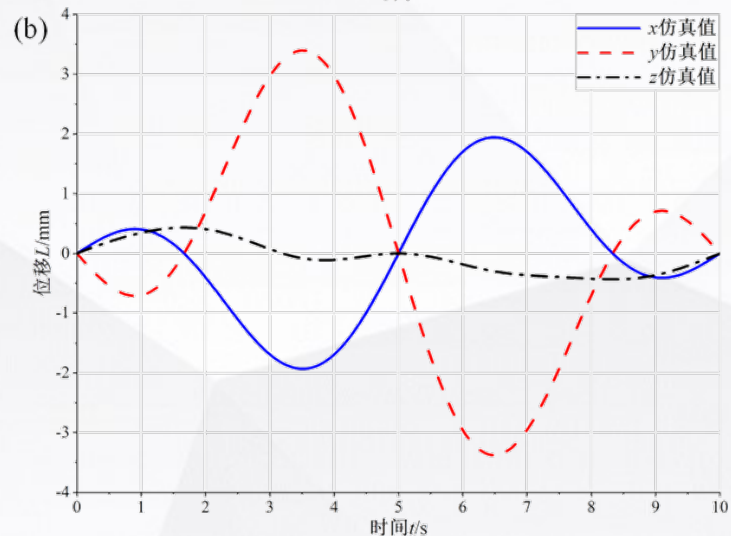
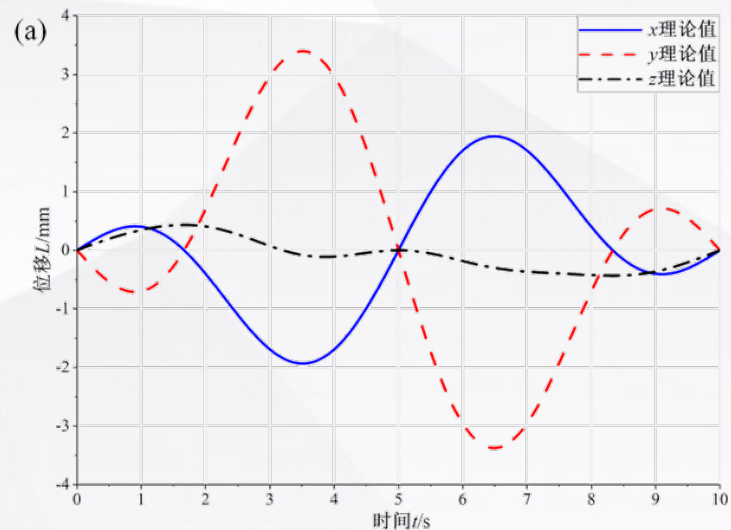
正运动学模型求解流程图

正运动学验证



并联机构三个滑块的运动方程:

$$\begin{cases} l_1 = 0.5 \sin(0.2\pi t) \\ l_2 = 0.5 \sin(0.4\pi t) \\ l_3 = 0.5 \sin(0.2\pi t) \end{cases}$$



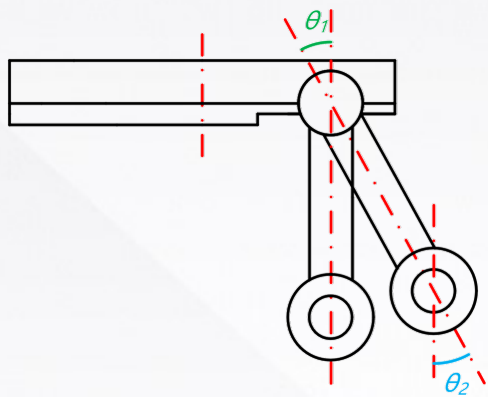
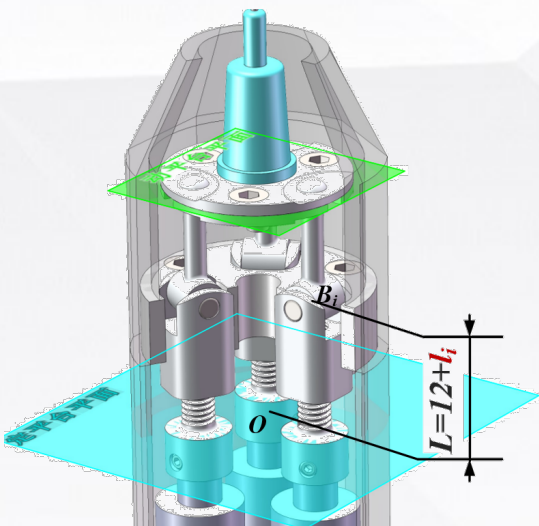
注射针针尖位移曲线图

