

目 录

| | |
|----------------------------|----|
| 实验一 EM 数控系统结构分析与程序设计 | 1 |
| 实验二 软件插补原理及应用实验 | 22 |
| 实验三 数控设备的检测原理及应用 | 29 |
| 实验四 PLC 程序的设计 | 34 |
| 实验五 数控铣床调整与三维加工的应用 | 43 |

实验一 EM 数控系统结构分析与程序设计

一、实验目的

- 1、了解数控设备机械结构特点。
- 2、了解数控设备中常用机构-精密丝杠螺母机构和直线运动导轨及其刚度。
- 3、了解 EM 系列实验平台的基本数控原理及其该系统控制核心 PMAC 的功能和硬件接口等，在此基础上加强对数字控制和伺服电机及驱动装置的认识。
- 4、能够通过软件备份、恢复所有相关参数，简单的设置一些相关参数。
- 5、掌握 G 代码的编制方法及 PMAC 对 G 代码支持的方法。

二、实验设备

- 1、EM 系列教学设备一台。
- 2、计算机一台。
- 3、PEWIN 软件一套。
- 4、游标卡尺一件。

三、实验原理

（一）机械本体结构

数控设备产品中一定有运动机械，采用电子技术使运动机械实现柔性化和智能化，实现在重载条件下的微小运动和复杂运动是数控机床追求的目标。因此，机械本体是数控机床系统的重要组成部分。机械本体运动特性和结构千差万别，直线运动和旋转运动是最基本的运动方式。实现直线运动的机械构件有直线导轨，滚珠丝杠、直线平台和直线电机平台等。实现旋转运动的机械构件有各种传动机构（齿轮传动，皮带传动，链传动等），旋转平台等。

EM 教学设备以最常用的 X-Y 精密定位平台作为机械本体。精密定位平台是二维运动体，实现 XY 平面内的运动。如数控机床的进给系统，坐标测量机的检测平台等。

EM 教学设备的精密定位平台具有以下特点：

- 1、采用滚珠丝杠螺母副把电机的旋转运动变为直线运动，摩擦系数小，传动效率高（ $\eta=92\sim 96\%$ ，比常规的丝杠螺母副提高 3~4 倍）。
- 2、采用循环式直线滚动导轨约束平台面的运动，动静摩擦系数差别小，灵敏度高，启动阻力小，不易出现爬行现象。
- 3、刚性好、抗振性强，能承受较大的冲击和振动。
- 4、运动灵活平稳，能微量准确运动，定位精度高。
- 5、结构紧凑，体积小。
- 6、工业级的产品设计。

EM 教学设备的精密定位平台具有以下结构：

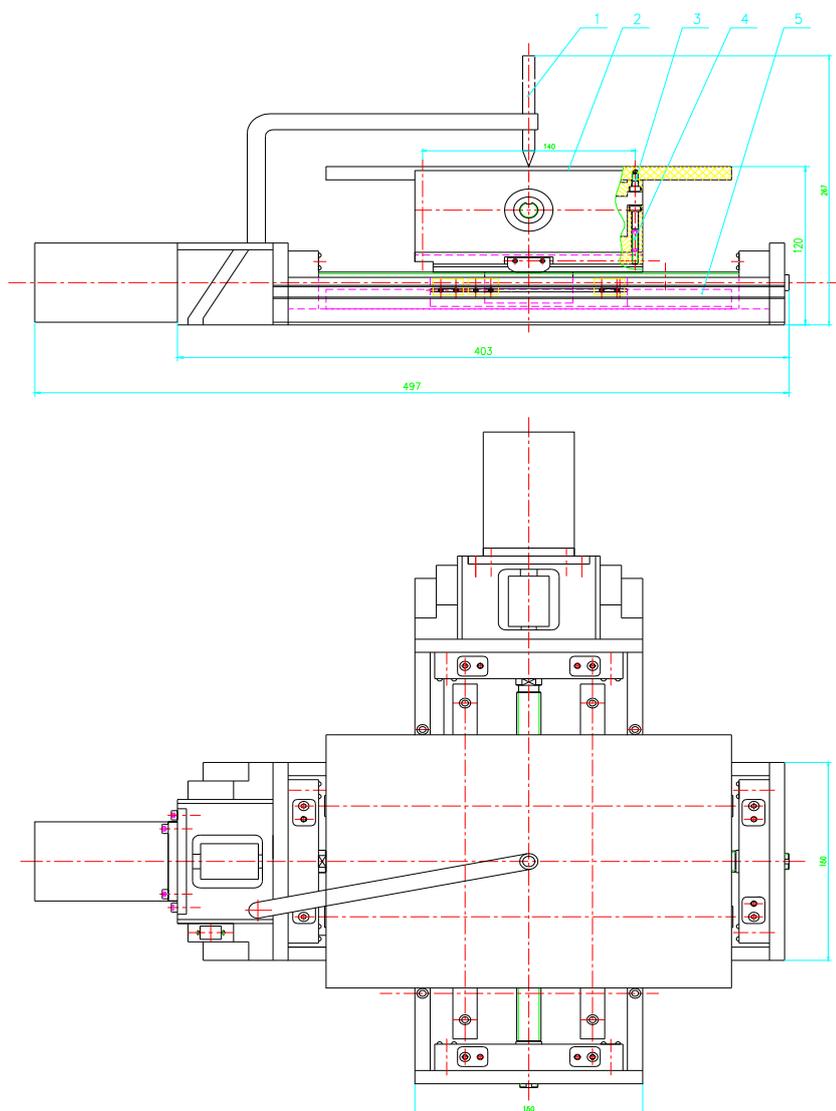
EM 教学设备的精密定位平台 X 轴直线平台、Y 轴直线平台、上台面和笔架组成。X 和 Y 轴平台交叉 90° 安装。每一直线平台由底座，滚珠丝杠螺母副，滚动直线导轨副，

轴承座，连接座，弹性联轴器，中拖板等构成。

精密定位平台的总体构成如图 1-1 所示：

精密定位平台的主要部件直线平台如图 1-2 所示：

直线平台明细表如图 1-3 所示：



1 笔架 2 平台面 3 螺钉 4 螺钉 5 直线平台

图 1-1 EMS 平台总图

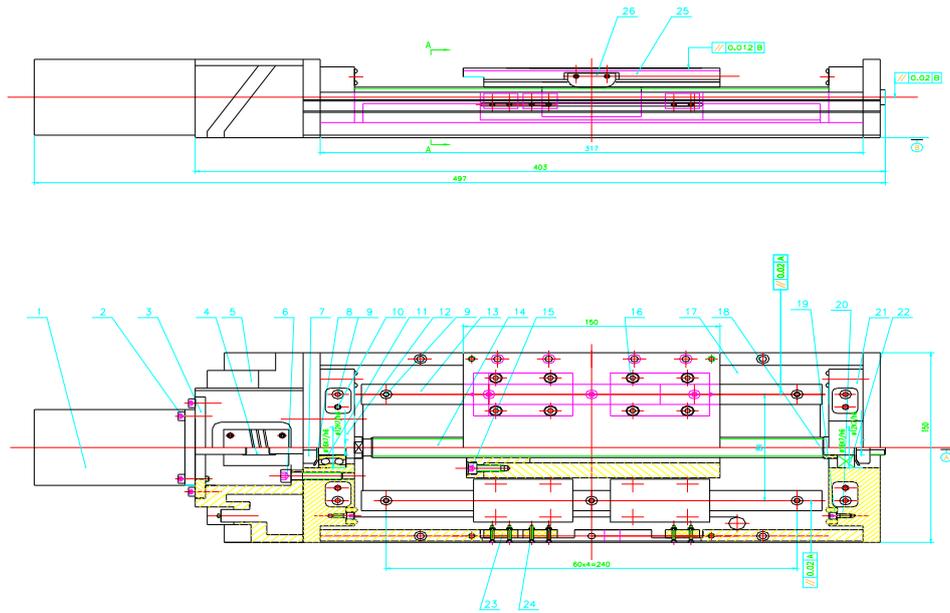


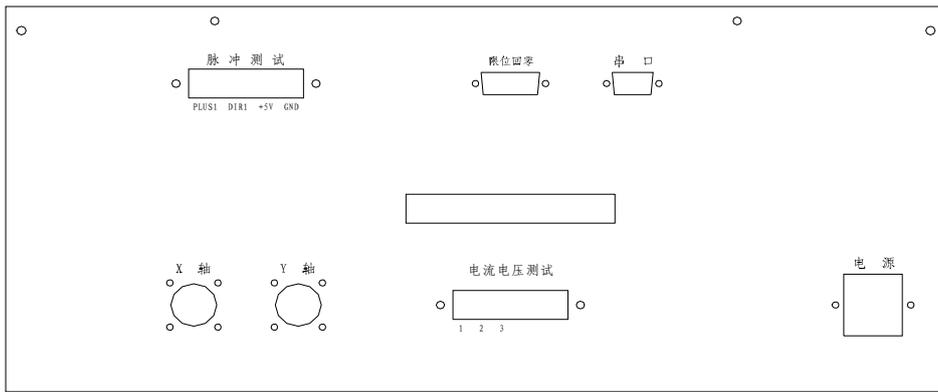
图 1-2 EMS 直线平台图

| | | | | | | | |
|----|------------------|--------------|----|---------|-------|-------|-------------|
| 26 | EMS00.02-8 | 限位触块 | 1 | YL12 | 0.005 | 0.005 | |
| 25 | EMS00.02-7 | 中拖板 | 1 | ZL107 | 0.668 | 0.668 | |
| 24 | GB818-85 | 螺钉 M1.6×10 | 6 | 性能等级4.8 | 0.001 | 0.006 | 表面发黑 |
| 23 | | 限位开关 | 3 | 成品 | 0.01 | 0.01 | 外购 |
| 22 | GB278-82 | 轴承80201 | 1 | 成品 | 0.04 | 0.04 | |
| 21 | EMS00.02-6 | 轴承座 | 1 | ZL107 | 0.502 | 0.502 | |
| 20 | GB70-85 | 螺钉 M3×12 | 4 | 性能等级8.8 | 0.002 | 0.008 | 表面发黑 |
| 19 | | 防撞垫 | 4 | 橡胶 | 0.003 | 0.012 | 外购 |
| 18 | EMS00.02-5 | 轴套 | 1 | YL12 | 0.002 | 0.002 | |
| 17 | EMS00.02-4 | 底座 | 1 | ZL107 | 1.934 | 1.934 | |
| 16 | GB70-85 | 螺钉 M4×12 | 8 | 性能等级8.8 | 0.002 | 0.016 | 表面发黑 |
| 15 | GB70-85 | 螺钉 M5×14 | 4 | 性能等级8.8 | 0.003 | 0.012 | 表面发黑 |
| 14 | EMS00.02.01 | 滚珠丝杠副 | 1 | 成品 | 0.709 | 0.709 | 南京工艺装备厂 |
| 13 | GGB16BA2P2x270-3 | 滚动导轨副 | 2 | 成品 | 1.048 | 2.096 | 南京工艺装备厂 |
| 12 | EMS00.02-3 | 轴承座 | 2 | ZL107 | 0.502 | 1.004 | |
| 11 | | 轴承5201A-ZZ | 1 | 成品 | 0.057 | 0.057 | MACHI标准(日本) |
| 10 | GB119-86 | 销 A4×20 | 4 | 35 | 0.007 | 0.007 | |
| 9 | GB70-85 | 螺钉 M4×20 | 18 | 性能等级8.8 | 0.002 | 0.036 | 表面发黑 |
| 8 | GB858-88 | 垫圈 12 | 4 | 45 | 0.002 | 0.008 | |
| 7 | GB812-88 | 圆螺母 M12×1.25 | 2 | 45 | 0.022 | 0.044 | |
| 6 | GB70-85 | 螺钉 M6×30 | 4 | 性能等级8.8 | 0.006 | 0.024 | 表面发黑 |
| 5 | EMS00.02-2 | 连接座 | 1 | ZL107 | 0.374 | 0.374 | |
| 4 | | 弹性联轴器 | 1 | 成品 | 0.06 | 0.06 | 见技术条件 |
| 3 | EMS00.02-1 | 电机连接板 | 1 | YL12 | 0.058 | 0.058 | 见技术条件 |
| 2 | GB70-85 | 螺钉 M4×14 | 8 | 性能等级8.8 | 0.002 | 0.016 | 表面发黑 |
| 1 | | 电机 | 1 | 成品 | 1.0 | 1.0 | 见技术条件 |
| 序号 | 代号 | 名称 | 数量 | 材料 | 单件重 | 总计重 | 备注 |

