

# 1. 实验名称及目的

## 1.1. 实验名称

简化倾转旋翼 PID 控制硬件在环实验

## 1.2. 实验目的

将通过数值仿真调试完成的 PID 控制器迁移到自动代码生成模板中，烧录到飞控中实现硬件在环仿真。

## 1.3. 关键知识点

控制器模块

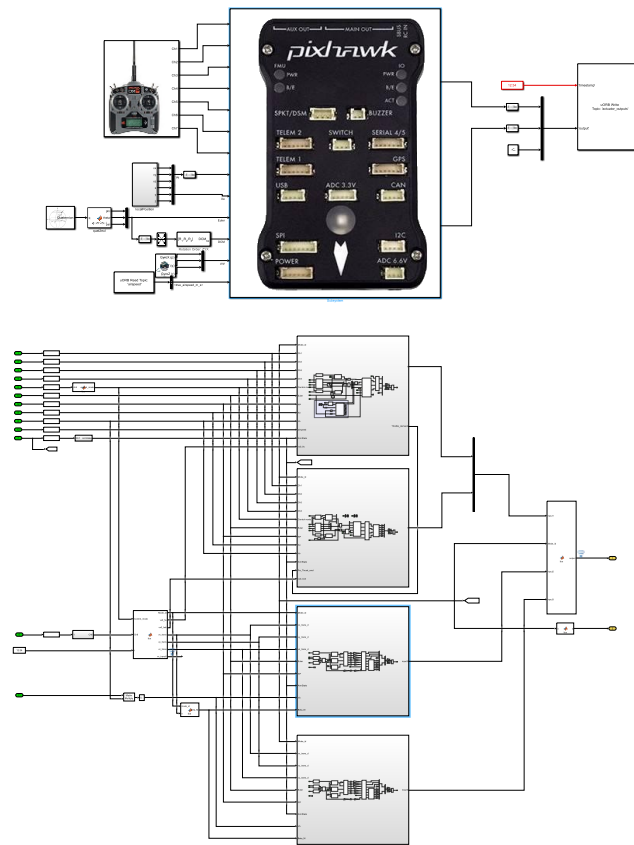


图 1 硬件在环控制器模块

控制器模块中详细的控制策略与控制器设计已在[./readme.pdf](#)中详细阐述，在此不再赘述。

## 运动模型模块

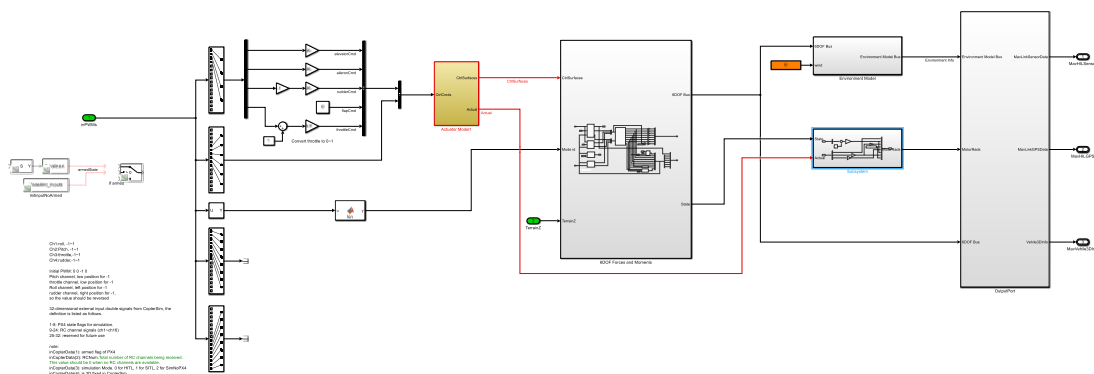


图 2 硬件在环运动模型模块

模型模块中详细的模型设计已在[./readme.pdf](#)中详细阐述，在此不再赘述。

## 2. 实验效果

遥控器能够正确切换模态及控制模式，且在 RflySim3D 中能够观测到正确的行为响应。

## 3. 文件目录

文件夹/文件名称		说明
Model	Init_v1.m	模型参数初始化文件
	InitData.m	固定翼动力学参数
	TiltrotorModel.slx	Simulink 动力学模型文件
	GenerateModelDLLFile.p	DLL 模型生成脚本
	TiltrotorModel.dll	动力学模型 DLL 文件
	HILRun.bat	硬件在环仿真脚本
Controller	Init_AllMode_HIL.m	控制器参数初始化文件
	Tiltrotor_AllMode_HIL.slx	Simulink 控制器模型文件
	Icon image	Simulink 模块图标

## 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 工具链，本实验需保证安装平台时选择屏蔽官方固件	Pixhawk 6X 飞控 <sup>②</sup>	1
3	MATLAB 2022B 及以上版本	遥控器 <sup>③</sup>	1
		遥控器接收器	1

①：推荐配置请见：<https://rflysim.com>

②：以本实验中所使用的飞控 Pixhawk 6x mini 为例，对应的编译命令为：px4\_fmu-v6x\_default，固件版本推荐 1.13.2。其他配套飞控及配置请见：<http://rflysim.com>。

③：本实验演示所使用的遥控器为：天地飞 ET10、配套接收器为：WFLY RF209S。遥控器相关配置见：<https://rflysim.com/doc/zh/B/3.1ET10.html>

