

类别	内容
关键词	用户手册
摘要	

修订历史

版本	日期	原因
V1.0.00	2022/11/25	创建文档

目 录

1. 适用范围.....	1
2. 产品简介.....	2
2.1 产品概述.....	2
2.2 主要特点.....	2
2.3 功能框图.....	2
3. 工作原理.....	4
3.1 伺服/霍尔 FOC 工作原理.....	4
3.1.1 伺服 FOC 位置模式.....	4
3.1.2 伺服 FOC 速度模式.....	4
3.1.3 伺服 FOC 力矩模式.....	4
3.2 无感 FOC 工作原理.....	5
4. 输入输出信号.....	6
4.1 控制信号输入.....	6
4.2 报警信号输出.....	6
4.3 模式选择.....	6
4.3.1 运行模式选择.....	6
4.3.2 调速模式选择.....	7
5. 油门控制信号说明.....	8
5.1 油门使用介绍.....	8
5.1.1 脉宽油门介绍.....	8
5.1.2 电压油门介绍.....	8
5.2 油门曲线设计.....	8
5.2.1 脉宽油门处理框图.....	8
5.2.2 电压油门处理框图.....	9
5.3 普通油门处理.....	10
5.3.1 多段 RC 曲线发生器.....	10
5.3.2 关机油门处理.....	11
5.3.3 普通油门处理状态图.....	13
5.4 油门断线及低压油门处理.....	13
5.4.1 单段 RC 曲线.....	14
5.4.2 断线处理后的油门曲线（脉宽油门）.....	14
5.4.3 低压处理后的油门曲线（脉宽油门）.....	15
5.5 油门使用说明.....	15
5.5.1 脉宽油门测试.....	15
5.5.2 电压油门测试.....	16
6. 通讯方式.....	17
6.1 串口物理层描述.....	17
6.2 通信协议介绍.....	17
6.2.1 电调发送数据描述.....	17
6.2.2 电调接收数据描述.....	21
7. 电机适配流程.....	28

7.1	参数设置.....	28
7.2	参数下载.....	29
8.	免责声明.....	33

1. 适用范围

本文档的适用于所有 MD10x 系列产品，x 为模块软件代号（x=0、1、2）：

- 0 为伺服控制（力矩、速度、位置控制）；
- 1 为霍尔（力矩、速度控制、相序自学习）；
- 2 为无感（速度控制）。

2. 产品简介

2.1 产品概述

MD10x 电调驱动模块是由立功科技·求远电子针对无刷电机控制而设计的一款 FOC 驱动器，针对中低功率直流无刷电机（支持有感、无感）的高性能产品，适用于 10~24V 的三相直流无刷电机，具有完善的保护机制和功能接口，满足各种应用场景。

2.2 主要特点

- 采用 FOC 矢量控制；
- 速度环、位置环、电流环，三环闭环控制；
- 支持顺风启动、逆风启动；
- 全面的调速机制，支持通用 PWM 脉宽调速、AD 电压调速，以及串口指令调速；
- 全面的错误报警机制，支持过压、欠压、过流等异常报警；
- 支持用户自适配电机参数，可适配各种三相无刷直流电机。

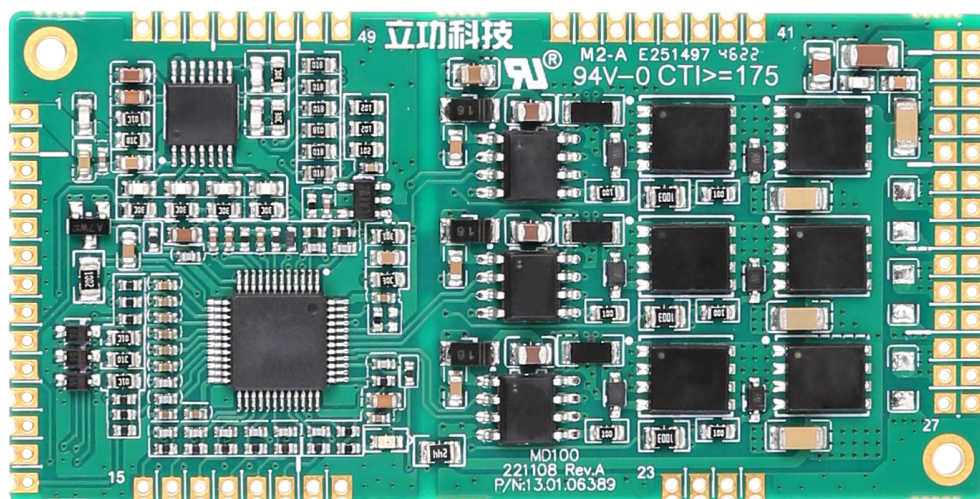


图 2.1 MD10x 电调模块

2.3 功能框图

MD10x 整体框图如图 2.2 所示，使用 12~24V 直流电源输入，支持 RS485 串口通讯，可外接控制使能、刹车及方向控制信号，报警提示信号及报警信号输出，可选 PWM 脉宽油门或电压油门输入，支持无感、伺服、霍尔电机的接入，伺服电机除速度控制外，还支持位置及力矩模式。

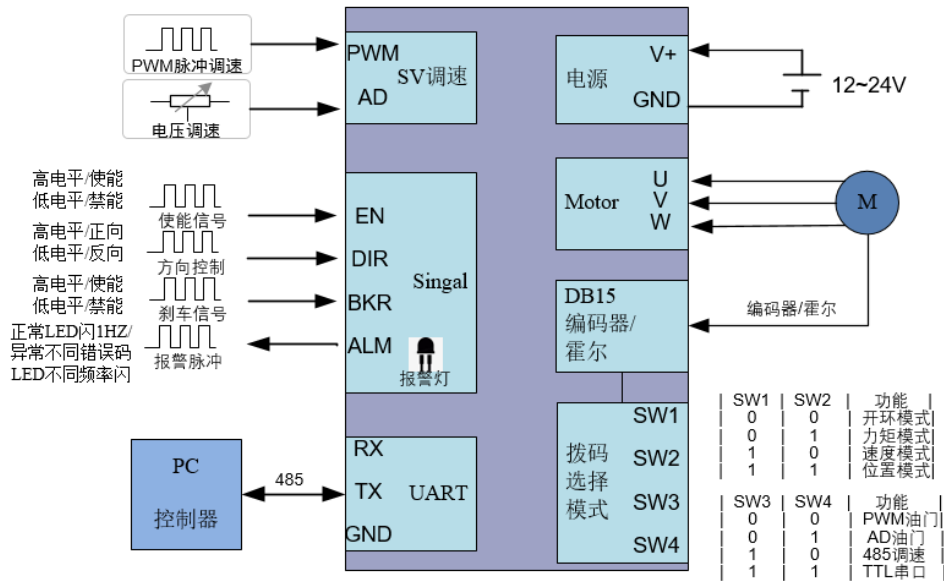


图 2.2 MD10x 控制框图

3. 工作原理

3.1 伺服/霍尔 FOC 工作原理

伺服/霍尔电机支持速度控制、位置控制及力矩控制，三种模式可以通过提供的模式拨码开关选择其要运行的模式，电机位置测量精度霍尔精度低于伺服电机，下面以伺服电机为例，三种工作模式工作原理如下。

3.1.1 伺服 FOC 位置模式

伺服电机常用的一种工作就是做位置控制，工作原理如图 3.1 所示。用户设置一个位置信号给到位置环，位置环 PID 运算后给到速度环控制，速度环计算后给到电流环，进行运算后通过 SVPWM 输出控制信号驱动电机运动，通过编码器实时采集位置信号进行反馈，形成闭环控制。

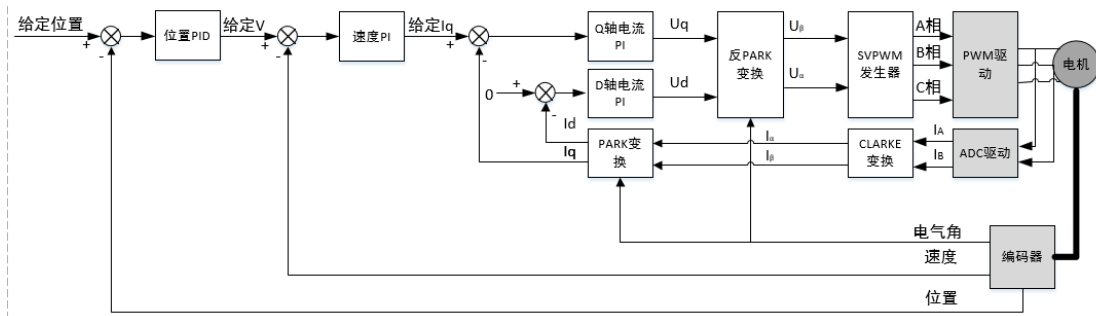


图 3.1 伺服 FOC 位置模式

3.1.2 伺服 FOC 速度模式

图 3.2 是伺服电机跑速度模式的工作原理图，用户给定一个速度参数，控制器按此设定的速度转动，给定速度进入速度环 PI 控制，输出参数进入电流环进行计算，最后通过 SVPWM 生成 PWM 控制信号驱动电机转动，编码器实时采集电机的电气角度和速度进行反馈，形成完整闭环控制。

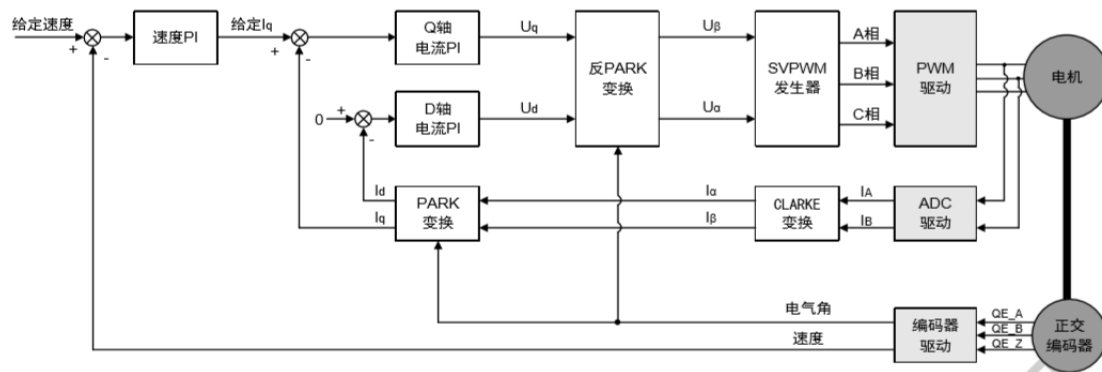


图 3.2 伺服 FOC 速度模式

3.1.3 伺服 FOC 力矩模式

一些应用需要用到力矩模式控制电机输出的力矩，达到恒力矩运行时可以用此模式。用户设定一个所需要的力矩，给到电流环进行 PI 运算，将运算结果通过 SVPWM 输出 PWM 控制信号控制电机，工作原理见图 3.3。

