SPECIFICATION

单路 FOC 电机驱动板 规格书（Specification）

单路三相 FOC 无刷电机驱动 · 硬件规格书

品牌	Daliang Auto
产品名称	FOC_Single 单路 FOC 电机驱动板
产品型号	PF1-400-A
主控	STM32G473RCT6（ARM Cortex-M4F，LQFP64）
文档版本	Rev. 2.1
适用	电动自行车 / 电动踏板车 / LEV、卡丁车线控、通用 BLDC / PMSM 有感 FOC 驱动、通用 FOC 开发

> 本规格书仅描述硬件，包括电气、功率链路、接口、引脚、连接器、机械与保护。部分电源、栅驱、功率、保护与接口器件以功能描述给出，具体料号不在本文档中披露。文中电气参数为典型值或推荐值，量产以正式测试报告为准。固件功能与操作方法详见《FOC_Single 出厂固件说明书》。

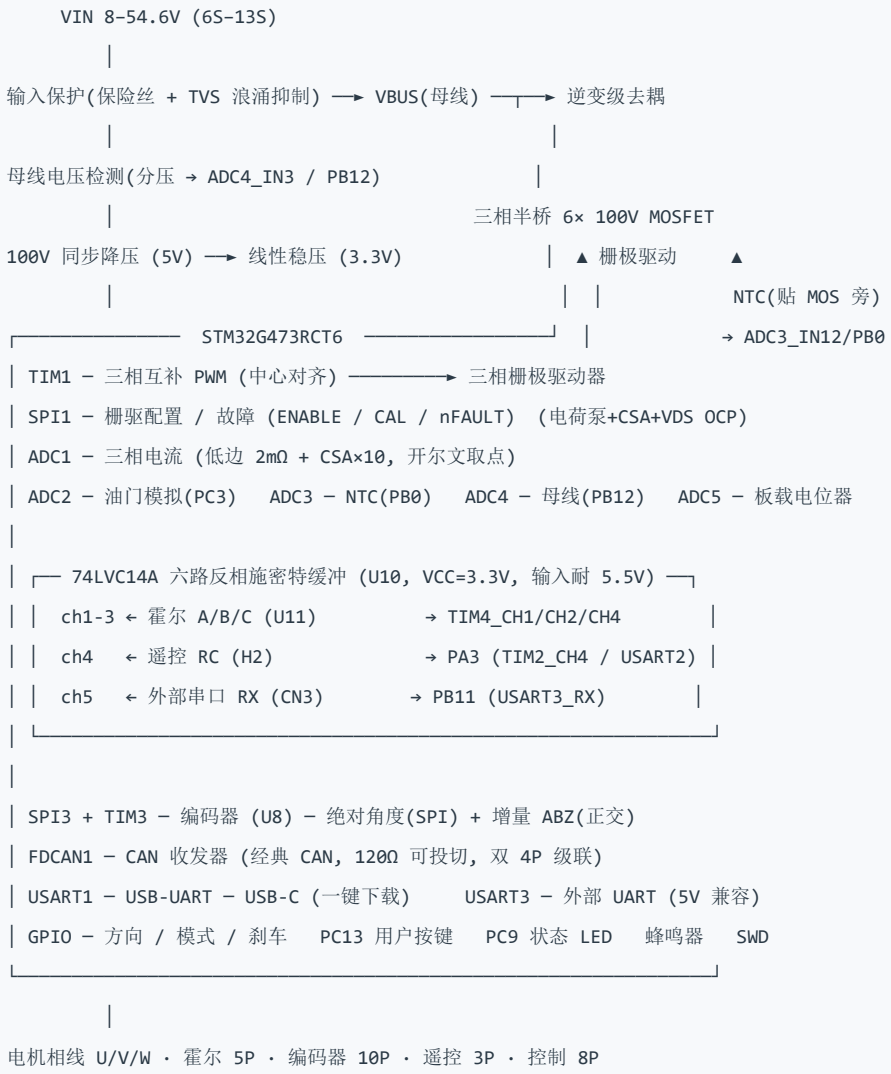
1. 产品概述

FOC_Single 是一款以 **STM32G473RCT6** 为核心的单路三相 FOC（磁场定向控制）无刷电机驱动板。功率链路、电流采样、保护与母线采样均按 100 V 功率体系设计，出厂标定为 48 V 平台，适用于 6S–13S 锂电。

