

LightFin

LightFin INAV 飞控用户手册

面向差速固定翼与轻量机型的 1S 一体式飞控解决方案

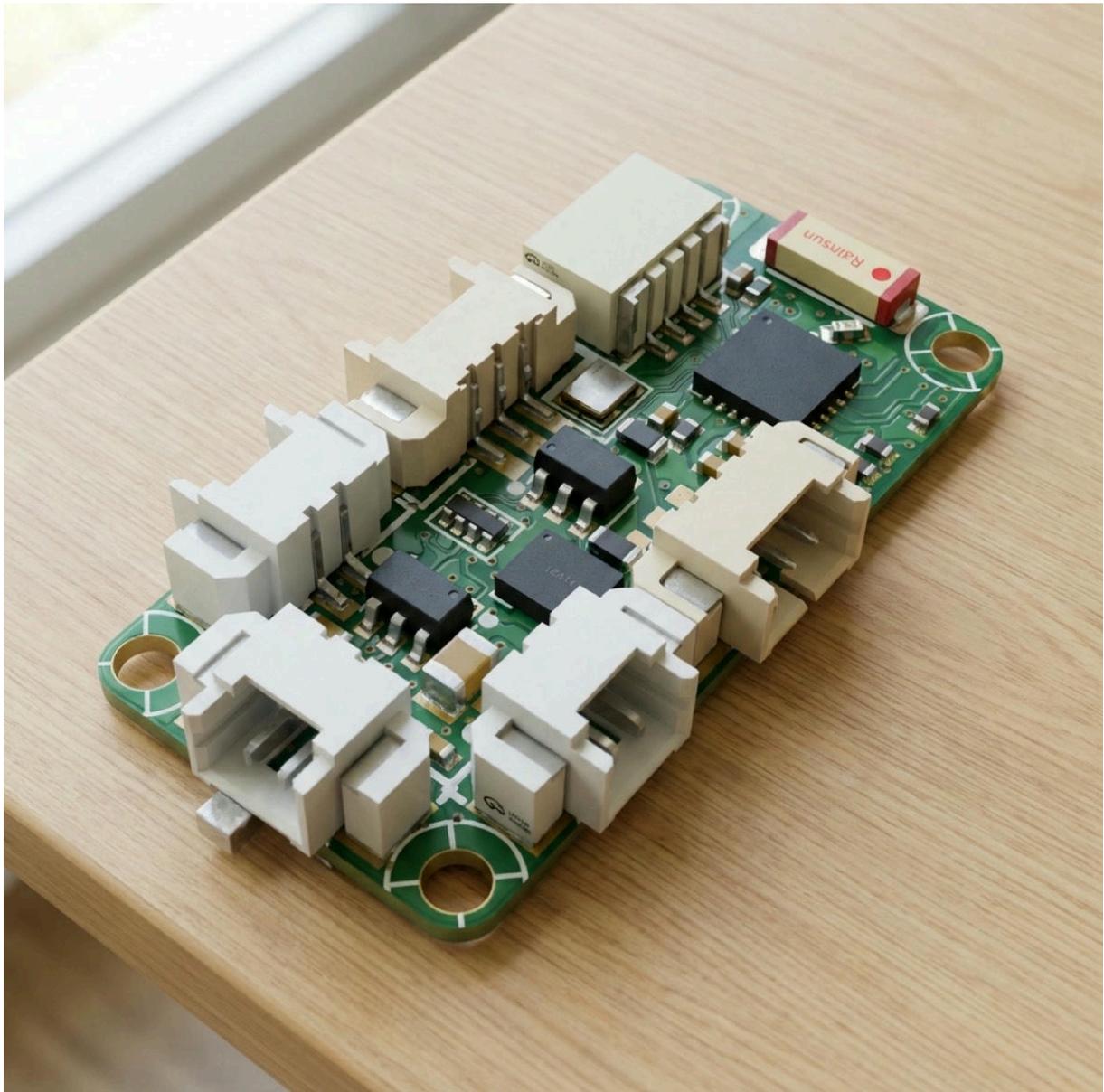


图 1 产品外观与接口示意图

文档版本：v1.0 | 最后更新：2026 年 1 月 28 日

适用硬件：LightFin 飞控（AT32F435mini 硬件平台，INAV 定制固件）

目录

1 产品概述	5
1.1 核心定位与适用机型	5
1.2 核心硬件特性	5
1.3 使用场景与优势	5
2 硬件概览	6
2.1 指示灯与按键	7
2.2 机械部分	7
3 快速上手	7
3.1 第一步：安装 INAV Configurator	7
3.2 第二步：硬件连接	7
3.3 第三步：首次连接配置向导	10
3.4 第四步：配置差速纸飞机	16
3.5 第五步：最终连接和遥控器配置	19
3.6 第六步：首飞检查清单	21

4 进阶设置与固件烧录	22
4.1 开箱检查与准备	22
4.2 关键接口连接	22
4.3 固件烧录流程	23
5 详细技术规范	25
5.1 电源树	25
5.2 传感器与总线地址	25
5.3 接口与引脚定义	25
6 调试建议与注意事项	27
7 故障排除	27
7.1 连接问题	27
7.2 对频问题	27
7.3 电机问题	28
7.4 传感器问题	28

8 产品规格汇总	28
9 术语表	29

1 产品概述

LightFin 是由 座头鲸工作室 / HumpbackLab 推出的轻量化固定翼飞控产品。

1.1 核心定位与适用机型

LightFin (硬件平台: AT32F435mini) 是一款面向 INAV 固件的超小型飞控, 集成 AT32F435 主控与 ELRS (ExpressLRS, 开源低延迟射频协议) 链路, 适用于 1S 供电的轻量机型, 尤其适合 差速控制的无襟翼固定翼 (如纸飞机改装)。板载传感器覆盖 IMU (惯性测量单元)、气压计与磁力计, 满足稳定飞行与高度/航向估计的基础需求。

1.2 核心硬件特性

模块	型号/器件	说明
主控 MCU	AT32F435CGU7	QFN48, 板载 SWD 调试与多路 UART/PWM
无线链路	ESP8285 + SX1280	板载 ELRS 射频链路, SPI 控制射频芯片; WiFi 和 ELRS 双天线设计
IMU	LSM6DSOWTR	SPI1 总线, 提供加速度计/陀螺仪数据
磁力计	QMC5883P	I2C2, 总线地址 0x2C
气压计	SPL06-001	I2C2, 总线地址 0x77
电源管理	TPS22975 + TPS63001	负载开关 + Buck-Boost 供电

1.3 使用场景与优势

- **差速固定翼**: 双电机差速控制转向与俯仰, 适合无襟翼/无舵面设计。
- **1S 轻量平台**: 板载电源方案适配 1S LiPo, 结构紧凑, 减少外部模块。
- **ELRS 一体化**: 无需外接接收机, 降低布线与重量。

