

---

## 自定义 CAN 通信协议\_V3.07b0

协议版本:

- Rev.3.01b0 – 01.06.2024: -初始版本;
- Rev.3.02b0 – 22.07.2024: -优化系统复位协议;
- Rev.3.03b0 – 01.08.2024: -添加位置闭环、速度闭环控制 PID 参数配置命令;
- Rev.3.04b0 – 21.11.2024: -添加抱闸输出控制; 故障码添加编码器故障;
- Rev.3.05b0 – 18.03.2025: -修正文档描述性错误;
  - 能够接收并响应(0x100|Dev\_addr) 地址的命令;
  - 检测到故障, 主动上报 0xAE 命令对应的状态信息;
  - 完善通信示例, 详情见文件末尾;
- Rev.3.05b1 – 03.04.2025: -优化文档内容并更正文档内容中的错误描述;
- Rev.3.06b0 – 23.04.2025: -添加 mit 协议类型运控模式;
- Rev.3.07b0 – 18.05.2025: -补充关于“设置当前位置为原点”命令说明;
  - 添加 0xA4 命令码内容

---

CAN 接口默认通信波特率为 1MHz，可通过上位机配置为以下几种：1MHz、500KHz、250KHz、125KHz 和 100KHz。当前协议下的所有 CAN 消息均采用**数据帧格式与标准帧格式**，且字节顺序遵循**小端模式**。

产品出货时，默认设备地址（**Dev\_addr**）为 0x01，可通过上位机调整该地址至 1 至 254 范围内的任意值。系统定义了两个特殊地址：0x00 作为广播地址，所有从机执行命令但不向主机应答；255（即 0xFF）作为公共地址，所有从机会对该地址的命令作出响应并进行应答，应答的 ID 为设备地址。

为了区分总线上的数据帧是由主机发出还是由从机回应，设计了一种机制。从机除了直接响应其 Dev\_addr 对应的命令外，从机还能识别并响应（0x100 | Dev\_addr）的命令。无论哪种情况，从机对主机的应答帧 ID 都是 Dev\_addr。例如，若从机的设备地址 Dev\_addr 为 0x01，主机发送的数据帧 ID 为 0x101，则从机应答的帧 ID 为 0x01。这样，可以通过帧 ID 来识别 CAN 总线上的通信方向。

此外，设备当前的地址还可通过驱动板绿色 LED 的闪烁模式来识别：

设备地址 1: [ \_ - \_ - \_ ]

设备地址 2: [ \_ - \_ - \_ - \_ ]

设备地址 3: [ \_ - \_ - \_ - \_ - \_ ]

数据类型说明：

- 1u – 1 个无符号字节；
- 1s – 1 个有符号字节；
- 2u – 2 个无符号字节（小端字节顺序）；
- 2s – 2 个有符号字节（小端字节顺序）；
- 4u – 4 个无符号字节（小端字节顺序）；
- 4s – 4 个有符号字节（小端字节顺序）；
- 4f – 单精度浮点数（小端字节顺序）；
- b – 字节数；
- bit- 表示位，1 个字节为 8bit；

支持的 CAN 自定义控制命令如下：

类别	命令码	命令功能描述
系统	0x00	重启从机，主控制器发送该命令后，从机立即重启不应答主控制器；
	0xA0	读 Boot、软件、硬件、自定义 CAN 协议版本；
	0xA1	读实时 Q 轴电流；
	0xA2	读实时旋转速度；
	0xA3	读实时单圈绝对值角度、多圈绝对值角度；
	0xA4	读实温度、Q 轴电流、速度、单圈绝对值角度
	0xAE	读实时母线电压、母线电流、工作温度、运行模式、故障码状态信息；从机一旦检测到故障，将以 200ms 时间周期上报实时状态信息；
	0xAF	清除故障；
参数	0xB0	读电机极对数、力矩常数、减速比；
	0xB1	设置当前位置为原点；
	0xB2	设置位置模式旋转最大速度，断电不保存；
	0xB3	设置位置或速度模式最大 Q 轴电流，断电不保存；
	0xB4	设置 Q 轴电流控制模式下的 Q 轴电流斜率，断电不保存；
	0xB5	设置速度控制模式下的加速度，断电不保存；
	0xB6	读取或设置位置控制闭环 Kp，断电不保存；
	0xB7	读取或设置位置控制闭环 Ki，断电不保存；
	0xB8	读取或设置速度控制闭环 Kp，断电不保存；
	0xB9	读取或设置速度控制闭环 Ki，断电不保存；
控制	0xC0	Q 轴电流控制；(力矩 = 力矩常数*Q 轴电流)
	0xC1	速度控制；
	0xC2	绝对值位置控制；
	0xC3	相对位置控制；
	0xC4	电机按照最短的距离回到设定的原点，旋转的角度不大于 180 度；
	0xCE	抱闸开关输出控制；
	0xCF	关闭电机输出，电机进入自由态不受控制；(电机上电后为该状态)
运控 MIT 协议	0xF0	运控模式控制指令中的 Pos_Max、Vel_Max、T_Max 读取和配置；
	0xF1	读取运控模式下的实时位置、速度、力矩和状态信息；
		运控模式控制命令，无命令码；帧标识符(StdID)最高位 Bit[10]置 1；

