



PIX6 固定翼/垂起固定翼 用户手册



(PIX6 适用于多旋翼、固定翼、VTOL 垂直起降固定翼、直升机、车、船、潜水艇、雷达追踪天线、机甲、机器人)

目录

1、飞控板概览	5
1.1、部件	5
1.2、端口和技术参数	6
2、地面站	9
2.1、地面站调试软件 Mission Planner 安装	9
2.1.1、在 Windows 安装	10
2.1.2、在 Android 上安装	11
2.1.3、在 Linux 上安装	11
2.2、认识 Mission Planner 的界面	11
3、第一次接触准备	12
3.1、下载刷入固件	12
3.2、加速度校准	14
3.3、遥控校准	16
3.4、罗盘校准	19
3.5、飞行模式配置	21
3.6、飞行模式介绍	22
3.6.1、MANUAL 手动模式	22
3.6.2、STABILIZE 自稳模式	22
3.6.3、FBWA	22
3.6.4、FBWB	23
3.6.5、CRUISE 巡航模式	23
3.6.6、AUTOTUNE 自动调参模式	23
3.6.7、RTL 返航模式	24
3.6.8、LOITER 留待模式	24
3.6.9、更多飞行模式	25
4、失控保护	25
5、机型安装连接设置	26
5.1、普通四通道固定翼	26
5.2、三角翼飞翼机型	27
5.3、V 尾固定翼机型	28

5.4、硬件连接	30
5.5、电池监测	31
5.6、LED 指示和解锁及故障解决	32
5.6.1、飞控状态指示 LED 指示	32
5.6.2、解锁和上锁	32
5.6.3、解锁失败故障提示	35
5.7、校准电调（首次飞行）	38
5.8、空速计	38
5.9、水平校准	40
5.10、地理围栏	40
5.11、板载 OSD	42
5.11.1、Setting 界面介绍	42
5.11.2、Screen 界面介绍	43
6、垂起固定翼的设置和操作	44
6.1、概述	44
6.1.1、类型和配置	44
6.2、建造飞行器	45
6.2.1、一般规则	45
6.2.2、控制范围	45
6.3、操控飞行器	46
6.3.1、过渡：垂直起降/固定翼	46
6.3.2、辅助固定翼飞行	48
6.3.3、返航	50
6.3.4、垂直起降飞机与固定翼飞机的水平配平	53
6.4、首次设置	56
6.4.1、帧设置	56
6.4.2、倾转旋翼机	59
6.4.3、尾座式飞机	64
6.4.4、ESC 校准	73
6.4.5、垂起固定翼参数设置	74
6.4.6、飞行模式	78

6.4.7、垂起固定翼设置技巧	88
6.5、首次飞行和垂直起降固定翼调校	90
6.5.1、垂直起降固定翼介绍	90
6.5.2、调校过程指导	92
6.5.3、倾斜矢量偏航配置的偏航调节	102
6.5.4、尾座式垂直起降固定翼调优	102
6.5.5、垂直起降模式快速调校	104
7、自动调参	106
8、参数设置	107
8.1、参数界面介绍	107
8.2、参数修改	108
8.3、手动调参	109
9、日志下载与查看	109
可供参考资料	111

1、飞控板概览

1.1、部件



飞控 ×1



蜂鸣器 ×1



安全开关 ×1



电源模块
二选一 ×1



存储卡(4G) ×1



CAN1/2口
连接线 ×2



DSM RC
连接线 ×1



TELEM1/2口
连接线 ×2



ADC 6V6口
连接线 ×1



ADC 3V3口
连接线 ×1



OSD口
连接线 ×1



GPS1/2口
连接线 ×2



SWITCH(安全
开关)连接线 ×1



I2C口
连接线 ×1



SPI口
连接线 ×1



POWER1口
连接线 ×1



POWER2口
连接线 ×1



Debug口
连接线 ×1



接收机
连接线 ×1



USB口
连接线 ×1



Type-C
数据线 ×1



双面贴 ×2

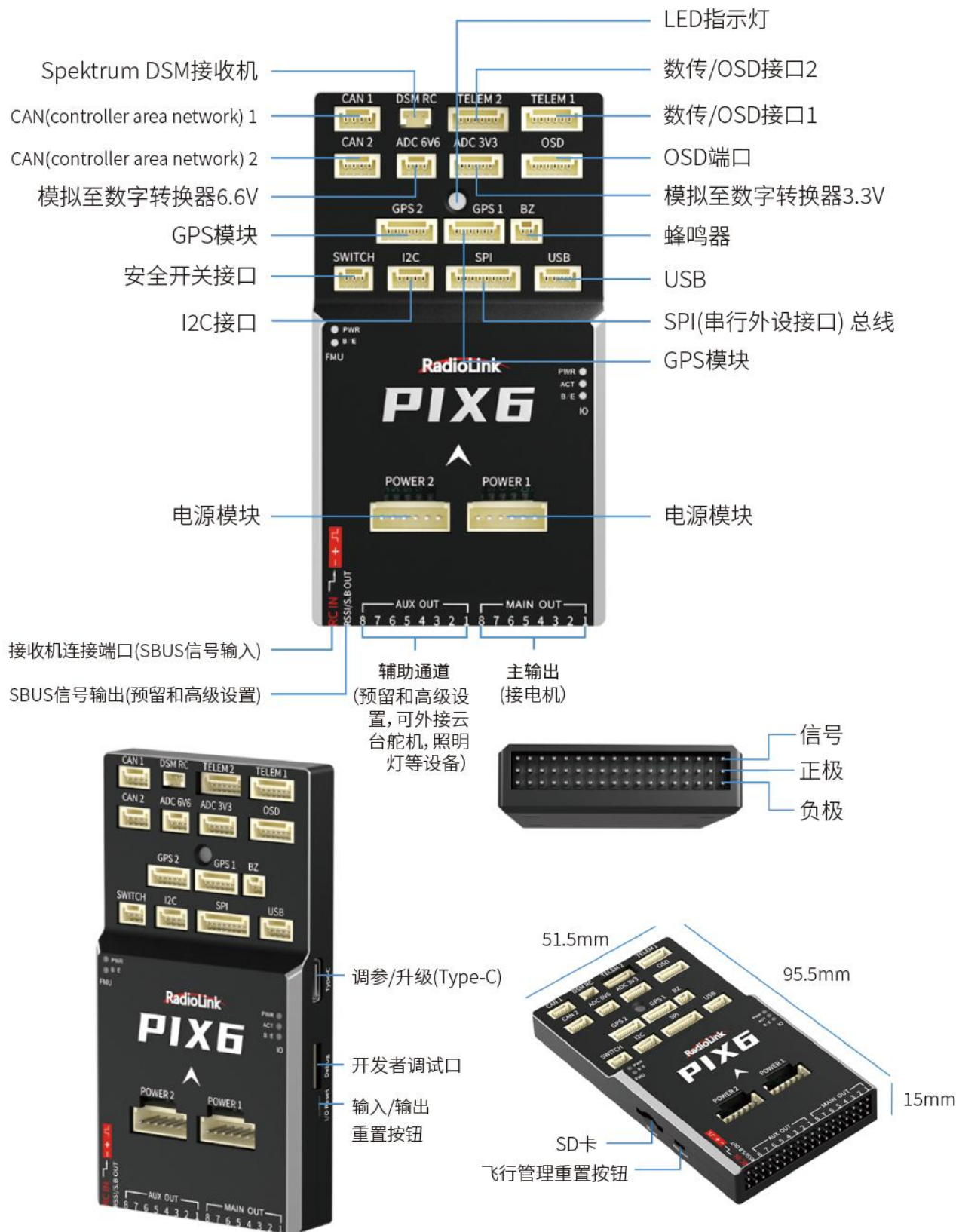


快速入门指南 ×1

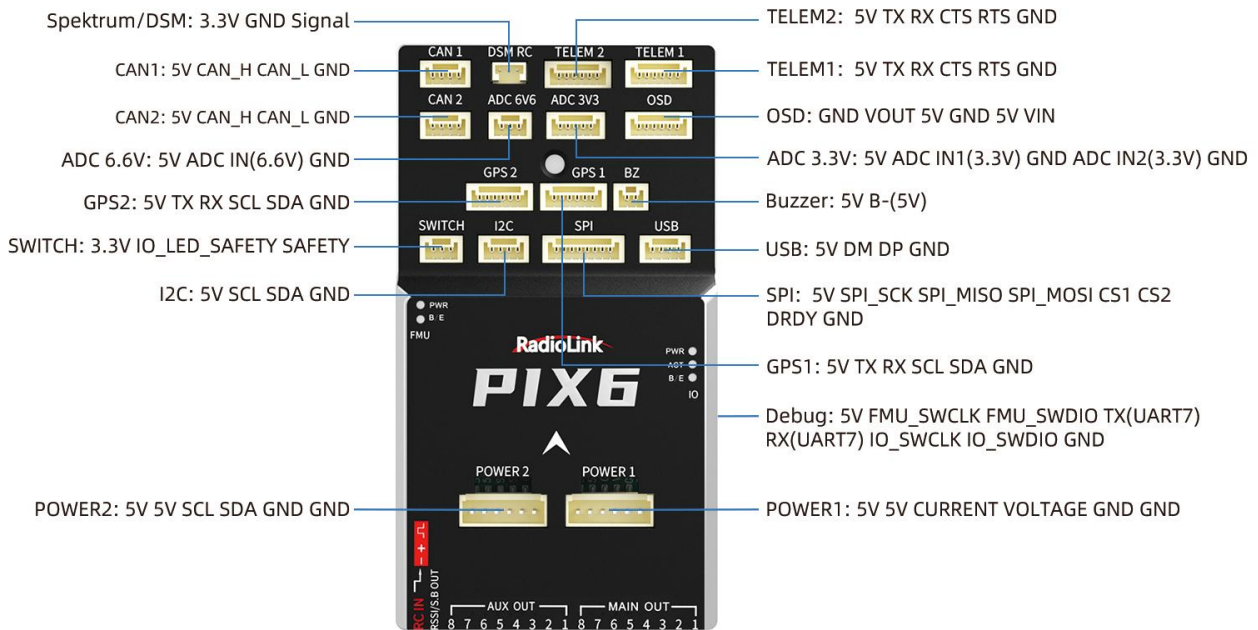


包装彩盒 ×1

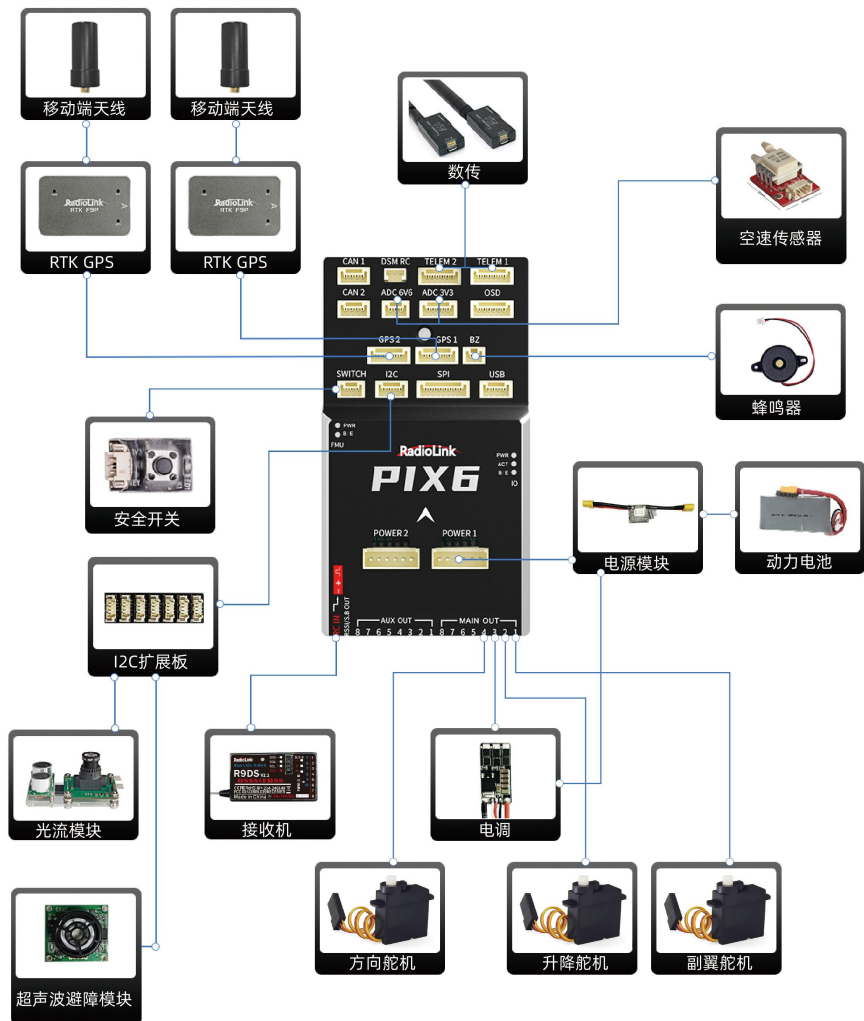
1.2、端口和技术参数



接口定义



PIX6 垂起固定翼连接示意图



技术参数		
硬件参数	主处理器	STM32F765VIT6
	协处理器	STM32F100
传感器	陀螺仪&加速度计	BMI088, ICM-42688
	电子罗盘	IST8310
	气压计	SPA06-003
	运行内存	512KB
	Flash 内存	2MB
	Flash 闪存	32KB, FM25V02A
	通道输出	16 路（主输出：8 通道，辅助输出：8 通道）
	插针规格	POWER1,2 是 HY-6P；DSM RC 是 XH1.25-3P；Debug 是 1.0-8P；其他是 GH1.25
接口	CAN 口	2
	DSM RC	1
	Mavlink USART 串口	2（带 RTS/CTS）
	ADC 口	3.3V*1&6.6V*1
	OSD 口	1
	GPS 串口	2（GPS1: USART; GPS2: UART）
	蜂鸣器(BUZZER)	1
	安全开关(SWITCH)	1
	I2C 口	1
	SPI 口	1
	USB 口	1
	POWER 口	2 (Power1: 模拟电源检测口; Power2: I2C 电源检测口)
	Type-C 口	1
	SD 卡插口	1
	FMU Reset	1
	Debug 口	1
	I/O Reset	1

	遥控器信号(RC In 口)	PPM/SBUS/CRSF
	RSSI 信号输入	PWM/3.3V
	RSSI 信号引出	支持
	图传	支持数字图传和模拟图传
	OneShot/DSHOT 协议	支持
	图传 OSD	支持，内置图传 OSD 模块
	支持的电调协议	PWM/OneShot/DSHOT
	外接 Neopix Led 灯	支持
	Gripper 功能	支持
	RTK	支持，可选择乐迪 RTK 套装
电源模块参数	重量	24.5g(不含连接线)
	输入电压	2-12V
	最大检测电流	90A
	输出电压	5.3V±0.2V
	BEC 输出电流	2A
	单路最大检测电流	22.5A
支持固件	Ardupilot	
支持机型	固定翼/2-8 旋翼/直升机/VTOL 垂直起降/无人车/无人船/机甲/机器人	
基本参数	尺寸	95.5*51.5*15mm
	重量	50g(不含连接线)
	USB 电压	5V±0.3V
	工作温度	-30~85°C

2、地面站

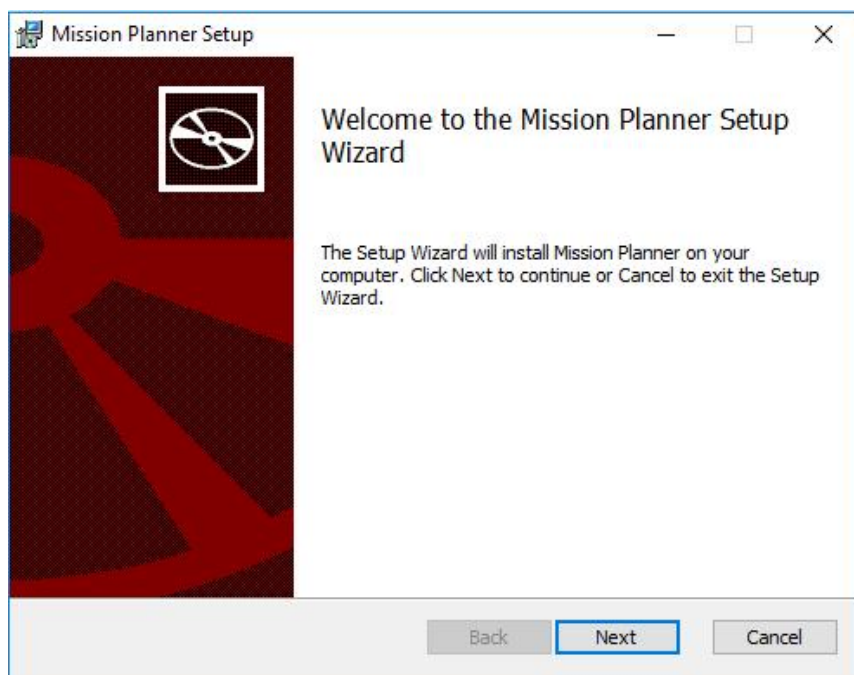
2.1、地面站调试软件 Mission Planner 安装

Mission Planner 专为 Windows 原生安装而设计。不过，也可以在 Linux 下使用（偶尔会出现一些问题），并且有适用于 Android OS 的 Beta 版本。

2.1.1、在 Windows 安装

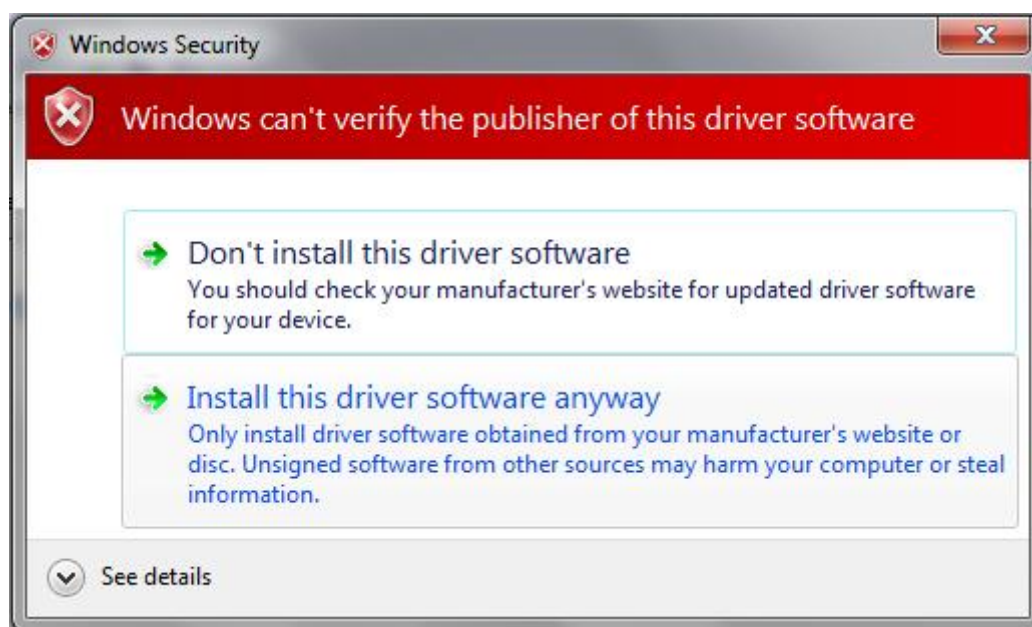
以下说明展示了如何在 Windows 上安装 Mission Planner。

[从此处](#) 下载最新的 Mission Planner 安装程序，双击下载的.msi 文件以运行安装程序。



按照说明完成安装过程。安装实用程序将自动安装任何必要的软件驱动程序。如果您收到 DirectX 安装错误，请从 [Windows 下载中心](#) 更新您的 DirectX 插件。

如果您收到如下图所示的警告，请选择仍然安装此驱动程序软件以继续。



Mission Planner 通常安装在 C:\Program Files (x86)\Mission Planner 文件夹中。并根据您在安装过程中的指示创建一个用于打开任务规划器的快捷方式图标。安装完成后，单击系统图标打开 Mission Planner。

2.1.2、在 Android 上安装

Android 版本正在开发中，可以从 Google Play Store 下载。最新版本也可[在此处](#)获取。下载到设备，然后双击进行安装。

2.1.3、在 Linux 上安装

使用 MONO 可以在许多 Linux 发行版上运行大多数基于 Windows 的程序。Mission Planner 确实可以在 MONO 下运行，但偶尔会出现问题和/或崩溃。QGC 和 MAVProxy 是在 Linux 中稳定运行的替代方案，但如果确实需要 Mission Planner，您可以按照以下步骤操作：

[从此处](#)下载并安装最新版本的 MONO。

[从这里](#)下载 Mission Planner 的 zip 文件并解压到一个目录。

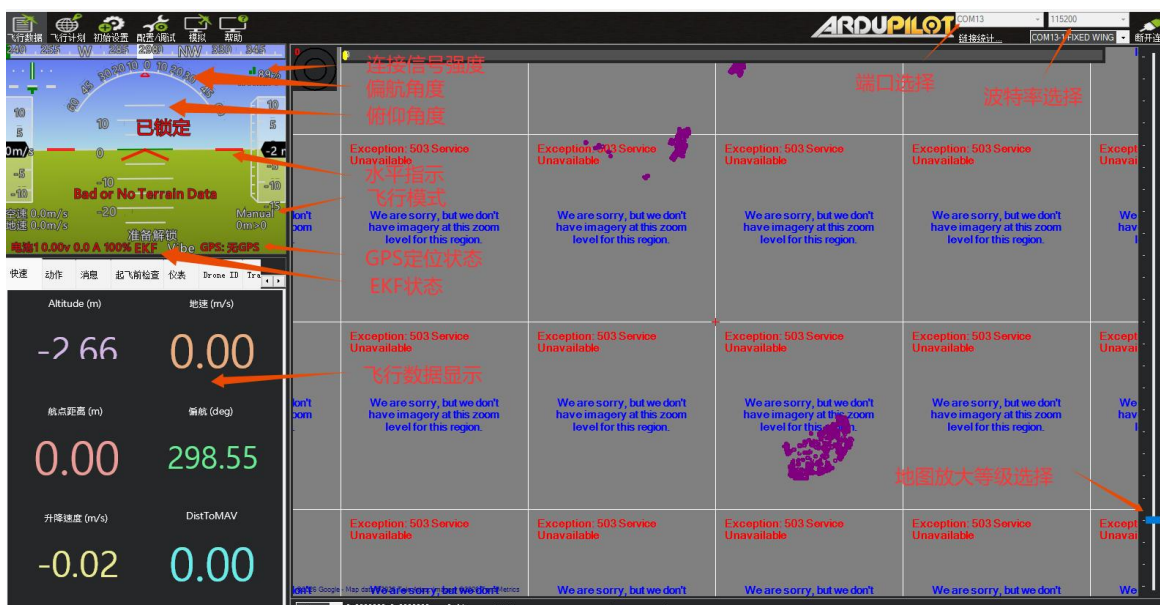
进入该目录并执行：mono MissionPlanner.exe。

2.2、认识 Mission Planner 的界面

安装完 Mission Planner 和驱动后，现在可以开始启动 Mission Planner 主程序了，初次打开会有几个提示，第一个请选择 Yes,后面请都选择 NO。

主界面左上方为主菜单按钮：

- 飞行数据实时显示飞行姿态与数据；
- 飞行计划是任务规划菜单；
- 初始设置用于固件的安装与升级以及一些基本设置；
- 配置调试包含了详尽的 PID 调节，参数调整等菜单；
- 模拟是给 PIX6 刷入特定的模拟器固件后，将 PIX6 作为一个模拟器在电脑上模拟飞行使用；
- 终端是一个类似 DOS 环境的命令行调试窗口，功能非常强大。



3、第一次接触准备

3.1、下载刷入固件

PIX6 拿到手后首先要做的就是给它刷入你自己需要的固件，出厂的默认固件为多旋翼固件，但是未必是符合你要求的固件，所以学会刷新 PIX6 的固件是你的必修课之一。

固件安装前请先连接 PIX6 的 USB 线到电脑，确保电脑已经识别到 PIX6 的 COM 口后，打开 Mission Planner 地面站（以下简称 MP），在 MP 主界面的右上方端口选择下拉框那里选择对应的 COM 口，然后波特率选择 115200。

注意：

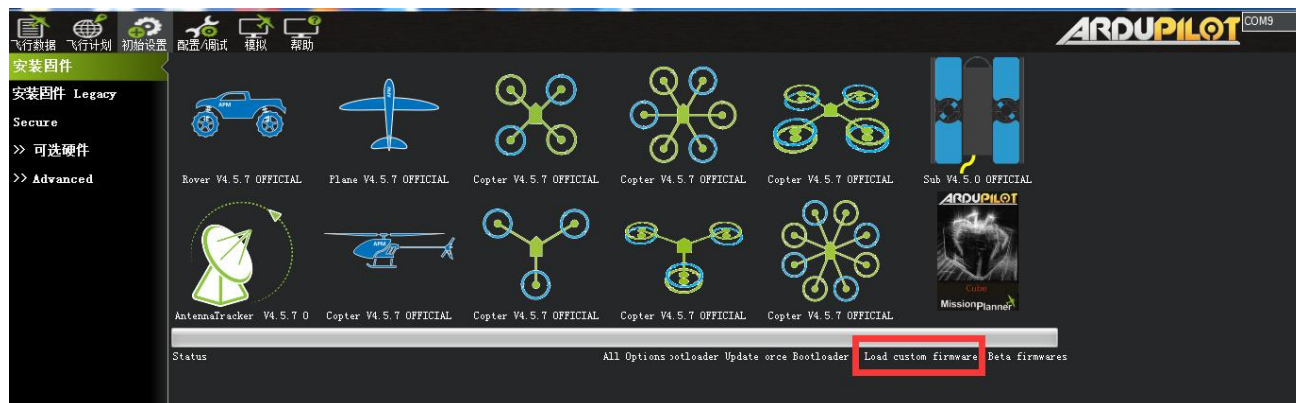
1、请不要点击 connect 连接按钮，如果你之前已经连接了 PIX6，请点击 Disconnect 断开连接之后再开始刷固件，否则固件安装过程中弹出错误提示。

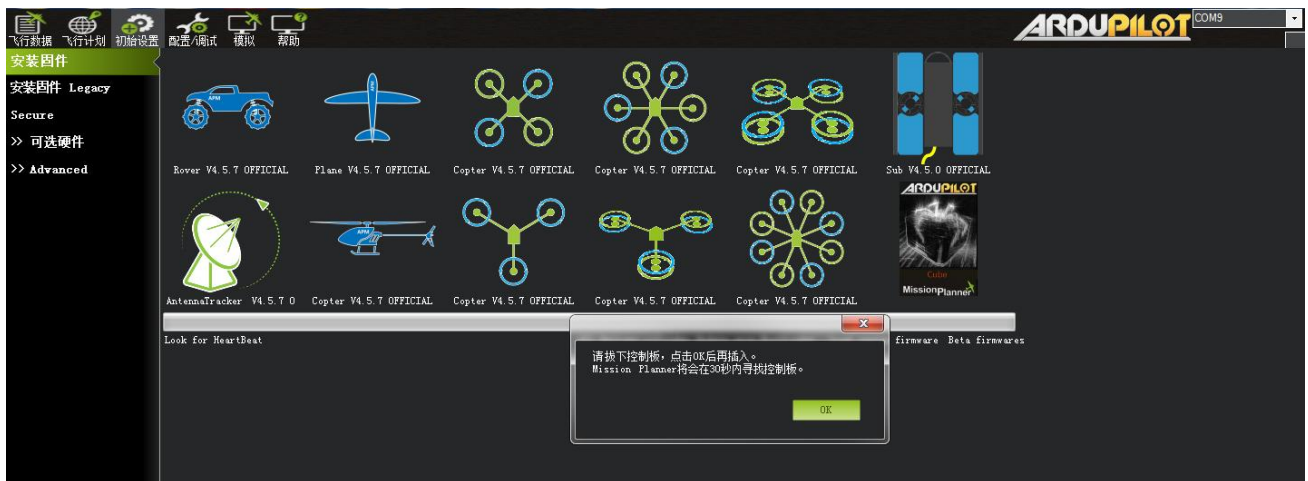
2、请不要用无线数传安装固件，虽然无线数传跟 USB 有着同样的通信功能，但它缺少 reset 信号，无法在刷固件的过程中给 PIX6 复位，会导致安装失败。

3、如果安装固件页面没有出现图示数字版本号，提示获取固件失败，可能是网络问题，请再次点击安装固件选项，重新打开安装固件页面，直到网络连接正常出现数字版本号。

4、带有 F7 或 H7 处理器并具有 CAN 接口的自动驾驶仪使用提供两个 USB 接口的固件：一个用于正常的 MAVLink 连接，一个用于 SLCAN 串行连接到 CAN 接口进行配置和固件更新。这称为复合 USB 设备。默认情况下，MAVLink USB 接口为 SERIAL0，SLCAN USB 接口为主板上最高的 SERIALx 端口。当前与 Mission Planner 一起安装的 Windows 驱动程序可以选择使用其中之一，并且由于 ArduPilot 固件中为 MAVLINK 协议默认设置了两端，因此无论选择哪一个作为 COM 端口，它都可以正常工作。

先从[乐迪官网](#)下载所需固件，点击加载自定义固件（Load custom firmware），在弹出框中选择下载好的固件，出现如下提示：





请先拔下 USB 线，点击 OK，再马上插上 USB 线，然后自动完成连接识别飞控，刷入固件（**请注意，在有多设备连接时可能会出现失败情况，请先去除其他设备**）。

也有可能出现假死界面显示已经连接飞控，不用担心此时也在进行刷写固件，可以查看飞控状态指示灯红色常亮，此时正在刷写固件。

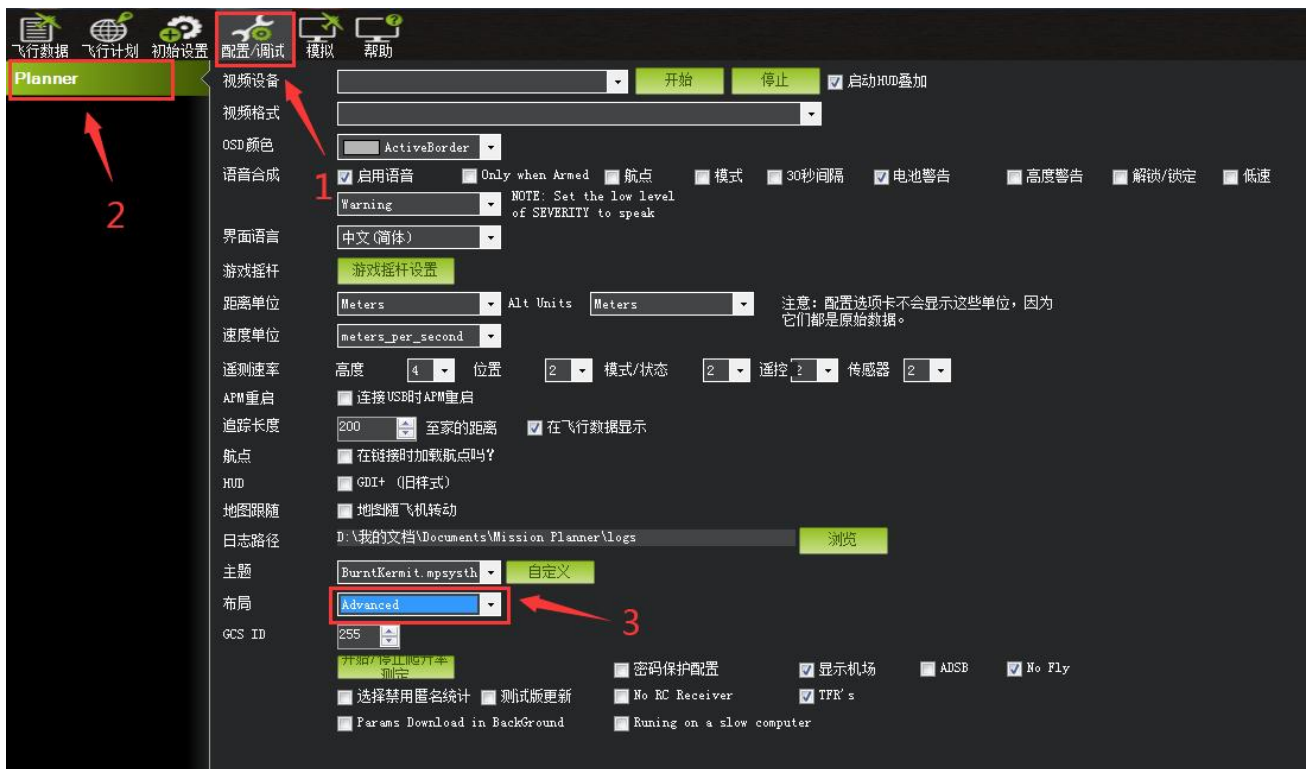
3.1 版本以后的固件在安装完后都会先弹出一个警告提示框，这是在提醒你：这个版本的固件在解锁后，电机就会以怠速运行。

固件安装提示 Done 成功后，你就可以点击右上角的 connect 连接按钮连接飞控，进行设置校准。

注意：

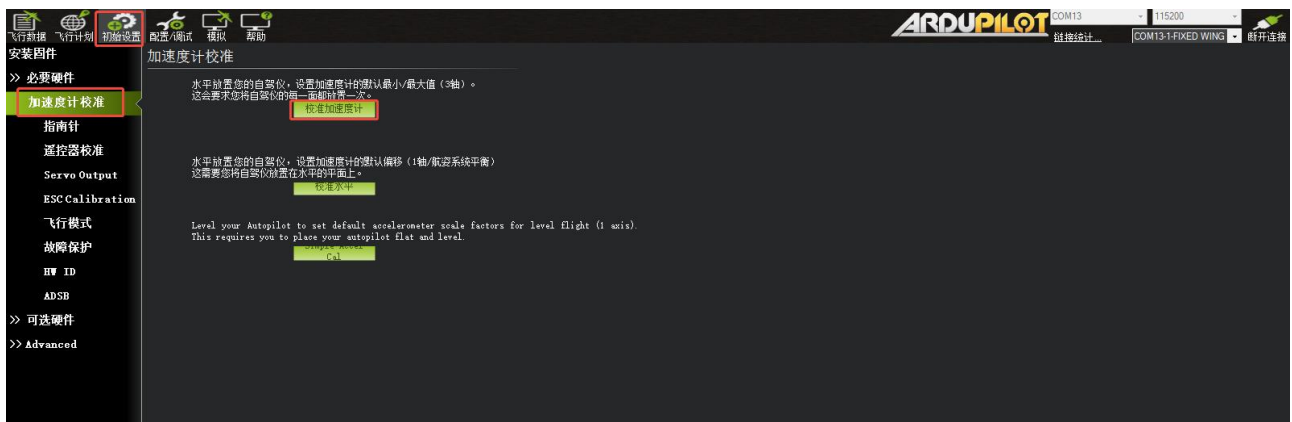
- 1、飞控连接地面站读取参数过程较长。
- 2、无“加载自定义固件 Load custom firmware”这个选项：
- 3、“配置调试”选项中无全部参数表。