2 硬件概览

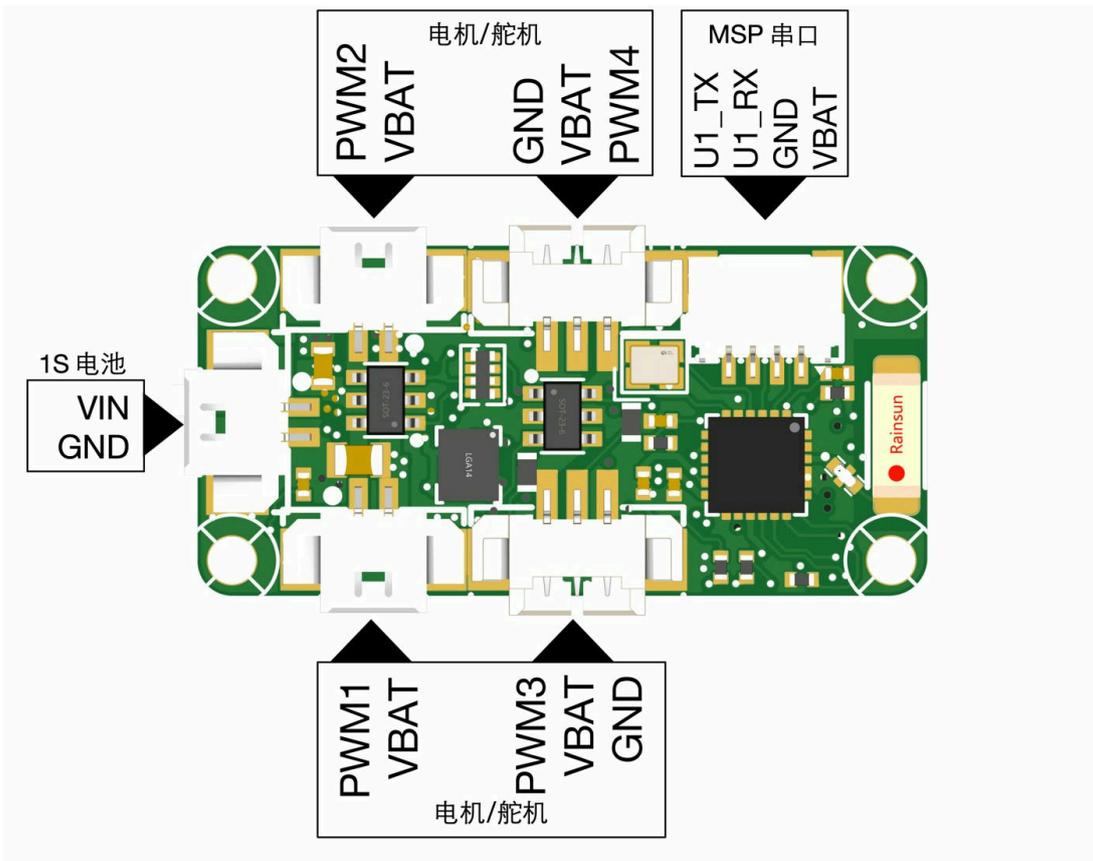


图 2 PCB 顶层布局图

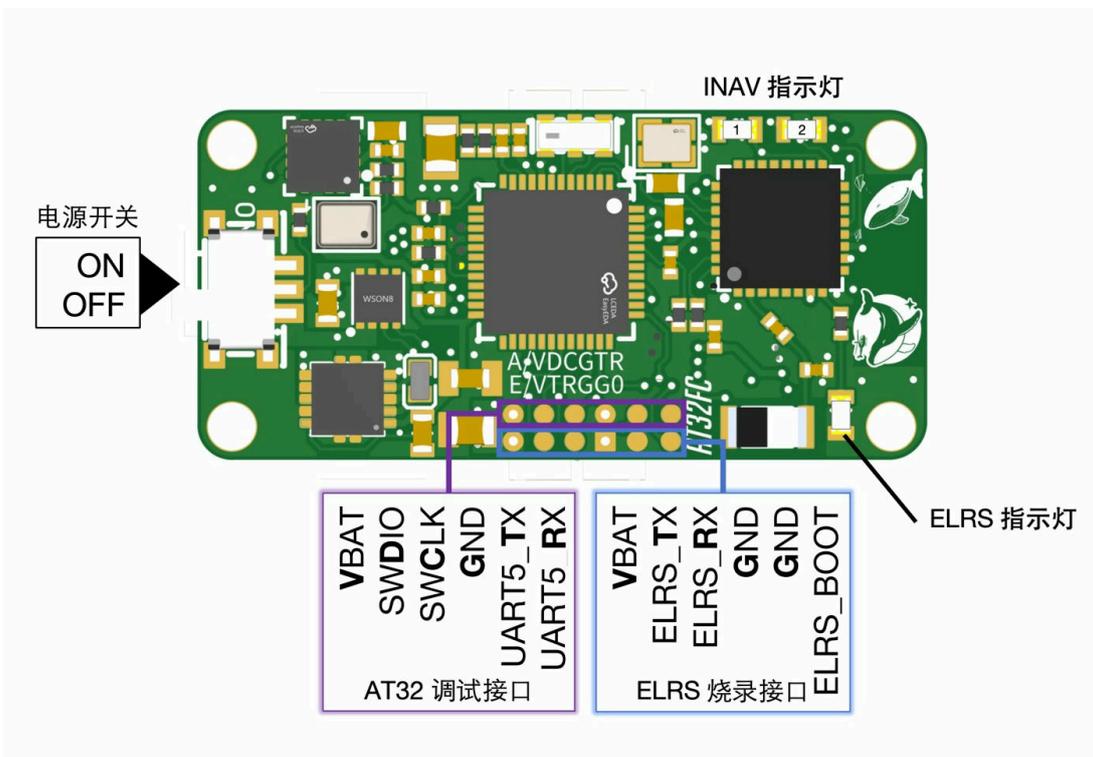


图 3 PCB 底层布局图

2.1 指示灯与按键

- **LED 状态灯**: 板载 3 颗状态灯, 其中 2 颗由 MCU 控制、1 颗由 ESP (ELRS_LED) 控制。
- **电源/功能按键**: 板载滑动开关, 用于电源控制。

2.2 机械部分

- **PCB 尺寸**: 约 30.2 mm × 14.6 mm
- **板厚**: 0.8 mm
- **安装孔**: 4 × M2 螺丝孔

3 快速上手

本章面向拿到成品 LightFin 飞控的普通用户, 帮助你快速完成连接、配置和起飞。LightFin 飞控已出厂预装 INAV 和 ELRS 固件, 可直接按本章操作。

最快起飞路径: 如果飞控已由卖家预配置好机型参数, 你只需完成以下步骤即可首飞:

1. **装机和对频** (第五步): 将电池和电机连接到飞控, 让遥控器与飞控建立连接
2. **首飞检查** (第六步): 确认一切正常后起飞

只有当你需要调整参数、排查问题或首次配置机型时, 才需要连接电脑使用 INAV Configurator。

3.1 第一步: 安装 INAV Configurator

INAV Configurator 是配置飞控的上位机软件, 支持 Windows、macOS 和 Linux。

1. 访问官方下载页面:
 - **GitHub Releases**: <https://github.com/iNavFlight/inav-configurator/releases>
 - 选择最新版本, 下载对应操作系统的安装包。如 INAV-Configurator_win64_9.0.0.exe
2. 安装并运行 INAV Configurator。
3. 首次运行时, Windows 可能提示安装驱动, 按提示完成即可。

3.2 第二步: 硬件连接

本节介绍飞控的电源、电机和串口接线方式。

3.2.1 串口连接

提示: 串口连接仅用于高级配置和调试。如果飞控已预配置且只需对频后直接飞行, 则无需连接串口、可跳过本节。

3.2.1.1 准备材料

	 <p>SH1.0转2.54杜邦端子线-4P</p>	
3.3V 电平 USB 串口模块	SH1.0-4Pin 转杜邦线	1S 锂电池

A4 纸/折纸
教程?

3.2.1.2 接线方式

飞控正面的 **UART1 接口** (SH1.0-4Pin) 用于连接上位机:

飞控引脚	连接到	说明
Pin 1 (VBAT)	串口模块 5V	飞控电源
Pin 2 (GND)	串口模块 GND	电源地
Pin 3 (RX)	串口模块 TX	飞控接收 ← 电脑发送
Pin 4 (TX)	串口模块 RX	飞控发送 → 电脑接收



图 4 USB-TTL 串口模块到飞控 UART1 接线示意图

注意： TX/RX 交叉连接！飞控的 RX 接串口模块的 TX，飞控的 TX 接串口模块的 RX。

3.2.1.3 连接步骤

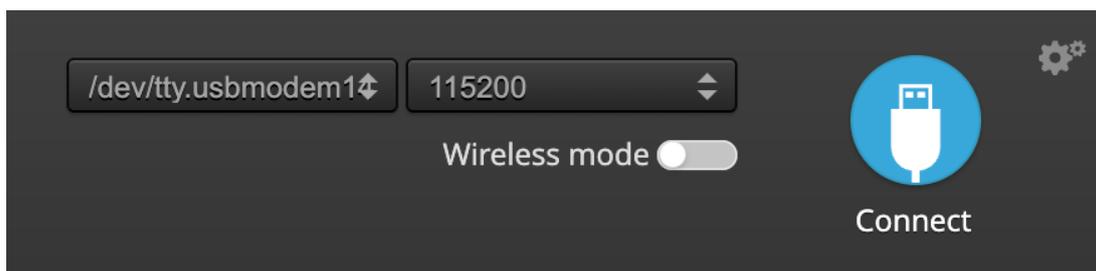


图 5 连接界面

1. 按上表接好线，将 USB-TTL 模块插入电脑。
3. 打开 INAV Configurator，左上角选择正确的串口（如 COM3 或 /dev/ttyUSB0）。
4. 波特率保持默认 **115200**，点击 **Connect**。
5. 连接成功后进入配置界面。

注意：首次连接配置向导阶段，请勿连接电机！默认配置下，INAV 会激活电调输出，可能导致连接的电机意外转动，造成电脑 USB 端口保护性断开，或造成人身伤害。请务必在电机配置完成后，在第四步再连接电机。

3.3 第三步：首次连接配置向导

首次连接飞控时，INAV Configurator 会弹出配置向导，帮助你快速完成基本设置。

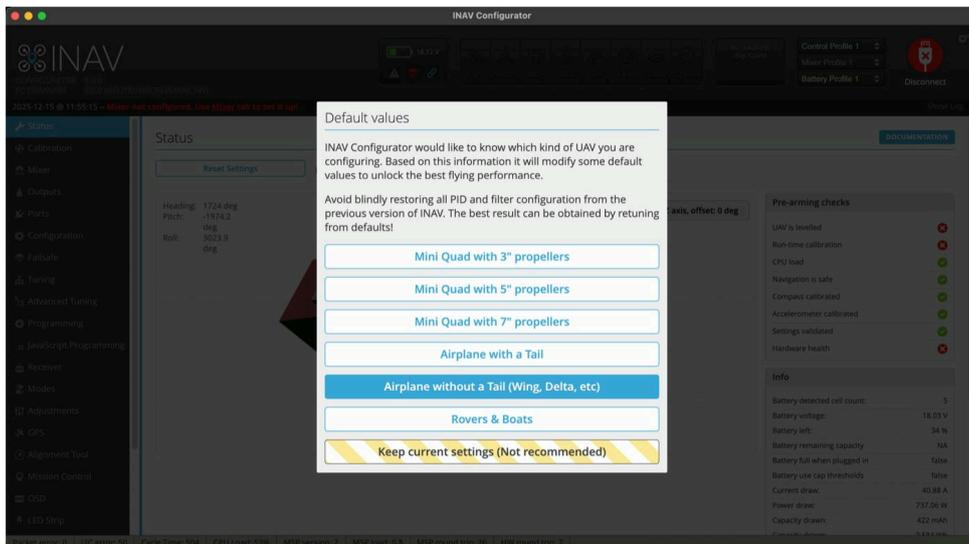


图 6 INAV Configurator 首次连接配置向导 - 机型选择

在配置向导中：

1. **Platform type:** 选择 **Airplane**
2. **Mixer preset:** 选择 **Airplane without a tail (Wing, Delta, etc)**

