


# 步进电机特性实验指导书



哈尔滨工业大学（深圳）  
实验与创新实践教育中心

## 安全注意事项

	安全注 意事项	<ol style="list-style-type: none"><li>1、在实验前一定要详细阅读指导书，了解操作规程，并在实验过程中严格按照实验指导书进行操作。</li><li>2、负载砝码具有一定质量，由于平台搭建离地面有一定距离，在砝码挂载旋钮过程中一定要轻拿轻放，防止意外脱落或手滑导致砸伤等事故。</li><li>3、实验设备包含高速运动电机，衣物长条附属物，头发，肢体部位等，在运行前一定要与运动部件保持安全距离，防止出现电机缠住扭转事故。</li><li>4、实验室电气设备有任何异常，第一时间关闭电源。</li></ol>
---	------------	---

## 目录

<b>1. 实验目的</b> .....	<b>5</b>
<b>2. 实验原理</b> .....	<b>5</b>
2.1 步进电机的位置控制.....	5
① 步进电机的结构分析.....	5
② 实验程序说明.....	6
2.2 步进电机的矩频特性.....	10
① 步进电机特性.....	10
② 实验程序说明.....	12
<b>3. 实验内容与步骤</b> .....	<b>13</b>
3.1 步进电机的位置控制.....	13
3.2 步进电机的矩频特性.....	17
<b>4. 实验分析</b> .....	<b>22</b>
4.1 步进电机的位置控制实验分析.....	22
4.2 步进电机的矩频特性实验分析.....	22
<b>附录 1 系统硬件介绍</b> .....	<b>26</b>
1.1 步进电机.....	28
1.1.1 参数.....	28
1.1.2 结构介绍.....	28
1.1.3 细分驱动.....	29
1.2 步进电机驱动器.....	30
1.2.1 参数.....	30
1.2.2 端口说明.....	31
1.2.3 细分拨码开关设定.....	32
1.3 端子板.....	33
1.4 传动机构.....	34

1.5 负载砝码与惯量块 .....	35
1.6 数字调压电源 .....	36
<b>附录 2 MATLAB 接口及使用说明 .....</b>	<b>38</b>
2.1 SIMULINK 实时控制运行环境的配置 .....	38
2.2 GTBOX 工具箱模块说明 .....	40
2.3 示波器的背景设置及数据保存 .....	44
<b>附录 A 电气原理图 .....</b>	<b>49</b>

## 1. 实验目的

- (1) 掌握步进电机位置控制的原理和方法；
- (2) 了解步进电机矩频特性的概念，掌握脉冲频率与电机转速的关系；

## 2. 实验原理

### 2.1 步进电机的位置控制

#### ① 步进电机的结构分析

两相混合式步进电机的结构主要由三部分构成，分别是永磁铁、转子和定子。步进电机结构的轴向剖视示意图如图 2-1-1 所示，其中定子有四线八极，但是电机的绕线为两根，即  $A\bar{A}$  和  $B\bar{B}$ ，称为两相步进电机。每根线错开绕制到八个磁极铁芯上，如图 2-1-2 所示，两根线有四个引线，分为  $A$ 、 $\bar{A}$  和  $B$ 、 $\bar{B}$ ，转子边缘也有 50 个小齿。

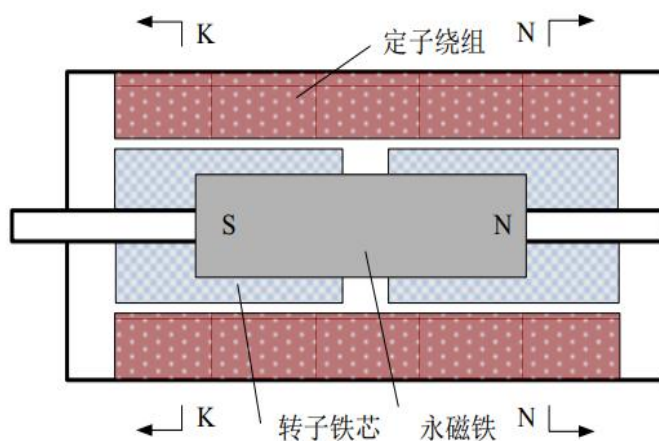


图 2-1-1 两相混合式步进电机轴向剖视结构示意图

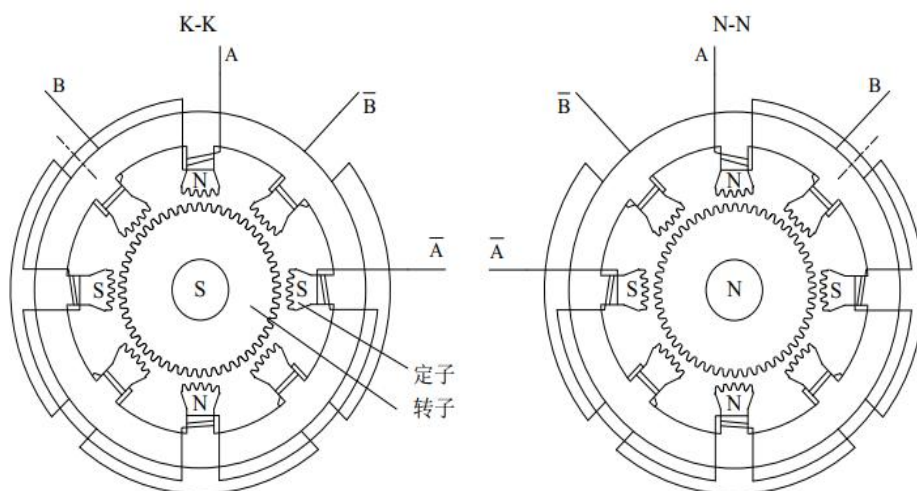


图 2-1-2 两相混合式步进电机径向剖视结构示意图

如图 2-1-2 所示，转子可看作由两段有齿环的铁芯组成，中间嵌入永磁铁，转

子被分成两极，一端铁芯呈 S 极，一端铁芯呈 N 极。转子的两段铁芯外周虽然也均匀的分布着同样数量和尺寸的小齿，但是两段铁芯上的小齿互相错位半个齿距。制造这种电机时，结构上要保证当某一磁极的小齿与转子上的小齿处于对齿时，与这个磁极相垂直的另外两个磁极上的小齿和转子上的小齿一定处于最大错齿位置。这样才能使电机在每个脉冲励磁时都有错齿状态，才有转动的力矩。因为转子也产生磁场，所以混合式步进电机的输出扭矩是转子永磁磁场和定子电枢磁场共同作用的结果，它比仅由定子产生磁场的反应式步进电机的转矩大，也比永磁式步进电机的精度高。

基于对步进电机结构的分析，步进电机的齿距角可以由下式计算：

$$\theta_z = \frac{2\pi}{Z} \quad (2-1-1)$$

式中， $Z$  为转子齿数。

如图 2-1-2 所示，转子的齿数为 50，则齿距角为  $\theta_z = 7.2^\circ$ 。如果对绕组通电一次的操作记为 1 拍，那么两相混合式步进电机轮流通电一周就需要 4 拍，每有一个脉冲激励，转子就走 1 步，则两相混合式步进电机转一个齿距角需要 4 步，转子走 1 步所转过的角度称为步距角  $\theta_N$ ，即

$$\theta_N = \frac{2\pi}{NZ} \quad (2-1-2)$$

式中， $N$  为步进电机工作拍数。电机设计最终得到的步距角为  $1.8^\circ$ 。

由于制造时转子的 S 极端的齿和 N 极端的齿互相错半个齿，如图 2-1-2 所示，转子分成两极，转子的 S 极与有脉冲激励的定子绕组的 N 磁极产生吸合力，与其相对应的定子 S 磁极产生排斥力。同时，转子的 N 极与有脉冲激励的定子绕组的 S 磁极产生吸合力，与其相对应的定子 N 磁极产生排斥力。每次脉冲激励，转子转过  $1/4$  个齿距，转过一个齿距角需要通电四次，两相混合式步进电机只有两个相，为实现 4 次换相通电，就需要对某一相分别正向和反向通电。如果每次只励磁一个绕组，只有一个绕组导通的方式称为单相运行，用  $A$  表示  $A$  相电流正向流过， $\bar{A}$  表示  $A$  相电流反向流过， $B$  通电也是如此，则两相混合式步进电机的单相运行顺时针旋转方式为  $A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B}$ 。逆时针通电顺序为  $A \rightarrow \bar{B} \rightarrow \bar{A} \rightarrow B$ 。

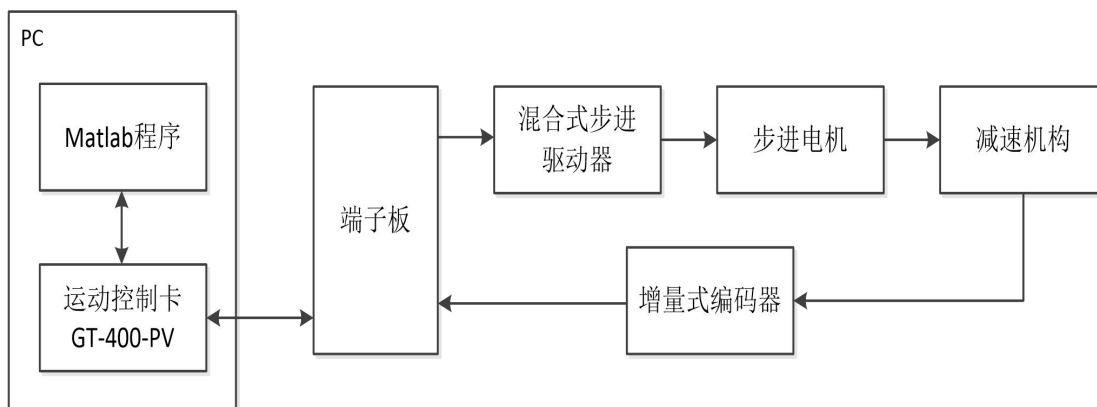
两相混合式步进电机也可以同时激励两个绕组，双绕组励磁顺时针通电顺序为  $AB \rightarrow \bar{A}\bar{B} \rightarrow \bar{A}B \rightarrow AB$ 。逆时针通电顺序  $AB \rightarrow \bar{A}\bar{B} \rightarrow \bar{A}B \rightarrow AB$ 。两相通电方式产生的力矩比单相通电方式要大。

如果将单相励磁和两相励磁交替组合在一起，就形成单双八拍方式，顺时针运行的通电顺序为  $A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow \bar{A}\bar{B} \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{A}\bar{B} \rightarrow \bar{B} \rightarrow \bar{A}B$ ，逆时针运行的通电顺序为  $A \rightarrow \bar{A}\bar{B} \rightarrow \bar{B} \rightarrow \bar{A}B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{A}\bar{B} \rightarrow B \rightarrow AB$ 。

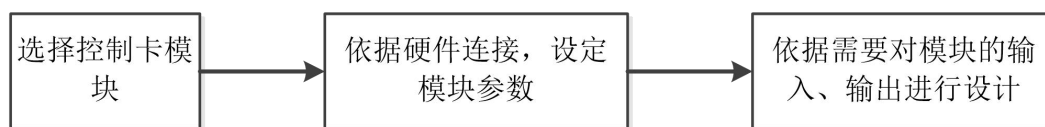
本实验采用步进驱动器控制步进电机，当驱动器细分为 2000 时，驱动器发送 2000 个脉冲电机转动一圈。通过控制驱动器发出的脉冲个数，可以对电机位置进行控制。实验时首先设置驱动器的细分，细分设置见附录 1 表 1-7 所示，然后给控制器设定位置脉冲数（一般给定的脉冲数为细分数乘以电机转数）、速度以及加速度，运行程序后，得到编码器反馈的脉冲数。经过计算得到电机轴的角位移，与控制信号进行比较，可以验证对电机的位置控制是否准确。

## ② 实验程序说明

系统控制原理框图如下图所示。运动控制卡插在 PC 机的 PCI 端口,通过 Matlab 编写程序与运动控制卡通信。控制卡借助端子板向驱动器发送脉冲信号,驱动器发送脉冲到步进电机,控制电机旋转带动减速机构运转,输出的角位移信号通过编码器反馈到端子板并传输到运动控制卡,PC 通过 Matlab 在 Simulink 下实时采集输出轴的位置。



实验通过 Matlab 程序连接控制卡,控制驱动器驱动电机转动,并反馈电机转动的角位移和角速度。程序设计流程如下图所示:



1. 首先选定 Matlab 中连接控制卡的模块。设备采用 GT-400-SV 运动控制卡,根据要实现的功能,程序中采用 gtbbox 工具箱中的 GT-400-SV Initialization V2、Get Axis' Position 及 Set Axis AccVelPos 三个模块完成 Matlab 与控制卡的通信。



GT400-SV Initialization V2 功能是对控制卡进行初始化,设置轴的控制模式和伺服使能开关。设备控制一个步进电机,电机连接端子板的 CN5,参考端子板的定义 CN5 对应 1 轴,因此只需要设置 1 轴的控制模式。参考 GT400-SV Initialization V2 的说明将 1 轴的控制模式设为 3,即控制器开环控制(脉冲加方向)。



Set Axis AccVelPos 功能是对设定轴的位置、速度和加速度三个控制信号进行设定。电机连接端子板的 CN5,参考端子板的定义 CN5 对应 1 轴。因此,双击 Get Axis' Position 将 Axis Number 设为 2,即控制电机轴的位置、速度和加速度。



Get Axis' Position 功能是输出设定轴的编码器数值。编码器安装在输出轴上，连接端子板 CN6，参考端子板的定义 CN6 对应 2 轴。因此，双击 Get Axis' Position 将参数设为 2，即可由 Get Axis' Position 得到输出轴的编码器脉冲数。经过计算减速比，可得到电机轴的角位移。

2. 控制卡模块选定后，根据需要对 Set Axis AccVelPos 的输入信号进行设置；再根据需要得到的反馈数据，对 Get Axis' Position 的输出进行数据处理。

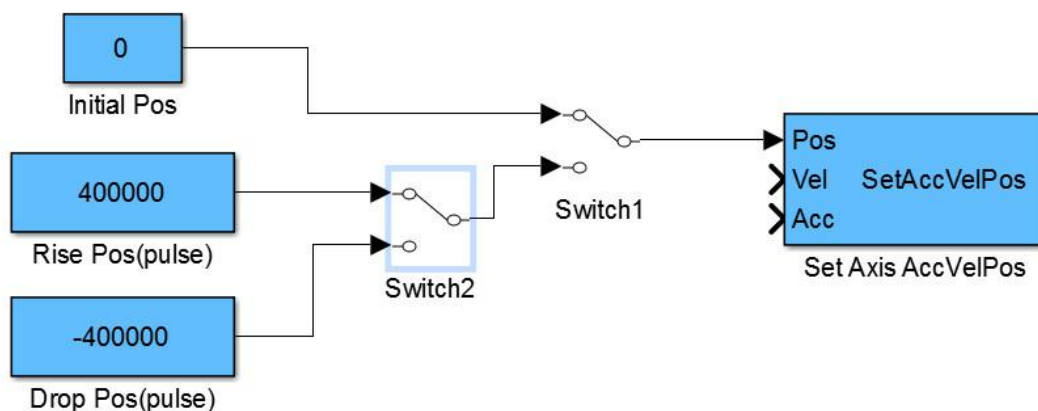
(1) Set Axis AccVelPos 位移、速度和加速度的输入单位分别为 pulse、pulse/200us 和 pulse/200us/200us。对于电机，位移的通用单位也是 pulse，只需要根据需要设计输入模块。而速度、加速度设值的通用单位为 r/min 和 rpm/s，因此，需要对速度的输入进行 r/min→pulse/200us 换算，对加速度的输入进行 rpm/s→pulse/200us/200us 的换算。

实验中负载的初始位置如下图所示：



实验记录的是负载上升过程的数据，所以需要先给一个向下的位置脉冲使负载向下运动到指定位置，以保证负载向上运动有足够的行程。因此 Set Axis AccVelPos 的位置输入需要三个状态：位置上升、位置下降及初始位置，如下图所示：