当你连接地面站参与刷固件时遇到以上三种情况，可以把“爬升率测定”选项从初始值“Basic”更改为“Advanced”。操作步骤如下：



3.2、加速度校准

加速度的校准时请保持桌面水平，按如图步骤开始校准，执行 6 个动作，每次按电脑回车键确认。



1. Place vehicle level and press any key(水平放置)完成后回车键保存。



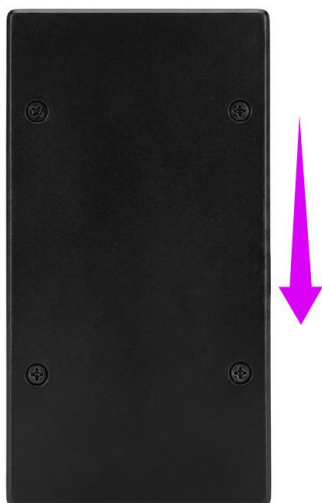
2. Place vehicle on its LEFT side and press any key (向左边放置) 完成后回车键保存。



3. Place vehicle on its RIGHT side and press any key (向右边放置) 完成后回车键保存。



4. Place vehicle nose DOWN and press any key (向下放置) 完成后回车键保存。



5. Place vehicle nose UP and press any key (向上放置) 完成后回车键保存。



6. Place vehicle on its BACK and press any key (反过来放置) 完成后回车键保存。



3.3、遥控校准

首先进行遥控校准，遥控校准需要连接你的接收机，飞控通过 USB 数据线成功连接地面站（也可以通过数传进行连接）。

本文档内遥控器都以乐迪 AT9S 为例，请按说明书进行遥控器接收机对码连接，然后打开遥控器电源。

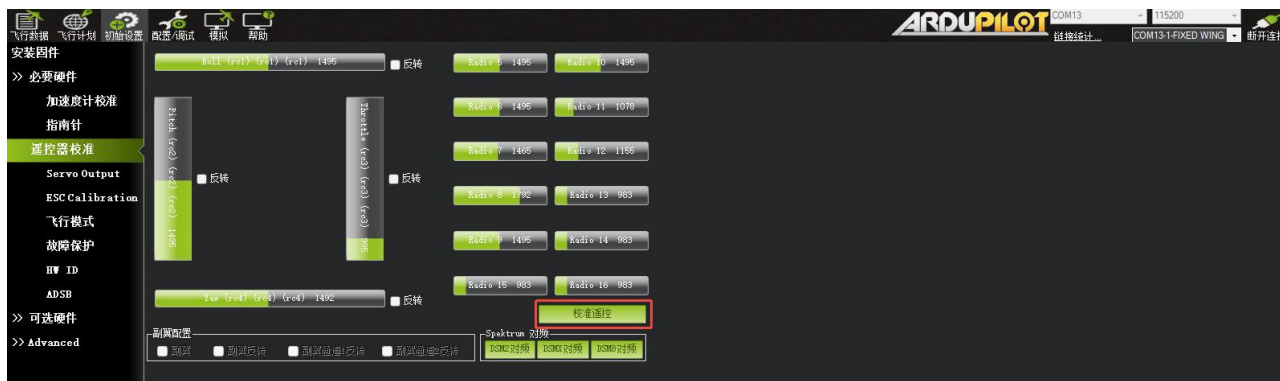
1. 按 Mode 键，进入模型菜单，选择机型选择，进入拨动拨盘到机型选项，按 Push 进行选中，拨动拨盘，选择对应的固定翼模型，按 Push 键等待滴滴响声结束即保存模式，之后按 End 退出。



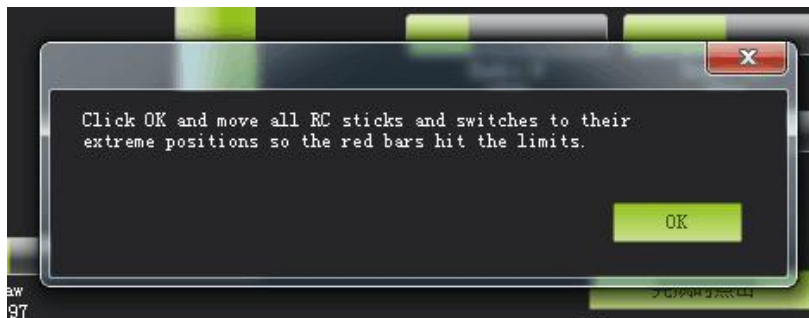
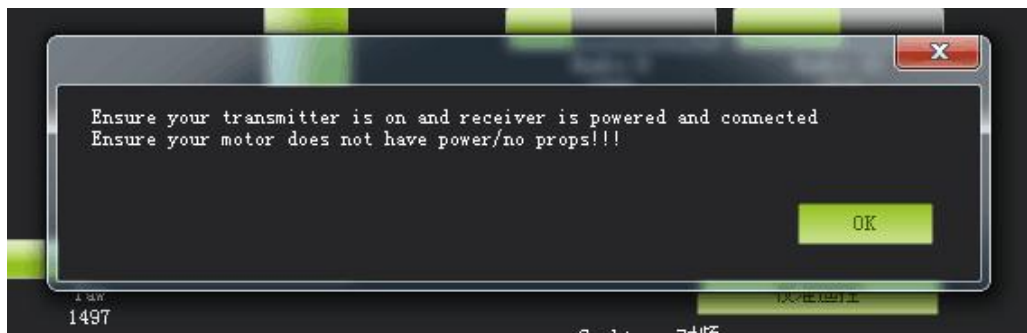
2. 因为对于 AT9S 遥控器，需要把油门反相，所以请按 Mode 键，进入**模型菜单**，选择**舵机相位**，选择 **3: 油门**，按 Push 选中，拨动拨盘选择到**反相**，按 Push 选中保存，按 End 退出即可，遥控器设置完成。



运行 MP，按下图步骤选择好波特率与端口后点击 connect 连接飞控，接着点击**初始设置——必要硬件——遥控器校准——**点击窗口右边的**校准遥控按钮**。



点击校准遥控后会依次弹出两个提醒：分别是确认你遥控发射端已经打开 and 接收机已经通电连接，确认你的电机没有通电。



然后点击 OK 开始拨动遥控开关，使每个通道的红色提示条移动到上下限的位置。

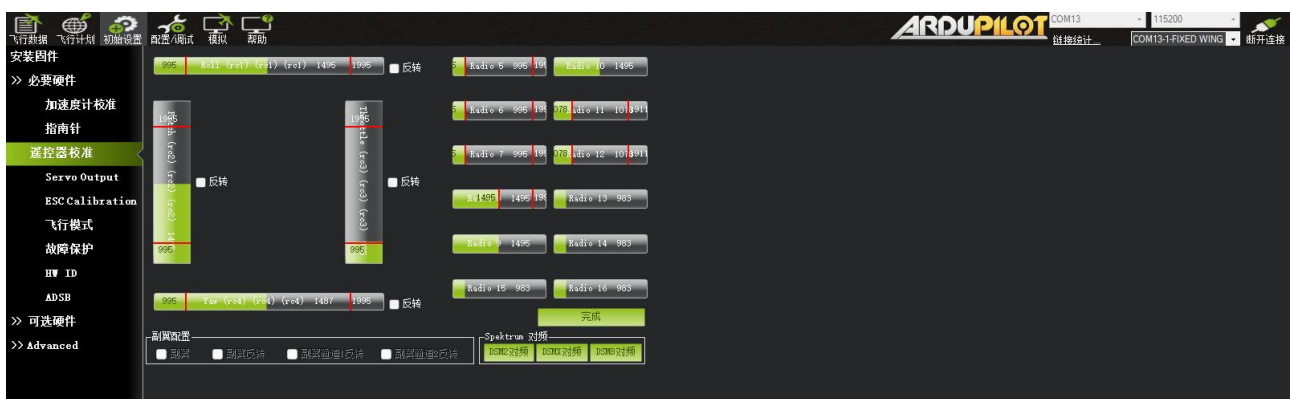
当每个通道的红色指示条移动到上下限位置的时候，点击**完成时点击**保存校准后，完成遥控器的校准。如果你拨动摇杆时上面的指示条没有变化，请检查接收机连接是否正确，另外同时检查下每个通道是否对应你的遥控器应能引起下列控制变化：

通道 1：低 = roll 向左，高 = roll 向右。

通道 2：低 = pitch 向前，高 = pitch 向后。

通道 3：低 = 油门减（关），高 = 油门加。

通道 4：低 = yaw 向左，高 = yaw 向右。

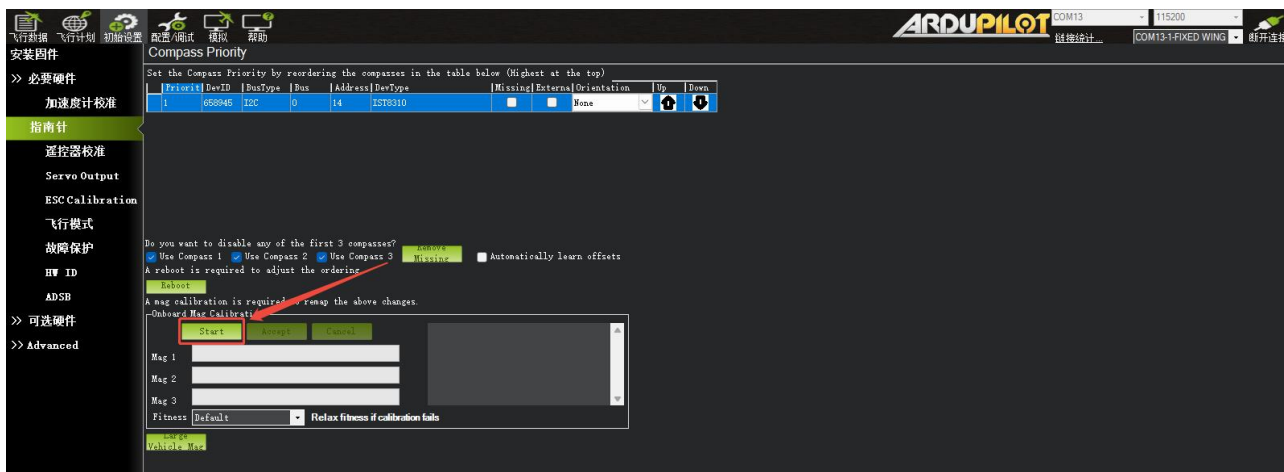


3.4、罗盘校准

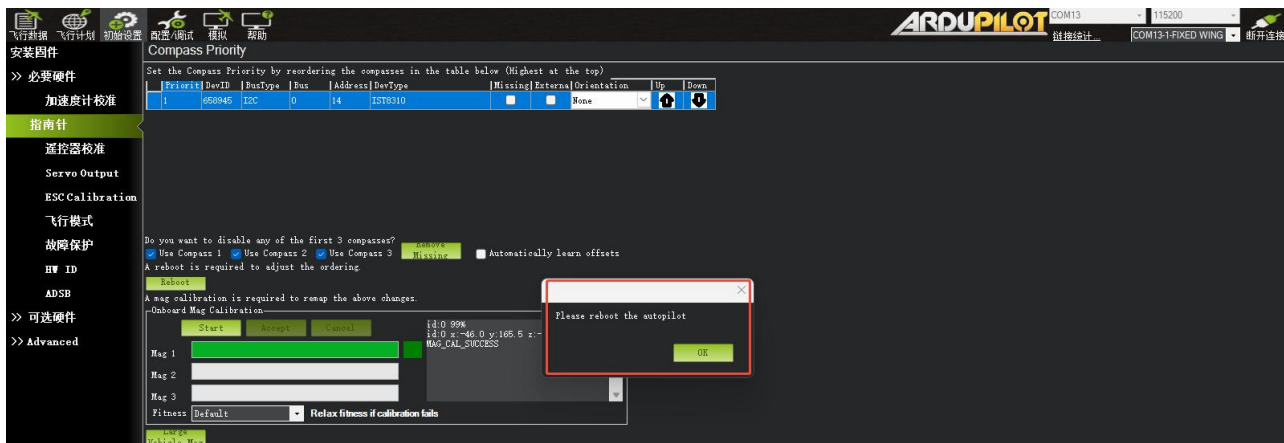
罗盘校准有两种情况：

1. 带罗盘的 GPS 模块，使用外置和内置罗盘。
2. 不带 GPS，使用内置罗盘。

进入指南针界面，进入如下界面，直接点击开始即可。



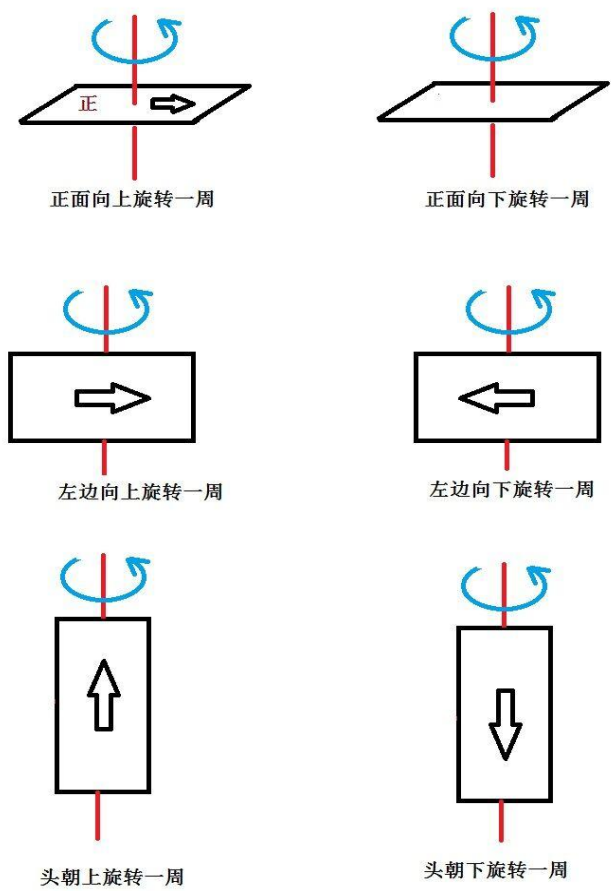
在转的过程中，系统会不断记录罗盘传感器采集的数据，进度条右边的百分数会不断变化，如果数据没有变化，请检查你的罗盘是否已经正确连接或罗盘芯片硬件是否正常。在进度条走到最右端之后，系统会出现一个提示框。如下图所示：



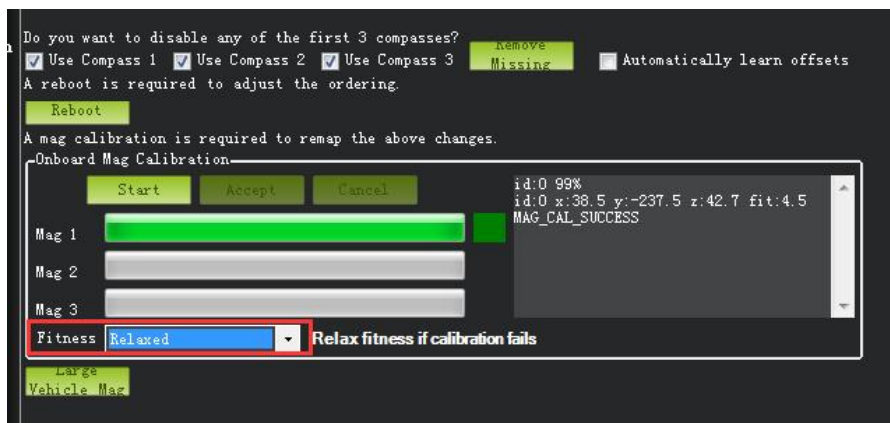
点击 OK 后给飞控重新上电，重启之后即完成罗盘校准。

如果飞控连接了 GPS，除了内置罗盘，界面还会显示 GPS 的外置罗盘，此时指南针 1 号就是外置罗盘（GPS 上的罗盘），指南针 2 号就是飞控内置罗盘；当 GPS 安装方向与飞控方向一致时，无需任何操作方向默认为 None，当 GPS 安装方向不一致的时候，需要在全部参数表设置 AHRS_ORIENTATION 这个参数。

请采用如图所示动作进行校准：

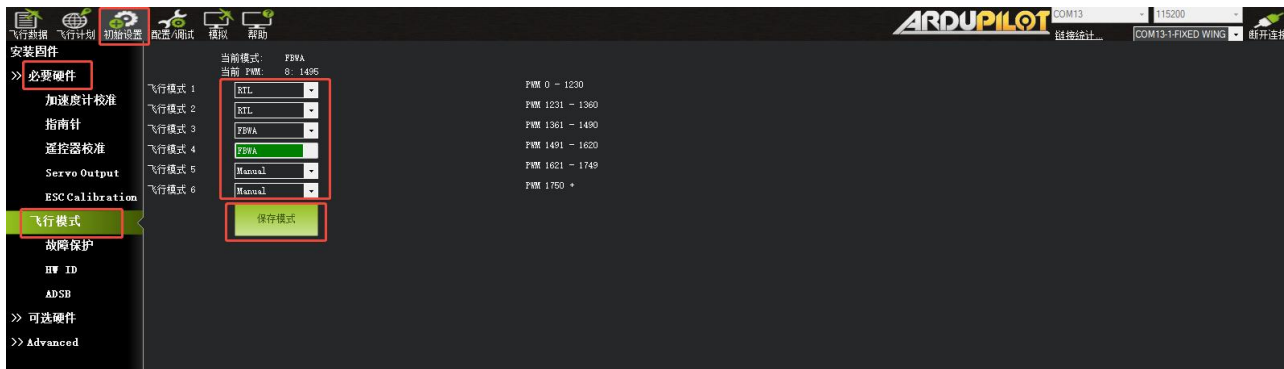


注意：当出现进度条完成 100 后归 0 继续开始校准，说明此时校准动作或者安装附近有干扰罗盘因素，可以尝试继续转动多次直到校准完成或设置 Fitness 选项为 Relaxed。



3.5、飞行模式配置

PIX6 有多种飞行模式可以选择，但一般只能设置六种，加上 CH7，CH8 的辅助，最多也就八种。这需要遥控器设置，以下以为乐迪 AT9 S 为例，首先飞控连接接收机，遥控器与接收机对码，之后连接 MP 与飞控，随后点击初始设置->必要硬件->飞行模式选择，就会弹出如下的飞行模式配置界面：



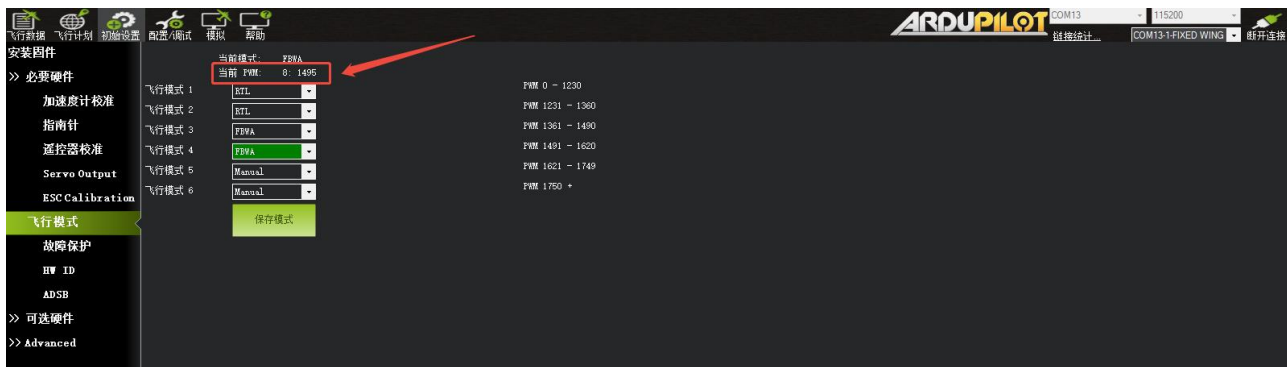
下面进行遥控器的设置：

1. 首先打开遥控器。
2. 再次按 Mode 键，进入高级菜单，按 Push 键选择姿态选择，进入姿态设置页面，设置通道为 CH8（注意：固定翼飞行模式默认由 8 通道控制，如需要更改通道，在地面站全部参数表将 FLTMODE_CH 的值改为对应的通道即可）



3. 在 MP 飞行模式中设置飞行模式 1 为 stabilize(自稳)，设置遥控器姿态页面第一个。

- (1) 首先查看第一个姿态状态是否打开，拨动开关到对应的位置到打开状态；
- (2) 拨动拨盘到姿态名称，按 Push 选中后，选择到自稳；
- (3) 查看 MP 飞行模式当前 PWM 值如图：



设置遥控器 PWM 量比例，拨盘选中 PWM 量比例值选项，按 Push 选中后，拨动调整数据大小，可以跟随看到如图 MP 中当前 PWM 值数据跟随变化，每种模式有其对应的 PWM 值，当 PWM 值在这个范围内，当前模式就是这个范围对应的模式，选中的模式也会变为深绿色，调整遥控器 PWM 量比例，让当前 PWM 值在模式限定范围中间，则当前飞行模式设置成功，然后再按照同样的方法设置其他飞行模式。

3.6、飞行模式介绍

3.6.1、MANUAL 手动模式

遥控器直接输入控制，摇杆回中不会自动回水平，所有摇杆输入直接通过飞控输出，不提供姿态稳定功能。所有的 RC 输入信号将直接透传至舵机输出端，其具体功能由相应的 SERVOx_FUNCTION 参数设定。

3.6.2、STABILIZE 自稳模式

RC 经过飞控简单的稳定，如果你放手飞机会自动平飞，相对的飞机的倾斜与机动会变的不容易。最好使用 FBWA 模式替代飞机的增稳。

3.6.3、FBWA

这是固定翼模式下最常用的模式，对于没有经验的飞手是最佳模式。

在这种模式下通过摇杆保持的制定横滚和俯仰动作。如果您将副翼摇杆向右推到底，飞行器将保持俯仰水平，并向右侧滚至由 ROLL_LIMIT_DEG 所设定的角度。飞行器的侧滚角度无法超过 ROLL_LIMIT_DEG 所设定的侧滚限制；同样，其俯仰角度也无法超出 PTCH_LIM_MIN_DEG 或 PTCH_LIM_MAX_DEG 的设置范围。

保持俯仰水平不代表飞机保持高度，此种模式下通过油门控制飞机的高度，当想升高高度，请加大油门，当想降低高度，请减小油门。输出量范围由 THR_MIN 和 THR_MAX 限制。方向舵也是手动及飞控协调混控，即便在地面上可以控制轮子转动。

3.6.4、FBWB

FBWB 模式类似于 FBWA，但是飞机会非常好的保持高度。横滚控制与 FBWA 一样，高度控制通过升降，飞行速度通过油门控制。

控制高度通过俯仰升级通道，当回中后，飞行器保持当前高度，飞行器高度变化多少取决于 `FBWB_CLIMB_RATE` 参数的大小，此控制变化速率，默认为 2 米每秒，代表比较慢的速度，如果想较快高度变化速度，请修改 `FBWB_CLIMB_RATE` 大小，更大的值代表更快的高度变化速度。

通过修改 `FBWB_ELEV_REV` 调整摇杆向前和后回后控制爬升下降，默认的向回拉控制飞机爬升，这是固定翼模型通用控制模式，当你想反过来，可以设置 `FBWB_ELEV_REV` 为 1 反向。

如果装了空速计，调整空速范围 `ARSPD_MIN` 到 `ARSPD_MAX`，当油门最低时飞机将尝试在 `ARSPD_MIN` 飞行。最高时它会尝试在 `ARSPD_MAX` 飞行。

如果没有空速计，油门将调整输出量以达到所需定高要求。油门杆最好大过计算要求的值，也会导致飞的更快 方向舵跟 FBWA 一样，是协调混控的。

3.6.5、CRUISE 巡航模式

巡航模式类似 FBWB，当时它会锁定航向，最适合长距离的 FPV 飞行，你可以把飞机指向远处的物体，它会精确地跟踪那个物体，自动控制高度、空速和航向。

它的工作方式如下：

- 如果你操作副翼，方向舵的变化类似 FBWB，它将保持高度除非你操作升降，速度通过油门控制。
- 当你松开摇杆控制超过 0.5 秒，就会设置当前点为起点，保持当前航向 1 公里（注意航向锁定只有在 GPS 锁定和地速超过 3 米每秒时候开启）。
- 一直更新航线保持的目标点，且目标点一直在当前点的 1 公里远，一旦你操作副翼和方向舵，就会退出当前目标点。
- 只要你不碰副翼和方向，即使在不断变化的风力条件下，它也能准确地保持地面的航向。

巡航模式的一个优点是它如何操纵舵。如果你操作方向，飞控会控制机翼水平，通过方向舵进行转向，此时进行一个“水平”的转向，允许你旋转你的飞行点，指向你想要朝向的任何地理特征。当你放开方向舵时，它会直接向那个方向前进。

3.6.6、AUTOTUNE 自动调参模式

为您的飞机获得一套良好的横滚/俯仰调整参数对于稳定准确的飞行至关重要。为了解决这个问题，强烈建议您使用下面介绍的自动调参模式。

自动调参模式是一种飞行模式，其飞行操作与 FBWA 相同，但使用用户输入的飞行姿态变化来学习横滚和俯仰调整的关键值。所以用户使用他们的遥控器模式开关切换到自动调参模式，然后飞行几分钟。此时用户需要操作飞机尽可能快速的大角度操作飞机，飞控将自动学习调参。

AUTOTUNE_LEVEL 此参数可以选择调参级别，默认是 6 级，这产生一个中等调，适合初学者到中级飞行者，更高级别，飞机调整将更激烈更快速，适合经验丰富飞行者。

你可以在自动调参起飞，也可以其他模式起飞，到达一定高度后，切换到自动调参模式。

当进入自动调参模式后：

- 飞控会设置横滚和俯仰的 I 和 D，最大速率为默认值，这些值取决于你的调参等级。
- 飞控会自动检测飞行者操作要求的横滚和俯仰的速率（取决于你的遥控器操作），当横滚和俯仰要求速率大于最大速率的 80%，将会触发自动学习，调整到需要值。
- 每 10 秒会保存 10 秒钟前的调整参数，这意味，一旦飞机调整导致不稳定，你有 10 秒时间切换其他模式，当你退出调参模式，将会保存最后保存的参数。
- 当你使用默认参数进行调参飞行时候，你会发现飞机操作相当缓慢，但是随着调参慢慢进行，你会发现会越来越好。且请确保飞行空间足够大，可以进行慢速转弯。

成功关键在于快速输入，针对横滚和俯仰，你应该一次只进行一个方向动作，且迅速打到这个方向最大值。

横滚方向上，你应该先副翼左边打满，然后副翼右边打满，你不需要等带飞机回平，每一次动作后等待 2 秒钟就应该反向操作了。每一次突然反转都能代理 5%的调整进度，所以你需要这样 20 次的调整；

俯仰方向上，你应该是飞机像过山车一样，快速上升后，快速下降，这样做 20 次；

当你的初始调整值过低，你可能发现你后面调整越来越敏感，导致飞机后面变得不稳定，这个时候你应该退出自动调参模式；

不要结束太早了，20 次调整只是建议，你应该该针对飞机飞行姿态和操作感觉，适当加长调整时间。

3.6.7、RTL 返航模式

返航模式下，飞机将返回飞机的家的位置（GPS 定位下，解锁的位置），并在此位置留待转圈，直到下一步指示或者电池耗尽。

RTL 模式的目标高度通过参数 **RTL_ALTITUDE** 进行设置。当在低于 **RTL_ALTITUDE** 的高度启动该模式时，飞行器将立即以允许的最大爬升速率进行爬升，直至达到该高度；若当前高度高于 **RTL_ALTITUDE**，飞行器将根据与“返航点”（Home）的距离呈线性下降，并在抵达返航点上方的盘旋点时正好达到该目标高度。

3.6.8、LOITER 留待模式

留待模式下飞机将以进入留待模式的位置，高度进行绕圈飞行，半径以 **WP_LOITER_RAD** 设置为准，但同时受 **NAVL1_PERIOD** 的限制，此模式也需要 GPS 良好定位，且此模式下可以用遥控器进行轻微操作。

3.6.9、更多飞行模式

CIRCLE 绕圈模式

TRAINING 训练模式

ACRO 特技模式

AUTO 自动模式

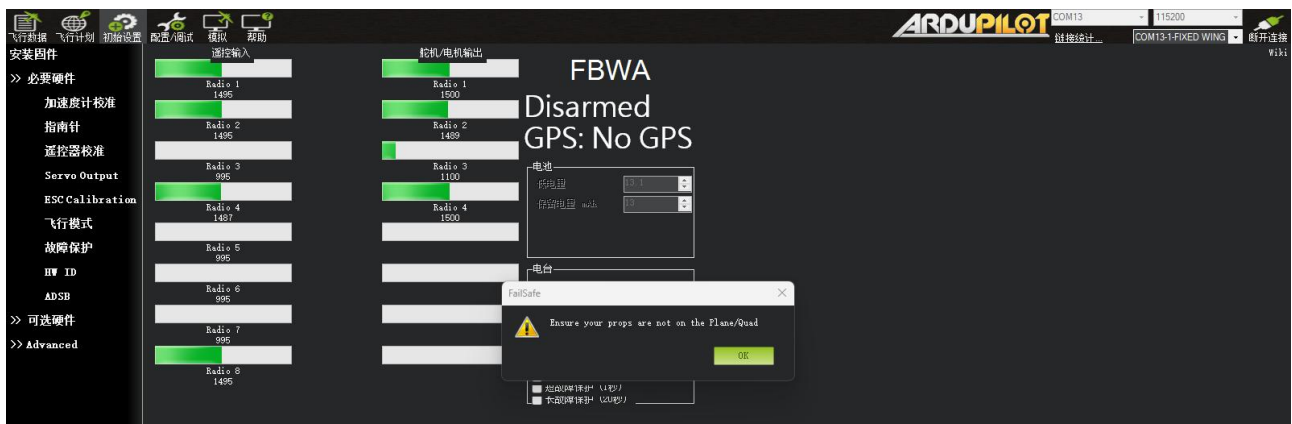
GUIDED 引导模式

更多关于飞行模式的详细介绍请参考链接：

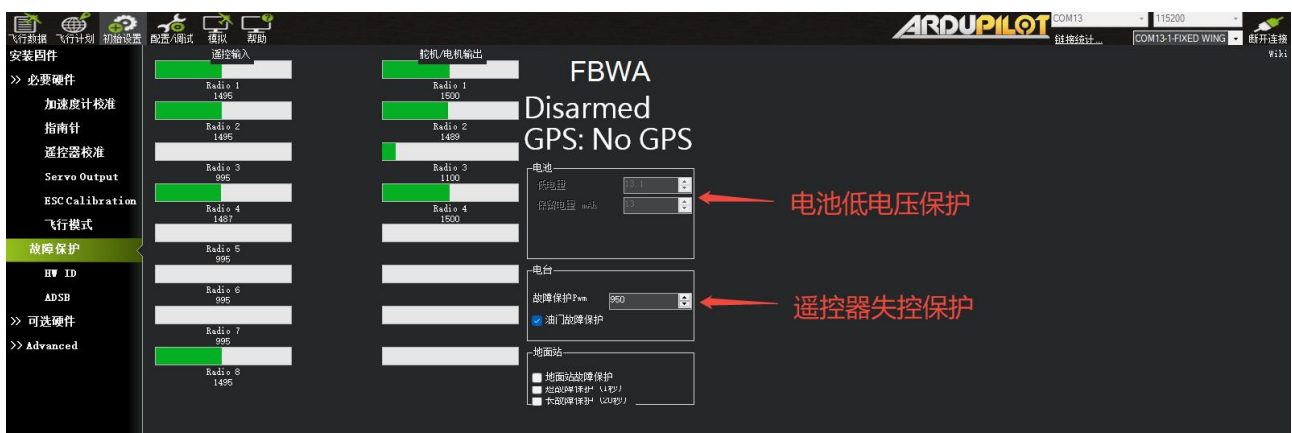
<https://ardupilot.org/plane/docs/flight-modes.html>

4、失控保护

PIX6 的失控保护是通过故障保护菜单配置的，进入故障保护菜单时会出现一个提示框，提醒你确保目前未在飞行中，如下图所示：



点击 OK 后进入设置界面：



触发 PIX6 失控保护的条件有油门 PWM，电池电压（需电流计）等可选，当达到触发条件，比如油门 PWM 值低于设定的值或者电池低于设定值以后，就可以启动失控保护功能，触发返航。

1. 设定电池失控保护。

根据飞机耗电，电池大小，飞行距离设定保护电压，当低于这个电压后，能有足够电池能让飞机返航，设置低电量值（这个值根据电池大小设置，当你进行远距离飞行，请设置在单节 3.8V，电压值 $3.8 \times S$ 数，3S 电池就为 $3.8 \times 3 = 11.4V$ ；当近距离则可以设置单节 3.6V），设定动作为 RTL（返航）即可。

2. 设定电台失控保护即油门失控保护。

设定动作为 RTL(返航)，设定故障保护 PWM(一般不需要更改)。

设置遥控器上失控保护设置，因为我们设置在油门低于 975 后启动故障保护，所以我们要设置油门失控值，油门最低，拨动遥控器油门微调按钮，查看故障保护中的遥控器输入 3 通道数值，让其值比 975 小于 10 以上，按 Mode 键进入**基础菜单**，选择**失控保护**，按 Push 选中进入，选择 **3：油门**，拨动转盘选择 F/S 后，按下 Push 键，出现数字值即设置成功，之后记得拨动微调按钮还原。

当油门故障保护触发，会出现以下情况之一：

- 电机上锁--如果在自稳模式或者特技模式，且油门为 0
- 返航--如果 GPS 已锁定，离家的位置至少 2 米
- 降落--如果 GPS 未锁定或离家 2 米内触发故障保护。
- 继续执行任务--如果在自动模式下，且故障保护选项为 Enabled_continue_in_auto_mode。
- 如果故障保护清除（油门在975以上）飞行器将保持在当前飞行模式。它不会自动地返回故障保护触发之前的飞行模式。这意味着，如果以自稳模式飞行，故障安全模式被触发，导致飞行模式更改为RTL或，如果您重新控制飞行器，你需要飞行模式开关切换到另一位置，然后再切换回自稳模式。

3. 设定遥控器姿态失控保护。

设定此种保护前提，在飞行模式设置中有失控保护的**模式**。

打开遥控器，拨动设置的开关到返航模式或你想设定的失控保护模式，按 Mode 进入**基础菜单**，选中**失控保护**进入，按 Push 选中 **5：姿态**，拨动选择 **F/S**，按住 Push，下方数字出现变化即可。验证可以打开地面站连接，管控查看 MP 变为 RTL 即成功。

5、机型安装连接设置

5.1、普通四通道固定翼

ESC 输出插针连接：

- 1 通道：副翼
- 2 通道：升降
- 3 通道：油门
- 4 通道：方向

安装连接后方向测试

连接好，连接电源，开启遥控器，切换飞行模式为手动（Manual），具体动作请查看下表：

遥控器输入	飞机对应动作
1 副翼通道右	左副翼下，右副翼向上
1 副翼通道左	右副翼向下，左副翼上
2 升降通道向后	升降舵向上
2 升降通道向前	升降舵向下
4 通道偏航右边	尾舵向右边
4 通道偏航左边	尾舵向左边

通道方向修改

当某通道操作与动作不对应，相反的时候，请修改以下参数：

现象	参数名称	修改值
副翼反向	SERVO1_REVERSED	1
升降反向	SERVO2_REVERSED	1
尾舵反向	SERVO4_REVERSED	1

舵机微调中立点

此时切换到手动模式（MANUAL）调整舵机中点，可以通过 `SERVOX_TRIM`（X 代表输出通道序号，如 1 通道参数名为 `SERVO1_TRIM`）参数设置；保持遥控器各通道摇杆中点位置放置，查看飞机各舵面是否保持中点，如不在中点，可以通过修改增减参数值，调整舵面平整。

