

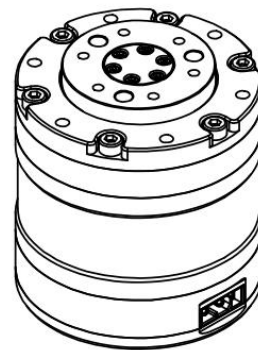


河南因克斯智能科技有限公司

产品说明书

EC-A4310-P2-36

河南因克斯智能科技有限公司成立于 2022 年 9 月，核心团队由南京航空航天大学、华中科技大学硕士组成，专注于电机驱动技术、减速器技术、一体化关节模组产品。公司拥有完善的关节模组设计团队和完整的关节模组生产设备，能为客户提供高品质关节模组产品，同时提供电机设计与打样，关节模组定制等一整套服务。



说明书版本号 V1.0

目录

简介	1
1. 产品特点	1
2. 产品接口、坐标系定义、配件说明	1
3. 产品安装尺寸	2
4. 产品参数、实测数据及特性曲线	2
5. 产品使用说明及功能描述	3
5.1 编码器功能说明	3
5.2 使用电压和电源说明	3
5.3 通信使用说明	4
5.4 力位混控模式说明	4
5.5 伺服位置控制模式说明	4
5.6 伺服速度控制模式说明	5
5.7 电流/力矩控制模式说明	5
5.8 电机刹车控制说明	5
5.9 指示灯说明	5
6. 使用 VESC tool 调试	5
7. 典型应用	9
8. 注意事项	9
附录一：CAN 通信协议	10

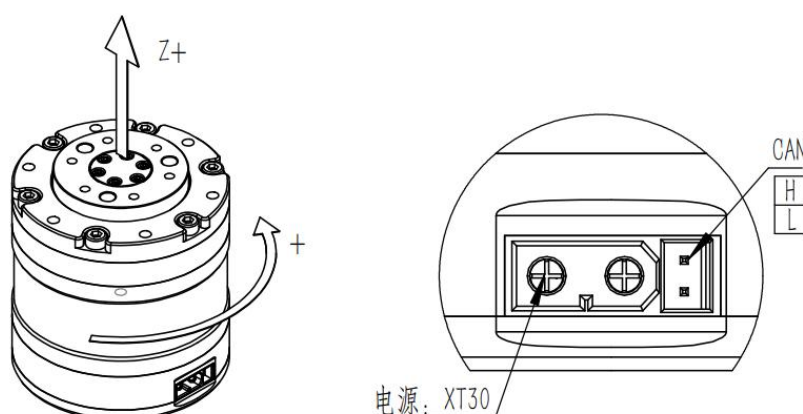
简介

EC-A4310-P2-36 是一款集减速器、电机、电机驱动器于一体的关节模组产品，减速方式为行星减速器，齿轮全部经过调质处理，使得减速器拥有较高的强度和使用寿命。电机采用集中绕组的无刷直流电机方案，具有较高的功率密度和效率。经过优化极弧系数，电机具有较低的齿槽转矩，运行更平稳。同时，产品配备上自行研制的高性能驱动器，伺服控制中加入了磁链观测控制，可适应不同负载并具有极宽的定速带宽，不需要像传统三环 PID 控制那样频繁整定参数，简单易用，驱动器还具有温度保护、过载保护等功能、保证产品稳定可靠运行。

1. 产品特点

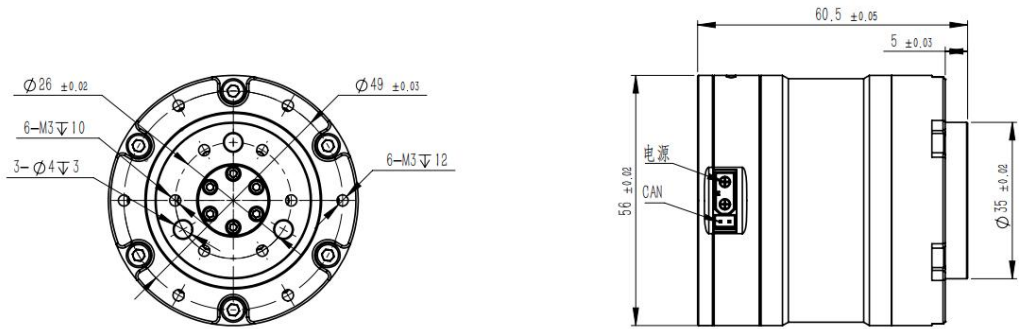
- 双编码器：电机输出端安装了一个 14 位编码器，电机控制端使用线性霍尔传感器，使得产品能实时反馈输出端的位置，便于用户使用，不需要不断电的多圈记忆，提高产品可靠性。
- 多种控制模式：力位混控模式、伺服位置模式、伺服速度模式、电流（力矩）控制模式、制动模式。
- 磁链观测控制：在伺服控制模式下，可不需要频繁调参去适应负载，甚至不需要调参。
- 宽的速度控制带宽：定速控制可从 0 到最高转速的 95%，速度控制阶梯步长为 5ERPM（ERPM 为电转速= $\text{rpm} \times \text{电机极对数}$ ）。
- 精确的位置控制：在伺服位置控制模式下，在电机能承受的负载范围内，位置误差小于 0.1° （受限于编码器精度）。
- 具有过温、过压、过载保护。
- 具备 USB 接口，无需其他模块，可直接连接 PC 调试控制。

2. 产品接口、坐标系定义、配件说明



正对模组输出轴，逆时针转转速为正，角度递增；顺时针转转速为负，角度递减。

3. 产品安装尺寸



4. 产品参数、实测数据及特性曲线

性能参数		
减速比 (Reducer ratio)		36
额定电压(Nominal Voltage)	V	24
额定电流(Nominal Current)	A	6.1
额定功率(Nominal Power)	W	146.4
额定转速(Nominal Speed)	rpm	78
额定扭矩(Nominal Torque)	Nm	12
峰值转速(Peak Speed)	rpm	93
峰值电流(Peak Current)	A	18
峰值扭矩(Peak Torque)	Nm	36
电机平均效率(efficiency)		70%
扭矩常数(torque constant)	Nm/A	1.4
电机重量(Weight)	g	377
减速器背隙(Backlash)	Arcmin	10
电机尺寸（外径×厚度）(Motor Size)	mm	56×60.5
通信方式		CAN
通信波特率		1M