(a) 理论曲线图; (b) 仿真曲线图

验证了建立的3-PRS并联机构的正运动学模型的准确性。

工作空间验证

约束条件计算



- 滑块行程限制:

$$L_{min} \leq l_i \leq L_{max}$$

- 连杆干涉限制:

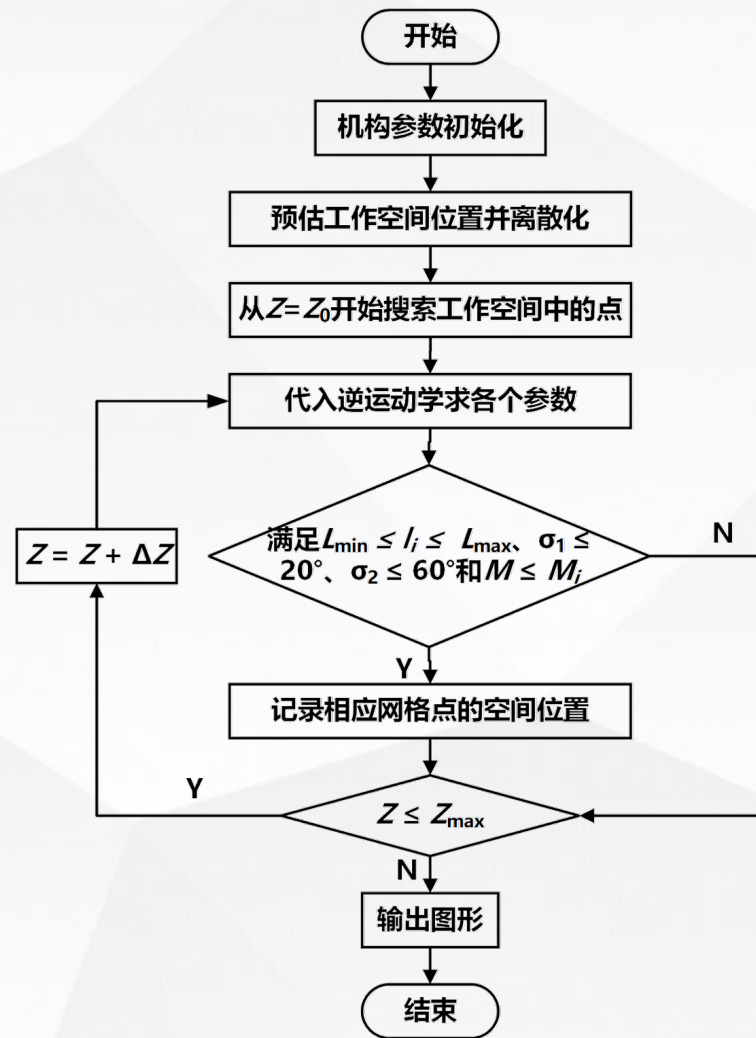
$$M \leq M_i = \left| \frac{S_i \times S_{i+1}}{|S_i \times S_{i+1}|} \cdot (R_{i-1} - R_i) \right|$$

- 球铰转动范围:

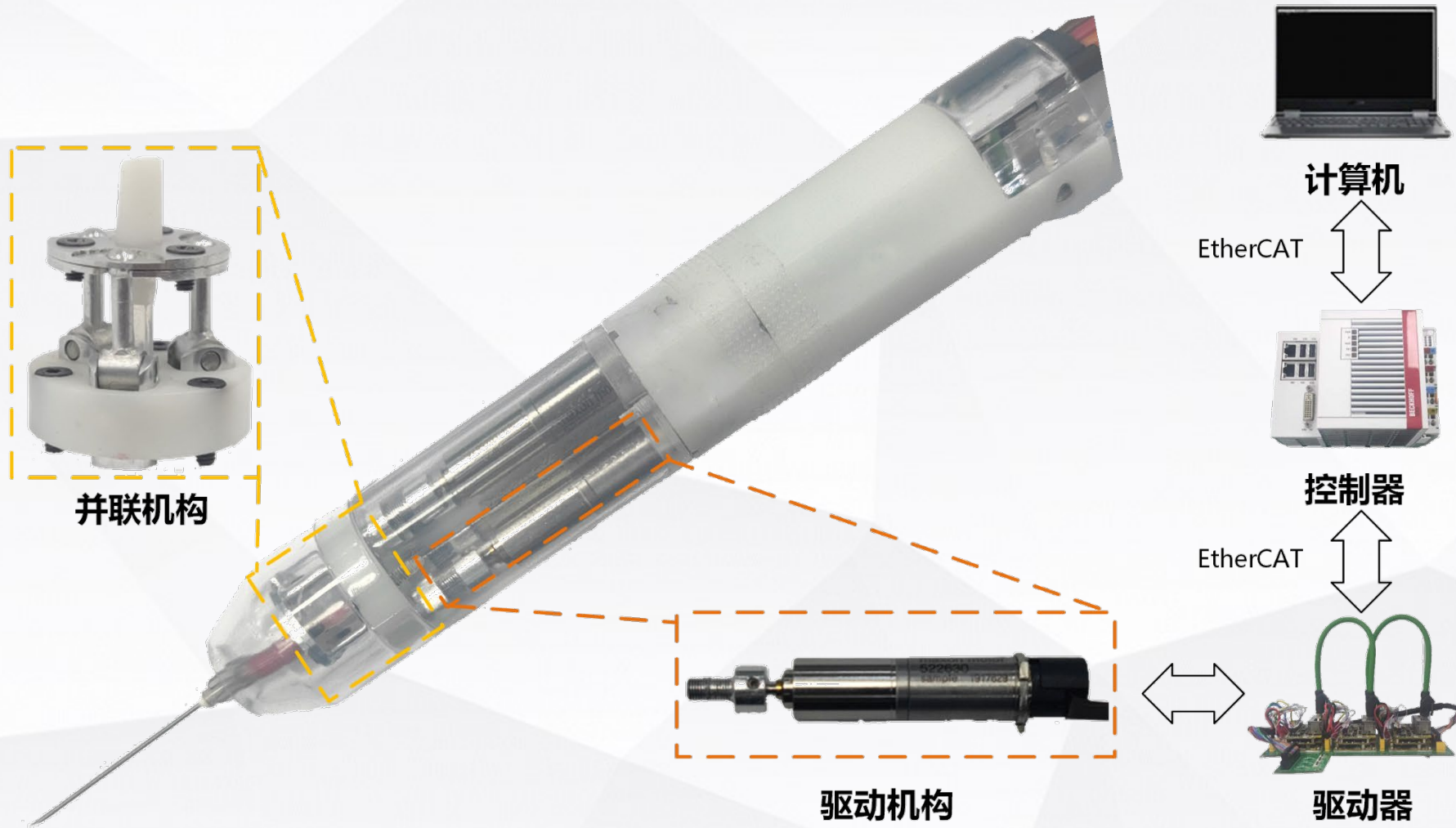
$$\theta_1 = \csc^{-1} \left(\frac{S_i \cdot S_P}{|S_i| |S_P|} \right) \leq 20^\circ$$

- 转动副转动范围:

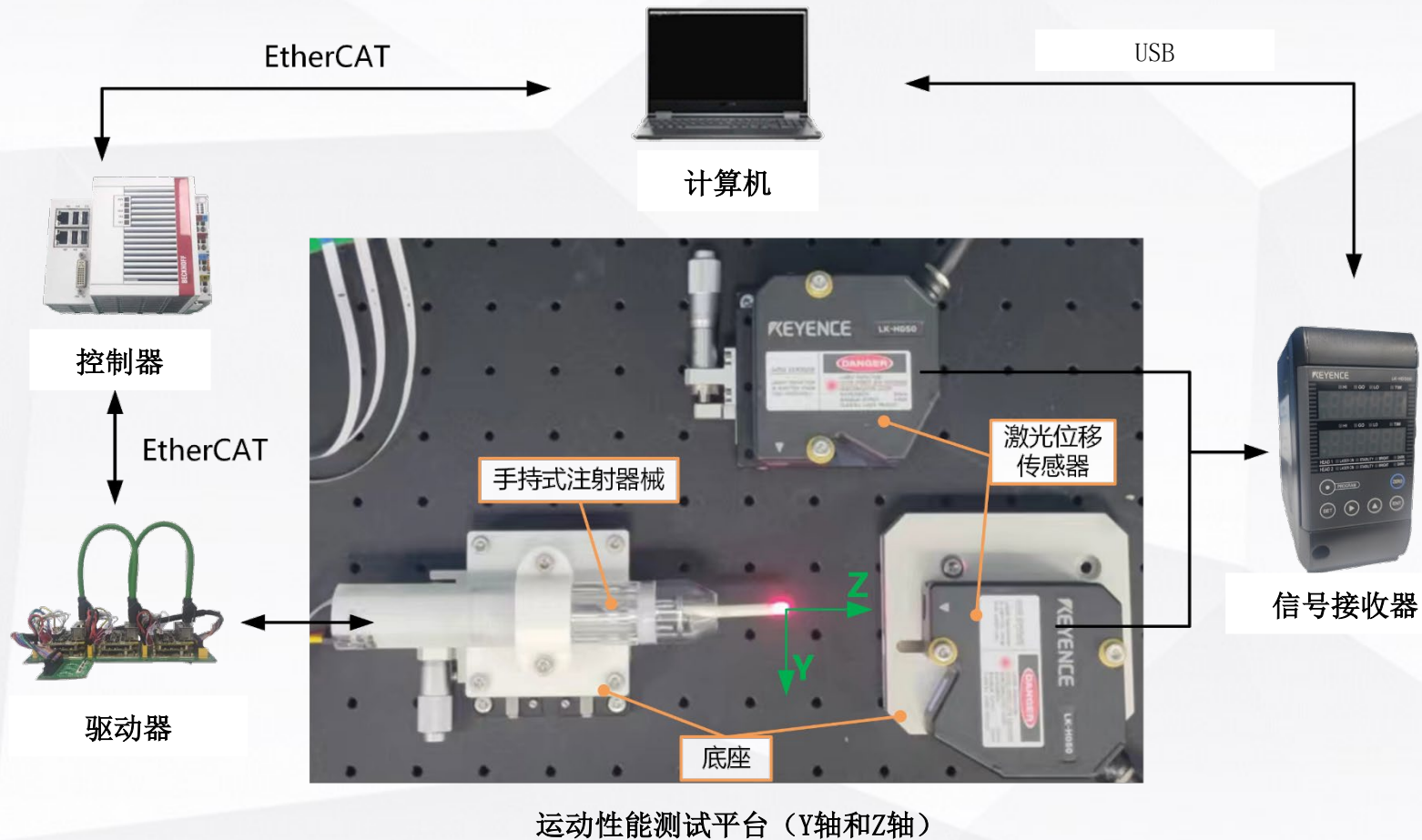
$$\theta_2 = \csc^{-1} \left(\frac{S_i \cdot S_O}{|S_i| |S_O|} \right) \leq 60^\circ$$



