



**ROBSTRIDE O5**  
**准直驱 5.5N.M 一体化电机模组**  
**使用手册**

北京市灵足时代科技有限公司  
<https://www.robstride.com/>

# RS05-CHN

## RS05 使用说明书

### 注意事项

1. 请按照本文规定的工作参数使用，否则可能会对本产品造成严重的损坏！
2. 在关节运行时不可切换控制方式，如需切换需要发送停止运行命令后再做切换。
3. 使用前请检查各部件是否完好，如发生部件缺失、损坏请及时联系技术支持。
4. 请勿随意拆卸电机，以免出现无法恢复的故障。
5. 确保电机连接时无短路，接口按要求正确连接。

### 法律声明

在使用本产品前，请用户务必仔细阅读本手册，按照本手册内容操作本产品。如用户违反本手册内容使用本产品，造成的任何财产损失、人身伤害事故，本公司不承担任何责任。因本产品由众多零部件构成，切勿让儿童接触本产品，以免发生意外事故。为延长产品使用寿命，请勿在高温、高压环境中使用本产品。本手册在印刷时已尽可能的包含各项功能介绍和使用说明。但由于产品功能不断完善、设计变更等，仍可能与用户购买的产品有不符之处。

本手册与实际产品在颜色、外观等方面可能有所偏差，请以实际产品为准。本手册由北京灵足时代科技有限公司（以下简称灵足）出版，灵足随时可能对本手册中不准确的最新信息进行必要的改进和更改，或对程序和/或设备进行改进。此类更改将上传电子版说明书到公司官网，详情可查看下载中心栏（[www.robstride.com](http://www.robstride.com)）。所有图片仅供功能说明参考，请以实物为准。

### 售后政策

本产品售后服务严格依据《中华人民共和国消费者权益保护法》、《中华人民共和国产品质量法》实行售后服务，服务内容如下：

#### 1. 保修期限及内容

a. 凡在线上渠道下单购买本产品的用户，可在自签收次日起七日内享受无理由退货服务。退货时用户须出示有效购买凭证，并退回发票。用户须保证退货商品保持原有品质和功能、外观完好、商品本身及配件的商标和各种标识完整齐全，如有赠品需一并退回。如果商品出现人为损坏、人为拆机、包装箱缺失、零配件缺失的情况，不予办理退货。退货时产生的物流费用由用户承担（收费标准见“售后服务收费标准”）。如果用户未结清物流费用，将按实际发生额从退款金额中扣除。自收到退货商品之日起七日内向用户返还已支付的货款。退款方式与付款方式相同。具体到账日期可能会受银行、支付机构等因素影响。

b. 本产品保修期为1年。

c. 自用户签收次日起7天内，发生非人为损坏性能故障，经由灵足售后服务中心检测确认后，为用户办理退货业务，退货时用户须出示有效购买凭证，并退回发票。如有赠品需一并退回。

d. 自用户签收次日起 7 天后至 15 天内，发生非人为损坏性能故障，经由灵足售后服务中心检测确认后，为用户办理换货业务，更换整套商品。换货后，商品本身三包期重新计算。

e. 自用户签收次日起 15 天后至 365 天内，经由灵足售后服务中心检测确认后，属于产品本身质量故障，可免费提供维修服务。更换的故障产品归灵足公司所有。无故障产品，将原样返回。本产品经过各项严格检测后出厂，如有非产品本身质量故障，我们将有权拒绝用户的退换货需求。

2. 非保修条例以下情况不属于保修范围：

- a. 超出保修条款所限定的保修期限。
- b. 未按照说明书要求，错误使用造成的产品损坏损毁。
- c. 不当的操作、维修、安装、改装、测试等不正当使用造成的损坏损毁。
- d. 非质量故障引起的常规机械损耗、磨损。
- e. 非正常工况下造成的损坏，包括但不限于跌落、撞击、液体浸入、剧烈撞击等。
- f. 天灾（如水灾、火灾、雷击、地震等）或不可抗力造成的损坏。
- g. 超过峰值扭矩使用造成的损坏。
- h. 超过峰值扭矩使用造成的损坏。
- i. 其他非产品的设计、技术、制造、质量等问题导致的故障或损坏。

3. 如果出现上述情况，用户需自行支付费用。

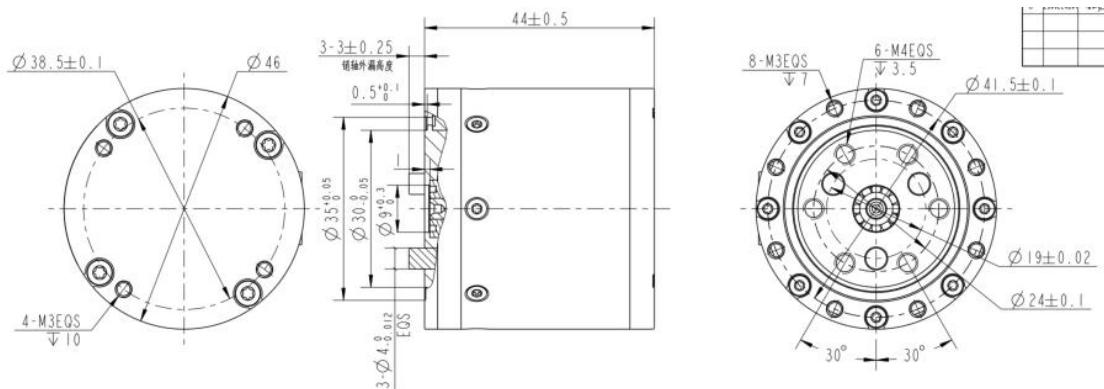
## 目录

注意事项 .....	1
法律声明 .....	1
售后政策 .....	1
1. 电机规格参数 .....	5
1.1. 外形及安装尺寸 .....	5
1.2. 标准使用状态 .....	5
1.3. 电气特性 .....	5
2. 驱动器产品信息 .....	8
2.1. 驱动器产品规格 .....	8
2.2. 驱动器接口定义 .....	8
2.3. 驱动器接口推荐品牌及型号 .....	8
3. 上位机使用说明 .....	9
3.1. 硬件配置 .....	9
3.2. 上位机界面及说明 .....	9
3.3. 电机设置 .....	11
3.3.1. 电机连接设置 .....	11
3.3.2. 电机配置模块 .....	11
3.3.3. 电机升级模块（升级电机固件时，电机的波特率必须为 1Mbps） .....	12
3.3.4. 电机主界面——参数设置 .....	14
3.3.5. 电机主界面——示波器 .....	18
3.3.6. can 通信故障保护 .....	19
3.3.7. 电机故障说明 .....	19
3.4. 控制演示 .....	21
3.4.1. 运控模式 .....	23
3.4.2. 电流模式 .....	24
3.4.3. 速度模式 .....	26
3.4.4. 位置模式（PP） .....	27
3.4.5. 位置模式（CSP） .....	28
4. 驱动器协议及使用说明 .....	30
4.1. 通信协议类型说明 .....	30
通信类型 0: 获取设备 ID .....	30
通信类型 1: 运控模式电机控制指令 .....	30
通信类型 2: 电机反馈数据 .....	31
通信类型 3: 电机使能运行 .....	31
通信类型 4: 电机停止运行 .....	31
通信类型 6: 设置电机机械零位 .....	31
通信类型 7: 设置电机 CAN_ID .....	32
通信类型 17: 单个参数读取 .....	32
通信类型 18: 单个参数写入（掉电丢失） .....	32
通信类型 21: 故障反馈帧 .....	33
通信类型 22: 电机数据保存帧 .....	33
通信类型 23: 电机波特率修改帧 .....	33
通信类型 24: 电机主动上报帧 .....	33
通信类型 25: 电机协议修改帧 .....	34
通信类型 26: 版本号读取帧 .....	34
可读写单个参数列表 .....	35
读取示例: .....	36
4.2. 电机部分功能说明（如无以下功能，请访问官网 git 升级最新版本） .....	36

4.2.1. 主动上报说明 .....	36
4.2.2. 零点标志位说明 .....	36
4.2.3. 类型 2 变更说明 .....	37
4.2.4. 协议切换说明（需要配合 can 盒操作） .....	37
4.2.5. csp 和运控模式下可以标零， pp 模式标零会屏蔽掉 .....	37
4.2.6. 电机 canopenid 与 canid 保持一致 .....	37
4.3. 控制模式使用说明 .....	37
4.3.1. 运控模式 .....	37
4.3.2. 电流模式 .....	38
4.3.3. 速度模式 .....	38
4.3.4. 位置模式（CSP） .....	38
4.3.5. 位置模式（PP） .....	39
4.3.6. 停止运行 .....	39
4.4. 程序样例 .....	39
4.4.1. 电机使能运行帧（通信类型 3） .....	41
4.4.2. 运控模式电机控制指令（通信类型 1） .....	41
4.4.3. 电机停止运行帧（通信类型 4） .....	42
4.4.4. 电机模式参数写入命令（通信类型 18，运行模式切换） .....	42
4.4.5. 电机模式参数写入命令（通信类型 18，控制参数写入） .....	43
5. Canopen 通信协议类型说明 .....	45
5.1. Canopen 通信介绍 .....	45
5.2. Canopen 协议报文分类 .....	45
5.3. 状态机说明 .....	46
5.4. 状态反馈参数 .....	47
5.5. 归零模式（设置零位） .....	47
5.6. 位置模式（PP） .....	47
5.7. 位置模式（CSP） .....	48
5.8. 速度模式 .....	48
5.9. 力矩模式 .....	48
5.10. 协议切换帧（扩展帧）：切换电机协议，重新上电生效 .....	49
6. MIT 通信协议类型说明 .....	50
应答指令 1： .....	50
应答指令 2： .....	50
指令 1：电机使能运行 .....	50
指令 2：电机停止运行 .....	50
指令 3：电机 MIT 动态参数 .....	51
指令 4：设置零点（非位置模式） .....	51
指令 5：清除错误及读取异常状态 .....	51
异常状态应答帧 .....	51
指令 6：设置运行模式 .....	52
指令 7：修改电机 CANID .....	52
指令 8：修改电机协议：切换电机协议，重新上电生效 .....	52
指令 9：修改主机 canid .....	52
指令 10：位置模式控制指令 .....	53
指令 11：速度模式控制指令 .....	53
运控模式 .....	53
速度模式 .....	53
位置模式（CSP） .....	54
7. 版本历史 .....	55

# 1. 电机规格参数

## 1.1. 外形及安装尺寸



固定时螺丝深入长度请勿超过机壳螺纹深度

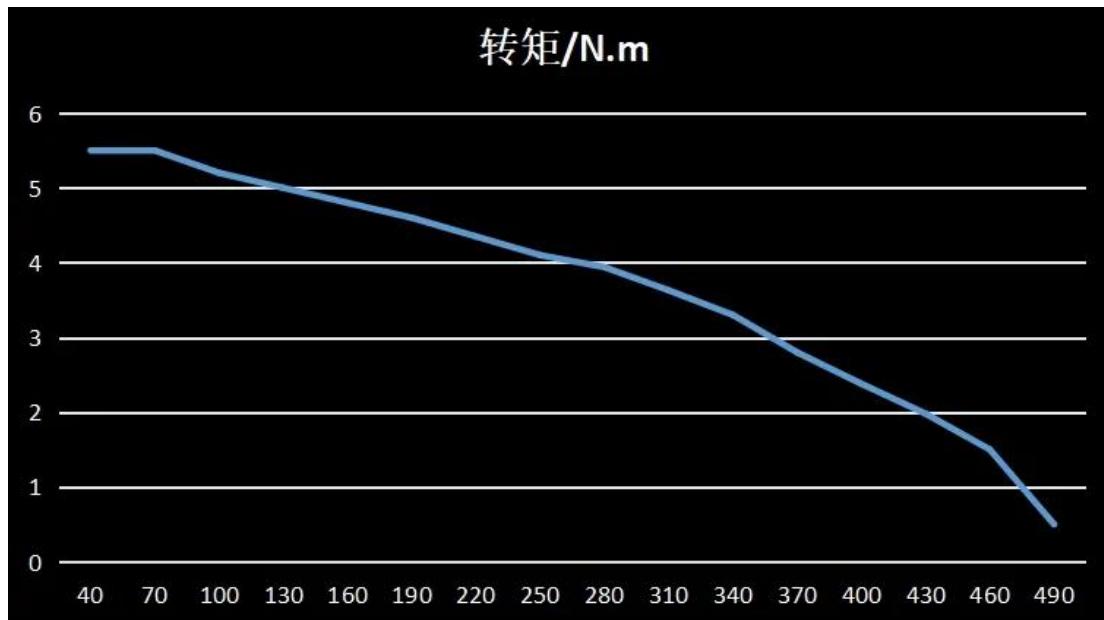
## 1.2. 标准使用状态

1. 额定电压: 48 VDC
2. 使用电压范围: 15V—60 VDC
3. 额定负载 (CW) : 1.6 N.m
4. 运转方向: CW/CCW 从出轴方向看
5. 使用姿势: 出轴方向为水平或者垂直
6. 标准使用温度: 25±5°C
7. 使用温度范围: -20~50°C
8. 标准使用湿度: 65%
9. 使用湿度范围: 5~85%, 无凝露
10. 保存温度范围: -30~70°C
11. 绝缘等级: Class B