## 5. 实验步骤

### 导入三维模型

将命名为“QZXY”和“倾转旋翼.xml”的文件复制到 RflySim3D 路径下，详细路径如图 3 所示。



图 3 显示文件

### 5.1. 准备硬件在环仿真模型

打开安装完成的“Matlab”软件，并进入本例程路径 Model 子目录下。

打开“模型参数文件（Init.m）”，并点击“运行”，将参数加载至工作区，如图 4 所示。

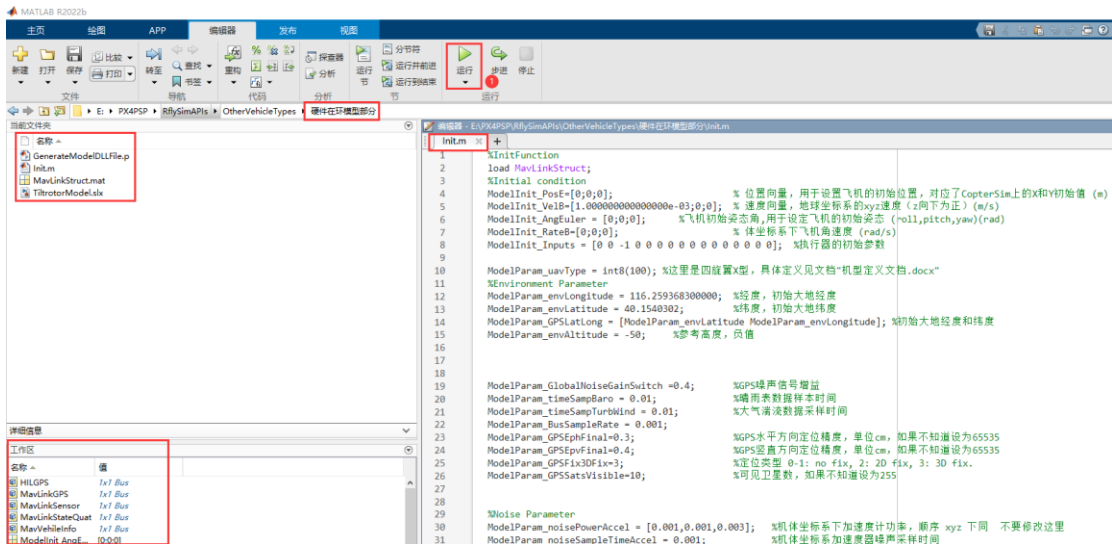


图 4 参数加载

打开“模型主程序（TiltrotorModel.slx）”，依次点击“调试”，“运行”，如图 5 所示。至程序运行完成且无报错。



图 5 程序运行

## Step 1: 编译模型

点击工具栏中“APP”，选择“Embedded Coder”，如图 6 所示。



图 6 选择 APP

完成上一步骤后，点击工具栏中的“C++代码”选项，出现图 7 所示界面，点击生成代码图标。

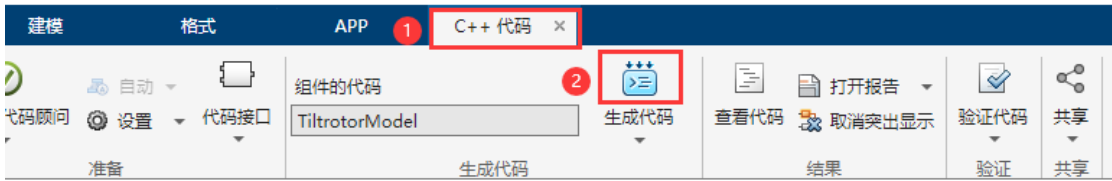


图 7 生成代码

打开“诊断查看器”，并可看到提示“编译过程已成功完成”如图 8 所示。

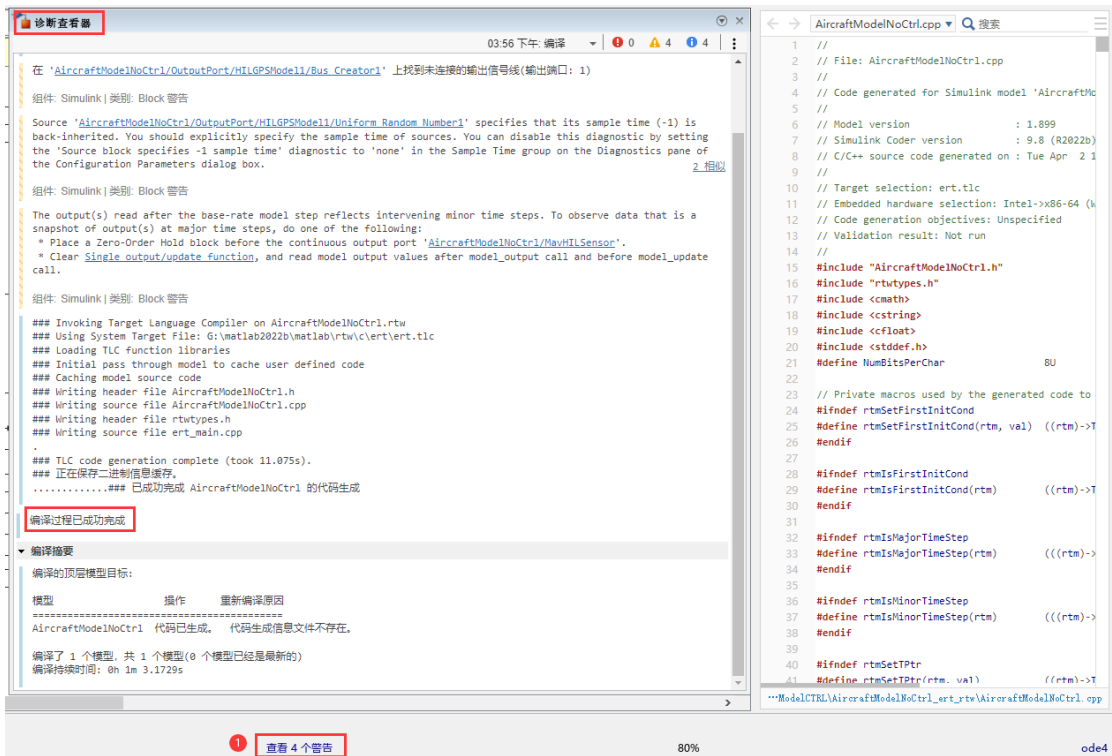


图 8 编译成功界面

