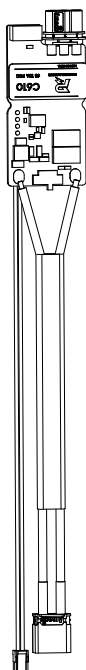


# RoboMaster

## M2006 动力系统 DEMO 示例程序



# 开发平台

## 概 要

使用 M2006&C610 之前，需要对开发平台进行搭建。开发平台由硬件开发板以及软件开发环境组成。本教程使用 RoboMaster™ 开发板作为硬件平台，使用 Keil5  $\mu$ Vision IDE 作为软件开发环境。同时为了简化开发流程，还使用了 STMicroelectronics 公司开发 STMCube 系列快速配置工具。

本教程主要包括：

- 如何运行本示例代码
- 用遥控器或按键控制电机转速
- 关键技术细节说明

## 物品清单

- RoboMaster 开发板
- C610 电机调速器
- M2006 减速电机

## RoboMaster 开发板

RoboMaster 开发板使用 STM32F427 作为主控芯片，主频高达 180MHz，具有 2MB 的内部 Flash 以及高达 256KB 的内部 SRAM。带有 FPU 单元可以快速实现部分 DSP 功能。

硬件接口方面，为配合 RoboMaster 系列动力系统使用，带有 4 路 CAN 及电源接口，可以方便的和 C610、C620 系列电调连接，且支持高达 24V 的额定供电电压。

有关 RoboMaster 开发板的详细信息，可参考《RoboMaster 开发板用户手册》。

## Keil5 $\mu$ Vision IDE

MDK-ARM 是一款窗口化的软件开发平台，可以方便快捷的编写与编译代码，下载并调试程序。其代码编辑器具有关键字高亮、代码补全、语法检测等多种使用功能。同时自带的调试环境可配合多种 ARM 调试工具如 J-link、ST-Link 等进行在线调试。

有关 Keil5 的更多信息，请参考 Keil 官方文档。



- Keil5 为收费软件，但其免费评估版本可以编译和调试代码容量  $\leq 32$ KB 的代码。如需在正式项目中应用，请购买正版授权。

## STMCube

STMCube 计划源自意法半导体，旨在通过减少开发的工作量、时间与成本，使开发者受益。STM32Cube 涵盖 STM32 产品组合。

STM32Cube 包括：

- 图形软件配置工具 STM32CubeMX，可通过图形向导生成 IAR/KEIL 工程。
- 针对每个系列提供综合的嵌入式软件平台（即 STM32CubeF4 用于 STM32F4 系列）
  - a. STM32 抽象层嵌入式软件 STM32Cube HAL，确保在 STM32 各个产品之间实现最大限度的可移植性。
  - b. 一套一致的中间件，比如 RTOS、USB、TCP/IP、图形。
  - c. 所有嵌入式软件实用工具均配备一套完整的示例。

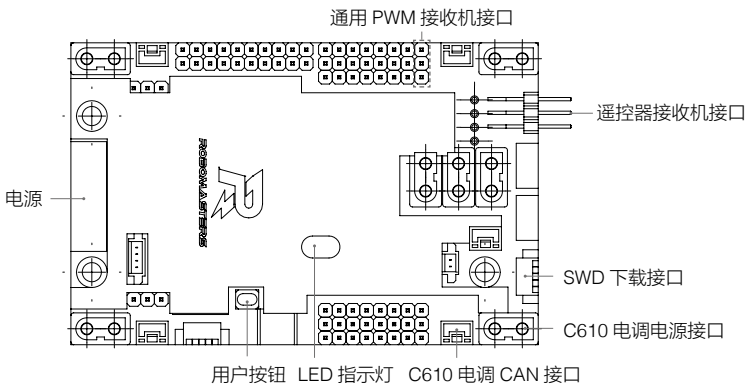
⚠ • 以上内容引自 STMCube 官方描述文档，更多详细信息请参考 STMCubeMX 用户手册或者 STMCubeMX 中文平台。