工作空间范围能够覆盖 $\varnothing 3 * 3 \text{ mm}^3$ 的空间，符合设计需求

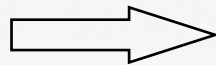


原理样机性能参数：直径23 mm，重量66.5 g，总长132 mm



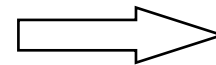
搭建了运动性能测试实验平台，使用激光位移传感器测量器械末端位移

实验一：分辨率实验



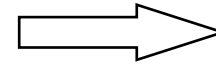
测试手持式器械的分辨率，
验证机构实现精密运动的能力。

实验二：位置精度实验



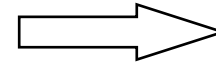
测试手持式器械的位置精度，
验证运动模型的精确度。

实验三：重复定位精度实验



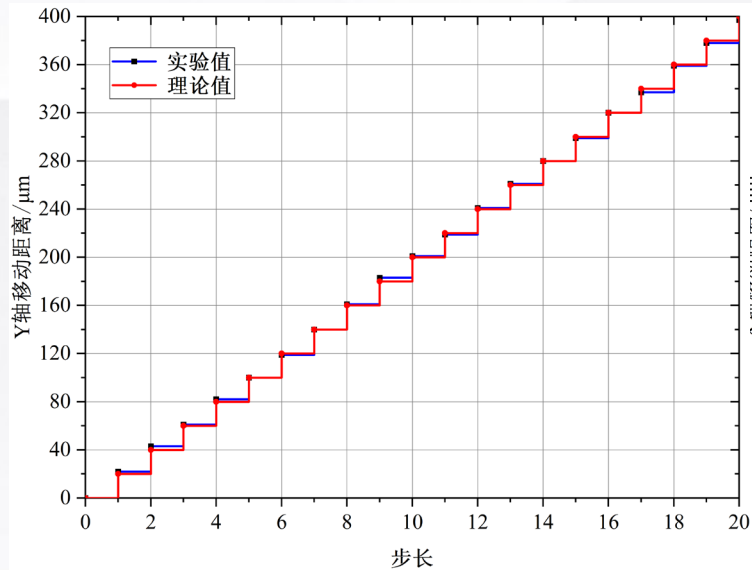
测试手持式器械的重复定位精度，
验证机构运动的稳定性。

实验四：眼球模型模拟实验

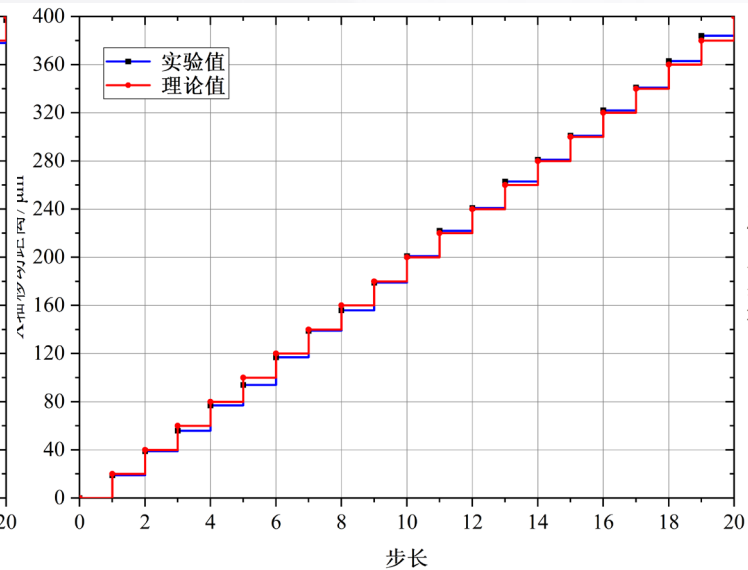


测试手持式器械的注射功能，
验证设计的可行性。

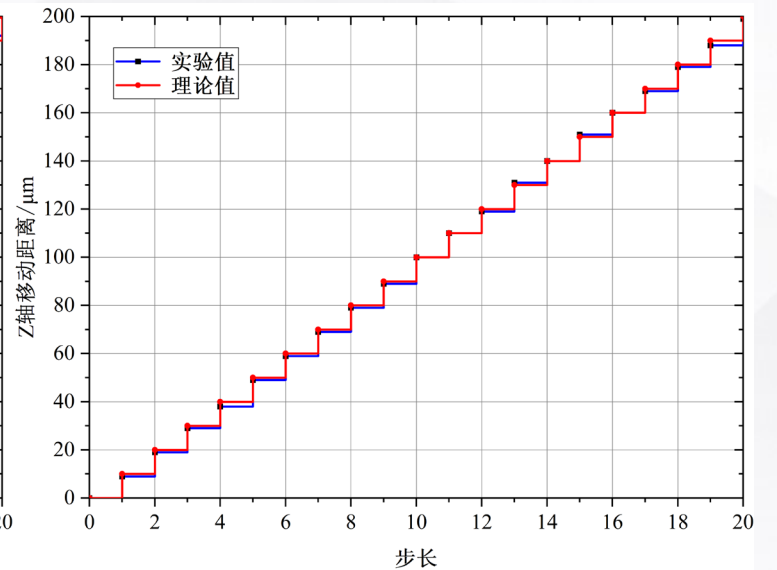
为验证机构实现精密运动的能力，测量器械末端三个方向的移动分辨率



X轴方向的移动分辨率



Y轴方向的移动分辨率



Z轴方向的移动分辨率

方向	X轴	Y轴	Z轴
实际分辨率(μm)	19.95 ± 1.596	20.20 ± 1.833	9.95 ± 0.865
理论分辨率(μm)	20	20	10