## Step 2: 生成 DLL 文件

回到 Matlab 文件夹下，选择“模型生成文件 (GenerateModelDLLFile.p)”后，点击鼠标右键可弹出选项栏，选择“运行”，一段时间后，命令行窗口显示“Compiling successfully, the TiltrotorModel.dll has been generated.”，如图 9 所示。此时，DLL 模型生成完成。

```
命令行窗口
/out:modeldllgen.exe
/DLL
/out:TiltrotorModel.dll
modeldllgen.obj
TiltrotorModel.obj
正在创建库 TiltrotorModel.lib 和对象 TiltrotorModel.exp
Compiling successfully, the TiltrotorModel.dll has been generated.
fx >>
```

图 9 DLL 模型生成

生成完成后，文件路径下出现生成后的模型（TiltrotorModel.dll）。

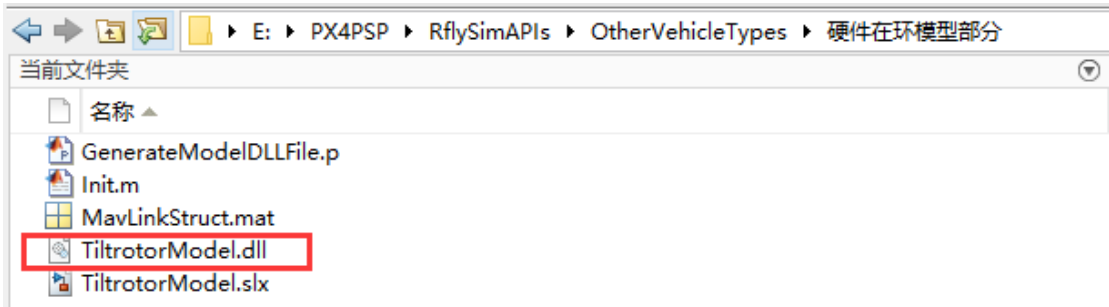


图 10 DLL 模型

## 5.2 遥控器配置

遥控器各拨杆初始位置如下图所示，仿真开始前确保各拨杆位置保持初始状态。



图 11 遥控器拨杆初始状态

