

SPECIFICATION

双路 FOC 电机驱动板

D2842-400-HB · 双路三相 FOC 无刷电机驱动 · 产品规格书 (预览版)

品牌	Daliang Auto
产品型号	D2842-400-HB
电压平台	36 V 标称 (10S 锂电, 工作范围 28 – 42 V DC)
额定输出	每路连续 400 W @42 V / 350 W @36 V / 300 W @28 V (双路同时, 见 §5.3)
文档版本	Rev. 1.3 (预览版)
发布日期	2026-09-12
硬件版本	B 版 (内部代号 FOC_DOUBLE_B, 已定版)
主控	STM32G473VET6 (ARM Cortex-M4F, LQFP100)
适用	双轮 / 双电机线控底盘、卡丁车 / Gokart 线控、AGV / 机器人差速驱动、通用双路 BLDC / PMSM 有感 FOC 驱动

关于本版（务必先读）

- §1 – §18 为硬件规格，对应**已定版 B 版硬件**。本版全部引脚、连接器针序与电源链路已于 2026-08-25 **对着 EDA 工程网表逐条核对**，可作为接线与设计依据。
- §19 只给出**出厂固件的能力概览**。固件的完整说明（命令、标定流程、协议、参数、故障码）在随固件版本发布的《D2842-400-HB 出厂固件说明书》里；本书付印时对应固件 **0.4.15**。**固件升级不改本书**——硬件不改版，规格书就不改版。
- 电源、保护、栅驱、收发、桥接等器件以**功能与能力等级**描述，具体料号不在本公开文档披露。
- 电气参数为设计值与推导值，标「推荐」者为保守取值，**量产前以正式测试报告（EVT）为准**。

本规格书只描述板卡本身。电机、霍尔传感器、电池、刹车电阻、保险管、接收机、外接开关、上位机等**均为板外器件，不在供货范围内**。对这些器件，本书只给出**板侧的接口要求与电气包络**（端子形式、针序、电压 / 电流 / 功率上限），**不作选型推荐**——具体规格由使用者按自身工况确定。

1. 产品概述

D2842-400-HB 是一款以 **STM32G473VET6** 为核心的 **双路、三相 FOC**（磁场定向控制）无刷电机驱动板，单板独立驱动 **两台** BLDC / PMSM 电机，另集成 **一路有刷直流 H 桥** 与 **一路母线泄放（刹车斩波）** 电路。

⚡ **电压平台：36 V 标称（10S 锂电）**

本板是 **36 V 平台的产品**，这一条决定了它能配什么电池、能带什么电机：

	电压	说明
标称（铭牌）	36 V	10S 锂电（ $10 \times 3.6\text{ V}$ ）。§5.3 全部功率数据均按 36 V 计算
工作范围	28 – 42 V DC	28 V = 10S 放电截止；42 V = 10S 满电（ $10 \times 4.2\text{ V}$ ）
绝对最大	45 V	超过即触发过压保护， 不得长期工作在此电压

⚠ **不支持 48 V 平台**。板载降压、栅驱、母线电解与保险丝座均为 **60 V 级**，13S / 16S 体系满电达 54.6 / 58.4 V，裕量不足。48 V 需另行开板，见 §20 第 1 条。

功率器件按 **100 V 体系** 选型（相桥 MOSFET、母线电容、防反接 MOS 均为 100 V 耐压），因此 **功率回路本身有充足裕量**；限制平台上限的是辅助电源与栅驱这一侧的 60 V 器件。

型号命名

D	28	42	-	400	-	H	B	
						+-		硬件版本：B 版
						+----		带辅助有刷 H 桥
						+-----		每路额定连续输出 400 W （@42 V 满电）
						+-----		输入上限 42 V
						+-----		输入下限 28 V
						+-----		DOUBLE：双路 FOC

400 W 是满电 42 V 下的每路额定连续输出功率。额定值随母线电压降额：**42 V → 400 W / 36 V → 350 W / 28 V → 300 W**（每路，双路同时）。选型与设计请按 §5.3 的电压档取值。

主要特性：

- **主控**：STM32G473VET6，Cortex-M4F @ **170 MHz**（Boost），512 KB Flash / 128 KB SRAM，硬件 FPU + CORDIC，**双高级定时器 TIM1 / TIM8**、5×ADC、FDCAN。

- **双路三相 FOC 功率级：**2 × 集成三相栅极驱动器（内置电荷泵、3 路电流采样放大器、SPI 配置、VDS 硬件过流保护）+ 2 × 6 颗 **100 V 功率 MOSFET** 三相半桥（共 12 颗）。
- **精密电流采样（双通道）：**每路低边 3 × **2 mΩ** 分流 + 内置 CSA（出厂增益 **20 V/V**），满量程 **±41.25 A / 路**，分辨率 20 mA/LSB；ADC1（电机 1）/ ADC2（电机 2），分别由 TIM1 / TIM8 触发。
- **位置反馈：双路霍尔接口**（各一组 2.0 mm 5P），经六路施密特缓冲，兼容开漏 / 3.3 V / 5 V 霍尔；**信号反相**（见 §12）。
- **辅助有刷 H 桥：**板载集成电流检测与过流 / 过温保护的有刷直流 H 桥（器件 40 V / 6 A 级），出厂限流点约 **3.33 A**，用于刹车电缸 / 执行器。
- **母线泄放（刹车斩波）：**独立比较器迟滞控制的泄放回路，**硬件自治、不依赖 MCU**，**8.8 A 级**，外接电阻性负载；MCU 可读状态、可强制禁用。
- **多路板载电源：**母线经 **两路 60 V 级降压** 产生 **+24 V / +12 V**，再由 **+12 V → +5 V → +3.3 V**；对外提供 24 V / 12 V / 5 V / 3.3 V 辅助取电。
- **输入保护：理想二极管防反接 + 电子开关（背靠背 100 V MOS）、线性区限流软启动、插片式保险丝座（30 A 级）、TVS 浪涌抑制（48 V 截止 / 1.5 kW）；**母线电压经 ADC 实时检测。支持**外接电源开关**（仅 mA 级信号，见 §4.3）。
- **通信：**1 × CAN（经典 CAN ≤ 1 Mbps，双 4P 可级联，120 Ω 终端拨动开关投切）、USB Type-C（USB-UART 桥接 + 一键下载）、外部 TTL 串口（带 ESD 与自恢复保险丝）。
- **遥控输入：3 通道**，其中 2 路硬件 PWM 捕获、1 路支持 **SBUS**（见 §10）。
- **人机：**状态 LED、有源蜂鸣器、用户按键、方向 / 模式 / 刹车开关量、双路电位器。

2. 系统框图

2.1 功率与电源链路

```

电池 10S 28 - 42 V
|
+-- 输入保护级
|
|   +-- 插片式保险丝座 30 A（保险管为板外件）
|
|   +-- TVS: 48 V 截止 / 58.9 V 击穿 / 77.4 V 钳位 / 1.5 kW
|
|   +-- 理想二极管防反接 + 电子开关（背靠背 100 V / 100 A MOS）
|
|   +-- 线性区限流软启动（浪涌 0.21 A，爬升 330 ms）
|
|   +-- 外接电源开关使能（CN1，仅 mA 级信号）
|
+-- VBUS --+-- 降压 -> +24 V（60 V 级异步，IC 5 A）--> P1 端子 · 有刷 H 桥供电
|
|   +-- 降压 -> +12 V（60 V 级异步，IC 5 A）
|
|   +-- 经 P-MOS 软启动 -----> P2 / P3 端子
|
|   +-- 板内直出（无软启动）-----> CN7
|
|   +-- 降压 -> +5 V（IC 3 A）
|
|       +-- 霍尔/遥控/控制端子 -> U6 · CN2 · CN26 · CN36
|
|       +-- LDO -> +3.3 V（600 mA 硬上限）-> MCU · 逻辑 · U2 · H1
|
+-- FOC 1: 三相栅驱 + 6 × 100 V MOS ----> P4 端子 · 相线 U / V / W
+-- FOC 2: 三相栅驱 + 6 × 100 V MOS ----> P6 端子 · 相线 U / V / W
|
+-- 母线泄放: 比较器迟滞 44.1 / 43.1 V + 100 V MOS, 8.8 A
           硬件自治, MCU 只能关不能开 ----> P7 端子 · 泄放输出（外接电阻 ≥ 5 Ohm）
  
