



## 钛虎 C1 关节电机通讯使用说明

文档版本：1.1.0

最后更新日期：2025 年 08 月 04 日

# 目录

1. 简介 .....	1
1.1. EtherCAT 通讯概述 .....	1
1.1.1. 参数概览 .....	3
1.1.2. EtherCAT 状态机 .....	4
1.1.3. CiA402 状态机 .....	5
1.2. CAN 通讯概述 .....	6
1.2.1. CAN 组网要求: .....	6
1.2.2. CAN vs EtherCAT: .....	6
2. 接口连接 .....	7
2.1. 关节模组接口定义 .....	7
2.1.1. CAN 通信接口 .....	7
2.1.2. 电源接口 .....	8
2.1.3. EtherCAT 网口 .....	8
2.1.4. 电池接口 .....	8
2.2. 关节模组接线说明 .....	9
2.2.1. EC 接线及从站地址配置 .....	9
3. EtherCAT 配置 PDO 与 SDO 参数说明 .....	10
3.1. PDO 的选择与配置 .....	10
3.2. 详细 SDO 参数说明 .....	11
3.2.1. 参数 0x2000 区域 .....	11
3.2.2. 参数 0x6000 区域 .....	15
4. EtherCAT 控制字 Control Word (0x6040) .....	24
4.1.1. 所有模式共用的控制字 Control Word (0x6040) .....	25
4.1.2. 轮廓位置模式 (PP) 专用的控制字 Control Word (0x6040) .....	25
5. EtherCAT 状态字 Status Word (0x6041) .....	26
5.1.1. 所有模式共用的状态字 Status Word (0x6041) .....	27
5.1.2. 轮廓位置模式 (PP) 专用的状态字 Status Word (0x6041) .....	27
6. EtherCAT 控制模式 Modes of Operation (0x6060) .....	28
6.1. 周期同步位置模式(CSP) .....	29
6.1.1. 功能框图 .....	29
6.1.2. 推荐 PDO 配置 .....	30
6.1.3. 相关参数说明 .....	30
6.2. 周期同步速度模式(CSV) .....	31
6.2.1. 功能框图 .....	31
6.2.2. 推荐 PDO 配置 .....	32
6.2.3. 相关参数说明 .....	32
6.3. 周期同步转矩模式(CST) .....	33
6.3.1. 功能框图 .....	33
6.3.2. 推荐 PDO 配置 .....	34
6.3.3. 相关参数说明 .....	34
6.4. 轮廓位置模式(PP) .....	35
6.4.1. 功能框图 .....	35

6.4.2. 最小 PDO 配置 .....	36
6.4.3. 相关参数说明 .....	36
6.5. 轮廓速度模式(PV) .....	37
6.5.1. 功能框图 .....	37
6.5.2. 最小 PDO 配置 .....	38
6.5.3. 相关参数说明 .....	38
6.6. 轮廓转矩模式(TQ) .....	39
6.6.1. 功能框图 .....	39
6.6.2. 最小 PDO 配置 .....	40
6.6.3. 相关参数说明 .....	40
6.7. 力位混合模式(PT) .....	41
6.7.1. 功能框图 .....	41
6.7.2. 最小 PDO 配置 .....	42
6.7.3. 相关参数说明 .....	42
6.8. 原点回归模式(HM) .....	43
6.8.1. 最小 PDO 配置 .....	43
6.8.2. 回原方式说明 .....	43
7. CAN 控制模式 .....	44
7.1. 一字节指令 .....	44
7.2. 五字节指令 .....	54
7.3. 六字节指令 .....	61
7.4. 七字节指令 .....	65
7.5. 八字节指令 .....	66
7.5.1. 轮廓位置模式: .....	67
8. 报警代码与处理方法 .....	68
8.1. 使用 EtherCAT 通讯遇到报警的检查与处理 .....	68
8.2. CAN 通讯使用 USB-CAN-TOOL 查报错 .....	70
8.2.1. can 通讯查 0x0A .....	70
8.3. CAN 通讯上位机报错 .....	71
8.3.1. 打开 CAN 设备失败 .....	71
8.3.2. 设备被占用 .....	71
8.3.3. 驱动芯片错误 .....	72
8.3.4. EtherCAT 通讯错误 .....	72
8.3.5. 编码器错误 .....	73
8.3.6. 过压错误 .....	73
8.3.7. 欠压错误 .....	74
8.4. 状态灯: 绿灯 & 蓝灯 .....	75
8.4.1. 绿灯 .....	75
8.4.2. 蓝灯 .....	75
9. FAQ 常见问题 .....	76

## 1. 简介

### 1.1. EtherCAT 通讯概述

EtherCAT 是一项高性能、低成本、应用简易、拓扑灵活的工业以太网技术，广泛应用于机器人控制、自动化生产线、运动控制等领域，使用标准的以太网物理层传输 EtherCAT 数据，传输媒介选择为双绞线(100Base-TX)或光纤(100Base-FX)。

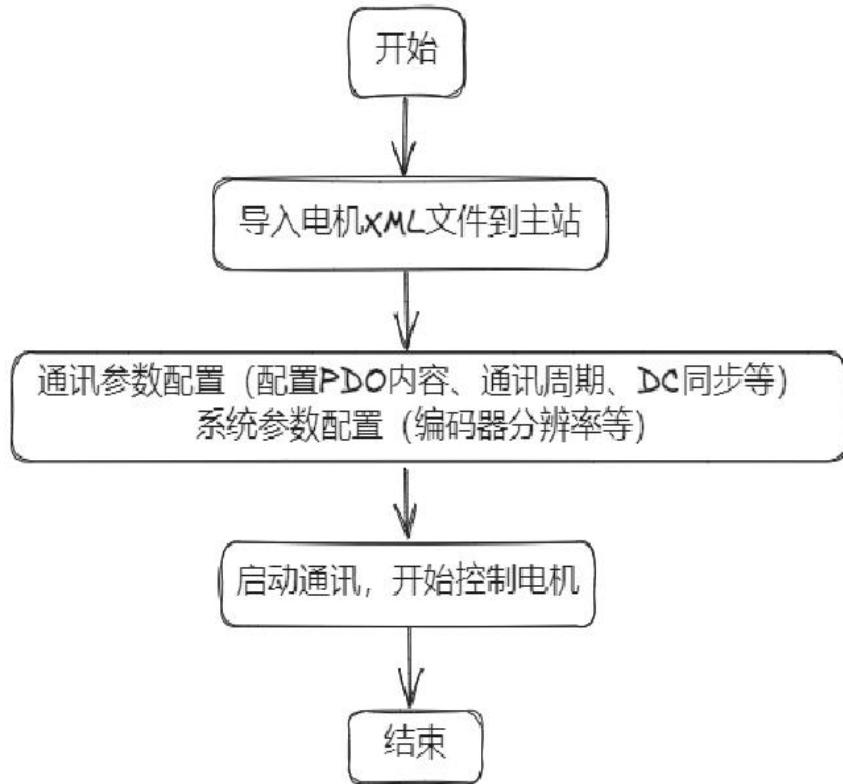
**系统构成：**EtherCAT 系统由主站、从站组成。主站由普通的网卡实现，从站需要通过 ESC(EtherCAT Slave Controller, EtherCAT 从站控制器)实现，例如 ET1100 或其他授权的 ASIC 或 FPGA 软核等。在运动控制系统中，EtherCAT 主站用作控制中枢，根据加工/工艺要求以及现场数字/模拟量信号对各个执行单元发出控制指令，EtherCAT 从站作为执行单元接收主站的指令并实时反馈当前状态。只有主站能主动发送 EtherCAT 数据帧，通过这种方式避免了以太网的帧冲突等问题，提高网络的实时性。

**传输特点：**EtherCAT 的特点是数据在传输过程会高速动态地读写(On the Fly)，一个 EtherCAT 报文就可以包含所有从站需要的控制信息和状态反馈信息。主站发出一个报文之后，报文依次经过所有节点，每经过一个节点的时候从站都会读取属于自己的控制信息、插入自己需要上传的数据并继续向下一个节点发送，直到检测到最后一个开放的端口后将报文发回主站。因为采用这样高效的传输机制，数据刷新速度很快，同时对从站微控制器的负担较小。

**分布式时钟：**EtherCAT 主站会周期性的将第一个从站(具有分布时钟功能)的时间发送给系统中的其他从站，通过这样的方式使得整个系统的时间保持同步，同步抖动为纳秒级，对于运动控制系统而言这相当有益。由于整个系统的时间全程保持一致，系统动作的精度会得到较好的保障。

由于 EtherCAT 技术的开放性，目前市场上使用 EtherCAT 技术的主站种类比较丰富。根据实现方式分类，可以分为 FPGA+IP 核实现、ASIC 实现、纯软件实现。在使用上，用户界面方面有命令行界面和图形化界面两种，适配从站的方式有厂家修改方式(不提供相关组件给用户)和用户自行修改方式(会有相对完善的适配软件组件)。按控制方式来区分，PLC 主站往往提供一个上位机软件，用户可以通过导入从站的 XML 文件自行添加新的从站，用户编写 PLC 程序来进行控制，常见的 PLC 类主站有汇川、禾川等；运动控制卡主站往往提供一个上位机软件，用户可以通过导入从站的 XML 文件自行添加新的从站，用户通过 C/C++/C#/python 等编程进行控制，常见的运动控制卡主站有正运动、周立功等。常见的软件主站有 TwinCAT、CodeSYS、igh、SOEM 等，TwinCAT 和 CodeSYS 属于商业公司开发的软件，界面和工具较完善；igh 和 SOEM 属于开源软件，自由度比较大，缺点是相关工具没有那么完善，如果用户对 EtherCAT 协议及代码的理解不够则使用会比较困难。

如果用户使用的主站包含 XML 文件导入工具，说明主站可能支持通过 XML 文件自动识别和适配大部分参数，用户对电机的适配较为轻松，如下图所示：



如果用户使用的主站没有 XML 文件导入工具，如 iGH、SOEM 等，说明对电机的适配工作需要由用户手动完成（可能需要修改代码），此时的工作需要对主站代码和 EtherCAT 协议有较好的理解，否则适配工作比较困难。

#### 附：目前可以搭配的 EtherCAT 主站

- ① EtherCAT 主站芯片 ECM01、EXMF 和基于此的运动控制卡(C/C++代码等，人形机器人应用等);
- ② 倍福(PLC 或写 C/C++代码，人形机器人应用等);
- ③ 周立功主站和运动控制卡(需要写 C/C++代码，人形机器人应用等);
- ④ 纳博特(图形界面编程，六/七关节机械臂应用，多轴控制周期较长);
- ⑤ 汇川 (PLC)；
- ⑥ 禾川 (PLC)；
- ⑦ 欧姆龙 (PLC)；
- ⑧ 西门子 (PLC)；
- ⑨ 试运行可以用电脑安装 TwinCAT 或 CodeSYS;
- ⑩ 电机不限定主站，有能力用户可以自行适配其他第三方主站、基于开源或商用代码开发自己的主站(可以提供基于 preempt\_rt 的 iGH demo 程序和 SOEM 非实时版 demo 程序)。

### 1.1.1. 参数概览

项目	描述	
从站基本参数	协议关键字	EtherCAT、CoE、CiA402
	标准	IEC 61800-7
	同步方式	DC 分布式同步时钟
	物理层	全双工 100BASE-TX 以太网
	拓扑结构	线形、环形
	通信线缆	定制的带屏蔽的网线/带屏蔽的超 5 类或 6 类以上网线(需更换插头)
	接口	线对板连接器 x2(IN、OUT)
	传输距离	两个节点之间网线小于 100 米
	并网从站数	协议支持 65535, 实际在 100 个以内
	EtherCAT 数据帧长度	44 到 1498 字节
EtherCAT 配置单元	PDO(过程数据)长度	单个以太网帧最大 1486 字节
	从站同步抖动	小于 1us
	FMMU 现场总线存储器管理单元	8
	同步管理器	8
	DPRAM 过程数据内存	8KB
应用层	DC 时钟位数	64 位
	eeprom	64kbit
	SDO	SDO 读取和写入
	PDO	PDO 映射可配置修改, 最小通讯周期为 250us, 4KHz
	CiA402	CSP(周期同步位置)模式, 最大 4KHz CSV(周期同步速度)模式, 最大 4KHz CST(同步周期转矩)模式, 最大 4KHz 轮廓位置模式(PP), 最大 4KHz 轮廓速度模式(PV), 最大 4KHz 轮廓转矩模式(TQ), 最大 4KHz 力位混合控制(PT), 最大 4Khz 原点回归模式(HM), 当前仅支持部分回原模式(35) Torque Limiting 转矩限制功能 Touch Probe 探针功能

### 1.1.2. EtherCAT 状态机

EtherCAT 从站需要实现四种基本状态以便于主站和从站之间安全有序的数据交换：  
**INIT**: 初始化状态。 **Pre-OP**: 预运行状态。 **Safe-OP**: 安全运行状态。 **OP**: 运行状态。

各状态的说明如下表所示

状态	说明
INIT 初始化	在运行电机固件，应用层没有数据交换
Pre-OP 预运行	在运行电机固件，应用层只有邮箱通讯
Safe-OP 安全运行	在运行电机固件，应用层有邮箱通讯 允许主站获取过程数据，不允许主站发送过程数据
OP 运行	在运行电机固件，所有数据的输入输出均允许
Bootstrap 引导程序	在运行电机 bootloader，用于升级固件等

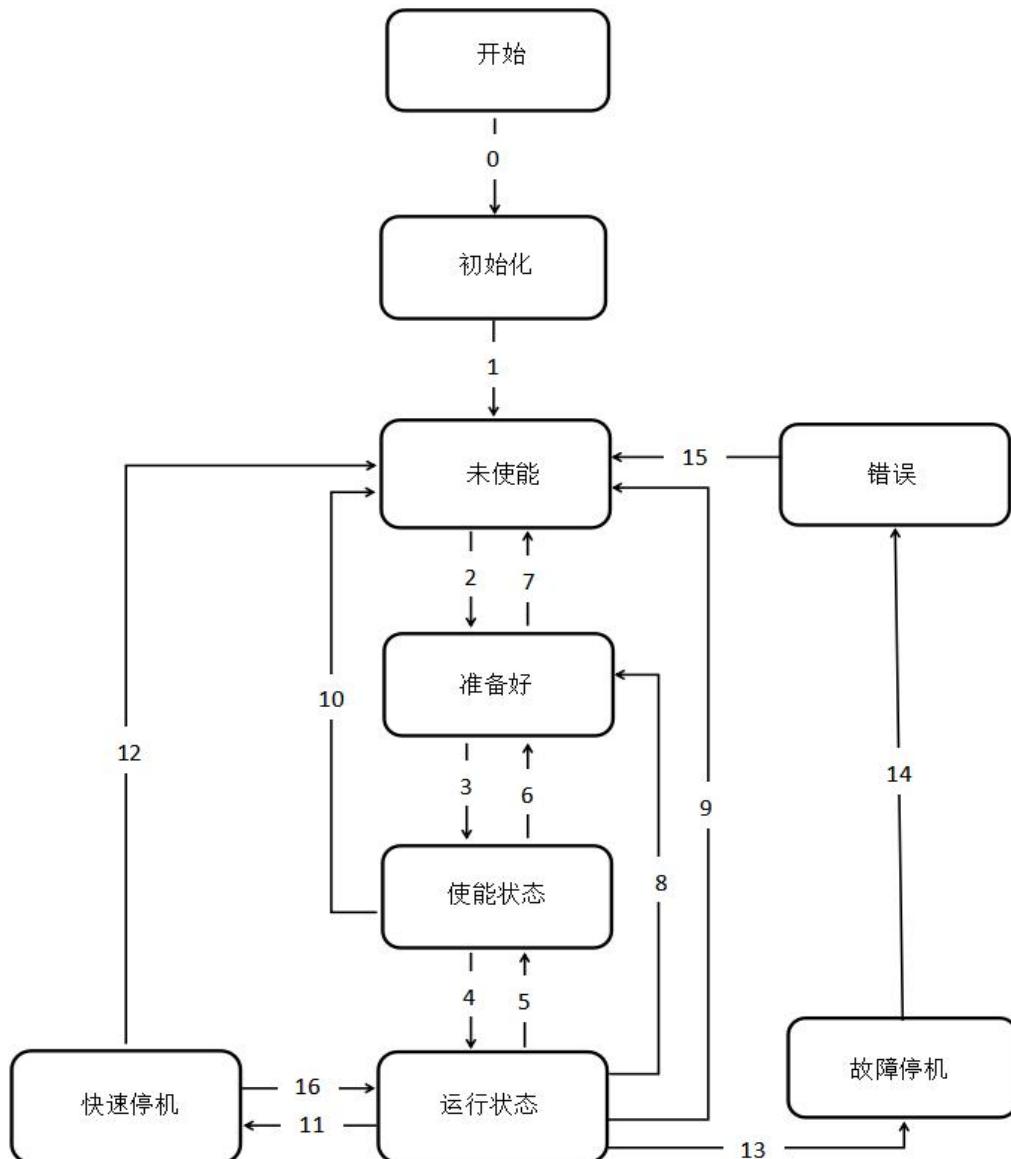
状态机的转换此处暂时不做描述，需要特别注意的重点内容是：仅在预运行状态可以进行 PDO 的配置；仅在运行状态可以进行所有 PDO 数据的输入和输出；仅切换到 bootstrap 状态时可以进行 FoE 升级固件。

### 1.1.3. CiA402 状态机

由于钛虎关节电机应用的是 IEC 61800-7 标准，内部有实现一个 CiA402 标准的状态机，控制器必须按照 402 协议规定的流程下达指令。以下为内部状态的描述。

状态	描述
初始化	正在建立通讯连接
未使能	通讯已连接，未使能，无故障
准备好	已经准备好，未使能
使能状态	电机使能，但不输出转矩
运行状态	电机使能，可以输出转矩
快速停机	在执行快速停机功能
故障停机	在执行故障停机功能
错误	有故障，已去使能

状态机的转换如下图所示：



## 1.2. CAN 通讯概述

CAN（Controller Area Network，控制器局域网）是一种高可靠性、实时性强的串行通信协议总线，它可以使用双绞线来传输信号，是世界上应用最广泛的现场总线之一，广泛应用于工业控制、机器人、汽车电子等领域。在关节模组控制系统中，CAN 总线用于实现主控制器与多个关节模组之间的高效数据交互，支持多设备组网，确保低延迟、高抗干扰的通信。

CAN 协议的特性包括完整性的串行数据通讯、提供实时支持、传输速率高达 1Mb/s。

C1 电机上支持 EtherCAT 通讯同时支持 CAN 通讯，两者可以共存，但是两者发出的控制指令不能同时生效，EtherCAT 通讯的控制指令优先级总是高于 CAN 通讯的控制指令。

### 1.2.1. CAN 组网要求：

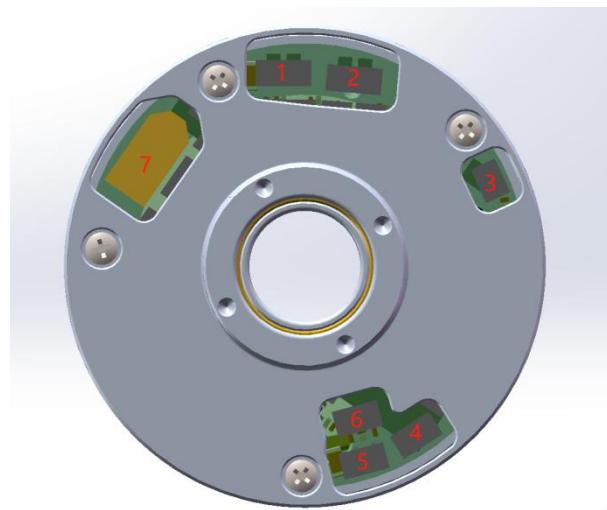
- ① CAN ID 分配：建立 CAN 通讯之前，每个关节模组必须配置唯一 CAN ID，避免地址冲突。多台设备连接时建议采用 ID 递增方式分配，便于管理和扩展。
- ② 终端电阻匹配：多台设备和一些高速收发的情况，必须要保证终端电阻正常，不然会丢包。CAN 总线两端（CAN\_H 和 CAN\_L 间）必须确保为  $120\Omega$  终端电阻，防止通信异常。建议使用创芯科技 CAN 分析仪（至尊版和 Linux 版：Linux 版兼容 windows 系统）监控总线数据，便于调试，注意分析仪终端电阻的拨码开关为一上一下拨法。
- ③ 布线规范：使用屏蔽双绞线（如 CAN 专用线缆），减少电磁干扰。总线长度建议  $\leq 40m$ （ $1Mbps$  时），降低速率可延长距离（如  $500Kbps$  时可达  $100m$ ）。避免星型或 T 型分支，采用直线型或短分支拓扑，确保信号质量。