注意！本文说明书所示转速无特殊说明均指输出端的转速。

产品实测数据							
电压 V	母线电流 A	输出功率 W	扭矩 Nm	转速 rpm	相电流 A	效率	扭矩/相电流
24	0.9	21.6	1	89	1.0	42%	1
	1.4	33.6	2	88	1.6	54%	1.25
	1.7	40.8	3	87	2.2	64%	1.36
	2.3	55.2	4	86	3.0	65%	1.34
	2.75	66	5	85	3.7	68%	1.35
	3.2	76.8	6	84	4.4	71%	1.36
	3.6	86.4	7	84	5.1	71%	1.37
	4	96	8	83	5.6	71%	1.43
	4.65	111.6	9	82	6.4	70%	1.41
	5.1	122.4	10	81	7.1	70%	1.41
	5.5	132	11	80	7.8	70%	1.41
	6.1	146.4	12	78	8.6	70%	1.40
	6.6	158.4	13	77	9.6	66%	1.35
	7.3	175.2	14	77	10.3	64%	1.36
	8	192	15	74	11.5	60%	1.30
	8.9	213.6	16	70	12.7	56%	1.26
	10	240	17	65	14.7	49%	1.16

注意！不同个体具有一定的差异，差异范围在 5%以内。

5. 产品使用说明及功能描述

5.1 编码器功能说明

电机输出端编码器使用的是 14 位磁编码器，经过实际测量角度精度最高只能达到 0.1 度，由于编码器品质问题，有的甚至精度只有 0.2 度，此结果已经对比过数款市面上常见的使用 1 对极磁铁反馈的磁阻编码器，常见磁阻编码器均在这个精度。

电机能实时反馈输出端的位置，实际是 0~360°，为了利于统一坐标系，分割成 -180°~180°。但是电机只有单圈记忆功能，举例：电机通电此时角度为 170°，保持通电，将电机逆时针转动 20°，那么电机角度是 190°，若在电机 170°时断电，逆时针转动 20°，上电读取电机角度为-170°，顺时针转动 20°，则上电后读取角度为 150°。

5.2 使用电压和电源说明

电机使用电压范围是 10~57V。57V~60V 驱动会报警，超过 60V 可能会损坏驱动，8V~10V 驱动可以使用，但是易出现电压过低警报。6~8V 驱动可以开机，但是会低压警报，低于 6V 驱动无法开机。

在带载情况下，尽量使用电池供电，保证有足够的供电能力和能量回流渠道，若使用桌面实验室电源、开关电源、自制电源管理模块等设备供电时，注意加入足够耐压和容量的电容，保证能量能回流，否则易烧驱动，或者使得驱动报警或重启，重启是硬件保护的作用，若不重启，容易损坏驱动硬件导致无法再用。

在使用桌面实验室电源、开关电源、自制电源管理模块等设备供电时，易导致驱动无法顺利开机启动，主要原因是驱动的电压保护机制，此类设备电压有爬坡过程，驱动判断为供电不稳定，解决方案为更换电池供电或联系官方技术支持。

·产品供电接口和电流说明产品供电接口为 AMASS 生产的 XT30（2+2）接头，额定电流为 15A，峰值 30A。供电接口电流对驱动而言为母线电流，电机实际控制时是相电流，因为相电流与电机力矩成线性关系。若需要获取电机功率、母线电流等状态，可发送相关读取指令获取。

5.3 通信使用说明

CAN 波特率为 1M，标准帧，CAN 控制频率最高可达 2000Hz，发送一帧结束，最快 0.4ms 收到反馈数据帧。系统有心跳保护，时间间隔为 500ms，即发送一次 CAN 控制指令后若间隔 500ms 未收到第二帧控制指令，电机自动停止运动。

首次使用电机，建议查询电机 ID 或重置 ID 再进行控制，出厂时大部分参数和设置可直接使用，用户尽量在有经验情况下修改。配置好的电机等待驱动顺利开机后（至少 5S）可直接发送控制指令，期间也可随时更改配置。

对驱动发送如下设置指令时，应延迟 500ms 以上再发送第二个 CAN 指令。

设置通信模式

设置当前点为零点

设置电机 ID

若未延迟 500ms 以上，则可能设置失败。

其他指令则只需要不导致 CAN 繁忙即可。

CAN 控制和 USB 控制不能同时使用，若同时使用，CAN 控制优先，但是不能完全屏蔽 USB。可以使用 CAN 控制，同时使用 USB 观看电机反馈数据。

5.4 力位混控模式说明

发送该指令调用的是力位混合控制，最终输出电流给电机，电流由如下三个部分组成：

$$\begin{aligned} motor_current = & \\ & (KP * (pos_desired - pos_current) + \\ & KD * (spd_desired - spd_current) + Torque) / K_T \end{aligned}$$

其中指令中的 KP、KD 参数是随时更改的参数，KT 是电机扭矩常数。本模式主要用于足式机器人的控制。空载下 KP 参考值为 15，KD 参考值为 0.5。

5.5 伺服位置控制模式说明

给定期望位置大于±180度，即可多圈转，但是重启上电会重置圈数。

伺服控制模式为三环控制，最内环为电流环，电流环主要有 PI 控制器控制，参数用户不可更改。位置环控制其实为 KP、KD 控制，KP 在此系统中称为反馈补偿增益，KD 称为阻尼系数。内环速度环调用伺服控制模式速度控制，采用的是本团队自行研发的自适应算法，不用频繁改参数去适应负载。位置环的 KP、KD 对应 VESC tool 软件中的取值范围为 0~0.1，参考值 KP: 0.006，KD: 0。

伺服位置控制有三个输入参数，分别为期望位置 P、期望速度 V 和电流阈值 I，即电机从当前位置 P0 按期望的速度 V 运转到期望位置 P，从 P0 到 P 的过程中，速度最大值为 V，在 P0 和 P 特别小，而 V 设置的过大的情况下，实际运行时速度可能无法达到 V。同时在 P0 到 P 过程中，电机的最大电流为 I，及产生的最大扭矩 $T_{max}=I \times \text{扭矩常数}$ 。若遇到的负载超过该扭矩，则电机堵转并保持力矩 T_{max} 。

5.6 伺服速度控制模式说明

速度环控制为磁链观测控制，参数较多，提供给客户更改的参数为磁链观测增益和扰动补偿系数，磁链观测增益建议取值范围为 0.0001~1，参考值为 0.1，扰动补偿系数建议取值范围为 0~1，参考值为 0.06。使用出厂设置的值，经过测试已能适应大部分负载情况，建议用户不要随意改变该值，在有相关经验后或在官方技术指导下再更改（以上所述取值范围均对 VESC tool 上的设置而言，对于 CAN 中的设置范围请查看通信协议）。

