



**Motor Control Workbench**

# 使用指南

文档版本 01

发布日期 2024-04-12

版权所有 © 海思技术有限公司2024。保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

## 商标声明



**HISILICON**、海思和其他海思商标均为海思技术有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

## 注意

您购买的产品、服务或特性等应受海思公司商业合同和条款的约束，本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，海思公司对本文档内容不做任何明示或默示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

## 海思技术有限公司

地址：上海市青浦区虹桥港路2号101室 邮编：201721

网址：<https://www.hisilicon.com/cn/>

客户服务邮箱：[support@hisilicon.com](mailto:support@hisilicon.com)



# 前言

## 概述

本使用指南介绍Motor Control Workbench（也称为电机工具）的特性功能并提供操作指导，同时对典型使用场景进行示例演示，针对常见问题进行解答与提供解决方案。

## 产品版本

与本文档相对应的产品版本如下。

产品名称	产品版本
Motor Control Workbench	1.0.0.0



## 读者对象

本文档（本指南）主要适用于以下工程师：



- 电机测试验证工程师
- 电机调试工程师
- 电机算法开发工程师

## 符号约定

在本文中可能出现下列标志，它们所代表的含义如下。

符号	说明
	表示如不可避免则将会导致死亡或严重伤害的具有高等级风险的危害。
	表示如不可避免则可能导致死亡或严重伤害的具有中等级风险的危害。



符号	说明
 注意	表示如不可避免则可能导致轻微或中度伤害的具有低等级风险的危害。
须知	用于传递设备或环境安全警示信息。如不可避免则可能会导致设备损坏、数据丢失、设备性能降低或其它不可预知的结果。 “须知”不涉及人身伤害。
 说明	对正文中重点信息的补充说明。 “说明”不是安全警示信息，不涉及人身、设备及环境伤害信息。

## 修改记录

修订日期	版本	修订说明
2023-12-25	00B01	第1次临时版本发布。
2024-04-12	01	第1次正式版本发布。 删除变量列表界面章节表达冗余的部分。 修改启动工具、UI界面、使用电机工具4章节的图片。 删除第5章的常见问题解答，并将内容放到使用电机工具的须知中。



# 目录

前言..... i

1 功能介绍..... 1

2 启动工具..... 2

3 UI 界面..... 3

    3.1 调试界面.....4

        3.1.1 工具栏..... 5

        3.1.2 检测和日志区域.....8

        3.1.3 功能区域.....9

        3.1.4 连接控制区域.....10

    3.2 基础功能界面..... 11

    3.3 高级功能界面..... 12

    3.4 变量列表界面..... 13

    3.5 日志界面..... 14

4 使用电机工具..... 16

    4.1 启动电机工具..... 16

    4.2 连接目标板..... 17

    4.3 电机控制..... 19

    4.4 参数配置..... 21

    4.5 波形绘制..... 22

    4.6 日志查看..... 24

    4.7 错误状态..... 24

    4.8 通信协议..... 27



# 插图目录

图 2-1 启动电机工具示意图..... 2

图 3-1 电机工具主界面图..... 3

图 3-2 工具版本信息..... 4

图 3-3 例程项目表单中选择例程..... 4

图 3-4 调试界面..... 5

图 3-5 返回主窗口确认对话框..... 5

图 3-6 .h 文件保存窗口..... 6

图 3-7 波形绘制界面..... 7

图 3-8 自动测试窗口..... 8

图 3-9 监测和日志区域..... 9

图 3-10 功能区域..... 10

图 3-11 连接控制区域..... 11

图 3-12 基础功能界面..... 12

图 3-13 高级功能界面..... 13

图 3-14 变量列表功能界面..... 14

图 3-15 日志功能界面..... 15

图 4-1 电机工具连接组网图..... 16

图 4-2 电机工具主界面..... 17

图 4-3 连接串口界面..... 18

图 4-4 连接串口成功时界面..... 19

图 4-5 点击启动电机后界面..... 20

图 4-6 调节电机转速后的界面..... 21

图 4-7 高级功能设置参数界面..... 22

图 4-8 变量列表界面..... 23

图 4-9 变量波形绘制界面..... 23

图 4-10 日志查看界面..... 24

图 4-11 串口连接不上时提示信息..... 25

图 4-12 电机堵转时界面..... 26

图 4-13 电机工具出现反馈异常提示信息..... 27



## 表格目录

表 4-1 数据帧格式.....	27
表 4-2 校验帧格式.....	28
表 4-3 指令码和功能码和说明.....	28
表 4-4 响应帧格式.....	29
表 4-5 响应码和说明.....	30
表 4-6 数据帧格式.....	31
表 4-7 变量名及说明.....	31



# 1 功能介绍

Motor Control (MC) Workbench (下文简称MC Workbench) 是一款可以用于配置和调节电机参数并进行效果验证的工具。在进行电机调试时, 通过MC Workbench配置电机电气参数, 控制电机按所设置参数运行, 配合波形绘制, 可直观观察参数变量变化趋势并验证电机在设置参数后的运行效果, 借助参数修改和波形实时可视化, 有效提高电机算法开发调试效率。

最低配置需求建议: MC Workbench工具运行环境为PC系统, 操作系统推荐为64位Windows10以上, 配置上建议内存4G以上和CPU双核2GHz以上。支持串口通信方式进行数据交互, 使用USB Type-C连接线连接PC和目标板。





# 2 启动工具

在发布包文件夹中获取电机工具的压缩包 MotorControlWorkbench-x.x.x.x.tar.gz 并解压，在所解压文件夹中点击“MotorControlWorkbench.exe”即可启动主界面，解压后文件夹内的内容如图2-1所示。

图 2-1 启动电机工具示意图

assets	2024/4/19 10:42	文件夹
examples	2024/4/19 10:42	文件夹
imageformats	2024/4/19 10:42	文件夹
platforms	2024/4/19 10:42	文件夹
styles	2024/4/19 10:42	文件夹
libgcc_s_sjlj-1.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
libssp-0.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
libstdc++-6.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
libwinpthread-1.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
MotorControlWorkbench.exe	2024/4/19 10:42	应用程序
Qt5Charts.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
Qt5Core.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
Qt5Gui.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
Qt5Network.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
Qt5OpenGL.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
Qt5SerialPort.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
Qt5Svg.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
Qt5WebSockets.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展
Qt5Widgets.dll	2024/4/19 10:42	应用程序扩展



# 3 UI 界面

MC Workbench启动后主界面如下图3-1所示，包括用户按钮区域和例程项目部分。

图 3-1 电机工具主界面图

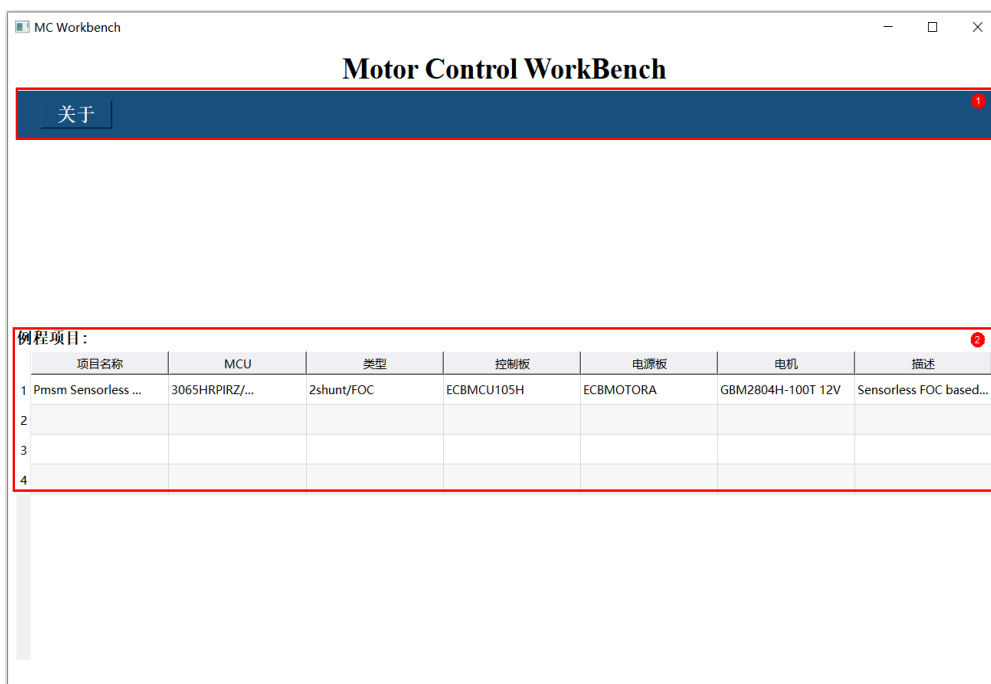
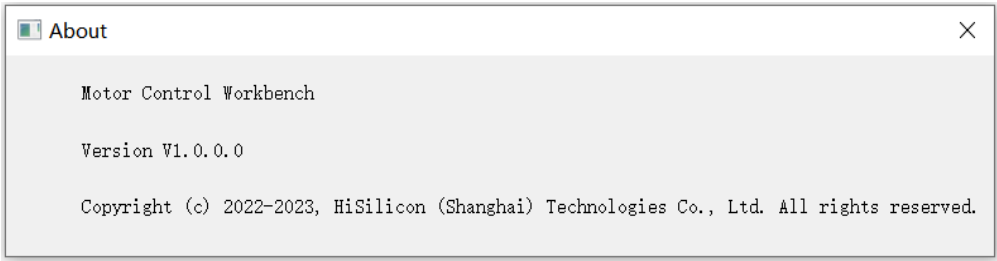