## 1.3. 电气特性

1. 空载转速: 480 rpm±10%
2. 空载电流: 0.14 Arms±10%
3. 额定负载: 1.6 N.m
4. 额定负载转速: 100rpm±10%
5. 额定负载相电流(峰值): 2.4Apeak±10%
6. 峰值负载: 5.5 N.m

7. 最大负载相电流(峰值):  $11\text{Apk} \pm 10\%$
8. 绝缘电阻/定子绕组: DC 500VAC, 100M Ohms
9. 耐高压/定子与机壳: 600 VAC, 1s, 2mA
10. 电机反电势:  $7.4\text{Vrms}/\text{krpm} \pm 10\%$
11. 转矩常数(有效值):  $0.94\text{N.m}/\text{Arms}$
12. T-N 曲线 (48V)



### 13. 最大过载曲线

测试条件: 环境温度:  $25^\circ\text{C}$

绕阻极限温度:  $135^\circ\text{C}$  (此为约束温度, 实际为 180 度)

转速: 100rpm

测试数据

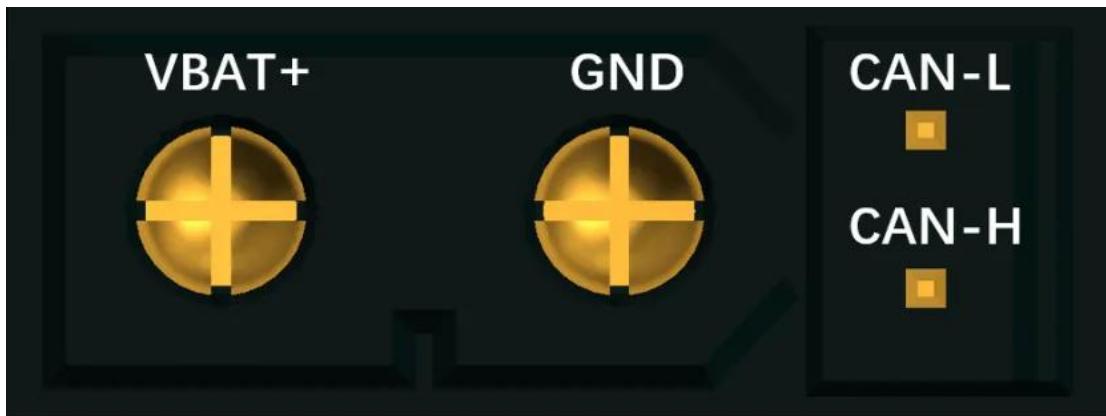
Load	Operating time(s)
5.5	4
5	5.5
4	12
3	41
2	300
1.6	rated

1. 重量:  $191\text{g} \pm 3\text{g}$

2. 极数: 20 极

3. 相数: 3 相
4. 驱动方式: FOC
5. 减速比: 7.75: 1

## 2. 驱动器产品信息



### 2.1. 驱动器产品规格

项目	数据
额定工作电压	48VDC
允许最大电压	60VDC
额定工作相电流	2.4Apk
最大允许相电流	11.0Apk
待机功率	≤18mA
CAN 总线比特率	1Mbps
尺寸	Φ41mm
工作环境温度	-20°C 至 50°C
控制板允许最大温度	105°C
编码器分辨率	14bit (单圈绝对值)

### 2.2. 驱动器接口定义

### 2.3. 驱动器接口推荐品牌及型号

板端型号	品牌厂家	线端型号	品牌厂家
XT30PB(2+2)-M. G. B	AMASS (艾迈斯)	XT30(2+2)-F. G. B	AMASS (艾迈斯)

### 3. 上位机使用说明

请前往 [www.robstride.com](http://www.robstride.com) 官网下载中心下载

#### 3.1. 硬件配置

关节电机采用 CAN 通信方式，通信线有两根，通过 can 转 USB 工具与调试器相连，调试器需要提前安装 ch340 驱动，默认工作在 AT 模式。

需要注意的是，我们是根据特定的 can 转 USB 工具开发的调试器，因此需要用我们推荐的串口工具来进行调试器调试，如果想要##移植到其他调试器平台可以参照说明书的第三章进行开发。

can 转 USB 工具推荐使用灵足时代官方的 USB-CAN 模块，对应串口协议的帧头为 41 54，帧尾为 0D 0A。

在使用 CAN 转 USB 模块时，请注意模块上方拨码开关的设置：当拨码开关 1 置于 ON 位置时，模块将进入 Boot 模式，此时无法与上位机建立连接；当拨码开关 2 置于 ON 位置时，模块端口会接入  $120\Omega$  终端电阻，从而支持与上位机正常通信。

#### 3.2. 上位机界面及说明



主要包括：

- A. 电机连接模块
  - 刷新串口

- 打开串口
  - 检测设备
- B. 电机配置模块
- 启动升级
  - 打开文件
  - 开始升级
  - 修改电机 CAN ID
  - 设置电机的机械零位
- C. 电机升级模块
- 磁编标定
  - 电机主动上报开关
  - 电机主动上报时间设置
  - 修改电机 CAN ID
  - 设置电机的机械零位
- D. 电机主界面
- 参数设置
  - 电机示波器
- E. 运行调试区
- 参数调试按键
  - 电机模式配置及参数修改
  - 正弦信号测试

### 3.3. 电机设置

#### 3.3.1. 电机连接设置



连接 can 转 USB 工具（安装 ch340 驱动，默认工作在 AT 模式），点击刷新串口，打开串口，点击检测设备即可检测到对应电机，下方绿色小字为电机类型

#### 3.3.2. 电机配置模块



1. 电机磁编标定，电机板与电机重新安装，或电机三相线重新换顺序连接等，需要重新进行磁编标定。
2. 电机主动上报，点击开始上报电机即主动上报通信类型 2，下方可设置时间间隔

隔，最小 10ms。

3. 设置 ID，设置电机的 CANID。
4. 设置零位，设置当前位置为 0。

### 3.3.3. 电机升级模块（升级电机固件时，电机的波特率必须为 1Mbps）

1. 点击打开文件，选中升级固件，固件名中的 rs-0x 即为选中的电机类型



2. 点击启动升级，电机进入升级准备阶段



3. 当弹出绿色小字“设备已进入升级模式”，即可点击开始升级



4. 当弹出绿色小字“升级成功”，升级即完成



当绿色进度条升一半卡住，可点击停止升级，或重新上电重新进入升级流程，电机内部程序在升级失败后不会丢失，再次升级前请检查通信环境是否良好

### 3.3.4. 电机主界面——参数设置

参数设置    示波器

更新参数表成功！

功能码	名称	参数类型	属性	最大值	最小值	当前值
0X0000	Name	String	读/写			ÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿ
0X0001	BarCode	String	读/写			ÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿ
0X1000	BootCodeVersion	String	只读			V
0X1001	BootBuildDate	String	只读			Mar 26 2024
0X1002	BootBuildTime	String	只读			07:59:25
0X1003	ppCodeVersion	String	只读			0.4.1.3
0X1004	appGitVersion	String	只读			V
0X1005	AppBuildDate	String	只读			Feb 24 2025
0X1006	AppBuildTime	String	只读			19:29:09
0X1007	AppCodeName	String	只读			motor
0X2000	echoPara1	uint8	配置	103	5	64
0X2001	echoPara2	uint8	配置	103	5	5
0X2002	echoPara3	uint8	配置	103	5	5
0X2003	echoPara4	uint8	配置	103	5	5
0X2004	echoFrellz	uint8	读/写	10000	1	100
0X2005	MechOffset	float	读/写	50	-50	0.000000
0X2006	chasu_offset	float	读/写	50	-50	0.000000
0X2007	status1	float	设定	10	-10	0.000000
0X2008	I_FW_MAX	float	读/写	33	0	0.000000

参数表刷新  
读参数  
写参数  
恢复出厂  
导出  
打开多设备连接

成功连接电机后，

1. 点击参数表刷新，上方会显示更新参数表成功，说明成功读取到电机相关参数  
(注：参数表需要在电机处于待机状态下进行配置，如果电机处于运行状态则无法进行参数表刷新)，界面会显示电机的相关参数，蓝色的参数为电机内部的存储参数，可以在相应参数后面的当前值栏进行修改。
2. 点击读参数可以将电机中的参数上传到调试器中，电机浅蓝色参数为观测参数，为采集得到的参数，可进行实时观测。
3. 点击写参数可以将调试器中参数下载到电机中，
4. 点击恢复出厂，最新的固件下电机恢复默认值参数
5. 点击导出，会将电机现有参数表内参数导出
6. 点击打开多设备连接，上位机即可连接多台电机，需注意的是，因为不同类型电机参数接口有差异，所以多设备连接仅可用于升级，升完级调试电机需关闭多设备连接重新搜索电机

**注：**电机的转矩限制、保护温度、过温时间请勿随意更改。因违规操作本产品导致对  
人体造成伤害，或对关节造成不可逆的损伤，我司将不承担任何法律责任。

功能码	名称	参数类型	属性	最大值	最小值	当前值 (供参考)	备注
0X0000	Name	String	读/写			ÿÿÿÿÿÿ	
0X0001	BarCode	String	读/写			ÿÿÿÿÿÿ	
0X1000	BootCodeVersion	String	只读			0.1.5	
0X1001	BootBuildDate	String	只读			Mar 16 2022	
0X1002	BootBuildTime	String	只读			20:22:09	

