

固定翼无人机集群控制与硬件在环仿真实验

1. 实验目的

本实验旨在让学生掌握固定翼无人机集群飞行控制的基本原理和实现方法，并通过硬件在环仿真验证控制算法的有效性。

1. 理解固定翼无人机编队飞行控制的基本原理
2. 掌握基于虚拟管道的飞行控制器设计方法
3. 学会使用RflySim仿真平台进行无人机控制仿真
4. 掌握硬件在环仿真的基本流程和技术要点

2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；MATLAB R2022b及以上版本；RflySim工具链^[1]；Python 3.8环境。
- 硬件要求：笔记本/台式电脑1台；CubePilot飞控或PX4飞控× 4；USB线（用于连接飞控与电脑）×4^[2]。

3. 实验地址

例程目录：

[安装目录]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\e10-FixedWingCtrl\code_10\HITL

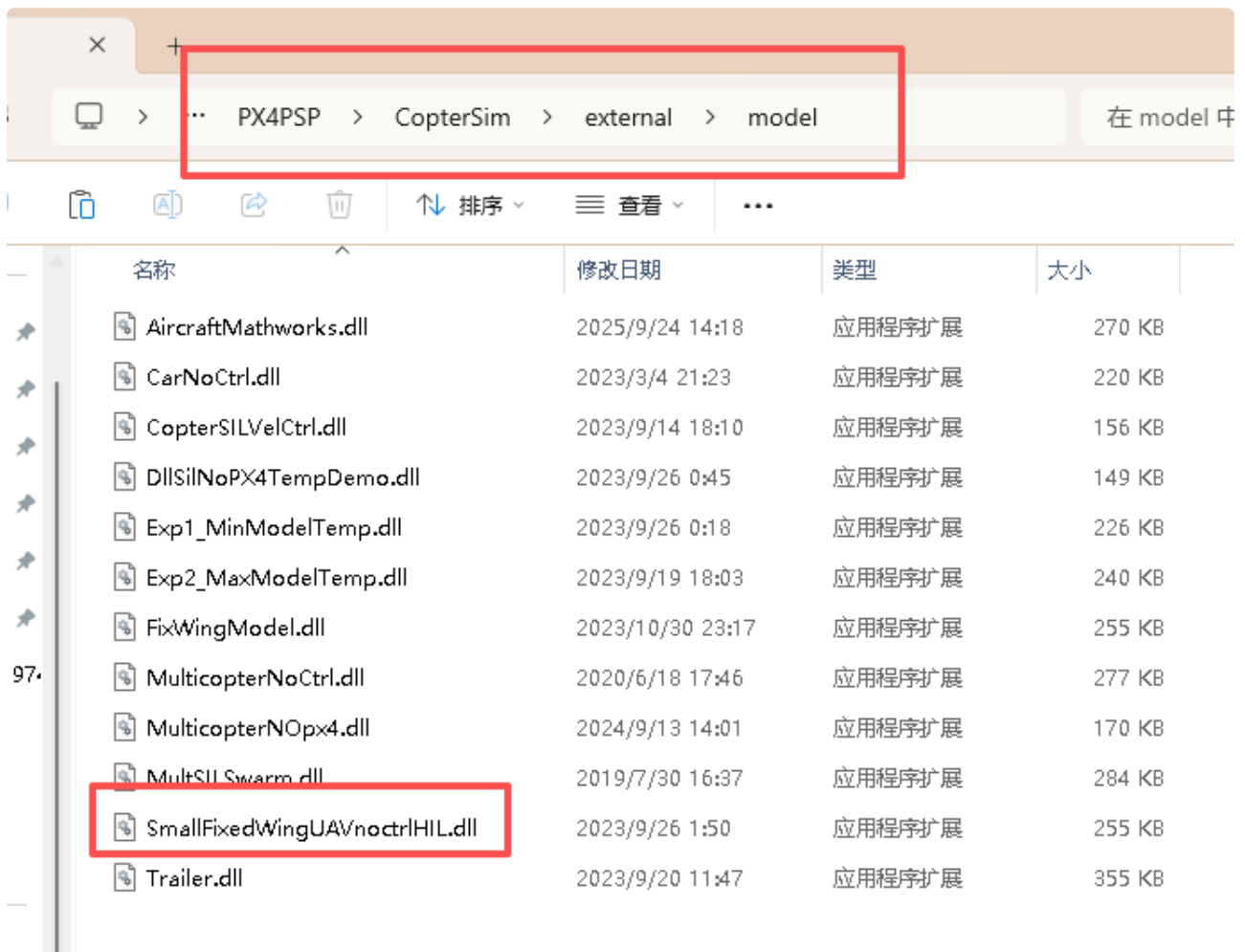
- [SmallFixedWingUAVnoctrlHITLRun.bat](#)：启动HITL仿真的批处理脚本。
- [init_Tube_HITL.m](#)：初始化HITL仿真参数的MATLAB脚本。
- [Draw_traj_HITL.m](#)：绘制HITL仿真轨迹的MATLAB脚本。
- [AircraftMathworksController.py](#)：Python编写的控制器主程序。