## 硬件连接

### 概述

在开始使用和调试设备之前，一定要确认所有硬件连接正确且可靠，由于电机系统为大功率、大电流设备，错误的连接可能会造成短路引发设备永久性损坏。

### 硬件接口介绍



⚠ • 通用 PWM 接收机以及 DR16 接收机只能选择一种连接，并且当任意一种接收机连接到开发板后，用户按键将失效。

# 如何使用 DEMO

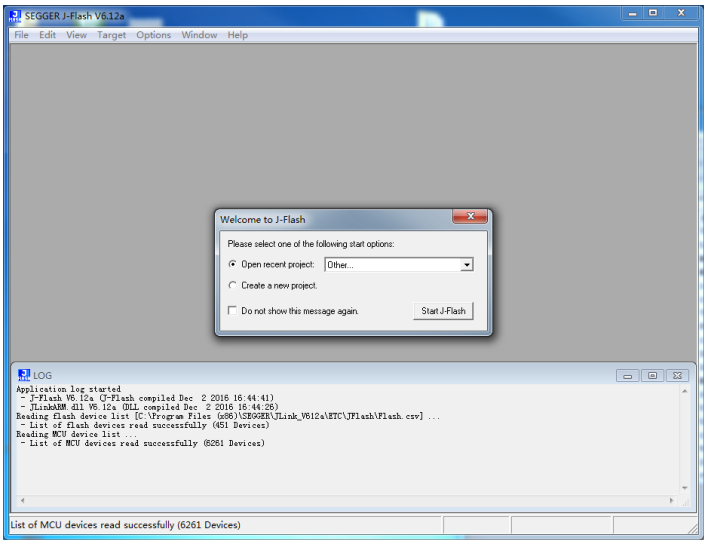
## 概 述

在本章节中，将会详细说明如何使用本例程，包括如何将程序下载到 RoboMaster 开发板中，以及 DEMO 程序的操作方法。

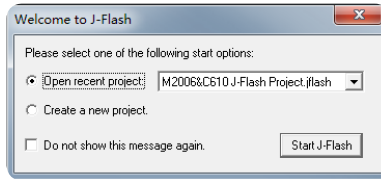
## 下载程序到 RoboMaster 开发板

本教程需要使用 J-Link 调试器，在使用 J-Link 调试器之前，请您确认已经正确安装了 J-Link 的驱动程序以及 J-Flash 工具。成功安装后，您将可以在开始菜单中找到 J-Flash 软件。

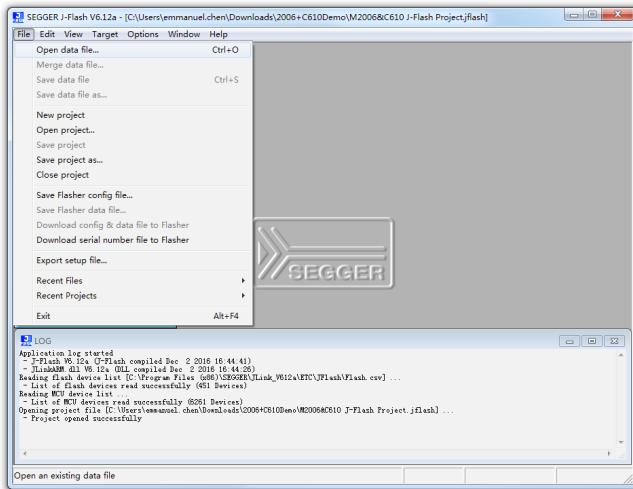
1. 在“开始菜单”中启动 J-Flash 程序，您将看到如下图所示画面。



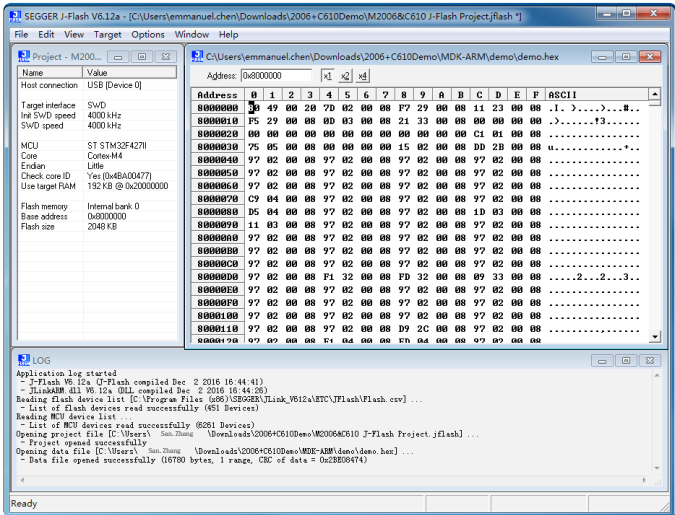
2. 在弹出的对话框“Welcome to J-Flash”中，选择“Open recent project”选项，在右侧的下拉菜单中选择“Other”选项。
3. 在弹出的打开文件对话框中，选择 DEMO 目录下的“M2006&C610 J-Flash Project.jflash”文件，并点击打开。
4. 点击右下角“Start J-Flash”按键。