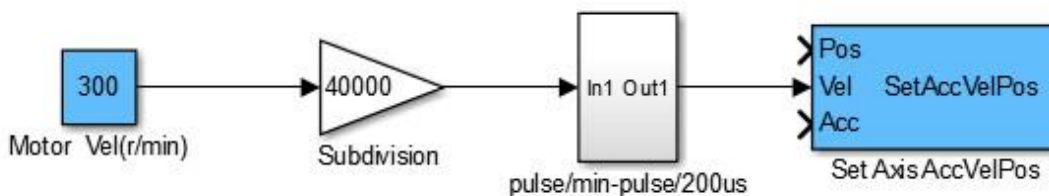




上图中 Initial Pos、Rise Pos (pulse) 以及 Drop Pos (pulse) 均为位置控制信号,单位是脉冲。程序的初始状态时, Switch1 和 Switch2 的位置如上所示。Switch1 是初始位置与给定位置的切换; Switch2 是运动方向的切换, Rise Pos (pulse) 为正, 负载向上运动; Drop Pos (pulse) 为负, 负载向下运动; 两者的绝对值要相同。实验中要先切换 Switch2 指定负载的运动方向, 再将 Switch1 切换到下方, 负载开始运动。负载先向下运动到指定位置, 停止程序(这样才能保证之后的示波器不显示下降段的数据), 切换 Switch2 改变运动方向, 再运行程序, 运动停止后, 关闭程序, 打开示波器即可得到上升段的实验数据。

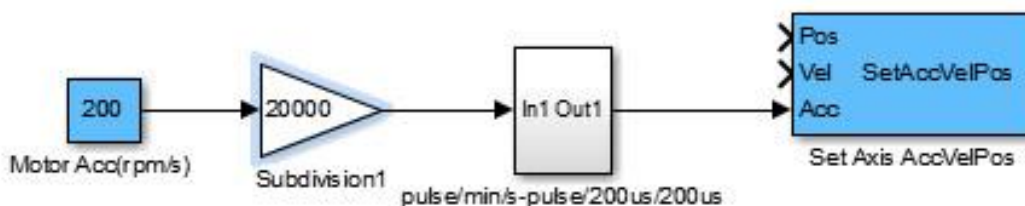
下图中 Motor Vel (r/min) 模块为速度输入信号, 单位 r/min。速度输入 r/min→pulse/200us 的换算程序如下, 其中 Subdivision 为当前驱动器的设定细分。

**(注意: 实验中若改变驱动器细分, 需要同时修改 Subdivision 的值)**



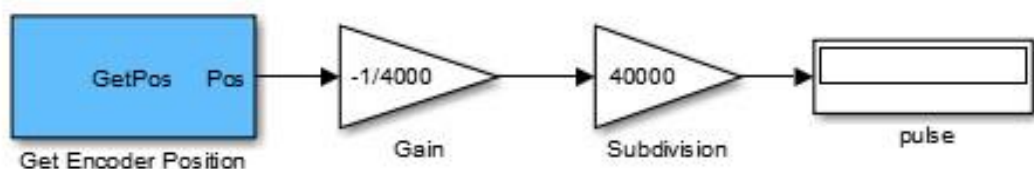
下图中 Motor Acc (rpm/s) 模块为加速度输入信号, 单位 rpm/s。加速度 rpm/s→pulse/200us/200us 的换算程序如下, 其中 Subdivision1 为当前驱动器的设定细分。

**(注意: 实验中若改变驱动器细分, 需要同时修改 Subdivision1 的值)**

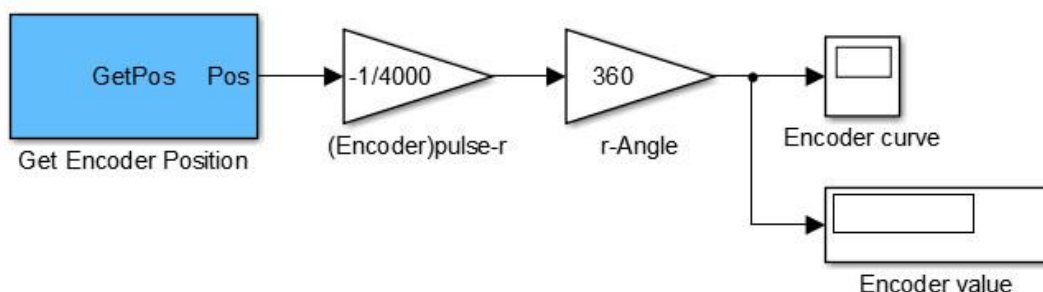


(2) Get Axis' Position 输出的是设定轴编码器的数值，实验需要得到输出轴的角位移和脉冲数、电机轴的速度。因此对模块的输出进行处理。设备使用的增量式编码器线数 1000，四倍频，得到的编码器数值除以 4000 即得到对应的转数。

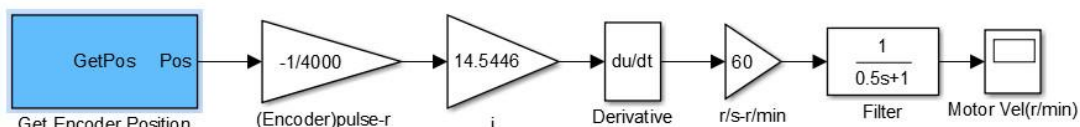
程序中编码器数值→输出轴脉冲的换算如下图所示，其中 40000 为当前驱动器的设定细分。



编码器数值→输出轴角位移的换算如下图所示。



对输出轴的位移进行微分得到电机的速度。编码器数值→电机轴速度的换算如下图所示，其中  $i$  为减速比，经多次测量减速比取 14.5446，每台设备略有差异。



(3) 上述两步完成后，即可完成控制程序的设计。

## 2.2 步进电机的矩频特性

### ① 步进电机特性

#### 1. 步距角

步距角是指步进电机在一个（即一拍）电脉冲的作用下，转子所转过的角位移，也称为步距。它的大小预定自控制绕组的相数、转子的齿数和通电方式有关，体现了系统能达到的分辨能力。步距角的计算公式为：

$$\theta_b = \frac{\text{齿矩角}}{\text{拍数}} = \frac{\text{齿矩角}}{Km} = \frac{360^\circ}{Kmz} \quad (2-2-1)$$

式中： $\theta_b$  是步进电机的步距角； $K$  为状态系数，当相邻两次通电的相数相同（ $x$  相单  $x$  拍或  $x$  相双  $x$  拍）时， $K=1$ ，而采用相邻两次通电的相数不同（ $x$  相单、

双  $2x$  拍，如三相单、双六拍通电方式运行）时， $K=2$ ； $m$  为控制绕组的相数； $z$  为转子的齿数。

步进电机的相数和转子齿数越多，步距角就越小，控制就越精确。所以步进电机可以做三相，也可以做两相、四相、五相或更多相数。

步进电机在一定的脉冲频率下，电机的相数和转子齿数越多，转速（r/min）就越低。而且相数越多，驱动电源也越复杂，成本也就越高。

## 2. 静特性

步进电机的静特性是指稳定状态时的特性，包括静转矩、矩角特性及静态稳定区等。当步进电机得到连续控制脉冲时，某些绕组按照预定通电方式轮流通电，转子便一步步转动。当控制脉冲停止时，某些相绕组仍能通入恒定不变的电流，这时转子固定于最后一步的位置上保持不动，成为静态状态。

## 3. 最大相电压和最大相电流

最大相电压和最大相电流分别是指每相绕组允许施加的最大电源电压和流过的最大电流。

## 4. 启动频率和连续运行频率

步进电机的工作频率，一般包括启动频率、制动频率和连续运行频率，对同样的负载转矩来说，正反向的启动频率和制动频率是一样的，所以一般技术数据里给出启动频率和连续运行频率。

## 5. 矩频特性

当步进电机的控制绕组的电脉冲时间间隔大于电机机电过渡过程（指由于机械惯性及电磁惯性而形成的过渡过程）所需时间时，步进电机进入连续运行状态。这时产生的转矩成为动态转矩。步进电机施加一定的负载下，动态转矩和运行脉冲频率的关系称为矩频特性。步进电机的动态转矩随着脉冲频率的升高而降低。

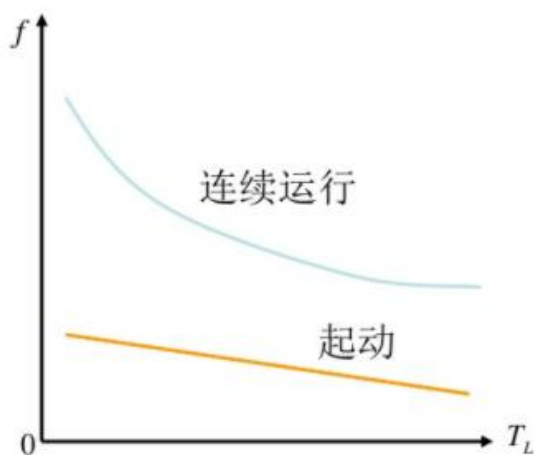


图 2-2-1 步进电机的矩频特性

步进电机进入连续运行状态时产生的转矩称为动态转矩。在一定的负载转矩下能够不失步的最高脉冲频率称为此负载下的电机连续运行频率。步进电机的动态转矩和运行的最高脉冲频率的关系称为矩频特性。步进电机的动态转矩随着运行脉冲频率的升高而降低。

实验设定不同的加速度，使电机耗尽自身的转矩，即步进电机持续加速到达

某个速度时，根据矩频特性，此时电机所提供的转矩不能满足加速所需，会造成较大的位置误差，内部发生报警，电机停止运转。此时即可得到电机转矩维持设定加速度的状态下，系统所能达到的最大速度。故由最大转速可计算得到脉冲频率，从而得到动态转矩与脉冲频率的特性曲线，即电机的矩频特性。

电机轴的转矩平衡方程如下式：

$$M_m(t) = J \frac{d\omega_m(t)}{dt} + M_L(t) \quad (2-2-2)$$

式中： $M_m(t)$ 为电枢电流产生的电磁转矩； $J$ 为整个系统折算到电机轴的转动惯量； $M_L(t)$ 为负载力矩折算到电机轴上的转矩。由式(2-2-2)计算电机此时的动态转矩，可得到电机速度与动态转矩的特性曲线。由于步进电机的脉冲频率  $f$ (HZ) 与转速  $n$  (r/min) 有如下关系：

$$n = \frac{60f}{Z_r N} \quad (2-2-3)$$

则由最大转速可计算得到脉冲频率，从而得到动态转矩与脉冲频率的特性曲线，即电机的矩频特性。

## ② 实验程序说明

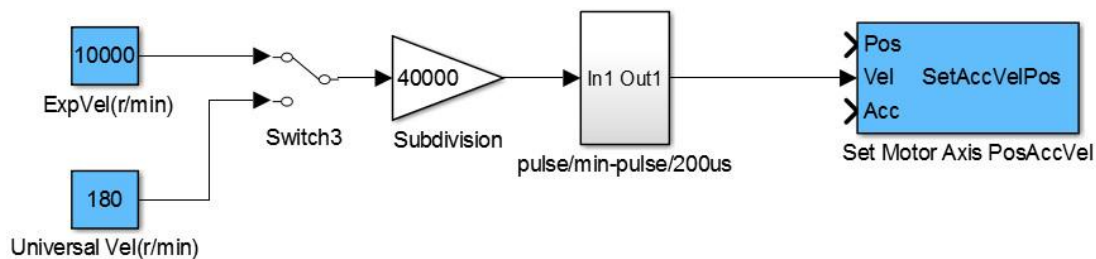
实验程序的设计与模块说明请参见位置控制程序说明部分。

矩频特性实验内容与位置控制实验内容的区别如下：矩频特性的测量原理是设定不同的加速度，使电机耗尽自身的转矩，当步进电机持续加速到达某个速度时，根据矩频特性，此时电机所提供的转矩不能满足加速所需，会造成较大的位置误差，内部发生报警，电机停止运转。此时即可得到电机转矩维持设定加速度的状态下，系统所能达到的最大速度。

实验的测量方法是给定一个很大的速度与加速度，然后测量电机所能达到的最大速度。加速度与速度的输入模块说明如下：

1. 在测量矩频特性数据时 Rise Pos (pulse) 设为 2000000；在不测量最大速度时，当细分 40000，砣码数量为 3，Rise Pos (pulse) 的范围为 0 到 2800000，如果细分和砣码数量改变，上述范围会改变。

2. 速度的输入模块分为测量特性时用的速度 ExpVel (r/min) 和不测特性时的速度 Universal Vel (r/min)，如下图所示。ExpVel (r/min) 为 1000，实验中此数值固定不变；Universal Vel 在实验中范围为 0-185r/min。



### 3. 实验内容与步骤

#### 3.1 步进电机的位置控制

**注意：在关闭程序时，请勿保存，以保持默认程序不变**

1. 运动控制卡与端子板连接如图 3-1-1 所示，插卡时注意公头对母头，并轻轻插拔，避免插针变形；（电路连接默认已经设置好，如果未插好一定在电源关闭情况下连接。）

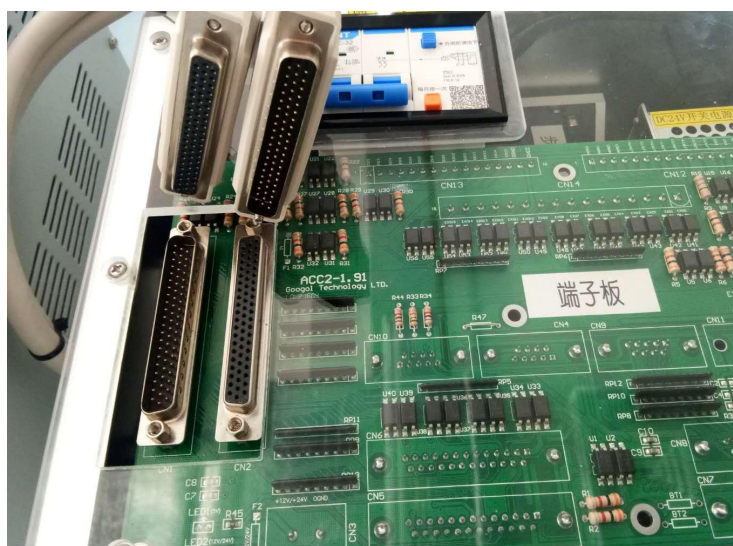


图 3-1-1 控制卡连接示意图

2. 航空插头 CN1 与直流电源的正负端连接，红接正，黑接负，直流电源的供电电源和 AC220V 连接，如图 3-1-2 所示；

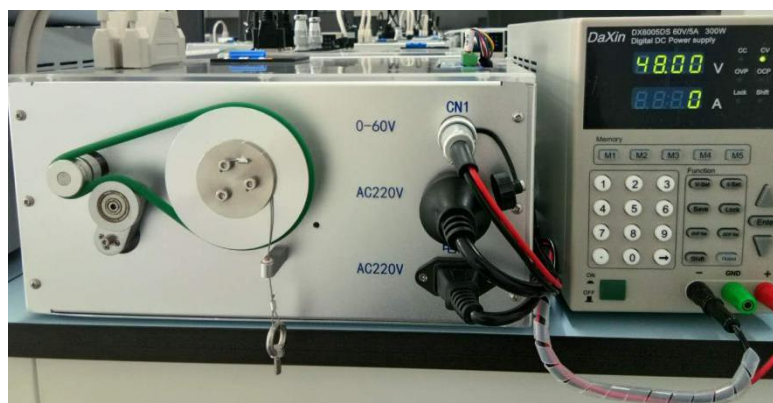


图 3-1-2 硬件连接示意图

3. 依次打开设备上的断路器，数字电源的开关，设置电源电压为 48V；
4. 依据驱动器细分设置表（见附录 1 表 1-7）设定驱动器的细分（改变细分时需要切断驱动器电源），本实验设定细分为 40000；
5. 按下数字电源的 Output 键，CV 的显示灯会常亮，如图 3-1-3 所示，给驱动器上电（注意：在下载代码前必须先要给驱动器上电）；



图 3-1-3 电源按键示意图

6. 在电机输出端悬挂三个 200g 的负载，如图 3-1-4 所示；



图 3-1-4 负载准备示意图

7. 打开 Matlab，路径为 C:\ProgramFiles\MATLAB\R2015b\workspace\StepMoto  
rexaM\SMExp1.slx，弹出图 3-1-5 所示的实时控制界面；