- 重启从机，主控制器发送该命令包后，从机立即重启不应答主控制器；【命令码：0x00】

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x08
[0]	命令码	1u	<b>0x00</b>
[1]-[7]	附带 7bytes 数据	7b	0xFF 0x00 0xFF 0x00 0xFF 0x00 0xFF

- 读 Boot、软件、硬件、自定义 CAN 协议版本；【命令码：0xA0】

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01
[0]	命令码	1u	<b>0xA0</b>

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x08
[0]	命令码	1u	<b>0xA0</b>
[1]-[2]	Boot 软件版本	2u	
[3]-[4]	应用软件版本	2u	
[5]-[6]	硬件版本	2u	驱动板硬件代号；
[7]	CAN 自定义版本	1u	当前自定义 CAN 协议版本；

- 读实时 Q 轴电流；【命令码：0xA1】

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01
[0]	命令码	1u	<b>0xA1</b>

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xA1</b>
[1]-[4]	Q 轴电流	4s	单位 0.001A；（力矩=力矩常数*Q 轴电流）

- 读实时旋转速度；【命令码：0xA2】

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01
[0]	命令码	1u	<b>0xA2</b>

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xA2</b>
[1]-[4]	旋转速度	4s	单位 0.01Rpm;

- 读实时单圈绝对值角度、多圈绝对值角度；【命令码：0xA3】

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01
[0]	命令码	1u	<b>0xA3</b>

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x07
[0]	命令码	1u	<b>0xA3</b>
[1]-[2]	单圈绝对值角度	2u	Angle° = value*(360/16384);
[3]-[6]	多圈绝对值角度	4s	Total Angle° = value*(360/16384);

- 读实温度、Q 轴电流、速度、单圈绝对值角度；【命令码：0xA4】

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01
[0]	命令码	1u	<b>0xA4</b>

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x08
[0]	命令码	1u	<b>0xA4</b>
[1]	工作温度	1u	单位°C;
[2]-[3]	Q 轴电流	2s	单位 0.001A; (力矩=力矩常数*Q 轴电流)
[4]-[5]	旋转速度	2s	单位 0.01Rpm;
[6]-[7]	单圈绝对值角度	2u	Angle° = value*(360/16384);

- 读取母线电压、母线电流、工作温度、运行模式及故障码状态信息；从机一旦检测到故障，将以 200ms 时间周期上报实时状态信息；【命令码：0xAE】

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01

[0]	命令码	1u	<b>0xAE</b>
-----	-----	----	-------------

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x08
[0]	命令码	1u	<b>0xAE</b>
[1]- [2]	母线电压	2u	单位 0.01V;
[3]- [4]	母线电流	2u	单位 0.01A;
[5]	工作温度	1u	单位°C;
[6]	运行模式	1u	0: 关闭状态; 1: 电压控制; 2: Q 轴电流控制; 3: 速度控制; 4: 位置控制;
[7]	故障码	1u	[Bit0]: 电压故障; [Bit1]: 电流故障; [Bit2]: 温度故障; [Bit3]: 编码器故障; [Bit6]: 硬件故障; [Bit7]: 软件故障; Bitn 表示字节的第 n 位; Bit0 表示第 0 位;

