

# 固定翼无人机空中加油硬件在环仿真实验

## 1. 实验目的

1. 熟悉PX4飞控固件的配置与烧录方法
2. 掌握基于MATLAB/Simulink的加油机运动建模方法
3. 理解YOLOv5目标检测算法在无人机视觉导航中的应用
4. 学习无人机控制算法设计与实现方法

## 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 [\[1\]](#)。
- 硬件要求：笔记本/台式电脑1台；CubePilot飞控或PX4飞控；USB线（用于连接飞控与电脑） [\[2\]](#)。

## 3. 实验地址

例程目录：

[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\e10-FixedWingCtrl\code\\_9\e7-4](#)

- [Module/MQ-9Reaper](#)：无人机模型
- [Python/function](#)：辅助函数
- [Python/models](#)：YOLO模型定义
- [Python/utils](#)：YOLO工具函数
- [Python/Mytrajectory\\_HITL.py](#)：轨迹控制主程序
- [Python/detect-realtime.py](#)：实时视觉检测程序
- [Python/Config.json](#)：传感器配置文件
- [Python/Firmware](#)：飞控固件

- Simulink/AirRefueling\_Platform.slx：主仿真模型
- [Simulink/F16Sim 2003](./Simulink/F16Sim 2003)：F16仿真相关文件

## 4. 实验内容或步骤

通过本实验，可以实现固定翼无人机在复杂环境下自动寻找并对接加油锥套的完整过程。实验过程中，可以观察到：

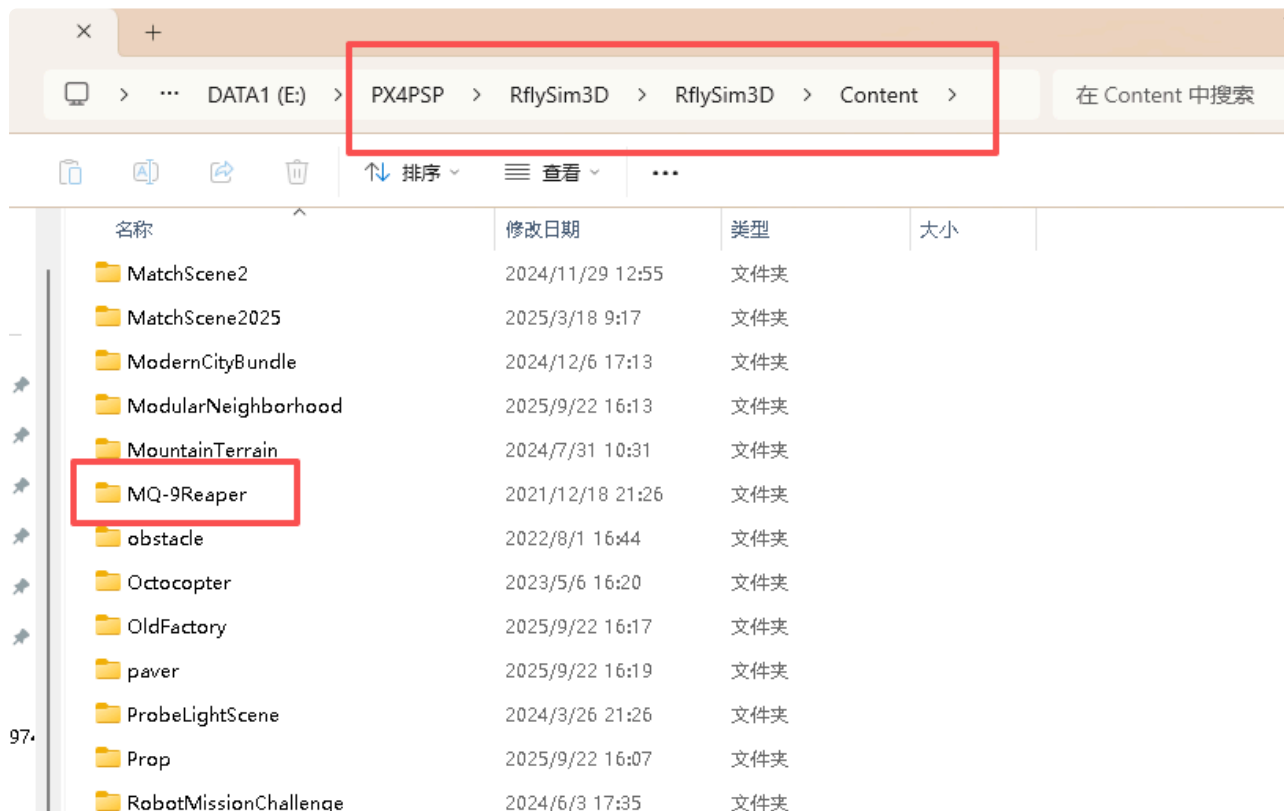
1. 加油机按照预设轨迹飞行，拖曳软管和锥套
2. 受油机通过视觉系统识别锥套位置
3. 受油机根据视觉反馈调整飞行姿态，逐步接近锥套
4. 最终实现精确对接，完成空中加油模拟过程

