

硬件在环实验：仿真验证

1. 实验目的

1. 理解硬件在环仿真的基本原理和配置方法
2. 掌握控制算法代码生成和部署技术
3. 进行实际硬件系统的仿真验证

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；Pixhawk 6X mini自驾仪或CubePilot Cube Orange 自驾仪1套；遥控器及接收机各1套及若干连接线^[2]。

3. 实验地址

例程目录：

[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\e10-FixedWingCtrl\code_8\e6-4](#)

- [hitl/SmallFixedWingUAVupperHIL.slx](#)：固定翼无人机硬件在环仿真模型
- [hitl/Init.m](#)：硬件在环仿真初始化文件
- [hitl/desire.mat](#)：存放期望的轨迹存储数据
- [software/SmallFixedWingUAVdf.slx](#)：基于固定翼无人机动态系统模型的仿真程序
- [software/Init.m](#)：初始化文件
- [software/desire.mat](#)：期望轨迹数据文件

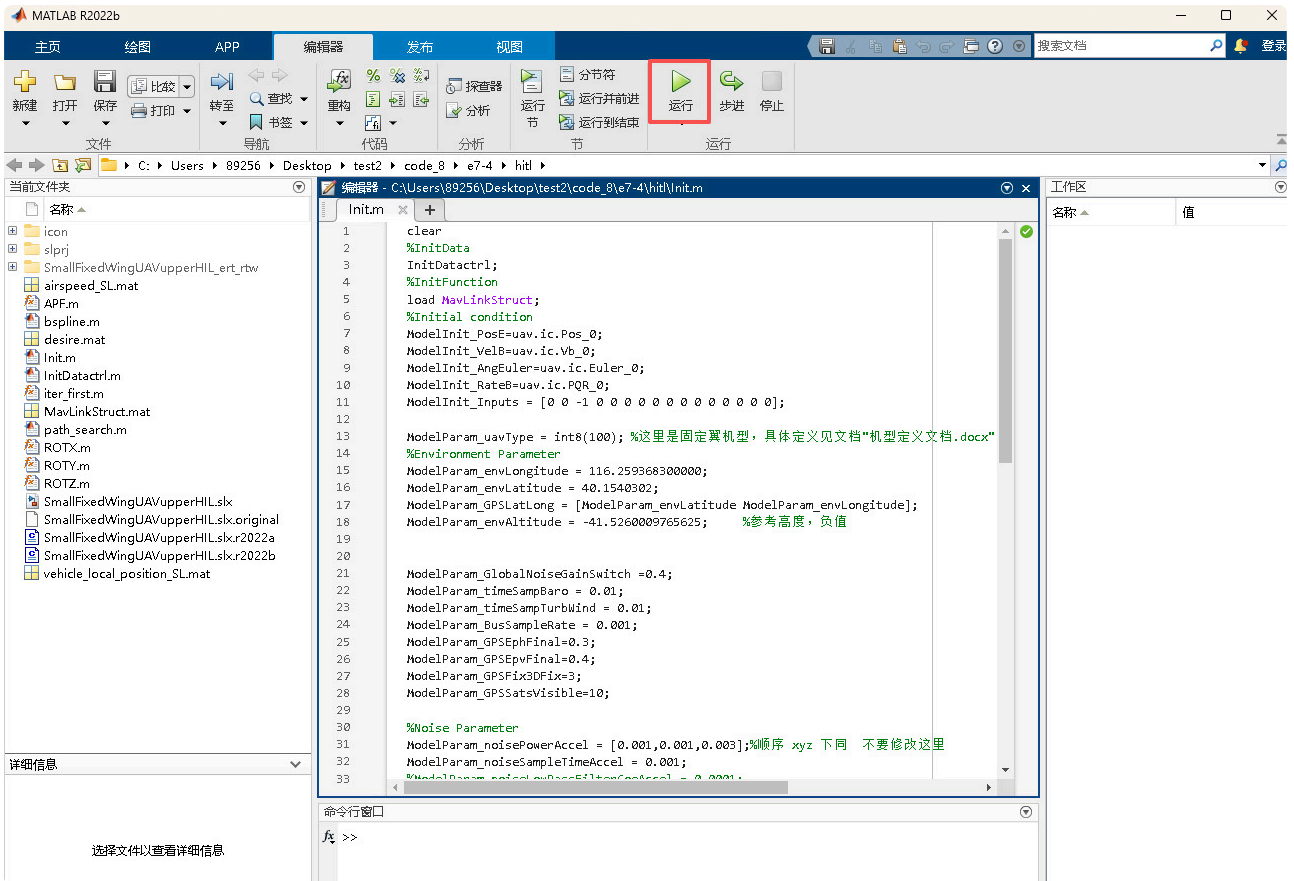
4. 实验内容或步骤

5.1 步骤1：环境配置

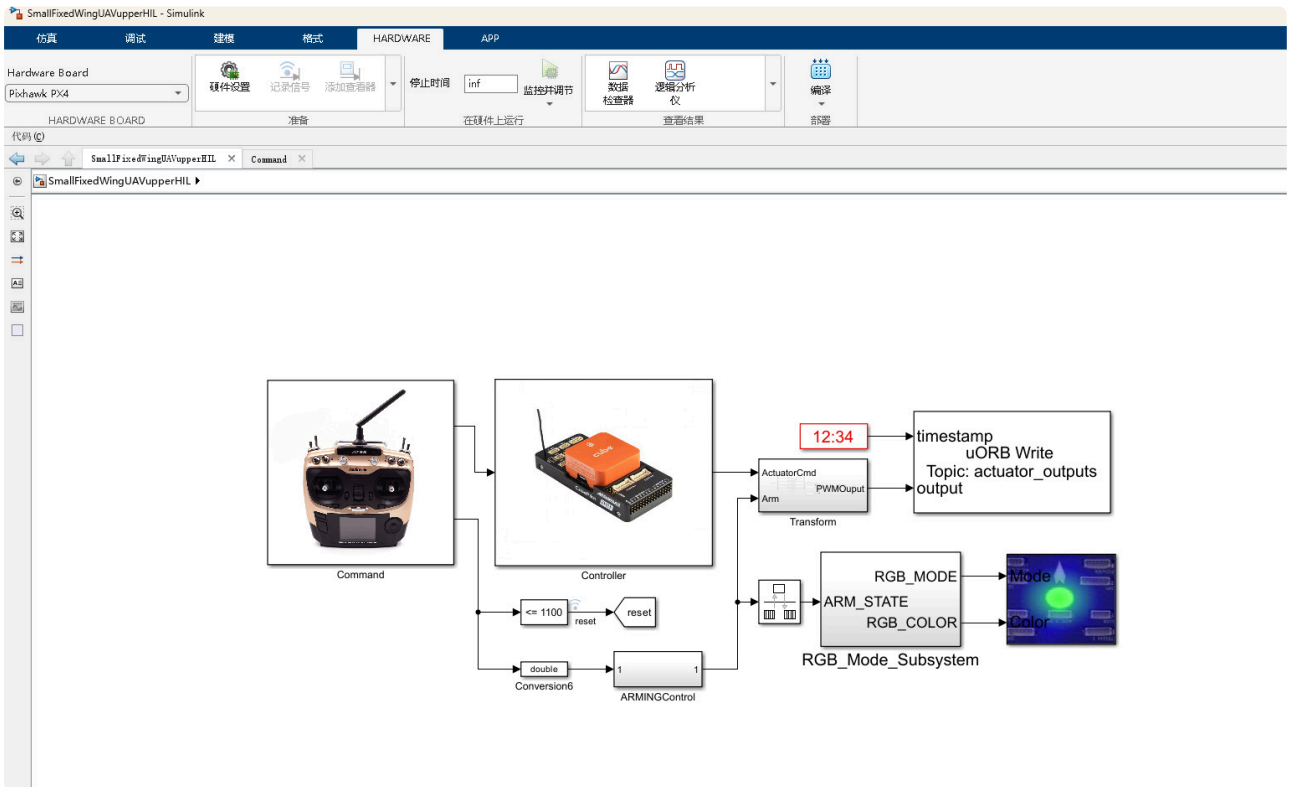
硬件在环仿真布置如图所示。



进入hitl文件夹，运行初始化文件Init.m



然后打开SmallFixedWingUAVupperHIL.slx