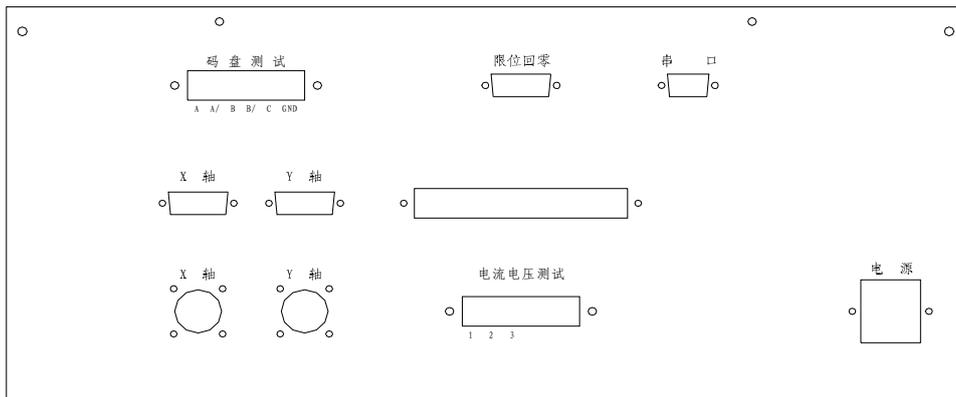
图 1-3 EMS 直线平台明细表

(二)、EM 系列教学设备

1、EM 系列教学设备后面板图、前面板图， 如下图：



EM300后视图



EM350/EM400后视图

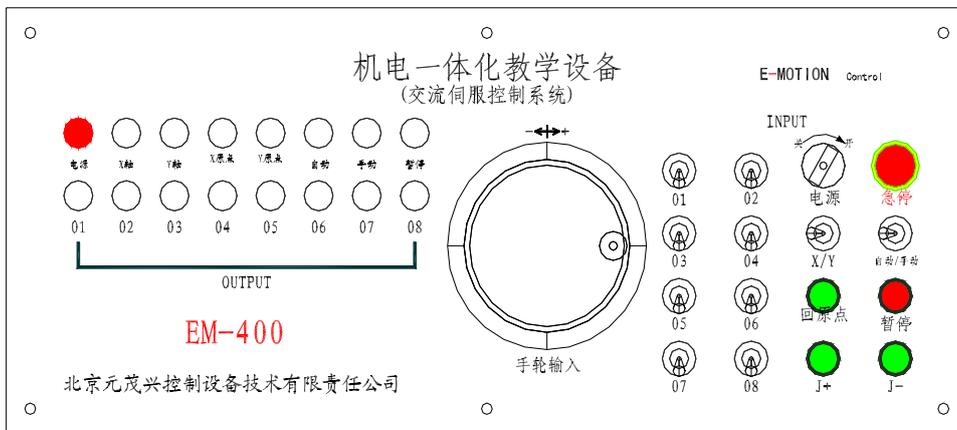


图 1-4

2、联机通讯

- 1)、将 EM 系列教学设备的串口通过串口线连接到计算机上。
- 2)、打开 EM 系列教学设备电源，然后打开计算机电源。
- 3)、从 WINDOWS 操作系统中运行 PEWIN 的初始化通讯软件 MotionExe 软件如下

图 1-5:

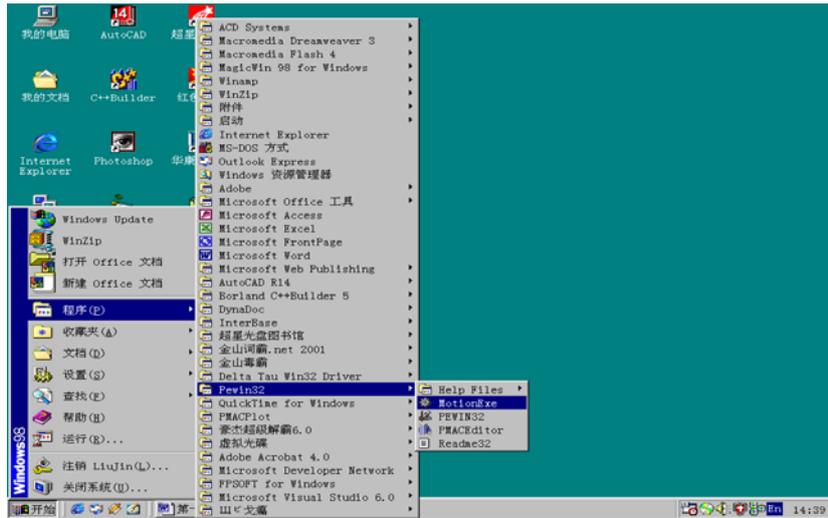


图 1-5

4)、该软件运行界面如下图: 1-6

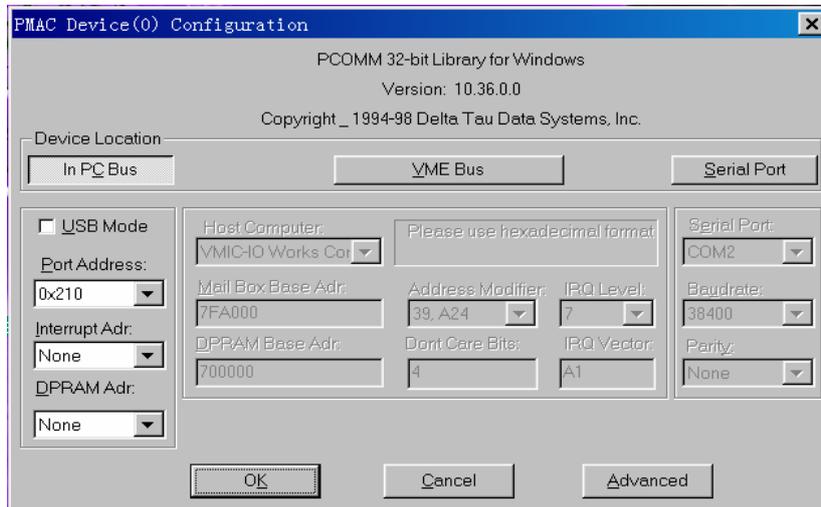


图 1-6

在该对话框中选择 Serial Port 串口通讯, 然后选择串口号、波特率 (推荐为 19200) 以及有无校验位 (推荐为无)。选择完后点击“OK”等待一段时间, 如果弹出如下对话框:



图 1-7

表示通讯成功，否则表示通讯未能成功建立，请查看串口接线。如还有问题可向生产厂家反映，如果你需要通过总线进行通讯，那么将卡插到计算机的 ISA 插槽中，选择总线通讯方式，并选择端口地址，建议用缺省值（0×210），因为这必须跟卡的跳线设置相对应，而卡的跳线设置在出厂时已经设置好了。

5)、在通讯成功建立后就可以运行 PEWIN 软件了，其运行界面如下图：

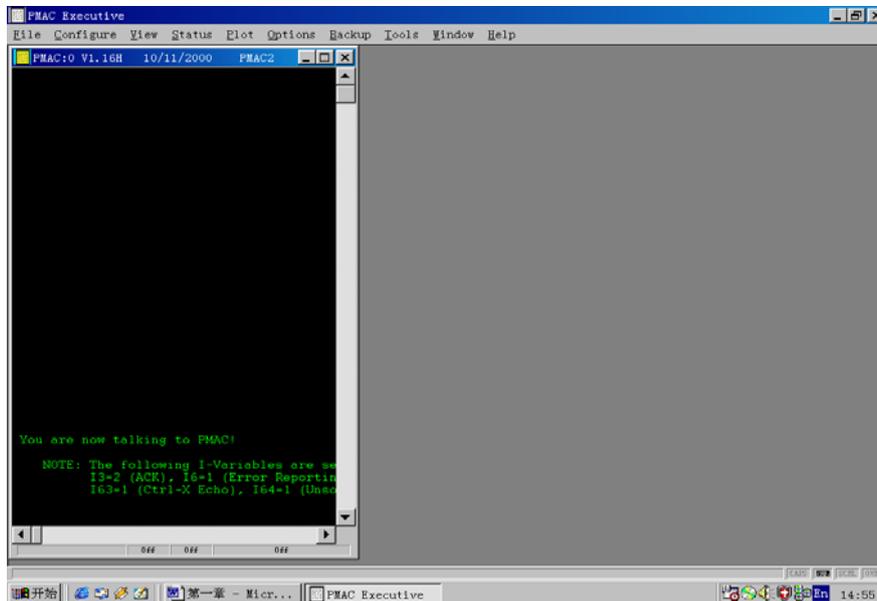


图 1-8

其中黑色窗口为终端窗口，可以通过此窗口向 EM 教学设备发送指令，调整参数。

(三) 系统的核心控制器——PMAC

PMAC 即 Program Multiple Axis Controller(可编程多轴运动控制器)是由美国 DELTA TAU 公司生产的运动控制卡。该系列产品功能强大、稳定可靠、配置灵活，通过不同配置可以控制任何形式的电机以及接收市场上大多数位置及速度反馈元件的反馈信号，支持各种总线结构如 ISA、PCI、VME、STD 等等，并且提供了通过 RS232 或 RS422 串口同主机进行通讯的功能。PMAC 实际上就是一台性能优良的专业用计算机，以 Motorola 56000 系列 DSP CPU 为主要元器件加上外围电路和丰富优化的专业控制软件构成。

该卡优秀的控制功能和良好的开放性特点包括以下几个方面：

1、运动控制功能：

- 运算速度快---每轴 30/20 μ s 的伺服更新速度
- 数据精度高---位置可到 32 位的数据精度、输出数据精度为 16/18 位
- 内置丰富优秀的插补算法---直线、圆弧、PVT（位置速度时间）、三次样条插补算法，用以产生各种类型的运动轨迹
- 良好的通用性---支持标准的机床加工代码 G 代码编程
- 灵活、简练的运动程序语言---简便易学
- 优良的伺服控制算法---PID+NOTCH 滤波+速度/加速度前馈，并且支持用户自

己的伺服控制算法

2、过程控制功能（PLC 逻辑顺序控制）：

- 运算速度快---典型程序运行时间在 5~9ms，较普通 PLC 快一个数量级
- 可容纳程序量大---216K 字节存储容量（包含运动程序）
- 程序语言简单易操作---类似高级语言，方便编辑存储和运行
- 模块化管理---可分成 32 个 PLC 程序模块，并且可编译为 PLCC，运行速度可提高 20~30 倍，方便程序调用和管理

3、数据交换功能及开放的接口：

- 功能完善的动态链接库---提供 200 多个库函数，利用高级语言编程调用这些函数，使得同上位机交换数据非常方便
- 简单易用的专用控件---同上位机交换数据更加简单，容易学习和掌握
- 允许用户访问和使用卡上几乎所有的内存和寄存器地址空间

4、硬件扩展功能、适用性及灵活性：

- 通过多卡链接的方式可以控制多达 128 轴同时运动
- 通过选用不同的附件和选项来发送不同的控制信号，控制不同的电机
- 通过选用不同的附件和选项来接收不同类型传感器的不同反馈信号
- 通过选用不同的附件和选项来提升系统的各项功能，满足一些特殊要求

以下以 EM 教学设备使用的 MINI-PMAC+OPTION15 来介绍这种开放式运动控制器的使用方法。MINI-PMAC 是一块两轴卡，可以同时控制两个伺服电机联动。其配置及所具备的功能如下：

- 20MHz Motorola 56002 DSP CPU
- 2 路 D/A 通道，用以发送模拟速度或转矩指令
- 4 路编码器反馈通道，可直接接收 4 路增量码盘的反馈
- 8 入 8 出共 16 点的通用 I/O 接点
- OPTION15 选项提供两个 V/F 转换器用来产生脉冲方向信号以控制步进电机
- 强大的运动控制功能、过程控制功能、数据交换功能，描述见 PMAC 卡特点