主要特性：

- **主控：** STM32G473RCT6，Cortex-M4F @ 170 MHz，256 KB Flash / 128 KB SRAM，硬件 FPU + CORDIC，TIM1 高级定时器、5×ADC、FDCAN。
- **三相 FOC 功率级：** 集成式三相栅极驱动器（内置电荷泵、3 路电流采样放大器、SPI 配置、VDS 硬件过流保护）+ 6× 100 V 功率 MOSFET 三相半桥。
- **精密电流采样：** 低边 3× 2 mΩ 分流，开尔文（四线）取点，内置 CSA 增益 10 V/V，满量程 ±82.5 A。
- **位置反馈（双通道）：**
- 编码器接口：SPI3 绝对角度 + ABZ 增量正交，10P 连接器（U8），3.3 V 供电。
- 霍尔接口：5 V 供电，RC 滤波 + 施密特缓冲，TIM4 输入捕获。
- **MOS 温度检测：** 板载 10 kΩ / B3950 NTC，贴装于功率 MOSFET 旁 ≈2.6 mm，接 ADC3_IN12。
- **遥控输入：** 单一引脚（PA3 / H2）经施密特缓冲，固件可选 PWM / SBUS / CRSF（ExpressLRS）/ IBUS 四种协议；3.3 V 与 5 V 接收机均可直接接入。
- **宽压输入：** DC 8–54.6 V（6S–13S 锂电），板载输入保险丝座与 TVS 浪涌抑制，母线电压经 ADC 实时检测。
- **板载电源：** 100 V 同步降压输出 5 V，线性稳压输出 3.3 V；对外提供 5 V 取电（经自恢复保险丝）；5 V 轨亦可经肖特基二极管由 USB 供电。
- **通信：** 1×CAN（经典 CAN ≤1 Mbps，双 4P 接口可级联，120 Ω 终端可切换）、USB Type-C（USB-UART + 一键下载）、5 V 兼容外部 TTL 串口。
- **保护：** 输入保险丝、TVS 浪涌抑制、栅驱 VDS 过流保护、NTC MOS 温度检测、母线过压 / 欠压软件监测、5 V 取电口自恢复保险丝。
- **尺寸：** 100 × 55 mm，4 层 PCB，4 × Ø3.2 mm 安装孔（孔距 94 × 49 mm）。

2. 系统框图



3. 主控 MCU 规格

参数	规格
型号	STMicroelectronics **STM32G473RCT6**
内核	ARM Cortex-M4，带 FPU（单精度）、DSP 指令、CORDIC 三角加速器
主频	最高 170 MHz（板载 8 MHz 主晶振经 PLL 倍频）
Flash / SRAM	256 KB / 128 KB
关键外设	TIM1 高级定时器（互补 PWM + 死区 + 刹车输入）、5×12-bit ADC、FDCAN、多路 UART / SPI
封装	LQFP64（10×10 mm，0.5 mm 间距）
供电	3.3 V；VDDA 经 10 Ω + 1 µF + 100 nF π 型滤波独立供电，VREF+ = VDDA
时钟源	8 MHz 主晶振（18 pF 负载电容）
工作温度	-40 ℃ ~ +85 ℃（按 MCU 规格，整板以实测为准）

3.1 I/O 电平耐压

STM32G4 的 I/O 分为 FT 与 TT_a 两类，均不具备到 VDD 的正向注入通路（STM32G4 数据手册 Table 15 注释，`IINJ(PIN) = -5/0 mA`）。

警告：串联电阻不能防止 I/O 过压损坏。引脚电压超过下表耐压上限时，MCU 将永久损坏。

I/O 结构	耐压	本板使用的引脚
FT（5 V 容忍）	5.5 V	PC6 / PC7 / PC8 / PC9 / PC10 / PC11 / PC12 / PC13 / PA15 / PB6 / PB7 / PB9
TT_a（3.6 V 上限）	**3.6 V**	PA0–PA8 / PB0 / PB1 / PB10 / PB11 / PB12 / PC3 / PC5

对外接口的防护方式：

接口	引脚结构	防护
霍尔	经 74LVC14A（耐 5.5 V）	缓冲器隔离
遥控 RC	经 74LVC14A（耐 5.5 V）	缓冲器隔离，支持 3.3 V / 5 V 接收机
外部串口 RX	经 74LVC14A（耐 5.5 V）	缓冲器隔离，支持 5 V TTL 模块
方向 / 模式 / 刹车	PC6/7/8 = FT	引脚本身耐 5 V
油门模拟（PC3）	TT_a	10 k / 20 k 分压（0.667）
编码器 ABZ（PA5/6/7）	TT_a，直连，无缓冲	**仅支持 3.3 V 编码器。**U8 供电为 3V3；开漏 / NPN 编码器的高电平由 2.2 kΩ 上拉定义为 3.3 V，可以接入
外部串口 TX（PB10）	TT_a，输出	接线须 TX 接对端 RX，不得 TX 接 TX

4. 电源系统

4.1 输入与保护

环节	实现	说明
主输入端子	**U1**（5.08 mm 螺钉端子，2P）	BAT+ / GND，主电源输入
过流保护	输入保险丝（SMD 保险丝座 + 保险管）	串联于输入，短路 / 过流时熔断
浪涌 / 钳位	TVS 瞬态抑制（标称 60 V 级，钳位 < 100 V）	抑制输入瞬态过压
防反接	**无**	端子防呆，丝印标注极性
母线电压检测	电阻分压 + RC 滤波 → **ADC4_IN3（PB12）**	分压比 21.0，满量程 69.3 V；响应时间常数 ≈0.5 ms；软件过压 / 欠压监测
5 V 取电口保护	**自恢复保险丝（PPTC）**	CN3 / U8 等对外 5 V / 3V3 取电口的短路保护

警告：本板无防反接保护。电池必须按丝印极性正确接入。

> **推荐工作输入：DC 8–54.6 V（6S–13S 锂电），出厂标定 48 V 平台。** 输入下限受降压 UVLO 限制。

功率输出参考（额定工况，母线连续电流）：

工况（母线电压 / 功率）	母线连续电流
24 V / 200 W	≈ 8.3 A
36 V / 350 W	≈ 9.7 A
48 V / 400 W	≈ 8.3 A