### Step 1: 机型选择

打开遥控器电源，点击显示界面的“WFLY”图标进入设置界面，依次选择“系统设置”，“机型选择”，“固定翼&滑翔机”，“确定”，操作步骤如下图所示。



图 12 遥控器机型选择

## Step 2: 通道设定

遥控器通道包括 Channel 1 至 Channel 7。Channel 1 至 Channel 4 按出厂设置，无需更改。Channel 5（起落架）设定为遥控器的 SB 通道，Channel 6（襟翼）设定为遥控器的 SA 通道，Channel 7 设定为遥控器的 SC 通道。依次点击“WFLY”，“通用功能”，“辅助通道”，将各通道设定如下图（d）所示，具体设定步骤如下图所示。



图 13 辅助通道设置

## Step 3: 通道正反设置

通道正反设置步骤如下图所示，依次点击“WFLY”，“通用功能”，“正反设置”，将各通道的设置为图（d）所示即可。



图 14 正反设置

## 5.3 飞控固件生成及烧录

### Step 1: 编译模型

打开 Matlab 软件，并进入硬件在环控制程序文件夹下（TiltrotorUAV\_demo\Tiltrotor\_HI L\Controller），打开“Tiltrotor\_AllMode\_HIL.slx”，运行仿真，仿真未报错即可进行自动代码生成。自动代码生成方法如下图所示，首先选择“HARDWARE”，弹出工具栏后，点击“Build”图标，此时，Matlab 进入代码编译过程。