一)、硬件结构特点：

J1 (JDISP) :可以用来连接一个简易的 LCD 液晶显示屏或真空荧光显示屏，简单的显示轴的位置速度等；

J3 (JTHUMB) :以 TTL 电平的形式提供 8 入 8 出共 16 点 I/O，即可用该口来扩展更多的输入输出点，也可直接做通用 I/O；

J4 (JRS232) :提供同主机串行通讯的接口，为 RS232 形式，通讯波特率用软件修改；

J5 (JOPTO) :以 TTL 电平的形式提供 8 入 8 出共 16 点通用 I/O；

J7 (JS1) :提供和 A/D 转换附件 ACC-28 之间的接口，可以通过该附件接收外部的模拟检测信号；

J8 (JAUX) :MINI-PMAC 的辅助接口，可以用来接收 0~10V 模拟量输入，脉冲方向信号输出，位置比较信号输出等功能；

J11 (JMACH) :主要的工作接口，包括控制信号的输出，伺服使能信号输出，限位回零、伺服报警等标志信号的输入，编码器反馈信号输入以及电源供给接口；

TB1: 该端子用来接外部电源，当 MINI-PMAC 单独使用时（不插在计算机里），可由该端子给卡供电。

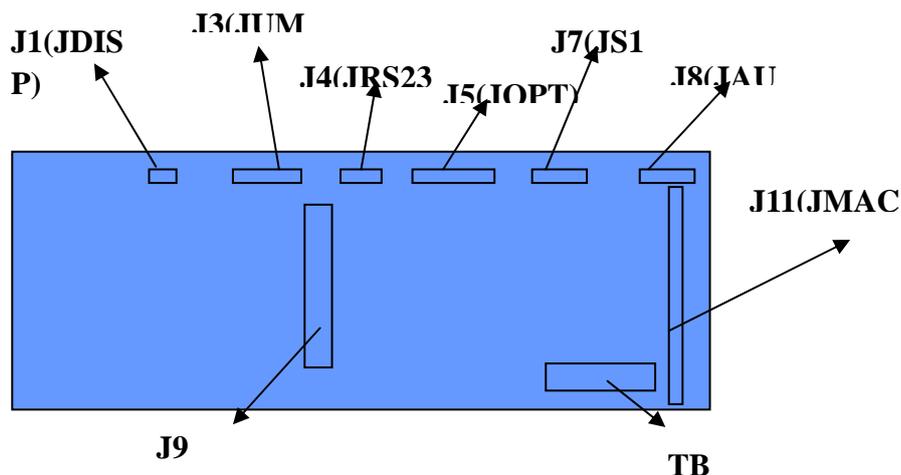


图 1-9 MINI-PMAC 硬件结构图

除以上接线端口外，MINI-PMAC 还有许多跳线来控制 and 设置卡的功能，这些跳线在 EM 教学设备出厂时就已经设置好了，在同学们没有清楚的了解它们各自用途之前，请不要轻易改动跳线的设置。如果需要了解有关跳线设置的更多详细内容，请参见配套光盘中的资料。下图是其主要工作接口 J11 各引脚定义：

| | | | |
|--------------|----|----|--------------|
| 模拟电路-15V电源输入 | 60 | 59 | 模拟电路+15V电源输入 |
| 模拟量公共地输入 | 58 | 57 | 看门狗输出 |
| 回零信号2输入 | 56 | 55 | 回零信号1输入 |
| 正限位2输入 | 54 | 53 | 正限位1输入 |
| 负限位2输入 | 52 | 51 | 负限位1输入 |
| 放大器错误2输入 | 50 | 49 | 放大器错误1输入 |
| 放大器使能2/方向2 | 48 | 47 | 放大器使能1/方向1 |
| DAC1模拟量输出2 - | 46 | 45 | DAC1模拟量输出1 - |
| DAC1模拟量输出2 + | 44 | 43 | DAC1模拟量输出1 + |
| 不连接 | 42 | 41 | 不连接 |
| 不连接 | 40 | 39 | 不连接 |
| 不连接 | 38 | 37 | 不连接 |
| 不连接 | 36 | 35 | 不连接 |
| 位置输出比较2 | 34 | 33 | 位置输出比较1 |
| 不连接 | 32 | 31 | 不连接 |
| 不连接 | 30 | 29 | 不连接 |
| CHA2/输入 | 28 | 27 | CHA1/输入 |
| CHA2输入 | 26 | 25 | CHA1输入 |
| CHB2/输入 | 24 | 23 | CHB1/输入 |
| CHB2输入 | 22 | 21 | CHB1输入 |
| CHC2/输入 | 20 | 19 | CHC1/输入 |
| CHC2输入 | 18 | 17 | CHC1输入 |
| CHA4/输入 | 16 | 15 | CHA3/输入 |
| CHA4 | 14 | 13 | CHA3 |
| CHB4/输入 | 12 | 11 | CHB3/输入 |
| CHB4 | 10 | 9 | CHB3 |
| CHC4/输入 | 8 | 7 | CHC3/输入 |
| CHC4输入 | 6 | 5 | CHC3输入 |
| 公共数字地 | 4 | 3 | 公共数字地 |
| 编码器+5V电源输出 | 2 | 1 | 编码器+5V电源输出 |

图 1-10 J11 端口引脚定义

由于 PMAC 卡是以 Motorola 56000 系列 DSP CPU 为主要芯片的，而该芯片是 24 位宽的双数据总线形式（这不同于现在个人计算机上的 32/64 位宽单数据总线），每一路的最

大访问地址是 16 位，即从 0000H---FFFFH，所以该卡的内存布局和访问方式有独特的地方，它分为两列 X 和 Y 列，其布局如下图：

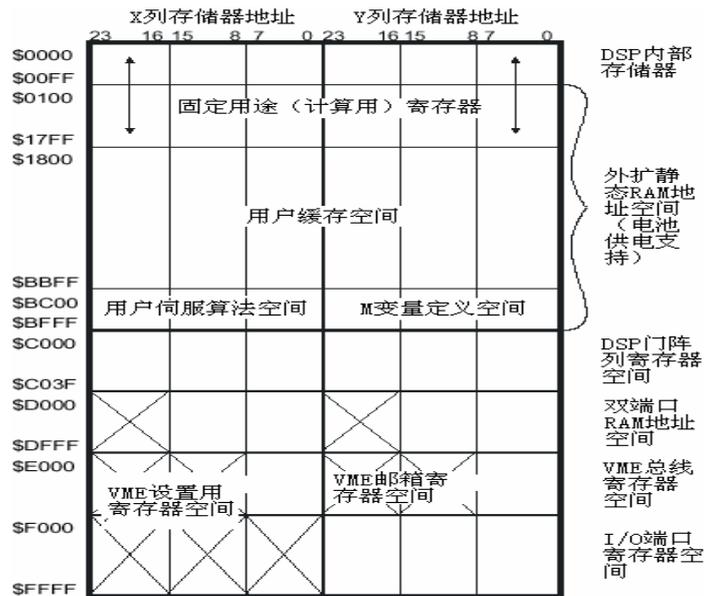


图 1-11 PMAC 卡内存地址分配图

二)、软件控制特点:

PMAC 的软件功能强大，分别包含以下几部分：

1、参数、变量设置

PMAC 卡包含有一种控制参数 I 参数、三种用户变量 M、P、Q。其中通过对 I 参数的设置来配置系统的功能，是系统中非常重要的部分；M 变量是用户自己定义的，指向 PMAC 卡中的某一内存或寄存器地址，用户通过它来间接访问 PMAC 卡上的几乎所有资源；P 变量、Q 变量由用户随意使用，为 48 位浮点变量，两种变量的区别在于 P 变量是全局变量，Q 变量是坐标系内部变量（该卡支持多达 16 个坐标系）。以上参数和变量每一种都有 1024 个可供使用。

I 参数：分两类，系统级别和通道级别（所谓通道即卡中的每个电机控制通道）

系统级别：设置卡的工作运行方式，100 号以内，如参数 I5 用来控制 PMAC 中的 PLC 程序是否运行，以什么方式运行（具体参见 PMAC 软件手册）。其它参数可以控制诸如卡的报错方式、伺服中断周期、串行通讯方式、缓冲区的开关及工作方式等。

通道级别：针对每一个电机的不同要求而需要设置的参数。卡上的每一个通道代表你所要控制的每一路电机，你必须针对电机的不同情况进行设置。以下列出了其中一些必要的参数设置（其中 X 代表第 X 号电机）：

IX00---通道是否激活（1 表示该通道激活，可以工作，0 表示该通道关闭，处于禁止工作状态。缺省时 I100=1，其余为 0，即第一通道激活）；

IX01---是否需要通过卡对电机进行换向计算（缺省值为 0，不通过卡进行换向，换向工作由驱动器负责）；

IX02---相应通道的指令（模拟量 DAC 输出）输出地址，该地址用来保存某一通道输

出模拟量的大小；

IX03---相应通道的位置环反馈地址，该地址用来存放位置反馈值；

IX04---相应通道的速度环反馈地址，该地址用来存放速度反馈值；

IX05---相应通道的主位置（手轮）地址，在电机跟随主位置系统中，用来保存主位置的地址；

IX06---相应通道的跟随使能开关，为 1 时打开跟随功能；

IX07、IX08---相应通道的跟随比；

IX11、IX12---相应通道的跟随误差极限和警告跟随误差，用来设置系统最高跟随误差和警告跟随误差值，单位是脉冲数，超过跟随误差极限，系统的所有电机将停止运动；

IX22---相应通道电机的手动速度，单位是计数/毫秒；

IX25---相应通道的标志地址，该地址用来存放极限、复位、驱动器使能等标志信号，还可以用来控制相应通道的工作方式，譬如：是否允许驱动器工作、机械限位是否起作用、驱动器故障报警输入是否有效、故障报警输入是高电平有效还是低电平有效等等，是一个比较重要的参数；

IX30---相应通道 PID 参数中的 P（比例）参数，系统的刚性调节参数；

IX31---相应通道 PID 参数中的 D（微分）参数，系统的阻尼调节参数；

IX32---相应通道调节参数的速度前馈值，用于改善跟随特性；

IX33---相应通道 PID 参数中的 I（积分）参数；

IX35---相应通道调节参数的加速度前馈，用于改善跟随特性；

IX900、905、910...---相应通道编码器译码方式。

M 变量：由用户自己定义一个值，指向某一寄存器或内存，用户再通过该 M 变量访问它所指向的寄存器或内存。虽然用户可以自定义 M 变量，但推荐用户按照指定的 M 变量访问指定的寄存器，相应的推荐表附在软件手册的后面，如下例：

M166→X: \$0033, 0, 24, S ;

表示 M166 指向存储器 X 列的 0033H 号地址，该地址存放的是一号电机的实际速度值，其中 0 和 24 表示从该地址的 0 位到 24 位用来存放实际速度值，S 表示是一个有符号数。这样你就可以在程序中利用 M166 这个变量来访问该寄存器。

P、Q 变量：这两种变量可以由用户随意定义使用，但不要在程序中重复定义。

2、运动及加工程序、数控编程

PMAC 控制器的运动程序编制是利用自己的一套类似 BASIC 的高级语言实现的，它很容易学习和掌握。在上位机直接编辑，运行时下载到 PMAC 卡中（也可以实时的下载），键入命令就可以执行。它还以类似调用子程序的形式支持标准的 G 代码编程，其实现方法可以在后面的编程实验中看到。

3、过程控制（逻辑顺序控制）

PMAC 控制器内部包含了 PLC（可编程逻辑控制）的功能，使得 PMAC 能轻松实现过程控制，这样你在设计系统的时候就不需要再外加 PLC 控制器，可以减少你的系统成本。PMAC 的 PLC 程序同样采用的是类似 BASIC 的高级语言编写的，不同于普通的梯形图。它的语法结构基本类似于它的运动程序，同梯图编程相比有易于看懂，方便编辑、存储（无须其它专用设备，只要有硬盘和计算机的地方就可以）等特点。

4、与上位机接口编程

为了实现 PMAC 同上位机之间的数据交换功能，PMAC 为用户提供了计算机底层的驱动程序和接口函数（以动态链接库的形式），用户通过高级语言如 VC、VB、DELPHI 等编程调用这些函数来实现上位机和 PMAC 之间的通讯。

（四）数控程序

现代数控机床用 ISO 标准代码编程，常用的代码有 G 代码、M 代码、S、P、T 代码，PMAC 以调用子程序的形式支持上述代码。在 PMAC 中程序序号为 PROG1000 中的程序就是实际调用的 G 代码程序，程序号为 PROG1001 中的程序就是执行中实际调用的 M 代码程序。

四、注意事项

- 1、做实验之前仔细阅读实验原理。
- 2、实验前复习机械结构有关知识。
- 3、实验中注意不要随便拆卸机械零件。需要时，在老师的指导下进行。
- 4、不要用硬物撞击平台，以免损坏或影响系统精度。
- 5、注意操作步骤中加电顺序。
- 6、使用前仔细阅读 EM 系列教学设备使用说明书。
- 7、注意接线时不要错开连接，即将 X 轴电机动力线连到 X 轴，但却将 X 轴码盘反馈线连到 Y 轴或正好相反。

五、实验内容与步骤

内容一：结构认识

1)、观察精密定位平台，结合上文的平台图及其参数，了解总体结构和组成。并总结其特点。

2)、在运动机械中，运动副包括相对直线运动的移动副，相对转动的转动副和相对螺旋运动（在旋转运动的同时做直线运动）的螺旋副。在本机械平台中，请找出所有转动副、移动副、螺旋副，并标明组成运动副的构件。并举出相似应用的例子。如下表示例并请画出简图。

| 运动副名称 | 所在位置 | 作用 | 组成构件 | 相似应用举例 |
|-------|------|------------|---------|--------------|
| 移动副 | 导轨副 | 约束平台面沿直线运动 | 导轨 导轨滑块 | 滑动导轨副 燕尾槽 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

3)、仔细观察滚动导轨副的结构，导轨的组合形式，画出滚动导轨的断面形状图，指出滚动体的接触面（注：同一断面共有四个接触面），分析滚动导轨副的受力，理解为什么该滚动导轨副可以承受上下左右各种负荷。观察接触面的形状，分析原因，指出其作用。（注：接触面增大，同样受力时减小接触应力和应变，增大了许用负荷、使用寿命

和系统刚性)。

4)、观察滚动导轨的安装方式,找出安装基准面。

5)、滚珠丝杠将螺纹之间的滑动摩擦变成滚动摩擦,减小了摩擦力,常做直线驱动的驱动丝杠使用。注意观察滚珠丝杠副的结构,注意是单螺母还是双螺母,螺母的安装方式,丝杠的支承方式。了解滚珠丝杠副滚珠的循环方式,消除间隙采用的方法。为了使结构紧凑,本平台滚珠采用了内循环式,试参照实物外观联系以前所学的机械知识画出内循环螺母的结构原理图。

6)、用游标卡尺测量丝杠的外径、导程,并记录。计算电机每转动一圈,平台移动多远的距离。查电机参数,计算直线平台最大可移动的速度。分析导程大小对平台的运动有何影响?