5.2、三角翼飞翼机型

一个标准三角翼（飞翼）有 3 个通道，一个左副翼，一个右副翼，和油门。

ESC 输出插针连接：

- 1 通道：左副翼
- 2 通道：右副翼
- 3 通道：油门

需要设置以下参数：

参数名	参数值	通道
SERVO1_FUNCTION	77	左副翼
SERVO2_FUNCTION	78	右副翼
SERVO3_FUNCTION	70	油门

安装连接后方向测试

连接好，连接电源，开启遥控器，切换飞行模式为手动模式（Manual），具体动作请查看下表：

遥控器操作动作	飞机对应动作
1 通道副翼右边	左副翼向下，右副翼向上
1 通道副翼左边	右副翼向下，左副翼向上
2 通道升降向后	左右副翼向上
2 通道升降向前	左右副翼向下

通道反向修改

当某通道操作与动作不对应，相反的时候，请修改以下参数：

现象	参数名称	修改值
左副翼反向	SERVO1_REVERSED	1
右副翼反向	SERVO2_REVERSED	1

舵机微调中立点

此时切换到手动模式（MANUAL）调整舵机中点，可以通过 `SERVOX_TRIM`（X 代表输出通道序号，如 1 通道参数名为 `SERVO1_TRIM`）参数设置；保持遥控器各通道摇杆中点位置放置，查看飞机各舵面是否保持中点，如不在中点，可以通过修改增减参数值，调整舵面到平整。

混控比例调整

`MIXING_GAIN` 参数是三角翼关键参数，它控制副翼与升降的混控输出比例；

例如，当 `MIXING_GAIN` 是 0.5，左右副翼通道输出将会以下情况：

左副翼 = (副翼控制值 + 升降控制值) * 0.5

右副翼 = (副翼控制值 - 升降控制值) * 0.5

5.3、V 尾固定翼机型

一个典型 V 尾机型使用尾舵与升降共用的机型，还有一种倒置的 V 尾，V 型与上图相反，向下倒置 A 尾，针对 V 尾特殊设置，典型的 V 尾使用下面的 ESC 连接顺序：

- 1 通道：副翼
- 2 通道：左 V 尾
- 3 通道：油门电机
- 4 通道：右 V 尾

需要设置以下参数：

参数名	参数值	通道
SERVO1_FUNCTION	4	副翼
SERVO2_FUNCTION	79	左 V 尾
SERVO3_FUNCTION	70	油门
SERVO4_FUNCTION	80	右 V 尾

安装连接后方向测试

连接好，连接电源，开启遥控器，切换飞行模式为手动模式（Manual），具体动作请查看下表：

遥控器操作动作	飞机对应动作
1 通道副翼向右	左副翼向下，右副翼向上
1 通道副翼向左	右副翼向下，左副翼向上
2 通道升降向后	V 尾两边都向上
2 通道升降向前	V 尾两边都向下
4 通道方向向右	V 尾两边向右边（左边上，右边下）
4 通道方向向左	V 尾两边向右边（左边下，右边上）

通道反向修改

当某通道操作与动作不对应，相反时候，请修改以下参数：

现象	参数名称	修改值
副翼反向	SERVO1_REVERSED	1
V 尾左边反向	SERVO2_REVERSED	1
V 尾右边反向	SERVO4_REVERSED	1

A型V尾固定翼

针对 A 型 V 尾固定翼，你只需要相对普通 V 尾调换左右 V 尾接法，这是因为 A 型 V 尾，为了方向向右需要右 V 尾向上，左 V 尾向下；而普通 V 尾机型，为了方向向右需要右 V 尾向下，左 V 尾向上。

舵机微调中立点

此时切换到手动模式（MANUAL）调整舵机中点，可以通过 SERVOX_TRIM（X 代表输出通道序号，如 1 通道参数名为 SERVO1_TRIM）参数设置；保持遥控器各通道摇杆中点位置放置，查看飞机各舵面是否保持中点，如不在中点，可以通过修改增减参数值，调整舵面到平整。

混控比例调整

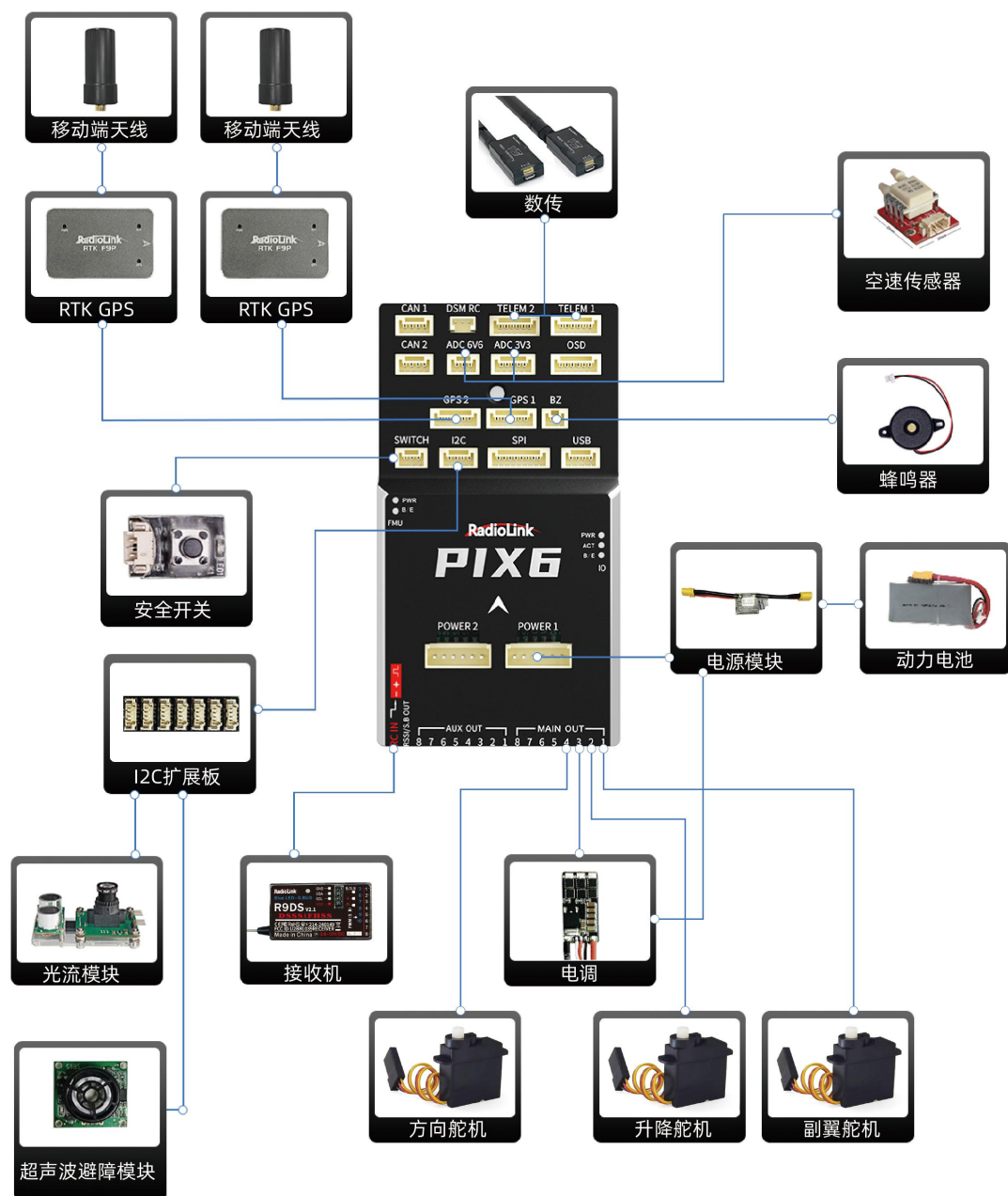
MIXING_GAIN 此参数控制V尾的混控比例，它控制方向与升降的混控输出比例；

例如，当 **MIXING_GAIN** 是 0.5，左右副翼通道输出将会以下情况：

左V尾 = (方向控制值 + 升降控制值) * 0.5

右V尾 = (方向控制值 - 升降控制值) * 0.5

5.4、硬件连接



5.5、电池监测



PIX6 有 2 个专用电源监控端口，使用 6 线连接。一个是模拟电源监控器 (Power1)，另一个是 I2C 电源监控器 (Power2)。

1. 使用 Power1 时，设置电池监测器 1 开启：

- 监控器：Analog Voltage and Current

重启飞控，修改：

- 传感器：0: Other
- APM 版本：4: The Cube or Pixhawk
- 6. 安培每伏：22
- 在全部参数表中搜索 BATT_CURR_PIN 并将其修改成 5

2. 使用 Power2 时，设置电池监测器 2 开启：

- 监控器：INA2XX

重启飞控，在全部参数表中搜索：

- BATT2_I2C_BUS 并将其修改成 1
- BATT2_I2C_ADDR 并将其修改成 65

当设置开启后，请断开飞控连接，重新给飞控上电，之后再打开此界面，输入测量电池电压，当 **2 电池电压（计算过）** 框中出现与输入测量值一样电压，并且不再跳动代表设置正常。

注意：当设置不准确后，可能出现无法解锁，或者解锁后，蜂鸣器滴滴快速响的情况，此时代表电源设置错误，请重新正确设置，还有出现一直故障保护情况，此时可能是开启了电池低压保护，电池监测不准确。

关闭电池检测器设置：

- 监控器：0: disable

5.6、LED 指示和解锁及故障解决

5.6.1、飞控状态指示 LED 指示

LED 飞控状态指示灯含义：



红蓝闪烁：初始化中。请稍候。



黄色双闪：错误。系统拒绝解锁。



蓝色闪烁：自稳可以解锁，但是无法返航，定点等。



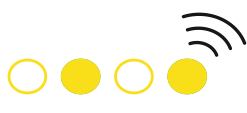
绿色闪烁：GPS 已锁定，可以解锁，可以正常起飞返航。



绿色常亮加一次长响：已解锁，准备起飞！



黄色闪烁：遥控故障保护被激活。



黄色闪烁加快速的重复响：电池故障保护被激活。



黄蓝闪烁加高-高-高-低响：GPS 数据异常或 GPS 故障保护被激活。

5.6.2、解锁和上锁

解锁之前请注意以下：

- 固定翼默认在任何模式下需要 GPS 定位后才可以解锁。

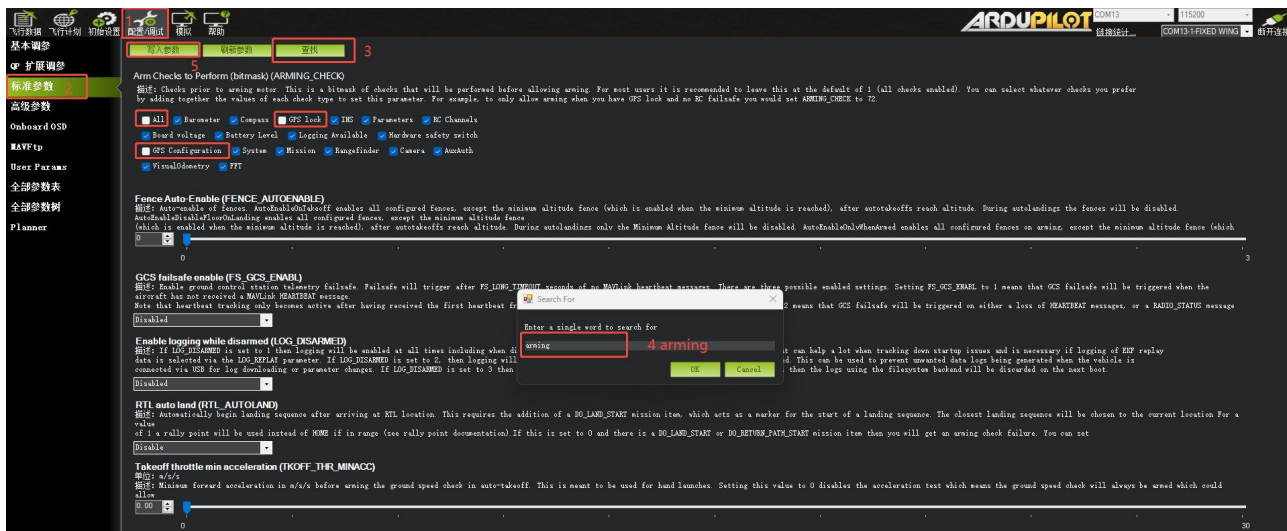
针对室内没有 GPS 的情况，可以在地面站取消 GPS 解锁检查，请按照下图中步骤操作：

All、**GPS lock**、**GPS Configuration** 这三项取消勾选，其他都勾选，这样就取消了 GPS 检查；

当正常飞行时候，请勾选 **All**；操作完成后记得点击写入参数进行保存。

（当没有插内存卡时，请取消 **Logging Available** 和 **All** 的勾选）

除了下图的步骤，您还可在全部参数表搜索 **ARMING_CHECK** 来取消 GPS 解锁检查。



- 上电后请马上保持飞控静态放置，不要晃动，等待飞控状态灯蓝色或者绿色闪烁。
- 固定翼模式时，当 SD 卡中没有地形数据时，地面站会出现 **Bad or No terrain Data** 提示，此提示不影响正常飞行，可以忽略。
- 长按安全开关后，可以控制所有通道，也可以检查飞机飞行状态；此时请注意不要把手放到螺旋桨附近。

固定翼的解锁有两种方式：

- 地面站软件解锁。
- 遥控器解锁动作解锁。

而遥控器解锁动作又由参数 **ARMING_REQUIRE** 和 **ARMING_RUDDER** 控制；

ARMING_REQUIRE：

- **ARMING_REQUIRE**=0：此时取消遥控器解锁动作，按下安全开关后飞机进入解锁状态。
- **ARMING_REQUIRE**=1：此时执行遥控器解锁动作后，飞控解锁后，油门最低时，油门电机通道输出遥控器校准时的最小通道值（默认值）。
- **ARMING_REQUIRE**=2：此时执行遥控器解锁动作后，飞控解锁后，油门最低时，油门电机通道无输出，此时电调会发出滴滴提示。

ARMING_RUDDER：

- **ARMING_RUDDER**=0：此时取消遥控器解锁动作。
- **ARMING_RUDDER**=1：此时可以通过遥控器解锁动作解锁，但不可以通过遥控器上锁动作上锁（默认值，推荐降落后使用安全开关上锁）。
- **ARMING_RUDDER**=2：此时可以通过遥控器解锁或者上锁。

默认情况下解锁步骤：

1. 长按安全开关，直到红灯常亮。
2. 执行遥控器解锁动作。

遥控器解锁动作：

1. 长按安全开关，直到灯停止闪烁变为常亮，此时电机不再开始滴滴响；
2. 左边摇杆执行下图解锁动作（美国手 mode2）：



3. 保持解锁动作持续 5 秒；
4. 当听到蜂鸣器长响和飞控指示灯常亮，此时代表解锁成功。

注意：

1. 当遥控器不为美国手时候，请执行解锁动作为，3 通道最低，4 通道最高，具体可以查看地面站，检查自己动作。



检测如图所示 Radio3 的值为摇杆最低值，Radio4 为摇杆最高值。

2. 当执行解锁动作出现蜂鸣器滴一声时，此时代表无法解锁，代表有故障，请飞控连接地面站查看解锁提示，并根据提示下面故障说明，解决故障。

默认情况下上锁：长按安全开关至红灯闪烁，此时将不响应遥控器任何操作。

遥控器上锁动作：左边摇杆执行下图动作保持 5 秒，当飞控指示灯闪烁，停转代表上锁正常。



注意：当遥控器不为美国手时候，请执行 3 通道最低，4 通道最低进行上锁动作。

5.6.3、解锁失败故障提示

解锁前飞控安全检查：

1. 验证遥控校准已执行。
2. 验证加速度计校准已执行。
3. 验证罗盘是健康的并且能正常通讯。
4. 验证罗盘偏移量并不太大(即 $\sqrt{x^2+y^2+z^2} < 500$)。
5. 验证实时罗盘校准或基于日志的校准已经执行，或是“COMPASS_LEARN”是开着的。
6. 验证适当的罗盘磁场强度：（小于 530）。
7. 验证气压计是健康的并且能正常通讯。
8. 你的 GPS 已定位。
9. GPS 的 hdop（水平精度因子） < 2.0 （可使用 GPS_HDOP_GOOD 参数配置）。
10. 地速小于 50cm/s。
11. 验证飞控板电压在 4.5 伏与 5.5 伏之间，用于 APM 1 或 APM 2（PX4 不可用）。
12. 验证通道 7 和通道 8 没有设置控制同一个功能。
13. 如果遥控故障保护已激活，检查油门通道最小值不低于 FS_THR_VALUE。
14. 检查 ANGLE_MAX 参数（即在大多数模式下飞行器可以倾斜的最大角度） > 10 度并 < 80 度。
15. 检查遥控的 roll, pitch, 油门和 yaw 的最小值小于 1300 且最大值大于 1700。

当验证问题无法通过就会出现无法解锁情况，具体表现为飞控状态指示灯为黄色闪烁，执行遥控器解锁动作，飞控的蜂鸣器滴滴提示，此时应连接地面站查看故障提示，连接后查看如下图界面：



当出现红色字体，以 PreArm 开头的提示，这个就代表此时故障原因，具体可以查看下面提示翻译对比解决；

当没有红色字体显示时，可以执行遥控器解锁动作，此时会显示，或在消息栏中查看最上的一行文字；

当解决故障后，重新上电，飞控启动正常后会状态指示灯会变为蓝色闪烁，此时代表可以正常解锁；

飞控的常见的解锁报错和解决方法，可查阅以下链接：

<https://ardupilot.org/copter/docs/common-prearm-safety-checks.html>

常见解锁故障提示：

check firmware or FRAME_CLASS：请选择机架类型。

3D Accel calibration needed：加速度计需要校准。

safe switch：安全开关未关闭，检查全部参数表中 BRD_SAFETYENABLE 的值。若为 1，则修改成 0。

RC not calibrated：遥控器没有校准。

Baro not healthy：气压计不健康。

Alt disparity：气压计与惯性导航系统的高度不一致超过 2 米以上，这一消息通常是短暂的，当飞行控制器首次插入或如果它接收到一个硬的颠簸发生，如果没有消失，加速度计或许需要校准，或者气压计有故障。

Compass not healthy：罗盘不健康。

Compass not calibrated：罗盘没有校准。

Compass offsets too high：罗盘偏移值太大，也许是附近有金属或者其他干扰。

Check mag field：所感测的磁场在该区域中的磁场是 35%高于或低于预期值，需要重新校准罗盘。

Compasses inconsistent：内部和外部的罗盘指向不同的方向（从大于 45 度），通常是 GPS 外置罗盘放置位置不一致。

GPS Glitch：GPS 故障，当选择的飞行模式需要 GPS 定位，或者开启地理围栏，此时 GPS 没有定位会有此提示。

Need 3D Fix：全球定位系统没有三维固定，当选择的飞行模式需要 GPS 定位，或者开启地理围栏，此时 GPS 没有定位会有此提示。

Bad Velocity：飞行器的速度（根据惯性导航系统）是 50cm 以上的，可能导致这包括飞行器实际移动或被抛起，坏的加速度计校准，GPS 更新在低于预期的 5HZ。

High GPS HDOP：GPS 精度低于高于 2.0，可以在首页查看 GPS 精度实时变化数据。

INS not calibrated: 加速度计没有校准。

Accels not healthy:加速度计不健康，可能硬件问题，可能发生在刷新固件没有重启。

Accels inconsistent: 加速度计不一致超过 1m/s。

Gyros not healthy: 陀螺不正常，可能硬件问题，可能发生在刷新固件没有重启。

Gyro cal failed: 陀螺仪校准未能捕捉偏移，这个由于启动校准时候移动了飞控，在红蓝闪烁就是校准时刻。

Gyros inconsistent:陀螺不一致超过 20deg/sec。

Check Board Voltage:检查板上电压，应该在 4.3V 到 5.8V 之间，如果通过 USB 供电，请尝试更换端口或者线缆。

Ch7&Ch8 Opt cannot be same:7/8 通道不能设置一致。

Check FS_THR_VALUE:3 通道最低值太接近失控保护值。

Check ANGLE_MAX: 控制飞控的最大倾斜角度设定在 10 度以下的 angle_max 参数（即 1000）或 80 度以上（即 8000）。

5.7、校准电调（首次飞行）

手动首先确保，飞机连接正常，校准完成，能正常解锁，之后拆掉飞机的浆叶。

1. 把遥控器的油门通道打到最高，飞机上电，看见 LED 进行多色闪烁，断开电源。
2. 再次上电，不要动遥控器，等待 30 秒后，按住安全开关解锁，之后听见滴滴叫声。
3. 把油门打到最下，听见滴滴叫声后，轻推油门，电机转动则校准正常，如没有，请重新来过。

5.8、空速计

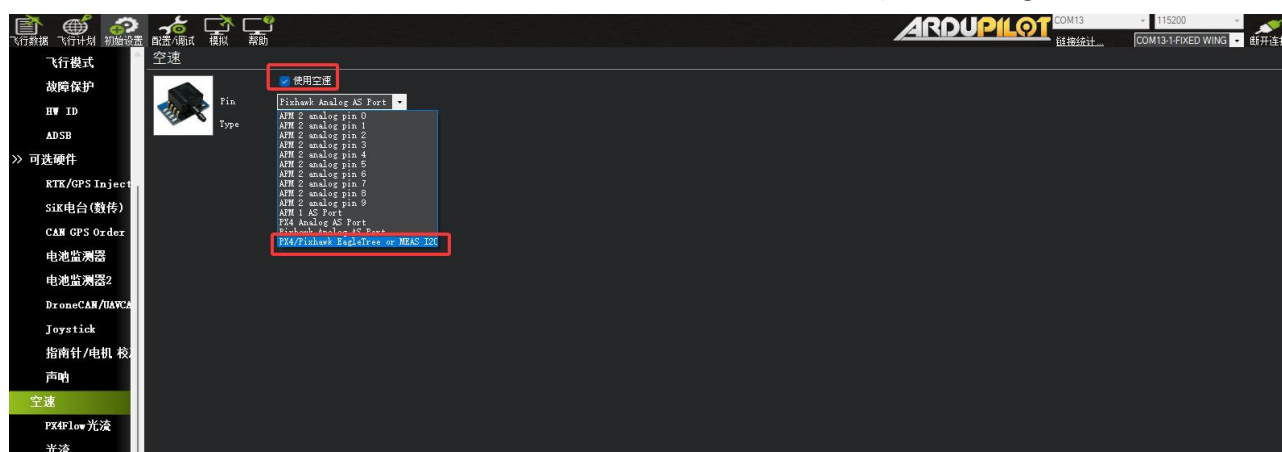
正确配置的空速传感器可以大大提高飞机保持在自动油门模式（如自动、巡航和 FBWB）高度的能力，以及大大提高自动着陆。它也可以减少失速的机会。

空速计连接设置

连接空速计设备至 I2C 接口。

(若需要连接至其他接口，请参考链接 <https://ardupilot.org/plane/docs/airspeed.html>)

飞控连接地面站后进行如下图步骤设置，选中使用空速后，选择 PX4/pixhawk EagleTree or MEAS I2C。



设置后检测

对着空速计进风口吹风后，查看地面站下图中空速数据是否有变化，当出现变化，表示设置正常。



起飞校准

上电后，应该等待 1 分钟或者更长时间，等待数据稳定之后进行数据归零校准，可按照以下步骤操作：

1. 轻微堵住空速计进风口，不要让风影响到校准；

2. 连接地面站，打开如下图，选择 **PREFLIGHT_CALIBRATION** 后，点执行动作后等待几秒完成，此操作会让重新校准气压和空速计，可以让高度归零。



自动校准空速计

- (1) 设置参数 ARSPD_AUTOCAL 为 1；
- (2) 起飞绕圈飞行 5 分钟，可以在任何模式下，如果你自动飞行已经调整很好了，可以使用留待或者 RTL 飞行 5 分钟，飞行过程中每 2 分钟会更新保存一次校准值，只有两次差值大于 5%后才会被更改保存；
- (3) 降落，修改 ARSPD_AUTOCAL 为 0；
- (4) 检查 ARSPD_RATIO 参数值，通常在 1.5 到 3 之间，如果超出这个范围请检测安装是否漏气。

注意：

- (1) 计算会自动补偿海拔高度对空气密度的影响；
- (2) 校准完成后请修改 ARSPD_AUTOCAL 参数来关闭自动校准功能，否则会一直进入校准，并在风速变化过程影响飞行；
- (3) 为了提高精度，可以测量当时气温，修改 GND_TEMP 设置为当时的气温；
- (4) 当你不想使用空速计，直至空速计被完整校准，可以设置参数 ARSPD_USE 为 0 取消使用，但是必须设置 ARSPD_ENABLE 为 1，开启空速计。

5.9、水平校准

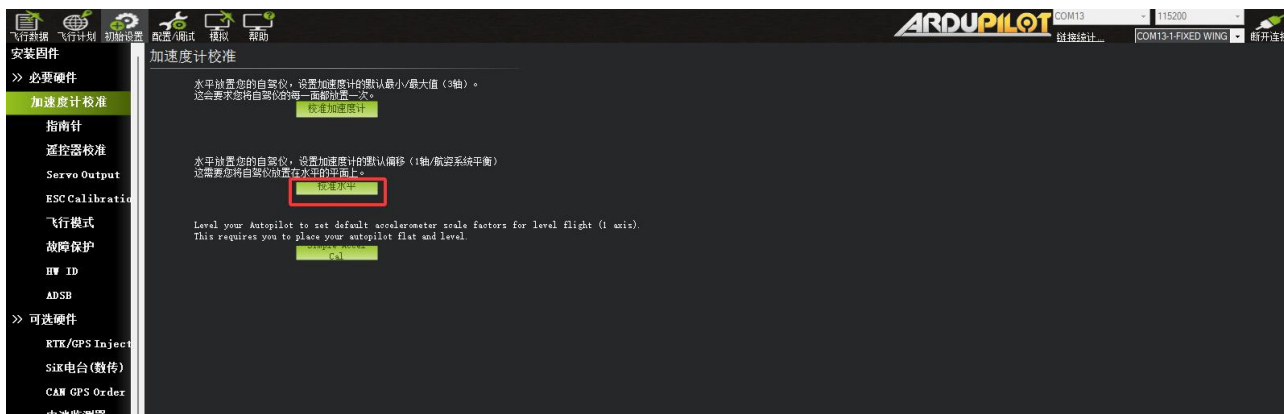
当飞控在飞机上安装固定好，可能出现飞机放地面水平显示不平的现象如下图所示：

当飞机放置在水平地面站，红色水平线相对绿色地面不齐平，代表飞机水平不平，出现安装误差。



当出现此现象时候，请进行如下操作：

进入加速度校准页面，点击校准水平，当飞控状态灯三色闪烁正在校准，校准完成后会恢复之前状态指示灯。



5.10、地理围栏

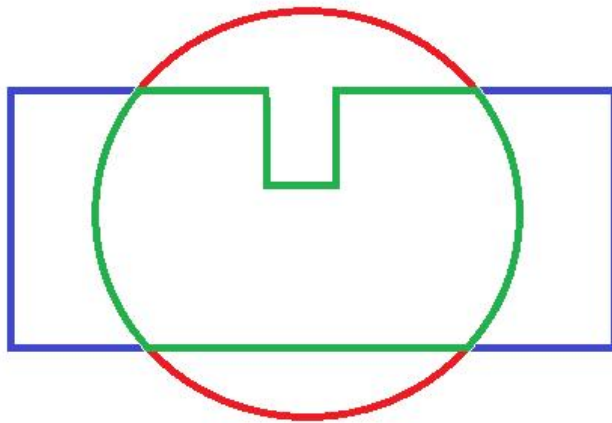
这是一种安全保护机制,保护飞机不飞出你设定的范围，开启此机制会检测 GPS 是否定位，当没有定位无法解锁。请在全部参数表中搜索 FENCE_ENABLE, 将该选项由默认的 0 修改为 1，即可启用地理围栏功能。

以下为其他部分参数介绍：

FENCE_TYPE（地理围栏类型）：

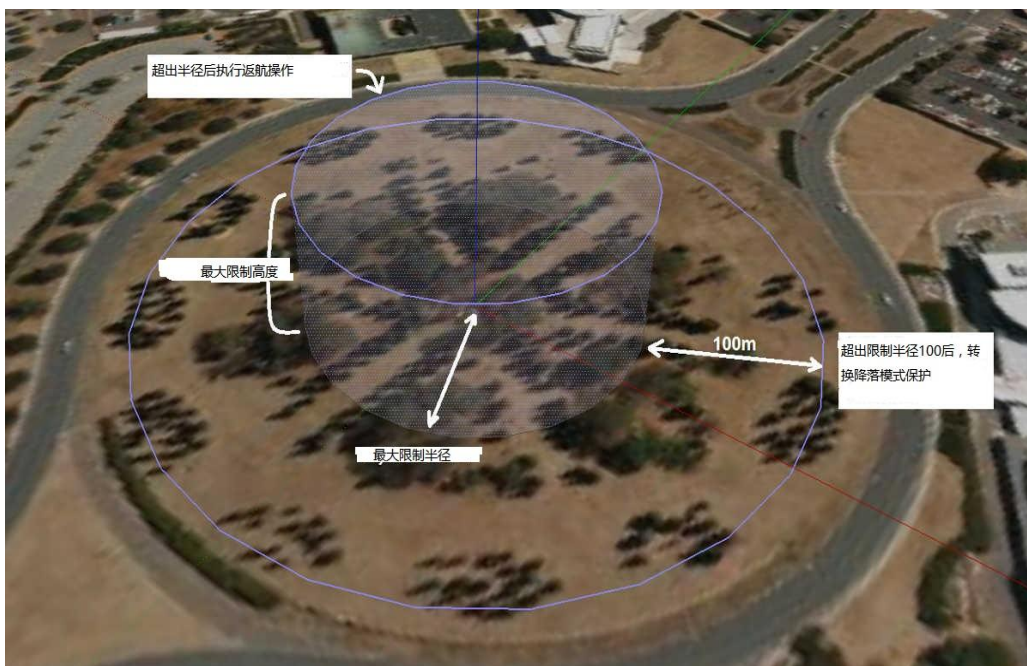
- Altitude 高度保护，超过这个高度执行保护动作。

- Circle 圆形保护，以起飞点为圆心，设置半径大小画圆圈，超过这个范围执行保护动作。
- Altitude and Circle 圆柱行保护，起飞点为圆心，设置半径，高度，围城的圆柱，超过这个范围执行保护动作。
- Polygon 多边形保护，在飞行计划中地图绘制多边形后，最大 84 个点，超过这个绘制范围 执行保护动作。
- Altitude and Polygon 高度与多边形保护，在多边形保护基础上增加高度保护。
- Circle and Polygon 圆形与多边形保护，在多边形基础上增加圆形保护，这样限制范围就为绿色区域，当超过绿色区域执行保护。



动作：

- All 以上 3 种保护都参与。
- Report Only 当超出限制区域，只地面站消息提示，不进行其他操作。
- RTLor Land 返航或者降落。



最大高度：保护限制最高飞行高度（10-1000m）

最大半径：保护限制最大飞行半径（30-10000m）

返航最低高度：返航高度（0-80m）

5.11、板载 OSD

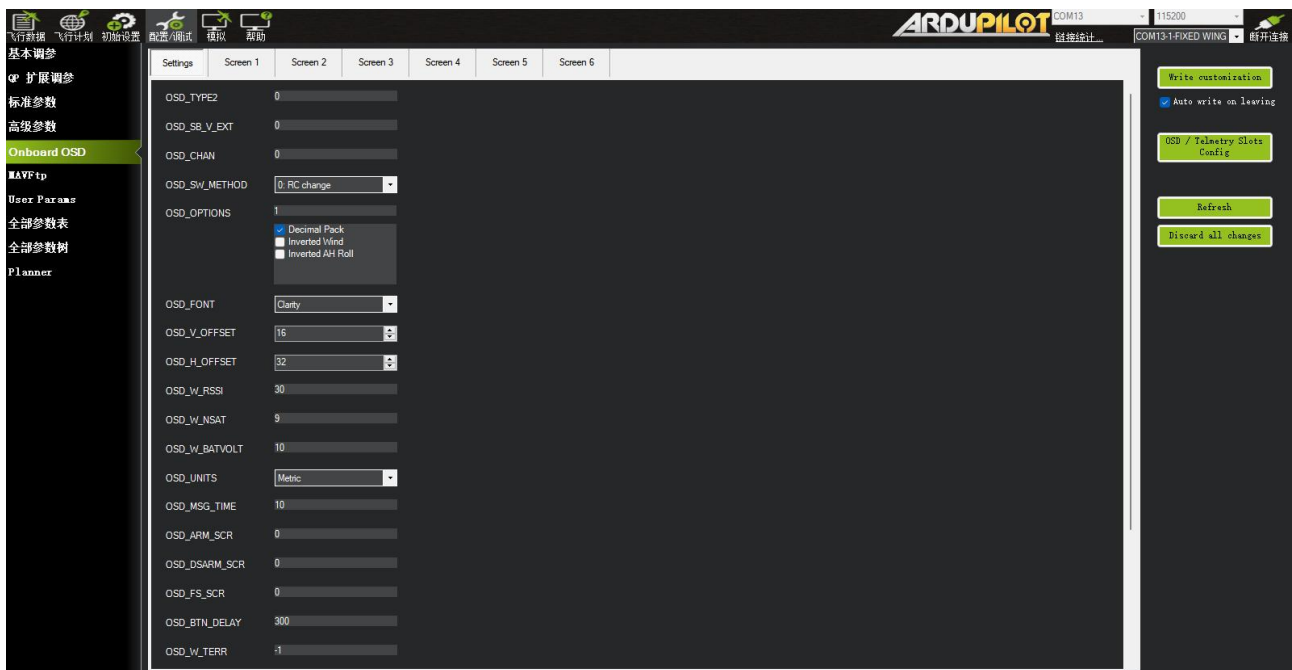
OSD 是英文 On Screen Display 的缩写，是屏幕显示技术的一种，用于在显示终端上显示字符、图形和图像。可以把飞行器的状态显示在传回来的视频中，将各个模块的数据整合到 OSD 模块，然后 OSD 模块把监控的数据返回到终端（FPV 眼镜或者屏幕）叠加到图传的图像上。PIX6 飞控集成了 OSD 芯片，用户无需外接 OSD 模块，只需将图传和摄像头对应的信号线与飞控 OSD 端口相连，即可使用 OSD 功能。

