

Modbus 通讯协议

1.1 通讯制式及波特率：

1 位起始位，8 位数据位，无奇偶校验位，1 位停止位，115200bits/s

1.2 地址设置报文

主机写入：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数据 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0x00	0x06	0x0000	0xn timer	CRC

寄存器数据定义：

地址范围：1~255。

设置地址时，使用地址 0 设置；

从机返回：

无

1.3 配置指令报文

主机写入：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数据 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x06	0x0002	0xn timer	CRC

寄存器数据定义：

- 0x0000: 激活驱动模块，激活后电机才能正常接收电压/速度/位置指令，该标志位会掉电保存；
- 0x0001: 禁止驱动模块，禁止后电机不会接收电压/速度/位置指令，该标志位会掉电保存；
- 0x0002: 执行电机角度校准命令，校准过程会持续 4s 左右；
- 0x0003: 执行电机角度校准值自动微调命令，在此过程中电机会正反转，当微调值满足要求时电机会停止，该命令必须在执行了“0x02”命令之后才能执行；
- 0x0004: 设置当前位置为 0 点，掉电后不会被保存；
- 0x0005: 紧急刹车；
- 0x0006: 恢复出厂设置（缓启动时间，堵转保护参数，负载惯量比等）；
- 0x0007: 软件复位；
- 0x0008: 故障复位；
- 0x000a: 设置为速度闭环模式；
- 0x000b: 设置为位置闭环模式；
- 0x000c: 设置为力矩闭环模式；

从机返回：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数据 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x06	0x0002	0xnynn	CRC

1.4 速度闭环控制指令报文

主机写入：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数据 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x06	0x0006	0xnynn	CRC

寄存器数据定义：

速度给定值范围为：-2048~2047，单位：rpm，齿轮箱末端速度，大部分电机速度都在 1000rpm 以内。

从机返回：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数据 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x06	0x0006	0xnynn	CRC

1.5 位置控制模式指令报文

主机写入：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数据 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x06	0x0008	0xnynn	CRC

寄存器数据定义：

位置给定值范围为：-18000~18000，单位：0.01 度，齿轮箱末端位置。

从机返回：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数据 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x06	0x0008	0xnynn	CRC

1.6 电流模式控制（力矩模式）指令报文

主机写入：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数据 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x06	0x000a	0xnynn	CRC

寄存器数据定义：

力矩电流给定值范围为：-2048~2047，因为电流采样 ADC 为 12bit。给的是电机轴端的力矩，不是齿轮箱末端的。实际使用时请不要用到极限值，因为采样电路会有偏差，往往无法做到极限值采样。

力矩电流给定值=目标电流值/16*2048；例如，目标电流值 1A，电流给定值=1/16*2048=128，对应十六进制为 0X0080。

从机返回：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数据 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x06	0x000a	0xn timer	CRC

1.7 状态反馈报文

主机写入：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x03	0x00c0	0x0007	CRC

从机返回：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	字节数 (1byte)	寄存器数据 1 (2byte)	寄存器数据 2 (2byte)	寄存器数据 3 (2byte)
0xnn	0x03	0x0e	0xn timer	0xn timer	0xn timer
寄存器数据 4 (2byte)	寄存器数据 5 (2byte)	寄存器数据 6 (2byte)	寄存器数据 7 (2byte)	CRC 校验 (2byte)	
0xn timer	0xn timer	0xn timer	0xn timer	CRC	

