

# 1. 实验名称及目的

## 1.1. 实验名称

RflySim 工具链飞控硬件配置

## 1.2. 实验目的

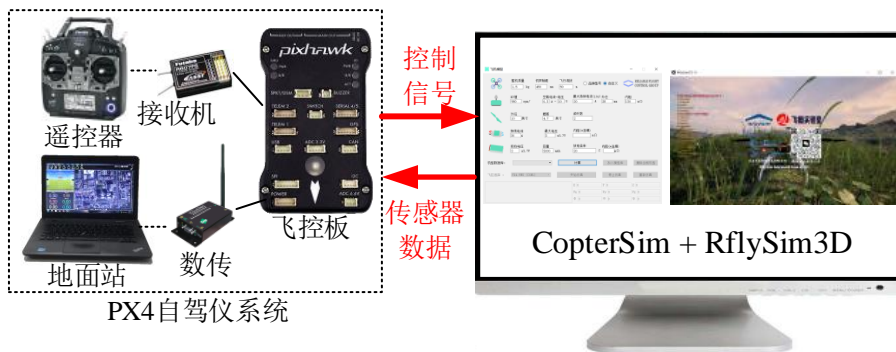
详细介绍了基于 RflySim 平台推荐的飞控硬件系统的配置和使用方法。

## 1.3. 关键知识点

### 1.3.1. 关键知识点 1

硬件在环(HITL 或 HIL)是一种模拟模式，其中正常的 PX4 固件在真实的飞行控制器硬件上运行。这种方法的好处是在真实的硬件上测试大多数实际的飞行代码。

在 RflySim 工具链中，相比较 SIL 仿真，HIL 仿真时用户将设计完成的控制器上传到 PX4 软件支持的飞控硬件环境下，通过串口线直接连接的方式与 CopterSim 软件中的 DLL 模型进行通信，CopterSim 将传感器数据（例如，加速度计、气压计、磁力计等）通过 USB 数据线发送给飞控硬件系统；Pixhawk 系中的 PX4 自驾仪软件将收到传感器数据进行滤波和状态估计，将估计的状态信息通过内部的 uORB 消息总线发送给控制器；控制器再通过 USB 数据线将每个电机的 PWM 控制指令发回给 CopterSim，从而形成一个硬件在环仿真闭环。



### 1.3.2. 关键知识点 2

RflySim 工具链理论上支持 PX4 官方支持的所有飞控固件的 HIL 仿真，截止 2024 年 7 月份支持 PX4 软件的主流飞控的不同版本固件如下表所示。

序号	飞控名称	PX4 版本		
		V1.12.3	V1.13.2	V1.14.2
1	MindPX Hardware & MindRacer Hardware	<a href="#">airmind_mindpx-v2_default.px4</a>	<a href="#">airmind_mindpx-v2_default.px4</a>	<a href="#">airmind_mindpx-v2_default.px4</a>
2	CUAV Nora Flight Controller	<a href="#">cuav_nora_default.px4</a>	<a href="#">cuav_nora_default.px4</a>	<a href="#">cuav_nora_default.px4</a>
3	CUAV X7 Flight Contr	<a href="#">cuav_x7pro_default.p</a>	<a href="#">cuav_x7pro_defau</a>	<a href="#">cuav_x7pro_default.px</a>

	oller	<a href="#">x4</a>	<a href="#">lt.px4</a>	<a href="#">4</a>
4	CubePilot Cube Orange+ Flight Controller	none	none	<a href="#">cubepilot_cubeorangepl us_default.px4</a>
5	CubePilot Cube Orange Flight Controller	<a href="#">cubepilot_cubeorange _default.px4</a>	<a href="#">cubepilot_cubeora nge_default.px4</a>	<a href="#">cubepilot_cubeorange_ default.px4</a>
6	CubePilot Cube Yellow Flight Controller	<a href="#">cubepilot_cubeyellow _default.px4</a>	<a href="#">cubepilot_cubeyel low_default.px4</a>	<a href="#">cubepilot_cubeyellow_ default.px4</a>
7	Holybro Durandal	<a href="#">holybro_durandal-v1 _default.px4</a>	<a href="#">holybro_durandal- v1_default.px4</a>	<a href="#">holybro_durandal-v1_d efault.px4</a>
8	Holybro Kakute H7 &	<a href="#">holybro_kakuteh7_def ault.px4</a>	<a href="#">holybro_kakuteh7_ _default.px4</a>	<a href="#">holybro_kakuteh7_defa ult.px4</a>
9	DroPix Flight Controller &	none	<a href="#">px4_fmuv2_defa ult.px4</a>	<a href="#">px4_fmuv2_default.px 4</a>
10	Pixhawk V3 & Pixhawk 1 & Holybro Pixhawk Mini	<a href="#">px4_fmuv3_default.p x4</a>	<a href="#">px4_fmuv3_defa ult.px4</a>	<a href="#">px4_fmuv3_default.px 4</a>
11	Drotek Pixhawk 3 Pro	<a href="#">px4_fmuv4pro_defau lt.px4</a>	<a href="#">px4_fmuv4pro_d efault.px4</a>	<a href="#">px4_fmuv4pro_defaul t.px4</a>
12	mRo Pixracer	<a href="#">px4_fmuv4_default.p x4</a>	<a href="#">px4_fmuv4_defa ult.px4</a>	<a href="#">px4_fmuv4_default.px 4</a>
13	Holybro Pixhawk 5X	<a href="#">px4_fmuv5x_default. px4</a>	<a href="#">px4_fmuv5x_def ault.px4</a>	<a href="#">px4_fmuv5x_default.p x4</a>
14	CUAV V5+ Autopilot & CUAV V5 nano Autopilot & Holybro Pixhawk 4 Mini	<a href="#">px4_fmuv5_default.p x4</a>	<a href="#">px4_fmuv5_defa ult.px4</a>	<a href="#">px4_fmuv5_default.px 4</a>
15	Holybro Pixhawk 6C & Holybro Pixhawk 6C Mini	<a href="#">px4_fmuv6c_default. px4</a>	<a href="#">px4_fmuv6c_def ault.px4</a>	<a href="#">px4_fmuv6c_default.p x4</a>
16	Holybro Pixhawk V6U	<a href="#">px4_fmuv6u_default. px4</a>	<a href="#">px4_fmuv6u_def ault.px4</a>	<a href="#">px4_fmuv6u_default.p x4</a>
17	Holybro Pixhawk 6X & CUAV Pixhawk V6X & ARK Electronics ARKV6X	<a href="#">px4_fmuv6x_default. px4</a>	<a href="#">px4_fmuv6x_def ault.px4</a>	<a href="#">px4_fmuv6x_default.p x4</a>
18	mRo Pixracer	<a href="#">mro_pixracerpro_defa ult.px4</a>	<a href="#">mro_pixracerpro_ default.px4</a>	<a href="#">mro_pixracerpro_defau lt.px4</a>
19	卓翼 Racer	<a href="#">droneyee_zyfc-h7_def ault.px4</a>	none	none

