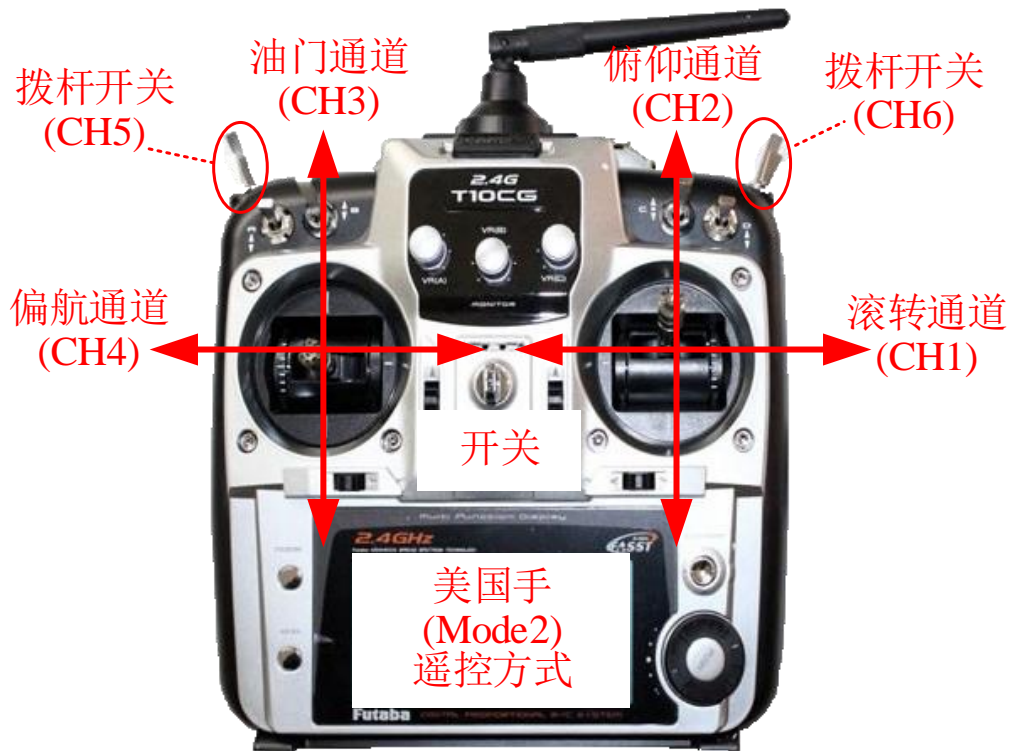


1、总体配置说明

本课程使用的遥控器推荐使用“美国手”的操纵方式，即左侧摇杆对应的油门与偏航控制量，而右侧摇杆对应滚转与俯仰。

遥控器中滚转、俯仰、油门和偏航分别对应了接收机的 CH1~CH4 通道，左右上侧拨杆对应了 CH5/CH6 号通道，用于触发飞行模式切换。

油门杆（CH3 通道）从最下端和最上端分别对应了 PWM 信号从 1100 到 1900 附近波动（通道不同或遥控器不同都会存在区别，因此需要校准）；滚转（CH1 通道）和偏航（CH4 通道）摇杆从最左端到最右端对应 PWM 信号从 1100 到 1900；俯仰（CH2 通道）摇杆从最下端到最上端对应 PWM 信号从 1900 到 1100；CH5/6 为三段开关，从顶部（最远离使用者的档位）到底部（最靠近使用者的档位）档位对应 PWM 信号为 1100、1500 和 1900。



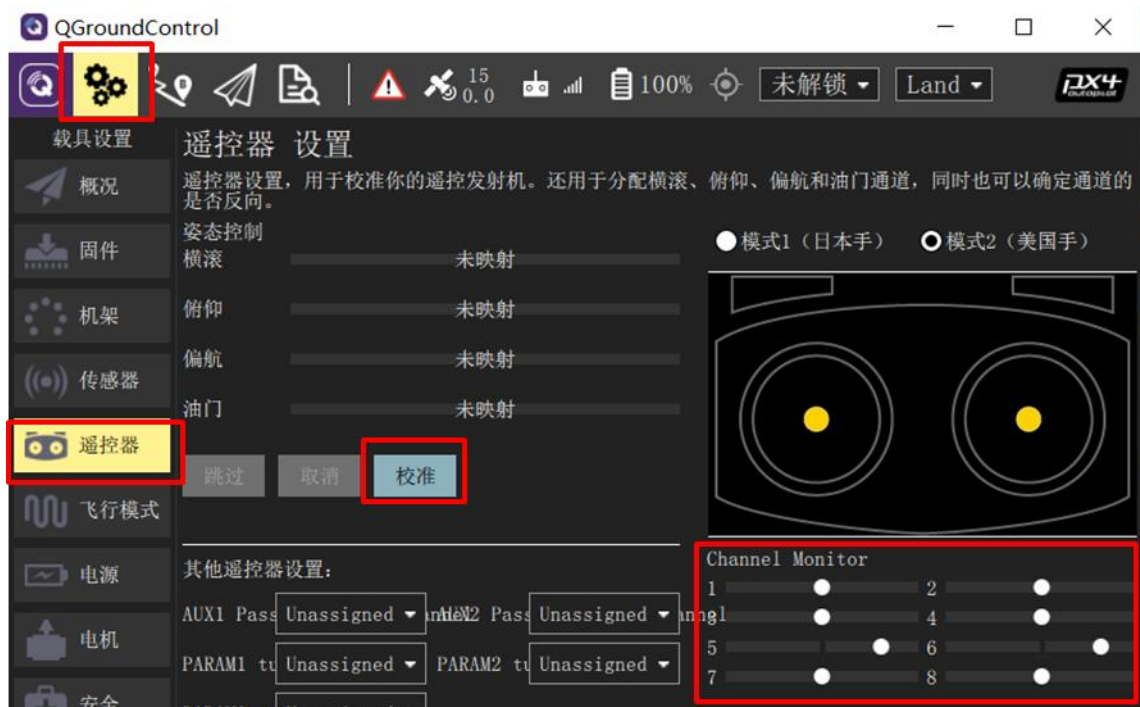
油门：控制上下运动，对应固定翼油门杆
偏航：控制机头转向，对应固定翼方向舵
俯仰：控制前后运动，对应固定翼升降舵
滚转：控制左右运动，对应固定翼副翼

配置与校准方法如下：

1. 正确连接 Pixhawk 与接收机，用 USB 数据线连接 Pixhawk 与电脑，打开遥控器，打开 QGroundControl 地面站软件，点击右下图所示的“Radio”（遥控器）标签页。



- 依次从左到右（或从上到下）拨动遥控器的 CH1 到 CH5 通道（见右上图），观测右下图地面站右侧红框区域中各个通道的白点。如果观测到：1、2、4、5、6 号小圆点从左到右移动（PWM 从 1100 到 1900）；3 号圆点从右向左移动，说明遥控器设置正确。否则需要重新配置遥控器。
- 点击右下图的“Calibrate”（校准）按钮，按提示可以校准遥控器。