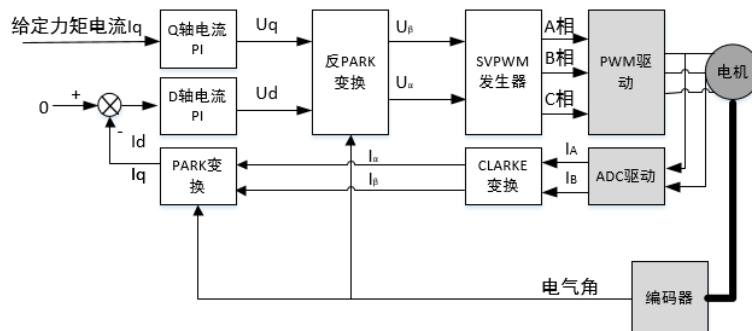


图 3.3 伺服 FOC 力矩模式

3.2 无感 FOC 工作原理

无感 FOC 控制只能控制电机的转速，其功能框图见图 3.4。无感电机通过采集电机的相电压和相电流和观测转子位置，用无感观测器取代上述编码器功能，与编码器驱动相比，无感驱动需要依靠电机反向电动势来观测电气角和速度，当电机停止或速度很低时，无感观测器无法准确地测量出电气角。无感电机只能开环拖动，导致启动力矩小、低速性能不佳，所以一般只适合风机、水泵或带减速器等的应用。

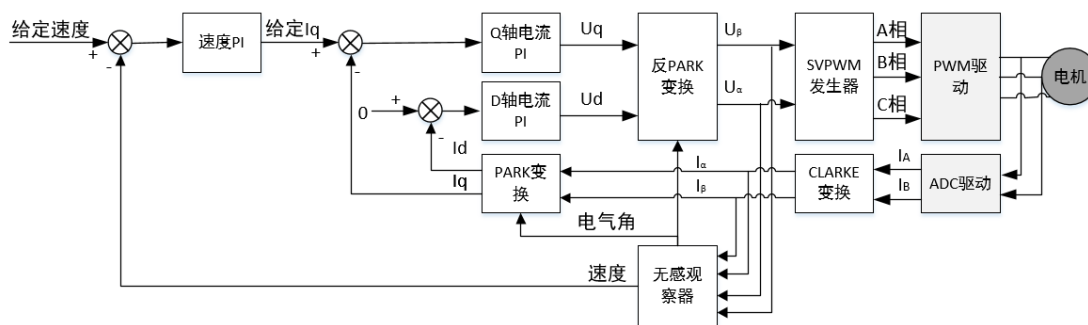


图 3.4 无感 FOC 速度模式

4. 输入输出信号

MD10x 支持完善的输入输出控制信号，可以非常方便的接入所需系统。输入控制信号包含电调使能控制信号、刹车信号、模式选择信号以及调速信号，输出信号主要是异常状态的报警信号，支持上报异常状态。

4.1 控制信号输入

MD10x 的控制信号使用差分输入，其他控制器可以通过这些控制引脚输入控制信号控制电机运行，支持的输入控制信号的说明，电调使能、刹车、转向功能，具体控制逻辑详见表 4.1。

表 4.1 控制信号输入逻辑对照表

控制口	电平状态	控制功能	备注
使能	0 (默认)	电调使能	电调能够驱动电机
	1	电调禁能	电调无法驱动电机
刹车	0 (默认)	刹车禁能	电调能够驱动电机
	1	刹车使能	电调刹车，电机停止
方向	0 (默认)	电机正转	电机正转
	1	电机反转	电机反转

4.2 报警信号输出

MD10x 具有报警保护功能，在检测到异常情况时，将会关闭电机并输出报警信号，其中除了使能和刹车控制之外，其余报警都需要清除错误才能解除报警。

表 4.2 报警信号对照表

报警代码	报警原因	报警脉冲频率	备注
0	正常工作	1Hz	正常状态
1	未使能	2 Hz	外部使能控制处于未使能状态
2	硬件过流	3 Hz	内部硬件过流警报 (默认 30A)
3	刹车状态	4 Hz	外部刹车使能控制处于使能状态
4	软件过流	5 Hz	电流超过用户配置软件过流值
8	过压	6 Hz	电压超过用户配置最大电压
16	欠压	7 Hz	电压小于用户配置最小电压
32	缺相	8 Hz	电机相线接线缺失或者接触不良
128	超速	9 Hz	电机转速超过设定转速
256	堵转	10 Hz	由于负载造成电机转速过低或电流过大
512	启动失败	11 Hz	无感电机启动异常
1024	紧急停机	12 Hz	电机由异常情况而处于紧急停止状态
2048	校准错误	13 Hz	伺服电机上电后校准失败

4.3 模式选择

4.3.1 运行模式选择

在 MD100 伺服控制下，在电调上电前可以通过改变拨码开关 1 和拨码开关 2 的位置来选择电机的运行模式，可以设置为速度模式、位置模式及力矩模式如表 4.3。

表 4.3 拨码开关运行模式对照表

拨码开关 1 状态	拨码开关 2 状态	运行模式	备注
下	上	速度模式	MD10x 均可用
上	上	位置模式	仅 MD100 可用
上	下	力矩模式	仅 MD103 不可用
下	下	霍尔自学习	仅 MD101 可选

4.3.2 调速模式选择

MD10x 上电之前可以通过改变拨码开关 3 和拨码开关 4 的位置来改变调速模式，可以选择为脉宽油门、电压油门及 485 调速。具体控制模式和拨码开关位置组合关系如表 4.4，（MD100 只能在速度模式下使用）。

表 4.4 拨码开关调速模式对照表

拨码开关 3 状态	拨码开关 4 状态	调速模式	备注
下	下	脉宽油门	
上	下	电压油门	
--	上	串口调速	

5. 油门控制信号说明

5.1 油门使用介绍

5.1.1 脉宽油门介绍

脉宽油门控制是通过 PWM（脉宽调制）信号对电机速度快慢进行控制的控制方式。电调接收到 1ms ~ 2ms 脉宽信号时，电调将根据脉宽信号的实际宽度比例对电机速度进行控制。例如：电机最高速度为 30000r/min，脉宽为 1.5ms 时，比例为 50%，对应速度为 15000r/min，当脉宽为 2ms 时，比例为 100%，对应速度为 30000r/min。

5.1.2 电压油门介绍

电压油门控制是通过调节一定范围内的电压信号对电机速度快慢进行控制的控制方式。当电调接收到调速范围内的电压信号时，电调将根据电压大小对电机速度快慢进行控制。例如：控制信号电压范围为 0.5~2.8V，电机最高速度为 30000r/min 时，当信号电压为 1.65V 时，比例为 50%，对应速度为 15000r/min，当信号电压为 2.8V 时，比例为 100%，对应速度为 30000r/min。

5.2 油门曲线设计

5.2.1 脉宽油门处理框图

脉宽油门处理框图如图 5.1 所示，主要分为以下三个部分处理：

- 普通油门处理：油门信号正常（有有效的油门信号），且电池电压不低于设定的电压值时油门的处理过程；
- 低压油门处理：在普通油门处理的基础上，电池电压低于设定的电压值时，对油门输出信号的特殊处理过程；
- 油门断线处理：在普通油门处理的基础上，油门信号丢失时，对油门输出信号的特殊处理过程。

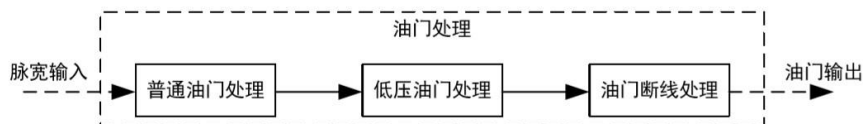


图 5.1 脉宽油门处理框图

脉宽油门处理的简要流程框图如图 5.2 所示。

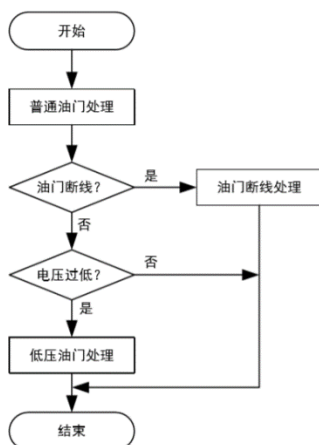


图 5.2 脉宽油门处理简要流程框图

5.2.2 电压油门处理框图

电压油门处理框图如图 5.3 所示，主要分为以下两个部分处理：

- 普通油门处理：油门信号正常（有有效的油门信号），且电池电压不低于设定的电压值时油门的处理过程；
- 异常油门处理：在普通油门处理的基础上，电压低于或高于设定的电压值时，对油门输出信号的特殊处理过程；

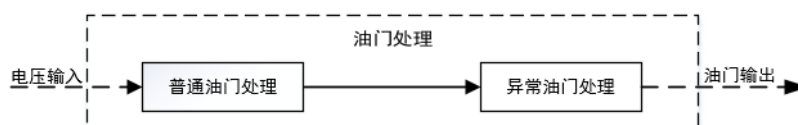


图 5.3 电压油门处理框图

电压油门处理的简要流程框图如图 5.4 所示

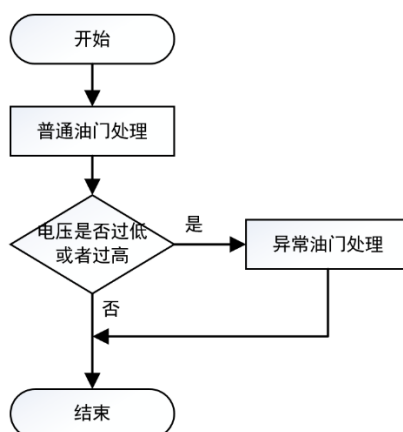


图 5.4 电压油门简要流程框图

下面将分别对三个部分的处理进行简要说明，在说明之前，先对涉及到的两个变量进行说明：

q24ThrtTarg：原始油门信号，脉宽捕获后得到的油门信号，此信号与油门输入脉宽的大小一一对应，或者为 ADC 采集后得到的油门信号，此信号与油门输入电压大小一一对应；

q24ThrtOut: 经过油门处理后的油门输出信号，此信号是经过一系列处理后，作为最终输出到电机的设定值。

5.3 普通油门处理

普通的油门处理过程如图 5.5 所示。选择油门脉冲输入信号经过脉宽捕获处理后或者选择油门电压输入信号经过 ADC 采集处理后，得到油门目标信号 q24ThrtTarg。多段 RC 曲线发生器，根据目标的油门值和用户初始化时设定的曲线，输出 RC 给定值。最后，该给定值再经关机油门处理后，输出最终的设定值 q24ThrtOut。



图 5.5 普通油门处理框图

5.3.1 多段 RC 曲线发生器

1. 曲线说明

多段 RC 曲线发生器（下文简称“RC 曲线发生器”）根据目标的油门值 q24ThrtTarg 和曲线当前输出值，按用户初始化设定的曲线，输出给定值，如图 5.6 所示。