寄存器数据 1 定义：

圈数范围：0~65535。

寄存器数据 2 定义：

位置范围：-18000~18000，单位：0.01 度。

寄存器数据 3 定义：

转速范围：-2048~2047，单位：rpm。

寄存器数据 4 定义：

电流范围：-2048~2047，电流采样 ADC 为 12bit。

寄存器数据 5 定义：

电压范围：0~255，单位：V。

寄存器数据 6 定义：

温度范围：-128~127，单位：摄氏度。

寄存器数据 7 定义：

状态标志：

bit15~bit8： 保留；

bit7： 0 - 驱动器未被激活，1 - 驱动器处于激活状态；

bit6： 0 - 电机未做过校准，1 - 电机做过校准；

bit5： 0 - 电机未发生堵转，1 - 电机发生堵转，需要发送故障复位信号后，才可以恢复工作；

bit4~3： 0 - 电机处于开环电压控制模式， 1 - 电机处于闭环速度控制模式，2 - 电机处于闭环位置模式； 3 - 电机处于闭环力矩控制模式

bit2~0： 0 - 无故障，1 - 电流反馈信号故障，2 - 编码器反馈信号故障，3 - 功率器件故障，4 -

驱动器过热，5 - 驱动器欠压， 6 - 驱动器过压，7 - 保留；

1.8 过流保护设置报文

主机写入：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数 (2byte)	字节数 (1byte)	寄存器数据 1 (2byte)
0xnn	0x10	0x000c	0x0003	0x06	0xn timer
寄存器数据 2 (2byte)	寄存器数据 3 (2byte)	CRC 校验 (2byte)			
0xn timer	0xn timer	CRC			

寄存器数据 1 定义：

过流保护值范围：0~2047，电流采样 ADC 为 12bit。过流保护值=目标电流值/16*2048；例如，目标电流值 1A，过流保护值=1/16*2048=128，对应十六进制为 0X0080。

寄存器数据 2 定义：

堵转时间范围：0~60000，单位：ms。

寄存器数据 3 定义：

保存标志：0 – 不保存， 1 - 保存，保存时请确保电机处于静止状态。

从机返回：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x10	0x000c	0x0003	CRC

1.9 速度闭环控制指令缓启动设置报文

主机写入：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数 (2byte)	字节数 (1byte)	寄存器数据 1 (2byte)
0xnn	0x10	0x0018	0x0003	0x06	0xn timer
寄存器数据 2 (2byte)	寄存器数据 3 (2byte)	CRC 校验 (2byte)			
0xn timer	0xn timer	CRC			

寄存器数据 1 定义：

缓起缓停高 16 位，缓起缓停时间范围：0~2³²-1，0 表示不用缓启动功能，数值越大，缓起缓停时间越短，上电后默认为 500000。

寄存器数据 2 定义：

缓起缓停低 16 位，缓起缓停时间范围：0~2³²-1，0 表示不用缓启动功能，数值越大，缓起缓停时间越短，上电后默认为 500000。

寄存器数据 3 定义：

保存标志：0 – 不保存， 1 - 保存，保存时请确保电机处于静止状态。

当处于速度闭环模式时，举例说明启停时间计算，假设速度指令缓启动参数 α ，当前速度指令为0，目标速度指令（齿轮箱末端）为 n_{ref} （单位为rpm），齿轮比为 r ，那么需要经过时间 t 之后当前的速度指令才会达到目标速度指令，时间 t 的计算公式为：

$$t = 2\sqrt{\frac{rn_{ref}}{9.55\alpha}} \quad (2)$$

下面再以实际测试为例，设置 $\alpha = 5000$ ， $n_{ref} = 133$ rpm，齿轮比 $r = 3.75$ ，则理论规划时间 $t = 0.2047$ s。实际测试结果如图3所示，其中第一通道波形代表换算到电机末端的速度指令（单位:rad/s），第二通道波形代表规划后的速度指令，第三通道波形代表实际速度，采样频率为1kHz。从图中可知，指令规划时间为0.2047s，实际速度上升时间约为0.207s。