- 点击 QGC 地面站上的“Calibrate” - “Next” 按钮，然后依次将摇杆置于右图所示位置（根据 QGC 页面的实时提示）即可完成遥控器校准。



飞行模式设置

1. 经过上面的遥控器校准步骤后，点击地面站进入“Flight Modes”（飞行模式）设置页面，选择“Mode Channel”（模式通道）为前面测试过的 Channel 6 通道。由于 CH6 通道是一个三段开关，开关的顶部、中部、下部档位分别对应了“Flight Mode（飞行模式） 1、4、6”三个标签。
2. 将这三个标签分别设置为“Stabilized”（自稳模式，只有姿态控制）、“Altitude”（定高模式，姿态和高度控制）和“Position”（定点模式，有姿态、定高和水平位置控制）。在后续的硬件在环仿真中，可以通过切换不同的模式来体验不同的控制效果。



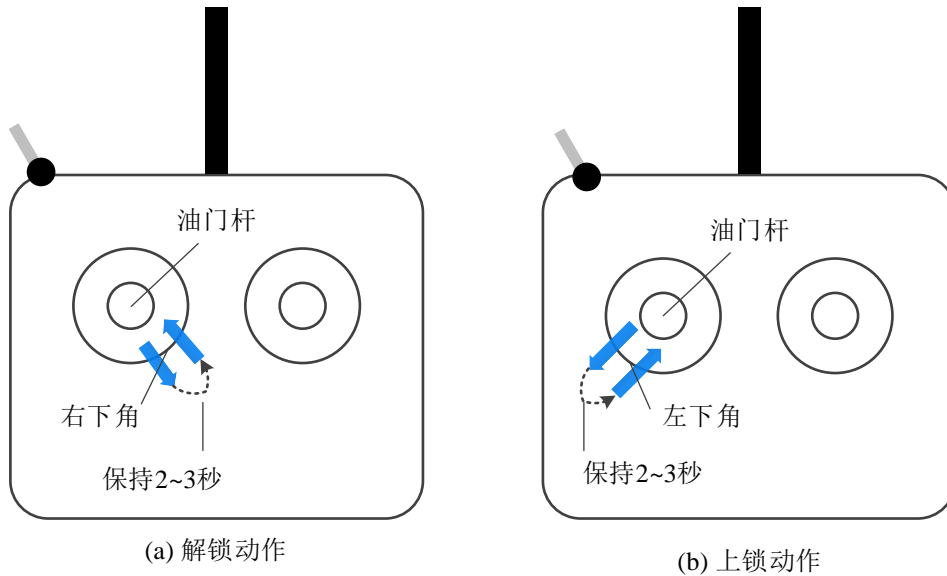
2、遥控器进行硬件在环步骤

在硬件在环仿真中，可以和控制真实飞机一样，通过遥控器仿真的多旋翼完成解锁、起飞、手动飞行、降落等动作。具体步骤如下：

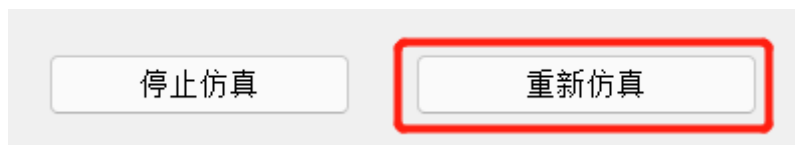
1. 首先将遥控器电源开关推上去，打开遥控器；
2. 按上文步骤正确连接 Pixhawk 软硬件，并通过 HITLRun 脚本开始硬件在环仿真系统；
3. 等待 CopterSim 消息栏显示“3D Fixed & EKF initialization finished”，说明初始化完毕。

```
PX4: Enter Manual Mode!  
PX4: EKF2 Estimator start initializing...  
PX4: Found firmware version: 1.12.3dev  
PX4: Command REQUEST_AUTOPILOT_VERSION ACCEPTED  
PX4: Command REQUEST_MAVLINK_VERSION ACCEPTED  
PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished.  
PX4: Enter Auto Loiter Mode!
```

4. 如右图所示，将遥控器左侧油门摇杆置于右下角，保持 2~3 秒来解锁 Pixhawk 自驾仪；



5. 此时可以看到 Pixhawk 上的 LED 灯变为常亮（需搭配 LED 模块），且 CopterSim 左下角的消息框收到“Detect Px4 Armed”消息，说明解锁成功。如果解锁不成功，则点 CopterSim 的“重新仿真”按钮，重复上述步骤；



3、硬件在环飞行测试

1. 向上拨遥控器油门杆（见右图 CH3），使多旋翼起飞到一定高度，然后上下拨动油门杆，确认多旋翼的上下运动控制功能；
2. 左右拨动遥控器左侧偏航杆（见右图 CH4），确认多旋翼的偏航方向转动控制功能；
3. 上下拨动遥控器右侧俯仰杆（见右图 CH2），控制多旋翼俯仰角大小，确认多旋翼的前后运动控制功能；
4. 左右拨动遥控器右侧滚转杆（见右图 CH1），控制多旋翼的滚转角大小，确认实现多旋翼的左右运动；
5. 拨动遥控器右上角的三段开关（见右图 CH6 拨杆开关），确认多旋翼的控制模式切换功能；
6. 向下拨遥控器左侧的油门摇杆（CH3），使多旋翼降落在地面；
7. 将遥控器左侧油门摇杆置于左下角，保持 2~3 秒来锁定 Pixhawk 自驾仪；
8. 直接在 HITLRun 的黑框中按下任意键，即可退出 HIL 仿真并关闭所有软件，然后断开 Pixhawk 与电脑硬件连接。