实验效果展示了完整的空中加油任务执行过程，验证了视觉导航和控制算法的有效性。

### 4.1 模型准备

确认 `Module/MQ-9Reaper` 文件夹在 "PX4PSP\RflySim3D\RflySim3D\Content" 路径下，(如不在，请通过百度网盘下载解压后，复制进该路径下，网盘地址：

[https://pan.baidu.com/s/5Lq6Gkl\\_Euc0qCbC5ELNOjw](https://pan.baidu.com/s/5Lq6Gkl_Euc0qCbC5ELNOjw) )



## 4.2 飞控固件配置

若使用CubePilot系列飞控进行本实验，首先需要通过百度网盘下载MissionPlanner-1.3.76.msi文件，网盘地址为[https://pan.baidu.com/s/5Lq6Gkl\\_Euc0qCbC5ELNOjw](https://pan.baidu.com/s/5Lq6Gkl_Euc0qCbC5ELNOjw)，下载后点击"MissionPlanner-1.3.76.msi"安装Cubepilot驱动(已安装的可跳过)

确认飞控的编译命令Pixhawk 6X及6X mini的编译命令为：px4\_fmu-v6x-default。CubePilot Cube Orange的编译命令为：cubepilot\_cubeorange\_default。其他飞控可参考例程：[RflySim安装目录]\RflySimAPIs\2.RflySimUsage\1.BasicExps\e15\_Identify-Hardware-Command来获取。

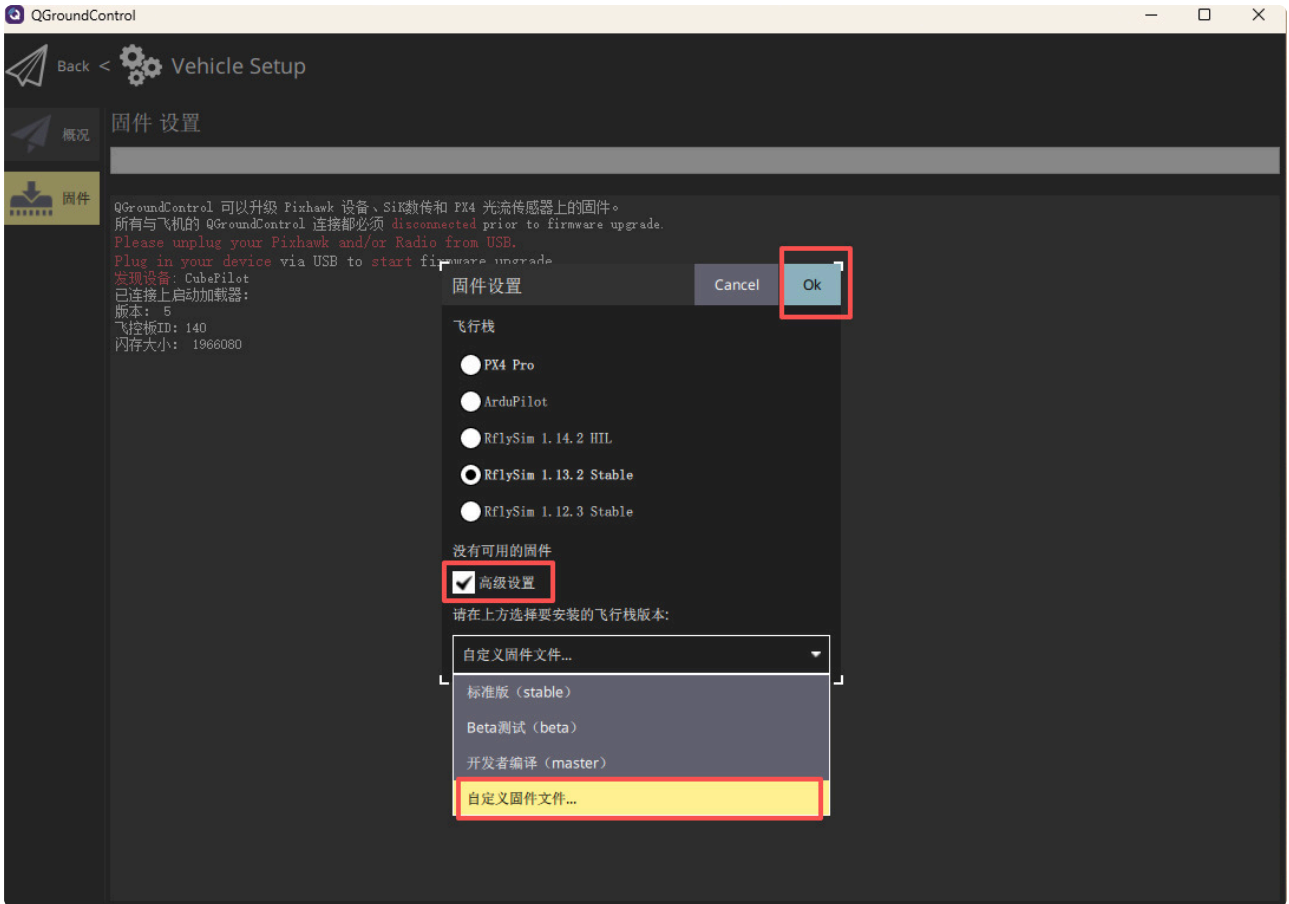
打开MATLAB软件编译对应飞控的固件，如CubePilot Cube Orange飞控，则输入 `PX4CMD 'cubepilot_cubeorange_default'`。

```
>> PX4CMD 'cubepilot_cubeorange_default'
Modified Data: 20241010
旧的编译命令为: cubepilot_cubeyellow_default
新的编译命令为: cubepilot_cubeorange_default
成功找到cubepilot_cubeorange_default的cmake文件
Blocking CAMERA module to avoid git error.
Blocking CAMERA module to avoid git error.
Blocking CAMERA module to avoid git error.
Blocking SIH module to avoid git error.
Blocking GIMBAL module to avoid git error.
在E:\PX4PSP\Firmware\boards\cubepilot\cubeorange\default.px4board文件中添加px4_simulink_app模块
rcs中找到px4_simulink_app自启动项目，已配置正确，没有修改
删除旧的Simulink生成代码文件
```

