1.实验名称及目的

1.1实验名称

基于系统模板的固定翼模型验证（python航点控制）

1.2实验目的

该例程通过平台固定翼位置控制接口，在软硬件在环仿真过程中让固定翼往期望航点飞行。

1.3关键知识点

软/硬件在环仿真的实现原理

从实现机制的角度分析，可将RflySim平台分为运动仿真模型、底层控制器、三维引擎、外部控制四部分。

- 运动仿真模型：这是模拟飞行器运动的核心部分。在RflySim平台中，运动仿真模型是通过MATLAB/Simulink开发的，然后通过自动生成的C++代码转化成DLL（动态链接库）文件。在使用RflySim平台进行软硬件在环仿真时，会将DLL模型导入到CopterSim，形成运动仿真模型。这个模型在仿真中负责生成飞行器的运动响应，它拥有多个输入输出接口与底层控制器、三维引擎、地面控制站和外部控制进行数据交互，具体数据链路、通信协议及通信端口号见PX4PSP\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf中的通信接口部分。
- 底层控制器：在软/硬件在环仿真（SIL/HIL）中，真实的飞行控制硬件（如PX4飞行控制器）被集成到一个虚拟的飞行环境中。在软件在环仿真（SIL）中，底层控制器（通过wsl上的PX4仿真环境运行）通过网络通信与运动仿真模型交互数据。在硬件在环仿真（HIL）中，它（将PX4固件在真实的飞行控制器（即飞控）硬件上运行）则通过串口通信与运动仿真模型进行数据交互。飞控与CopterSim通过串口（硬件在环HITL）或网络TCP/UDP（软件在环SITL）进行连接，使用MAVLink进行数据传输，实现控制闭环。
- 三维引擎：这部分负责生成和处理仿真的视觉效果，提供仿真环境和模型的三维视图，使用户能够视觉上跟踪和分析飞行器的运动。CopterSim发送飞机位姿、电机数据到三维引擎，实现可视化展示。

外部控制（offboard）：从仿真系统外部对飞行器进行的控制，包括自动飞行路径规划、远程控制指令等。在平台例程中主要通过地面控制站（QGC）、MATLAB和Python调用对应接口实现。

注意，针对仿真时的机架设置，在进行软件在环仿真时，需要在对应的bat脚本中set PX4SitlFrame= Standard Plane，硬件在环时需要在QGC机架设置页面进行相同设置。

外部控制接口（Python）

部分代码如下：

创建通信示例

mav1 = PX4MavCtrl.PX4MavCtrler(1)

创建一架飞机的通信示例

启用Mavlink消息监听循环

mav1.InitMavLoop()

配置CopterSim通信模式，该函数的参数定义如下：

def InitMavLoop(self,UDPMode=2):

""" Initialize MAVLink listen loop from CopterSim

0 and 1 for UDP_Full and UDP_Simple Modes, 2 and 3 for MAVLink_Full and MAVLink_Simple modes, 4 for MAVLink_NoSend

The default mode is MAVLink_Full

"""

默认通信模式为**Mavlink_Full：**Python直接发送MAVLink消息给CopterSim，再转发给PX4，数据量较大适合单机控制；适合单机或少量载具仿真，载具数量不大于4；

启动外部控制（offboard）

mav1.initOffboard()

使px4控制器进入外部控制模式，且以30HZ的频率发送offboard指令。

注，可在此处启用外部控制模式，也可在到达初始位置后启用，对于运行阶段中flag=0的部分（解锁和移动到初始位置），不需要外部控制模式，实际指令还是由底层控制器完成的。

设定航路点

n = 30

r = 400

missionPoints=[]

for i in range(n):

angle = 2*math.pi*i/n

x=r*math.sin(angle)

y=r*math.cos(angle)

missionPoints.append([x,y,0])

用一组离散的点模拟圆形运动轨迹，并在循环中通过append方法逐个将相应的轨迹点存入目标点列表（missionPoints）。missionPoints.append([x,y,0])表示在missionPoints列表的末尾添加一个新的列表[x,y,0]。

根据欧拉公式：

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

这些点将在 x-y 平面上形成一个圆形轨迹。

运行阶段

完成上述设置后，程序会通过检查一个 flag 变量的值来决定无人机应该执行哪些动作。

当 flag == 0 时，解锁固定翼

解锁车辆

mav1.SendMavArm(True)

设定启动目标点

targetPos=[200, 0, -100]

mav1.sendMavTakeOff(targetPos[0],targetPos[1],targetPos[2])

发送绝对的GPS坐标作为起飞目标点，使用sendMavTakeOffGPS命令，最后三位分别是经度、维度、和高度，会先从uavPosGPSHome向量中提取解锁GPS坐标，在此基础上用绝对坐标

当 flag == 1 时，进入航路寻迹模式

位置检测

curPos=mav1.uavPosNED

dis = math.sqrt((curPos[0]-targetPos[0])**2+(curPos[1]-targetPos[1])**2)

计算飞机当前位置和起飞目标位置的水平距离，用于判断是否到达目标位置，以开始下一阶段任务。

航路寻迹模式

targetPos=missionPoints[flagI]

mav1.SendPosNED(targetPos[0], targetPos[1], targetPos[2])

会通过航路点索引flagI的值从missionPoints列表中读取相应的航点，并通过SendPosNED函数更新为下一个目标点。

当 flag == 2 时，在航路点之间的运行

targetPos=missionPoints[flagI]

更新目标位置为 missionPoints 列表中的下一个点。

curPos=mav1.uavPosNED

dis = math.sqrt((curPos[0]-targetPos[0])**2+(curPos[1]-targetPos[1])**2)

再次计算无人机与目标位置之间的距离。

if dis < 50:

flagI=flagI+1

spd = 10+flagI/3.0

mav1.SendCruiseSpeed(spd)

如果距离小于 5米，更新 flagI 以切换到下一个航路点，并调整巡航速度。

else:

mav1.SendPosNED(targetPos[0], targetPos[1], targetPos[2])

如果距离不满足条件，则继续向当前目标位置运行。30个轨迹点取完后，会脱离圆形轨迹。

2.实验效果

在平台进行软硬件在环仿真，通过平台固定翼位置控制接口实现固定翼飞行轨迹画圆。

3.文件目录

例程目录：
[安装目录]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\2.AdvExps\e3_FWingModelCtrl\2.FWPosCtrlAPI