另外，经 RflySim 官方测试并在未来长期支持的飞控型号可见 <https://rflysim.com/doc/zh/B/2.Pixhawk.html>。同时，在安装完成 RflySim 后，可在[RflySim 安装目录]\QGroundControl\configData\FCU\_FirmwareRes 文件夹中找到本地的支持的不同版本的长期支持的飞控固件，当然，也可在本实验对应的飞控文件夹下获取可见：[文件目录](#)。

## 2. 实验效果

本实验可基于 RflySim 工具链实现手动/自动启动四旋翼、固定翼无人机的硬件在环仿

真，具体实验效果如下：



### 3. 文件目录

例程目录：[\[安装目录\]\RflySimAPIs\1.RflySimIntro\2.AdvExps\e2\\_FCUIntro\](#)

文件夹/文件名称	说明
<a href="#">1.Pixhawk2.4.8\Readme.pdf</a>	飞控 Pixhawk 2.4.8 详细配置说明
<a href="#">2.Pixhawk6x\Readme.pdf</a>	飞控 Pixhawk 6X 或 6X mini 详细配置说明
<a href="#">3.CubePilot\Readme.pdf</a>	CubePilot 飞控详细配置说明
<a href="#">4.CUAVV5Nano\Readme.pdf</a>	雷迅飞控 V5 Nano 详细配置说明
<a href="#">5.ZY Racer\Readme.pdf</a>	卓翼飞控 Racer 详细配置说明
<a href="#">6.Pixhawk6c\Readme.pdf</a>	飞控 Pixhawk 6C 或 6C mini 详细配置说明
<a href="#">HILPara.params</a>	硬件在环仿真飞控参数
<a href="#">FixWingPW.plan</a>	QGC 地面站航点规划文件

## 4. 运行环境

序号	软件要求	硬件要求	
		名称	数量
1	Windows 10 及以上版本	笔记本/台式电脑 <sup>①</sup>	1
2	RflySim 平台免费版及以上版本	Pixhawk 6X 飞控 <sup>②</sup>	1
3		Type-C 数据线	1

①：推荐配置请见：<https://rflysim.com>

②：须保证平台安装时的编译命令为：`px4_fm_u-v6x_default`，固件版本根据实验步骤说明自行选择。其他配套飞控请见：<https://rflysim.com/doc/zh/B/2.3Pixhawk6X.html>

## 5. 实验步骤

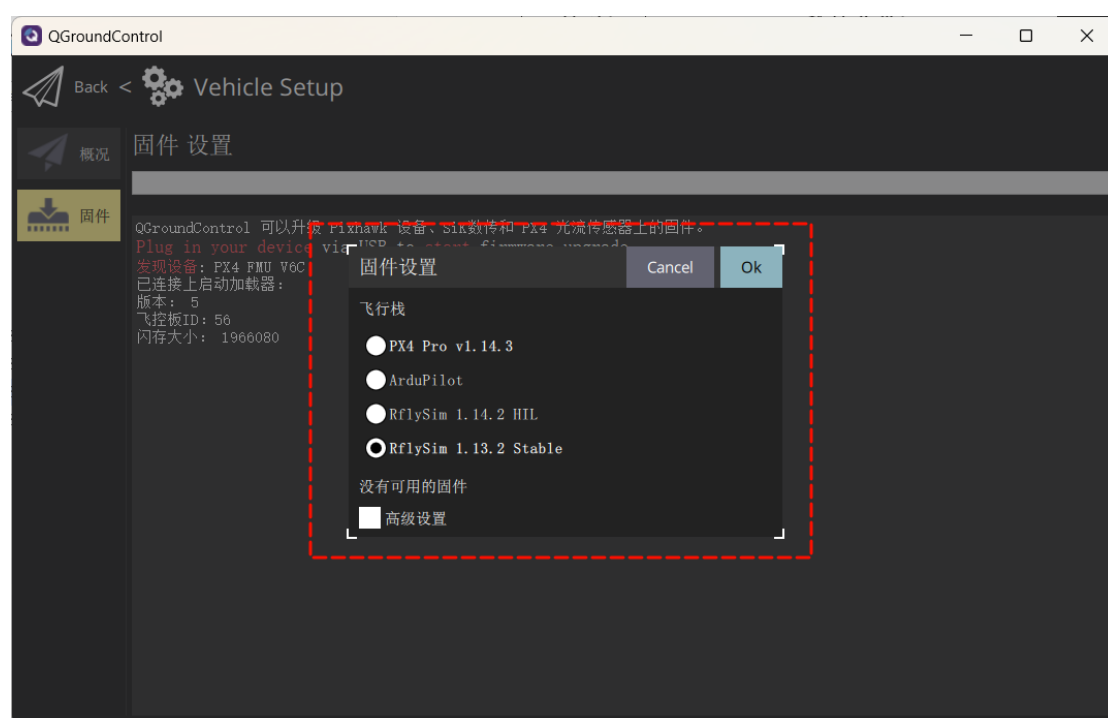
### 5.1. 飞控固件及状态还原

#### 5.1.1. 飞控固件还原

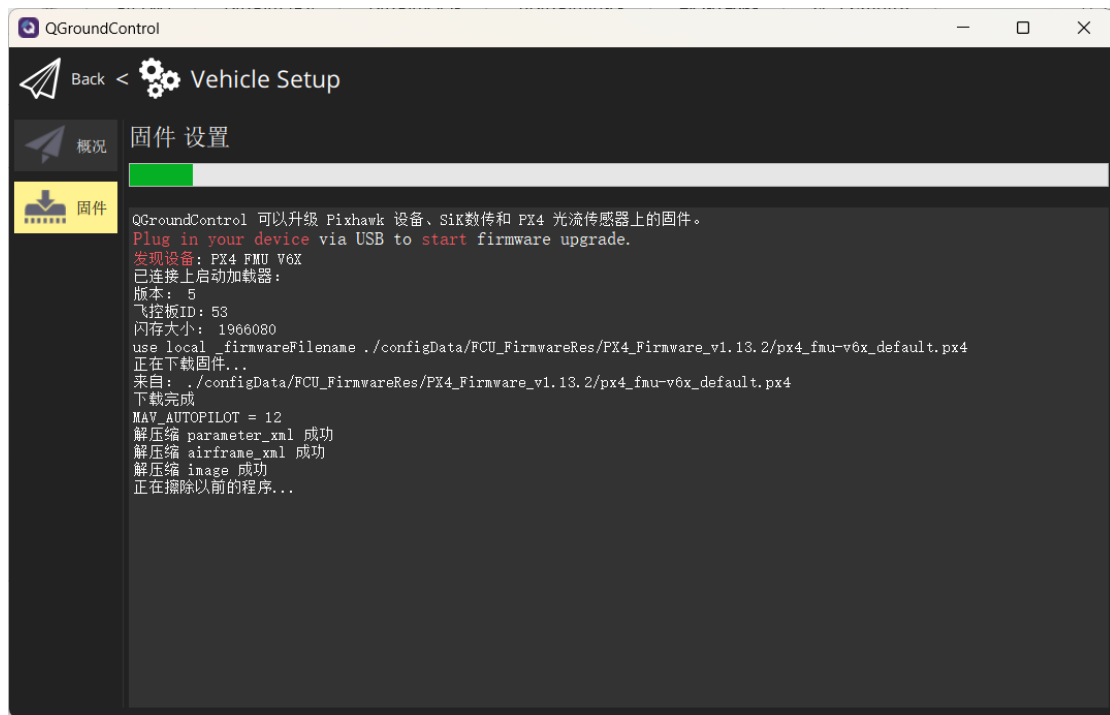
在开启硬件在环仿真之前，需要将飞控中的固件还原为官方固件，具体步骤如下，此处以 Pixhawk 6X mini 飞控为例，进行步骤说明。