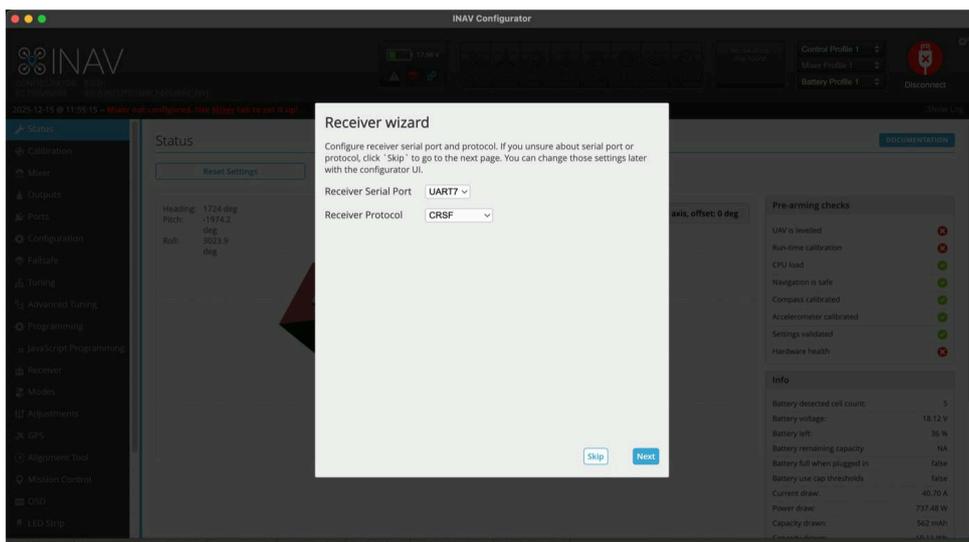


图 7 INAV Configurator 首次连接配置向导 - 接收机配置

接收机配置：

1. **Serial Receiver Provider:** 选择 **CRSF**
2. **Receiver UART:** 选择 **UART7**

3. 单击右下角 Next

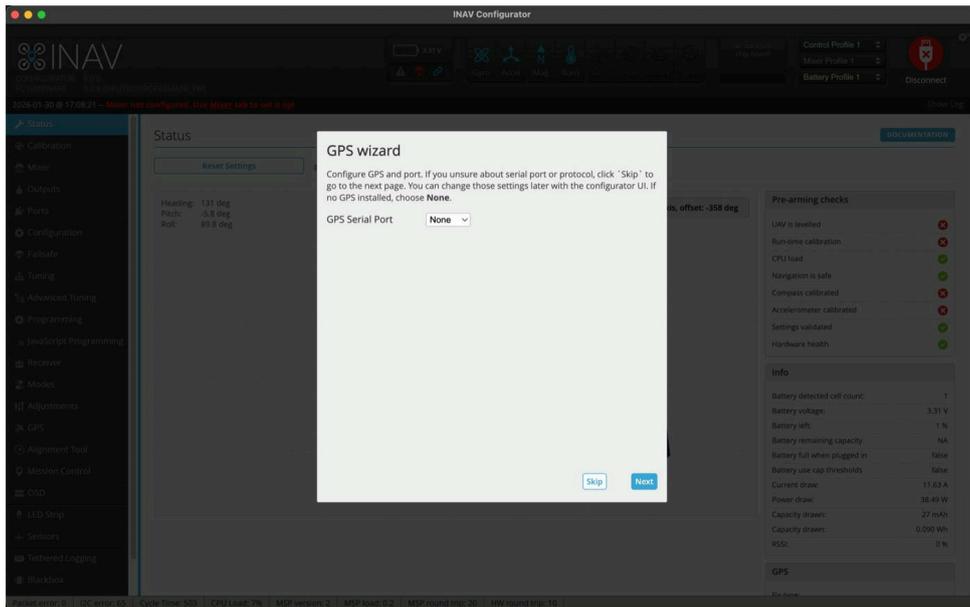


图 8 INAV Configurator 首次连接配置向导 - GPS 向导

首次连接向导会根据你选择的平台类型进行配置。飞控将保存这些参数并自动重启。

首次配置向导完成后，Status 页面将显示飞控的整体状态。如图所示，请确保左侧的传感器状态（陀螺仪、加速度计、磁力计、气压计）均为蓝色，这表示硬件连接和识别正常。右侧的“Pre-arming checks”列表在此时可能会显示一些红色的叉（例如传感器未校准、飞行模式未设置等），这是正常的。这些红色的检查项将在后续的校准和设置步骤中逐一解决，请暂时忽略。

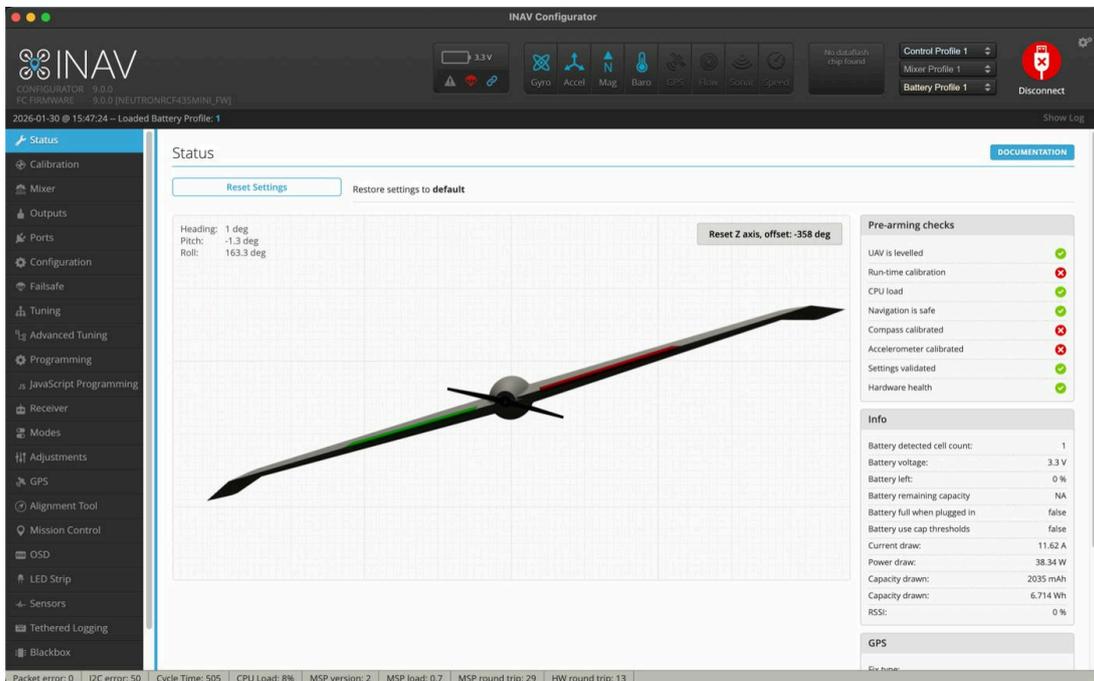


图 9 Status 页面

3.3.1 传感器校准

接下来进行传感器校准，包括加速度计和磁力计，它们用于提供飞控的姿态和方向信息。请进入 INAV Configurator 的左侧导航栏，点击 **Calibration** 页面。

首先进行加速度计校准。在 Calibration 页面，点击“Calibrate Accelerometer”按钮。

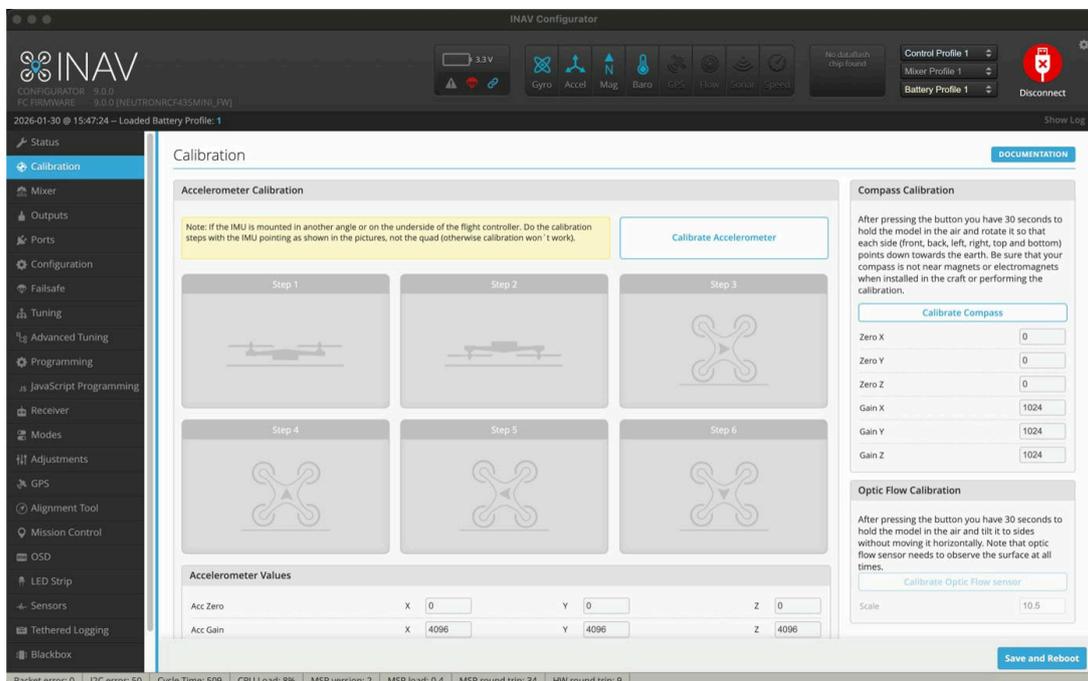


图 10 校准开始界面

然后，将飞控板按照不同的方向（正面朝上、反面朝上、左侧朝上、右侧朝上、机头朝上、机尾朝上，共六个方向）依次静置在水平表面上。每静置一个方向后，点击一次 Calibrate Accelerometer 按钮，直到界面中的所有灰色方块都被点亮。

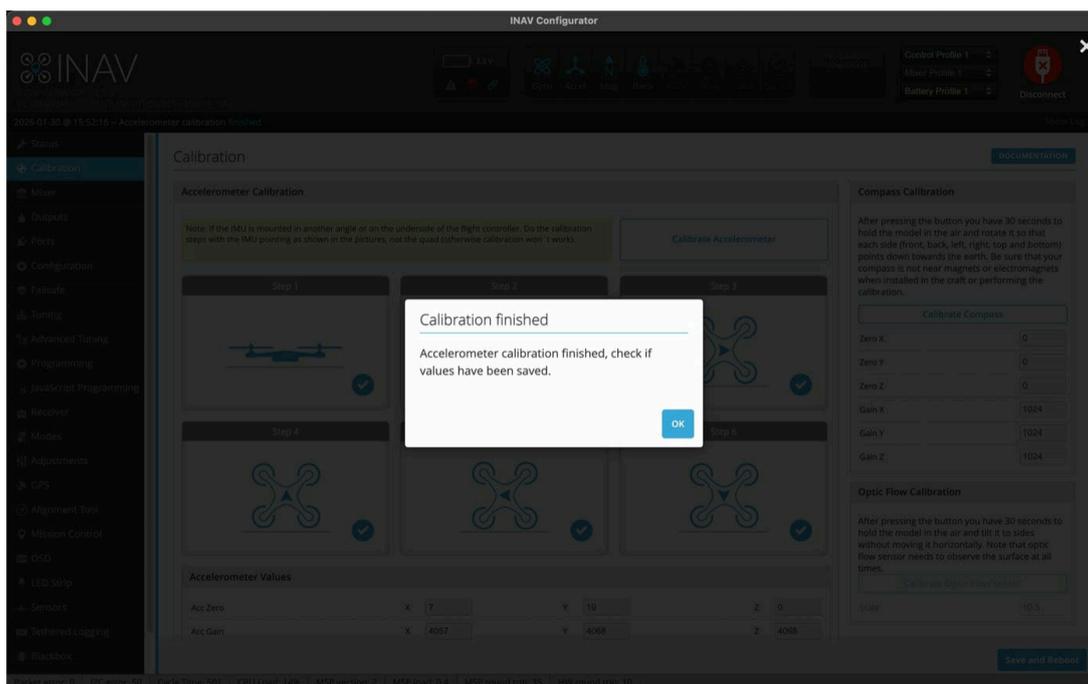


图 11 加速度计校准完成

如上图，加速度计校准成功后，接下来进行磁力计校准（Compass Calibration）。点击“Calibrate Compass”按钮，在 30 秒的时间内：将飞控握在空中，缓慢、平稳地旋转飞控，使其每一个面（包括前、后、左、右、顶部和底部）都依次朝向地面。此过程旨在让飞控的磁力计学习所有方向的磁场数据。