5.7 电流/力矩控制模式说明

用电流/力矩控制电机时，电机只要转动，必然会持续加速至最高速，调试时应当注意安全！

5.8 电机刹车控制说明

电机刹车有三种模式，分别为变阻尼制动控制模式、能耗制动模式、再生制动模式。能耗制动和再生制动模式建议在空载或者轻载情况下使用，变阻尼制动模式其实调用的是电机占空比为 0 指令，类似于三相短接的效果，可在有载情况下使用。最建议的是使用速度环的控制来制动刹车。

5.9 指示灯说明

绿灯微亮：正常上电。

绿灯闪烁或增强：正常接收到 CAN 指令并运行正常。

红灯闪烁：电机遇到错误。具体错误信息可通过 CAN 查询或 VESC tool 查看。

6. 使用 VESC tool 调试

本驱动程序是自研 FOC 算法，利用了 VESC tool 了的 APP 交互，底层与官方固件完全不同，故在 VESC tool 上的许多参数并不是 VESC tool 上标注的参数，因此参数修改要特别的注意！在不了解 VESC 情况下，建议仅使用上位机做观测器，查看驱动数据。

在 Windows 上使用 VESC tool 调试的步骤如下，Linux 下使用请参考 VESC 官方教程或联系本团队技术支持。

①安装 VCP 驱动，并下载 VESC tool 2.06 版本以上（推荐 2.06）。VCP 驱动和 VESC tool 可向本团队技术支持索要或前往官方下载。

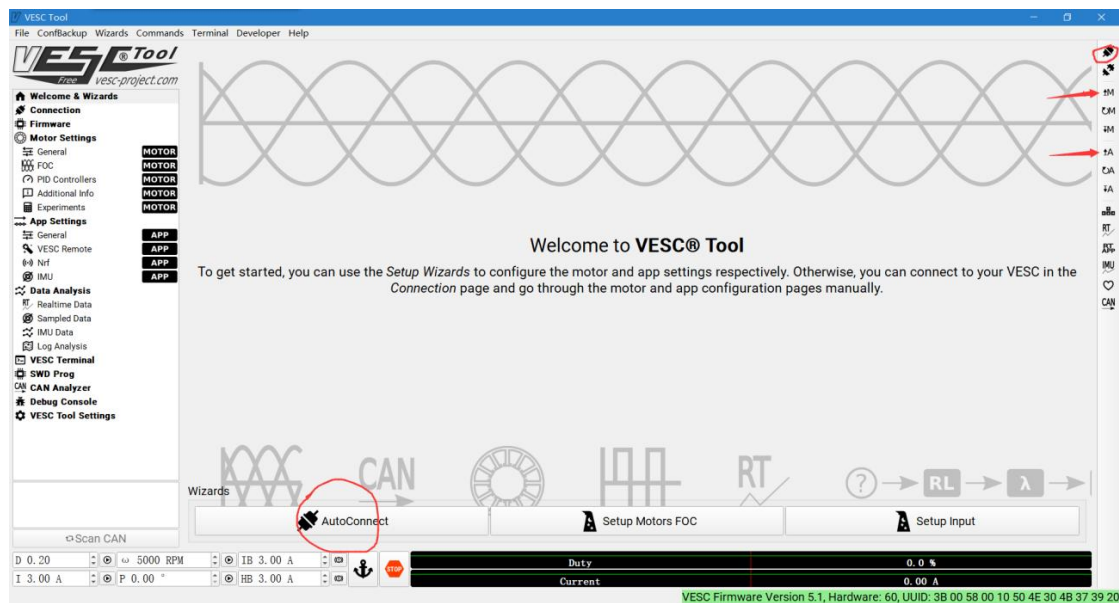
VCP 下载地址：

<https://www.st.com/en/development-tools/stsw-stm32102.html#get-software>

VESC tool 下载地址：

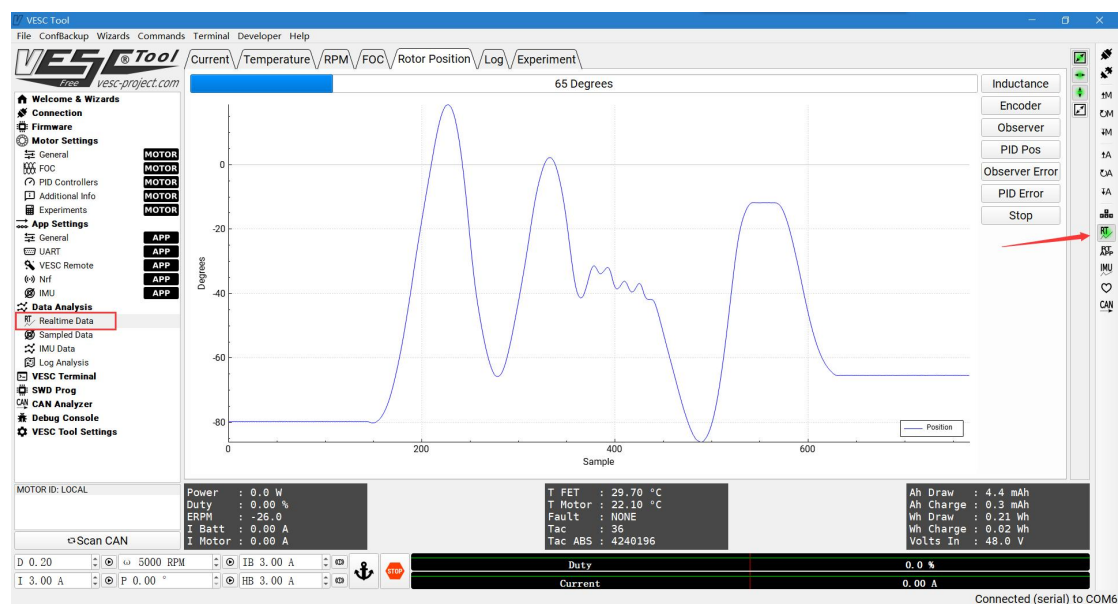
https://vesc-project.com/vesc_tool

②将模组上电（若购买的是驱动器与模组分离的产品，请首先将驱动器与模组正确连接），并使用 micro USB 线将模组与计算机 USB 口连接，打开 VESC tool，电机右上角连接按键。连接成功后，首先要将电机配置参数和 APP 配置参数上传至 VESC tool（图示箭头按键），以免误操作替换掉电机中的参数。具体见如下按钮：