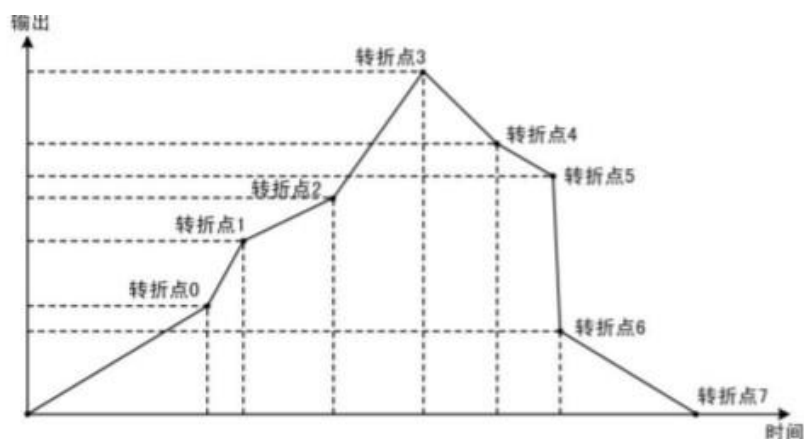


图 5.6 多段 RC 曲线

假设用户设定的 RC 曲线如图 5.6 所示，曲线当前时刻 t_0 输出值为 U_{q0} ，此时脉冲捕获得到的油门目标值为 U_{q1} ，且保持不变。

如果 U_{q1} 大于 U_{q0} ，则曲线输出值按上升路径上升，直到输出值等于目标值 U_{q1} ，如图 5.7 红色线条所示；如果 U_{q1} 小于 U_{q0} ，则曲线输出值按下降路径下降，直到输出值等于目标值 U_{q1} ，如图 5.8 所示。

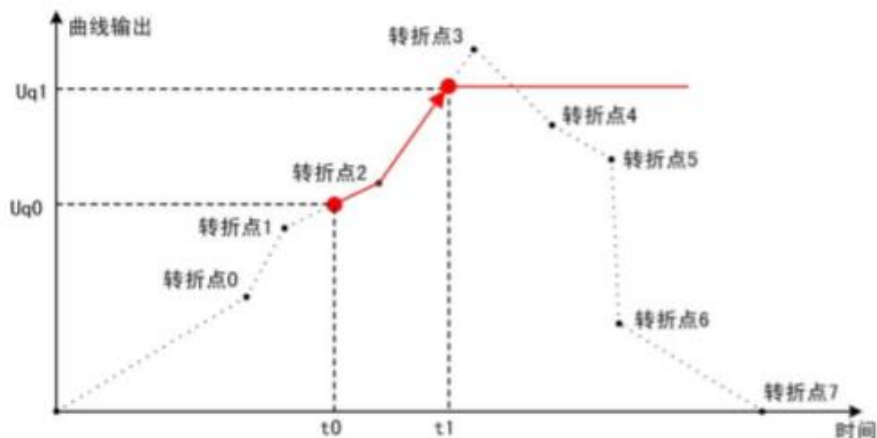


图 5.7 RC 曲线上升示意图

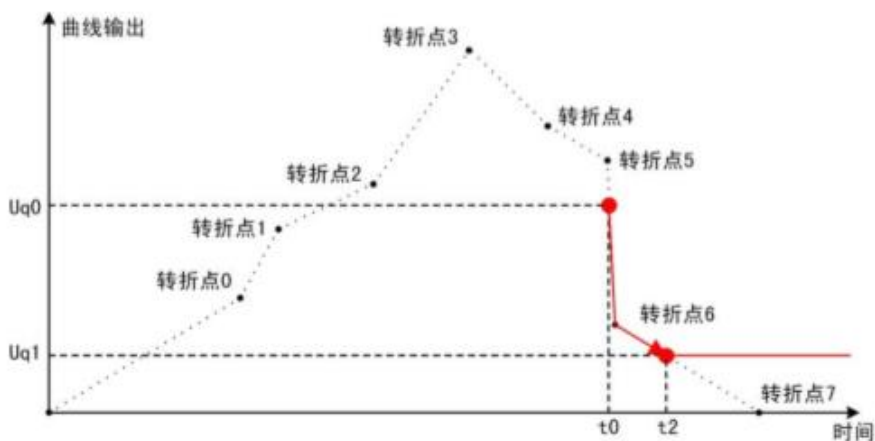


图 5.8 RC 曲线下降示意图

5.3.2 关机油门处理

关机油门处理流程如图 5.9 所示。软件根据脉冲捕获得到的目标油门值 $q24ThrtTarg$ 和初始化设定的电机关闭油门值 $UqOff$ 进行比较。如果目标油门值大于 $UqOff$ ，那么电机应该处于正常运行状态，最终的输出值为 RC 曲线的输出值；否则进一步判断是否有关机油门信号。由图可知，电机关闭的条件是：目标油门信号保持低于关机油门值一段时间（即滤波时间值）。在关机油门滤波期间内，最低输出值为初始化设定的油门保持值 $UqHold$ 。

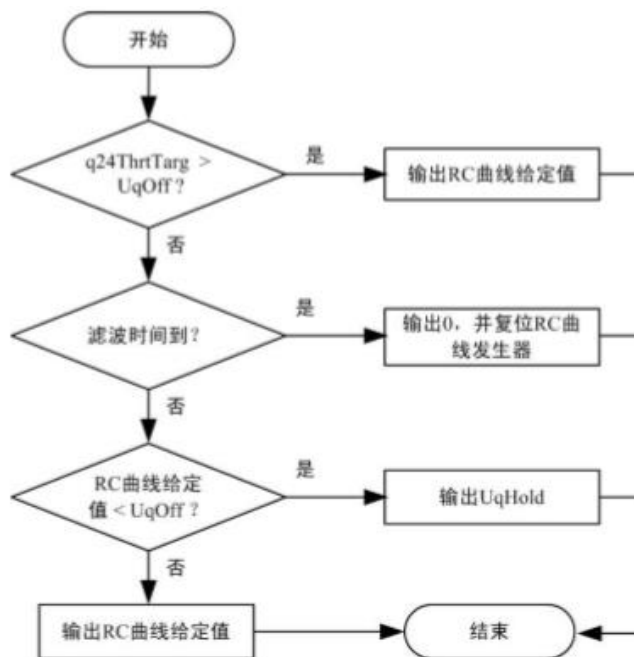


图 5.9 关机油门处理流程图

下面举例说明关机油门处理对最终电压设定值的作用，为方便起见，假设油门曲线配置为图 5.10 所示的简单的 RC 曲线。当输入的油门值如图 5.11 虚线所示变化时，对应的电机运行电压设定值变化如图中实线所示。图中的滤波时间在 THROTTLE_OFF_FILT_TIME 中配置。