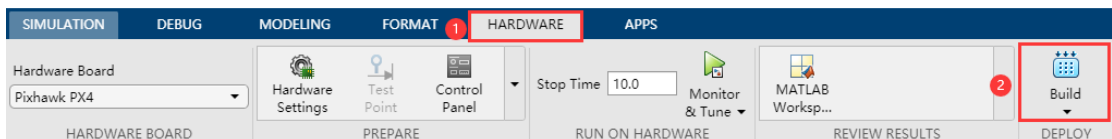


图 15 控制程序代码生成

若程序编译成功，则可弹出生成报告且无报错，检查是否成功可打开诊断，并可看到如下图中的成功提示。

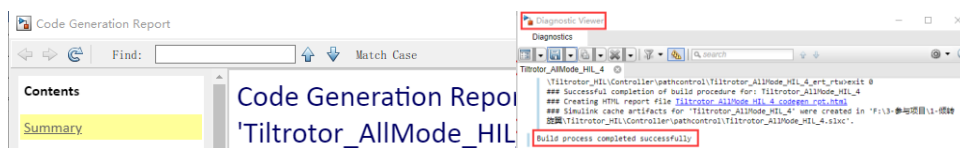


图 16 生成报告

## Step 2: 代码烧录

将上述生成的控制代码烧录至飞控中，点击“Code”，将弹出命令提示框，此时使用数据线将飞控与计算机连接，开始烧录。烧录完成如下图所示，三栏进度条均为 100%。

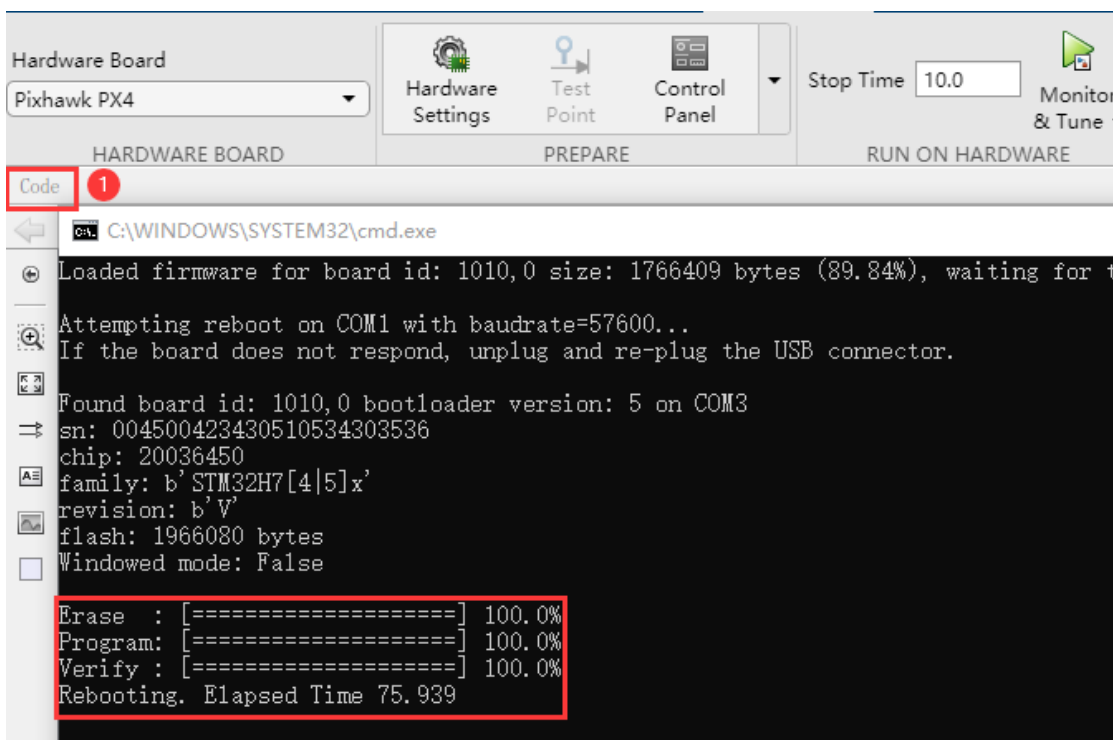


图 17 代码烧录

## 5.4 飞控内部参数修改。

使用“QGroundControl”软件修改飞控内部参数，主要包括日志记录，机架选取，飞行模式设定，硬件在环仿真开启等。使用数据线将飞控与计算机连接。打开“QGroundControl”软件，软件显示如下图所示。