4. 实验内容或步骤

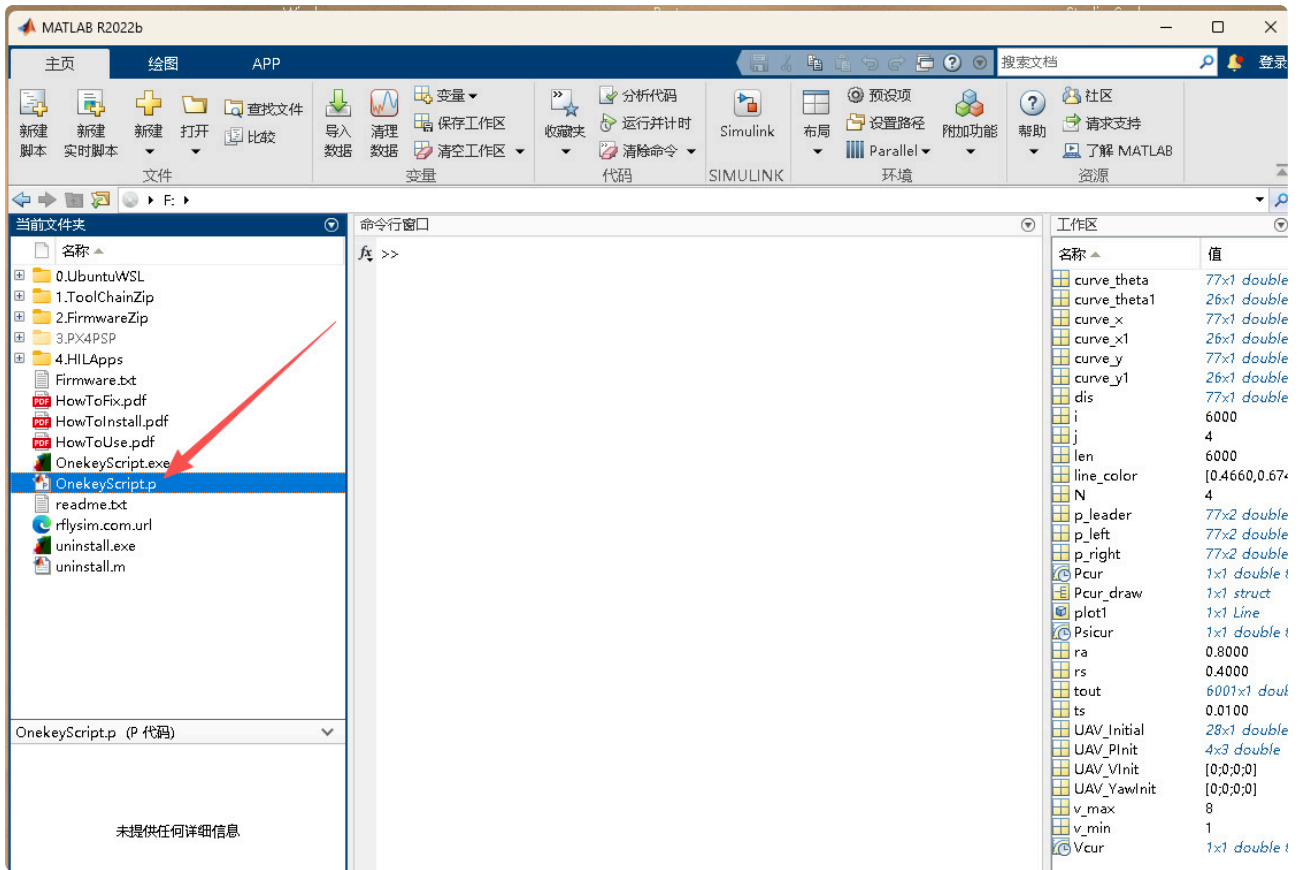
通过本实验，学生可以看到4架固定翼无人机组成的编队在复杂管道环境中协同飞行的效果。无人机能够按照预设的正弦曲线轨迹飞行，并始终保持在管道的安全范围内，成功避免碰撞。当个别无人机受到扰动时，编队控制系统能迅速调整各无人机的姿态和位置，恢复理想的编队形态。

4.1 步骤1：环境准备

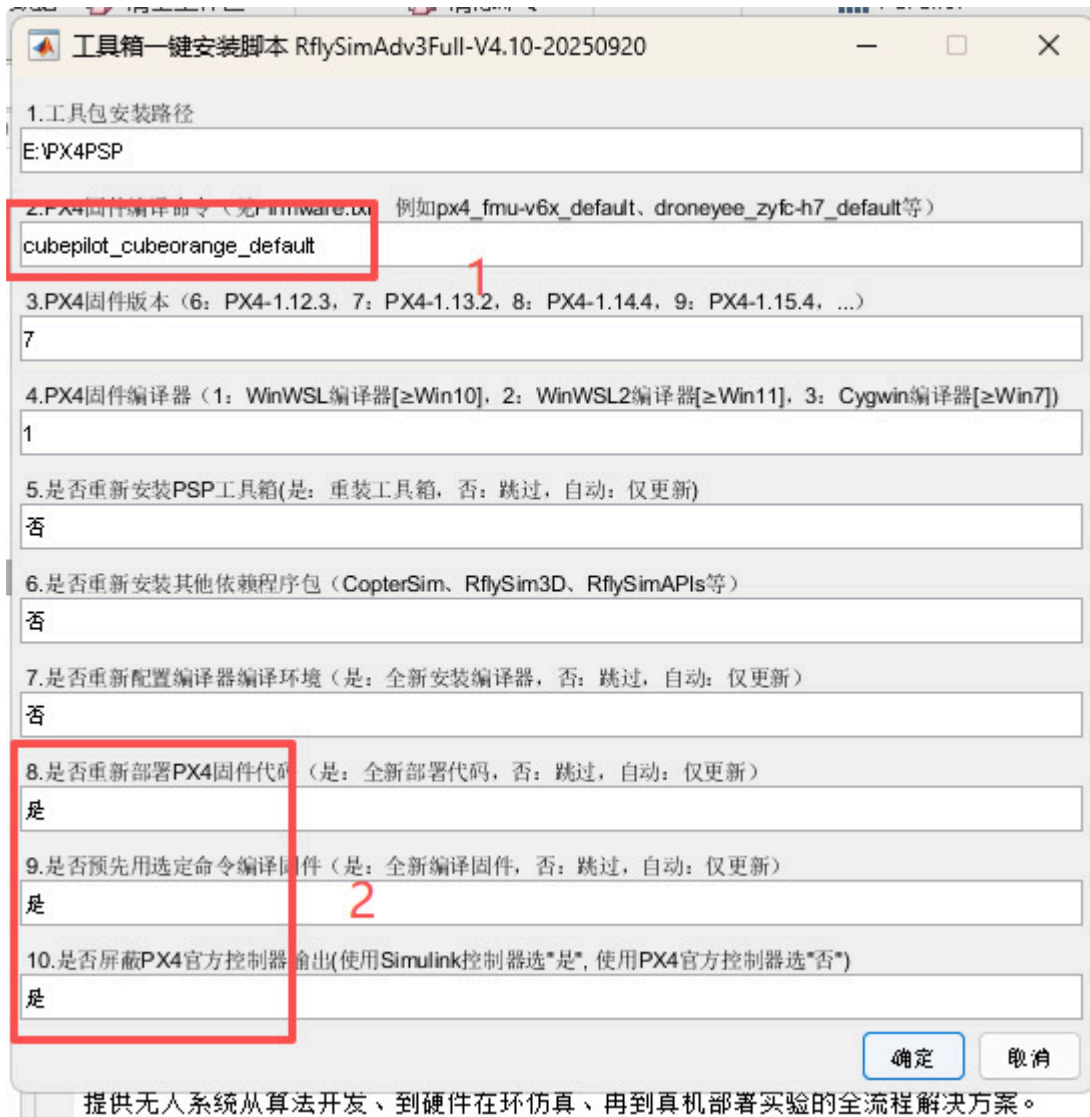
本硬件在环仿真实验采用Cubepilot/PixHawk，首先确认已将`./code_10\HITL`文件夹下的固定翼无人机的模型文件`"SmallFixedWingUAVnoctrlHIL.dll"`放至"`[安装目录]\PX4PSP\Coptersim\external\model`"下。