Paradox Stepper Motor Platform-- Hardware Test Control Demo

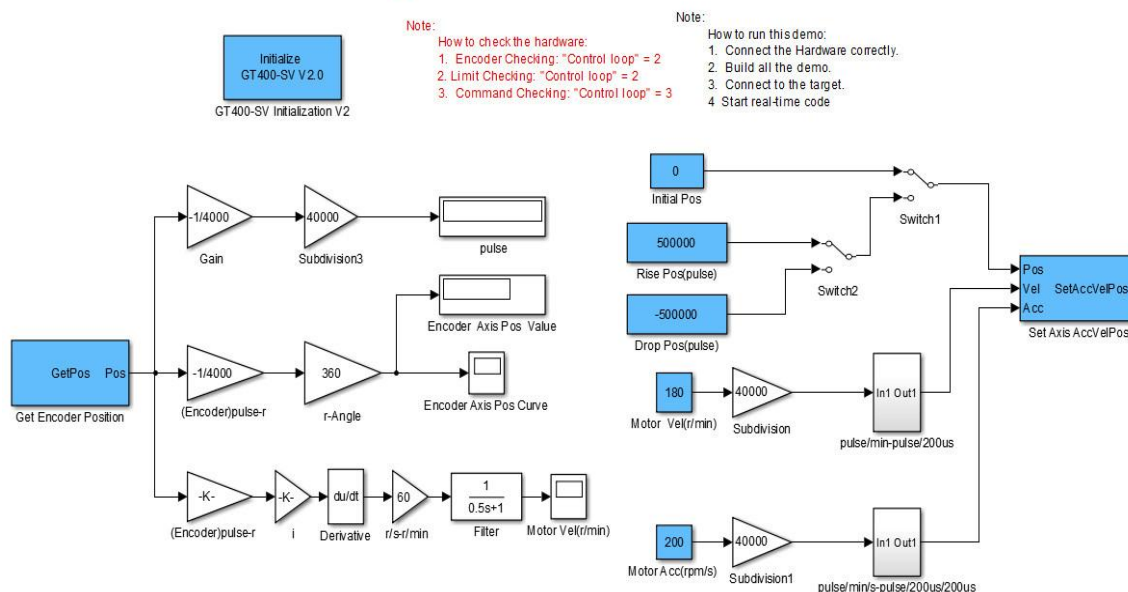





图 3-1-5 位置控制程序

	<p>注意</p>	<p>Rise Pos (pulse) 为正，负载向上运动；Drop Pos (pulse) 为负，负载向下运动；两者的绝对值要相同。当细分 40000，砝码数量为 3 时，Rise Pos (pulse) 的范围为 0 到 3000000；Drop Pos (pulse) 的范围为 0 到-3000000；如果细分和砝码数量改变，上述范围会同时改变。</p>
---	-----------	---

8. 双击 Rise Pos (pulse) 设为 500000，Drop Pos (pulse) 设为-500000，速度设为 180r/min（位置控制实验其范围为：0-185），加速度设为 150rpm/s（位置控制实验其范围为：0-200）；

9. 点击  编译程序；

10. 点击  运行程序，双击 Switch2 将开关拨到 Drop Pos (pulse)，再双击 Switch1 将开关拨到下方，电机运行，负载向下运动；

11. 负载向下运动到指定位置后，请点击  停止程序，切换 Switch2 到 Rise Pos (pulse)，再运行程序，负载向上运动，运动停止后，点击停止程序，在监视数据框 Encoder Axis Pos Value 中可读取到输出轴的位移值为 309.9°（每台设备略有差异）；

12. 双击 Switch1 将开关打到上方，恢复初始状态；

13. 双击程序中的电机速度曲线示波器，可得电机的速度曲线，如图 3-1-6 所示。

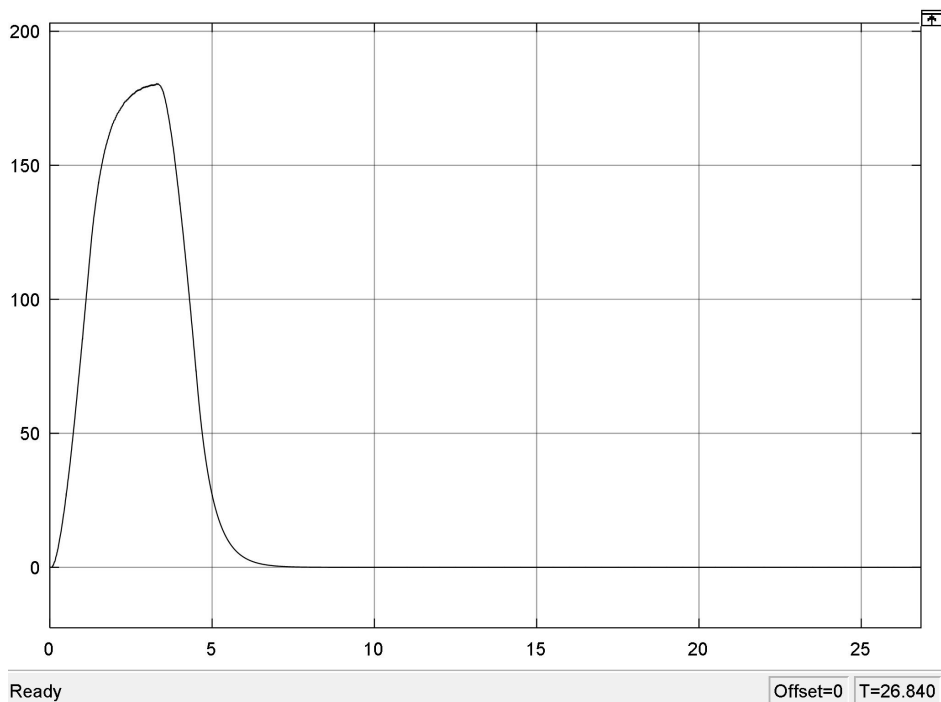


图 3-1-6 电机轴的速度曲线

14. 其他条件不变，重复步骤 8-13，将 Rise Pos (pulse) 和 Drop Pos (pulse) 分别设为下表所示的值。

Rise Pos (pulse)	1000000	1500000	2000000	2500000
Drop Pos (pulse)	-1000000	-1500000	-2000000	-2500000

15. 记录给定控制器脉冲 Rise Pos (pulse)、监视数据框 Encoder Axis Pos Value 的输出轴角位移和 pulse 读出的脉冲数。数据记录如下表。

	电机轴指定位置脉冲设置 Rise Pos (pulse)	输出轴角位移 (degree)	输出轴脉冲数 (pulse)
1	500000		
2	1000000		
3	1500000		
4	2000000		
5	2500000		

注：上述表格由同学们自行设置 5 组电机轴指定位置脉冲，并如实记录后续两列实测数据，摘录于实验报告。



### 3.2 步进电机的矩频特性

**注意：在关闭程序时，请勿保存，以保持默认程序不变**

1. 运动控制卡与端子板连接如图 3-2-1 所示，插卡时注意公头对母头，并轻轻插拔，避免插针变形；

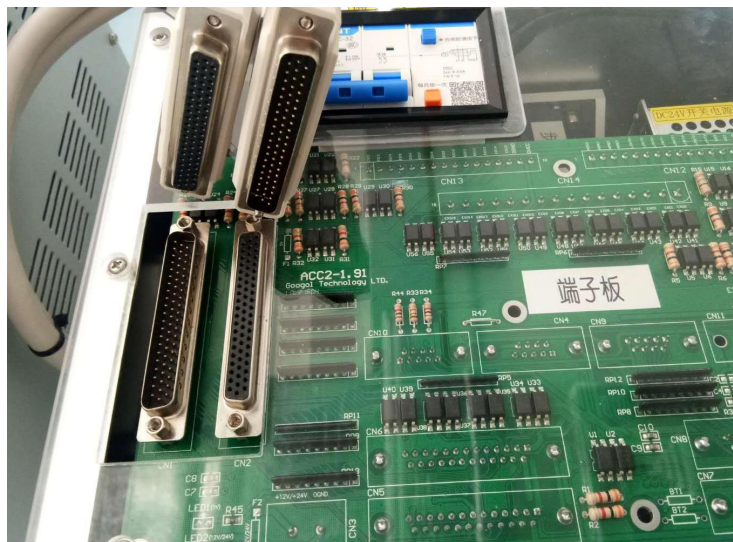


图 3-2-1 控制卡连接示意图

2. 航空插头 CN1 与直流电源的正负端连接，红接正，黑接负，直流电源的供电电源和 AC220V 连接，如图 3-2-2 所示；

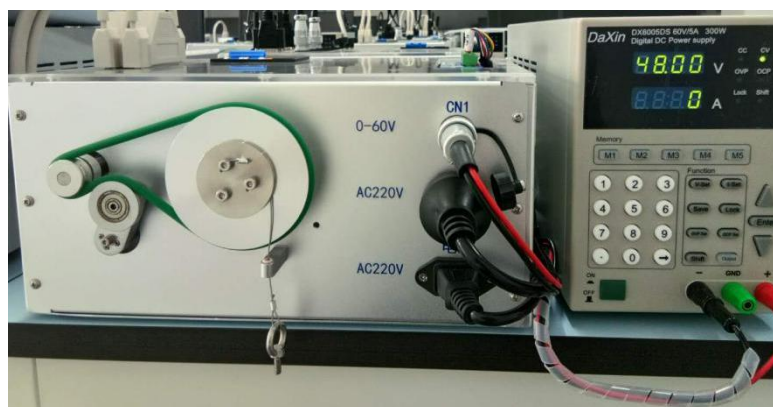


图 3-2-2 硬件连接示意图

3. 依次打开设备上的断路器，数字电源的开关，设置电源电压为 48V；
4. 依据驱动器细分设置表（见附录 1 表 1-7）设定驱动器的细分（改变细分时要给驱动器断电），本实验设定的细分为 40000；
5. 按下数字电源的 Output 键，CV 的显示灯会常亮，如图 3-2-3 所示，给驱动器上电（注意：在下载代码前必须先要给驱动器上电）；



图 3-2-3 电源按键示意图

6. 在电机输出端悬挂 4 个 1kg 的负载，如图 3-2-4 所示；（实验负载可自己添加，为防止不确定性，负载尽量波动还是不要太大，注意惯量计算时负载质量的变化。）

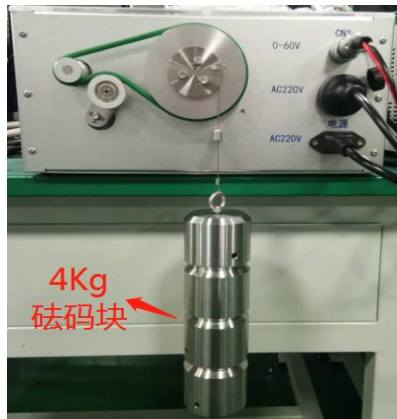


图 3-2-4 实验负载准备

7. 打开 Matlab，路径为 C:\ProgramFiles\MATLAB\R2015b\workspace\StepMotorExam\SMExp2.slx，弹出图 3-2-5 所示的实时控制界面；

Paradox Stepper Motor Platform -- Hardware Test Control Demo

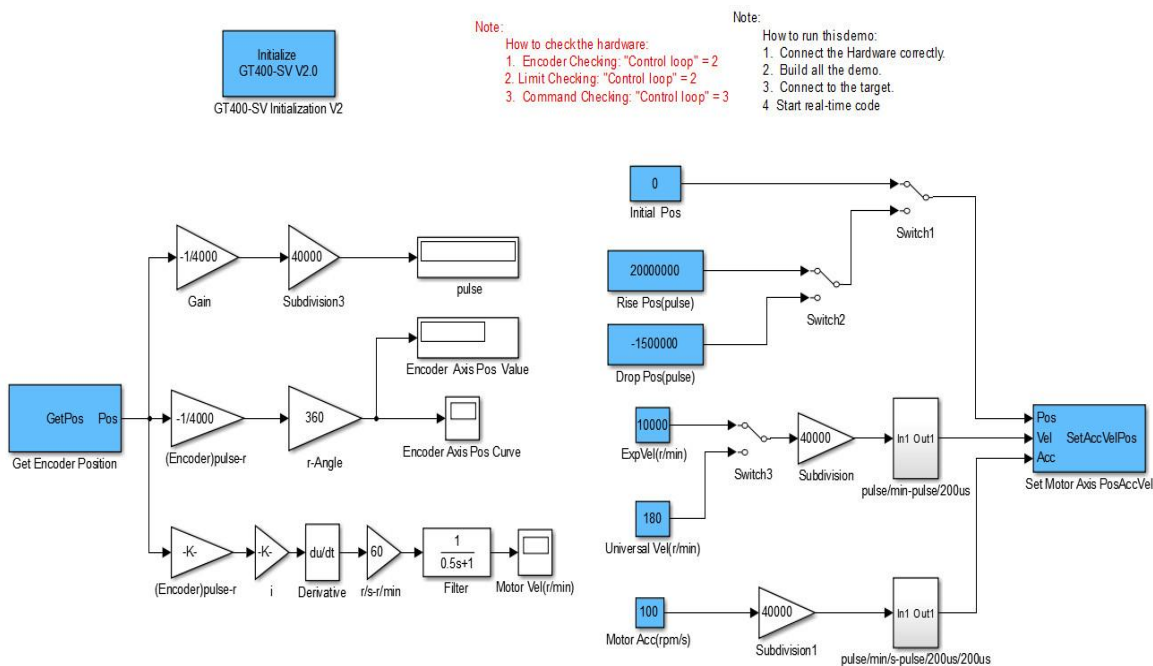




图 3-2-5 矩频特性实验程序



	<p>注意</p>	<p>Rise Pos (pulse) 为正，负载向上运动；Drop Pos (pulse) 为负，负载向下运动；当细分 40000，Rise Pos (pulse) 在测矩频特性时为固定值 20000000，不测量数据时其范围为 0 到 2800000；Drop Pos (pulse) 的范围为 0 到 -2800000；如果细分和砵码数量改变，上述范围会同时改变。</p>
---	-----------	---

8. 双击 Rise Pos (pulse) 设为 20000000，Drop Pos (pulse) 设为 -1500000，ExpVel (r/min) 设为 10000 (实验中此数值固定不变，只是表示能提供给电机转速一个充分大的转速提升范围，但在实验中未能达到)，Universal Vel (r/min) 设为 180r/min (矩频特性实验中其范围为：0-185)，加速度设为 100rpm/s (矩频特性实验中其范围为：0-200)；


(注意，此时的 Rise 与 Drop 设置的脉冲数量大小与第一节指定的位置脉冲含义不太一样，主要是为了在一定转矩下充分耗尽转矩，而设置的较大的一个运行空间范围，但实际运行范围有限，如果达到极限位置，请点击程序停止按钮  )。


9. 双击 Switch2 将开关拨到 Drop Pos (pulse)，再双击 Switch3 将开关拨到 Universal Vel (r/min)；


10. 点击  编译程序；


11. 点击  运行程序，双击 Switch1 将开关拨到下方，电机运行，负载向下运动；(注意：Switc1 拨到上面代表 0 点，但在按下程序停止按钮  后，电机

所在的瞬时位置有可能会成为下一次启动运行的 0 点位置，大家请注意理解。)

12. 当到达位置时，负载停止运动，点击  停止程序，双击 Switch2 将开关拨到 Rise Pos (pulse)，再双击 Switch3 将开关拨到 ExpVel (r/min)；

	注意	此状态下，负载运动时若发出响声，属于正常。当负载运动结束，停止程序，给驱动器断电然后重新上电（通过 Output 按键操作），以消除响声。
---	----	---

13. 重新运行程序，负载向上运动，当负载停止运动时，点击  停止程序；

9、10、11、12、13 操作过程的含义：首先将砝码块降落在靠近地面的位置停止；然后，点击 Switch3 拨到 ExVel，设定一个充分大的转速范围（实验不会达到这么快）；最后点击 Switch2 翻转，使输出轴砝码下一次运动是向上运动。目的是使电机能够在具有足够大的空间运动范围，充分大的转速提升范围，达到在给定初始转矩、一定砝码负载下，电机转速不断上升直到耗尽转矩的过程，有可能在运行过程中停止。若是运动到极限位置还未停止，需要按下程序停止按钮 ，并注意下一次运行零点是否为该停止位置处。