> 注：功率级采用 100 V 功率 MOSFET（100 V / 100 A 级，三相半桥）。连续电流能力主要受分流电阻降额与散热限制，见 §5、§14。

4.2 电源轨

电源轨	规格	对外接口
+5 V	100 V 同步降压 DC-DC，约 5.1 V；亦可经肖特基二极管由 USB 5V（VBUS）并入	H1 排针、霍尔 U11、控制 U9、遥控 H2、外部串口 CN3（经 PPTC）
+3.3 V	线性稳压，≤600 mA（供 MCU / 逻辑 / 通信）	编码器 U8、H1 排针
母线去耦	入口 470 µF/100 V + 1 µF + 100 nF；逆变级 220 µF/100 V + 薄膜 + 每相 100 nF（全 ≥100 V）	—

> 注：接入 USB 时，5 V 轨可由 USB（VBUS，经肖特基二极管）供电。此时不接主电池即可运行 MCU 与逻辑电路，用于烧录、调试和参数配置。驱动电机仍需接入主电池。

---

5. FOC 功率级

5.1 三相半桥与功率链路

- **三相半桥**：6× 100 V 功率 MOSFET（100 V / 100 A 级）。VBUS 经顶层连续铺铜接上管漏极，相节点经多过孔由内层宽铜连接至电机端子。
- **栅极驱动**：集成式三相栅极驱动器，内置电荷泵、3 路电流采样放大器（CSA）、SPI 配置与 VDS 过流保护（阈值经 SPI 可配，触发 nFAULT）。每管 10 Ω 栅极串阻（贴栅极）+ 10 kΩ 栅源电阻。
- **PWM**：TIM1 中心对齐互补输出（CH1/2/3 + CH1N/2N/3N），死区由 TIM1 死区发生器产生；典型载波 16–40 kHz（固件设定，出厂 20 kHz）。栅驱故障信号 nFAULT 可接 TIM1_BKIN，以硬件方式关断 PWM。

5.2 电流采样

项目	实现
分流电阻	低边 3× **2 mΩ**，开尔文（四线）取点（大电流经焊盘外端；采样线从电阻内侧引出，并行走线，远离开关节点）
采样放大	栅驱内置 CSA，增益 **10 V/V**，零电流偏置 1.65 V（约 2048 count）
抗混叠	SOx 输出经 33 Ω + 1 nF RC（贴 ADC 脚）后接入 MCU
ADC 通道	ADC1_IN1 / IN2 / IN3（PA0 / PA1 / PA2，SOA / SOB / SOC）注入组，TIM1_CH4 触发
电流标度	约 **0.0403 A / count**，满量程 **±82.5 A**
连续上限	受 2 mΩ 分流降额约束，约 30 A RMS 连续；更高连续电流需更换分流电阻并加宽相线铜箔

---

6. 位置反馈

本板提供两套独立的位置反馈通道，可单独使用或组合使用（例如编码器为主，霍尔用于备份或启动定位）。

6.1 编码器接口

连接器 U8（ZX-PHB2.0-2-5PZZ，2.0 mm 双排 10P）：

脚	信号	脚	信号
1	**+3.3 V**	2	GND
3	EN_SCK	4	EN_MISO
5	EN_MOSI	6	EN_CS
7	**A**	8	GND
9	**B**	10	**Z**

SPI3 绝对角度通道：

项目	实现
引脚	SCK=**PC10** / MISO=**PC11** / MOSI=**PC12** / CS=**PA15**（软件片选）
调理	四线各串 **100 Ω**；CS 经 **10 kΩ 上拉至 3V3**（MCU 侧，复位期间保持确定电平）；MISO 经 **2.2 kΩ 上拉至 3V3**（连接器侧，未接线缆时不悬空）
独立性	SPI3 与栅驱的 SPI1（PB3/4/5）完全独立，无总线争用
供电去耦	U8 pin1 旁 **100 nF**（≤3.3 mm）

ABZ 增量正交通道：

项目	实现
引脚	A=**PA6**（TIM3_CH1）/ B=**PA7**（TIM3_CH2）/ Z=**PA5**（EXTI）
解码	TIM3 编码器模式（4 倍频），Z 使用 EXTI **上升沿**
调理（每路）	**100 Ω 串阻**（贴 U8，限流 / 阻尼）+ **470 pF 对地**（贴 MCU，接收端滤波）+ **2.2 kΩ 上拉至 3V3**
极性	不经缓冲器，不反相（霍尔、遥控、串口 RX 均经反相缓冲器）
边沿（推挽编码器）	≈103 ns（100 Ω × 470 pF），可用至 ≈2.4 MHz
边沿（开漏编码器）	≈2.3 µs（2.2 kΩ × 470 pF），可用至 ≈110 kHz（覆盖 1000 线 @ 6000 rpm）

警告：编码器接口仅支持 3.3 V 编码器。PA5/PA6/PA7 为 `TT_a` 结构（3.6 V 上限），无钳位二极管，ABZ 信号不经缓冲器。U8 仅提供 3.3 V 供电。

> 注：开漏 / NPN 输出的编码器（5 V / 12 V / 24 V 外部供电）可以接入。此类编码器只拉低信号，高电平由板上 2.2 kΩ 上拉定义为 3.3 V。速度上限见上表。