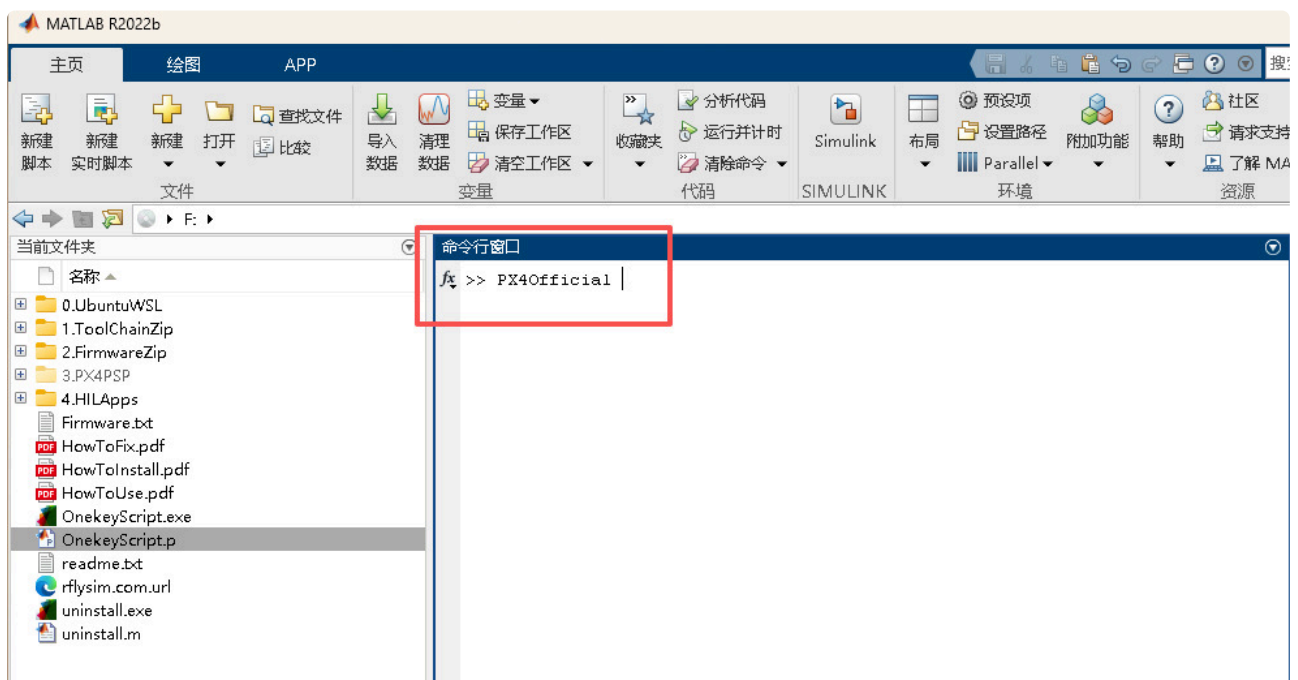
打开Matlab，右键点击一键安装脚本



如图中设置1处为"cubeplilot_cubeorange_default", 2出设置为"是", 确定;