提示： 请务必确保在校准过程中，飞控附近没有磁铁或任何电磁干扰源，以免影响校准的准确性。

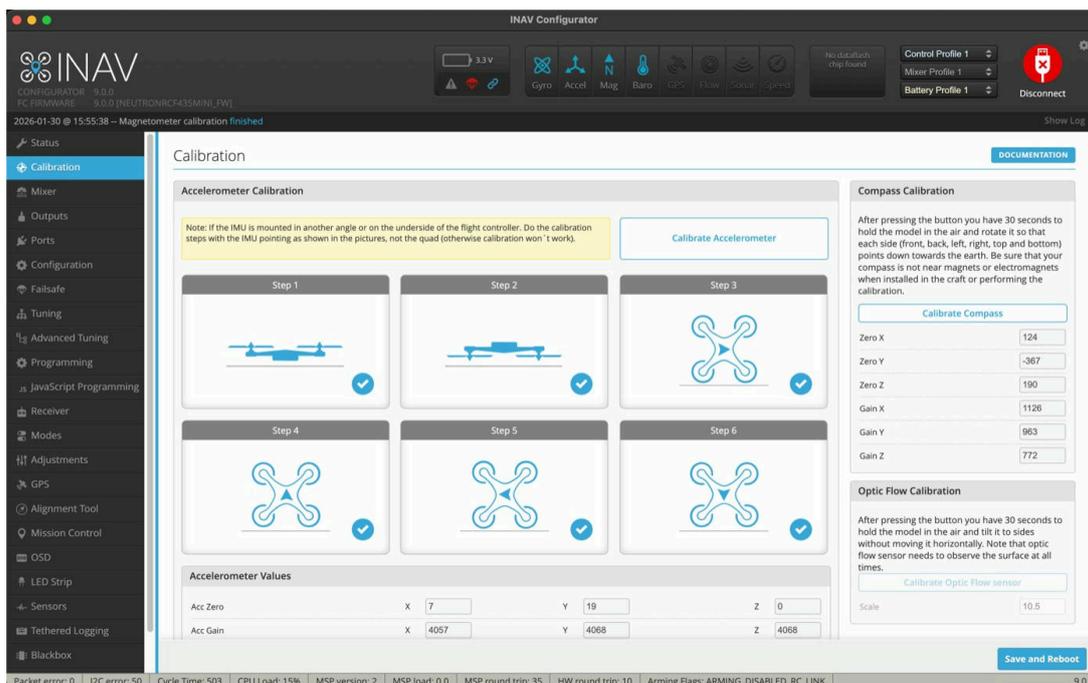


图 12 磁力计校准完成

磁力计校准完成后，所有校准任务即告一段落。此时，请务必点击右下角的“Save and Reboot”按钮，保存您的设置并让飞控重新启动，使新的校准数据生效。

飞控重启后，返回 Status 页面。此时您会看到“Pre-arming checks”列表已经全部变为绿色。这表示所有飞行前的安全检查均已通过，飞机已准备好解锁（ARM）并进行飞行。

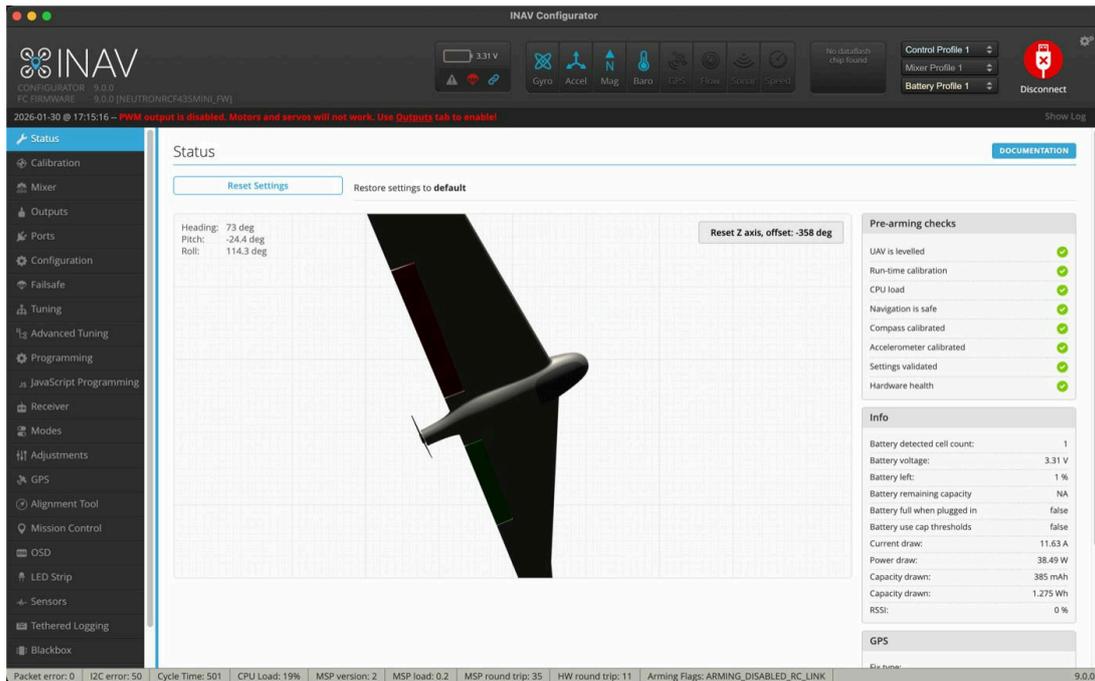


图 13 解锁检查通过

3.3.2 预配置电机模式

在连接物理电机到飞控之前，需要修改 INAV 的默认电机设置，避免默认配置下电机意外转动，造成潜在的危险或设备损坏。

注意： 在完成本节配置前，请勿连接电机。

按以下步骤将默认输出模式改为有刷电机（BRUSHED）：

1. 连接飞控并进入 INAV Configurator。
2. 左侧导航栏进入 **Outputs** 页面（如下图）。

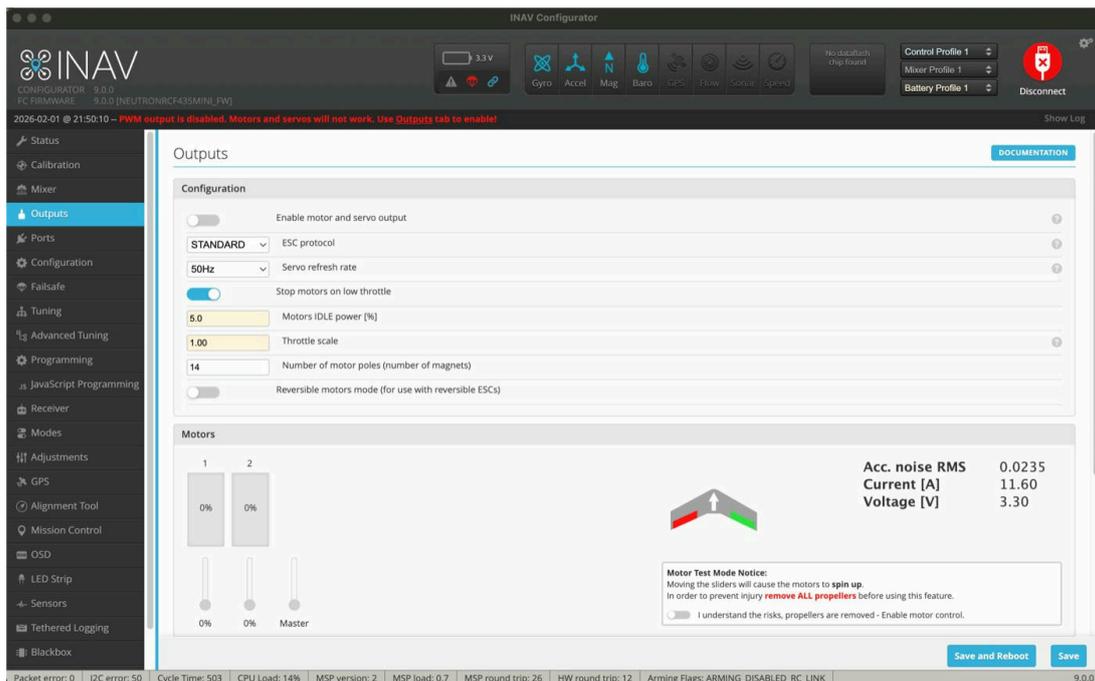


图 14 Outputs 页面

提示：LightFin 飞控无电流检测电路，在 Outputs 页面显示的当前电流值无效，可放心忽略。连接电池情况下，Voltage 部分应显示真实电池电压。

3. 打开 **Enable motor and servo output** 开关。
4. 将 **ESC protocol** 设置为 **BRUSHED**（有刷电机）。