功能码	名称	参数类型	属性	最大值	最小值	当前值 (供参考)	备注
0X1003	AppCodeVersion	String	只读			0.0.0.1	电机程序版本号
0X1004	AppGitVersion	String	只读			7b844b0fM	
0X1005	AppBuildDate	String	只读			Apr 14 2022	
0X1006	AppBuildTime	String	只读			20:30:22	
0X1007	AppCodeName	String	只读			Lingzu_motor	
0X2000	echoPara1	uint16	配置	74	5	5	
0X2001	echoPara2	uint16	配置	74	5	5	
0X2002	echoPara3	uint16	配置	74	5	5	
0X2003	echoPara4	uint16	配置	74	5	5	
0X2004	echoFreHz	uint32	读/写	10000	1	500	
0X2005	MechOffset	float	设定	7	-7	4.619583	电机磁编码器角度偏置
0X2006	MechPos_init	float	读/写	50	-50	4.52	保留参数
0X2007	limit_torque	float	读/写	17	0	17	转矩限制
0X2008	I_FW_MAX	float	读/写	33	0	0	弱磁电流值，默认0
0X2009	motor_baud	uint8	设定	20	0	1	电机波特率标志位
0X200a	CAN_ID	uint8	设定	127	0	1	本节点id
0X200b	CAN_MASTER	uint8	设定	127	0	0	can主机id
0X200c	CAN_TIMEOUT	uint32	读/写	100000	0	0	can超时阈值，默认0
0X200d	status2	int16	读/写	1500	0	800	保留参数
0X200e	status3	uint32	读/写	1000000	1000	20000	保留参数
0X200f	status1	float	读/写	64	1	7.75	保留参数
0X2010	Status6	uint8	读/写	1	0	1	保留参数
0X2011	cur_filt_gain	float	读/写	1	0	0.9	电流滤波参数
0X2012	cur_kp	float	读/写	200	0	0.025	电流kp
0X2013	cur_ki	float	读/写	200	0	0.0258	电流ki
0X2014	spd_kp	float	读/写	200	0	2	速度kp
0X2015	spd_ki	float	读/写	200	0	0.021	速度ki
0X2016	loc_kp	float	读/写	200	0	30	位置kp
0X2017	spd_filt_gain	float	读/写	1	0	0.1	速度滤波参数
0X2018	limit_spd	float	读/写	200	0	2	位置模式速度限制
0X2019	limit_cur	float	读/写	23	0	23	位置、速度模式电流限制
0X201a	loc_ref_filt_gain	float	读/写	100	0	0	保留参数
0X201b	limit_loc	float	读/写	100	0	0	保留参数
0X201c	position_offset	float	读/写	27	0	0	高速段偏置
0X201d	chasu_angle_offset	float	读/写	27	0	0	低速端偏置
0X201e	spd_step_value	float	读/写	150	0		速度模式加速度
0X201f	vel_max	float	读/写	20	0		PP模式速度
0X2020	acc_set	float	读/写	1000	0		PP模式加速度
0X2021	zero_sta	float	读/写	100	0	0	零点标志位
0x2022	protocol_1	uint8	读/写			0	协议标志位
0X3000	timeUse0	uint16	只读			5	
0X3001	timeUse1	uint16	只读			0	
0X3002	timeUse2	uint16	只读			10	
0X3003	timeUse3	uint16	只读			0	

功能码	名称	参数类型	属性	最大值	最小值	当前值 (供参考)	备注
0X3004	encoderRaw	int16	只读			11396	磁编码器采样值
0X3005	mcuTemp	int16	只读			337	mcu 内部温度, *10
0X3006	motorTemp	int16	只读			333	电机 ntc 温度, *10
0X3007	vBus (mv)	uint16	只读			24195	母线电压
0X3008	adc10ffset	int32	只读			2084	adc 采样通道 1 零电流偏置
0X3009	adc20ffset	int32	只读			2084	adc 采样通道 2 零电流偏置
0X300a	adc1Raw	uint16	只读			1232	adc 采样值 1
0X300b	adc2Raw	uint16	只读			1212	adc 采样值 2
0X300c	VBUS	float	只读			36	母线电压 V
0X300d	cmdId	float	只读			0	id 环指令, A
0X300e	cmdIq	float	只读			0	iq 环指令, A
0X300f	cmdlocref	float	只读			0	位置环指令, rad
0X3010	cmdspdref	float	只读			0	速度环指令, rad/s
0X3011	cmdTorque	float	只读			0	转矩指令, nm
0X3012	cmdPos	float	只读			0	mit 协议角度指令
0X3013	cmdVel	float	只读			0	mit 协议速度指令
0X3014	rotation	int16	只读			1	圈数
0X3015	modPos	float	只读			4.363409	电机未计圈机械角度, rad
0X3016	mechPos	float	只读			0.777679	负载端计圈机械角度, rad
0X3017	mechVel	float	只读			0.036618	负载端转速, rad/s
0X3018	elecPos	float	只读			4.714761	电气角度
0X3019	ia	float	只读			0	U 线电流, A
0X301a	ib	float	只读			0	V 线电流, A
0X301b	ic	float	只读			0	W 线电流, A
0X301c	timeout	uint32	只读			31600	超时计数器值
0X301d	phaseOrder	uint8	只读			0	标定方向标记
0X301e	iqf	float	只读			0	iq 滤波值, A
0X301f	boardTemp	int16	只读			359	板上温度, *10
0X3020	iq	float	只读			0	iq 原值, A
0X3021	id	float	只读			0	id 原值, A
0X3022	faultSta	uint32	只读			0	故障状态值
0X3023	warnSta	uint32	只读			0	警告状态值
0X3024	drv_fault	uint16	只读			0	驱动芯片故障值 1
0X3025	drv_temp	int16	只读			48	驱动芯片故障值 2
0X3026	Uq	float	只读			0	q 轴电压
0X3027	Ud	float	只读			0	d 轴电压
0X3028	dtc_u	float	只读			0	U 相输出占空比
0X3029	dtc_v	float	只读			0	V 相输出占空比

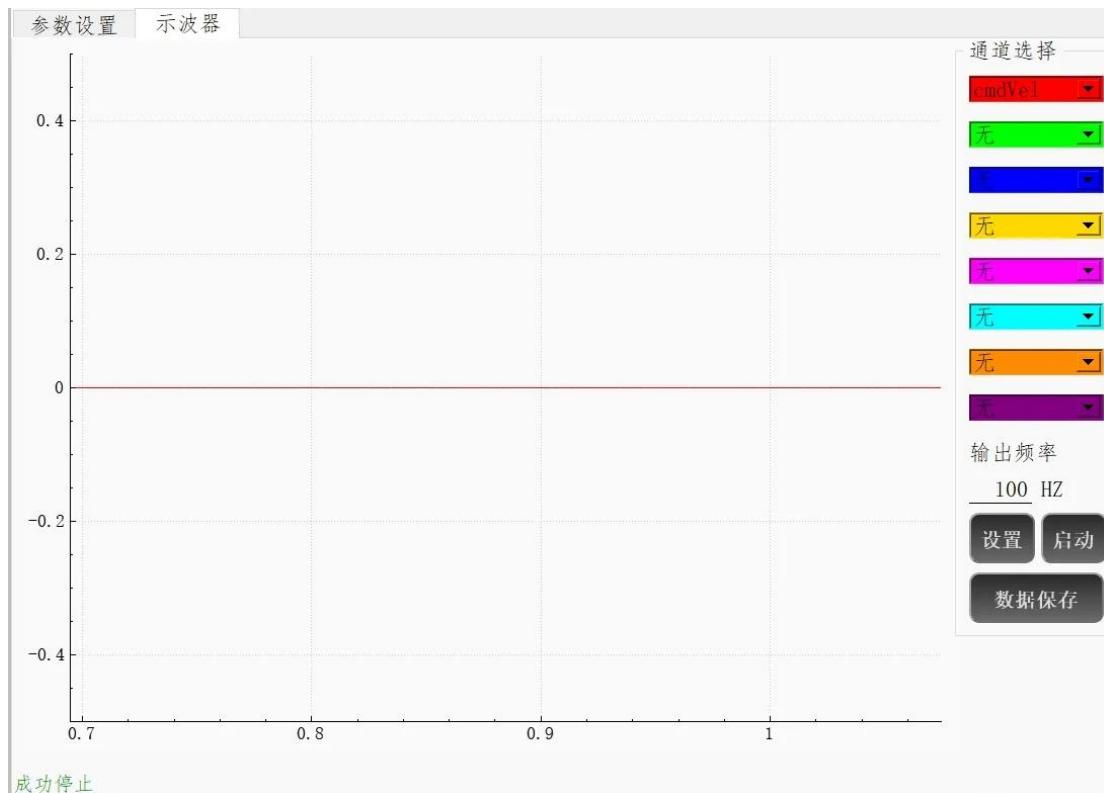
功能码	名称	参数类型	属性	最大值	最小值	当前值 (供参考)	备注
							比
0X302a	dtc_w	float	只读			0	W相输出占空比
0X302b	v_bus	float	只读			24.195	闭环中 vbus
0X302c	torque_fdb	float	只读			0	转矩反馈值, nm
0X302d	rated_i	float	只读			8	电机额定电流
0X302e	limit_i	float	只读			27	电机限制最大电流
0X302f	spd_ref	float	只读			0	电机速度期望
0X3030	spd_reff	float	只读			0	电机速度期望 2
0X3031	zero_fault	float	只读			0	电机位置判定参数
0X3032	chasu_coder_raw	float	只读			0	电机位置判定参数
0X3033	chasu_angle	float	只读			0	电机位置判定参数
0X3034	as_angle	float	只读			0	电机位置判定参数
0X3035	cs_angle	float	只读			0	电机位置判定参数
0X3036	vel_max	float	只读			0	电机位置判定参数
0X3037	judge	float	只读			0	电机位置判定参数
0X3038	fault1	uint32	只读			0	日志故障
0X3039	fault2	uint32	只读			0	日志故障
0X303a	fault3	uint32	只读			0	日志故障
0X303b	fault4	uint32	只读			0	日志故障
0X303c	fault5	uint32	只读			0	日志故障
0X303d	fault6	uint32	只读			0	日志故障
0X303e	fault7	uint32	只读			0	日志故障
0X303f	fault8	uint32	只读			0	日志故障
0X3040	ElecOffset	float	只读			0	电角度偏置
0X3041	mcOverTemp	int16	只读			0	过温阈值
0X3042	Kt_Nm/Amp	float	只读			0	力矩系数
0X3043	Tqcali_Type	uint8	只读			0	电机类型
0X3044	low_position	float	只读			0	电机位置判定参数
0X3045	theta_mech_1	float	只读			0	类型 2 低速角度
0X3046	instep	float	只读			0	电机保护判定参数
0X3047	position	float	只读			18.243250	初始化位置
0X3048	chasu_angle_init	float	只读			0.598253	电机位置判定参数
0X3049	chasu_angle_out	float	只读			18.545835	电机位置判定参数
0X304A	motormechinit	float	只读			18.243250	电机位置判定参数
0X304B	mech_angle_init2	float	只读			2.353968	电机位置判定参数

功能码	名称	参数类型	属性	最大值	最小值	当前值 (供参考)	备注
0X304C	mech_angle_rotat	int16	只读				电机位置判定参数
0X304D	pos_cnt1	uint16	只读			0	系统参数
0X304E	H'	uint8	只读			72	系统参数