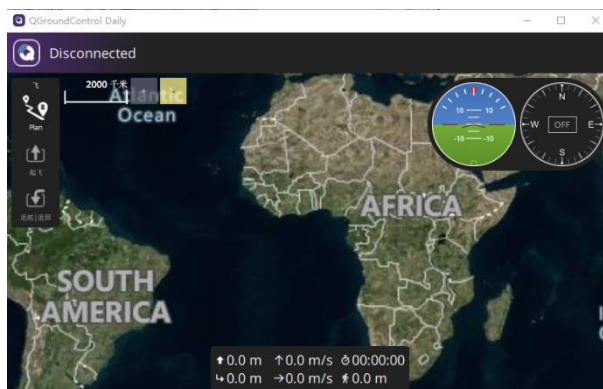


图 18 QGroundControl 软件主界面

依次点击下图中的第 1, 2 步。进入设置界面，即可完成各项参数设定。

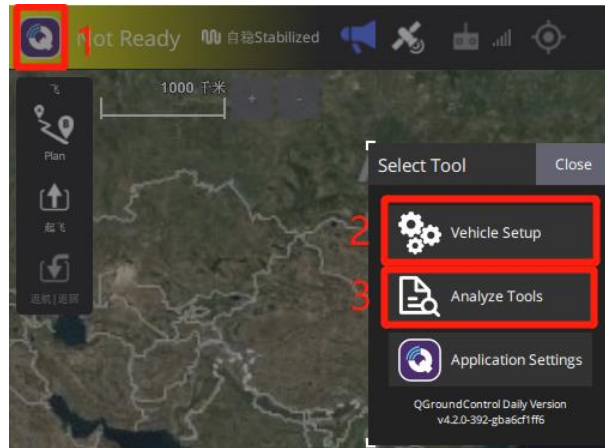


图 19 设置界面

### Step 1: 机架修改。

点击“机架”，并选取“Standard Plane”，如下图所示。选取后点击界面右上角的“应用并重启”，机架设置完成。

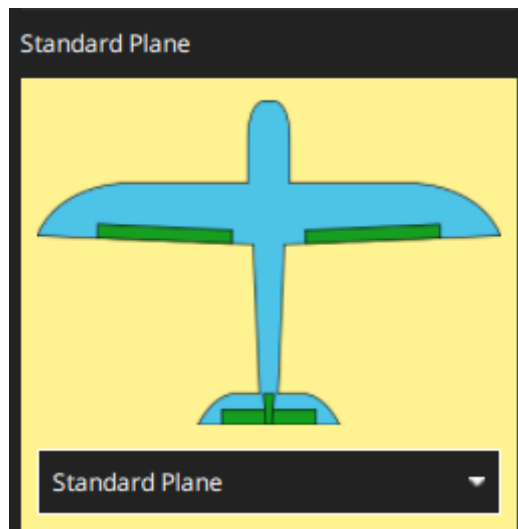


图 20 机架选取

### Step 2: 启用硬件在环

点击“安全”，找到最下方的“硬件在环”，选择“HITL enabled”，如下图所示。



图 21 硬件在环仿真启动

### Step 3: 飞行模式设定。

为避免与 PX4 逻辑冲突，我们需要将飞行模式进行如下图所示设置。

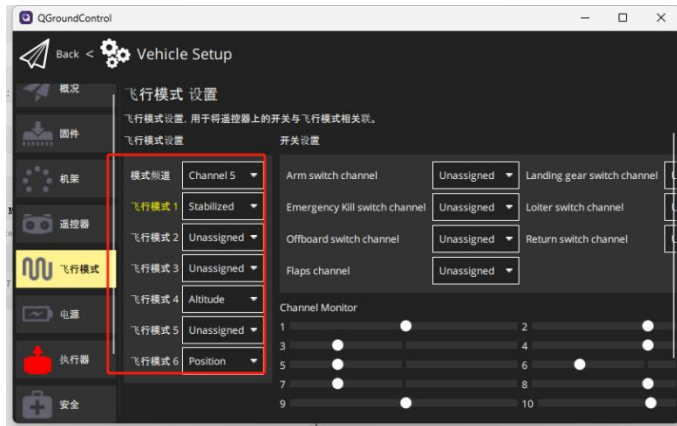


图 22 飞行模式设定

#### Step 4: 遥控器校准。

具体操作步骤见 <https://docs.px4.io/main/zh/config/radio.html>.