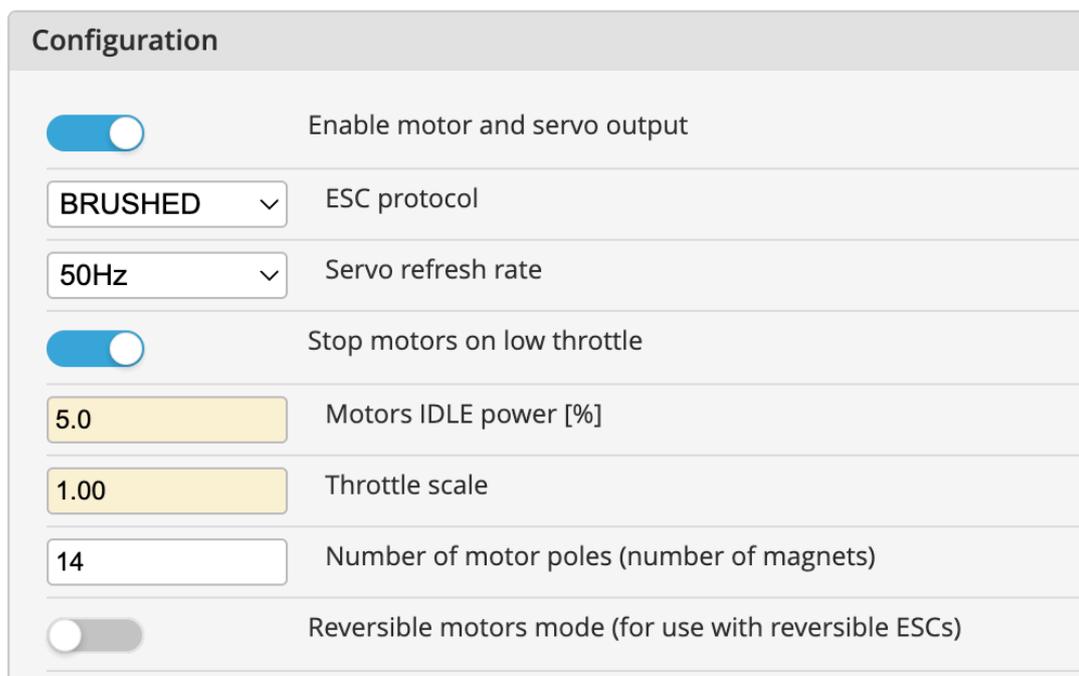


图 15 启用输出并设置 BRUSHED

5. 点击右下角 **Save and Reboot** 保存并重启。重启完成后重新连接，确认设置已生效。

3.4 第四步：配置差速纸飞机

差速纸飞机使用左右两个电机的转速差实现转向，无需舵面。请继续进行下面的配置和测试步骤。

3.4.1 连接电源和电机

在配置输出前，需要先连接两路电机到飞控 PWM 输出接口，并连接电池供电。为了连接 INAV Configurator，仍然需要连接 USB-TTL 串口。

飞控使用 1S 锂电池供电，通过 **MX1.25-2Pin** 接口连接：

接口引脚	连接到	说明
Pin 1 (VIN)	电池正极	1S 锂电池 (3.0V-4.2V)
Pin 2 (GND)	电池负极	电源地

飞控提供 4 路 PWM 输出，其中 **PWM1/PWM2** 用于差速纸飞机的左右电机：

接口	引脚定义	连接说明
U14 (PWM1)	Pin1: PWM1, Pin2: VBAT	左电机：正极接 Pin1，负极接 Pin2
U15 (PWM2)	Pin1: VBAT, Pin2: PWM2	右电机：正极接 Pin1，负极接 Pin2

注意： 在进行任何电机测试、接线或配置操作时，请务必 **不要连接螺旋桨**。

飞控正面的 **UART1 接口** (SH1.0-4Pin) 用于连接上位机。飞控供电已由电池提供，请**悬空** VBAT 电源线：

飞控引脚	连接到	说明
Pin 1 (VBAT)	悬空	飞控电源
Pin 2 (GND)	串口模块 GND	电源地
Pin 3 (RX)	串口模块 TX	飞控接收 ← 电脑发送
Pin 4 (TX)	串口模块 RX	飞控发送 → 电脑接收

下图给出了电机、电池与 USB-TTL 串口的同时连接方式，供接线核对：

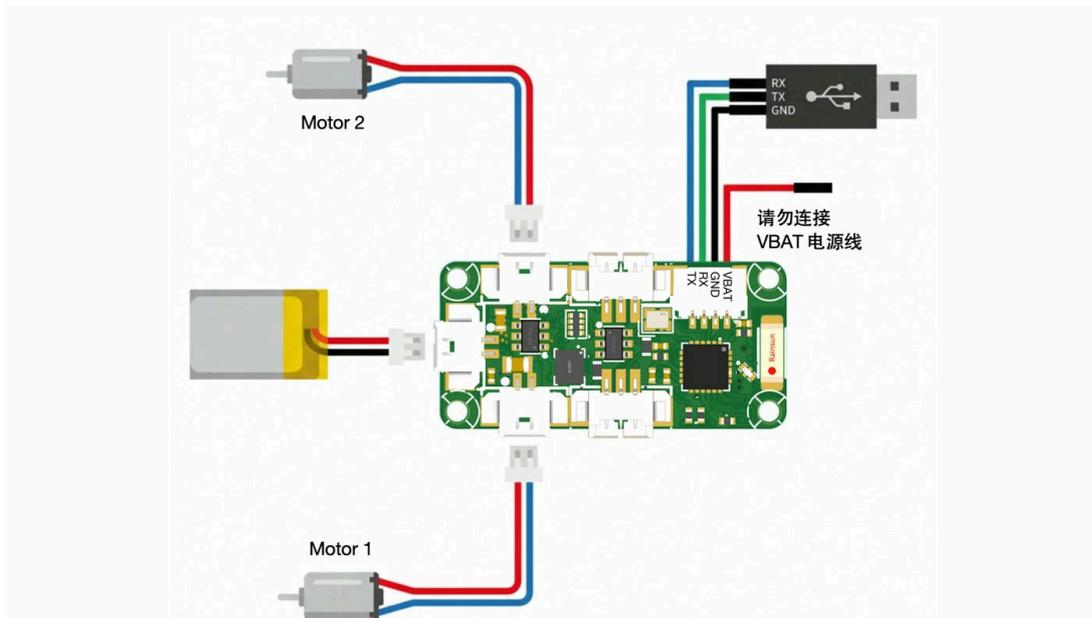


图 16 电机、电池及 USB 串口模块连接示意图

连接主电池供电，将飞控背面的开关拨动到 ON 位置，此时几个指示灯应亮起。

3.4.2 测试电机

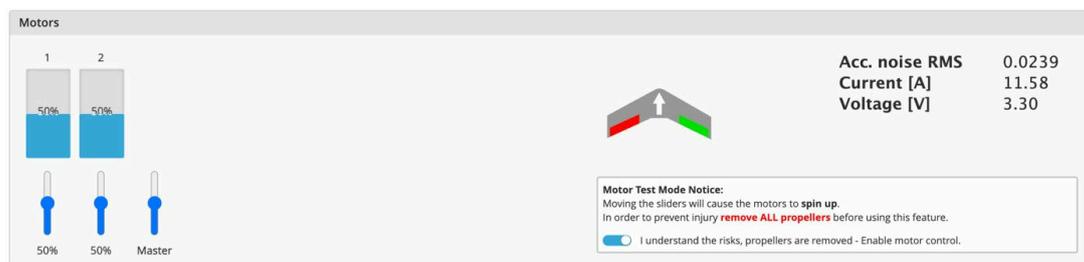


图 17 Motor 菜单启用电机控制

3.4.3 配置 Mixer 混控（差速）

差速纸飞机通常不需要舵面（Servo），只需配置两路电机（Motor）的混控即可。

1. 进入 **Mixer** 页面，确认当前为默认状态（如下图）。

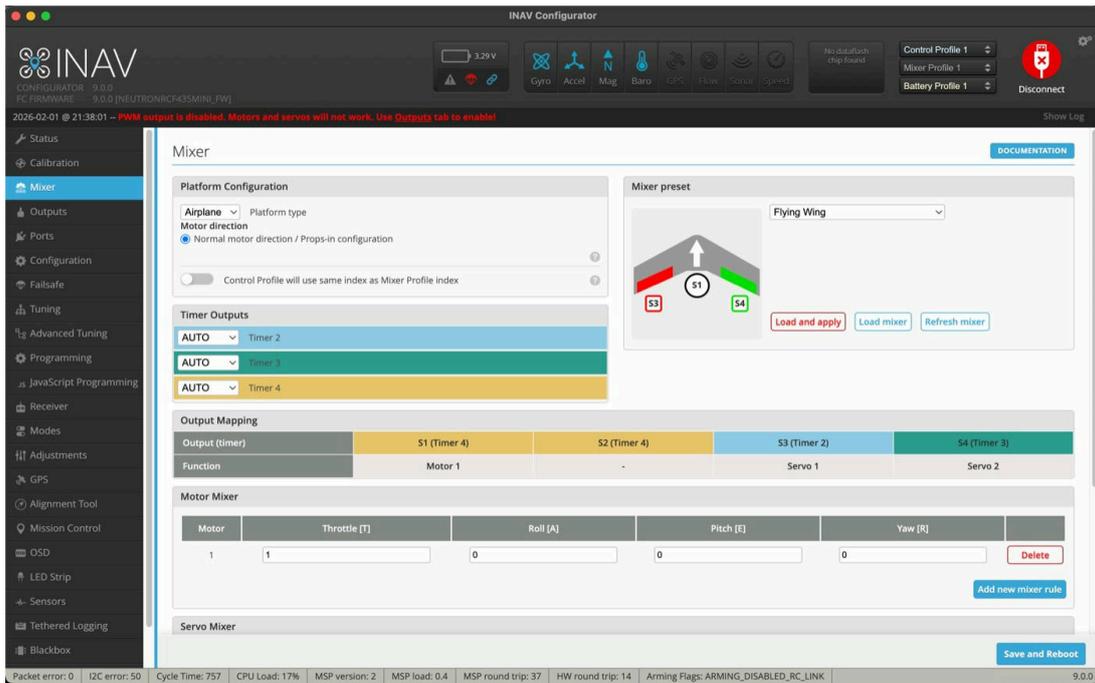


图 18 Mixer 页面默认状态

2. 在 **Mixer preset** 中选择 **Flying Wing with differential thrust**，点击 **Load mixer**。