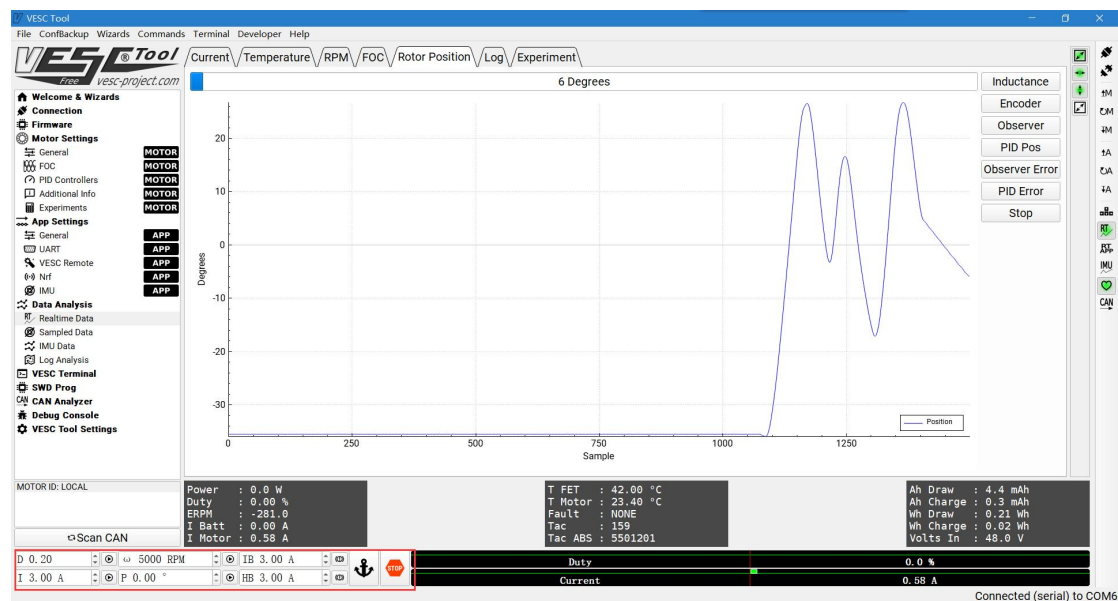


注意！若未上传参数就下载配置，会将驱动中的参数覆盖，导致电机无法顺利运行，甚至损坏电机。部分参数需要实际测试才可获知，因此有可能需要寄回返修，若只是重新配置参数，费用免费，仅仅需要用户承担运费，若已将电机损坏，本团队概不负责。

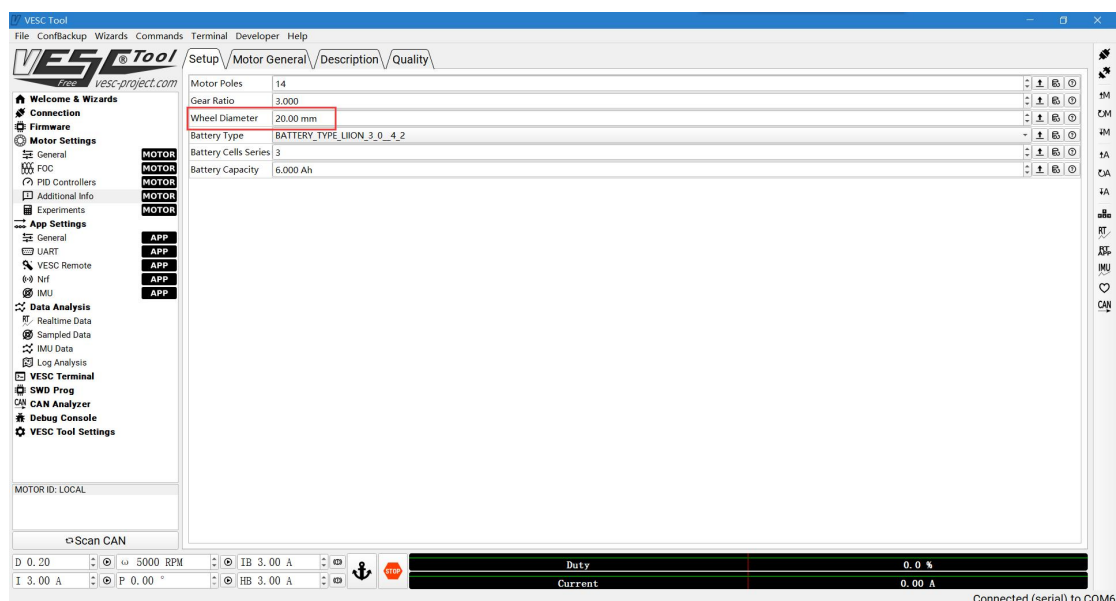
③点右边 RT 按键，然后点击左边 Data Analysis 目录下的 Realtime Data，可查看驱动实时数据数据，如功率、电压、错误信息、转速、位置、相电流等。



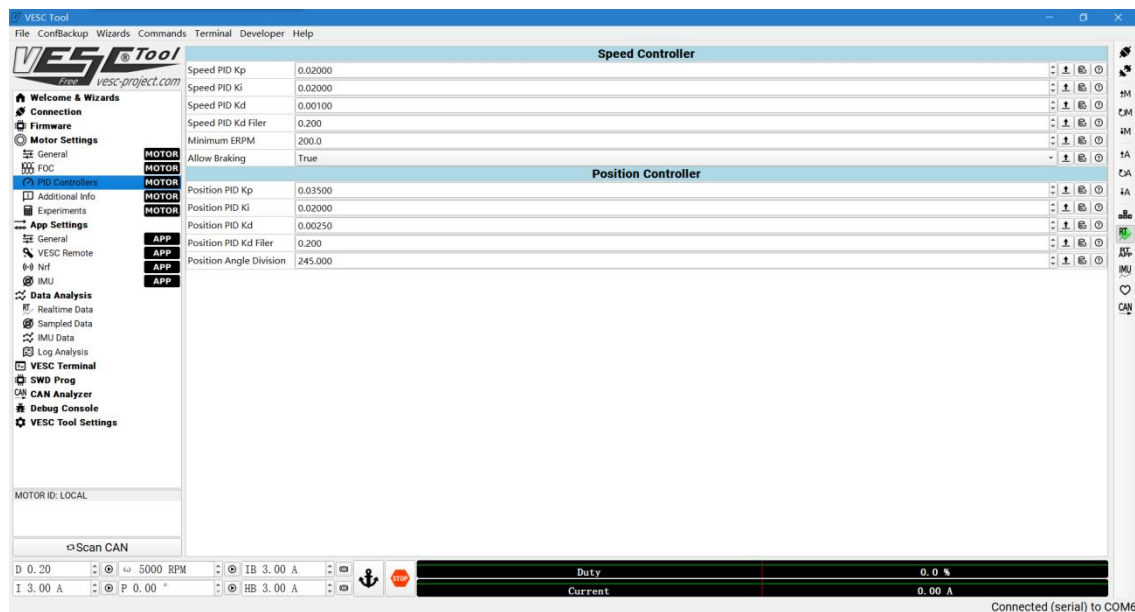
④在右下角的输入框输入数值，并点击输入框右侧小按键，即可控制电机。D 为占空比控制； ω 为定速控制，调用的是磁链观测控制，与 CAN 控制中的伺服速度环控制相同，注意，输入的参数实际为 ERPM；I 为电流控制；P 为伺服位置环控制。IB 为再生制动控制；HB 为能耗制动控制；船锚符号为变阻尼制动，实际调用的是占空比为 0 控制指令。