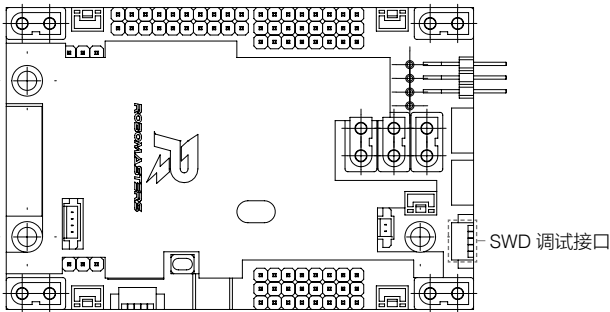
5. 在出现如下页面之后依次点击“File” -> “Open data file”。



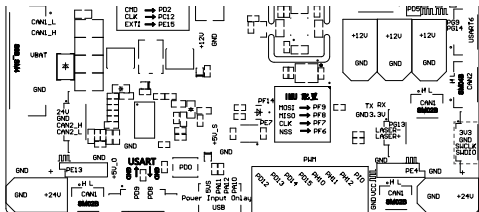
打开 DEMO 目录下的 “...\\MDK-ARM\\demo\\demo.hex” 文件后将出现如下图所示窗口。



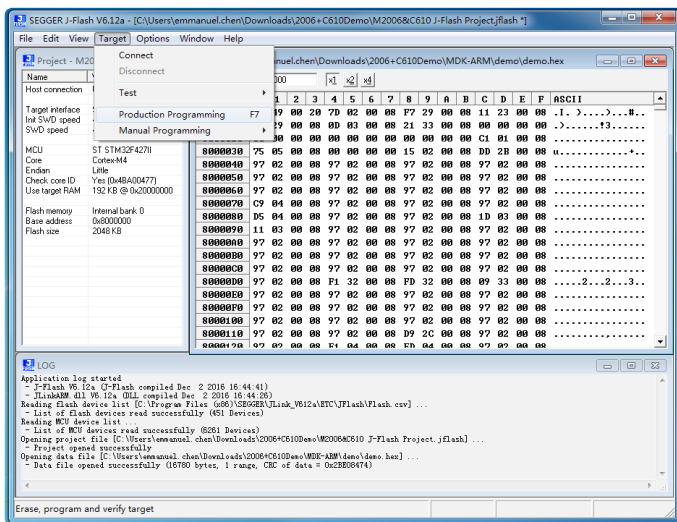
6. 将 J-Link 的 USB 数据线连接到电脑的 USB 接口，再连接 J-Link 到 RoboMaster 开发板的 SWD 调试接口。



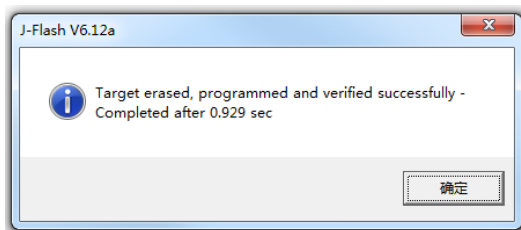
关于 SWD 调试接口的线序，请参考下图



7. 点击 “Target” 菜单下的 “Production Programming” 按键或按下 F7 开始下载程序。



8. 若出现下图所示提示框则证明程序下载成功，然后请彻底切断开发板的电源、断开 J-Link 与开发板的连接线，等待至少 5 秒钟以上重新接通开发板电源，观察到开发板上指示灯开始闪烁，至此您已经成功将 DEMO 程序下载到您的 RoboMaster 开发板上。如果下载失败，请仔细检查 SWD 调试接口的线序是否正确、开发板供电是否正常、连接线是否稳定可靠。