图3-1中，①~②分别为用户按钮和例程项目。用户按钮中的“关于”用于查看工具版本信息，如下图3-2所示。



图 3-2 工具版本信息



例程项目中用于选择与目标板匹配的例程项目，例程项目表单如图3-3所示，其中：

- 项目名称：例程的名称；
- MCU：例程对应使用的目标板MCU型号；
- 类型：例程中控制算法类型，如FOC；
- 控制板：目标单板对应的控制板；
- 电源板：目标单板对应的电源板；
- 电机：目标单板对应的电机型号；
- 描述：例程的相关信息说明。

在表单中，点击①中所在行可以选择MCU为3065的例程，也可以点击空白行②选择空白例程，空白例程的目的在于用户可以基于电机工具串口通信的协议来自定义例程，方便基于目标单板进行调试。

图 3-3 例程项目表单中选择例程

例程项目：

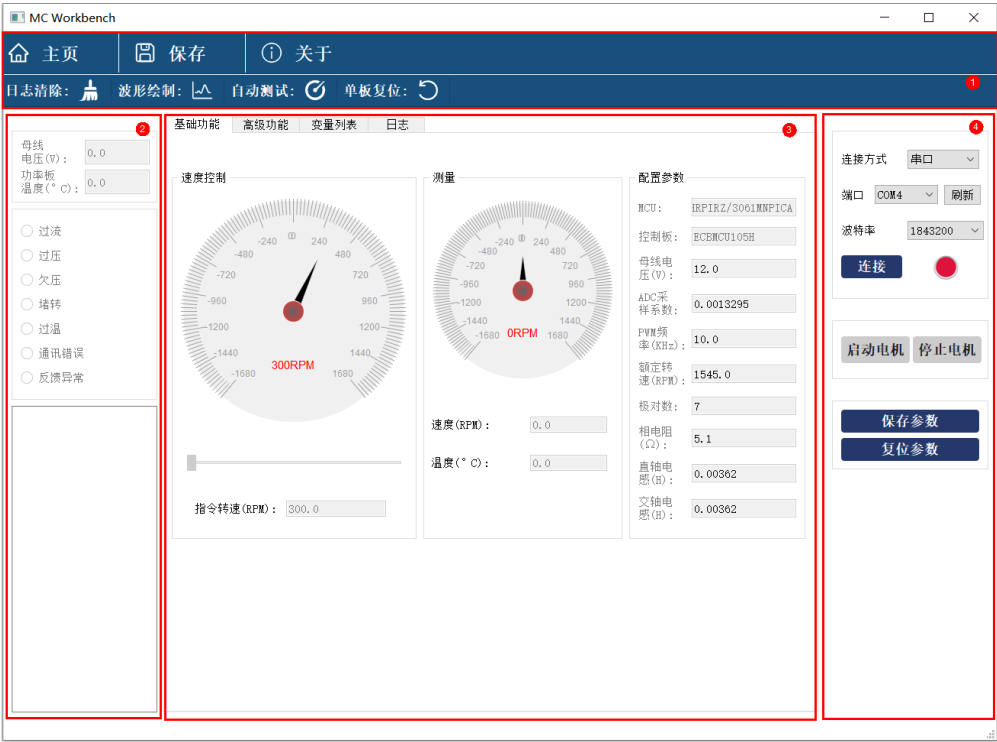
项目名称	MCU	类型	控制板	电源板	电机	描述
1 Pmsm Sensorless ...	3065HRPIRZ/...	Zshunt/FOC	ECBMCU105H	ECBMOTORA	GBM2804H-100T 12V	Sensorless FOC based...
2						
3						
4						

### 3.1 调试界面

从主界面点击例程后，会跳转至“调试界面”，调试界面如下图3-4所示。调试界面主要由工具栏、检测日志区域、功能区域、连接控制区域等四部分组成，分别如图3-4中①~④所示。



图 3-4 调试界面



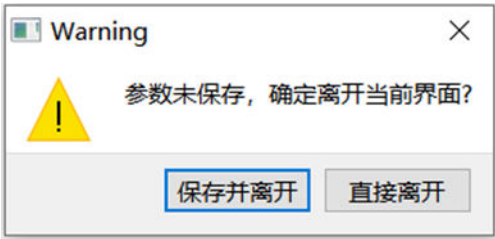
- ①：工具栏，应用相关功能的控制；
- ②：检测和日志区域，显示监测信息及操作日志；
- ③：功能区域，用于参数配置和修改；
- ④：连接控制区域，控制单板连接和电机启停。

3.1.1 工具栏

工具栏中主要包括：主页、保存、关于、日志清除、波形绘制、自动测试和单板复位，其中“主页”、“保存”和“关于”为应用程序导航，“日志清除”、“波形绘制”、“自动测试”和“单板复位”等为功能控制。

**🏠 主页**：点击“主页”按钮，可以快速从当前界面返回图3-3所示的主界面，当参数输入框中输入参数没有保存或者电机启动后没有关闭，工具会弹出确认框来询问是否保存当前参数或是否停止电机，返回主界面确认对话框如图3-5所示，用户可以按需选择。