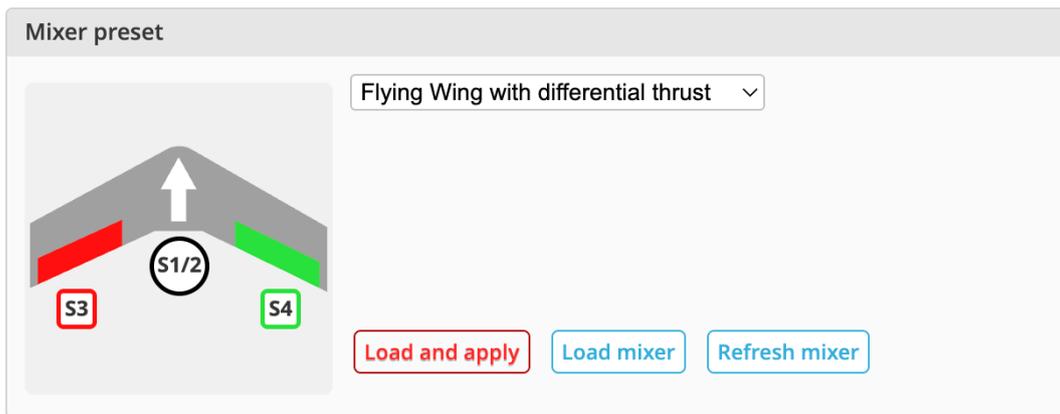


图 19 选择差速混控预设

3. 在下方 **Servo Mixer** 区域，逐条 **Delete** 删除所有舵机输出项。



图 20 删除 Servo Mixer 项

4. 在 **Motor Mixer** 区域，按下表填写两路电机的 Roll/Yaw 混控系数。

输出通道	功能	混控设置
------	----	------

Motor 1	左电机	Throttle 1, Roll -0.1, Yaw -0.1
Motor 2	右电机	Throttle 1, Roll +0.1, Yaw +0.1

核实实际推荐配置

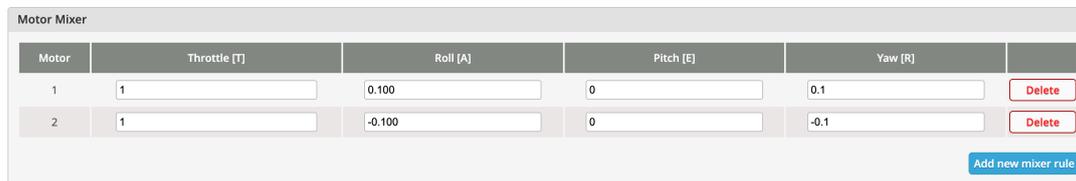


图 21 Motor Mixer 参数设置

5. 点击右下角 **Save and Reboot** 保存并重启。

提示： Yaw 的正负号决定转向方向。如果飞机转向相反，交换两个电机的 Yaw 符号即可。

核实步骤

3.4.4 设置解锁开关

1. 进入 **Modes** 页面。
2. 找到 **ARM** 模式，点击 **Add Range**。
3. 选择遥控器上的一个开关通道（如 CH 5），设置触发范围（如 1800-2100）。
 - 请先在遥控器上配置好通道映射，确保在 Receiver 页面可以看到通道数值符合预期。
4. 保存设置。

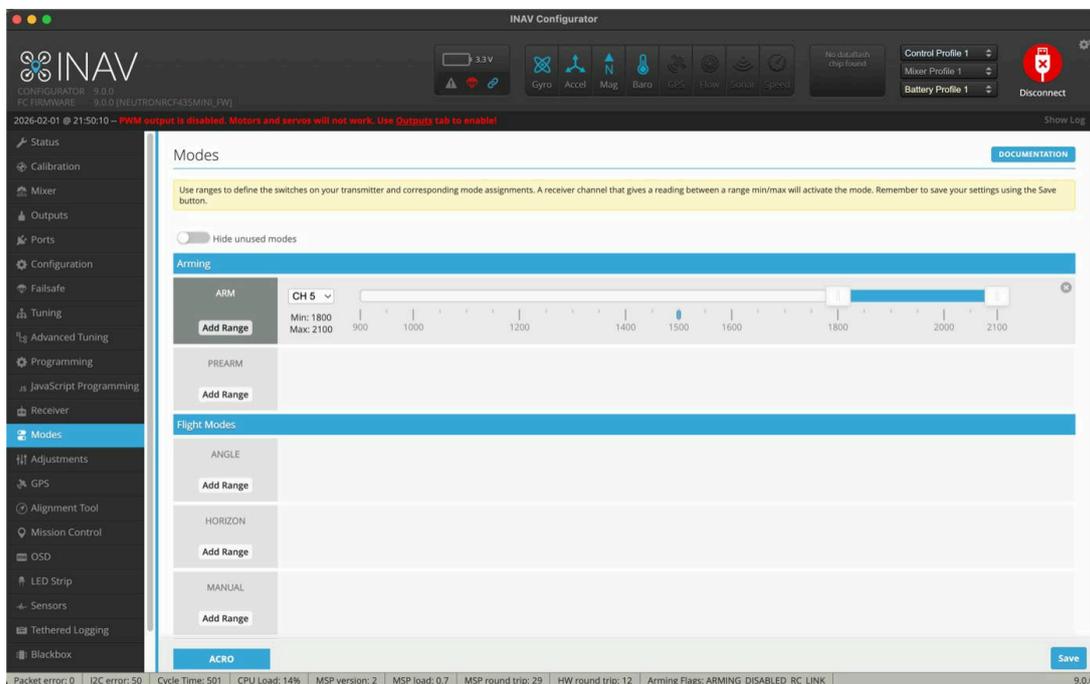


图 22 ARM 模式范围

3.5 第五步：最终连接和遥控器配置

在连接遥控器（对频）之前，请先将电池和电机如下图连接到飞控，但无需连接 USB 串口线。

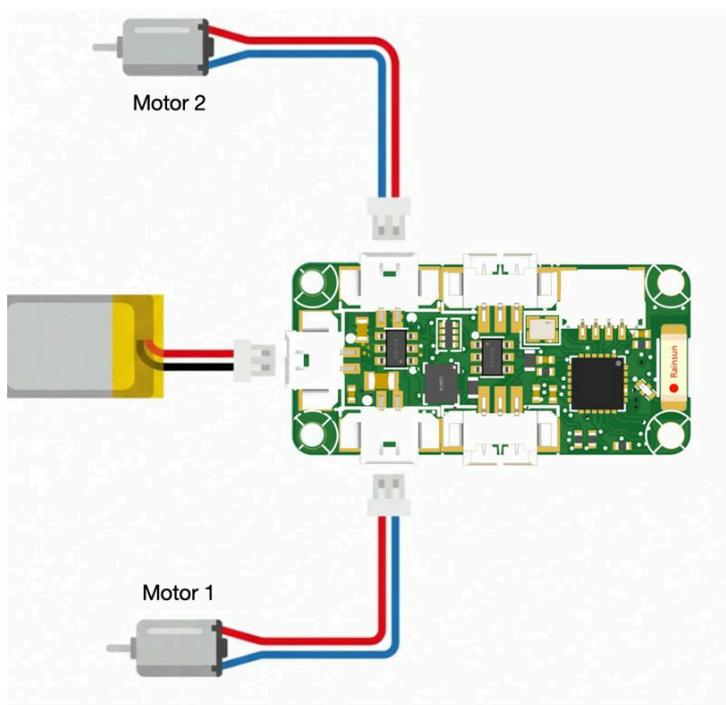


图 23 飞控最终连线图

LightFin 飞控板载 ELRS 接收机，需要与 ELRS 遥控器对频。

3.5.1 对频前准备

- 确保遥控器已安装 ELRS 发射模块并刷入对应固件。
- 遥控器和飞控的 ELRS 固件版本应匹配（建议均使用 3.x 版本）。

3.5.2 密码对频

建议使用 **密码对频**（Binding Phrase）方式，无需手动触发对频模式，只需确保遥控器与飞控使用相同的对频密码即可自动连接。

出厂对频密码： 123456

请在遥控器端设置相同的对频密码，飞控上电后将自动连接。连接成功后，遥控器应发出提示，同时 ELRS 指示灯应由慢闪变为常亮。

3.5.2.1 在遥控器上设置对频密码

通过 Lua 脚本使高频头进入 WIFI 模式 设置：

- 长按 **SYS** 键进入系统菜单，选择 **ELRS Lua** 脚本。
- 进入 **WIFI Connectivity** 选项。
- 选择 **Enable WIFI**
- 使用电脑或者手机连接遥控器创建的 WiFi 热点，默认名称为 ExpressLRS TX，密码为 expresslrs。
- 在浏览器中访问 <http://10.0.0.1>，在网页中输入 Bind Phrase 并保存

3.5.2.2 验证对频成功

1. 飞控上电，观察 ELRS LED 状态：

- **慢闪 (500ms 亮/灭)** : 等待连接
 - **快闪 (25ms 亮/灭)** : WiFi 模式
 - **常亮**: 已连接或处于烧录模式
 - 官方说明: ExpressLRS LED Status
2. 打开遥控器, 等待数秒, LED 应变为常亮。
 3. 连接 INAV Configurator, 进入 **Receiver** 页面, 拨动遥控器摇杆确认响应正常。

提示: 如果对频失败, 依次检查:

1. 遥控器与飞控的对频密码 (Binding Phrase) 是否完全一致 (区分大小写);
2. 遥控器与飞控的 ELRS 固件主版本是否一致 (建议均为 3.x, 例如 3.6.2)。

3.5.3 通过 WiFi 更新 ELRS 固件

出厂固件已预装, 一般无需更新。如需升级:

1. 飞控上电, 60 秒后 ELRS 自动开启 WiFi 热点 (名称默认为 ExpressLRS RX)。
2. 电脑连接该热点, 密码默认为 `expresslrs`。
3. 浏览器访问 `http://10.0.0.1`, 进入 ELRS Web UI。
4. 上传新固件 (.bin 文件), 等待重启更新完成。

注意: WiFi 更新仅适用于 ELRS 固件。INAV 固件需通过 SWD 有线烧录 (参见后续“固件烧录流程”章节)。

3.6 第六步: 首飞检查清单

<input type="checkbox"/>	加速度计已校准, 飞控水平放置时 Setup 页面显示水平
<input type="checkbox"/>	遥控器已对频, Receiver 页面摇杆响应正常
<input type="checkbox"/>	电机方向正确 (推力向后)
<input type="checkbox"/>	ARM 开关已设置, 可正常解锁/上锁
<input type="checkbox"/>	电池电压正常, 飞控供电稳定
<input type="checkbox"/>	螺旋桨安装牢固, 方向正确
<input type="checkbox"/>	重心位置合适, 飞机平衡

完成以上检查后, 找一片开阔场地, 手掷起飞, 享受飞行!