5.11.1、Setting 界面介绍

设置说明：

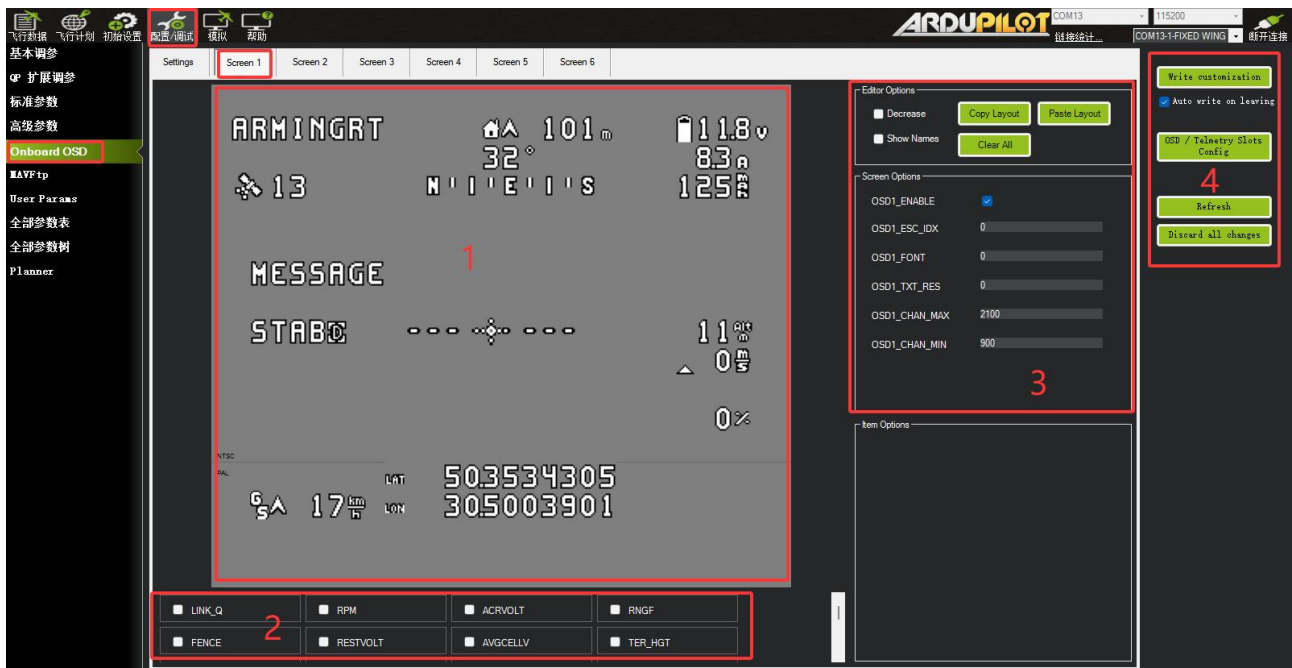
- OSD_W_RESTVOLT 当电池的剩余电压低于设定值时，屏幕上的 RESTVOLT 会闪烁。设置范围为 0-100V。
- OSD_CELL_COUNT 用于平均电池电压显示。
 - ✧ -1 = 禁用。
 - ✧ 0 = 在连接时使用充满电的 LIPO/LIION 电池的电池数自动检测。
 - ✧ 其他值 = 手动选择使用的电池数。
- OSD_CHAN 用于切换屏幕的输入通道 设置范围为 0,5-16。
- OSD_SW_METHOD 选择切换屏幕的方式。
 - ✧ 0 = 如果通道值已更改，则切换到下一屏幕。
 - ✧ 1 = 根据每个屏幕指定的 PWM 范围选择屏幕。
 - ✧ 2 = 低到高转换后切换到下一屏，通道值高时每 1 秒切换一次。
- OSD_OPTION 修改显示的设置。
 - ✧ Decimal pack 使用十进制和小数点。
 - ✧ Inverted Wind 翻转风向指示器。
 - ✧ Inverted AH Roll 翻转水平横滚方向。
- OSD_FONT OSD 显示的字体风格。
- OSD_V_OFFSET 设置垂直的偏移量。
- OSD_H_OFFSET 设置水平的偏移量。

- OSD_W_RSSI 当 RSSI 值低于设定值时，屏幕上的 RSSI 值会闪烁。设置范围为 0-99%。
- OSD_W_NSAT 当 GPS 搜到的卫星数低于设定值时，屏幕上的卫星数值会闪烁。设置范围为 0-30。
- OSD_W_BATVOLT 当电池电压低于设定值时，屏幕上的电压值会闪烁。设置范围为 0-100V。
- OSD_UNITS OSD 显示的单位。
 - ✧ 0 = Metric (米, 千米, 米/秒, 千米/小时)。
 - ✧ 1 = Imperial (英尺, 英里, 英尺/秒, 英里/小时)。
 - ✧ 2 = ArduPilot Native (米, 千米, 米/秒)。
 - ✧ 3 = Aviation (英尺, 海里, 英尺/分钟, 节)。
- OSD_MSG_TIME 消息显示持续时间(以秒为单位)。
- OSD_ARM_SCR 在屏幕上显示解锁事件。
- OSD_DSARM_SCR 在屏幕上显示加锁事件。
- OSD_FS_SCR 在屏幕上显示失控事件。
- OSD_BTN_DELAY 摇杆命令参数导航的时间。
- OSD_W_TERR 当低于海拔高度设定值时，屏幕上的 TER_HGT 项会闪烁。-1 表示不启用。
- OSD_W_AVGCELLV 当一节电池的电压低于设定值时，屏幕上的 AVGCELLV 项会闪烁。
- OSD_TYPE 1 表示使用的 OSD 芯片为 MAX7456。



5.11.2、Screen 界面介绍

Screen 界面就是用户屏幕上显示的界面，用户可以在这里自主设计界面的布局，显示的选项等。



- ① 区域是在屏幕上显示的布局，用户可以随意拖拽里面的选项，自定义调整屏幕的布局。
- ② 区域是在屏幕上显示的内容，用户可以勾选自己需要的内容，将其显示到屏幕上。
- ③ 区域可以复制当前屏幕的布局或者将别的屏幕的布局粘贴到这个屏幕。
- ④ 区域写入当前所有设置。

6、垂起固定翼的设置和操作

6.1、概述

垂起固定翼飞机是一种结合了固定翼和多旋翼飞行器的飞机。这类飞机具有垂直起降、速度更快、航程更远等优点，并且能够在目的地悬停和执行类似飞行器的任务。

垂起固定翼飞机飞是基于平面飞行器设计的，但增加了类似旋翼机的稳定性控制系统，用于驱动一个或多个电机。在某些配置中，还会增加四个或更多额外的电机。额外的模式和指令使飞行器能够像旋翼机一样起飞、降落和飞行，并在自动和自动操控辅助模式下，在平面飞行器和类似旋翼机（垂直起降，VTOL）模式之间平滑切换。额外的旋翼还可以在普通的平面飞行器模式下提供升力和稳定性。

注意：PIX6 安装固定翼固件后，若查看参数列表，您会发现一个名为“Q_ENABLE”的参数。该参数默认为 0，即禁用垂起固定翼。将“Q_ENABLE”设置为 1 即可启用垂起固定翼的相关功能。随后，您需要刷新参数列表，以便显示所有其他的 QuadPlane 选项。所有垂起固定翼专用的参数均以“Q_”开头。

6.1.1、类型和配置

垂起固定翼的电机可以采用倾斜控制，也可以不采用；电机数量可以从一个到八个或更多不等；飞行器的垂直起降姿态可以是水平的（像普通固定翼飞机一样），也可以是垂直的（称为尾座式）。

6.2、建造飞行器

6.2.1、一般规则

多种固定翼飞机都可以改装成具备垂直起降（VTOL）能力的飞行器。这类飞行器被称为垂起固定翼（QuadPlane），但并非只能使用四旋翼的电机布局。几乎所有多旋翼飞行器的电机配置都可以用于垂起固定翼，包括四旋翼、六旋翼、三旋翼、八旋翼等。此外，还可以使用倾转电机，使其既可用于垂直起降飞行，也可用于固定翼飞行。最后，还可以制造采用垂直姿态（机头垂直）进行垂直起降的飞行器。

成功的关键因素包括：

- 一个固定翼框架，能够承受额外升力电机和动力系统的重量，以及所需的任何有效载荷。
- 升力电机的功率不仅要足以承受整个机身的重量，还要足以承受水平垂直起降姿态下机翼下压力可能产生的额外负载。
- 升力马达圆盘区域上方和下方均留有足够的间隙，以确保其获得充分的气动推力。
- 机翼、机架和安装座的扭转和弯曲最小，以便电机始终提供垂直方向的推力。
- 足够坚固的升降电机安装系统。
- 最大限度地减少升力电机和框架的空气动力阻力。

6.2.2、控制范围

或许令人惊讶的是，有时可以通过垂起固定翼改装来增加飞机的潜在航程。这似乎有悖常理，因为垂起固定翼改装既会增加重量，也会增加机身的空气阻力。

飞行器之所以能够增加航程，是因为它拥有更大的载重能力。许多固定翼飞机由于可靠起飞的要求，其电池携带量受到限制。在起飞过程中，尤其是在使用弹射器或弹弓等飞行起飞方式时，飞机需要迅速加速到高于失速速度的空速。如果无法足够快地达到该速度，飞机就会坠毁。飞行器通过垂直起飞避免了这个问题，因此可以有更长的时间加速到足以进行前飞的速度。

这意味着，与不带垂直起降电机的同型号飞机相比，飞行器通常可以容纳更大的电池容量。额外的电池容量足以弥补垂直起降电机带来的重量和阻力增加。

为了充分发挥这一优势，你需要进行非常快速的垂直起降，以最大限度地降低垂直起降飞行中的电池消耗。

第二个有助于飞行器航程的因素是前向电机螺旋桨和动力系统的选择灵活性。由于无需传统的起飞方式，前向电机无需针对起飞所需的高推力进行优化。这使得可以使用更大的螺旋桨和齿轮传动电机，从而实现高效的前向巡航飞行。

最后，如果飞行器需要超远航程，可以使用内燃机作为前向电机。相同重量的燃料，汽油发动机的续航时间比电动机长得多。

6.3、操控飞行器

6.3.1、过渡：垂直起降/固定翼

垂起固定翼过渡是指飞机在主要作为垂直起降飞机飞行和作为传统固定翼飞机飞行之间切换的过程。转换可以双向进行，既可以由飞手指令控制，也可以根据空速/姿态/高度（辅助固定翼飞行）或任务期间的飞行模式变化自动进行。

启动过渡的主要方法是改变飞行模式，可以使用发射器上的飞行模式通道，也可以使用地面站命令改变模式。在过渡期间，根据飞行器的类型和各种 Q_OPTIONS 设置，飞手对飞行器的姿态、爬升率等的控制可能会被修改或限制，以确保过渡成功，如下所述。

从垂直起降模式过渡到固定翼模式

如果你从手动过渡到特技飞行模式，垂直起降电机将立即停止。如果是倾转旋翼机，电机也会立即旋转至前飞姿态。

警告

如果空速不足，就会立即失速！由于手动模式通常被设置为一种本能的“紧急脱离”模式，一些用户会移动或移除此模式，并用 QSTABILIZE 或 QLOITER 作为飞行器的替代“紧急脱离”模式。此外，如果在顺风方向进行过渡，过渡时间较短，且非尾座飞行器未使用空速传感器，则在垂直起降辅助停止时，由于空速不足，也可能发生失速。

如果您切换到任何其他固定翼飞行模式，垂直起降电机将继续提供升力和稳定性，直到达到 AIRSPEED_MIN 空速（如果没有空速传感器，则为空速估算值）。此阶段称为“过渡空速等待”。

在非倾转旋翼配置中，前向电机的推力由油门杆控制，其方式与进入任何固定翼模式的方式类似。

- 切换到 FBWB/CRUISE 模式时，油门杆控制前进推力的方式与该模式下相同，取决于空速传感器是否处于工作状态，油门杆控制的推力可以是速度值或油门值。切换过程中会应用一个最小推进油门值。如果 TKOFF_THR_MIN 不为零，则该值将作为最小油门值。如果该值为零，则使用 TRIM_THROTTLE 作为最小油门值。
- 在 FBWA/STABILIZE 模式转换中，前向油门由直接控制，即摇杆位置较低时推力最小/为零，飞行器将悬停；摇杆位置较高时，前向油门增加。垂直起降电机的工作方式与 QHOVER 模式类似，并会在整个转换过程中尝试保持当前高度。
- 在过渡期间，除非设置了 Q_OPTIONS 第 0 位，否则升降舵输入将作为垂直起降电机的爬升/下降指令，横滚输入将作为横滚姿态变化指令。

对于倾转旋翼机，当油门杆位置在中点或以上时，电机将倾斜至 Q_TILT_MAX 位置，开始积累前向空速以进行过渡。在 FBWA/STABILIZE 模式过渡中，油门杆位置低于中点时，垂直起降电机将按比例旋转回垂直位置，因为这控制着前向推力分量。在任何配置下过渡到 FBWB/CRUISE 模式时，油门杆在过渡完成前均无效。电机总推力与 QHOVER 模式类似，并会尝试在整个过渡过程中保持当前高度。在过渡期间，除非设置了 Q_OPTIONS 第 0 位，否则升降舵输入将作为垂直起降电机的爬升/下降指令，横滚输入将作为横滚姿态变化指令。

警告

除非设置了 Q_OPTIONS 的第 0 位，否则拉动升降舵不仅会使机头上仰，还会增加垂直起降电机的输出功率，以辅助过渡空速等待阶段的爬升。如果第 0 位被设置，则只会改变俯仰角，高度不会改变。对于倾转旋翼机，这可能会导致过渡延迟，甚至无法完成！对于倾转旋翼机，如果此位被设置，请勿拉动升降舵，直到过渡完成！

当达到 AIRSPEED_MIN 时，垂直起降电机的功率将在 Q_TRANSITION_MS 毫秒内（默认值为 5000 毫秒，即 5 秒）缓慢下降，之后完全关闭。倾转旋翼将缓慢旋转至全推力状态。过渡完成后，无论飞行器当前处于何种固定翼模式，油门和姿态控制都将恢复正常。

如果 Q_TRANS_FAIL 不为零，则在达到 AIRSPEED_MIN 空速之前超过此时间将取消过渡，并且飞机将立即执行 Q_TRANS_FAIL_ACT 指定的操作。默认值为 0，表示禁用此超时。

注意

仅适用于倾转旋翼机：如果 Q_OPTIONS 的第 19 位已设置且 Q_TRANS_FAIL 不为零，并且地速大于 AIRSPEED_MIN 的一半，则立即完成向固定翼的转换。如果未使用空速传感器，且转换时遇到逆风，则此功能非常有用，因为逆风可能导致在转弯之前无法获得准确的空速估计值。如果不使用 Q_TRANS_FAIL 超时和此 Q_OPTION，则转换可能会无限期地持续，因为地速过低可能导致空速报告低于 AIRSPEED_MIN。

注意

过渡期间使用的空速可在数据闪存日志中找到，其值为 CTUN.As。这是一个标准值，如果启用了空速传感器，则包含该传感器的空速值；否则，使用合成空速值。

从固定翼飞机过渡到垂直起降模式

如果从固定翼模式切换到垂直起降模式，前向电机/推力将立即停止，舵面将继续提供稳定性，同时飞机减速。这使得飞机能够在高速飞行时切换到垂直起降模式。因此，倾转旋翼机将立即切换到垂直起降位置。

- 当飞行器减速时，将根据需要提供垂直起降姿态控制。

- 过渡到定高垂直起降模式时，会根据需要管理垂直起降电机的功率，以在飞行器从前向固定翼飞行减速时保持高度。
- 过渡到非高度保持垂直起降模式将根据油门指令提供垂直推力。
- 过渡到位置保持模式后，飞机将根据减速情况预测一个要保持在的位置，并在达到该位置后保持该位置。
- 当切换到位置保持模式（例如 QLIOTER）时，飞行器会尝试减速，这可能导致高速飞行时机头迅速抬升（大多数情况下会导致显著的高度增加）。为了防止这种情况，俯仰角初始限制为 0 度，在 Q_BACKTRANS_MS 时间段内，该限制会放宽至 Q_ANGLE_MAX 或 PTCH_LIM_MAX_DEG 中的较小值。即使设置了这些限制，在减速过渡期间仍然可能出现高度增加。

飞行器垂直起降模式下，前向电机停止运转的唯一例外情况是：当 Q_VFWD_GAIN 参数设置为非零值时。在这种情况下，前向电机将用于在风中保持飞行器的位置。

警告

在垂直起降 (VTOL) 模式切换到固定翼模式时，所有电机都可能以极高的功率运行。电池电压可能会降至最低值以下（锂聚合物电池为 3.0V/节），从而导致电池损坏。极端情况下，由于垂直起降电机输出过低，甚至可能造成坠机。使用高容量、低 C 倍率的飞行电池（通常用于长时间飞行）时，这种情况尤为常见。手动切换时，可以通过手动油门控制来一定程度上控制电压，但在自动模式下，垂直起降到固定翼模式的切换目前会先关闭前电机的油门（TKOFF_THR_MAX），直到切换完成，因此可能会出现极高的电流。可以通过查看飞行日志中手动切换期间的电池电压来判断这是否会造成问题。如果电压下降过多，最佳解决方案是使用更高 C 倍率的飞行电池，或者为前电机和垂直起降电机使用单独的电池，或者使用 BATT_WATT_MAX 和其他参数来限制切换期间的过大电流消耗。

6.3.2、辅助固定翼飞行

飞行器代码还可以配置为在除手动模式 (MANUAL) 或特技模式 (ACRO) 之外的任何飞行模式下为固定翼代码提供辅助。如果 Q_ASSIST_SPEED 不为零，则启用垂直起降 (VTOL) 电机辅助。如果保留其默认值 (0)，则会发出预启动警告，提示用户设置此参数。值为 -1 时，将禁用辅助功能并抑制预启动警告。

当 Q_ASSIST_SPEED 为非零的正值时，飞行器电机将在空速低于该阈值时辅助飞行器保持稳定性和提供升力。例如，这可用于在 FBWA 模式下以极低速度飞行，或用于辅助自动固定翼飞机起飞。

警告

如果您未使用空速传感器，则空速将由内部生成的合成空速确定，作为空速传感器故障时的备用方案。此估算值有时可能非常不准确。如果您未使用空速传感器，则可能需要考虑不要启用辅助固定翼飞行功能，以防止在

空速实际高于阈值但内部空速显示错误的情况下发生误触发。将 Q_ASSIST_SPEED 设置为 -1 将禁用预启动警告和辅助功能，但过渡阶段除外。

建议您在初始飞行时禁用 Q_ASSIST_SPEED 功能，以便测试基本功能并调节机身。如果您需要该功能，请尝试在飞机失速速度以上启用 Q_ASSIST_SPEED 功能。

Q_ASSIST_SPEED 为正值（基于姿态误差），则可以使用第二种辅助类型。如果 Q_ASSIST_ANGLE 非零，则此参数指定一个姿态误差范围（以度为单位），超过该范围，即使空速高于 Q_ASSIST_SPEED，辅助功能也会启用。

第三个触发辅助飞行的参数是 Q_ASSIST_ALT。如果 Q_ASSIST_SPEED 为正数，则 Q_ASSIST_ALT 为正数。Q_ASSIST_ALT 表示飞行器辅助飞行触发的高度阈值。它的作用与 Q_ASSIST_ANGLE 和 Q_ASSIST_SPEED 相同，但触发条件是飞行器在垂直起降电机未运行时下降到指定高度以下。值为零则禁用此功能。高度计算基于距地面的高度。距地面的高度由以下方式确定：如果可用且 RNGFND_LANDING 位设置为 0 或 1，则使用激光雷达；如果 TERRAIN_FOLLOW = 1，则使用地形数据；否则，使用距返航点的高度。

当达到上述任何启用阈值时，将激活 Q_ASSIST_DELAY 辅助功能。

还可以通过将遥控器开关设置为 RCx_OPTION = 82 来启用、禁用或强制启用辅助功能。如果该通道低于 1200 微秒（低电平），则辅助功能将被无条件禁用；如果高于 1800 微秒（高电平），则辅助功能将始终启用。对于其他遥控器值，辅助功能的启用方式如上所述。

Q_OPTIONS 的第 7 位设置为“1”，可以强制始终启用辅助功能。对于尾座式飞行器，可以通过将 Q_OPTIONS 的第 8 位设置为“1”，将尾座式辅助功能限制为仅适用于垂直起降 (VTOL) 电机。这样可以避免在飞行舵面和垂直起降电机上使用旋翼机式 PID 增益，从而提高辅助模式下的稳定性；或者适用于没有舵机控制飞行舵面的旋翼机式尾座飞行器。

注意

除单电机和非倾斜双电机尾座式机架外，所有垂起固定翼机架类型均可获得辅助。

飞行器电机提供的辅助动力取决于固定翼飞行模式。如果您处于自主或半自主飞行模式，当辅助动力启用时（例如，空速低于 Q_ASSIST_SPEED 或姿态误差高于 Q_ASSIST_ANGLE 或高度低于 Q_ASSIST_ALT），飞行器电机将尝试提供辅助动力，以达到自主飞行模式所需的爬升率和转弯率。在手动导航模式下，飞行器将尝试提供与飞手输入相匹配的辅助动力。

具体处理方法如下：

- 在自动模式下，飞行器将提供升力以到达下一个航路点的高度，并帮助飞行器按照导航控制器的要求转弯。
- 在固定翼飞机的悬停、返航或引导模式下，飞行器电机将尝试协助导航控制器要求的任何爬升率和转弯率。

- 在巡航模式或电传飞控模式下，飞行器将根据飞手要求的爬升率（由俯仰杆控制）提供升力。飞行器的电机将尝试以飞手要求的转弯率（结合副翼和方向舵的输入）进行转弯。
- 在 FBWA 模式下，飞行器会假定俯仰摇杆的输入与用户想要的爬升率成正比。因此，如果用户向后拉俯仰摇杆，飞行器的电机将尝试爬升；如果用户向前推俯仰摇杆，飞行器的电机将尝试稳定下降。
- 在 AUTOTUNE 模式下，飞行器将提供与 FBWA 相同的辅助，但是不建议将 AUTOTUNE 模式的 Q_ASSIST_SPEED 值设置得很高，因为飞行器的辅助会干扰固定翼飞机的学习增益。
- 在手动、特技和训练模式下，飞行器的电机将完全关闭。在这些模式下，飞行器将完全像固定翼飞机一样飞行。
- 在稳定模式下，如果开启辅助功能，飞行器电机将尝试提供升力。

6.3.3、返航

返回起飞点（无论是 HOME 还是集结点）可以通过切换到 RTL 模式或 QRTL 模式来实现。返回点定义为最近的集结点；如果未定义集结点，则返回 HOME 位置。

RTL 模式有四种不同的飞行行为选项，但基本上大部分返航过程都采用固定翼飞行。飞行行为还取决于进入该模式时飞行器距离返航点的远近以及飞行模式。RTL 模式的飞行行为由 Q_RTL_MODE 参数决定，具体说明见下文。

Q_RTL_MODE = 3 选择的 RTL 模式相同；或者，使用 Q_OPTIONS 位 (16) 进行纯粹的垂直起降返回和着陆。

注意

垂直起降模式下的 RC 故障保护只会根据 Q_OPTIONS 位 5 (QRTL) 和位 20 (RTL) 设置（位 20 覆盖位 5）而切换到 QLAND、RTL 或 QRTL，而与 FS_SHORT_ACTN 或 FS_LONG_ACTN 设置无关。

RTL 模式

固定翼 RTL

Q_RTL_MODE = 0 返回固定翼飞机和盘旋

默认行为（Q_RTL_MODE = 0）与固定翼飞机相同。飞机将飞往最近的集结点（如果未定义集结点，则飞往返航点），并像固定翼飞机一样在该点附近盘旋。只有当飞机空速低于 Q_ASSIST_SPEED 中定义的值时，才会使用垂直起降电机。飞机盘旋的高度将是集结点的高度，如果未定义集结点，则为 RTL_ALTITUDE 设置的高度。

如果在垂直起降模式下选择返航（无论是故障保护措施还是飞手选择），垂起固定翼将立即过渡到固定翼，并像正常的固定翼返航模式一样飞回。

混合 RTL

飞行器返航的另一种选择是先以固定翼飞机模式飞行，接近返航点时切换到垂直起降快速返航模式，并在返航点垂直降落。要启用这种混合返航模式，需要将 `Q_RTL_MODE` 参数设置为 1、2 或 3。

注意

为了让代码判断何时开始向垂直起降（VTOL）模式过渡，从而达到完全垂直起降的状态，需要使用 `Q_TRANS_DECEL` 参数来计算何时开始过渡。如果飞行器出现过冲，可以降低该值，反之亦然。

`Q_RTL_MODE = 1`

返回固定翼模式，切换至快速巡航模式，然后着陆。

如果在固定翼模式下输入返航指令，混合返航指令中固定翼部分的初始目标高度与固定翼返航指令相同。您应适当设置集结点高度和 `RTL_ALTITUDE` 参数，以确保飞机在安全高度飞行。

飞机从固定翼飞行切换到垂直起降飞行模式的距离由 `RTL_RADIUS` 参数设定；如果未设定该参数，则使用 `WP_LOITER_RAD` 参数。飞机在接近返航点时会减速，目标高度由 `Q_RTL_ALT` 参数设定。

到达返航点后，飞机开始下降并着陆。

如果在垂直起降模式下选择返航（无论是故障保护措施还是飞手的操作），垂起固定翼将立即过渡到固定翼模式并飞回，就像在固定翼模式下选择返航一样。

`Q_RTL_MODE = 2`

返回固定翼飞机，悬停至高度，切换至快速巡航，着陆。

`Q_RTL_MODE` 设置为 2 会产生与上述的行为，但飞行器会像普通的固定翼飞机一样返航，直到到达 `Q_FW_LND_APR_RAD` 高度，然后以固定翼模式盘旋下降到 `Q_RTL_ALT` 高度，最后迎风飞行并执行一次快速返航(QRTL)返回起飞点。请确保盘旋部分已设置好，能够避开所有障碍物。

`RTL_RADIUS` 和 `WP_LOITER_RAD` 中较大的值内，且在 `Q_RTL_ALT` 以下，在垂直起降模式或辅助固定翼飞行中触发 RTL，则飞行器将立即向 `Q_RTL_ALT` 和着陆位置前进，然后着陆（即 QRTL 模式）。

如果在垂直起降模式或辅助固定翼飞行模式下，当选择返航（无论是故障保护操作还是飞手操作）超出这些半径时，垂起固定翼将立即过渡到固定翼模式并飞回，就像是在固定翼模式下进入返航一样。

`Q_RTL_MODE = 3`

返回固定翼模式，接近垂直起降过渡点，减速板，切换至快速起降模式，着陆。

`Q_RTL_MODE` 设置为 3 会使飞行器的行为类似于普通的 QRTL 模式。飞行器将进入“接近”阶段，并在 `RTL_ALTITUDE` 高度和计算出的距离处返回，然后开始向 `Q_RTL_ALT` 高度下降。当飞行器接近着陆位置时，会启动非尾桨“空中制动”阶段以减速，减速后进入全垂直起降模式并执行垂直起降着陆。除非设置了 `Q_OPTIONS` 位 16 以阻止上述混合操作，否则 QRTL 模式默认也使用此行为。

实际上，这使得任何 RTL 执行都可启用 QRTL 模式：故障安全操作、模式更改为 QRTL 或完成任务（除非最后一个任务项阻止 RTL）。

注意

设置 Q_OPTIONS 位 16 以禁用此模式，否则所有 VTOL_LANDING 任务默认也使用此模式。

这种固定翼“进近”方式允许垂直起降 (VTOL) 着陆，无需设置进近航路点来降低高度并接近着陆点，即可以垂直起降模式飞往着陆点。如果通过设置 Q_OPTIONS 位 16 来禁用此功能，飞行器将在执行该任务项或模式更改为快速着陆(QRTL)时立即切换到垂直起降模式，并在执行快速着陆 (QLAND) 之前以垂直起降模式导航至着陆点。这意味着，如果任务中禁用了固定翼进近模式，您应该非常接近着陆点，因为飞行器将以垂直起降模式飞往着陆点。

该方法包含以下几个阶段：

- RTL_RADIUS 或 WP_LOITER_RADS 中较大值的两倍 (MAXRAD) 加上从 RTL_ALTITUDE 下降到 Q_RTL_ALT 所需的计算距离时，飞机将尝试爬升或下降到 RTL_ALTITUDE。如果在此范围内，飞机将尝试爬升/下降到线性下降坡，与该坡面相遇，然后继续下降，如上图所示。
- 如果起始高度超过 2 倍“MAXRAD”但低于上述高度，则在 2 倍 MAXRAD 时，它将以固定翼模式继续飞行，高度为 Q_RTL_ALT。
- 当飞行器到达着陆点垂直起降停止距离内（该距离根据垂直起降减速参数 Q_TRANS_DECEL 和飞行器当前速度计算得出，该参数表示飞行器过渡到垂直起降模式时产生的减速度），它将切换到垂直起降模式，并发送“VTOL Position1”消息，然后继续向着陆点移动。如果飞行器不是尾座式飞行器，则在垂直起降模式切换之前可能会出现“空中制动”阶段，此时垂直起降电机将高速运转以产生额外的制动力。

注意

如果飞行器越过“VTOL Position1”位置，请尝试逐步降低 Q_TRANS_DECEL 值。但是，这样做会增加飞行器过渡到垂直起降模式的临界点（即距离“VTOL Position1”的位置）。

- 当飞行器距离着陆点 5 米以内且移动速度小于 2 米/秒时，它将发送一条地面控制站 (GCS) 消息，声明其处于“垂直起降位置 2”，并最终定位在着陆点上方，开始着陆下降，地面控制站消息也会指示这一过程。
- 如果进近输入的距离小于 1.5X MAXRAD，则无论从固定翼模式还是垂直起降模式输入，飞机都会立即进入“垂直起降位置 1”状态，并朝着着陆点移动，同时尝试获取 Q_RTL_ALT。
- 如果垂直起降模式下飞行器高度大于 1.5 倍最大辐射高度 (MAXRAD)，则飞行器将爬升至 Q_RTL_ALT；如果低于 Q_RTL_ALT，则切换至固定翼模式并开始正常的固定翼返航 (RTL)，尝试导航至返航点并执行

进近程序。爬升和转向着陆点的飞行器高度将由 Q_RTL_ALT 决定，即使在较低高度也会进行爬升和转向，因此，对于固定翼初始阶段，可以考虑启用 FLIGHT_OPTIONS 的第 4 位“返航转向前爬升”/Q_OPTIONS 的第 0 位“水平过渡”。

注意

如果担心使用进近功能可能会导致在垂直起降模式下，由于 1.5X MAXRAD 距离过近而导致进近操作过于靠近 HOME，则不应使用 Q_OPTIONS 位 16 完全禁用该功能，而应使用 Q_APPROACH_DIST 增加飞行器需要与 HOME 的距离，以便过渡到固定翼模式并执行进近操作。

QRTL 模式

默认情况下，切换到 QRTL 模式的效果与上述 Q_RTL_MODE = 3 的情况完全相同。但是，如果您希望像纯垂直起降固定翼（例如多旋翼飞行器）那样返航，则可以使用 QRTL 飞行模式，但需要设置 Q_OPTIONS 的第 16 位以禁用 QRTL 的默认行为（类似于上述 Q_RTL_MODE = 3 时的混合返航模式）。飞行器将切换到垂直起降飞行模式（如果尚未处于垂直起降模式），然后以 Q_WP_SPEED 的速度、Q_RTL_ALT 的高度飞向返航点。

飞机到达返航点后，将开始垂直下降着陆。初始下降率由 Q_WP_SPEED_DN 设定。当飞机到达 Q_LAND_FINAL_ALT 高度时，下降率将变为 Q_LAND_FINAL_SPD，进入最终着陆阶段。

在着陆的最后阶段，飞机将通过检测垂直起降电机油门何时降至最低阈值以下并持续 5 秒来判断是否着陆。当这种情况发生时，飞机将上锁，垂直起降电机将停止运转。

6.3.4、垂直起降飞机与固定翼飞机的水平配平

通常，固定翼飞机的水平调节（即俯仰姿态稳定模式试图保持的配平）会相对于机翼弦线设置为几度正值，以便在巡航时提供升力。

然而，在垂直起降模式下，这会导致飞行器向后倾斜几度，从而产生向后漂移的趋势。可以通过设置 Q_TRIM_PITCH 参数来消除此问题。此外，该参数还可用于校正因垂直起降电机位置未完全围绕重心平衡而导致的轻微重心不平衡。

垂直起降模式下的手动前进油门

通过将遥控通道选项 (RCx_OPTION) 设置为“209”，该通道可以在 QSTABILIZE、QACRO 和 QHOVER VTOL 模式下为前向电机提供独立的油门输入。这样，飞行器无需向前倾斜即可向前移动，从而避免在 QSTABILIZE 和 QACRO 模式下需要重新调节油门杆位置来保持高度，并且在所有模式下都能提供更大的前向阻力。此通道施加的最大油门百分比由 Q_FWD_MANTHR_MAX 设置。

遥控器或油门故障保护

FS_SHORT_ACTN 和 FS_LONG_ACTN 参数设置决定。飞行器可以设置为：在发生故障保护触发的返航时，如果 Q_RTL_MODE = 1，则不执行正常的飞机飞行行为，而是过渡到快速返航模式，并在到达集结点或返航点后着陆。如果 Q_RTL_MODE = 2，则会执行固定翼进近，然后盘旋至指定高度并进行快速返航，类似于“飞行器自动任务”部分中“自动垂直起降着陆”部分所述的操作。

如果在任何垂直起降模式（QHOVER、QSTAB 等）下飞行且未执行任务，则故障保护将根据 Q_OPTIONS 的第 5 位和第 20 位的设置方式，调用 QLAND、QRTL 或 RTL。

注意

如果在垂直起降固定翼起飞过程中发生故障保护，它将立即切换到 QLAND 模式。

垂直起降着陆重新定位

在 QRTL/QLAND 或垂直起降任务指令的最后下降阶段，除非切换到飞手控制模式（例如 QLOITER），否则通常无法重新定位飞行器或暂停下降。但是，有两种方法可以启用，使飞手能够控制飞行器：

油门下降控制

如果设置了 Q_OPTIONS 的第 15 位，则飞手可以在垂直起降自动着陆阶段控制下降，类似于悬停或盘旋阶段的油门杆操作。但是，此功能只有在下降过程中油门杆至少短暂地抬升到 70% 以上一次才会生效。

水平重新定位

如果设置了 Q_OPTIONS 位 17，则在 VTOL 自动着陆阶段，可以使用俯仰和横滚杆（如 QLOITER）进行飞手水平重新定位，同时暂时暂停下降。

接下来会发生什么？

理解混合动力飞机一开始可能会比较困难，所以下面是一些场景以及处理的代码。

我处于 QHOVER/QLOITER 悬停状态，并切换到 FBWA 模式。

飞机将继续悬停，根据油门杆的位置调节前推力/油门，并逐渐加速。如果在过渡过程中将油门归零，飞机将继续保持当前高度并保持水平飞行，最终减速直至停止。由于未进行位置保持，飞机将随风漂移。

如果向前推动油门杆，前电机将增加推力，飞机开始向前移动。电机在飞机缓慢移动时会继续提供升力和稳定性。您可以通过横滚杆和俯仰杆的输入来控制飞机的姿态。使用俯仰杆（升降舵）会影响电机的爬升率。向后拉升降舵，电机将辅助飞机爬升。向前推动俯仰杆，电机的动力将减小，飞机将下降。

横滚和俯仰输入也控制着飞机的姿态，因此低速向右横滚会导致飞机向右移动。它还会导致飞机向右偏航（因为垂起固定翼代码将固定翼模式下的右副翼解释为指令转弯）。

AIRSPEED_MIN 空速（如果设置了 Q_ASSIST_SPEED 且该值大于 AIRSPEED_MIN，则为 Q_ASSIST_SPEED 空速）时，飞行器电机提供的辅助动力将在 5 秒内逐渐减弱。此后，飞行器将完全以固定翼飞行。

我正在以 FBWA 模式快速飞行，然后切换到 QHOVER 模式

电机将立即启动，并首先将飞机保持在当前高度。爬升/下降速率由油门杆控制，油门杆推得越高，飞机爬升越快；油门杆推得越低，飞机下降越快。油门杆推至中间位置时，飞机将保持高度。

前向发动机停止运转后，飞机仍会因惯性继续向前飞行。空气阻力会使其逐渐停止。飞机的姿态可以通过横滚杆和俯仰杆（副翼和升降舵）控制。您可以使用方向舵使飞机偏航。

我在悬停时切换到返航模式

飞机通常会过渡到固定翼飞行模式。电机将提供升力和姿态辅助，同时前电机开始拉动飞机前进。根据 Q_RTL_MODE 设置，飞机返回起飞点时可以选择不同的飞行行为（返航或返航）。