打开 RflySim 工具链中的 QGroundControl 软件，进入 Vehicle Setup->固件中，如下图所示，即可选择 PX4 任意版本的固件，需要注意的是：该界面中

- PX4 Pro v1.14.3：为 PX4 官方在线最新固件；
- ArduPilot：为 ArduPilot 官方在线最新固件；
- RflySim 1.14.2 HIL：为 RflySim 工具链生成的固件；
- RflySim 1.13.2 Stable：为 RflySim 工具链生成的固件。

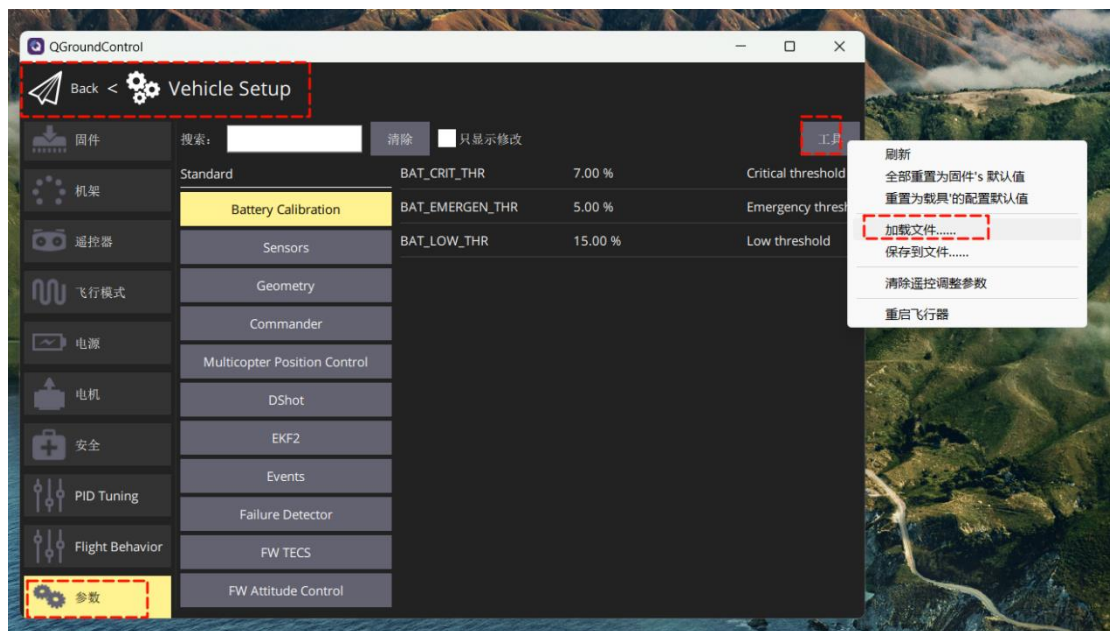


选择之后，点击“确认”，等待烧录完成！

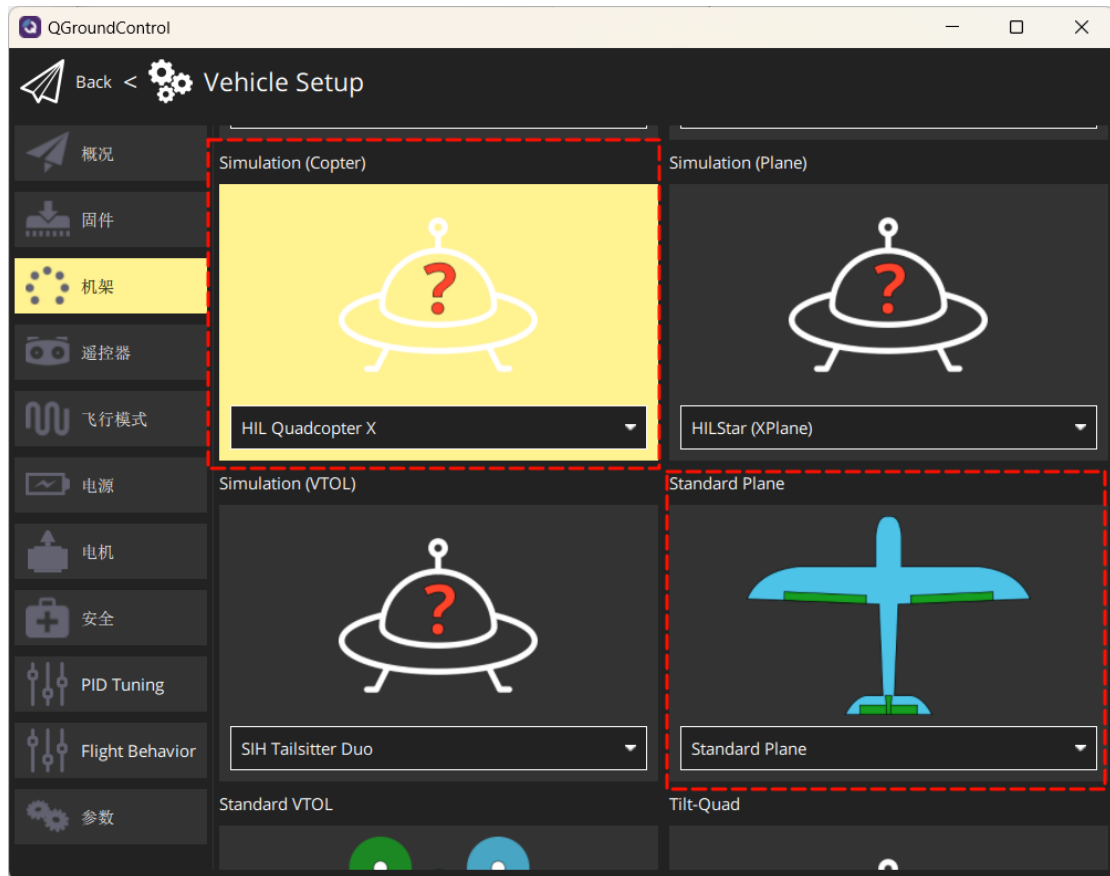