```

2.2 MCU 外设分配 (STM32G473VET6 · LQFP100 · 170 MHz)

功能	外设	引脚
电机 1 三相 PWM	TIM1 (中心对齐互补 + 死区)	PE8 / PE9 / PE10 / PE11 / PE12 / PE13
电机 2 三相 PWM	TIM8 (中心对齐互补 + 死区)	PC6 / PC7 / PC8 / PC10 / PC11 / PC12
电机 1 三相电流	ADC1 注入组, TIM1 触发	PA0 / PA1 / PA2
电机 2 三相电流	ADC2 注入组, TIM8 触发	PC0 / PC1 / PC2
栅驱 1 配置 / 故障	SPI1	PA5 / PA6 / PA7, CS = PA4; EN PD5 / CAL PD4 / nFAULT PD6
栅驱 2 配置 / 故障	SPI3	PB3 / PB4 / PB5, CS = PD7; EN PB14 / CAL PB13 / nFAULT PB15
霍尔 1 / 霍尔 2	EXTI (经六路反相施密特缓冲)	PD12 / PD13 / PD14 · PE2 / PE3 / PE4
母线电压	ADC5 (分压 ÷21)	PA8
模拟油门 / 双电位器	ADC3 / ADC4	PB1 · PE14 / PE15
遥控 RC1 / RC2 / RC3	TIM4 捕获 / TIM2 捕获 / UART5 (SBUS)	PB9 / PD3 / PD2
PWM 油门 ×2	TIM2 捕获	PA3 / PB10
CAN	FDCAN1	PA11 / PA12
USB 串口 (含一键下载)	USART1 → USB-UART 桥接	PA9 / PA10
外部串口	USART3	PD8 / PD9
母线泄放	GPIO	状态 PC9 / 禁用 PD11
有刷 H 桥	GPIO + ADC	PE0 / PE1, 故障 PA15, 电流 PD10
人机	GPIO	LED PC13 · 蜂鸣器 PE5 · 按键 PF2 · 方向 PF9 · 模式 PC3 · 刹车 PF10
调试	SWD	PA13 / PA14

3. 主控 MCU 规格

参数	规格
型号	STMicroelectronics STM32G473VET6
内核	ARM Cortex-M4, 带 FPU (单精度)、DSP 指令、CORDIC 三角加速器
主频	170 MHz (Vcore Scale1 + Boost)
Flash / SRAM	512 KB / 128 KB
关键外设	TIM1 + TIM8 双高级定时器 (互补 PWM + 死区 + 刹车输入)、5 × 12-bit ADC、FDCAN、多路 UART / SPI
封装	LQFP100 (14 × 14 mm, 0.5 mm 间距)
供电	3.3 V; VDDA 经 RC 滤波, VREF+ = VDDA
时钟源	板载 8 MHz 晶振
调试	SWD (H1, 2.54 mm 5P)
工作温度	-40 °C ~ +85 °C (按 MCU 规格; 整板见 §17)

3.1 ⚠ I/O 电平耐压（设计与接线必读）

STM32G4 的 I/O 没有到 VDD 的正向注入通路（数据手册原文：Positive injection (when VIN > VDD) is not possible on these I/Os）。

这意味着：串联电阻不能防止过压损坏。引脚上加超过上限的电压，没有电流被钳走，栅氧直接承受全压。

接口	防护
双路霍尔	✓ 经六路施密特缓冲器（耐 5.5 V）隔离，兼容开漏 / 3.3 V / 5 V
遥控 RC1 / RC2 / RC3	✓ 串阻 + 下拉 + 滤波，三路均 5 V 耐受
外部串口 CN36 (PD8 / PD9)	✗ 仅 3.3 V 电平，不耐 5 V。这两个 MCU 引脚为 TT_a 结构（上限 3.6 V）；板上 ESD 阵列为 5 V 截止型，只防静电，不构成过压保护。误接 5 V TTL 会永久损坏 MCU
方向 / 模式 / 刹车	100 Ω 串阻 + 10 kΩ 上拉至 +3V3 + 10 nF 对地（RC 去抖）；无 TVS，见 §11
模拟油门 / 电位器	分压 + RC 滤波后入 ADC
U6 第 4 列首脚 (PB11)	✗ 裸 GPIO，不耐 5 V，误接 5 V 会永久损坏 MCU

4. 电源系统

4.1 输入与保护

环节	规格
输入接口	XT60 形式大电流插头（J1，1 = GND / 2 = BAT+） + 3.5 mm 螺钉端子
工作电压	28 – 42 V DC（标称 36 V，10S 锂电）
绝对最大	45 V
过流保护	插片式（ATO）保险丝座，30 A 级；保险管为板外件、不随板提供，接口要求见 §17
浪涌抑制	单向 TVS：48 V 截止 / 58.9 V 击穿 / 77.4 V 钳位 / 1.5 kW（10-1000 μs）
防反接	理想二极管控制器 + 背靠背 100 V / 100 A MOSFET（同时兼作电子开关）
软启动	线性区限流，浪涌 ≈ 0.21 A，母线爬升 ≈ 330 ms
母线电容	实测 1675 μF（全部 ≥ 100 V 耐压）
母线检测	ADC 分压 ÷21，满量程 69.3 V

⚠ 上电节奏：软启动依靠功率 MOS 工作在线性区给母线电容充电，每次上电该管吸收约 1.5 J。连续开关请间隔数秒，不要快速反复插拔或拨动开关。

4.2 电源轨

⚠ 本节已按 EDA 网表核对更正：板载降压为 60 V 级、异步整流（外置续流二极管）拓扑，并非早期文档所写的「100 V 级同步降压」。降压器件的 60 V 耐压是本平台上限 42 V 的根本原因之一（见 §20）。

电源轨	来源	器件链能力	对外端子	
VBUS	输入级之后	—	P7（泄放）	28 – 42 V，仅供泄放回路，见 §8
+24 V	母线 → 60 V 级异步降压	IC 5 A / 电感 8 A / 续流管 5 A	P1（5.08 mm 2P）	≤ 2 A（散热限，待 EVT 复核）

电源轨	来源	器件链能力	对外端子	
+12 V	母线 → 60 V 级 异步降压	IC 5 A / 电感 8 A / 续流管 5 A	P2 / P3 (5.08 mm 2P × 2, 经软启动)、 CN7 (2.0 mm 2P, 未经软启动)	≤ 2 A (散热限, 待 EVT 复核)
+5 V	+12 V → 降压	IC 3 A / 电感 4 A / 续流管 5 A	U6 (遥控 3 列)、CN2、CN26、CN36、U2	≤ 1.5 A (含板内霍尔与逻辑)
+3.3 V	+5 V → LDO	600 mA (LDO 硬 上限)	U2 (3.5 mm 3P)、H1	对外 ≤ 200 mA (扣除板内 MCU / 栅驱 / 收发消耗)

- ⚠️ **P2 / P3 与 CN7 不是同一个节点。** P2 / P3 经 P-MOS 软启动输出 (适合带容性负载的外部控制板、上位机、风扇) ; **CN7 直接取板内 12 V, 无软启动**, 接大容性负载会在上电瞬间拉垮板内 12 V。
- ⚠️ **+3.3 V 是全本最紧的一条轨** (LDO 600 mA 硬上限, 且 MCU / 双栅驱 / CAN 收发 / 缓冲器都吃它)。外部取 3.3 V 前请先核算; 需要更大电流请从 +5 V 取电后自行降压。
- ⚠️ **U6 遥控排针的 +5 V 不带保险丝** (自恢复保险丝仅在 CN36 上)。该三列 +5 V 取电**合计 ≤ 300 mA**。

4.3 外接电源开关 (CN1)

板上预留 **CN1 (3.5 mm 螺钉端子 2P, 1 = VIN / 2 = 使能分压节点)** 用于外接电源开关。该开关**只串在使能分压支路上, 不走主功率**。

参数	数值
断开时触点承受电压	稳态 42 V / 绝对最大 45 V / 热插拔瞬态 ≤ 77 V (μs 级, 由 TVS 钳位决定)
闭合时触点电流	1.33 mA @42 V / 1.14 mA @36 V / 0.89 mA @28 V
板侧对触点的要求	触点间隙耐压须覆盖上述电压; 电流能力无要求 (mA 级); 低接触电阻有利于门限精度

- 触点电流仅 mA 级, 不形成电弧**, 因此开关规格书上针对分断大电流的 DC 降额在此不适用; 本接口真正要满足的只有断开后的触点间隙耐压。
- ⚠️ **切勿把开关串入主功率回路**, 主回路电流可达 30 A。