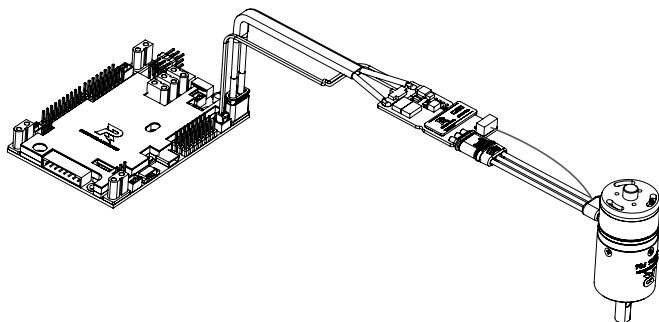
## DEMO 使用方法

在使用本例程之前，请您一定仔细阅读《RoboMaster C610 无刷电机调速器使用说明》，《RoboMaster M2006 P36 直流无刷减速电机使用说明》以及《RoboMaster 开发板用户手册》。了解所有设备的操作规范以及注意事项。

- △ 在以下几种使用情况中，开发板电源连接省略，请参考《RoboMaster 开发板用户手册》进行连接。

## 使用按键控制

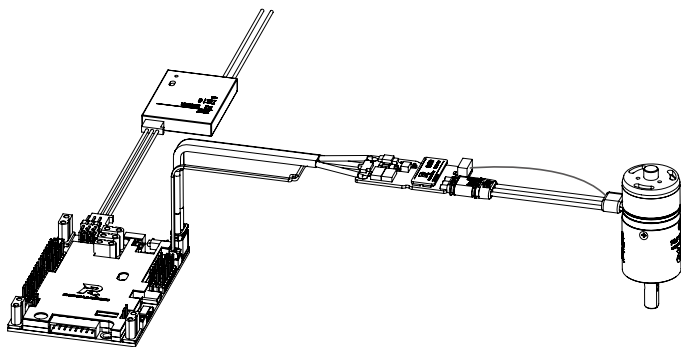
### 连接方式



1. 按照上图所示连接所有线缆，并仔细检查连接是否正确，确认无误后接通电源。
2. 若连接正常，可观察到 RoboMaster 开发板上绿色指示灯闪烁，此时按动开发板上的用户按键电机开始转动，并且电机转速会随着按键按动发生变化。若绿色指示灯处于熄灭或者常亮状态，说明电调与开发板连接异常，请检查连接。

## 使用 RoboMaster 遥控器控制

### 连接方式



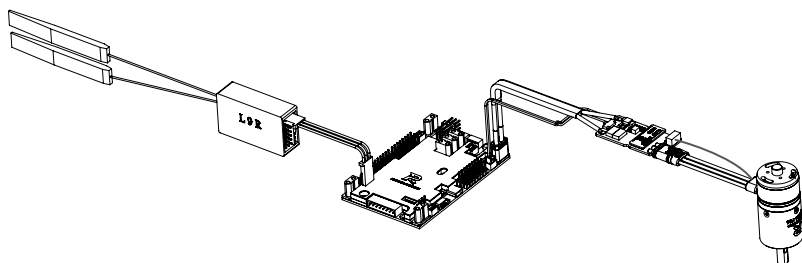
1. 按照硬件连接说明的方式连接所有线缆\*，并仔细检查连接是否正确。确认无误后接通电源。
2. 若在开发板上连接了 DR16 接收机，此时按键将失效，红色指示灯慢速闪烁。将遥控器左边摇杆向上缓慢推动，可观察到电机输出轴开始逆时针转动，且转速随着摇杆行程的增加而增加。缓慢将摇杆位置归中，并向下推动，可观察到电机输出轴开始顺时针转动，且转速随着摇杆行程的增加而增加。