4、遥控器配置——乐迪 AT9S Pro

AT9S Pro 是一款 12 通道发射机，支持 2.4G DSSS 和 FHSS 双混合扩频，16 通道伪随

机跳频。发射机硬件说明如图所示。

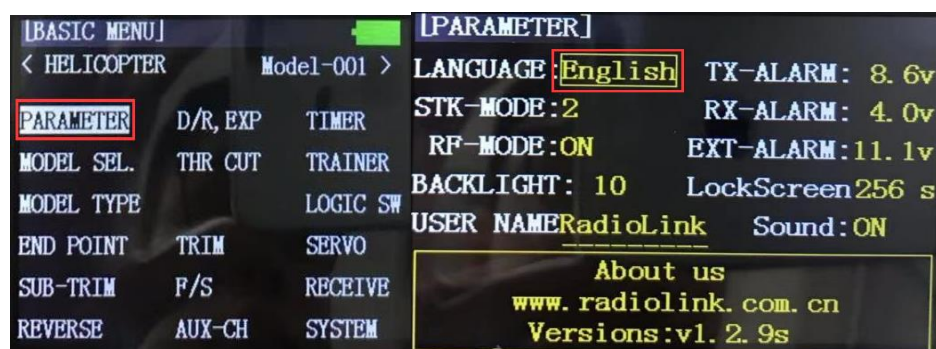


4.1 向上拨“开关”，打开遥控器。



4.2 设置语言为中文以及关闭声音。

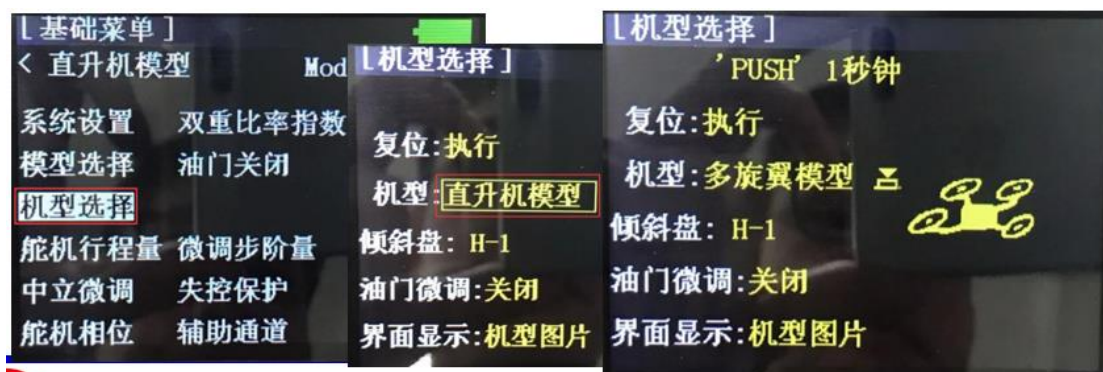
1. 长按遥控器按键面板的“模式”按钮，弹出下左图的模型设置页面。
2. 滚动遥控器上的“方向滚轮”，将光标移动到上图的“PARAMETER”上，按下遥控器面板右侧的“确定”按钮，即可进入遥控器参数设置页面，滚动遥控器面板的“方向滚轮”选中“English”条目。
3. 点击遥控器“确定”按钮，再滚动“方向滚轮”，将语言改变为下图所示的“简体”然后点击遥控器“确定”按钮，即可将语言设置为中文通过同样的方法，如图所示，将声音选项从“打开”调整为“关闭”。



4.3 多旋翼模式设置

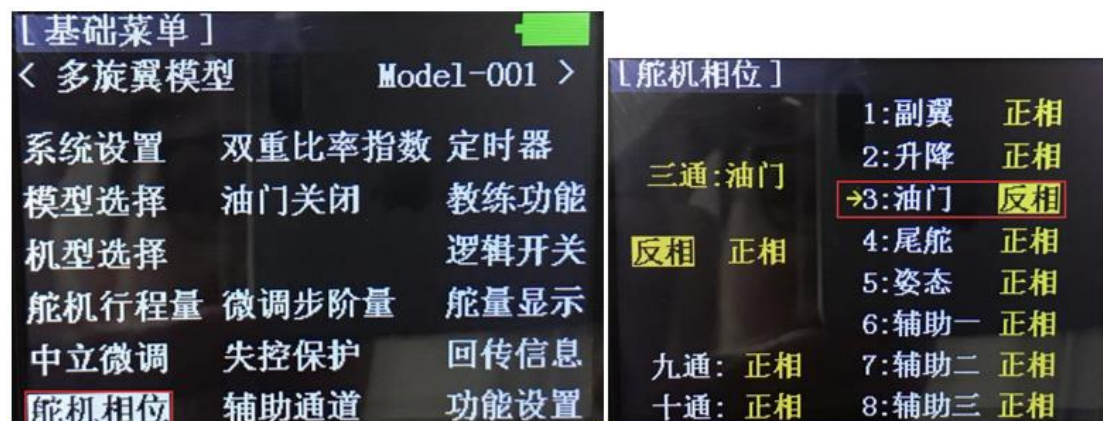
1. 长按遥控器面板的“模式”按钮，进入下图所示的“基础菜单”设置界面，点击“机型选择”，进入下图所示的机型选择页面。

- 在“机型”条目，将“直升机模型”更改为“多旋翼模型”，然后长按遥控器面板的“确认”按钮超过一秒，如下图所示，将遥控模式设置为多旋翼。



4.4 油门通道反向设置

- 乐迪遥控器的多旋翼模式的油门通道与 Pixhawk 的定义是相反的，因此需要进行调整。
- 长按遥控器面板的“模式”按钮，
- 进入下图所示的“基础菜单”设置界面，并选中“舵机相位”条目。
- 在“舵机相位”条目设置页面，将油门从“正相”修改为“反相”。



4.5 CH5 模式切换通道设置

- 由于实验需求，需要将遥控器的第五通道（CH5）映射为左上角的三段开关，用于控制器的模式切换使用。
- 长按遥控器面板的“模式”按钮，进入下图所示的“基础菜单”设置界面，并进入“辅助通道”条目。
- 按下图所示，进入“五通”设置页面，将 CH5 映射为遥控器的三段开关“SwE”(左上角前沿面开关“E”)。同理设置 CH6 位“SwG”。



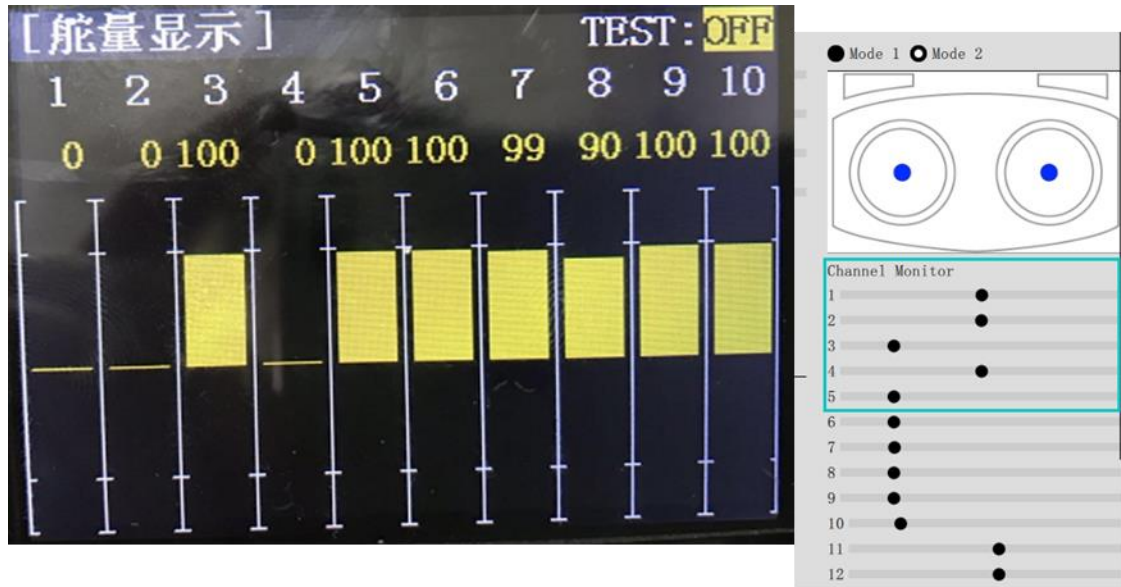
4.6 通道确认

在主页面上，按下遥控器的“返回”按钮，可以出现如下“舵量显示”界面，此时拨动各个摇杆可以看到每个通道 PWM 值得变化情况。

注：下图界面黄色区域上侧 100 对应 PWM 值 1100 (QGC 的 Channel Monitor 中对应通道滑块位于左侧)，黄色区域下侧 100 对应 PWM 值 1900 (QGC 的 Channel Monitor 对应通道滑块位于右侧)。

注：因为各种误差的存在，实际自驾仪接收到的 PWM 信号并不完全等于 1100-1900 的范围，例如乐迪遥控器的范围通常为 1065 -1933（可以如右下图在 QGC 中设置 - Parameters - Radio Calibration 页面查看）。因此，遥控器校准对于自驾仪正常识别飞控手从遥控器发送的指令至关重要。遥控器校准可以在 QGC 地面站的 Radio 页面中实现。