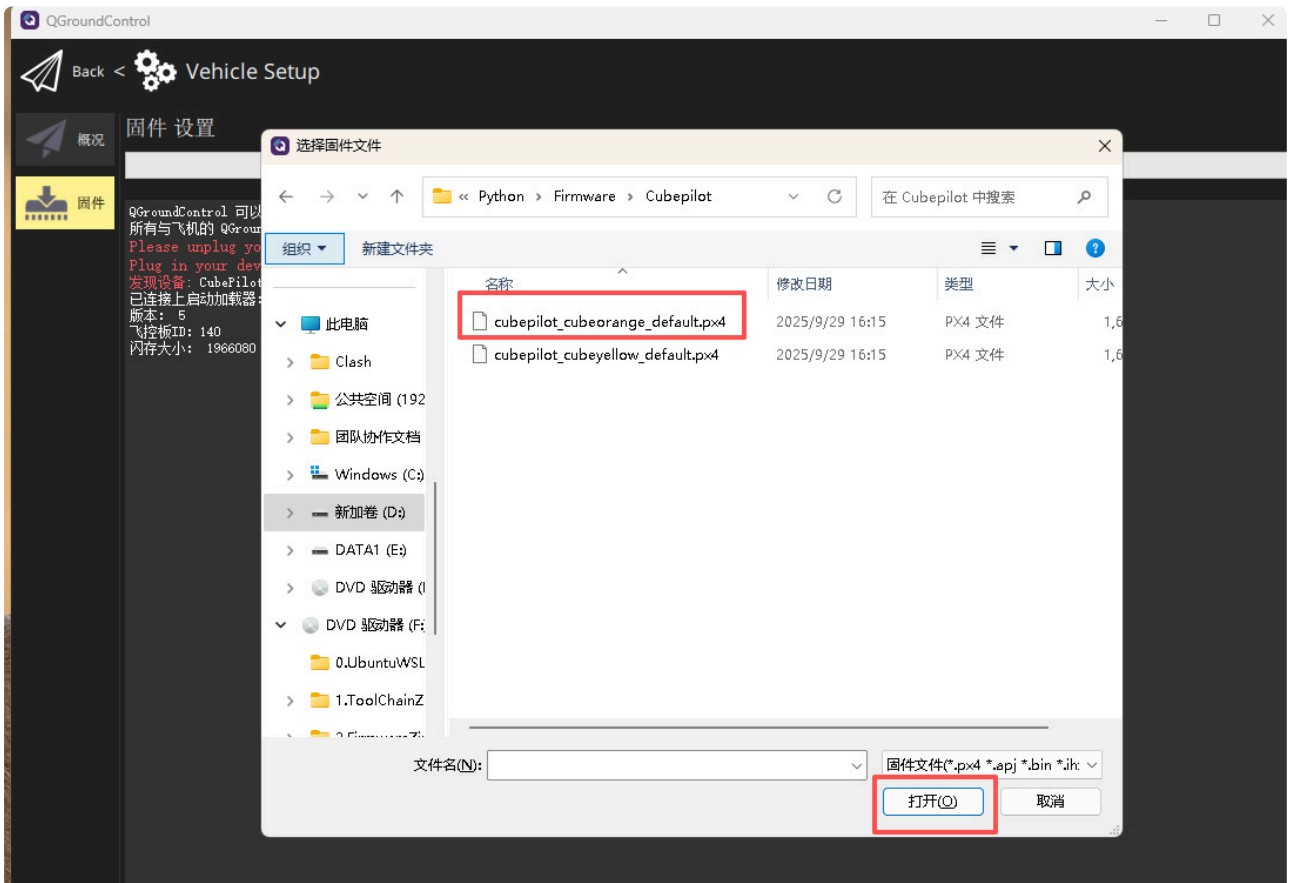
等待编译完成。

```
[1065/1071] Linking CXX static library src/modules/mavlink/libmodules__mavlink_original.a
[1064/1071] Building CXX object src/modules/mavlink/CMakeFiles/modules__mavlink_original.dir/mavlink_messages.
[1065/1071] Linking CXX static library src/modules/mavlink/libmodules__mavlink_original.a
[1066/1071] Building C object platforms/nuttX/CMakeFiles/px4.dir/__/common/empty.c.obj
[1067/1071] Building CXX object src/modules/mavlink/CMakeFiles/modules__mavlink.dir/modules__mavlink_unity.cpp
[1068/1071] Linking CXX static library src/modules/mavlink/libmodules__mavlink.a
[1069/1071] Linking CXX executable cubepilot_cubeorange_default.elf
Memory region      Used Size  Region Size  %age Used
ITCM_RAM:          0 GB      64 KB      0.00%
FLASH:            1884736 B    1920 KB    95.86%
DTCM1_RAM:         0 GB      64 KB      0.00%
DTCM2_RAM:         0 GB      64 KB      0.00%
AXI_SRAM:          43044 B     512 KB     8.21%
SRAM1:             0 GB      128 KB     0.00%
SRAM2:             0 GB      128 KB     0.00%
SRAM3:             0 GB      32 KB      0.00%
SRAM4:             0 GB      64 KB      0.00%
BKPRAM:           0 GB       4 KB      0.00%
[1070/1071] Generating ../../cubepilot_cubeorange_default.bin
[1071/1071] Creating /mnt/e/PX4PSP/Firmware/build/cubepilot_cubeorange_default/cubepilot_cubeorange_default.px
固件编译完毕
```