7)、观察电机与丝杠的连接方式,注意本联轴器为弹性联轴器,观察弹性联轴器的结构形式,联轴器与轴如何固定。并思考选用弹性联轴器对整个系统的有什么好处。

8)、观察轴承座内侧的橡胶垫,分析其作用。

9)、观察丝杠支承部分,注意本平台使用双列角接触球轴承支承丝杠电机端,用深沟球轴承支承尾端,他们都能够使轴准确,平滑旋转。观察轴承的安装方式,密封方式,并从受力的角度分析两种滚动轴承的使用条件。

10)、注意观察整个 XY 平台各部分之间的连接,使用的连接件有螺钉,螺母,垫圈等。总结他们的应用条件。

11)、测量平台移动范围,测出平台面上任一点可运动的区域范围。从而确定编程范围。

内容二:从系统总体认识机械本体结构和提高机械系统的性能

1)、从控制的角度,整体系统伺服刚性越大,外力引起的位置控制误差越小。驱动部分和机械部分的刚性对系统的稳定性的影响为:

$$\frac{1}{K_T} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \quad (2-1)$$

其中, K_T 系统总刚性,

K_1 驱动部分的刚性即伺服刚性,

K_2 机械部分的刚性,

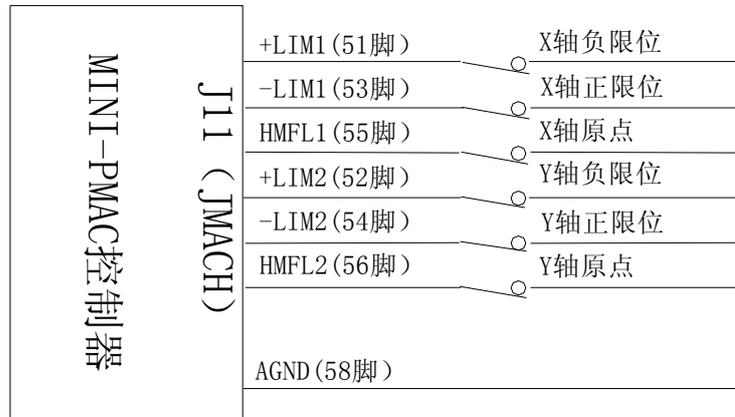
机械部分的刚性要比驱动部分的刚性大是使系统稳定的必要条件。刚性比 $K = \frac{K_2}{K_1}$

越大系统越趋向于稳定。实际系统中,希望机械部分的刚性是驱动部分刚性的 3 ~ 5 倍。因此机械部分要采取措施提高其刚性。

2)、查机械部分技术参数及观察平台结构、外形,找到本平台采取了哪些措施来提高其刚性。注意从结构,预紧,制造工艺和材料几方面考虑。

内容三：脱机与联机通讯

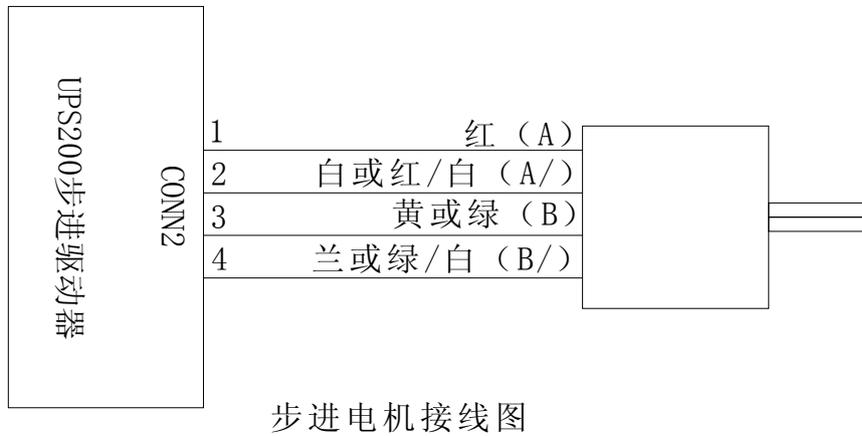
- 1)、查看 EM 系列教学设备后面板图；
- 2)、将电机动力线、码盘反馈线、限位回零线连接好，其各部分电气原理图如下：



限位回零接线图

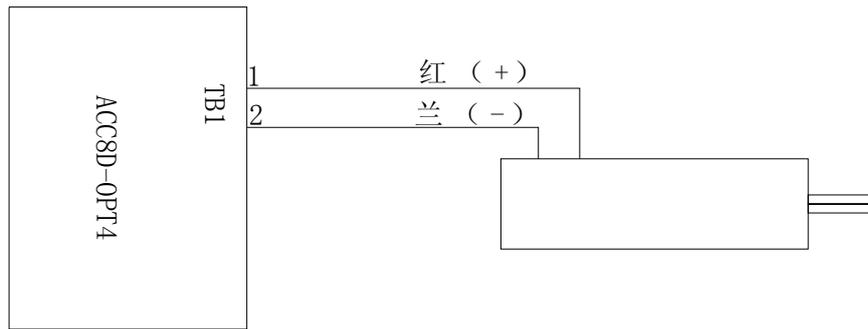
图 1-12

以下为电机与驱动器接线：



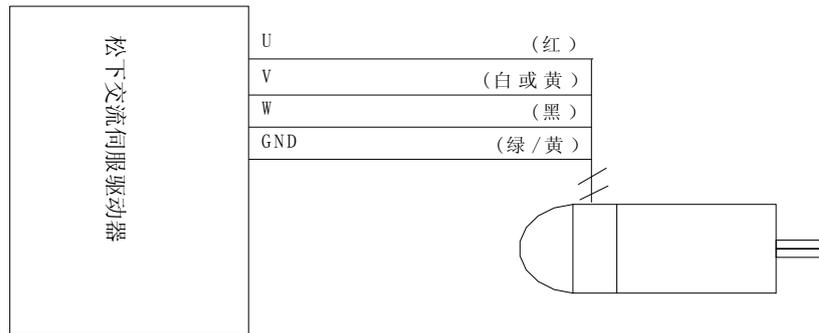
步进电机接线图

图 1-13



直流伺服电机接线图

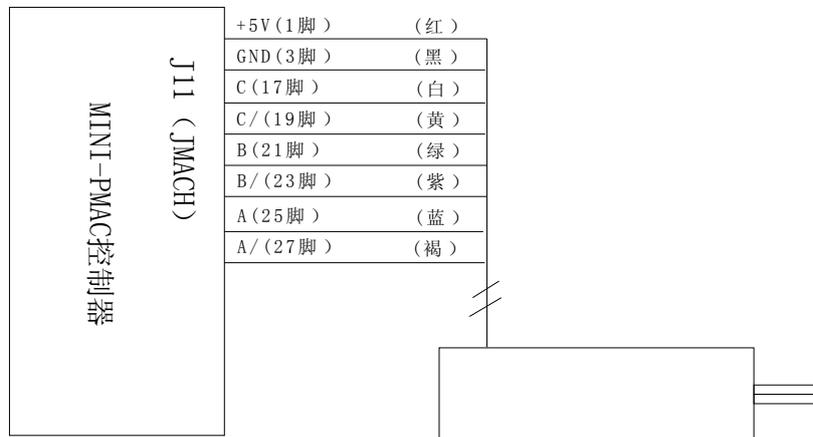
图 1-14



交流伺服电机接线图

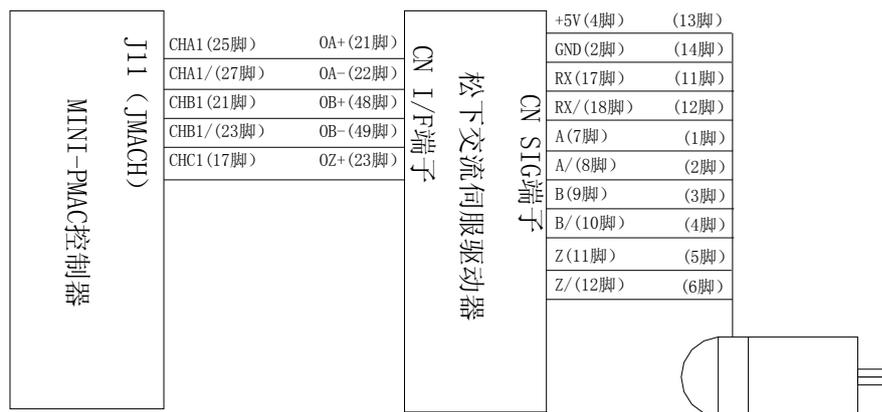
图 1-15

以下为码盘接线（码盘线均为屏蔽线，其中 A 和 A/为双绞线，以减少外界空间辐射干扰，其它类推，+5V 和 GND 也是如此）：



直流伺服编码器第一通道接线图

图 1-16



交流伺服编码器第一通道接线图

图 1-17

3)、连接好电源线，确认接线正确，打开电源，查看操作面板，如图 1-4。

4)、熟悉按钮功能，动手操作。扳动“手动/自动”开关将它放在“手动”位置上，然后扳动“X/Y 轴”轴选择开关选择一个轴，这时按下“J+”或“J-”让该轴平台前进或后退。一直按着“J+”或“J-”，让平台往一个方向走到限位位置，观察结果。

5)、操作设备，将平台放置在中间位置，在手动状态下按“回原点”按钮松开后，观察平台的移动（注意当平台在起点和负限位之间不要对其进行回原点操作）。再次将平台放置在中间位置，缓慢摇动手轮，观察平台移动情况。

6)、固定好笔架、笔和纸，然后将“手动/自动”开关扳到“自动”位置，观察平台的移动以及笔绘出的轨迹。运行中可按“暂停”按钮观察效果，如果要停止运行，将“手动/自动”开关扳到“手动”。

7)、停机，关断电源。

8)、将 EM 系列教学设备的串口通过串口线连接到计算机上。

9)、打开 EM 系列教学设备电源，然后打开计算机电源。

10)、运行 PEWIN 软件，在该软件窗口键入“#1J+”回车后看平台的移动情况，然后键入“#1J/”使运动停止，或键入“#2J-”看看效果，也可以发送“#1HM”的回零指令查看平台运动情况。