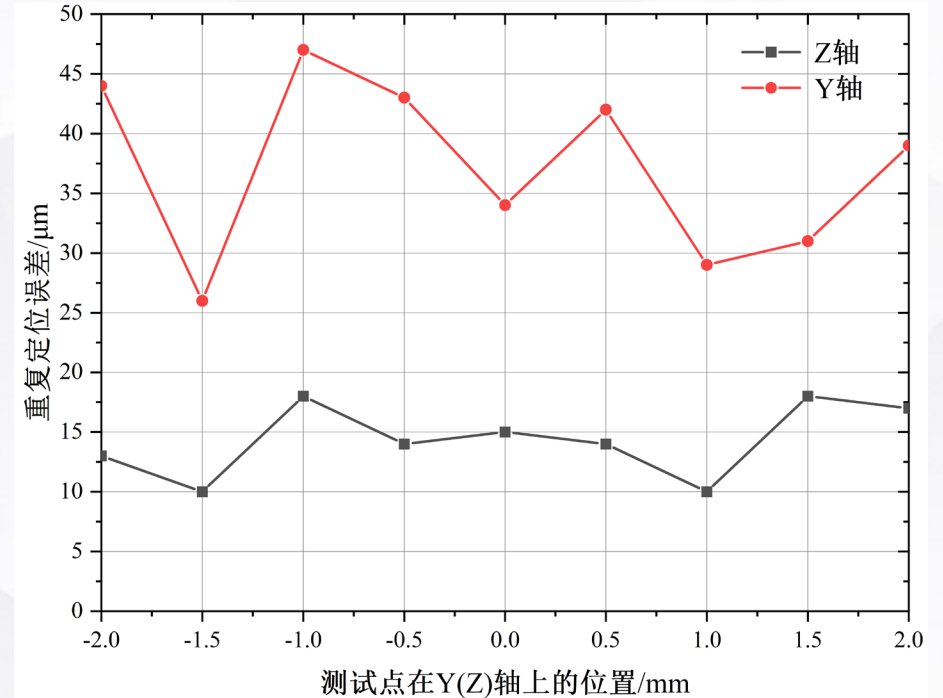
实际分辨率的标准偏差均在10%以内，机构可以实现预期的精密运动

运动模型验证实验

- (1) 工况1: 滑块位移量为: $[L_1, L_2, L_3] = [-0.138, 0.088, 0.088]$
- (2) 工况2: 滑块位移量为: $[L_1, L_2, L_3] = [0.013, -0.117, 0.142]$
- (3) 工况3: 滑块位移量为: $[L_1, L_2, L_3] = [1.000, 1.000, 1.000]$

针尖位移		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
工况1	理论值	1.0000	0	0
	实际值	0.9221	-	-
	误差	7.79%	-	-
工况2	理论值	0	1.0000	0
	实际值	-	0.9426	-
	误差	-	5.74%	-
工况3	理论值	0	0	1.0000
	实际值	-	-	1.0075
	误差	-	-	0.75%