在MATLAB命令行中输入 `PX4Upload` 即可上传固件到飞控中，也可打开QGroundControl地面站，烧写固件，选择高级选项-自定义固件，如下图所示

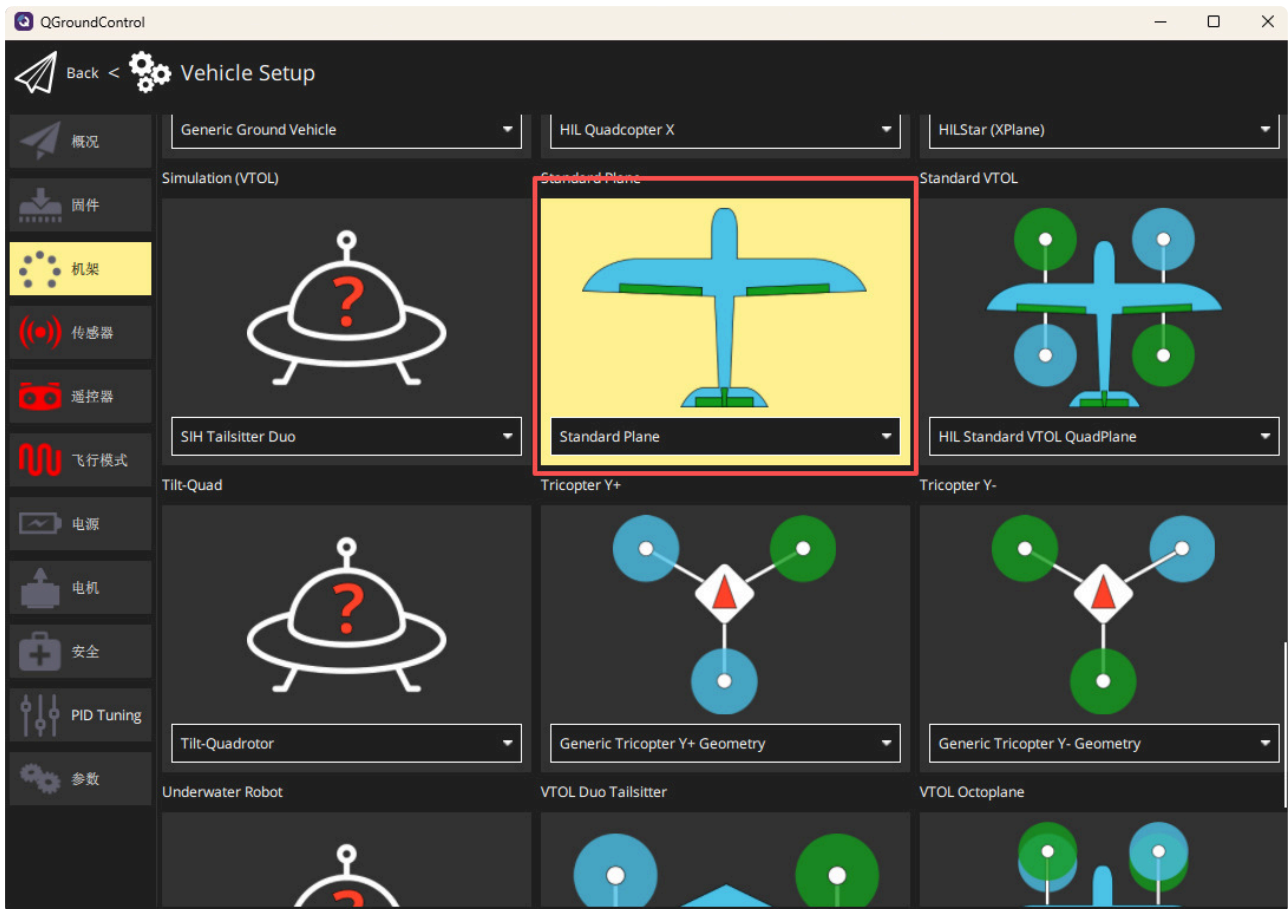