内容四：观测重要数据

1)、在上一实验的基础上，通过 PEWIN 软件观察电机的位置、速度以及跟随误差。在 PEWIN 软件的 VIEW 菜单中选择 POSITION 菜单项如下图：

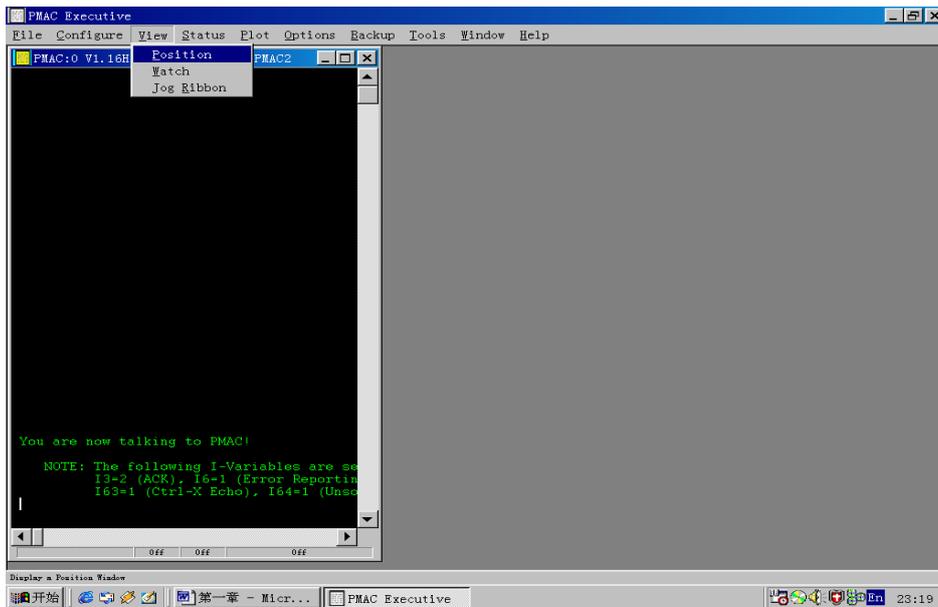


图 1-18

得到位置窗口如下图:

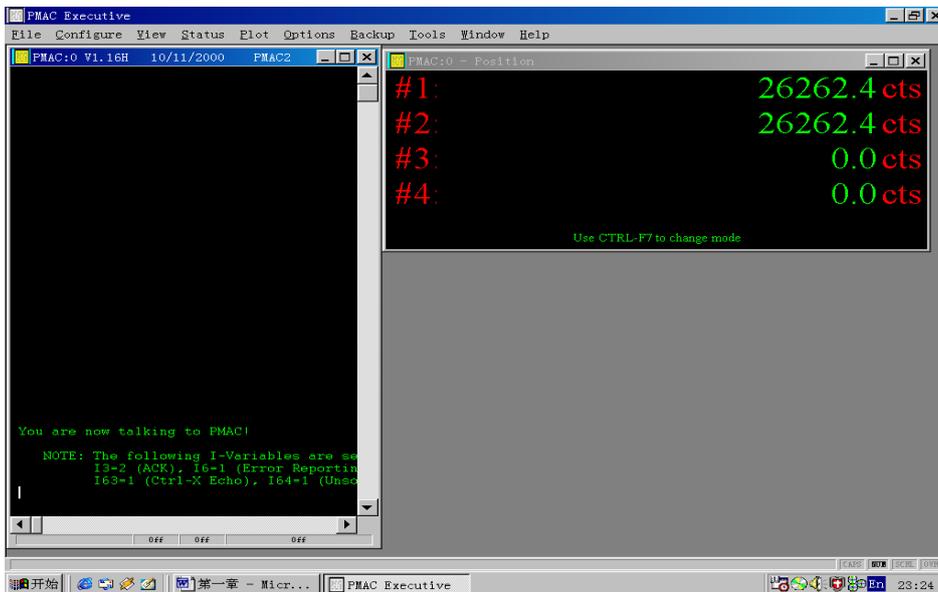


图 1-19

2)、这时就可以通过该窗口监测重要的数据了,如果需要修改所监测的对象可以在该窗口点击右键弹出如下图所示的菜单:

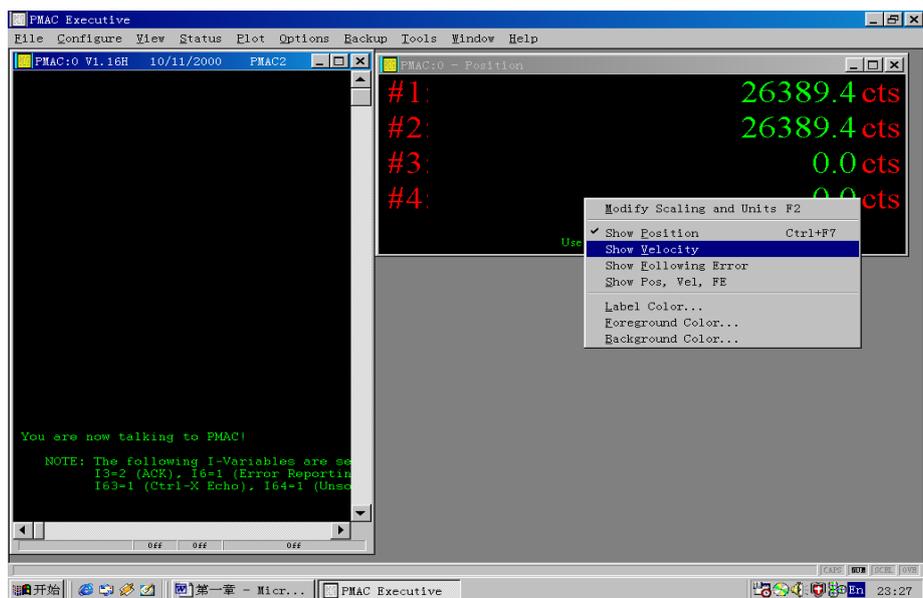


图 1—20

通过该弹出式菜单，可以修改所要监测的对象（速度、位置、跟随误差等），也可以修改位置窗口的背景、前景和字体的颜色以及显示单位。

3)、试操作改变位置窗口显示的内容，使它同时显示位置、速度和跟随误差。

内容五 数控编程

- 1) 关掉电源，连 EM 教学设备和计算机。
- 2) 将将工作台回原点，调整笔架、纸张的位置。
- 3) 写入程序(附录的图形加工数控程序)，下载该程序。
- 4) 运行程序，查看实验结果。

六、实验结果分析

按实验步骤逐项整理实验内容，写出实验报告。

七、思考题

1、丝杠导程的大小对运动精度有和影响？如何平衡精度与传动效率，承载能力？

2、手动功能在什么情况下用？

3、为什么选用 PMAC 作为核心控制器？

4、数控机床编程有何特点？PMAC 卡中 G 代码程序是如何实现的？

以下为 G 代码及 M 代码在 PMAC 中的定义：

OPEN PROG1000 CLEAR ; G 代码定义

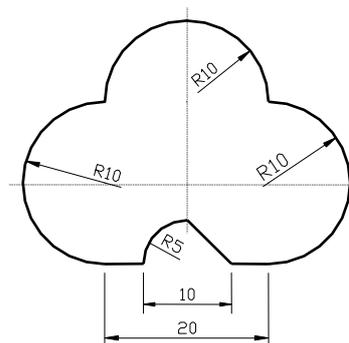
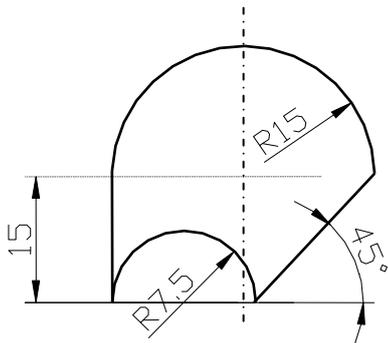
RAPID RET ; G00
N01000 LINEAR RET ; G01
N02000 CIRCLE1 RET ; G02
N03000 CIRCLE2 RET ; G03
N40000 CC0 RET ; G40
N41000 READ (D) ; G41
 CCR (Q104)
 CC0
 RET
N42000 READ (D) ; G42
 CCR (Q104)
 CC1
 RET
N90000 ABS RET ; G90
N91000 INC RET ; G91
N92000 READ (X, Y) ; G92
 PSET X (Q124) Y (Q125)
 RET

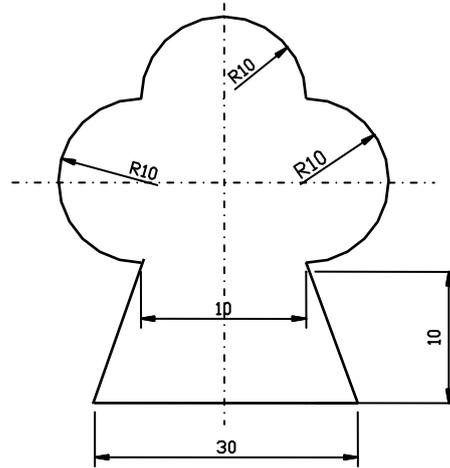
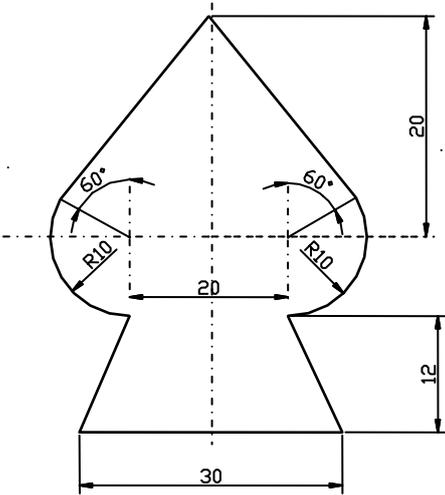
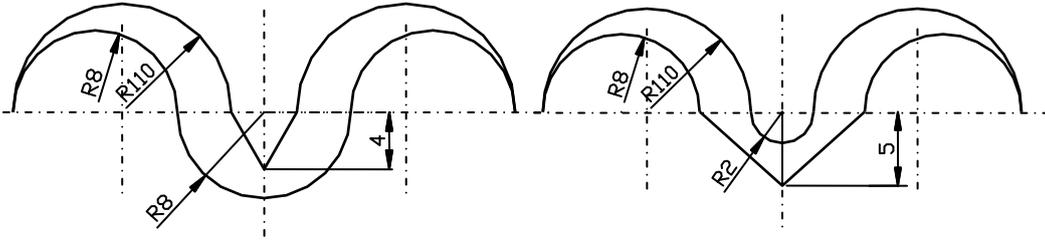
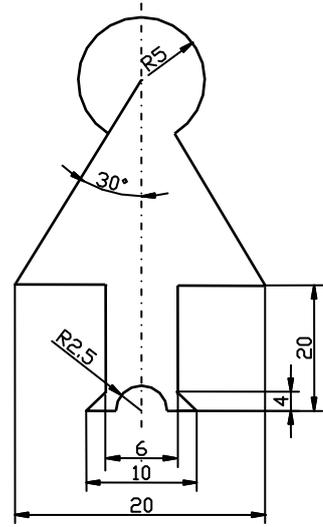
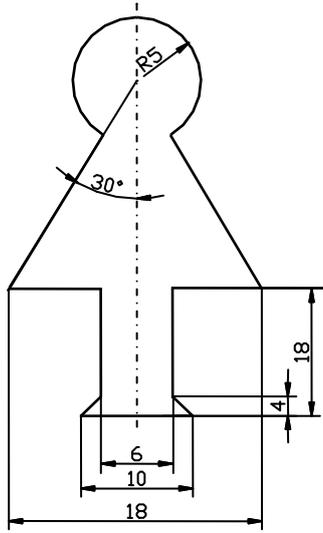
CLOSE

OPEN PROG1001 CLEAR ; M 代码定义
N02000 CMD “A” RET ; M02

CLOSE

编程练习：（任选图其一编程）





实验二 软件插补原理及应用实验

一、实验目的

- 1、掌握逐点比较法的插补及直线圆弧插补原理。
- 2、进一步熟悉运动程序的指令。
- 3、熟练运用 PMAC 卡的直线和圆弧插补命令编程。

二、实验设备

- 1、EM 系列教学设备一台。
- 2、计算机一台。
- 3、PEWIN 执行软件。

三、实验原理

在 PMAC 中，插补算法是已经封装好的，只需一条指令即可实现，如直线插补用 LINEAR（相当于 G 代码的 G01），顺圆插补用 CIRCLE1（相当于 G 代码的 G02）。但为了让同学们能够更清楚的了解插补的原理，我们采用编制一个运动程序的方法来分解插补原理，这仅仅是为了方便理解插补原理，在实际应用时是不会这样做的。