Safety	Mount	RC18_MIN	1000.000 us	RC channel 18 minimum
		RC18_REV	Normal	RC channel 18 reverse
Tuning	Alticopter Attitude Control	RC18_TRIM	1500.000 us	RC channel 18 trim
	Alticopter Position Control	RC1_DZ	10.000 us	RC channel 1 dead zone
Camera	PWM Outputs	RC1_MAX	1932.000 us	RC channel 1 maximum
		RC1_MIN	1065.000 us	RC channel 1 minimum
Parameters	Radio Calibration	RC1_REV	Normal	RC channel 1 reverse
		RC1_TRIM	1499.000 us	RC channel 1 trim
		Return Mode		

依次拨动各个摇杆，确定各个通道按如下规则正确定义：

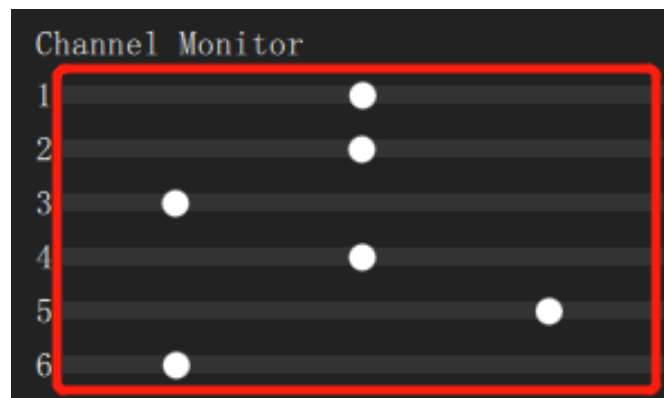
CH1: 对应滚转控制，从左到右对应 PWM 值为 1100 到 1900 (QGC 的 Channel Monitor 的 1 号滑块从左移动到右)。

CH2: 对应俯仰控制，从上到下对应 PWM 值为 1100 到 1900。(QGC 的 Channel Monitor 的 2 号滑块从左移动到右)。

CH3: 对应油门控制，从上到下对应 PWM 值为 1900 到 1100 (注意，这里和 CH2 是相反的，QGC 3 号滑块从右到左)。

CH4: 对应偏航控制，从左到右对应 PWM 值为 1100 到 1900。

CH5/6: 对应模式控制，SE 摇杆 (最左上侧)，这是一个三段开关，顶部 (最远离使用者的档位)、中部和底部 (最靠近使用者的档位) 档位对应 PWM 值为 1100、1500 和 1900。

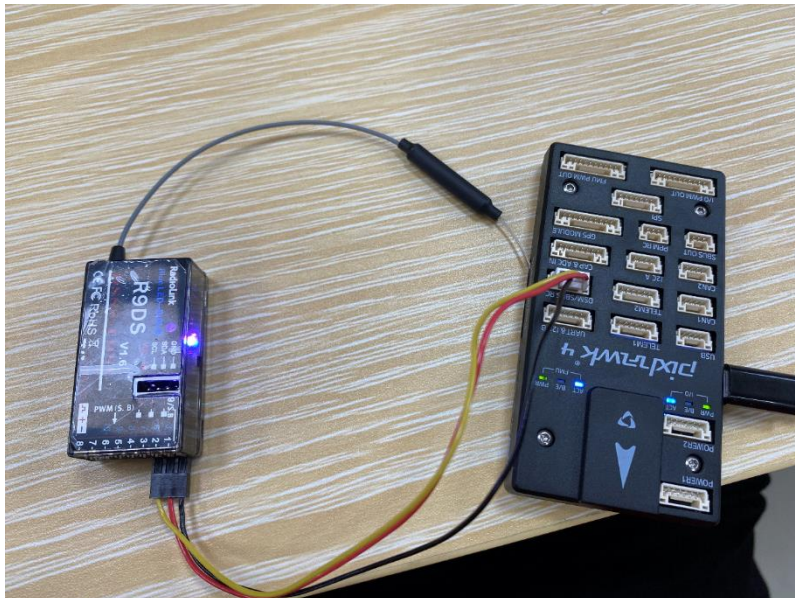




注：箭头表示PWM值增大的拨动方向

4.7 硬件连线

本仿真实验首选的遥控器为乐迪 AT9Spro 遥控器和配套的 R9DS 接收机，必要的附件包括：电池（LiPo 电池，3S，11.1V）和配套充电器，用于给遥控器供电；JR 线（也可用杜邦线代替），用于连接接收机与 Pixhawk 自驾仪；MicroUSB 数据线，用于连接 Pixhawk 自驾仪和计算机。



按上图连线，接收机右下侧排针通过 JR 线连接到飞控最左侧排针（注意线序，接收机 LED 灯暗红色说明线接反了），将 USB 与电脑 USB 口连接，给接收机供电。

遥控器重新配对（默认情况已经连接完毕，只有连接出现问题时才需要重新配对）。打

开遥控器电源，用笔尖长按接收机右侧面的按键超过一秒，此时 LED 灯闪烁，指示寻找距离最近的遥控器（此时应该将其他遥控关闭），并开始对码。LED 灯闪烁 7~8 次后变为常亮，说明对码完毕，遥控器与接收机建立连接。

S.BUS 信号模式选择。S.BUS 模式使得可以通过一根 JR 线完成所有通道 PWM 信号的传输，从而建立接收机与飞控的连接。如果 LED 灯为蓝白色，说明此时属于 S.BUS 模式，不需要进行设置。如果 LED 灯为红色，则需要短按接收机右侧面按键两次（1 秒内），LED 灯变为蓝白色说明 S.BUS 模式切换完毕。

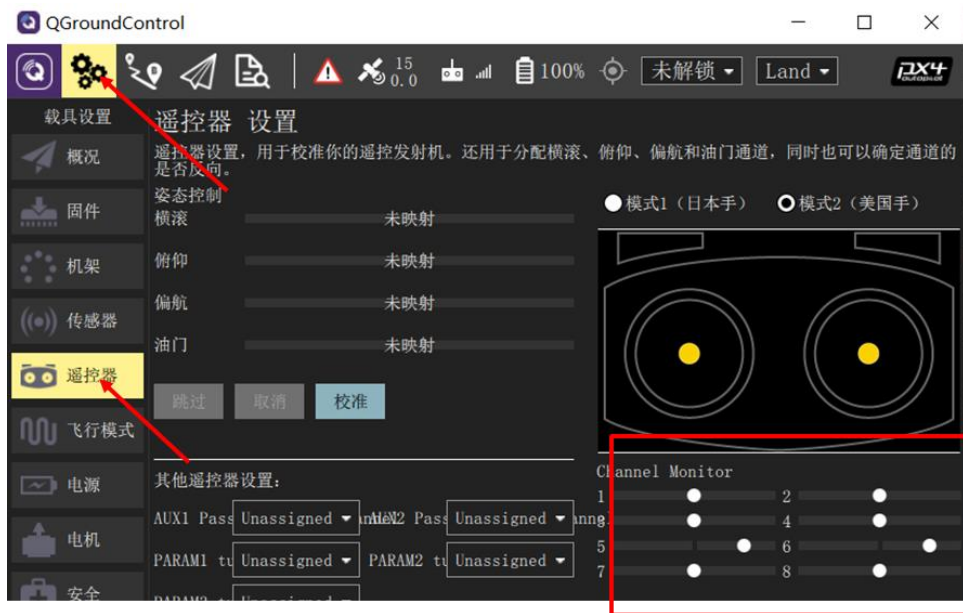


检查遥控器与接收机正确连接方法：

1、正确连接自驾仪与接收机，用 USB 数据线连接自驾仪与电脑，打开遥控器，打开 QGroundControl 地面站软件。

2、等待地面站成功连接上 Pixhawk 后，按右图所示，点击“齿轮”按钮进入设置页面，再点击“Radio”（遥控器）按钮，进入右图的遥控器配置页面。

3、如果可以观察到右图最右侧的“Channel Monitor”下面显示各个通道和滑块，且推动遥控器上的摇杆滑块会随之移动，说明接收机已经配置并连接正确。否则，需要重新确认之前步骤是否正确。