14. 双击程序中的电机速度曲线示波器，可得电机的速度曲线如图 3-2-6 所示，记录此时的最大速度；

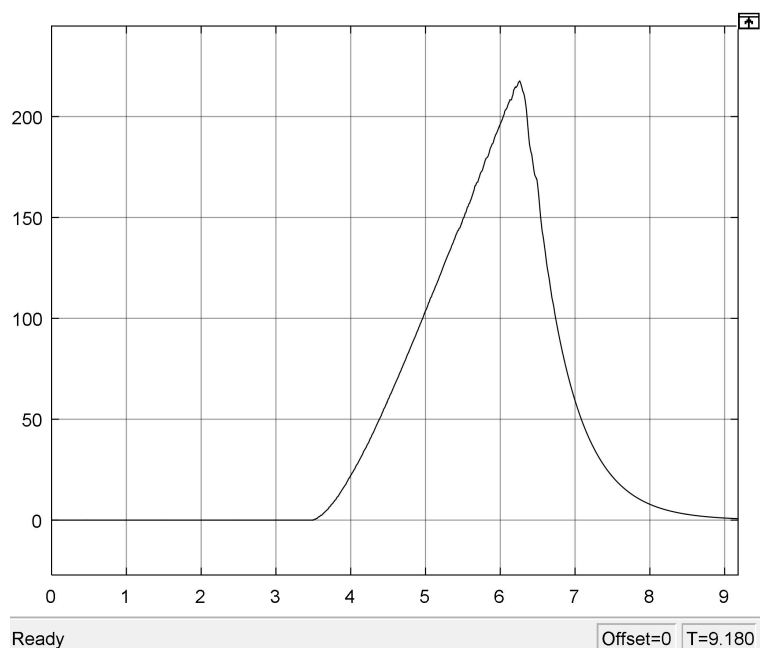



图 3-2-6 电机速度曲线

15. 将加速度依次设置为如表 3-2-1 所示的数值，重复步骤 13-14，记录不同加速度下的最大速度；（注意：在实验操作时，自主设定加速度设定值，尽量不要一一摘录，并在表 3-2-1 中记录，需要在实验报告中体现。为防止实验不确定性，加速度设定值仍参考表 3-2-1 中的示例值和选取范围进行自主设定，不要偏离的太严重）。

表 3-2-1 实验加速度设定数值表

加速度 设定值	100	250	500	750	1000	1250	1500
	1750	2000	2250	2500	2750	3000	

16. 实验结束后,将 Rise Pos(pulse)设为 800000, Switch2 拨到 Rise Pos(pulse)、Switch3 拨到 Universal Vel (r/min), 运行程序, 将 Switch1 拨到下方, 当负载接近桌面时停止程序, 此时负载的位置如下图所示。

**(注意: 在实验过程中, 由于多次点击程序停止按钮  , 有可能导致点击控制系统 0 点位置漂移, 所以有可能电机并未运行到设定的参数位置, 已经接近于极限位置, 这时只需要停止即可; 若是还未运行到指定位置, 可以停止重新启动查看是否运行到指定位置并停止)**

17. 根据给定的初始加速度, 记录电机最大速度, 计算电机在砝码负载下的转矩, 计算电机运行最大脉冲频率, 对数据进行拟合得到转矩速度特性曲线、矩频特性曲线。程序拟合生成的图表可打印附着在实验报告末页。

表 3-2-2 实验数据记录 (每台设备数据不同)

	加速度 $\alpha$ (rpm/s)	最大速度 $v$ (r/min)	电机扭矩 T (N·m)	脉冲频率 $f$ (Hz)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				

## 4. 实验分析

### 4.1 步进电机的位置控制实验分析

(1) 步进电机的位置控制实验中，自行设置 5 组电机轴指定位置脉冲，记录给定控制器脉冲数 Rise Pos (pulse)、监视数据框 Encoder Axis Pos Value 的输出轴角位移和 pulse 读出的脉冲数。参考下表 4-1。

表 4-1 实验数据记录 (每台设备数据不同)

	电机轴指定位置脉冲设置 Rise Pos (pulse)	输出轴角位移 (degree)	输出轴脉冲数 (pulse)
1	500000		
2	1000000		
3	1500000		
4	2000000		
5	2500000		

(2) 根据**第一组**设定的参数和记录的数据结果，计算电机与输出轴的传动比；在已知传动比的情况下，再通过设定的其他参数，通过理论计算预测电机的指定位置，然后再通过实验记录数据，验证对比理论与实测结果是否符合，并得出结论。

### 4.2 步进电机的矩频特性实验分析

通过实验得到在设定加速度值分别为表 3-2-1 的数值时，系统能达到的最大速度，电机轴有如下式所示转矩平衡方程：

$$M_m(t) = J \frac{d\omega_m(t)}{dt} + M_L(t) \quad (4-2-1)$$

式中  $M_m(t)$  为电枢电流产生的电磁转矩； $J$  为整个系统折算到电机轴的转动惯量； $M_L(t)$  为负载力矩折算到电机轴上的转矩。依据上式计算维持设定加速度所需的电机转矩。电机转矩可分为两部分计算：克服系统转动惯量所需的扭矩和驱动负载的转矩。

计算克服系统转动惯量所需的转矩，首先计算式 (4-2-1) 中的  $J$ ，计算公式如下：

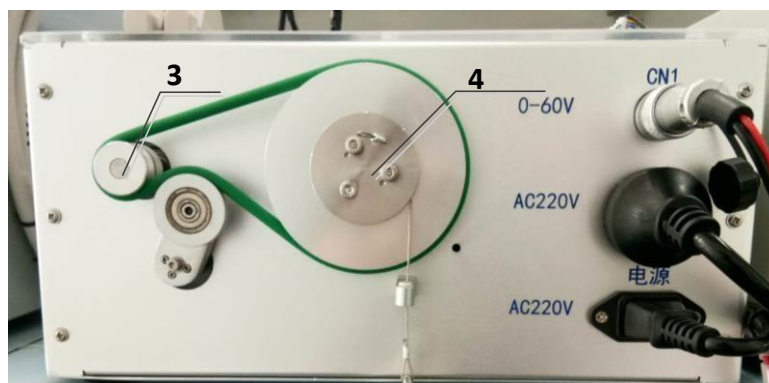
$$J = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 \quad (4-2-2)$$

式中  $J_1$  为 1 轴转盘的转动惯量 (由 SolidWorks 模型测量，实验中作为已知

量) :  $159.586 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$  ;  $J_2$ 、 $J_3$  为 2、3 轴转盘的转动惯量折算到电机轴的值;  
 $J_4$  为 4 轴转盘的转动惯量折算到电机轴的值加上负载对该轴的转动惯量。上述 1、  
 2、3、4 轴为下图 4-2-1 (a)、(b) 中所示的轴。



(a) 1、2 轴示意图



(b) 3、4 轴示意图

图 4-2-1 轴号示意图

其中各个轴转盘的转动惯量由 SolidWorks 模型测量所得。  $J_2$  为  $6.734 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$ ,  $J_3$  为  $0.062 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$ 。

对于  $J_4$ , 有如下关系式:

$$J_4 = (J_{41} + mR^2) \cdot i_{14}^2 \quad (4-2-3)$$

$J_{41}$  为 4 轴转盘的转动惯量  $159.586 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$ ,  $(mR^2)$  为依据能量守恒折算到 4 轴的转动惯量。R 为负载相对于 4 轴的惯性半径  $0.0125\text{m}$ ,  $i_{14}$  为 4 轴到电机轴的减速比 1:16, 负载  $m$  为  $4\text{Kg}$  时, 计算得出  $J_4$ 。

综上所述,  $J = J_1 + J_2 + J_3 + J_4$

驱动负载所需的扭矩计算如下:

$$M_L(t) = m_L \times g \times r \times i_{\text{减速比}} \quad (4-2-4)$$

$m_L$  为负载质量  $4\text{Kg}$ ,  $g$  为重力加速度,  $r$  为扭矩半径  $0.0125\text{m}$ , 减速比 1:16。  
 则  $M_L(t) = 4 \times 9.8 \times 0.0125 / 16 = 0.030625 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

电机转矩计算如下式 4-2-5 所示：

$$M_m(t) = J \times \alpha_m + M_L(t) \quad (4-2-5)$$

$\alpha_m$  为电机轴的设定加速度。 $J \times \alpha_m$  为上述计算克服系统转动惯量所需的转矩。

实验中设定细分为 40000 时，脉冲频率  $f$  (HZ) 与转速  $v$  (r/min) 的关系如下：

$$f = \frac{v}{60} \times 40000 \quad (4-2-6)$$

通过记录的最大速度，由式 4-2-6 可以计算出对应的脉冲频率。进而得到电机转矩与脉冲频率的关系。

(1) 按表 4-2 中格式根据给定的初始加速度，记录电机最大速度，计算电机在砝码负载下的转矩，计算电机运行最大脉冲频率。

(2) 按表 4-2 填写好内容后，对数据进行拟合得到转矩速度特性曲线、矩频特性曲线。分析实验结果说明了什么，按照自己的理解去阐述。

程序拟合生成的图表可打印附着在实验报告后页。

表 4-2 实验数据记录（每台设备数据不同）

	加速度 $\alpha$ (rpm/s)	最大速度 $v$ (r/min)	电机扭矩 T (N·m)	脉冲频率 $f$ (Hz)
1	100			
2	250			
3	500			
4	750			
5	1000			
6	1250			
7	1500			
8	1750			
9	2000			
10	2250			
11	2500			
12	2750			
13	3000			

表 4-2 的数据可用 Matlab 进行数据拟合，得到电机转矩 T 分别与电机转速  $v$  和



脉冲频率  $f$  的关系。参考下图 4-1 所示的 T-v 特性曲线及图 4-2 所示的矩频特性曲线。

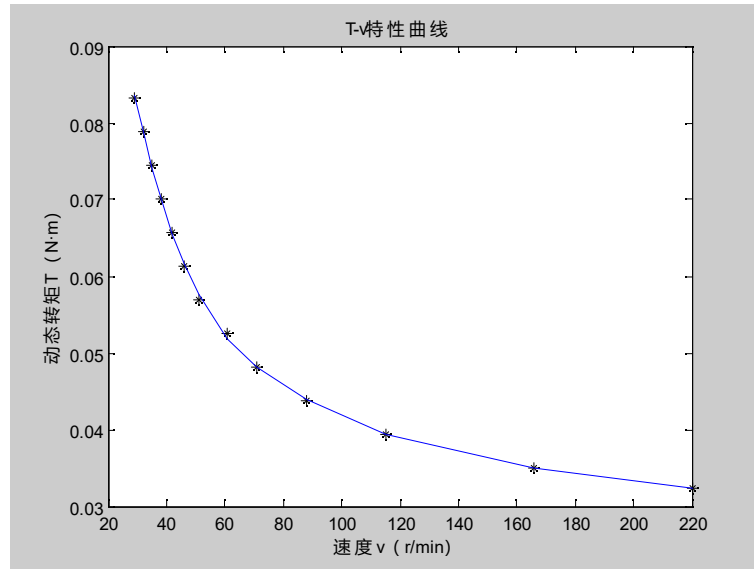


图 4-1 T-v 特性曲线 (参考)

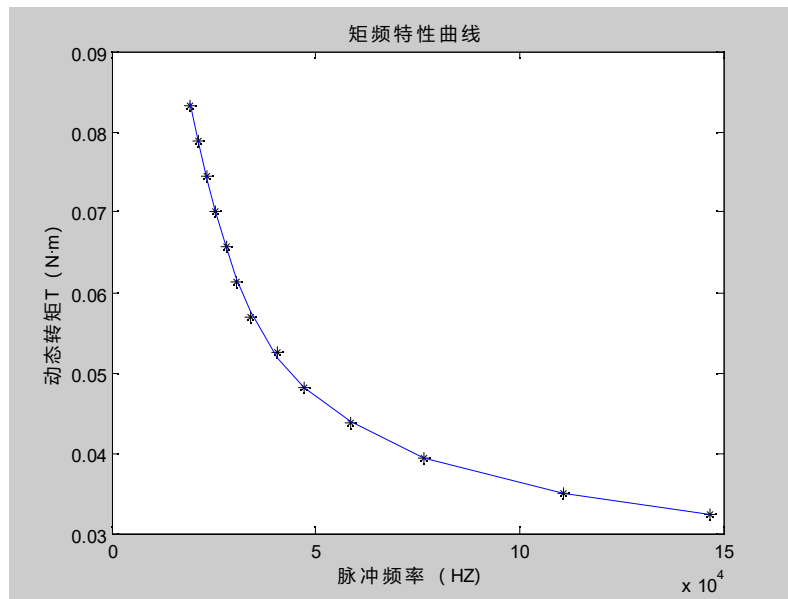


图 4-2 矩频特性曲线 (参考)

## 附录 1 系统硬件介绍

步进电机特性实验平台由运动控制卡、端子板、步进电机、步进电机驱动器、增量式编码器、传动机构、空气开关及数字调压电源等组成，其硬件连接原理框图如图 1-1 所示，电路图如附录所示。

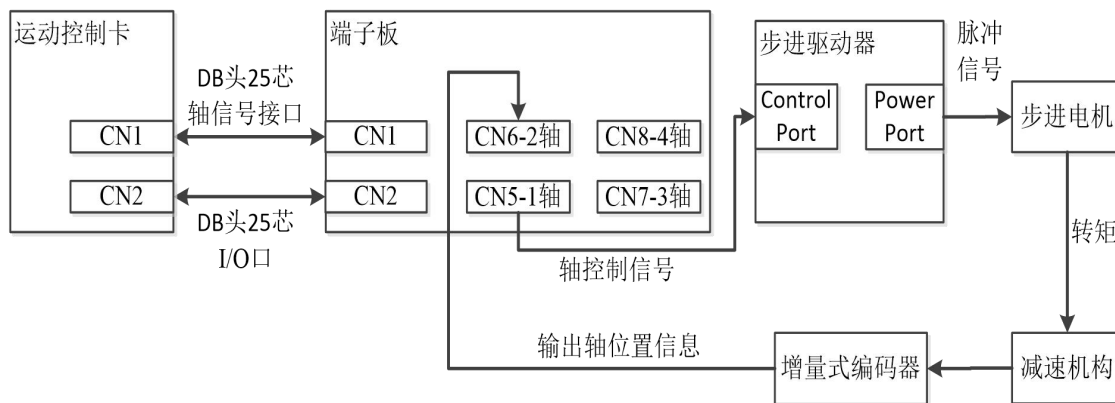
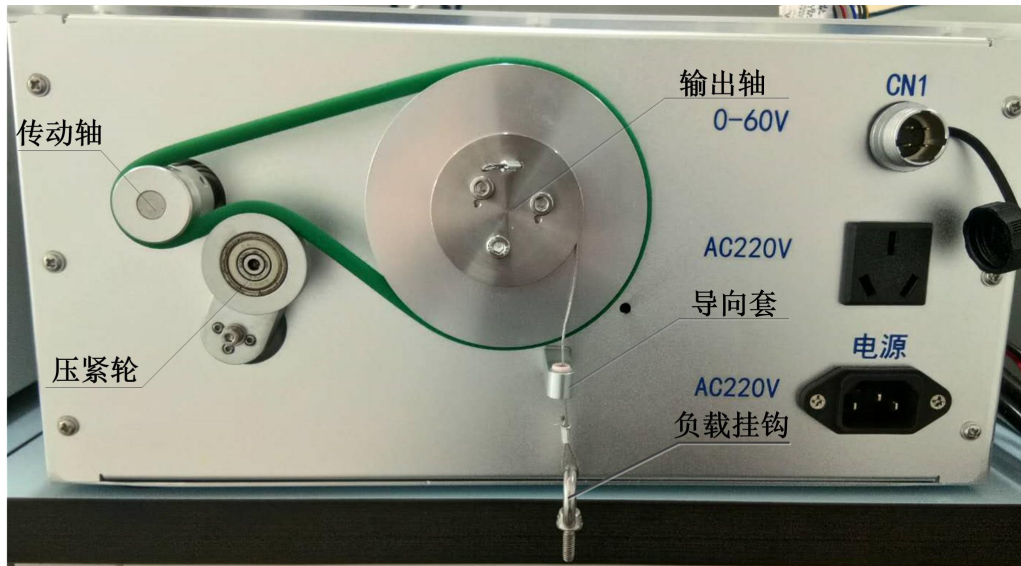