1、逐点比较法插补原理：

插补方法有多种，现以逐点比较法插补为例，理解一下插补原理。逐点比较法在第一象限的直线插补原理如下图。

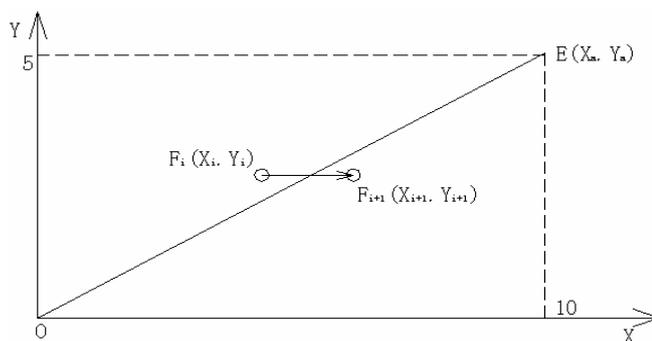


图 2-1

现加工 OE 直线。如果刀具动点在 OE 直线上方或在该直线上，则令刀具沿 X 正方向进给一步；若刀具动点在 OE 直线下方，则令刀具沿 Y 轴正方向进给一步，如此循环直到加工到 E 点。判别刀具动点的位置根据偏差判别公式，第一象限直线插补的偏差判别公式如下：

$F_i \geq 0$ 时，偏差判别公式为 $F_{i+1} = F_i - Y_a$ ，向 X 正方向进给

$F_i < 0$ 时，偏差判别公式为 $F_{i+1} = F_i + X_a$ ，向 Y 正方向进给

2、逐点比较法插补节拍：

逐点比较法插补需要四个节拍，即偏差判别、进给、偏差计算和终点判别。

3、比较法插补流程：

逐点比较法可以用硬件完成，也可以用软件完成。本实验通过软件进行插补，软件

流程图如 2-2 所示:

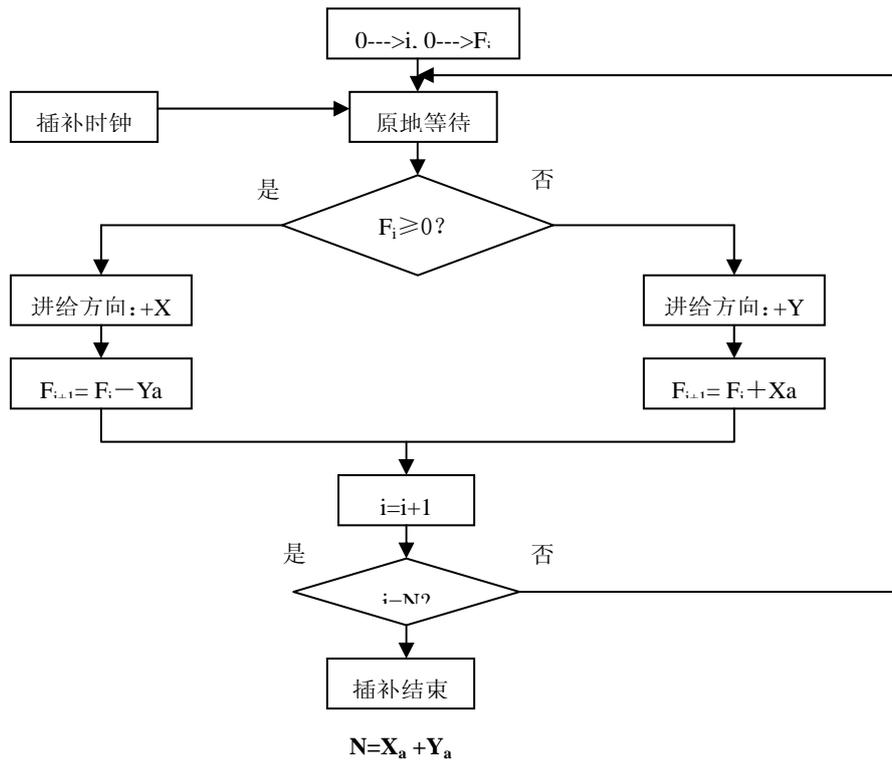


图 2-2

2、直线圆弧插补

对用户来说只用一条指令即可实现插补运算，直线插补即指令 **LINEAR**，圆弧插补即指令 **CIRCLE**，但需要确定插补平面。注意，在进行圆弧插补时参数 I13 必须大于 0。具体详情参见 PMAC 软件手册。

1)、怎样确定插补平面：用指令 **NORMAL** 确定插补平面：

语法：**NORMAL {VECTOR}{DATA}**

其中 **VECTOR** 是 I, J, K 字母中的一个，分别代表与 X, Y, Z 平行的方向，PMAC 采用右手法则，所谓右手法则即右手螺旋，大拇指所指方向是 **NORMAL** 所指方向，其余四指环绕方向是顺圆指令方向。如图 2-3 所示：**NORMAL K-1** 表示 XY 平面，大拇指方向与标准 Z 轴矢量反向；

NORMAL J-1 表示 ZX 平面，大拇指方向与标准 Y 轴矢量反向；

NORMAL I-1 表示 ZY 平面，大拇指方向与标准 X 轴矢量反向；

具体图例参考 PMAC 用户手册：

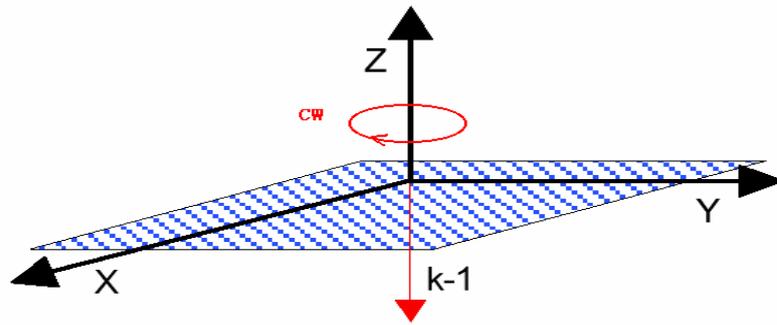


图 2-3

2)、怎样执行圆弧及直线插补命令：

圆弧和直线插补都可以是指定速率（F）的，也可以是指定时间的（TM，如上一实验中的实验例子程序）。在圆弧插补中，指令 CIRCLE1 表示顺圆插补，指令 CIRCLE2 表示逆圆插补，具体过程实验例子程序。

3)、怎样定位圆弧中心：

要进行圆弧插补，除了须定义插补平面外，还须定义圆弧中心。定位圆弧中心有两种模式，一种是矢量模式，一种是半径模式，以下分别介绍。

矢量模式，见图 2-3：

矢量模式需给出四个参数，即终点坐标和圆心坐标，图 2-4 给出了增量式和绝对式四个参数的确定。注意，在标准的机床加工代码中，尽管终点坐标是以绝对式给出的，但圆心矢量坐标仍然以增量式给出。

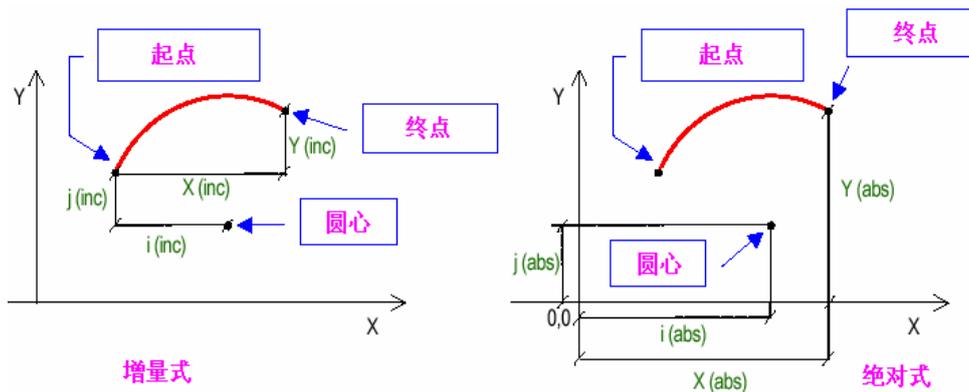


图 2-4

例子：CIRCLE1

```
X20 Y20 I20 J0
```

半径模式：

半径模式只需给出三个参数，即终点坐标和半径（用命令 R 表示），R 可以是负值，正值表示走一段优弧（即 ≤ 180 度），负值表示走一段劣弧（即 ≥ 180 度）。R 值总是代表距离运动起始点的距离。R 指令并不是运动模式指令。所以要通过该方式指定圆心必须在每一条指令中都有指定，如果没有指定半径，则将自动转成直线插补。

例子: CIRCLE2

X20 Y0 R-20

四、注意事项

- 1、复习逐点比较法原理。
- 2、复习 EM 教学设备运动程序编辑方法，语法结构。
- 3、注意调整好笔架和电机的位置。
- 4、复习圆心定位的方法。
- 5、复习运动程序编制方法。

五、实验内容与步骤

(一)、直线插补（逐点比较法）

- 1、关掉电源，将限位回零线、编码器线及电机动力线连接好，将机箱串口线连接到计算机上，接上电源线，打开电源开关。
- 2、调整笔架位置，按“回原点”键将 X、Y 轴回至原点。
- 3、打开计算机，运行 PEWIN 执行软件。
- 4、在编辑器中编写下列程序。

```
close
&1
#1->100x          ; 轴比例系数定义，主要是为了更加方便的观察插补过程，所以将
#2->100y          ; 比例系数放大，如果想要得到好的插补效果，可定义成#1->x
```

```
open prog 7
clear
linear
inc
p101=0            ; 初始化步插补总步数计数器
p102=0            ; 初始化偏差值
p103=10           ; 插补终点横坐标值
p104=5            ; 插补终点纵坐标值
while (p101!>p103+p104) ; 终点判别（是否到插补终点）
  if (p102!<0)    ; 偏差判别（若P102大于等于0表示刀具在直线下方或直线上）
    p102=p102-p104 ; 计算新的偏差值（ $F_{i+1}=F_i-y_a$ ）
    p101=p101+1    ; 步数计数器加一
    x10            ; X方向进给
  else            ; 偏差判别（若P102小于0表示刀具在直线上方）
    p102=p102+p103 ; 计算新的偏差值（ $F_{i+1}=F_i+x_a$ ）
    p101=p101+1    ; 步数计数器加一
    y10            ; Y方向进给
endif
```

```
endwhile
close
```

5、下载该运动程序。

6、在终端窗口键入“B7R”指令执行该运动程序，观察实验结果。

6、改变进给步长（即X、Y轴所走的距离），重做一次实验。

(二)、直线、圆弧插补

在初始化设置完成后可以编辑程序，以下是一个圆弧及直线插补程序实验（这个程序即教学设备中自动按钮按下后走的自动程序，不过在教学设备中该程序是一个死循环程序，而现在所编写的程序只运行一遍）：

```
&1
close
#1->2500x
#2->2500y
```

```
open prog 8 clear
inc           ; 增量模式
f7           ; 指定速率
x40y0       ; X轴运动到40个用户单位（由于LINEAR是缺省模式，故省去）
normal k-1   ; 指定插补平面
m57= =1     ; 将8号输出置1
circle2 x0y0i0j40 ; 逆圆插补（X、Y为起点坐标，I、J分别是圆心坐标和起点坐标差值）
dwell 100
m57= =0     ; 圆弧插补结束，将8号输出置0
x20y40     ; 回到直线插补模式
x-20y40
x-20y-40
x20y-40
m8= =1     ; 抬笔
y6
m8= =0     ; 压笔
x2y4
y24
x11
x2y4
x-30
x2y-4
x11
```

```

y-24
x2y-4
m8= =1          ; 抬笔
y-6
m8= =0          ; 压笔
x-20y40
x20y40
m8= =1          ; 抬笔
y-6
m8= =0          ; 压笔
x-16y-32
x32
x-16y32
m8= =1          ; 抬笔
y-6
m8= =0          ; 压笔
x-9y-23
x18
x-9y23
m8= =1          ; 抬笔
y12
m8= =0          ; 压笔
x20y-40
x-20y-40
close          ; 关闭缓冲区

```

- 4、 下载该运动程序，操作同前一实验。
- 5、 执行该运动程序，在终端窗口键入“&1b8r”。
- 6、 观察运动轨迹。

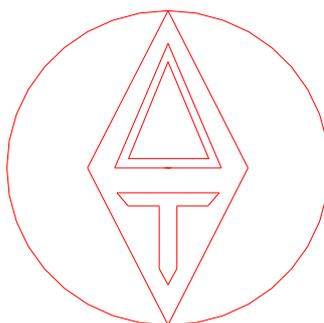


图 2-5

六、实验结果分析

- 1、比较直线插补两次实验结果，分析差别，得出结论。
- 2、比较直线圆弧运动轨迹是否如图2-5:
- 3、记录运动轨迹图形，填写实验报告。

七、思考题

- 1、简述逐点比较法插补原理。
- 2、目前常用的插补方法还有那些?
- 3、定位圆弧中心有哪几种模式，分别怎样编写程序?