#### Step 5: 飞行日志记录。

选择“参数”，在搜索栏中输入“log”，将日志记录方式设定为上电记录，且记录文件编号为 19。具体设置分别如下图所示。

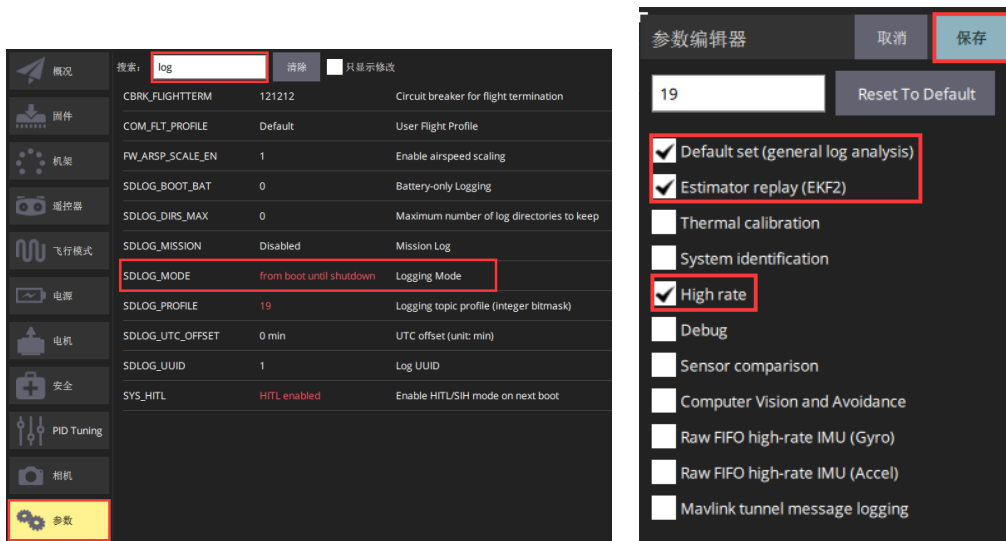


图 23 日志记录设置

#### Step 6: 飞行日志下载。

如图 19 的设置界面，选择“Analyze Tools”，进入日志下载界面，此时“日志下载”界面没有任何数据，点击“刷新”弹出所有数据，选择对应数据，点击下载。



图 24 日志下载

### Step 7: 飞行日志查看。

使用“PX4 飞行日志分析”或“PlotJuggler”软件查看，详见 [https://docs.px4.io/main/zh/log/light\\_log\\_analysis.html](https://docs.px4.io/main/zh/log/light_log_analysis.html)。

## 5.5 仿真流程

### Step 1: 启动仿真

依次打开“RflySim3D”，“CopterSim”软件，CopterSim 软件界面如下图所示，设定“使用 DLL 模型文件”为生成的倾转旋翼模型，“飞控选择”选择飞控插入时对应的 Com 口（非 Com1）。此时可打开“QGroundControl”软件，查看实时数据。如下图所示，“CopterSim”软件提示框弹出“PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished”，即为初始化完成。初始化完成后，可开始使用遥控器控制倾转旋翼动作。