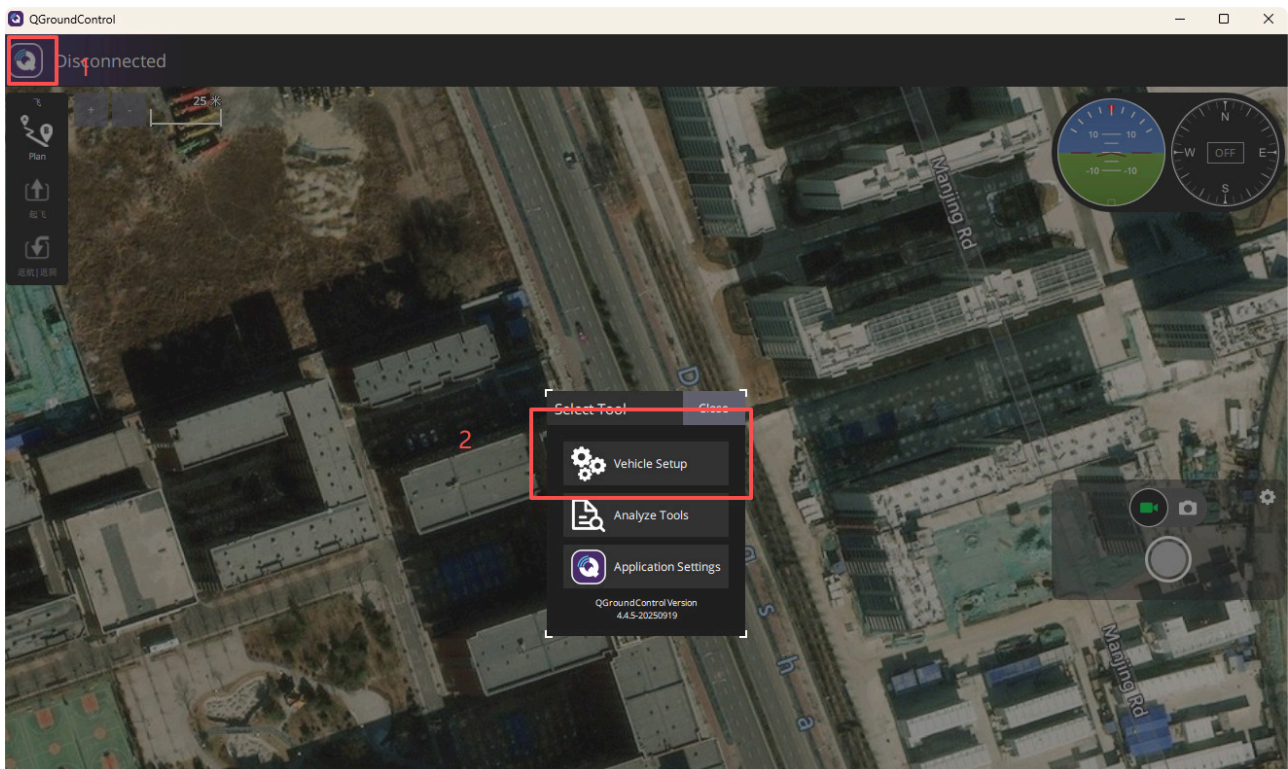
安装完成后，在命令行输入"PX4Official"编译固件烧录



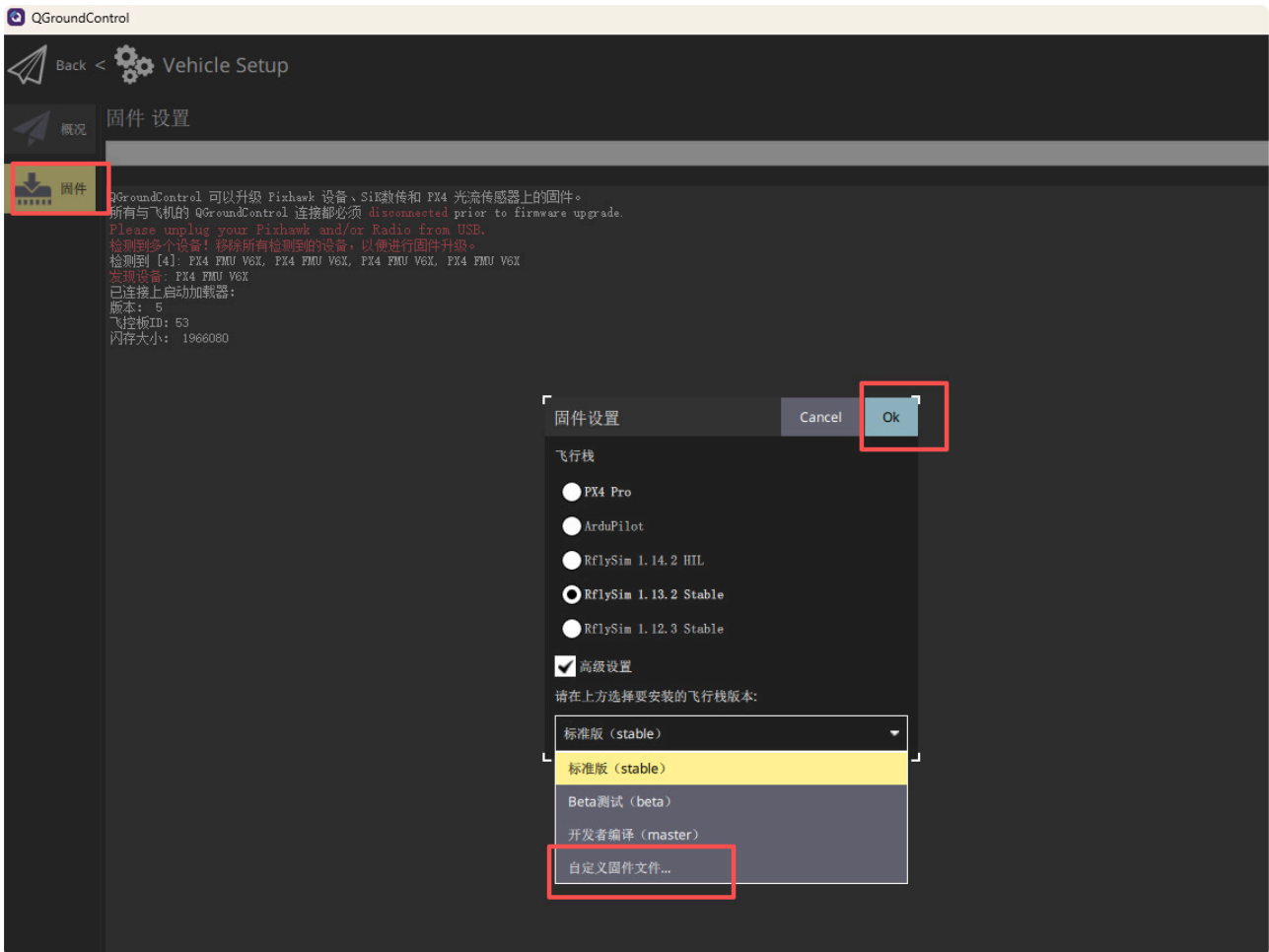
编译完成后，在[安装路径]:\PX4PSP\Firmware\build\cubepilot_cubeorange_default下可以找到编译好的固件



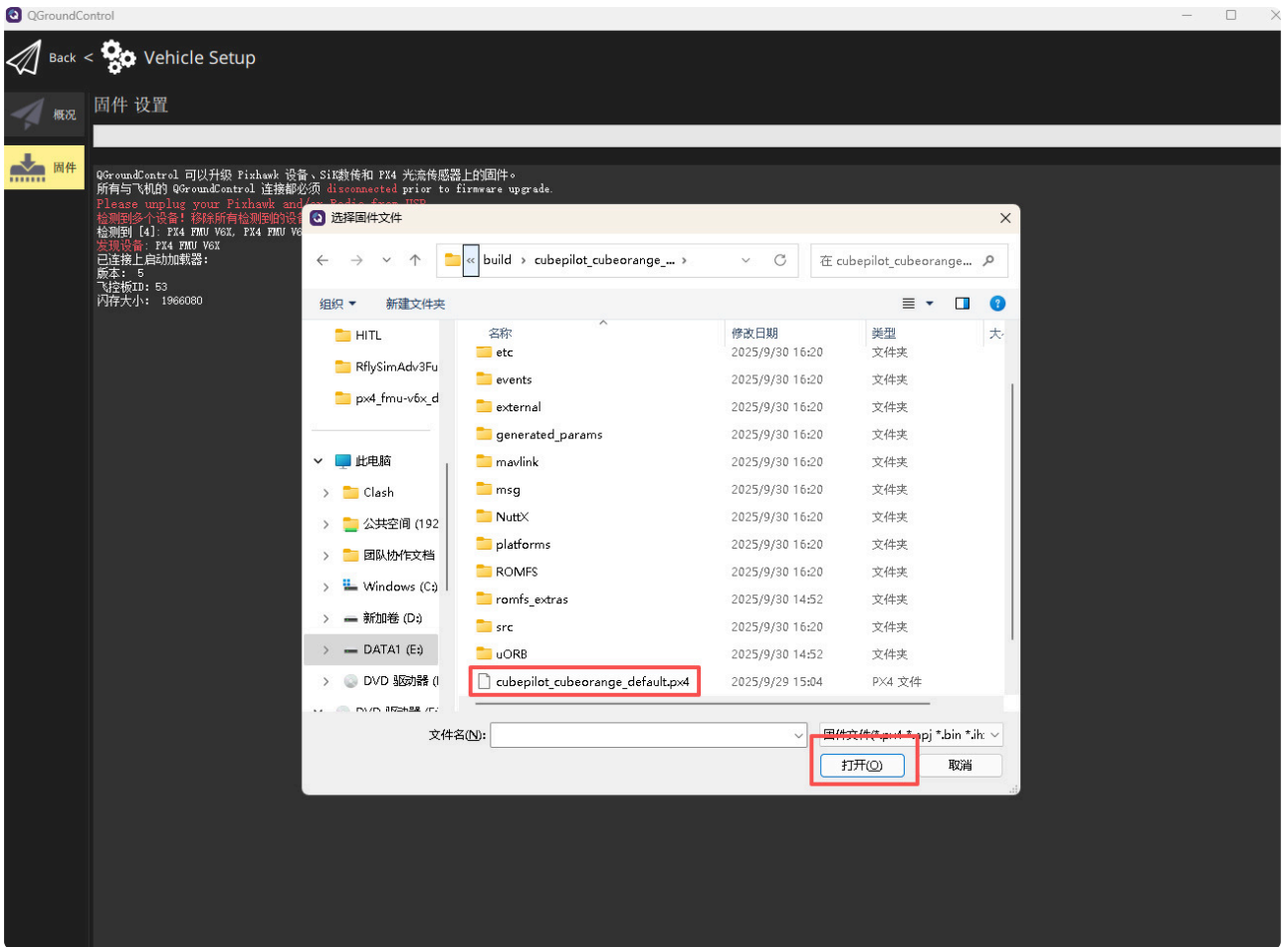
打开 QGroundControl，如图所示，点击左上角软件图标，选择 "Vehicle Setup"。