### 5.1.2. 飞控状态还原

进入 QGC 地面站的“参数”一栏中，选择“工具->加载文件”，在弹出的对话框中选择本实验文件夹中的 [HILPara.params](#) 文件。



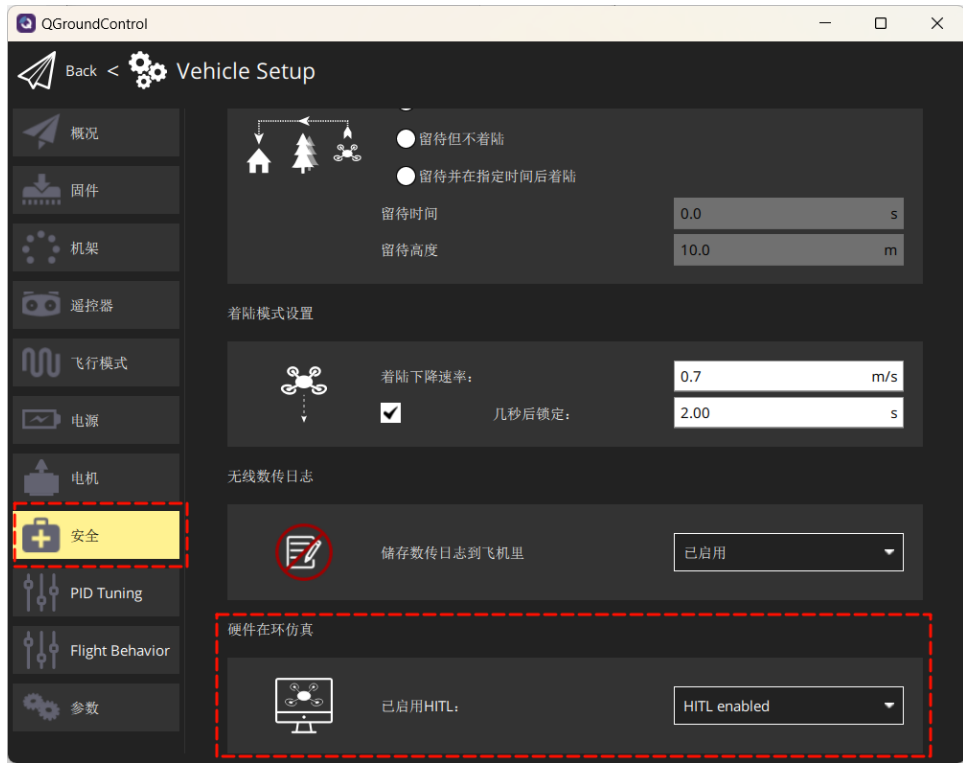
确认设置的机架为：HIL Quadcopter X。HIL Quadcopter X 为 X 型的四旋翼无人机，若更换其他载具此处也因设置成其他的机架，如：固定翼无人机应选择为 Standard Plane 机架。



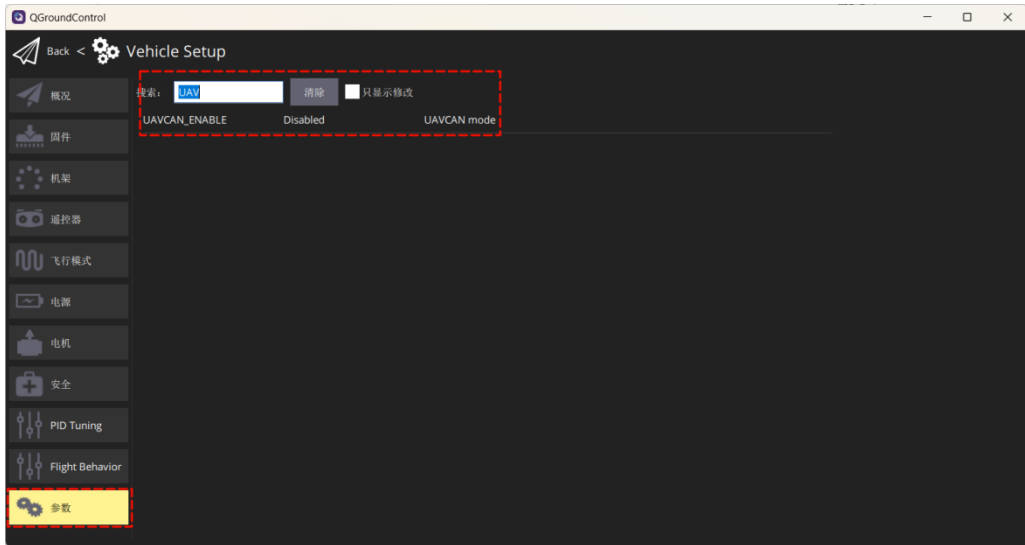
(若上一步确认为该机架可不操作本步)选择完成后，在该界面右上角选择“应用并重启”。即可将刚才所选择的机架应用成功。