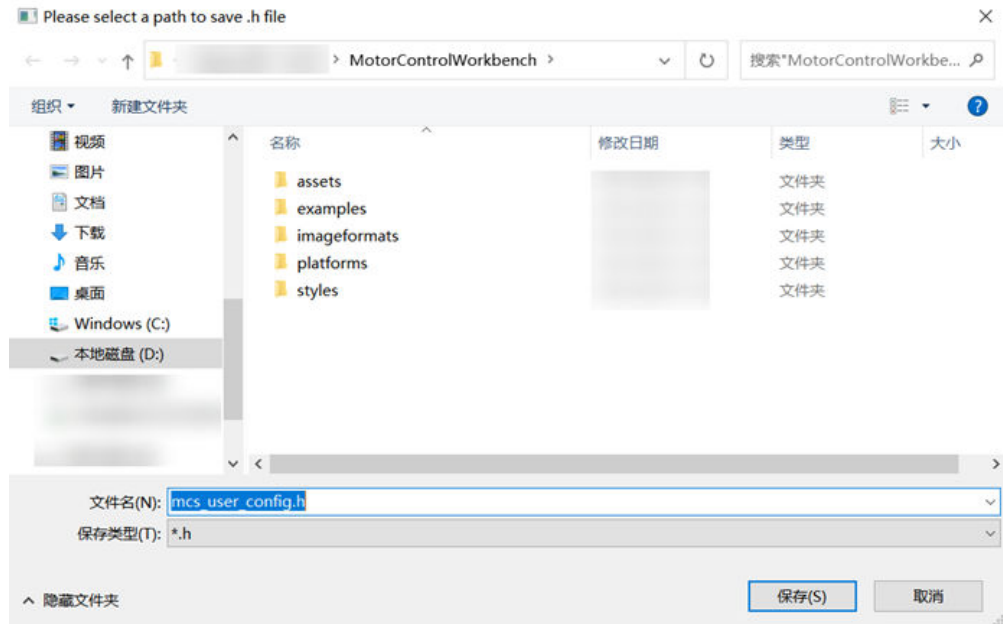
图 3-5 返回主窗口确认对话框





**保存**：点击“保存”按钮，可以将界面现有参数保存成.h格式的文件，将此文件替换工程中相应文件来使用调试后的参数，保存界面如图3-6所示。

图 3-6 .h 文件保存窗口



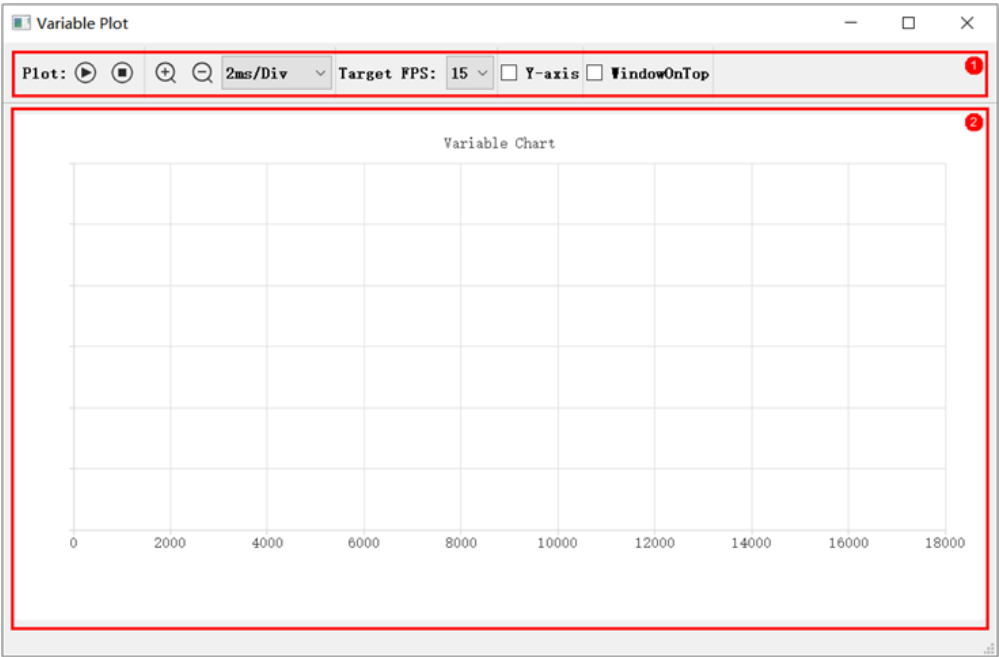
**关于**：点击“关于”按钮，可以查看工具版本信息，如图3-2所示。

**日志清除**：用于清除调试过程中生成的操作结果信息。

**波形绘制**：用于绘制调试过程中相关变量变化的波形图，通过波形绘制可以直观观测变量变化趋势从而更好地验证参数设置的效果。波形绘制界面如图3-7所示，由控制栏和图形区域组成。




图 3-7 波形绘制界面





①：波形绘制工具栏；

②：图形区域。


波形绘制工具栏中主要包含下列控件：


**Plot:**   绘制控制按钮：


：启动绘制。

：停止绘制。

  **2ms/Div**  放大缩小控制：

：将波形放大。

：将波形缩小。

**2ms/Div** ：按时间进行缩放。（鼠标滚轮也可实现波形缩放）

**Target FPS:** **15** ：设置页面刷新速率。

☐ **Y-axis**：Y轴刻度显示控制。

☐ **WindowOnTop**：窗口置顶控制。（选中后窗口将置于所有窗口之上）

图形区域中的每一格和按时间缩放的时间大小相等，横坐标表示时间戳。


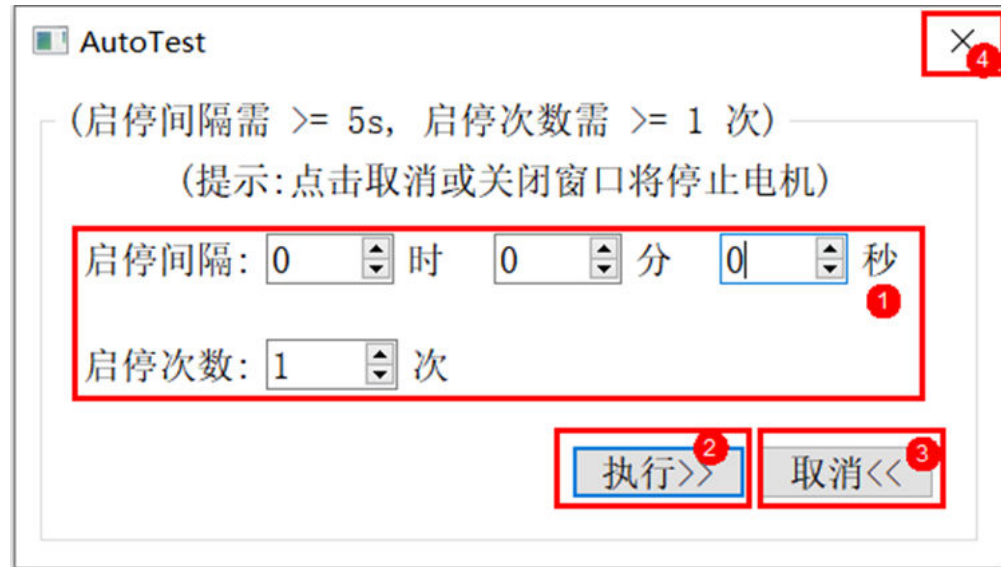

**自动测试：** ：控制电机自动启动和停止。进入自动测试需要单板正常运行（非异常状态）和电机处于停止状态，进入后界面将弹出自动测试窗口，如图3-8所示。在界面上可以按需进行电机启停间隔和启停次数设置（如①），设置后点击“执行”键生效执行（如②），点击“取消”或“X”号取消自动测试并关闭自动测试窗口（如③④）。

图 3-8 自动测试窗口



**单板复位：** ：单板软复位，复位后参数将恢复成默认值，程序将重新运行。

### 3.1.2 检测和日志区域

检测和日志区域主要用对目标板关键参数如母线电压和功率板温度进行实时显示，如图3-9中①，同时对目标单板的状态进行监控，如图3-9中②所示，③则是日志打印框，操作时实时打印结果信息。



图 3-9 监测和日志区域

母线电压(V): 0.0

功率板温度(°C): 0.0

功率板温度(°C): 0.0

☐ 过流

☐ 过压

☐ 欠压

☐ 堵转

☐ 过温

☐ 通讯错误

☐ 反馈异常

### 3.1.3 功能区域

功能区域主要由基础功能、高级功能、变量列表及日志四部分组成，如[图3-10](#)所示，点击①中的功能页签切换至不同的功能界面。





图 3-10 功能区域



### 3.1.4 连接控制区域

连接控制区域如图3-11所示，由三个部分组成。其中①主要是控制连接方式、端口号和连接波特率，连接方式目前只支持串口，最高支持3686400。当正确选择端口号和连接单板后，点击连接后若连接成功灯会变绿色，若没有连接成功则是红色状态，此时日志框中都有相应的信息提示。图中的②部分为控制电机启动和停止的按钮，两者只有连接上单板后才能使用。当点击启动按钮时，软件会下发启动电机指令，电机启动；当点击停止按钮时，将下发停止指令，电机停止。第③部分为保存参数按钮和复位参数按钮，当修改了高级功能中的参数时，通过保存参数按钮可以将所有参数按照.h模板生成相应头文件，当保存了参数，但重新烧录了sample，使用复位参数按钮可以将当前界面的参数恢复成和sample中的参数相同。



图 3-11 连接控制区域

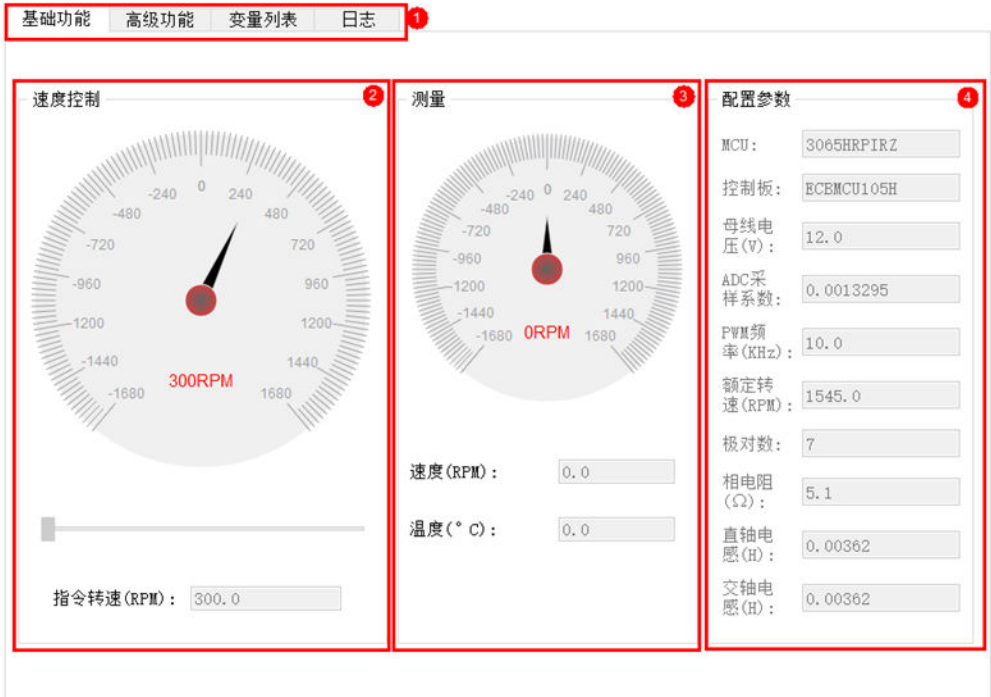


## 3.2 基础功能界面

如图3-12所示，基础界面共由三部分组成，②中为电机速度控制模块，期望的速度值由用户通过输入框和滑动条设置；③为测量模块，速度值和温度值由目标板端实时测量得到；配置参数④是目标板的型号和电机重要参数信息。