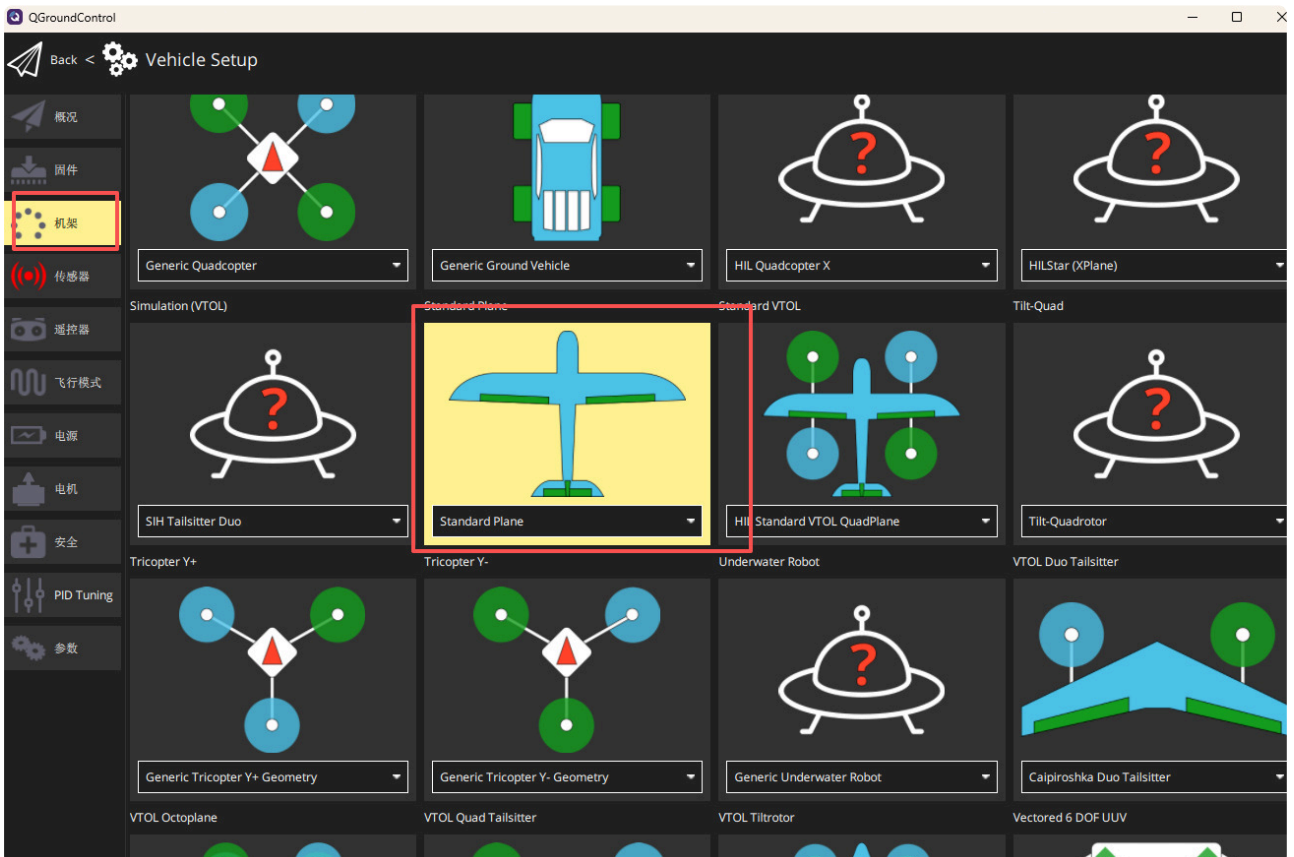
如下图中，点击左侧列表中"固件"。根据提示重新插拔飞控，在弹出界面选择 "高级设置"，选择下拉菜单中 "自定义固件文件"。