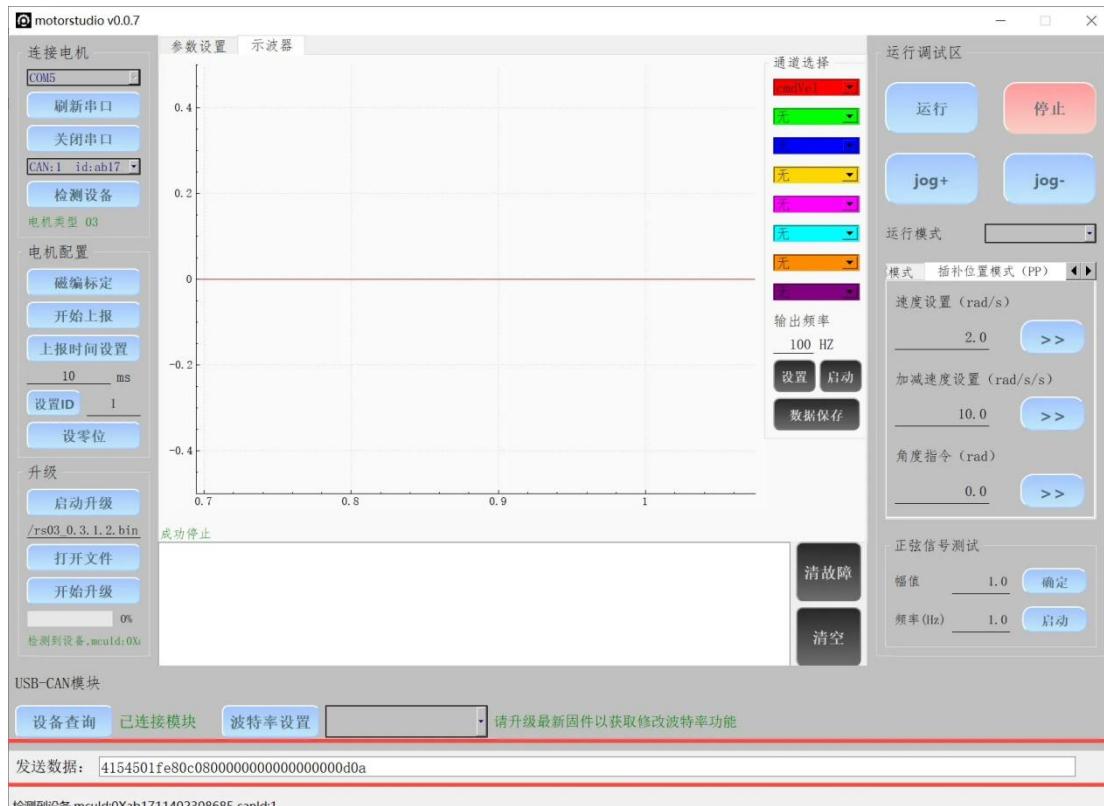
### 3.3.5. 电机主界面——示波器

该界面支持观看观察实时数据所生成的图谱，可观测的数据包括电机 Id/Iq 电流、温度、输出端实时转速、转子（编码器）位置、输出端位置等。

参数表刷新后，在示波器模块信道内选定合适的参数（参数含义可参考参数表），设置输出频率后点击启动即可观测数据图谱，停止即可停止观测图谱。



发送的指令在下方的通信指令框



通信框指令示例：

41 54 90 07 e8 0c 08 05 70 00 00 01 00 00 00 0d 0a

含义如下

41 54	90 07 e8 0c	8	05 70 00 00 01 00 00 00	0d 0a
帧头	扩展帧	数据位个数	数据帧	帧尾

其中扩展帧 canid 转译为真实 canid 需要经过以下转换：

90 07 e8 0c 转换成二进制为 1001 0000 0000 0111 1110 1000 0000 1100，向右移三位，则为 1 0010 0000 0000 1111 1101 0000 0001，将其转换为 16 进制，为 12 00 FD 01，对照通信协议说明，含义如下：

12 (16 进制)	0	FD	1
通信类型 18 (10 进制)	无含义	主机 id	电机 canid

### 3.3.6.can 通信故障保护

当 CAN\_TIMEOUT 值为 0 时，该功能不启用

当 CAN\_TIMEOUT 值为非 0 时，当电机在一定时间段内没收到 can 指令时，电机进入 reset 模式，20000 为 1s

### 3.3.7. 电机故障说明

功能码 0x3022 为故障码，其中

bit16: 电机电流故障：A 相电流采样过流

bit14: 电机堵转过载算法保护

Bit9:位置初始化故障

bit8:硬件识别故障

bit7:编码器未标定: 电机未标定编码器

bit5:电机电流故障: C 相电流采样过流

bit4:电机电流故障: B 相电流采样过流

bit3:过压故障: 电机电压超过保护电压 60V

bit2:欠压故障: 电机电压低于保护电压 12V

bit1:驱动芯片故障: 电机驱动芯片报故障

bit0:电机过温故障: 电机热敏电阻温度超过 145 度

功能码 0x3024 为驱动芯片故障码 1, 具体故障如下

**Table 11. Fault Status Register 1 Field Descriptions**

Bit	Field	Type	Default	Description
10	FAULT	R	0b	Logic OR of FAULT status registers. Mirrors nFAULT pin.
9	VDS_OCP	R	0b	Indicates VDS monitor overcurrent fault condition
8	GDF	R	0b	Indicates gate drive fault condition
7	UVLO	R	0b	Indicates undervoltage lockout fault condition
6	OTSD	R	0b	Indicates overtemperature shutdown
5	VDS_HA	R	0b	Indicates VDS overcurrent fault on the A high-side MOSFET
4	VDS_LA	R	0b	Indicates VDS overcurrent fault on the A low-side MOSFET
3	VDS_HB	R	0b	Indicates VDS overcurrent fault on the B high-side MOSFET
2	VDS_LB	R	0b	Indicates VDS overcurrent fault on the B low-side MOSFET
1	VDS_HC	R	0b	Indicates VDS overcurrent fault on the C high-side MOSFET
0	VDS_LC	R	0b	Indicates VDS overcurrent fault on the C low-side MOSFET

功能码 0x3025 为驱动芯片故障码 2, 具体故障如下

**Table 12. Fault Status Register 2 Field Descriptions**

Bit	Field	Type	Default	Description
10	SA_OC	R	0b	Indicates overcurrent on phase A sense amplifier (DRV8353xS)
9	SB_OC	R	0b	Indicates overcurrent on phase B sense amplifier (DRV8353xS)
8	SC_OC	R	0b	Indicates overcurrent on phase C sense amplifier (DRV8353xS)
7	OTW	R	0b	Indicates overtemperature warning
6	GDUV	R	0b	Indicates VCP charge pump and/or VGLS undervoltage fault condition
5	VGS_HA	R	0b	Indicates gate drive fault on the A high-side MOSFET
4	VGS_LA	R	0b	Indicates gate drive fault on the A low-side MOSFET
3	VGS_HB	R	0b	Indicates gate drive fault on the B high-side MOSFET
2	VGS_LB	R	0b	Indicates gate drive fault on the B low-side MOSFET
1	VGS_HC	R	0b	Indicates gate drive fault on the C high-side MOSFET
0	VGS_LC	R	0b	Indicates gate drive fault on the C low-side MOSFET

### 3.4. 控制演示

运行调试区

运行 停止

jog+ jog-

运行模式

模式 插补位置模式 (PP) < >

速度设置 (rad/s)  
2.0 >>

加减速速度设置 (rad/s/s)  
10.0 >>

角度指令 (rad)  
0.0 >>

正弦信号测试

幅值 1.0 确定

频率 (Hz) 1.0 启动

jog 运行

点击 JOG+/-运行即可让电机正反运行，速度为 1rad/s

控制模式切换

在运行模式右侧指令框中选择需要的控制模式

### 3.4.1.运控模式



1. 控制模式切换为运控模式
2. 电机运行，电机进入 motor\_mode 模式
3. 设置五个参数值，点击开始或连续发送，电机将返回反馈帧并按目标指令运行
4. 点击停止，电机停止运行，终止连续发送指令

### 3.4.2. 电流模式



1. 控制模式切换为电流模式
2. 电机运行，电机进入 `motor_mode` 模式
3. 设置 Iq 指令 1 (A) 电流指令值，点击右侧>>，电机将跟随电流指令运行
4. 点击停止，电机停止运行



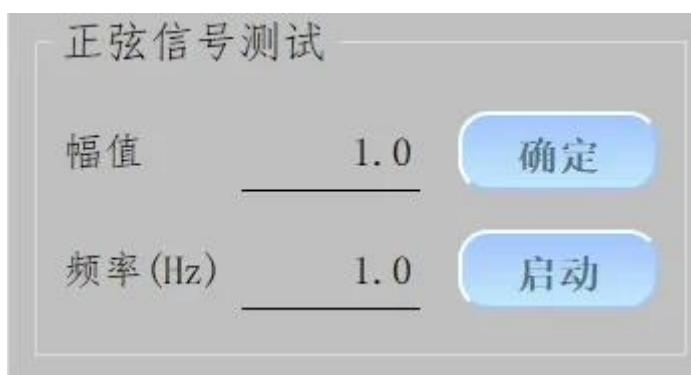
#### 电机电流正弦测试

1. 控制模式切换为电流模式
2. 电机运行，电机进入 `motor_mode` 模式
3. 设置幅值和频率，点击确定，点击启动，对应模式目标指令即按正弦规律规划
4. 点击停止，电机停止运行

### 3.4.3.速度模式



1. 控制模式切换为速度模式
2. 电机运行，电机进入 motor\_mode 模式
3. 先设置电流限制（最大相电流），速度步进值（电机加速度），不设置电机即按默认值运行，最后设置速度指令（目标速度），电机将跟随指令运行
4. 点击停止，电机停止运行



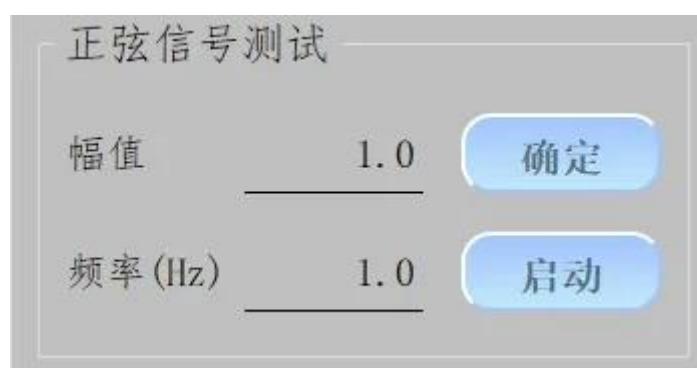
#### 电机速度正弦测试

1. 控制模式切换为速度模式
2. 电机运行，电机进入 motor\_mode 模式
3. 设置幅值和频率，点击确定，点击启动，对应模式目标指令即按正弦规律规划
4. 点击停止，电机停止运行

### 3.4.4.位置模式 (PP)



1. 控制模式切换为插补位置模式
2. 电机运行，电机进入 `motor_mode` 模式
3. 先设置速度、加速度，不设置电机即按默认值运行，最后设置位置指令（目标位置），电机将跟随指令运行
4. 将速度设为 0，电机即可在当前位置急停，如需继续运行，重新下发速度和位置即可
5. 点击停止，电机停止运行



电机位置正弦测试

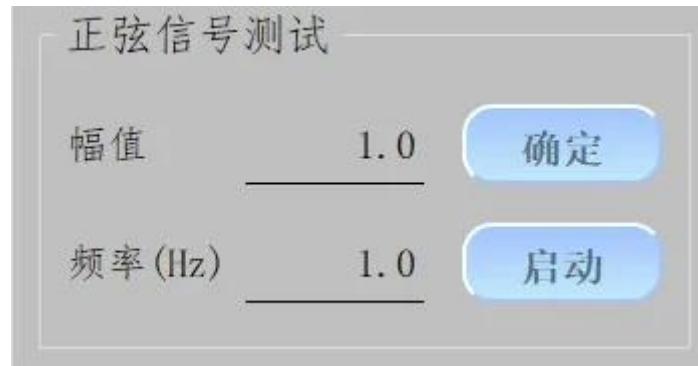
1. 控制模式切换为插补位置模式

2. 电机运行，电机进入 motor\_mode 模式
3. 设置幅值和频率，点击确定，点击启动，对应模式目标指令即按正弦规律规划
4. 点击停止，电机停止运行

### 3.4.5.位置模式（CSP）



1. 控制模式切换为位置模式
2. 电机运行，电机进入 motor\_mode 模式
3. 先设置速度，不设置电机即按默认值运行，最后设置位置指令（目标位置），电机将跟随指令运行
4. 点击停止，电机停止运行



### 电机位置正弦测试

1. 控制模式切换为位置模式
2. 电机运行，电机进入 motor\_mode 模式
3. 设置幅值和频率，点击确定，点击启动，对应模式目标指令即按正弦规律规划
4. 点击停止，电机停止运行

## 4. 驱动器协议及使用说明

电机通信为 CAN 2.0 通信接口，波特率 1Mbps，采用扩展帧格式，如下所示：

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
描述	通信类型	数据区 2	目标地址	数据区 1

电机支持的控制模式包括：

- 运控模式：给定电机运控 5 个参数；
- 电流模式：给定电机指定的 Iq 电流；
- 速度模式：给定电机指定的运行速度；
- 位置模式：给定电机指定的位置，电机将运行到该指定的位置；