### 1.2.2. CAN vs EtherCAT：

- ① EtherCAT 和 CAN 通信差异：
  - CAN 通信速率  $1Mbps$ ，7 个电机的应用通讯周期在  $300 Hz$  左右。
  - EtherCAT 通信速率  $100Mbps$ ，通讯周期最高支持到  $4KHz$ （csp/csv/cst 模式），不随从站数量增多而明显影响通讯周期（主要受信号传播延迟和主站运算时间影响，多加一倍的电机轴主站运算量翻倍）。
- ② C1 电机能否同时支持 CAN 和 EtherCAT 通讯？这里分两种情况讨论：
  - 单独连接 EtherCAT 和单独连接 CAN 的情况，两者都能正常控制。  
如果只使用 EtherCAT 不需要 CAN 线和 CAN 盒；如果只使用 CAN 不需要 EtherCAT 线。
  - EtherCAT 和 CAN 同时连接的情况，只能 EtherCAT 控制，CAN 只能用于监控电机状态。

## 2. 接口连接

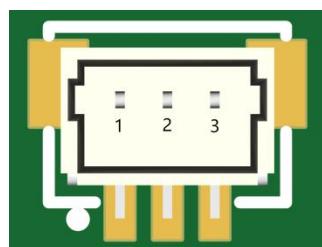
### 2.1. 关节模组接口定义



上图以 4052 电机为例展示轴向接口视图，红色数字标注接口序号，对应接口说明如下表：

接口编号	功能
1	EtherCAT 网口 IN
2	EtherCAT 网口 OUT
3	编码器电池接口
4	固件升级接口
5	CAN 总线接口
6	CAN 总线接口
7	电源接口

#### 2.1.1. CAN 通信接口



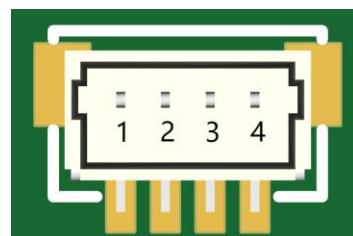
引脚序号	1	2	3
名称	H	L	G
描述	CAN 信号高	CAN 信号低	接地

### 2.1.2. 电源接口



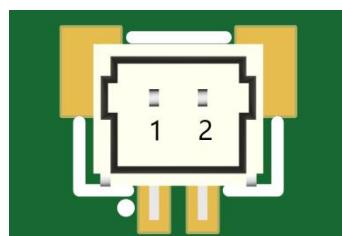
电源接口为如上图所示的插座，矩形的一端为电源正极，另一端为电源负极。

### 2.1.3. EtherCAT 网口



引脚序号	1	2	3	4
名称	Tx+	Tx-	Rx+	Rx-
描述	发送信号正	发送信号负	接收信号正	接收信号负
对应网线序号	1	2	3	6
对应网线颜色	白橙	橙	白绿	绿

### 2.1.4. 电池接口

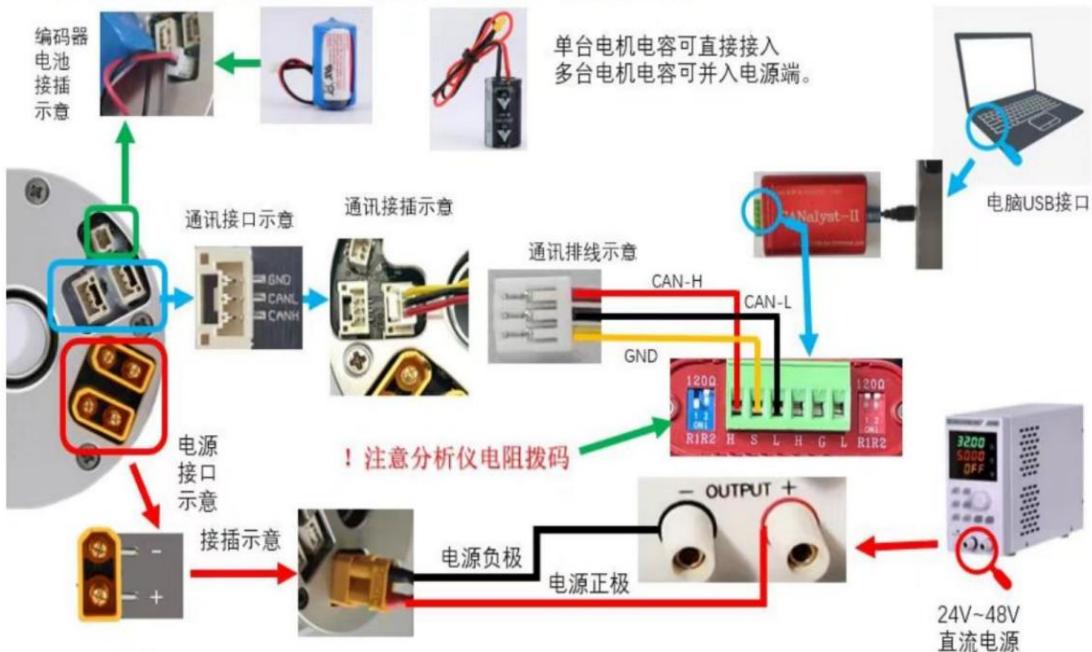


引脚序号	1	2
名称	BAT-	BAT+
描述	电池负极	电池正极

## 2.2. 关节模组接线说明

### 1. 电气安装(接线示意图如下)

快速接线示意入下图所示，实际接口含义请参照使用说明书。



### 2.2.1. EC 接线及从站地址配置

一般场景下通过网线连接顺序自动确定从站地址，连接通讯线的顺序就是从站地址递增的顺序(使用自动分配站号的情况)。

多个关节电机组网运行时注意要严格按照网口 IN 和 OUT 的顺序连接 EtherCAT 通信线，要确保网线的 IN 和 OUT 顺序不能错误，否则会导致从站地址顺序错误。

一般采用主站出线连接第一个从站的 IN，然后第一个从站的 OUT 连接第二个从站的 IN，这样首尾相连的方式一直连到最后一个从站。

如果有冗余需求，可以选用支持冗余功能的主站，并将最后一个从站的 OUT 连接到主站的第二个 EtherCAT 口。

如果首尾相连的方式不方便走线，可以尝试使用 EtherCAT 分支器。

如果确实需要手动指定 EtherCAT 从站地址，写入 SDO 参数 0x2002 即可修改当前电机的 EtherCAT 从站地址，写入 SDO 参数 0x2000 为 1，重启查看 SDO 参数 0x2000 为 0 生效。由于大部分主站默认使用网线连接顺序操作从站，因此需要注意从站端地址声明生效之后在主站的设置/代码里面选择使用从站地址声明。

### 3. EtherCAT 配置 PDO 与 SDO 参数说明

EtherCAT 上实现了 CANopen Over EtherCAT(CoE)，由此引入了 PDO 和 SDO 的概念，将数据分类有助于数据的高效低延时的传输，用户在轴数多的场景下可以精简 PDO 传输数据量以达到最佳性能。

- PDO(Process Data Object，过程数据对象)是周期性传输的，一般用于传输需要实时更新的控制字、状态字、位置指令、实际位置等，固定每个周期分别进行一次输入输出。
- SDO(Service Data Object，服务数据对象)是不固定传输周期的，如果主站不发起传输请求则一直不会传输，需要传输时由主站发起 SDO 读取/写入请求，由从站反馈读取/写入操作的结果。

#### 3.1. PDO 的选择与配置

对象字典中 0x1C12 用于管理 RxPDO(或称 Output PDO，数据流向是由主站到从站)配置，可选范围为 0x1600 到 0x17FF。0x1C13 用于管理 TxPDO(或称 Input PDO，数据流向是由从站到主站)配置，可选范围为 0x1A00 到 0x1BFF。钛虎关节电机支持三组 PDO 映射，其中 0x1600 和 0x1A00 支持动态映射(主站通过下发新的 PDO 配置的方式修改实际映射的 PDO 对象)，最大可映射 64 个对象，其余两组为固定映射，默认选择使用 0x1600 和 0x1A00。下表给出这三组 PDO 的默认值。

PDO 配置	映射对象	配置	支持的控制模式
0x1600	0x6040(控制字) 0x607A(目标位置) 0x60FF(目标速度) 0x6071(目标转矩) 0x6060(控制模式) 0x0000(用于占位对齐)	0x60400010 0x607A0020 0x60FF0020 0x60710010 0x60600008 0x00000008	全部支持的模式
0x1601	0x6040(控制字) 0x607A(目标位置)	0x60400010 0x607A0020	csp
0x1602	0x6040(控制字) 0x60FF(目标速度)	0x60400010 0x60FF0020	csv
0x1A00	0x6041(状态字) 0x6064(当前实际位置) 0x606C(当前实际速度) 0x6077(当前实际转矩) 0x6061(当前控制模式) 0x0000(用于占位对齐)	0x60410010 0x60640020 0x606C0020 0x60770010 0x60610008 0x00000008	全部支持的模式
0x1A01	0x6041(状态字) 0x6064(当前实际位置)	0x60410010 0x60640020	csp
0x1A02	0x6041(状态字) 0x6064(当前实际位置)	0x60410010 0x60640020	csv

修改 PDO 映射仅可在 Pre-OP 状态进行，规则是先将子索引 0 修改为 0，待其余子索引配置全部修改完成之后将子索引修改成需要映射的对象的数量，之后 PDO 就是新修改的映射了，注意每次开机都会恢复成默认配置，因此主站必须每次启动都重新进行配置过程。配置全部由 32 位组成，其中高 16 位由要配置的对象的索引组成，低 8 位为要配置的子索引的长度，其余 8 位为子索引的序号(配置 VARIABLE 类型的对象时都填 0)。

位数	31	...	16	15	...	8	7	...	0
内容	对象的索引			对象的子索引			数据的位长度		

### 3.2. 详细 SDO 参数说明

#### 3.2.1. 参数 0x2000 区域

索引	0x2000	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Custom Save
详细说明	用于参数断电保存。所有参数通过 SDO 写入后均不会掉电保存，这个参数写 1 之后主控才会尝试保存参数到 Flash，执行保存动作后会将这个参数值清零。在电机使能状态和报警状态会拒绝执行保存动作（这个参数读取的值一直是 1 不清零）		

索引	0x2002	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Station Alias
详细说明	用于设置从站地址声明，一般情况下推荐按网络接口顺序自动指定从站地址。若需要手动指定从站地址就给这个参数写非零值，之后如果在主站中选择使用从站地址声明即可。		

索引	0x2003	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	CST Mode Use Speed Limit Switch
详细说明	CST 模式是否使用速度限制。0 关闭，1 开启。推荐保持默认值 0，关闭这个功能。		

索引	0x2004	子索引	1
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Position PID range function Enable
详细说明	用于控制位置环 PID 分段功能开关，0 关闭，1 开启。		

索引	0x2004	子索引	2
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型

读写权限	读写	名称	<b>Position PID range function Min</b>
详细说明	用于控制位置环 PID 分段功能下限值。		

索引	0x2004	子索引	3
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	<b>Position PID range function Max</b>
详细说明	用于控制位置环 PID 分段功能上限值。		

索引	0x200A	子索引	1
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	只读	名称	<b>Motor Bus Voltage</b>
详细说明	用于读取当前电机的供电直流母线电压。单位伏特。		

索引	0x200A	子索引	2
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	<b>Motor Max Protect Bus Voltage</b>
详细说明	用于设置直流母线电压过高报警的保护值。单位伏特。		

索引	0x200A	子索引	3
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	只读	名称	<b>Motor Board Temperature</b>
详细说明	用于读取当前电机驱动板温度。单位摄氏度。		

索引	0x200A	子索引	4
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	<b>Motor Max Protect Board Temperature</b>
详细说明	用于设置电机驱动板温度过高报警的保护值。单位摄氏度。		

索引	0x200A	子索引	5
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	只读	名称	<b>Motor Coil Temperature</b>
详细说明	用于读取当前电机的线圈温度。单位摄氏度。		

索引	0x200A	子索引	6
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	<b>Motor Max Protect Coil Temperature</b>
详细说明	用于设置电机线圈温度过高报警的保护值。单位摄氏度。		

索引	0x200A	子索引	7
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	只读	名称	<b>Motor Battery Voltage</b>
详细说明	用于读取当前编码器电池电压。单位 0.01V。		

索引	0x200A	子索引	8
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Motor NTC Type
详细说明	用于设置电机温度传感器类型。出厂前设定好，类型 1 或 2。1 代表 10K 的 NTC，2 代表 100K 的 NTC。		

索引	0x200B	子索引	1
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	CAN ID
详细说明	用于设置 CAN 通信 ID。		

索引	0x200B	子索引	2
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	CAN Baudrate
详细说明	用于设置 CAN 通信波特率。设定 1000 含义是 1000kbps 即 1Mbps。		

索引	0x200C	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Motor Bus Voltage
详细说明	用于读取当前目标电流值。单位毫安		

索引	0x200D	子索引	1
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Motor Side Single turn Data
详细说明	用于读取当前电机端编码器单圈值。		

索引	0x200D	子索引	2
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Motor Side Multi turn Data
详细说明	用于读取当前电机端编码器多圈值。		

索引	0x200D	子索引	3
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Reducer Side Single turn Data
详细说明	用于读取当前减速器端编码器单圈值。		

索引	0x200D	子索引	4
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Reducer Side Multi turn Data
详细说明	用于读取当前减速器端编码器多圈值。		

索引	0x200F	子索引	1
----	--------	-----	---

比特长度	32	数据类型	单精度浮点数
读写权限	读写	名称	KP
详细说明	位置比例系数，力位混合模式生效。		

索引	0x200F	子索引	2
比特长度	32	数据类型	单精度浮点数
读写权限	读写	名称	KD
详细说明	速度比例系数，力位混合模式生效。		

索引	0x200F	子索引	3
比特长度	32	数据类型	单精度浮点数
读写权限	读写	名称	Target Position in Rad
详细说明	用于力位混合模式下，设置目标位置值，单位弧度。		

索引	0x200F	子索引	4
比特长度	32	数据类型	单精度浮点数
读写权限	读写	名称	Target Velocity in Rad/s
详细说明	用于力位混合模式下，设置目标速度值，单位弧度每秒。		

索引	0x200F	子索引	5
比特长度	32	数据类型	单精度浮点数
读写权限	读写	名称	Target Torque in NM
详细说明	用于力位混合模式下，设置目标扭矩值，单位 NM。		

索引	0x200F	子索引	6
比特长度	32	数据类型	单精度浮点数
读写权限	读写	名称	KT
详细说明	电机扭矩常数，力位混合模式生效。		

索引	0x2010	子索引	0
比特长度	32	数据类型	单精度浮点数
读写权限	只读	名称	Actual Position in Rad
详细说明	用于力位混合模式下，读取当前位置值，单位弧度。		

索引	0x2011	子索引	0
比特长度	32	数据类型	单精度浮点数
读写权限	只读	名称	Actual Velocity in Rad/s
详细说明	用于力位混合模式下，读取当前速度值，单位弧度每秒。		

索引	0x2012	子索引	0
比特长度	32	数据类型	单精度浮点数
读写权限	只读	名称	Actual Current in Ampere
详细说明	用于力位混合模式下，读取当前电流，单位安培。		

索引	0x2015	子索引	1
比特长度	32	数据类型	单精度浮点数
读写权限	读写	名称	Speed feed forward Kff
详细说明	用于调整 CSP 模式电机内部速度前馈控制的系数参数。设定值为 0-1 之间，设 0 等于关闭内部速度前馈，默认为 0。设定为 1 代表将提取到的指令速度直接叠加到速度环的给定（一般不能这么大）。		

索引	0x2015	子索引	2
比特长度	32	数据类型	单精度浮点数
读写权限	读写	名称	Speed feed forward Filter Time
详细说明	用于调整 CSP 模式电机内部速度前馈控制的滤波时间参数。单位为 1 秒。时间越长提取到的指令速度经滤波之后越平滑，但延迟也越大。		

索引	0x2016	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Position Control Mode
详细说明	用于切换位置控制方式。写 0 为全闭环外圈位置，分辨率 262144；写 1 为兼容全闭环分辨率的内圈位置，分辨率 262144；写 2 为兼容单编分辨率的内圈位置，分辨率为 $65536 \times$ 减速比。		

索引	0x2018	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Brake Control
详细说明	用于控制刹车工作状态。写 0 刹车断电(电机被抱死无法自由旋转)，写 1 刹车通电(电机自由旋转不受刹车影响)。		

### 3.2.2. 参数 0x6000 区域

索引	0x603F	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	只读	名称	Error Code
详细说明	错误代码。含义见错误代码表。		

索引	0x6040	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Control Word
详细说明	用于控制 402 状态机。主站从启动到给出电机使能应按 06->86->06->07->0F->1F 的顺序给出控制字，否则可能导致异常状态。		

索引	0x6041	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	只读	名称	Status Word
详细说明	用于读取 402 状态机状态信息。		

索引	0x6060	子索引	0
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Modes of Operation
详细说明	控制电机运行模式。-1 为力位混合模式，1 为轮廓位置模式，3 为轮廓速度模式，4 为轮廓转矩模式，6 为回原模式，8 为周期同步位置模式，9 为周期同步速度模式，10 为周期同步转矩模式。		

索引	0x6061	子索引	0
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	只读	名称	Modes of Operation Display
详细说明	电机运行模式显示。含义同 0x6060。注意：在主站未打开 DC 同步时，6061 不会跟随 6060 变化而变化。只有在 DC 同步打开且 6060 是受支持的控制模式时 6061 会跟随 6060 变化。		

索引	0x6062	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Position Demand Value
详细说明	当前实际生效的目标位置。以编码器脉冲数计数。转换成输出端角度需要考虑是单编码器还是双编码器电机，单编码器参考公式：输出端角度=位置值/65536/减速比*360；双编码器参考公式：输出端角度=位置值/262144*360；双编码器如果开启了另有说明的位置控制模式以单独说明为准，默认不开启。		

索引	0x6064	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Position Actual Value
详细说明	当前实际位置值。以编码器脉冲数计数。转换成输出端角度需要考虑是单编码器还是双编码器电机，单编码器参考公式：输出端角度=位置值/65536/减速比*360；双编码器参考公式：输出端角度=位置值/262144*360；双编码器如果开启了另有说明的位置控制模式以单独说明为准，默认不开启。		

索引	0x6065	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Following Error Window
详细说明	实际跟随误差报警窗口。以编码器脉冲数计数。当目标位置 0x6062 与实际位置 0x6064 之差的绝对值大于这个值的时候会开始计时，持续 0x6066 设置的时间会报警位置误差过大。		

索引	0x6066	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Following Error Time Out
详细说明	跟随误差超时时间。单位 250us。比如设定 40 含义时跟随误差持续 10ms 会报警跟随误差过大。		

索引	0x606B	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Velocity Demand Value
详细说明	实际速度指令值。单位编码器脉冲数每秒 cnt/s。反馈速度为电机端速度，如需获取输出端速度使用公式：输出端速度=电机端速度/减速比（不区分单编码器、双编码器）。		

索引	0x606C	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Velocity Actual Value
详细说明	实际速度反馈值。单位编码器脉冲数每秒 cnt/s。反馈速度为电机端速度，如需获取输出端速度使用公式：输出端速度=电机端速度/减速比（不区分单编码器、双编码器）。		

索引	0x6071	子索引	0
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Target Torque
详细说明	目标转矩。千分之一最大转矩为单位。		

索引	0x6074	子索引	0
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	只读	名称	Torque Demand Value
详细说明	实际生效的目标转矩。千分之一最大转矩为单位。		