5. FOC 功率级 (双路)

5.1 三相半桥与功率链路

项目	规格
拓扑	每路 3 相 × 上下桥 = 6 颗 MOSFET , 双路共 12 颗
MOSFET	100 V / 100 A N 沟道, 低 Rds(on), PDFN 5×6
栅极驱动	集成三相栅驱 (内置电荷泵、VDS 硬件过流、SPI 配置、故障回报)
相线输出	P4 (电机 1) / P6 (电机 2), 5.08 mm 螺钉端子 3P, 针序 1 = U / 2 = V / 3 = W
PWM	TIM1 (电机 1) / TIM8 (电机 2), 中心对齐互补输出 + 硬件死区
建议载波	20 kHz (16 – 40 kHz 可设)

5.2 电流采样

项目	规格
方式	每路 低边三电阻 , 2 mΩ / 2512
采样链	分流 → 栅驱内置 CSA → MCU ADC (注入组, PWM 同步触发)

项目	规格
出厂增益	20 V/V
满量程	±41.25 A (RMS 29.2 A)
分辨率	20 mA/LSB
ADC 映射	电机 1 → ADC1_IN1/2/3; 电机 2 → ADC2_IN6/7/8

需要更大量程时：将 CSA 增益由 20 V/V 改为 **10 V/V** (SPI 配置)，满量程扩至 **±82.5 A (RMS 58 A)**，分辨率变为 40 mA/LSB。**峰值相电流超过 29.2 A RMS 时必须改增益**，否则 ADC 削顶导致 FOC 失控。

5.3 额定输出

额定连续输出功率随母线电压变化，因为整板输入电流受输入保险丝座约束（见下方限制链），而同样的功率在低电压下需要更大的电流。

母线电压		整板	对应母线电流	对应相电流
42 V (10S 满电)	400 W	800 W	20.1 A	8.6 A
36 V (标称)	350 W	700 W	20.5 A	8.8 A
28 V (放电截止)	300 W	600 W	22.6 A	9.7 A

- 上表为**双路同时连续输出**。**单路运行时**母线电流减半，全电压范围均有大量余量。
- 母线电流按 **95% 效率**保守估算（逆变级实际约 98%，余量留给辅助电源与线损）。
- 相电流按 SVPWM 满调制、 $\cos\varphi = 0.9$ 折算。

⚠ 母线电流预算是整板共用的。 上表按辅助轨轻载估算；若同时从 P1 (24 V)、P2 / P3 (12 V) 大电流对外取电，这部分功率要从**同一个预算里扣除**，可用于电机的功率相应减少。

⚠ 超过额定值的使用不在本规格书承诺范围内。

限制链（保护门限与器件额定，非输出能力承诺）

下表是电流通路上各环节**允许通过的电流**，用于判断故障电流会先被哪一环挡住、以及外部走线与端子该按什么选。**这些不是热验证过的连续输出能力，也不构成任何超出上表额定值的性能承诺。**

环节	限制	降额后	上表最坏工况的占用
输入保险丝座	30 A	24 A (× 80%)	22.6 A = 94% (28 V 档) ← 最紧的一环
相线端子	24 A	19.2 A (× 80%)	9.7 A = 51%
电流采样量程	29.2 A RMS	—	9.7 A = 33% (增益 20 V/V)
分流电阻	约 30 A	—	9.7 A = 32%
MOSFET / 内层铜	热限， 未做长时间热测试	—	未知，见 §20 第 18 条

占用率一列按额定表中最苛刻的电压档 (28 V) 计算，其余电压档更宽松。

⚠ 限制链由紧到松：输入保险丝座 → 相线端子 → 电流采样量程 → 分流电阻 → MOSFET / 内层铜。最紧的一环是输入保险丝座，因此**整板输入电流是第一约束**，上表的功率降额正由它决定。

⚠⚠ 切勿自行加大保险管额定值来提高输出功率。 保险丝的职责是在**保险丝座、防反接 MOS 与板内铜**之前熔断；把它换成更大的规格并不会提高上述任何一环的能力，只会让本该被切断的故障电流持续流过它们。保险丝座本身额定 **30 A / 60 V**，防反接 MOS 在 30 A 时已达热限。

⚠ 热性能（长时间满载温升、是否需要外加散热与风冷）尚未完成 EVT 测试，见 §20 第 18 条。上表为按电气限制链推导的设计值，**不是热测试结果**。

6. 位置反馈（双路霍尔）

项目	规格
接口	U15（电机 1） / U9（电机 2），2.0 mm 线对板 5P（PH 形式）
引脚序	1 = +5 V / 2 = GND / 3 = HA / 4 = HB / 5 = HC（两路相同）
调理	上拉 + 串阻 + RC 滤波 → 六路反相施密特缓冲（RC ≈ 13 μs）
兼容	开漏 / 推挽，3.3 V 或 5 V 霍尔均可
MCU	电机 1 → PD12 / PD13 / PD14；电机 2 → PE2 / PE3 / PE4（均走 EXTI）

✓

针序已于 2026-08-25 对 EDA 网表逐脚核实（U15 / U9 第 1 脚 = +5 V，第 2 脚 = GND）。更早的 Rev. 0.1 草稿曾写作「1 = GND / 2 = +5 V」，该写法作废。

⚠

接反 +5 V 与 GND 会烧毁霍尔传感器。接线以本表和板上丝印为准。

⚠

霍尔信号经反相施密特缓冲器，到达 MCU 时电平已反相。固件的霍尔状态表必须按反相后的编码建立，详见 §12。

⚠

静止分辨率是霍尔的固有限制：转子停住时霍尔不产生边沿，位置估计被量化到扇区中心，静止分辨率为 ±30° 电角（例：15 对极电机 ⇒ ±2.0° 机械）。这不是提高增益能改善的，见 §19.2 第一条。

7. 辅助有刷 H 桥

项目	规格
驱动	集成 H 桥，40 V / 6 A 级，内置电流检测、过流与过温保护
供电	+24 V 轨
输出	P5，5.08 mm 螺钉端子 2P（1 = OUT2 / 2 = OUT1）
出厂限流点	约 3.33 A
电流反馈	经滤波送 ADC（PD10）
控制	PWR_DIR1 / PWR_DIR2（PE1 / PE0），故障回报 PA15
用途	刹车电缸、执行器等有刷直流负载
⚠ 出厂固件默认	不驱动本路输出，需在调试时使能并存盘，见 §19.3

8. 母线泄放（刹车斩波）

回馈制动时母线电压上升，本电路把多余能量斩波泄放到 P7 端子外接的电阻性负载（板外件，不含）。

项目	规格
端子	P7，3.5 mm 螺钉端子 2P（1 = VBUS / 2 = CHOP）
控制	独立比较器 + 2.5 V 精密基准 + 迟滞，硬件自治，不依赖 MCU
门限	开启 44.1 V / 关闭 43.1 V（典型）
开关器件	100 V / 100 A MOSFET，泄放电流能力 8.8 A 级
MCU 接口	状态回读 PC9、强制禁用 PD11（失效安全：MCU 只能关、不能开）

P7 接口要求（外接负载须满足）：

项目	板侧要求
端子形式	3.5 mm 螺钉端子 2P，线规 0.5 – 1 mm² (18 – 24 AWG)
端子额定电流	7 A ← 本接口的硬约束
端子承受电压	两脚均带母线电压，稳态 ≤ 42 V ，绝对最大 45 V
阻值下限（绝对）	≥ 5 Ω （板上丝印标 ≥5Ω ）。低于此值泄放电流超过 8.8 A，接近分流与铜的设计上限
阻值下限（连续制动）	≥ 8 Ω —— 见下方说明
导通期瞬时功率	5 Ω @ 44 V 约 387 W ；8 Ω @ 44 V 约 242 W (V^2/R ，斩波导通瞬间)
平均功率	= 瞬时功率 × 实际泄放占比， 由使用工况决定 ；外接负载须能承受该平均功率与上述电压 / 电流包络
极性	无极性

⚠️ ⚠️ **阻值下限有两个，不要只看丝印上那个。** 板上丝印的 $\geq 5\Omega$ 是**绝对下限**，对应导通电流 8.8 A —— 这个电流**超过 P7 端子 7 A 的额定值**。斩波是断续导通，**短时点刹**时端子的 RMS 电流远低于 8.8 A，因此 5 Ω 可用；但**连续制动（如长下坡）**时导通占比会持续偏高，RMS 电流将逼近 8.8 A，超出端子额定。

连续制动场合请取 $R \geq 8\Omega$ ($44\text{ V} \div (7\text{ A} \times 80\% \text{ 降额}) = 7.9\Omega$)，使导通电流 $\leq 5.5\text{ A}$ ，端子在 100% 占空比下仍在额定内。