\* DR16 接收机接口为最下方靠近 PCB 的一排，请注意接头方向，具体细节请参考《RoboMaster 开发板用户手册》



## 使用通用 PWM 航模遥控器控制

### 连接方式



1. 按照上图连接所有线缆，并仔细检查连接是否正确。确认无误后接通电源。
2. 程序支持 PWM 脉宽为 1~2 毫秒的航模遥控器，电机转速随着脉宽增加而增加。

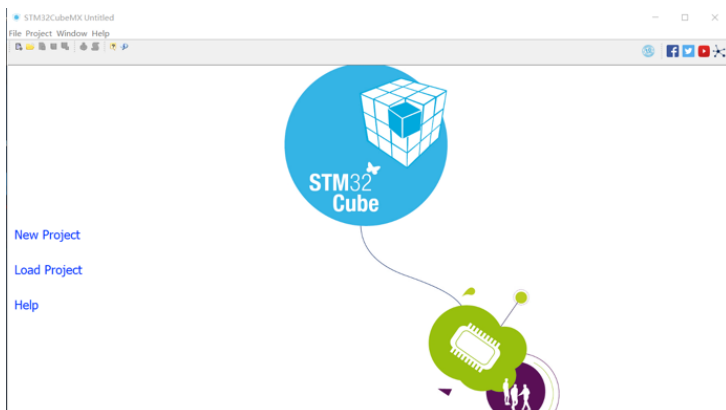
## 内容详解

本 DEMO 使用了 STMCube 图形化配置工具自动生成 STM32 的底层驱动代码，通过 STMCube 您可以快速的配置 STM32 的外设。在本章节内，将详细讲解 STMCube 的使用方法，以及如何使用 STMCube 配置 STM32 的 CAN 通信功能。

### 如何安装 STMCube

在安装 STMCube 之前，请您确认您的计算机上有 Java 运行环境，若未安装 Java 运行环境，请访问 [www.java.com](http://www.java.com) 进行下载。

请您在 STMicroelectronics 官方网站（地址：[www.st.com](http://www.st.com)）搜索并下载 STM32CubeMX 软件，软件运行界面如下图：