图 1-1 系统硬件连接原理框图

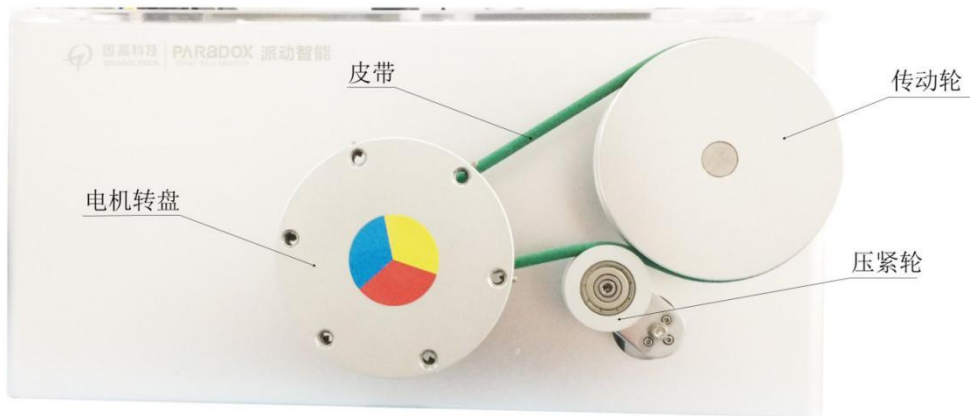
硬件结构视图如图 1-2(a)、(b)、(c)所示。



(a) 俯视图




(b) 前视图



(c) 后视图

图 1-2 步进电机实验平台

	<p>注意</p>	<p>做每个实验之前请仔细阅读以下的硬件参数及其接线定义。</p>
---	-----------	-----------------------------------

## 1.1 步进电机

### 1.1.1 参数

表 1-1 电机参数

电机型号	57J1880EC-1000
步距角(deg)	1.8
静力矩( $N \cdot m$ )	2.0
额定电流(A)	5.0
相电阻(ohms)	0.36
相电感(mH)	1.74
定位力矩(gcm)	700
转子转动惯量( $g \cdot cm^2$ )	480
绝缘等级	B
引线数目	4
重量(kg)	1.1
机身长度 (mm)	105

### 1.1.2 结构介绍

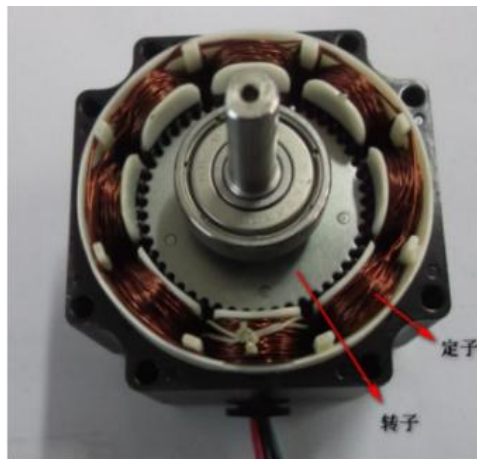


图 1-3 步进电机内部剖视图

实验所用两相混合式步进电机内部剖视图如图 1-3 所示。由图可以看到，铜线组成的绕组绕制在定子上，边缘有齿轮的轴称为转子。绕组每接受一次脉冲激励，在电磁场的作用下，转子将旋转一个齿距。

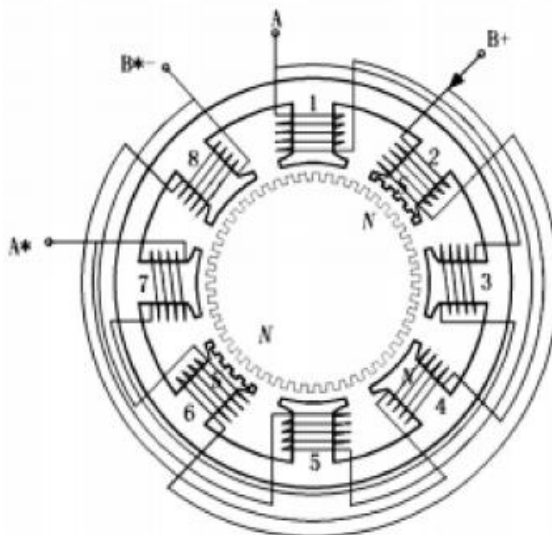


图 1-4 步进电动机绕组接线图

工业控制中采用的步进电机结构为：定子磁极上带有小齿，转子齿数较多，故其步距角可以做得很小。步进电机的绕组接线如图 1-4 所示，A、B 两相绕组沿径向分相，定子圆周上有 8 个凸出的磁极，1、3、5、7 磁极属于 A 相绕组，2、4、6、8 磁极属于 B 相绕组，定子每个极面上有 5 个齿，极身包含控制绕组。转子由环形磁钢和两段铁芯组成，环形磁钢在转子中部，轴向充磁，两段铁芯分别装在磁钢两端，使得转子轴向分为两个磁极。转子铁芯上均匀分布 50 个齿，两段铁芯上的小齿相互错开半个齿距，定转子的齿距和齿宽相同。

### 1.1.3 细分驱动

给步进电机各相励磁绕组轮流通电，实现其内部磁场合成方向的变化，从而驱动步进电机转动。一般情况下，步距角的大小只有两种，整步和半步，可达到的细分数很有限。要增大细分数，就必须控制步进电机各相励磁绕组中的电流，使其按阶梯上升或下降，即在零电流到最大相电流之间可有多个稳定的中间电流状态。相应的磁场矢量就存在多个中间状态，这样相邻两相或多相的合成磁场的方向也将有多个稳定的中间状态，转子沿着这些中间状态以微步距转动。图 1-5 给出了三相六拍四细分的各相电流状态，由于各相电流是以  $1/4$  幅度上升或下降的，原来一步所转过的角度将分 4 步完成，实现步距角的四细分。

由图 1-6 可看出合成磁势的旋转情况。理论上四细分后每步的步距角是相等的，应为  $15^\circ$ ，但根据图 1-5 的阶梯电流变化根据三角关系求得图 1-6 中的步距角： $\theta_1=13.9^\circ$ 、 $\theta_2=16.1^\circ$ 、 $\theta_3=16.1^\circ$ 、 $\theta_4=13.9^\circ$ ，可见四细分时步距角有 2 个数值，步距角不均匀容易引起电机的振动和失步。如果要使细分后步距角一致，则通过电流的台阶就不应该是均匀的。如若使  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 、 $\theta_4$  都为  $15^\circ$ ，则  $i_B$  应满足  $i_B=0.2679 I_N$ 、 $0.5 I_N$ 、 $0.732 I_N$ 、 $I_N$ 。  $I_N$  为电流额定值。

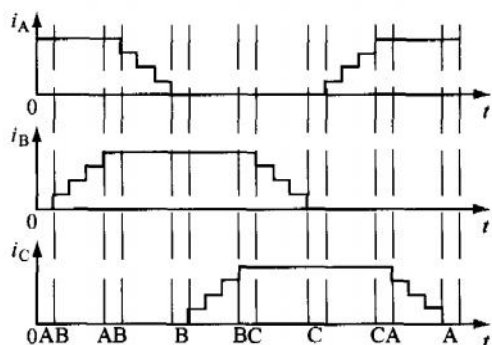


图 1-5 三相六拍四细分各相电流波形

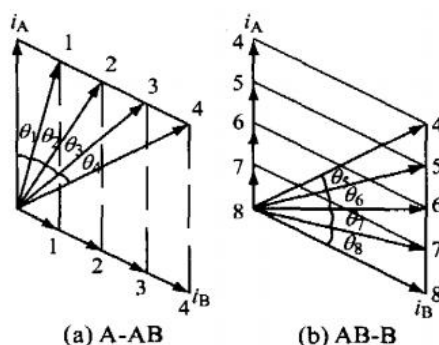


图 1-6 细分时合成磁势的旋转情况

综上所述，步进电机细分驱动的原理即通过等角度有规律地插入电流合成向量，从而减少合成磁势转动角度，达到步进电机细分驱动控制的目的。

## 1.2 步进电机驱动器

本实验平台选用的步进驱动器 2HSS57-KH-XX 混合式步进伺服驱动器，如图 1-7 所示。其在数字步进驱动中完美融合了伺服控制技术，产品可接入光学编码器，每 50us 高速采样位置反馈，一旦出现位置上的偏差可立即修正位置偏差量。本产品兼容步进技术和伺服技术的双重优点，具有发热小、振动小以及加速快等特点，是一款性价比极高的运动控制产品。下面对其参数及接线端口等进行详细说明。



图 1-7 2HSS57-KH-XX 混合式步进伺服驱动器

### 1.2.1 参数

表 1-2 驱动器参数

型号	2HSS57-KH-XX 混合式步进伺服驱动器
特点	全闭环控制，100%额定转矩驱动马达，高速响应
	用户可自定义细分，细分设定范围：2-256
	兼容 1000 线和 2500 线编码器
	光隔离故障报警输出接口 ALM
	电流环带宽 2kHz(典型值)，速度环带宽 500Hz(典型值)
	位置环带宽 200Hz(典型值)，可用 RS232 串口通讯下载或更改参数

	过流, I2T, 过压, 欠压, 过热, 超速, 超差
技术指标	输入电压电压范围为 24-50V DC(36V 典型值)
	连续电流: 4.5A 20kHz PWM
	最大脉冲频率: 200K
	默认通讯速率: 57.6Kbps
	脉冲低电平时间: 2.5us
	工作温度: -20°C-+80°C
备注	2HSS57 驱动器是兼容步进技术和伺服技术的双重优点, 适合驱动两相混合式步进电机。

### 1.2.2 端口说明

驱动器正确的端口接线如图 1-8 所示。



图 1-8 驱动器的端口标准接线

其接线端口由 ALM 信号输出端口、控制信号输出端口、编码器反馈信号输出端口及功率端口组成。具体的端口定义如表 1-3 到 1-6 所示。

表 1-3 ALM 信号输出端口

端子号	符号	名称
1	ALM+	报警输出正
2	ALM-	报警输出负

表 1-4 控制信号信号输出端口

端子号	符号	名称	说明
1	PLS+	脉冲输入正	标准 5V 接口 24V 需外接限流电阻
2	PLS-	脉冲输入负	
3	DIR+	方向输入正	标准 5V 接口 24V 需外接限流电阻
4	DIR-	方向输入负	
5	ENA+	使能输入正	标准 5V 接口 24V 需外接限流电阻
6	ENA-	使能输入负	

表 1-5 编码器反馈信号输出端口

端子号	符号	名称	接线颜色
1	PB+	编码器 B 相输入正	蓝色
2	PB-	编码器 B 相输入负	白色
3	PA+	编码器 A 相输入正	黄色
4	PA-	编码器 A 相输入负	绿色
5	VCC	编码器电源正	红色
6	GND	编码器电源负	黑色

表 1-6 功率输出端口

端子号	标识	符号	名称	说明
1	电机相线	A+	电机 A+端 (红)	电机 A 相绕组
2		A-	电机 A-端 (蓝)	
3		B+	电机 B+端 (绿)	电机 B 相绕组
4		B-	电机 B-端 (黑)	
5	电源输入端	VCC	电源正极	24-50VDC (36V 典型值)
6		GND	电源负极	

### 1.2.3 细分拨码开关设定

本驱动器的细分通过拨码开关进行设定。拨码开关位于端子排的一边如图 1-9 所示，从左到右为 SW1-SW6，上为 off，下为 on。

细分拨码开关设定如下所述：

#### 1. 输入沿设定

SW1 拨码开关设定输入沿，off 表示上升沿有效，on 表示下降沿有效。

#### 2. 逻辑方向设定

SW2 拨码开关是对逻辑的设定，当 SW2 在 off 和 on 之间切换时，可以改变当前电机运动的方向，off=CCW，on=CW。



图 1-9 驱动器拨码开关示意图



### 3. 细分设置

SW3、SW4、SW5、SW6 四个拨码开关用来设定驱动器的细分，驱动器细分设置如表 1-7 所示。参考表 1-2 细分设置范围，可估算细分设置大小。

表 1-7 驱动器细分设置

细分 拨码开关	SW3	SW4	SW5	SW6
Default	on	on	on	on
800	off	on	on	on
1600	on	off	on	on
3200	off	off	on	on
6400	on	on	off	on
12800	off	on	off	on
25600	on	off	off	on
51200	off	off	off	on
1000	on	on	on	off
2000	off	on	on	off
4000	on	off	on	off
5000	off	off	on	off
8000	on	on	off	off
10000	off	on	off	off
20000	on	off	off	off
40000	off	off	off	off

### 1.3 端子板

端子板是控制卡与各控制信号，如电机轴输入信号、编码器反馈信号，信息交替的媒介，运动控制卡与端子板的连接示意图如图 1-10 所示。

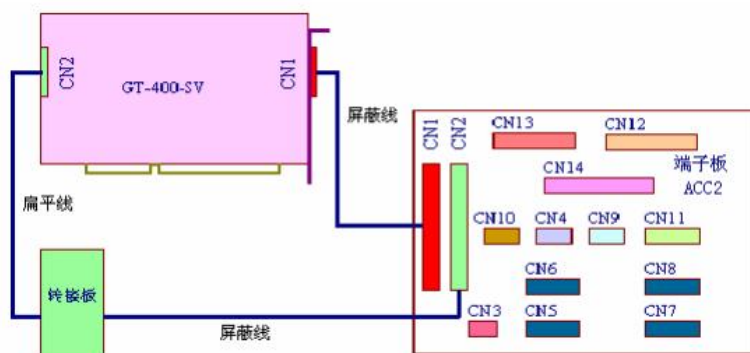


图 1-10 运动控制卡与端子板连接示意图

端子上常用端口定义如下所述：

1. 端子板 CN3 接用户提供的外部电源。 $+12V\sim+24V$  端子接外部电源 $+12V\sim+24V$ ，OGND 端子接外部电源地。

2. 端子板的 CN5、CN6、CN7、CN8 与驱动器相连。CN5 对应 1 轴，CN6 对应 2 轴，CN7 对应 3 轴，CN8 对应 4 轴。CN5~CN8 的引脚定义如表 1-8 所示。

表 1-8 端子板 CN5(CN6、CN7、CN8)定义

引脚	信号	说明	引脚	信号	说明
1	OGND	外部电源地	14	OVCC	+12V/+24V 输出
2	ALM	驱动报警	15	RESET	驱动报警复位
3	ENABLE	驱动允许	16	保留	保留
4	A-	编码器输入	17	A+	编码器输入
5	B-	编码器输入	18	B+	编码器输入
6	C-	编码器输入	19	C+	编码器输入
7	+5V	电源输出	20	GND	数字地
8	DAC	模拟输出	21	GND	数字地
9	DIR+	步进方向输出	22	DIR-	步进方向输出
10	GND	数字地	23	PULSE+	步进脉冲输出
11	PULSE-	步进脉冲输出	24	GND	数字地
12	保留	保留	25	保留	保留
13	GND	数字地			

编码器信号如果是差动输入，可以直接连接到 CN5(CN6、CN7、CN8)的 A+、A-、B+、B-、C+、C-、VCC 及 GND；如果是单端输入信号，将编码器信号连接到 CN5(CN6、CN7、CN8)的 A+、B+、C+、VCC 及 GND 上，同时将 A-、B-、C- 悬空。

3. CN9、CN10 为两个辅助编码器输入接口。

## 1.4 传动机构

本实验平台采用同步带轮减速传动，减速比设计为 1: 16。同步带的最大传动力矩为  $8\text{kgf}\cdot\text{m}$ 。电机的额定扭矩是  $2\text{N}\cdot\text{m}$ ，则输出端的最大输出力矩为  $32\text{N}\cdot\text{m}$ 。