6.2 霍尔接口

项目	实现	说明
连接器	**U11**（2.0 mm，5P：5V / GND / HA / HB / HC）	5 V 供电，霍尔有感
前端调理	330 Ω 串 + 4.7 kΩ 上拉 + 10 nF RC + **74LVC14A 施密特缓冲**	边沿整形，抗抖动；**信号反相**
捕获通道	**TIM4_CH1 / CH2 / CH4**（PB6 / PB7 / PB9，独立输入捕获）	—

注意：本板不支持定时器硬件霍尔接口模式（XOR / `TIMx_CR2.TI1S`）。该模式要求三路霍尔接入同一定时器的 CH1/CH2/CH3；本板 TIM4_CH3 所在引脚 PB8 用作 BOOT0，霍尔 C 接 TIM4_CH4。霍尔信号应采用 TIM4_CH1/CH2/CH4 三路独立输入捕获，或 EXTI + 自由运行计数器。

7. 温度检测

项目	实现
传感器	**NTC 10 kΩ / B3950**（0603，贴装于功率 MOSFET 旁 **≈2.6 mm**）
电路	`+3V3 → 4.7 kΩ → 节点（100 nF 对地） → NTC → GND`
ADC 通道	**ADC3_IN12（PB0）**
布局	NTC 接地脚位于 GND 铜皮，不在开关节点铜皮上；分压上端电阻与滤波电容位于 MCU 侧
源阻抗	4.7 k ∥ 10 k ≈ **3.2 kΩ**，ADC 须设置长采样时间（≥247.5 cycles）

注意：NTC 开路或脱焊时，温度读数偏低。建议固件同时运行 I^2t 温升估算，取两者中较保守的结果。

8. 通信接口

接口	引脚	连接器	说明
CAN	FDCAN1_TX=PA12 / RX=PA11	**CN2 / CN1**（2.0 mm，4P，CANH / CANL）	3.3 V CAN 收发；**经典 CAN ≤1 Mbps**；120 Ω 终端经拨动开关投切；双接口便于级联
USB（下载 / 调试）	USART1_TX=PA9 / RX=PA10	**USB1** Type-C	USB-UART 桥接；双三极管一键下载电路（自动控制 NRST + BOOT0）
外部 UART	USART3_TX=**PB10** / RX=**PB11**	**CN3**（2.5 mm，4P：GND / TX / RX / **+5V**）	5 V 兼容 TTL 串口，见 §8.1

8.1 外部串口的 5 V 兼容

CN3 电源脚输出 +5 V（经 PPTC 自恢复保险丝），外接模块（GPS / 蓝牙 / 激光雷达 / MAX485 / USB-TTL 等）以 5 V 工作。接口电路如下：

```
CN3.3 (RX) ──[100 Ω]──┬── 74LVC14A ch5 (输入耐 5.5V, 施密特) ──► PB11 (USART3_RX)
                      ├── 10 kΩ ↑ +3V3   (空闲时保持 UART idle 电平)
                      └── 100 pF ↓ GND   (高频噪声滤除)

CN3.2 (TX) ──[100 Ω]──────────────────────────────────────────► PB10 (USART3_TX)
```

项	说明
RX 方向	经缓冲器，支持 3.3 V 与 5 V 模块。PB11 为 `TT_a` 结构（3.6 V），不得绕过缓冲器接入 5 V 信号
RX 极性	缓冲器为反相型，固件须设置 `USART3 CR2.RXINV = 1`
TX 方向	MCU 直接输出 3.3 V，可驱动 TTL 门限（VIH = 2.0 V）的串口模块 RX；TXINV 不置位
SBUS 输入	反相缓冲器将 SBUS（反相 UART）还原为标准 UART 极性，CN3 可用作第二路遥控输入（RXINV=0）

9. 控制 I/O 资源

功能	MCU 引脚	连接器	说明
遥控 / PWM 输入	**PA3**（TIM2_CH4 / USART2_RX）	**H2**（2.54 mm，3P）	经施密特缓冲，四种协议可选，见 §9.1

功能	MCU 引脚	连接器	说明
油门（模拟）	**ADC2_IN9（PC3）**	**U9**（脚 3 = THR_ADC）	分压 **10 kΩ / 20 kΩ**（比 **0.667**，满量程 4.95 V）+ 100 nF 滤波
方向输入	IN_DIR（PC6，**FT**）	**U9**（脚 2 = DIR）	100 Ω 串 + 10 nF + 10 kΩ 上拉
模式输入	IN_MODE（PC7，**FT**）	**U9**（脚 4 = MODE）	同上
刹车输入	IN_BRAKE（PC8，**FT**）	**U9**（脚 5 = BRAKE）	同上
板载电位器	ADC5_IN1（PA8）	—	板载 10 kΩ 微调电位器（不对外）

> **U9（8P）引脚顺序：** 1 = +5V，2 = DIR，3 = THR_ADC，4 = MODE，5 = BRAKE，6 / 7 / 8 = GND。

9.1 遥控输入 H2

H2（2.54 mm，3P）引脚顺序： `1 = GND / 2 = +5V / 3 = SIG`。引脚顺序符合航模标准（电源位于中间），可直接连接标准 3 线接收机线。

```
H2.3 (SIG) ──[100 Ω]──┬── 74LVC14A ch4 (输入耐 5.5V, 施密特) ──► PA3
                      ├── 100 pF ↓ GND
                      └── 10 kΩ ↓ GND   (未插接收机时钳定低电平，防幻影脉冲)
```