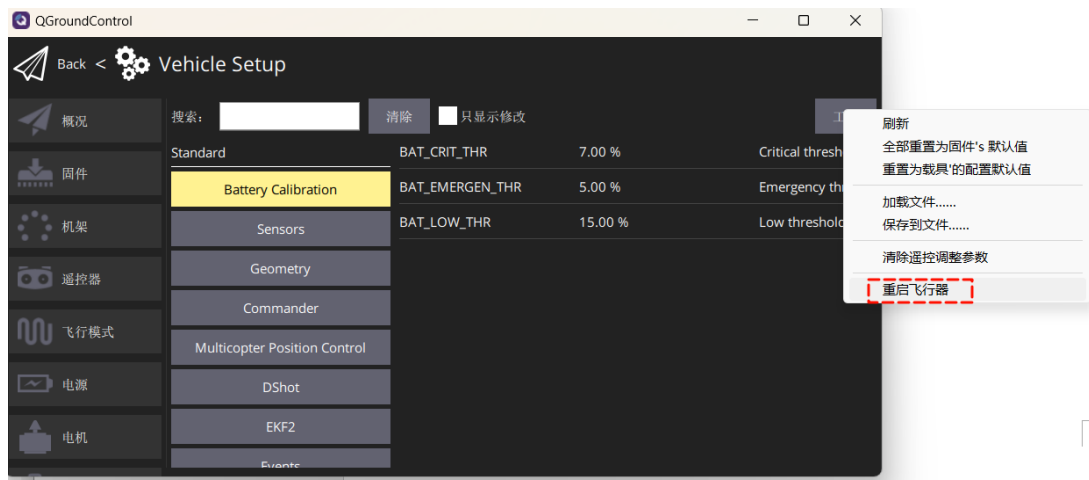
确认选择“安全->硬件在环仿真->HITL enable”选项。



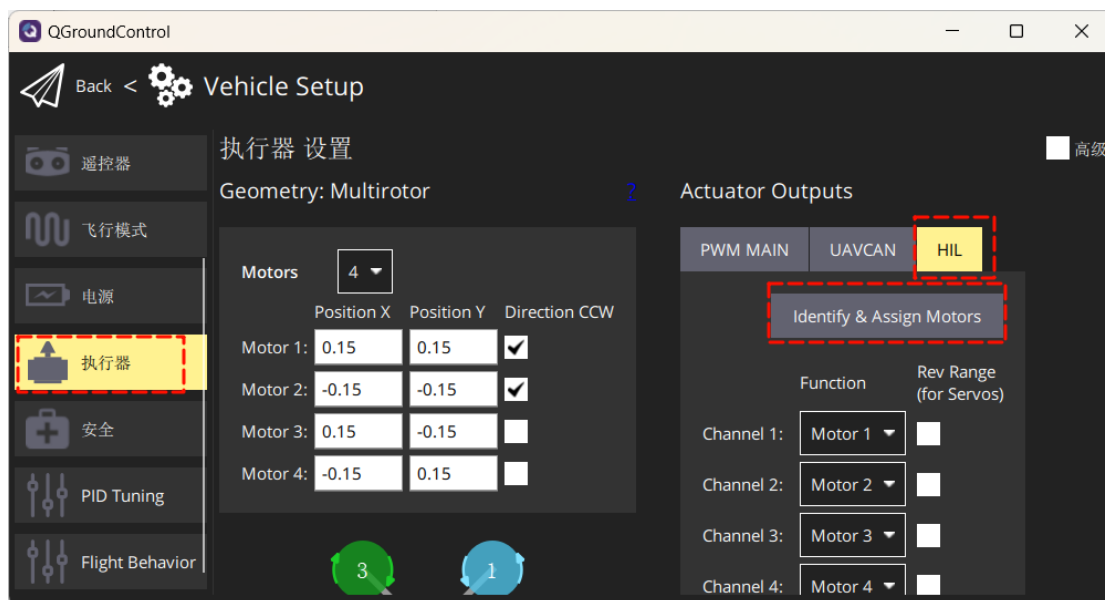
对于 PX 4 版本为 1.13 及以上版本，还需要确认 UAVCAN\_ENABLE 参数设置为“Disable”。



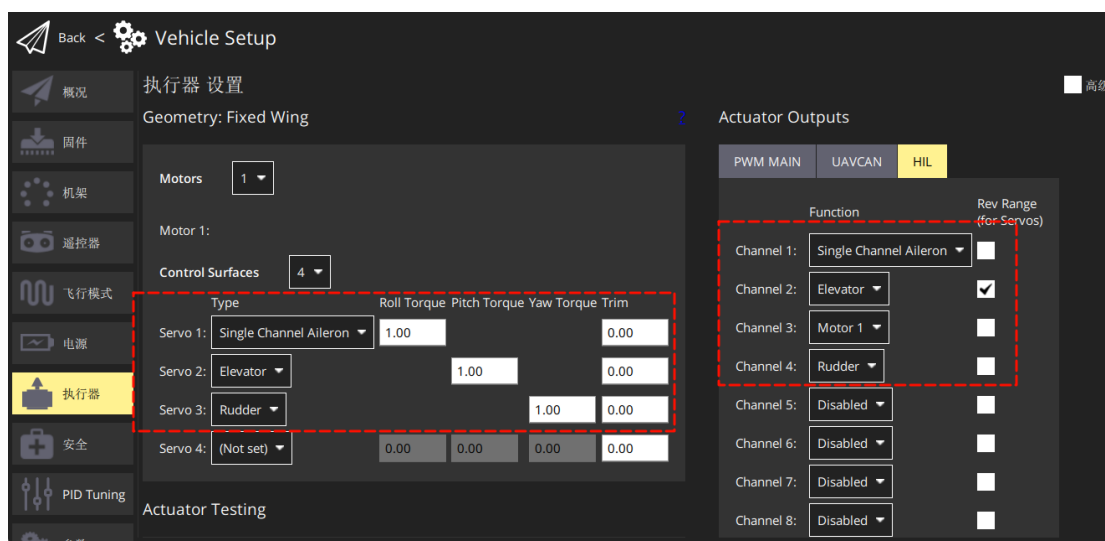
重启飞控，使得修改的参数应用（若未修改则不用操作此项）。



对于 PX 4 版本为 1.14 及以上版本，在进行四旋翼 HIL 仿真时，还需要在“执行器->HIL”中单击“Identify & Assign Motors”，在弹出的界面中选择“Yes”即可。



在进行固定翼 HIL 仿真时，需要按照下图进行设置即可。





另外，若需要使用 1.14 版本的 PX 4 软件编译自己的飞控固件，则还需要在[RflySim 安装目录]\Firmware\boards\<飞控制造商>\<飞控芯片型号>\default.px4board 文件中，增加一段程序：`CONFIG_MODULES_SIMULATION_PWM_OUT_SIM=y`。如：Pixhawk 6X 飞控地址为：[RflySim 安装目录]\Firmware\boards\px4\fmv-v6x\default.px4board。

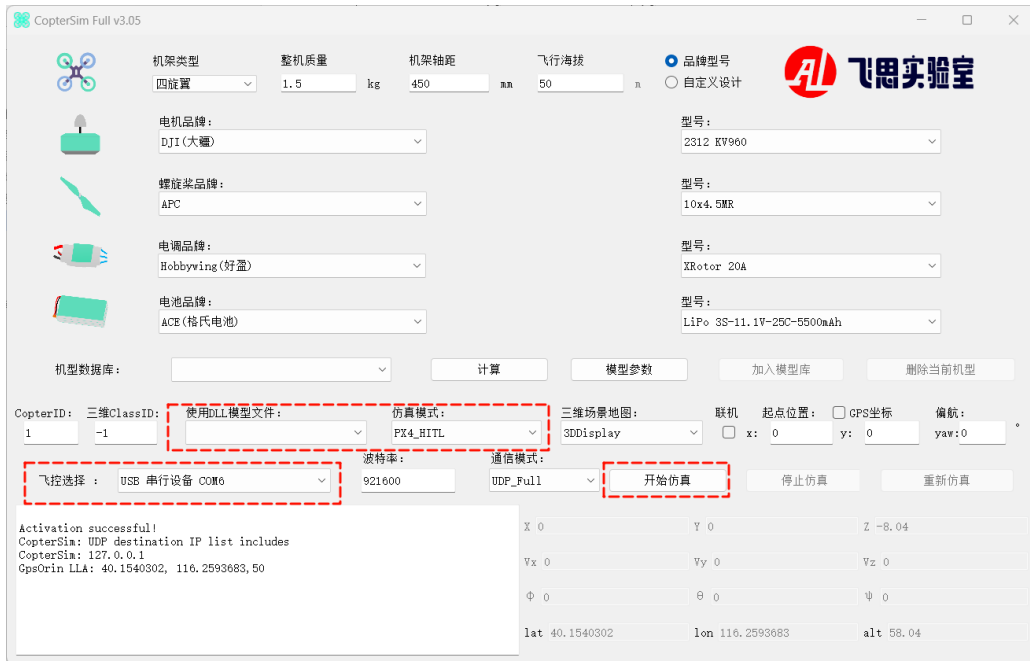
```
default.px4board x
E:\PX4PSP> Firmware > boards > px4 > fmv-v6x > default.px4board
94 CONFIG_SYSTEMCMDS_VER=y
95 CONFIG_SYSTEMCMDS_WORK_QUEUE=y
96 CONFIG_MODULES_SIMULATION_PWM_OUT_SIM=y
97 CONFIG_MODULES_PX4_SIMULINK_APP=y
98
```