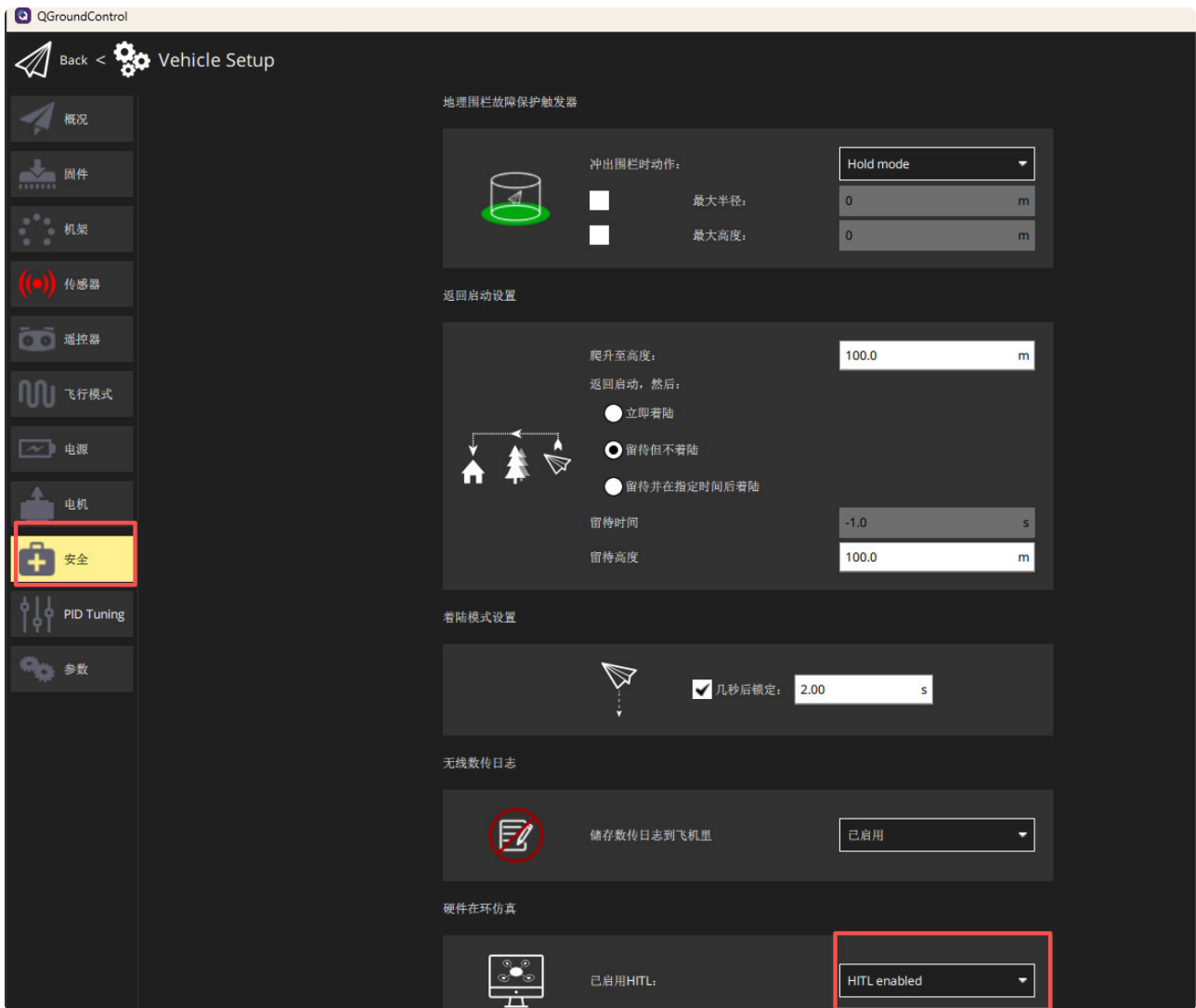


选择生成的固件完成烧录，然后重复此步骤，依次对4个飞控进行固件烧录



随后，依次对4个飞控进行检查机架设置是否正确和"安全"中是否设置为硬件在环模式，如图所示，





4.2 步骤2; 运行仿真

将四个飞控接入电脑, 如图所示。



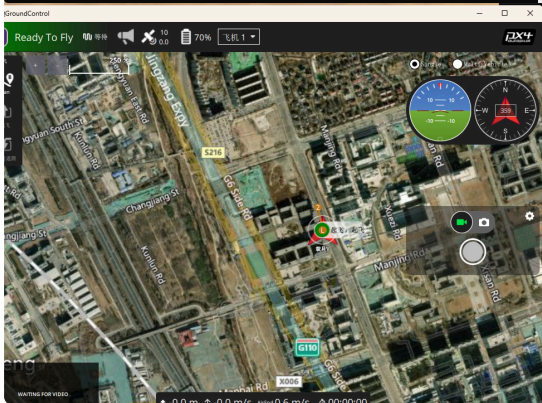
运行一键启动脚本 [SmallFixedWingUAVnoctrlHITLRun.bat](#)，根据提示输入飞控端口号。

```
C:\Windows\system32\cmd.exe

-----
Please input the Pixhawk COM port list for HITL
Use ',' as the separator if more than one Pixhawk
E.g., input 3 for COM3 of Pixhawk on the computer
Input 3,6,7 for COM3, COM6 and COM7 of Pixhawks
-----
All COM ports on this computer are:
COM3: USB 串行设备 * (Pixhawk with SysID=2)
COM7: USB 串行设备 * (Pixhawk with SysID=3)
COM8: USB 串行设备 * (Pixhawk with SysID=1)
COM10: USB 串行设备 * (Pixhawk with SysID=4)
-----
Recommended COM list input is: 3,7,8,10
-----
My COM list for HITL simulation is: _
```

```
C:\Windows\system32\cmd.exe

-----
Please input the Pixhawk COM port list for HITL
Use ',' as the separator if more than one Pixhawk
E.g., input 3 for COM3 of Pixhawk on the computer
Input 3,6,7 for COM3, COM6 and COM7 of Pixhawks
-----
All COM ports on this computer are:
COM3: USB 串行设备 * (Pixhawk with SysID=3)
COM7: USB 串行设备 * (Pixhawk with SysID=3)
COM8: USB 串行设备 * (Pixhawk with SysID=2)
COM10: USB 串行设备 * (Pixhawk with SysID=4)
-----
Recommended COM list input is: 3,7,8,9
-----
My COM list for HITL simulation is:3,7,8,9
Hitl all Operation
Start GroundControl
请按任意键继续...
```