同一引脚支持四种协议，由固件配置：

模式	PA3 外设配置	说明
PWM 遥控	TIM2_CH4 输入捕获，**捕获极性取反**	单通道 PWM（1–2 ms / 50 Hz）
SBUS（Futaba / FrSky）	USART2_RX，**100000, 8E2,** `RXINV = 0`	SBUS 为反相 UART，经反相缓冲器后恢复标准极性
CRSF（ExpressLRS / Crossfire）	USART2_RX，**420000, 8N1,** `RXINV = 1`	支持双向遥测
IBUS（FlySky）	USART2_RX，**115200, 8N1,** `RXINV = 1`	—

- 3.3 V 与 5 V 接收机均可直接接入（缓冲器输入耐 5.5 V，信号不衰减）。
- 未插接收机时 PA3 为高电平（UART idle 电平），SBUS 模式下不产生 break 或帧错误。

协议选择与配置方法详见《FOC_Single 出厂固件说明书》。

---

10. 施密特缓冲器与极性约定

板上 **74LVC14APW**（U10，六路反相施密特触发器，VCC = 3.3 V，输入耐 5.5 V）用于全部外部数字输入（编码器 ABZ 除外）的电平隔离与整形：

通道	输入	输出	用途
ch1	1A	1Y	霍尔 A
ch2	2A	2Y	霍尔 B
ch3	3A	3Y	霍尔 C
ch4	4A	4Y	**遥控 RC → PA3**
ch5	5A	5Y	**外部串口 RX → PB11**

通道	输入	输出	用途
ch6	6A（接地）	6Y（悬空）	空闲

VCC 旁 100 nF 去耦（距 VCC 脚 ≤2.3 mm）。

全板极性表

链路	经 74LVC14A	极性	固件处理
霍尔 A/B/C	是	**反相**	霍尔状态表按反相编写
遥控 PA3	是	**反相**	TIM2_CH4 捕获极性取反；SBUS→RXINV=0，CRSF/IBUS→RXINV=1
外部串口 RX（PB11）	是	**反相**	`USART3 RXINV = 1`
编码器 ABZ（PA5/6/7）	否（直连）	**不反相**	TIM3 正常配置；Z 使用 EXTI 上升沿

> 注：编码器 ABZ 是全板唯一不经缓冲器的外部数字输入，其极性与其余三条链路相反。

11. 指示与人机

器件	连接	说明
有源蜂鸣器	OUT_BUZZER（**PA4**）经 N-MOS 驱动（栅极串 100 Ω + 下拉）	高电平鸣响；上电默认静音
状态 LED	**PC9**（经 1 kΩ 限流，低电平点亮）	用户可控状态指示（白色）
电源 LED	+3.3 V 上电点亮	电源指示
用户按键	**PC13**（外部 10 kΩ 上拉 + 100 nF 消抖）	通用输入 / 进入标定模式
复位按键	NRST	—

12. 编程、调试与扩展排针

方式	接口	说明
SWD（推荐）	**H1** 排针（2.54 mm，5P）：3V3 / SWDIO(PA13) / SWCLK(PA14) / GND / NRST	支持 ST-LINK / J-Link 在线调试与烧录
USB ISP（一键下载）	**USB1** Type-C	双三极管电路自动控制 BOOT0 + NRST，无需按键即可经 USART1 串口烧录
电源输出排针	**H2**（2.54 mm，3P）：GND / 3V3 / 5V	对外取电

> BOOT0（PB8）出厂 10 kΩ 下拉。

注意：串口工具在复位瞬间同时拉低 DTR 与 RTS 时，BOOT0 可能被采样为高电平，MCU 进入 DFU。使用 ST-LINK 烧录或复位时，应关闭占用该串口的工具。