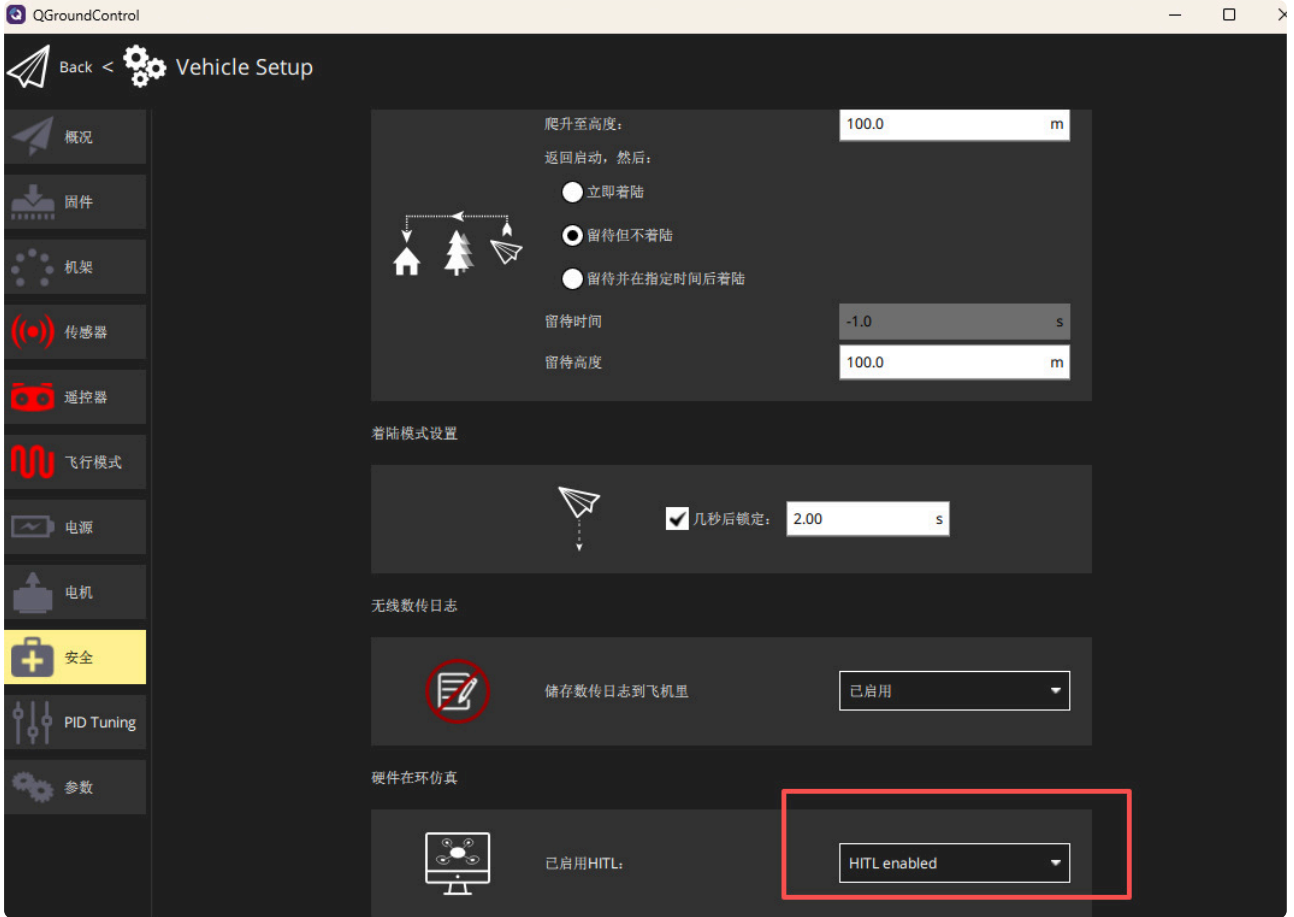
选择"e7-4\Python\Firmware\Cubepilot\cubepilot\_cubeorange\_default.px4"文件夹下的对应固件进行烧写