## 1.5 负载砝码与惯量块

### 1. 负载砝码

200g 负载砝码如图 1-11 所示，负载质量范围 0-1.2kg，每 200g 一个等级，精度 $\pm 5g$ 。



图 1-11 200g 负载砝码示意图

1kg 负载砝码如图 1-12 所示，负载质量范围 0-4kg，每 1kg 一个等级，精度 $\pm 5g$ 。



图 1-12 1kg 负载砝码示意图

### 2. 惯量块

惯量块如图 1-13 所示，由 6 个 42g 圆柱组成。惯量中心距电机旋转中心 35mm，如图 1-14 所示。



图 1-13 惯量块示意图

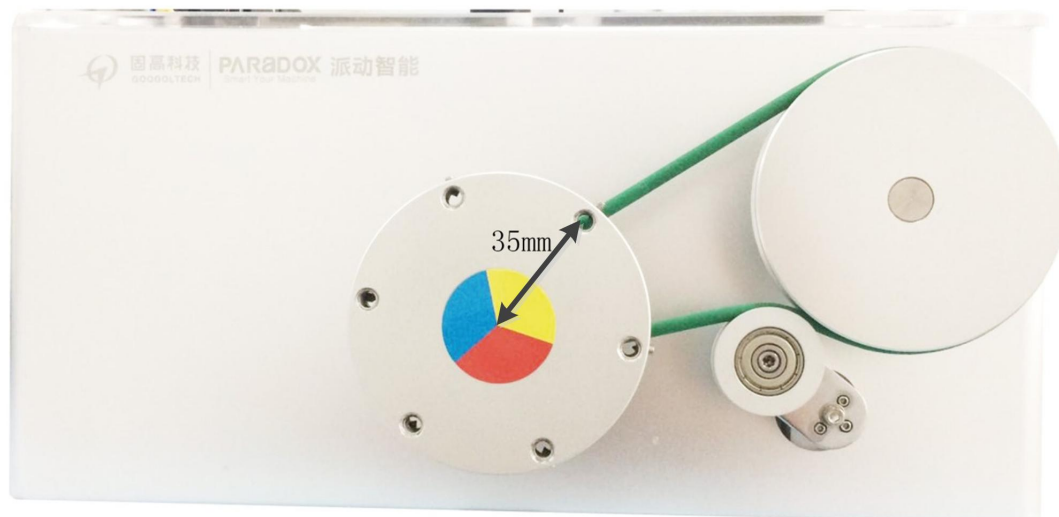



图 1-14 惯量中心与电机旋转中心间距示意图

## 1.6 数字调压电源

	<p>危险</p>	<p>严禁把数字电源的正负极接反。红接正，黑接负</p>
--	-----------	------------------------------

1. 数字调压电源功能板说明如图 1-15 所示。

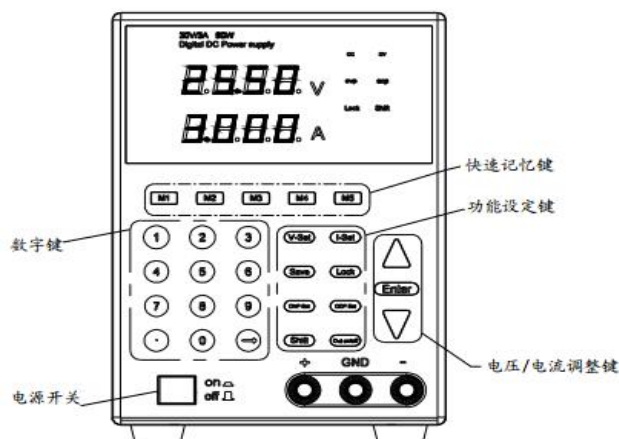


图 1-15 数字调压电源功能板说明

2. 功能键说明

M1~M5: 5 档存储电压/限流参数存储/调出键

数字键: “0~9”, “.”键为电压/电流、限流/限压、过流/过压数字化输入键, 箭头为输入删除键

功能键:

V-Set            键电压设定键

I-Set            限流电流设定键

Save	快捷存储键
Lock	键盘锁定/解锁键
OVP Set	过电压保护设定键
Ocp Set	过电流保护设定键
Shift	输出保护/不保护切换键
Out no/off	输出保护键
Enter	设定确认键
状态显示 LED	功能
CV	定电压输出
CC	定电流输出
OVP	过电压保护设定
OCP	过电流保护设定
LOCK	键盘锁定
Shift	存储电压连续/关断输出转换键

### 3. 参数

表 1-9 数字调压电源参数

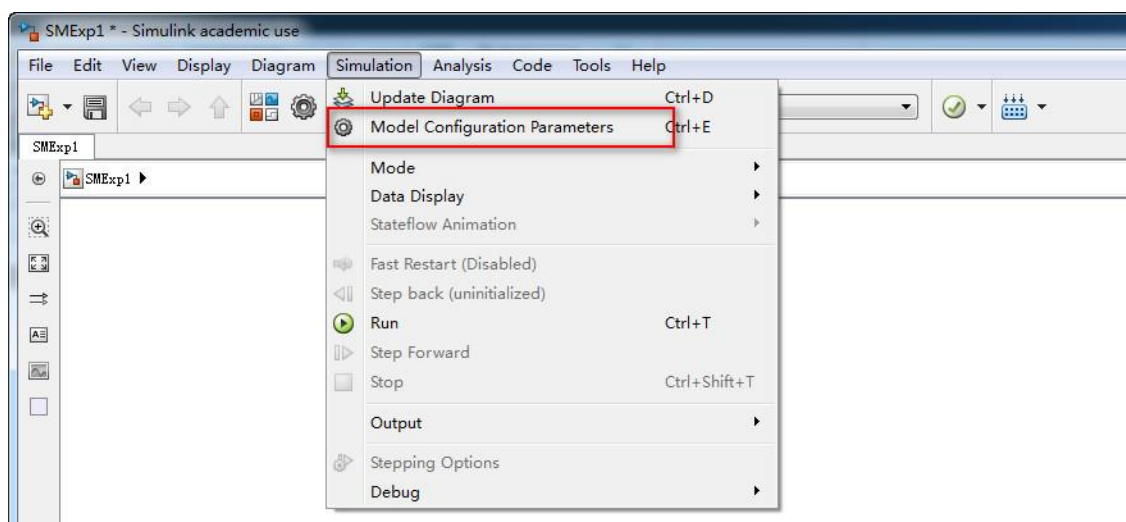
型号		DX6005DS
输入电压		110V AC±10% 50Hz ±2% 或 220V AC±10% 50Hz ±2%
输入功率		450VA
输出额定值	电压	0~60V
	电流	0~5A
电源效应 ±% of Output+offset	电压	CV≤0.01%+3mV
	电流	CC≤0.05%+5mA
电源效应 ±% of Output+offset	电压	CV≤0.01%+3mV
	电流	CC≤0.05%+5mA
设定精度@25℃ ±% of Output+offset	电压	≤0.1%+10mV
	电流	≤0.1%+10mA

## 附录 2 Matlab 接口及使用说明

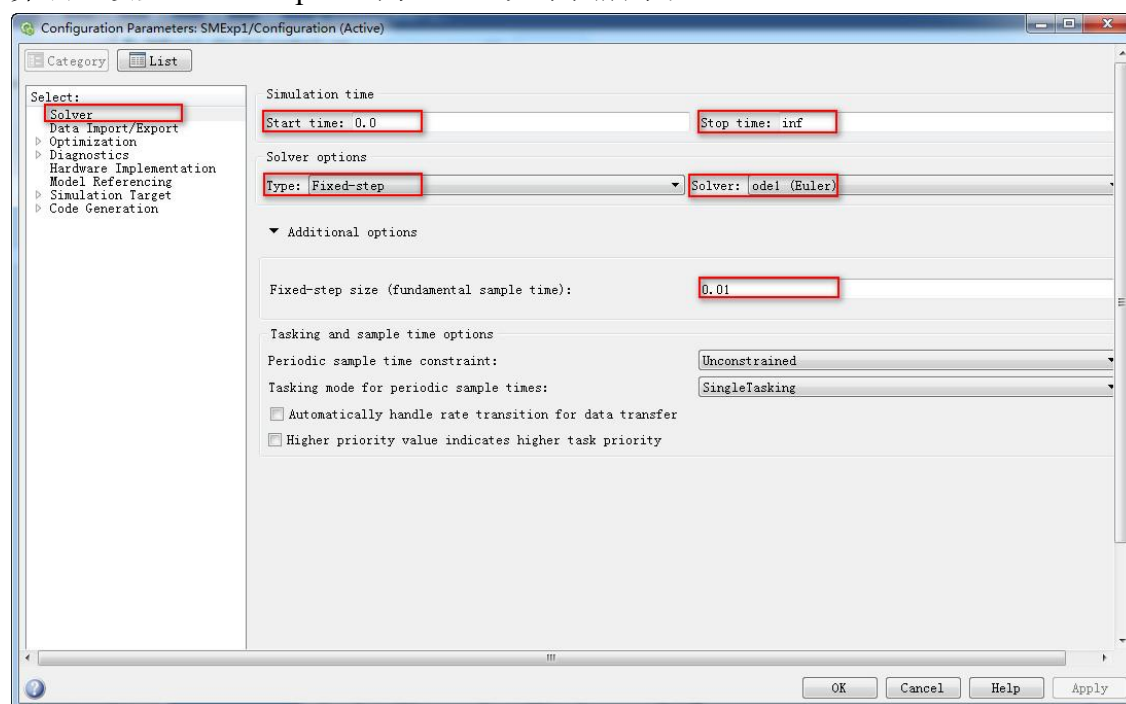
### 2.1 Simulink 实时控制运行环境的配置

(注意：如果新建程序，按照此步骤配置接口)

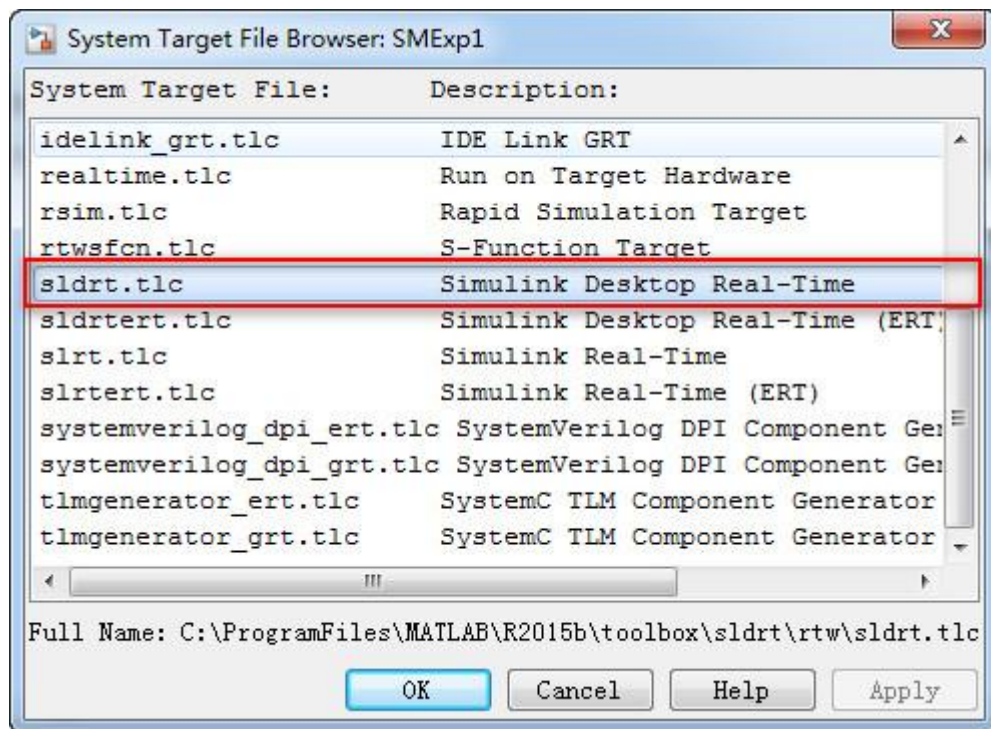
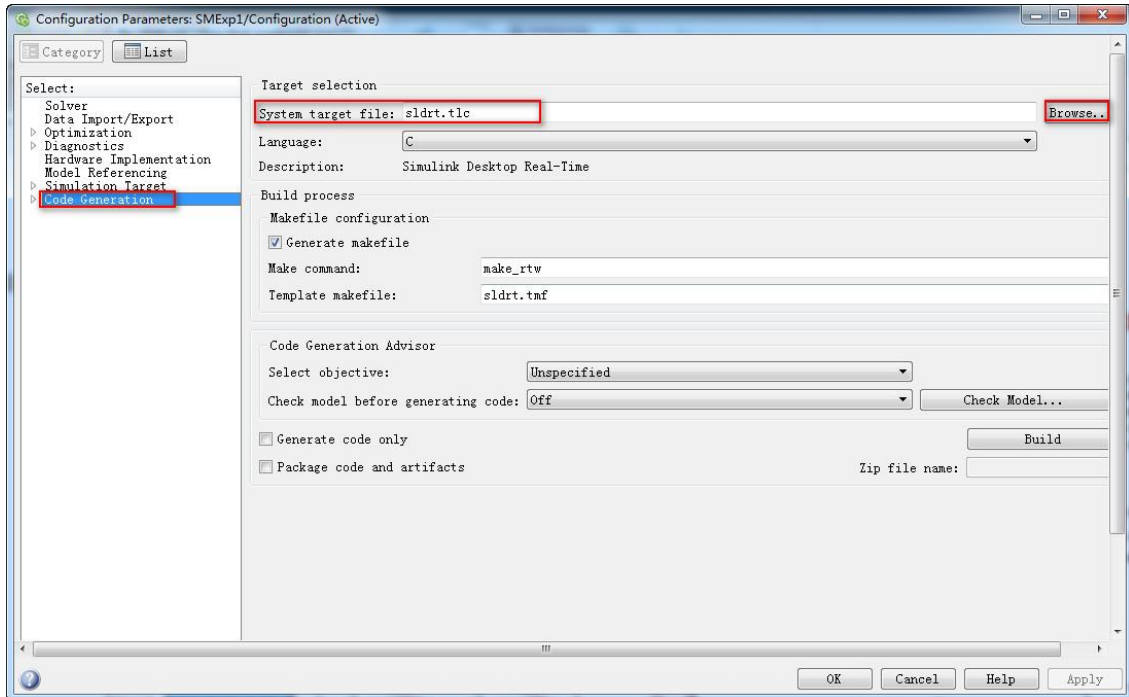
1. 在程序上方的 Simulation 下拉菜单中选择 Model Configuration Parameters 打开 Simulink 参数设置，如下图所示：



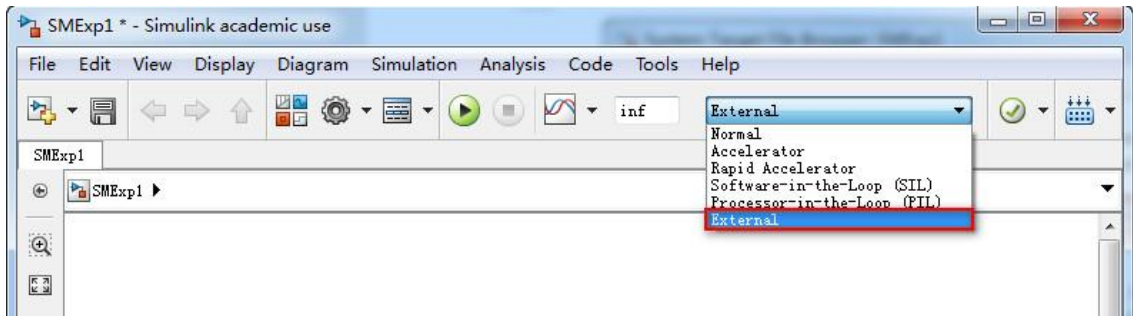
2. 点击左侧菜单 Solver, 设置仿真开始时间 Start time 为 0, 结束时间 Stop time 为 inf; Solver options 菜单下, Type 选 Fixed-step, 求解器 Solver 选 odel (Euler) 算法, 设置 Fixed-step size 为 0.01, 如下图所示：