13. 完整引脚分配表（STM32G473RCT6 / LQFP64）

引脚	I/O 结构	功能	用途
PC0	FT	TIM1_CH1	三相 PWM（相 A）
PC1	FT	TIM1_CH2	三相 PWM（相 B）

引脚	I/O 结构	功能	用途
PC2	FT	TIM1_CH3	三相 PWM（相 C）
PB13	FT	TIM1_CH1N	互补 PWM（相 A）
PB14	FT	TIM1_CH2N	互补 PWM（相 B）
PB15	FT	TIM1_CH3N	互补 PWM（相 C）
PA0	TT_a	ADC1_IN1	相电流采样 SOA
PA1	TT_a	ADC1_IN2	相电流采样 SOB
PA2	FT_a	ADC1_IN3	相电流采样 SOC
PB12	TT_a	**ADC4_IN3**	母线电压检测（分压比 21.0）
PC3	TT_a	**ADC2_IN9**	**油门模拟输入**（分压 0.667）
PB0	TT_a	**ADC3_IN12**	**NTC（MOS 温度）**
PA8	FT_a	ADC5_IN1	板载电位器（不对外）
PA3	TT_a	**TIM2_CH4 / USART2_RX**	**遥控输入（H2，经 U10 ch4，反相）**
PA5	TT_a	**GPIO / EXTI**	**编码器 Z**（直连，不反相）
PA6	TT_a	**TIM3_CH1**	**编码器 A**（直连，不反相）
PA7	TT_a	**TIM3_CH2**	**编码器 B**（直连，不反相）
PC10	FT	**SPI3_SCK**	**编码器 SPI**
PC11	FT_f	**SPI3_MISO**	**编码器 SPI**
PC12	FT	**SPI3_MOSI**	**编码器 SPI**
PA15	FT_f	**SPI3_CS（软件）**	**编码器 SPI**
PB3	FT	SPI1_SCK	栅驱配置时钟
PB4	FT	SPI1_MISO	栅驱数据
PB5	FT	SPI1_MOSI	栅驱数据
PD2	FT	SPI1_CS（软件）	栅驱片选
PC4	FT_fa	ENABLE	栅驱使能
PC5	TT_a	CAL	栅驱 CSA 校准
PB1	TT_a	nFAULT	栅驱故障（低有效）
PB6	FT_c	TIM4_CH1	霍尔 A 输入捕获（经 U10 ch1，反相）
PB7	FT_f	TIM4_CH2	霍尔 B 输入捕获（经 U10 ch2，反相）
PB9	FT_f	TIM4_CH4	霍尔 C 输入捕获（经 U10 ch3，反相）
PA12	FT	FDCAN1_TX	CAN
PA11	FT	FDCAN1_RX	CAN
PA9	FT	USART1_TX	USB 下载 TX
PA10	FT	USART1_RX	USB 下载 RX
PB10	TT_a	**USART3_TX**	**外部串口（CN3）**
PB11	TT_a	**USART3_RX**	**外部串口（CN3，经 U10 ch5，反相 → RXINV=1）**
PC13	FT	用户按键	外部上拉

引脚	I/O 结构	功能	用途
PC9	FT_f	OUT_LED_STATUS	状态 LED
PA4	TT_a	OUT_BUZZER	蜂鸣器驱动
PA13	FT	SWDIO	调试
PA14	FT	SWCLK	调试
PB8	—	BOOT0	启动配置（10 kΩ 下拉）；**占用 TIM4_CH3**
PC6	FT_f	IN_DIR	方向输入（5 V 耐压）
PC7	FT_f	IN_MODE	模式输入（5 V 耐压）
PC8	FT_f	IN_BRAKE	刹车输入（5 V 耐压）
PF0 / PF1	—	OSC_IN / OSC_OUT	8 MHz 主晶振
PB2	TT_a	—	未使用（建议固件配置为模拟模式）

外设占用汇总： TIM1（三相 PWM）· TIM2（遥控 PWM 捕获）· TIM3（编码器 ABZ）· TIM4（霍尔捕获）· ADC1/2/3/4/5 · SPI1（栅驱）· SPI3（编码器）· USART1（USB）· USART2（遥控串行协议，与 TIM2 复用 PA3）· USART3（外部串口）· FDCAN1

14. 连接器一览表

位号	间距 / 形式	功能
U1	5.08 mm 螺钉端子 2P	**主电源输入** BAT+ / GND
P1	5.08 mm 螺钉端子 3P	**电机相线** U / V / W
U11	2.0 mm 线对板 5P	**霍尔** 5V / GND / HA / HB / HC
U8	**2.0 mm 双排 10P**	**编码器** 1=+3V3 / 2=GND / 3=SCK / 4=MISO / 5=MOSI / 6=CS / 7=A / 8=GND / 9=B / 10=Z
CN2 / CN1	2.0 mm 线对板 4P	**CAN ×2**（CANH / CANL），拨动开关投切 120 Ω 终端
U9	2.0 mm 双排 8P	**控制 / 油门**（1=+5V / 2=DIR / 3=THR_ADC / 4=MODE / 5=BRAKE / 6–8=GND）
H2	2.54 mm 排针 3P	**遥控输入**（1=GND / 2=+5V / 3=SIG，航模标准）
CN3	2.5 mm 线对板 4P	**外部 UART**（1=GND / 2=TX / 3=RX / 4=+5V），5 V 兼容
H1	2.54 mm 排针 5P	**SWD 调试**（3V3 / SWDIO / SWCLK / GND / NRST）
H2	2.54 mm 排针 3P	**电源输出**（GND / 3V3 / 5V）
USB1	USB Type-C	**USB 下载 / 调试**（USART1 一键 ISP）；支持 USB 5V 供电（经肖特基二极管）

14.1 连接器配线选型

用途	板端连接器	间距	对插件 / 配线
主电源输入（U1）/ 电机相线（P1）	5.08 mm 插拔 / 螺钉端子	5.08 mm	5.08 mm 端子插头，螺钉压线（相线建议 ≥14 AWG）
霍尔（U11）	PH2.0 系列（5P）	2.0 mm	PH2.0 母壳 + 压接端子（JST-PH 兼容）

用途	板端连接器	间距	对插件 / 配线
编码器（U8）	**PHB2.0 系列（双排 10P）**	**2.0 mm**	**PHB2.0 母壳 + 压接端子（JST-PHB 兼容）**
控制 / 油门（U9）	PHB2.0 系列（双排 8P）	2.0 mm	PHB2.0 母壳 + 压接端子
CAN（CN2 / CN1）	PHB2.0 系列（4P）	2.0 mm	PHB2.0 母壳 + 压接端子
外部 UART（CN3）	XH 系列（4P）	2.5 mm	XH 2.5 mm 4P 母壳 + 端子（JST-XH 兼容）
SWD（H1）/ 电源输出（H2）	2.54 mm 排针	2.54 mm	2.54 mm 杜邦母头线 / IDC 排线
遥控（H2）	2.54 mm 排针 3P	2.54 mm	可直插标准 3 线遥控接收机线（GND / +5V / SIG）
USB1	USB Type-C	—	USB-C 数据线