实验三 数控设备的检测原理及应用

一、实验目的

- 1、了解检测元件的作用和要求。
- 2、掌握常用检测元件光电编码器的工作原理与选用。
- 3、掌握光电编码器使用方法。

二、实验设备

- 1、EM-350/400 教学设备一台。
- 2、计算机一台。
- 3、光电测速仪一台。
- 4、双踪示波器一台。

三、实验原理

位置速度精度要求不高的数控设备，开环系统就可以满足要求。位置速度精度要求高的，一般均采用闭环系统。闭环系统就是用一个或多个位置检测元件检测出工作机构的实际位置，检测元件在闭环系统中起着非常重要的作用，闭环系统的精度以其检测元件的精度为极限。检测元件的精度通常用分辨率和系统精度来表示。分辨率指测量元件所能正确检测的最小数量单位，由传感器本身的品质所决定。系统精度指在测量范围内，传感器输出所代表的速度或位移的数值与实际的速度或位移的数值之间最大的误差值。在选择检测元件时，一定要使所选检测元件的分辨率和系统精度比要求保证的精度高一个数量级。常用的检测元件包括光电编码器、旋转变压器、感应同步器（电栅）、光栅、磁栅、激光干涉仪、磁致伸缩传感器等，其中尤其以光电编码器和光栅用的最广泛。

1、编码器工作原理：

光电编码器是利用光电原理把机械角位移变成电信号，可以非常方便的测量电机轴的角位移，还可以测量轴的转速。按输出信号与对应位置（角度）的关系，光电编码器通常分为增量式光电编码器、绝对式光电编码器及混合式光电编码三类。

增量式光电编码器每产生一个输出信号就对应一个增量位移角，不能直接检测轴的绝对角度。绝对式光电编码器则通过读取编码盘上的图案来表示轴的位置，可以直接读取角度坐标的绝对值。混合式光电编码器则是增量式和绝对式共有的编码器。

以最常用的增量式光电编码器说明其原理（如图 3-1、2）：

光电圆盘与被测轴连接，光线通过光电圆盘和遮光板的缝隙，在光电元件上形成明暗交替变化的条纹，在 A、B 光敏元件上产生近似于正弦波的电流信号，经放大整形电路变成相位相差 90° 的方波信号，如图 3-3 所示。轴每转动一圈，产生一个 C 相脉冲。作为参考零位的标志脉冲，在数控机床的进给控制中，C 相脉冲用来产生机床的基准点。A 相和 B 相的相位差可用作电机的旋转方向判别，若 A 相超前于 B 相，对应电机作正向运动；若 A 相滞后于 B 相，对应电机作反向运动。若以该方波的前沿和后沿产生的计数脉冲，可以形成代表正向和反向位置的脉冲序列。

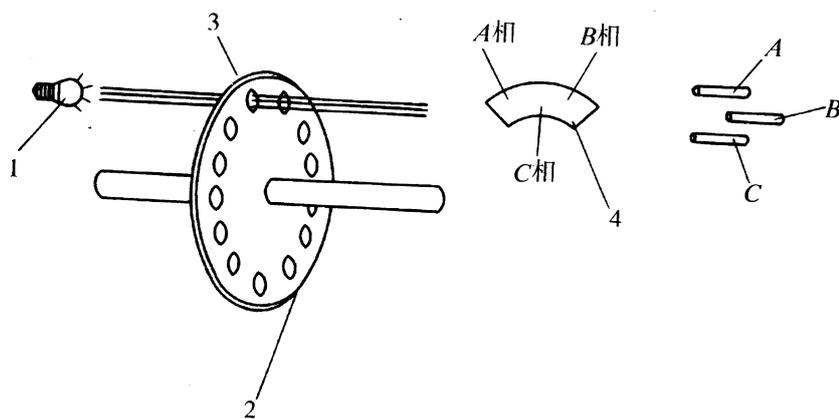


图 3-1 增量式光电编码器的工作原理

1 发光二极管 2 光电圆盘 3 转盘缝隙 4 遮光板 A B C 光敏元件

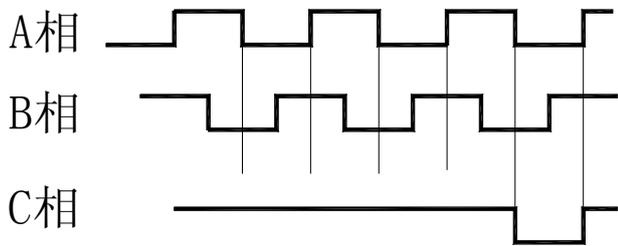


图 3-2 光电编码器输出波形

增量式光电编码器的分辨率可表示为：

$$\text{分辨率 } R = P \quad (3-1)$$

$$\text{分辨角 } \alpha = \frac{360^\circ}{P} \quad (3-2)$$

式中： P ——每转脉冲数，即圆盘上的条纹数或称线数。

绝对式光电编码器的分辨率可表示为：

$$\text{分辨率}^* R = 2^n \quad (3-3)$$

$$\text{分辨角 } \alpha = \frac{360^\circ}{2^n} \quad (3-4)$$

式中： n ——单一码盘上的码道圈数

*或直接用位数来表示

例如松下交流伺服电机可以有三种编码器可选，增量式，每转脉冲数 2500P/r，如果驱动器对其 4 倍分频，则其分辨率为 10000；绝对式，其码道圈数是 17，分辨率为 2^{17} 或直接表示其分辨率为 17 位。

2、编码器的选用及译码方式：

- 1) 首先，要根据不同用途选用不同的编码器类型：①绝对式编码器输出二进制或十进制码，数据在一周内有效，并有数据记忆功能，适合做角度测量用。②增量式编码器可以进行多周数据递增或递减计数，适合对速度、加速度、线位移量、角度量的测量。③混合式编码器是增量式和绝对式的综合，最适合与交流伺服电机配套。
- 2) 适当选择分辨率。选择的原则是在满足测量精度的要求下，尽量选择低分辨率，以降低成本。
- 3) 考虑机械接口：编码器的主轴有空心轴、实心轴、无轴三种。空心轴适合与电机轴直接连接，便于安装。无轴式适合与轴向窜动小的电机相配。一般为实心轴式，采用联轴节连接。

电器接口：编码器电器指标有电源电压、响应频率、消耗电流、脉冲上升下降时间和输出形式等。选择时要使之与控制器和驱动器等相匹配。

PMAC 控制器无须其它选件即可接收来自增量式编码器的反馈，其反馈通过软件设置的译码选择方式和方向译码后与给定位置指令进行比较。并将通过运算的速度值与给定速度指令比较，分别对速度环和位置环进行伺服控制。在 EM 系列教学设备中译码方式通过设置 I 变量来控制，变量号分别为 I900、905、910、915 等（在 EM350 中，电机码盘反馈占用第 1、2 通道，所以相应的译码方式变量为 I900、905，但在 EM400 中，电机码盘反馈占用的是第 3、4 通道，所以相应的译码方式变量为 I910、915），设置范围为 0-15，分别表示用脉冲+方向译码、一/二/四倍频正交译码，本机用最常用的 $I900=I905=I910=I915=7$ ，4 倍频正交译码以便能获得最大的分辨率（此时控制系统的分辨率为编码器分辨率 R 乘以倍频数 n）。

3、编码器接线：

在伺服系统中，只有正确接线才能将编码器检测到的信号正确地反馈回控制器，编码器在不同伺服系统中其接线不同，必须根据系统说明书严格对应。EM350 和 EM400 码盘接线图参见实验一的内容，在此不再赘述。

四、注意事项

- 1、复习光电脉冲编码器的原理、结构。
- 2、复习 PMAC 读取编码器反馈脉冲数的方法以及 PEWIN 软件中位置窗口的使用方法。
- 3、复习双踪示波器的用法。
- 4、编码器是精密的光电元件，应避免强烈振动。

五、实验内容与步骤

内容一：编码器辨向实验

- 1、将 EM 控制箱同平台连接好（包括电机动力线、码盘反馈线、限位回零线）。

- 2、将计算机串口同 EM 教学设备串口连接好。
- 3、将双踪示波器的两路分别接到 EM 控制箱后的编码器测试端子 A-GND, B-GND 上。
- 4、查看连线是否正确, 检查无误后打开 EM 教学设备电源、示波器电源和主机电源。
- 5、观察码盘的位置, 建立主机和 EM 教学设备的通讯, 在计算机上运行 PEWIN 软件, 并将位置窗口显示出来。
- 6、调整好示波器, 准备观察。
- 7、选择“X 轴”, 按教学设备操作面板上的“J+”按钮, 使 X 轴电机正转, 在示波器中查看码盘反馈的 A、B 两相脉冲相位关系, 并做记录。
- 8、接着按“J-”按钮使 X 轴电机反转, 同步骤 7, 查看相位关系并做记录, 填写表 3-1。

内容二：编码器 C 信号作用

- 1、接上一实验, 将示波器的一路接到码盘测试端子的 C-GND 端子上。
- 2、将 X 方向平台运行到中间位置。
- 3、在 PEWIN32 的终端窗口中键入“#1J: 10000”(EM400)或“#1J: 4000”(EM350)向 X 轴电机发送 10000 个 (EM400)或 4000 个 (EM350)指令脉冲, 让电机转动一圈, 并在示波器中查看 C 信号脉冲的个数。
- 4、在终端窗口中键入“J: 30000”(EM400)或“J: 12000”(EM350)让电机转动三圈, 在示波器中查看 C 信号脉冲的个数, 填写表 3-2。

内容三：编码器倍频译码

- 1、接上一实验, 将 X 方向平台运行到中间位置, 在终端窗口中键入“I900”查看 X 轴电机码盘译码方式及倍频关系。
- 2、在终端窗口键入“J: 10000”(EM400)或“J: 4000”(EM350), 让电机转动, 查看电机转动的圈数并做记录。
- 3、将 I900 (EM350)或 I910 (EM400)号参数改为 6, 即键入“I900=6”或“I910=6”, 使 X 轴码盘的译码方式变成 2 倍频正交译码。
- 4、重复步骤 2, 让电机转动并记录运动圈数。
- 5、键入“I900=5”(EM350)或“I910=5”(EM400), 使 X 轴码盘的译码方式变成 1 倍频正交译码。
- 6、重复步骤 2, 让电机转动并记录运动圈数, 填写表 3-3。

六、实验结果分析

- 1、按照以上实验内容填写下表:

表 3-1

| | | |
|-----|---------------------|---------------------|
| | 电机正转时码盘 A、B 两相的脉冲图形 | 电机反转时码盘 A、B 两相的脉冲图形 |
| A 相 | | |
| B 相 | | |

表 3-2

| | |
|-------------------|-------------------|
| 电机转一圈时码盘 C 信号脉冲个数 | 电机转三圈时码盘 C 信号脉冲个数 |
| | |

表 3-3

| | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| 4 倍频正交译码时电机转动圈数 | 2 倍频正交译码时电机转动圈数 | 1 倍频正交译码时电机转动圈数 |
| | | |

注意：在表 3-3 中是指在发送相同脉冲个数的情况下的比较。

2、分析码盘的辨向原理及 C 信号的作用。

七、思考题

1. 增量式编码器和绝对式编码器有何区别？

2. 利用增量式编码器测速如何实现？

3. 如何正确选择和使用编码器？

实验四 PLC 程序的设计

一、实验目的

- 1、了解 PMAC 的 PLC 程序的基本原理。
- 2、掌握 PLC 程序的基本结构和指令、编程规则。
- 3、掌握 PLC 程序上下载、执行及存储操作。

二、实验设备

- 1、EM 系列教学设备一台。
- 2、计算机一台。
- 3、PEWIN 执行软件。

三、实验原理

在数控机床上有两类控制信息：一类是控制机床进给运动坐标轴的位置信息，如数控机床工作台的前、后，左、右移动；主轴箱的上、下移动和围绕某一直线轴的旋转运动位移量等。对于数控车床是控制 Z 轴和 X 轴的移动量，对于三坐标数控机床是控制 X、Y、Z 轴的移动距离；同时还有各轴运动之间关系。插补、补偿等的控制。这些控制是用插补计算出的理论位置与实际反馈位置比较后得到的差值，对伺服进给电机进行控制而实现的。这种控制的核心作用就是保证实现加工零件的轮廓轨迹，除点位加工外，各个轴的运动之间随时随刻都必须保持严格的比例关系。这一类数字量信息是由 CNC 系统(专用计算机)进行处理的，即“数字控制”。