3. 如下图所示，点击左侧 Code Generation，再点击 Browse，选择 sldrt.tlc（配置实时内核），点击 OK 完成设置。

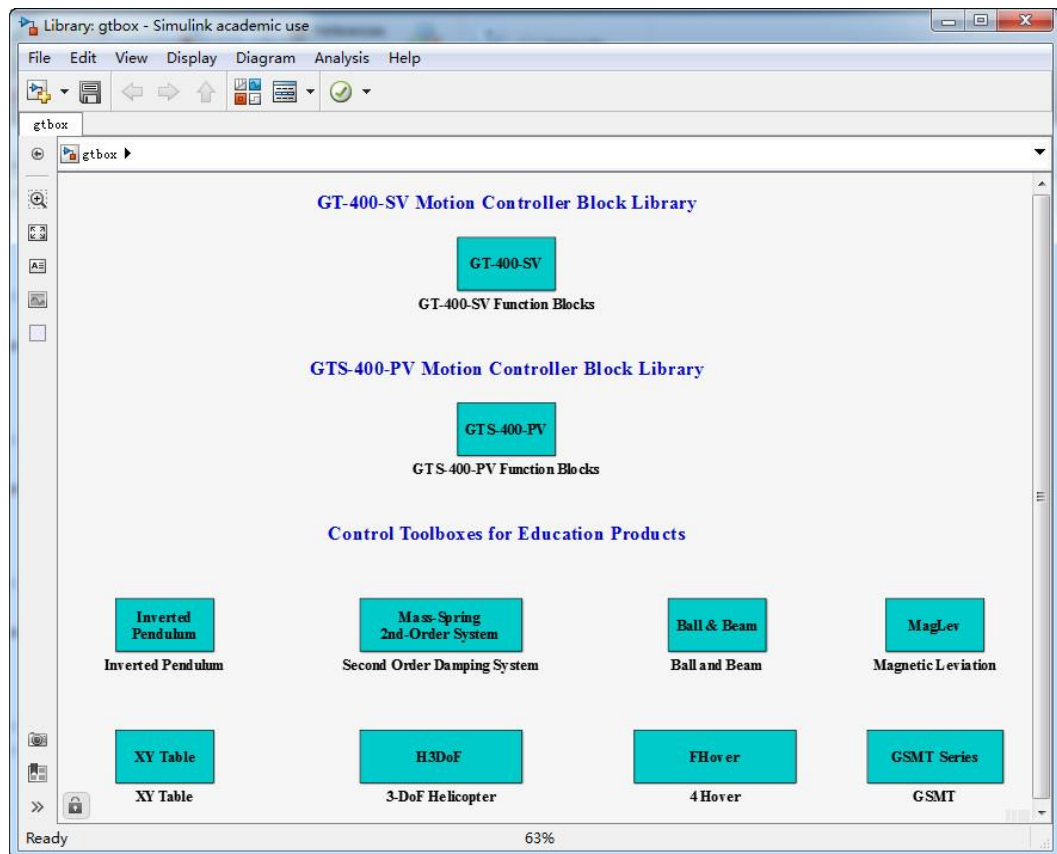


4. 在 Simulink 界面，设置运行模式为 External，如下图所示。



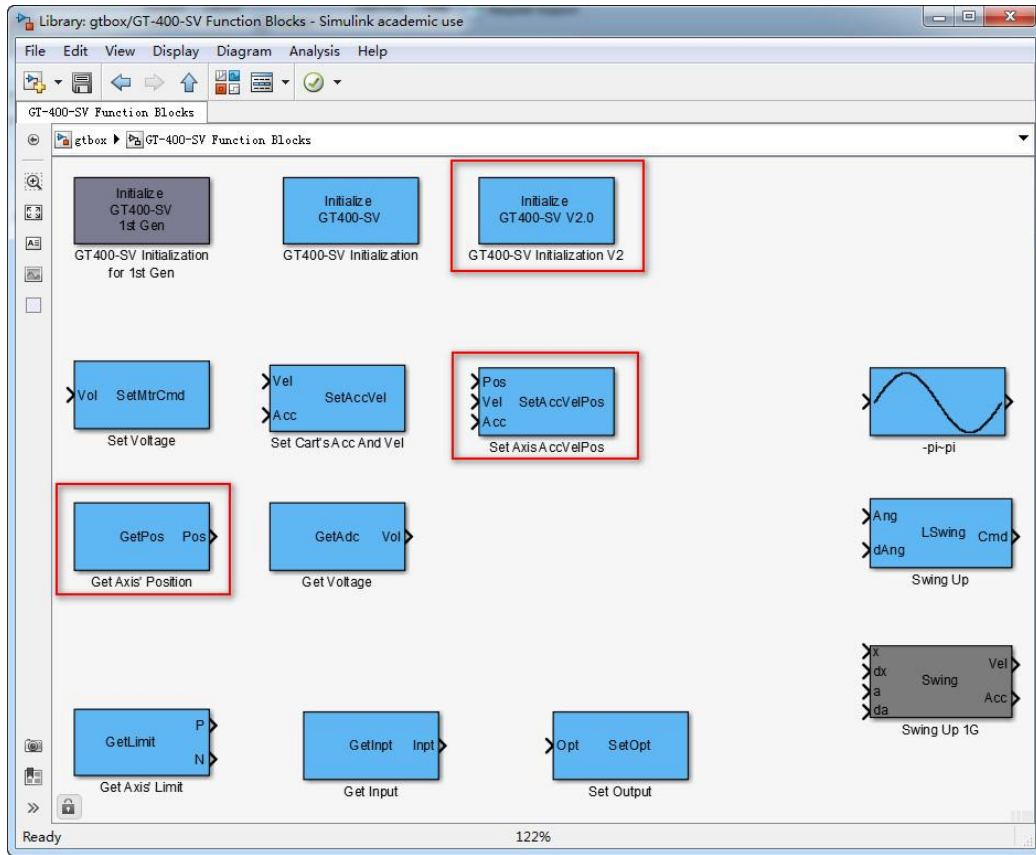
## 2.2 gtbox 工具箱模块说明

Matlab 通过 gtbox 中的控制卡模块与控制卡进行通信，程序中用到的控制卡模块如下所述。首先在 Matlab 命令行窗口，运行指令 `gtbox`，即可打开 gtbox 工具箱主页面如下图所示：

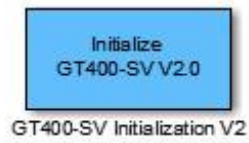


双击 GT-400-SV Function Blocks，打开 GT-400-SV 功能模块，如下图所示：

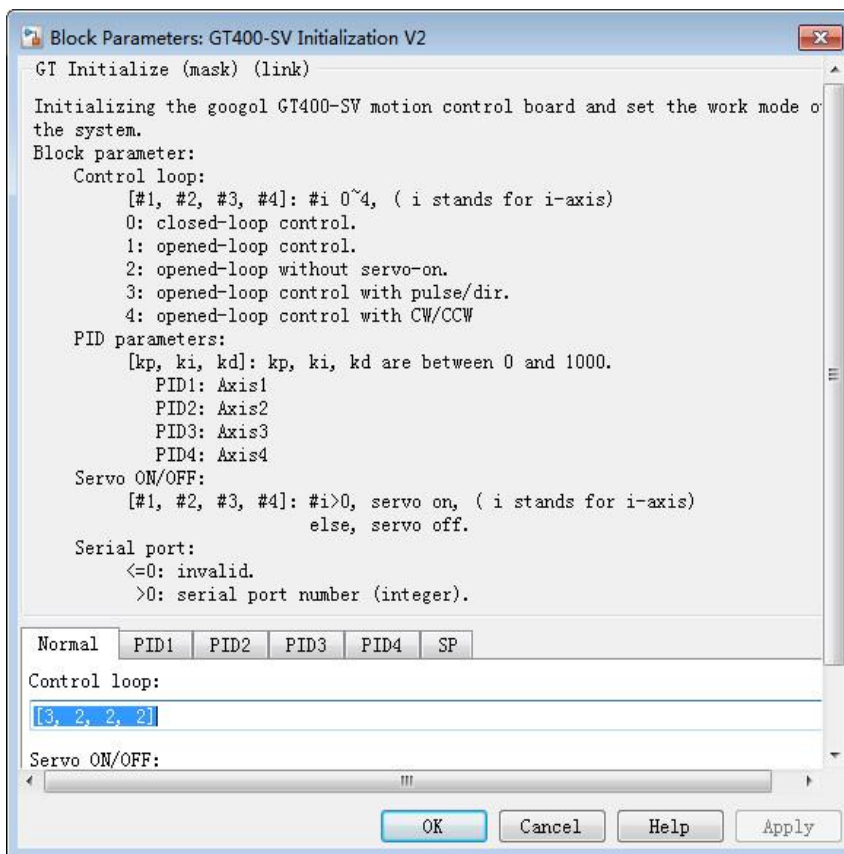




### 1. GT400-SV 运动控制卡初始化模块



设置参数界面如下图所示



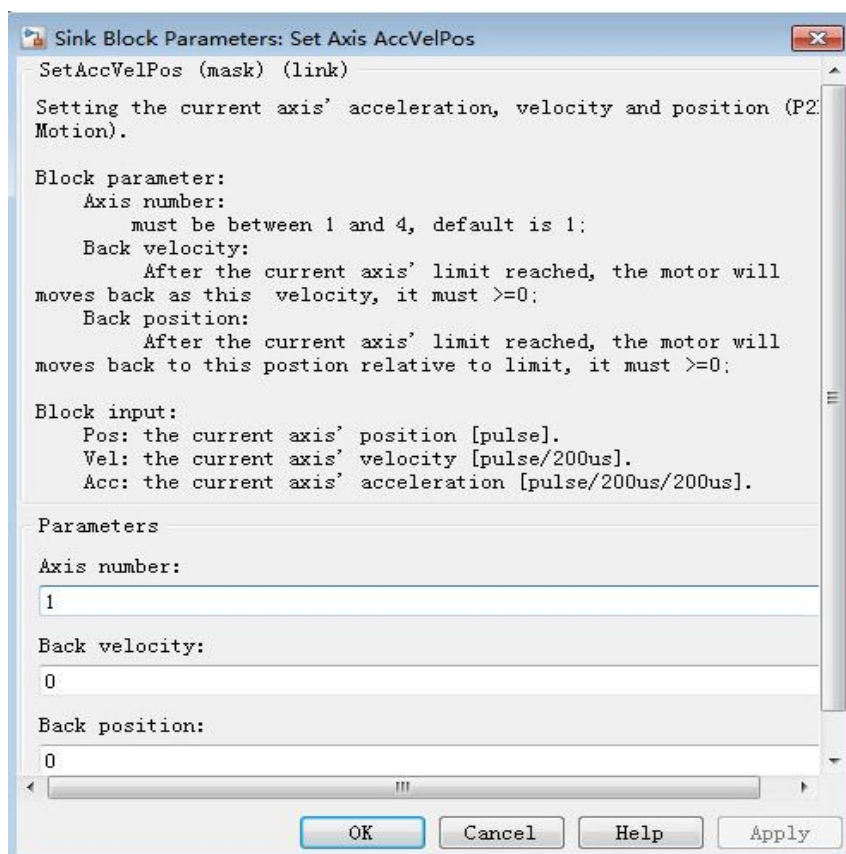
参数说明如下表所示：

GT-400-SV 控制器初始化模块			
类别	标示	功能	默认值
参数	Control loop	表示控制器开、闭环控制。 0: 控制器闭环控制 1: 控制器开环控制 2: 控制器开环且轴不上伺服（多用于硬件测试） 3: 控制器开环控制（脉冲加方向） 4: 控制器开环控制（正负脉冲）	[3, 2, 2, 2]
	PID parameters	[kp, ki, kd] 各轴使用控制器闭环时的 PID 参数 kp, ki, kd 参数为 0~32767，但不能全为 0	[3, 0, 10] [1, 0, 0] [1, 0, 0] [1, 0, 0]
	Servo ON/OFF	各轴是否上伺服，其中 > 0 为上伺服，否则不上伺服	[1, 0, 0, 0]
	Serial port	串口号，根据硬件串口号进行设置，主要用于直线电机倒立摆的模式切换，其他应用均设置为 0。	0

## 2. SetAccVelPos 模块



设置参数界面如下图所示：



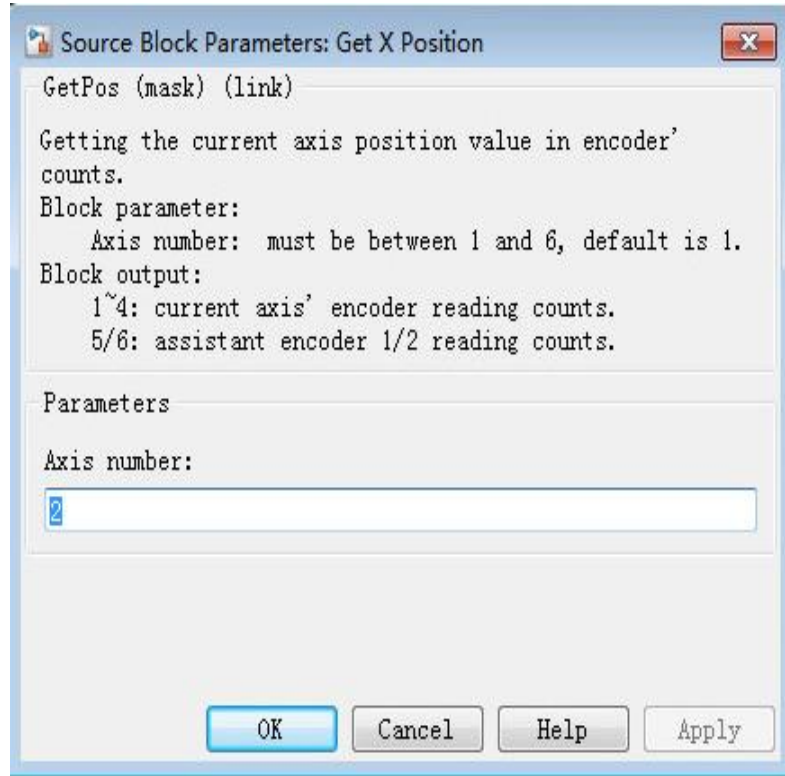
参数说明：

轴位置指令变化输出设定模块			
类别	标示	功能	默认值
参数	Axis number	当前轴号，取值 1、 2、 3、 4	1
	Back velocity	运动触碰限位后，反向运动速度值（绝对值），单位为脉冲/200 微秒，取值为正	0
	Back Position	运动触碰限位后，反向运动至下伺服距离，单位为脉冲	0
输入	Pos	目标位置，单位为脉冲	/
	Vel	运行速度，单位为脉冲/200 微秒	/
	Acc	运行加速度，单位为脉冲/200 微秒/200 微秒	/

### 3. Get Axis' Position 模块



设置参数界面如下图所示：

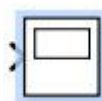


参数说明：


捕获设定			
类别	标示	功能	默认值
参数	Axis number	当前轴号，取值 1、 2、 3、 4、 5、 6 其中 1~4 为轴通道， 5~6 为辅助编码器	1
输出	Pos	设定轴的编码器数值，单位脉冲	/