索引	0x6075	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Motor Rated Current
详细说明	电机最大电流。单位毫安。		

索引	0x6077	子索引	0
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	只读	名称	Torque Actual Value
详细说明	转矩反馈值。千分之一最大转矩为单位。		

索引	0x6078	子索引	0
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	只读	名称	Current Actual Value

详细说明	电流反馈值。千分之一最大电流为单位。		
------	--------------------	--	--

索引	0x6079	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	DC Link Circuit Voltage
详细说明	直流母线电压。单位伏特。		

索引	0x607A	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Target Position
详细说明	目标位置值。以编码器脉冲数计数。		

索引	0x607C	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Home Offset
详细说明	原点位置。以编码器脉冲数计数。回原点模式使用。		

索引	0x607D	子索引	1
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Software Position limit Min
详细说明	软件位置限制，最小值。以编码器脉冲数计数。在所有模式下均生效，设定为有符号整数最小值等于解除限制。		

索引	0x607D	子索引	2
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Software Position limit Max
详细说明	软件位置限制，最大值。以编码器脉冲数计数。在所有模式下均生效，设定为有符号整数最大值等于解除限制。		

索引	0x607E	子索引	0
比特长度	8	数据类型	无符号 8 位整型
读写权限	读写	名称	Polarity
详细说明	极性设置。最高位 bit7 置一取反位置正方向，bit6 置一取反速度正方向，bit5 置一取反转矩正方向。使能状态慎重修改，会导致位置、速度、转矩的反馈取反突变，可能导致不预期的电机运动。		

索引	0x607F	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Max Profile Velocity
详细说明	电机端最大轮廓速度。单位编码器脉冲数每秒 cnt/s。		

索引	0x6080	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型

读写权限	读写	名称	Max Motor Speed
详细说明	电机端最大输出速度。单位圈每分 RPM。		

索引	0x6081	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Profile Velocity
详细说明	轮廓速度，用于设定实际位置控制的那一端的轮廓速度，单编电机端，双编默认输出端（具有参数可修改为电机端位置控制模式）。单位编码器脉冲数每秒 cnt/s。轮廓位置模式生效。		

索引	0x6083	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Profile Acceleration
详细说明	电机端轮廓加速度，用于设定实际位置控制的那一端的轮廓加速度，单编电机端，双编默认输出端（具有参数可修改为电机端位置控制模式）。单位编码器脉冲数每平方秒 cnt/s^2。轮廓位置模式和轮廓速度模式生效。		

索引	0x6084	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Profile Declaration
详细说明	电机端轮廓减速度，用于设定实际位置控制的那一端的轮廓加速度，单编电机端，双编默认输出端（具有参数可修改为电机端位置控制模式）。单位编码器脉冲数每平方秒 cnt/s^2。目前电机内置的轨迹规划算法不支持单独设置减速度，减速度强制等于加速度。		

索引	0x6087	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Torque Slope
详细说明	转矩斜坡。单位千分之一最大转矩每秒。仅轮廓转矩模式生效。		

索引	0x6098	子索引	0
比特长度	8	数据类型	有符号 8 位整型
读写权限	读写	名称	Homing Method
详细说明	回原模式。目前仅支持回原模式 35。		

索引	0x60A4	子索引	1
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Jerk
详细说明	轮廓加加速度值，用于设定实际位置控制的那一端的轮廓加加速度，单编电机端，双编默认输出端（具有参数可修改为电机端位置控制模式）。单位编码器脉冲数每立方秒 cnt/s^3。轮廓位置模式和轮廓速度模式生效。（固件版本 1.8.5.0 以下没有开放，默认值 131072）。		

索引	0x60B0	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Position Offset
详细说明	位置偏置。会与目标位置 0x607A 叠加。主要用于由控制器给定位置前馈。		

索引	0x60B1	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Velocity Offset
详细说明	速度偏置。会与目标速度 0x60FF 叠加。主要用于由控制器给定速度前馈。		

索引	0x60B2	子索引	0
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Torque Offset
详细说明	转矩偏置。会与目标转矩 0x6071 叠加。主要用于由控制器给定转矩前馈。		

索引	0x60B8	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Touch Probe function
详细说明	探针功能控制。		

索引	0x60B9	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Touch Probe status
详细说明	探针状态。		

索引	0x60BA	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Touch Probe position 1 positive value
详细说明	探针 1 上升沿位置值。		

索引	0x60BB	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Touch Probe position 1 negative value
详细说明	探针 1 下降沿位置值。		

索引	0x60BC	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Touch Probe position 2 positive value
详细说明	探针 2 上升沿位置值。		

索引	0x60BD	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型

读写权限	读写	名称	Touch Probe position 2 negative value
详细说明	探针 2 下降沿位置值。		

索引	0x60C5	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Max Acceleration
详细说明	最大加速度。设置轮廓位置模式、轮廓速度模式、原点回零模式下加速段的最大允许加速度。		

索引	0x60D0	子索引	1
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Touch Probe 1 Source
详细说明	探针 1 触发源选择。		

索引	0x60D0	子索引	2
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Touch Probe 2 Source
详细说明	探针 2 触发源选择。		

索引	0x60D1	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Touch Probe time stamp 1 positive value
详细说明	探针 1 上升沿触发时间戳。记录触发采样时 DC 时钟值。		

索引	0x60D2	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Touch Probe time stamp 1 negative value
详细说明	探针 1 下降沿触发时间戳。记录触发采样时 DC 时钟值。		

索引	0x60D3	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Touch Probe time stamp 2 positive value
详细说明	探针 2 上升沿触发时间戳。记录触发采样时 DC 时钟值。		

索引	0x60D4	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Touch Probe time stamp 2 negative value
详细说明	探针 2 下降沿触发时间戳。记录触发采样时 DC 时钟值。		

索引	0x60D5	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Touch Probe 1 positive edge counter
详细说明	探针 1 上升沿触发计数器。记录触发次数。		

索引	0x60D6	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Touch Probe 1 negative edge counter
详细说明	探针 1 下降沿触发计数器。记录触发次数。		

索引	0x60D7	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Touch Probe 2 positive edge counter
详细说明	探针 2 上升沿触发计数器。记录触发次数。		

索引	0x60D8	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Touch Probe 2 negative edge counter
详细说明	探针 2 下降沿触发计数器。记录触发次数。		

索引	0x60E0	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Torque Limit Positive Value
详细说明	正方向转矩限制值。单位千分之一最大转矩，取值范围 0-1000。		

索引	0x60E1	子索引	0
比特长度	16	数据类型	无符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Torque Limit Negative Value
详细说明	反方向转矩限制值。单位千分之一最大转矩，取值范围 0-1000。		

索引	0x60E3	子索引	1
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	只读	名称	Supported Homing Methods 1
详细说明	支持的回原模式 1。		

索引	0x60F4	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	只读	名称	Following Error Actual Value
详细说明	跟随误差。目标位置与反馈位置的差值。		

索引	0x60F6	子索引	1
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Current PID Regulator Gain P
详细说明	电流环 PID 参数 P 系数。		

索引	0x60F6	子索引	2
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型

读写权限	读写	名称	Current PID Regulator Gain I
详细说明	电流环 PID 参数 I 系数。		

索引	0x60F9	子索引	1
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Velocity PID Regulator Gain P
详细说明	速度环 PID 参数 P 系数。		

索引	0x60F9	子索引	2
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Velocity PID Regulator Gain I
详细说明	速度环 PID 参数 I 系数。		

索引	0x60FB	子索引	1
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Position PID Regulator Gain P
详细说明	位置环 PID 参数 P 系数。		

索引	0x60FB	子索引	2
比特长度	16	数据类型	有符号 16 位整型
读写权限	读写	名称	Position PID Regulator Gain D
详细说明	位置环 PID 参数 D 系数。		

索引	0x60FF	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号 32 位整型
读写权限	读写	名称	Target Velocity
详细说明	目标速度。单位编码器脉冲数每秒 cnt/s。		

#### 4. EtherCAT 控制字 Control Word (0x6040)

CIA 402 标准协议中，对于控制字各个位的官方释义如下：

## DATA DESCRIPTION

The bits of the *controlword* are defined as follows:

15	11	10	9	8	7	6	4	3	2	1	0
manufacturer specific	reserved	halt	Fault reset	Operation mode specific	Enable operation	Quick stop	Enable voltage	Switch on			
O	O	O	M	O	M	M	M	M			
MSB						LSB					
0	-	Optional				M	-	Mandatory			

下图为 CiA 402 标准协议中，对于控制字切换各个状态的官方写入建议：

### BITS 0 – 3 AND 7:

Device control commands are triggered by the following bit patterns in the *controlword*:

Command	Bit of the controlword					Transitions
	Fault reset	Enable operation	Quick stop	Enable voltage	Switch on	
Shutdown	0	X	1	1	0	2,6,8
Switch on	0	0	1	1	1	3*
Switch on	0	1	1	1	1	3**
Disable voltage	0	X	X	0	X	7,9,10,12
Quick stop	0	X	0	1	X	7,10,11
Disable operation	0	0	1	1	1	5
Enable operation	0	1	1	1	1	4,16
Fault reset	[ ]	X	X	X	X	15

Table 4: Device control commands (bits marked X are irrelevant, \* ... In the state SWITCHED ON the drive executes the functionality of this state., \*\* ... It exists no functionality in the state SWITCHED ON. The drive does not do any in this state.)

下图为 CiA 402 标准协议中对于不同模式控制字中个别位的官方释义：

#### **BITS 4, 5, 6 AND 8:**

These bits are operation mode specific. The description is situated in the chapter of the special mode. The following table gives an overview:

Bit	Operation mode					
	Velocity mode	Profile position mode	Profile velocity mode	Profile torque mode	Homing mode	Interpolation position mode
4	rfg enable	New set-point	reserved	reserved	Homing operation start	Enable ip mode
5	rfg unlock	Change set immediately	reserved	reserved	reserved	reserved
6	rfg use ref	abs / rel	reserved	reserved	reserved	reserved
8	Halt	Halt	Halt	Halt	Halt	Halt

Table 5: Mode specific bits in the *controlword*

以下是以钛虎 C1 电机，EtherCAT 控制字的详细说明：

#### 4.1.1. 所有模式共用的控制字 Control Word (0x6040)

控制模式下有单独说明的，以单独说明的为准

控制字	名称	作用
Bit0, 0x0001	switch on	准备运行
Bit1, 0x0002	enable voltage	接通主电路
Bit2, 0x0004	quick stop	快速停止功能，不支持
Bit3, 0x0008	enable operation	使能电机
bit7, 0x0080	fault reset	复位错误，置 1 时触发复位错误动作，否则应置 0
Bit8, 0x0100	halt	停止功能，不支持
其他未描述的位	-	查看不同控制模式下的定义，或保留未使用

#### 4.1.2. 轮廓位置模式 (PP) 专用的控制字 Control Word (0x6040)

控制字	名称	作用
Bit4, 0x0010	new_point	置 1 时通知电机有新的目标位置，触发轨迹规划运算（固件版本 1.8.5.0 以下会运行一个位置之后无需置 1，直接修改新的目标位置就会触发轨迹规划运算）
Bit5, 0x0020	change_immediately	支持立即运行模式，置 1 立即运行更新位置
Bit6, 0x0040	abs_rel	绝对位置相对位置选择，0 绝对位置，1 相对位置
Bit8, 0x0100	halt	如果正在运行上一个指令，置 1 将以 0x6083 的加速度改变速度，使速度变为 0
其他未描述的位	-	与其他模式共用，定义一致，或保留

## 5. EtherCAT 状态字 Status Word (0x6041)

CiA 402 标准协议中，对于状态字各个位的官方释义如下：

DATA DESCRIPTION																
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
MSB															LSB	

Bit	Description	M / O
0	Ready to switch on	M
1	Switched on	M
2	Operation enabled	M
3	Fault	M
4	Voltage enabled	M
5	Quick stop	M
6	Switch on disabled	M
7	Warning	O
8	Manufacturer specific	O
9	Remote	M
10	Target reached	M
11	Internal limit active	M
12 - 13	Operation mode specific	O
14 - 15	Manufacturer specific	O

Table 6: Bits in the statusword

下图为 CiA 402 标准协议中，对于状态字个别位的官方释义：：

### **BITS 0 – 3, 5 AND 6:**

The following bits indicate the status of the device:

Value (binary)	State
xxxx xxxx x0xx 0000	Not ready to switch on
xxxx xxxx x1xx 0000	Switch on disabled
xxxx xxxx x01x 0001	Ready to switch on
xxxx xxxx x01x 0011	Switched on
xxxx xxxx x01x 0111	Operation enabled
xxxx xxxx x00x 0111	Quick stop active
xxxx xxxx x0xx 1111	Fault reaction active
xxxx xxxx x0xx 1000	Fault

Table 7: Device state bits (x ... irrelevant for this state)

以下是以钛虎 C1 电机，EtherCAT 状态字的详细说明：

### 5.1.1. 所有模式共用的状态字 Status Word (0x6041)

控制模式下有单独说明的，以单独说明的为准

状态字	名称	作用
Bit0, 0x0001	ready to switch on	1 表示准备好，0 没准备好
Bit1, 0x0002	switch on	1 表示可以开启使能了，0 不可以
Bit2, 0x0004	operation enabled	1 表示电机已经使能了，0 没有
Bit3, 0x0008	fault	1 表示故障发生了，0 没有
Bit4, 0x0010	voltage enabled	1 表示主电路通电了，0 没有
Bit5, 0x0020	quick stop	暂不支持
Bit6, 0x0040	switch on disabled	1 表示不可运行，0 可以
bit7, 0x0080	warning	1 表示警告，0 没有警告
Bit9, 0x0200	remote	1 表示接受远程控制，0 表示不接受
Bit10, 0x0400	target reach	1 表示设置点到达，需要查看对应的模式了解具体含义
Bit11, 0x0800	internal limit active	1 表示软件位置限制功能激活，0 表示当前没有被限制
Bit12, 0x1000	drive follow the command value	周期同步位置模式下均为 1，无意义
其他未描述的位	-	查看不同控制模式下的定义，或保留未使用

### 5.1.2. 轮廓位置模式 (PP) 专用的状态字 Status Word (0x6041)

状态字	名称	作用
Bit6, 0x0400	target_reached	置 1 代表到达目标位置，否则为 0
Bit12, 0x1000	set_point_acknowledge	置 0 时允许发送新的位置，否则置 1
Bit13, 0x2000	Following_error	置 1 代表追随误差大错误，实际无效，如果追随误差大于 0x6065:00 持续 0x6066:00 个通讯周期会报错 0x8611(在 0x603F:00 处读取到)
其他未描述的位	-	与其他模式共用，定义一致，或保留

## 6. EtherCAT 控制模式 Modes of Operation (0x6060)

如果没有激活 DC 同步，mode of operation display 不会随着 mode of operation 变化。激活 DC 之后才能正常使能电机。

若新适配的 EtherCAT 主站不能控制电机运行位置模式：①Modes Of Operation 和 Modes Of Operation Display 都为 0，这代表主站给出来的模式不对，需要想办法修改；②Modes Of Operation 不为 0，Modes Of Operation Display 为 0，这代表主站给出来的模式没有被电机接受，需要检查主站有没有激活 DC 和 Modes Of Operation 是否不支持这两种情况。

下表为钛虎关节电机支持的控制模式 0x6060（Modes of Operation）：

Value	模式	简介
0x08	周期同步位置模式(CSP)	控制器生成位置规划，并通过 EtherCAT 总线周期性下达指令，关节电机进行位置控制
0x09	周期同步速度模式(CSV)	控制器生成速度规划，并通过 EtherCAT 总线周期性下达指令，关节电机进行速度控制
0x0A	周期同步转矩模式(CST)	控制器生成转矩规划，并通过 EtherCAT 总线周期性下达指令，关节电机进行转矩控制
0x01	轮廓位置模式(PP)	关节电机生成位置规划，控制器通过 EtherCAT 总线设置参数，关节电机进行位置控制
0x03	轮廓速度模式(PV)	关节电机生成速度规划，控制器通过 EtherCAT 总线设置参数，关节电机进行速度控制
0x04	轮廓转矩模式(TQ)	关节电机生成转矩规划，控制器通过 EtherCAT 总线设置参数，关节电机进行转矩控制
0xFF	力位混合模式(PT)	控制器通过 EtherCAT 总线设置 KP KD 和目标位置等参数，关节电机根据混合控制策略动态调整输出，实现位置跟踪和力约束的协同控制
0x06	原点回归模式(HM)	控制器通过 EtherCAT 总线设置参数，关节电机执行自动原点回归

下表为使用显示控制模式 0x6061（Modes of Operation Display）读取当前的运行模式：

Value	模式
0x08	周期同步位置模式(CSP)
0x09	周期同步速度模式(CSV)
0x0A	周期同步转矩模式(CST)
0x01	轮廓位置模式(PP)
0x03	轮廓速度模式(PV)
0x04	轮廓转矩模式(TQ)
0xFF	力位混合模式(PT)
0x06	原点回归模式(HM)

## 6.1. 周期同步位置模式(CSP)

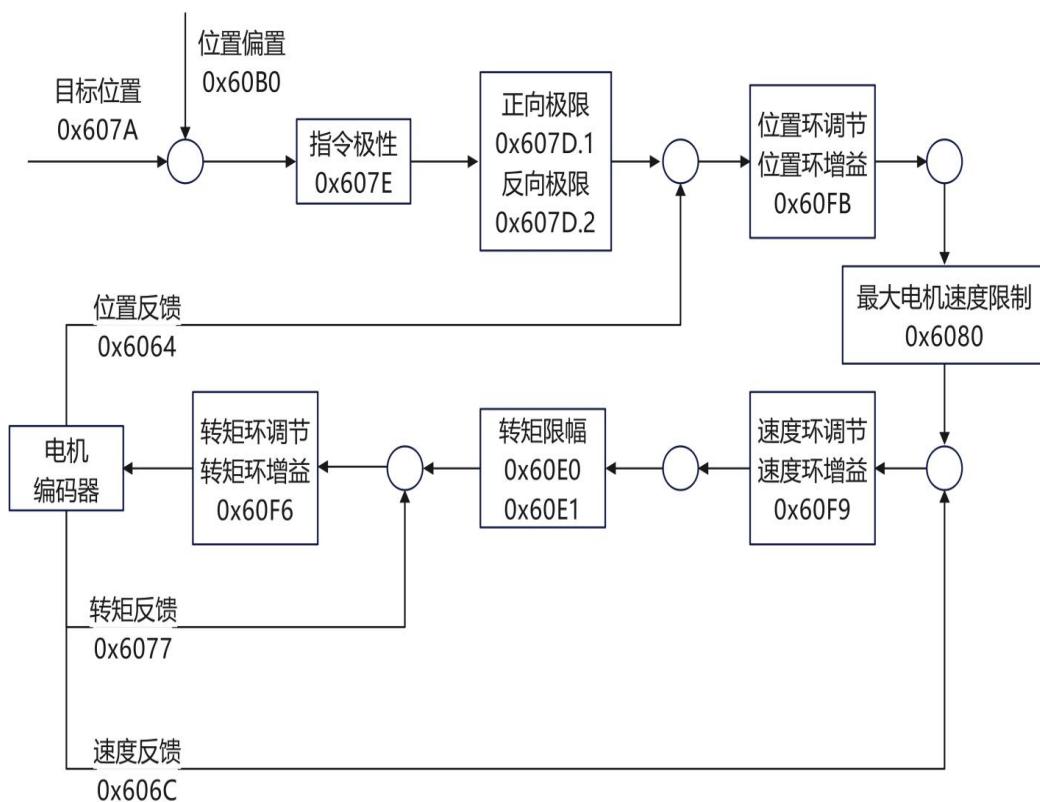
周期同步位置模式下，控制器生成位置指令规划，将规划好的目标位置周期性的发送到关节电机，之后由关节电机进行位置控制。

使用此模式需确保 0x6060 等于 8。注意，如果要通过 SDO 写入的方式改写 0x6060，需要确保 PDO 内容中没有配置 0x6060，否则 PDO 中 0x6060 的值会覆盖 SDO 写入的值（实际生效的是最后一次写入的值）。