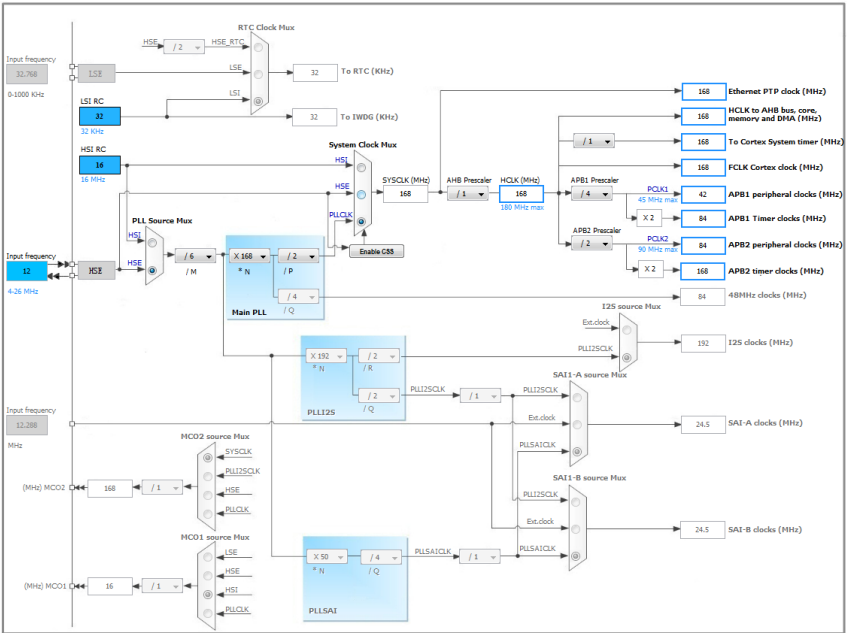
有关 STM32Cube 的更多内容，请参考软件下载页面内的参考文档。

## 使用 STM32CubeMx 配置 CAN 外设

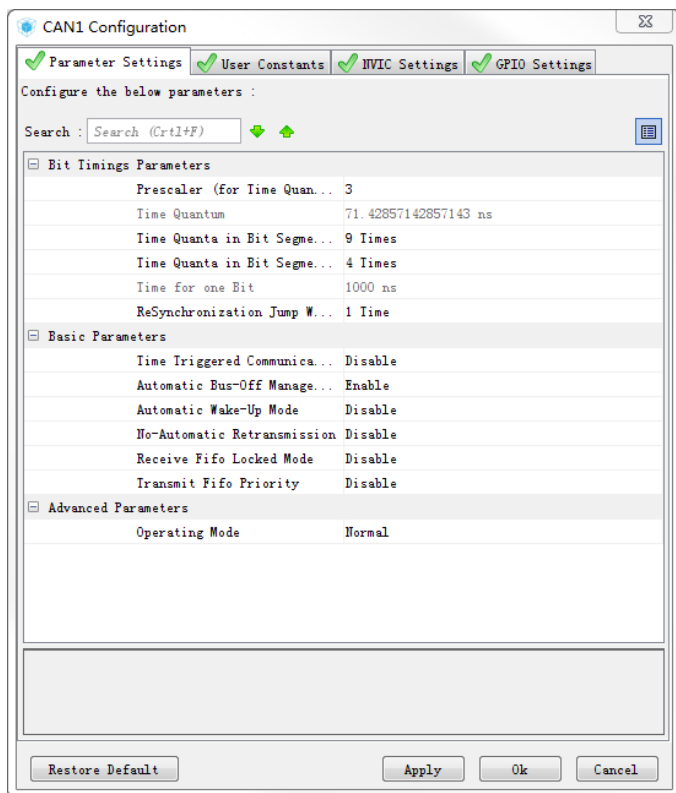
在本 DEMO 目录下已经有一个配置正确的工程文件 “demo.ioc”，您可以参考本工程文件的配置内容。

配置要点：

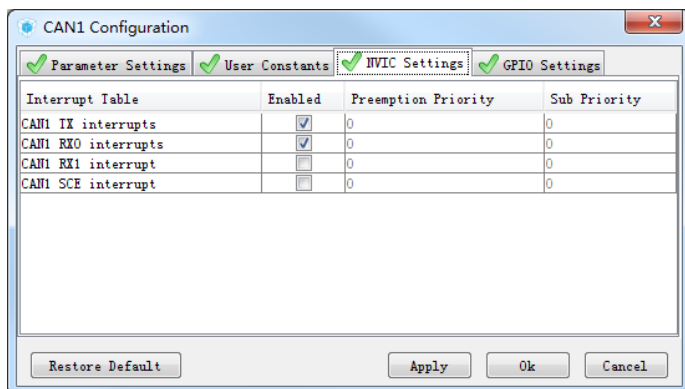
想要正确使用 CAN 外设，请先确认您的时钟树配置是否正确，请参考下图进行配置，特别注意，在左侧的 “HSE” 的 “Input frequency” 中填写的外部晶振时钟频率为 12M。




此外，由于 STM32 的引脚存在多种映射关系，在使用前，请确认您的对应 IO 引脚是否选择正确，对于 RoboMaster 开发板，CAN1 的引脚设置为：PD0 --- CAN1\_RX PD1 --- CAN1\_Tx。请参考下图对 CAN 外设的参数进行配置，需要注意的是，C610 电调的 CAN 比特率为 1Mbps，请确认 CAN 配置页面中，“Time for one Bit” 的值为 1000ns，即比特率为 1Mbps。另外请确保 “Automatic Bus-Off Manage” 选项处于 Enable 状态。