4 进阶设置与固件烧录

以下内容面向需要重新烧录固件或进行深度调试的用户。

4.1 开箱检查与准备

注意： 首次上电前请检查焊点与连接器方向，确认无短路、反接、虚焊。

- 检查 PCB 外观、接口及按键是否完整。
- 准备工具：DAP Link（或兼容 SWD 下载器）、USB-UART（3.3V）、烧录夹、1S 锂电池。

4.2 关键接口连接

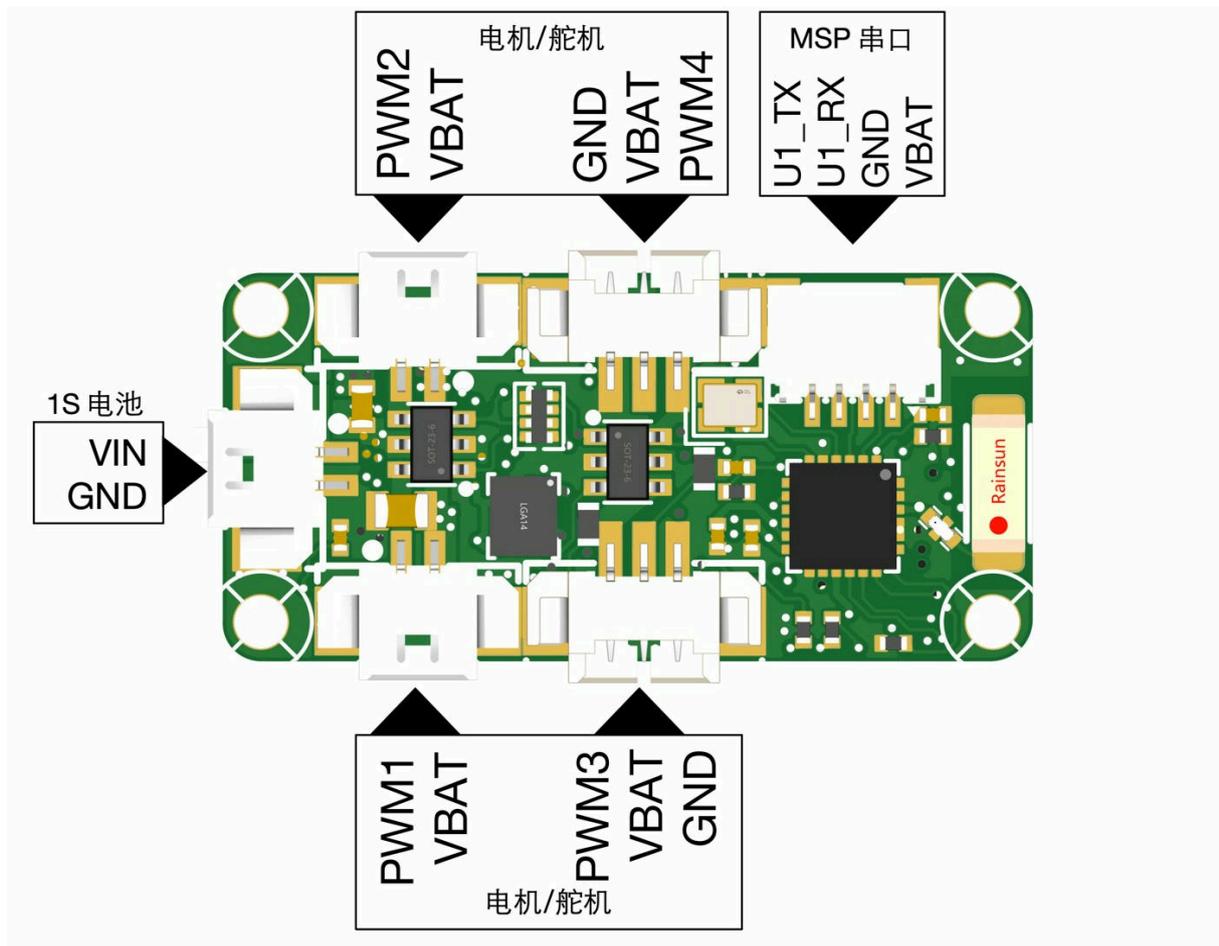


图 24 PCB 正面接线示意图

4.2.1 机体安装与方向

- 飞控应安装在机体重心附近，尽量保持水平。
- 以 PCB 丝印方向标识为准，确保机头方向与飞控坐标一致。
- 建议使用泡棉或软胶减震固定，避免高频震动干扰 IMU。

4.2.2 电源输入 (MX1.25-2Pin)

- **VIN**：电池正极输入。

- **GND**: 电池负极。

4.2.3 电机输出

- **PWM1/PWM2 (2Pin)** : 用于有刷电机。
- **PWM3/PWM4 (3Pin)** : 支持有刷电机与舵机接线。

注意: 舵机功能当前固件尚未完成, 仅保留硬件兼容性。

4.2.4 UART 连接

- **UART1**: 正面 SH1.0-4Pin 连接器, 连接上位机。
- **ELRS/CRSF 串口**: ELRS 通信使用, 已连接 AT32-UART7 和 ELRS-UART0, 用于 ESP8285/ELRS 烧录。
- **UART5**: 备用串口, 通过测试点引出。

4.3 固件烧录流程

注意: INAV 固件必须通过 SWD 有线方式烧录, 需要使用 **6pin 1.25mm 烧录夹** 夹在 PCB 底面的测试点焊盘上。请仔细确认线序后再连接!

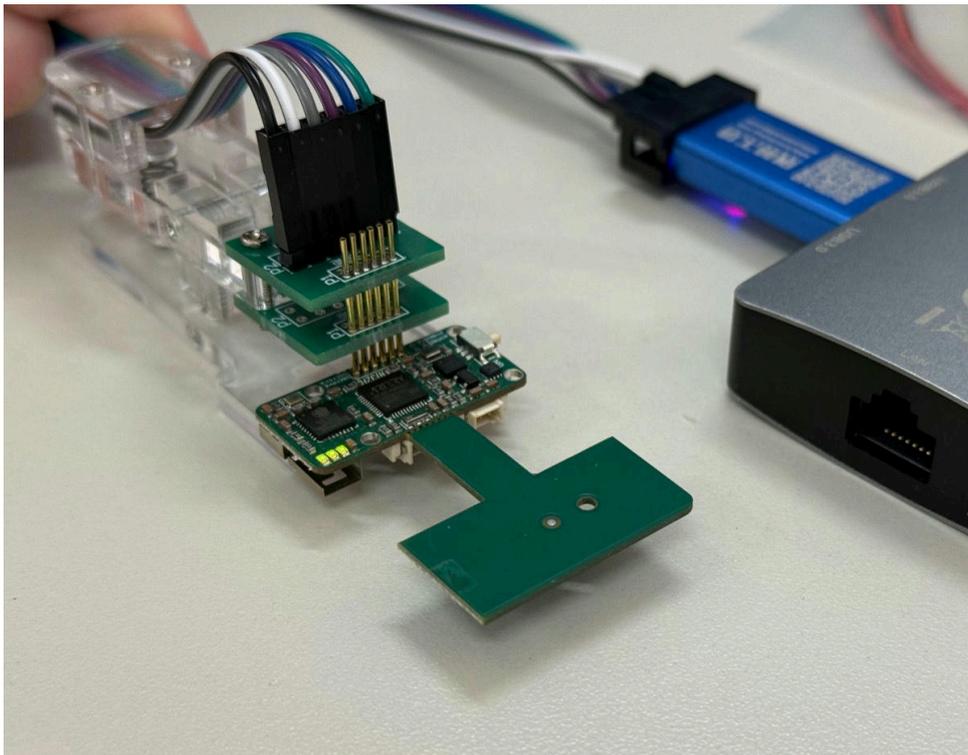


图 25 烧录夹连接示意图

需要更新

4.3.1 AT32 占位固件

目的: 释放 CRSF/UART7 控制权, 方便 ESP8285 串口烧录。

1. 通过 DAP Link 连接 SWDIO / SWCLK / GND / VBAT(5V)。

下载链接待
补充

2. 下载 at32-dummy.elf。

3. 烧录完成后：

- UART7 被配置为数字输入。
- 两颗 LED 交替闪烁。

4.3.2 ESP8285 ELRS 固件

1. 使用镊子短接 GPIO0 与 GND，使 ESP 进入 Bootloader。
2. 通过 USB-UART 连接 UART7 (ELRS/CRSF)。
3. UART5 (TP18/TP7) 为备用串口，通常不用于 ESP8285 烧录。
4. 复位 ESP (断电重上电或拉低 ESP_NRST) 进入下载模式。
5. 打开 ELRS Configurator，选择与下图一致的配置并选择串口刷写。