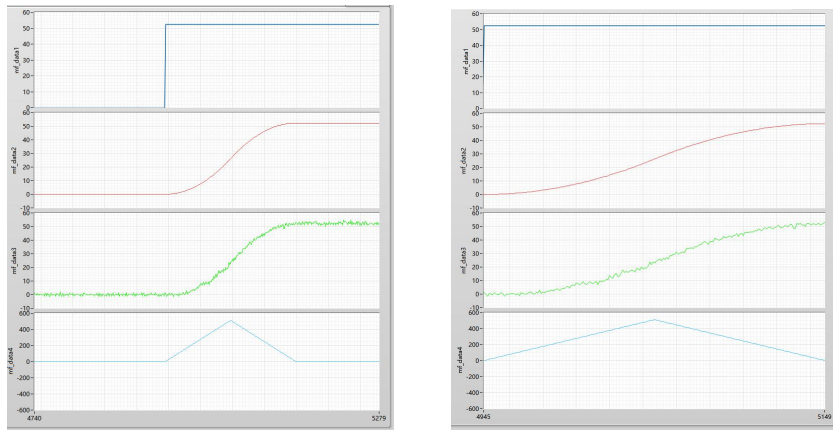


图3 速度模式测试 $\alpha = 5000$ ， $n_{qref} = 133$ rpm

设置 $\alpha = 10$ ， $n_{ref} = 133$ rpm，齿轮比 $r = 3.75$ ，则理论规划时间 $t = 4.5765$ s。实际测试结果如图4所示，其中第一通道波形代表换算到电机末端的速度指令（单位:rad/s），第二通道波形代表规划后的速度指令，第三通道波形代表实际速度，采样频率为1kHz。从图中可知，指令规划时间为4.5765s，实际速度上升时间约为4.617s。

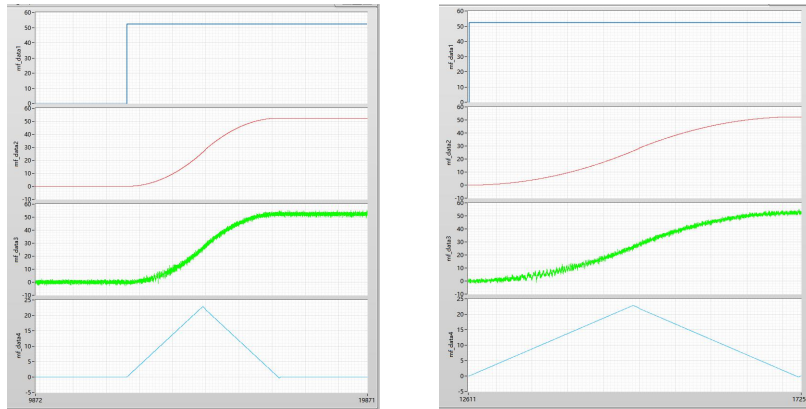


图4 速度模式测试 $\alpha = 10$ ， $n_{qref} = 133$ rpm

从机返回：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x10	0x0018	0x0003	CRC

1.10 位置指令缓启动设置报文

主机写入：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数 (2byte)	字节数 (1byte)	寄存器数据 1 (2byte)
0xnn	0x10	0x001e	0x0003	0x06	0xn timer
寄存器数据 2 (2byte)	寄存器数据 3 (2byte)	CRC 校验 (2byte)			
0xn timer	0xn timer	CRC			

寄存器数据 1 定义：

缓起缓停高 16 位，缓起缓停时间范围：0 ~ 2³² - 1，0 表示不用缓启动功能，数值越大，缓起缓停时间越短，上电后默认为 500000。

寄存器数据 2 定义：

缓起缓停低 16 位，缓起缓停时间范围：0 ~ 2³² - 1，0 表示不用缓启动功能，数值越大，缓起缓停时间越短，上电后默认为 500000。

寄存器数据 3 定义：

保存标志：0 - 不保存，1 - 保存，保存时请确保电机处于静止状态。

当处于位置闭环模式时，举例说明启停时间计算，假设位置指令缓启动参数 α ，当前位置指令为 0，目标位置指令（齿轮箱末端）为 θ_{ref} （单位为°），齿轮比为 r ，那么需要经过时间 t 之后当前的位置指令才会达到目标位置指令，时间 t 的计算公式为：

$$t = 2\sqrt{\frac{\pi \cdot \theta_{ref}}{180\alpha}} \quad (3)$$

下面再以实际测试为例，设置 $\alpha = 200$ ， $\theta_{ref} = 180^\circ$ ，齿轮比 $r = 3.75$ ，则理论规划时间 $t = 0.2507$ s。实际测试结果如图 5 所示，其中第一通道波形代表换算到电机末端的位置指令（单位:rad），第二通道波形代表规划后的位置指令，第三通道波形代表实际位置，采样频率为 1kHz。从图中可知，指令规划时间为 0.2507s，实际速度上升时间约为 0.275s。