遥控器电池安装方式为：打开遥控器后侧下方电池槽（向下推即可），将电池供电头（红色接口，有红黑两条电线对应正极和负极）插在遥控器的电池槽左侧二口排插上，保证正极（红色电线）朝上。注：不要使用 USB 端口作为充电端口，否则会损坏发射机，端口用于升级固件和将数据复制到计算机。它不能在计算机上用作控制器。



如上图左侧为电池和充电器的实物图，将充电器插在插座上，同时电池的四口充电头（平衡头）插在充电器右下侧的插口上，红色线在最左侧，即可开始充电。处于充电状态时，充电器的指示灯为红色，当电池电量充满时，指示灯变为绿色，此时充电完成，拔下

电池放入电池后壳。注意：充电时将电池从遥控器中拔出，避免充电的同时使用遥控器。



4.8 基本操控设置

- 1)设置舵机相位：对于多旋翼模型，此处只需将油门设置为“反相”；
- 2)设置失控保护：对多旋翼模型，只需要设置油门的失控保护。方法：
 - ①将油门杆向下推至最小，然后调整其旁边的微调按钮，一直向下打，边打边听提示音，直到达到其调整的极限为止。
 - ②选至油门处，长按“Push”，选框中为“反相”，将油门杆推至最低，选择其旁边的微调按钮，一直向下打，边打边听提示音，直到达到其调整的极限为止（声音为短促的声音）。
- 3)辅助通道设置：
 - ①选择“六通” ←--姿态选择 通道：CH6 三段：SwC 二段：SwD。

-rate-		-posi-	-swt-
自稳：	0%	(UP-UP)	(打开)
悬停：	20%	(CT-UP)	(关闭)
定高：	40%	(DN-UP)	(关闭)
引导：	55%	(UP-DN)	(关闭)
降落：	75%	(CT-DN)	(关闭)
自稳：	95%	(DN-DN)	(关闭)

- ②由 SwC、SwD 组合选择飞行模式。

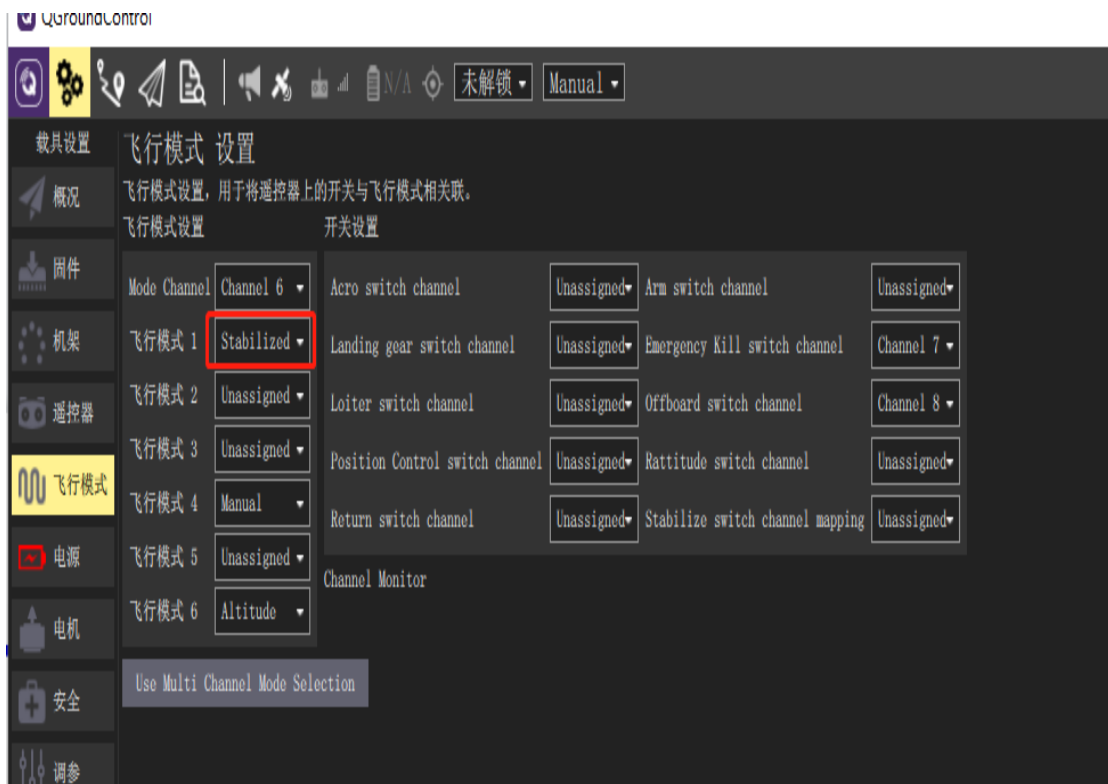
SwD	SwC	飞行模式
↑	↑	自稳(stabilized)
	→	悬停(Loiter)
	↓	定高(AltHold)
↓	↑	Offboard(Offboard)
	→	返航(RTL)
	↓	降落(Land)

4.9 自稳模式（多旋翼）

自稳模式在当遥控器摇杆居中时多旋翼无人机将自稳。要手动使机体移动/飞，您可以移动摇杆使其偏离居中位置。

在手动控制下，横滚和俯仰摇杆控制机体围绕各个轴的角度（姿态），航向摇杆控制水平面上方的旋转速率，油门控制高度/速度。

一旦释放摇杆，它们将会返回中心死区。一旦横滚和俯仰摇杆居中，多旋翼无人机将平稳并停止运动。然后机体将悬停在适当的位置/保持高度 - 前提是平衡得当，油门设置适当（在下方查看），并且没有施加任何外力（例如风）。飞行器将朝着任何风的方向漂移，您必须控制油门以保持高度。