### 4.1. 通信协议类型说明

#### 通信类型 0：获取设备 ID

获取设备的 ID 和 64 位 MCU 唯一标识符

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
描述	0x0	00 FD	7F	00 00 00 00 00 00 00 00

应答帧：

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
描述	0x0	目标电机 CAN_ID	0XFE	64 位 MCU 唯一标识符

#### 通信类型 1：运控模式电机控制指令

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
描述	0x1	00 00	7F	00 00 00 00 00 00 00 00

Byte2: 力矩 (0~65535) 对应 (-5.5Nm~5.5Nm)  
 目标电机 CAN\_ID  
 Byte0~1: 目标角度 [0~65535] 对应 (-12.57f~12.57f)  
 Byte2~3: 目标角速度 [0~65535] 对应 (-50rad/s~50rad/s)  
 Byte4~5: Kp [0~65535] 对 (0.0~500.0)  
 Byte6~7: Kd [0~65535] 对应 (0.0~5.0) 以上数据转换后高字节在前，低字节在后

应答帧：应答电机反馈帧(见通信类型 2)

## 通信类型 2：电机反馈数据

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	2	00 7F	FD	
描述	0x2	Bit8~Bit15:当前电机 CAN ID bit21~16:故障信息 (0 无 1 有) bit21: 未标定 bit20: 堵转过载故障 bit19: 磁编码故障 bit18: 过温 bit17: 三相电流故障 bit16: 欠压故障 bit22~23: 模式状态 0 : Reset 模式[复位] 1 : Cali 模式[标定] 2 : Motor 模式[运行]	主机 CAN_ID	Byte0~1: 当前角度[0~65535]对应(-12.57f~12.57f) Byte2~3: 当前角速度[0~65535]对应(-50rad/s~50rad/s) Byte4~5: 当前力矩[0~65535]对应 (-5.5Nm~5.5Nm) Byte6~7: 当前温度: Temp(摄氏度) *10 以上数据高字节在前, 低字节在后

## 通信类型 3：电机使能运行

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	3	00 FD	7F	00 00 00 00 00 00 00 00
描述	0x3	bit15~8:用来标识主 CAN_ID	目标电机 CAN_ID	

应答帧：应答电机反馈帧(见通信类型 2)

## 通信类型 4：电机停止运行

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	4	00 FD	7F	00 00 00 00 00 00 00 00
描述	0x4	bit15~8:用来标识主 CAN_ID	目标电机 CAN_ID	正常运行时, data 区需清 0; Byte[0]=1 时: 清故障;

应答帧：应答电机反馈帧(见通信类型 2)

## 通信类型 6：设置电机机械零位

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
描述	0x6	bit15~8:用来标识主 CAN_ID	目标电机 CAN_ID	Byte[0]=1

应答帧：应答电机反馈帧(见通信类型 2)

## 通信类型 7：设置电机 CAN\_ID

更改当前电机 CAN\_ID，立即生效。

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	7	01 FD	7F	00 00 00 00 00 00 00 00
描述	0x7	bit15~8:用来标识主 CAN_ID Bit16~23: 预设置 CAN_ID	目标电机 CAN_ID	

应答帧：应答电机广播帧(见通信类型 0)

## 通信类型 17：单个参数读取

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	11	00 FD	7F	05 70 00 00 00 00 00 00
描述	0x11	bit15~8:用来标识主 CAN_ID	目标电机 CAN_ID	Byte0~1: index, 详见下方可读写参数表 Byte2~3: 00 Byte4~7: 00 以上数据低字节在前,高字节在后

应答帧：

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	11	00 7F	FD	05 70 00 00 00 00 00 00
描述	0x11	bit15~8:用来标识主 CAN_ID Bit23~16:00 为读取成功 01 为读取失败	主机 CAN_ID	Byte0~1: index, 详见下方可读写参数表 Byte2~3: 00 Byte4~7: 参数数据, 1 字节数据在 Byte4 以上数据低字节在前, 高字节在后

## 通信类型 18：单个参数写入（掉电丢失）

搭配类型 22，可保存上位机模块内参数表功能码 0x20 开头参数

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	12	00 FD	7F	29 70 00 00 00 00 00 00
描述	0x12	bit15~8:用来标识主 CAN_ID	目标电机 CAN_ID	Byte0~1: index, 详见下方可读写参数表 Byte2~3: 00 Byte4~7: 参数数据 以上数据低字节在前,高字节在后

应答帧：应答电机反馈帧(见通信类型 2)

## 通信类型 21：故障反馈帧

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	15	00 FD	7F	00 00 00 00 00 00 00 00
描述	0x15	bit15~8: 电机 CAN_ID	用来标识主 CAN_ID	Byte0~3: fault 值 (非 0: 有故障, 0: 正常) bit16: A 相电流采样过流 bit14: 电机堵转过载算法保护 Bit9: 位置初始化故障 bit8: 硬件识别故障 bit7: 电机未标定编码器 bit5: C 相电流采样过流 bit4: B 相电流采样过流 bit3: 过压故障 bit2: 欠压故障 bit1: 驱动芯片故障 bit0: 电机过温故障, 默认 135 度 Byte4~7: warning 值 bit0: 电机过温预警, 默认 135 度

## 通信类型 22：电机数据保存帧

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	16	00 FD	7F	01 02 03 04 05 06 07 08
描述	0x16	bit15~8: 用来标识主 CAN_ID	目标电机 CAN_ID	01 02 03 04 05 06 07 08

应答帧：应答电机反馈帧(见通信类型 2)

## 通信类型 23：电机波特率修改帧

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	17	00 FD	7F	01 02 03 04 05 06 01 00
描述	0x17	bit15~8: 用来标识主 CAN_ID	目标电机 CAN_ID	01 02 03 04 05 06 F_CMD 其中 F_CMD 字节为电机波特率 其中 01 为 1M 02 为 500K 03 为 250K 04 为 125K

应答帧：应答电机反馈帧(见通信类型 0)

## 通信类型 24：电机主动上报帧

数据域	29 位 ID	8Byte 数据区		
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7

	18	00 FD	7F	01 02 03 04 05 06 01 00
描述	0x18	bit15~8:用来标识主 CAN_ID	目标电机 CAN_ID	01 02 03 04 05 06 F_CMD 其中 F_CMD 字节为电机上报开关 00 为关闭主动上报（默认） 01 为开启主动上报默认上报间隔为 10ms

应答帧：

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	18	00 7F	FD	
描述	0x18	Bit8~Bit15:当前电机 CAN_ID bit21~16:故障信息 (0 无 1 有) bit21: 未标定 bit20: 堵转过载故障 bit19: 磁编码故障 bit18: 过温 bit17: 三相电流故障 bit16: 欠压故障 bit22~23: 模式状态 0 : Reset 模式[复位] 1 : Cali 模式[标定] 2 : Motor 模式[运行]	主机 CAN_ID	Byte0~1: 当前角度[0~65535]对应 (-12.57f~12.57f) Byte2~3: 当前角速度[0~65535]对应 (-50rad/s~50rad/s) Byte4~5: 当前力矩[0~65535]对应 (-5.5Nm~5.5Nm) Byte6~7: 当前温度: Temp(摄氏度) *10 以上数据高字节在前, 低字节在后

## 通信类型 25： 电机协议修改帧

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit 24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte6
	19	00 FD	7F	01 02 03 04 05 06 00 00
描述	0x19	bit15~8:用来标识主 CAN_ID	目标电机 CAN_ID	01 02 03 04 05 06 F_CMD 其中 F_CMD 字节为电机协议类型 其中 0 为私有协议（默认） 1 为 Canopen 协议 2 为 MIT 协议

应答帧： 应答电机反馈帧(见通信类型 0)

## 通信类型 26： 版本号读取帧

数据域	29 位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit 24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte6
	04	00 FD	7F	00 C4 00 00 00 00 00 00
描述	0x4	bit15~8:用来标识主 CAN_ID	目标电机 CAN_ID	Byte[0]=0x00 Byte[1]=0xC4

应答帧：

数据域	29位 ID			8Byte 数据区
大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte6
	02	00 7F	FD	
描述	0x2	Bit8~Bit15:当前电机 CAN_ID Bit21~Bit16:故障信息(0 无 1 有) bit21:未标定 Bit20:堵转过载故障 Bit19:磁编码故障 Bit18:过温 Bit17:三相电流故障 Bit16:欠压故障 Bit22~23: 模式状态 0:Reset 模式[复位] 1:Cali 模式[标定] 2:Motor 模式[运行]	目标电机 CAN_ID	Byte0=0x00 Byte1=0xC4 Byte2=0x56 Byte3~6: 电机版本号 顺序由高到低

## 可读写单个参数列表

参数 index	参数名称	描述	类型	字节数	单位/说明	R/W 读写权限
0X7005	run_mode	0: 运控模式 1: 位置模式 (PP) 2: 速度模式 3: 电流模式 5: 位置模式 (CSP)	uint8	1		W/R
0X7006	iq_ref	电流模式 Iq 指令	float	4	-16~16A	W/R
0X700A	spd_ref	转速模式转速指令	float	4	-33~33rad/s	W/R
0X700B	limit_torque	转矩限制	float	4	0~14Nm	W/R
0X7010	cur_kp	电流的 Kp	float	4	默认值 0.17	W/R
0X7011	cur_ki	电流的 Ki	float	4	默认值 0.012	W/R
0X7014	cur_filt_gain	电流滤波系数 filt_gain	float	4	0~1.0, 默认值 0.1	W/R
0X7016	loc_ref	位置模式角度指令	float	4	rad	W/R
0X7017	limit_spd	位置模式 (CSP) 速度限制	float	4	0~33rad/s	W/R
0X7018	limit_cur	速度位置模式电流限制	float	4	0~16A	W/R
0x7019	mechPos	负载端计圈机械角度	float	4	rad	R
0x701A	iqf	iq 滤波值	float	4	-16~16A	R
0x701B	mechVel	负载端转速	float	4	-33~33rad/s	R
0x701C	VBUS	母线电压	float	4	V	R
0x701E	loc_kp	位置的 kp	float	4	默认值 40	W/R
0x701F	spd_kp	速度的 kp	float	4	默认值 6	W/R
0x7020	spd_ki	速度的 ki	float	4	默认值 0.02	W/R
0x7021	spd_filt_gain	速度滤波值	float	4	默认值 0.1	W/R
0x7022	acc_rad	速度模式加速度	float	4	默认值 20rad/s^2	W/R
0x7024	vel_max	位置模式 (PP) 速度	float	4	默认值 10rad/s	W/R
0x7025	acc_set	位置模式 (PP) 加速度	float	4	默认值 10rad/s^2	W/R
0x7026	EPScan_time	上报时间设置, 1 代表 10ms, 加 1 递增 5ms	uint16	2	默认值 1	W/R
0x7028	canTimeout	can 超时阀值, 20000 代表	uint32	4	默认 0	W/R

参数 index	参数名称	描述	类型	字节数	单位/说明	R/W 读写权限
		1s				
0x7029	zero_sta	零点标志位, 0 代表 0-2π, 1 代表 -π - π	uint8	1	默认 0	W/R
0x7025	acc_set	位置模式 (PP) 加速度	float	4	默认值 10rad/s^2	W/R
0x7026	EPScan_time	上报时间设置, 1 代表 10ms, 加 1 递增 5ms	uint16	2	默认值 1	W/R
0x7028	canTimeout	can 超时阀值, 20000 代表 1s	uint32	4	默认 0	W/R
0x7029	zero_sta	零点标志位, 0 代表 0-2π, 1 代表 -π - π	uint8	1	默认 0	W/R
0x702B	add_offset	零位偏置	float	4	默认 0	W/R

## 读取示例:

以读取 loc\_kp 为例:

读取指令为

大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	0x11	0x00FD	0x7F	1E 70 00 00 00 00 00 00
描述	类型 17	主机 id 0xFD	目标电机 CAN_ID 7F	Byte0~1: index, 对应 loc_kp

反馈指令为

大小	Bit28~bit24	bit23~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	0x11	0x007F	0xFD	1E 70 00 00 00 00 F0 41
描述	类型 17	bit15~8: 目标电机 CAN_ID 7F	主机 id 0xFD	Byte0~1: index, 对应 loc_kp Byte4~7: loc_kp 值为 30, 右高字节, (32 位单精度) 16 进制 IEEE-754 标准浮点数

## 4.2. 电机部分功能说明（如无以下功能, 请访问官网 git 升级最新版本）

### 4.2.1. 主动上报说明

电机主动上报默认关闭, 通过类型 24 开启上报

上报类型为类型 2, 上报间隔默认 10ms, 可通过类型 18 修改 EPScan\_time 来更改上报周期

### 4.2.2. 零点标志位说明

通过上位机或类型 18 修改 zero\_sta 标志位, 其中通过类型 18 修改需要用通信类型 22 保存

电机默认标志位为 0, 上电后默认位置为 0-2π

如修改标志位为 1, 上电后默认位置为 -π - π

### 4.2.3.类型 2 变更说明

类型 2 变更为周期性循环 $-4\pi - 4\pi$ ，可通过该方式记圈数

需要注意的是位置接口需变更

P\_MIN 为 -12.57f

P\_MAX 为 12.57f

### 4.2.4.协议切换说明（需要配合 can 盒操作）

通过上位机修改 protocol\_1 标志位或发送通信类型 25 即可切换协议为 canopen 协议或 mit 协议，重新上电生效，切换协议后，需要通过 can 盒发送下方通信协议的切换协议指令进行切换，其中 canopen 协议发送扩展帧的协议切换帧，mit 协议发送标准帧的指令 8

### 4.2.5.csp 和运控模式下可以标零，pp 模式标零会屏蔽掉

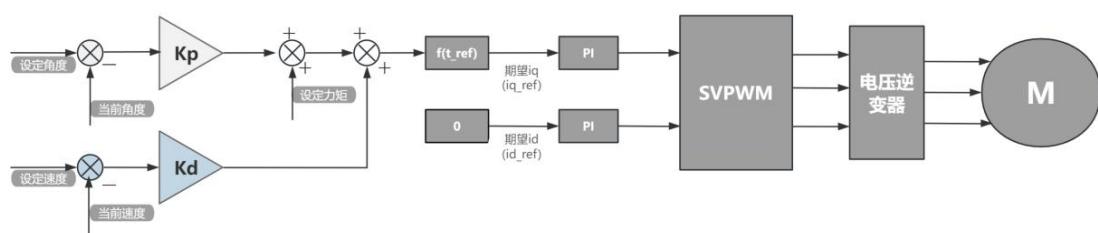
老版本电机标零后电机电机期望和实际值会有一个很大的偏差，电机马上向期望值旋转，新版 本电机在 CSP 和运控模式下标零，电机期望会马上更新为 0，这样电机不会运动，PP 模式下无法标零

### 4.2.6.电机 canopenid 与 canid 保持一致

canopen 的 id 与私有协议下的 canid 保持一致

## 4.3. 控制模式使用说明

### 4.3.1.运控模式



电机上电后默认处于运控模式；

发送电机使能运行帧（通信类型 3）-->发送运控模式电机控制指令（通信类型 1）-->收到电机反馈帧（通信类型 2）

运控模式说明：

运控模式的控制逻辑为  $t_{ref} = Kd * (v_{set} - v_{actual}) + Kp * (p_{set} - p_{actual}) + t_{ff}$ ， $t_{ref}$  通过内部的公式折算为期望 iq 电流，通过电流环输出

简单控制演示：

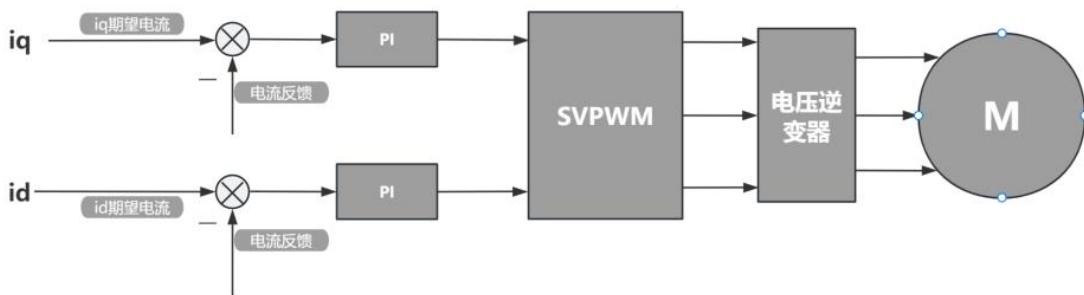
将  $t_{ff}$  设为 0， $v_{set}$  设为 1， $Kd$  设为 1， $p_{set}$  设为 0， $Kp$  设为 0，电机外部不加载，电机即会以 1rad/s 速度运行，如果外部加载，则需要将  $Kd$  调大来抵御外部负

载

将  $t_{ff}$  设为 0,  $v_{set}$  设为 0,  $Kd$  设为 1,  $p_{set}$  设为 0,  $Kp$  设为 0, 电机即为阻尼模式, 外部转动电机, 电机即会有一个阻尼, 阻尼随着  $kd$  变大而变大, 需要注意此工况电机发电, 需要电源馈电防止过压

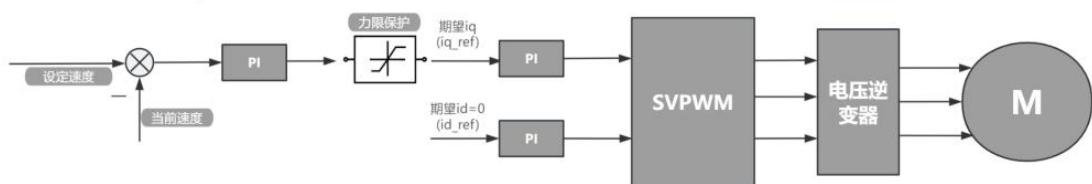
将  $t_{ff}$  设为 0,  $v_{set}$  设为 0,  $Kd$  设为 1,  $p_{set}$  设为 5,  $Kp$  设为 1, 电机外部不加载, 电机即会运行到目标位置 5,  $kp$  加大, 维持目标位置的力变大,  $kd$  为阻尼, 如果没有  $kd$ , 电机到目标位置会摇摆

### 4.3.2. 电流模式



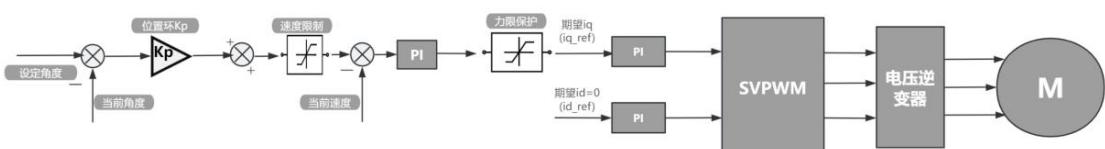
发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 runmode 参数为 3 --> 发送电机使能运行帧（通信类型 3）--> 发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 iq\_ref 参数为预设电流指令

### 4.3.3. 速度模式



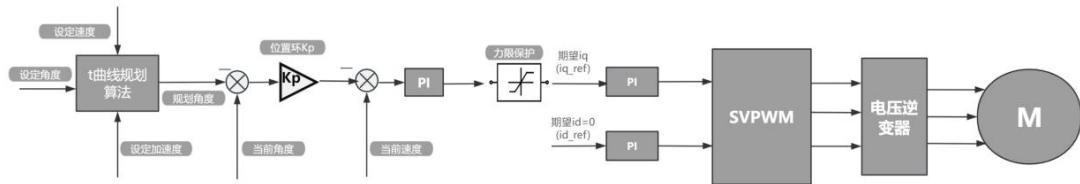
发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 runmode 参数为 2 --> 发送电机使能运行帧（通信类型 3）--> 发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 limit\_cur 参数为预设最大电流指令--> 发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 acc\_rad 参数为预设加速度指令--> 发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 spd\_ref 参数为预设速度指令

### 4.3.4. 位置模式 (CSP)



发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 runmode 参数为 5 --> 发送电机使能运行帧（通信类型 3）--> 发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 limit\_spd 参数为预设最大速度指令--> 发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 loc\_ref 参数为预设位置指令

### 4.3.5.位置模式（PP）



发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 runmode 参数为 1 --> 发送电机使能运行帧（通信类型 3）--> 发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 vel\_max 参数为预设最大速度指令-->发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 acc\_set 参数为预设加速度指令-->发送电机模式参数写入命令（通信类型 18）设置 loc\_ref 参数为预设位置指令

注：该模式不支持运行过程中改速度和加速度，如想急停可以在过程中将 vel\_max 修 改为 0，会以当前速度和加速度规划停止

### 4.3.6.停止运行

发送电机停止运行帧（通信类型 4）

## 4.4.程序样例

以下提供各种模式控制电机实例（以 gd32f303 为例）

下面为各种实例调用库，函数与宏定义

```
C++
#define P_MIN -12.57f
#define P_MAX 12.57f
#define V_MIN -50.0f
#define V_MAX 50.0f
#define KP_MIN 0.0f
#define KP_MAX 500.0f
#define KD_MIN 0.0f
#define KD_MAX 5.0f
#define T_MIN -5.5f
#define T_MAX 5.5f
```

```
struct exCanIdInfo{  
    uint32_t id:8;  
    uint32_t data:16;  
    uint32_t mode:5;  
    uint32_t res:3;  
};  
  
can_receive_message_struct rxMsg;  
  
can_trasnmit_message_struct txMsg={  
    .tx_sfid = 0,  
    .tx_efid = 0xff,  
    .tx_ft = CAN_FT_DATA,  
    .tx_ff = CAN_FF_EXTENDED,  
    .tx_dlen = 8,  
};  
  
#define txCanIdEx (*((struct exCanIdInfo*)&(txMsg.tx_efid)))  
  
#define rxCanIdEx (*((struct exCanIdInfo*)&(rxMsg.rx_efid))) //将扩展帧  
id 解析为自定义数据结构  
  
int float_to_uint(float x, float x_min, float x_max, int bits){  
    float span = x_max - x_min;  
    float offset = x_min;  
    if(x > x_max) x=x_max;  
    else if(x < x_min) x= x_min;  
    return (int) ((x-offset)*((float)((1<<bits)-1))/span);  
}
```

```
#define can_txd() can_message_transmit(CANO, &txMsg)

#define can_rxd() can_message_receive(CANO, CAN_FIF01, &rxMsg)
```

下面列举常见的通信类型发送：

#### 4.4.1. 电机使能运行帧（通信类型 3）

```
C++
void motor_enable(uint8_t id, uint16_t master_id)
{
    txCanIdEx.mode = 3;
    txCanIdEx.id = id;
    txCanIdEx.res = 0;
    txCanIdEx.data = master_id;
    txMsg.tx_dlen = 8;
    txCanIdEx.data = 0;
    can_txd();
}
```

#### 4.4.2. 运控模式电机控制指令（通信类型 1）

```
C++
void motor_controlmode(uint8_t id, float torque, float MechPosition,
float speed, float kp, float kd)

{
    txCanIdEx.mode = 1;
    txCanIdEx.id = id;
    txCanIdEx.res = 0;
    txCanIdEx.data = float_to_uint(torque, T_MIN, T_MAX, 16);

    txMsg.tx_dlen = 8;

    txMsg.tx_data[0]=float_to_uint(MechPosition, P_MIN, P_MAX, 16)>>8;

    txMsg.tx_data[1]=float_to_uint(speed, V_MIN, V_MAX, 16);

    txMsg.tx_data[2]=float_to_uint(speed, V_MIN, V_MAX, 16)>>8;

    txMsg.tx_data[3]=float_to_uint(speed, V_MIN, V_MAX, 16);
```

```

txMsg. tx_data[4]=float_to_uint(kp, KP_MIN, KP_MAX, 16)>>8;

txMsg. tx_data[5]=float_to_uint(kp, KP_MIN, KP_MAX, 16) ;

txMsg. tx_data[6]=float_to_uint(kd, KD_MIN, KD_MAX, 16)>>8;

txMsg. tx_data[7]=float_to_uint(kd, KD_MIN, KD_MAX, 16) ;

can_txd();

}