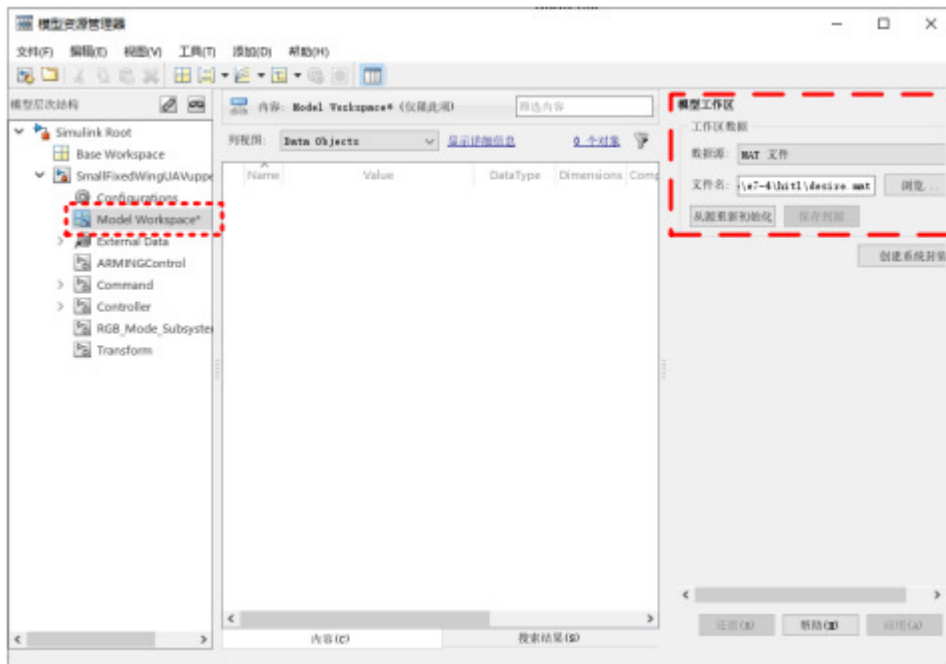


5.2 步骤2：模型配置

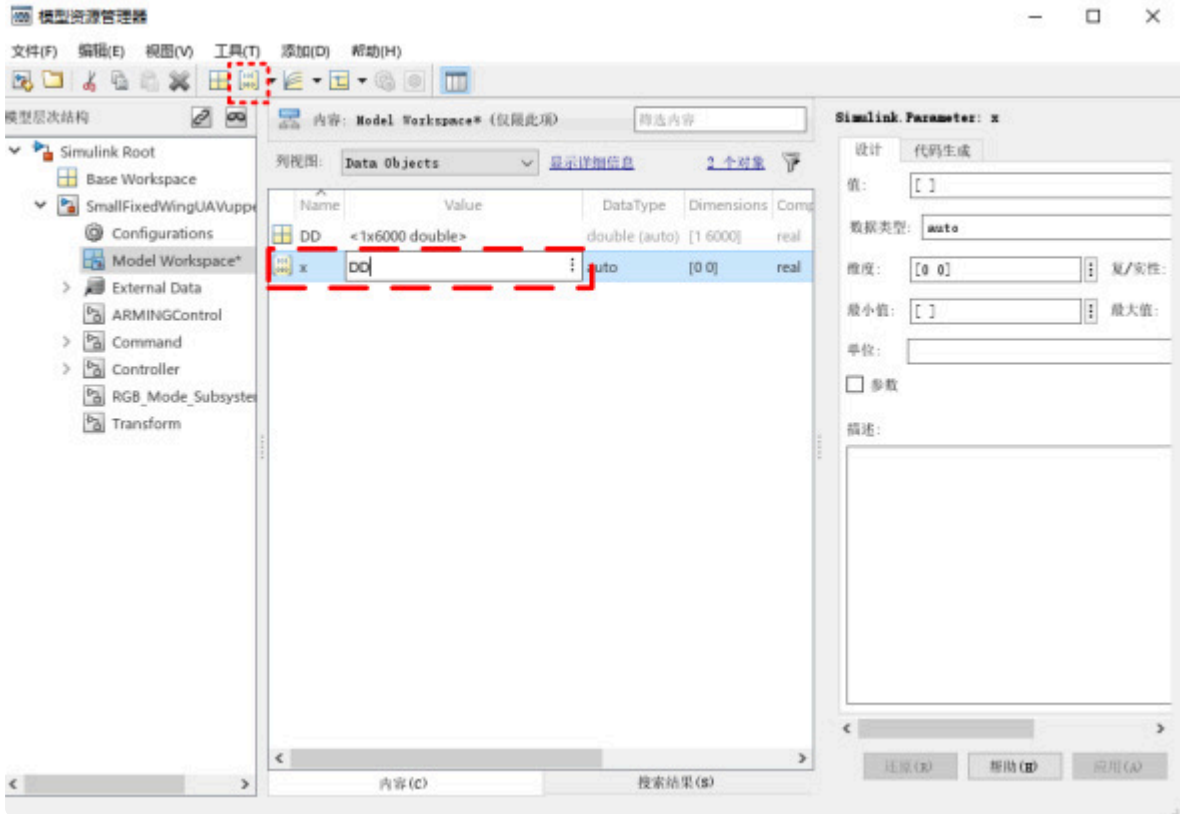
单击“建模”栏的“模型资源管理器”，如图所示。



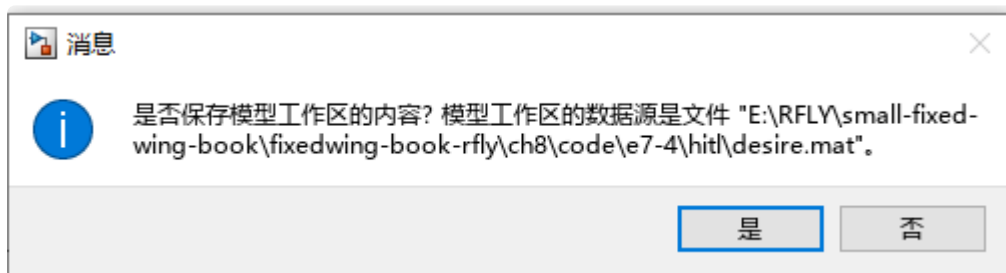
单击如图所示的“Model Workspace”，在模型工作区选择“MAT 文件”，并单击浏览选择“e7-4/hitl/desire.mat”，该文件用于存放期望的轨迹存储数据，便于硬件在环的实现。