⚠️ **两脚均带母线电压（最高 45 V），接线与检修时注意安全。**

⚠️ **满电裕度：**10S 满电 42.0 V，距泄放门限 44.1 V 仅 **2.1 V**。满电状态下持续回馈可能触发泄放甚至过压保护，首次投入使用前请在满电状态复核一次母线读数。

9. 通信接口

接口	位号	形式	针序 / 规格
CAN	CN5 / CN40	2.0 mm 线对板 4P × 2	1 = CANH / 2 = CANL / 3 = GND / 4 = NC ；经典 CAN $\leq 1\text{ Mbps}$ ，双口可级联； SW4 拨动投切 120 Ω 终端
USB	USB1	USB Type-C	USB-UART 桥接，支持 一键 ISP 下载 （自动控制 BOOT0 与复位，无需跳线）；可由 USB 5 V 供电调试
外部串口	CN36	2.5 mm 线对板 4P	1 = GND / 2 = 板侧 RX 输入 / 3 = 板侧 TX 输出 / 4 = +5 V ；⚠️ 信号线仅 3.3 V 电平 （见下）；+5 V 带 500 mA 自恢复保险丝 （跳闸 1 A）

⚠️ ⚠️ **CN36 的两条信号线只能接 3.3 V 电平设备。** 板侧 RX / TX 落在 MCU 的 PD8 / PD9，这两脚是 TT_a 结构，**输入上限 3.6 V，不是 5 V 耐受**。板上虽有双向 ESD 阵列，但它是 **5 V 截止型**（只在超过约 5 V 才导通），**对 5 V TTL 电平不构成任何保护**；且 STM32G4 的 I/O 无正向注入通路，串联电阻同样保护不了（见 §3.1）。**接 5 V TTL 的串口模块、5 V 单片机或 5 V 电平的触摸屏，会永久损坏 MCU。** 需要接 5 V 设备时，请在板外加电平转换。

⚠️ **CN36 第 4 脚提供的是 +5 V（供外设取电用），与信号电平无关，不要据此认为信号线是 5 V 电平。**

⚠️ **CAN 不支持 CAN-FD 高速段，收发器最高 1 Mbps。**

⚠️ **不接主电池也可调试：**插 USB 时 +5 V 轨可经肖特基由 USB VBUS 供电，MCU、逻辑与通信全部可用；驱动电机仍需主电池母线。

10. 遥控输入（3 通道）

U6 为 2.54 mm **3 × 5P** 排针（15 脚），前三列为标准舵机接口，后两列为裸 GPIO 扩展。

列	脚	行 1	行 2	行 3
1	1–3	RC1	+5 V	GND
2	4–6	RC2	+5 V	GND

列	脚	行 1	行 2	行 3
3	7–9	RC3	+5 V	GND
4	10–12	PB11	PB7	PB6
5	13–15	PE6	PD1	PD0

三通道能力分工：

通道	MCU	PWM / PPM	SBUS
RC1	PB9	✔ 硬件捕获 (TIM4_CH4)	✗
RC2	PD3	✔ 硬件捕获 (TIM2_CH1)	✗
RC3	PD2	⚠ 仅软件解码 (外部中断双边沿)	✔ 原生支持 (UART5 + 硬件 RXINV)

信号调理（三路一致）： 1 kΩ 串阻 + 100 kΩ 下拉 + 100 pF 滤波。带宽约 1.6 MHz，兼容 SBUS 位时。悬空时下拉到 0 V，为安全默认态。

接收机输出	MCU 侧电平	判定
3.3 V (主流接收机)	3.27 V	✔
5.0 V	4.95 V	✔ (引脚 5 V 耐受)

10.1 RC3 是一路通用串行接收通道

RC3 不只是「SBUS 通道」。它直接落在 MCU 的一路 UART 接收端 (UART5_RX)，而 STM32G4 的 UART 内置硬件电平反相 (RXINV)，波特率、校验位、停止位均可配置。因此 RC3 无需任何外部反相器或电平转换，即可接收：

类别	举例	板侧条件
反相型串行协议	SBUS (100 kbaud / 8E2 / 反相)	由 硬件 RXINV 直接接收
常规电平串行协议	115200 8N1 一类 (如 iBUS / DSMX 卫星 / SUMD)	RXINV 关闭即可
高速串行协议	420 kbaud 一类 (如 CRSF)	前端 RC 带宽约 1.6 MHz，余量充足

信号前端为 1 kΩ 串阻 + 100 kΩ 下拉 + 100 pF，3.3 V 与 5 V 电平的接收机均可直接接入（PD2 为 5 V 耐受）。

只收不发。 UART5 的 TX 唯一落点已被 FOC_2 的 PWM 占用，因此凡是需要回传的协议（SBUS2 遥测、F.Port / SRXL2 的双向部分），本通道只能用到它的接收方向。需要双向请走 CN36（3.3 V 电平，见 §9）或 CAN。

RC3 是全板唯一的串行遥控通道： UART5_RX 在 G473 上仅有 PD2 一个落点，而 RC1 / RC2 所在的引脚没有 UART 复用，只能做 PWM / PPM 捕获。

以上为硬件能力。出厂固件已实现 SBUS 与 iBUS（可切换）； 其余协议属"硬件支持、需固件实现"，可自行开发或与我们联系。

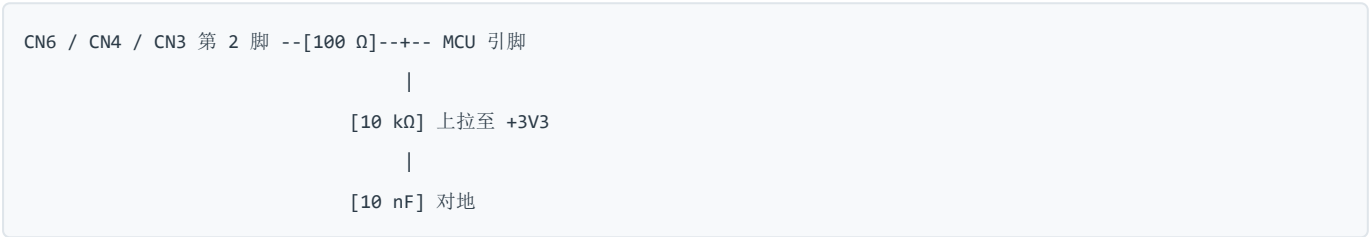
11. 控制 I/O 资源

功能	位号 / 引脚	针序 / 说明
模拟油门	CN26 (2.0 mm 3P) → PB1	1 = GND / 2 = THR / 3 = +5 V；ADC3，分压 + RC
PWM 油门 ×2	CN2 (2.0 mm 4P) → PA3 / PB10	1 = GND / 2 = PWM 油门 2 (PB10) / 3 = PWM 油门 1 (PA3) / 4 = +5 V；TIM2 捕获
方向	CN6 (2.0 mm 2P) → PF9	1 = GND / 2 = DIR；调理见下
模式	CN4 (2.0 mm 2P) → PC3	1 = GND / 2 = MODE；调理见下

功能	位号 / 引脚	针序 / 说明
刹车	CN3 (2.0 mm 2P) → PF10	1 = GND / 2 = BRAKE; 调理见下
板载电位器 ×2	PE14 / PE15	ADC4
用户按键	SW2 → PF2	可作急停 / 功能键 (用途由固件定义, 见《固件说明书》)
复位按键	SW1 → NRST	

⚠️ **CN2 的两路输入不是通用 GPIO**, 它们直接落在 TIM2 捕获通道上, 是两路 PWM 油门输入 (本表已按网表更正 Rev. 1.0 中「通用输入」的说法)。

方向 / 模式 / 刹车三路的前端调理 (三路一致) :



项目	规格
有效电平	低有效 —— 触点闭合到 GND 为有效, 开路 / 断线为无效
输入类型	干接点 (无源开关), 板侧自带上拉, 不要外部灌入电压
去抖时间常数	闭合 $\approx 1\ \mu\text{s}$ (10 nF ÷ 100 Ω) / 释放 $\approx 100\ \mu\text{s}$ (10 nF ÷ 10 kΩ)
触点电流	$\approx 0.33\ \text{mA}$ @3.3 V
过压保护	⚠️ 无 TVS。抗浪涌与限幅须在板外解决

⚠️ **这三路按干接点设计**。板上已有 10 kΩ 上拉到 +3V3, 接一个无源开关 / 继电器触点到 GND 即可。不要从外部灌 5 V 或其他电平进来 —— 无 TVS, 且 STM32G4 的 I/O 无正向注入通路 (见 §3.1)。

⚠️ **断线即无效**。这三路开路时读到高电平 (无效), 因此断线的表现是“功能不起作用”而不是误触发 —— 这对刹车信号是安全方向, 但也意味着断线不会被自动发现。