15. 电气特性（典型，Ta = 25 ℃）

参数	最小	典型	最大	单位	备注
主电源输入 VIN	8	24–48	54.6	V	6S–13S 锂电；下限受降压 UVLO 限制
+5 V 轨输出	—	5.1	—	V	板载 100 V 同步降压
+3.3 V 轨输出	—	3.3	—	V	≤600 mA
连续相电流（RMS）	—	8–15	≈30	A	上限受 2 mΩ 分流降额与散热限定
峰值相电流（RMS）	—	—	35–40	A	加速 / 起步短时（秒级）
PWM 载波频率	16	20	40	kHz	固件设定
相电流采样量程	—	—	±82.5	A	2 mΩ + CSA 增益 10 V/V
母线电压采样量程	—	—	69.3	V	分压比 21.0
油门模拟输入量程	0	—	**4.95**	V	分压 0.667；典型霍尔油门 0.8–4.2 V
编码器供电（U8）	—	**3.3**	—	V	仅支持 3.3 V 编码器
遥控接收机信号电平（H2）	—	3.3 / 5	5.5	V	经施密特缓冲，两者均可
外部串口信号电平（CN3）	—	3.3 / 5	5.5	V	RX 经缓冲器；TX 为 3.3 V 输出
工作温度	-20	—	+85	℃	受 MCU 限制，整板以实测为准

警告：STM32G4 的 I/O 无正向注入通路（无 VDD 钳位二极管），串联电阻不能防止过压损坏。各引脚耐压见 §3.1。

警告：编码器接口（U8）仅支持 3.3 V。ABZ（PA5/6/7）为 `TT_a` 结构且不经缓冲器，接入 5 V 推挽输出的编码器将永久损坏 MCU。开漏 / NPN 编码器可以接入，见 §6.1。

警告：本板无反接保护。电池必须正确接入，接线按端子防呆结构与丝印极性进行。

注意：输入端为保险丝座，保险管需另行配置。应选用 15 A / ≥58 V / 高分断、尺寸匹配的保险管（保险管不在贴片物料内）。

注意：连续相电流上限约 30 A RMS，受 2 mΩ 分流降额限定。

16. 机械尺寸

项目	规格
板尺寸	**100 × 55 mm**
安装孔	**4 × Ø3.2 mm 完全贯穿**，孔位间距 **94 × 49 mm**
整体高度（含元件）	**26.59 mm**
层数	4 层（L1 器件 + 功率铜 + 信号 / L2 完整 GND 平面 / L3 VBUS + 相 功率分配 / L4 功率铜）
PCB 板厚	1.6 mm（典型）
散热	MOSFET / 栅驱 / 降压 裸焊盘下密布过孔到内 / 底层