下面给出一个使用周期同步位置模式控制电机使能的控制字和控制模式转变的流程：

转变次数	控制字 6040	控制模式 6060
1	06	00
2	86	00
3	86	08
4	06	08
5	07	08
6	0F	08
7	1F	08

### 6.1.1. 功能框图



### 6.1.2. 推荐 PDO 配置

推荐使用默认 PDO 配置，或者至少配置下表中的参数到 PDO，以正常使用 CSP 模式，其他参数按需配置。

RxPDO	TxPDO
0x6040: 控制字	0x6041: 状态字
0x607A: 目标位置	0x6064: 实际位置

### 6.1.3. 相关参数说明

下表汇总了 CSP 控制模式相关的参数 PDO 配置信息，参数具体功能和用法可参考 CSP 模式功能框图以及 SDO 参数说明章节的描述。

名称	索引	子索引	位长度	类型	访问方式
实际位置	0x6064	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
位置偏差过大阈值	0x6065	0	32bit	无符号	RxPDO 和 SDO
位置偏差过大超时时间	0x6066	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
实际速度	0x606C	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际转矩指令	0x6074	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际转矩	0x6077	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
目标位置	0x607A	0	32bit	有符号	RxPDO 和 SDO
位置软限位正向极限	0x607D	1	32bit	有符号	仅 SDO
位置软限位负向极限	0x607D	2	32bit	有符号	仅 SDO
指令极性	0x607E	0	8bit	无符号	RxPDO 和 SDO
电机最大速度	0x6080	0	32bit	无符号	仅 SDO
位置偏置	0x60B0	0	32bit	有符号	RxPDO 和 SDO
速度偏置	0x60B1	0	32bit	有符号	RxPDO 和 SDO
转矩偏置	0x60B2	0	16bit	有符号	RxPDO 和 SDO
正向转矩输出限制	0x60E0	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
反向转矩输出限制	0x60E1	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
实际跟随误差	0x60F4	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
转矩控制比例增益	0x60F6	1	16bit	有符号	仅 SDO
转矩控制积分增益	0x60F6	2	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制比例增益	0x60F9	1	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制积分增益	0x60F9	2	16bit	有符号	仅 SDO
位置控制比例增益	0x60FB	1	16bit	有符号	仅 SDO
位置控制微分增益	0x60FB	2	16bit	有符号	仅 SDO

## 6.2. 周期同步速度模式(CSV)

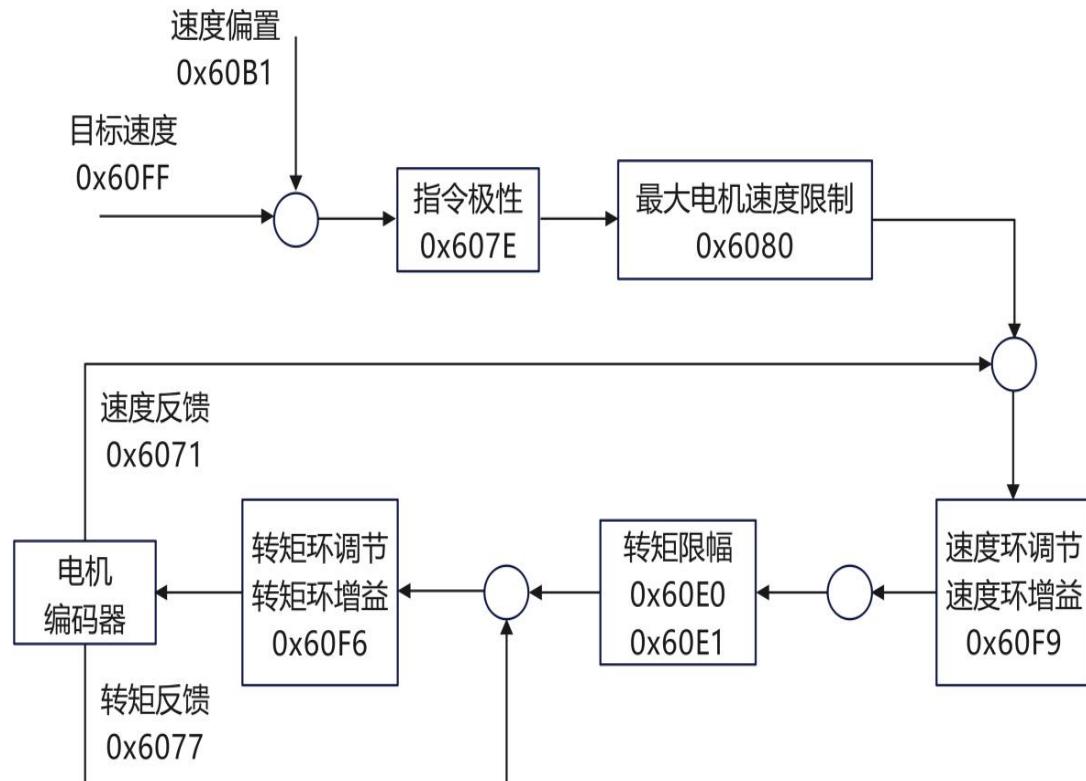
周期同步速度模式下，控制器生成速度指令规划，将规划好的目标速度周期性的发送到关节电机，之后由关节电机进行速度控制。

使用此模式需确保 0x6060 等于 9。注意，如果要通过 SDO 写入的方式改写 0x6060，需要确保 PDO 内容中没有配置 0x6060，否则 PDO 中 0x6060 的值会覆盖 SDO 写入的值（实际生效的是最后一次写入的值）。

下面给出一个使用周期同步速度模式控制电机使能的控制字和控制模式转变的流程：

转变次数	控制字 6040	控制模式 6060
1	06	00
2	86	00
3	86	09
4	06	09
5	07	09
6	0F	09
7	1F	09

### 6.2.1. 功能框图



### 6.2.2. 推荐 PDO 配置

推荐至少配置下表中的参数到 PDO，以正常使用 CSV 模式，其他参数按需配置。

RxPDO	TxPDO
0x6040: 控制字	0x6041: 状态字
0x60FF: 目标速度	0x606C: 实际速度

### 6.2.3. 相关参数说明

下表汇总了 CSV 控制模式相关的参数 PDO 配置信息，参数具体功能和用法可参考 CSV 模式功能框图以及 SDO 参数说明章节的描述。

名称	索引	子索引	位长度	类型	访问方式
实际位置	0x6064	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际速度	0x606C	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际转矩指令	0x6074	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际转矩	0x6077	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
位置软限位正向极限	0x607D	1	32bit	有符号	仅 SDO
位置软限位负向极限	0x607D	2	32bit	有符号	仅 SDO
指令极性	0x607E	0	8bit	无符号	RxPDO 和 SDO
电机最大速度	0x6080	0	32bit	无符号	仅 SDO
速度偏置	0x60B1	0	32bit	有符号	RxPDO 和 SDO
转矩偏置	0x60B2	0	16bit	有符号	RxPDO 和 SDO
正向转矩输出限制	0x60E0	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
反向转矩输出限制	0x60E1	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
转矩控制比例增益	0x60F6	1	16bit	有符号	仅 SDO
转矩控制积分增益	0x60F6	2	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制比例增益	0x60F9	1	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制积分增益	0x60F9	2	16bit	有符号	仅 SDO
目标速度	0x60FF	0	32bit	有符号	RxPDO 和 SDO

### 6.3. 周期同步转矩模式(CST)

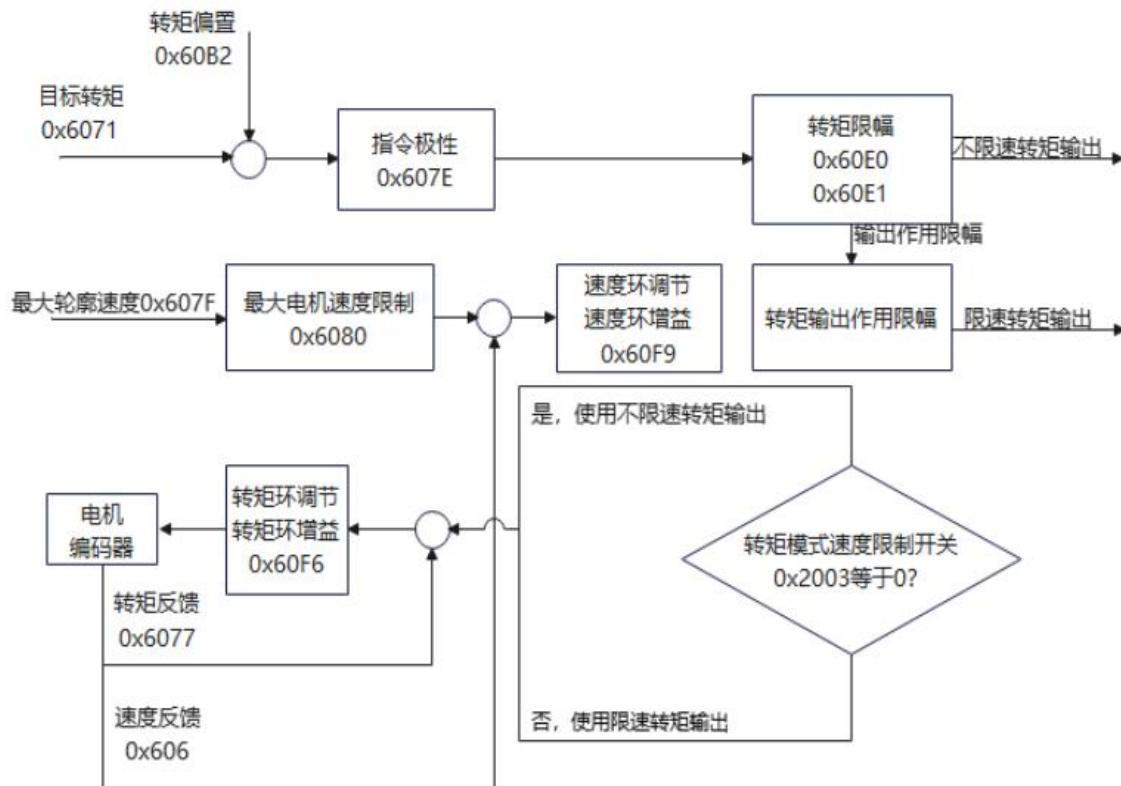
周期同步转矩模式下，控制器生成转矩指令规划，将规划好的目标转矩周期性的发送到关节电机，之后由关节电机进行转矩控制。

使用此模式需确保 0x6060 等于 10。注意，如果要通过 SDO 写入的方式改写 0x6060，需要确保 PDO 内容中没有配置 0x6060，否则 PDO 中 0x6060 的值会覆盖 SDO 写入的值（实际生效的是最后一次写入的值）。

下面给出一个使用周期同步转矩模式控制电机使能的控制字和控制模式转变的流程：

转变次数	控制字 6040	控制模式 6060
1	06	00
2	86	00
3	86	0A
4	06	0A
5	07	0A
6	0F	0A
7	1F	0A

#### 6.3.1. 功能框图



### 6.3.2. 推荐 PDO 配置

推荐至少配置下表中的参数到 PDO，以正常使用 CST 模式，其他参数按需配置。

RxPDO	TxPDO
0x6040: 控制字	0x6041: 状态字
0x6071: 目标转矩	0x6077: 实际转矩

### 6.3.3. 相关参数说明

下表汇总了 CST 控制模式相关的参数 PDO 配置信息，参数具体功能和用法可参考 CST 模式功能框图以及 SDO 参数说明章节的描述。

名称	索引	子索引	位长度	类型	访问方式
实际速度	0x606C	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
目标转矩	0x6071	0	16bit	有符号	RxPDO 和 SDO
实际转矩指令	0x6074	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际转矩	0x6077	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
位置软限位正向极限	0x607D	1	32bit	有符号	仅 SDO
位置软限位负向极限	0x607D	2	32bit	有符号	仅 SDO
指令极性	0x607E	0	8bit	无符号	RxPDO 和 SDO
最大速度限制	0x607F	0	32bit	无符号	RxPDO 和 SDO
电机最大速度	0x6080	0	32bit	无符号	仅 SDO
转矩偏置	0x60B2	0	16bit	有符号	RxPDO 和 SDO
正向转矩输出限制	0x60E0	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
反向转矩输出限制	0x60E1	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
转矩控制比例增益	0x60F6	1	16bit	有符号	仅 SDO
转矩控制积分增益	0x60F6	2	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制比例增益	0x60F9	1	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制积分增益	0x60F9	2	16bit	有符号	仅 SDO

#### 6.4. 轮廓位置模式(PP)

轮廓位置模式下控制器设定目标位置、运行速度、加减速，由关节电机内部实时生成位置指令进行位置控制。

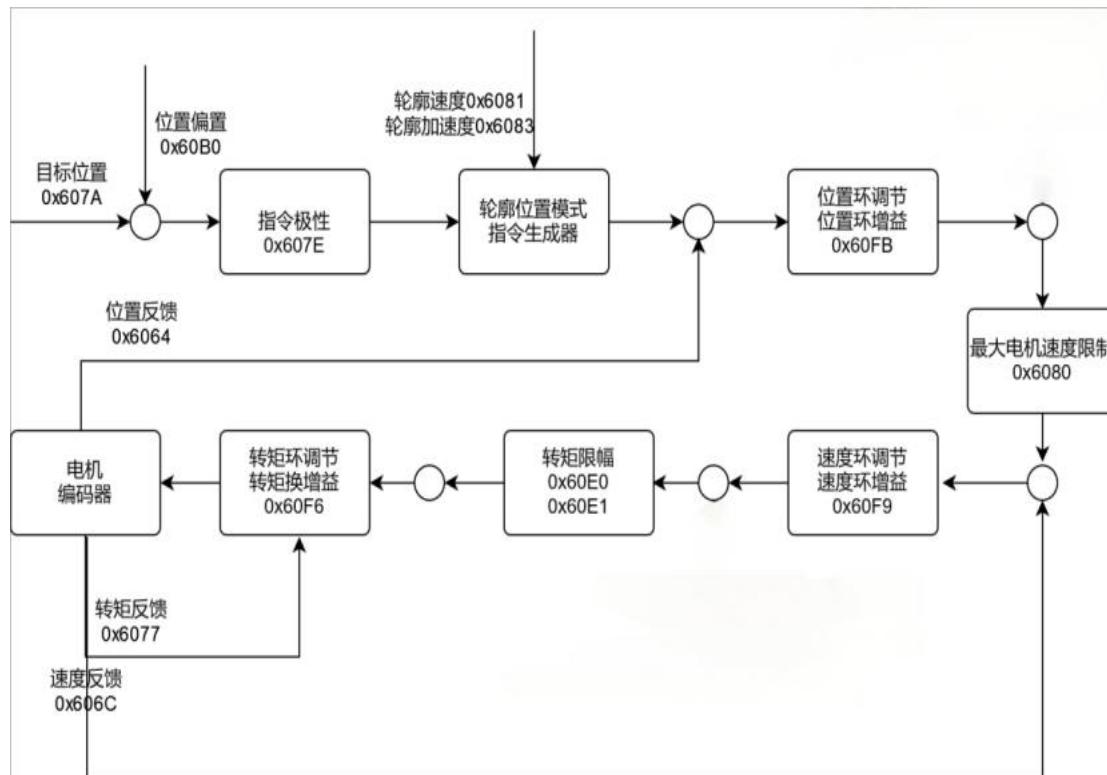
使用此模式需确保 0x6060 等于 1。注意，如果要通过 SDO 写入的方式改写 0x6060，需要确保 PDO 内容中没有配置 0x6060，否则 PDO 中 0x6060 的值会覆盖 SDO 写入的值（实际生效的是最后一次写入的值）。

轮廓速度 0x6081:00、轮廓加速度 0x6083:00、轮廓加加速度 0x60A4:01 没有掉电保存，每次重新上电需要通过 SDO 再设置一遍。轮廓加加速度 0x60A4:01 在固件版本 1.8.5.0 以下没有开放，默认值 1310720，写入失败可以忽略。

下面给出一个使用控制电机使能轮廓位置模式控制字和控制模式转变的流程：

转变次数	控制字 6040	控制模式 6060
1	06	00
2	86	00
3	86	01
4	06	01
5	07	01
6	0F	01
7	1F	01

#### 6.4.1. 功能框图



### 6.4.2. 最小 PDO 配置

控制字的 0x0010 位在固件版本 1.8.5.0 以下无法触发，上一个位置指令执行完成后，在控制字 0x000F 状态下不给 0x001F 就会直接向新的位置运行（期望电机不动的时候给出的目标位置不变化，两个版本就基本兼容）。

推荐至少配置下表中的参数到 PDO 才可正常使用 PP 模式，其他参数按需配置。

RxPDO	TxPDO
0x6040: 控制字	0x6041: 状态字
0x607A: 目标位置	0x6064: 实际位置

### 6.4.3. 相关参数说明

下表汇总了 PP 控制模式相关的参数 PDO 配置信息，参数具体功能和用法可参考 PP 模式功能框图以及 SDO 参数说明章节的描述。

名称	索引	子索引	位长度	类型	访问方式
实际位置	0x6064	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
位置偏差过大阈值	0x6065	0	32bit	无符号	RxPDO 和 SDO
位置偏差过大超时时间	0x6066	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
实际速度	0x606C	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际转矩指令	0x6074	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际转矩	0x6077	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
目标位置	0x607A	0	32bit	有符号	RxPDO 和 SDO
位置软限位正向极限	0x607D	1	32bit	有符号	仅 SDO
位置软限位负向极限	0x607D	2	32bit	有符号	仅 SDO
指令极性	0x607E	0	8bit	无符号	RxPDO 和 SDO
电机最大速度	0x6080	0	32bit	无符号	仅 SDO
轮廓运行速度	0x6081	0	32bit	有符号	RxPDO 和 SDO
轮廓加速度	0x6083	0	32bit	无符号	RxPDO 和 SDO
位置偏置	0x60B0	0	32bit	有符号	RxPDO 和 SDO
速度偏置	0x60B1	0	32bit	有符号	RxPDO 和 SDO
转矩偏置	0x60B2	0	16bit	有符号	RxPDO 和 SDO
正向转矩输出限制	0x60E0	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
反向转矩输出限制	0x60E1	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
实际跟随误差	0x60F4	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
转矩控制比例增益	0x60F6	1	16bit	有符号	仅 SDO
转矩控制积分增益	0x60F6	2	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制比例增益	0x60F9	1	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制积分增益	0x60F9	2	16bit	有符号	仅 SDO
位置控制比例增益	0x60FB	1	16bit	有符号	仅 SDO
位置控制微分增益	0x60FB	2	16bit	有符号	仅 SDO

## 6.5. 轮廓速度模式(PV)

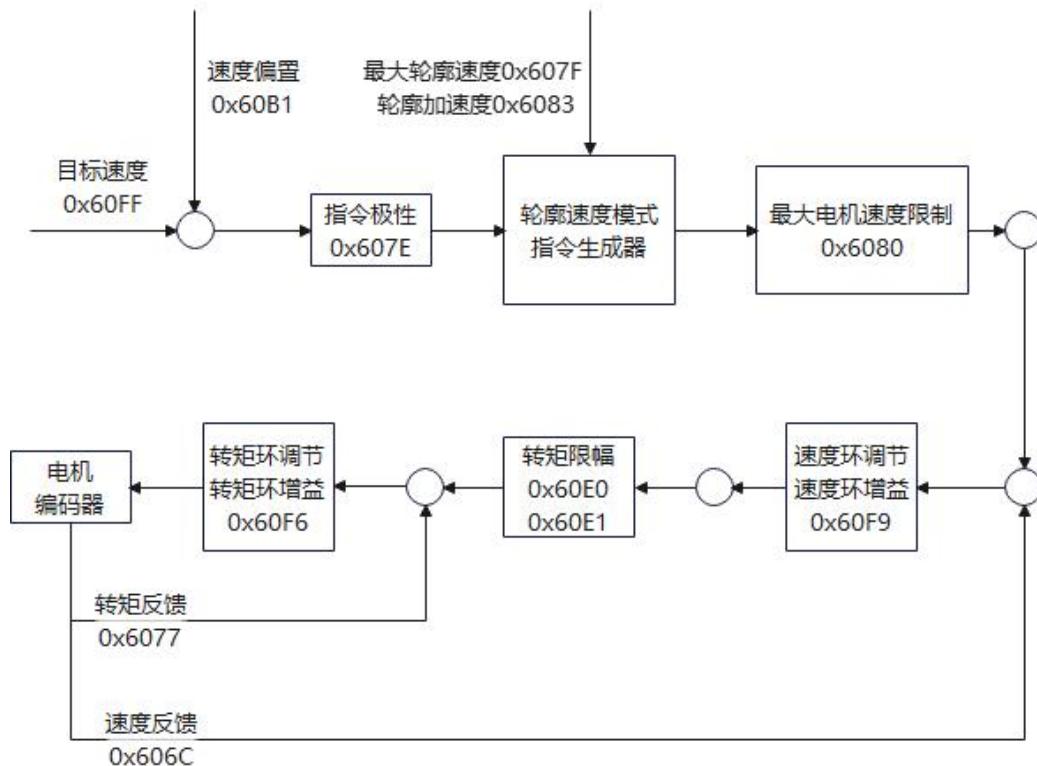
轮廓速度模式下控制器设定目标速度、加速度、减速度，由关节电机内部实时生成速度指令进行速度控制。