在正确完成 CAN 比特率等信息配置后，请在“NVIC Setting”页面开启 CAN 的接收中断，如下图。

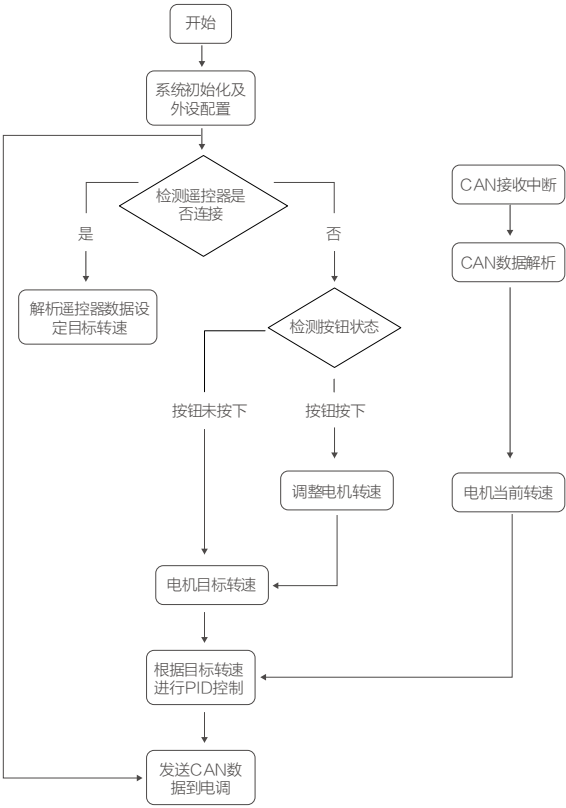


完成所有配置后，请单击软件主页面上的  按键重新生成工程。

- ⚠ • 重新生成工程之后，需要手动修改串口终端回调程序，否则可能导致 DR16 接收机无法正常工作，具体操作请参考 stm32f4xx\_it.c 的 USART1\_IRQHandler 函数中的注释。

代码实现

有关代码实现的具体内容请参考 DEMO 源码当中的注释，此处只挑选部分重要及易出错内容进行说明。



以上为软件运行的流程图，本文档将着重讲解 CAN 外设的配置、接收电调反馈信息以及向电调发送控制命令。

## 接收电调数据

C610 电调使用 CAN 总线通信，可以实现最多 4 个电调连接到同一条总线上集群控制。通信协议如下：

标识符：0x200 + 电调 ID（如：ID 为 1，该标识符为 0x201）

帧格式：DATA

帧类型：标准帧

DLC：8 字节

数据域	内容	数据域	内容
DATA[0]	转子机械角度高 8 位	DATA[4]	实际输出转矩高 8 位
DATA[1]	转子机械角度低 8 位	DATA[5]	实际输出转矩低 8 位
DATA[2]	转子转速高 8 位	DATA[6]	Null
DATA[3]	转子转速低 8 位	DATA[7]	Null

在使用 RoboMaster 开发板进行 CAN 通信之前，需要对 CAN 接口进行配置。使用 STM32CubeMX 配置波特率等参数之后，会生成 STM32F427 芯片的 CAN 接口的底层驱动以及除 CAN 硬件过滤器以外的配置代码。因此，关于 CAN 硬件过滤器的配置需要用户自行完成，这部分代码非常重要，未配置或错误配置将导致 CAN 无法使用。有关这部分代码请参考 bsp\_can.c 中的 my\_can\_filter\_init\_recv\_all 函数。

在正确完成 CAN 参数配置之后，需在初始化函数中调用 HAL\_CAN\_Receive\_IT 函数启动 CAN 接收，此时，当有正确的 CAN 数据到来时，将会进入 CANx\_RXx\_IRQHandle 回调函数中，但是按照 STM32Cube 规范，用户最好不要修改此回调函数中的代码，所有对 CAN 接收中断的处理都在 HAL\_CAN\_RxCpltCallback 中进行。

需要注意的是，如果需要 CAN 持续接收数据，在中断服务函数返回之前须调用 \_\_HAL\_CAN\_ENABLE\_IT 重新开启 CAN 中断才能接收到下一帧 CAN 数据。有关此部分代码请参考 bsp\_can.c 中的 HAL\_CAN\_RxCpltCallback 函数。

在以上工作全部正确完成之后，此时可以使用 RoboMaster 开发板接收 C610 电调返回的数据，在 C610 电调使用手册《CAN 通信协议》章节中明确指出，C610 电调会通过 CAN 总线以默认 1KHz 的频率发送数据，使用带有标准 ID 的 CAN 数据帧，数据长度为 8 字节。

关于电调返回数据的解析程序请参考 bsp\_can.c 中 get\_moto\_measure 函数。

向电调发送数据

与上一节类似，在向电调发送数据之前同样要对 CAN 进行配置，配置过程与上一节相同，此处不再赘述。

需要注意的是，与电调返回数据不同，向电调发送数据时，CAN 标识符有两种，0x200 或 0x1FF。使用标准 ID 的数据帧，数据长度为 8 字节。通过字节偏移量的不同区分电机 ID。如，控制 ID 为 2 的电机时，需要将电机的设置电流赋值到数据域的第 2、3 字节。当需要控制 ID>4 的电机时，需要设置 CAN 标识符为 0x1FF。具体协议如下：