单击图中工具栏中的“Simulink Parameter”，并在下方重命名“Name”栏的变量名为“x”，并在“value”栏输入“DD”进行赋值。

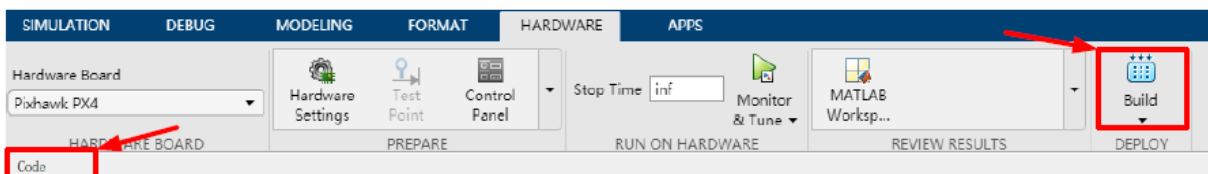


在 Simulink 页面单击保存，出现图所示的确认框，单击“是”。



5.3 步骤3：代码生成与部署

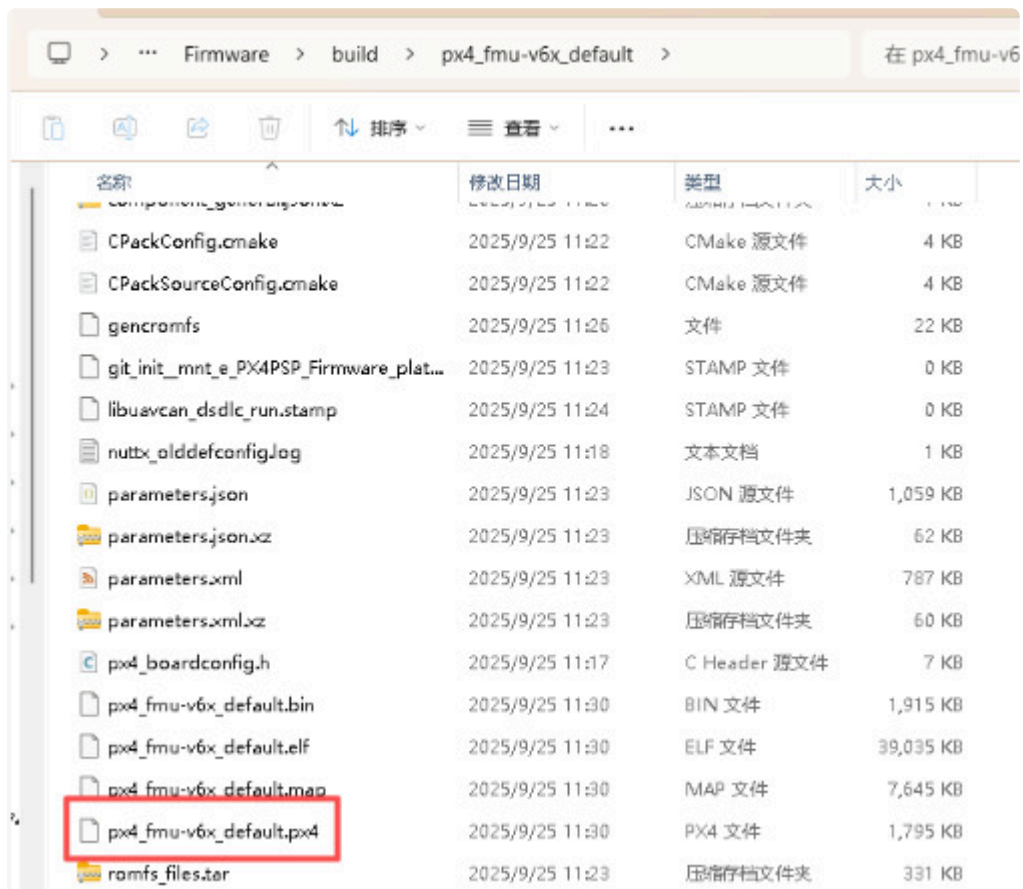
在工具栏中点击“Build”对当前程序进行编译，如图所示。成功编译后，将飞控与电脑连接，点击工具栏中的“code”，选择“PX4PSP Upload code to PX4FMU”，将代码烧录到Pixhawk 飞控中。