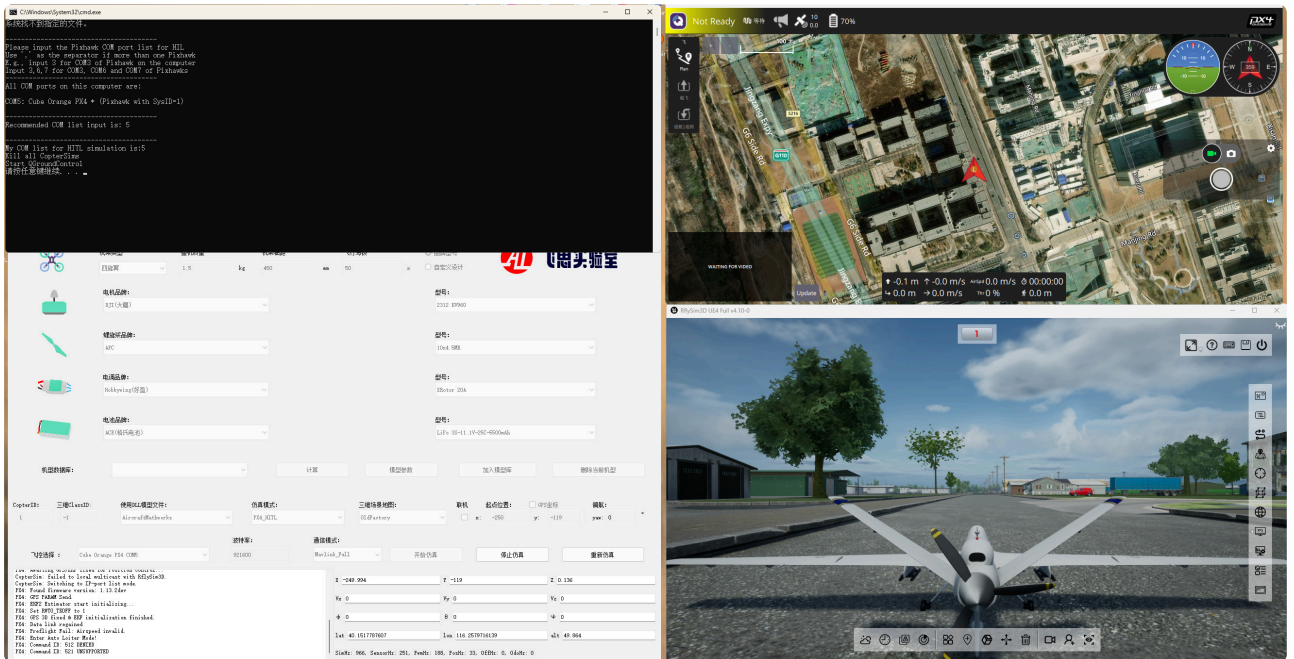
## 4.3 启动仿真环境

在QGC地面站中选择机架为固定翼standard，在安全选项的硬件在环中选择HILEnabled，如下图所示



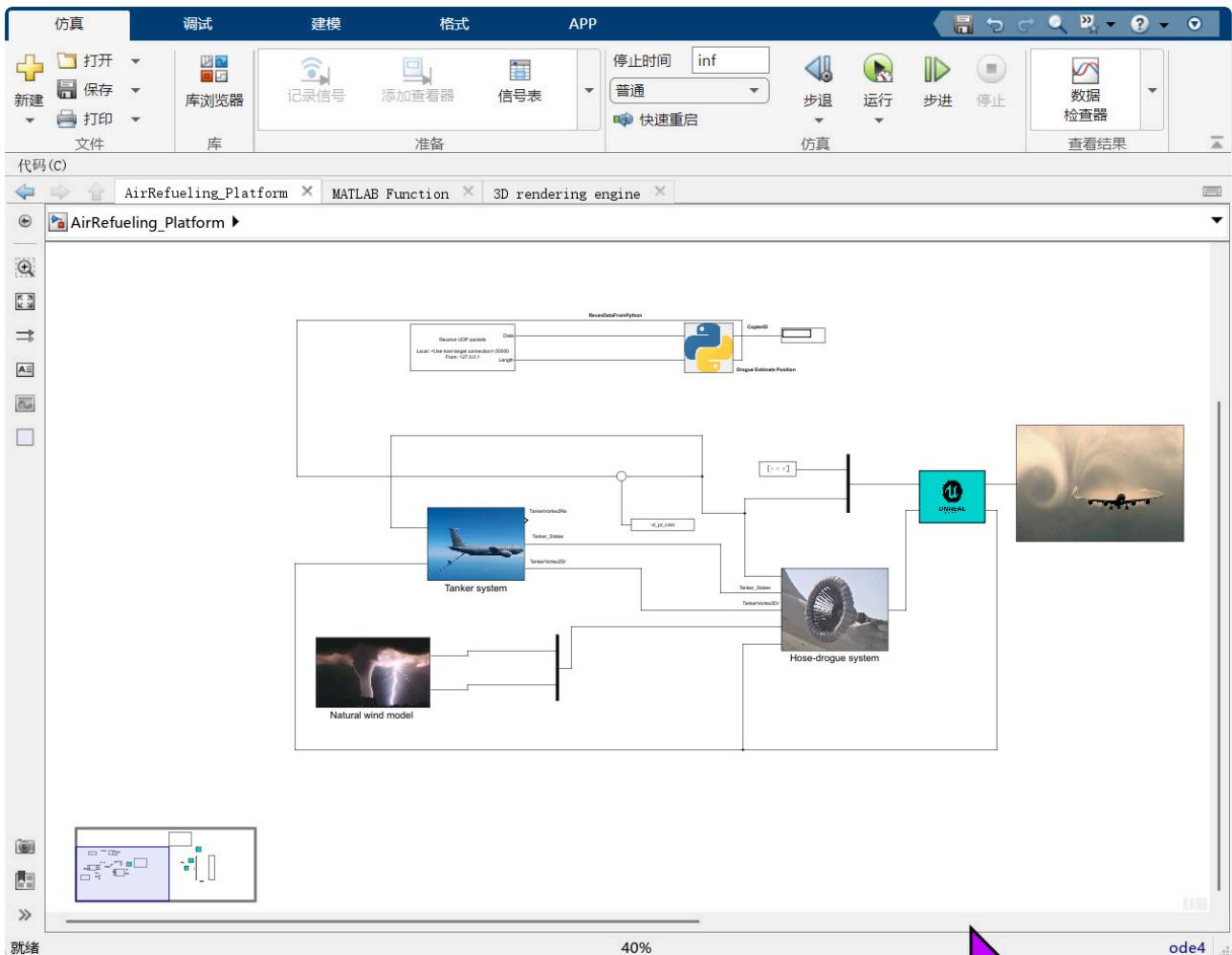


关闭QGC地面站，双击打开"[Python/AircraftMathworksMavlinkHitlRun.bat](#)"文件，启动硬件在环仿真

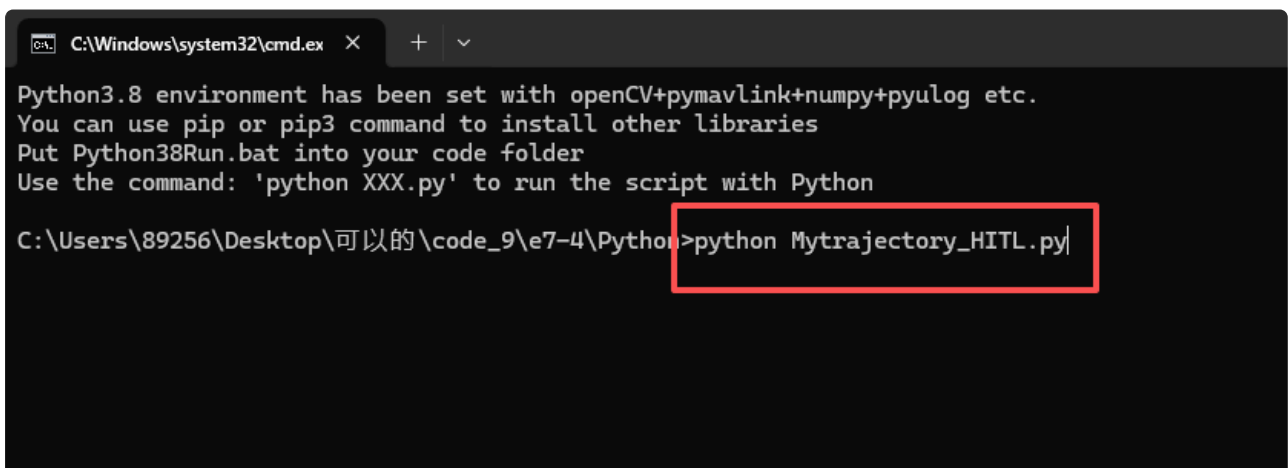