使用此模式需确保 0x6060 等于 3。注意，如果要通过 SDO 写入的方式改写 0x6060，需要确保 PDO 内容中没有配置 0x6060，否则 PDO 中 0x6060 的值会覆盖 SDO 写入的值（实际生效的是最后一次写入的值）。

下面给出一个使用控制电机使能轮廓速度模式控制字和控制模式转变的流程：

转变次数	控制字 6040	控制模式 6060
1	06	00
2	86	00
3	86	03
4	06	03
5	07	03
6	0F	03
7	1F	03

### 6.5.1. 功能框图



### 6.5.2. 最小 PDO 配置

至少配置下表中的参数到 PDO 才可正常使用 PV 模式，其他参数按需配置。

RxPDO	TxPDO
0x6040: 控制字	0x6041: 状态字
0x60FF: 目标速度	0x606C: 实际速度

### 6.5.3. 相关参数说明

下表汇总了 PV 控制模式相关的参数 PDO 配置信息，参数具体功能和用法可参考 PV 模式功能框图以及 SDO 参数说明章节的描述。

名称	索引	子索引	位长度	类型	访问方式
实际位置	0x6064	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际速度	0x606C	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际转矩指令	0x6074	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际转矩	0x6077	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
位置软限位正向极限	0x607D	1	32bit	有符号	仅 SDO
位置软限位负向极限	0x607D	2	32bit	有符号	仅 SDO
指令极性	0x607E	0	8bit	无符号	RxPDO 和 SDO
电机最大速度	0x6080	0	32bit	无符号	仅 SDO
轮廓加速度	0x6083	0	32bit	无符号	仅 SDO
速度偏置	0x60B1	0	32bit	有符号	RxPDO 和 SDO
转矩偏置	0x60B2	0	16bit	有符号	RxPDO 和 SDO
正向转矩输出限制	0x60E0	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
反向转矩输出限制	0x60E1	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
转矩控制比例增益	0x60F6	1	16bit	有符号	仅 SDO
转矩控制积分增益	0x60F6	2	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制比例增益	0x60F9	1	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制积分增益	0x60F9	2	16bit	有符号	仅 SDO
目标速度	0x60FF	0	32bit	有符号	RxPDO 和 SDO

## 6.6. 轮廓转矩模式(TQ)

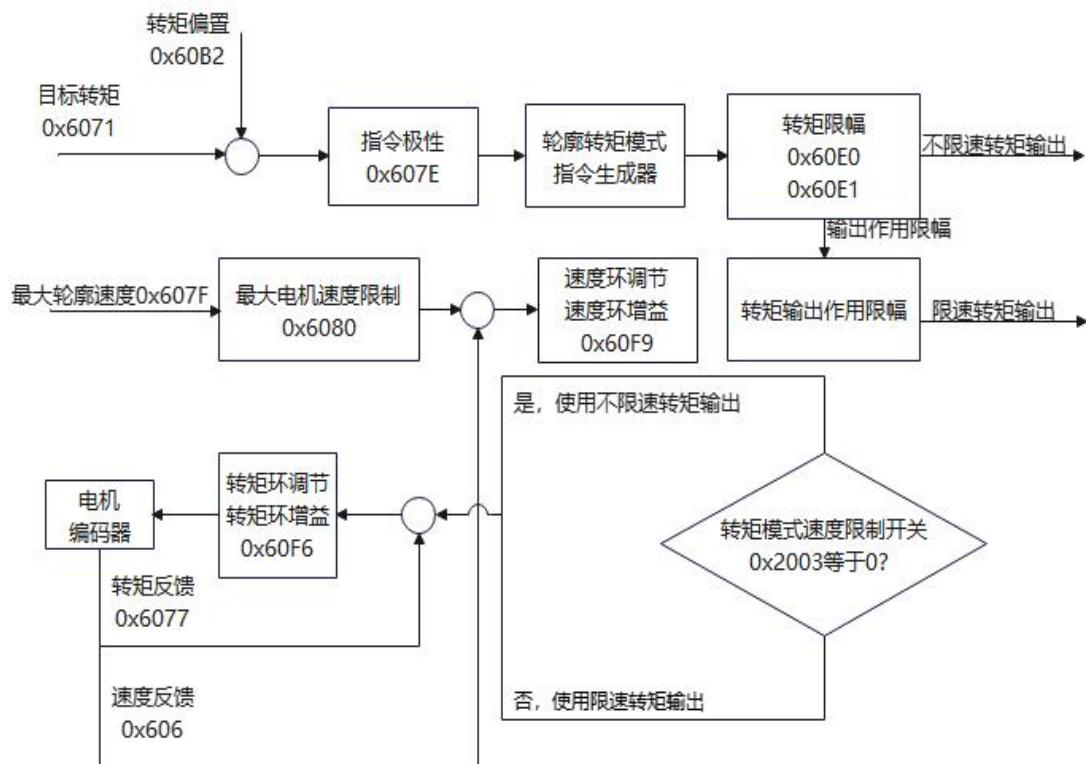
轮廓转矩模式下控制器设定目标转矩、转矩斜坡常数，由关节电机内部实时生成转矩指令进行转矩控制。

使用此模式需确保 0x6060 等于 4。注意，如果要通过 SDO 写入的方式改写 0x6060，需要确保 PDO 内容中没有配置 0x6060，否则 PDO 中 0x6060 的值会覆盖 SDO 写入的值（实际生效的是最后一次写入的值）。

下面给出一个使用控制电机使能轮廓转矩模式控制字和控制模式转变的流程：

转变次数	控制字 6040	控制模式 6060
1	06	00
2	86	00
3	86	04
4	06	04
5	07	04
6	0F	04
7	1F	04

### 6.6.1. 功能框图



## 6.6.2. 最小 PDO 配置

至少配置下表中的参数到 PDO 才可正常使用 TQ 模式，其他参数按需配置。

RxPDO	TxPDO
0x6040: 控制字	0x6041: 状态字
0x6071: 目标转矩	0x6077: 实际转矩

## 6.6.3. 相关参数说明

下表汇总了 TQ 控制模式相关的参数 PDO 配置信息，参数具体功能和用法可参考 TQ 模式功能框图以及 SDO 参数说明章节的描述。

名称	索引	子索引	位长度	类型	访问方式
实际速度	0x606C	0	32bit	有符号	TxPDO 和 SDO
实际转矩指令	0x6074	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
目标转矩	0x6071	0	16bit	有符号	RxPDO 和 SDO
实际转矩	0x6077	0	16bit	有符号	TxPDO 和 SDO
位置软限位正向极限	0x607D	1	32bit	有符号	仅 SDO
位置软限位负向极限	0x607D	2	32bit	有符号	仅 SDO
指令极性	0x607E	0	8bit	无符号	RxPDO 和 SDO
最大速度限制	0x607F	0	32bit	无符号	RxPDO 和 SDO
电机最大速度	0x6080	0	32bit	无符号	仅 SDO
转矩斜坡	0x6087	0	32bit	无符号	RxPDO 和 SDO
转矩偏置	0x60B2	0	16bit	有符号	RxPDO 和 SDO
正向转矩输出限制	0x60E0	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
反向转矩输出限制	0x60E1	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
转矩控制比例增益	0x60F6	1	16bit	有符号	仅 SDO
转矩控制积分增益	0x60F6	2	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制比例增益	0x60F9	1	16bit	有符号	仅 SDO
速度控制积分增益	0x60F9	2	16bit	有符号	仅 SDO

## 6.7. 力位混合模式(PT)

力位混合模式下，控制器通过 EtherCAT 总线设置 KP、KD 和目标位置等参数，关节电机根据混合控制策略动态调整输出，实现位置跟踪和力约束的协同控制。

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：

$$\text{Motor\_current} = (\text{KP} \times (\text{pos\_desired} - \text{pos\_current}) + \text{KD} \times (\text{spd\_desired} - \text{spd\_current}) + \text{Torque}) / \text{KT}$$

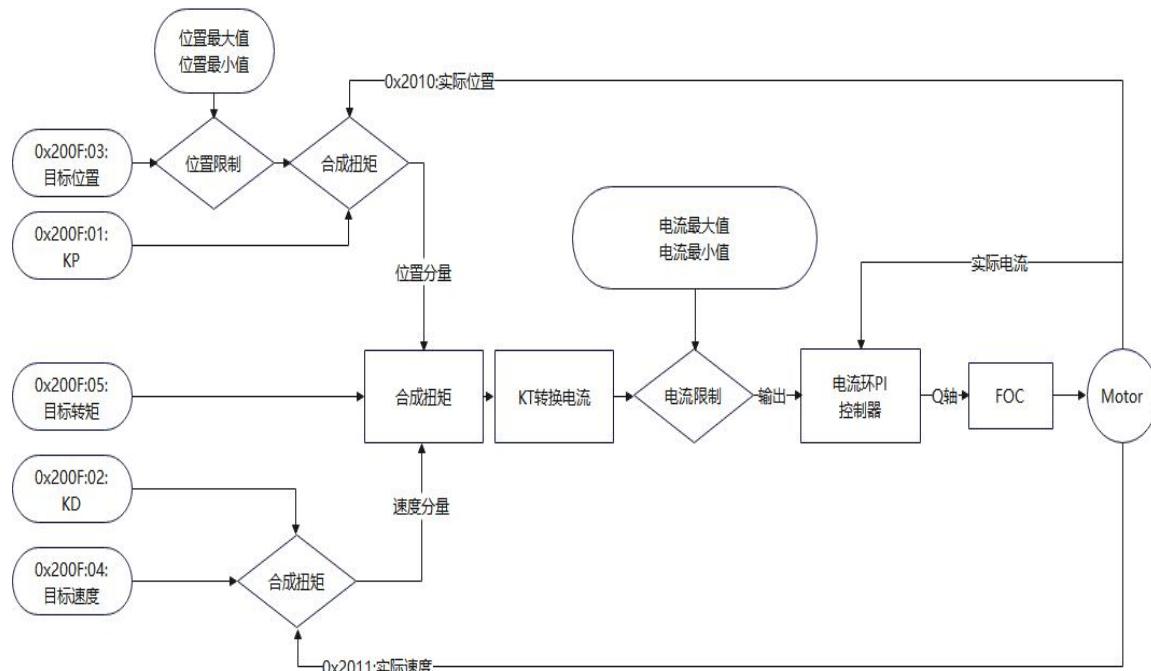
KP、KD 参数是随时更改的参数，KT 是电机扭矩常数。本模式主要用于足式机器人的控制。空载下 KP 参考值为 15，KD 参考值为 0.5。

使用此模式需确保 0x6060 等于 -1。注意，如果要通过 SDO 写入的方式改写 0x6060，需要确保 PDO 内容中没有配置 0x6060，否则 PDO 中 0x6060 的值会覆盖 SDO 写入的值（实际生效的是最后一次写入的值）。

下面给出一个使用控制电机使能力位混合模式控制字和控制模式转变的流程：

转变次数	控制字 6040	控制模式 6060
1	06	00
2	86	00
3	86	FF
4	06	FF
5	07	FF
6	0F	FF
7	1F	FF

### 6.7.1. 功能框图



### 6.7.2. 最小 PDO 配置

至少配置下表中的参数到 PDO 才可正常使用 PT 模式，其他参数按需配置。

RxPDO	TxPDO
0x6040: 控制字	0x6041: 状态字
0x200F: 01: KP	
0x200F: 02: KD	
0x200F: 03: 目标位置	0x2010: 实际位置
0x200F: 04: 目标速度	0x2011: 实际速度
0x200F: 05: 目标扭矩	0x2012: 实际电流

### 6.7.3. 相关参数说明

下表汇总了 PT 控制模式相关的参数 PDO 配置信息，参数具体功能和用法可参考 PT 模式功能框图以及 SDO 参数说明章节的描述。

名称	索引	子索引	位长度	类型	访问方式
KP 位置比例系数	0x200F	1	32bit	单精度浮点数	RxPDO 和 SDO
KD 速度比例系数	0x200F	2	32bit	单精度浮点数	RxPDO 和 SDO
目标位置 (弧度)	0x200F	3	32bit	单精度浮点数	RxPDO 和 SDO
目标速度 (弧度每秒)	0x200F	4	32bit	单精度浮点数	RxPDO 和 SDO
目标扭矩	0x200F	5	32bit	单精度浮点数	RxPDO 和 SDO
KT 电机扭矩常数	0x200F	6	32bit	单精度浮点数	RxPDO 和 SDO
实际位置 (弧度)	0x2010	0	32bit	单精度浮点数	TxPDO 和 SDO
实际速度 (弧度每秒)	0x2011	0	32bit	单精度浮点数	TxPDO 和 SDO
实际电流	0x2012	0	32bit	单精度浮点数	TxPDO 和 SDO
位置软限位正向极限	0x607D	1	32bit	有符号	仅 SDO
位置软限位负向极限	0x607D	2	32bit	有符号	仅 SDO
指令极性	0x607E	0	8bit	无符号	RxPDO 和 SDO
最大速度限制	0x607F	0	32bit	无符号	RxPDO 和 SDO
电机最大速度	0x6080	0	32bit	无符号	仅 SDO
转矩斜坡	0x6087	0	32bit	无符号	RxPDO 和 SDO
转矩偏置	0x60B2	0	16bit	有符号	RxPDO 和 SDO
正向转矩输出限制	0x60E0	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO
反向转矩输出限制	0x60E1	0	16bit	无符号	RxPDO 和 SDO

## 6.8. 原点回归模式(HM)

原点回归模式下，控制器通过 EtherCAT 总线设置参数，关节电机执行自动原点回归。

使用此模式需确保 0x6060 的值为 6，0x6098 的值为 35。注意，如果要通过 SDO 写入的方式改写 0x6060，需要确保 PDO 内容中没有配置 0x6060，否则 PDO 中 0x6060 的值会覆盖 SDO 写入的值（实际生效的是最后一次写入的值）。

下面给出一个使用控制电机使能原点回归模式控制字和控制模式转变的流程：

转变次数	控制字 6040	控制模式 6060
1	06	00
2	86	00
3	86	06
4	06	06
5	07	06
6	0F	06
7	1F	06

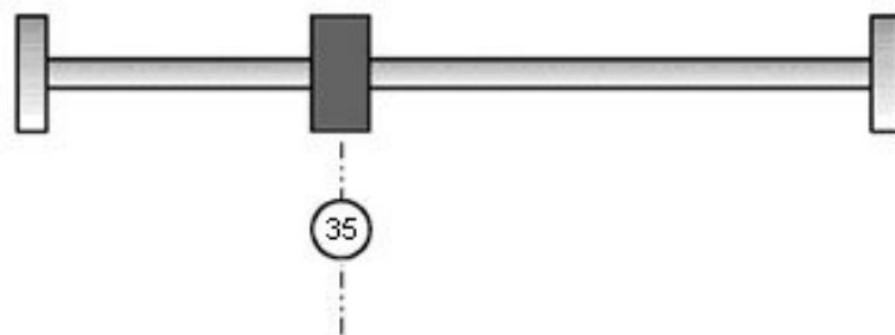
### 6.8.1. 最小 PDO 配置

至少配置下表中的参数到 PDO 才可正常使用 HM 模式，其他参数按需配置。

RxPDO	TxPDO
0x6040: 控制字	0x6041: 状态字

### 6.8.2. 回原方式说明

HM 控制模式仅支持 35 回原方式，即以当前位置设为零点。



## 7. CAN 控制模式

经典 CAN 消息有效数据长度为 1 字节、2 字节、3 字节、4 字节、5 字节、6 字节、7 字节、8 字节，只有 FDCAN 消息才能有长度到 64 字节的消息长度。通过对 CAN 消息中数据长度分类的方式，下面将电机接收的 CAN 指令分类描述。

### 7.1. 一字节指令

指令名称	电机去使能
指令报文(hex)	02
指令回复(hex)	无
指令说明	接收到这个指令的时候电机会立即去使能，如果有刹车，会立即给刹车，电机不能继续运动

指令名称	获取电机运行模式
指令报文(hex)	03
指令回复(hex)	03 08 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合，例如“08 00 00 00”组合后转换成十进制就是 8，“09 00 00 00”组合后转换成十进制就是 9。 回复状态中，8 为位置模式，9 为速度模式，10 为电流模式，1 为轮廓位置模式，3 为轮廓速度模式，4 为轮廓电流模式。

指令名称	获取电机反馈电流
指令报文(hex)	04
指令回复(hex)	04 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，正数代表正向电流，负数代表反向电流，数据单位为毫安。

指令名称	获取电机反馈滤波电流
指令报文(hex)	05
指令回复(hex)	05 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，正数代表正向电流，负数代表反向电流，数据单位为 1mA。

指令名称	获取电机速度
指令报文(hex)	06
指令回复(hex)	06 00 00 00 00

指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，正数代表正向速度，负数代表反向速度，数据单位为 0.01Hz(0.01rps)，注意速度为减速机高速侧电机速度。
------	--

指令名称	获取电机目标速度
指令报文(hex)	07
指令回复(hex)	07 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，正数代表正向速度，负数代表反向速度，数据单位为 0.01Hz(0.01rps)，注意速度为减速机高速侧电机速度。

指令名称	获取反馈位置
指令报文(hex)	08
指令回复(hex)	08 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，代表电机的绝对位置，数据单位为编码器 cnt，单编为减速机高速侧电机位置，双编为减速机低速侧输出轴位置。

指令名称	获取目标位置
指令报文(hex)	09
指令回复(hex)	09 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，代表电机的目标位置。

指令名称	获取报错状态
指令报文(hex)	0A
指令回复(hex)	0A 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，代表电机的报错代码，0 就是没有报错，非 0 就是有报错，然后根据哪个 bit 是 1 判断什么报错。 bit0 代表电机内部软件错误，如电机运行时写入 FLASH 等 bit1 代表过压 bit2 代表欠压 bit4 代表启动错误 bit5 代表速度反馈错误 bit6 代表过流 bit7 代表软件错误，如电机运行时写入 FLASH 等 bit16 代表编码器通讯错误 bit17 代表电机温度过高

	<p><b>bit18</b> 代表电路板温度过高</p> <p><b>bit19</b> 代表驱动芯片错误/电流过载</p> <p><b>bit20</b> 代表 EtherCAT 通讯错误(连接 EC 然后断开 EC 会产生，重启主站或重新上电消除)</p> <p><b>Bit21</b> 代表位置追随误差过大错误(仅位置和轮廓位置模式会有，CAN 默认不开启此功能)</p>
--	---

指令名称	清除报错
指令报文(hex)	0B
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令后电机即清除当前错误代码，尝试让电机恢复正常可运行状态。部分情况下清除完成后仍然报错无法进入运行状态，比如温度持续过高时会持续产生温度超范围报警，需要等待冷却之后才能继续运行。

指令名称	恢复出厂设置
指令报文(hex)	0D
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令后电机即执行从 Flash 恢复参数，并保存到 flash，需要在停止状态下执行。

指令名称	保存参数到 flash
指令报文(hex)	0E
指令回复(hex)	无
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 收到指令后执行保存参数到 flash 动作，需要在停止状态下执行。