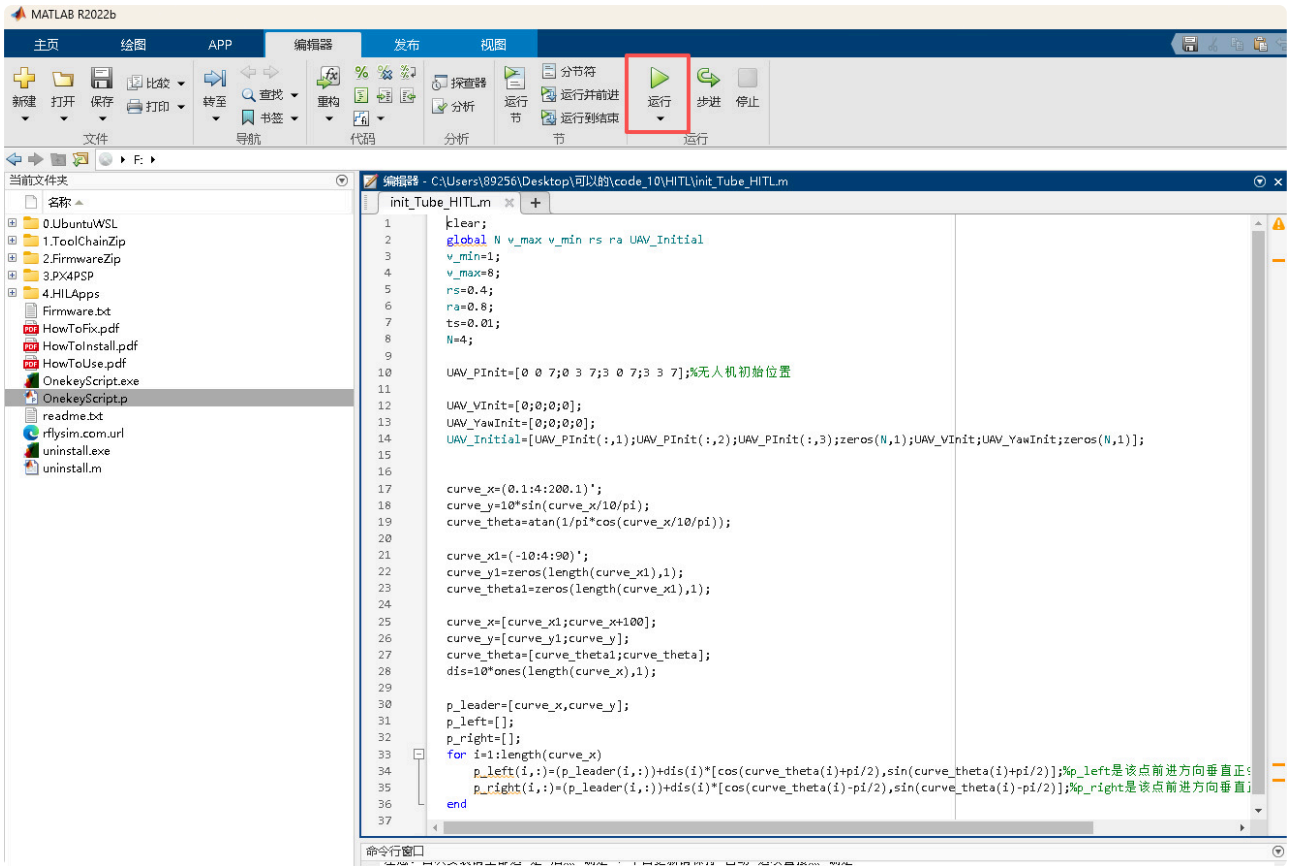


机架类型	机架重量	机架轴距	飞行海拔	品牌型号
四轴翼	1.5 kg	450	50	自定义设计

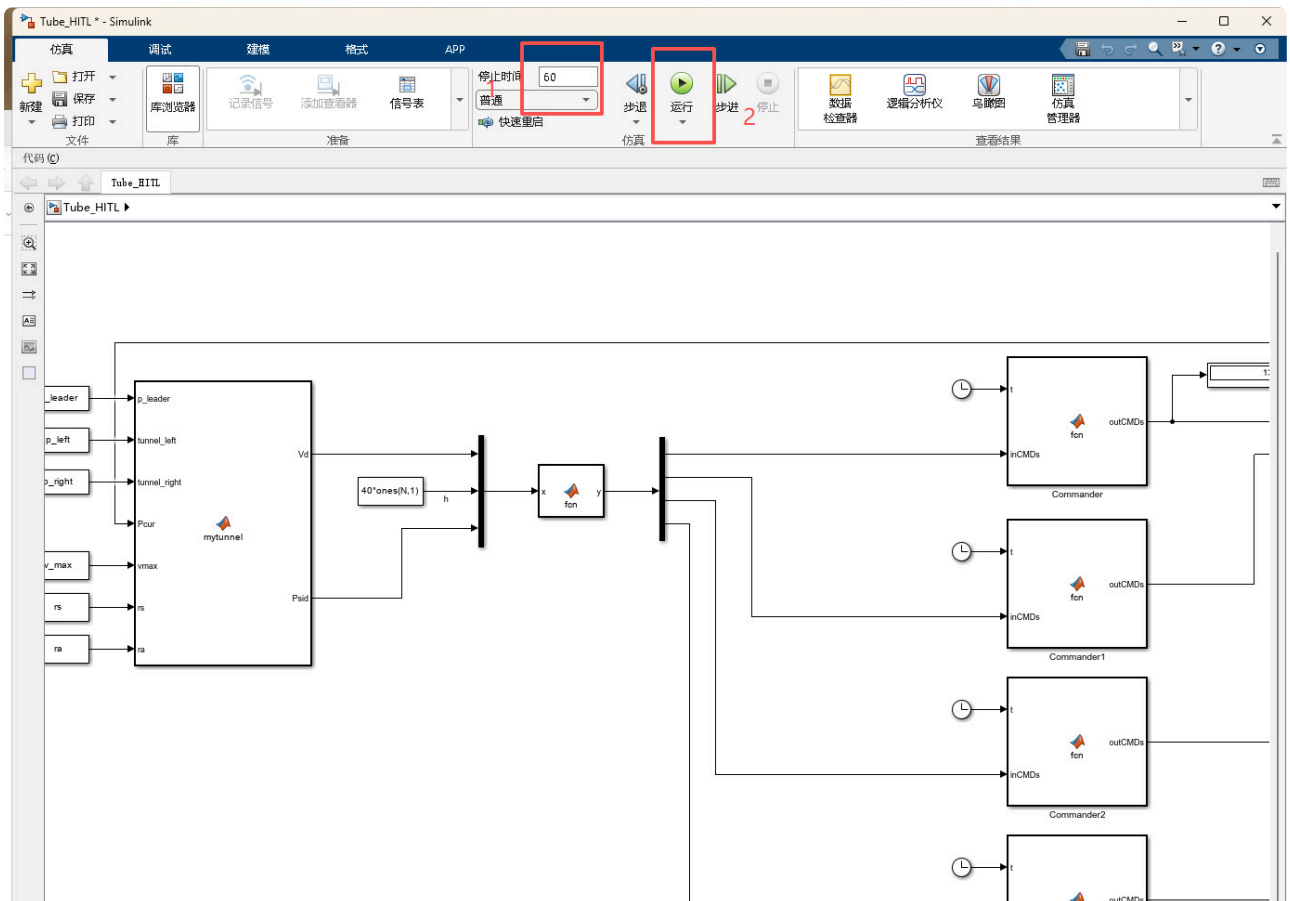
电机品牌	电机型号
无刷电机	2312 30960
螺旋桨品牌	螺旋桨型号
APC	1004-30R
电调品牌	电调型号
Hobbyking(博盟)	EStarer 20A
电池品牌	电池型号
KCE(倍特电池)	LiPo 3S-11.1V-20C-650mAh

飞控品牌	波特率	通信模式	起飞位置	降落位置
USB 串行设备 COM3	800000	RadioLink_Pull	开始位置	停止位置

稍作等待，飞控启动成功后运行初始化文件 [init_Tube_HITL.m](#)