文件夹/文件名称	说明
AircraftMathworksMavlinkSITLRun.bat	软件在环仿真批处理文件。
AircraftMathworksMavlinkHITLRun.bat	硬件在环仿真批处理文件。
AircraftMathworksController.py	单个固定翼固定轨迹控制脚本。
AircraftMathworksController3.py	多个固定翼固定轨迹控制脚本。
AircraftMathworks.dll	固定翼无人机DLL模型文件

4.运行环境

4.1 软件要求

Windows 10及以上版本；RflySim工具链；Python。

> ①：若使用Pixhawk 6X飞控，平台安装时的编译命令为：px4_fmu-v6x_default，推荐PX4固件版本为：1.12.3。其他配套飞控及编译命令请见：
> https://rflysim.com/doc/zh/1/Hardware.html

4.2 硬件要求

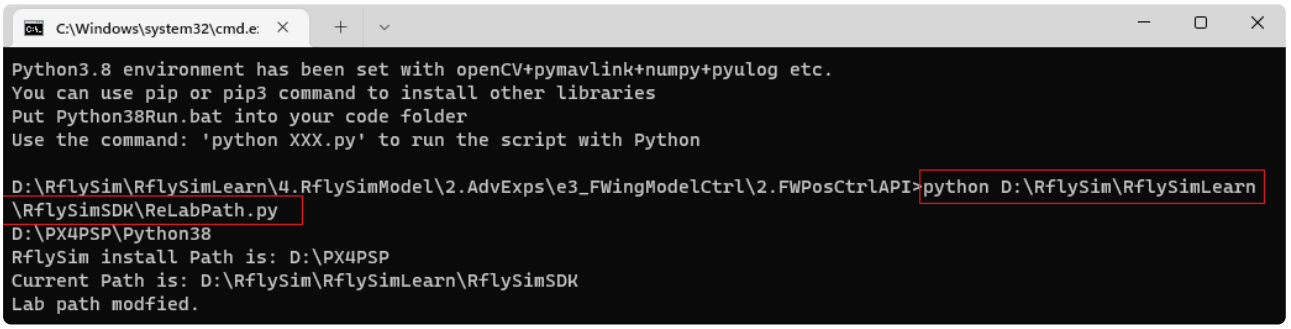
笔记本/台式电脑① 1台；Pixhawk 6X或其它飞控 1台；数据线 1台。

> ①：推荐配置请见： https://rflysim.com/

5.实验步骤

5.1. Python库文件部署

在文件夹下，双击Python38Run.bat，打开集成好的python环境，在该环境下运行ReLabPath.py文件，输入
python C:\PX4PSP\RflySimAPIs\RflySimSDK\
ReLabPath.py，注意输入要根据实际路径。回车，完成Python公共库环境部署。

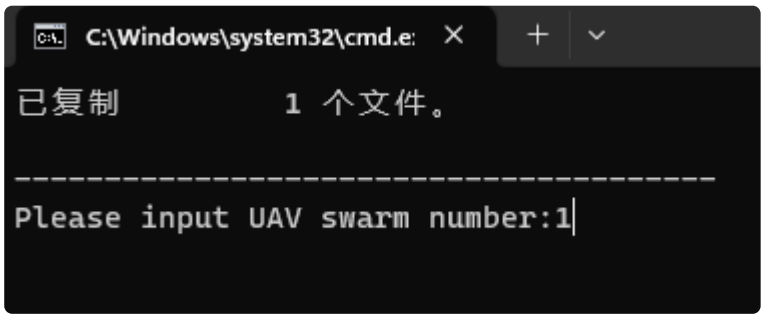


5.2. 必做实验：软件在环仿真

5.2.1 单架固定翼仿真

Step 1：启动仿真

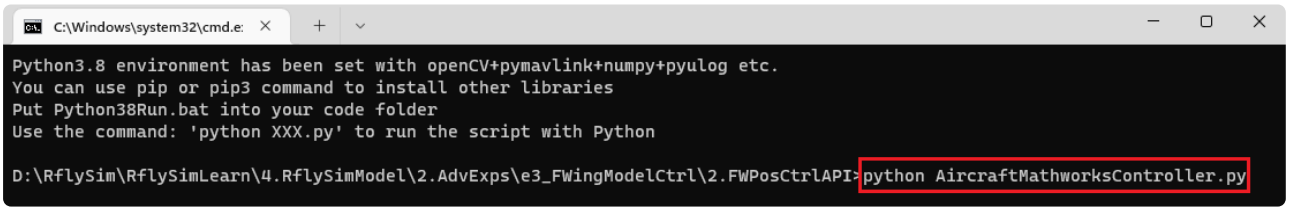
右键以管理员身份运行AircraftMathworksMavlinkSITLRun.bat批处理文件，
在弹出的终端窗口中输入1，启动1架飞机的软件在环仿真。