图 3-12 基础功能界面



### 3.3 高级功能界面

高级功能界面如图3-13所示，主要用于设置电机的控制模式、观测器类型以及启动方式等。在调试时，可以通过配置速度控制、启动参数、速度控制器、电流控制器和观测器等参数来调节电机的运行状态，在输入框输入参数值后回车生效，请注意输入值的范围防止电机失控。

图 3-13 高级功能界面

## 3.4 变量列表界面

变量列表功能如图3-14所示，变量列表中列出了例程中参数对应程序中的变量，通过变量列表可以挑选所需观测的变量进行波形绘制，还可对波形进行缩放和平移操作。变量列表每一行显示每个变量的相关信息，如图3-14的①，主要包括Color、Plot、Name、Type、Value、Access、YResolution、YOffset和Description。

- Color: 变量曲线的颜色，点击颜色可以选择另一个颜色；
- Plot: 显示或隐藏变量在图形区域的曲线，隐藏时后台仍会继续同步；
- Name: 变量的名字；
- Type: 变量的类型；
- Value: 变量实时数值，当数值变化时为红色；
- Access: 是否可读可写；
- YResolution: 设置变量曲线在Y方向上的放大倍数；
- YOffset: 设置变量曲线在Y方向上的偏移量；
- Description: 该变量的相关描述。

图 3-14 变量列表功能界面

基础功能 高级功能 变量列表 日志								
Color	Plot	Name	Type	Value	Access	Y Resolution	Y Offset	Description
<span style="color: red;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.currDq.q	float	0	R	1	0	Q-Axis current
<span style="color: green;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.currDq.d	float	0	R	1	0	D-Axis current
<span style="color: blue;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.currRef...	float	0	R	1	0	Q-Axis ...
<span style="color: olive;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.currRef...	float	0	R	1	0	D-Axis ...
<span style="color: orange;">■</span>	<input checked="" type="checkbox"/>	g_mc.smo.spd...	float	0	R	1	0	Electric speed ...
<span style="color: blue;">■</span>	<input checked="" type="checkbox"/>	g_mc.spdCmd...	float	0	R	1	0	User common...
<span style="color: purple;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.currUvw.u	float	0	R	1	0	Phase-u current
<span style="color: brown;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.currUvw.v	float	0	R	1	0	Phase-v current
<span style="color: yellow;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.currUvw...	float	0	R	1	0	Phase-w current
<span style="color: magenta;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.dutyUv...	float	0	R	1	0	Phase-u pwm ...
<span style="color: orange;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.dutyUv...	float	0	R	1	0	Phase-v pwm ...
<span style="color: pink;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.dutyUv...	float	0	R	1	0	Phase-w pwm ...
<span style="color: green;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.axisAngle	short int	0	R	1	0	Electric angle ...
<span style="color: green;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.vdq.q	float	0	R	1	0	Q-Axis voltage
<span style="color: cyan;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.vdq.d	float	0	R	1	0	D-Axis voltage
<span style="color: blue;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.spdRefHz	float	0	R	1	0	Speed ramp
<span style="color: red;">■</span>	<input type="checkbox"/>	g_mc.obserTy...	int	0	R	1	0	Angle & spee...

在变量列表中，为便于查找变量，可以通过②进行搜索；当想取消所有选中的变量，可借助③来实现。

#### 须知

变量列表中的变量与例程example程序中的变量一致，有些变量的值是做了转换的，因此在输入框输入值后变量列表可能展示的是转换后的值。

## 3.5 日志界面

日志功能界面如图3-15所示，日志功能主要是打印操作过程中的结果信息，与图3-9中的日志框功能相同。此界面还提供了日志清除和保存功能，以便用户查看和分析调试信息。



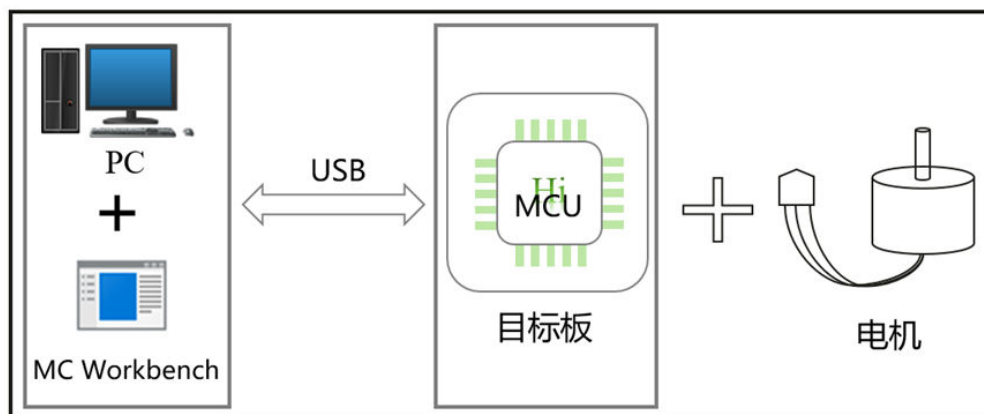
图 3-15 日志功能界面



# 4 使用电机工具

在使用电机工具时，请准备好目标生态板（包括电源等）、USB-C（USB Type-c）连接线和生态板适配电机等硬件设备，同时为保障连接和调试顺利进行，请提前准备IDE和SDK并选择相应的example烧录至目标板，硬件组网图如图4-1所示。

图 4-1 电机工具连接组网图

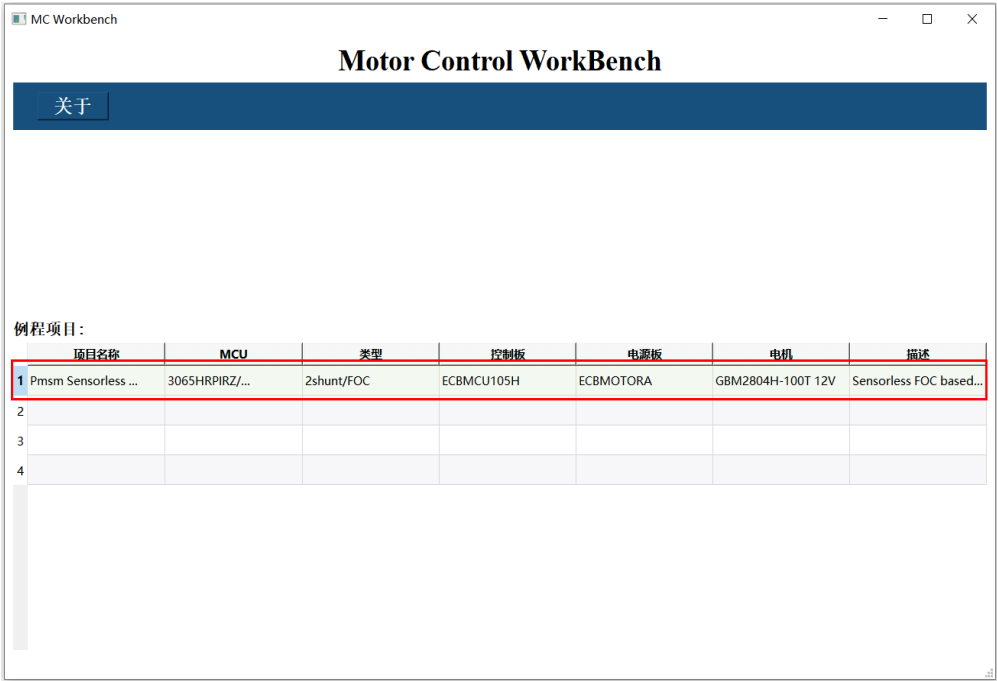


## 4.1 启动电机工具

解压电机工具压缩包并在文件夹中单击“MotorControlWorkbench.exe”，如图2-1所示，启动电机工具会弹出主界面，如图4-2所示。在图4-2中，点击例程项目的第一行（以3065HRPIRZ MCU为例）进入功能界面。