```

#### 4.4.3. 电机停止运行帧（通信类型 4）

```

C++
void motor_reset(uint8_t id, uint16_t master_id)

{
    txCanIdEx.mode = 4;

    txCanIdEx.id = id;

    txCanIdEx.res = 0;

    txCanIdEx.data = master_id;

    txMsg.tx_dlen = 8;

    for(uint8_t i=0;i<8;i++)

    {
        txMsg.tx_data[i]=0;

    }

    can_txd();
}

}

```

#### 4.4.4. 电机模式参数写入命令（通信类型 18，运行模式切换）

```
C++
```

```
uint8_t runmode;

uint16_t index;

void motor_modechange(uint8_t id, uint16_t master_id)

{

    txCanIdEx.mode = 0x12;

    txCanIdEx.id = id;

    txCanIdEx.res = 0;

    txCanIdEx.data = master_id;

    txMsg.tx_dlen = 8;

    for(uint8_t i=0;i<8;i++)

    {

        txMsg.tx_data[i]=0;

    }

    memcpy(&txMsg.tx_data[0],&index,2);

    memcpy(&txMsg.tx_data[4],&runmode, 1);

    can_txd();

}

}
```

#### 4.4.5. 电机模式参数写入命令（通信类型 18， 控制参数写入）

```
Python

uint16_t index;

float ref;

void motor_write(uint8_t id, uint16_t master_id)

{
```

```
txCanIdEx.mode = 0x12;  
  
txCanIdEx.id = id;  
  
txCanIdEx.res = 0;  
  
txCanIdEx.data = master_id;  
  
txMsg.tx_dlen = 8;  
  
for(uint8_t i=0;i<8;i++)  
{  
    txMsg.tx_data[i]=0;  
}  
  
memcpy(&txMsg.tx_data[0],&index,2);  
  
memcpy(&txMsg.tx_data[4],&ref,4);  
  
can_txd();  
}
```

# 5. Canopen 通信协议类型说明

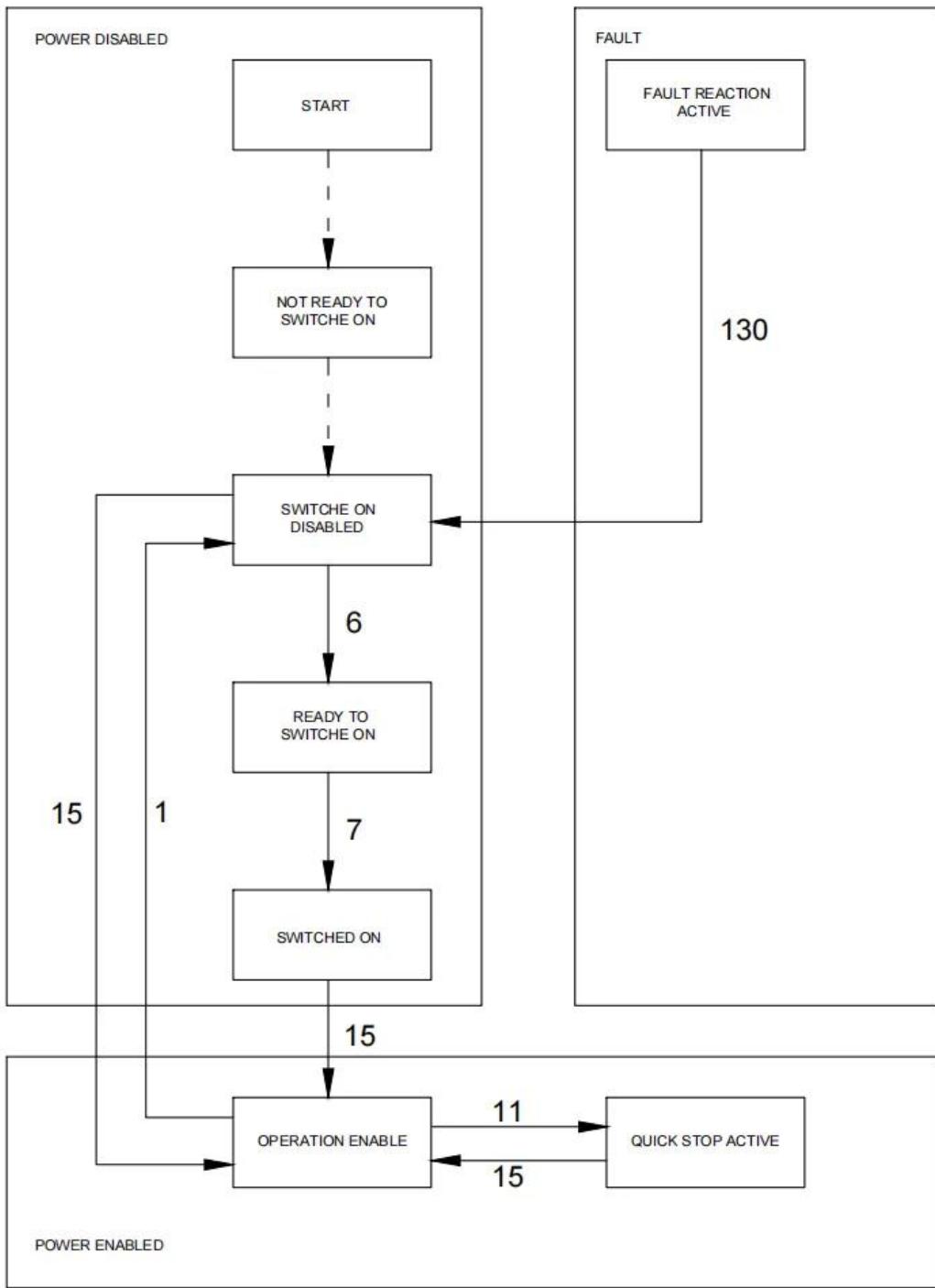
## 5.1. Canopen 通信介绍

CANopen 是一个基于 CAN 总线的“高层协议”，这意味着 CAN 总线（ISO 11898）就像集装箱的卡车一般作为 CANopen 信息的“运输工具”。CAN 只是实现了带有 11 位 CAN ID、远程传输（RTR）位和 64 个数据位（与更高层的协议相关）的字段的帧的传输。CAN 总线在 CANopen 中的作用与在 J1939 协议相同。而 CANopen 则实现了 OSI 模型的第七层，并能够适应除 CAN 以外的其他数据链路层协议。CANopen 所需的 EDS 文件请前往 [www.robstride.com](http://www.robstride.com) 官网下载中心下载。

## 5.2. Canopen 协议报文分类

分类	作用
NMT 网络管理报文	管理网络，切换节点的状态。一般由主站发送 NMT 网络管理报文。
SDO 服务数据对象报文	设置设备参数，或者是一些关键数据的传输。一般由主站发起 SDO 报文，从站应答 SDO 报文。从站也可以发起 SDO，主站响应，比如关键数据的传输。
PDO 过程数据对象报文	传输一些设备的过程数据，比如传输温度，速度等等。主站和从站都会发送。
EMCY 紧急报文	传输设备的故障信息。主站和从站都会发送。
SYNC 同步报文	同步数据，用来同步从站的 TPDO 数据。一般由主站发送。
NODE GUARDING 节点保护报文	主站请求从站的状态，主站询问，从站应答
HeartBeat 心跳报文。	设备主动发送心跳，表示自己在线。主站和从站都可以发送。

### 5.3. 状态机说明



**电机使能：**电机初始上电即为 SWITCH\_ON\_DISABLED 状态，可通过修改 controlword (6040) 为 6、7、15 过渡到 OPERATION\_ENABLE 状态，也可直接通过修改其为 15 进入 OPERATION\_ENABLE 状态

**停止电机：**电机在 OPERATION\_ENABLE 状态想要正常停止可修改 controlword (6040) 为 1，电机会进入失能状态，即 SWITCH\_ON\_DISABLED 状态

**电机急停（慎用，易造成浪涌电压）：**电机在运行过程中可以急停，修改 controlword (6040) 为 11 即可触发急停

电机清除错误：电机保护后会进入 FAULT 状态，修改 controlword (6040) 可以清除常规错误

注意：需要注意的是，本电机切换模式需要在失能状态下，因此请在进入 OPERATION\_ENABLE 之前设置相应模式

## 5.4. 状态反馈参数

索引	名称	属性	类型	单位
603F	Error_code	可读	UINT16	/
6041	Statusword	可读	UINT16	/
6061	Modes_of_operation_display	可读	INTEGER8	/
6062	Position_demand_value	可读	INTEGER32	脉冲，一圈对应 16384 脉冲
6064	Position_actual_value	可读	INTEGER32	脉冲，一圈对应 16384 脉冲
606B	Velocity_demand_value	可读	INTEGER32	0.1rpm
606C	Velocity_actual_value	可读	INTEGER32	0.1rpm
6077	Torque_actual_value	可读	INTEGER16	0.1%负载率，1000 代表 5N.m
6078	Current_actual_value	可读	INTEGER16	mA
6079	DC_link_circuit_voltage	可读	INTEGER32	mV

## 5.5. 归零模式（设置零位）

索引	名称	属性	类型	单位
6040	controlword	可读写	UINT16	/
6060	Modes of operation	可读写	INTEGER8	/

标零方式：电机在失能状态下设置 Modes of operation 为 6，电机即会设置当前位置为零位

零点保持：修改 controlword 为 15，电机会在零位位置保持

## 5.6. 位置模式（PP）

索引	名称	属性	类型	单位
6040	controlword	可读写	UINT16	/
6060	Modes of operation	可读写	INTEGER8	/
6067	Position_window	可读写	UINT32	脉冲，一圈对应 16384 脉冲
6068	Position_window_time	可读写	UINT16	ms
6071	Target_torque	可读写	INTEGER16	0.1%负载率，1000 代表 5N.m
607A	Target_position	可读写	INTEGER32	脉冲，一圈对应 16384 脉冲
6081	Profile_velocity	可读写	UINT32	0.1rpm
6083	Profile_acceleration	可读写	UINT32	0.1rpm/s

步骤 1：电机在失能状态下设置 Modes of operation 为 1，设置 Target\_torque（位置模式下最大力矩绝对值，必设），Profile\_velocity（位置模式速度绝对值，必设），Profile\_acceleration（位置模式加速度绝对值，必设），Position\_window（可不设，不设即不启用），Position\_window\_time（可不设，不设即不启用）

步骤 2：设置 controlword 为 15

步骤 3：设置 Target\_position（绝对位置）即可到达指定位置

## 5.7. 位置模式 (CSP)

索引	名称	属性	类型	单位
6040	controlword	可读写	UINT16	/
6060	Modes of operation	可读写	INTEGER8	/
6067	Position_window	可读写	UINT32	脉冲，一圈对应 16384 脉冲
6068	Position_window_time	可读写	UINT16	ms
6071	Target_torque	可读写	INTEGER16	0.1%负载率，1000 代表 5N.m
607A	Target_position	可读写	INTEGER32	脉冲，一圈对应 16384 脉冲
6081	Profile_velocity	可读写	UINT32	0.1rpm

步骤 1：电机在失能状态下设置 Modes of operation 为 5，设置 Target\_torque（位置模式下最大力矩绝对值，必设），Profile\_velocity（位置模式速度绝对值，必设），Position\_window（可不设，0 即不启用），Position\_window\_time（可不设，0 即不启用）