Step 2：等待初始化完成

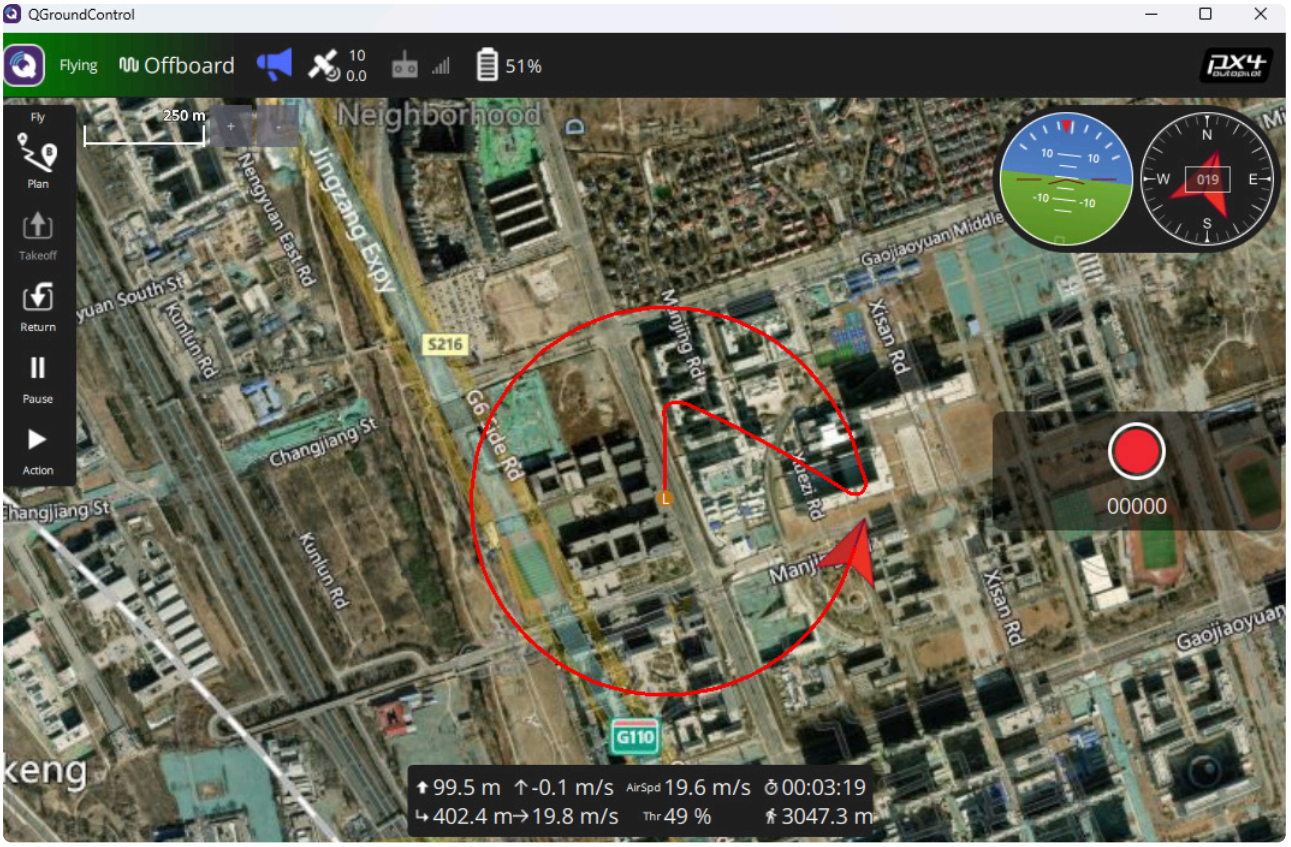
Step 3：运行控制程序

在文件夹下，双击Python38Run.bat，打开集成好的python环境，在该环境下运行AircraftMathworksController.py文件，输入
python AircraftMathworksController.py



Step 4：观察结果

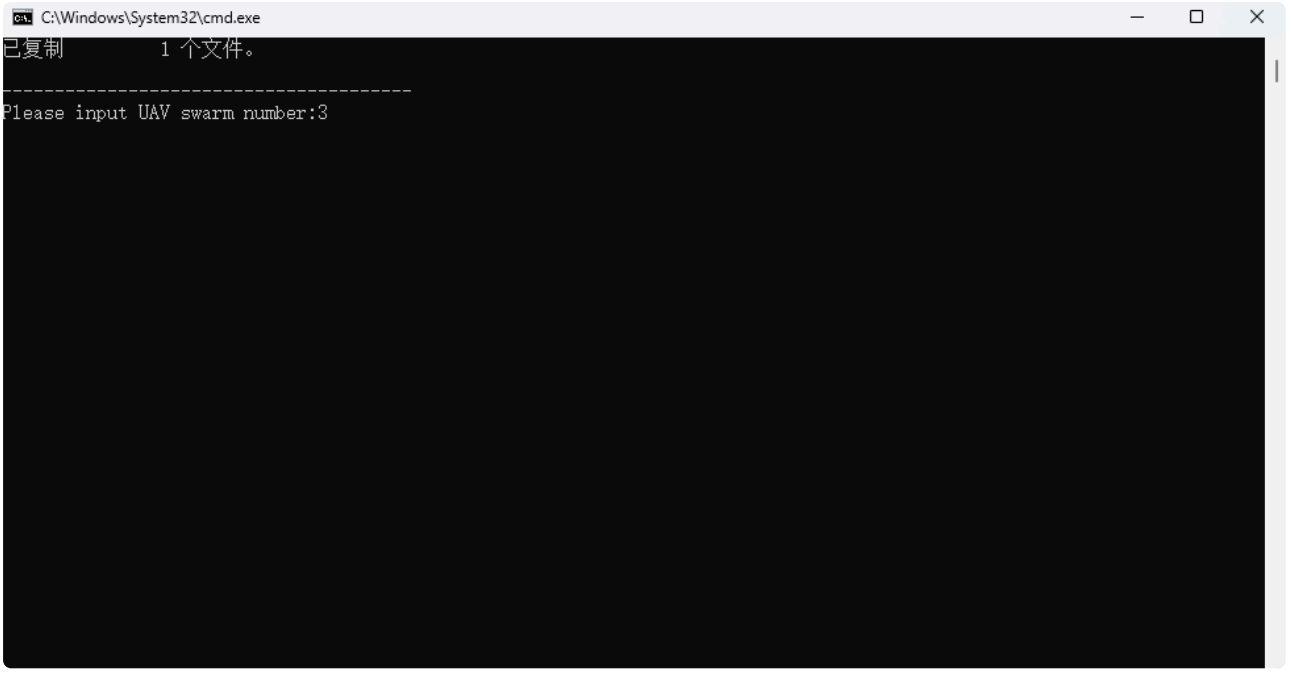
在RflySim3D中观察飞机运行状况，并在QGC地面站中观察运动轨迹。



5.2.2 多架固定翼仿真

Step 1：启动仿真

管理员身份运行AircraftMathworksMavlinkSITLRun.bat文件后，在弹出的终端窗口中输入3.