重复定位精度测量实验

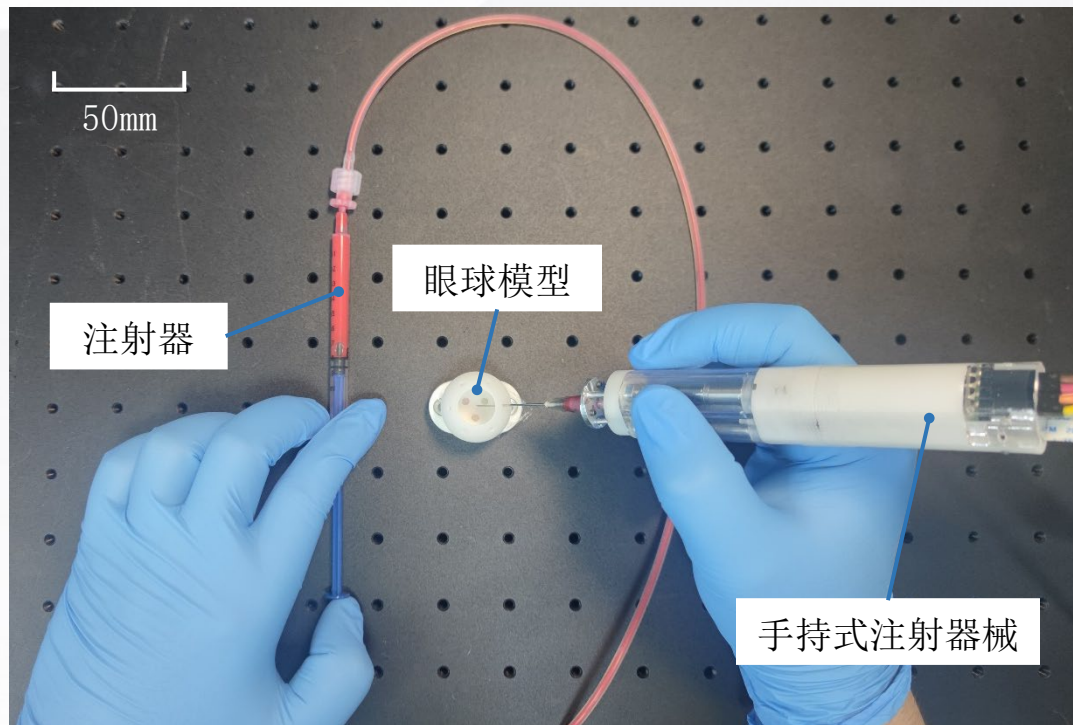


Y轴和Z轴的重复定位精度

方向	Y轴	Z轴
重复定位精 (mm)	0.047	0.018

实验结论: 所搭建系统运动精度符合设计需求

为验证三自由度手持式眼底注射器械设计的合理性，使用设计的注射器械完成眼球模型的模拟注射操作



模拟注射实验装置图



模拟注射实验过程

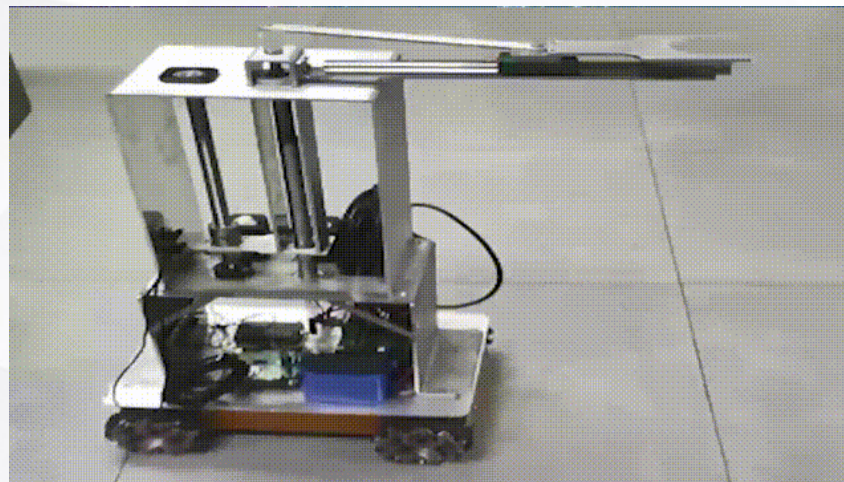
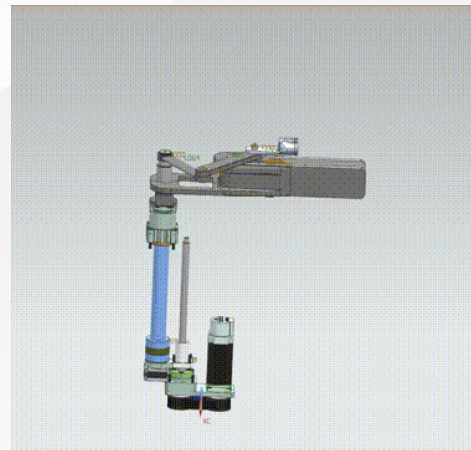