➤ 清除故障；【命令码：0xAF】

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01
[0]	命令码	1u	<b>0xAF</b>

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x02
[0]	命令码	1u	<b>0xAF</b>
[1]	当前故障	1u	[Bit0]: 电压故障; [Bit1]: 电流故障; [Bit2]: 温度故障; [Bit3]: 编码器故障; [Bit6]: 硬件故障; [Bit7]: 软件故障; Bitn 表示字节的第 n 位; Bit0 表示第 0 位;

➤ 读取电机极对数、力矩常数、减速比；【命令码：0xB0】

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01
[0]	命令码	1u	<b>0xB0</b>

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x07

[0]	命令码	1u	<b>0xB0</b>
[1]	电机极对数	1u	
[2]-[5]	力矩常数	4f	单位为 N/A;
[6]	减速比	1u	

- 设置当前位置为原点；电机单圈绝对值原点会保存到驱动板，断电不丢失；若当前系统使能了第二编码器，执行当前操作时间变长，从机应答主控制器的时间间隔约 35ms；  
**【命令码：0xB1】**

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01
[0]	命令码	1u	<b>0xB1</b>

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x03
[0]	命令码	1u	<b>0xB1</b>
[1]-[2]	机械角度偏移	2u	

- 设置位置模式旋转最大速度，断电不保存；**【命令码：0xB2】**

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xB2</b>
[1]-[4]	位置环输出限制	4u	位置模式最大速度，单位 0.01Rpm；

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xB2</b>
[1]-[4]	位置环输出限制	4u	位置模式最大速度，单位 0.01Rpm；

- 设置位置或速度模式最大 Q 轴电流，断电不保存；**【命令码：0xB3】**

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xB3</b>
[1]-[4]	速度环输出限制	4u	速度/位置模式最大 Q 轴电流,单位 0.001A；

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
-------	------	----	----------

StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xB3</b>
[1]-[4]	速度环输出限制	4u	速度/位置模式最大 Q 轴电流,单位 0.001A;

- 设置 Q 轴电流控制模式下的 Q 轴电流斜率, 断电不保存; 【命令码: 0xB4】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xB4</b>
[1]-[4]	Q 轴电流斜率	4u	电流输出的速率, 单位 0.001A/s;

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xB4</b>
[1]-[4]	Q 轴电流斜率	4u	电流输出的速率, 单位 0.001A/s;;

- 设置速度控制模式下的加速度, 断电不保存; 【命令码: 0xB5】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xB5</b>
[1]-[4]	加速度	4u	单位为 0.01Rpm/s;

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xB5</b>
[1]-[4]	加速度	4u	单位为 0.01Rpm/s;

- 读取或设置位置控制闭环 Kp, 断电不保存; 【命令码: 0xB6】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		[0x01, 读取参数]、[0x05, 配置参数]
[0]	命令码	1u	<b>0xB6</b>
[1]-[4]	位置控制闭环 Kp	4f	DLC 为 1, 此内容为空

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr

DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xB6</b>
[1]-[4]	位置控制闭环 Kp	4f	

- 读取或设置位置控制闭环 Ki, 断电不保存; 【命令码: 0xB7】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		[0x01, 读取参数]、[0x05, 配置参数]
[0]	命令码	1u	<b>0xB7</b>
[1]-[4]	位置控制闭环 Ki	4f	DLC 为 1, 此内容为空

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xB7</b>
[1]-[4]	位置控制闭环 Ki	4f	

- 读取或设置速度控制闭环 Kp, 断电不保存; 【命令码: 0xB8】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		[0x01, 读取参数]、[0x05, 配置参数]
[0]	命令码	1u	<b>0xB8</b>
[1]-[4]	速度控制闭环 Kp	4f	DLC 为 1, 此内容为空

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xB8</b>
[1]-[4]	速度控制闭环 Kp	4f	

- 读取或设置速度控制闭环 Ki, 断电不保存; 【命令码: 0xB9】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		[0x01, 读取参数]、[0x05, 配置参数]
[0]	命令码	1u	<b>0xB9</b>
[1]-[4]	速度控制闭环 Ki	4f	DLC 为 1, 此内容为空

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x05

[0]	命令码	1u	<b>0xB9</b>
[1]-[4]	速度控制闭环 Ki	4f	

➤ Q 轴电流控制; 【命令码: 0xC0】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xC0</b>
[1]-[4]	Q 轴电流	4s	单位 0.001A; (力矩=Q 轴电流*力矩常数);