指令名称	恢复出厂设置
指令报文(hex)	0F
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令后电机即执行恢复默认参数，不保存到 flash。需要在停止状态下执行。如需保存到 Flash 需要再使用 0x0E 指令保存。

指令名称	获取速度环比例
指令报文(hex)	10
指令回复(hex)	10 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，代表速度环比例值。

指令名称	获取速度环积分
指令报文(hex)	11
指令回复(hex)	11 00 00 00 00

指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，代表速度环积分值。
------	---

指令名称	获取位置环比例
指令报文(hex)	12
指令回复(hex)	12 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，代表速度环比例值。

指令名称	获取位置环微分
指令报文(hex)	13
指令回复(hex)	13 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，代表速度环微分值。

指令名称	获取母线电压
指令报文(hex)	14
指令回复(hex)	14 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，代表母线电压值，单位 1V。

指令名称	获取最大加速度
指令报文(hex)	16
指令回复(hex)	16 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，代表最大加速度参数值。注意这个参数仅 CAN 控制速度模式下有效。

指令名称	获取最小加速度
指令报文(hex)	17
指令回复(hex)	17 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，代表最小加速度参数值。注意这个参数仅 CAN 控制速度模式下有效。

指令名称	获取最大速度
指令报文(hex)	18

指令回复(hex)	18 00 00 00 00
指令说明	<p>回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。</p> <p>回复数据为有符号 32 位数，代表最大速度参数值。任何情况下速度环的指令速度无法大于这个参数的设定值。设定单位为 0.01Hz(0.01rps)。</p>

指令名称	获取最小速度
指令报文(hex)	19
指令回复(hex)	19 00 00 00 00
指令说明	<p>回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。</p> <p>回复数据为有符号 32 位数，代表最小速度参数值。任何情况下速度环的指令速度无法小于这个参数的设定值。设定单位为 0.01Hz(0.01rps)。</p>

指令名称	获取最大位置
指令报文(hex)	1A
指令回复(hex)	1A 00 00 00 00
指令说明	<p>回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。</p> <p>回复数据为有符号 32 位数，代表最大位置参数值。位置限制会一直生效，如果需要关掉可以设置为 INT32_MAX 和 INT32_MIN。推荐设置一个合理的值</p>

指令名称	获取最小位置
指令报文(hex)	1B
指令回复(hex)	1B 00 00 00 00
指令说明	<p>回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。</p> <p>回复数据为有符号 32 位数，代表最小位置参数值。位置限制会一直生效，如果需要关掉可以设置为 INT32_MAX 和 INT32_MIN。推荐设置一个合理的值</p>

指令名称	获取电机温度
指令报文(hex)	31
指令回复(hex)	31 00 00 00 00
指令说明	<p>回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。</p> <p>回复数据为有符号 32 位数，代表电机当前温度。单位为 1 摄氏度。</p>

指令名称	获取驱动器温度
指令报文(hex)	32
指令回复(hex)	32 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一

	个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，代表电机当前温度。单位为 1 摄氏度。
--	--

指令名称	获取速度环微分
指令报文(hex)	33
指令回复(hex)	33 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前速度环微分参数值。

指令名称	获取位置环积分
指令报文(hex)	34
指令回复(hex)	34 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前位置环积分参数值。

指令名称	获取最大限制电流
指令报文(hex)	35
指令回复(hex)	35 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，最大限制电流参数值。单位为 1mA。默认为最大绝对限制电流的 75%。

指令名称	获取最小限制电流
指令报文(hex)	36
指令回复(hex)	36 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，最小限制电流参数值。单位为 1mA。默认为最大绝对限制电流的 75%。

指令名称	获取最大绝对限制电流
指令报文(hex)	37
指令回复(hex)	37 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，最大绝对限制电流参数值。单位为 1mA。 限制电流参数的绝对值任何时候应该小于最大绝对限制电流参数值。

指令名称	获取轮廓加速度
指令报文(hex)	3B

指令回复(hex)	3B 00 00 00 00
指令说明	<p>回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。</p> <p>回复数据为有符号 32 位数，当前轮廓加速度值，轮廓位置模式和轮廓速度模式有效。单位 cnt/s^2。</p>

指令名称	获取轮廓加速度
指令报文(hex)	3C
指令回复(hex)	3C 00 00 00 00
指令说明	<p>回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。</p> <p>回复数据为有符号 32 位数，当前轮廓加速度值，轮廓位置模式和轮廓速度模式有效。单位 cnt/s^2。</p>

指令名称	获取电流速度位置反馈
指令报文(hex)	41
指令回复(hex)	01 00 02 00 03 00 00 00
指令说明	<p>回复八字节中，第 1 和第 2 字节为反馈电流，第 3 和第 4 字节为反馈速度，最后 4 字节为反馈位置，都按地位在前高位在后的顺序组合。例如”01 00”代表反馈电流 1mA，“02 00”代表反馈速度 0.02Hz，“03 00 00 00”代表反馈位置为 3 (cnt)。</p>

指令名称	获取当前位置偏移
指令报文(hex)	54
指令回复(hex)	54 00 00 00 00
指令说明	<p>回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。</p> <p>回复数据为有符号 32 位数，当前电机位置偏移值。在位置偏移为 0，位置反馈为 12345 时，设定位置偏移为 12345 可使位置反馈变为 0。</p>

指令名称	获取电机型号信息
指令报文(hex)	64
指令回复(hex)	64 00 00 00 00
指令说明	<p>回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。</p> <p>回复数据为有符号 32 位数，当前电机型号识别代码，上位机可解析代码生效方便人阅读的字符串。</p>

指令名称	获取电机软件版本号
指令报文(hex)	65
指令回复(hex)	65 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。

	回复数据为有符号 32 位数，当前电机软件版本号代码。
--	-----------------------------

指令名称	获取电机硬件版本号
指令报文(hex)	66
指令回复(hex)	66 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前电机硬件版本号代码。

指令名称	获取电角度
指令报文(hex)	6F
指令回复(hex)	6F 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前电角度数值。如果为 0 代表还没有进行电角度对齐，需要进行电角度对齐操作，一般出厂已经有非 0 值且保存到 flash 了。

指令名称	获取编码器工作模式
指令报文(hex)	70
指令回复(hex)	70 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前编码器工作模式。

指令名称	获取 8 字节指令控制模式
指令报文(hex)	71
指令回复(hex)	71 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前 8 字节指令控制模式。0 为力位混合模式，1 为轮廓位置模式。

指令名称	获取编码器电池电压
指令报文(hex)	78
指令回复(hex)	78 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前编码器电池电压，单位 0.01V。

指令名称	获取内圈编码器位置
指令报文(hex)	79
指令回复(hex)	79 00 00 00 00

指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前内圈编码器位置值。
------	---

指令名称	获取电流环 KP
指令报文(hex)	85
指令回复(hex)	85 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前电流环 KP 值。

指令名称	获取电流环 KI
指令报文(hex)	86
指令回复(hex)	86 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前电流环 KI 值。

指令名称	获取最大电压
指令报文(hex)	8A
指令回复(hex)	8A 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前最大电压值。实际电压超过这个电压值会产生电压报警。

指令名称	获取最小电压
指令报文(hex)	8C
指令回复(hex)	8C 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前最小电压值。实际电压低于这个电压值会产生电压报警。

指令名称	获取电机最大温度
指令报文(hex)	8F
指令回复(hex)	8F 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前电机最大温度值，单位 1 摄氏度。电机实际温度超过这个温度值会产生温度报警。

指令名称	获取驱动器最大温度
------	-----------

指令报文(hex)	93
指令回复(hex)	93 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前驱动器最大温度值，单位 1 摄氏度。驱动器实际温度超过这个温度值会产生温度报警。

指令名称	获取内环编码器单圈值
指令报文(hex)	94
指令回复(hex)	94 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前内环编码器单圈值。

指令名称	获取内环编码器多圈值
指令报文(hex)	95
指令回复(hex)	95 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前内环编码器多圈值。

指令名称	获取外环编码器单圈值
指令报文(hex)	96
指令回复(hex)	96 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前外环编码器单圈值。

指令名称	获取外环编码器多圈值
指令报文(hex)	97
指令回复(hex)	97 00 00 00 00
指令说明	回复五字节中，第一个字节是收到的报文指令不变，剩余 4 字节组成一个 32 位整数，按低位在前高位在后的顺序组合。 回复数据为有符号 32 位数，当前外环编码器多圈值。

## 7.2. 五字节指令

指令名称	电机去使能
指令报文(hex)	02 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>这条指令中指令参数没有意义。收到指令后电机立即进行去使能动作，如果有刹车也会同时给刹车断电让刹车阻止电机旋转。</p>

指令名称	设置目标电流
指令报文(hex)	1C 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>收到指令后电机进入电流控制模式，指令参数用于设定目标电流。电流的最终给定具有内部限制。</p>

指令名称	设置目标速度
指令报文(hex)	1D 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>如果指令参数在设定的速度限制范围之内，收到指令后电机进入速度控制模式，指令参数用于设定目标速度。</p> <p>如果指令参数在设定的速度限制范围之外，收到指令后电机的指令状态不发生改变（如果收到指令之前就是速度模式，电机仍然运行在速度模式且目标速度不变）</p>

指令名称	设置目标位置
指令报文(hex)	1E 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>如果指令参数在设定的位置限制范围之内，收到指令后电机进入位置控制模式，指令参数用于设定目标位置。</p> <p>如果指令参数在设定的位置限制范围之外，收到指令后电机的指令状态不发生改变（如果收到指令之前就是位置模式，电机仍然运行在位置模式且目标位置不变）</p>

指令名称	设置最大电流
指令报文(hex)	20 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后

	的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为最大电流限制值。
--	--

指令名称	设置最小电流
指令报文(hex)	21 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为最小电流限制值。

指令名称	设置加速度
指令报文(hex)	22 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为加速度值。仅速度模式参数有效。

指令名称	设置减速度
指令报文(hex)	23 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为减速度值。仅速度模式参数有效。

指令名称	设置最大速度
指令报文(hex)	24 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为最大速度限制值。

指令名称	设置最小速度
指令报文(hex)	25 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为最小速度限制值。

指令名称	设置最大位置
指令报文(hex)	26 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。

	指令参数被设定为最大位置限制值。
--	------------------

指令名称	设置最小位置
指令报文(hex)	27 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为最小位置限制值。

指令名称	设置速度环比例
指令报文(hex)	29 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为速度环比例系数。

指令名称	设置速度环积分
指令报文(hex)	2A 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为速度环积分系数。

指令名称	设置位置环比例
指令报文(hex)	2B 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为位置环比例系数。

指令名称	设置位置环微分
指令报文(hex)	2D 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为位置环微分系数。

指令名称	设置 CAN 通讯 ID
指令报文(hex)	2E 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数被设定为 CAN 通讯 ID，设定后立即生效，但是这条指令不会保

	存 flash，需要断电保存的话需要使用 0x0E 保存指令。
--	---------------------------------

指令名称	设置电机电角度(如需写入电角度，先联系原厂技术人员确认)
指令报文(hex)	3A 00 00 00 00
指令回复(hex)	3A 00 00 00 00
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>指令参数被设定为电机电角度。一般用于清除电机电角度(设为 0)，或软件更新之后重新设定电角度(需要在更新前记录实际电角度值)。</p> <p>需要按顺序发送</p> <p>发 3A 00 00 00 00 回 3A 00 00 00 00  发 3A 01 00 00 00 回 3A 01 00 00 00  发 3A 02 00 00 00 回 3A 02 00 00 00  发 3A 03 00 00 00 回 3A 03 00 00 00  发 3A 00 00 00 00 回 3A 00 00 00 00</p> <p>最后一条指令中指令参数为 0 就是清除电机电角度，为之前记录的电角度值就是重新设定电角度值。注意如果随意设定可能导致电机无法运行或运行电流大、发热等。</p>

指令名称	设置轮廓加速度
指令报文(hex)	3B 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>指令参数被设定为轮廓加速度。仅轮廓位置模式和轮廓速度模式与有效，单位为 cnt/s^2。</p>

指令名称	设置轮廓加加速度
指令报文(hex)	3C 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>指令参数被设定为轮廓加加速度。仅轮廓位置模式和轮廓速度模式与有效，单位为 cnt/s^3。</p>

指令名称	设置 CAN 通讯波特率
指令报文(hex)	3F 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>指令参数被设定为 CAN 通讯波特率。设定后立即生效，不掉电保存，如果需要掉电保存需要在设定完成后以新设定的波特率和电机建立通讯，再使用 0x0E 指令保存参数到 flash。</p>

指令名称	设置电流并获取电流速度位置反馈
指令报文(hex)	42 00 00 00 00
指令回复(hex)	01 00 02 00 03 00 00 00
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>电机状态会被切换成电流控制模式，指令参数用于设定目标电流。回复的八字节数据第 1、2 字节为电流反馈值，单位 1mA；第 3、4 字节为速度反馈值，单位 0.01Hz(0.01rps)；最后 4 个字节为位置反馈值。回复示例”01 00 02 00 03 00 00 00“代表电流 1mA，速度 0.02hz，位置 3 个编码器 count。</p>

指令名称	设置速度并获取电流速度位置反馈
指令报文(hex)	43 00 00 00 00
指令回复(hex)	01 00 02 00 03 00 00 00
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>如果指令参数在最大最小速度范围内，电机状态会被切换成速度控制模式，指令参数用于设定目标电流。回复的八字节数据第 1、2 字节为电流反馈值，单位 1mA；第 3、4 字节为速度反馈值，单位 0.01Hz(0.01rps)；最后 4 个字节为位置反馈值。回复示例”01 00 02 00 03 00 00 00“代表电流 1mA，速度 0.02hz，位置 3 个编码器 count。</p> <p>如果指令参数在设定的速度限制范围之外，收到指令后电机的指令状态不发生改变（如果收到指令之前就是速度模式，电机仍然运行在速度模式且目标速度不变）</p>

指令名称	设置位置并获取电流速度位置反馈
指令报文(hex)	44 00 00 00 00
指令回复(hex)	01 00 02 00 03 00 00 00
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>如果指令参数在最大最小位置范围内，电机状态会被切换成位置控制模式，指令参数用于设定目标电流。回复的八字节数据第 1、2 字节为电流反馈值，单位 1mA；第 3、4 字节为速度反馈值，单位 0.01Hz(0.01rps)；最后 4 个字节为位置反馈值。回复示例”01 00 02 00 03 00 00 00“代表电流 1mA，速度 0.02hz，位置 3 个编码器 count。</p> <p>如果指令参数在设定的位置限制范围之外，收到指令后电机的指令状态不发生改变（如果收到指令之前就是位置模式，电机仍然运行在位置模式且目标位置不变）</p>

指令名称	设置位置环前馈
指令报文(hex)	47 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。

	指令参数用于设置位置环前馈值。
--	-----------------

指令名称	设置电机位置偏置
指令报文(hex)	53 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>指令参数用于设置电机位置偏置值。用于调整电机反馈的 0 位置在机械上对应的点位。设置偏移的时候，把原先的偏移值和当前位置累加，注意偏移值最好设置到单圈范围±180 度以内。</p>

指令名称	设置电机位置限制功能
指令报文(hex)	55 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>指令参数用于设置电机位置限制功能，设置为 0 关闭位置限制功能，设置为 1 开启位置限制功能。</p>

指令名称	设置编码器工作模式
指令报文(hex)	70 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>指令参数用于设置双编码器工作模式。0 为 0-360° 不限制模式(是否掉电记忆多圈值取决于编码器是否支持安装电池，除此之外如果电机旋转角度一直在 0-360° 以内则不需要电池也能记忆当前电机角度)；1 为±180° 工作模式，默认模式，(是否掉电记忆多圈值取决于编码器是否支持安装电池，除此之外如果电机旋转角度一直在±180° 以内则不需要电池也能记忆当前电机角度)，设置为±180° 模式后，发出的位置指令范围为±131072(不包含)，考虑 PID 参数和负载变化，建议限制到±130000 以内。</p>

指令名称	设置 8 字节指令控制模式
指令报文(hex)	71 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	<p>收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。</p> <p>指令参数用于设置 8 字节指令控制模式。0 为力位混合模式，1 为轮廓位置模式。</p>

指令名称	设置电流环比例系数
指令报文(hex)	83 00 00 00 00

指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数用于设置电流环比例系数。

指令名称	设置电流环积分系数
指令报文(hex)	84 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数用于设置电流环积分系数。

指令名称	设置最大电压
指令报文(hex)	87 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数用于设置最大电压。实际电压高于设定值时会产生电压超出报警。

指令名称	设置最小电压
指令报文(hex)	89 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数用于设置最小电压。实际电压低于设定值时会产生电压超出报警。

指令名称	设置电机最大温度
指令报文(hex)	8D 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数用于设置电机最大温度。实际温度高于设定值时会产生温度超出报警。

指令名称	设置驱动器最大温度
指令报文(hex)	91 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第一个字节为指令代码，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数。 指令参数用于设置驱动器最大温度。实际温度高于设定值时会产生温度超出报警。

### 7.3. 六字节指令

指令名称	设置/读取电机减速比
指令报文(hex)	41 20 00 00 00 00 41 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 41 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置电机减速比。实际减速比有 51/81/101/121，不允许设置其他值。

指令名称	设置/读取力位混合模式 KP
指令报文(hex)	42 20 00 00 00 00 42 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 42 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置力位混合模式 KP，仅力位混合模式有效。

指令名称	设置/读取力位混合模式 KD
指令报文(hex)	43 20 00 00 00 00 43 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 43 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置力位混合模式 KD，仅力位混合模式有效。

指令名称	设置/读取力位混合模式 KT
指令报文(hex)	44 20 00 00 00 00 44 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 44 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置力位混合模式 KT，仅力位混合模式有效。

指令名称	设置/读取力位混合模式 Tmin
指令报文(hex)	46 20 00 00 00 00 46 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 46 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置力位混合模式 Tmin，仅力位混合模式有效。

指令名称	设置/读取力位混合模式 Tmax
指令报文(hex)	47 20 00 00 00 00 47 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 47 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置力位混合模式 Tmax，仅力位混合模式有效。

指令名称	设置/读取力位混合模式 lmin
指令报文(hex)	48 20 00 00 00 00 48 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 48 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置力位混合模式 lmin，仅力位混合模式有效。

指令名称	设置/读取力位混合模式 lmax
指令报文(hex)	49 20 00 00 00 00 49 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 49 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置力位混合模式 lmax，仅力位混合模式有效。

指令名称	设置/读取电机温度传感器类型
指令报文(hex)	96 20 00 00 00 00 96 40 00 00 00 00

指令回复(hex)	无 96 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置电机温度传感器类型。仅 1 或 2 可设置，设置错误将导致电机温度检测异常，设置除 1 和 2 以外的值将强制关闭电机温度检测功能（显示电机温度 0）。

指令名称	设置/读取位置 PID 死区功能开关
指令报文(hex)	97 20 00 00 00 00 97 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 97 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置位置 PID 死区功能开关。0 关闭 1 打开。

指令名称	设置/读取位置 PID 死区功能最小值
指令报文(hex)	98 20 00 00 00 00 98 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 98 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置位置 PID 死区功能最小值。

指令名称	设置/读取位置 PID 死区功能最大值
指令报文(hex)	99 20 00 00 00 00 99 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 99 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置位置 PID 死区功能最大值。

指令名称	设置/读取 EtherCAT 从站地址声明
指令报文(hex)	9A 20 00 00 00 00 9A 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 9A 40 00 00 00 00

指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置 EtherCAT 从站地址声明。可以理解为 EC 从站地址，但使用方式与 CAN 的 ID 差异极大，需要主站侧修改为使用从站地址声明才会实际使用，而 CAN 的 ID 是设置了之后不通过特定 ID 无法与设备通讯。
------	--

指令名称	设置/读取位置控制方式
指令报文(hex)	9D 20 02 00 00 00 9D 40 00 00 00 00
指令回复(hex)	无 9D 40 02 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位浮点数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置位置控制方式。写 0 为全闭环外圈位置，分辨率 262144；写 1 为兼容全闭环分辨率的内圈位置，分辨率 262144；写 2 为兼容单编分辨率的内圈位置，分辨率为 $65536 \times$ 减速比。