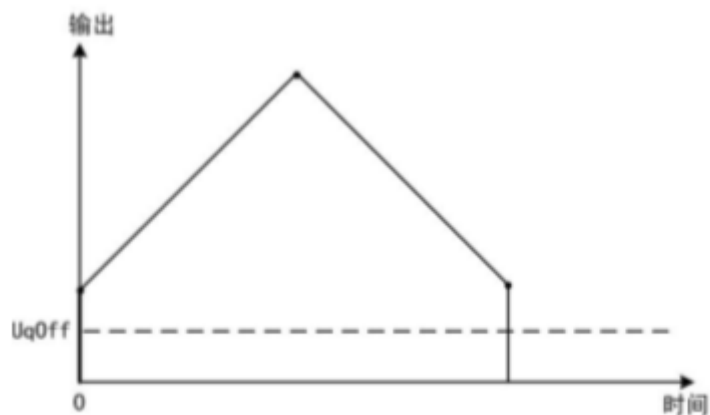


图 5.10 简单的 RC 曲线

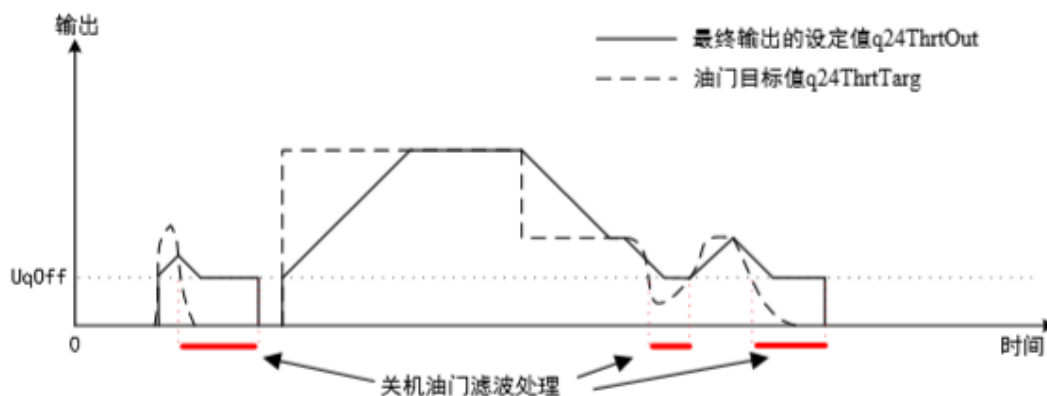


图 5.11 加入关机油门滤波处理后的输出电压设定值示例

5.3.3 普通油门处理状态图

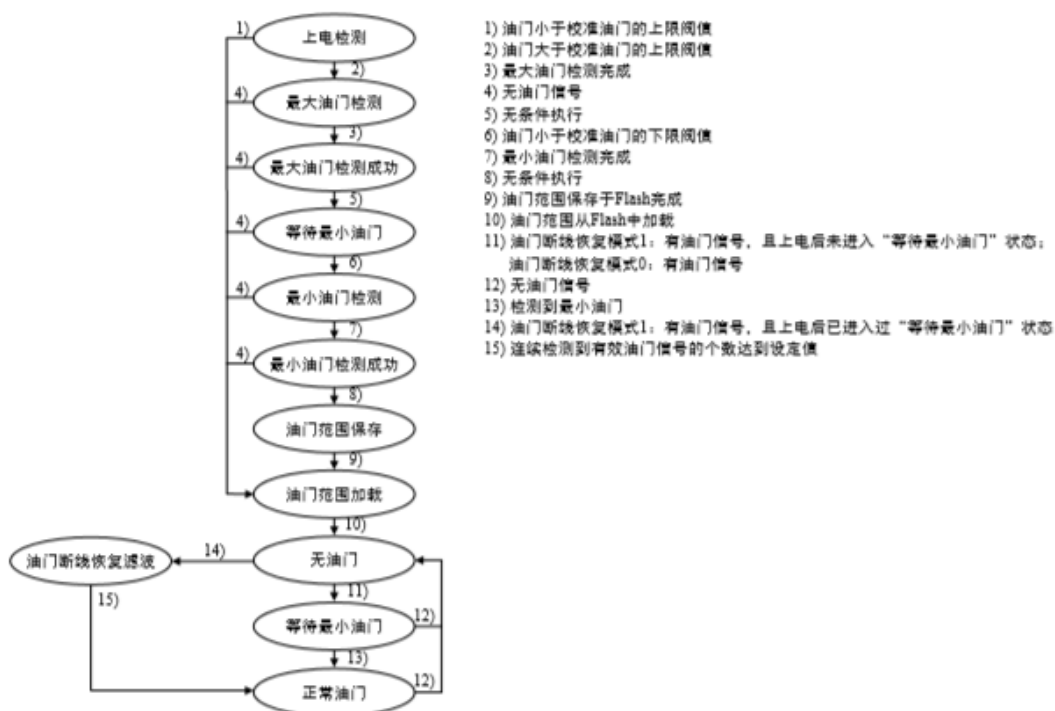


图 5.12 普通油门处理状态图

5.4 油门断线及低压油门处理

油门断线及低压油门处理图 5.13 所示

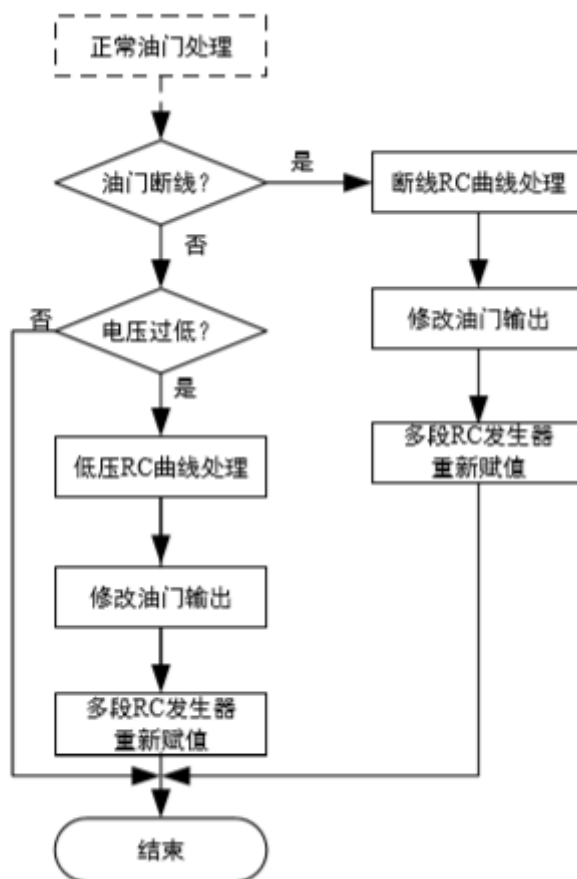


图 5.13 油门断线及低压油门处理流程图

5.4.1 单段 RC 曲线

单段 RC 曲线发生器与多段 RC 曲线发生器类似，只不过只有一上一下一段曲线，如图 5.14 所示。在油门断线及低压油门处理中，都用到了单段 RC 曲线发生器，但仅使用了其中的下降曲线，使对应的油门输出按设定的斜率下降。

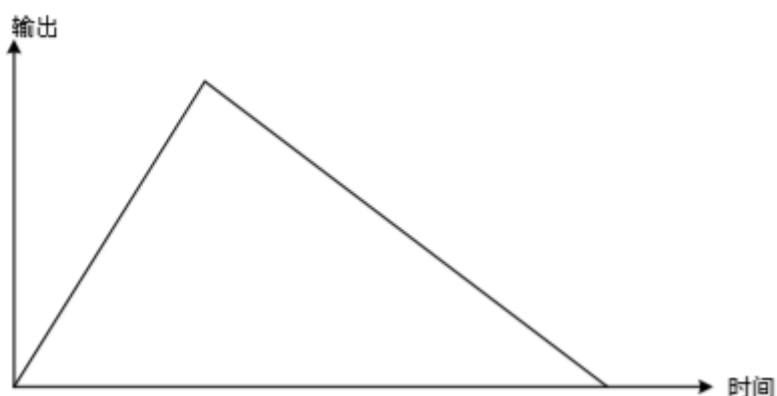


图 5.14 单段 RC 曲线

5.4.2 断线处理后的油门曲线（脉宽油门）

加入断线处理的油门曲线如图 5.15 所示。图中的红色线区域表示油门信号丢失。当油门信号丢失后，油门信号以设定的斜率下降。当油门输入信号恢复后，油门输出信号从当前值开始，以正常油门曲线的路径到达设定值。需要注意的是，由于油门输入信号的丢失，无

法获取 $q24ThrtTarg$ ，因此在油门输入信号丢失期间，软件 $q24ThrtTarg$ 将设置为 0。

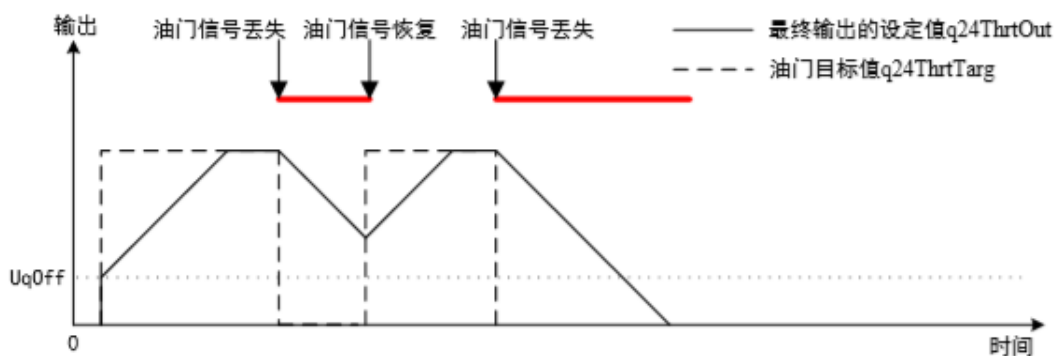


图 5.15 加入断线处理的油门曲线

5.4.3 低压处理后的油门曲线（脉宽油门）

加入低压处理的油门曲线图 5.16 所示。当检测到电池电压低于设定值后， $q24ThrtOut$ 以设定好的斜率降低，一直到设定好的低压最大输出值。低压期间， $q24ThrtOut$ 的最大值被限制，高于 $q24ThrtTarg$ 的 $q24ThrtTarg$ 将不被响应，低于 $q24ThrtTarg$ 的 $q24ThrtTarg$ 则可以 被响应。当电池电压恢复后， $q24ThrtOut$ 恢复正常。

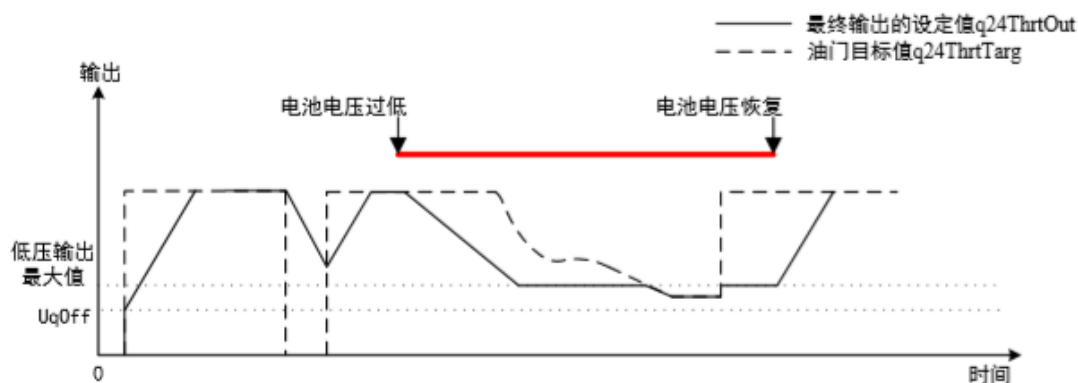


图 5.16 低压处理后的油门曲线

5.5 油门使用说明

5.5.1 脉宽油门测试

脉宽信号基本要求如表 5.1，也可以使用脉宽调制发生器作为 PWM 信号发生源，按照接线定义将脉宽调制发生器接入电路进行测试。

表 5.1 脉宽信号参数表

参数类型	数值范围	备注
电压范围	2.3V ~ 5V	
脉宽范围	0.8ms ~ 2.1ms	
频率范围	10hz ~ 450hz	信号频率直接影响速度刷新率

电机速度值与脉宽的关系如图 5.17，转速从 0 开始时，当信号脉宽达到开机脉宽才开始输出转速，转速不为 0 时，当信号脉宽小于关机脉宽时才停止输出转速。

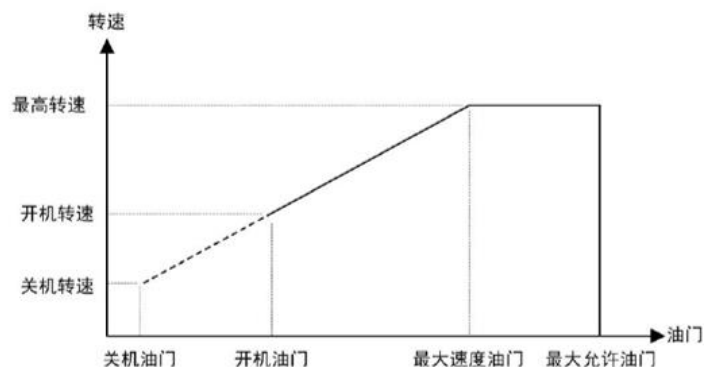


图 5.17 速度与脉宽关系曲线图

5.5.2 电压油门测试

电压油门控制信号基本要求如表 5.2，电压可以根据实际应用进行适当调整，也可以使用电阻值为 100k 的电位器控制电压测试。

表 5.2 电压信号信息

参数类型	数值范围	备注
电压	0.3V ~ 3V	电压范围可以适当调整

电机速度与电压信号关系如图 5.18，转速从 0 开始时，当电压信号达到开机电压才开始输出转速，转速不为 0 时，当电压小于关机转速时才停止输出转速。

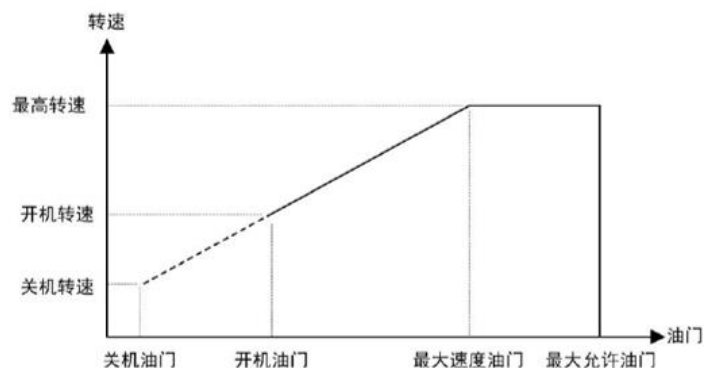


图 5.18 电机速度与信号电压关系图

6. 通讯方式

MD10x 支持通过串口更新电机参数已适配不同电机，也支持通过串口控制电机转速（位置）、上报电机异常状态等。

6.1 串口物理层描述

1. 传输波特率

电调物理层采用的是 3.3V 串口电平，默认波特率 115200 bps，可选波特率 1200 bps、2400 bps、4800 bps 和 9600 bps。