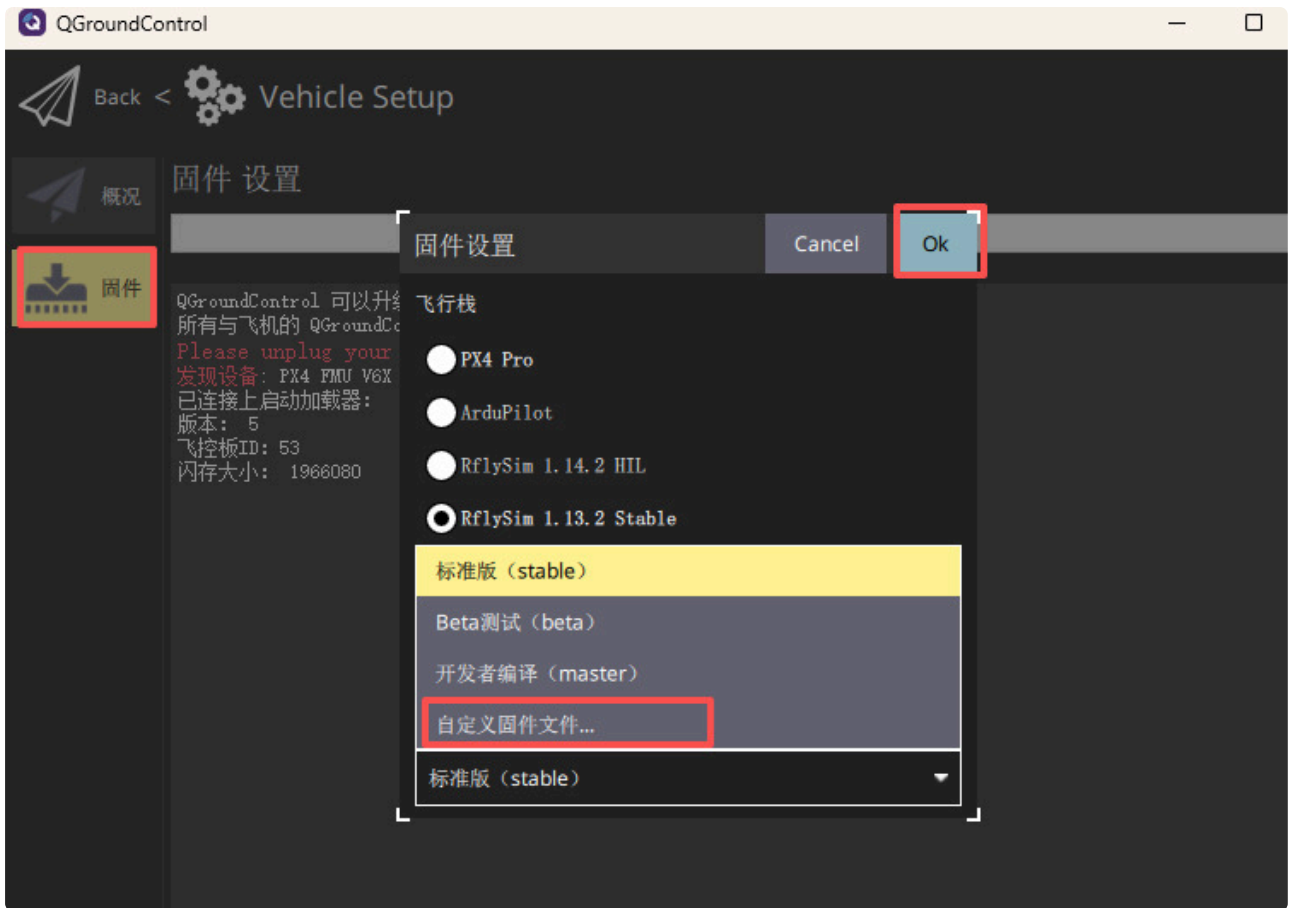
如果烧录到Pixhawk 飞控一直卡着不动，如图所示，则改用QGC进行烧录。

```
C:\WINDOWS\SYSTEM32\cmd x + v - □ ×
Loaded firmware for board id: 53,0 size: 1960660 bytes (99.72%), waiting for the bootloader..
.
```