图 4-2 电机工具主界面



## 4.2 连接目标板

在图4-3中，在红色框中选择连接方式为串口，选择正确的端口号（提前保证端口不被占用），选择默认的波特率，点击连接按钮。

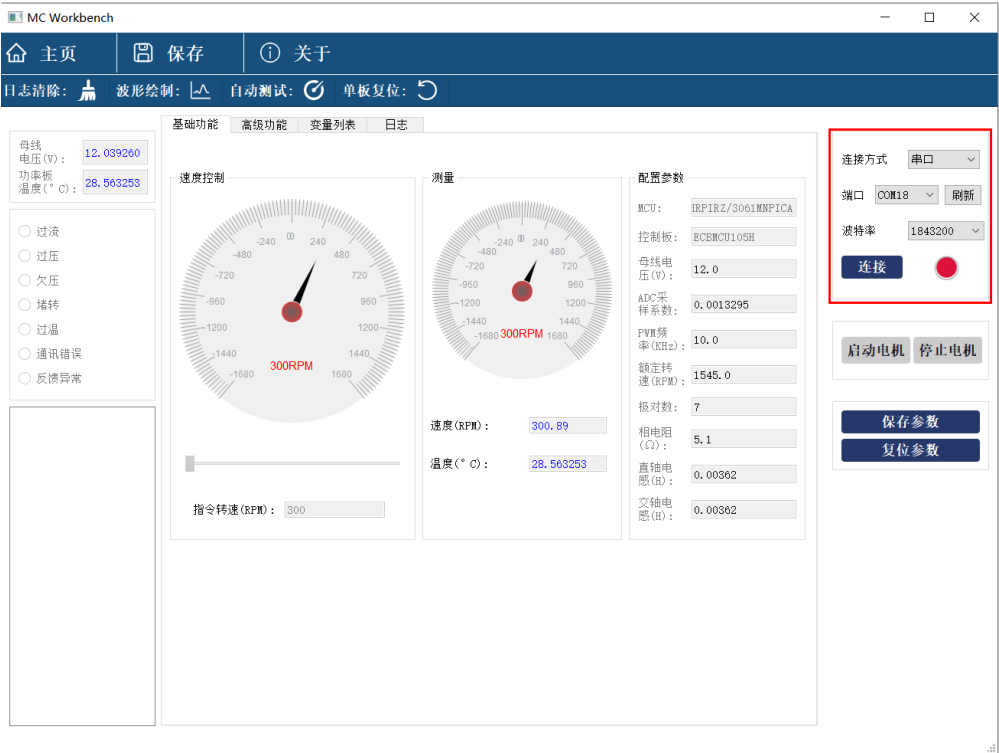
### 说明

如用IDE调试后就直接连接目标板，请手动复位单板后再用工具连接目标板。





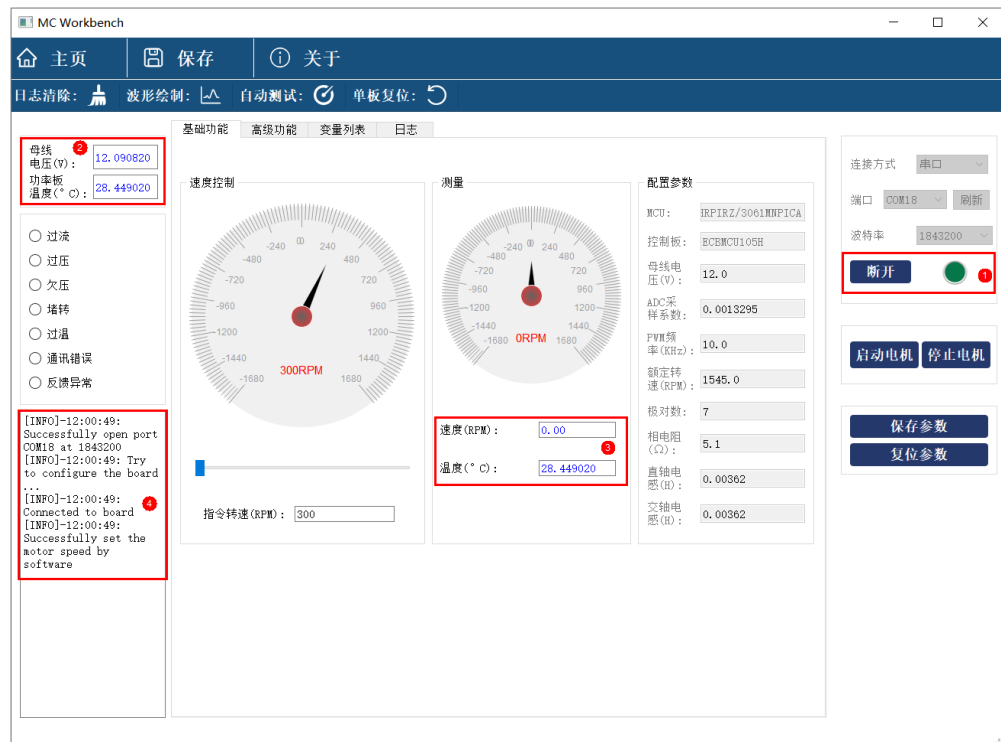
图 4-3 连接串口界面



连接成功后，连接按钮的“连接”字样将变成“断开”和旁边的灯将变成绿色如图4-4中的①所示，同时日志框中出现连接上的提示如图4-4中的④所示。当连接失败时，灯的颜色将不变，同时日志框中给出提示，可根据提示进行排查，然后再进行重新连接。



图 4-4 连接串口成功时界面



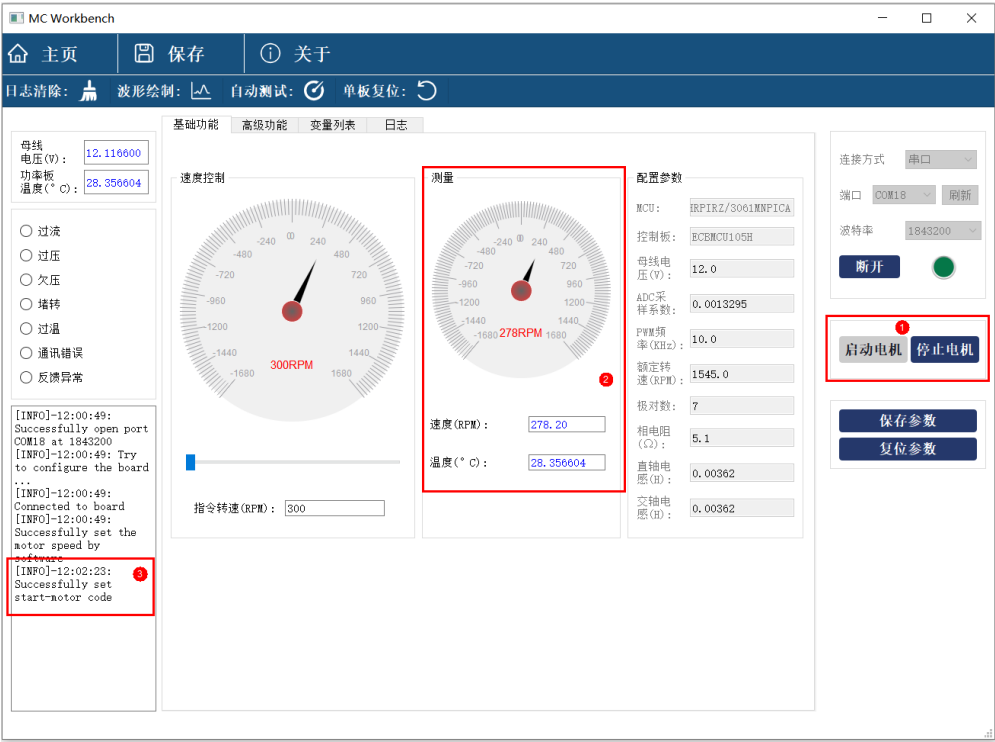
连接成功后，界面将显示所监测的参数，其中界面实时更新且无法输入更改的输入框中的值显示为蓝色，如图4-4中的②~③所示，界面会随电机状态进行参数更新。

## 4.3 电机控制

连接后，通过启动电机和停止电机按钮进行电机控制，点击 **启动电机** 按钮启动电机，此时界面测量模块中表盘和速度输入框将显示测量出的电机实时转速，同时日志框中会打印启动电机成功的结果信息，如图4-5所示。



图 4-5 点击启动电机后界面





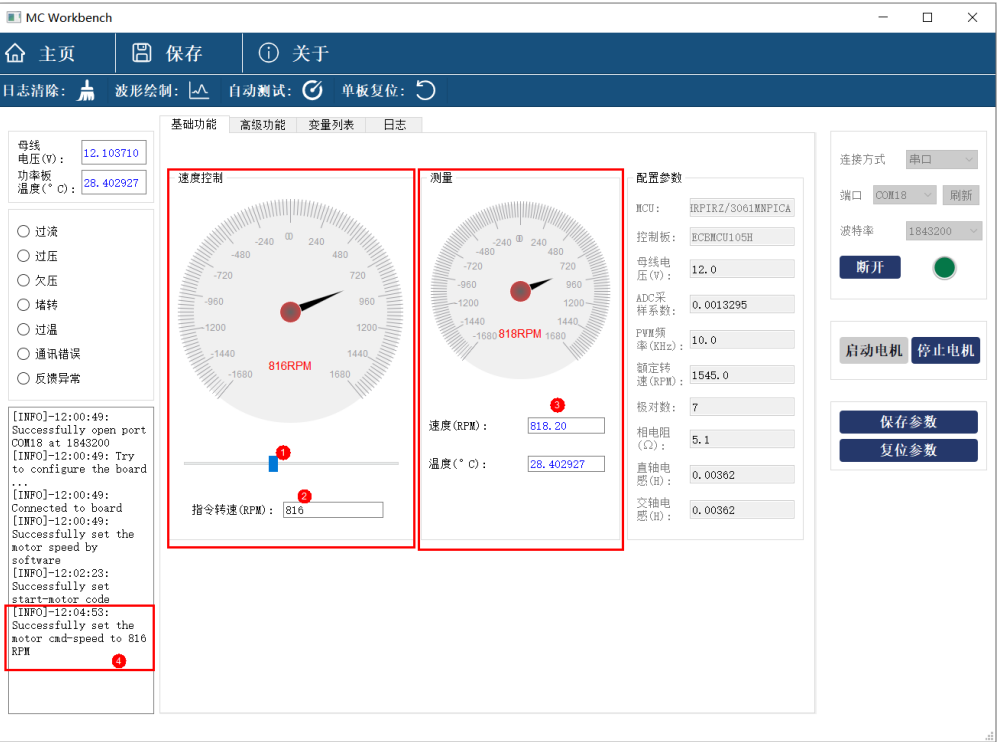
若需要调节电机的转速，通过鼠标拖动滑动  或在“指令转速”输入框中调节速度值，调节后测量模块的实时速度将随之更新，日志框中也有设置指令速度成功的信息打印，如图4-6所示。另外，点击  可以停止电机。