## 5.2. 手动开启硬件在环仿真(四旋翼)

双击打开“\*\桌面\RflyTools\CopterSim.lnk”快捷方式，并在其“仿真模式”选项选择标签“PX4\_HITL”，此时，按照下图方式将飞控链接到电脑中，可看到在飞控选择中显示出“USB 串行设备 COM \*”，其他配置保持默认。



点击“开始仿真”。



等待 CopterSim 左下方信息栏中出现“PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished.”。

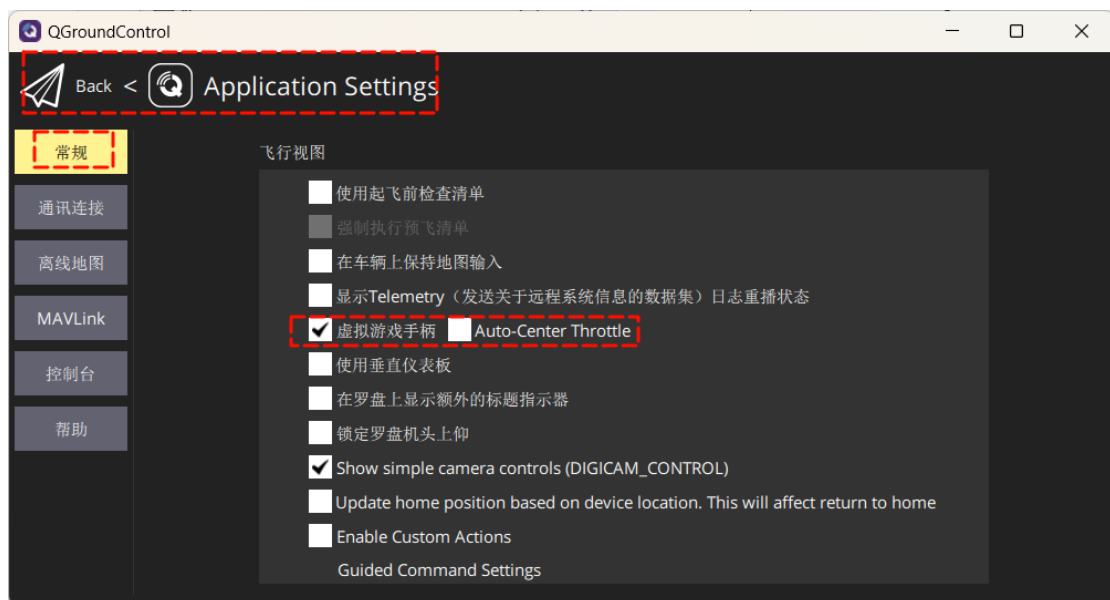
双击打开“\*桌面\RflyTools\RflySim3D.lnk”软件，即可看到生成的载具和场景。



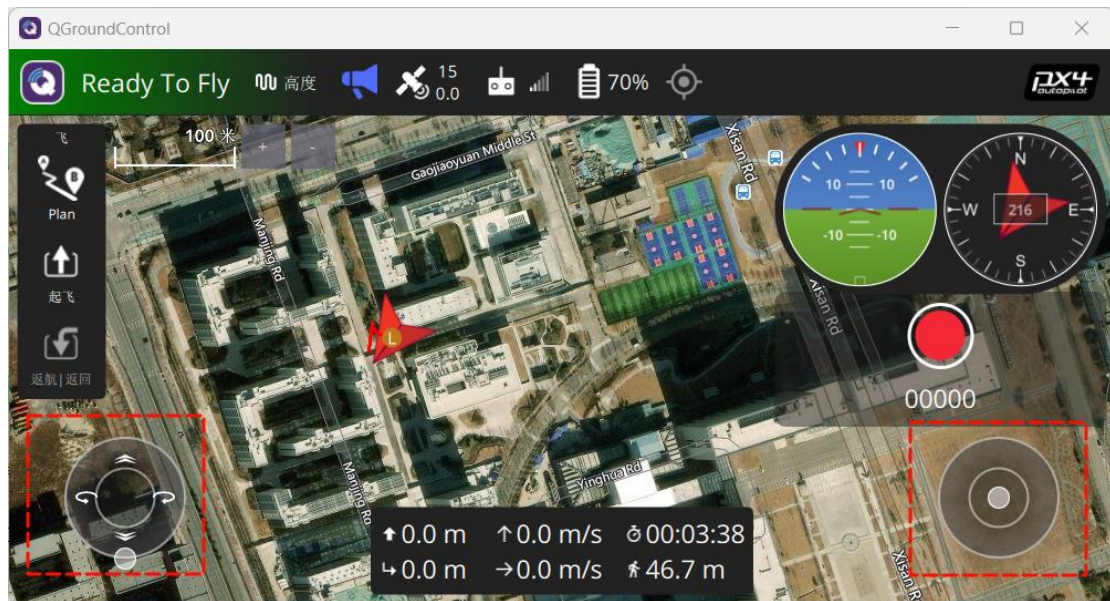
双击打开“\*桌面\RflyTools\QGroundControl.lnk”软件，点击左侧起飞按钮，设置右侧的悬停高度，滑动上方的滑块。即可看到四旋翼无人机正常起飞。