注：校验位为偶校验。

2. 波特率精度

波特率精度：<0.75%。

3. 字节传输

字节传输时每字节按照：1 个起始位（0, Start）、8 个数据位（Data），1 个偶校验位（Even）和一个停止位（1, Stop），共 11 位。其字节传输序列如图 6.1 所示，D0 是字节的最低位（LSB），D7 是字节的最高位（MSB）。先传低位，后传高位。



图 6.1 字节传输序列

4. 响应时间

主机发送完成数据帧到从机开始发送应答帧时间间隔为 $11 \cdot T_{bit}$ 至 $50ms + 330 \cdot T_{bit}$ ，对于 2400 波特率约为 5ms~188.75ms。

5. 字节间隔

字节间隔：<16% Bit。

6.2 通信协议介绍

6.2.1 电调发送数据描述

1. 电调发送标准数据格式

每帧数据的同步头（第一个字节）是“0x5A”；帧的长度是动态变化的，具体长度等于“帧长 L + 帧长 H << 8”；数据段是有效的通信数据，字节数动态变化；校验字节是从同步头到最后一个数据的异或。

同步头	帧长低部	帧长高部	AMetal-FOC 用户自定义数据	校验码	校验反码字节
0x5A	L	H	N 个用户数据	异或校验值	校验字节的反码

注：

1. 校验码：从同步头到最后一个数据的异或。
2. 长度 L：指同步头到校验码前的字节总数。

2. 电调发送设备信息说明

电调上时会通过串口向外发送三遍（间隔 100ms）设备信息，在设备信息中，包含电调的硬件 ID 号、固件版本号等，保留位可用于研发调试过程中传输调试信息，如表所示，例如电调的硬件 ID 号为 1234567890，电调固件版本号为：160603a 保留位均为 0，则整帧数据应该为：“0x5A 0x16 0x00 0x01 0xd2 0x02 0x96 0x49 0x10 0x06 0x03 0x61 0x00 0x00 0x 00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x36 0xC9”

表 6.1 发送设备信息帧说明

数据段偏移	说明	参数示例
0	设备信息数据帧标志	固定 0x01
1	电调硬件 ID 的 0 字节 ID[0]	ID= (ID[3]<<24)+ (ID[2]<<16) + (ID[1]<<8)+ ID[0]
2	电调硬件 ID 的 1 字节 ID[1]	
3	电调硬件 ID 的 2 字节 ID[2]	
4	电调硬件 ID 的 3 字节 ID[3]	
5	电调固件版本 0 字节 REV[0]	REV= (REV [3]<<24)+ (REV [2]<<16) + (REV [1]<<8)+ REV [0]
6	电调固件版本 1 字节 REV[1]	
7	电调固件版本 2 字节 REV[2]	
8	电调固件版本 3 字节 REV[3]	
9~16	保留	0x00

3. 电调发送状态数据说明

电调上时会通过串口向外发送三遍（间隔 100ms）设备信息，在设备信息中，包含电调的硬件 ID 号、固件版本号等，保留位可用于研发调试过程中传输调试信息，如表所示，例如电调的硬件 ID 号为 1234567890，电调固件版本号为：160603a 保留位均为 0，则整帧数据应该为：“0x5A 0x16 0x00 0x01 0Xd2 0x02 0x96 0x49 0x10 0x06 0x03 0x61 0x00 0x00 0x 00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x36 0xC9”

1. 速度模式

电调速度模式工作状态下，每 100ms 向外发送一条状态数据，包括错误码和实际转速，如果错误码非 0，表示有故障，电调将关闭驱动电路，需要解除故障，例如当电机没有任何故障，转速为 0RPM，则状态数据帧为：“0x5A 0x0D 0x00 0x02 0x00 0x00 0x5A 0x00 0x00 0x00 0x00 0x0F 0xF0”，转速为 1000RPM，则状态数据帧为：“0x5A 0x0D 0x00 0x02 0x00 0x00 0x5A 0x00 0x00 0x03 0xE8 0xE4 0x1B”。

表 6.2 发送数据状态帧说明

数据段偏移	说明	参数示例
0	状态数据帧标识	固定 0x02
1	错误码 0 字节 ErrNum[0]	当电调出现故障，对应位被置 1，否则为 0； 第 0 位：保留 第 1 位：硬件过流 第 2 位：软件过流 第 3 位：过压 第 4 位：欠压 第 5 位：缺相 第 6 位：保留

		第 7 位: 超速
2	错误码 1 字节 ErrNum[1]	当电调出现故障, 对应位被置 1, 否则为 0; 第 0 位: 堵转 第 1 位: 启动失败 第 2 位: 紧急停止 第 3 位: 校准错误 第 4 位: 保留 第 5 位: 保留 第 6 位: 保留 第 7 位: 保留
3	正反转标志位	正转 0x5A 反转 0xA5
4	转速 23 ~ 16 位 speed[2]	例如转速 30000RPM=0x007530; speed[0]=0x30 speed[1]=0x75 speed[2]=0x00
5	转速 15 ~ 8 位 speed[1]	
6	转速 0 ~ 7 位 speed[0]	

2. 位置模式

电调位置模式工作状态下, 每 100ms 向外发送一条状态数据 5A 0D 00 02 00 00 5A 00 00 00 00 0F F0, 包括错误码和实际位置, 如果错误码非 0, 表示有故障, 电调将关闭驱动电路, 需要解除故障。例如当电机没有任何故障, 位置为 0 时, 则状态数据帧为: “0x5A 0x0D 0x00 0x02 0x00 0x00 0x5A 0x00 0x00 0x00 0x0F 0xF0”, 位置为 1000 时, 则状态数据帧为: “0x5A 0x0D 0x00 0x02 0x00 0x00 0x5A 0x00 0x00 0x03 0xE8 0xE4 0x1B”。

表 6.3 发送数据状态帧说明

数据段偏移	说明	参数示例
0	状态数据帧标识	固定 0x02
1	错误码 0 字节 ErrNum[0]	当电调出现故障, 对应位被置 1, 否则为 0; 第 0 位: 保留 第 1 位: 硬件过流 第 2 位: 软件过流 第 3 位: 过压 第 4 位: 欠压 第 5 位: 保留 第 6 位: 保留 第 7 位: 保留
2	错误码 1 字节 ErrNum[1]	当电调出现故障, 对应位被置 1, 否则为 0; 第 0 位: 保留 第 1 位: 缺相

		第 2 位: 堵转 第 3 位: 驱动电路异常 第 4 位: 保留 第 5 位: 保留 第 6 位: 保留 第 7 位: 保留
3	正反转标志位	正转 0x5A 反转 0xA5
4	位置 24 ~ 31 位 speed[3]	例如位置 1000=0x0003E8; speed[0]=0xE8 speed[1]=0x03 speed[2]=0x00 speed[3]=0x00
5	位置 16 ~ 23 位 speed[2]	
6	位置 8 ~ 15 位 speed[1]	
7	位置 0 ~ 7 位 speed[0]	

3. 力矩模式

电调力矩模式工作状态下, 每 100ms 向外发送一条状态数据, 包括错误码和实际位置, 如果错误码非 0, 表示有故障, 电调将关闭驱动电路, 需要解除故障。例如当电机没有任何故障, 位置为 0 时, 则状态数据帧为: “0x5A 0x0D 0x00 0x02 0x00 0x00 0x5A 0x00 0x00 0x00 0x00 0x0F 0xF0”, 转矩为 1000mA 时, 则状态数据帧为: “0x5A 0x0D 0x00 0x02 0x00 0x00 0x5A 0x00 0x00 0x03 0xE8 0xE4 0x1B”。

表 6.4 发送数据状态帧说明

数据段偏移	说明	参数示例
0	状态数据帧标识	固定 0x02
1	错误码 0 字节 ErrNum[0]	当电调出现故障, 对应位被置 1, 否则为 0; 第 0 位: 保留 第 1 位: 硬件过流 第 2 位: 软件过流 第 3 位: 过压 第 4 位: 欠压 第 5 位: 保留 第 6 位: 保留 第 7 位: 保留
2	错误码 1 字节 ErrNum[1]	当电调出现故障, 对应位被置 1, 否则为 0; 第 0 位: 保留 第 1 位: 缺相 第 2 位: 堵转 第 3 位: 驱动电路异常 第 4 位: 保留 第 5 位: 保留 第 6 位: 保留

		第 7 位: 保留
3	正反转标志位	正转 0x5A 反转 0xA5
4	位置 24 ~ 31 位 speed[3]	例如力矩 1000mA=0x0003E8; speed[0]=0xE8 speed[1]=0x03 speed[2]=0x00 speed[3]=0x00
5	位置 16 ~ 23 位 speed[2]	
6	位置 8 ~ 15 位 speed[1]	
7	位置 0 ~ 7 位 speed[0]	

6.2.2 电调接收数据描述

1. 接收标准数据格式

每帧数据的同步头（第一个字节）是“0xA5”；帧的长度是动态变化的，具体长度等于“帧长 L + 帧长 H << 8”；数据段是有效的通信数据，字节数动态变化；校验字节是从同步头到最后一个数据的异或。

同步头	帧长 低部	帧长 高部	AMetal-FOC 用户自定义数据	校验码	校验反码字节
0xA5	L	H	N 个用户数据	异或校验值	校验字节的反码

注：

1. 校验码：从同步头到最后一个数据的异或。
2. 长度 L：指同步头到校验码前的字节总数。

2. 电机参数更新说明

出厂电调默认自带的电机参数是 BLM57050 电机，电调上电 10S 内，如果没有收到有效的启动油门，电机处于停止状态，则可以发送参数更新指令，在电调固件不变的情况下，修改电机参数以适配新的电机。上电 10S 后或电机运行后无法修改，则按之前参数运行。参数更新指令如下所示：

表 6.5 更新参数帧说明

数据段偏移	说明	参数示例
0	更新固件参数标志	固定为 0xFF
1	更新固件参数标志	固定为 0xFF
2	保留	固定为 0xFF
3	保留	固定为 0xFF
4	校验和 0 字节 ChkSum[0]	将参数版本、数量、参数字节内容全部按无符号 8 位相加。 例如相加结果为 0x12345678，则 ChkSum[0]=0x78 ChkSum[1]=0x56 ChkSum[2]=0x34 ChkSum[3]=0x12
5	校验和 1 字节 ChkSum[1]	
6	校验和 2 字节 ChkSum[2]	
7	校验和 3 字节 ChkSum[3]	