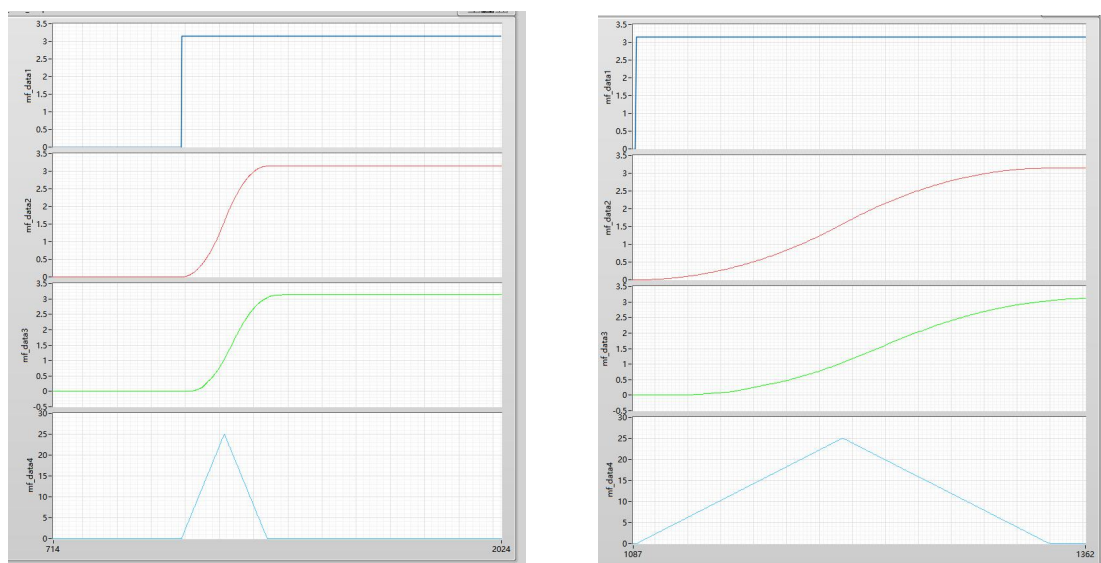


图5 位置模式测试 $\alpha = 200$, $\theta_{ref} = 180^\circ$

设置 $\alpha = 10$, $\theta_{ref} = 180^\circ$, 齿轮比 $r = 3.75$, 则理论规划时间 $t = 1.121\text{s}$ 。实际测试结果如图6所示, 其中第一通道波形代表换算到电机末端的位置指令 (单位:rad), 第二通道波形代表规划后的位置指令, 第三通道波形代表实际位置, 采样频率为 1kHz。从图中可知, 指令规划时间为 1.121s, 实际速度上升时间约为 1.125s。

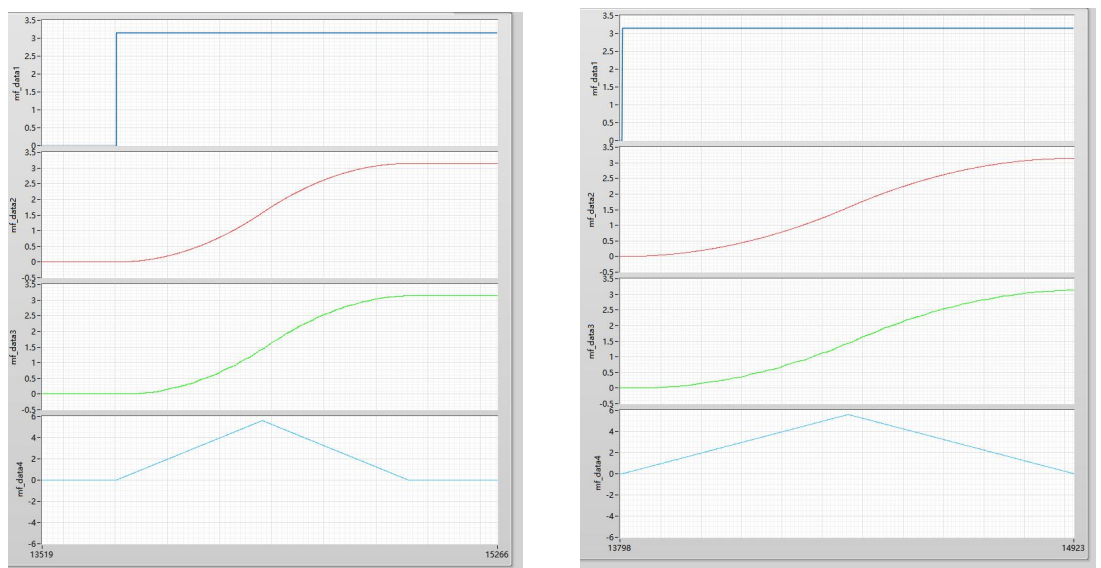


图6 位置模式测试 $\alpha = 10$, $\theta_{ref} = 180^\circ$

从机返回:

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x10	0x001e	0x0003	CRC

1.11 负载惯量设置报文

主机写入：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数 (2byte)	字节数 (1byte)	寄存器数据 1 (2byte)
0xnn	0x10	0x0024	0x0002	0x04	0xn timer
寄存器数据 2 (2byte)	CRC 校验 (2byte)				
0xn timer	CRC				

寄存器数据 1 定义：

1 ~65535，表示负载惯量是电机本体惯量的多少倍，该参数会影响速度闭环和位置闭环控制效果。

寄存器数据 2 定义：

0 - 不保存， 1 - 保存，保存时请确保电机处于静止状态。

从机返回：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x10	0x0024	0x0002	CRC

1.12 启动 485 控制电机报文

主机写入：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数据 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x06	0x00be	0xn timer	CRC

寄存器数据定义：

位置给定值范围为：0-不使用 485 控制电机，此时默认 can 控制，1-使用 485 控制电机，此时 can 无效。

从机返回：

从机地址 (1byte)	功能码 (1byte)	首寄存器地址 (2byte)	寄存器数据 (2byte)	CRC 校验 (2byte)
0xnn	0x06	0x00be	0xn timer	CRC

附录 寄存器表

寄存器地址	寄存器名	中文注释	寄存器属性
0x0000	SLAVE_ADDR	从机地址设置寄存器	UINT16_T, W
0x0002	CONFIG	配置寄存器	UINT16_T, W
0x0006	SPEED_REF	速度闭环控制寄存器	INT16_T, RW
0x0008	POSITION_REF	位置控制寄存器	INT16_T, RW
0x000a	IQ_REF	力矩电流控制寄存器	INT16_T, RW
0x000c	STALLED_CURR	过流保护设置寄存器	UINT16_T, RW
0x000e	STALLED_DURATION_MS	过流保护时间设置寄存器	UINT16_T, RW
0x0010	STALLED_CURR_SAVE_FLAG	过流设置保存标志寄存器	UINT16_T, W
0x0018	SPEED_TD_R_HIGH	速度缓启缓停设置高16位寄存器	UINT16_T, RW
0x001a	SPEED_TD_R_LOW	速度缓启缓停设置低16位寄存器	UINT16_T, RW
0x001c	SPEED_TD_R_SAVE_FLAG	速度缓启缓停设置保存标志寄存器	UINT16_T, W
0x001e	POSITION_TD_R_HIGH	位置缓启缓停设置高16位寄存器	UINT16_T, RW
0x0020	POSITION_TD_R_LOW	位置缓启缓停设置低16位寄存器	UINT16_T, RW
0x0022	POSITION_TD_R_SAVE_FLAG	位置缓启缓停设置保存标志寄存器	UINT16_T, W
0x0024	INERTIA_RATIO	负载惯量比设置寄存器	UINT16_T, RW
0x0026	INERTIA_RATIO_SAVE_FLAG	负载惯量比设置保存标志寄存器	UINT16_T, W
0x00be	USE_485_CONTROL	485 使能与失能控制寄存器	UINT16_T, RW
0x00c0	CYCLE_NUM	圈数读取寄存器	UINT16_T, R
0x00c2	ANGLE	位置读取寄存器	INT16_T, R
0x00c4	SPEED	速度读取寄存器	INT16_T, R
0x00c6	IQ	力矩电流读取寄存器	INT16_T, R
0x00c8	VOLT	电压读取寄存器	UINT16_T, R
0x00ca	TEMP	温度读取寄存器	INT16_T, R
0x00cc	STATUS	状态读取寄存器	UINT16_T, R