其中在位置控制中，使用的是伺服位置控制，期望的速度可由左边 Motor Setting 栏目下 Additional Info 页面里的 Setup—Wheel Diameter 参数给定，对应关系是 Wheel Diameter 参数乘以 100 即为所期望的电角速度。

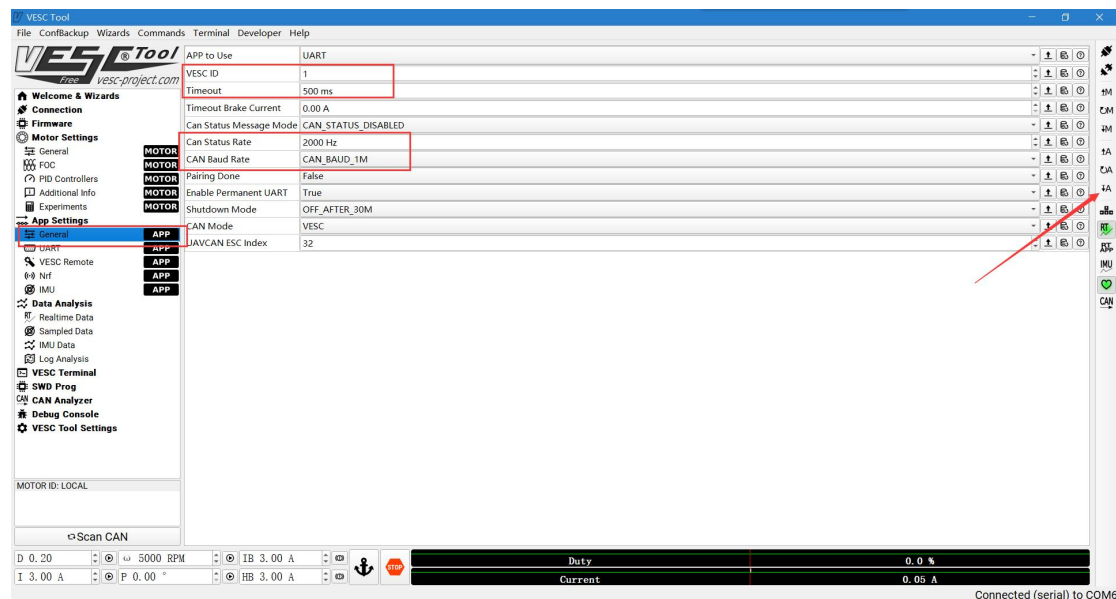


⑤点击左边 Motor Settings 目录下的 PID controllers，可修改磁链观测增益、扰动补偿系数、反馈增益等参数（建议用户在本团队技术指导下修改）。其中 speed PID K_p 对应扰动补偿系数，Speed PID K_i 对应磁链观测增益，Position PID K_p 对应反馈补偿系数，Position PID K_d 对应阻尼系数。修改该页参数后，点击右边↓M 按键，即可下载参数至驱动，注意！修改后的参数需要重启驱动才会生效。重启方式一：点击上方标题栏 Commands 下的 reboot，软件重启；重启方式二:硬件断电重启。



注意！VESC tool 上设置的磁链观测增益、扰动补偿系数、反馈补偿系数和阻尼系数会写入到驱动 FLASH 里变成默认参数，而通过 CAN 指令实时修改的这三个参数则不会写入到 FLASH，掉电重启后在未设置的情况下，使用的是默认参数。

⑥点击左边 App Settings 目录下的 General，会进入到 CAN ID、心跳延迟、反馈频率、CAN 波特率设置（其余参数不要修改，否则会通信不上），更改参数后点击右边↓A 按键，即可下载 App 参数到驱动。



7.典型应用

- （双足机器人）
- （四足机器人）
- （双足轮机器人）
- （线驱机械臂）
- （外骨骼机器人）
- （云台相机）

8.注意事项

本产品使用应该远离强磁环境，否则会影响电机编码器数据，造成电机转动异常！

本产品使用应保证其稳定在 70℃ 以内，超过 70℃ 电机报警，超过 100℃ 电机强制宕机，进入待机状态，无法进行控制，待温度正常后恢复正常。

本产品在大扭矩工作状态时，会产生较多热量，注意避免被烫伤。

本产品在调试或工作时，应保证外壳被固定。

请勿自行拆卸本产品，否则会影响产品的正常使用，若私自拆卸则不再享受相应的质保服务。

注意接线牢固，避免接触不良。

冬天天气干燥，注意静电干扰，避免损耗驱动。

附录一：CAN 通信协议

1 CAN 通信参数

- 波特率：1M
- 标识符：标准标识符（0x01~0x7FF），0x7FF 为电机设置指令和电机查询指令专用标识符，其余为电机 ID。
- 数据长度：4~8 字节
- 通信模式：问答模式（默认）、自动报文模式

2 电机设置指令

2.1 电机通信模式设置指令

- 标识符：0x7FF（主从收到的标识符都是 0x7FF）
- 主控发送数据长度：4 字节
- 电机反馈数据长度：4 字节

CAN 指令数据域——设置为自动报文模式			
Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3
电机 ID 高 8 位	电机 ID 低 8 位	0x00(表示控制器发送的指令)	0x01：设置为自动报文模式 0x02：设置为问答模式
设置成功返回（标识符：0x7FF）			
电机 ID 高 8 位	电机 ID 低 8 位	0x01（表示是电机的报文）	0x01：已成功设置为自动 0x02：已成功设置为问答
设置失败返回（标识符：0x7FF）			
电机 ID 高 8 位	电机 ID 低 8 位	0x01（表示是电机的报文）	0x00