8	参数版本 0 字节 parver[0]	例如参数版本号为“220929a”，其中 220929 为更新参数时间（版本），a 为适配电机的代码，假设 a 为 BLM57050 电机，b 为其他型号电机，自行定义，例如 parver[0]=22=0x16 parver[1]=09=0x09 parver[2]=29=0x1D parver[3]=0x0A
9	参数版本 1 字节 parver[1]	
10	参数版本 2 字节 parver[2]	
11	参数版本 3 字节 parver[3]	
12	参数数量 0 字节 parNum[0]	参数的数量，如果数量为 6000（0x1770）个字节，一般 500 个字节左右 parNum[0]= 0x70 parNum [1]= 0x17 parNum [2]= 0x00 parNum [3]=0x00
13	参数数量 1 字节 parNum [1]	
14	参数数量 2 字节 parNum [2]	
15	参数数量 3 字节 parNum [3]	
以下 19 ~ 367 为 user_foc_data 参数		
16 ~ 19	FdrvUNormal（额定电压）	当额定电压为 24V 时对应（0x00 0x00 0xC0 0x41）
20 ~ 23	fDrvUOver（过压电压）	当过压电压为 48V 时对应（0x00 0x00 0x40 0x42）
24 ~ 27	fDrvUUnder（欠压电压）	当过压电压为 10V 时对应（0x00 0x00 0x20 0x41）
28 ~ 31	fMotVmaxRpm（额定转速 RPM）	3000 对应（0x00 0x80 0x3B 0x45）
32 ~ 35	fMotVonRpm（开机转速 RPM）	300 对应（0x00 0x00 0x96 0x43）
36 ~ 39	fMotVoffRpm（关机转速 RPM）	200 对应（0x00 0x00 0x48 0x43）
40 ~ 43	fMotIswA（ $\bar{}$ ）	9.8999962 对应（0x66 0x66 0x1E 0x41）
44 ~ 47	fMotIrA（ $\bar{}$ ）	16.5 对应（0x00 0x00 0x84 0x41）
48 ~ 51	fMotChargeMs（预充电时间）	2 对应（0x00 0x00 0x00 0x40）
52 ~ 55	fMotChargeDuty（预充电占空比）	0.10000001 对应（0xCD 0xCC 0xCC 0x3D）
56 ~ 59	fMotAccLowRpmS（低速加速度）	800 对应（0x00 0x00 0x48 0x44）
60 ~ 63	fMotDecLowRpmS（低速减速度）	500 对应（0x00 0x00 0xFA 0x43）
64 ~ 67	fMotAccHighRpmS（高速加速度）	2000 对应（0x00 0x00 0xFA 0x44）

68 ~ 71	fMotDecHighRpmS (高速减速度)	2000 对应 (0x00 0x00 0xFA 0x44)
72 ~ 75	fMotAccDecSwRpm (加减速高低切换)	1800 对应 (0x00 0x00 0xE1 0x44)
76 ~ 79	fMotAccDecFcutHz (加减速平滑滤波)	200 对应 (0x00 0x00 0x48 0x43)
80 ~ 83	fMotAccOpenRpmS (启动加速度)	400 对应 (0x00 0x00 0xC8 0x43)
84 ~ 87	fMotBrakeMs (刹车时间)	1000 对应 (0x00 0x00 0x7A 0x44)
88 ~ 91	fMotBrakeDuty (刹车占空比)	0.5 对应 (0x00 0x00 0x00 0x3F)
92 ~ 95	fMotBrakeMode (刹车模式)	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
96 ~ 99	fPidIdKp (D 轴 PID 比例系数 KP)	2 对应 (0x00 0x00 0x00 0x40)
100 ~ 103	fPidIdTi (D 轴 PID 积分系数 TI)	0.0015000001 对应 (0xA6 0x9B 0xC4 0x3A)
104 ~ 107	fPidIdTd (D 轴 PID 微分系数 TD)	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
108 ~ 111	fPidIdKc (D 轴 PID 饱和系数 KC)	0.022222228 对应 (0x61 0x0B 0xB6 0x3C)
112 ~ 115	fPidIqKp (Q 轴 PID 比例系数 KP)	2 对应 (0x00 0x00 0x00 0x40)
116 ~ 119	fPidIqTi (Q 轴 PID 积分系数 TI)	0.0027000007 对应 (0x7C 0xF2 0x30 0x3B)
120 ~ 123	fPidIqTd (Q 轴 PID 微分系数 TD)	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
124 ~ 127	fPidIqKc (Q 轴 PID 饱和系数 KC)	0.0123456791 对应 (0x88 0x45 0x4A 0x3C)
128 ~ 131	fPidVelKp (速度 PID 比例系数 KP)	0.800000012 对应 (0xCD 0xCC 0x4C 0x3F)
132 ~ 135	fPidVelTi (速度 PID 积分系数 TI)	0.150000006 对应 (0x9A 0x99 0x19 0x3E)
136 ~ 139	fPidVelTd (速度 PID 微分系数 TD)	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
140 ~ 143	fPidVelKc (速度 PID 饱和系数 KC)	1 对应 (0x00 0x00 0x80 0x3F)
144 ~ 147	fPidVelPeriodUs (速度 PID 控制周期)	333 对应 (0x00 0x80 0xA6 0x43)
148 ~ 151	fPwmFreqHz (PWM 载波频率)	30000 对应 (0x00 0x60 0xEA 0x46)
152 ~ 155	fPwmDeadTimeNs (PWM 死区时间)	400 对应 (0x00 0x00 0xC8 0x43)

156 ~ 159	fCatchVelRpm (旋转中启动转速)	2500 对应 (0x00 0x40 0x1C 0x45)
160 ~ 163	fCatchTimeMs (旋转中启动检测时间)	50 对应 (0x00 0x00 0x48 0x42)
164 ~ 165	fStallEn (堵转保护使能)	1 对应 (0x00 0x00 0x80 0x3F)
166 ~ 169	fStallVelRpm (堵转保护低转速)	100 对应 (0x00 0x00 0xC8 0x42)
170 ~ 173	fStallTimeMs (堵转保护时间)	500 对应 (0x00 0x00 0xFA 0x43)
174 ~ 175	fParkAngleDeg (对齐角度)	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
176 ~ 179	fParkUmaxPercent (对齐最大电压)	0.20000003 对应 (0xCD 0xCC 0x4C 0x3E)
180 ~ 183	fParkUDelta (对齐电压增量)	0.019999996 对应 (0x0A 0xD7 0xA3 0x3C)
184 ~ 187	fParkTimeMs (对齐时间)	100 对应 (0x00 0x00 0xC8 0x42)
188 ~ 191	fOpenTimeMaxMs (启动时间)	2000 对应 (0x00 0x00 0xFA 0x44)
192 ~ 195	fOpenTimeVelMs (启动转速时间)	50 对应 (0x00 0x00 0x48 0x42)
196 ~ 199	fOpenTryNum (启动尝试次数)	2 对应 (0x00 0x00 0x00 0x40)
200 ~ 203	fOpenUminPercent (启动最小电压)	0.150000006 对应 (0x8A 0x99 0x19 0x3E)
204 ~ 207	fOpenUmaxPercent (启动最大电压)	0.25 对应 (0x00 0x00 0x80 0x3E)
208 ~ 211	fOpenVelRpm (启动转速)	600 对应 (0x00 0x00 0x16 0x44)
212 ~ 215	fMptaFwEn ()	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
216 ~ 219	fMptaFwIA ()	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
220 ~ 223	fFwEn ()	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
224 ~ 227	fUphLpVelRpm (相电压滤波速度)	4770 对应 (0x00 0x10 0x95 0x45)
228 ~ 231	fUphLpDlyMs (相电压滤波延时)	25 对应 (0x00 0x00 0xC8 0x41)
232 ~ 235	fUphLpLowHz (相电压低速滤波)	6364 对应 (0x00 0xE0 0xC6 0x45)
236 ~ 239	fUphLpHighHz (相电压高速滤波)	20000 对应 (0x00 0x40 0x9C 0x46)

240 ~ 243	fMotRsOhm (定子相电阻)	0.523400009 对应 (0x8B 0xFD 0x05 0x3F)
244 ~ 247	fMotLdH (定子最小相电感)	0.00089700002 对应 (0xA7 0x24 0x6B 0x3A)
248 ~ 251	fMotLqH (定子最大相电感)	0.000956000003 对应 (0x13 0x9C 0x7A 0x3A)
252 ~ 255	fMotKe (反电势常数)	5.46940088 对应 (0x55 0x05 0xAF 0x40)
256 ~ 259	fMotPolePairs (极对数)	2 对应 (0x00 0x00 0x00 0x40)
260 ~ 263	fPulseNum (一个周期注入的脉冲 个数)	10 对应 (0x00 0x00 0x20 0x41)
264 ~ 267	fPulsePeriod (每次注入的周期数)	100 对应 (0x00 0x00 0xC8 0x42)
268 ~ 271	fPulseUDuty (注入脉冲的占空比)	1.94000006 对应 (0xEC 0x51 0xF8 0x3F)
272 ~ 275	fHfFreqHz (注入的高频频率)	1500 对应 (0x00 0x80 0xBB 0x44)
276 ~ 279	fHfUDuty (注入的高频幅值)	4.329999992 对应 (0x5C 0x8F 0x8A 0x40)
280 ~ 283	fHfBpGain (Band-pass)	1.89999998 对应 (0x33 0x33 0xF3 0x3F)
284 ~ 287	fHfiIqPidKp ()	5 对应 (0x00 0x00 0xA0 0x40)
288 ~ 291	fHfiIqPidKi ()	0.00200000009 对应 (0x6F 0x12 0x03 0x3B)
292 ~ 295	fPhaseUmaxV (相电压)	13.8564138 对应 (0xDF 0xB3 0x5D 0x41)
296 ~ 299	fPhaseImaxA (相电流)	16.5 对应 (0x00 0x00 0x84 0x41)
300 ~ 303	fCallFreqHz (观测器回调频率)	30000 对应 (0x00 0x60 0xEA 0x46)
304 ~ 307	fVhighRpm (高频切 Bemf 速度阈 值)	600 对应 (0x00 0x00 0x16 0x44)
308 ~ 311	fVlowRpm (Bemf 切高频速度阈 值)	300 对应 (0x00 0x00 0x96 0x43)
312 ~ 315	fBemfHfiTime (Bemf 切 HFI 延时 时间)	500 对应 (0x00 0x00 0xFA 0x43)
316 ~ 319	fHfiBemfTime (HFI 切 Bemf 延时 时间)	3000 对应 (0x00 0x80 0x3B 0x45)
320 ~ 323	fFcutIHz (Currents cut-off freq)	100 对应 (0x00 0x00 0xC8 0x42)
324 ~ 327	fFcutVhighHz (High speed cut-off freq)	5 对应 (0x00 0x00 0xA0 0x40)

328 ~ 331	fFcutVlowHz (Low speed cut-off freq)	50 对应 (0x00 0x00 0x48 0x42)
332 ~ 335	fFcutloverHz (Over current.cut-off freq)	0.100000001 对应 (0xCD 0xCC 0xCC 0x3D)
336 ~ 339	fCalibrationOn (calibraion enable)	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
340 ~ 343	fPhaseLostEn ()	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
344 ~ 347	fPhaseLostIminA ()	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
348 ~ 351	fPhaseLostMs ()	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
352 ~ 355	fStallEEn ()	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
356 ~ 359	fStallERotMin ()	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
360 ~ 363	fStallEMs ()	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
364 ~ 367	fStallETryNum ()	0 对应 (0x00 0x00 0x00 0x00)
<p>伺服、无感电调，参数结构不同。 默认提供一个参数配置文本，将更新参数按 8 位的数组定义，主机发送时按本协议打包发送即可。</p>		