12. 施密特缓冲器与极性约定

板上六路**反相**施密特触发器用于两路霍尔信号调理 (一颗芯片正好覆盖两路共 6 根霍尔)。

⚠️ **极性表 (固件必读)**

信号	传感器输出	MCU 读到	说明
霍尔 HA / HB / HC (两路共 6 根)	高	低	反相
霍尔 HA / HB / HC	低	高	反相

霍尔状态表必须按反相后的编码建立。直接套用传感器原始真值表会导致换相错误。出厂固件的自学习会自动测出本机霍尔表, 无需人工换算 (见 §19.2 第三条)。

13. 指示与人机

器件	位号	说明
状态 LED	LED1	PC13 驱动
电源指示 LED	LED2	+12 V 轨常亮
有源蜂鸣器	BUZZER1	PE5 经三极管驱动
用户按键	SW2	PF2
复位按键	SW1	NRST
CAN 终端拨动开关	SW4	投切 120 Ω

14. 编程、调试与扩展

接口	位号	说明
SWD	H1, 2.54 mm 排针 5P	+3V3 / SWDIO / SWCLK / GND / NRST
USB 一键下载	USB1	经桥接芯片自动控制 BOOT0 与复位, 无需跳线
3.3 V / 5 V 取电	U2, 3.5 mm 端子 3P	1 = +3V3 / 2 = +5V / 3 = GND
扩展 GPIO	U6 第 4-5 列	6 根裸 GPIO (无电源地), 见 §10

空闲 MCU GPIO (9 个) : PB0、PB2、PB12、PC4、PC5、PC14、PC15、PD15、PE7。

15. 完整引脚分配表 (STM32G473VET6 / LQFP100)

本表已于 2026-08-25 与 EDA 工程网表 逐脚比对一致。

脚	端口	功能	脚	端口	功能
1	PE2	霍尔 A2	55	PD8	外部串口 TX
2	PE3	霍尔 B2	56	PD9	外部串口 RX
3	PE4	霍尔 C2	57	PD10	H 桥电流反馈
4	PE5	蜂鸣器	58	PD11	泄放禁用
5	PE6	扩展 GPIO (U6)	59	PD12	霍尔 A1
6	VBAT	直接接 +3V3 (无备份电池, 见 §20)	60	PD13	霍尔 B1
7	PC13	状态 LED	61	PD14	霍尔 C1
10	PF9	方向输入	65	PC6	FOC2 PWM
11	PF10	刹车输入	66	PC7	FOC2 PWM
12	PF0	晶振 IN	67	PC8	FOC2 PWM
13	PF1	晶振 OUT	68	PC9	泄放状态
14	—	NRST	69	PA8	母线电压
15	PC0	电流 A2	70	PA9	USB 串口 TX
16	PC1	电流 B2	71	PA10	USB 串口 RX
17	PC2	电流 C2	72	PA11	CAN RX

脚	端口	功能	脚	端口	功能
18	PC3	模式输入	73	PA12	CAN TX
19	PF2	用户按键	76	PA13	SWDIO
20	PA0	电流 A1	77	PA14	SWCLK
21	PA1	电流 B1	78	PA15	H 桥故障
22	PA2	电流 C1	79	PC10	FOC2 PWM
25	PA3	PWM 油门 1	80	PC11	FOC2 PWM
26	PA4	栅驱 1 片选	81	PC12	FOC2 PWM
27	PA5	栅驱 1 SCK	82	PD0	扩展 GPIO (U6)
28	PA6	栅驱 1 MISO	83	PD1	扩展 GPIO (U6)
29	PA7	栅驱 1 MOSI	84	PD2	遥控 RC3 / SBUS
33	PB1	模拟油门	85	PD3	遥控 RC2
39	PE8	FOC1 PWM	86	PD4	栅驱 1 校准
40	PE9	FOC1 PWM	87	PD5	栅驱 1 使能
41	PE10	FOC1 PWM	88	PD6	栅驱 1 故障
42	PE11	FOC1 PWM	89	PD7	栅驱 2 片选
43	PE12	FOC1 PWM	90	PB3	栅驱 2 SCK
44	PE13	FOC1 PWM	91	PB4	栅驱 2 MISO
45	PE14	电位器 1	92	PB5	栅驱 2 MOSI
46	PE15	电位器 2	93	PB6	扩展 GPIO (U6)
47	PB10	PWM 油门 2	94	PB7	扩展 GPIO (U6)
50	PB11	扩展 GPIO (U6) △ 不耐 5 V	95	PB8	BOOT0
52	PB13	栅驱 2 校准	96	PB9	遥控 RC1
53	PB14	栅驱 2 使能	97	PE0	H 桥方向 2
54	PB15	栅驱 2 故障	98	PE1	H 桥方向 1

16. 连接器一览表

针序均已于 2026-08-25 对 EDA 网表核实。

位号	间距 / 形式	功能与针序
J1	XT60 形式大电流插头 (卧式)	主电源输入：1 = GND / 2 = BAT+
F1	插片式 (ATO) 保险丝座	输入保险；保险管为板外件、不随板提供，规格见 §17
CN1	3.5 mm 螺钉端子 2P	外接电源开关 (仅 mA 级，见 §4.3)
P4	5.08 mm 螺钉端子 3P	电机 1 相线：1 = U / 2 = V / 3 = W
P6	5.08 mm 螺钉端子 3P	电机 2 相线：1 = U / 2 = V / 3 = W

位号	间距 / 形式	功能与针序
P7	3.5 mm 螺钉端子 2P	母线泄放输出 : 1 = VBUS / 2 = CHOP; 外接电阻 $\geq 5\ \Omega$, 包络见 §8
P5	5.08 mm 螺钉端子 2P	有刷 H 桥输出 : 1 = OUT2 / 2 = OUT1
U15	2.0 mm 线对板 5P	电机 1 霍尔 : 1 = +5 V / 2 = GND / 3 = HA / 4 = HB / 5 = HC
U9	2.0 mm 线对板 5P	电机 2 霍尔 (针序同上)
U6	2.54 mm 排针 3 × 5P	遥控 ×3 + 扩展 GPIO ×6 , 见 §10
P1	5.08 mm 螺钉端子 2P	+24 V 输出 : 1 = GND / 2 = +24 V
P2 / P3	5.08 mm 螺钉端子 2P ×2	+12 V 输出 (经软启动) : 1 = GND / 2 = +12 V
CN7	2.0 mm 线对板 2P	+12 V 输出 (未经软启动) : 1 = +12 V / 2 = GND
U2	3.5 mm 螺钉端子 3P	+3.3 V / +5 V 输出 : 1 = +3V3 / 2 = +5V / 3 = GND
CN5 / CN40	2.0 mm 线对板 4P ×2	CAN ×2 (可级联) : 1 = CANH / 2 = CANL / 3 = GND / 4 = NC; SW4 投切 120 Ω 终端
CN36	2.5 mm 线对板 4P	外部串口 : 1 = GND / 2 = 板侧 RX / 3 = 板侧 TX / 4 = +5 V (带 500 mA 自恢复保险丝)。⚠ 信号线仅 3.3 V 电平, 不耐 5 V , 见 §9
CN26	2.0 mm 线对板 3P	模拟油门 : 1 = GND / 2 = THR / 3 = +5 V
CN2	2.0 mm 线对板 4P	PWM 油门 ×2 : 1 = GND / 2 = PWM2 / 3 = PWM1 / 4 = +5 V
CN6 / CN4 / CN3	2.0 mm 线对板 2P ×3	方向 / 模式 / 刹车 : 均为 1 = GND / 2 = 信号 (低有效)
H1	2.54 mm 排针 5P	SWD 调试
USB1	USB Type-C	USB 下载 / 调试 / 供电

17. 电气特性 (典型, $T_a = 25\ ^\circ\text{C}$)

参数	最小	典型	最大	单位	备注
主电源输入 VIN	28	36	42	V	10S 锂电; 绝对最大 45 V
输入欠压启动门限	24.4	26.0	27.7	V	迟滞由控制器内部设定
输入浪涌电流 (软启动)	—	0.21	—	A	母线爬升约 330 ms
TVS 截止 / 击穿 / 钳位	48	58.9	77.4	V	1.5 kW @10-1000 μs
+24 V 轨	—	24	—	V	对外 P1, 推荐连续 $\leq 2\ \text{A}$
+12 V 轨	—	12	—	V	对外 P2 / P3 (软启动)、CN7 (无软启动), 推荐连续 $\leq 2\ \text{A}$
+5 V 轨	—	5.0	—	V	推荐连续 $\leq 1.5\ \text{A}$; CN36 侧带 500 mA 自恢复保险丝
+3.3 V 轨	—	3.3	0.6	V / A	LDO 硬上限 600 mA , 对外推荐 $\leq 200\ \text{mA}$
额定连续输出功率 @42 V	—	400	—	W	每路 , 双路同时; 整板 800 W
额定连续输出功率 @36 V	—	350	—	W	每路 , 双路同时; 整板 700 W
额定连续输出功率 @28 V	—	300	—	W	每路 , 双路同时; 整板 600 W
额定连续相电流	—	8.6 – 9.7	—	A	对应上三行, 随电压档变化
相线端子额定	—	—	24	A	端子器件额定, 非输出能力承诺 , 见 §5.3