修改下图1中为60，然后运行Simulink 仿真文件"Tube_HITL.slx"，可以观察到固定翼集群顺利起飞，并且完成管道飞行。

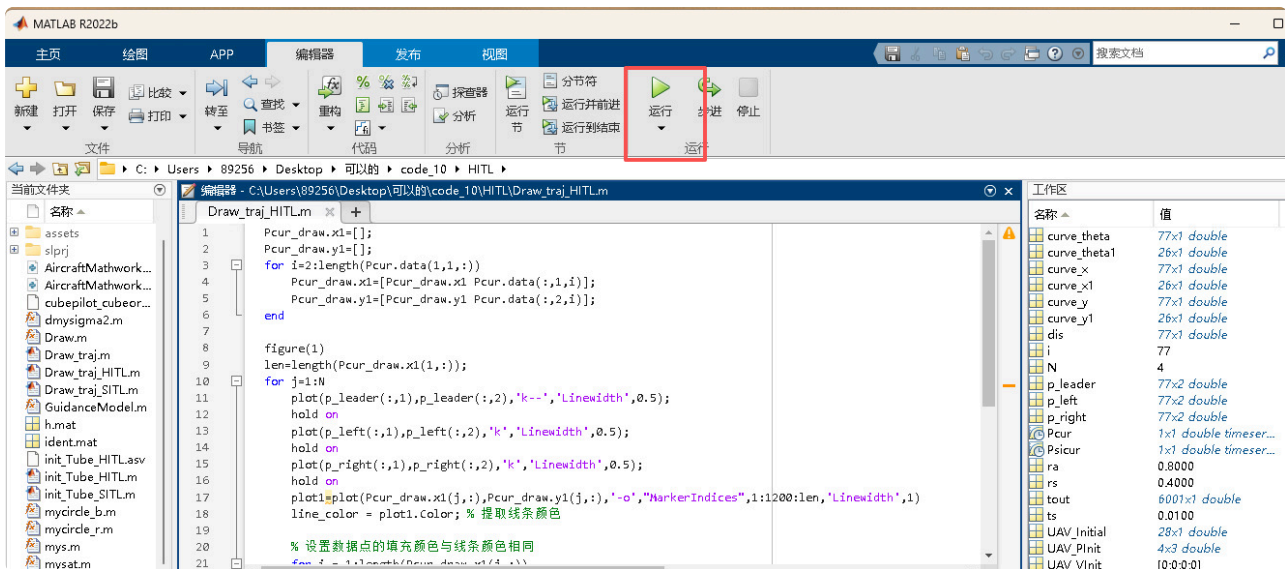




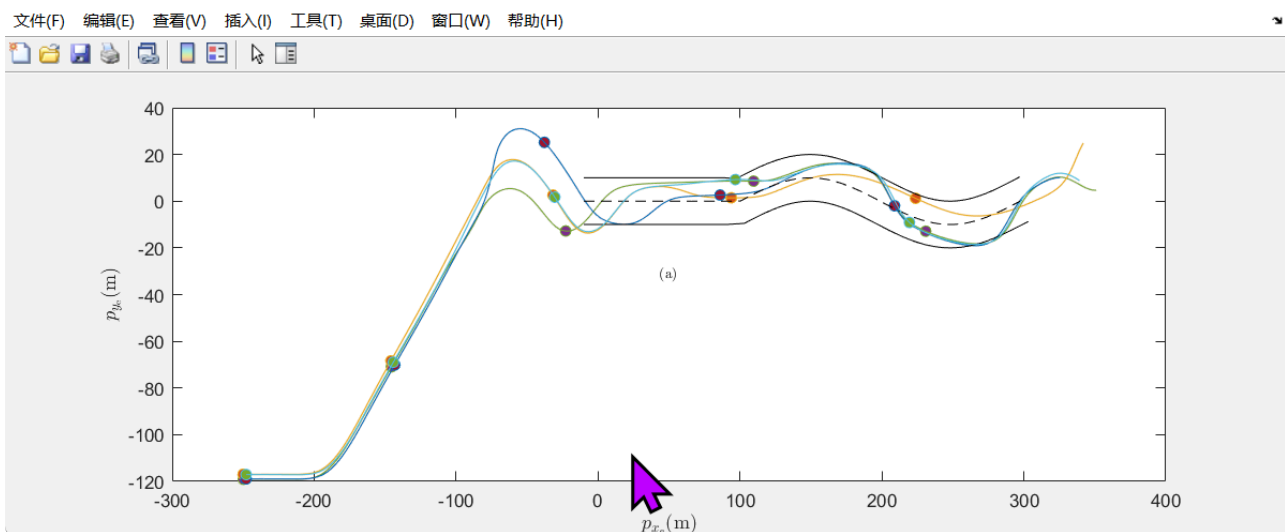
可以切换上方的1、2、3、4来查看不同飞机的视角



在硬件在环仿真结束后，可以绘制出相应的轨迹图。运行"[Draw_traj_HITL.m](#)"文件。



如图所示，四条线分别代表了集群中四架固定翼无人机的轨迹，实心圆圈则代表某时刻下无人机的位置。当时间分别为0、12、24、36秒时，集群中各无人机的位置被展示在图中。两侧边界的实线为虚拟管道的管道壁，中心的虚线为虚拟管道中心线。观察仿真结果，发现固定翼无人机能够在虚拟管道的帮助下，完成集群的飞行。对于固定翼无人机来说，其状态存在一定的滞后，并不能对控制量做到及时的跟随，因此可能出现短暂飞出虚拟管道边界的情况。



5. 关键知识点

关键知识点1：硬件在环仿真(HITL)

硬件在环仿真是指在仿真环境中接入真实的控制器硬件(如飞控)，使得仿真更加贴近实际应用场景。其优势在于：

1. 可以测试真实飞控的性能；

2. 验证控制算法的实际可行性；
3. 减少实际飞行测试的风险。

关键知识点2：固定翼无人机动力学模型

固定翼无人机相比于多旋翼具有续航时间长、飞行速度快等特点，但控制相对复杂。本实验使用的动力学模型包括：

1. 位置和速度状态方程；
2. 俯仰角和偏航角控制；
3. 高度控制模型。

关键知识点3：领导者-跟随者编队控制架构

采用领航者-跟随者编队模式，其中一架无人机作为领航者沿着预设轨迹飞行，其余无人机作为跟随者保持与领航者的相对位置关系。

更多详细实验原理可见：全权,高文瀚,刘润潇,陈鑫泉,戴训华,吕书礼,徐琳,李悦.微小型固定翼无人机飞行控制设计与实践. 北京, 2025

6.参考资料

1. RflySim官方文档
2. PX4飞控固件官方文档：<https://docs.px4.io/>
3. 飞思实验室官网：<http://www.feisilab.com/>
4. 全权,高文瀚,刘润潇,陈鑫泉,戴训华,吕书礼,徐琳,李悦.微小型固定翼无人机飞行控制设计与实践. 北京, 2025.

7.常见问题

Q1：仿真启动后无人机无法起飞

A1：检查以下几点：1.飞控是否正确连接并识别；2.串口号配置是否正确；3.飞控固件版本是否匹配；

Q2: 无人机飞行过程中偏离预定轨迹

A2: 可能原因包括: 1.PID参数调节不当; 2.通信延迟过高; 3.动力学模型与实际不符; 4.外部扰动影响。可通过优化控制参数或改进控制算法解决。

Q3: MATLAB报错无法找到指定模块

A3: 检查以下几点: 1.RflySim是否正确安装; 2.MATLAB路径是否包含RflySim相关目录; 3.是否缺少必要的编译器运行时组件。

1. <https://rflysim.com/> ↩

2. 推荐配置请见: <https://rflysim.com/doc/zh/HowToInstall.pdf> ↩