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

除了应答的命令码不同外, 从机应答主机的内容与 0xA1 命令的内容一致;

➤ 速度控制; 【命令码: 0xC1】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xC1</b>
[1]-[4]	旋转速度	4s	单位为 0.01Rpm;

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

除了应答的命令码不同外, 从机应答主机的内容与 0xA2 命令的内容一致;

➤ 绝对值位置控制; 【命令码: 0xC2】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xC2</b>
[1]-[4]	绝对值位置	4s	单位为 Count; 电机一圈为 16384Count;

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

除了应答的命令码不同外, 从机应答主机的内容与 0xA3 命令的内容一致;

➤ 相对值位置控制; 【命令码: 0xC3】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x05
[0]	命令码	1u	<b>0xC3</b>
[1]-[4]	相对位置	4s	单位为 Count; 电机一圈为 16384Count;

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

除了应答的命令码不同外, 从机应答主机的内容与 0xA3 命令的内容一致;

➤ 最短距离回原点; 【命令码: 0xC4】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01
[0]	命令码	1u	<b>0xC4</b>

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

除了应答的命令码不同外, 从机应答主机的内容与 0xA3 命令的内容一致;

➤ 抱闸开关输出控制; 【命令码: 0xCE】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x02
[0]	命令码	1u	<b>0xCE</b>
[1]	操作类型	1u	0x00: 开关断开; 0x01: 开关闭合; 0xFF: 读取状态;

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x02
[0]	命令码	1u	<b>0xCE</b>
[1]	抱闸开关状态	1u	0x00: 开关断开; 0x01: 开关闭合;

➤ 关闭电机输出, 电机进入自由态不受控制 (电机上电后为该状态); 【命令码: 0xCF】

- 主控制器 (上位机) 发送给从机 (下位机)

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明 (数据)
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01
[0]	命令码	1u	<b>0xCF</b>

- 从机 (下位机) 应答主控制器 (上位机)

除了应答的命令码不同外, 从机应答主机的内容与 0xAE 命令的内容一致;

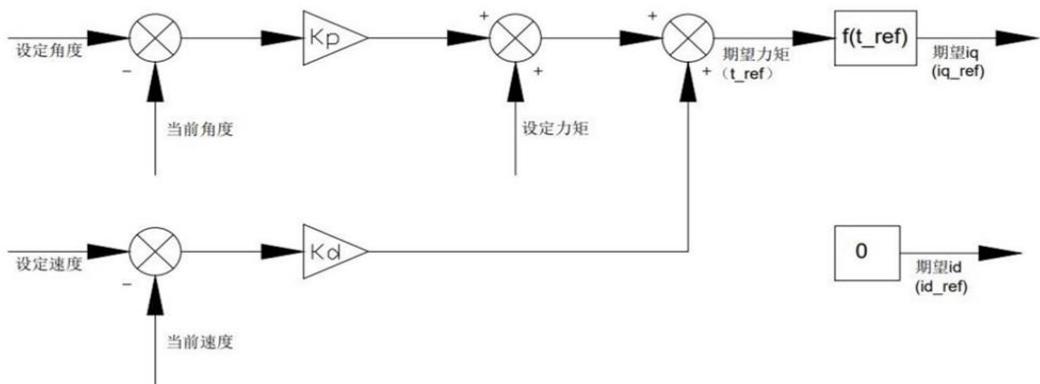
---

## 运控模式：MIT 类型协议控制方式

为兼容不同规格的电机，协议内容支持根据当前电机的实际参数或使用需求，配置位置、速度和力矩的最大值。需要注意的是，当前运控模式协议中，位置、速度和力矩的单位与前文有所不同：

1. **位置单位**：弧度 (rad)，其中  $2\pi$  rad 对应  $360^\circ$ ；
2. **速度单位**：弧度每秒 (rad/s)，其中  $2\pi$  rad/s 对应 60 转/分 (Rpm)；
3. **力矩单位**：牛顿·米 (Nm)，需通过上位机正确配置电机力矩常数；