## 4.4 运行仿真程序

在QGC地面站提示"Ready to fly"后，用MATLAB打开"[Simulink/AirRefueling\\_Platform.slx](#)"加油机运动仿真文件(先不运行仿真)



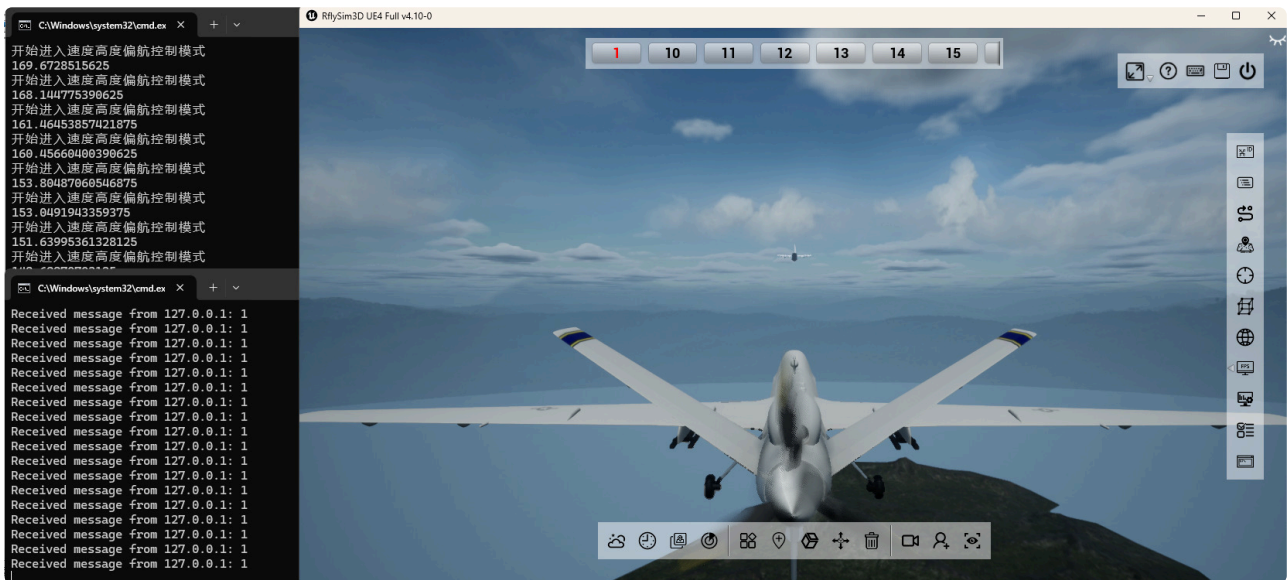
打开"[Python/Python38Run.bat](#)", 在弹出的命令行中输入"python Mytrajectory\_HITL.py", 先不运行