3. 更新参数响应说明

电调收到参数更新命令后，一般在 10S 内更新完成，完成后发送响应帧，如果 10S 内未收到响应帧，则重新发送更新命令。如果多次更新，主机都没有收到响应，则认为电调异常需要维修。

表 6.6 更新响应帧说明

数据段偏移	说明	参数示例
0	响应标志	固定 0xFE
1	响应标志	固定 0xFE
2	接收标志 0 字节 RecFlag[0]	接收更新参数失败 0x00 接收更新参数成功 0xFF
3	响应结果	更新成功, 0x00 更新失败, 0xFF

4. 速度控制

串口调速，可以通过串口发送速度指令进行控制。

表 6.7 速度设置说明

数据段偏移	说明	参数示例
-------	----	------

0	速度设置标志	固定 0xAA
1	正反转标志	正转 0x5A 反转 0xA5
3	转速 31 ~ 24 位	0xXX
2	转速 23 ~ 16 位	0xXX
3	转速 15 ~ 8 位	0xXX
4	转速 7 ~ 0 位	0xXX
当速度为 0 时，数据为 A5 0A 00 AA 5A 00 00 00 00 5F A0 当速度为 100 时，数据为 A5 0A 00 AA 5A 00 00 00 64 3B C4 当速度为 3000 时，数据为 A5 0A 00 AA 5A 00 00 0B B8 EC 13 当速度为-3000 时，数据为 A5 0A 00 AA A5 00 00 0B B8 13 EC		

5. 位置控制

串口调位置，可以通过串口发送位置指令进行控制，仅位置模式可用。

表 6.8 位置设置说明

数据段偏移	说明	参数示例
0	位置设置标志	固定 0x55
1	保留	0xFF
2	位置方向	正向 0x5A 反向 0xA5
3	转速 31 ~ 24 位	0xXX
4	转速 23 ~ 16 位	0xXX
5	转速 15 ~ 8 位	0xXX
6	转速 7 ~ 0 位	0xXX

6. 力矩控制

串口调力矩，可以通过串口发送力矩指令进行控制，仅力矩模式可用。

表 6.9 力矩设置说明

数据段偏移	说明	参数示例
0	位置设置标志	固定 0x33
1	保留	0xFF
2	力矩方向	正向 0x5A 反向 0xA5
3	力矩 31 ~ 24 位	0xXX
4	力矩 23 ~ 16 位	0xXX
5	力矩 15 ~ 8 位	0xXX
6	力矩 7 ~ 0 位	0xXX

7. 电机适配流程

MD10x 出厂前默认支持的电机为 BL57 电机，用户所用电机不尽相同，此时用户需要根据自己的电机参数更新到电调，更新参数的方法如下。

参数更新时，主要分为两个步骤，分别是参数设置与参数更新。

7.1 参数设置

1. 将更新上位机文件包解压到本地（注意路径不能有标点符号及括号，否则软件更新将会出错），点击上位机软件目录下“start.exe”，打开上位机。此时上位机会提示选择向导文件。

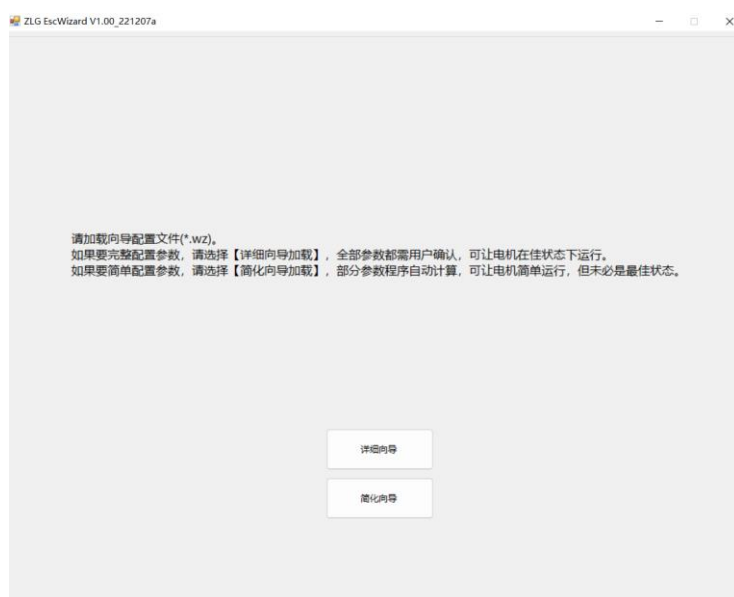


图 7.1 启动界面

2. 根据需求选择详细向导或者简化向导。对此不熟悉的可先选择简化向导进行配置。选择完成后，在弹窗中选择“Common/ sensorless.wz”向导文件。

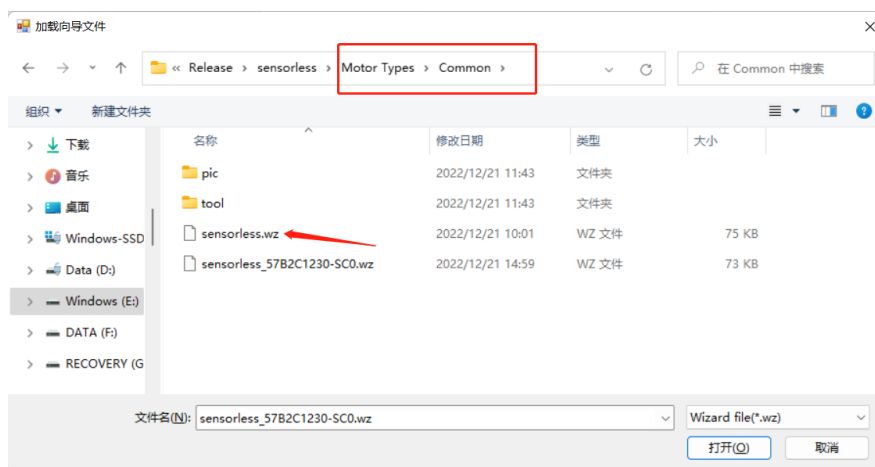


图 7.2 选择向导

3. 选择向导文件后，即可进入参数设置界面（此过程可能会延迟几秒钟）。参数设置界面

中，按照提示，可以对每个参数进行设置。

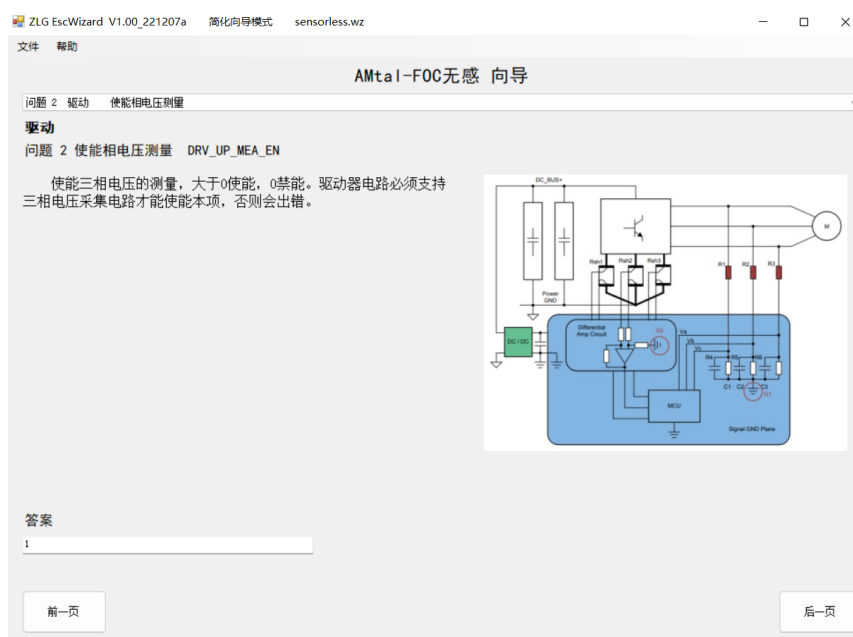


图 7.3 设置参数

- 参数设置完成后，即可导出参数头文件，该头文件可用于将参数下载到板子上。点击菜单栏“文件->导出 C 头文件”，然后选择导出路径，路径固定为“Download\analysis\用户文件放这”目录，名称可根据需要命名。