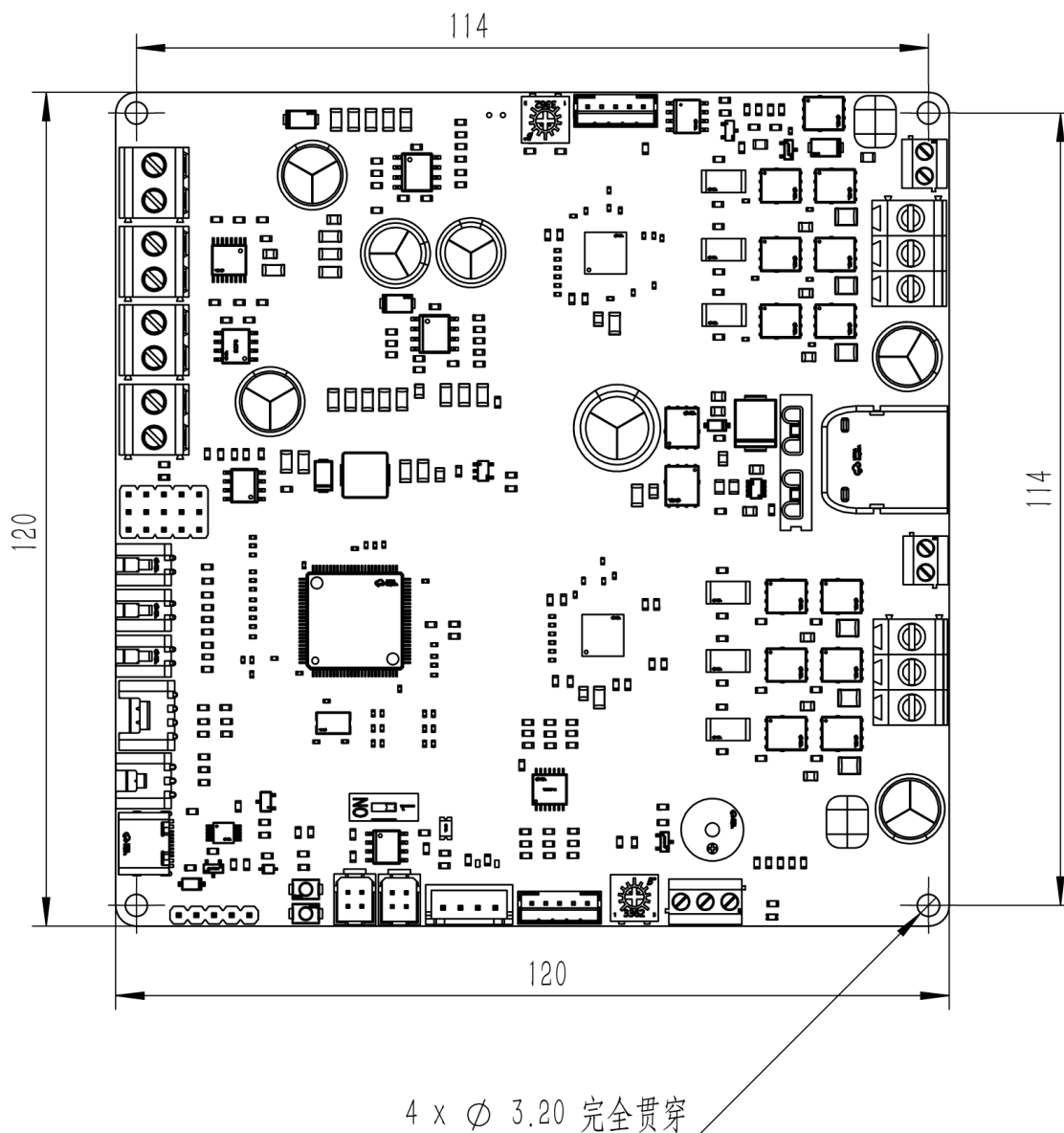
参数	最小	典型	最大	单位	备注
输入保险丝座额定	—	—	30	A	整板输入侧， 限制链最紧的一环 ；△ 不得自行加大保险管
相电流采样量程	—	—	±41.25	A	2 mΩ + 增益 20 V/V；改 10 V/V 则 ±82.5 A
母线电压采样量程	—	—	69.3	V	分压比 21.0
有刷 H 桥限流	—	3.33	—	A	出厂设定，器件 40 V / 6 A 级
母线泄放门限	43.1	—	44.1	V	关闭 / 开启，硬件迟滞
母线泄放电流（导通期）	—	8.8	—	A	外接电阻 5 Ω 时；8 Ω 时为 5.5 A
P7 端子额定电流	—	—	7	A	△ 低于 5 Ω 档的导通电流，连续制动须取 ≥ 8 Ω，见 §8
PWM 载波频率	16	20	40	kHz	固件设定
CAN 速率	—	—	1	Mbps	经典 CAN，不支持 FD 高速段
遥控信号电平	—	3.3 / 5	5.5	V	三路均 5 V 耐受
工作温度	-20	—	+85	°C	受板载器件限制，整板以实测为准

⚠ 重要： 1. **STM32G4 的 I/O 无正向注入通路，串联电阻不能防止过压损坏。** 见 §3.1。 2. **U6 第 4 列首脚 PB11 不耐 5 V**，为裸 GPIO，误接 5 V 会永久损坏 MCU。 3. **保险管为板外件、不随板提供：**输入为插片式（ATO）保险丝座，所配保险管须满足 **30 A / ≥ 58 V 高分断**。 4. **P7 外接电阻阻值下限 ≥ 5 Ω（绝对） / ≥ 8 Ω（连续制动）** —— P7 端子额定 **7 A**，5 Ω 时导通电流 8.8 A 已超额定，仅适用于短时点刹。见 §8。 5. **峰值相电流超过 29.2 A RMS 时必须把 CSA 增益改到 10 V/V**，否则 ADC 削顶、FOC 失控。 6. **本平台上限 42 V，不支持 48 V 电池。** 见 §20。

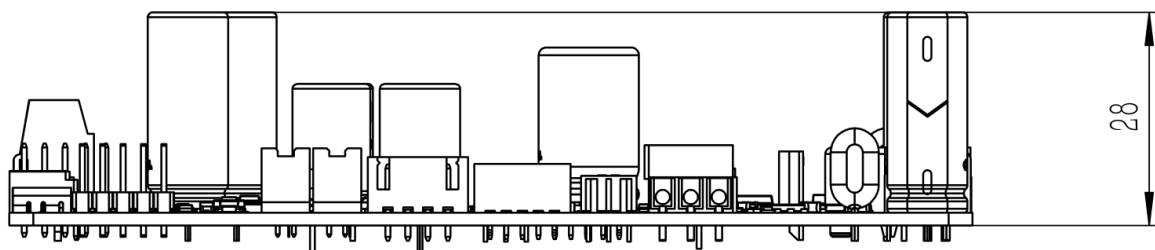
18. 机械尺寸

项目	规格
板尺寸	120 × 120 mm （圆角 R3.0 mm）
整体高度	28 mm （含元件与插件引脚，见侧视图）
安装孔	4 × Ø3.20 mm 完全贯穿 （配 M3 螺钉），孔位间距 114 × 114 mm ，距各边 3.0 mm
层数	4 层 （L1 器件 + 信号 + 覆铜 / L2 完整 GND 平面 / L3 VBUS + 相线功率分配 / L4 信号 + 部分 VBUS）
铜厚	外层 1 oz ，内层 0.5 oz
PCB 板厚	1.6 mm（典型）
贴装	389 器件全部位于顶层 ，单面贴装
散热	功率 MOSFET、栅驱、降压 IC 裸焊盘下密布过孔到内 / 底层

俯视图（板框、安装孔） —— 单位 mm



侧视图（整体高度） —— 单位 mm



完整机械工程图与 3D 模型（STEP）可另行索取。

19. 出厂固件

本板出厂即带一套可直接使用的双路 FOC 固件：接上电机、霍尔与电源，用一根 USB 线做一次自学习 标定，之后踏板、触摸屏或整车 CAN 都能驱动它， **客户不需要写一行代码**。