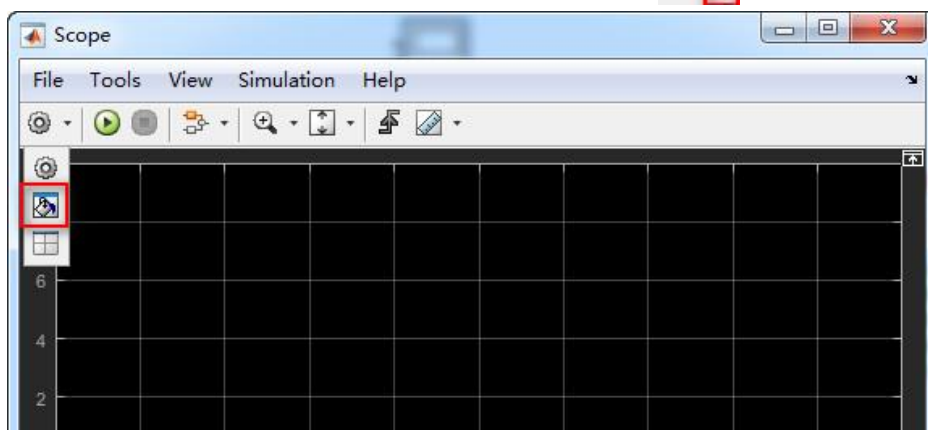
### 2.3 示波器的背景设置及数据保存


**注意：如果新建程序，按照此步骤对示波器进行设置**

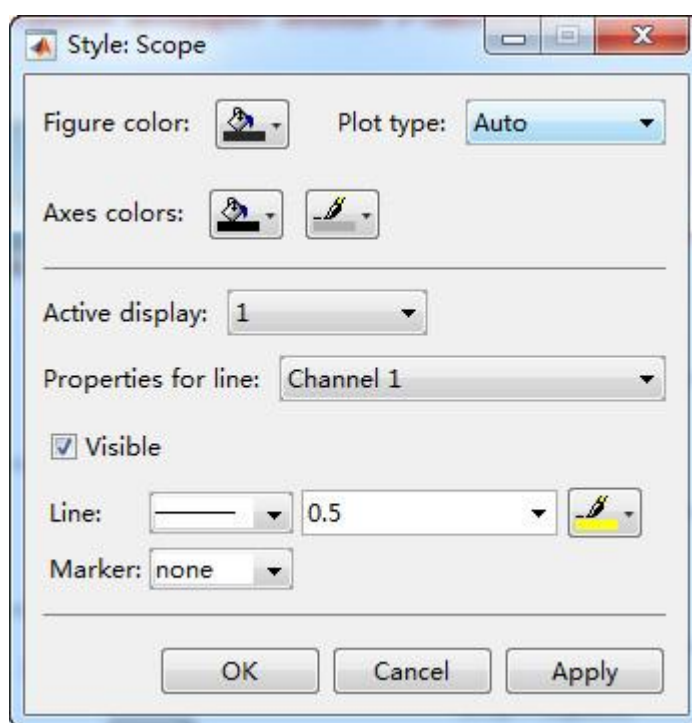


### 1. 示波器背景底色的修改

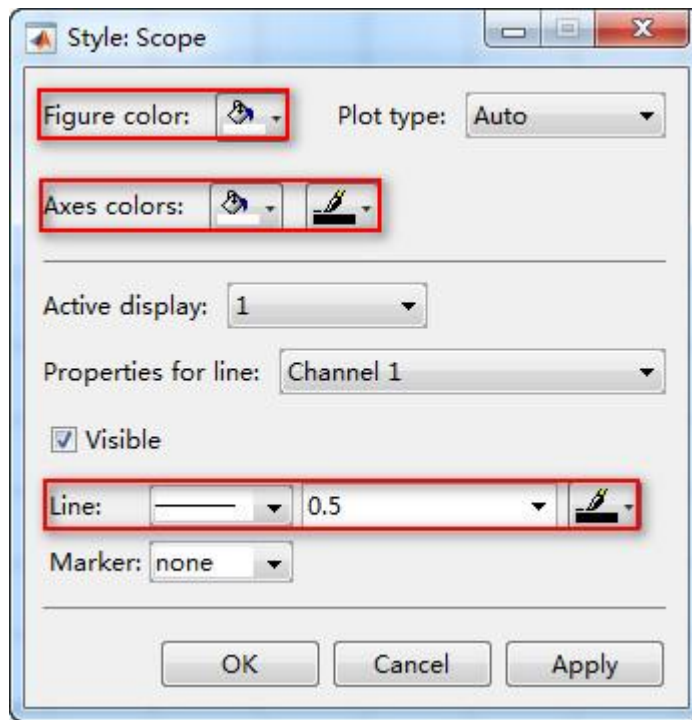
(1) 双击打开示波器，点击设置右侧的下拉菜单 ，如下图所示：



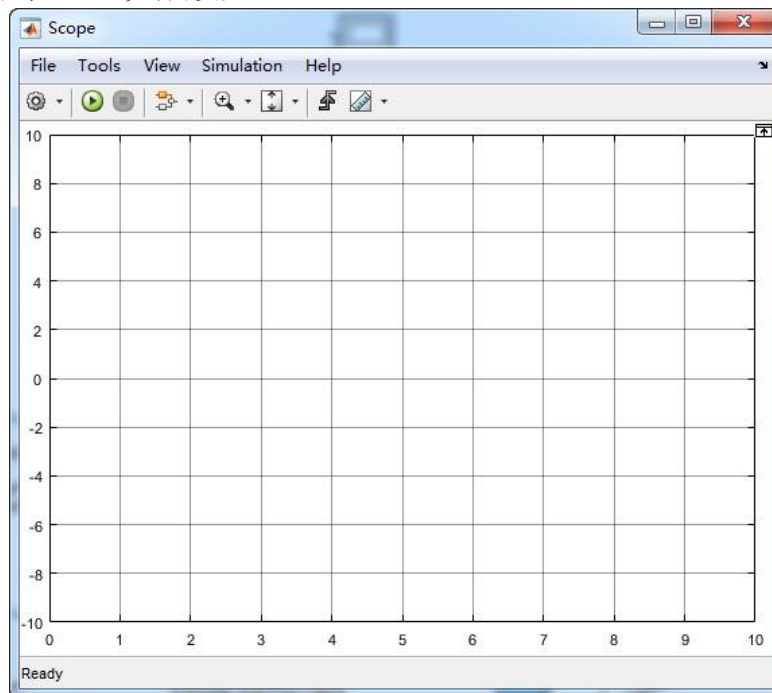
(2) 点击 ，进入如下界面，如下图所示：



(3) 更改 Figure color、Axes color 和 Line，如下图所示：

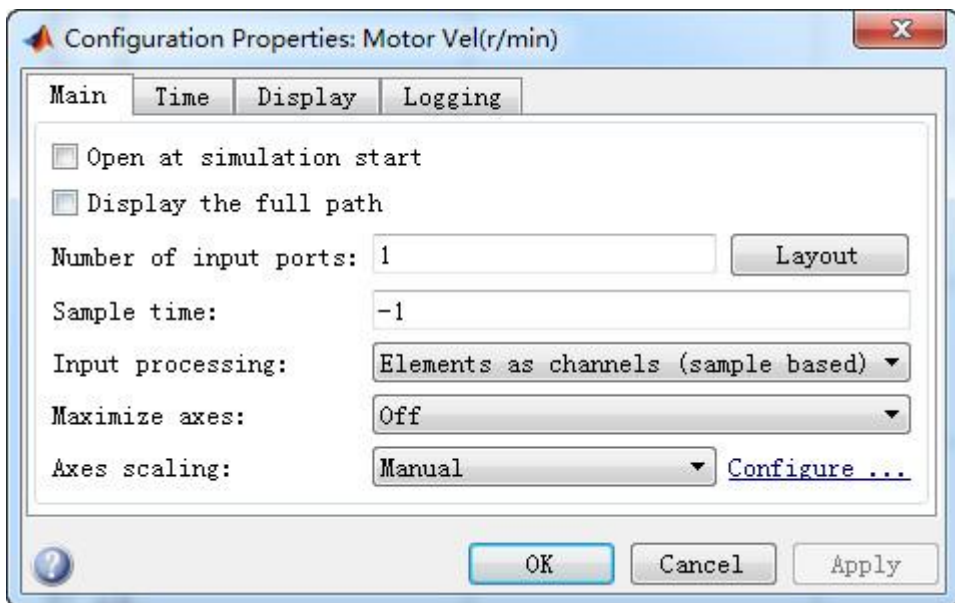
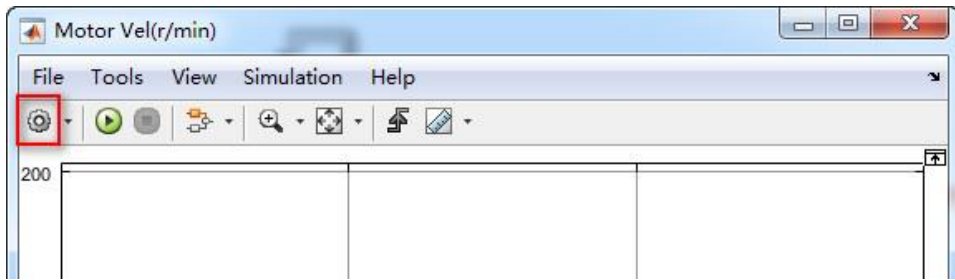


(4) 点击 OK，完成设置。

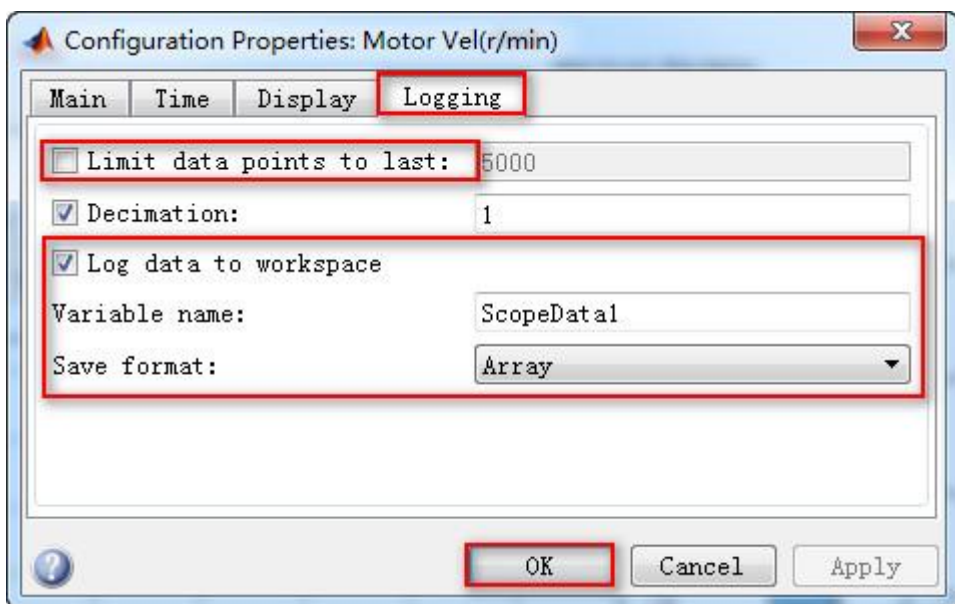


## 2.数据保存

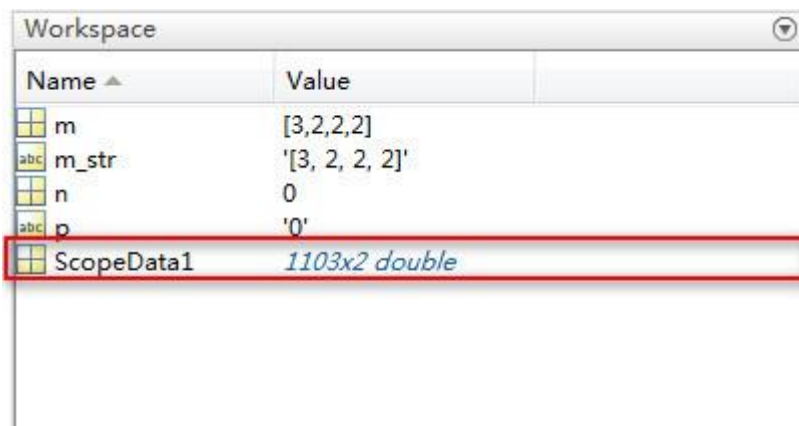
(1) 双击打开示波器，点击设置，如下图所示：



(2) 点击 Logging，将 Limit datapoints to last 取消勾选；勾选 Log Data to workspace，然后自定义 Variable name（实验中默认的变量名为 ScopeData1），数据类型选 Array，然后点击 OK。如下图所示：



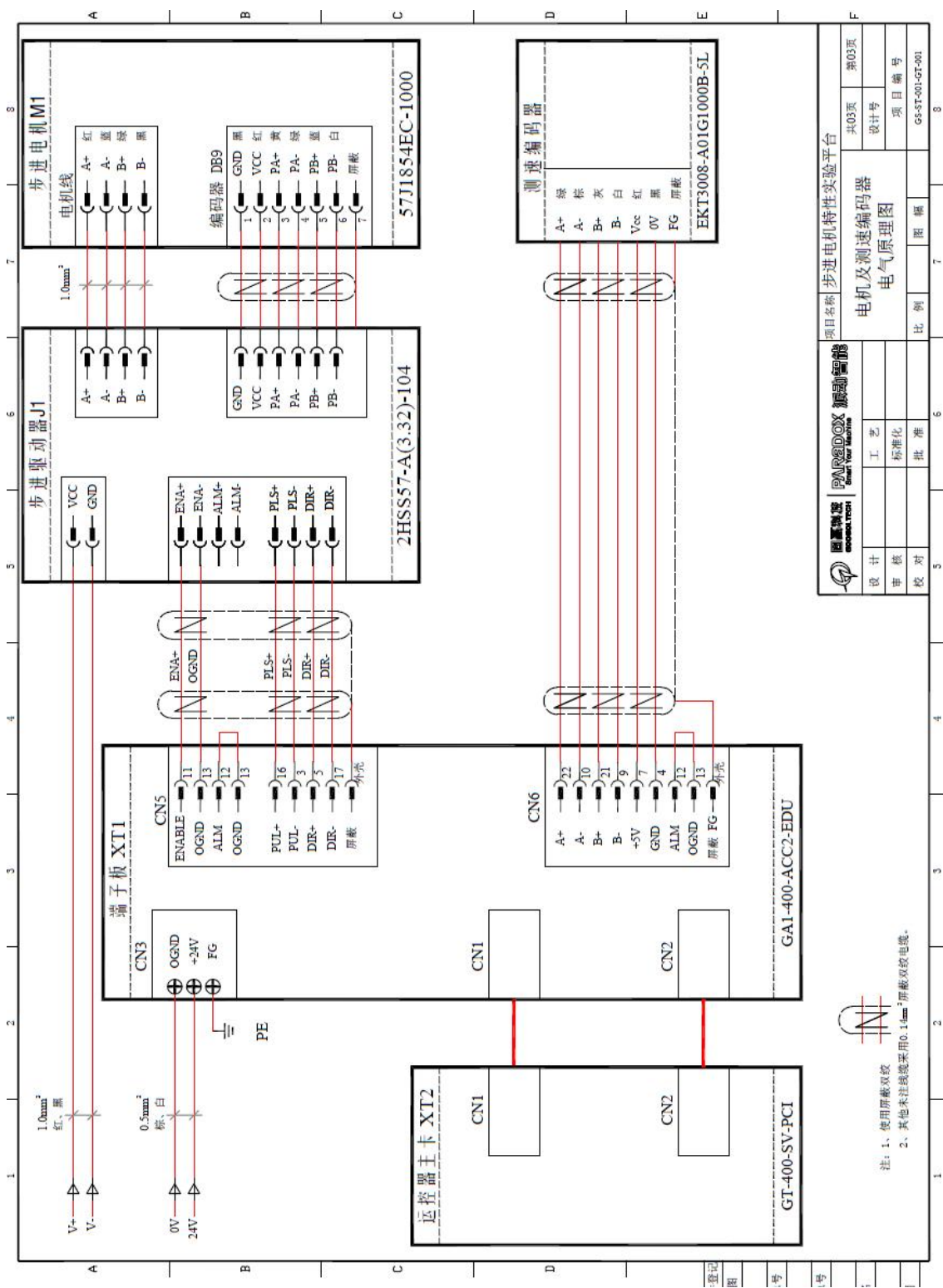
(3) 运行实验程序后，在 Matlab 的 Workspace 里可以看到保存的数据，如下图所示。



Name ▲	Value
m	[3,2,2,2]
m_str	'[3, 2, 2, 2]'
n	0
p	'0'
ScopeData1	1103x2 double



# 附录 A 电气原理图



注: 1. 使用屏蔽双绞线。  
2. 其他未注导线均采用0.14mm<sup>2</sup>屏蔽双绞线。

设计	工艺	共03页	第03页
审核	标准化	设计号	项目编号
校对	批准	比例	图幅
项目名称: 步进电机特性实验平台		电气原理图	

登记号: \_\_\_\_\_  
图号: \_\_\_\_\_  
号: \_\_\_\_\_  
号: \_\_\_\_\_