2.2 电机零点设置指令

- 标识符：0x7FF（主从收到的标识符都是 0x7FF）
- 主控发送数据长度：4 字节
- 电机反馈数据长度：4 字节

CAN 指令数据域——设置当前位置为零点			
Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3
电机 ID 高 8 位	电机 ID 低 8 位	0x00（表示控制器发送的指令）	0x03
设置成功返回（标识符：0x7FF）			
电机 ID 高 8 位	电机 ID 低 8 位	0x01（表示是电机的报文）	0x03
设置失败返回（标识符：0x7FF）			
电机 ID 高 8 位	电机 ID 低 8 位	0x01（表示是电机的报文）	0x00

- 两种模式均有效，切换通信模式后仍然有效。注意！电机圈数也重新为 0！
- 以下情况设置失败：
- 1.电机处于运行中，速度不为 0（实际只要电机速度小于一定速度即可）。
 - 2.电机未执行完上一条指令。
 - 3.电机有警报。高温警报、编码器错误警报等。

要顺利设置零点，设置前将电机运行到期望位置，保持位置不变。再发送设置零点指令。

2.3 电机 CAN 通信 ID 设置指令

标识符：0x7FF（主从收到的标识符都是 0x7FF）
主控发送数据长度：6 字节
电机反馈数据长度：4 字节

CAN 指令数据域——设置电机 ID					
Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte5
旧电机 ID 高 8 位	旧电机 ID 低 8 位	0x00	0x04	新电机 ID 高 8 位	新电机 ID 低 8 位
设置成功返回（标识符：0x7FF）					
新电机 ID 高 8 位	新电机 ID 低 8 位	0x01	0x04		
设置失败返回（标识符：0x7FF）					
旧电机 ID 高 8 位	旧电机 ID 低 8 位	0x01	0x00		

2.4 电机 CAN 通信 ID 重置指令

标识符：0x7FF（主从收到的标识符都是 0x7FF）
主控发送数据长度：6 字节
电机反馈数据长度：4 字节

两种模式下重置电机 ID 为 0x01					
Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte5
0x7F	0x7F	0x00	0x05	0x7F	0x7F
设置成功返回（标识符：0x7FF） 数据长度：4 字节					
0x7F	0x7F	0x01	0x05	0x7F	0x7F
设置失败则无应答					

首次使用推荐重置 ID 为 1，再发送 ID 修改指令修改至想设置的 ID 号。

3 电机查询指令

3.1 查询电机通信模式

标识符：0x7FF（主从收到的标识符都是 0x7FF）
主控发送数据长度：4 字节
电机反馈数据长度：4 字节

CAN 指令数据域——查询电机通信模式			
Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3
电机 ID 高 8 位	电机 ID 低 8 位	0x00(表示控制器发送的指令)	0x81
查询成功返回（标识符：0x7FF）			
电机 ID 高 8 位	电机 ID 低 8 位	0x01（表示是电机的报文）	0x01：自动报文模式 0x02：问答模式
查询失败返回（标识符：0x7FF）			
电机 ID 高 8 位	电机 ID 低 8 位	0x01（表示是电机的报文）	0x80

3.2 查询 CAN 通信 ID

标识符：0x7FF（主从收到的标识符都是 0x7FF）

主控发送数据长度：4 字节

电机反馈数据长度：成功 5 字节、失败 4 字节

CAN 指令数据域——查询电机通信模式				
Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4
0xFF	0xFF	0x00(表示控制器发送的指令)	0x82	
查询成功返回（标识符：0x7FF），数据长度 5 字节				
0xFF	0xFF	0x01（表示是电机的报文）	电机 ID 高 8 位	电机 ID 低 8 位
查询失败返回（标识符：0x7FF），数据长度 4 字节				
0x80	0x80	0x01（表示是电机的报文）	0x80	

注意！挂在一个 CAN 总线上的电机均需要处理 0X7FF 的数据帧，通过帧数据区间里包含的 ID 识别是否为其设置的指令，接收到对其设置指令的电机发送应答，其余电机不发送设置帧应答（如果该电机本身就处于自动报文状态，应答后保持原样正常发送）。当许多电机处于自动报文模式下，CAN 有可能繁忙，因此可能需要发送数次设置指令，收到应答，以确保设置成功。

4 电机控制相关指令

数据在 CAN 数据域中的存放的规则遵守高位在前，低位在后的存放方式，具体数据拆分存放细节和解析见附录 2 或向本团队技术索要例程。

驱动接收到的数据不进行限幅处理，相关控制由系统参数进行自动限幅，如：在电流控制模式中，CAN 给定电流数值为 5000，表示实际控制电流 50A，但是系统已经设置最大电流为 30A，则实际到电机控制时，给定的是 30A。其他相关控制参数范围可见产品说明书中的参数说明。

更多关于控制功能细节描述参考相关产品的说明书中的产品说明及功能描述。

4.1 自动报文通信模式控制指令

标识符：0x1FF、0x2FF、0x204+MotorID

主控发送数据长度：8 字节

电机反馈数据长度：8 字节

电机接收报文（标识符：0x1FF）							
Data[0]	Data[1]	Data[2]	Data[3]	Data[4]	Data[5]	Data[6]	Data[7]
电流给定 值高 8 位	电流给定 值低 8 位	电流给定 值高 8 位	电流给定 值低 8 位	电流给定值 高 8 位	电流给定 值低 8 位	电流给定 值高 8 位	电流给定 值低 8 位
MotorID:0x01		MotorID:0x02		MotorID:0x03		MotorID:0x04	

电机接收报文（标识符：0x2FF）							
Data[0]	Data[1]	Data[2]	Data[3]	Data[4]	Data[5]	Data[6]	Data[7]
电流给定 值高 8 位	电流给定 值低 8 位	电流给定 值高 8 位	电流给定 值低 8 位	电流给定值 高 8 位	电流给定 值低 8 位	电流给定 值高 8 位	电流给定 值低 8 位
MotorID:0x05		MotorID:0x06		MotorID:0x07		MotorID:0x08	

电机自动返回（标识符：0x204+MotorID）							
输出端位 置高 8 位	输出端位 置低 8 位	输出端转 速高 8 位	输出端转 速低 8 位	实际转矩 电流高 8 位	实际转矩 电流低 8 位	电机温度	错误信息