如果已设置 RTL_AUTOLAND，则飞机将按照任务配置进行着陆。

我切换到 QRTL 模式，靠近 HOME 键

RTL_RADIUS 或 WP_LOITER_RAD 中较大值的 1.5 倍，则飞行器将以垂直起降 (VTOL) 模式返回返航点并着陆。如果大于 1.5 倍，则飞行器将切换到固定翼模式，爬升至 RTL_ALTITUDE 高度并执行正常的快速返航 (QRTL)。根据距离返航点的远近，飞行器可能只会短暂爬升，然后切换回进近或减速阶段。距离越远，返回返航点的爬升高度越高。如果已通过 Q_OPTIONS 位 16 禁用进近行为，则飞行器将直接切换到垂直起降模式（如果尚未处于该模式，则导航至返航点并着陆）。

我有一个 EKF 故障安全机制

为了在扩展卡尔曼滤波器 (EKF) 出现故障时保护垂直起降 (VTOL) 操作，系统提供了一种故障保护机制。在正常的固定翼飞行模式下，如果 EKF 出现故障，系统会“回退”到另一个惯性制导滤波器 DCM。但是，如果在 VTOL 模式下以自动 (AUTO) 模式运行时发生 EKF 故障，QuadPlanes 将切换到 QLAND 模式，并在所有其他位置控制 VTOL 模式（QLOITER、QRTL、QLAND、QAUTOTUNE）下切换到 QHOVER 模式。

常见的飞行过程

一次常见的试飞过程如下：

- 垂直起降固定翼在 QLOITER 或 QHOVER 模式下起飞
- 切换到 FBWA 模式，将油门推至 50% 以上，开始固定翼飞行。
- 切换到 QHOVER 模式将恢复到垂直起降飞行模式，并将油门降低至 50% 以进行悬停。

6.4、首次设置

6.4.1、帧设置

垂起固定翼代码支持多种四旋翼、六旋翼、八旋翼和八旋翼多旋翼机架配置，这些配置除了常规的前飞电机外，还使用升力电机。此外，它还支持垂直起降电机倾斜以实现过渡或控制的配置，以及水平垂直起降姿态或垂直（尾座式）姿态的选择。

尾座式飞机

机架配置完成后，请继续按照其他部分。

垂直起降飞机电机配置

这些配置在传统的固定翼飞机结构上增加了多旋翼飞行器式的升力电机。部分或全部这些电机也可以配置为倾转电机，用于固定翼飞行，以替代通常的固定前向电机。

帧类型和类

要使用不同的帧类型，您可以设置 `Q_FRAME_CLASS` 和 `Q_FRAME_TYPE`。

框架类

`Q_FRAME_CLASS` 指定所使用的电机数量，可以是：

- 1 代表四边形
- 2 代表六边形
- 3 代表八角形
- 4 代表八四边形
- 5 代表 Y6（忽略除 10 和 11 之外的所有后续帧类型，所有其他帧类型均会导致 Y6A 配置）
- 7 代表三轴飞行器（忽略除 6 代表反向三轴飞行器之外的所有后续帧类型）
- 10. 适用于单/双电机后座式摩托车（忽略以下所有车架类型）

框架类型

在这些框架类中，`Q_FRAME_TYPE` 选择电机布局和旋转方向。

- 0 代表加号框架
- 1. X 框架
- V 型框架 2
- 3. H 型框架
- 6. 反向 X 型框架

- 仅限 Y6B 年级学生 10 人
- 11 适用于 FireFly6Y6（仅限 Y6F）

垂直起降固定翼电机顺序

电机顺序和输出通道与旋翼机相同，只是默认输出通道号通常从 5 开始而不是从 1 开始，因为当 Q_ENABLE 设置为 1 并且飞控重新启动以设置飞行器时，基本飞机舵面通常默认已设置在输出 1 到 4 上。

注意

尾座式飞机的配置是一种特殊情况。

例如，在默认的 Quad-X 机架中，电机位于输出端口 5 至 8。具体配置如下：

- 输出 5：电机 1 - 右前电机，逆时针旋转
- 输出 6：电机 2 - 左后电机，逆时针旋转
- 输出 7：电机 3 - 左前电机，顺时针方向
- 输出 8：电机 4 - 右后电机，顺时针方向

你可以记住顺时针/逆时针规则，即“电机朝向机身旋转”，但 H 型配置除外（所有方向相反）。

另一种常见的配置是 OctoQuad X8，它采用以下顺序：

- 输出 5：电机 1 - 右前上方电机，逆时针旋转
- 输出 6：电机 2 - 左前上方电机，顺时针方向
- 输出 7：电机 3 - 左后上方电机，逆时针旋转
- 输出 8：电机 4 - 右后上方电机，顺时针方向
- 输出 9：电机 5 - 左前下方电机，逆时针方向
- 输出 10：电机 6 - 右前下方电机，顺时针方向
- 输出 11：电机 7 - 右后下方电机，逆时针方向
- 输出 12：电机 8 - 左后下方电机，顺时针方向

你可以记住八轴飞行器的顺时针/逆时针旋转规则：“顶部电机朝向机身旋转，底部电机朝机身外旋转”。

对于三旋翼飞行器配置，默认输出分配为：

- 输出 5：电机 1 - 右前电机（从上方看）
- 输出 6：电机 2 - 左前电机
- 输出 8：电机 4 - 后电机
- 输出 11：电机 7 - 尾部倾斜舵机（见下文）

默认飞机输出端口为 1 至 4。只有垂直升力输出端口（飞行器配置下为 5 至 8）通常应以高 PWM 频率（400Hz）运行。使用这些默认配置时，您可以根据需要将其他输出端口分配给任何功能。

您也可以选择将电机移动到任何其他通道上，具体步骤请参见下文。

三旋翼机

机架类型 7 是三旋翼飞行器，可以是无倾转旋翼的，也可以是前电机倾转旋翼配置，但使用单独的舵机来侧向倾斜后电机以进行偏航控制，或者使用通过前倾转电机进行矢量偏航控制的倾转旋翼。

如果使用倾斜偏航控制，则将输出设置为电机 7 (SERVOn_FUNCTION = 39)，用于偏航电机（电机 4）的舵机控制侧倾机构。您应该使用 Q_M_YAW_SV_ANGLE 设置偏航舵机的最大倾斜角度（以度为单位），以防止螺旋桨撞击地面或机架。此倾斜角度假设 SERVOn_MIN 和 SERVOn_MAX 分别代表 +/- 90 度，而 SERVOn_TRIM 代表 0 度倾斜。

注意

后电机倾斜舵机不受 Q_TILT_MASK 或任何其他倾转旋翼机相关参数的影响，因为它不涉及垂直或水平推进，只涉及偏航控制。

使用不同的通道映射

您可以通过设置 SERVOn_FUNCTION 的值来重新映射升降电机所使用的输出通道。这与其他输出功能采用相同的方法。

注意

请注意，除非您使用非标准电机顺序、矢量推力或尾座飞行器，否则无需设置任何 SERVOn_FUNCTION 值。强烈建议您使用标准顺序，并且不要设置 SERVOn_FUNCTION 参数，将其保留为零。它们会在启动时自动设置为适合您机架的正确值。

输出函数编号如下：

- 33：电机 1
- 34：电机 2
- 35：电机 3
- 36：电机 4
- 37：电机 5
- 38：电机 6
- 39：电机 7
- 40：电机 8

因此，要将飞行器电机连接到输出 9 到 12（辅助通道），您需要在高级参数列表中使用以下设置：

- SERVO9_FUNCTION = 33
- SERVO10_FUNCTION = 34
- SERVO11_FUNCTION = 35
- SERVO12_FUNCTION = 36

6.4.2、倾转旋翼机

倾转旋翼机是一种垂直起降固定翼，其悬停和前飞之间的过渡是通过倾斜一个或多个旋翼来实现的，从而提供向前推力而不是向上推力。

注意

尾座式飞机不同，尾座式飞机的飞控和主机身在悬停和前飞之间切换时会改变方向。请勿将以下信息用于尾座式飞机，尽管某些参数是相同的，但请参考尾座式飞机的相关说明。

倾转旋翼机的类型

支持多种倾转旋翼机配置。常见配置包括：

- 前两个电机倾斜的倾斜垂起固定翼飞机
- 四个电机全部倾斜的倾斜垂起固定翼
- 前部两个电机倾斜，后部电机倾斜以实现偏航的倾转三旋翼飞行器
- 前两个电机可倾斜并实现矢量偏航的倾转三旋翼飞行器
- 前四个电机可倾斜的倾斜式六旋翼飞行器
- 倾转翼飞机，其中主翼随两个电机一起倾斜
- 倾斜机构只能处于两种位置之一的双倾转旋翼机
- 连续倾转旋翼机，其倾转机构可控制在从垂直向上到垂直向前的任意角度。
- 矢量倾转旋翼机，其中左侧旋翼的倾斜角度可以独立于右侧电机的倾斜角度进行控制

除了这些衍生机型外，还有一些机型采用副翼、升降副翼、V 型尾翼和其他舵面进行固定翼飞行。可能的组合数量惊人，垂直起降固定翼的设计试验也十分普遍。

设置倾转旋翼机

首先，你需要将 Q_ENABLE 设置为 1 以启用飞行器支持，将 Q_TILT_ENABLE 设置为“1”以启用倾转旋翼机支持，然后选择正确的飞行器机架类和机架类型。

飞行器坐标系位于 Q_FRAME_CLASS 中。坐标系的选择取决于飞行器悬停时的旋翼配置。目前支持的倾转旋翼飞行器坐标系包括：

框架类	Q_FRAME_CLASS
飞行器	1
六旋翼飞行器	2
八旋翼飞行器	3
八角形	4
Y6	5
三旋翼机	7
双旋翼机	10

选择好机架类型后，您需要正确设置 Q_FRAME_TYPE。Q_FRAME_TYPE 是机架的子类型。例如，对于飞行器，机架类型 1 代表“X”型机架，机架类型 3 代表“H”型机架。对于三角机架和 Y6 机架，此参数将被忽略。

设置 Q_ENABLE、Q_FRAME_CLASS 和 Q_FRAME_TYPE 后，您需要重新启动。

倾斜掩码

对于倾转旋翼机来说，最重要的参数是倾转掩模，即 Q_TILT_MASK 参数。

Q_TILT_MASK 是一个位掩码，用于指定飞行器上哪些电机可以倾斜。您需要启用的位对应于您选择的机架类别和机架类型的标准 ArduCopter 电机映射中的电机顺序，例如，位 0 对应于电机 1。

例如，如果你有一个前两个电机倾斜的倾斜三旋翼飞行器，那么你应该将 Q_TILT_MASK 设置为 3，即 $2+1$ 。

如果你有一个倾斜的垂起固定翼，其中所有 4 个电机都倾斜，那么你应该将 Q_TILT_MASK 设置为 15，即 $8+4+2+1$ 。

倾斜类型

大多数倾转旋翼机使用普通舵机来倾斜旋翼。这使得飞控能够连续控制旋翼的倾斜角度，范围从正上方到正前方。

有些倾转旋翼机则采用二元机制，通常使用收放舵机机构，飞控可以命令舵机机构完全向上或完全向前，但不能要求倾斜停止在两者之间的某个角度。

最后，一些倾转旋翼机具有偏航矢量控制，可以通过独立于右侧旋翼倾斜左侧旋翼来控制偏航。

您需要使用 Q_TILT_TYPE 参数设置倾斜类型。有效值包括：

倾斜式	Q_TILT_TYPE
连续的	0
二进制	1
向量	2
双旋翼飞行器	3

倾斜舵机

接下来，您需要配置哪些舵机输出将控制可倾斜旋翼的倾斜角度。

您可以通过以下舵机函数值来控制它。

倾斜控制	SERVO_n_FUNCTION
倾斜电机前置	41
倾斜电机前左	75
前右倾斜电机	76
倾斜电机后部	45
倾斜电机后左	46
倾斜电机后右	47

注意

对于矢量偏航应用，左右倾斜舵机将用于前后方向控制。否则，您应该选择普通的 TiltMotorsFront / TiltMotorsRear。

倾斜反转和范围

您需要根据舵机的方向设置倾斜舵机的 SERVO_n_REVERSED 参数。您应该进行调节，使舵机在手动模式下向前倾斜，在 QSTABILIZE 模式下向上直指。

您可能还需要调节 SERVO_n_MIN 和 SERVO_n_MAX 值，以调节每个舵机的运动范围和精确角度，从而实现前飞和悬停。

倾斜角度

Q_TILT_MAX 参数控制连续倾转飞行器在过渡阶段的倾转角度。它是指旋翼在等待达到过渡空速期间将移动到的角度（以度为单位）。

Q_TILT_MAX 的合适值取决于你需要多大的倾角才能获得足够的空速，从而使机翼提供大部分升力。对于大多数倾转旋翼机来说，默认值 45 度就足够了。

倾斜率

倾转旋翼机的一个关键参数是，在悬停和前飞之间转换时，倾转舵机机构的移动速度有多快。

控制倾斜速率的两个参数是：

- Q_TILT_RATE_UP 是向上倾斜的速率，单位为度/秒
- Q_TILT_RATE_DN 是向下倾斜速率，单位为度/秒

如果 Q_TILT_RATE_DN 为零，则 Q_TILT_RATE_UP 用于两个方向。

倾斜舵机的移动速度取决于多种因素，尤其是你的飞行器针对多旋翼飞行器的调校情况。一般来说，建议在初始测试时采用较慢的过渡速度，然后根据需要逐渐加快速度。

典型的数值是上升和下降速度均为每秒 15 度。

请注意，倾转旋翼机代码中对倾转速率有一些自动例外情况：

- 切换到手动模式时，倾斜速率为每秒 90 度。这样，在需要手动模式时，您可以快速控制飞机向前飞行。
- 正向转换完成后，电机将以每秒 90 度的速度覆盖剩余角度。

注意

对于二进制型倾斜舵机，这些速率应设置为舵机的实际测量速率，因为它与控制无关。

固定翼飞行中的倾斜稳定辅助

可以使用倾转电机（如果不是二进制倾转电机）来辅助固定翼飞机的横滚和俯仰控制。当 Q_TILT_FIX_GAIN 大于零时，此功能将被激活。Q_TILT_FIX_GAIN 决定了控制需求达到多大程度时电机才会倾斜。可达到的最大倾斜角度由 Q_TILT_FIX_ANGLE 参数决定。建议 Q_TILT_FIX_GAIN 的初始值为 0.1，然后逐渐增加该值以获得所需的响应。

矢量偏航

矢量偏航飞机通过分别倾斜左右旋翼（如果使用前旋翼/后旋翼）来控制悬停时的偏航姿态。这降低了倾转三旋翼机的机械复杂性，因为它避免了为后旋翼电机配备用于偏航控制的倾转舵机。

要设置矢量偏航飞行器，您需要将 `Q_TILT_TYPE` 设置为 2，并将 `Q_TILT_YAW_ANGLE` 设置为倾斜电机可以超过 90 度的角度（以度为单位）。

例如，如果你有一架带矢量偏航的倾转三旋翼飞行器，并且你的前电机可以从前飞角度倾斜总共 110 度，那么你的 `Q_TILT_YAW_ANGLE` 将是 20，因为这是倾转机构可以超过 90 度的角度。

您还需要设置两个倾斜舵机，左前倾斜的 `SERVOn_FUNCTION` =75，右前倾斜的 `SERVOn_FUNCTION` =76。

非矢量偏航

非矢量偏航飞机（`Q_TILT_TYPE` = 0 或 1）需要倾斜舵机器进行偏航控制。

如果机架是三旋翼飞行器，您需要将前倾舵机的 `SERVOn_FUNCTION` 设置为 41，并将偏航舵机的 `SERVOn_FUNCTION` 设置为 39。您应该使用 `Q_M_YAW_SV_ANGLE` 设置偏航舵机的最大倾斜角度（以度为单位）。此倾斜角度的设置基于 `SERVOn_MIN` 和 `SERVOn_MAX` 分别代表 +/- 90 度，而 `SERVOn_TRIM` 代表 0 度倾斜。

注意：`SERVO_FUNCTION`=39 通常是电机 7 的输出函数，但在非矢量偏航倾转旋翼三旋翼飞行器中，偏航舵机通过 `SERVOn_FUNCTION` = 39 控制。

如果您希望设置 BLEHeli 电调遥测，您需要将 `Q_M_PWM_TYPE` 设置为 4（DShot 150），将遥测信号连接到 SERIAL 端口，并将其 `SERIALn_PROTOCOL` 设置为 23。

请注意，如果您想在非矢量偏航三旋翼飞行器中使用 BLHeli 直通设置或遥测，则不能将 `SERVO_BLH_AUTO` 设置为 1。相反，应将 `SERVO_BLH_MASK` 设置为实际连接到 BLHELI-ESC 的舵机通道的输出位掩码。

例如，如果您的电机连接到舵机 9、10、11（pixhawk1 的前三个辅助输出），请将 `SERVO_BLH_MASK` 设置为 1792。

双旋翼倾转旋翼机

这是一个特殊的倾转旋翼飞行器。设置方式略有不同，但其配置实际上是标准的飞行器，并能执行飞行器过渡动作。要设置此飞行器配置：

- `Q_FRAME_CLASS` = 10（尾座式飞行器）
- `Q_TILT_TYPE` = 3（双旋翼飞行器）

电机和倾斜装置

对于电机和倾斜舵机，您应该为左右电机的两个倾斜舵机以及左右电机的油门设置 `SERVOn_FUNCTION` 值。

倾转舵机器的限位设置与其他倾转旋翼略有不同。要设置正常的倾转旋翼范围，您需要先设置 `Q_TILT_YAW_ANGLE`，然后在测试台上分别设置倾转舵机器的最小和最大输出范围，以便在 `QSTABILIZE` 模式下实现垂直方向的倾转，在 `MANUAL` 模式下实现水平方向的倾转。TRIM 值将被忽略。

在这种机架类型中，倾斜舵机器的 MIN 值设置水平位置，TRIM 值设置垂直位置，MAX 值设置最大后倾角（最大垂直起降偏航角）。在这种情况下，用户必须设置 Q_TILT_YAW_ANGLE 值来控制前倾偏航角（应与后倾角相匹配，以防止单向偏航控制不对称）。

注意

如果倾斜舵机需要反转才能获得正确的方向，则 MIN 和 MAX 可以互换。

倾斜翼襟翼模拟

倾转旋翼机是指整个机翼旋转，而不是电机旋转。这些机型使用“TiltMotorsFront”舵机函数（41）来倾斜整个机翼，以实现固定翼或垂直起降飞行。

您还可以设置机翼倾斜，就像（或除了）正常的手动控制或自动襟翼一样，机翼在固定翼模式下会像襟翼激活时一样倾斜。襟翼完全展开时的机翼倾斜角度由 Q_TILT_WING_FLAP 参数设置，当襟翼完全激活时，机翼最多可倾斜 15 度。

飞行前检查

除了飞行器的常规飞行前检查外，您还应该在地面上通过在手动模式 (MANUAL) 和稳定模式 (QSTABILIZE) 之间切换来检查倾转旋翼的转换。确保倾转平稳，并且舵机已针对正确的旋翼角度进行了微调。

6.4.3、尾座式飞机

尾座式飞机是指任何在向前飞行和悬停之间转换时会旋转机身（和飞控）的垂直起降飞机类型。

尽管名为“尾座式飞机”，但并非所有尾座式飞机都以尾部着地。有些是“腹式着陆飞机”，它们平躺着陆，以提高起降时的稳定性，尤其是在有风的情况下。有些飞机可能配备起落架用于轮式起飞，而另一些则可能配备支架或其他着陆辅助装置。

在阅读本尾座式飞机专属文档之前，您应该先阅读飞行器文档。

Q_TAILSIT_ENABLE 设置为“1”（适用于大多数尾座式飞机）或“2”（适用于仅使用旋翼机电机的尾座式飞机，即没有副翼/升降舵等舵面的飞机）来启用尾座式飞机及其参数。

向量化和非向量化

坐在车尾的乘客大致分为两类：

- 矢量尾座式飞机可以独立于机身运动倾斜旋翼，从而获得矢量推力。
- 非矢量尾座式飞机的旋翼相对于机身的方向是固定的，依靠大型舵面来实现悬停控制（尽管双电机版本也可以使用差动推力来控制机身偏航）。

非矢量控制又分为两个子类别：单/双电机和旋翼机电机：

- 单/双电机飞行器使用一个或两个电机，双电机飞行器只能使用差动推力。单电机尾座飞行器类似于普通的 3D 飞机，可以利用暴露在外的舵面进行悬停，这些舵面受单电机螺旋桨气流的影响，但单电机尾座飞行器具备悬停、盘旋和垂直起降任务导航所需的控制稳定性。双电机尾座飞行器通过增加差动推力来辅助机身偏航控制，而旋翼电机尾座飞行器在垂直起降姿态下几乎与多旋翼飞行器相同，如果配备飞行舵面，则可以进一步增强控制性能。
- CopterMotor 使用三个、四个或更多电机，其运行方式更接近于旋翼机。这些旋翼机可能配备也可能不配备可在固定翼飞行模式下使用的舵面。^{**} 没有舵面的 CopterMotor 尾座式飞机（即只有升力翼而没有舵面）在固定翼飞行模式下必须始终使用电机进行控制。设置 `Q_TAILSIT_ENABLE = 2` 会自动启用此功能。

尾座配置

固件版本 4.1 及更早版本

要使飞行器采用尾座式飞行，关键在于设置 `Q_FRAME_CLASS = 10` 或 `Q_TAILSIT_MOTMX` 为非零值。这会指示飞行器代码使用尾座式垂直起降后端。

固件版本 4.2 及更高版本：

要使垂起固定翼成为尾座式飞机，需要将 `Q_TAILSIT_ENABLE` 设置为“1”或“2”，以告知垂起固定翼代码使用尾座式垂直起降后端。

如果 `Q_TAILSIT_MOTMX` 为零（默认值），表示不使用类似多旋翼飞行器的电机，它会向固定翼控制代码提供横滚、俯仰、偏航和推力（油门、左油门、右油门）值。这些值随后控制副翼、升降舵、方向舵和前向电机。

在设置尾座式飞机时，这样做的好处是，您可以按照常规的固定翼飞机设置指南在手动和 FBWA 模式下进行设置，然后切换到悬停模式时，所有控制方向都将正确。

这也意味着你可以操控任何能够进行 3D 飞行的固定翼飞机，以单电机或双电机尾座式飞行，并以 QSTABILIZE、QHOVER 和 QLOITER 等模式飞行。

`Q_TAILSIT_MOTMX` 不为零，它也可以像传统的飞行器一样配备类似旋翼机的电机。此时，该参数决定在正常的向前飞行（平面模式）中哪些电机保持激活状态。如果该参数不为零，则使用 `Q_FRAME_CLASS` 和 `Q_FRAME_TYPE` 参数配置多旋翼飞行器的电机类型，并激活相应的 `MOTORx` 输出。

`Q_FRAME_CLASS` 决定垂直起降电机的数量和布局，`Q_TAILSIT_MOTMX` 决定在固定翼模式下哪些电机处于活动状态，但对于无舵面的旋翼机尾座飞行器来说，旋翼机电机尾座飞行器即使在固定翼模式下飞行，也会像旋翼机模式一样持续运行电机（即始终运行电机以提供姿态控制，即使在低油门下也是如此）。

尾座式	开启	级别	类型	电机掩码	电机输出功能
3D 单电机	1	10 (单/双)	不适用	0	风门
双电机和双电机矢量	1	10 (单/双)	不适用	0	左侧油门, 右侧油门
带有固定翼舵面的旋翼机尾座式飞行器	1	与垂直起降固定翼电机数量相匹配	为了匹配电机混合	固定翼模式下的主动电机	电机 1- 电机 x
没有固定翼舵面的旋翼机尾座式飞行器	2	与垂直起降固定翼电机数量相匹配	为了匹配电机混合	固定翼模式下的主动电机	电机 1- 电机 x

开启这一列指的是 `Q_TAILSIT_ENABLE` 的参数, 而 `CLASS`、`TYPE` 和 `MOTORMASK` 分别指的是 `Q_FRAME_CLASS`、`Q_FRAME_TYPE` 和 `Q_TAILSIT_MOTMX`。

电机布局

飞行器尾座

`Q_TAILSIT_MOTMX` 为非零值, 则所有旋翼飞行器电机布局均支持 CopterMotor 尾座式布局。如果 `Q_TAILSIT_MOTMX` 为非零值, 则使用 `Q_FRAME_CLASS` 和 `Q_FRAME_TYPE` 参数配置多旋翼飞行器电机类型, 相应的 `MOTORx` 输出将被激活。

注意

在 4.1 之前的固件版本中, CopterMotor Tailsitters 无人机不使用任何偏航扭矩控制。横滚 (相对于机身) 仅由飞行舵面 (副翼或升降副翼) 控制。现在, QUAD PLUS 和 X 机架通过电机实现了偏航控制, 并且新增了 16 和 17 型机架, 它们像之前的 PLUS 和 X 版本一样, 没有偏航扭矩控制。

注意

(固件版本 4.1 及更早版本) 可以使用不带固定翼面的 CopterMotor Tailsitter 飞行器, 本质上就是一个带机翼的飞行器。对于这种配置, 所有 Copter 电机都应通过 `Q_TAILSIT_MOTMX` 设置为在固定翼模式下激活, 并且 `Q_OPTIONS` 位掩码的第 7 位 (强制 `QASSIST`) 应设置为在所有模式下都激活 `QASSIST`。对于固件版本 4.2 及更高版本, 对于这种配置, 请使用 `Q_TAILSIT_ENABLE = 2`, 这将始终强制启用 `QASSIST`。在这种情况下, `Q_TAILSIT_MOTMX` 将被忽略。

此外，还有两种专为飞行器尾座设计的配置可供选择，为飞行器式电机提供无偏航扭矩 (NYT) 控制：

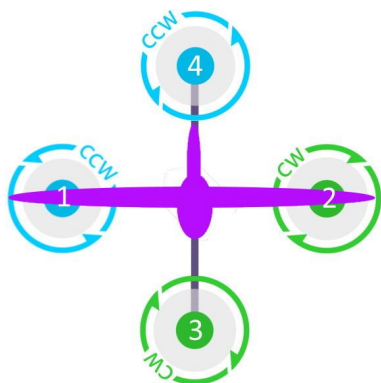
Q_FRAME_TYPE = 16 (Plus) 和 =17 (X)。

(从上方俯视鼻子)

NYT QUAD PLUS 电机尾座

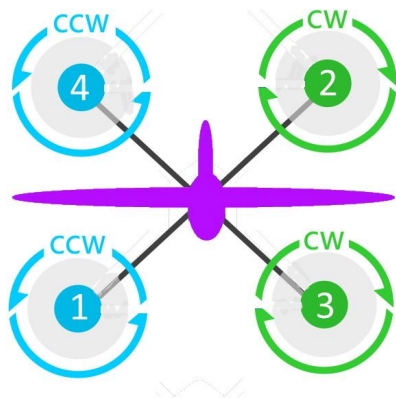
CW 为顺时针旋转，CCW 为逆时针旋转

电机由 M1-M4 输出控制：



NYT QUAD X 型电机尾座

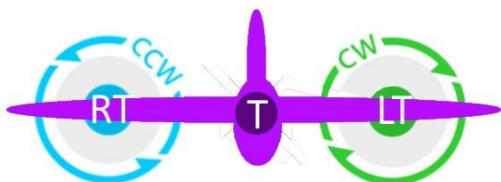
电机由 M1-M4 输出控制：



单/双电机尾座

如果 Q_TAILSIT_MOTMX 为零且 Q_FRAME_CLASS = 10，则采用单/双电机配置。电机也可以使用倾角舵机器进行矢量控制，从而获得更高的控制精度。如果不进行矢量控制，这些机架将依靠暴露在螺旋桨气流中的大型舵面来保持控制。电机布局如下所示：

电机由油门、左油门、右油门输出控制：



飞控方向

对于固定翼飞机飞行，应完成 AHRS_ORIENTATION 设置、加速度计校准和水平校准。固定翼飞机飞行被认为是尾座式飞手的“正常”飞行姿态。

- 在垂直起降飞行中，飞机机头会试图垂直指向天空，以实现“水平”飞行。
- 在固定翼飞机飞行时，机头会试图保持水平，以实现“平飞”。

关键参数

对于尾座式飞手来说，固定翼飞机飞行和垂直起降飞机的主要区别在于：

- 在垂直起降模式下，将使用旋翼机风格的 PID 增益（以 Q_A_RAT_x 开头的增益）。
- 在固定翼飞行时，将使用固定翼 PID 增益（RLL_RATE_x 和 PTCH_RATE_x 增益）。
- Q_TAILSIT_RLL_MX 允许将横滚限制角度设置为与 Q_ANGLE_MAX 不同的值。如果设置为零，则俯仰和横滚均受 Q_ANGLE_MAX 的限制。如果 Q_TAILSIT_RLL_MX 不为零，则横滚角度将受到限制，而俯仰最大角度仍为 Q_ANGLE_MAX。如果您的尾座式飞机能够达到远大于安全横滚角度的俯仰角度（某些机型仅靠偏航控制无法从高速刀刀飞行中恢复），则应设置此参数。
- Q_TRIM_PITCH 可用于补偿因推力线未穿过重心而导致的悬停俯仰角偏移，或用于抵消固定翼 AHRS 配平在巡航模式下设置迎角的影响，而无需使用 PTCH_TRIM_DEG 进行配平调节，因为 PTCH_TRIM_DEG 仅在固定模式下生效，而 AHRS 配平会影响所有模式。设置此参数可确保飞行器在 QSTABILIZE 或 QHOVER 模式下，在没有飞手操作的情况下不会向前或向后漂移。

提示

使用“LEVEL”校准位置（作为固定翼飞机的正常飞行姿态）校准加速度计后，您可能会发现垂直起降飞机在机头向上悬停时会向一侧（即地球坐标系下的横滚）以及前后漂移。虽然可以通过 Q_TRIM_PITCH 参数调节俯仰配平，但无法调节横滚配平。您可以在 Mission Planner 中使用“LEVEL”校准按钮（MAVProxy 中的“ahrstrim”命令）在垂直起降飞机机头向上悬停姿态下设置俯仰和横滚配平，但需要在执行此操作时将模式更改为 QSTABILIZE 或 QHOVER。这可能会改变固定翼飞机的俯仰配平，但不会改变固定翼飞机的横滚配平。因此，您可能需要重新调节 PTCH_TRIM_DEG 参数以及 Q_TRIM_PITCH 值，才能在固定翼飞行中获得所需的俯仰姿态，但这应该可以纠正侧向漂移。

矢量推力

如果你的尾座式飞机有矢量推力，那么你应该为左右电机的两个倾斜舵机以及左右电机的油门设置 SERVO_n_FUNCTION 值。

注意

所有尾座式飞机都会忽略 Q_TILT_TYPE 参数，需要连续输出舵机，并会适当地驱动倾斜舵机。

例如，如果您的左侧倾斜舵机是通道 5，右侧倾斜舵机是通道 6，则设置如下：

- `SERVO5_FUNCTION = 75`
- `SERVO6_FUNCTION = 76`

您需要将左侧油门分配给左侧电机，将右侧油门分配给右侧电机，例如分别使用 SERVO 7 和 SERVO 8 输出，对应左侧和右侧电机的电调：

- `SERVO7_FUNCTION = 73`
- `SERVO8_FUNCTION = 74`

您还需要设置正确的 `SERVOn_REVERSED` 值，以及适当的 `SERVOn_TRIM`、`SERVOn_MIN` 和 `SERVOn_MAX` 值。

`Q_A_ANGLE_BOOST` 参数。否则，当机头下沉时，油门会减小，导致机头下沉幅度更大，最终造成坠机。

警告

上锁后，切换到 QHOVER 或 QLOITER 模式会强制电机向前旋转至固定翼姿态。如果在此位置处于解锁状态，则在机腹飞行配置下可能会发生螺旋桨触地。当油门杆升至怠速以上时，倾斜机构会升至垂直起降位置，但此时触地已经发生。解决方法是短暂地将油门杆升至怠速以上，使倾斜机构升起，然后将油门杆回落至怠速，再进行解锁。自动模式起飞也需要执行此操作，应先从 QSTABILIZE 模式开始，此时电机已升至稳定位置并处于解锁状态，然后再切换到自动模式进行起飞。

TVBS

TVBS 是一种双电机矢量推力尾座式飞机，但它并非尾部着地，而是腹部着地。除了确保螺旋桨在水平姿态下有足够的间隙（即俯仰舵机行程足够）之外，无需任何特殊操作即可使其从水平姿态起飞。

油门行程至少需要达到中立位置（固定翼飞行位置）两侧各 45 度，60 度最佳。否则，起飞时，当你加大油门使飞行器垂直起降时，飞行器会轻微地“滑行”。起飞时，需要果断地加大油门，使飞行器悬停或保持悬停状态，以减少这种“滑行”。

对于固定翼飞机手动油门控制模式下的着陆，可以使用 `RCx_OPTION` (89) 选项，该选项会在油门怠速时强制倾斜舵机保持直立状态，并可选择强制俯仰角达到目标值 `LAND_PITCH_DEG`，以便进行正常的固定翼着陆。这使得在 MANUAL、ACRO、STABILIZE 和 FBWA 模式下进行有意或紧急的固定翼着陆成为可能，而无需担心在其他情况下可能发生螺旋桨触地的情况。

矢量增益

有两种矢量推力增益可供选择。一种控制悬停时的矢量推力运动量，另一种控制前飞时的矢量推力运动量。

Q_TAILSIT_VHGAIN 参数控制悬停时的矢量推力。典型值约为 0.8，这可以对悬停时的矢量推力进行较大程度的控制。此控制与副翼混控增益（由 MIXING_GAIN 控制）的控制相结合。

Q_TAILSIT_VFGAIN 参数控制前飞时的矢量推力。典型值约为 0.2，这可以对前飞时的矢量推力进行少量控制。此控制与副翼混合增益（由 MIXING_GAIN 控制）的控制相结合。

Q_TAILSIT_VHGAIN、Q_TAILSIT_VFGAIN 和 MIXING_GAIN 的相对值，您可以调节在每种飞行模式下，您对升降副翼和推力矢量控制的程度。

旋翼机电机 PID 增益缩放

舵面运动与速度的关系有多种调节方案。舵面的有效性取决于其所感知的空速，在尾座式布局中，空速很大程度上受电机布局和螺旋桨气流的影响。推力较大、舵面较小的尾座式旋翼机对这些增益调节参数的敏感度较低。对于舵面较大的飞行器，必须谨慎设置增益调节参数，使其与飞行器配置相匹配。

Q_TAILSIT_GSCMSK 选择，它是一个位掩码，有些选项可以组合使用，有些选项必须单独使用。

Q_TAILSIT_GSCMIN 和 Q_TAILSIT_GSCMAX 设置。如果方案整体运行良好，但在某些极端情况下会受到影响，则可以调节这些端点值。

节流缩放（位 0）

舵面的移动幅度将直接与油门成比例。油门越大，舵面的移动幅度越小；油门越小，舵面的移动幅度越大。这种方法始终用于非旋翼机尾座飞行器的推力矢量缩放，与 Q_TAILSIT_GSCMSK 无关。