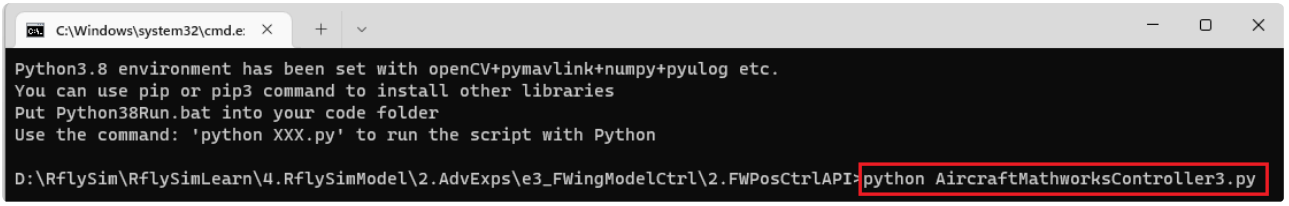
Step 2：等待初始化完成

等待三架固定翼飞机均完成初始化。

Step 3：运行控制程序

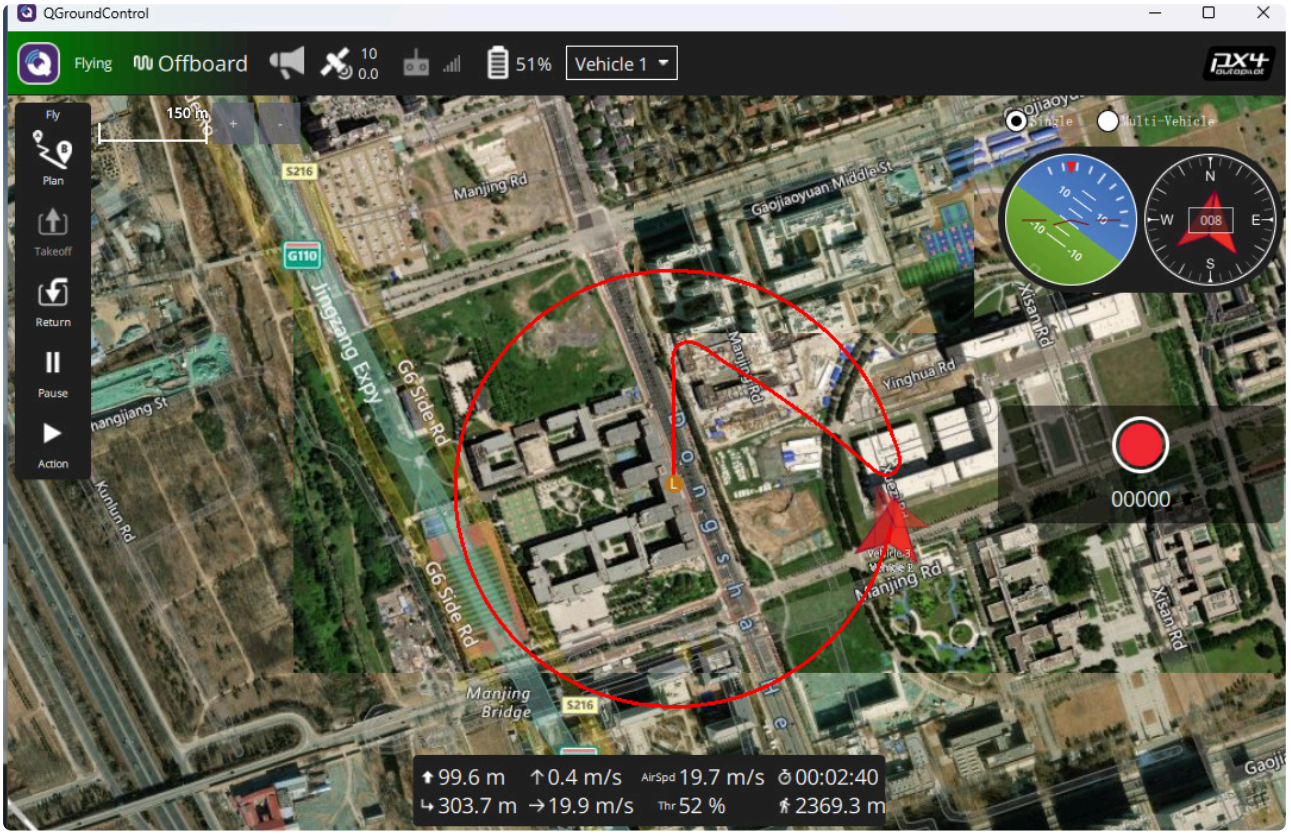
在文件夹下，双击Python38Run.bat，打开集成好的python环境，在该环境下运行AircraftMathworksController3.py文件，输入

python AircraftMathworksController3.py



Step 4：观察结果

可从QGC处看到固定翼按期望轨迹画圆。



5.3. 选做实验：硬件在环仿真

Step 1：连接飞控

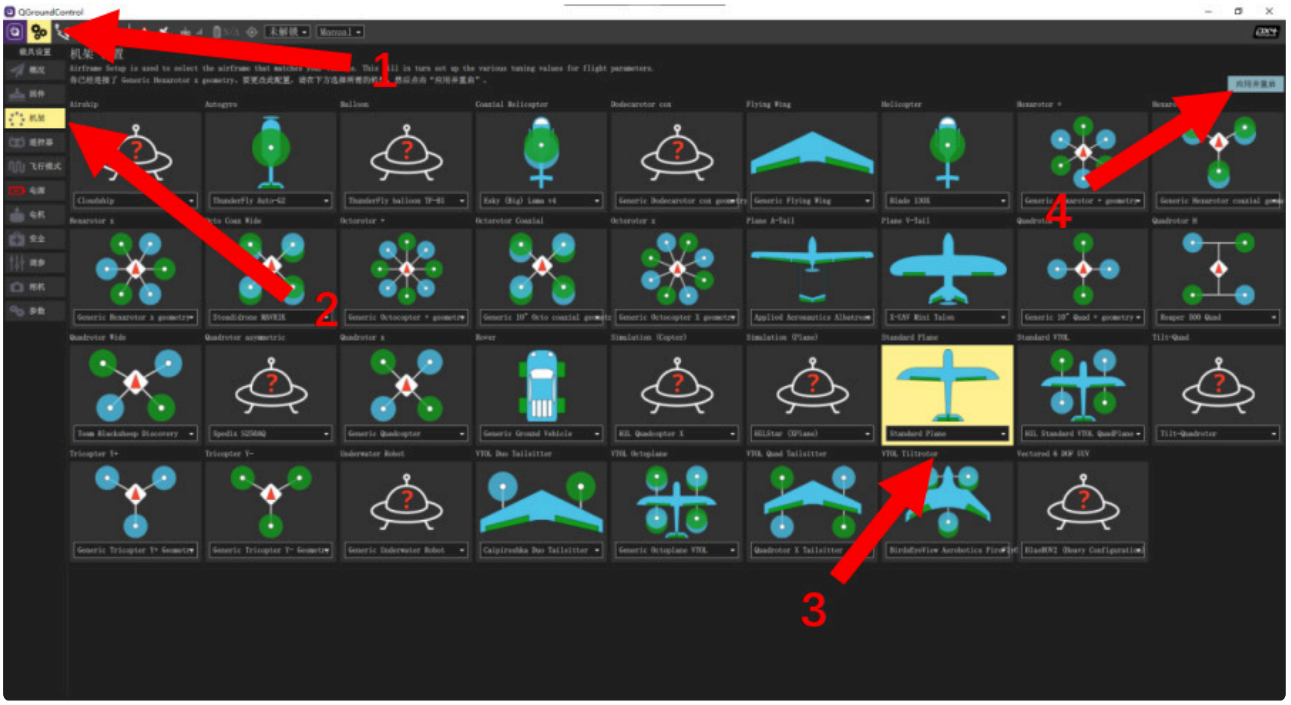
如下图所示，将飞控通过USB线连接电脑，并确保完成硬件在环仿真配置。注意，本图使用Pixhawk6x飞控，其他飞控配置方法类似（推荐使用Pixhawk飞控）。