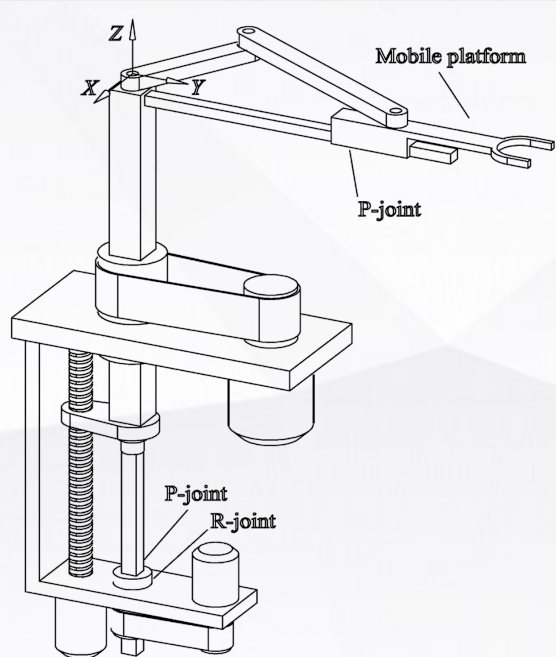
实验结论：所设计的手持式眼底注射器械可以顺利完成注射操作，初步验证了设计的可行性

3

类SCARA 机构助老机器人

项目技能点

1. 机械设计基础知识
2. 电机选型及控制



项目背景

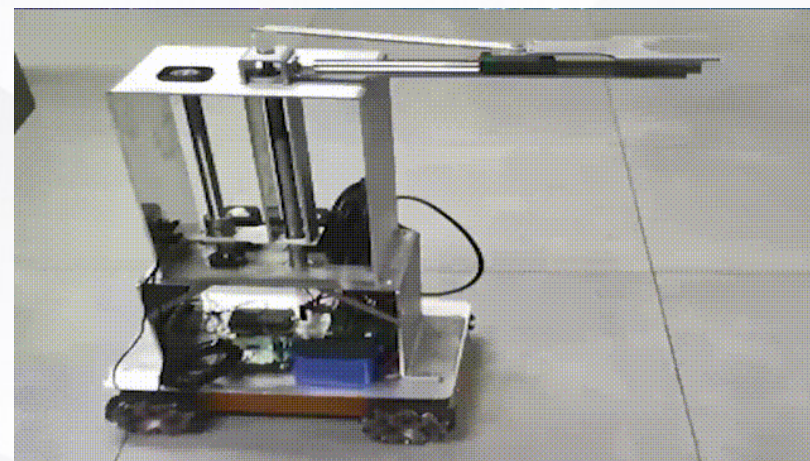
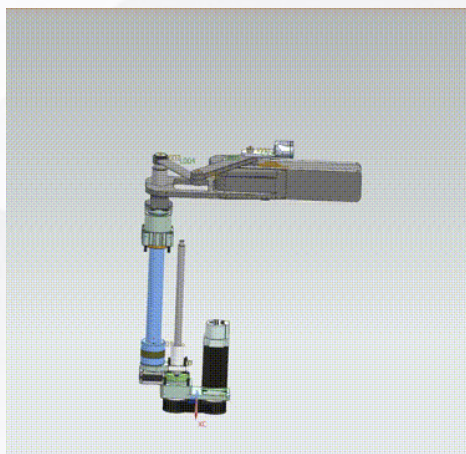
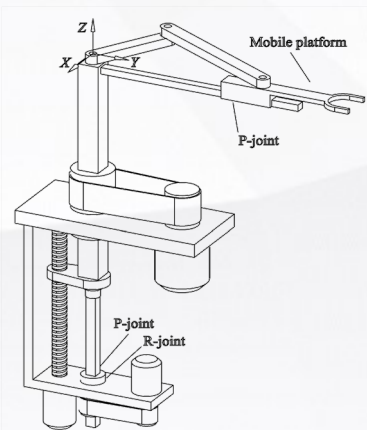