## 7.4. 七字节指令

指令名称	前馈电流位置模式
指令报文(hex)	10 01 00 00 00 02 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2、3、4、5 字节为位置指令，第 6、7 字节为电流前馈。前馈电流的单位是 0.1A 。

指令名称	前馈速度位置模式
指令报文(hex)	11 01 00 00 00 02 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2、3、4、5 字节为位置指令，第 6、7 字节为速度前馈。前馈速度的单位是 0.01hz/0.01rps 。

指令名称	限速度位置模式
指令报文(hex)	58 00 00 00 00 00 00
指令回复(hex)	无
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2、3、4、5 字节为位置指令，第 6、7 字节为速度最大值。该指令会修改电机最大最小限速。

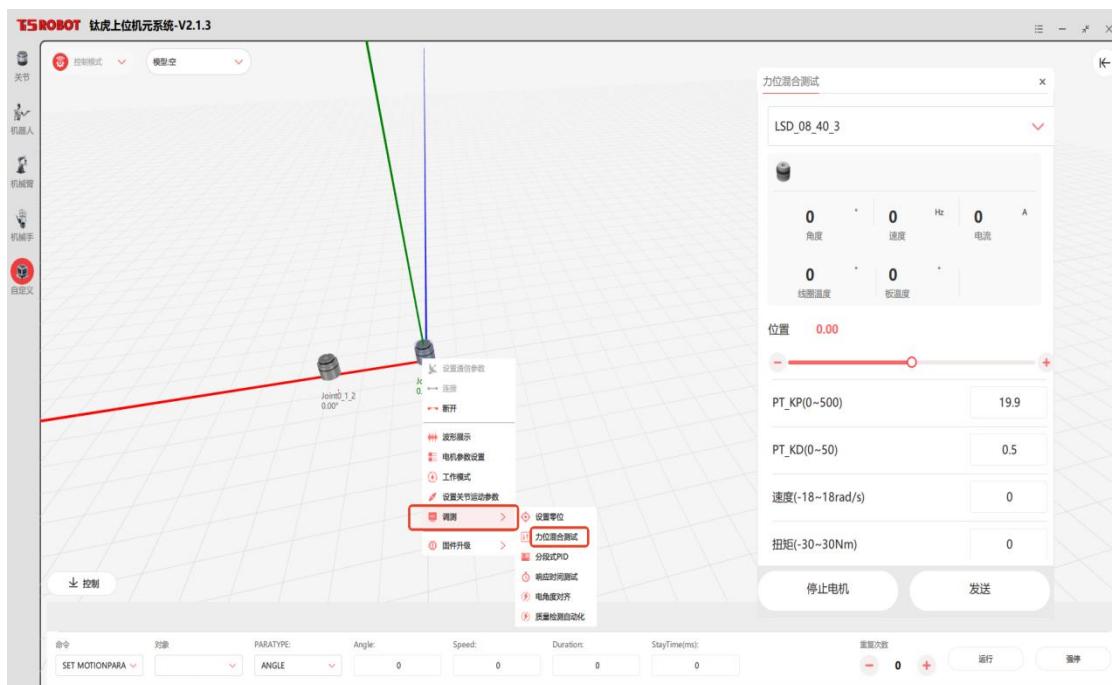
## 7.5. 八字节指令

如需使用轮廓位置模式或力位混合模式，8字节指令发送之前需要先通过5字节指令“设置8字节指令控制模式”参数和1字节指令“获取8字节指令控制模式”参数设置并检查当前状态，如没有回复或返回值为0则代表是力位混合模式，回复1则代表是轮廓位置模式。

上位机切换轮廓位置模式需在左下角设置8字节指令控制模式为1敲回车生效：



力位混合模式使用元系统V2.1.3版本调试，此软件处于开发测试阶段，语言支持和资料尚不完善，如需使用，请联系我们获取软件及力位混合模式元系统操作文档。



### 7.5.1. 轮廓位置模式：

轮廓位置模式，发送指令和返回数据均为八字节数据，格式定义如下：

发送指令格式

第 1 字节	第 2 字节	第 3 字节	第 4 字节	第 5 字节	第 6 字节	第 7 字节	第 8 字节
按低位在前高位在后组合，目标位置				轮廓速度(位置速度)		控制字	

- 目标位置为编码器 cnt 单位。
- 轮廓速度为 0.01hz 单位，以位置传感器速度计算（双编以输出端速度计算，单编以电机端速度计算）。
- 控制字 0x001F 为顺序模式运行(走完第一个位置再走第二个位置)，控制字 0x003F 为立即模式运行(在第一个位置的运动过程中收到第二个位置直接开始规划第二个位置的轨迹)，支持将 0x0100 这个 bit 置 1 实现 halt 功能(以设定加速度将速度降至 0)，支持将 0x0040 这个 bit 置 1 实现相对位置功能。

返回数据格式

第 1 字节	第 2 字节	第 3 字节	第 4 字节	第 5 字节	第 6 字节	第 7 字节	第 8 字节
按低位在前高位在后组合，反馈位置				反馈速度(电机速度)		状态字	

- 反馈位置为编码器 cnt 单位。
- 反馈速度为 0.01hz 单位，以速度传感器速度计算（始终以电机端速度计算）。
- 状态字 0x1000 这个 bit 置 1 表示已接收新的目标位置并更新轨迹规划，0x0400 这个 bit 置 1 代表上一个指令的轨迹已运行完成。

轮廓位置模式控制参数

- 轮廓加速度(减速度固定为加速度乘负一)，写参数为 5 字节指令 59(0x3B)，读参数为 1 字节指令 59(0x3B)，单位为 cnt/s^2；
- 轮廓加加速(减加速度固定为加加速度乘负一)，写参数为 5 字节指令 60(0x3C)，读参数为 1 字节指令 60(0x3C)，单位为 cnt/s^3。

附加说明

- 速度曲线为双 S 曲线，7 段式轨迹规划算法（如果条件不满足时会根据条件选择去掉部分阶段，实际运行不一定有七段，规划出来的轨迹加速度始终连续，对机械冲击小）。
- 以下参数对固定互为相反数( $A=B*(-1)$ )：加速度与减速度、加加速度与减加速度。
- 目前电机软件支持重规划功能，即未运行完第一个位置情况下向第二个位置运行，重规划时指令位置和指令速度连续，指令加速度由于算法中假定规划初始加速度为 0，在加速度不为 0 时进行重规划可能导致运行的最长距离变长，且可能存在加速度突变。
- 在有一个较大速度时重规划到一个较近的点，可能出现按配置的加速度、加加速度无法在规定的距离内减速完成的情况，这种情况的处理方式是按配置加速度、加加速度减速（会超出新设定点的距离），之后自动第二次规划运行到新设定点。

## 8. 报警代码与处理方法

### 8.1. 使用 EtherCAT 通讯遇到报警的检查与处理

在使用 EtherCAT 通讯时，发生报警，需要着重检查 0x603F 错误代码。当电机发生故障时 603F 中会有一个值留存，直到错误清除。

0x1001 错误寄存器

位定义	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
含义	编码器报警	0	0	通信错误	温度超范围	电压超范围	电流过大	一般错误

0x603F 错误代码

错误代码	名称	含义	原因及处置方法
0x2310	Continuous Over Current	电机过载	电机侧持续大电流输出；排查是否有机构卡住的情况/选用更大功率型号的电机
0x3120	Mains Under Voltage	供电电压过低	瞬时或长时间供电电压过低；检查供电电压是否正常/在电源输入上并接大电容/选用更大电流输出能力的电源/选用更大电压输出电源(必须在额定电压范围内)/减小电机运行加速度
0x3110	Mains Over Voltage	供电电压过高	瞬时或长时间供电电压过高；检查供电电压是否正常/在电源输入上并接大电容/在电源输入上并接能量泄放模块/选用更小电压输出的电源(必须在额定电压范围内)/减小电机运行减速度
0x4200	Temperature Device	电机温度报警	电机温度过高或过低；检查电机温度是否正常/检查环境温度是否正常/考虑是否需要加散热或保温措施
0x4300	Temperature Drive	驱动器温度报警	驱动器温度过高或过低；检查电机温度是否正常/检查环境温度是否正常/考虑

			是否需要加散热或保温措施
0x7300	Sensor Error	编码器报警	编码器数据读取错误；检查编码器通讯线
0x5220	Control Computing Circuit	控制电路 CPU 错误	CPU 运行负载过高； 检查通讯周期是否可以调整/检查 PDO 内容是否可以精减掉不需要的内容/记录详细的运行工况信息，联系厂家技术人员
0x2320	Short Circuit Earth Leakage Motor Side	输出短路报警	电机侧瞬时输出电流过大； 检查是否有电机侧短路的情况/检查电机是否有损坏的情况
0x6100	Internal Software	内部软件错误	内部软件错误； 收集详细的运行工况信息，联系厂家技术人员
0x7500	Communication	通讯错误	异常的从 OP 状态切换到非 OP 状态； 检查通讯线是否有正确连接屏蔽线/检查设备是否有正确接地/检查通讯线是否有破损、接触不良等/检查通讯接头处是否有松动、接触不良等/考虑是否有必要加磁环 / 检查是否有 EtherCAT 通讯 ALStatusCode 报错
0x8611	Following Error	跟随误差过大	位置指令与实际位置只差大于设定的跟随误差范围，并持续设定的跟随误差时间； 检查跟随误差范围和时间设定是否合理/检查是否是转矩、速度、位置三环控制增益参数设定不合适/检查是否是机械限制无法到达指定的位置/检查是否设定了不合适的电子齿轮比/检查编码器分辨率设定是否正确

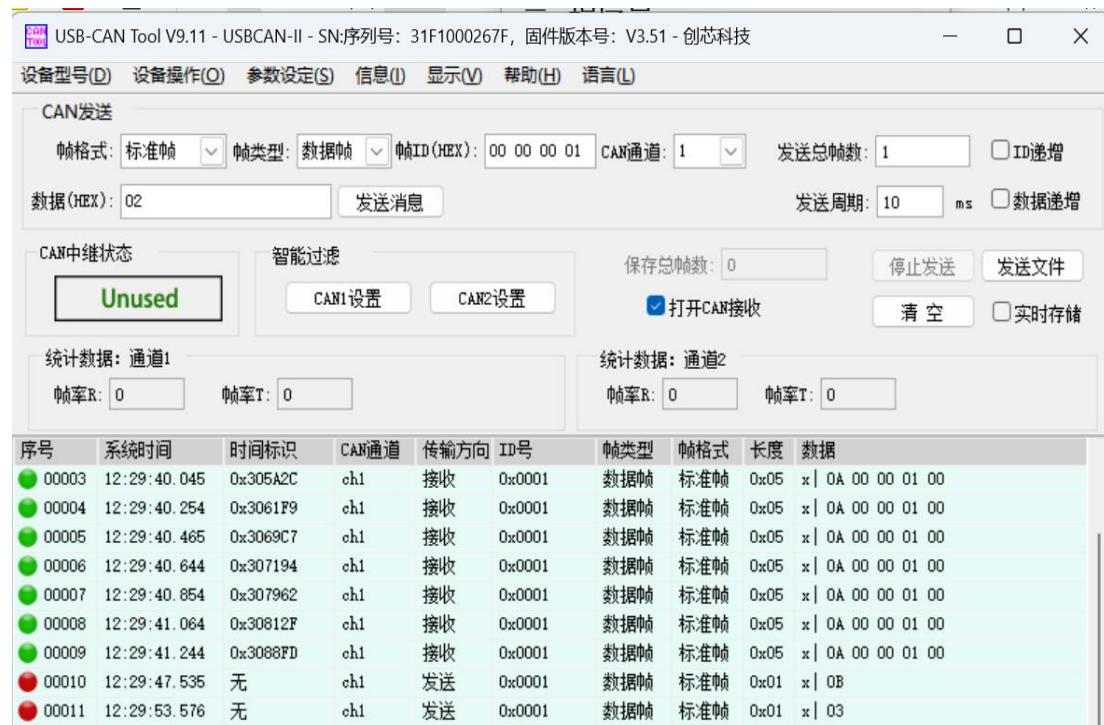
## 8.2. CAN 通讯使用 USB-CAN-TOOL 查报错

### 8.2.1. can 通讯查 0x0A

用计算器输入返回的指令值，对应 bin 码查看错误

bit位	故障原因	造成故障的原因	解决方法
0	代表电机内部软件错误，如电机运行时写入FLASH等	电机在运行中保存参数	需停止运行再保存
1	代表过压	电压高于56V设定值	①将电源电压调到额定电压 (建议36-48V) ②加电容或稳压模块
2	代表欠压	电压低于20V设定值	①将电源电压调到额定电压 (建议36-48V) ②加电容
4	代表启动错误		检查线路，重新启动
5	代表速度反馈错误		暂无
6	代表过流	负载过大，短路	①减轻负载测试 ②寄回原厂需排查
7	代表软件错误，如电机运行时写入FLASH等	电机在运行中保存参数	电机在运行中保存参数，需停止运行再保存
16	代表编码器通讯错误	编码器损坏，编码器线损坏，控制板损坏	寄回原厂需排查
17	代表电机温度过高	电机温度超过100°C，过热，工况不好，长时间运行，温度传感器坏	①待温度下降后再运行测试 ②寄回原厂需排查
18	代表电路板温度过高	板子温度超过90°C，过热，工况不好，长时间运行，温度传感器坏	①待温度下降后再运行测试 ②寄回原厂需排查
19	代表驱动芯片错误	负载较大，急加速、减速，功率较大情况下引起报错	①加电容或稳压模块 ②不要突然速度过快或者过慢调试运行 ③寄回原厂排查

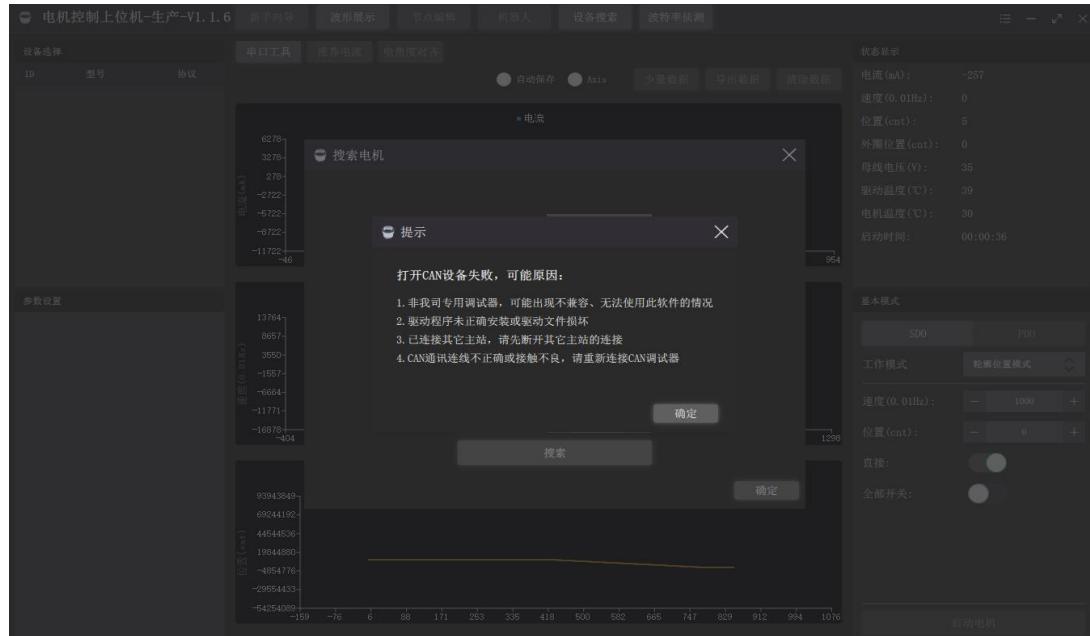
例如图中的错位是编码器通讯错误。



## 8.3. CAN 通讯上位机报错

### 8.3.1. 打开 CAN 设备失败

- ① 检查分析仪终端电阻一上一下拨，检查接线是否正常。
- ② 检查通讯方式 CAN/CANOPEN、通道、波特率。
- ③ can 分析仪使用创芯科技至尊版、linux 版， linux 通用于 windows。
- ④ 确认是否安装 usb 驱动。
- ⑤ 检查所有连接线是否连接正确，电源开关有没有打开。



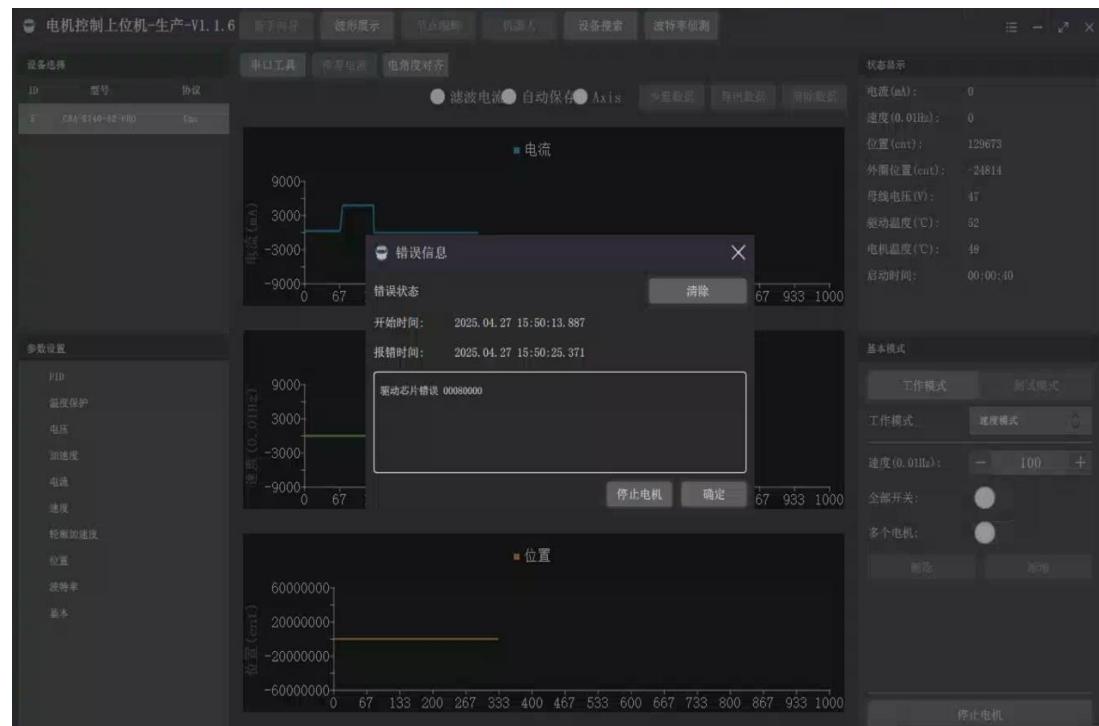
### 8.3.2. 设备被占用

检查分析仪 USB 口是否连接、分析仪红盒子故障、检查是否开了其他上位机。



### 8.3.3. 驱动芯片错误

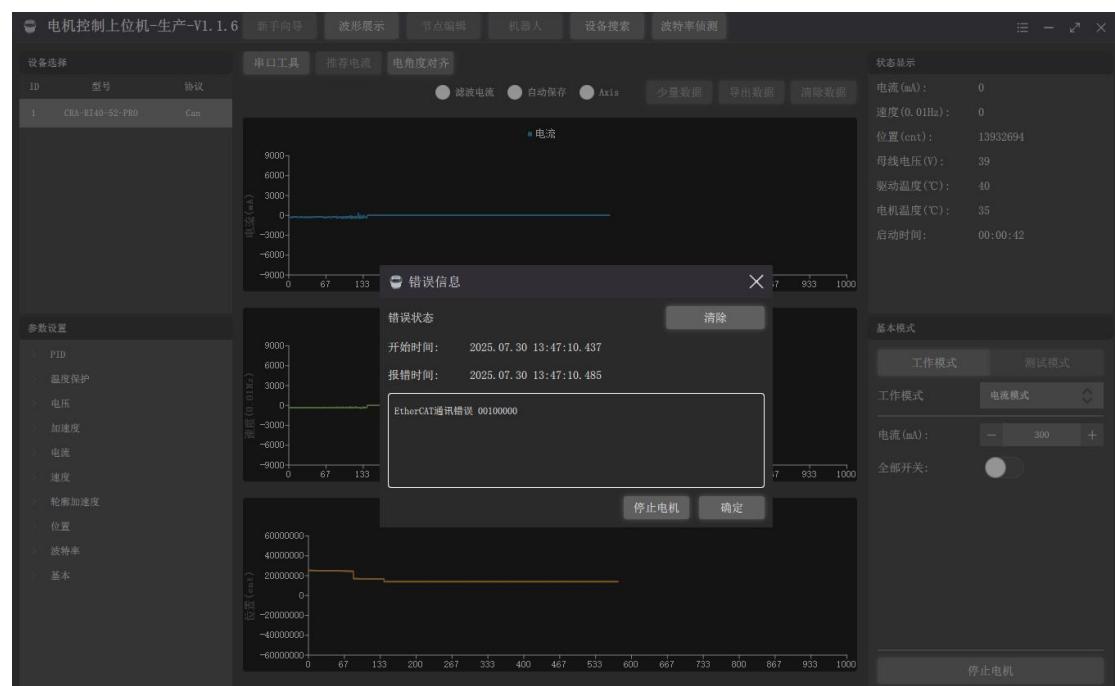
可能的报错原因：启动速度过快，超电流持续运行，急停，碰撞，堵转（确保程序版本没有错误）。