4.10 自稳模式（固定翼）

自稳模式在摇杆回中时使车辆进入定直平飞，保持姿态水平并抵抗风（但不包括飞机航向和高度）。

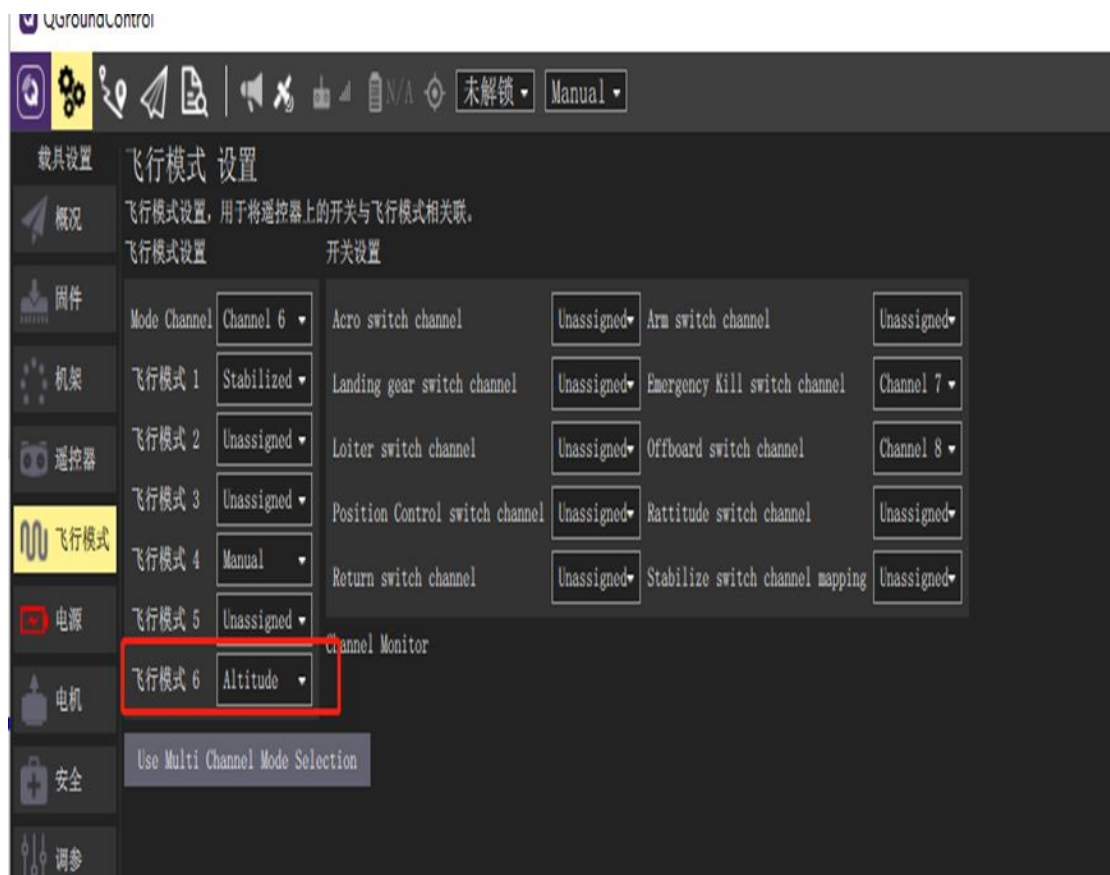
如果横滚/俯仰摇杆不为零，则无人机根据俯仰输入进行爬升/下降并执行协调的转弯。横滚和俯仰是角度控制的（不能上下滚动或循环）。

如果油门降至 0%（电机停止），飞机将滑行。为了执行转弯，必须在整个操纵过程中保持命令，因为如果释放横滚摇杆，则飞机将停止转动并自行调平（对于俯仰和偏航命令也是如此）。注：自稳模式可以很容易通过摇杆回中来保持飞机水平。

4.11 定高模式（多旋翼）

定高模式是一个飞行难度相对容易的遥控模式，滚转和俯仰杆控制机体在左右和前后方向上的运动（相对于机体的“前方”），偏航杆控制水平面上的旋转速度，油门控制上升-下降的速度。

当杆被释放/回中时，机体将恢复水平并保持当前的高度。如果在水平面上运动，机体将继续运动直到任何动量被风阻力消散。如果刮风，飞机会向风的方向漂移。注：对新手来说，定高模式是最安全的无 GPS 的手动模式。就像自稳模式，但是在松开摇杆时也可以锁定机体高度。



定高模式使操纵者更容易控制飞机高度，特别是到达并维持一个固定高度。该模式不

会试图抵抗风扰保持航向。

爬升/下沉率通过俯仰/升降舵杆操纵杆来控制。操纵杆一旦回中，自动驾驶仪就会锁定当前的高度，并在偏航/滚转和任何空速条件下保持高度。

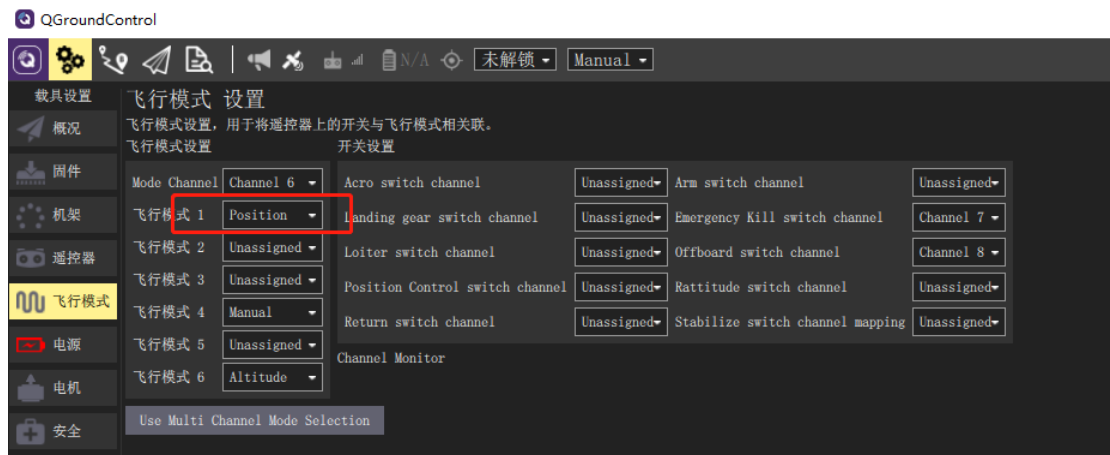
油门通道输入控制空速。滚动和俯仰是角度控制的（因此不可能实现飞机滚转或环绕）。

当所有遥控输入都居中时（无滚动、俯仰、偏航，油门约 50%），飞机将恢复直线水平飞行（受风影响）并保持其当前高度。

4.12 定点模式（多旋翼）

定点模式是一种简单难度的遥控器模式，该模式下横滚和俯仰摇杆控制机体的前后左右方向相对于地面的加速度（类似于车的油门踏板），油门控制上升下降的速度。当摇杆释放/居中时，机体将主动制动，保持水平，并锁定到 3D 空间中的位置 — 补偿风和其他力。

注：定点模式对于新手是最安全的手动模式。不同于定高模式和自稳模式，机体在摇杆中位时会停止，而不是继续直到风阻使其减速。



该模式中降落是很容易的：

1. 使用横滚和俯仰杆控制无人机水平位置于降落点上方。
2. 松开横滚和俯仰杆并给予足够的时间使其完全停止。
3. 轻轻下拉油门杆直到机体触碰地面。
4. 将油门杆一直向下拉以促进和加快着陆检测。
5. 机体将降低螺旋桨推力，检测地面并自动落锁（默认）。

注意：虽然在校准良好的机体上非常罕见，但有时着陆可能会出现问題。如果机体无法停止水平移动：您仍然可以在高度模式下在控制降落。方法与上述相同，除了您必须使用横滚和俯仰杆手动确保机体保持在降落点上方。降落后检查 GPS 和磁罗盘方向，并校准。如果机体未检测到地面/降落并落锁。机体落地后切换到手动/自稳模式，保持油门杆低位，并使用手势或其他命令手动落锁。或者，当机体已经在地面上时，您也可以使用断电开关。