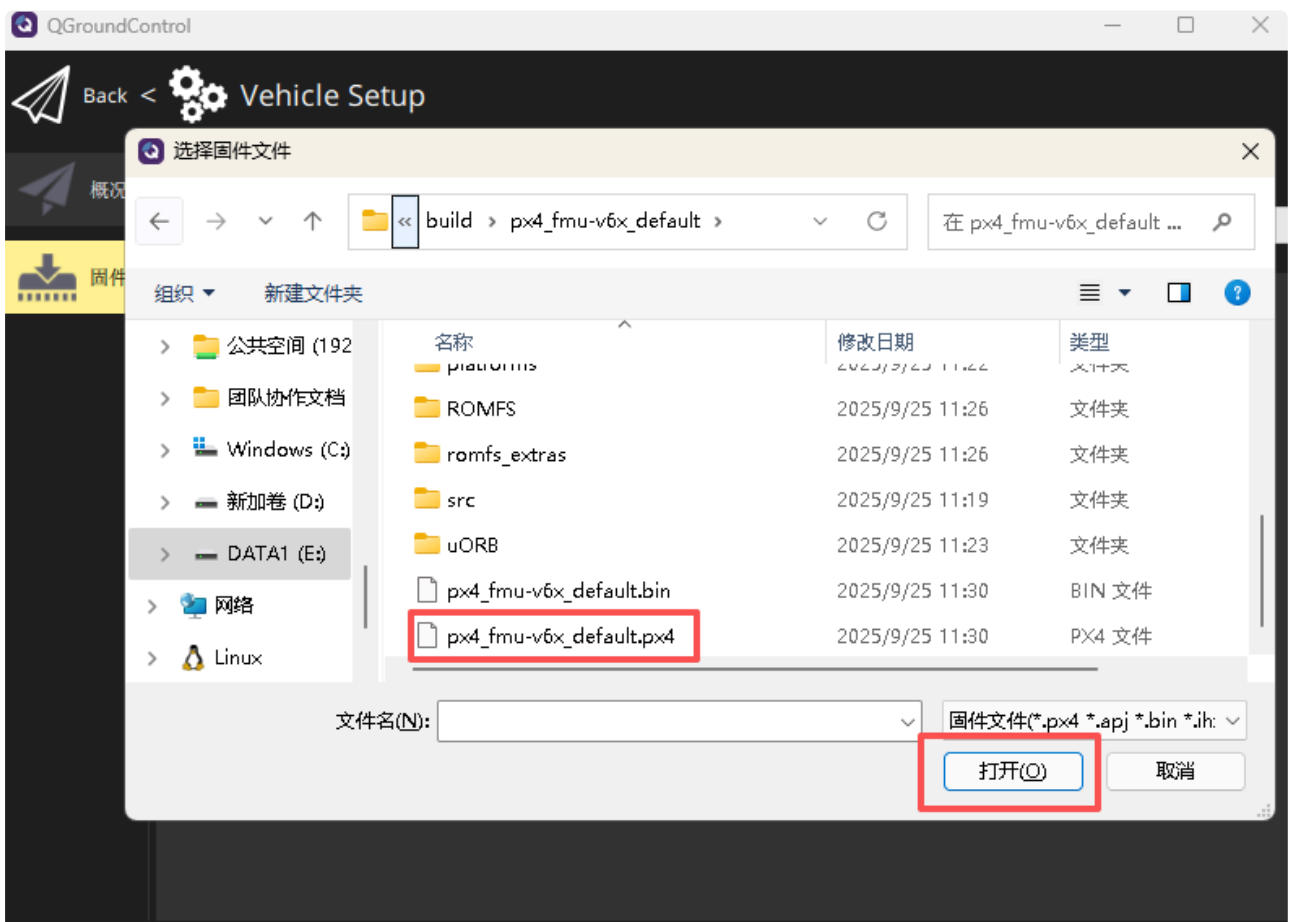
进入 [RflySim安装路径]\PX4PSP\Firmware\build\[自动驾驶编译命令] 文件夹中，根据编译的时间找到此例程生成的*.px4文件，如图：