图 4-6 调节电机转速后的界面



须知

点击启动电机按钮后电机可能会启动，请做好防护，注意安全操作。

4.4 参数配置

点击“高级功能”页签切换至“高级功能”界面，对界面中观测器类型、启动方式的相关参数进行设置来改变电机的运行效果。在此界面中，启动参数和配置参数模块在启动电机后不支持修改，因此请在启动电机前进行修改。在速度控制器、电流控制器和观测器等模块中，相关PID参数输入值后回车可直接更改下发使得程序运行生效，由于在这些模块中修改参数会使得电机运行状态改变，请合理修改。若想丢弃当前输入的值恢复成默认值，则点击工具栏的“单板复位”按钮；若想保存当前调试的参数，则点击“保存参数”按钮即可将参数保存成.h文件。



图 4-7 高级功能设置参数界面



## 说明

设置PID参数会影响电机运行状态，请合理修改。

## 4.5 波形绘制

在设置参数时，可以配合波形绘制一起使用。点击“变量列表”切换至变量列表界面之后点击“波形绘制”，在变量列表中通过勾选“Plot”选项框来选中所需绘制波形的


变量，点击波形绘制窗口的  来启动绘制波形。另外，可通过变量列表中的“Color”、“Y Resolution”、“Y Offset”等分别调节波形绘制窗口中曲线的颜色、曲线在Y轴放大倍数及偏移大小。在波形绘制窗口，可以按需调节FPS和窗口大小来观测波形。