4.13 定点模式（固定翼）

定点模式是一种易于驾驶的遥控模式，当摇杆释放/居中时，无人机将在当前方向上水平直线飞行——补偿风和其他力。

油门取决于空速（在 50%油门时，飞机将以预设的巡航速度保持其当前高度）。俯仰用于爬升或下降。翻滚、俯仰和偏航是角度控制的（因此不可能实现飞机滚转或环绕）。**提示：定点模式对于新手是最安全的固定翼手动模式。**

5、遥控器配置——天地飞 ET07

5.1 开关的配置及类型

电源开关：长按约 2 秒开机或者关机

T1~T4：微调按键（自定义功能）

SA：长柄两档（自定义功能）

SB：短柄三档（自定义功能）

SC：短柄三档（自定义功能）

SD：长柄两档复位（自定义功能）

V1：旋钮（自定义功能）

V2：拨轮（自定义功能）

HOME：功能键，短按返回待机界面；长按 2 秒，打开监视器界面

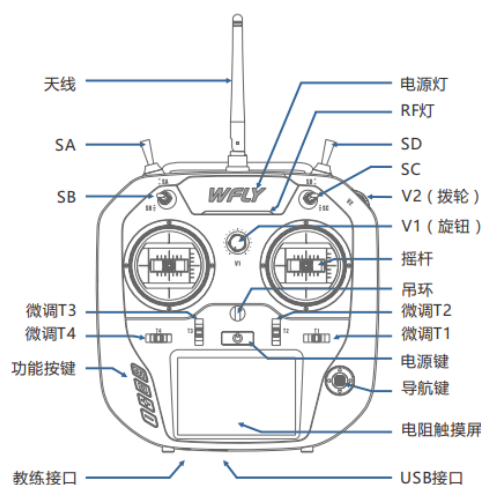
EXIT：返回键，短按返回上级界面；长按 2 秒，锁触屏/解锁触屏

＋：加键，参数递增，切换状态

－：减键，参数递减，切换状态。

上下左右：方向键

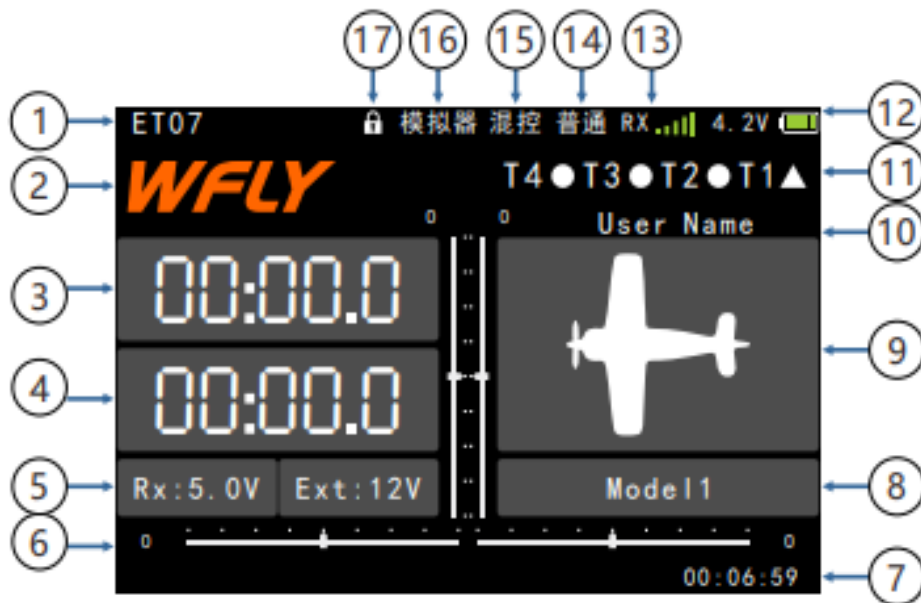
中：短按确认键，长按复位参数（数值）



注：天地飞 ET07 遥控器主要用于室内外基于模型的设计，视觉，SLAM 的实验，适合短距离操作。

5.2 操作和介绍

- ① 发射机型号
- ② WFLY: 点击进入主菜单
- ③ 普通定时器: 长按复位, 单击开始/暂停
- ④ 模式定时器: 长按复位, 状态由【定时器】菜单设置
- ⑤ 电压: 接收机电压, 外部电池电压
- ⑥ 微调监视器: 实时显示微调状态
- ⑦ 开机时间: 开机后时间的累计, 关机重置
- ⑧ 模型名称: 点击进入 模型选择 界面
- ⑨ 机型: 点击进入当前机型菜单界面
- ⑩ 用户名: 点击进入自定义命名
- ⑪ 微调状态: 显示 T1~T4 微调状态 (T1-T4 当开关使用时), ▲ 表示档位位于“上” ● 表示档位位于“中” ▼ 表示档位位于“下”
- ⑫ 电量: 发射机电量
- ⑬ 接收机信号强度
- ⑭ 飞行模式 (油门锁定、普通、特技 1、特技 2)
- ⑮ 混控: 混控功能开启后显示
- ⑯ 工作模式: 显示启用的模式 (教练、模拟器、学员)
- ⑰ 锁屏状态 (EXIT 键长按 2 秒切换)