标识符: 0x200      帧格式: DATA  
帧类型: 标准帧      DLC: 8 字节

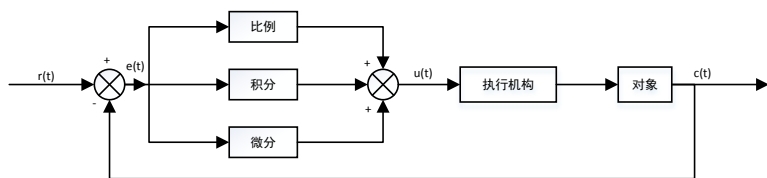
标识符: 0x1FF      帧格式: DATA  
帧类型: 标准帧      DLC: 8 字节

数据域	内容	电调 ID
DATA[0]	控制电流值高 8 位	1
DATA[1]	控制电流值低 8 位	
DATA[2]	控制电流值高 8 位	2
DATA[3]	控制电流值低 8 位	
DATA[4]	控制电流值高 8 位	3
DATA[5]	控制电流值低 8 位	
DATA[6]	控制电流值高 8 位	4
DATA[7]	控制电流值低 8 位	

数据域	内容	电调 ID
DATA[0]	控制电流值高 8 位	5
DATA[1]	控制电流值低 8 位	
DATA[2]	控制电流值高 8 位	6
DATA[3]	控制电流值低 8 位	
DATA[4]	控制电流值高 8 位	7
DATA[5]	控制电流值低 8 位	
DATA[6]	控制电流值高 8 位	8
DATA[7]	控制电流值低 8 位	

## PID 控制器

在实现电机速度闭环控制时，使用了PID 控制器，其控制框图如下：



由于 PID 控制器原理比较复杂，在本教程中只是简单应用，不作为重点讲解，有关代码请参考 pid.c 中的内容。若要了解其原理，请读者自行查阅相关资料。

## 参考文档

## 1. 《RoboMaster C610 无刷电机调速器使用说明》

点击下载地址或扫描右侧二维码: <https://cdn-hz.robomaster.com/item/RM%20C610%E6%97%A0%E5%88%B7%E7%94%B5%E6%9C%BA%E8%B0%83%E9%80%9F%E5%99%A8%E4%BD%BF%E7%94%A8%E8%AF%B4%E6%98%8E%20%E5%8F%91%E5%B8%83%E7%89%88.pdf>



## 2. 《RoboMaster M2006 P36 直流无刷减速电机使用说明》

点击下载地址或扫描右侧二维码: <https://cdn-hz.robomaster.com/item/RM%20M2006%20P36%E7%9B%B4%E6%B5%81%E6%97%A0%E5%88%B7%E5%87%8F%E9%80%9F%E7%94%B5%E6%9C%BA%E4%BD%BF%E7%94%A8%E8%AF%B4%E6%98%8E%20%E5%8F%91%E5%B8%83%E7%89%88.pdf>



## 3. 《Description of STM32F4 HAL and LL drivers》

点击下载地址或扫描右侧二维码: [http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user\\_manual/2f/71/ba/b8/75/54/47/cf/DM00105879.pdf/files/DM00105879.pdf/jcr:content/translations/en.DM00105879.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/2f/71/ba/b8/75/54/47/cf/DM00105879.pdf/files/DM00105879.pdf/jcr:content/translations/en.DM00105879.pdf)



## 4. 《RoboMaster 开发板使用手册》

点击下载地址或扫描右侧二维码: <https://cdn-hz.robomaster.com/item/RM%E5%BC%80%E5%8F%91%E6%9D%BF-%E7%94%A8%E6%88%B7%E6%89%8B%E5%86%8C.pdf>





[WWW.ROBOMASTER.COM](http://WWW.ROBOMASTER.COM)

**R** 和 **ROBOMASTER** 是大疆创新的商标。  
Copyright © 2018 大疆创新 版权所有