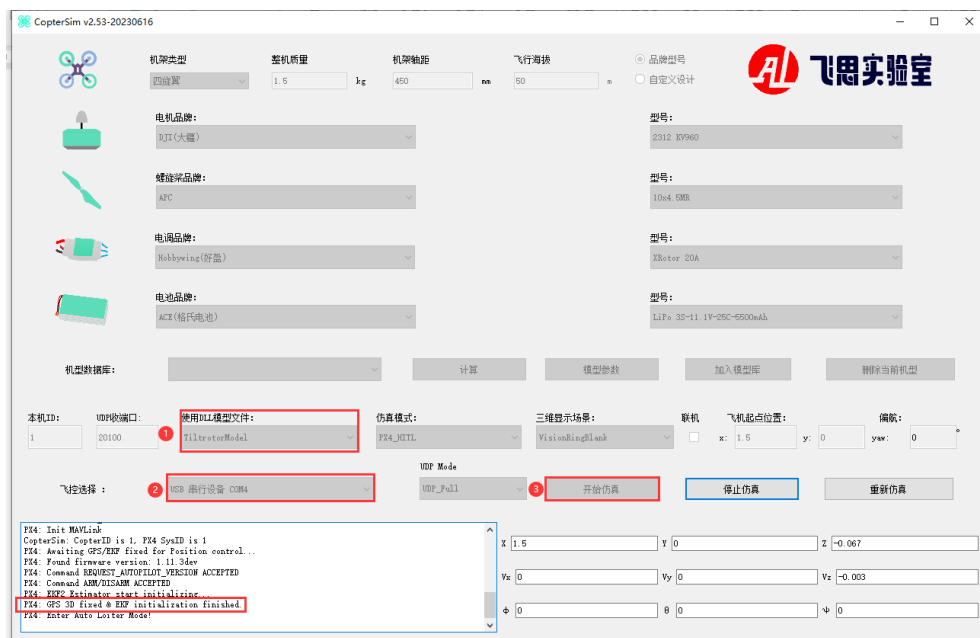


图 25 CopterSim 设置

### Step 2: 倾转旋翼的控制过程

#### a) 辅助通道在控制程序中的功能

Channel 5 (CH5) 控制直升机模式下的自稳，定高和定点（固定翼模式下的自稳，定

---

高和定速，下面以直升机模式叙述)。CH5 处于高位时，直升机处于自稳模式；CH5 处于中位时，直升机处于定高模式；CH5 处于低位时，直升机处于定点模式。

Channel 6 (CH6) 控制直升机模式和固定翼模式的切换。CH6 处于低位时，当前为直升机模式，将 CH6 拨至高位，将从直升机模式向固定翼模式过渡（自主完成），过渡完成后进入固定翼模式；再将 CH6 拨至低位，将从固定翼模式向直升机模式过渡（自主完成），过渡完成后进入直升机模式。

Channel 7 (CH7) 控制无人机的解锁和航迹跟踪。CH7 处于高位时，无人机处于上锁状态；CH7 处于中位时，无人机解锁；CH7 处于低位时，无人机进入轨迹跟踪。

#### b) 控制流程

将 SC 开关拨至中位，此时无人机解锁，可使用遥控器在自稳模式下起飞（当前为直升机模式），并可自由控制其动作。

若要实现定高飞行，可将 SB 开关拨至中位。为保持高度稳定悬停，可将油门杆拨至中位再进行各姿态动作。

若要实现定点飞行，可将 SB 开关拨至低位。为保持高度稳定悬停，可将油门杆拨至中位再进行各平移动作。

若要转换控制模式即将直升机模式转换至固定翼模式，则仅需将 SA 开关拨至高位，开始进行过渡过程，该过程中完全由系统自主完成，无需人为干预（加速过渡模式仅在直升机模式下的定点模式响应）。待过渡完成后，固定翼将进入定速飞行模式。

若要实现固定翼模式下的定高和自稳控制模式，仍通过 SB 开关控制（中位定高，高位自稳）。若欲实现固定翼模式下的轨迹跟踪，则需将 SC 拨至低位，无人机将根据程序设定轨迹进行自动寻迹。待寻迹完成后，固定翼再次进入定速飞行模式（寻迹仅在固定翼模式下的定速模式才能切换）。

## 6. 参考资料

[1].

## 7. 常见问题

Q1: \*\*\*

A1: \*\*\*