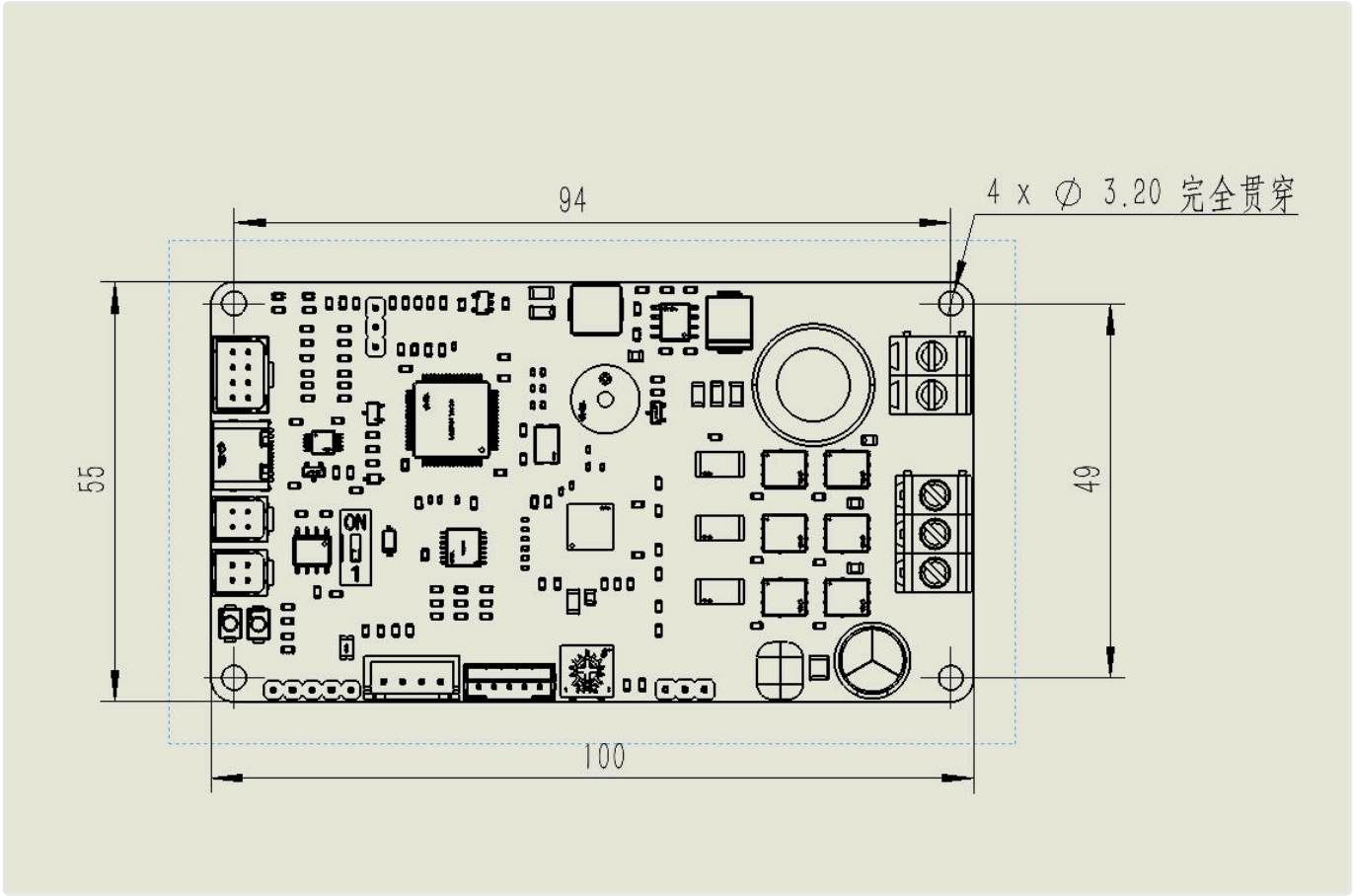


图 1. 平面尺寸与安装孔（单位 mm）

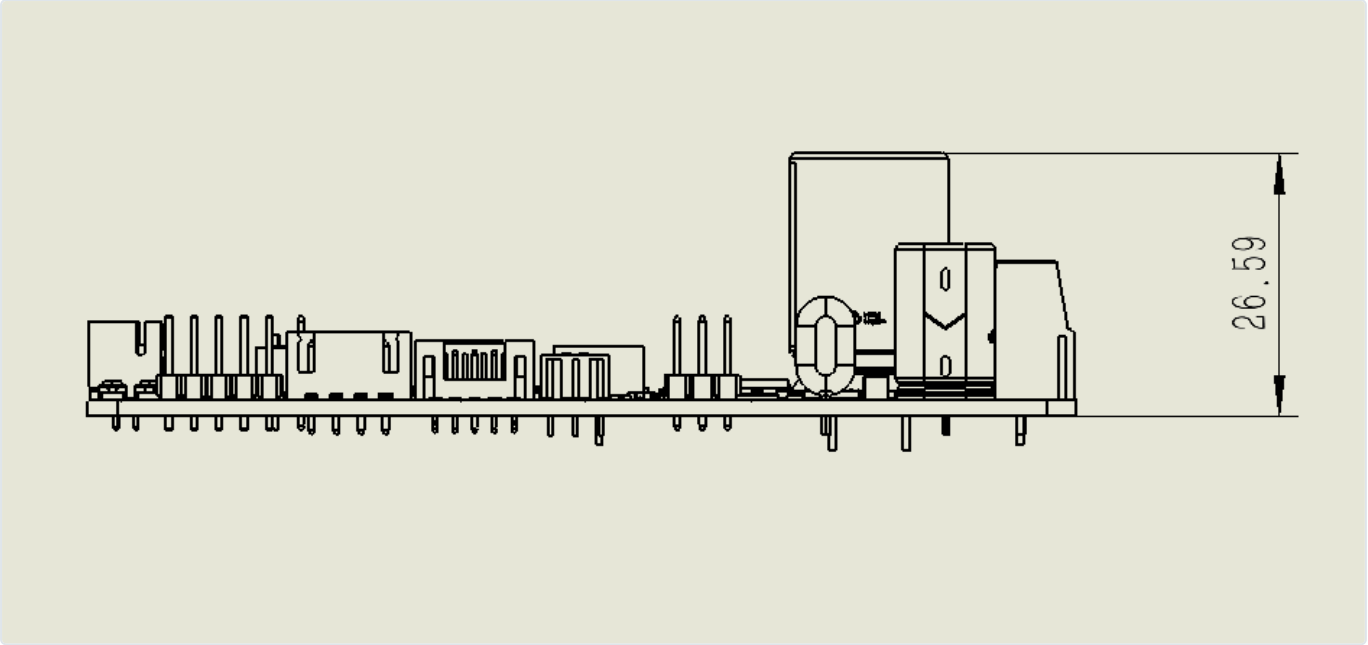


图 2. 侧视整体高度（单位 mm）

17. 版本信息

项目	内容
品牌	Daliang Auto
产品名称	FOC_Single 单路 FOC 电机驱动板
产品型号	PF1-400-A
文档版本	**Rev. 2.1**
主控料号	STM32G473RCT6

修订记录：

版本	日期	说明
Rev. 2.1	2026-09-17	文字修订，技术参数不变。
Rev. 2.0	2026-07-14	新增编码器接口、MOS 温度检测、四协议遥控输入与 5 V 兼容外部串口，调整部分引脚分配。
Rev. 1.1	2026-07-08	修改安装孔，新增遥控输入 H2，调整 U9 引脚顺序，新增 USB 供电与用户按键。
Rev. 1.0	2026-06-13	首版发布。

本规格书依据 FOC_Single 硬件设计资料整理。如与最新硬件或装配文件冲突，以后者为准。