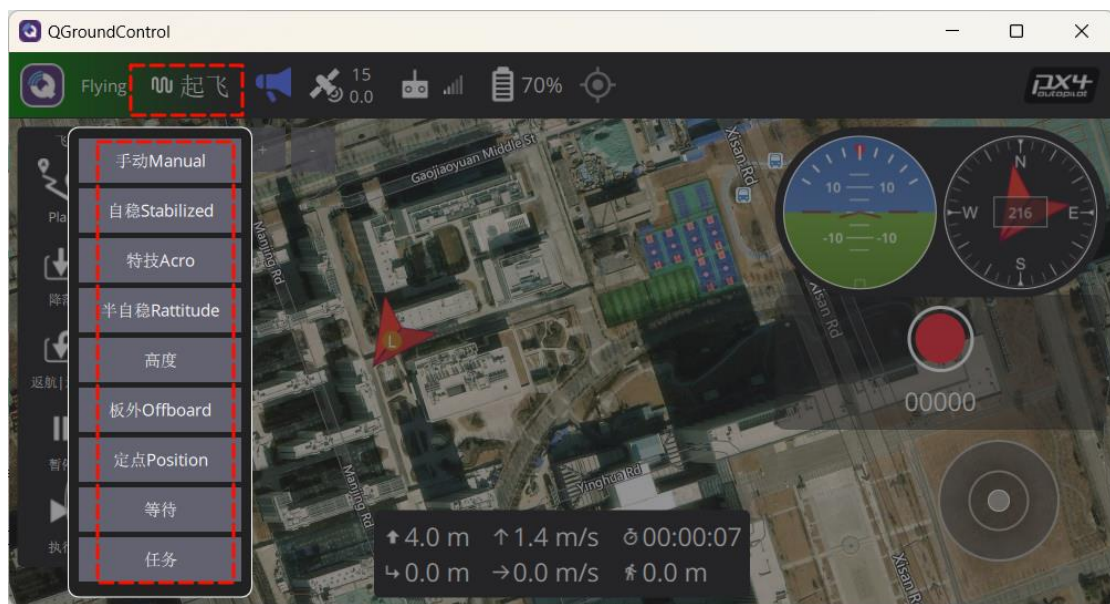
虚拟游戏手柄控制方式，进入 QGC 地面中的“Application Setting->常规->飞行试图”中，勾选“虚拟游戏手柄”。



再返回主界面中即可看到游戏手柄。



在点击“起飞”按钮之后，即可通过该手柄控制飞机，同时，点击上方的飞行模式即可进行切换。



仿真完成后，依次关闭上述所有软件即可。

### 5.3. 自动开启硬件在环仿真(四旋翼)

按照下图的方式链接飞控，相关注意事项可在图中看到。



双击运行“\*桌面\RflyTools\HITLRun.lnk”脚本，在弹出的 cmd 对话框中输入飞控的端口号(如：4)。即可自动启动 RflySim3D、CopterSim、QGroundControl 软件。

```
-----
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

Available COM ports on this computer are:
COM4: Legacy FMU

Recommended COM list input is: 4

-----
My COM list for HITL simulation is: 4
```

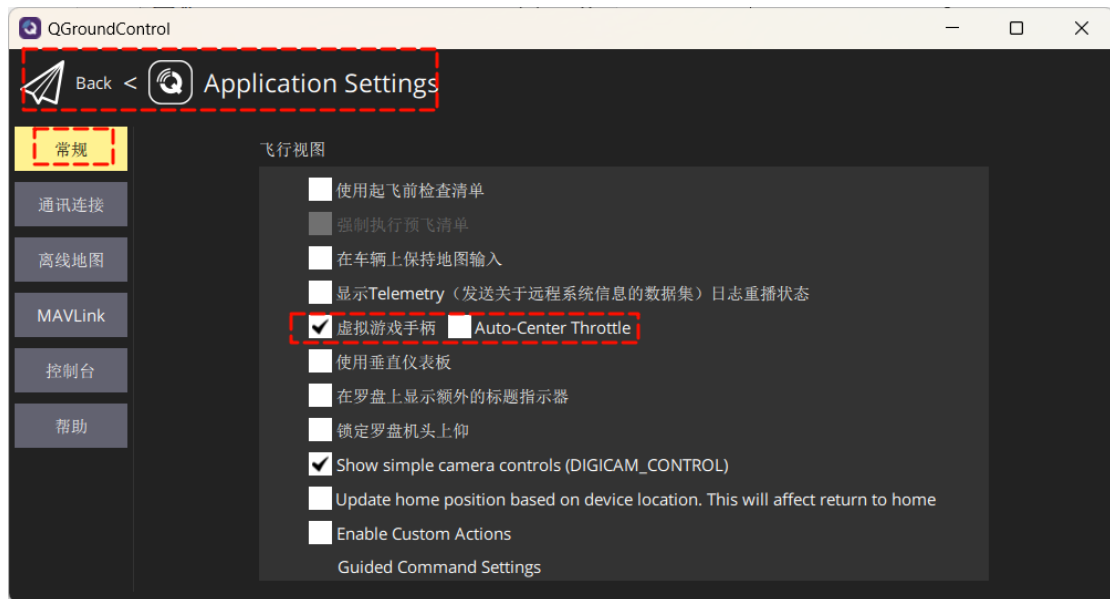
等待 CopterSim 中左下角显示：PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished.



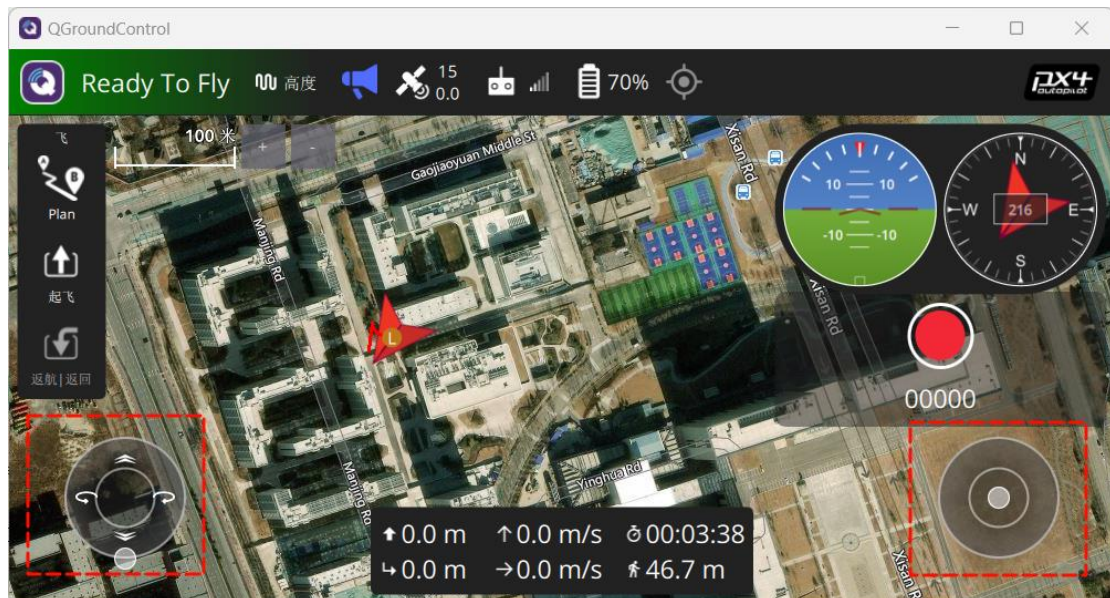
在 QGC 地面站中，点击左侧起飞按钮，设置右侧的悬停高度，滑动上方的滑块。即可看到四旋翼无人机正常起飞。