图 4-8 变量列表界面

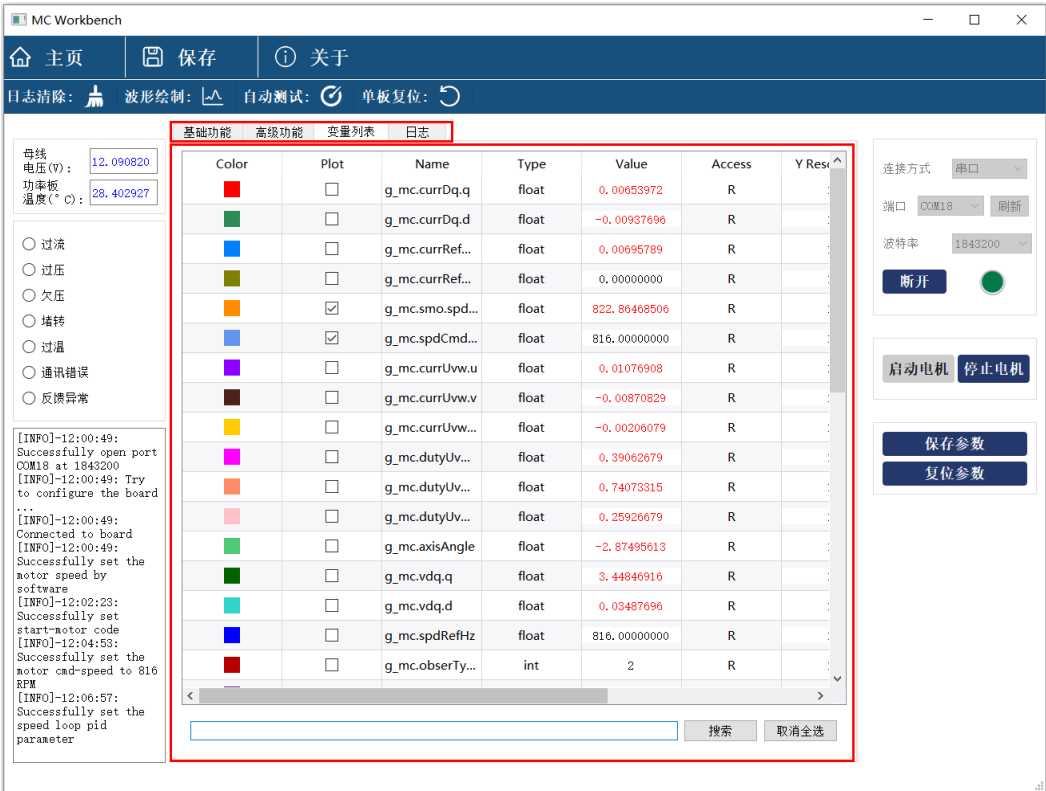


图 4-9 变量波形绘制界面





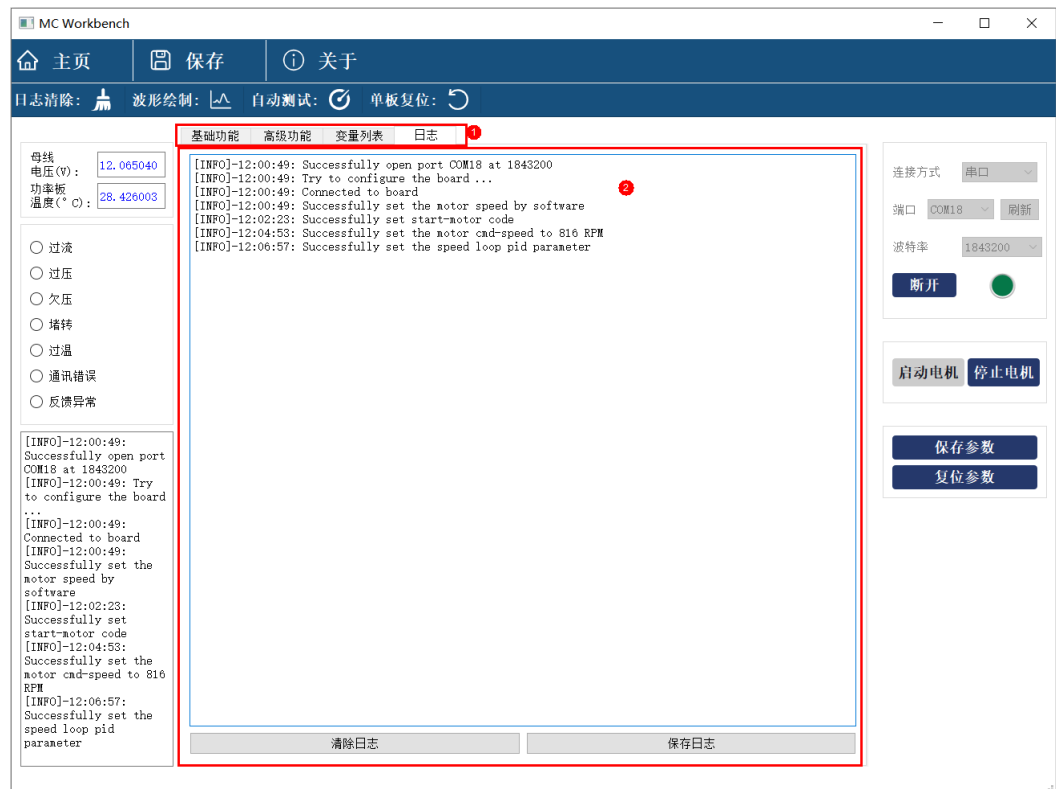
### 须知

使用波形绘制时，若绘制过程不流畅或较为卡顿，建议调节FPS降低刷新率。

## 4.6 日志查看

点击“日志”页签切换至“日志”界面，此界面可以查看完整的操作记录信息，另外若调试信息很多，可以选择保存日志成.txt文件格式来协助分析。

图 4-10 日志查看界面



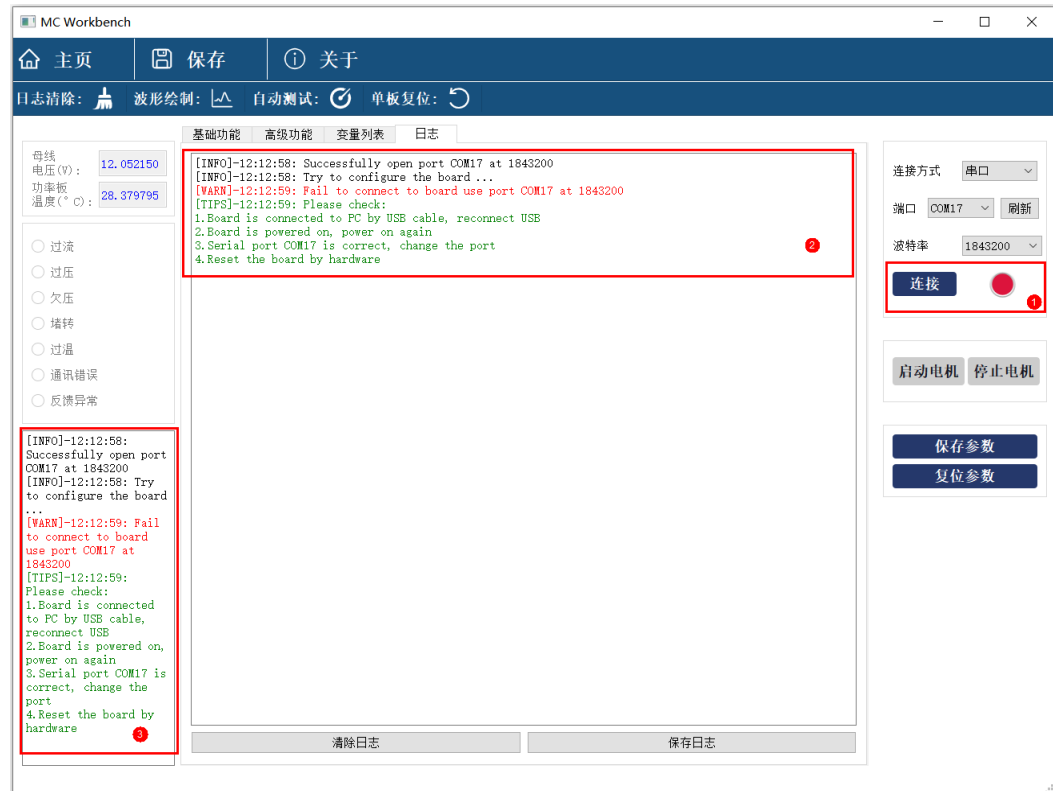
## 4.7 错误状态

错误状态是指工具与单板异常通信状态或电机及单板异常运行状态，异常状态在用户程序运行过程中进行检测并反馈至工具端进行信息提示。错误状态包括用户单板过压、欠压、过温，电机过流、堵转、反馈异常，单板与工具连接通信异常等。

通讯异常状态如图4-11所示，当工具与单板连接不上时，将报如图4-11所示的错误信息，出现这个信息时，可能的原因有：端口号不正确、串口被占用、串口连接线断开、串口线松动、单板适配程序不匹配或单板执行程序被打断等。

解决的方法有：检查端口号是否正确；检查串口是否被占用，关掉其他占用程序或工具；重新插拔USB线；重新给单板上电；重新硬件复位单板。

图 4-11 串口连接不上时提示信息



电机异常运行状态出现时，在电机状态栏中显示相应的异常状态。常见异常状态说明如下：

- 过流：电机正常运行时，受到扰动使得电机FOC控制中的Dq轴反馈电流瞬时值超过软件设定阈值，触发过流状态。当过流发生时，MCU停止PWM输出，电机停止转动，需手动复位消除错误状态。
- 堵转：电机正常运行时，受到外部加载使得电机停止转动，内部表现为电机电流增加，反馈速度为0。当堵转发生时，MCU停止PWM输出，电机停止转动，需手动复位消除错误状态。
- 过压/欠压：用户单板输入母线电压超过或低于用户设定阈值，表现为过压欠压状态，过压和欠压阈值等级分别设为四等，当触发1、2、3等级状态时，触发错误状态提示，MCU不做保护处理动作，当电压恢复正常值后错误状态消除。当超过设定4等级阈值后，MCU停止PWM输出，电机停止转动，需手动复位消除错误状态。
- 过温：软件中设置检测温度范围为+15℃- 65℃，当检测用户单板温度超过设定阈值，表现为过温状态，过温阈值等级分别设为四等，当触发1、2、3等级状态时，触发错误状态提示，MCU不做保护处理动作，当温度恢复正常值后错误状态消除。当超过设定的4等级阈值后，MCU停止PWM输出，电机停止转动，需手动复位消除错误状态。
- 反馈异常：当控制参数异常或者设置不合理时，电机未能跟随指令动作，会触发反馈异常状态，此时MCU停止PWM输出，电机停止转动，需手动复位消除错误状态。

如图4-12所示，当电机出现堵转状态时，对应状态位被选中并标红如①，日志框中出现红色信息提示如②，同时基础功能中测量模块的电机转速出现错误。此时，若想恢





复异常状态，可手动硬件复位单板或者点击工具“单板复位”（如③）来恢复。当出现其他的错误状态，例如反馈异常错误时，如图4-13所示，也会有相应的信息提示，恢复手段也相同。

图 4-12 电机堵转时界面

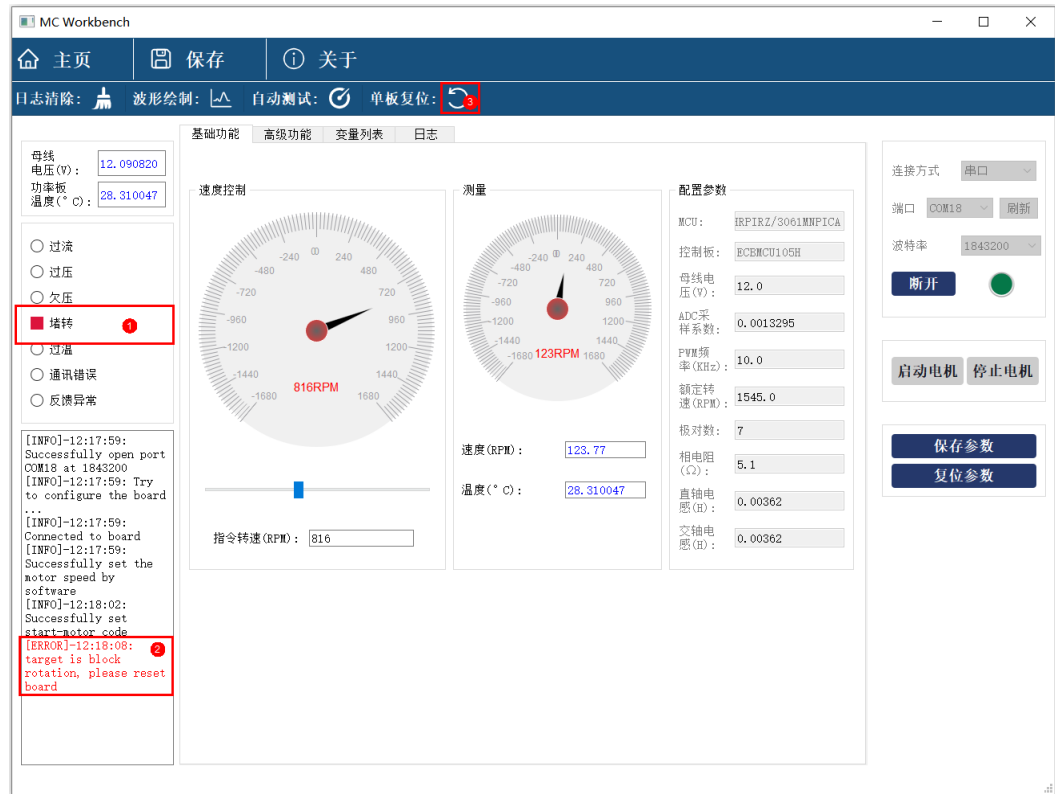
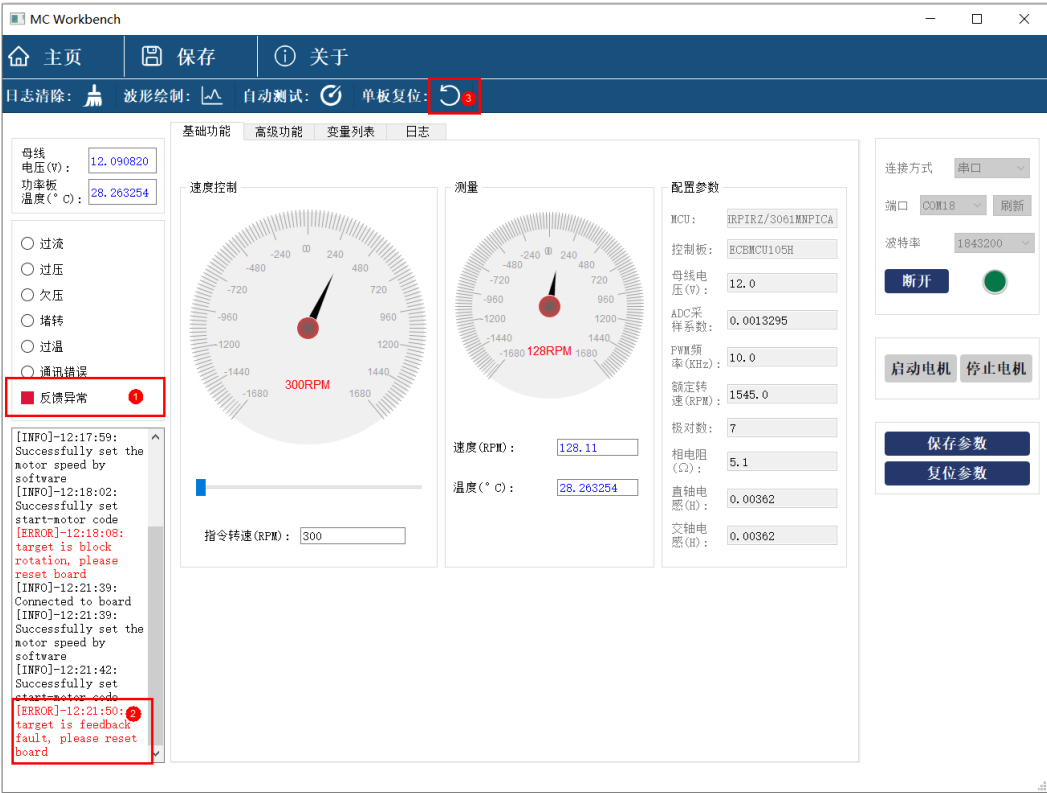