Step 2：设置硬件在环机架

在 Rflytools 文件夹中打开 QGC 地面站。

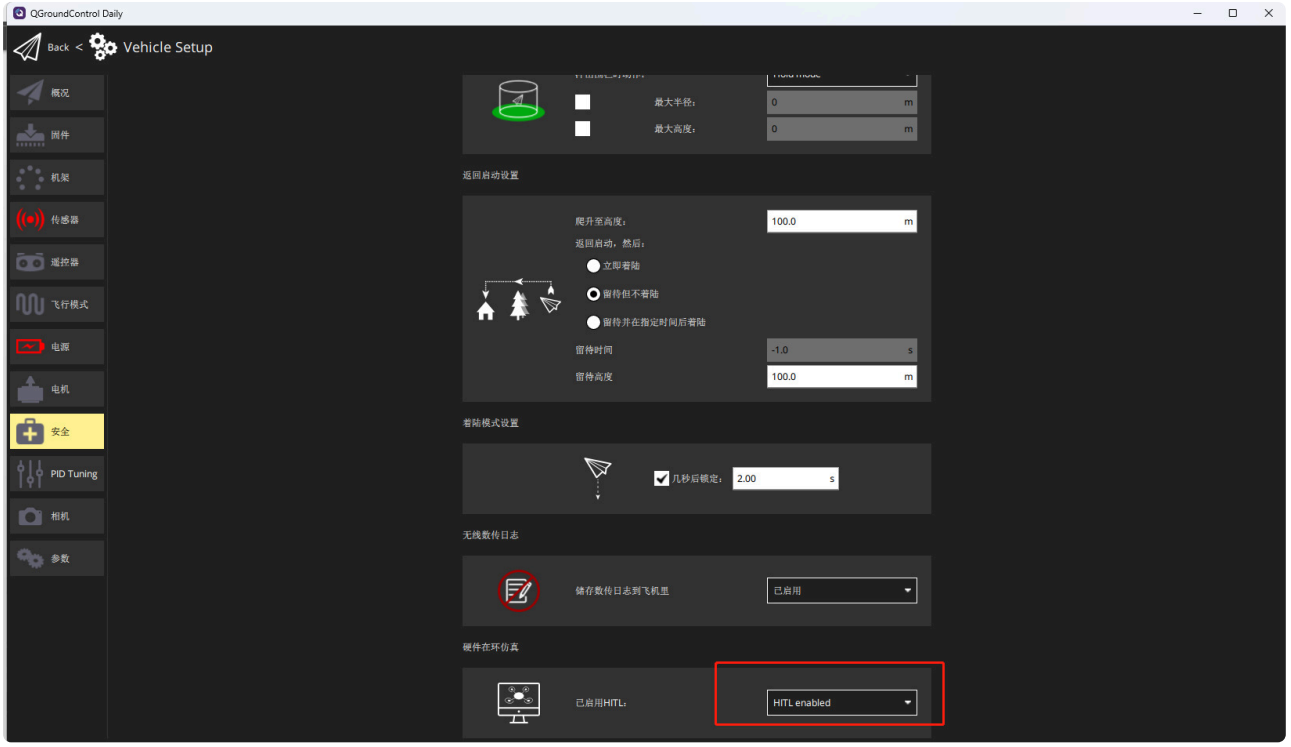
3DDisplay	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
CopterSim	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
FlightGear-F450	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
HITLRun	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
Python38Env	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
QGroundControl	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
RflySim3D	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
RflySimAPIs	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
RflySimUE5	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
SITLRun	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
Win10WSL	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB

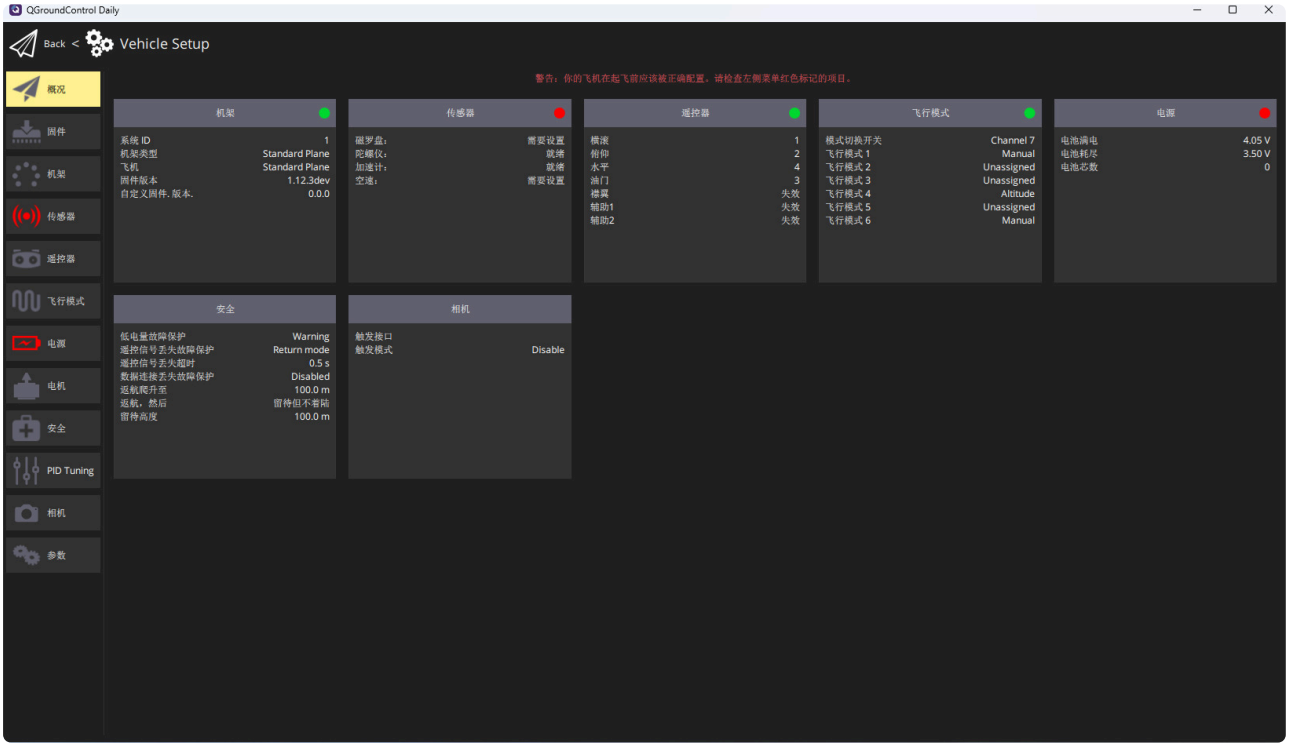
在机架界面设置机架型号为“Standard Plane”，设置完毕后点击右侧 “应用并重启”。



Step 3：配置硬件在环参数

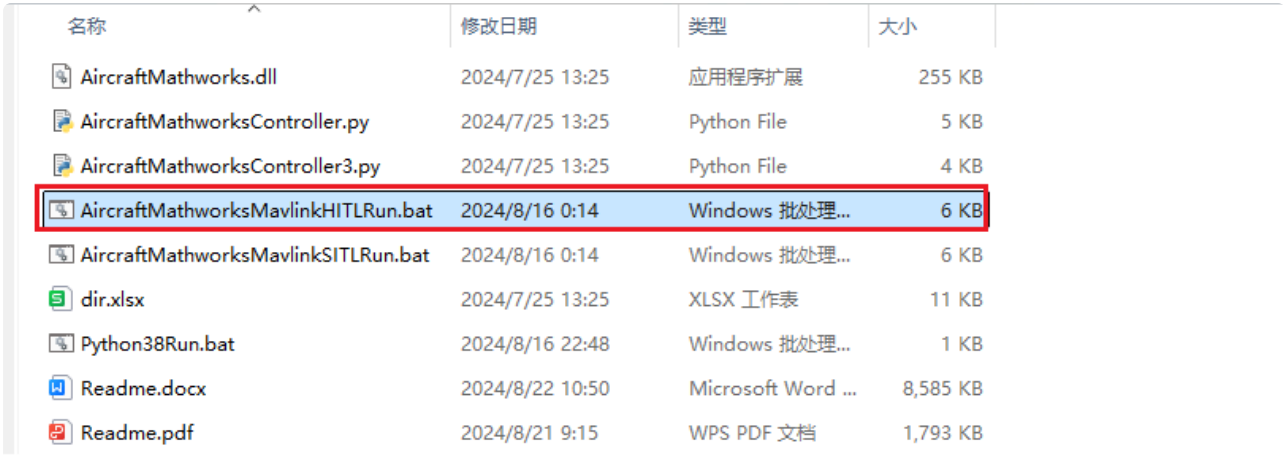
在“安全”界面，选择“HITL enabled”启动硬件在环仿真，之后在概况界面中确认配置完成后，重新插拔飞控完成设置。