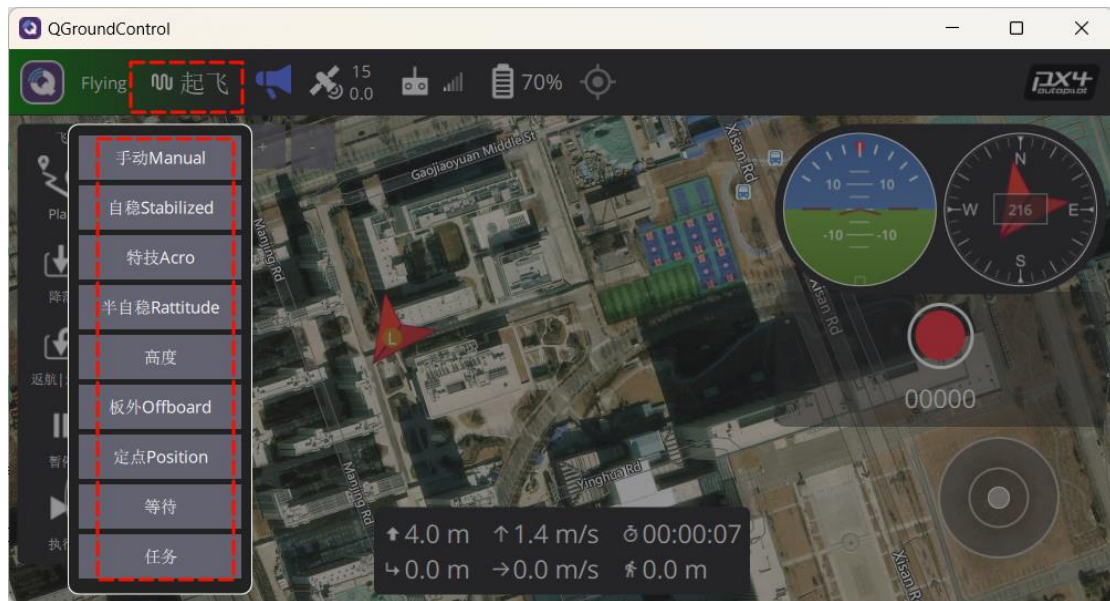
虚拟游戏手柄控制方式，进入 QGC 地面中的“Application Setting->常规->飞行试图”中，勾选“虚拟游戏手柄”。



再返回主界面中即可看到游戏手柄。



在点击“起飞”按钮之后，即可通过该手柄控制飞机，同时，点击上方的飞行模式即可进行切换。



仿真完成后，依次关闭上述所有软件即可。

## 5.4. 其他类型载具启动硬件在环仿真(固定翼)

RflySim 工具链同时也支持其他载具的硬件在环仿真，下面将以固定翼为例进行配置固定翼无人机的硬件在环仿真，手动配置的具体步骤如下：

首先，需要确认地面站中的机架是否设置为 **Standard Plane** 机架，具体设置方式可见[飞控状态还原](#)，同时，需要按照[飞控状态还原](#)步骤进行设置。

双击打开“\*\桌面\RflyTools\CopterSim.lnk”快捷方式，使用 DLL 模型文件选择“Fix WingModel”，并在其“仿真模式”选项选择标签“PX4\_HITL”，“三维场景地图”中选择“OldFactory”地图，该地图中有固定翼的滑行跑道，仿真更加逼真，设置起点位置为“-250,-119,0”，表示无人机在场景中的初始化位置，“通信模式”选择为“UDP\_Full”。此时，按照下图方式将飞控链接到电脑中，可看到在飞控选择中显示出“USB 串行设备 COM \*”，其他配置保持默认。





点击“开始仿真”。



等待 CopterSim 左下方信息栏中出现“PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished.”。

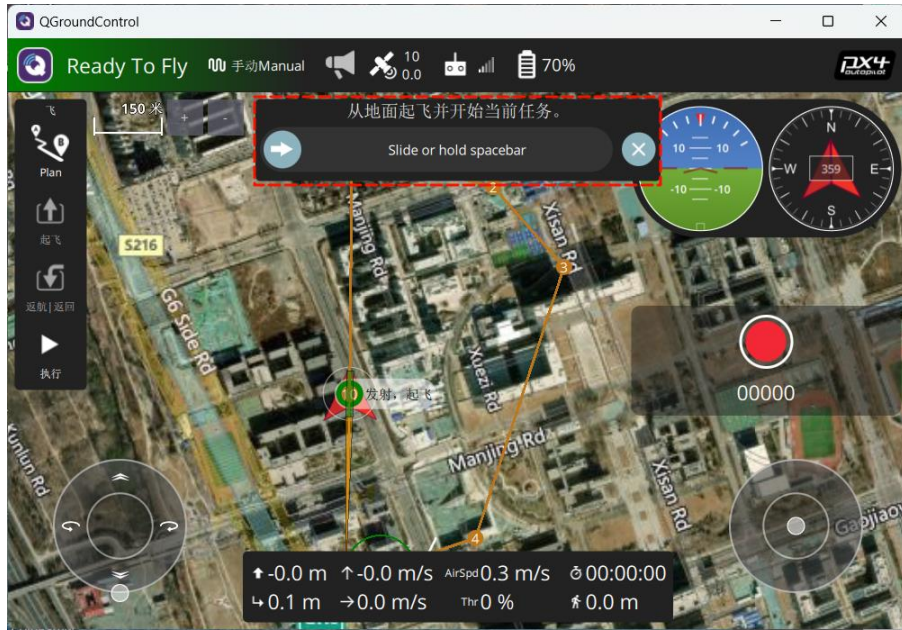
双击打开“\*\桌面\RflyTools\RflySim3D.lnk”软件，即可看到生成的载具和场景。



双击打开“\*\桌面\RflyTools\QGroundControl.lnk”软件，点击左侧“Plan”按钮，在新的界面中点击“打开”，选择本文件统计目录下的 [FixWingPW.plan](#) 文件，再点击右上角的“上传任务”，即可将航点信息上传到飞机中。



滑动上方滑块解锁飞机并开始起飞。



在 RflySim3D 中即可看到固定翼无人机正常起飞并按照航点飞行。



自动开启固定翼硬件在环仿真实验的方式与[自动开启硬件在环仿真\(四旋翼\)](#)类似，但运行的脚本有所不同。双击运行“[RflySim 安装目录]\RflySimAPIs\HITLRunFw.bat”脚本，在弹出的 cmd 对话框中输入飞控的端口号(如：4)。即可自动启动 RflySim3D、CopterSim、QGroundControl 软件。

```
-----
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

Available COM ports on this computer are:
COM4: Legacy FMU

Recommended COM list input is: 4

-----
My COM list for HITL simulation is:4_
```

等待 CopterSim 中左下角显示：PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished。安装上面步骤导入固定翼的航点文件 [FixWingPW.plan](#) 进行解锁即可正常起飞并按照航点飞行。

## 6. 参考资料

- [1]. <https://px4.io/>
- [2]. <https://github.com/PX4/PX4-Autopilot>
- [3]. <https://docs.px4.io/main/en/index.html>
- [4]. <https://docs.px4.io/main/en/simulation/hitl.html>

## 7. 常见问题

无