固件的完整说明单独成册：

文档	《D2842-400-HB 出厂固件说明书》（随固件版本发布）
内容	命令一览、标定流程、控制逻辑、CAN 与遥测协议、参数、故障码全表、升级方式
本规格书付印时的固件版本	0.4.15

为什么分成两本。 硬件定版之后不再变，而固件每隔几周就发一版。把固件写进规格书，等于让一份描述硬件的文件跟着固件的节奏过期——而读者没有办法判断手上这份是不是还准。

⇒ **本章只给能力概览，以及几条由硬件决定、不随固件版本变的事实。** 命令名、协议字段、默认值、故障码一律以《固件说明书》为准，那一本标着它对应的固件版本。

19.1 能力概览

方面	出厂固件提供
控制模式	双路完全独立：电流（转矩） / 速度（四象限，可回馈制动） / 位置 / 开环， 20 kHz 电流环
电机自学习	一条命令测出接线相序、绕组电阻电感与逆变器死区、霍尔换相表、机械增益，结果存在 本板自己的 Flash 里。换电机、换供应商，重跑一遍即可，不改代码
整车通路	多个指令源按固定优先级仲裁：控制台 / 触摸屏 / 整车 CAN / 遥控 / 踏板；含挡位、速度档、限速与刹车驱动
保护	统一故障总线，每条故障分 切桥 / 降额 / 仅报告 三档动作；凡切桥一律 锁存 ，必须显式清除
对外接口	人用的控制台命令行、程序用的遥测行、控制板用的整车 CAN、仪表用的 VGUS 触摸屏
升级	双分区 Bootloader，串口升级，镜像自带版本与校验；写坏了能自行引导回另一个分区

19.2 由硬件决定的三条（不随固件版本变）

- 一、霍尔反馈的静止分辨率是 $\pm 30^\circ$ 电角。** 转子停住时霍尔不产生边沿，位置无法内插（15 对极即 $\pm 2.0^\circ$ 机械）。这是传感器决定的，任何增益都买不过去，换任何固件也一样。需要更高静止精度请选用带编码器的机型。见 §6。
- 二、本板不提供硬件级急停通路。** 板上没有任何一条从输入到栅极、不经过 CPU 的关断通路（栅极驱动器自身的 VDS 过流除外，见 §20 第 3 条）。出厂固件的急停是 1 kHz 轮询的软件实现，快且可靠，但它仍是软件；**换任何自研固件，这条硬件事实不变。** ⇒ **整机级的硬件急停能力须由系统设计者在板外实现。** 本板只提供急停输入接口（常闭对地、断线即停）。
- 三、霍尔信号经反相缓冲器，** 固件的状态表必须按反相后的编码建立，见 §12。出厂固件的自学习会自动处理这一条。

19.3 一条必须写进整车出厂检查表的固件默认值

⚠ **出厂固件默认不驱动 BRK 刹车输出。** 装有刹车执行器的整车，**必须在调试时使能并存盘**（命令见《固件说明书》），否则每次上电后本板都不驱动刹车执行器。

这个默认值是刻意的：一块 BRK 上什么都没接、却照样驱动 H 桥的板子，等于在声称自己正在刹车。但正因为它是「安静地不动作」，**调试时漏掉这一步不会有任何报错。**

19.4 客户自行开发固件

板卡支持完全自研固件：SWD 与 USB 一键下载均已就绪，硬件资源见 §15 / §16。本章描述的功能属于出厂固件，不构成硬件规格的一部分。

20. 已知限制与使用须知

硬件：

#	项	说明
1	平台上限 42 V，不支持 48 V 电池	栅驱、板载降压、母线电解、保险丝座均为 60 V 级 ；48 V 体系（13S / 16S 满电 54.6 / 58.4 V）需整板重做
2	满电 42 V 距泄放门限 44.1 V 仅 2.1 V	满电长坡制动可能触发泄放甚至过压保护，首次上路前请在满电状态复核母线读数
3	无硬件封波	栅驱 nFAULT 未接到定时器 BKIN。栅驱自身的 VDS 过流会关 它那一路 的栅极，所以并非无保护；但 MCU 侧关桥最坏需 50 μs + 中断延迟
4	无硬件级急停通路	板上无绕过 CPU 的关断通路；板卡只提供急停 输入接口 ，整机级硬件急停须在板外实现，见 §19.2 第二条
5	无板载 NTC	功率级温度依赖栅驱内部过温告警 + MCU 内部温度 + 固件 I ² t 估算
6	VBAT 直接接 +3V3	无备份电池 / 超级电容 ⇒ 备份寄存器活得过复位、 活不过掉电 ，故障快照拔电即失
7	EXTI15 冲突	H 桥故障（PA15）与栅驱 2 故障（PB15）同属 EXTI line15，只能一个走中断、另一个轮询
8	CN7 的 12 V 未经软启动	接大容量负载会在上电瞬间拉垮板内 12 V；对外供电请优先用 P2 / P3
9	+3.3 V 仅 600 mA（LDO 硬上限）	板内已占大部分，对外取电前请核算
10	UART5 只收不发	SBUS2 遥测回传与 UART5 调试打印均不可用
11	串行遥控只有 RC3 一路，且只收不发	UART5_RX 在 G473 仅 PD2 一个落点，其 TX 落点被 FOC2 PWM 占用；RC1 / RC2 无 UART 复用，只能做 PWM / PPM 捕获，RC3 则无硬件 PWM 捕获
12	12 V 对外软启动不解决短路	硬短路由降压 IC 打嗝限流兜底，板内 12 V 会被拉垮
13	霍尔信号反相	固件状态表须按 §12 建立（出厂固件的 learn hall 自动处理）
14	CAN 不支持 FD 高速段	最高 1 Mbps
15	方向 / 模式 / 刹车无 TVS	板侧有 100 Ω 串阻 + 10 kΩ 上拉 + 10 nF 去抖，但 无浪涌钳位 ；三路为 低有效干接点 ，见 §11
16	母线 ADC 只用 61% 量程	分压 ÷21，满量程 69.3 V，分辨率取舍
17	U6 的 +5 V 不带保险丝	该三列 +5 V 取电合计 ≤ 300 mA
19	⚠ P7 泄放端子额定 7 A，低于 5 Ω 档的导通电流 8.8 A	板上丝印 $\geq 5\Omega$ 是绝对下限，仅适用于 短时点刹 ； 连续制动须取 $\geq 8\Omega$ 。见 §8
20	⚠ ⚠ 外部串口 CN36 的信号线不耐 5 V	板侧 RX / TX 落在 PD8 / PD9 (TT_a, 上限 3.6 V) ；板上 ESD 为 5 V 截止型， 不构成过压保护 。接 5 V TTL 设备须在板外加电平转换，见 §9
18	⚠ 热性能未完成 EVT 测试	长时间满载温升、是否需要外加散热片 / 风冷， 尚无测试报告 。在报告出来之前，连续工作以额定 400 W / 路 为准；§5.3 限制链中的电流数值是保护门限与器件额定， 不代表可持续输出的功率

出厂固件的已知限制见《D2842-400-HB 出厂固件说明书》「已知限制」一章——它随固件版本更新，不在本书维护。

21. 版本信息

版本	日期	说明
Rev. 1.3 (预览版)	2026-09-12	本版。更正主频：三处写作 168 MHz，实为 170 MHz （见下）。除此之外一个字未改
Rev. 1.2 (预览版)	2026-09-02	固件章节改为索引：§19 只保留能力概览与由硬件决定的几条事实，命令、协议、参数、故障码移入随固件发布的《出厂固件说明书》；更正两处已被固件超过的表述（见下）。硬件章节无改动
Rev. 1.1 (预览版)	2026-08-25	对外发布版 。硬件章节对 EDA 工程网表逐条核对并更正；新增 §19 出厂固件功能预览
Rev. 1.0	2026-08-14	首个正式版本（当时型号 PF2-600-B），对应 B 版硬件（原理图 DRC 0 条 / PCB DRC 0 条）
Rev. 0.1	2026-07-15	初版草稿，多项参数待评估，已归档

Rev. 1.3 相对 Rev. 1.2 的变化

只有一处，而它是一个硬件事实错。

项	Rev. 1.2	
主频（§1 主控行、§2.2 标题、§2.3 参数表，共三处）	✗ 168 MHz	✓ 170 MHz —— STM32G473 在 Boost 模式下的主频是 170 MHz，本板 .ioc 里 <code>RCC.SYSCLKFreq_VALUE=170000000</code> ，出厂固件启动时打印的也是 170