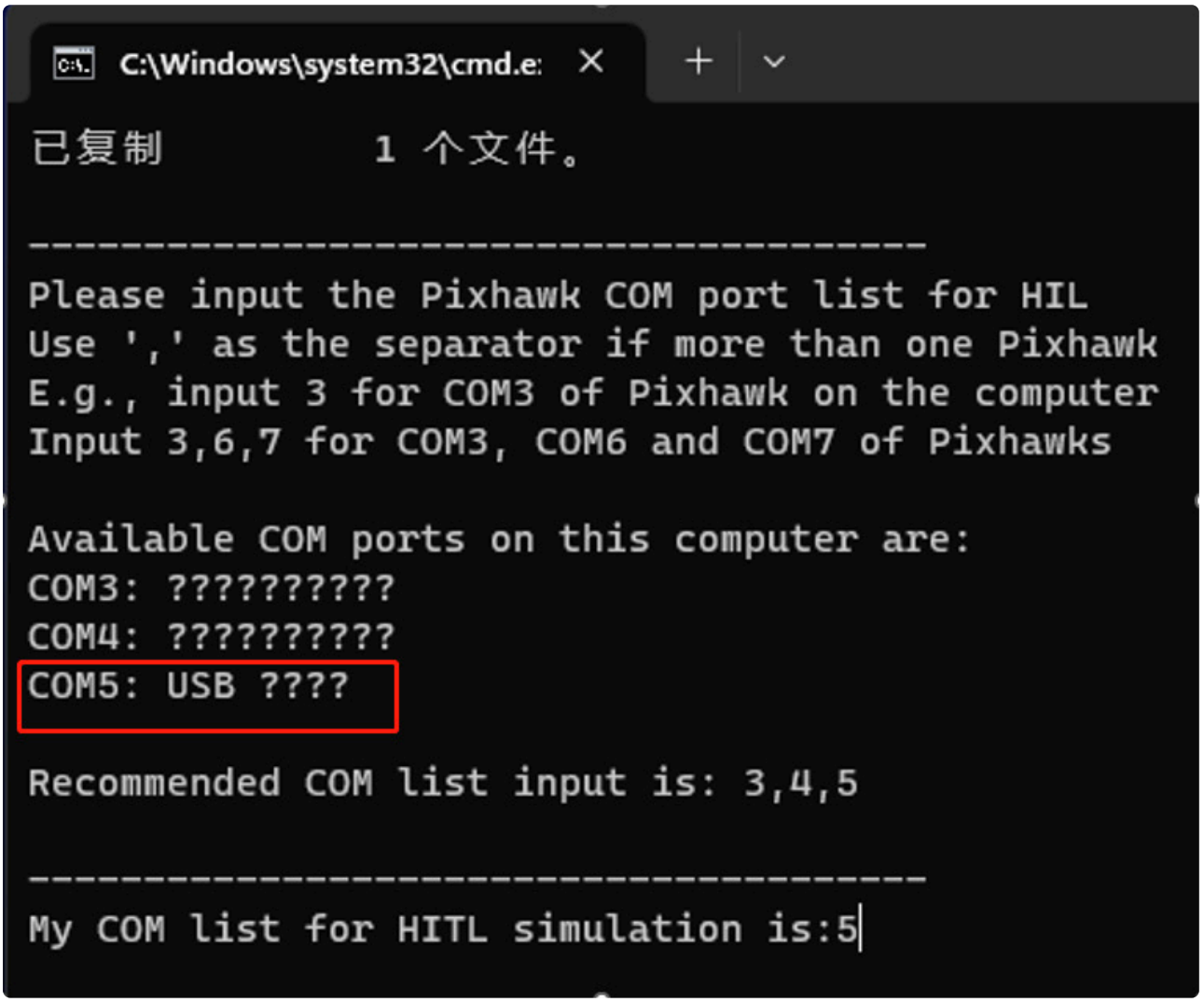




Step 4：启动仿真

双击运行“AircraftMathworksHITLRun.bat”批处理文件，在弹出的终端窗口中根据提示输入串口号，启动硬件在环仿真。





Step 5：仿真过程

之后测试步骤与5.2.1相同，运行Python文件后可在QGC与RflySim3D中观测运行状态与角度。

注意事项：在固定翼的offboard控制中，用到如下控制接口：

1. SendMavTakeOff：起飞指令。
2. SendPosNED：在北东地坐标系下发送目标位置。

3. SendCruiseSpeed：发送盘旋速度。
4. SendCruiseRadius:发送盘旋半径。

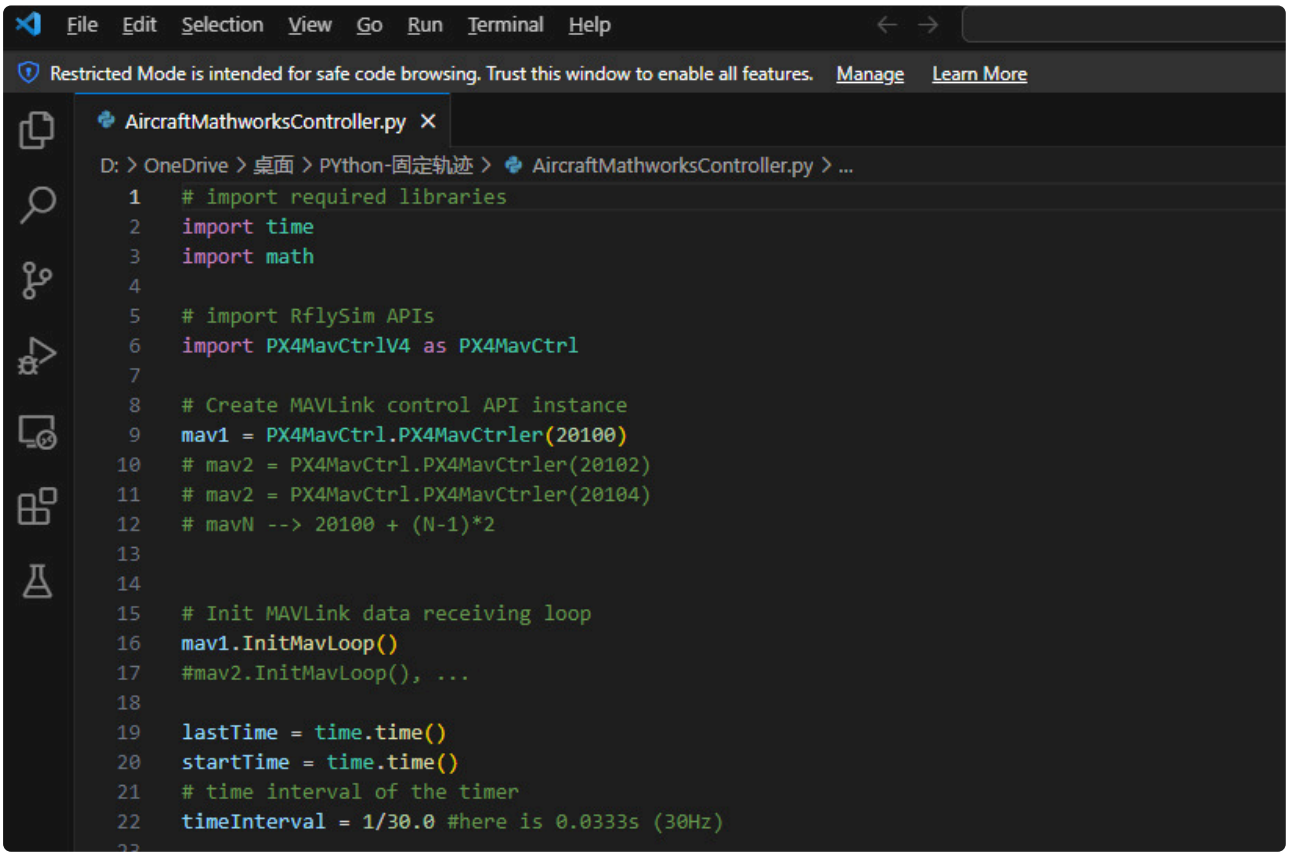
5.4. 选做实验（VS Code调试运行）

准备工作

- 先确保已经按RflySimAPIs\1.RflySimIntro\2.AdvExps\e3.PythonConfig\Readme.pdf步骤，正确配置VS Code环境。或者配置了自己的Pycharm等自定义Python环境。
- 其他步骤与上文相同，运行AircraftMathworksController.py时，可使用VS Code（或Pycharm等工具）来打开AircraftMathworksController.py文件，并阅读代码，修改代码，调试执行等。

扩展实验

- 请自行使用VS Code阅读AircraftMathworksController.py源码，通过程序跳转，了解每条代码的执行原理；再通过调试工具，验证每条指令的执行效果。



6.参考资料

1. DLL/SO模型与通信接口..\..\..\PX4PSP\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf
2. 外部控制接口..\..\..\PX4PSP\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf
3.