降低高油门/倾斜角度下的增益（位 1）

基于姿态/油门的增益衰减功能，可在高倾角和高油门水平下减小舵面偏转，以防止高速飞行时出现振荡。此功能可与油门缩放功能结合使用。

磁盘理论（位 2）

圆盘理论增益缩放旨在计算螺旋桨气流和前向空速共同作用下舵面上的空速。要进行此计算，必须设置 Q_TAILSIT_DSKLD 值。该值是飞机重量（单位：千克）除以螺旋桨圆盘总面积。每个螺旋桨的圆盘面积根据其半径计算，然后将所有螺旋桨的圆盘面积相加。这可以计算螺旋桨正后方的空速，但在实际飞行器中，并非所有舵面都处于螺旋桨气流的直接作用范围内。

例如，如果一半的舵面处于螺旋桨气流中，则计算出的盘载荷值也应减半。为了获得最佳性能，需要进行一些调节。如果在高油门下出现振荡，则应降低 Q_TAILSIT_DSKLD 的值。

为了获得最佳效果，应安装空速传感器。

高度修正（位 3）

增益与海拔高度成正比，在较大海拔范围内操作时应考虑这一点，此方法可以与任何其他方法结合使用。

过渡

尾座飞行过渡与其他飞行器过渡略有不同。

Q_TAILSIT_ANGLE 指定垂直起降模式下，机头向下俯仰的角度达到多少度后，飞行模式才会完成向前飞行。例如，60 度的值表示当机头到达地平线以上 30 度（垂直向下 60 度）时，飞行模式会从旋翼机切换到固定翼飞机（向前飞行）。俯仰速率由 Q_TAILSIT_RAT_FW 指定，该速率将保持到达到 Q_TAILSIT_ANGLE 的值为止。

从前飞过渡到垂直起降（VTOL）时，飞机控制器将一直工作到机头高度达到地平线以上 Q_TAILSIT_ANG_VT 为止。如果 Q_TAILSIT_ANG_VT 为 0，则前飞和后飞过渡都将使用 Q_TAILSIT_ANGLE。俯仰角调节到垂直起降飞行时使用的俯仰角速率由 Q_TAILSIT_RAT_VT 给出，该速率将保持到达到 Q_TAILSIT_ANG_VT 为止。

注意

如果在地面上进行反向转换（例如，在飞行模式、零油门、解锁状态下，然后切换到垂直起降模式），电机将立即开始旋转，直到“转换”完成且电机向上倾斜为止。这可能会导致地面移动。为了防止这种情况发生，您可以设置 Q_OPTIONS 的第 18 位，以防止在未处于垂直起降模式时解锁。

根据进入速度和过渡所需时间，飞行器可能会获得高度提升，有时甚至会显著提升，因为在过渡到垂直起降（VTOL）的过程中，油门始终设置为当前的 Q_M_THRST_HOVER 悬停推力值。可以通过设置 Q_TAILSIT_THR_VT 来将其更改为较低的值。通过实验，改变固定翼到垂直起降过渡的速率、角度以及此参数，可以实现近乎水平的高过渡。特别是对于没有舵面的旋翼机式尾座飞行器，使用 Q_TAILSIT_ENABLE = 2 可以保持姿态控制在低油门或零油门值下仍然有效。

注意

在过渡期间，飞手的输入将被禁用，飞机姿态和油门完全由飞控控制。

提示

过渡完成后，系统会向地面控制站 (GCS) 发送消息，这些消息可以在任务规划器的“消息”选项卡中找到。如果过渡未正常完成，则应检查过渡参数和飞行器调参。例如，一条消息可能是“过渡固件完成，超时”，超时时间是根据角度和速率参数计算出的预期过渡时间的 1.5 倍。

舵面

虽然通常不建议这样做，但也可以操控没有舵面的尾座式飞机。务必先确保飞机在悬停模式下飞行良好。

- Q_OPTIONS 位 7：强制 Qassist 将强制飞机在所有飞行模式下使用飞行器控制器。

- Q_OPTIONS 位 8: Mtrs_Only_Qassist 允许使用旋翼机控制器来控制电机，但将任何舵面保留在飞机控制之下，这使得舵面可以作为电机的“微调片”。

尾座输入

Q_TAILSIT_INPUT 参数更改悬停时尾座飞行器控制输入的解释方式。选项包括：

- Q_TAILSIT_INPUT = 0 表示悬停时飞机的响应方式与多旋翼飞行器类似，偏航杆控制地面坐标系下的偏航，横滚杆控制地面坐标系下的横滚。对于习惯操控多旋翼飞行器的飞手来说，这是一个不错的选择。
- Q_TAILSIT_INPUT = 1 表示悬停时飞机的响应方式与 3D 飞机类似，偏航杆控制地球坐标系下的横滚，横滚杆控制地球坐标系下的偏航。对于习惯于螺旋桨悬停飞行 3D 飞机的飞手来说，这是一个不错的选择，但由于地球坐标系下多旋翼飞行器的控制输入，在进行地面飞行时不太实用。
- Q_TAILSIT_INPUT = 2 和 3 表示飞机在水平飞行时，其响应方式与 3D 飞机类似，偏航杆控制地球坐标系下的偏航，横滚杆控制机身坐标系下的横滚。悬停时，这些选项的行为分别与类型 0 和 1 相同。这是通过将横滚和偏航指令输入分解为机身坐标系下的横滚和偏航分量来实现的，分解方式是根据欧拉俯仰角进行的。

注意

由于尾座式飞行器机身相对于多旋翼飞行器机身的旋转，横滚限制由参数 Q_YAW_RATE_MAX（单位：度）设定，偏航速率限制由参数 Q_TAILSIT_RLL_MX（单位：度/秒）设定。俯仰限制由参数 Q_ANGLE_MAX（单位：度）设定，如果 Q_TAILSIT_RLL_MX 为零，则该参数也用作偏航速率限制。如果任何速率限制对于飞行器而言过高，则在高速率下可能会出现姿态控制故障。

重心

对于尾座式飞机而言，重心位置的重要性还体现在另一个维度上。悬停时，飞机机腹或机尾的重量不能过大，否则会导致飞机向前或向后倾斜。这一点对于非矢量尾座式飞机尤为重要。

解锁报错问题

由于 DCM 在飞机垂直向上时，罗盘融合偏航角存在问题，有时在飞机上电且机头朝上时，AHRS 子系统会出现不一致的情况。罗盘校准中的微小误差虽然会导致校准成功，但可能会加剧这种现象。

结果是，某些设置会导致预启动失败。通常表现为“预启动：DCM 横滚/俯仰不一致 x 度”或类似错误。如果这种情况持续发生，则可以使用以下两种解决方案之一：

- 水平启动，并允许飞控在此位置开始初始化。IMU 倾斜初始化完成后（通常在最初的 10 到 15 秒左右），即可将 Tailsitter 设置为垂直位置，以完成剩余的初始化过程（即 GPS 锁定且 EKF 正在使用 GPS 之后），然后解锁。

- 或者，如果遇到上述的预解锁故障，请将尾座水平放置 10-30 秒，以便各个 AHRS 子系统同步。之后即可将其升起，解锁过程应该可以正常进行。

6.4.4、ESC 校准

大多数基于 PWM 的电调都需要校准，以确保所有电调对相同的输入信号响应速度一致。校准方法是：在电调初始通电时接收最大 PWM 输入信号，然后在电调发出蜂鸣声表示已接收到最大信号后，接收最小 PWM 输入信号。

警告

在进行任何电调校准之前，必须先拆下飞机上的所有螺旋桨。在装有螺旋桨的情况下进行校准非常危险。

ESC 校准过程

此过程使用 Q_ESC_CAL 参数在 QSTABILIZE 模式下启用 ESC 校准。有两种操作模式可用：

- 当 Q_ESC_CAL=1 时，飞机处于 QSTABILIZE 模式并处于解锁状态时，电机输出将直接来自油门杆。
- 当 Q_ESC_CAL=2 时，电机启动后，输出至电机的油门将达到全开。

使用 Q_ESC_CAL=1 时的流程是

- (1) 为了安全起见，请拆下螺旋桨
- (2) 只给飞行板供电，不要给电机供电。如果使用电池供电时无法隔离电调的电源，则使用 USB 电源给飞行板供电
- (3) 将 Q_ESC_CAL 参数设置为 1
- (4) 切换到 QSTABILIZE 模式
- (5) 关闭安全开关以激活输出
- (6) 启动你的飞行器。所有飞行器电机的 PWM 输出现在都将由你的油门杆控制
- (7) 将油门杆推到最大位置
- (8) 连接电池即可为电调供电
- (9) 等待电调发出蜂鸣声，表示已检测到最大脉冲宽度调制 (PWM)
- (10) 将油门杆降至最低位并上锁
- (11) 电调发出哔哔声，表示它们已经检测到油门范围

使用 Q_ESC_CAL=2 时的过程是

- (1) 为了安全起见，请拆下螺旋桨

- (2) 只给飞行板供电，不要给电机供电。如果使用电池供电时无法隔离电调的电源，则使用 USB 电源给飞行板供电
- (3) 将 Q_ESC_CAL 参数设置为 2
- (4) 切换到 QSTABILIZE 模式
- (5) 关闭安全开关以激活输出
- (6) 解锁您的飞行器。所有飞行器电机的 PWM 输出现在都将达到最大值
- (7) 连接电池即可为电调供电
- (8) 等待电调发出蜂鸣声，表示已检测到最大脉冲宽度调制 (PWM)
- (9) 上锁
- (10) 你应该会听到电调发出哔哔声，表示它们已经检测到油门范围

请注意，使用 Q_ESC_CAL=1 可以有效地测试电机的响应。这是唯一一种能够同时直接控制所有电机油门大小的模式。在此模式下，如果您有激光转速表，可以使用它来测试不同油门大小下的电机转速。

警告

请务必将 Q_ESC_CAL 设置为零，以确保正常运行。

6.4.5、垂起固定翼参数设置

所有飞行器特有的参数都以“Q_”为前缀。这些参数与对应的旋翼飞行器参数非常相似，因此如果您熟悉旋翼飞行器的参数，设置飞行器应该很容易。

关键参数

- 要启用垂起固定翼功能，您需要将 Q_ENABLE 参数设置为 1，然后刷新参数列表。
- Q_M_PWM_MIN 和 Q_M_PWM_MAX 参数以及驱动这些电机的输出的 SERVOx_MIN/MAX 参数将被忽略。这些参数需要设置为您的电调 (ESC) 所期望的范围。
- 最关键的调优参数是 Q_A_RAT_RLL_P 和 Q_A_RAT_PIT_P。它们的默认值为 0.25，但您可能会发现垂起固定翼模型需要更高的值。
- Q_M_SPIN_ARM 参数对于在垂直起降模式下解锁时获得正确的电机输出水平至关重要。
- 建议您将 ARMING_RUDDER 设置为 2，以便启用方向舵解锁功能。或者，您可以将 MANUAL 设置为可用飞行模式之一（因为该模式会关闭飞行器的电机）。请注意，飞行时切勿同时使用左舵和零油门，否则可能会导致电机解锁。
- 默认 SCHED_LOOP_RATE 为 300 Hz。大多数飞行器无需提高此值。一些非常小的飞行器 (< 1 公斤) 可能需要将其设置为 400 Hz。对于较重的飞行器，由于其惯性较大，有效控制响应速度较低，因此提高环路速率并不会对其带来益处。对于这些飞行器，将其提高到 300 Hz 以上只会导致日志文件增大。

姿态限制参数

垂直起降模式下的俯仰和横滚限制由 Q_ANGLE_MAX 或固定翼限制（PTCH_LIM_MAX_DEG、PTCH_LIM_MIN_DEG 和 :ref:`ROLL\_LIMIT\_DEG<ROLL\_LIMIT\_DEG>`）中的较小者控制，但仅符合 Q_ANGLE_MAX 可以通过 Q_OPTIONS 位 14 来控制。

此外，Q_BCK_PIT_LIM 参数用于设置 Q 模式下空速为 AIRSPEED_MIN 时的最大后仰或上仰角度，以防止减速时上仰造成的结构载荷过大。此参数控制的后仰/上仰限制是对上述参数限制的补充。Q_BCK_PIT_LIM 限制仅在 Q_FWD_THR_USE 设置为 1 或 2 且飞行器处于使用前推油门而非前倾来产生前进速度的飞行模式时生效。设置为 0 则禁用此限制。

返航设置指南：

虽然有很多参数可以设置各种返航模式/行为的距离和高度，但这是一个基本行为的快速设置指南。

RTL 模式

是一种固定翼返航模式，通常会飞回起飞点并盘旋，但也可以选择执行自动任务序列，通常由用户设置，使飞行器以固定翼模式降落在起飞点。

如果从垂直起降飞行模式进入 RTL 模式，则可以通过 Q_RTL_MODE 参数选择其他几种行为选项。

QRTL 模式

在离家较远的地方飞行时，飞机将以垂直起降（VTOL）模式返航并降落；如果距离较远，则会切换到固定翼飞行模式，直到接近家时再切换回垂直起降模式降落。快速返航（QRTL）模式始终以垂直起降模式降落，除非飞手中断飞行。

遥控故障保护

遥控信号丢失时，可能会切换到返航模式或其他几种行为。

设置

(1) 在固定翼飞行中，遥控信号丢失时间超过 FS_LONG_TIMEOUT，请设置以下 FS_LONG_ACTN 值以获得各种行为选项：

- “0”：如果处于自动模式则不执行任何操作，否则切换到 RTL 模式（参见下面的第 3、4 点）
- “1”：切换到 RTL 模式（参见下面的第 3、4 点）
- “2”：切断油门并在 FWBA 模式下滑翔
- “3”：展开降落伞（假设您已准备好降落伞）
- “4”：切换到自动模式，并从当前任务序列指针执行任务

- (2) 如果在垂直起降飞行中，遥控信号丢失时间超过 `FS_LONG_TIMEOUT`，则将立即进行 `QLAND` 着陆，除非您选择以下可选行为：
- 设置 `Q_OPTIONS` 的第 5 位以切换到 `QRTL` 模式。（参见下文第 5 点）
 - 设置 `Q_OPTIONS` 的第 20 位可切换到 `RTL` 模式（参见下文第 3、4 点）。如果上面设置了第 5 位，则会忽略该位，而使用此选项位。
- (3) 每次切换到 `RTL` 模式（无论是手动模式更改还是故障保护操作）时，您是否希望执行自动着陆序列（如果需要其他操作，则不需要实际的着陆命令），而不是仅仅返回并在基地附近盘旋？
- 如果答案是肯定的，则设置 `DO_LAND_START` 任务序列并启用 `RTL_AUTOLAND` 参数。
- (4) 如果处于垂直起降 (`VTOL`) 模式，并且切换到返航 (`RTL`) 模式（无论是手动模式更改还是故障保护操作），则按如下方式设置 `Q_RTL_MODE` 参数值以确定其行为：
- “0”：切换到正常 `RTL` 模式，过渡到固定翼（参见上面的第 3 点）
 - “1”：过渡到固定翼，飞向家，接近家时过渡回垂直起降模式，飞到家上空，切换到 `QLAND` 模式，并以垂直起降模式降落在家。
 - “2”：切换至固定翼模式，飞向家，在家附近盘旋至一定高度，迎风转弯，切换回垂直起降模式并飞越家上空，切换到 `QLAND` 模式并以垂直起降模式降落在家。
 - “3”：切换到 `QRTL`：过渡到固定翼，并进行特殊的返航进近，包括“空中刹车”，过渡回 `VTOL` 模式，移动到家上空，切换到 `QLAND` 并以 `VTOL` 模式降落在家。
- (5) 切换到 `QRTL` 模式时，默认行为是：如果处于垂直起降 (`VTOL`) 模式（假设您尚未接近返航点），则切换到固定翼飞行，飞回返航点，然后在接近返航点时切换回垂直起降模式，飞越返航点上空时切换到 `QLAND` 模式，最后降落。如果设置了 `Q_OPTIONS` 的第 16 位，则可以禁用固定翼进近，仅使用垂直起降模式返回返航点并降落。

Q_OPTIONS

此外，可以通过设置 `Q_OPTIONS` 位掩码参数来修改垂起固定翼的行为（默认情况下未设置任何位）：

- 如果设置位 0 (+1)，则会强制从垂直起降模式过渡到飞机模式，以保持机翼水平，并且在过渡期间不会使用垂直起降电机开始爬升（例如在垂直起降起飞后执行前往更高航点的任务）。
- 如果设置了位 1 (+2)，则对于只能发送 `TAKEOFF` 指令而不能单独发送 `VTOL_TAKEOFF` 任务指令的地面站，将使用固定翼飞机起飞而不是垂直起降 (`VTOL`) 起飞。否则，垂起固定翼将对 `TAKEOFF` 任务指令使用垂直起降 (`VTOL`) 起飞。

- 位 2 (+4) 如果设置，则对于只能发送 LAND 指令而不能发送单独的 VTOL_LAND 任务指令的地面站，将使用固定翼飞机着陆而不是垂直起降飞机着陆。否则，垂起固定翼将使用 VTOL_LAND 作为 LAND 任务指令。
- 位 3 (+8) 如果设置，则会将 VTOL_TAKEOFF 任务的起飞高度解释为在任务规划器中设置时指定的高度（即相对于基地/绝对高度 {ASL}/地形高度 {AGL}）。否则，它将相对于起飞点的高度（AGL）。
- 如果设置了位 4 (+16)，表示“始终使用前轴螺旋进近”，则在执行 VTOL_LAND 任务指令时，飞机不会切换到垂直起降模式并进行垂直起降着陆，而是保持在平面模式，并爬升或下降到 VTOL_LAND 航路点中设定的高度，然后飞往着陆位置。当飞机到达着陆位置的 Q_FW_LND_APR_RAD 范围内时，将执行 LOITER_TO_ALT 指令以完成爬升或下降到航路点中设定的高度，然后迎风转向，切换到垂直起降模式并飞往着陆位置着陆。否则，将执行标准的 VTOL_LAND 任务。
- 如果设置了第 5 位 (+32)，则在垂直起降模式下，QLAND 将被 QRTL 替换为 QLAND，以实现故障保护功能。
- 如果设置了第 6 位 (+64)，即使在手动模式下也会强制执行 ICE 怠速调速器。
- 如果设置了第 7 位 (+128)，则会在垂直起降模式下强制 QASSIST 始终处于激活状态。
- 位 8 (+256)，如果设置，QASSIST 将仅影响垂直起降电机。如果未设置，QAssist 还将使用飞行舵面进行稳定（辅助固定翼飞行）。
- 在通过遥控开关解锁时启用空中模式 (AirMode)。
- 如果设置了位 10 (+1024)，则允许倾斜舵机器在矢量倾斜设置中随舵输入移动，同时上锁以确定运动范围。
- 如果设置位 11 (+2048)，则会延迟垂直起降电机启动，直到解锁后 2 秒。
- 位 12 (+4096)，如果设置，则在使用合成空速时禁用基于速度的 Qassit 功能。
- 位 13 (+8192) 如果设置，将禁用由于地面效应压力引起的气压地面效应补偿。
- 位 14 (+16384)，如果设置，则忽略 Q 模式下的前向飞行角度限制，否则 PTCH_LIM_MAX_DEG、PTCH_LIM_MIN_DEG 和 ROLL_LIMIT_DEG 可以限制 VTOL 模式下的 Q_ANGLE_MAX。
- 如果设置了位 15 (+32768)，则允许飞手在垂直起降自动着陆阶段控制下降，类似于在悬停或盘旋阶段操作油门杆。但是，此功能只有在下降过程中油门杆至少一次抬升至 70% 以上才会生效。
- 如果设置位 16 (+65536)，将禁用 QRTL 模式和 VTOL_LANDING 任务项中的固定翼进近。
- 如果设置位 17 (+131072)，则可在垂直起降自动着陆阶段启用飞手水平重新定位，并在执行此操作时暂时暂停下降。
- 位 18 (+262144) 如果设置，则仅允许在垂直起降 (VTOL) 和自动 (AUTO) 模式下解锁。这可用于尾座飞手在垂直起降 (VTOL) 飞行姿势下防止在固定翼模式下解锁，从而避免飞机倾覆。对于自动 (AUTO) 模式，必须以垂直起降方式起飞才能启用此选项解锁。

- 如果设置了位 19 (+524288)，则在 Q_TRANS_FAIL 不为零且超过该值，并且空速大于 AIRSPEED_MIN 的一半时，将强制垂直起降 (VTOL) 到固定翼的转换。此时，到固定翼的转换将立即完成，而不是执行 Q_TRANS_FAIL_ACT 操作。
- 位 20 (+1048576) 置位时，会覆盖位 5 置位时的值，并在垂直起降模式下强制执行遥控失效保护的返航 (RTL) 操作。这在水上作业中非常有用，因为此时不宜使用快速着陆 (QLAND) 或快速返航 (QRTL)。
- 位 21(+2097152)，如果设置，则在 FW 模式（手动模式除外）上锁时，倾斜电机向上倾斜，以防止地面撞击。
- 位 22 (+4194304)，如果设置，则在垂直起降模式下，固定翼 FF PID 增益按垂直起降/固定翼角度 P 增益的比值进行缩放，而不是根据空速降低垂直起降角度 P。仅在高速后退过渡过程中出现振荡时使用。

也可以通过 Q_RTL_MODE 和 Q_GUIDED_MODE 参数修改动作。

警告

如果将 INITIAL_MODE 设置为 VTOL 模式，然后在解锁之前切换到固定翼（MANUAL/ACRO/TRAINING 除外），则实际上会进入 VTOL 过渡状态，解锁后，电机将开始旋转，如果倾斜，则会移动到垂直位置。

注意

飞行器的代码需要 GPS 定位才能正常运行。如果 GPS 定位不可用，飞机代码会禁用姿态和位置的惯性估计。请勿尝试在室内飞行飞行器，否则飞行性能会很差！

6.4.6、飞行模式

自稳模式 QStabilize Mode

该模式允许您手动操控飞行器，但会自动调节横滚轴和俯仰轴的水平。

提示

如果你正在学习飞行，请尝试使用悬停或留待模式，而不是自稳模式。这样可以减少同时操作多个控制键的次数，从而降低坠机风险。

警告

虽然自稳模式不一定需要 GPS，但在紧急情况下切换到 QRTL 或 RTL 模式则需要。请确保在解锁前获得可靠的大概位置。默认情况下，解锁检查需要此信息。强烈建议不要禁用这些检查。

警告

不建议高速倒飞飞行器或逆风倒飞，因为飞机舵面会向后运动，可能会增加不稳定性。

概述

- 飞手通过控制横滚和俯仰杆来控制飞行器的倾斜角度。当飞手松开横滚和俯仰杆时，飞行器会自动恢复水平。
- 飞手需要定期输入横滚和俯仰指令，以保持飞机在风力作用下保持静止。
- 飞手的偏航输入控制着航向的变化率。当飞手松开偏航杆时，飞行器将保持当前航向。
- 飞手的油门输入控制着电机的平均转速，这意味着需要不断调节油门才能保持飞行高度。如果飞手将油门完全放下，电机将降至最低转速（Q_M_SPIN_ARMED），如果飞行器正在飞行，将失去姿态控制并翻滚。
- 发送到电机的油门会根据飞机的倾斜角度自动调节（即飞机倾斜角度越大，油门越大），以减少飞手在飞机姿态变化时必须进行的补偿。

注意

如果自动操控系统无法控制飞行器，请务必切换到手动模式，例如 QSTABILIZE 自稳模式。

常见问题

- 飞行器起飞后立即翻转。这通常是由于电机顺序错误、旋转方向错误或使用了错误的螺旋桨（顺时针与逆时针）造成的。请检查飞控的遥控器连接。
- 飞行器在横滚轴或俯仰轴上出现晃动。这通常意味着速率 P 值不正确。
- 飞行器在快速下降时会发生晃动。这是由于飞行器在自身螺旋桨气流的作用下下落造成的。
- 飞行器起飞时偏航向左或向右 15 度。部分电机可能未调直，或者电调需要校准。
- 飞行器无法保持高度或绝对静止。这是一种手动飞行模式，需要持续控制摇杆来保持高度和位置。
- 偶尔出现横滚或俯仰抖动。通常是由接收器上的某种干扰（例如 FPV 设备离接收器太近）或电调问题引起的，这些问题可以通过飞行器电调校准来解决。
- 飞行过程中突然翻滚。这经常都是由电机或电调的机械故障引起的。

悬停油门

通常情况下，飞手希望在任何模式下油门杆处于中位时飞机都能悬停，这样无需改变油门位置即可轻松完成模式之间的切换。这可以通过 Q_M_THST_HOVER 参数进行调节，或者在 QHOVER 悬停或 QLOITER 留待模式下启用 Q_M_HOVER_LEARN。

悬停模式 QHOVER Mode

在 QHOVER 悬停模式下，飞行器会保持恒定的高度，同时允许正常控制横滚、俯仰和偏航。

概述

选择高度保持模式（悬停模式，又称 QHOVER）时，油门位置用于控制爬升或下降率，油门杆位于中间位置时保持当前高度。横滚、俯仰和偏航的操作方式与 QSTABILIZE 自稳模式相同，这意味着飞手可以直接控制横滚角、俯仰角和航向。

注意

飞控使用气压计测量气压来确定高度，如果由于极端天气导致飞行区域的气压发生变化，飞行器将跟随气压变化而不是实际高度。

控制

飞手可以通过油门杆控制飞行器的爬升或下降速度。

- 如果油门杆位于 RCn_DZ 设置的中间死区内（其中 n 是映射到油门输入的通道），则飞行器将保持当前高度。油门通道死区的默认值为 60（+/- 6%）。
- 在油门中段死区之外，飞行器将根据操纵杆的偏转情况下降或上升。当操纵杆完全向下时，飞行器将以 Q_PILOT_SPD_DN 的速度下降；如果操纵杆位于最高点，则将以 Q_PILOT_SPD_UP 的速度上升。

调参

Q_P_POSZ_P 用于将高度误差（期望高度与实际高度之差）转换为期望的爬升率或下降率。较高的速率会使飞机更积极地尝试保持高度，但如果设置过高，则会导致油门响应不灵敏。

Q_P_VELZ_P（通常不需要调节）将所需的爬升率或下降率转换为所需的向上或向下加速度。

Q_P_ACCZ_P、Q_P_ACCZ_I 和 Q_P_ACCZ_D 增益将加速度误差（即期望加速度与实际加速度之差）转换为电机输出。如果修改这些参数，应保持 P 与 I 的 1:2 比例（即 I 是 P 的两倍）。这些值一般都不增加，但对于功率非常大的飞行器，将两者都降低 50%（即 P 降至 0.5，I 降至 1.0）可能会获得更好的响应。

使用数据闪存日志验证高度保持性能

查看高度保持性能的最佳方法是从您的飞行中下载数据闪存日志，然后用任务规划器打开它，并绘制气压计高度、期望高度和基于惯性导航的高度估计值：QTUN 的 BarAlt（气压计高度）、DAIt（期望高度）和 Alt（惯性导航高度估计）。

常见问题

- (1) 剧烈振动会导致飞行器在启用高度保持功能后迅速爬升。

- (2) 当飞行器进入高度保持模式时，电机似乎会短暂停止运转，但随后很快恢复。这种情况通常发生在飞手快速爬升时进入高度保持模式。目标高度是在飞手切换到高度保持模式的瞬间设定的，但由于飞行器上升速度很快，它会飞到目标高度之上。此时，高度保持控制器会迅速做出反应，将电机功率暂时降低到接近最小值，直到飞行器开始回落到目标高度。解决方法是在飞行器处于稳定飞行高度时进入高度保持模式。
- (3) 气压变化会导致飞行器在较长时间内上下漂移几米，或者导致地面控制站 (GCS) 显示的高度出现几米的误差，包括偶尔出现负高度（即低于基地高度的高度）。
- (4) 飞行器高速前飞后平飞时，会出现 1~2 米的瞬时高度损失。这是由于空气动力学效应导致飞行器顶部（飞控所在位置）形成瞬时低压区，使 QHOVER 控制器误认为飞行器正在爬升，从而导致下降。目前尚无有效方法解决此问题，虽然增加 EKx_ALT_M_NSE 参数可以减轻这种影响，但会增加上述常见问题 (1) 的发生概率。EKx_ALT_M_NSE 参数的设置范围为 0.1 至 10.0，增量为 0.1。
- (5) 当飞行器接近地面或着陆时，高度保持功能会变得不稳定。这可能是由于螺旋桨气流引起的压力变化影响了气压计的读数。解决方法是将飞控移出螺旋桨气流的影响范围，或将其置于通风良好的封闭空间内。
- (6) 气压计受到光线照射而导致高度突然变化。确保阳光无法照射到气压计即可解决此问题。
- (7) 飞行器会缓慢下降或上升，直到飞手在稳定模式下重新控制。这通常是由于油门杆未处于中间位置造成的。这种情况常见于飞手从手动飞行模式（例如 QSTABILIZE 自稳模式）切换到高度保持模式时，而飞行器在油门杆处于中间位置时无法悬停。

充足的电力

确保飞行器拥有充足的动力至关重要。否则，高度保持和姿态控制器所需的动力可能超过一个或多个电机的可用功率，从而被迫牺牲部分控制能力，最终导致姿态或高度损失。

理想情况下，飞机应该能够在 50%油门左右（油门杆处于中间位置）时悬停，而超过 70% 的油门都是危险的。

警告

如果你在遥控器上加入指数曲线，则会直接增加油门死区的有效区间。

留待模式 QLOITER Mode

QLOITER 留待模式会自动尝试保持当前位置、航向和高度。飞手可以在 QLOITER 模式下像在手动飞行模式下一样操控飞行器，但当松开操纵杆时，飞行器会减速直至停止并保持当前位置。

良好的 GPS 定位、指南针的低磁干扰和低振动对于 QLOITER 模式至关重要。

控制

飞手可以通过操纵杆控制飞行器的位置。

- 可以通过横滚和俯仰控制杆调节水平位置，默认最大水平速度为 5 米/秒。当飞手松开控制杆时，飞行器将减速直至停止。
- 高度可以通过油门控制杆进行控制，就像在 QHOVER 悬停模式下一样。
- 航向可以通过偏航控制杆进行设置。

飞机在 QLOITER 模式下可以像其他模式一样进行解锁，但前提是 GPS 必须已完成 3D 定位，且 HDOP 值必须低于 2.0。除非默认的解锁检查已修改为不检查 GPS（不建议这样做！）。

调参

QLOITER 模式整合了 QHOVER 模式的高度控制器。

- Q_LOIT_SPEED：最大水平速度，单位为厘米/秒（例如 1250 = 12.5 米/秒）
- Q_LOIT_ACC_MAX：最大加速度，单位为厘米/秒²。数值越高，飞行器加速和停止的速度越快。
- Q_LOIT_ANG_MAX：最大倾斜角度，单位为厘米-度（例如，3000 = 30 度）。默认值为零，此时将使用 ANGLE_MAX 参数的值。
- Q_LOIT_BRK_ACCEL：制动时的最大加速度（单位：厘米/秒²，即飞手将操纵杆移至中心位置）。数值越高，飞机停止速度越快。
- Q_LOIT_BRK_DELAY：飞手将操纵杆置于中心位置后，刹车开始前的延迟时间（以秒为单位）。
- Q_LOIT_BRK_JERK：制动过程中加速度的最大变化量，单位为厘米/秒²/秒²。数值越高，飞机达到最大制动角度的速度越快；数值越低，制动过程越平顺。
- Q_P_NE_POS_P：将水平位置误差（即期望位置与实际位置之间的差异）转换为朝向目标位置的期望速度。通常不需要调节此参数。
- Q_P_VELXY_P 将期望的朝向目标的速度转换为期望的加速度。由此得到的期望加速度会转化为倾斜角，然后传递给与 QSTABILIZE 相同的角度控制器。通常不需要调节此值。

常见问题

- (1) 飞机行驶轨迹出现圆圈，这通常是由指南针故障引起的，最常见的原因是飞控下方电源线的磁干扰。其他可能的原因包括在实时校准过程中设置的指南针偏移量错误，或者指南针方向不正确。
- (2) 飞机一旦启用 QLOITER 功能，就会朝错误的方向行驶。原因与问题（1）相同，只是指南针误差大于 90 度。
- (3) 飞行器正常盘旋后突然朝错误方向起飞。这通常是由 GPS 故障引起的。目前尚无 100%可靠的防护措施来应对此类故障，这意味着飞手应始终做好接管手动控制的准备。此外，起飞前确保良好的 GPS HDOP 值，降低 EK2_GLITCH_RAD/EK3_GLITCH_RAD 参数可能有助于提高故障检测的灵敏度。

- (4) 飞行器会缓慢下降或上升，直到飞手在稳定模式下重新控制。这通常是由于油门杆未处于中间位置造成的。这种情况常见于飞手从手动飞行模式（例如 QSTABILIZE）切换到高度保持模式时，而飞行器在油门杆处于中间位置时无法悬停。

使用数据闪存日志验证 QLOITER 性能

查看 QLOITER 的水平性能的最佳方法是下载飞行数据闪存日志，然后使用任务规划器打开它，并绘制 NTUN 消息的 DesVelX 与 VelX 以及 DesVelY 与 VelY 的关系图。在性能良好的飞行器中，实际速度将跟踪期望速度，如下所示。X = 纬度（正值表示向北移动，负值表示向南移动），Y = 经度（正值表示向东移动，负值表示向西移动）。

着陆模式 QLAND Mode

QLAND 着陆模式尝试使飞行器在进入该模式时所在的位置直线下降，以 Q_WP_SPEED_DN 的速度下降到 Q_LAND_FINAL_ALT，直到到达 Q_LAND_FINAL_ALT，此时它将继续以 Q_LAND_FINAL_SPD 的速度下降，直到着陆。

注意

如果飞行器电机转速保持在最低值 5 秒，且飞行高度在 4 秒内变化不超过 0.2 米，则飞行器会判定其已着陆。它不会仅凭飞行高度来决定是否关闭电机，但飞行器的高度必须低于返航点上方的 Q_LAND_FINAL_ALT 值（即处于 LAND FINAL 阶段）。如果 EKF 的高度判定噪声过大，可以通过增加 Q_LAND_ALTCHG 值（默认值为 0.2 米）来增大判断高度变化的阈值。

- 如果飞行器在稳定下来并关闭螺旋桨之前出现几次弹跳或回弹，请尝试稍微降低 Q_LAND_FINAL_SPD 参数。
- 如果飞行器有 GPS 锁定，着陆控制器将尝试控制其水平位置，但飞手可以像在 QLOITER 模式下一样调节目标水平位置。
- 如果飞行器没有 GPS 定位，水平控制将与 QSTABILIZE 自稳模式相同，因此飞手可以控制飞行器的横滚和俯仰倾斜角度。

警告

在任何基于气压计的模式下例如 QLAND、QLOITER、QHOVER、QRTL 模式，如果您的飞行器在接近地面或着陆时运行不稳定（并且如果任何自动着陆程序导致着陆后弹跳或无法正确关闭电机），则可能是您的飞控位置不当，导致其气压计受到飞行器螺旋桨气流对地面产生的压力的影响。