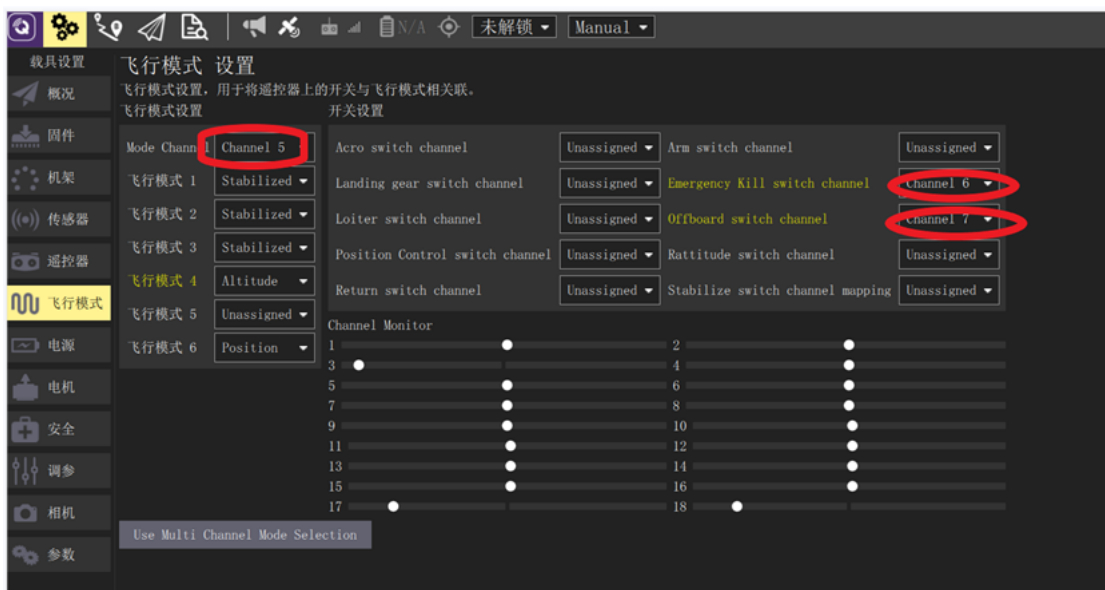


5.3 遥控器的设置

1. 辅助通道设置

打开遥控器进入主界面。

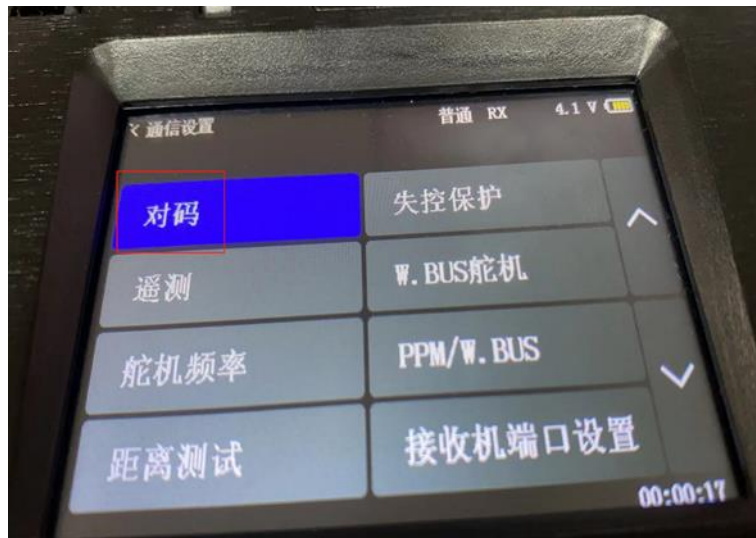
查找辅助通道。进入主界面后点击通用功能，进入界面后选辅助通道设置，见下图
辅助通道设置：通道 5 为切换飞机飞行模式，一般选择三档开关；通道 6 为急停通道，
切换此通道可以将飞机直接停桨。通道 5、6 设置时可选自己容易操作的通道。



2. 遥控器与飞机接收机对频设置

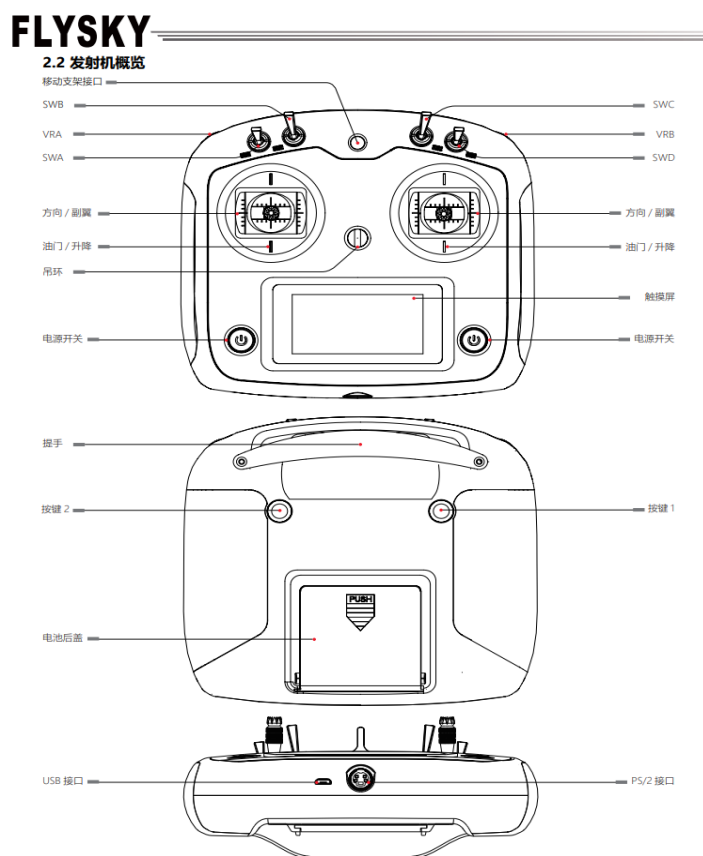
进入主界面，选择通信设置。

进入通讯设置后点击对码，然后点开始，飞机上电后出现如图所示所标示的信息就说明对频成功。



6、遥控器配置（福斯 i6s）

- 1) 发射机概览如右图所示。
- 2) 发射机天线：FS-i6S 发射机采用内置铜管全向双天线。
- 3) 摇杆 / 旋钮 / 开关 / 按键：FS-i6S 拥有 2 组摇杆、4 组开关、2 组旋钮和 2 组按键。
 - 摇杆：用于控制副翼，升降，油门和方向以及辅助通道。
 - 开关：用于控制辅助通道或控制定时器。
 - 旋钮：用于控制辅助通道。
 - 按键：用于控制辅助通道或定时器。
- 4) 状态指示灯：状态指示灯用于指示发射机的电源以及工作状态。
 - 灭：发射机电源关闭。
 - 蓝色常亮：发射机电源开启，处于正常工作。

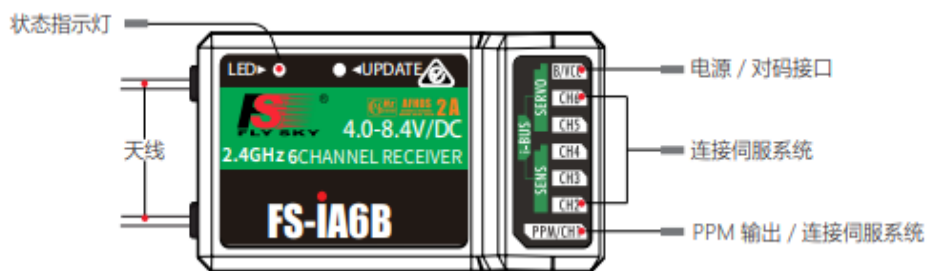


- 5) 接收机跟发射机实物图概览如右图所示。
- 6) 接收机天线：FS-iA6B 采用铜管全向双天线。
- 7) 状态指示灯：状态指示灯用于指示接收机的电源以及工作状态。

- 灭：接收机电源未连接。
- 红色常亮：接收机已连接电源，并正常工作。
- 快速闪烁：接收机处于对码状态。
- 慢速闪烁：配对的发射机未开机或信号已丢失。

8) 接口：接口用于连接接收机与模型的各个部件。

- PPM/CH1：连接 CH1 通道的舵机或输出 PPM 信号。
- CH2 ~ CH6：接口可以连接舵机、电源或其他部件。
- B/VCC：对码时用于连接对码线，正常操作时用于连接电源线，供电范围在 4.0-8.4V 之间。



- SERVO：用于连接 i-BUS 接收机扩展通道，可输出 i-BUS/S.BUS 信号。
- SENS：用于连接各传感器。

9) 接收机规格 (FS-iA6B) 如右图所示

10) 接收机与舵机安装：请按照以下方法来安装接收机与舵机。**注：福斯 i6s 遥控器主要用于仿真，其通道配置方法可参考前面乐迪 AT9S Pro。**

通道个数	6
适合机种	多轴飞行器 / 固定翼 / 直升机
频率范围	2.4055-2.475 GHz
波段个数	140
接收机灵敏度	-105 dBm
2.4GHz 系统	AFHDS 2A
调制方式	GFSK
输入电源	4.0 - 8.4V DC
机身重量	14.9 g
天线长度	26mm (双天线)
外形尺寸 (长 x 宽 x 高)	47mm x 26.2mm x 15 mm
外观颜色	黑色
认证	CE, FCC ID: N4ZFLYSKYIA10
i-BUS 接口	有
数据采集接口	有