给定电流值范围：-32768~32767 对应电流-327.68A~327.67A。

反馈输出端位置数值范围：-18000~18000 对应角度-180°~180°。

反馈输出端转速数值范围：-32768~32767 对应转速-3276.8~3276.7rpm。

反馈电机实际转矩电流数值范围：-32768~32767 对应电流-327.68A~327.67A。

反馈电机温度数值：数值等于实际温度*2+50。

此通信协议可一帧数据控制最多 4 个电机，但是仅能控制电机的电流，速度、位置等需要用户自己在主控上计算控制，下面举例说明控制效果。比如当前有两个电机，电机 ID 分布设置为 1 和 2，电机已经进入自动报文模式，那么此时电机 CAN 接口会自动向主机按 1000Hz 频率发送反馈报文，ID 为 1 的电机反馈的报文标识符是 0x205，ID 为 2 的电机反馈的报文标识符是 0x206，而主控想要控制电机，CAN 的标识符为 0x1FF，同理控制 ID 为 5 和 6 的电机，标识符为 0x2FF。

4.2 问答通信模式控制指令

4.2.1 力位混控模式指令

标识符: Motor ID 数据长度: 8 字节(共 64 位)					
电机模式 uint3	参数 KP uint12	参数 KD uint9	期望位置 uint16	期望速度 uint12	前馈扭矩 uint12
0x00	0~4095	0~511	0~65536	0~4095	0~4095

发送该指令调用的是力位混合控制，最终输出电流给电机，电流由如下三个部分组成：

$$\begin{aligned} motor_current = & \\ & (KP * (pos_desired - pos_current) + \\ & KD * (spd_desired - spd_current) + Torque) / K_T \end{aligned}$$

参数 KP 数值范围：0~4095 对应 0.0f~500.0f。

参数 KD 数值范围：0~511 对应 0.0f~5.0f。

输出端期望位置数值范围：0~65536 对应 -12.5rad~12.5rad。

输出端期望速度数值范围：0~4095 对应 -18.0rad/s~18.0rad/s。

电机前馈扭矩数值范围：0~4095 对应 -30.0Nm~30.0Nm。

驱动收到该指令，只返回 1 类型报文，无法选择返回其他类型报文。

提示：空载时测试实验的参考数值如下：KP=15.0f, KD=0.5f, 期望速度：0, 期望电流：0

4.2.2 伺服位置控制模式指令

标识符: Motor ID 数据长度: 8 字节(共 64 位)				
电机模式 uint3	期望位置 (pos) float32	期望速度 (spd) uint15	电流阈值 (cur) uint12	报文返回状态 (ack) uint2
0x01	单位：度	0~32767	0~4095	0~3

电机模式：0x01，表示此控制指令为伺服位置控制指令。

输出端期望位置数值解释：数值即为实际角度，单位为弧度，例：120.5 表示 120.5°。

输出端期望速度数值解释：0~32767 对应 0~3276.7rpm，比例为 10。

电机电流阈值数值范围：0~4095 对应 0~409.5A，比例为 10。

报文返回状态：0：不返回

1：返回报文类型 1

2：返回报文类型 2

3：返回报文类型 3

4.2.3 伺服速度控制模式指令

标识符: Motor ID 数据长度: 7 字节(共 56 位)				
电机模式 uint3	预留控制状态 uint3	报文返回状态 uint2	输出端期望速度 float32	电流阈值 uint16
0x02	0	0~3		0~65536

电机模式：0x02，表示此控制指令为伺服速度控制指令。

预留控制状态：必须为 0！若不为 0，可正常控制，但是不管返回状态设置的事多少，都不会返回报文。

报文返回状态：0：不返回

1：返回报文类型 1

2：返回报文类型 2

3：返回报文类型 3

输出端期望速度数值解释：CAN 数值与实际转速一一对应。

电机电流阈值数值解释：0~65536 对应 0~6553.6A，比例为 10。

4.2.4 电流、力矩控制模式和刹车控制指令

标识符: Motor ID 数据长度: 3 字节(共 24 位)			
电机模式 uint3	预留控制状态 uint3	报文返回状态 uint2	期望电流/期望力矩 int16
0x03	0~7	0~3	-32768~32767

预留控制状态:

- 0: 正常电流控制
- 1: 力矩控制模式
- 2: 变阻尼制动控制模式, 此时其实电流数据自动忽略
- 3: 能耗制动控制模式, 此时期望电流数据自动忽略
- 4: 再生制动控制模式, 此时期望电流为设置的刹车电流阈值
- 5: 保留 (目前无效)
- 6: 保留 (目前无效)
- 7: 保留 (目前无效)

报文返回状态: 0: 不返回

- 1: 返回报文类型 1
- 2: 返回报文类型 2
- 3: 返回报文类型 3

期望电流: -32768~32767 对应-327.68~327.67A。

期望力矩: -32768~32767 对应-327.68~327.67Nm。

(力矩=电流*转矩常数, 本产品转矩常数为 1.4Nm/A)

4.2.5 保留控制指令 1

标识符: Motor ID 数据长度: 8 字节(共 64 位)			
电机模式 uint3	预留控制状态 uint3	报文返回状态 uint2	控制数值
0x04	0~7	0~3	

目前无效, 未来预留传统 PID 控制, 若紧急需要, 请联系本团队。

4.2.6 保留控制指令 2

标识符: Motor ID 数据长度: 8 字节(共 64 位)			
电机模式 uint3	预留控制状态 uint3	报文返回状态 uint2	控制数值
0x05	0~7	0~3	

目前无效, 未来预留 ADRC 或其他自适应算法控制, 敬请期待!

4.3 电机控制参数配置指令

在电机温度过高、过压等报错时配置会失败。只要在保证运行安全的情况下, 可跟其他控制指令一样频繁发送更改, 但是要注意控制效果, 若是因为不熟练操作频繁修改该参数造成的损失, 本团队不负责。因此建议不要在电机运行过程中修改参数, 或电机空载时修改, 或不频繁修改。

4.3.1 电机加速度配置指令

标识符: Motor ID 数据长度: 4 字节(共 32 位)				
电机模式 uint3	预留控制状态 uint3	报文返回状态 uint2	配置代码 uint8	加速度数值 uint16
0x06	0	0~3	0x01	加速度数值

电机模式: 0x06, 表示该指令为电机参数配置指令

预留控制状态：必须设置为 0，否则驱动会不响应，配置失败。

报文返回状态：0：不返回

1：返回报文类型 4

2：不返回，并且驱动不响应，设置失败

3：不返回，并且驱动不响应，设置失败

配置代码：

0x00：保留，目前无效

0x01：表示该指令为配置系统加速度

加速度数值：0~2000 对应 0~20rad/s，内部已限幅。加速度减小，运行会更柔和，但是过小易超调，系统默认值为 2000。

4.3.2 电机磁链观测增益和扰动补偿系数配置指令

标识符：Motor ID 数据长度：6 字节(共 48 位)					
电机模式 uint3	预留控制状态 uint3	报文返回状态 uint2	配置代码 uint8	参数数值 uint16	参数数值 uint16
0x06	0	0 或 1	0x02	磁链观测增益数值	扰动补偿系数数值