图 4-13 电机工具出现反馈异常提示信息



4.8 通信协议

用户单板和电机工具之间通过串口中断的方式进行数据收发，为了保证串口发送数据的完整性，在发送数据帧前后套用自定义的校验帧用来校验数据。校验通过后主机和从机之间通过约定好的指令码及功能码进行指令控制。因此一帧完整的数据格式如表 4-1 组成。

表 4-1 数据帧格式

帧头	指令码	功能码	数据位	和校验	帧尾
0Xxx	0Xxx	0Xxx	dataBuf	Checksum	0Xxx

数据校验方式如下：

主机或从机解析一帧数据，首先进行帧头及帧尾校验，当校验通过后进行和校验，和检验方式为以指令码的第一个字节开始加到数据位的最后一个字节的和作为和校验码，若主从机和校验码一致，则校验通过。当数据校验通过，则进行指令数据的解析。若校验不通过，则返回并进行下一次数据帧的解析。



表 4-2 校验帧格式

校验码	码值	说明
FRAME_START	0x0F	起始帧
FRAME_END	0x2F	结束帧
CMDCODE_IDLE_FRAME	0x55	填充码

通过指令码和功能码将数据区分开后，将对应的数据位送至相应的变量参数中进行数据解析，指令码及功能码解析如表4-3所示。

主机 -> 从机：

表 4-3 指令码和功能码和说明

指令码	码值	功能码	说明
CMDCODE_SET_OBSERVER_TYPE	0x04	0x01	设置观测器类型。
		0x02	0x01：设置一阶滑模观测器； 0x02：设置四阶滑模观测器。
CMDCODE_SET_PID_PARAMS	0x06	0x00	设置PID参数。
		0x01	0x00：设置Q轴电流环参数；
		0x02	0x01：设置D轴电流环参数； 0x02：设置速度环PID参数。
CMDCODE_SET_STARTUP_PARAMS	0x07	0x01	设置电机IF开环启动参数。
		0x02	0x01：设置电机启动目标电流值；
		0x03	0x02：设置电流增长到目标电流的斜坡值； 0x03：设置切闭环的临界速度值。



指令码	码值	功能码	说明
CMDCODE_SET_OBSERVER_PARAMS	0x08	0x00	设置观测器参数。
		0x01	0x00: 设置一阶滑模观测器参数;
		0x02	0x01: 设置一阶滑模观测器PLL参数;
		0x03	0x02: 设置四阶滑模观测器参数; 0x03: 设置一阶滑模观测器PLL参数。
CMDCODE_SET_MOTOR_TARGETSPD	0x09	0x01	设置电机速度目标参数。
		0x02	0x01: 设置电机目标速度值; 0x02: 设置电机加速斜坡值。
CMDCODE_SET_MOTOR_PARAMS	0x0A	0x00	设置电机电气参数。
		0x01	0x00: 设置电机最大电转速及电机极对数;
		0x02	0x01: 设置电机相电阻及Dq轴电感参数; 0x02: 设置母线电压、ADC电流采样系数及控制周期。
CMDCODE_MOTOR_START	0x0B	-	启动电机。
CMDCODE_MOTOR_STOP	0x0C	-	停止电机。
CMDCODE_MOTORSTATE_RESET	0x0D	-	复位单板。
CMDCODE_SET_ADJUSTSPD_MODE	0x11	0x00	设置电机调速来源。
		0x01	0x00: 使用用户单板旋钮调速; 0x01: 使用主机软件调速。
CMDCODE_UART_HANDSHAKE	0x12	-	主从机串口连接标志。

当从机接收到主机指令并成功做出响应动作后，会向主机返回响应帧(ackCode)表示数据设置成功，发送函数名为CUST\_AckCode()，响应帧组成如表4-4所示。

表 4-4 响应帧格式

帧头	标识码	响应码	数据位	和校验	帧尾
0X0F	0X8A	ackCode	txBuf	CheckSum	0X2F



从机 -> 主机：

表 4-5 响应码和说明

响应码	说明
0x01	设置一阶滑模观测器。
0x02	设置四阶滑模观测器。
0x09	设置一阶观测器增益参数。
0x0A	设置一阶滑模观测器PLL带宽。
0x0B	设置一阶滑模观测器速度滤波器截止频率。
0x0C	设置一阶滑模观测器相位补偿角度。
0x0D	设置四阶滑模观测器kd参数。
0x0E	设置四阶滑模观测器kq参数。
0x11	设置四阶滑模观测器PLL带宽。
0x16	设置目标速度。
0x17	设置速度加速斜坡值。
0x18	设置电机最大电气转速。
0x19	设置电机极对数。
0x1A	设置电机相电阻。
0x1B	设置电机D轴电感。
0x1C	设置电机Q轴电感。
0x1D	设置母线电压。
0x1E	设置电路ADC采样系数。
0x1F	设置电流环控制周期。
0x24	启动电机。
0x25	停止电机。
0x26	设置电机启动目标电流值。
0x27	设置电流增长到目标电流的斜坡值。
0x28	设置切闭环的临界速度值。
0x2A	设置主机软件进行速度调节。
0x2B	设置用户单板旋钮进行速度调节。



响应码	说明
0xE1	设置D轴电流环kp参数。
0xE2	设置D轴电流环ki参数。
0xE3	设置D轴电流环最大输出限制。
0xE4	设置Q轴电流环kp参数。
0xE5	设置Q轴电流环ki参数。
0xE6	设置Q轴电流环最大输出限制。
0xE7	设置速度环kp参数。
0xE8	设置速度环ki参数。
0xE9	设置速度环最大输出限制。

从机向主机返回响应帧时采用串口发送中断的方式，除了发送响应帧数据外，从机也向主机通过串口DMA的方式源源不断地发送电机运行数据用于数据显示或者波形绘制，发送函数名为CUST\_TransmitData()，数据帧格式如表4-6所示。

表 4-6 数据帧格式

帧头	标识码	数据位	和校验	帧尾
0X0F	0X8F	txBuf	CheckSum	0x2F

在CUST\_SetTxMsg()函数中定义了用于波形绘制的20个变量参数，参数枚举如表4-7所示。

表 4-7 变量名及说明

枚举值	说明
CURRDQ_D	D轴实时电流值。
CURRDQ_Q	Q轴实时电流值。
CURRREFDQ_Q	D轴计算电流值。
CURRREFDQ_D	Q轴计算电流值。
CURRSPD	实时速度值。
SPDCMDHZ	目标速度值。
UDC	采样母线电压。
POWERBOARDTEMP	采样单板温度。
CUST_ERR_CODE	电机运行异常状态位。



枚举值	说明
CURRUVW_U	实时U相采样电流值。
CURRUVW_V	实时V相采样电流值。
CURRUVW_W	实时W相采样电流值。
PWMDUTYUVW_U	计算U相PWM占空比数值。
PWMDUTYUVW_V	计算V相PWM占空比数值。
PWMDUTYUVW_W	计算W相PWM占空比数值。
AXISANGLE	电机电角度。
VDQ_Q	Q轴电压值。
VDQ_D	D轴电压值。
SPDREFHZ	速度斜坡值。
SENDTIMESTAMP	时间戳，用于和主机进行数据同步。

以上参数可以通过电机工具进行波形绘制，用户也可根据自己的实际工程修改上述发送的参数变量，以观测自定义数据波形。