### 8.3.4. EtherCAT 通讯错误

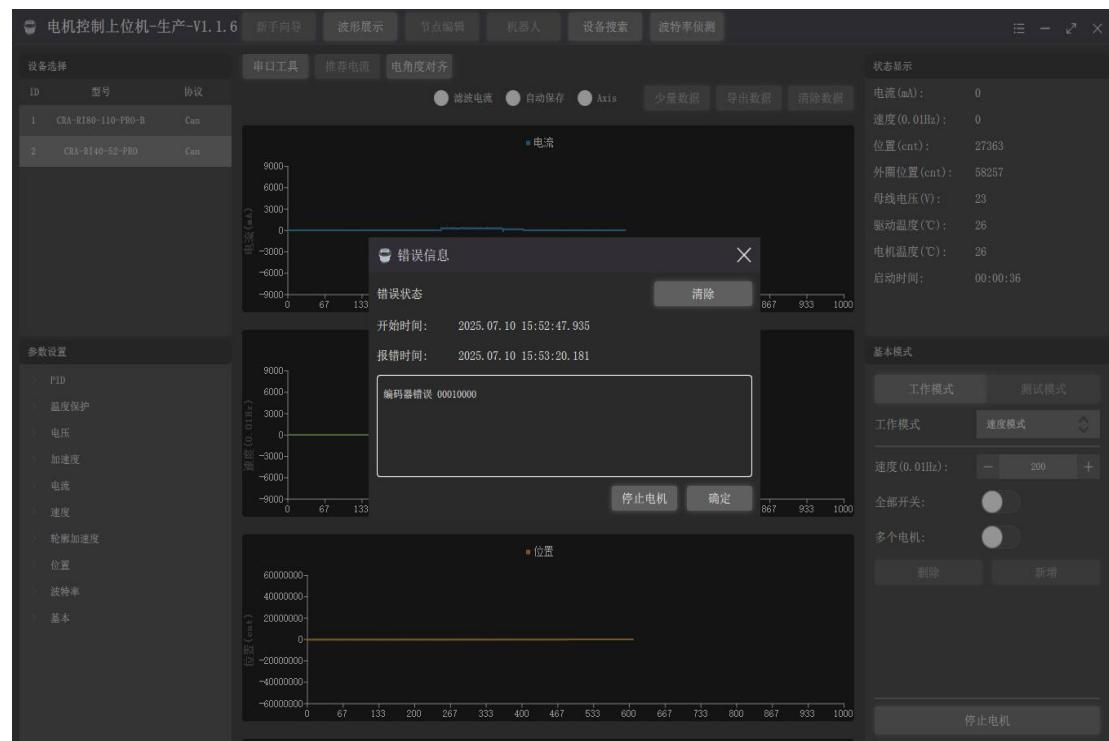
可能的报错原因：EC 和 CAN 通讯切换，EC 通讯报错导致。

解决方法：清除错误，EC 和 CAN 口不能同时控制，EC 控制时，CAN 只能检测电机状态。



### 8.3.5. 编码器错误

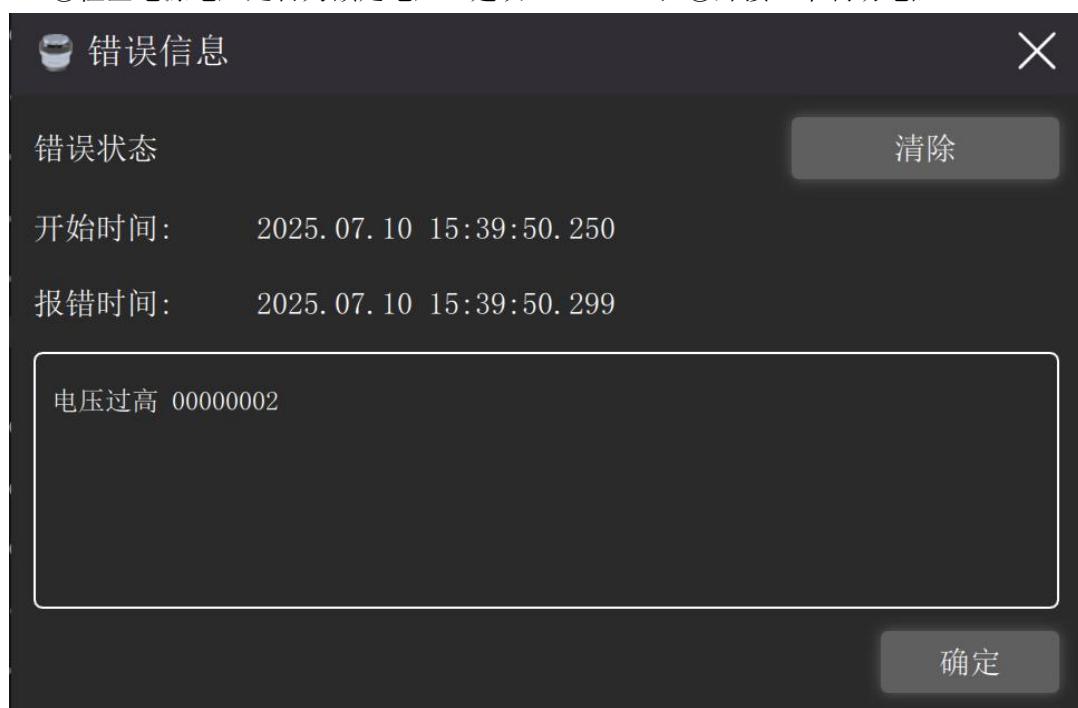
编码器没有收到检验回复。比如多台电机连接，直流稳压电源的电流电压值设置过低，编码器供电不足。编码器接线松动。



### 8.3.6. 过压错误

上位机启动电机时报过压错误：

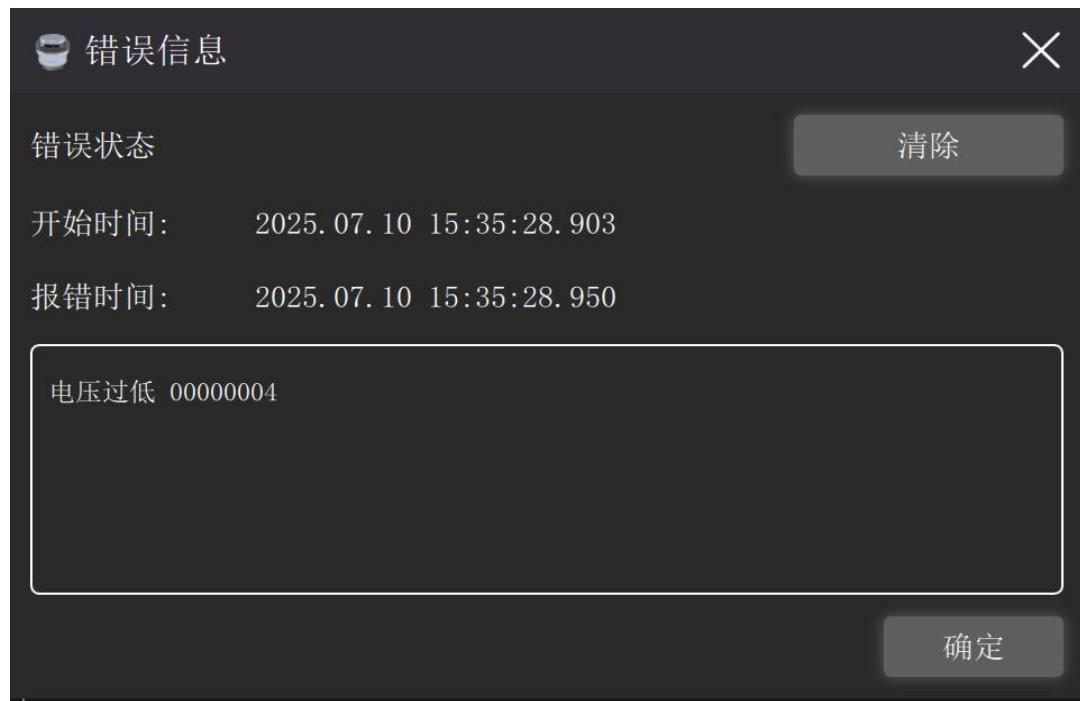
- ①检查电源电压是否为额定电压（建议 36V-48V）；②外接一个制动电阻。



### 8.3.7. 欠压错误

上位机启动电机时报欠压错误：

①检查电源电压是否为额定电压（建议 36V-48V）；②外接一个电容。



## 8.4. 状态灯：绿灯 & 蓝灯

### 8.4.1. 绿灯

绿色灯光为软件状态指示灯

- 慢闪(500ms 亮 500ms 灭)代表软硬件运行正常
- 快闪(100ms 亮 100ms 灭)代表有错误发生需要处理
- 双闪(亮 50ms 灭 50ms 亮 50ms 灭 1850ms)代表未有运行错误发生但是 ESC 连接故障，常亮代表固件升级模式。ESC 连接故障一般由 eeprom 错误或者硬件故障产生。

### 8.4.2. 蓝灯

The RUN indicator states are specified in Table 7.

Table 7: RUN Indicator States

Indicator states	Slave State	Description	Requirement
Off	INITIALISATION	The device is in state INIT	Mandatory
Blinking	PRE-OPERATIONAL	The device is in state PRE-OPERATIONAL	Mandatory
Single Flash	SAFE-OPERATIONAL	The device is in state SAFE-OPERATIONAL	Mandatory
On	OPERATIONAL	The device is in state OPERATIONAL	Mandatory
Flickering	INITIALISATION or BOOTSTRAP	The device is booting and has not yet entered the INIT state, or: The device is in state BOOTSTRAP. Firmware download operation in progress	Optional

## 9. FAQ 常见问题

### (1) 什么是单编电机、什么是双编电机。

根据所用编码器不同，电机分单编版本和双编版本。单编就是在关节电机内部的电机侧集成了一个编码器，减速机侧也就是输出端没有编码器。双编就是在关节电机内部电机侧和减速机侧各有一个编码。

单编：都是磁编码器，编码器数量为 1，包含 1 个高速磁环+1 个编码器信号采集板。双编：编码器数量都为 1

①80-110 及其以下用的是磁编码器，包含 1 个高速磁环+1 个低速磁环+1 个编码器信号采集板。

②其他型号采用的是电感式编码器，包含 1 个高速拨片+1 个低速拨片+1 个编码器信号采集板；拨片就是转子

### (2) 什么是减速比：

即减速装置的一种传动比，是指减速机机构中瞬时输入速度的比值。例如，一个减速比为 50 的减速器意味着输入轴转 50 圈，输出轴才转一圈，这种减速机制可以增加输出扭矩，同时降低输出速度，从而满足不同的应用需求。（计算时减速比+1）。

双编电机需要确保减速机的减速比和软件设置的减速比保持一致，所有的电机都可以用 6 字节指令报文去改减速比，指令如下：

指令名称	设置/读取电机减速比
指令报文(hex)	41 20 00 00 00 00 41 40 00 00 00 00
指应回复(hex)	无 41 40 00 00 00 00
指令说明	收到指令的第 1 字节为指令代码，第 2 字节为读写标志，后面 4 个字节按低位在前高位在后的顺序组合成一个 32 位整数指令参数，回复中后面 4 字节为返回值。第 2 字节为 0x20 时写入参数，0x40 时读取参数。 指令参数用于读取/设置电机减速比。实际减速比有 51/81/101/121，不允许设置其他值。

### (3) 什么是使能/刹车（抱闸）：

使能：“使能”（Enable）指的是允许电机驱动器或控制器向电机提供电源和控制信号，从而使电机能够响应指令进行操作。换句话说，使能电机就是激活

电机控制系统，使其准备好接收速度、位置或力矩等指令并据此执行动作。

去使能：与使能相对的是“去使能”，即停止向电机提供电源或控制信号，让电机进入一种待机状态。在这种状态下，电机不会响应任何新的指令。

刹车（抱闸）：一些型号电机配备有刹车装置，用于在电机失电时自动锁定转子，防止其自由旋转。使能电机时，解除抱闸；而在去使能时，会重新启用抱闸以固定电机位置。

注：为了防止电机在启停瞬间发生下坠，需要调大电机位置环比例或加前馈。

使能-刹车（抱闸）之间的关系：电机上电-上使能-给刹车通电-关闭抱闸，电机断电-下使能-刹车断电-电机抱闸。

#### **(4) 位置模式下相关计算：**

单编电机位置计算使用 16bit 分辨率和实际的减速比计算。例如 65536 个脉冲代表电机旋转一圈，再乘一个电机的减速比就是输出端旋转一圈，如果电机是 121 减速比的就是  $65536 * 121 = 7929856$  个脉冲电机输出端会旋转一圈。

双编电机位置计算使用 18bit 分辨率计算，不需要考虑减速比。例如 262144 个脉冲代表电机输出端旋转一圈。

#### **(5) 断电前后记不记多圈位置：**

单编电机可以通过连接电池的方式断电保存当前的绝对值位置。双编电机目前不支持连接电池保存当前的绝对值位置，支持在不接连电池的情况下断电保存电机输出端的当前角度。也就是说单编在连接电池的情况下可以支持需要电机多圈旋转的应用，双编电机无法支持需要电机多圈旋转的应用，只能支持电机在±180 度之内旋转的应用。

#### **(6) 速度单位换算：**

单编电机和双编电机速度计算都使用 16bit 分辨率和实际的减速比计算。例如 65536 个脉冲每秒代表电机每秒旋转一圈，再考虑电机实际减速比，如果电机是 101 减速比的就是输出端 101 秒旋转一圈。

电机速度实际上是电机的角速度，物理意义为单位时间的角度移，因此根据所使用的单位时间的不同位移单位的不同有多种常用的单位。电机的转速常用的单位有圈每分钟、脉冲每秒、度每秒、弧度每秒、零点零一赫兹等。下面列出互相的转换公式，未列出的部分可以依据其实际物理含义和已有的公式推导。

1 弧度每秒(rad/s)

$$=(1/2\pi)*360 \text{ 度每秒} (\text{° } /s)$$

$$=(1/2\pi)\text{赫兹(Hz)}=(1/2\pi)*100 \text{ 零点零一赫兹(0.01Hz)}$$

$$=(1/2\pi)*60 \text{ 圈每分钟(rpm)注: } \pi \text{ 为 } 3.1415926...$$

电机端速度(0.01Hz)对应(0.01r/s),乘以0.6得到电机端速度圈每分钟(RPM),单编电机再除以减速比得到输出端速度圈每分钟(RPM),再乘以360除以60得到度每秒(°/s),乘以π除以180得到弧度每秒(rad/s),双编电机不用考虑减速比。

具体换算可以参考我们的电机协议:换算公式。

## 速度转换

电机端 (0.01HZ)		减速比	电机端 (RPM)	输出端 (RPM)	输出端 (度/秒)	输出端 (弧度/S)
输入	2000	51	1200.0	23.5	141.2	2.5
		81		14.8	88.9	1.6
		101		11.9	71.3	1.2
		121		9.9	59.5	1.0
		161		7.5	44.7	0.8

	输出端 (RPM)	减速比	电机端 (0.01HZ)
输入	30	51	2,550
		81	4,050
		101	5,050
		121	6,050

下发速度\*0.6=电机RPM

注意事项:

使用EC通讯时,实际反馈速度的单位是cnt/s,电机端最大输出速度是RPM

索引	0x606C	子索引	0
比特长度	32	数据类型	有符号32位整型
读写权限	只读	名称	Velocity Actual Value
详细说明	实际速度反馈值。单位编码器脉冲数每秒 cnt/s。		

索引	0x6080	子索引	0
比特长度	32	数据类型	无符号32位整型
读写权限	读写	名称	Max Motor Speed
详细说明	电机端最大输出速度。单位圈每分 RPM。		

## **(7) 电机限速，限制电机最大转速**

可以通过 SDO 参数 0x6080 修改，或者 can 报文改，默认为 1200，单位 RPM（圈每分钟），如需换算成电机输出端速度需搭配电机实际减速比换算。我们位置模式就是以最大限速来运行的。

## **(8) 要电机输出端以 xx RPM 转速运行，指令给出来后速度达不到该怎么设置。**

需要检查供电电压和电机端限速。供电电压不足情况下无法达到较高的速度，可尝试使用 48V 电压重试。

xx RPM 乘以电机得到一个电机端速度，要检查电机端速度是否受 SDO 参数 0x6080 限制。例如想要 30RPM，电机减速比为 101，那么需要电机端速度 3030RPM，需设置 0x6080 为 3030。

## **(9) 设置最大电流限制的方法。**

驱动器软件版本号大于 1.7.0.0 及以上，SDO 参数 0x60E0 或 0x60E1，单位为千分之一最大电流，默认值 750，代表限制电流为最大电流的 75%，例如修改为 912 代表限制电流为最大电流的 91.2%。最大电流值可以在 SDO 参数 0x6075 处读取到，单位为毫安。

## **(10) 输出扭矩计算方法。**

驱动器软件版本号大于 1.7.0.0 及以上。给定扭矩 0x6071 实际扭矩 0x6077 的单位都是千分之一启停峰值扭矩，例如 100 对应扭矩为 10%的峰值扭矩，751 对应 75.1%的峰值扭矩。具体型号的启停峰值扭矩参考选型表格。

## **(11) 参数断电保存的方法。**

通过 EtherCAT 通讯时，所有参数写入后都是默认不断电保存的，如果需要断电保存，SDO 写入参数 0x2000，写 1 之后再读一遍，值变成 0 代表写入完成。注意在电机使能状态和错误状态无法保存参数。

## **(12) 是否支持增量式编码器。**

关节电机内置编码器，只有绝对值编码器的单编双编型号可选，不支持增量式编码器。同时也没有增量式编码器输出接口(ABZ 接口)。

## **(13) PID 参数调节相关。**

1. P 是比例增益，I 是积分增益，D 是微分增益。
2. P 参数越大响应速度越快，太小响应速度慢，太大会震荡；I 参数消除偏差，

提高响应速度，太大会产生震荡；D参数抑制过冲和振荡，过小会有过冲，过大影响响应速度甚至引发噪声问题。

3. 控制环路分为三个环路，从内而外分别是电流环、速度环、位置环，一般不调电流环，从速度环开始调。
4. 衡量环路参数调整效果的指标有静态误差(稳定后实际值和目标值的误差)、动态跟随误差(运行中实际值和目标值的误差)、过冲量(稳定之前实际值超出目标值的量)等。
5. 如果位置模式运行时，到位置有震荡，可以尝试加大位置环D参数。
6. 如果位置模式运行时匀速阶段一直震荡，可以尝试加大速度环P，减小速度环I参数。

#### **(14) 电机异响。**

电机异响可能由多原因造成,如减速机松了、刹车摩擦异物、轴心偏移或磁钢进异物摩擦等。对于电机关节运行异响问题,可调小速度环比例和积分,位置环比例,参考上位机软件初始数据进行修改,以减少摩擦。先用钛虎上位机位置模式运行是否有异响,再排查是否是程序插补问题导致的或发送的位置点不平滑。