在QGC中打开自定义固件，选择此例程生成的.px4文件，如图所示。

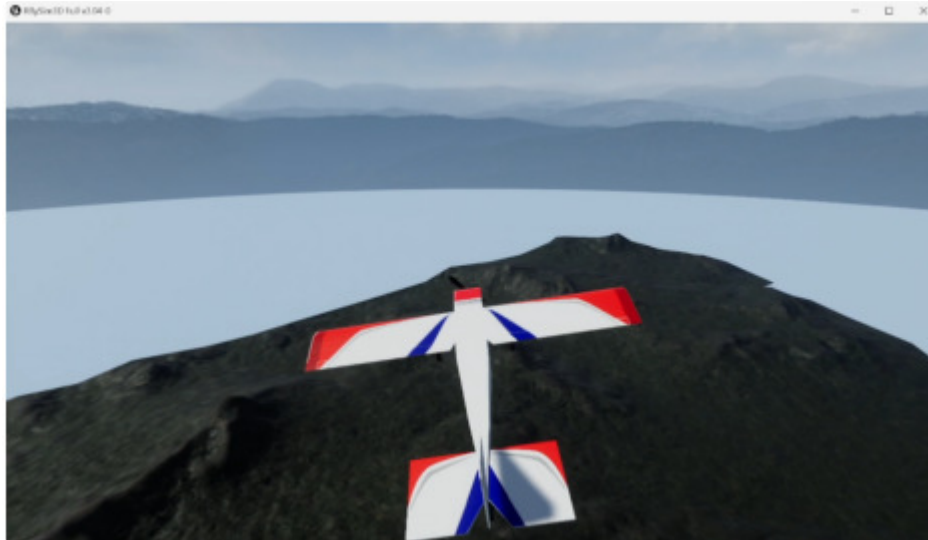


在QGC中选择进行固件烧录。

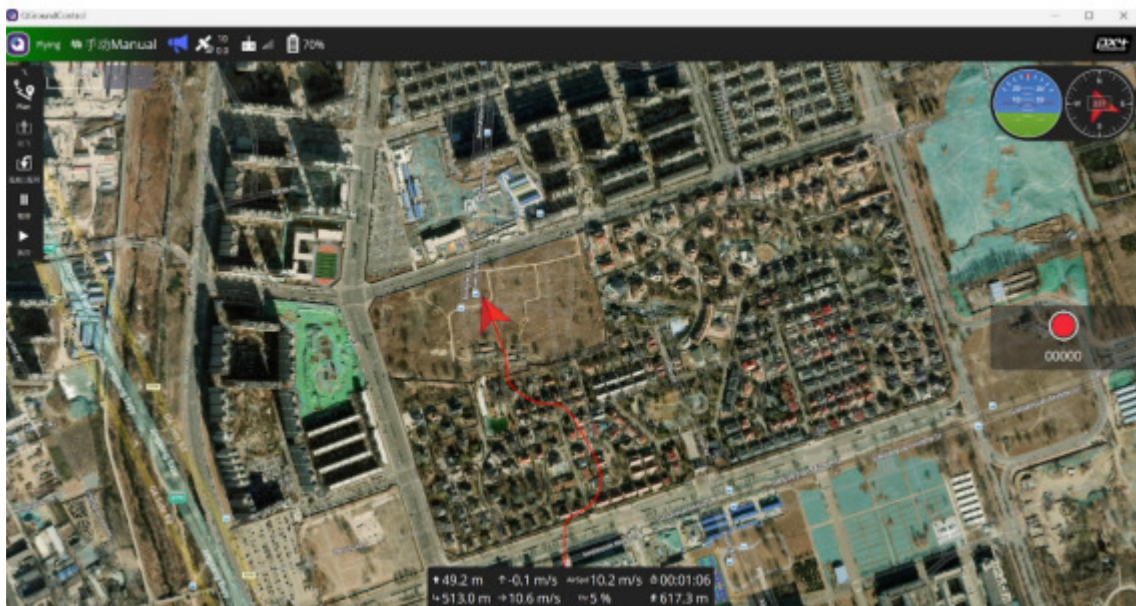


5.4 仿真运行

程序中设置通过“ch6”高位启动自动航线飞行，因此在开始仿真前保证遥控器“ch6”通道处于低位。等待硬件在环仿真环境启动完成后，首先在 QGC 中解锁无人机，然后将“ch6”拨至高位启动自动航线飞行。飞行过程如图所示。



QGC 中的飞行记录如图。



5. 关键知识点

此处编写关键知识点，编写样式如下：

关键知识点1：硬件在环仿真配置

在Init.m中进行硬件在环仿真的初始化配置，包括：

1. 模型参数设置
2. 环境参数配置
3. 传感器参数配置
4. 无人机参数配置

关键知识点2：代码生成与部署

使用Simulink的代码生成功能，将控制算法自动生成代码并部署到Pixhawk飞控硬件上。主要包括：

1. 模型配置和参数设置
2. 代码生成和编译
3. 代码烧录到硬件
4. 硬件与仿真环境的连接配置

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. 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
3. [PX4 User Guide](#)
4. [QGroundControl User Guide](#)

7. 常见问题

Q1: 在代码烧录到Pixhawk飞控时，如果烧录过程一直卡着不动怎么办？

A1: 如果烧录到Pixhawk飞控一直卡着不动，可以改用QGC进行烧录。进入 [RflySim安装路径]\PX4PSP\Firmware\build\[自动驾驶编译命令] 文件夹中，根据编译的时间找到此例程生成的*.px4文件，在QGC中打开自定义固件，选择此例程生成的.px4文件，然后在QGC中选择进行固件烧录。

Q2: 硬件在环仿真环境启动完成后，如何启动自动航线飞行？

A2: 程序中设置通过"ch6"高位启动自动航线飞行，因此在开始仿真前保证遥控器"ch6"通道处于低位。等待硬件在环仿真环境启动完成后，首先在QGC中解锁无人机，然后将"ch6"拨至高位启动自动航线飞行。

Q3: 仿真过程中如何确保GPS初始化完成？

A3: 等待CopterSim软件下侧日志栏必须打印出 GPS 3D fixed & EKF initialization finished 字样，代表初始化完成，此时才能确保仿真系统正常运行。

1. <https://rflysim.com/> ↩

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