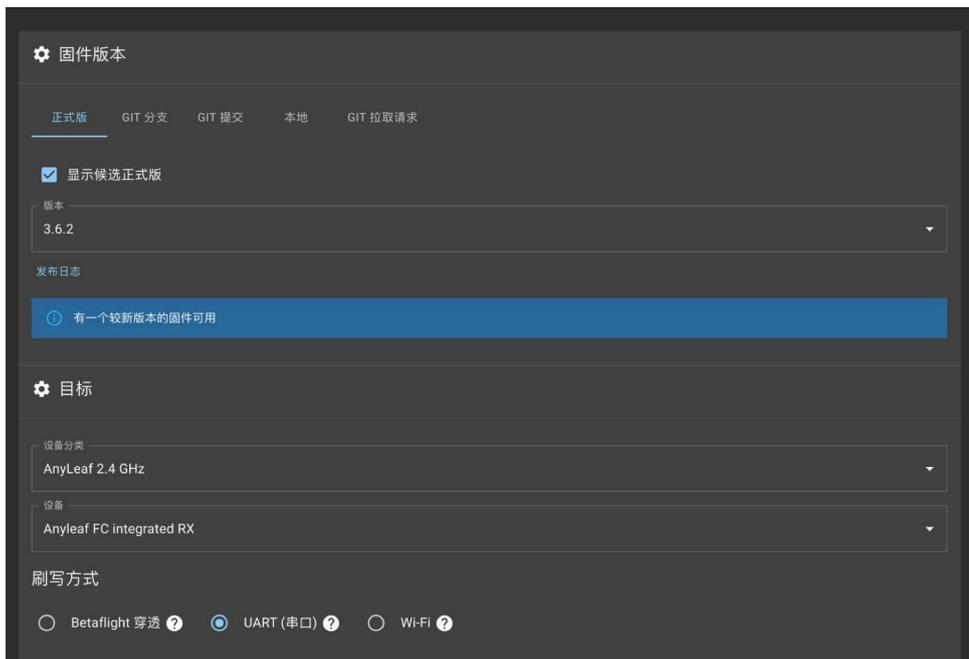


图 26 ELRS Configurator 配置截图 1

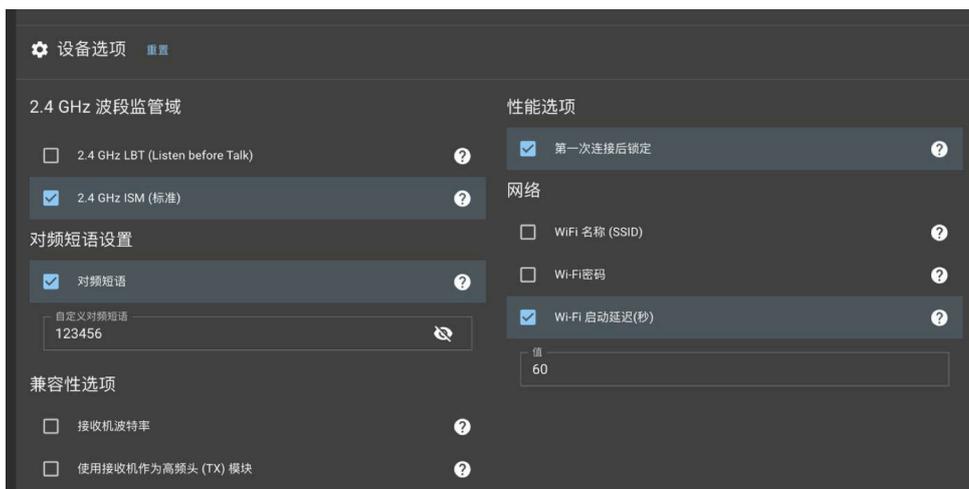


图 27 ELRS Configurator 配置截图 2

4.3.3 AT32 INAV 固件

1. 通过 DAP Link 连接 SWDIO / SWCLK / GND / VBAT。

2. 两种方式:

- 本地编译固件 (选择目标: NEUTRONRCF435MINI_FW) 并烧录; 或
- 下载 NEUTRONRCF435MINI_FW.elf。

下载链接待
补充

5 详细技术规范

5.1 电源树

节点	路径	电压/备注
VIN	电池输入	1S 锂电池, 额定最大值 5.7V
VBAT	TPS22975 负载开关输出	开关控制, 供电机与系统
VCC	TPS63001 Buck-Boost 输出	系统主电源 3.3V
VDDR	SX1280 射频电源	局部去耦供电, 未外部引出

- 电压采样: ADC_VBAT 连接电池电压分压, 用于 INAV 电池监测。

分压系数设
置?

5.2 传感器与总线地址

传感器	型号	总线	地址/片选
IMU	LSM6DSOWTR	SPI1	SPI1_CS + IMU_INT
磁力计	QMC5883P	I2C2	0x2C
气压计	SPL06-001	I2C2	0x77

5.3 接口与引脚定义

5.3.1 串口资源分配 (摘要)

UART	用途	备注
UART1	MSP/CLI 上位机	通过 U12 连接
UART5	备用串口	通过 TP7/TP18 测试点
UART7	ELRS/CRSF 内部链路	板载 ELRS 使用, 兼作 ESP8285 烧录

5.3.2 电源输入 (U13, ZX-MX1.25-2PWT)

Pin	Net	说明
1	VIN	电池正极输入
2	GND	电池负极

5.3.3 有刷电机输出 (U14/U15, 2pin)

接口	Pin	Net / 说明
U14	1	PWM1 (电机控制)
U14	2	VBAT (电机正极)
U15	1	VBAT (电机正极)
U15	2	PWM2 (电机控制)

5.3.4 三针动力/舵机接口 (CN1/CN2, HC-1.25-3PWT)

接口	Pin	Net	说明
CN1	1	PWM3	信号输出 (电机/舵机)
CN1	2	VBAT	电源正极
CN1	3	GND	电源地
CN2	1	PWM4	信号输出 (电机/舵机)
CN2	2	VBAT	电源正极
CN2	3	GND	电源地

注意： 舵机固件功能未完成，仅保留硬件兼容，请勿在当前固件中启用舵机控制。

5.3.5 UART1 (MSP/CLI, U12, ZX-SH1.0-4PWT)

Pin	Net	说明
1	VBAT	供电输出 (1S)
2	GND	地
3	UART1_RX	MSP/CLI 接收
4	UART1_TX	MSP/CLI 发送

提示： UART1 接口旁的固定焊盘为 PWM4 网络，避免短路/误触。

提示： UART1 引出的是 VBAT (1S) 电源，需连接串口 5V 电源。但 TX/RX 必须为 3.3V TTL 逻辑电平。

5.3.6 调试/烧录测试点 (TP)

测试点	Net	用途
TP3	SWCLK	AT32 SWD 时钟
TP4	SWDIO	AT32 SWD 数据
TP1/TP9	GND	SWD 参考地
TP8	VBAT	目标供电

5.3.7 备用串口测试点 (UART5)

测试点	Net	说明
TP18	UART5_TX	备用串口发送
TP7	UART5_RX	备用串口接收
TP15	GPIO0	Bootloader 拉低进入烧录
TP1/TP9	GND	参考地

6 调试建议与注意事项

- **ELRS/CRSF 串口**: 默认占用 UART7, 避免与外设复用。
- **供电安全**: 1S LiPo 供电, 避免超过负载开关额定电压。
- **电机保护**: 有刷电机调试时请勿安装螺旋桨, 防止造成人身伤害。

7 故障排除

7.1 连接问题

Q: INAV Configurator 无法连接飞控

- 检查 USB-TTL 模块是否正确安装驱动 (Windows 设备管理器中应显示 COM 端口)。
- 确认 TX/RX 是否交叉连接 (飞控 RX 接模块 TX, 飞控 TX 接模块 RX)。
- 尝试更换 USB 线缆或 USB 端口。
- 确认波特率设置为 115200。

Q: 连接后显示乱码或无响应

- 检查串口模块是否为 3.3V TTL 电平 (部分模块默认 5V, 需切换跳线)。
- 确认飞控已正常上电 (LED 应有指示)。

7.2 对频问题

Q: 遥控器无法与飞控对频

- 确认双方 ELRS 固件版本一致 (建议均为 3.x)。
- 确认对频密码 (Binding Phrase) 一致, 出厂默认为 123456。

- 尝试通过 WiFi 进入 ELRS Web UI 检查接收机状态。

Q: 对频成功但 Receiver 页面无响应

- 检查 INAV 中 UART7 是否正确配置为 Serial Rx。
- 确认 Receiver 页面中 Serial Receiver Provider 设置为 CRSF。

7.3 电机问题

Q: 解锁后电机不转

- 检查电机接线是否正确（PWM 信号线和电源正极）。
- 确认 Outputs 页面中已启用对应电机通道。
- 检查油门摇杆是否在最低位置（某些安全设置要求油门归零才能解锁）。
- 检查是否存在未解除的安全锁定（如加速度计未校准）。

Q: 电机转向错误

- 对于有刷电机，交换电机两根线即可反转。
- 在 Outputs 页面调整混控中的正负号。

7.4 传感器问题

Q: 加速度计校准失败

- 确保校准时飞控完全静止且水平放置。
- 避免在振动环境（如桌面有电脑风扇）中校准。
- 尝试重启飞控后再次校准。

Q: 磁力计/气压计显示红色

- 检查传感器是否受到干扰（远离强磁场、避免阳光直射气压计）。
- 部分情况下传感器需要预热，等待数秒后重新检查。

8 产品规格汇总

项目	规格
PCB 尺寸	30.2 mm × 14.6 mm
PCB 层数	4 层
板厚	0.8 mm
安装孔	4 × M2
工作电压	3.0V - 4.2V (1S 锂电池)
最大输入电压	5.7V
主控 MCU	AT32F435CGU7 (QFN48)
无线链路	ESP8285 + SX1280 (ELRS 2.4GHz)

IMU	LSM6DSOWTR (SPI1)
磁力计	QMC5883P (I2C2, 0x2C)
气压计	SPL06-001 (I2C2, 0x77)
电机输出	4 路 PWM (2 × 2Pin + 2 × 3Pin)
串口	UART1 (上位机) / UART7 (ELRS 内部)

9 术语表

术语	说明
INAV	开源飞控固件，支持固定翼、多旋翼等多种机型，提供自稳、导航等功能。
ELRS	ExpressLRS，开源低延迟射频通信协议，用于遥控器与飞控之间的通信。
CRSF	Crossfire 协议，ELRS 使用的串口通信协议格式。
MSP	MultiWii Serial Protocol，飞控与上位机之间的通信协议。
CLI	Command Line Interface，命令行界面，用于高级配置和调试。
SWD	Serial Wire Debug，ARM 处理器的调试/烧录接口。
IMU	Inertial Measurement Unit，惯性测量单元，包含加速度计和陀螺仪。
差速控制	通过左右电机转速差实现转向的控制方式，无需舵面。
对频	Binding，遥控器发射机与接收机建立配对关系的过程。
解锁/ARM	使飞控进入可飞行状态，电机响应油门输入。