再打开一次"Python38Run.bat", 在弹出的命令行中输入"python detect-realtime.py", 先不运行

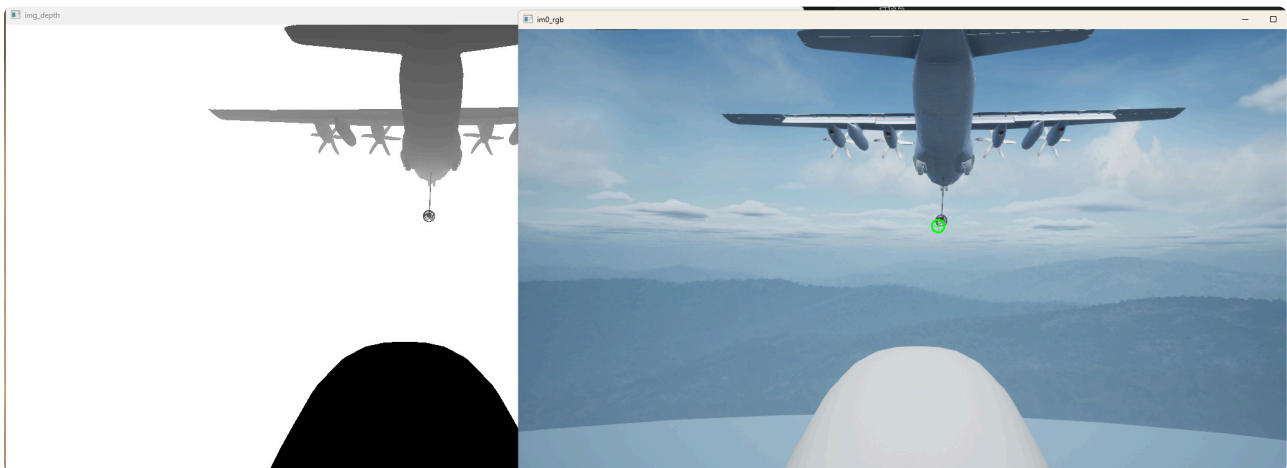
```
C:\Windows\system32\cmd.exe x + v
Python3.8 environment has been set with openCV+pymavlink+numpy+pyulog etc.
You can use pip or pip3 command to install other libraries
Put Python38Run.bat into your code folder
Use the command: 'python XXX.py' to run the script with Python
C:\Users\89256\Desktop\可以的\code_9\e7-4\Python>python detect-realtime.py
```

完成上述准备工作后可开始仿真，先运行"AirRefueling\_Platform.slx"文件，再运行"Mytrajectory\_HITL.py"文件，最后运行" [detect-realtime.py](#)"文件，如图所示



## 4.5 执行仿真任务

观察仿真过程，直至完成对接任务



## 5. 关键知识点

### 关键知识点1: PX4飞控HIL模式配置

硬件在环 (HIL) 仿真是一种将真实飞控硬件与虚拟仿真环境相结合的测试方法。在本实验中, 我们使用QGroundControl地面站配置PX4飞控进入HIL模式, 并烧录专门的固件。HIL模式下, 飞控的传感器数据由仿真软件提供, 而飞控的控制输出则驱动仿真中的虚拟无人机。

### 关键知识点2: YOLOv5目标检测算法

YOLOv5 (You Only Look Once version 5) 是一种实时目标检测算法。在本实验中, 我们使用YOLOv5检测加油锥套的位置。通过训练好的模型, 系统能够实时识别图像中的锥套, 并计算其在图像中的位置, 为控制算法提供视觉反馈。

### 关键知识点3: 基于视觉的无人机控制

本实验采用视觉伺服控制方法, 通过检测锥套在图像中的位置, 计算无人机需要调整的飞行姿态。控制算法根据图像误差 (锥套位置与图像中心的偏差) 计算期望的速度、偏航角和高度, 实现精确对接。

### 关键知识点4: 多系统协同仿真架构

本实验整合了多个系统: RflySim3D提供三维可视化环境, MATLAB/Simulink模拟加油机运动, Python脚本实现控制逻辑和视觉检测, PX4飞控提供真实的控制算法。这些系统通过MAVLink协议进行通信, 形成完整的仿真闭环。

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](#)
3. [飞思实验室官网](#)
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: QGroundControl无法识别飞控设备

A1: 检查USB转串口驱动是否正确安装，尝试重新安装

Python/Firmware/Cubepilot/MissionPlanner-1.3.76.msi中的驱动程序。确认串口号是否正确。

### Q2: 仿真启动后无人机无法起飞或飞行异常

A2: 检查飞控是否正确进入HIL模式，确认固件版本是否匹配。检查Mytrajectory\_HITL.py中的控制参数设置是否正确。

### Q3: 视觉检测程序无法识别锥套

A3: 检查best.pt模型文件是否存在且完整，确认摄像头配置是否正确。检查光照条件是否影响识别效果，必要时调整detect-realtime.py中的置信度阈值参数。

---

1. <https://rflysim.com/> ↩

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