返航模式 QRTL

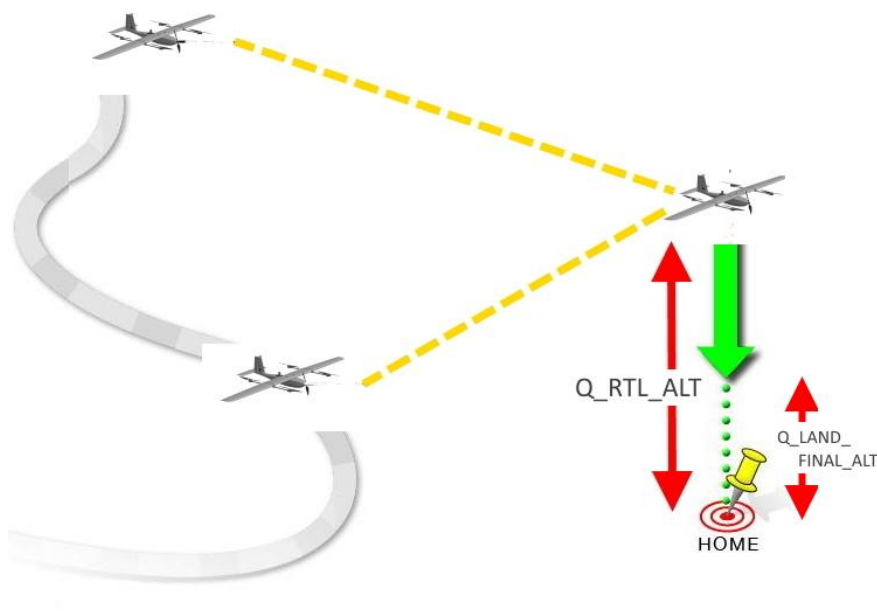
QRTL模式（返航模式）可使飞行器从当前位置悬停至返航点上方，然后降落。

概述

选择返航模式 (QRTL) 后，飞行器将返回起飞点。默认情况下，它会先切换到固定翼模式（如果在进入该模式前处于垂直起降模式，则会先爬升至Q_RTL_ALT 高度，如果低于该高度，则在切换前爬升至该高度），执行正常返航的第一部分，然后在接近着陆点时进行进近，切换回垂直起降模式并继续飞往着陆点，最后下降着陆。

如果需要纯垂直起降快速返航（VTOL QRTL），则必须通过设置Q_OPTIONS bit 16 来禁用固定翼飞机的返航和进近功能。然后，快速返航时将执行以下操作：

飞行器以Q_WP_SPEED的速度行驶至返航点，并爬升或下降至Q_RTL_ALT高度。一旦到达距离返航点Q_WP_RADIUS范围内，它将以Q_WP_SPEED_DN 的速度开始下降，直至到达Q_LAND_FINAL_ALT高度，此时它将以Q_LAND_FINAL_SPD 的速度下降直至着陆。



注意

如果飞行器电机转速保持在最低值 5 秒，且飞行高度在 4 秒内变化不超过 0.2 米，则飞行器会判定其已着陆。它不会仅凭飞行高度来决定是否关闭电机，但飞行器的高度必须低于返航点上方的Q_LAND_FINAL_ALT 值（即处于 LAND FINAL 阶段）。如果 EKF 的高度判定噪声过大，可以通过增加Q_LAND_ALTCHG值（默认值为 0.2 米）来增大判断高度变化的阈值。

或者，您可以将飞机配置为返回集结点，而不是返回起飞地点。

警告

“返航”位置始终应该是您飞机的实际 GPS 起飞位置：

- (1) 为了确保 QRTL、QLOITER、AUTO 或任何依赖 GPS 的模式正常工作，在解锁前获取 GPS 定位至关重要。默认的解锁检查中包含此项要求。强烈建议不要禁用此检查。
 - (2) 对于垂起固定翼而言，返航位置最初是在飞机获得 GPS 定位时确定的。之后，只要飞控处于关闭状态，返航位置就会持续更新。
- 这意味着，如果您在垂起固定翼中执行 QRTL，它将返回到其解锁时的位置（前提是已获得 GPS 定位）。
 - 考虑使用集结点，以避免在 QRTL 上直接返回您的解锁点。

警告

在 QRTL 模式下，飞控使用气压计测量气压来确定高度，如果飞行区域的气压发生变化，飞行器将跟随气压变化而不是实际高度。

自动调参模式 QAUTOTUNE

垂起固定翼的支持 PID 自动调参。它允许您在无需手动调节 PID 的情况下改进调参。不建议将 QAUTOTUNE 用于尾座俯仰轴或偏航轴，或任何需要前馈 PID 参数的轴。

配置

- 将 QAUTOTUNE 模式设置在模式开关的某个位置。该模式可能不会显示在您的地面控制站 (GCS) 中，因此您可能需要在完整参数列表中设置 FLTMODEn 参数。
- 用 Q_AUTOTUNE_AXES 选择要调节的轴。

操作

注意

与许多其他垂起固定翼的模式不同，在上锁状态下无法切换至 QAUTOTUNE 模式。

由于 QAUTOTUNE 模式可能需要较长时间（通常每个轴需要 3 到 5 分钟），您可能需要一次调节一个轴。选择在调节过程中是否需要位置保持功能。如果您从 QLOITER 模式进入 QAUTOTUNE 模式，它将使用宽松的位置保持功能，以防止在调节过程中被风吹走。如果您从 QHOVER 模式开始，它将不会保持位置，您可能需要在调节过程中重新定位，但它只会在摇杆居中时进行调节（通过“微调”来测量响应）。

您可能需要增加输入通道的死区 (RCx_DZ) 或重新校准遥控器通道，以确保调参能够开始。调参开始后，它会在调参的轴上“抖动”。例如，如果正在调参横滚轴，它会进行小幅度的横滚运动来测量响应。

当 QAUTOTUNE 停止抖动时，就表示它已经完成。此时，您需要在 QAUTOTUNE 模式下着陆，并在不切换模式

的情况下上锁，才能保存调参。如果您在QAUTOTUNE模式下着陆，并在部分轴完成调参后上锁，但整个调参过程尚未完成，则只会保存已完成调参的轴的PID参数。

调参时，您可以通过移动摇杆来调节位置。摇杆重新回到中心位置后，调参将继续。如果您切换模式，调参将立即停止。

特技模式 QACRO

QACRO（特技模式）是面向高级用户的飞行器模式。

副翼和升降舵操纵杆的缩放比例分别由参数 Q_ACRO_RLL_RATE 和 Q_ACRO_PIT_RATE 设置，默认值为 180 度/秒。偏航操纵杆的缩放比例由参数 Q_ACRO_YAW_RATE 设置，默认值为 90 度/秒。

为避免舵面振荡，在垂直起降模式下，必须减小高空速时的舵面偏转角度。如果飞行器没有空速传感器，则该减小量基于姿态（与垂直方向的倾斜角）和油门设置，因为这些参数通常与空速相关。如果飞行器配备了空速传感器，则该减小量基于测量的空速。有两个参数控制增益缩放：Q_TAILSIT_GSCMSK 和 Q_TAILSIT_GSCMIN。

Q_TAILSIT_GSCMSK 是一个包含两位的位掩码：BOOST（位 0）：低油门时提升增益；ATT THR（位 1）：高油门/倾斜时降低增益。如果设置了 BOOST，参数 Q_TAILSIT_THSCMX 决定在低于悬停油门（用于传统 3D 飞机悬停）时是否应用增益提升（默认值为 2）。如果设置了 ATT THR，则在高油门和倾斜角度时应用增益衰减（用于“飞行器”尾座飞行器）。Q_TAILSIT_GSC_MIN（默认值为 0.4）设置 ATT THR 激活时高油门/倾斜角度下的最小增益缩放比例。

参数汇总：

(1) 如果需要低油门值下的增益提升：

- 设置 Q_TAILSIT_GSCMSK 的第 0 位（值为 1）。
- Q_TAILSIT_THSCMX 设置为所需的最大增压值。

(2) 如果希望通过基于姿态/油门的增益衰减来减少垂直起降模式下高空速时的振荡：

- 设置 Q_TAILSIT_GSC_MSK 的第 1 位（值为 2）。
- Q_TAILSIT_GSC_MIN 设置为基于姿态和油门的增益衰减的最小所需比例（大于零且小于 1）。如果在高空速下出现振荡，请减小此值。

(3) 如果需要两种增益缩放函数：

- Q_TAILSIT_GSC_MSK 设置为 3。
- 根据需要设置 Q_TAILSIT_THSCMX 和 Q_TAILSIT_GSC_MIN。

QACRO飞行技巧:

从 QACRO 模式切换到任何其他 Q 模式时，飞控不会辅助：不会自动施加油门增益。当需要空速（或高油门）来控制姿态时，例如非矢量双电机尾座式飞机，这一点至关重要。最安全的切换方法是，在平飞时确保有足够的空速以保证升降副翼的控制，或者在退出 QACRO 模式之前建立稳定的抬头悬停。

悬停油门

通常情况下，希望在任何模式下，飞机都能在油门杆处于中位时悬停，这样无需改变油门位置即可轻松完成模式之间的切换。这可以通过 `Q_M_THST_HOVER` 参数进行调节，或者通过启用 `Q_M_HOVER_LEARN` 参数，在 QHOVER 或 QLOITER 模式下自动学习。

更多飞行模式

悬停至高度和 QLAND 模式

如果之前的模式是固定翼模式，则此模式将执行下降固定翼悬停飞行至 `Q_RTL_ALT`，然后切换到 QLAND 模式。如果飞机在切换到此模式时已在执行悬停飞行，则悬停中心位置不变；否则，悬停中心位置将变为进入此模式时的位置。

空气模式

这并非一种实际的飞行模式，而是 QACRO 和 QSTABILIZE 模式的一项重要特性。

垂直起降快速调校

这是一种快速优化飞行器垂直起降模式 (VTOL) 参数的方法。该程序会逐步增加相关增益，直至检测到振荡。然后，它会将增益降低 60%，并继续调节下一个增益。所有增益调节完毕后，调校过程完成，用户可以选择保存或放弃新的增益设置。

避免使用飞行模式

垂起固定翼的垂直升力和固定翼控制是联动的，这意味着飞控需要始终知道飞手在速度和姿态方面的意图。因此，您应该避免在垂起固定翼中使用以下飞行模式：

- 特技
- 自稳
- 训练

不建议这些模式是因为飞手的操纵杆输入不足以告知飞控飞机所需的姿态或爬升率，因此在这些模式下飞行器

逻辑不会解锁电机。这些模式也会使飞行日志分析变得困难。手动飞行时请使用 FBWA 模式，而不是 STABILIZE 模式。

6.4.7、垂起固定翼设置技巧

对于初次使用垂起固定翼的用户，这里有一些有用的提示和技巧。

电机校准

电机对准对于任何飞机的性能都至关重要，对于飞行器来说尤其如此。垂直起降（VTOL）电机对准不当会严重影响垂直起降的基本性能，特别是偏航配平和效率，以及固定翼飞行性能。

在工作台上检查电机对准情况的方法是：将飞行器固定在水平位置，测量所有电机在前后和左右位置的螺旋桨到工作台的距离。测量结果的差异很容易发现对准偏差。螺旋桨桨尖端差值的反正弦值除以螺旋桨直径，即可得到倾斜角。一两度的对准偏差虽然对俯仰或横滚影响不大，但在非矢量偏航配置中，对于极端偏航配平偏差而言，可能会造成显著影响。

在垂直起降固定翼悬停时，数据闪存日志中的 RCOUT 值也显示了电机对准偏差。偏航问题表现为对角电机对之间的较大间距。

对于矢量推力机架而言，固定翼模式的对准也至关重要。前飞过程中电机推力角的微小差异都会导致不良的、有时甚至是无法控制的横滚配平趋势。因此，需要仔细地在台架上检查和调节前飞固定翼模式相对于机身以及彼此的位置。

X 与 H 四重混合

如果机身完全刚性，X 和 H 混合方案之间的性能差异可以忽略不计。然而，垂起固定翼的结构刚性通常不如传统多旋翼飞行器，因此必须考虑扭转效应。当偏航输入导致垂起固定翼的大部分重量由一对对角电机支撑时，垂起固定翼的机身或机翼可能会发生扭转，从而改变部分或全部电机的推力矢量。这种扭曲通常会产生偏航力矩，除非采用合适的混合方案，否则会降低甚至完全丧失偏航效率。虽然这种影响取决于机身结构，但通常可以用以下两种方式之一来概括：

- 机身采用四电机驱动，电机安装在机翼前后延伸的机臂上，与翼弦方向一致。应采用 X 混合方案，使产生的扭转与所需的偏航角相抵消。如果在此配置中使用 H 混合方案，偏航输入可能会导致机翼扭转，从而抵消所需的偏航角。
- 这种机身两侧伸出两根机臂，分别安装有四台电机，通常靠近机头和机尾。应采用 H 混控方案，使产生的扭转与所需的偏航角相抵消。如果在此配置中使用 X 混控方案，偏航输入可能会导致机身扭转，从而抵消所需的偏航角。

提高偏航权

在非矢量偏航配置中，由于电机间的扭矩差是产生/维持偏航的唯一手段，您可能会发现偏航控制力过弱。在某些情况下，即使经过仔细的电机对准调节，由于电机对准误差或机架扭曲，偏航控制力也可能弱到不足以维持悬停时的偏航方向稳定性。

然而，通过有意地使每个安装座产生适当的电机倾斜，可以大大提高偏航控制力，而对垂直起降电机的总垂直升力能力的影响却很小。

对于水平混合模式，只需将所有电机向内倾斜 2-3 度，可通过垫片调节或电机支架的专门设计来实现。这样，除了扭矩差之外，还能提供旋转推力提升，因为对角电机对的转速会相应增加/减少。有了额外的偏航控制权，飞控可以自动克服电机角度的微小偏差，同时也能为飞手提供额外的偏航控制权。

注意

请注意，由于飞行器质量更大、迎风面积更大，其偏航控制能力通常不如多旋翼飞行器。只有在风力较大的情况下，飞行器才能逆风飞行。

水平调节

设置飞行器时，“水平”校准应在飞机处于正常巡航姿态（即机翼迎角）的情况下进行。对于非尾座式飞行器，如果垂直起降电机的垂直位置与该姿态不成 90 度角，则飞行器在悬停时会倾向于向前或向后移动，需要通过操纵杆来调节俯仰角。或者，对于尾座式飞行器，如果电机的“配平”位置/垂直重心在垂直状态下未穿过推力线，则也会出现漂移。

幸运的是，有一个参数可以独立调节垂直起降姿态参考系统（VTOR AHRS）的“水平”姿态。该参数为 Q_TRIM_PITCH，单位为度，可以加到 AHRS 的“水平”姿态上，正负均可。

然而，对于非尾座式飞行器来说，还有更好的方法。如果机械结构允许，当飞行器处于固定翼“水平”模式时，应将每个电机调节至垂直位置，这样就无需使用 Q_TRIM_PITCH 参数。通常，这需要 3-5 度的前倾角。这样做的好处是，在悬停时，机翼可以产生升力，从而减轻垂直起降电机的负载，并防止从固定翼飞行模式切换回垂直起降模式时出现突然的俯仰变化。

注意

固定翼俯仰水平调节由加速度计校准期间的 AHRS “水平”设置决定，该设置会调节 AHRS_TRIM_Y 值以及任何 PTCH_TRIM_DEG（以度为单位）值。

仅通过加速度计水平校准来调节垂直起降固定翼“水平”

还有另一种稍微复杂一些的方法，可以在不使用 Q_TRIM_PITCH 的情况下设置垂直起降姿态俯仰配平，但仅适用于尾座式飞机：

- 进行常规的固定翼飞机加速度计校准。但校准后，读取并保存 AHRS_TRIM_Y 值。

- 将飞行器置于垂直起降姿态（机头垂直），并将模式设置为 QSTABILIZE。务必确保 Q_TRIM_PITCH = “0”，否则下一步将失败。
- 执行“仅水平”加速度计校准。在 Mission Planner 中，加速度计校准下方有一个按钮可以执行此操作。在 MAVProxy 中，它是“ahrstrim”命令。
- 恢复之前记录并保存的 AHRS_TRIM_Y 值，以恢复固定翼姿态俯仰配平。

在某些情况下，如果使用的校准姿态不是真正的悬停姿态，则可能仍然需要调节 Q_TRIM_PITCH。

飞行器电机与舵机

如果您使用的配置包含旋翼电机（几乎所有飞行器都包含旋翼电机，单/双电机尾座式飞行器除外），则电机输出默认使用 PWM 协议，除非另行设置。但 PWM 的更新频率为 400Hz，而非 50Hz。如果舵机与某个电机输出共享同一个定时器，则该舵机也将以 400Hz 的频率运行，并且必须能够承受这种频率。大多数模拟舵机都会过热甚至烧毁。大多数数字舵机则可以承受这种频率。请查看您的飞控的硬件说明页面，了解 DShot 输出组，其中会指示哪些输出共享同一个定时器。

电池电压下降

许多飞行器都以续航时间为目标，因此可能采用高容量重量比但低“C”值的电池。在垂直起降固定翼向固定翼飞行器过渡的初始阶段，电池电量下降可能是一个实际问题。请务必阅读《飞行器飞行指南》中的警告，并正确设置 BATT_WATT_MAX、Q_M_BAT_CURR_MAX 和 Q_M_BAT_VOLT_MIN 参数。

6.5、首次飞行和垂直起降固定翼调校

6.5.1、垂直起降固定翼介绍

本节概述了如何调节垂直起降固定翼的各种参数。

概述

如果电机的机械结构设置和对准正确，电调也已校准，那么控制垂直起降电机 PID 回路的默认参数应该能够让大多数机架在初始阶段可控地悬停。

控制稳定性的最重要参数是横滚/俯仰/偏航 PID 参数。对于高度控制，则取决于垂直位置控制器参数和电机推力缩放参数；对于导航/悬停，则取决于悬停控制器参数。

通常情况下，最好先在 QSTABILIZE 模式下调节速率横滚/俯仰 P，然后在 QHOVER 模式下调节高度保持，接着调节 QLOITER（通常不需要调节），最后调节自动模式下的航点导航性能。

注意

对于尾座式飞行器，某些轴的 PID 参数调优方法需要根据所使用的具体机架配置略有不同。请务必同时阅读“尾座式调优”部分。

滤波器调参

飞行器经常受到振动的影响，因此调节各种可用的软件滤波器对于获得最佳整体性能至关重要。如果滤波已预先优化，则下文中的 D 项将获得最佳性能。然而，在许多情况下，仅通过 PID 参数调节 P 项即可获得合理的性能。

横滚/俯仰调参

Q_A_RAT_RLL_x 和 Q_A_RAT_PIT_x 最为重要。如果不是尾座式飞机，则 Q_A_RAT_PIT_FF 为零，校正主要由 P/I/D 控制。对于尾座式飞机，FF 项（仅限俯仰轴）占主导地位，P/D 主要用于干扰校正。

Q_A_ANG_RLL_P 和 Q_A_ANG_PIT_P Roll/Pitch P 将期望角度转换为期望旋转速率，然后将其馈送到速率控制器。

- 数值越高，飞行器对横滚/俯仰输入的响应越灵敏；数值越低，响应越平滑。
- 如果设置过高，飞行器会在横滚轴/俯仰轴上振荡。
- 如果设置得太低，垂起固定翼模型对输入的反应会变得迟钝。

数据闪存日志中 ATT 消息的 DesRoll 与 Roll 以及 DesPit 与 Pitch 的关系图，可以客观地了解整体横滚和俯仰性能。在稳定模式下，“横滚”（即实际横滚）应与“DesRoll”密切相关。同样，俯仰也应与 DesPit 密切相关。

或者，您也可以尝试使用 QUICKTUNE 自动调节速率参数。

偏航调参

偏航角和偏航速率参数控制偏航响应。对于飞行器，由于配置差异很大，通常需要调节这些参数才能获得所需的偏航响应。在非尾座飞行器中，Q_A_RAT_YAW_FF 为零，修正主要由 P/I/D 完成。但在尾座飞行器中，FF 项占主导地位，P/D 主要用于干扰修正。

与横滚和俯仰类似，如果 Q_A_RAT_YAW_P 或 Q_A_ANG_YAW_P 的值过高，飞行器的航向就会发生振荡。如果值过低，飞行器可能无法保持其航向。

Q_A_ANG_YAW_P 是飞控期望航向与实际航向之间误差的增益，该增益被输入到速率控制器以要求旋转速率。Q_A_RAT_YAW_P 是应用于要求旋转速率与实际旋转速率之差的增益。

Q_YAW_RATE_MAX 参数控制垂起固定翼在稳定模式下根据飞手的偏航输入旋转的速度。

海拔调参

QHOVER（高度保持）相关的调参参数与垂直位置控制器和电机推力缩放有关，它使油门到电机推力的响应线性化，从而改善位置控制器的响应。

Q_P_POSZ_P 参数用于将高度误差（期望高度与实际高度之差）转换为期望的爬升率或下降率。较高的速率会使飞机更积极地尝试保持高度，但如果设置过高，则会导致油门响应不灵敏。

Q_P_VELZ_P（通常不需要调节）将所需的爬升率或下降率转换为所需的向上或向下加速度。

Q_P_ACCZ_P、Q_P_ACCZ_I 和 Q_P_ACCZ_D 这三个 PID 增益参数将加速度误差（即期望加速度与实际加速度之差）转换为电机输出。如果修改这些参数，应保持 P 与 I 的 1:2 比例（即 I 是 P 的两倍）。这些值不应增加，但对于功率非常大的垂直起降电机，将 P 和 I 都降低 50%（即 P 降至 0.5，I 降至 1.0）可能会获得更好的响应。

悬停调参

一般来说，如果横滚和俯仰调节正确，GPS 和指南针设置良好且运行正常，振动水平可以接受，则悬停模式不需要太多调节。

飞行中调校

飞行过程中可以调节许多参数。

6.5.2、调校过程指导

准备对飞机进行调校

请根据您的飞机规格正确设置以下参数。

步骤 1：电池和曲线设置

确保垂直起降固定翼电机的推力曲线尽可能呈线性至关重要。线性推力曲线意味着电机实际产生的推力变化与推力值成正比。如果推力曲线严重非线性，则永远无法进行良好的调校，在某些情况下，甚至可能导致飞行器完全不稳定并坠毁。

非线性推力曲线的常见成因有 3 个

- 油门加大或前进电机启动时，电压会下降。这在飞行器中非常常见
- 您用于电调的 PWM 范围的端点设置不正确
- 螺旋桨、电调和电机组合产生的推力存在非线性

首先要设置电压范围以应对电压骤降

- Q_M_BAT_IDX：垂直起降固定翼电源系统电压测量所用电池的索引。0 代表第一块电池，1 代表第二块电池，依此类推
- Q_M_BAT_VOLT_MAX：4.2Vx 锂聚合物电池单元数
- Q_M_BAT_VOLT_MIN：3.3Vx 锂聚合物电池单元数
- Q_M_OPTIONS = 0（默认值）。默认情况下，上述计算以及调优计算均使用电压降补偿后的电压。可将其设置为 1 以使用原始电压而非电压降补偿后的电压，这可能有助于改善轻型飞机的调优结果。

请注意，Q_M_BAT_IDX 必须与您的垂直起降电机对应的电池型号相符。如果您为前进电机和垂直起降电机分别使用不同的电池，请确保使用正确的电池。

接下来设置推力指数曲线。如果您正在设置专业级飞行器，那么您应该投资购买一个推力测试台，以便在改变油门时精确测量电机/电调/螺旋桨组合的实际推力。然后，您需要调节推力指数值以及推力曲线的端点值（由下方电机设置决定），使端点之间的推力曲线尽可能呈线性变化。不要完全依赖制造商提供的推力曲线数据，因为它们通常不准确。

如果您正在设置业余级飞行器，则可以使用下面的图表来估算您的飞行器的正确 Q_M_THST_EXPO 值。

Q_M_THST_EXPO：5 英寸螺旋桨为 0.55，10 英寸螺旋桨为 0.65，20 英寸螺旋桨为 0.75。

步骤 2：电机安装

电机参数决定了发送到电调的 PWM 输出范围。这一点至关重要，它能确保飞行中使用的所有油门值都在推进系统的线性范围内。

对于标准的基于 PWM 的电调，您应该调节 Q_M_PWM_MIN 值，使其比电机刚好开始旋转的最小值低约 20 微秒。如果您使用的是数字电机输出（例如 DShot），则无需进行此操作，应使用默认值 1000。

然后，您应该将 Q_M_PWM_MAX 调节到电调停止产生更多推力的值。请注意，该值通常略低于默认最大值 2000。要找到该值，您应该拆下螺旋桨进行测试，并使用地面控制站 (GCS) 的电机测试功能找到使电机达到最大转速的最低 PWM 值。您可以通过聆听不同 PWM 值下电机发出的声音来判断电机停止产生更多推力的 PWM 值，或者您也可以使用转速表。

Q_M_SPIN_MIN 和 Q_M_SPIN_MAX 值用于选择电机输出的线性子范围。对于业余爱好者来说，默认值通常就足够了，但对于专业飞机，您应该使用推力台数据来确定合适的范围，以便在应用指数曲线后产生线性推力。

- Q_M_PWM_MAX：请查看电调手册，了解固定范围或 2000us
- Q_M_PWM_MIN：请查看电调手册，了解固定范围或 1000us
- Q_M_SPIN_ARM：使用电机测试功能
- Q_M_SPIN_MAX：0.95
- Q_M_SPIN_MIN：使用电机测试功能
- Q_M_THST_HOVER：0.25，或低于预期悬停推力百分比（低值更安全）

步骤 3: PID 控制器初始设置

以下设置旨在将 PID 控制器的加速度和滤波器参数调节到适合您飞机的大致范围内。这些参数对调校过程至关重要。

- INS_ACCEL_FILTER : 10Hz 至 20Hz
- INS_GYRO_FILTER : 5 英寸螺旋桨为 80Hz, 10 英寸螺旋桨为 40Hz, 20 英寸螺旋桨为 20Hz
- Q_A_ACCEL_P_MAX : 10 英寸螺旋桨为 110000, 20 英寸螺旋桨为 50000, 30 英寸螺旋桨为 20000
- Q_A_ACCEL_R_MAX : 10 英寸螺旋桨为 110000, 20 英寸螺旋桨为 50000, 30 英寸螺旋桨为 20000
- Q_A_ACCEL_Y_MAX : 6 英寸螺旋桨为 7500, 10 英寸螺旋桨为 6750, 20 英寸螺旋桨为 4500, 30 英寸螺旋桨为 2250
- Q_A_RAT_YAW_P : $0.5 \times Q_A_ACCEL_Y_MAX / 4500$
- Q_A_RAT_PIT_FLTD : $INS_GYRO_FILTER / 2$
- Q_A_RAT_PIT_FLTT : $INS_GYRO_FILTER / 2$
- Q_A_RAT_RLL_FLTD : $INS_GYRO_FILTER / 2$
- Q_A_RAT_RLL_FLTT : $INS_GYRO_FILTER / 2$
- Q_A_RAT_YAW_FLTE : 0 表示矢量偏航; 2.5 表示其他类型的飞行器
- Q_A_RAT_YAW_FLTT : $INS_GYRO_FILTER / 2$

飞机的初始调校应在飞机最灵活的姿态下进行。这通常意味着飞机将处于最小起飞重量, 且电池充满电。

第四步: 飞手首飞准备

未经调校的垂直起降固定翼首次起飞是其一生中最危险的几秒钟。此时飞行器可能极不稳定, 动力突然增加, 导致飞行器猛然跃出水面; 或者, 由于调校极差, 一旦飞行器升空, 飞手就难以控制。因此, 飞手在调校飞行期间必须格外谨慎, 以避免任何可能导致人员伤亡或设备损坏的情况发生。

飞手可以采取以下几项措施来最大限度地降低早期调校过程中的风险:

- (1) 飞手应进行电机编号和方向检查。务必确保选择正确的机架类型。错误的机架类型可能导致快速偏航旋转或完全失控。注意驱动螺旋桨旋转所需的输出百分比, 并确保:
 - Q_M_SPIN_ARM 设置得足够高, 可以使电机平稳旋转
 - Q_M_SPIN_MIN 设置得足够高, 以最小的推力使电机旋转
- (2) 所有在进行重大调校更改后的飞行都应在 QSTABILIZE 模式下进行。当姿态控制器不稳定时, QSTABILIZE 模式能为飞手提供对飞机更佳的控制。

- (3) 飞手在飞行中测试高度控制器之前，不应在悬停模式下起飞。测试方法是先在稳定模式下起飞，然后切换到悬停模式。不过，除非飞机悬停油门非常低，否则悬停模式很少出现问题。
- (4) 首次飞行时，飞手应确保设置以下参数：
- Q_A_THR_MIX_MAN 至 0.1
 - Q_M_THST_HOVER 设置为 0.25（或低于预期悬停油门值）
- (5) 使用遥控器并正确校准遥控器。
- (6) 配置 ARM/DISARM 开关并进行测试。
- (7) 在低风速和正常天气（无雨，温度介于 15°C/59°F 和 25°C/77°F 之间）下进行调校飞行。
- (8) 首先在模拟器或低端无人机上练习 QSTABILIZE 飞行。你应该能够自信地操控未经调校的无人机起飞和降落。

调校过程

第五步：首次飞行

对于任何飞行器来说，首次起飞都是最危险的时刻。必须格外小心，确保飞机在起飞后的最初几秒内不会损毁，并且无人受伤。

- 确保所有观众保持安全距离。
- 确保飞手处于安全距离和位置。
- 飞手应重新熟悉上锁的方法（使用辅助功能进行电机联锁或解锁/上锁可能会有所帮助）。

本次飞行将使您的飞机处于“可飞行调校”状态。

- (1) 确保飞机处于 QSTABILIZE 模式。
- (2) 解锁飞机。
- (3) 立即上锁，以确保上锁程序正确无误。
- (4) 解锁飞机。
- (5) 缓慢增加油门，观察是否有摆动迹象。（较长或柔性起落架可能会导致起落架摆动，这种摆动只有在飞机离地后才会消失）。
- (6) 飞机一旦离地，立即尽可能轻柔地将其降落。
- (7) 上锁。
- (8) 评估你的观察结果，以确定是否需要调节调校参数，或者是否可以安全再次起飞。
- (9) 准备起飞并加大油门。
- (10) 悬停在约 1 米高度，并对横滚和俯仰施加微小（5 度）的控制输入。
- (11) 如果观察到任何晃动，立即着陆。

步骤 6：初始飞机调校

调节垂起固定翼时，首要任务是建立一个稳定的调参状态，避免振荡，以便进行进一步的测试。

- (1) 在 QSTABILIZE 模式下启动飞机。
- (2) 缓慢增加油门，直到飞机离开地面。
- (3) 如果飞机开始剧烈摇晃，应立即中止起飞/降落，并将以下所有参数减少 50%。
 - a. Q_A_RAT_PIT_P
 - b. Q_A_RAT_PIT_I
 - c. Q_A_RAT_PIT_D
 - d. Q_A_RAT_RLL_P
 - e. Q_A_RAT_RLL_I
 - f. Q_A_RAT_RLL_D

重复此过程，直到飞机能够悬停而视觉或听觉上都检测不到振荡为止。

如果飞机的起落架很长或很灵活，那么在地面共振停止之前，您可能需要离开地面。

请注意，在这种状态下，飞机对较大的操控输入和扰动的反应可能非常迟缓。飞手应格外小心，尽量减少操纵杆的输入，以避免坠机的可能性。

步骤 7：测试 QHOVER

本次测试将用于测试高度控制器，并确保飞机的稳定性。

- (1) 检查 Q_M_HOVER_LEARN 是否设置为 2。这将允许控制器在飞行时自行学习正确的悬停值。
- (2) 在 QSTABILIZE 模式下起飞，并将高度提升至 5 米。切换到 QHOVER 模式，并做好随时切换回 QSTABILIZE 模式的准备。如果飞行器悬停时的油门值非常低，您可能会听到电机发出较快的振荡声。确保飞行器悬停至少 30 秒，以便油门参数收敛到正确值。降落并上锁。
- (3) 在地面设置这些参数，最好先上锁（经验丰富的飞手可以使用地面控制站进行飞行中设置）：
 - Q_P_ACCZ_I 至 $2 \times Q_M_THST_HOVER$
 - Q_P_ACCZ_P 至 Q_M_THST_HOVER

如果 QHOVER 中的垂起固定翼开始上下移动，则可能需要将垂直位置和速度控制器的值降低 50%。这些值是：Q_P_POSZ_P 和 Q_P_VELZ_P。

注意

如果学习到的 Q_M_THST_HOVER 值应为 ~0.3-0.6。较高的值表示推力不足，可能是由于电机系统设计、机身或机翼阻碍螺旋桨气流，或偏航偏差过大（见下一节）。

步骤 8：偏航偏差

飞行器常见的问题是，过多的垂直起降动力被用于维持偏航姿态，而不是用于提供升力。这可能是由以下原因造成的：

- 垂直起降固定翼电机轻微错位。
- 施加推力时，机架会发生扭转（通常由机翼扭转引起）。
- TVBS 型尾座式飞机机翼阻碍螺旋桨气流，导致电机倾转控制的矢量偏航效率降低。这也会导致正常推力显著下降，从而难以悬停和垂直起降爬升。

如果维持偏航所需的动力过大，飞机在飞行过程中可能会失去偏航控制，或者失去横滚和俯仰稳定性。最常见的症状是悬停油门点过高，甚至在高油门杆位置下无法升空悬停。对于较大的飞行器，通常需要刻意将电机倾斜几度以增加偏航控制力。

注意

对于 X 型框架（Q_FRAME_TYPE = 1），电机应向外倾斜；对于 H 型框架（Q_FRAME_TYPE = 3），电机应向内倾斜。

您应该查看悬停日志中的 RATE YOut 值，以检查用于维持偏航的推力大小。如果在无风且无飞手操作的情况下悬停时，该值超过 10%（即 0.1），则说明存在偏航不对称问题，需要进行修复。悬停时可能看起来一切正常，只有查看日志才能发现问题。

解决偏航不对称问题可能涉及机械方面的改进，例如加固机身以抵抗扭转，确保 TVBS 机架上的螺旋桨气流不受机翼阻碍，或者校正/调节电机倾角。

有些飞行器采用 H 型机架而非 X 型机架会更有优势。哪种机架效果最佳取决于电机支架在推力作用下的扭转方式。如果您持续遇到偏航控制问题，可以考虑在 X 型和 H 型机架之间切换。不过，电机安装在固定于机翼的吊杆上的飞行器通常采用 X 型机架。

步骤 9：陷波滤波

在飞行器能够稳定悬停且无振荡之后，下一步是设置一个合适的陷波滤波器，以降低垂直起降 PID 控制器的噪声。一组合适的陷波滤波参数对于良好的调优至关重要。

要设置陷波滤波器，您需要让飞行器悬停 2 分钟，期间不进行任何飞手操作，并将 INS_LOG_BAT_MASK 设置为 1。这将启用 FFT 日志记录，从而指导您正确设置陷波滤波器。

设置滤波器时，应考虑任何振荡的成因。大多数飞机的振动是由发动机转速的倍数直接引起的，但某些飞机的振动则可能是机架共振或飞控支架共振造成的。了解共振的成因对于降低噪声、实现良好调校至关重要。

步骤 10：手动调节横滚和俯仰

虽然您可能很想直接进行自动调参，但这并不推荐。大多数飞行器在进行自动调参之前，都需要对横滚和俯仰进行一些手动调参。如果您直接进行自动调参，您的飞行器可能会变得不稳定，甚至坠毁。良好的手动调参还可以减少自动调参所需的时间，考虑到许多飞行器垂直起降悬停时间较短，这一点至关重要。

在开始手动调参之前，你应该返回并检查你是否已完全完成上述步骤，并确保你设置了良好的陷波滤波器来消除陀螺仪的噪声。

在低风、视野开阔且 GPS 信号良好的环境下，将飞行器悬停在 QSTABILIZE 或 QHOVER 模式下。您应该按照下述方法调节速率增益，每次调节后轻轻“抖动”摇杆，以尝试触发振荡。