步骤 2：设置 controlword 为 15

步骤 3：设置 Target\_position（绝对位置）即可到达指定位置

## 5.8. 速度模式

索引	名称	属性	类型	单位
6040	controlword	可读写	UINT16	/
6060	Modes of operation	可读写	INTEGER8	/
6071	Target_torque	可读写	INTEGER16	0.1%负载率，1000 代表 5N.m
60FF	Target_velocity	可读写	INTEGER32	0.1rpm

步骤 1：电机在失能状态下设置 Modes of operation 为 3，设置 Target\_torque（位置模式下最大力矩绝对值，必设）

步骤 2：设置 controlword 为 15

步骤 3：设置 Target\_velocity 即可到达指定速度

## 5.9. 力矩模式

索引	名称	属性	类型	单位
6040	controlword	可读写	UINT16	/
6060	Modes of operation	可读写	INTEGER8	/
6071	Target_torque	可读写	INTEGER16	0.1%负载率，1000 代表 5N.m

步骤 1：电机在失能状态下设置 Modes of operation 为 4

步骤 2：设置 controlword 为 15

步骤 3：设置 Target\_torque 即可输出指定力矩

## 5.10. 协议切换帧（扩展帧）：切换电机协议，重新上电生效

数据域	29 位 ID	8Byte 数据区
大小	Bit28~bit0	Byte0~Byte6
描述	0xFFFF	01 02 03 04 05 06 F_CMD 其中 F_CMD 字节为电机协议类型 其中 0 为私有协议（默认） 1 为 Canopen 协议 2 为 MIT 协议

应答帧：

数据域	11 位 ID	8Byte 数据区
大小	bit10~0	Byte0~Byte7
描述	电机 id	64 位 MCU 唯一标识符

## 6. MIT 通信协议类型说明

电机通信为 CAN 2.0 通信接口，波特率默认 1Mbps，波特率可切换到私有协议修改，采用标准帧格式，如下所示：

数据域	11 位 ID		8Byte 数据区
大小	Bit10~bit8	bit7~0	Byte0~Byte7
描述	模式类型	id	

电机支持的控制模式包括：

- MIT 模式：给定电机运控 5 个参数；
- 速度模式：给定电机指定的运行速度；
- 位置模式：给定电机指定的位置和速度，电机将以过程速度运行到该指定的位置；

### 应答指令 1：

数据域	11 位 id	8Byte 数据区
大小	bit10~0	Byte0~Byte7
	0FD	7F 00 00 00 00 00 00 00
描述	主机 id	Byte0: 电机 canid Byte1~2: 当前角度[0~65535]对应(-12.57rad~12.57rad) Byte3 为高 8 位 Byte4[7-4] (高 4 位) 为低 4 位: 当前速度[0~4096]对应(-50rad/s~50rad/s) Byte4[3-0] (低 4 位) 为高 4 位, Byte5 为低 8 位: 当前力矩[0~4096]对应(-5.5N.m~5.5N.m) Byte6~7: 绕组温度, 单位度

### 应答指令 2：

数据域	11 位 id	8Byte 数据区
大小	bit10~0	Byte0~Byte7
描述	电机 id	64 位 MCU 唯一标识符

### 指令 1：电机使能运行

数据域	11 位 id	8Byte 数据区
大小	bit10~0	Byte0~Byte7
	07F	FF FF FF FF FF FF FF FC
描述	目标电机 canid	FF FF FF FF FF FF FF FC

应答帧：应答指令 1

### 指令 2：电机停止运行

数据域	11 位 id	8Byte 数据区

<b>大小</b>	bit10~0	Byte0~Byte7
	07F	FF FF FF FF FF FF FF FD
<b>描述</b>	目标电机 canid	FF FF FF FF FF FF FF FD

应答帧：应答指令 1

### 指令 3：电机 MIT 动态参数

<b>数据域</b>	11 位 id	8Byte 数据区
<b>大小</b>	bit10~0	Byte0~Byte7
	07F	00 00 00 00 00 00 00 00
<b>描述</b>	目标电机 canid	Byte0~1: 目标角度[0~65535]对应(-12.57rad~12.57rad) Byte2 为高 8 位, Byte3[7~4] (高 4 位) 为低 4 位: 目标速度[0~4096] 对应(-33rad/s~33rad/s) Byte3[3~0] (低 4 位) 为高 4 位, Byte4 为低 8 位: kp[0~4096]对应(0~500) Byte5 为其高 8 位, Byte6[7~4] (高 4 位) 为低 4 位: kd[0~4096]对应(0~5) Byte6[3~0] (低 4 位) 为高 4 位, Byte7 为低 8 位: 目标力矩[0~4096]对应(-5.5N.m~5.5N.m)

应答帧：应答指令 1

### 指令 4：设置零点（非位置模式）

<b>数据域</b>	11 位 id	8Byte 数据区
<b>大小</b>	bit10~0	Byte0~Byte7
	07F	FF FF FF FF FF FF FF FE

应答帧：应答指令 1

### 指令 5：清除错误及读取异常状态

<b>数据域</b>	11 位 id	8Byte 数据区
<b>大小</b>	bit10~0	Byte0~Byte7
	07F	FF FF FF FF FF FF FB
<b>描述</b>	目标电机 canid	FF FF FF FF FF F_CMD FB 其中其中 F_CMD 字节 为 0xFF 时, 表示消除当前的异常; 为其他任何数值时, 将在回复中的 BYTE1 中回传错误值

清错应答帧：应答指令 1

### 异常状态应答帧

<b>数据域</b>	11 位 id	8Byte 数据区
<b>大小</b>	bit10~0	Byte0~Byte7
	0FD	7F 00 00 00 00 00 00 00

描述	主机 id	Byte0: 电机 canid Byte1~4: fault 值(非 0:有故障, 0: 正常) bit16:A 相电流采样过流 bit14: 电机堵转过载算法保护 Bit9: 位置初始化故障 bit8: 硬件识别故障 bit7: 电机未标定编码器 bit5: C 相电流采样过流 bit4: B 相电流采样过流 bit3: 过压故障 bit2: 欠压故障 bit1: 驱动芯片故障 bit0: 电机过温故障, 默认 145 度
----	-------	--

## 指令 6: 设置运行模式

数据域	11 位 id	8Byte 数据区
大小	bit10~0	Byte0~Byte7
	07F	FF FF FF FF FF FF 00 FC
描述	目标电机 canid	FF FF FF FF FF F_CMD FC 其中其中 F_CMD 字节为运行模式 其中 0 为 MIT 模式 (默认) 1 为位置模式 2 为速度模式

应答帧: 应答指令 1

## 指令 7: 修改电机 CANID

数据域	11 位 id	8Byte 数据区
大小	bit10~0	Byte0~Byte7
	07F	FF FF FF FF FF FF 01 FA
描述	目标电机 canid	FF FF FF FF FF F_CMD FA 其中其中 F_CMD 字节为目标修改的电机 id

应答帧: 应答指令 2

## 指令 8: 修改电机协议: 切换电机协议, 重新上电生效

数据域	11 位 id	8Byte 数据区
大小	bit10~0	Byte0~Byte7
	07F	FF FF FF FF FF FF 00 FD
描述	目标电机 canid	FF FF FF FF FF F_CMD FD 其中其中 F_CMD 字节为电机协议类型 其中 0 为私有协议 (默认) 1 为 Canopen 协议 2 为 MIT 协议

应答帧: 应答指令 2

## 指令 9: 修改主机 canid

数据域	11 位 id	8Byte 数据区
-----	---------	-----------

<b>大小</b>	bit10~0	Byte0~Byte7
	07F	FF FF FF FF FF FF FD 01
<b>描述</b>	目标电机 canid	FF FF FF FF FF FF F_CMD 01 其中其中 F_CMD 字节为为主机 canid

应答帧：应答指令 2

## 指令 10：位置模式控制指令

<b>数据域</b>	11 位 id		8Byte 数据区
<b>大小</b>	bit10~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	1	7F	00 00 A0 40 00 00 A0 40(位置 5rad, 速度 5rad/s)

<b>描述</b>	1	目标电机 canid	Byte0~3: 目标位置, 单位 rad, 32 位单精度 float Byte4~7: 目标速度, 单位 rad/s, 32 位单精度 float
-----------	---	------------	--

应答帧：应答指令 1

## 指令 11：速度模式控制指令

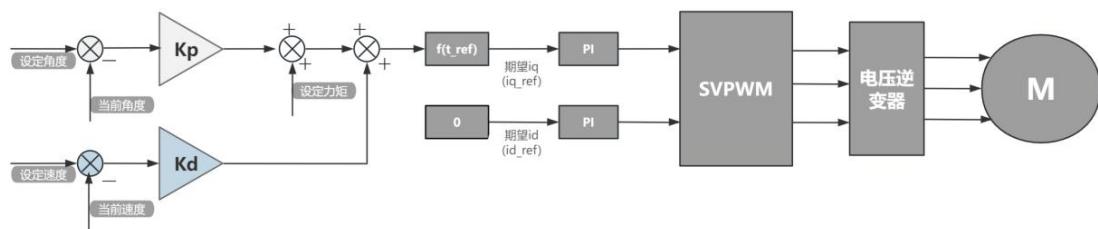
<b>数据域</b>	11 位 id		8Byte 数据区
<b>大小</b>	bit10~8	bit7~0	Byte0~Byte7
	2	7F	00 00 A0 40 00 00 00 40 (速度 5rad/s, 电流 2A)

<b>描述</b>	2	目标电机 canid	Byte0~3: 目标速度, 单位 rad, 32 位单精度 float Byte4~7: 速度位置模式电流限制, 单位 rad/s, 32 位单精度 float
-----------	---	------------	--

应答帧：应答指令 1

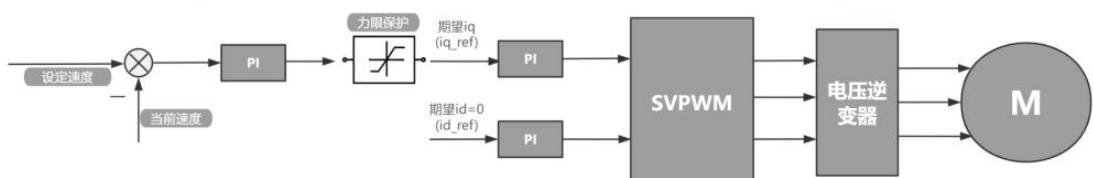
## 运控模式



电机上电后默认处于运控模式：

发送电机使能运行帧（指令 1）-->发送运控模式电机控制指令（指令 3）-->发送电机停止帧（指令 2）

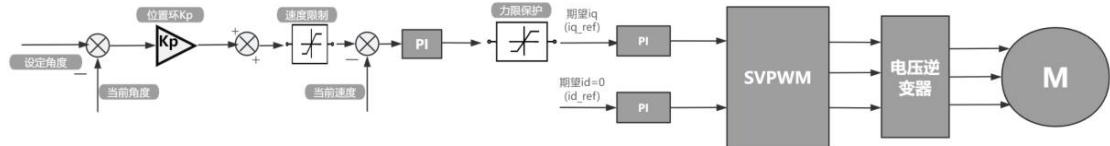
## 速度模式



发送电机模式参数写入命令（指令 6）设置模式为 2 --> 发送电机使能运行帧（指令

1) --> 发送电机模式参数写入命令（指令 11）设置最大电流（绝对值）和预设速度-->发送电机停止帧（指令 2）

## 位置模式（CSP）



发送电机模式参数写入命令（指令 6）设置模式为 1 --> 发送电机使能运行帧（指令 1）--> 发送电机模式参数写入命令（指令 10）设置最大速度（绝对值）和预设位置-->发送电机停止帧（指令 2）

## 7. 版本历史

版本号	说明	日期
1. 0	初版发布	2025 年 11 月 25 日