人口老龄化严重



老年人取用物品困难

助老机器人



- 国家级奖项1项，省级奖项2项，外观专利1项。
- 第八届中国TRIZ 杯创新方法大赛国家二等奖
- 2020 年河北省机器人大赛省级二等奖
- 第十四届ICAN 国际创新创业大赛河北分赛区三等奖
- 外观专利（物流小车）



4

其他

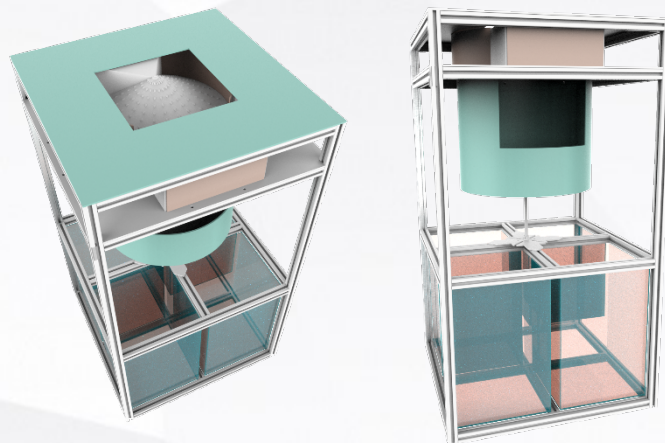
项目技能点

1. 机械设计基础知识
2. 电控相关知识
3. 电路板绘制与焊接

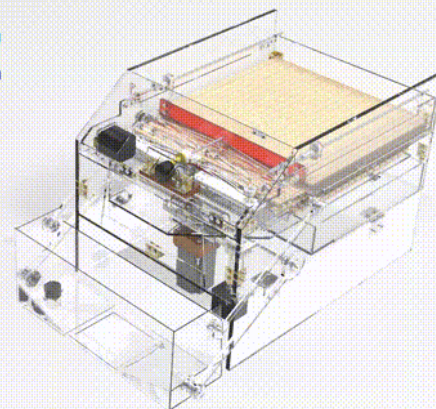
整体结构



整体结构

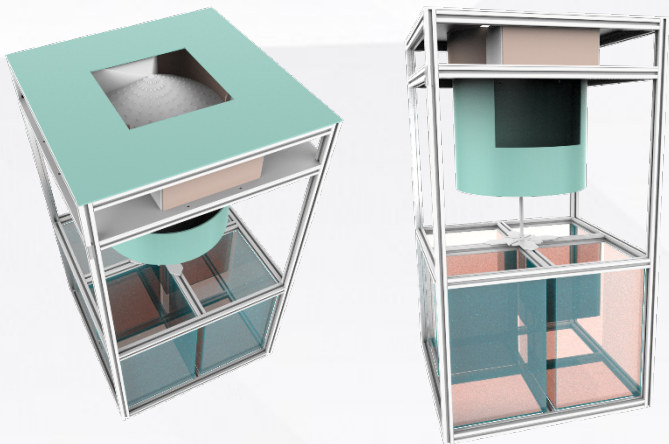


自动推料盒



智能分类垃圾桶

整体结构



功能组成

- 铝型材外框：机械整体承重结构
- 板球结构：垃圾分类投放功能
- 相机模块：垃圾识别功能
- 超声模块：垃圾桶状态识别功能

自动存取立体车库

整体结构



功能组成

- 亚克力、铝型材外框：结构本体
- 转动平台：平台转动功能
- 升降平台：平台升降功能
- 红外模块：车辆是否入库判断

- 国家级奖项2项，省级奖项1项，外观专利1项。
- 2021年中国大学生工程实践与创新能力大赛银奖
- 第八届中国TRIZ 杯创新方法大赛国家三等奖
- 第四届河北省大学生力学竞赛一等奖
- 外观专利（自动存取立体车库）