如果飞机开始出现振荡，切勿大幅或突然地操作操纵杆。平稳地减小油门，同时使用非常缓慢且小幅度的横滚和俯仰操作来控制飞机姿态，最终安全着陆。

您需要调节的参数有：

- Q_A_RAT_RLL_D
- Q_A_RAT_RLL_P 和 Q_A_RAT_RLL_I
- Q_A_RAT_PIT_D
- Q_A_RAT_PIT_P 和 Q_A_RAT_PIT_I

注意

如果垂直起降电机不倾斜，则 Q_A_RAT_PIT_FF 和 Q_A_RAT_YAW_FF 的值均为零，修正主要由 P/I/D 项决定。但如果俯仰或偏航控制主要通过倾斜电机来实现，则 FF 项占主导地位，P/D 项主要用于干扰修正。

先设置滚动参数，然后再设置俯仰参数。

- (1) 以 50% 的步长逐步增加 D 项，直至观察到振荡现象。
- (2) 以 10% 的步长逐步减小 D 项，直到振荡消失。
- (3) 将 D 项再减少 25%。
- (4) 以 50% 的步长逐步增加 P 项，直至观察到振荡现象。
- (5) 以 10% 的步长逐步降低 P 项，直到振荡消失。
- (6) 将 P 项再减少 25%。

在上述步骤中，每次更改 P 项时，都应将相应的 I 项设置为等于 P 项。这些参数可以在地面上更改，最好是在上锁状态下更改。或者，经验丰富的飞手也可以在飞行中使用地面控制站 (GCS) 进行设置，或者使用遥控器调参选项。

请注意，一旦正确设置了陷波滤波，通常可以将 D 值大幅提高，远超默认值。提高 10 倍的情况并不少见。

能够使用更大的 D 增益是良好陷波滤波的主要优势之一，并且可以产生更好的调参效果。

完成上述步骤后，您应该仔细查看日志，确保没有隐藏的振荡。垂起固定翼结构有时会导致振荡无法从外部观察到。您应该使用 RATE、PIQR 和 PIQP 消息来查找振荡。

步骤 11：评估飞机调校

您需要评估飞机的调校情况，看看前面的步骤是否已经得到了足够好的调校结果，可以进行过渡飞行或自动调校。

- (1) 以 QHOVER 或 QSTABILIZE 模式起飞。
- (2) 施加小幅度的横滚和俯仰输入。先输入 5 度，然后将摇杆松开至中心、俯仰、左、右、前后横滚，最后松开对角线上的所有 4 个点。
- (3) 逐渐增加输入量直至摇杆完全偏转。
- (4) 将球杆猛地向中间偏转，快速短暂地完成这一动作，然后让球杆弹回中心位置。

如果飞机在操纵杆输入后出现明显的过冲或振荡，应立即停止测试，以免危及飞机安全。飞机可能需要进行更多手动调节才能进行自动调节。

要测试与输入整形无关的稳定回路，请将参数 `Q_A_RATE_FF_ENAB` 设置为 0。

- (1) 以 QHOVER 或 QSTABILIZE 模式起飞。
- (2) 保持横滚或俯仰输入。
- (3) 松开操纵杆，观察飞机恢复水平飞行时的过冲情况。
- (4) 逐渐将杆偏转角度增加到 100%。

如果飞机明显偏离水平线或飞机发生振荡，则停止测试并返回手动调节。

测试完成后，将 `Q_A_RATE_FF_ENAB` 设置为 1。

第 12 步：自动调优

通常情况下，默认参数或良好的手动调校就足够了。但是，自动调校通常可以进一步提升调校效果。

如果飞机看起来足够稳定，可以尝试自动调参，并且你的电池电量足以支撑一次自动调参，那么你可以使用以下两种方法之一进行自动调参：

- 快速调校
- QAUTOTUNE 模式（不再推荐使用，并且大多数固件中也没有编译此模式）

使用 QAUTOTUNE 模式实现自动调校

QAUTOTUNE 页面上的说明进行操作。

您应该一次只对一个轴使用 QAUTOTUNE（设置 `Q_AUTOTUNE_AXES` 为要调节的轴）。单轴自动调节通常需要 5 到 8 分钟，但如果手动调节不够精确，则需要更长时间。如果您的电池电量不足以支持至少 8 分钟的垂直飞行，则不建议使用 QAUTOTUNE。

有很多问题会导致 QAUTOTUNE 无法提供良好的调校效果。QAUTOTUNE 失败的部分原因包括：

- 陀螺仪噪音过大

- Q_M_THST_EXPO 的值不正确
- 柔性框架或有效载荷安装座
- 过于灵活的隔振支架
- 非线性 ESC 响应
- Q_M_SPIN_MIN 设置非常低
- 螺旋桨或发动机过载
- 自动调节尾座式飞机的俯仰轴或偏航轴，或者倾转旋翼机的矢量偏航轴，因为它们需要前馈

如果 QAUTOTUNE 失败，您需要重新进行手动调校。

QAUTOTUNE 成功的一些迹象包括：

- Q_A_ANG_PIT_P 和 Q_A_ANG_RLL_P 的值增加
- Q_A_RAT_PIT_D 和 Q_A_RAT_RLL_D 大于 Q_AUTOTUNE_MIN_D

QAUTOTUNE 会尝试将每个轴的参数调节到飞机能够承受的极限。对于某些飞机来说，这可能会导致响应过于灵敏。以下是适用于大多数飞机的指导原则：

- Q_A_ANG_PIT_P 应从 10 减少到 6
- Q_A_ANG_RLL_P 应从 10 减少到 6
- Q_A_ANG_YAW_P 应从 10 减少到 6
- Q_A_RAT_YAW_P 应从 1 减少到 0.5
- $Q_A_RAT_YAW_I : Q_A_RAT_YAW_P \times 0.1$

只有当 QAUTOTUNE 产生更高的值时才应更改这些值。小型特技飞机可能更倾向于保持这些值尽可能高。

步骤 13：设置输入整体参数

垂起固定翼拥有一系列参数，用于定义飞机的飞行操控感受。这使得飞机可以进行非常激进的调校，但仍然能够保持非常温顺友好的飞行体验。

这些参数中最重要的是：

- Q_A_RAT_YAW_P：偏航率 $\times 45$ 度/秒
- Q_ANGLE_MAX：最大倾斜角度
- Q_A_ACCEL_P_MAX：俯仰角加速度
- Q_A_ACCEL_R_MAX：横滚速率加速度
- Q_A_ACCEL_Y_MAX：偏航角加速度
- Q_A_ANG_LIM_TC：飞机平滑时间

QAUTOTUNE 模式调优将设置 Q_A_ACCEL_P_MAX、Q_A_ACCEL_R_MAX 和

Q_A_ACCEL_Y_MAX 参数设置为最大值。未经仔细测试，请勿将这些值增加到 QAUTOTUNE 建议值之外。

大多数情况下，飞手会希望大幅降低这些值。

快速垂直起降固定翼调校 LUA 小程序不会更改这些默认值，您可以自行调节以获得您想要的感觉。

应根据最小和最大起飞重量（TOW）降低 Q_A_ACCEL_P_MAX、Q_A_ACCEL_R_MAX 和 Q_A_ACCEL_Y_MAX 的最大值：

- $Q_A_ACCEL_P_MAX \times (min_TOW / max_TOW)$
- $Q_A_ACCEL_R_MAX \times (min_TOW / max_TOW)$
- $Q_A_ACCEL_Y_MAX \times (min_TOW / max_TOW)$

Q_A_RAT_YAW_P 应设置为大约 $0.5 \times Q_A_ACCEL_Y_MAX / 4500$ ，以确保飞机在大约半秒内达到全偏航率。

Q_A_ANG_LIM_TC 的值，以在摇杆上提供非常流畅的感觉，但代价是反应时间会变慢。

特技飞机应保持 Q_A_ACCEL_P_MAX 和 Q_A_ACCEL_R_MAX 的值。

QAUTOTUNE 提供的 Q_A_ACCEL_Y_MAX 值降低，Q_A_ANG_LIM_TC 值降低，以达到飞手想要的操纵杆手感。

输入整形参数的完整列表如下：

- Q_A_RAT_YAW_P
- Q_ANGLE_MAX
- Q_A_ACCEL_P_MAX
- Q_A_ACCEL_R_MAX
- Q_A_ACCEL_Y_MAX
- Q_A_ANG_LIM_TC
- Q_A_RATE_P_MAX
- Q_A_RATE_R_MAX
- Q_A_RATE_Y_MAX
- Q_A_SLEW_YAW
- Q_P_JERK_XY
- Q_P_JERK_Z
- Q_LOIT_ACC_MAX
- Q_LOIT_ANG_MAX
- Q_LOIT_BRK_ACCEL
- Q_LOIT_BRK_DELAY
- Q_LOIT_BRK_JERK
- Q_LOIT_SPEED

6.5.3、倾斜矢量偏航配置的偏航调节

如果采用倾转矢量偏航，偏航轴的调节方式会略有不同。倾转矢量尾座式飞行器和类似倾转三旋翼飞行器的垂起固定翼，通过电机倾斜来实现偏航，因此需要采用略有不同的调节方法，因为偏航响应并非由电机转速差驱动。这些系统需要在调节偏航的 D 和 P 项之前，确定并设置 FF 项。

- 垂起固定翼调优过程设置步骤 1 - 4 进行操作。
- 通常情况下，使用默认 PID 参数，飞行器已经足够稳定，可以在 QSTABILIZE 或 QHOVER 模式下进行首次悬停测试。进行一次短距离悬停飞行并启用日志记录，以便设置谐波陷波滤波器。为了使用基于油门的谐波陷波滤波器获得良好的调校效果，尽可能消除电机噪声至关重要。
- 设置好陷波滤波器后，再次进行悬停飞行，但这次要快速、短促地左右拨动偏航杆。注意不要危及飞行器，尽量做到左右各一次短促的全摇杆操作。你应该能够将偏航杆推到最大位置并保持大约一秒钟，然后在方向反转之间回空一秒钟。
- 下载数据闪存日志进行分析。为了确定 Q_A_RAT_YAW_FF 项，请使用类似 <https://plot.ardupilot.org> 的日志分析器，并使用“添加表达式”按钮，在同一比例尺上设置以下图表：

$PIQY.FF + PIQY.P + PIQY.D$

$X * (PIQY.Act)$ ，其中 X 初始值为 0.2。

- 接下来，调节上方的 X 值，直到两个图的幅值大致相等。这将作为 Q_A_RAT_YAW_FF 项的值。将 Q_A_RAT_YAW_I 项的值设置为等于此值。
- 现在你可以再次悬停，然后开始增加 Q_A_RAT_YAW_D 项，无论是通过迭代还是使用基于遥控器的调参，直到它振荡，然后将其减少到该值的 1/2 到 1/3。
- 然后增加 Q_A_RAT_YAW_P 项，直到它振荡，然后将其减少到该值的 1/2 到 1/3。

6.5.4、尾座式垂直起降固定翼调优

调节尾座式飞行器与调节普通的 SLT（分离升力推力）或倾转旋翼垂起固定翼不同。这些垂起固定翼的调节方式与多旋翼飞行器非常相似，因为垂直起降固定翼的姿态是由所有轴上的电机转速/推力控制的（矢量偏航倾转旋翼垂起固定翼的偏航轴除外）。

大多数尾座式垂直起降固定翼（VTOL）的姿态通常由固定翼舵面组合控制，在某些配置中，俯仰和偏航则由电机倾转控制。横滚通常由电机/速度推力控制，可以进行调节，甚至可以像多旋翼飞行器一样进行自动调节，并遵循飞行器（QuadPlane）的常规横滚轴调节方法。尾座式飞行器的大多数调节设置和阶段说明都相同，但以下描述除外：

俯仰和偏航调参

俯仰和偏航控制由固定翼舵面提供，有时会与电机倾转联动，具体取决于尾座式飞机的类型。由于 PID 回路的前馈(FF)部分是主要控制路径，而俯仰(P)和偏航(D)项用于干扰修正，因此这些轴的调参方法更类似于普通固定翼飞机的手动调参。调参过程如下，从默认 PID 值开始：

- 垂起固定翼调优过程设置步骤 1 - 4 进行操作。
- 通常情况下，使用默认 PID 参数，飞行器已经足够稳定，可以在 QSTABILIZE 或 QHOVER 模式下进行首次悬停测试。进行一次短距离悬停飞行并启用日志记录，以便设置谐波陷波滤波器。为了使用基于油门的谐波陷波滤波器获得良好的调校效果，尽可能消除电机噪声至关重要。
- 设置好陷波滤波器后，再次进行悬停飞行，但这次要快速、短促地左右摆动俯仰杆。注意不要危及飞行器，尝试前后各做几次短促的全摆杆操作。偏航也一样，但你应该能够将偏航杆推到每个方向的极限位置约一秒钟，并在方向反转之间回落到中立位置一秒钟。
- 下载数据闪存日志进行分析。为了确定 Q_A_RAT_PIT_FF 和 Q_A_RAT_YAW_FF 项，请使用类似 <https://plot.ardupilot.org> 的日志分析器，并使用“添加表达式”按钮，在同一比例尺上设置以下图表：

$$\text{PIQP.FF} + \text{PIQP.P} + \text{PIQP.D}$$

$$X * (\text{PIQP.Act})$$
 其中 X 初始值为 0.2。
- 接下来，调节上方的 X 值，直到两个图的幅值大致相等。这将作为 Q_A_RAT_PIT_FF 项的值。将 Q_A_RAT_PIT_I 项的值设置为等于此值。
- 现在对偏航轴执行相同的操作：

$$\text{PIQY.FF} + \text{PIQY.P} + \text{PIQY.D}$$

$$X * (\text{PIQY.Act})$$
 其中 X 初始值为 0.2。
- 现在你可以再次悬停，然后开始增加 Q_A_RAT_PIT_D 项，无论是通过迭代还是使用基于遥控器的调参，直到它振荡，然后将其减少到该值的 1/2 到 1/3。
- 然后增加 Q_A_RAT_PIT_P 项，直到它振荡，然后将其减少到该值的 1/2 到 1/3。
- 对偏航轴也进行同样的操作。

横滚调参

这样应该可以让你获得合理的俯仰角和偏航角调节值。横滚角的调节方法与 QuadPlane 中的步骤 10 相同。如果仅使用 Q_AUTOTUNE_AXES 来限制横滚轴，甚至可以使用 QAUTOTUNE 对横滚轴进行自动调节。

冗余执行器的垂直起降增益缩放

一些尾座式飞行器针对特定轴配备了冗余执行器。矢量推力尾座式飞行器可能同时配备用于偏航的倾转电机和升降副翼。旋翼式尾座式飞行器除了旋翼式电机外，还可能配备用于产生俯仰或偏航的固定翼舵面。在某些情况下，人们希望这些固定翼舵面在垂直起降飞行中提供比电机更大的姿态控制能力，从而降低实现该控制所需的推力/油门水平。

以下参数用于调节固定翼舵面在每个轴上的控制量。较大的值会赋予舵面更大的增益，这将使整个系统获得更大的增益，因此可能需要降低俯仰和偏航的 PID 增益 Q_A_RAT_。例如，为了降低电机的响应，可以将

PID 的 P/D/I/FF 速率增益减半，并将舵面比例因子设置为 2。这样，舵面的响应与之前相同，但电机输出减半。

默认值为 1，这意味着行为与之前相同。这些增益仅在垂直起降模式或 Q 辅助模式下生效。

- Q_TAILSIT_VT_P_P 俯仰 PID 输出到舵面的比例尺
- Q_TAILSIT_VT_R_P 横滚 PID 输出到舵面的比例尺
- Q_TAILSIT_VT_Y_P 横摆角 PID 输出到舵面的比例尺

6.5.5、垂直起降模式快速调校

这是一种快速优化飞行器垂直起降模式 (VTOL) 参数的方法。该程序会逐步增加相关增益，直至检测到振荡。然后，它会将增益降低 60%，并继续调节下一个增益。所有增益调节完毕后，调校过程完成，用户可以选择保存或放弃新的增益设置。

RCx_OPTION 为“181”的二段或者三段遥控器开关拨到“tune”位置时，该脚本会尝试自动调节每个启用调参功能的轴的 P/I 和 D 增益。默认情况下，它还会根据 INS_GYRO_FILTER 设置调节一些 PID 回路滤波器的值。

与 QAUTOTUNE 相比，QUICKTUNE 的优势在于其安全性更高，因为飞机无需移动或抖动，而 QAUTOTUNE 有时会导致飞机不稳定。因此，除专家外，不再建议使用 QAUTOTUNE。

缺点在于 QUICKTUNE 无法找到飞行器的最大旋转加速度，也无法根据默认值或预调值调节姿态角外环。但是，通常只需调节内环速率即可获得稳定、安全的飞行器。

设置

- 设置 QWIK_ENABLE = “1” 以启用快速调参
- 设置 QWIK_AXES 指向哪些轴 (Roll/Pitch/Yaw)

激活 RC 开关

设置一个二段或者三段遥控器开关，并将 RCx_OPTION = “181”。如果是二段开关，请将 QWIK_OPTIONS 位 0 设置为“1”，并且您可能需要设置 QWIK_AUTO_SAVE 参数，以便在完成后自动保存调参设置。

使用三位开关，将开关拨到“高位”(>1800 微秒)为“保存”位置，即使调参尚未完成，也会保存当前的调参参数。将开关拨到中间位置启动调参过程（“调参”）。将开关拨到“低位”(<1200 微秒)停止调参，并将参数恢复到调参开始前的值。

注意

遥控器辅助开关仅在开关状态转换时起作用。启动时其位置无效，因此如果开关在启动时处于“高”状态，为了获得“高”功能，必须将其切换到另一个位置，然后再切换回“高”状态。

使用二段开关，“高”位为“调参”位置，“低”位停止/恢复调参状态。要保存参数，您必须设置 QWIK_AUTO_SAVE 参数或使用 GCS AUX 开关功能。

调校飞行

- 等到风平浪静的日子，前往 GPS 信号良好的开阔地带
- 使用 OSD、TX OSD（使用 Yaapu）或 GCS。调参结果将显示在此处
- 将遥控器开关拨到低位，或按下 MP 辅助功能的“低”按钮
- 进入 QLOITER 模式并起飞，爬升至约 3 米高度
- 要开始调参，请将遥控器开关拨到“调参”位置，或者按下 MP 辅助功能的“Mid”按钮
- 使用 GCS 的“消息”选项卡监控调校进度
- 如有必要，请使用遥控器重新定位飞机。这将暂时停止调参。遥控器摇杆回到中间位置几秒钟后，调参将恢复
- 如果飞机开始剧烈摇晃，您可以将遥控器开关拨到低位来取消调参，或者按下 MP 辅助功能的“低”按钮。如果飞机摇晃或俯仰超过 QWIK_ANGLE_MAX 值，调参将自动中止
- 调校完成后，将遥控器辅助开关拨到“保存”位置以接受新的增益，等待 QWIK_AUTO_SAVE 超时，或者按下 MP 辅助功能的“高”按钮
- 飞机着陆并上锁

高级配置

下面显示了一些其他高级参数，但通常不需要更改，即使需要更改，也只有经验丰富的用户才能进行修改：

- QWIK_AUTO_FILTER
- QWIK_DOUBLE_TIME
- QWIK_GAIN_MARGIN
- QWIK_OSC_SMAX
- QWIK_YAW_P_MAX
- QWIK_YAW_D_MAX
- QWIK_RP_PI_RATIO
- QWIK_Y_PI_RATIO
- QWIK_REDUCE_MAX
- QWIK_ANGLE_MAX

7、自动调参

自动调参功能可以自动调整 Stabilize P 和 Rate P、Rate D 的参数，从而得到更高的灵活性，也不会有大的超调。通过在飞行中自通过不断的 roll 和 pitch 动作中来得到最佳的 PID 参数，所以在使用自动调参前必须切换至定高模式。

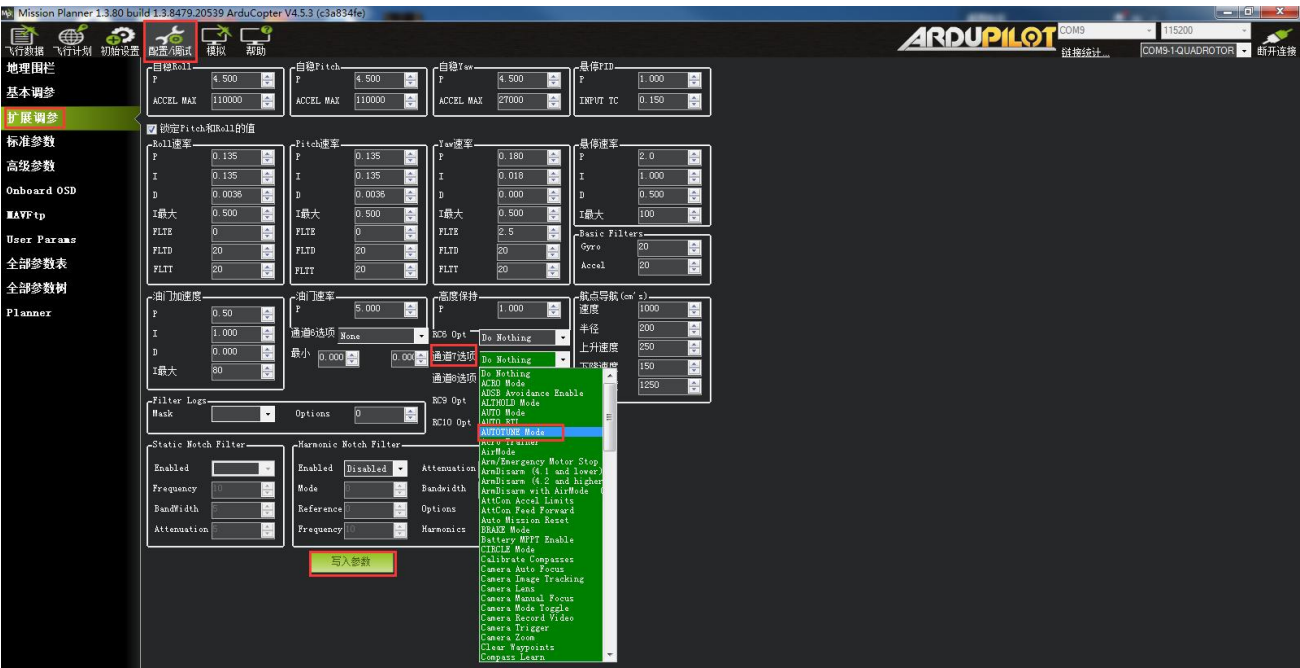
因为默认自动调参为多个方向一起调整后才会保存参数，在电池电力不足的情况下，很难调整完成，针对这种情况，推荐使用单个方向调整，具体修改如下参数：

AUTOTUNE_AXES

参数值	值含义
7	三个轴都调整
1	只调整 ROLL(横滚)
2	只调整 PITCH(俯仰)
4	只调整 YAW(偏航)
3	调整 ROLL 和 PITCH
5	调整 ROLL 和 YAW
6	调整 PITCH 和 YAW

如何使用自动调参：

1. 把某一个飞行模式设定为定高模；
2. 把通道 7 或者通道 8 设定为自动调参的开关或飞行模式中设置为自动调参；



3. 在起飞时确保通道 7 或通道 8 处于低位；
4. 在一个晴朗的天到一个开阔的场地进行试飞；
5. 起飞然后在一个合适的高度切到定高模式；
6. 将通道 7/通道 8 拨至高位以开启自动调参模式：

- 此时你将看到飞机以 20°左右来回要摆几分钟，然后在前后方向重复同样的过程。
- 如果飞机漂的过远，我们可以打杆让它飞回来（此时飞机用的是最初设置的 PID 参数）。飞回来之后我们松开遥控器摇杆，自动调参将会继续进行。
- 如果我们想终止自动调参，我们只需要把通道 7/通道 8 打回低位，此时自动调参将会终止并且切回最初的 PID 参数。

7. 自动调参完成后，飞机将会切回最初的 PID 参数设置；
8. 如果想测试自动调参得到的 PID 参数的飞行效果，我们需要把通道 7/通道 8 先切回低位，再打到高位，此时使用的就是自动调参得到的 PID 参数；
9. 如果想继续使用最初的 PID 参数设置，把通道 7/通道 8 打到低位即可；
10. 如果你觉得自动调参得到的 PID 参数飞行效果不错，我们在给飞机上锁的时候保持通道 7/通道 8 高位，这样新的 PID 参数将会保持并且覆盖最初的 PID 参数。如果你觉得自动调参得到的参数不太好，我们在给飞机上锁的时候保持通道 7/通道 8 低位，此时自动调参得到的参数就不会保存。

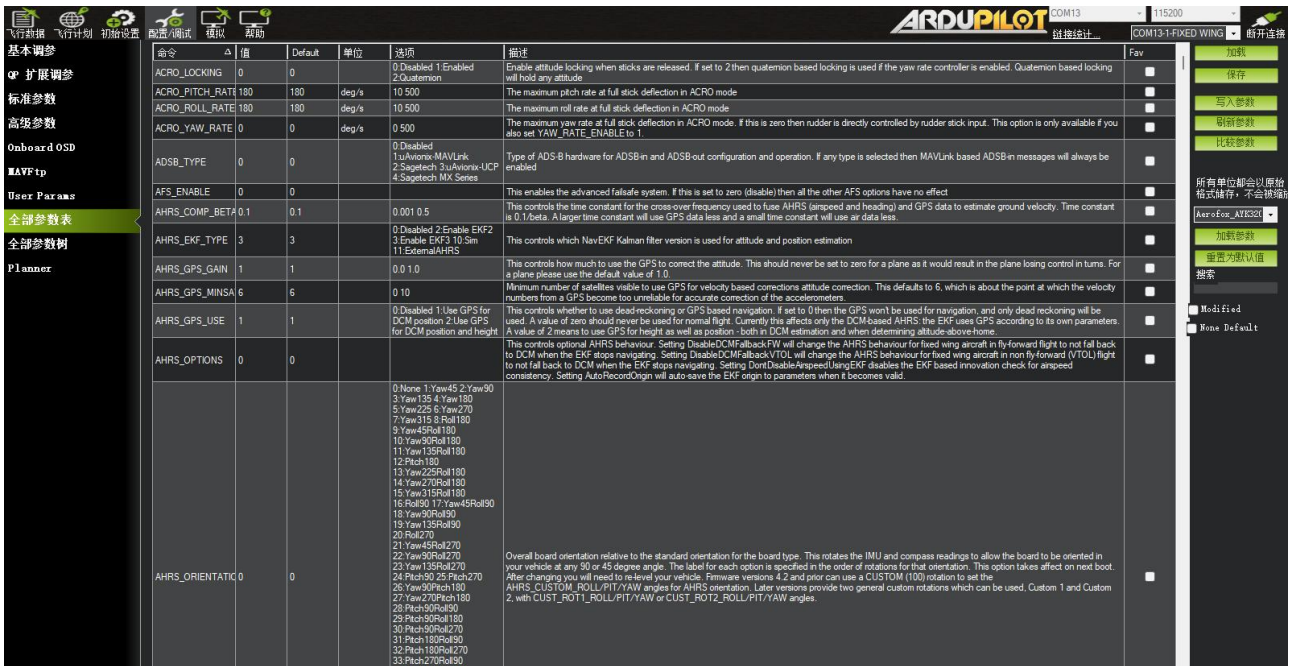
注意：

- 目前为止，与自动调参有关的问题都与机架有关：飞控的减震棉太软或者机臂松动。
- 当你的电池飞行时间较短，或者飞行环境风大，空间较小，或者参数比较差，需要较长时间调整，可以修改参数进行一个轴一个轴的调整（V3.3 版本之后固件支持）。
- 为了得到最佳的自动调参参数，我们要控制飞机在自动调参时的飞行速度。当漂移过远之后注意拉回来，当我们操作时候，调整自动暂停，无人控制介入时候启动。
- 请注意在自稳模式时，自动调参也可以启动。在启动自动调参之前，要确保飞机已经切到定高模式，要避免误碰。

8、参数设置

8.1、参数界面介绍

在 MP 地面站中，PIX6 的参数可以修改飞控一切设置，并且没有值范围限制，请不要在飞行中修改。



界面右边栏目：

基本参数：提供遥控控制手感，爬升反应率简单参数调整。

扩展调参：提供 PID,7、8 通道功能调整。

标准参数：提供界面一些基本设置解锁检测项，日志，附加功能开启，通道功能等。

高级参数：提供界面 PID 等一些高级功能设置。

全部参数表：所有参数列表显示，参数名称，参数值，值单位，值范围和值选项，参数功能介绍。

全部参数树：相关功能参数相近显示，一个功能展开后，功能相关参数显示。

界面左边栏目：

加载：加载保存的参数文件。

保存：参数以文件保存在电脑。

写入参数：上传修改的参数到飞控，保存修改。

刷新参数：显示最新修改后的参数。

比较参数：可以对比保存文件中的参数与飞控现在显示的参数，点后选择参数文件后，显示不同项目值。

重置为默认：重置所有参数为默认，当出现一些参数写入故障或者设置故障，推荐还原参数后再重新校准。

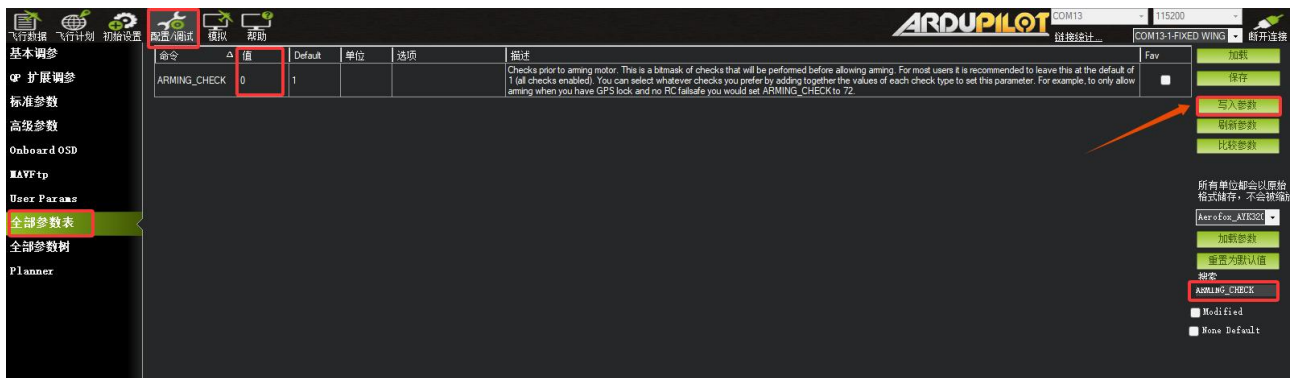
搜索：输入参数名称，搜索对应参数，可以模糊搜索，输入参数名前缀即。

8.2、参数修改

飞控所有设置都可以通过参数中来设置，所以知道怎么修改参数对于飞控使用很重要，进入全部参数界面后可以按以下步骤修改；

1. 在搜索框输出你要修改参数名称；

2. 等待中间位置刷新显示搜索后参数；
3. 在参数值框中点击选中后，输入你想修改的值；
4. 点击右侧的**写入参数**，进行参数保存。



8.3、手动调参

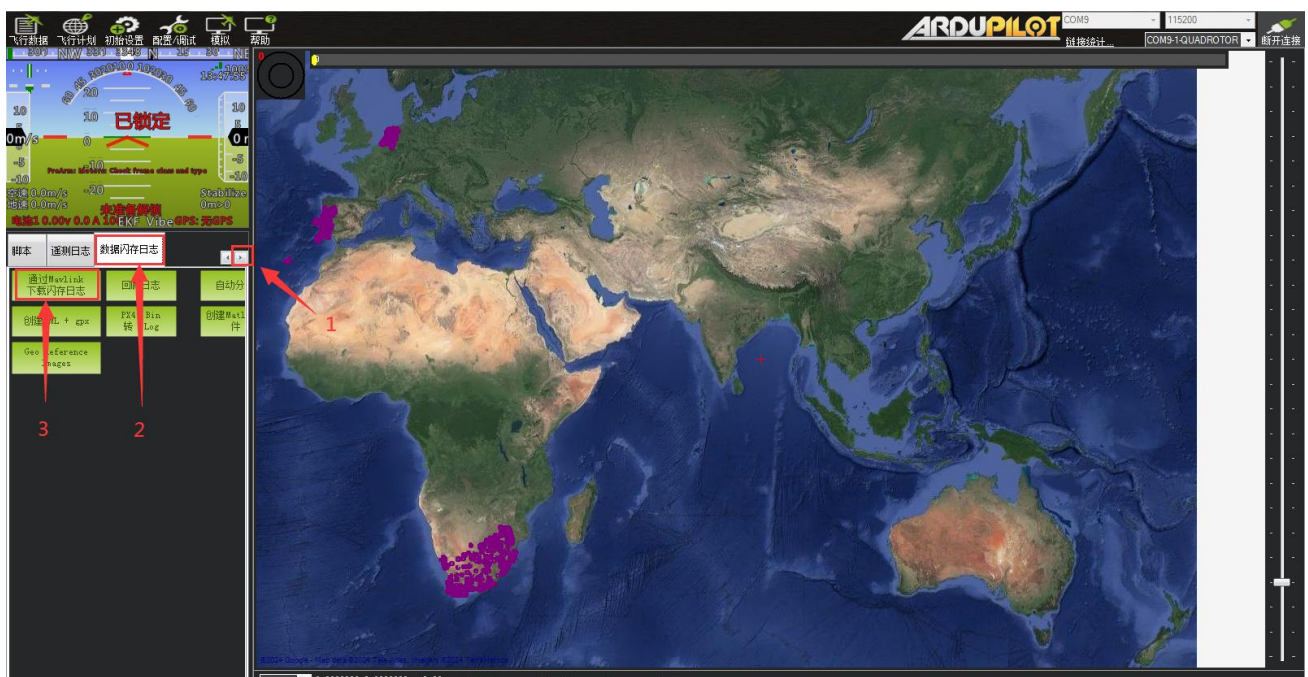
飞控默认参数不一定适用，需要更进一步的手动调整，以下提供手动调整的文档，大家可以按照文档的手动更加进一步精细调整，期待大家飞行完美。

[穿越机调参指导文档下载](#)（点击右上角的中文可切换语言为中文）

9、日志下载与查看

通过此方式下载飞行日志，进行问题分析，查看飞行轨迹等。

通过地面站连接飞控，连接后进行如下图操作，进行日志下载。





下载全部日志：下载全部所有的飞控日志。

下载这些日志：下载选中的日志。

通过下图步骤打开日志文件：



可供参考资料

1. 测量飞机震动情况

<http://www.ncnynl.com/archives/201608/438.html>

2. pix 官方文档中文版本

<http://www.ncnynl.com/archives/201608/393.html>

2. ardupilot 官方文档

<https://ardupilot.org/plane/index.html>

3. ardupilot 官方论坛，可以反馈 BUG 或者查看故障

<https://discuss.ardupilot.org/>

感谢

非常感谢您购买乐迪 PIX6。为了您更好的使用设备并保证安全飞行，请您仔细阅读使用说明书，我们在编写说明书时尽量使用大家熟悉的名称和提法让初学者读起来轻松易懂。

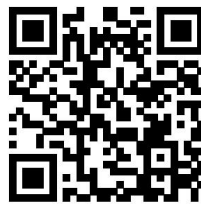
在您阅读本说明书时，如遇到困难可扫描下方二维码查看产品的常见问题及使用教程，您还可以通过以下微信及 QQ 群联系我司售后进行咨询，或登陆我司官网（www.radiolink.com.cn）查看更多产品信息。在使用过程中，如发现与本说明书本有不相符之处，请及时反馈给售后邮箱 after_service@radiolink.com.cn



PIX6 说明书



PIX6 常见问题



PIX6 使用教程



乐迪售后微信