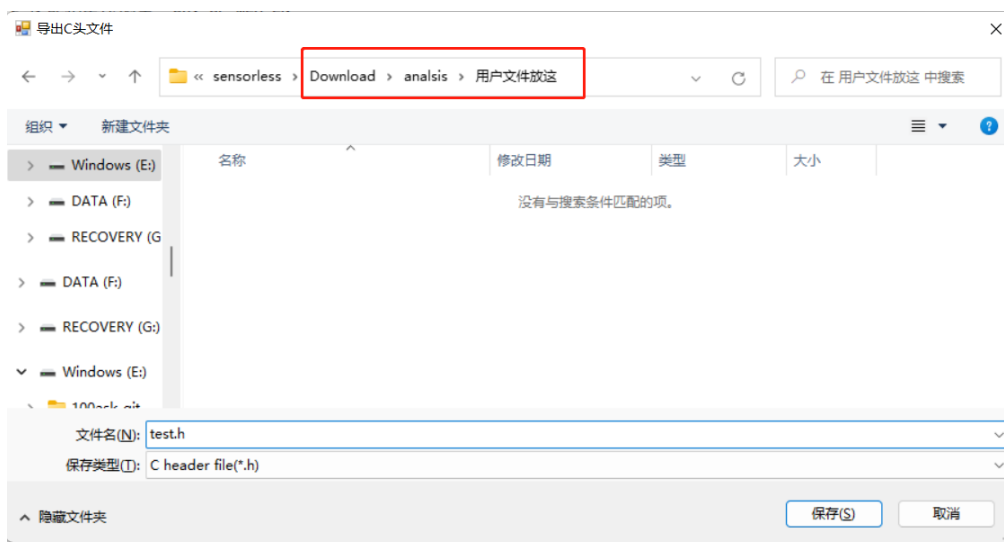


图 7.4 头文件导出

- 头文件导出完成后，参数设置的部分完成了。

7.2 参数下载

参数下载用于将上位机配置好的参数下载到板子上运行。具体下载步骤如下：

- 点击菜单栏“文件->参数下载”，会调用参数下载程序。

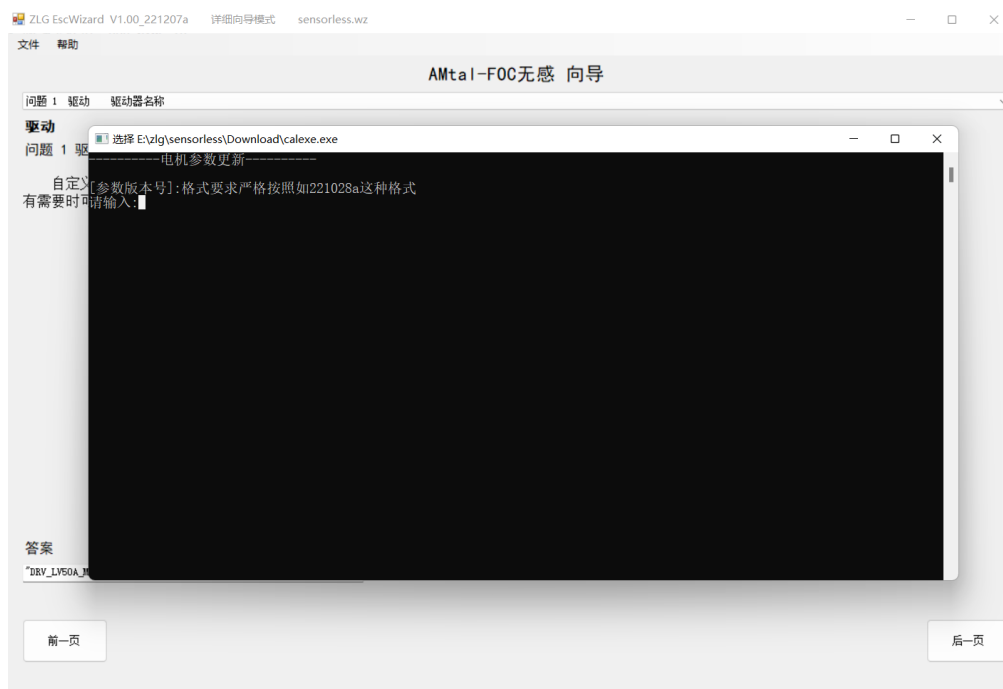


图 7.5 参数下载

2. 按照要求输入版本号，如“221220a”，按下回车键。

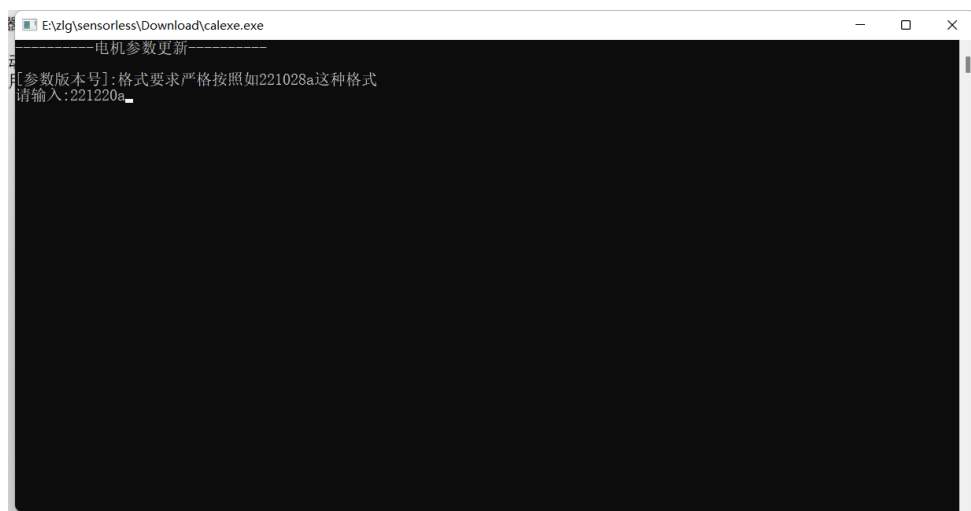


图 7.6 版本号输入

3. 选择串口更新功能，输入“1”，按下回车键。

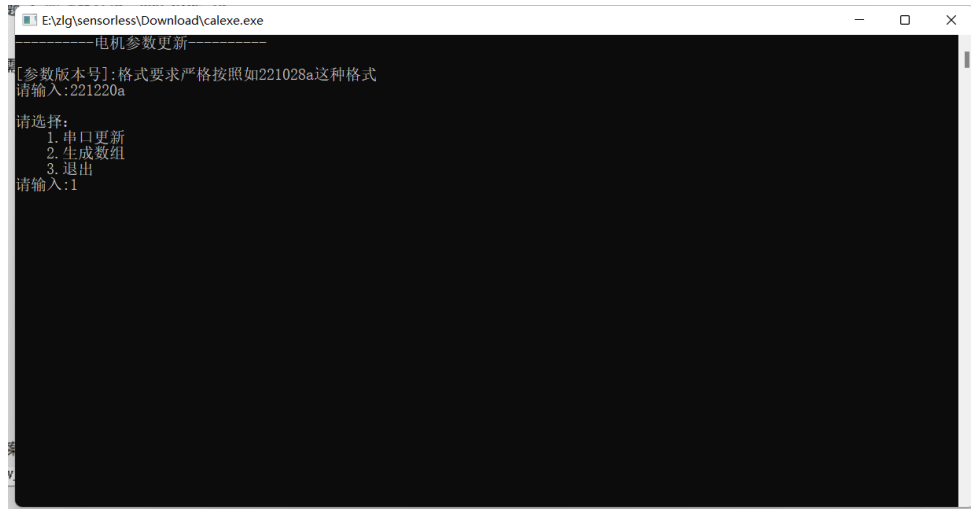


图 7.7 选择串口更新

4. 选择与板子通信的 COM 口。如“com3”,按下回车键。

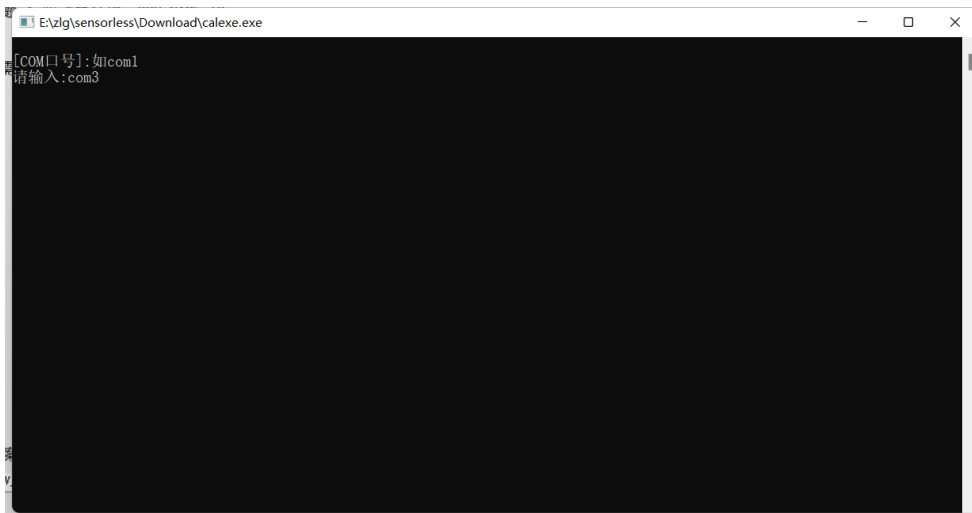


图 7.8 选择 com 口

5. 此时程序已解析出头文件中的参数，准备进行参数下载，选择“n”，不打印生成信息。

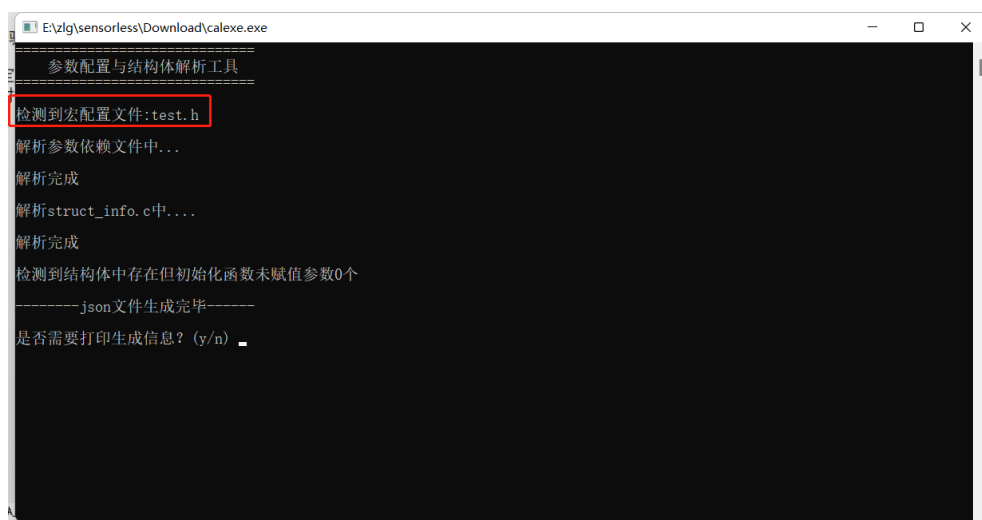


图 7.9 解析头文件

6. 此时等待电调就绪，复位电调电源后，按下回车键，即完成参数下载。

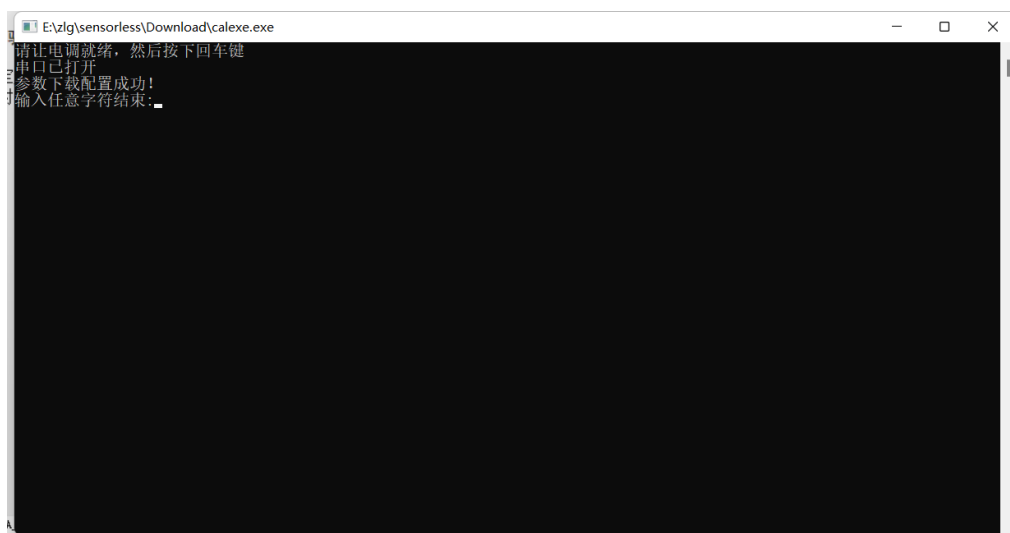


图 7.10 下载完成

8. 免责声明

本着为用户提供更好服务的原则，广州立功科技股份有限公司（下称“立功科技”）在本手册中将尽可能地向用户呈现详实、准确的产品信息。但鉴于本手册的内容具有一定的时效性，立功科技不能完全保证该文档在任何时段的时效性与适用性。立功科技有权在没有通知的情况下对本手册上的内容进行更新，恕不另行通知。为了得到最新版本的信息，请尊敬的用户定时访问立功科技官方网站或者与立功科技工作人员联系。感谢您的包容与支持！

专业 · 专注成就梦想

Dreams come true with professionalism and dedication.

广州立功科技股份有限公司

更多详情请访问

www.zlgmco.com

欢迎拨打全国服务热线

400-888-2705