运控模式逻辑框图：



以下是运控模式详细协议内容：

- 运控模式控制指令中的 Pos\_Max、Vel\_Max、T\_Max 读取和配置；数据遵循小端字节顺序；配置的参数会保存到驱动板，断电不丢失；(命令码：0xF0)
- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		[0x01, 读取参数]、[0x07, 配置参数]
[0]	命令码	1u	<b>0xF0</b>
[1]-[2]	Pos_Max	2u	配置运控模式位置最大值，单位 0.1rad；
[3]-[4]	Vel_Max	2u	配置运控模式速度最大值，单位 0.01rad/s；
[5]-[6]	T_Max	2u	配置运控模式力矩最大值，单位 0.01Nm；

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x07
[0]	命令码	1u	<b>0xF0</b>
[1]-[2]	Pos_Max	2u	运控模式位置最大值，单位 0.1rad； 默认值为 955，即 Pos_Max 为 95.5rad；
[3]-[4]	Vel_Max	2u	运控模式速度最大值，单位 0.01rad/s； 默认值为 4500，即 Vel_Max 为 45.00rad/s；
[5]-[6]	T_Max	2u	运控模式力矩最大值，单位 0.01Nm； 默认值为 1800，即 T_Max 为 18.00Nm；

- 读取运控模式下的实时位置、速度、力矩和状态信息；(命令码：0xF1)

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr、(0x100 Dev_addr)、0x00、0xFF
DLC	帧长度		0x01
[0]	命令码	1u	<b>0xF1</b>

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	Dev_addr
DLC	帧长度		0x07
[0]	命令码	1u	<b>0xF1</b>
[1]	机械位置	16bit	Byte[1]为高 8 位, Byte[2]为低 8 位; [0~65535]对应(-Pos_Max ~ Pos_Max);
[2]			
[3]	机械速度	12bit	Byte[3]为高 8 位, Byte[4]-Bit[7:4]为低 4 位; [0~4095]对应(-Vel_Max ~ Vel_Max);
[4]			
[5]	力矩	12bit	Byte[4]-Bit[3:0]为高 4 位, Byte[5]为低 8 位, ; [0~4095]对应(-T_Max ~ T_Max);
[6]			
[6]	状态信息	1u	[Bit0]: 为 1 表示处于运控模式; [Bit1]: 为 1 表示系统有故障;

- 运控模式控制命令；由于主机发送的当前命令数据帧中未包含命令码，为使从机能准确地识别该数据帧为运控模式控制命令，主机发送的数据帧需将 StdID 的最高位 (Bit[10]) 置为 1 (若设置地址 Dev\_addr 为 1, StdID 设置为 0x401 或 0x501)；从机接收到当前命令后，会立即切换到运控模式并执行命令；退出运控模式可发送命令码 0xCF 命令（见上文描述）；设置当前位置为原点可发送 0xB1 命令（见上文描述）；

- 主控制器（上位机）发送给从机（下位机）

CAN 帧	字段名称	字节	内容说明（数据）
StdID	设备地址	11bit	(0x400 Dev_addr)、(0x400 (0x100 Dev_addr))、 (0x400 0x00)、(0x400 0xFF)
DLC	帧长度		0x08
[0]	目标位置	16bit	Byte[0]为高 8 位, Byte[1]为低 8 位; [0~65535]对应(-Pos_Max ~ Pos_Max);
[1]			
[2]	目标速度	12bit	Byte[2]为高 8 位, Byte[3]-Bit[7:4]为低 4 位; [0~4095]对应(-Vel_Max ~ Vel_Max);
[3]			
[4]	位置增益 Kp 值	12bit	Byte[3]-Bit[3:0]为高 4 位, Byte[4]为低 8 位; [0~4095]对应[0~500];
[5]			
[5]	速度增益 Kd 值	12bit	Byte[5]为高 8 位, Byte[6]-Bit[7:4]为低 4 位; [0~4095]对应[0~5];
[6]			
[6]	目标力矩	12bit	Byte[6]-Bit[3:0]为高 4 位, Byte[7]为低 8 位; [0~4095]对应(-T_Max ~ T_Max);
[7]			

- 从机（下位机）应答主控制器（上位机）

从机应答主机的内容与 0xF1 命令内容一致；

CAN 协议通信数据包的命令格式如下：(CAN 消息采用数据帧格式与标准帧格式，字节顺序遵循小端模式)

CAN 通信帧		字段名称
StdID		设备地址
DLC		帧长度
Data[0]		命令码
Data[1]-Data[7]		数据字段

#### [0xAF 命令]-清除故障

主控制器发送数据(HEX): AF; <b>DLC 长度为 1;</b>	
AF	
主控制器接收数据(HEX): AF 00; <b>DLC 长度为 2;</b>	
AF	00