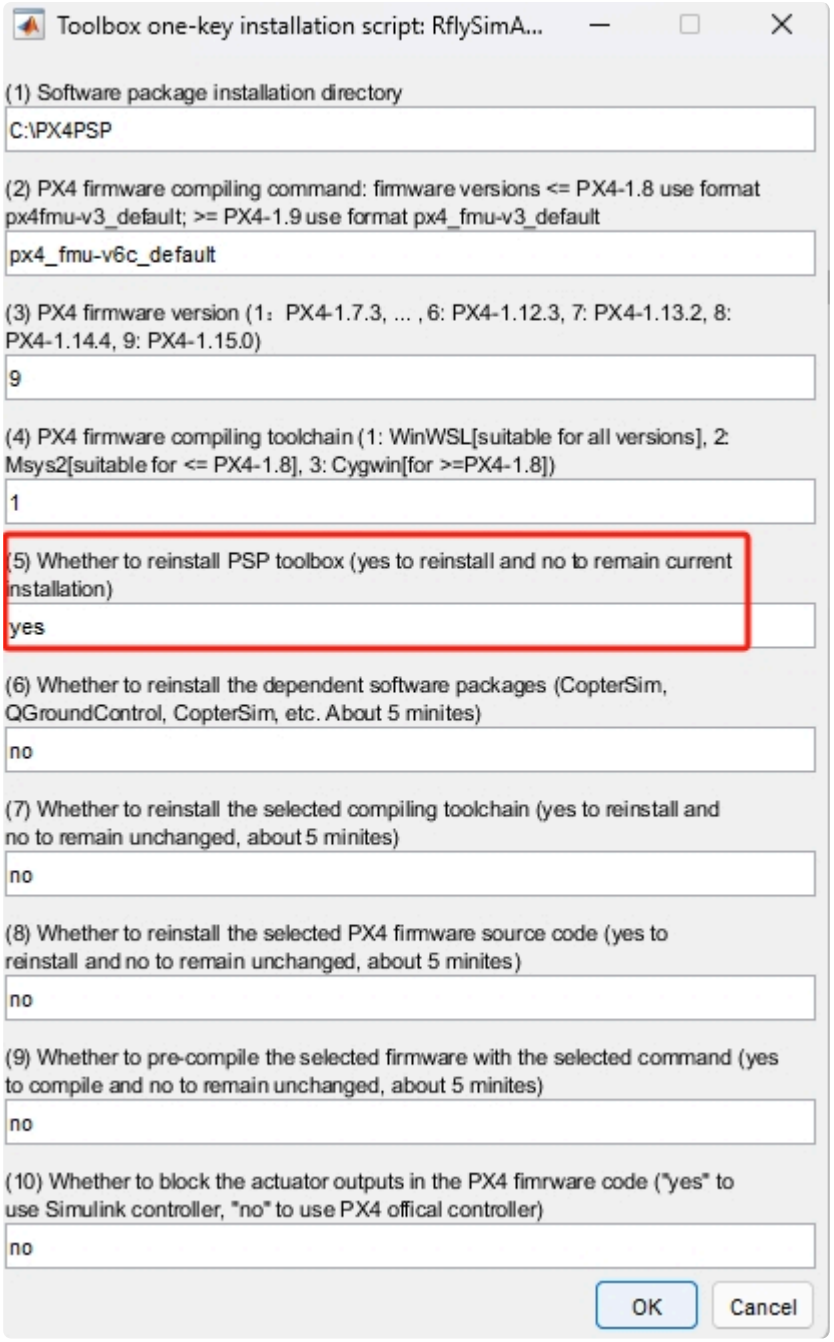
7.常见问题

Q1：

A1:

Q2：编译报错，无法加载库文件

A2：这可能是由于安装平台时PX4PSP工具箱未更新到最新版，更新RflySim安装包后按照如下配置重新安装平台即可


Toolbox one-key installation script: RflySimA...
(1) Software package installation directory
C:\PX4PSP
(2) PX4 firmware compiling command: firmware versions <= PX4-1.8 use format px4fmu-v3_default; >= PX4-1.9 use format px4_fmu-v3_default
px4_fmu-v6c_default
(3) PX4 firmware version (1：PX4-1.7.3, ... , 6: PX4-1.12.3, 7: PX4-1.13.2, 8: PX4-1.14.4, 9: PX4-1.15.0)
9
(4) PX4 firmware compiling toolchain (1: WinWSL[suitable for all versions], 2: Msys2[suitable for <= PX4-1.8], 3: Cygwin[for >=PX4-1.8])
1
(5) Whether to reinstall PSP toolbox (yes to reinstall and no to remain current installation)
yes
(6) Whether to reinstall the dependent software packages (CopterSim, QGroundControl, CopterSim, etc. About 5 minites)
no
(7) Whether to reinstall the selected compiling toolchain (yes to reinstall and no to remain unchanged, about 5 minites)
no
(8) Whether to reinstall the selected PX4 firmware source code (yes to reinstall and no to remain unchanged, about 5 minites)
no
(9) Whether to pre-compile the selected firmware with the selected command (yes to compile and no to remain unchanged, about 5 minites)
no
(10) Whether to block the actuator outputs in the PX4 fimrware code ("yes" to use Simulink controller, "no" to use PX4 offical controller)
no
OK
Cancel