电机模式：0x06，表示该指令为电机参数配置指令

预留控制状态：必须设置为 0，否则驱动会不响应，配置失败。

报文返回状态：0：不返回

1：返回报文类型 4

2：不返回，并且驱动不响应，会导致配置失败

3：不返回，并且驱动不响应，会导致配置失败

配置代码：0x02：表示该指令为配置磁链观测增益和扰动补偿系数。

磁链观测增益：0~10000 对应 vesc tool 中的 0~1。默认值 1000，对应 0.1。

扰动补偿系数：0~10000 对应 vesc tool 中的 0~1。默认值 60，对应 0.006。

4.3.3 电机反馈补偿系数与阻尼系数（KD）配置指令

标识符：Motor ID 数据长度：6 字节(共 48 位)					
电机模式 uint3	预留控制状态 uint3	报文返回状态 uint2	配置代码 uint8	参数数值 uint16	参数数值 uint16
0x06	0	0 或 1	0x03	电机反馈补偿系数	阻尼系统

电机模式：0x06，表示该指令为电机参数配置指令

预留控制状态：必须设置为 0，否则驱动会不响应，配置失败。

报文返回状态：0：不返回

1：返回报文类型 4

2：不返回，并且驱动不响应，会导致配置失败

3：不返回，并且驱动不响应，会导致配置失败

配置代码：0x03：表示该指令为配置磁链观测增益和扰动补偿系数。

电机反馈补偿系数：0~10000 对应 vesc tool 中的 0~1。默认值 60，对应 0.006。

阻尼系数：0~10000 对应 vesc tool 中的 0~1。默认值 0。

4.4 电机控制参数查询指令

标识符：Motor ID 数据长度：2~8 字节		
电机模式 uint3	保留数据域 uint5	查询代码 uint8
0x07	0~31 目前无效	0: 保留，目前无效 1: 查询当前位置 2: 查询当前速度 3: 查询当前电流 4: 查询当前功率 5: 查询当前加速度 6: 查询当前磁链观测增益 7: 查询当前扰动补偿系数 8: 查询反馈补偿系数 9: 查询阻尼系数

5 问答模式反馈报文

返回报文包括电控控制指令返回报文、配置指令范围报文和查询指令范围报文。数据在 CAN 数据域中的存放的规则遵守高位在前，低位在后的存放方式，具体数据拆分存放细节和解析见附录或向本团队技术索要例程。

报文格标识符：Motor ID

数据长度：2~8 字节

数据域格式如下：

Byte0[5:7]	Byte0[0:4]	Byte1	Byte2~Byte7
报文类型 0: 保留 1: 控制指令返回报文 1 2: 控制指令返回报文 2 3: 控制指令返回报文 3 4: 配置指令返回报文 5: 查询指令返回报文	电机错误信息 0: 无错误 1: 电机过热 2: 电机过流 3: 电机电压过低 4: 电机编码器错误 6: 电机刹车电压过高 7: DRV 驱动错误	电机数据 配置代码 查询代码	 0: 表示错误 1: 表示配置成功 查询的数据

5.1 问答通信模式返回报文类型 1

标识符：MotorID 数据长度：8 字节(共 64 位)						
报文类 uint3	错误信息 uint5	电机位置 uint16	电机速度 uint12	实际电流 uint12	电机温度 uint8	MOS 温度 uint8
0x01	0~7	输出端位置	输出端转速	电机相电流	0~255	0~255

报文类型：0x01，表示此帧为 1 类型报文。

电机错误信息：参考错误信息表。

输出端位置数值范围：0~65536 对应-12.5f~12.5f，单位 rad。

输出端转速数值范围：0~4095 对应-18.0f~18.0f，单位 rad/s。

实际电流：0~4095 对应-30~30A。

电机温度：反馈的数值数据类型为无符号 8 位，数值等于实际温度*2+50。

MOS 温度：反馈的数值数据类型为无符号 8 位，数值等于实际温度*2+50。

5.2 问答通信模式返回报文类型 2

标识符: MotorID 数据长度: 8 字节(共 64 位)				
报文类 uint3	错误信息 uint5	电机位置 float32	实际电流 int16	电机温度 uint8
0x02	0~7	输出端位置	电机相电流	0~255

报文类型：0x02，表示此帧为 2 类型报文。

电机错误信息：参考错误信息表。

输出端位置数值范围：数值即为实际角度，单位为弧度，例：120.5 表示 120.5°。

电机相电流数值范围：-32768~32767 对应-327.68~327.67A。

电机温度：反馈的数值数据类型为无符号 8 位，数值等于实际温度*2+50。

5.3 问答通信模式返回报文类型 3

标识符: MotorID 数据长度: 8 字节(共 64 位)				
报文类 uint3	错误信息 uint5	电机速度 float32	实际电流 int16	电机温度 uint8
0x03	0~7	输出端速度	电机相电流	0~255

报文类型：0x03，表示此帧为 3 类型报文。

电机错误信息：参考错误信息表。

输出端速度数值范围：数值即为实际速度，单位为 rpm，例：100.6 表示 100.6rpm。

电机相电流数值范围：-32768~32767 对应-327.68~327.67A。

电机温度：反馈的数值数据类型为无符号 8 位，数值等于实际温度*2+50。

5.4 问答通信模式返回报文类型 4

标识符: MotorID 数据长度: 3 字节(共 24 位)			
报文类 uint3	错误信息 uint5	配置代码 uint8	配置状态 uint8
0x04	0~7	0~255	0/1

报文类型：0x04，表示此帧为 4 类型报文。

电机错误信息：参考错误信息表。

配置代码：与所发送的配置代码相对应。

配置状态：0 表示失败，1 表示成功。

5.5 问答通信模式返回报文类型 5

标识符: MotorID 数据长度: 4~6 字节			
报文类型 uint3	错误信息 uint5	查询代码 uint8	查询返回的数据
0x05	0~31	1	当前位置，float 型（此报文总共 6 字节）
		2	当前速度，float 型（此报文总共 6 字节）
		3	当前电流，float 型（此报文总共 6 字节）
		4	当前功率，float 型（此报文总共 6 字节）
		5	当前加速度，uint16 型（此报文总共 4 字节）
		6	当前磁链观测增益，uint16 型（此报文总共 4 字节）
		7	当前扰动补偿系数，uint16 型（此报文总共 4 字节）
		8	当前反馈补偿增益，uint16 型（此报文总共 4 字节）
		9	当前阻尼系数，uint16 型（此报文总共 4 字节）