⚠ **这三处是抄来的，不是算错的**：源头在更早那份内部规格书草稿里，Rev. 1.1 逐条核 EDA 网表时核的是引脚和连接器，主频不在那张网表上，所以没被核到。⇒ **一条不在校核清单上的参数，抄错了可以活很多版。**

Rev. 1.2 相对 Rev. 1.1 的变化

硬件章节（§1 – §18、§20 的硬件表）一个字都没有改动。本版只动固件相关的部分：

项	Rev. 1.1	
固件内容的位置	§19 用十六页描述固件功能、命令、CAN 协议与故障动作	✓ 移入《D2842-400-HB 出厂固件说明书》 （随固件版本发布，当前对应 0.4.15 ）。§19 只保留能力概览、由硬件决定的三条事实、以及一条必须进整车检查表的固件默认值
故障码数量	✗ 「18 个故障码」	✓ 数量随固件版本变，不在本书写死；0.4.15 为 22 个，全表在《固件说明书》与板上 <code>fault codes</code>
无指令自动停机	✗ 「60 s 无指令自动停」	✓ 该数字已被固件超过（现为 5 分钟，且只在「无需求 + 机器静止 + 无人操作」三条同时成立时计时，行驶中不可能触发）。判据与数字以《固件说明书》为准
串行遥控协议	✗ 「出厂固件当前实现的是 SBUS」	✓ SBUS 与 iBUS 均已实现 ，可切换（§10.1）
§20 的固件限制表	4 条写在本书里	✓ 改为指向《固件说明书》「已知限制」一章 —— 它跟着固件版本走
交叉引用	指向 §19.2 / §19.4 的旧小节号	✓ 随新章节结构更新

本版确立的规矩：硬件进规格书，固件进固件说明书。 固件升级不构成规格书改版的理由；规格书里保留的固件内容只应是一段指向说明书的索引。⇒ 这样一来，客户手上的规格书不会因为板子刷了新固件而变得不准。

Rev. 1.1 相对 Rev. 1.0 的变化

硬件核对结论：硬件本身未发生电气变更。 自 Rev. 1.0（2026-08-14）以来，PCB 器件数（389，全部顶层贴装）、网表、引脚分配与连接器均**逐条比对一致**；唯一改动是 2026-08-15 将一颗 +24 V 轨滤波电容改为与同轨其余三颗相同的料号（**同容值、同耐压、同封装的 BOM 归并，无电气影响**）。下表的更是**规格书本身的错漏**，不是硬件改版。

项	Rev. 1.0	
板载降压拓扑	✗ 「100 V 级同步降压」	✓ 60 V 级、异步整流（外置续流二极管） —— 与 §20 第 1 条的「60 V 级器件」自洽
各电源轨能力	未给	✓ 补齐器件链能力与推荐连续取电， +3.3 V 明确为 600 mA 硬上限
CN7 与 P2 / P3	✗ 混为一条「+12 V 输出」	✓ 区分： P2 / P3 经软启动，CN7 未经软启动
CN2	✗ 「通用输入 ×2」	✓ 两路 PWM 油门输入 （TIM2 捕获，PA3 / PB10），并给出针序
CN26 / CN3 / CN4 / CN6 针序	未给顺序	✓ 逐脚给出；并注明三路开关量为 低有效
CAN 端子针序	未给	✓ 1 = CANH / 2 = CANL / 3 = GND / 4 = NC
J1 / P4 / P6 / P5 / P7 针序	部分缺	✓ 全部补齐
霍尔针序	1 = +5 V / 2 = GND（未注明依据）	✓ 已对网表逐脚核实 ，并明确作废 Rev. 0.1 的相反写法
TVS 参数	「截止 48 V 级」	✓ 48 V 截止 / 58.9 V 击穿 / 77.4 V 钳位 / 1.5 kW
泄放门限	只给电流	✓ 补 44.1 V 开 / 43.1 V 关，并注明 MCU 只能关不能开
引脚表	缺 VBAT	✓ 补 pin 6 = VBAT 直连 +3V3，并进 §20 已知限制
空闲 GPIO	顺序随意	✓ 排序并核实为 9 个
已知限制	10 条（纯硬件）	✓ 20 条硬件 + 4 条固件 ，新增无硬件封波、无硬件级急停通路、无 NTC、VBAT、EXTI15 冲突等
固件章节	无	✓ 新增 §19 出厂固件功能（预览）
板外器件的写法	混入选型建议（如刹车电阻按 ≥ 400 W 选型、开关推荐额定）	✓ 一律改为板侧接口要求与电气包络 ；板外器件不在供货范围内，不作选型推荐
产品型号	PF2-600-B	✓ D2842-400-HB （与板上丝印一致），并在 §1 给出命名规则
电压平台	散见各处	✓ §1 单列一节 ：36 V 标称 / 28 – 42 V 工作 / 45 V 绝对最大，并说明为何不支持 48 V
整体高度	TBD	✓ 28 mm （含元件与插件引脚），取自机械工程师图
安装孔	✗ Ø3.0 mm	✓ Ø3.20 mm 完全贯穿 （配 M3 螺钉），取自机械工程师图
机械图	无	✓ §18 新增 俯视图与侧视图 （含标注）

项 Rev. 1.0		
功率写法	把限制链推导值当作「持续 / 峰值输出能力」陈述	✅ 改为 按母线电压分档的额定连续输出 ： 42 V → 400 W / 36 V → 350 W / 28 V → 300 W （每路，双路同时）。限制链数值改为 保护门限与器件额定 ，明确不构成输出承诺，并注明热性能未做 EVT
相线端子额定	❌ 18 A	✅ 24 A （18 A 是 P1 的额定，P4 / P6 已于 2026-08-14 换料，早期文档未同步）
P7 泄放端子额定	❌ 18 A	✅ 7 A （实际为 3.5 mm 端子）。据此补出 连续制动阻值下限 $\geq 8 \Omega$ ，并说明丝印 $\geq 5\Omega$ 仅适用于短时点刹
保险丝	未说明	✅ 明确 不得自行加大保险管额定值 ，并说明原因（座子 30 A、防反接 MOS 30 A 热限，加大只会取消保护）
CN36 电平	❌ 只写「双向 ESD + 串阻」，读起来像受保护	✅ ⚠️ P0 安全更正 ：PD8 / PD9 为 TT_a ， 上限 3.6 V，不耐 5 V ；板上 ESD 为 5 V 截止型， 不构成过压保护 。新增 §9 警示与 §20 第 20 条
方向 / 模式 / 刹车前端	❌ 「仅 100 Ω 串阻，无滤波电容」	✅ 实为 100 Ω 串阻 + 10 kΩ 上拉至 +3V3 + 10 nF 去抖 ，按 低有效干接点 设计；仍无 TVS。§11 补出完整调理电路与时间常数
0x211 health 字节	未展开位定义	✅ 公开 bit7 = 刹车驱动已使能 （「1 = 好」约定），并写明这一位 两个方向都说明不了它看起来说明的事 ： 0 不是一个诊断 （没装刹车 vs 装了没使能，总线上分不开）、 1 也不构成「本车可以停下」的证据 （它是一个存下来的决定，不是一次测量，执行器脱落/线断/卡死仍报 1）。另附「只说使能不说可用」「早期固件恒 0」「拓扑 B 求或」「以驱动板实际发送为准」四条使用约束。 2026-08-28 上板验证 ：同一条命令前后 health 70 → f0 ，控制板侧读到 brakedrv=1
BRK 出厂默认	未说明	✅ 明确 出厂默认关闭 ，装有刹车执行器的整车必须 brake on + save ，否则每次上电不驱动 BRK 且 bit7 报 0；并说明该默认是刻意的、但失效方式是「安静地不动作」，应列进整车出厂检查项。§7 加指针。 2026-08-28 上板验证 ： NOTHING STORED → stored: yes → stored: no ，各自跨一次复位
RC3 能力	只写「支持 SBUS」	✅ 说明其为 通用 UART 接收通道 ，MCU 内置 硬件 RXINV ，反相型（SBUS）与常规电平（115200 / 420 k 一类）串行协议均可接收，无需外部反相器；并区分 硬件能力与出厂固件已实现的部分
固件章节	按 08-25 早间状态写	✅ 依固件侧 review 更新：CAN 0x210 补速度档位、 0x212 补车速；磁链 λ 标注 不落盘 ；Bootloader 回滚补上板实测结论

本文档基于 **B 版硬件** 编写。电气参数为设计值与推导值，**量产前以正式测试报告（EVT）为准**。