根据 0xAF 协议内容解析主控制器接收数据字段：

接收数据字段	对应参数值/含义
0x00	故障码；0x00 为无故障，其他故障码查看上述手册【0xAF】命令码内容；

#### [0xC0 命令]-力矩模式控制，目标 Q 轴电流为 1A；

主控制器发送数据(HEX): C0 E8 03 00 00; 0x000003E8 十进制为 1000, 1000*0.001=1A; <b>DLC 长度为 5;</b>					
C0	E8	03	00	00	
主控制器接收数据(HEX): C0 00 00 03 F5; <b>DLC 长度为 5;</b>					
C0	F5	03	00	00	

根据 0xC0 协议内容解析主控制器接收数据字段：

接收数据字段	对应参数值/含义
0x000003F5	当前转矩；0x000003F5 十进制为 1013; 1013*0.001=1.013A;

#### [0xC1 命令]-速度模式控制，目标速度 100Rpm；

主控制器发送数据(HEX):C1 10 27 00 00, 0x00002710 十进制为 10000, 10000*0.01=100Rpm; <b>DLC 长度为 5;</b>					
C1	10	27	00	00	
主控制器接收数据(HEX):0xC100002738; <b>DLC 长度为 5;</b>					
C1	38	27	00	00	

根据 0xC1 协议内容解析主控制器接收数据字段：

接收数据字段	对应参数值/含义
0x00002738	当前速度；0x00002738 十进制为 10040; 10040*0.01=100.4Rpm;

#### [0xC2 命令]-绝对位置模式控制，绝对值目标位置为 16384Count (多圈绝对值角度为 1 圈的位置)；

主控制器发送数据(HEX): C2 00 40 00 00, 0x00004000 十进制为 16384; 电机旋转到 360°位置; <b>DLC 长度为 5;</b>						
C2	00	40	00	00		
主控制器接收数据(HEX): C2 00 00 00 00; <b>DLC 长度为 7;</b>						
C2	00	00	00	00	00	00

根据 0xC2 协议内容解析主控制器接收数据字段：

接收数据字段	对应参数值/含义

[1]-[2]:0x0000	电机当前单圈绝对位置；角度 0°；					
[3]-[6]:0x0000	电机当前多圈绝对位置；角度 0°；					

**[0xC3 命令]-相对位置模式控制，电机相对当前位置正方向旋转 90°；**

主控制器发送数据(HEX): C3 00 10 00 00, 0x00001000 十进制为 4096, $4096 \times (360/16384) = 90^\circ$ ; <b>DLC 长度为 5;</b>							
C3	00	10	00	00			
主控制器接收数据(HEX):C3 00 40 00 00; <b>DLC 长度为 7;</b>							
C3	00	40	00	40	00	00	

根据 0xC3 协议内容解析主控制器接收数据字段：

接收数据字段	对应参数值/含义
[1]-[2]:0x4000	电机当前单圈绝对位置；4000 十进制为 16384，角度 $16384 \times (360/16384) = 360^\circ$ ；
[3]-[6]:0x00004000	电机当前多圈绝对位置；4000 十进制为 16384，角度 $16384 \times (360/16384) = 360^\circ$ ；

**[0xCF 命令]-电机失能**

主控制器发送数据(HEX): <b>DLC 长度为 1;</b>							
CF							
主控制器接收数据(HEX): CF 7C 09 01 00 26 00 00; <b>DLC 长度为 8;</b>							
CF	7C	09	01	00	26	00	00
	①	②	③	④	⑤		

根据 0xCF 协议内容解析主控制器接收数据字段：

序号	接收数据字段(HEX)	对应参数值/含义
①	0x097C	0x097C 十进制为 2428，母线电压为 $2428 \times 0.01 = 24.28V$ ；
②	0x0001	0x0001 十进制为 1，母线电路为 $1 \times 0.01 = 0.001A$ ；
③	0x26	0x26 十进制为 38，电机温度为 $38^\circ C$ ；
④	0x00	运行模式；0x00 为关闭状态，详情查看当前手册上述内容；
⑤	0x00	故障码；0x00 为无故障，详情查看当前手册上述内容；