另一类是数控机床运行过程中，以 CNC 系统内部和机床上各行程开关、传感器、按钮、继电器等的开关量信号的状态为条件，并按照预先规定的逻辑顺序，对诸如主轴的开停、换向，刀具的更换，工件的夹紧、松开，液压、冷却、润滑系统的运行控制。这一类控制信息主要是开关量信号的顺序控制，一般由 PLC(programmable logic controller 可编程逻辑控制器)来完成。

PLC 控制的虽然是动作的先后逻辑顺序，可它处理的信息是数字量“0”和“1”。所以，不管是 PLC 本身带“CPU”还是 CNC 系统的“CPU”来处理这些信号，一台数控机床确是通过计算机将第一类数字量信息和第二类开关量信息很好协调起来，实现正常的运转和工作。因此，“PLC”控制技术同样是数控技术的一个重要方面。而且对数控机床(包括其它机械设备)的工作情况分析理解得越透彻，设计的逻辑顺序也就越合理。这也是数控机床数控系统(计算机)与机床之间的接口。

可编程控制器(PLC)及其工作过程

在 PC 出现以前数控机床多采用传统的“继电器逻辑电路”(Relay Logic Circuit 简称 RLC)。RLC 将继电器、接触器、按钮、开关等机电式控制器件用导线连接而成的，以实现规定顺序控制功能的电路。在实际运用中，RLC 显现出一些突出的缺点如：只能解决开关量的简单逻辑运算，以及定时、计数等有限几种功能控制，难以实现较复杂的逻辑运算、算术运算、数据处理，以及数控机床所需要的许多特殊控制功能；修改控制逻辑则需要增减控制元器件和重新布线，安装和调试周期长，工作量大；继电器、接触器等器件较大，每个器件的工作触点有限。当机床受控对象较多，或控制动作顺序较复杂时，

需要采用大量的器件。因而整个 RLC 体积庞大、功耗高，可靠性差等。

PLC 由计算机简化而来，为适应顺序控制的要求，PLC 省去了计算机的一些数字运算功能，而强化了逻辑运算控制功能，是一种功能介于继电器控制和计算机控制之间的自动控制装置。PLC 具有计算机类似的一些功能器件和单元，如 CPU、存储器(存储系统控制程序 and 用户程序)、与外部设备进行数据通讯的接口及工作电源等。为与外部机器和过程实现信号传送，PLC 还具有输入、输出信号接口。PLC 有了这些功能器件和单元，即可用于完成各种指定的控制任务。

PLC 具有面向用户指令和专用于存储用户程序的存储器。适用于控制对象动作复杂，控制逻辑需要灵活变更的场合。用户程序多采用“梯形图”编辑。梯形图形象直观、工作原理易于理解和掌握。

PLC 可与专用编程机、编程器、甚至个人计算机等设备连接，可以很方便地实现程序的显、编辑、诊断、存储和传送等操作。PLC 没有继电器那种接触不良、触点熔焊、磨损和线圈烧断等故障，运行中无振动、无噪声，具有较强的抗干扰能力，可以在粉尘、高温、潮湿等条件较差的环境下稳定而又可靠地工作。PLC 结构紧凑、体积小、容易装入机床内部或电气箱内，使数控机床总体外观上形成机电一体化的结构。

数控机床上用的 PLC 目前大致有两种类型：一是专为实现数控机床顺序控制而设计制造的、从属于 CNC 系统、PLC 与 CNC 间的信息传送在 CNC 系统内部即可实现的内置型(BUILT-IN TYPE) PLC 另一种是那些输入 / 输出信号接口技术规范，输入 / 输出点数、程序存储容量，以及运算和控制功能均满足数控机床要求的独立型(Stand-alone Type) PLC。

PLC 的工作依靠两种程序：即系统管理程序和编译程序(或解释程序)，它由 PLC 厂家设计并固化到存储器中；面向用户生产过程的应用程序(Application Program)或用户程序(User Program)，也称 PLL 程序。为了适应不同控制信号的不同响应速度的要求，PLC 程序常分为高级程序和低级程序，PLC 处理高级程序和低级程序是按“定时分割周期”分段进行的。在每个定时分割周期高级程序都被执行一次，定时分割周期的剩余时间执行低级程序。故每个定时分割周期只执行低级的一部分，也就是说低级程序被分割成几等分。低级程序执行一次的时间是几倍的定时周期，高级程序愈长，每个定时周期能处理的低级程序量就少，这就增加了低级程序的分割数，PC 处理程序的时间就拖得的越长。因此，应尽量压缩高级程序的长度。通常只把窄脉冲信号以及必须传输到数控系统要求快速处理的信号编入高级程序。如紧急停止信号，外部减速信号，进给保持信号，倍率信号，删除信号，表面速度恒定控制用非触点输出信号等。

PMAC 开放式数控系统自带的 PLC 功能，其工作原理同于在工业控制领域应用广泛的 PLC，都是以循环扫描逻辑顺序控制程序来执行命令的。但它又不同于其它 PLC，它的编程方式不是其它 PLC 的梯图编程，而是采用类似于 BASIC 等高级语言的编程方式，无须专用编程器，更加灵活、方便，易于存储，打印观看和调试，并且其执行速度远超过普通 PLC。

PMAC 最多可以拥有 64 个 PLC，其中 32 个未编译的和 32 个以编译的（所谓编译就是指经过编译器编译后的 PLC 程序，其运行速度更快），这样容易实现模块化管理和调用。以下实验主要以未编译的 PLC 程序讲解。

在 32 个未编译的 PLC 程序中（程序号从 0 到 31），PLC0 是一个特殊的程序。它是在伺服中断周期结束后每隔参数 I8 指定的频率很快运行的一个小程序，这个程序不能大了，一旦大了，执行它会占用过多的 CPU 时间和其它资源，将影响到其它实时任务的执行。该程序只适合做一些实时性要求非常高的外部 I/O 的处理工作。

1、 PLC 程序的基本结构：

PLC 程序的基本结构和运动程序类似，但由于它们之间实现的功能不同，所以会存在一些差别，并且有一些指令只能在 PLC 程序中应用，在运动程序中是非法的，而另一些指令只能在运动程序中用。以下是一个 PLC 程序的基本结构。

```
CLOSE                ; 关闭其它程序缓冲区
DELETE GATHER        ; 删除数据采集缓冲区，以释放内存
OPEN PLC n           ; 打开 n 号 PLC 程序缓冲区
CLEAR                ; 清除原有内容
.....              ; 程序主体
.....
CLOSE                ; 关闭缓冲区
ENABLE PLC n         ; 运行 n 号 PLC 程序
```

2、 PLC 程序基本指令：

PLC 程序基本指令大部分和运动程序指令相同，但其中有关轴控制和运动指令是 PLC 所没有的，如运动模式指令等，还有如 CALL、GOSUB、GOTO 等程序调用及跳转指令在 PLC 程序中也不可用。但由于 PLC 程序是逻辑顺序程序，所以多出了一些逻辑运算指令，如 AND（与）、OR（或）等。

3、 PLC 程序 I/O 点映射关系：

在 PMAC 卡中，PLC 程序是通过访问 M 变量的方式来对 I/O 点进行操作的，而每个 M 变量都对应一个 PMAC 的内存地址位，这个位就是外部 I/O 点。在本系列教学设备中所用的 MINI-PMAC 有两个 I/O 口，分别是 J3 和 J5 口，提供了 16 入 16 出共 32 个点。但教学设备本身占用了 8 入 8 出个 I/O 点，留给用户的还有 8 入 8 出个 I/O 点，分别在控制面板上以按钮和指示灯表示。以下是 I/O 点的 M 变量映射表：

教学设备本身占用 I/O：

M1->Y:\$FFC4,0,1 ; 设备输出点 1，程序通过 M1 对其操作，M1 对应地址是 Y:\$FFC4 的第零位

M2->Y:\$FFC4,1,1 ; 设备输出点 2

M3->Y:\$FFC4,2,1 ; 设备输出点 3

M4->Y:\$FFC4,3,1 ; 设备输出点 4

M5->Y:\$FFC4,4,1 ; 设备输出点 5

M6->Y:\$FFC4,5,1 ; 设备输出点 6

M7->Y:\$FFC4,6,1 ; 设备输出点 7

M8->Y:\$FFC4,7,1 ; 设备输出点 8

M9->Y:\$FFC4,0,8,U ; PMAC 允许将所有输出点通过一个变量一起操作

M11->Y:\$FFC3,0,1 ; 设备输入点 1，程序通过 M11 对其操作，M11 对应地址是 Y:\$FFC3 的第零位

M12->Y:\$FFC3,1,1 ; 设备输入点 2

M13->Y:\$FFC3,2,1 ; 设备输入点 3
M14->Y:\$FFC3,3,1 ; 设备输入点 4
M15->Y:\$FFC3,4,1 ; 设备输入点 5
M16->Y:\$FFC3,5,1 ; 设备输入点 6
M17->Y:\$FFC3,6,1 ; 设备输入点 7
M18->Y:\$FFC3,7,1 ; 设备输入点 8
M19->Y:\$FFC3,0,8,U; PMAC 允许将所有输入点通过一个变量一起操作

以上 I/O 点由设备本身占用。

用户自定义 I/O:

M40->Y:\$FFC2,0,1 ; 输出点 1
M41->Y:\$FFC2,1,1 ; 输出点 2
M42->Y:\$FFC2,2,1 ; 输出点 3
M43->Y:\$FFC2,3,1 ; 输出点 4
M44->Y:\$FFC2,4,1 ; 输出点 5
M45->Y:\$FFC2,5,1 ; 输出点 6
M46->Y:\$FFC2,6,1 ; 输出点 7
M47->Y:\$FFC2,7,1 ; 输出点 8
M48->Y:\$FFC2,0,8,U ; PMAC 允许将所有输出点通过一个变量一起操作
M50->Y:\$FFC1,0,1 ; 输入点 1
M51->Y:\$FFC1,1,1 ; 输入点 2
M52->Y:\$FFC1,2,1 ; 输入点 3
M53->Y:\$FFC1,3,1 ; 输入点 4
M54->Y:\$FFC1,4,1 ; 输入点 5
M55->Y:\$FFC1,5,1 ; 输入点 6
M56->Y:\$FFC1,6,1 ; 输入点 7
M57->Y:\$FFC1,7,1 ; 输入点 8
M58->Y:\$FFC1,0,8,U; PMAC 允许将所有输入点通过一个变量一起操作

以上 I/O 点可由用户自己定义。

4、 PLC 的上下载操作、存储、执行及停止:

PLC 程序的上下载、存储方法和运动程序的一样,在此不再赘述。如果要执行 PLC 程序,必须将变量 I5 设置成相关的值,一般的将 I5 设置成 2 (即可以运行 PLC1-31,禁止运行 PLC0),PLC 程序的执行有几种方式:一是通过终端窗口发在线指令 ENABLE PLC n 来执行 n 号 PLC 程序或通过发出 DISABLE PLC n 来停止 n 号 PLC 程序;另外一种方式是将 PLC 程序存在 PMAC 卡上,设置好变量 I5,上电让该程序自动运行。

5、 PLC 编程注意事项:

条件语句的触发: 在 PMAC 中触发条件控制有两种机制---电平触发和边沿触发。电平触发是很容易实现的,如下例,让输入点 M51 来控制变量的增长:

```
IF (M51=1)
    P1=P1+1
```

ENDIF

如果输入为真，则 P1 将在每一次系统扫描到该处是增加一，即可能每秒增加数百次（视扫描时间长短而定，只有当输入为假时，P1 才停止增量）。但在很多情况下，你只希望在每次 M51 变为真时才让 P1 增加一次（即 M51 的上升沿触发）。如果需要这样，控制起来就会复杂一些。这就需要有一个复合条件来触发动作，作为条件的一部分，我们设置其中一个条件为假，这样在下次 PLC 扫描时该动作就不会发生。具体的办法是采用一个“影子变量”跟随输入量变化，只有影子变量和输入量不匹配时才动作，如下例：

```
IF (M51=1)
    IF (P51=0)      ; P51 是 M51 的影子变量，当它们不匹配时条件
                    ; 成立，触发动作
        P1=P1+1
        P51=1      ; P51 跟随 M51 为 1
    ENDIF
ELSE
    P51=0          ; 如果 M51 为 0，P51 也跟随它变成 0
ENDIF
```

依照上面的例子我们就可以实现边沿触发了。

WHILE 循环：一般的 PLC 程序在一次扫描中从头到尾执行一遍，但是如果程序中有一个条件为真的 WHILE 循环语句就不是这种情形了。这种情况下 PLC 执行过程如下：

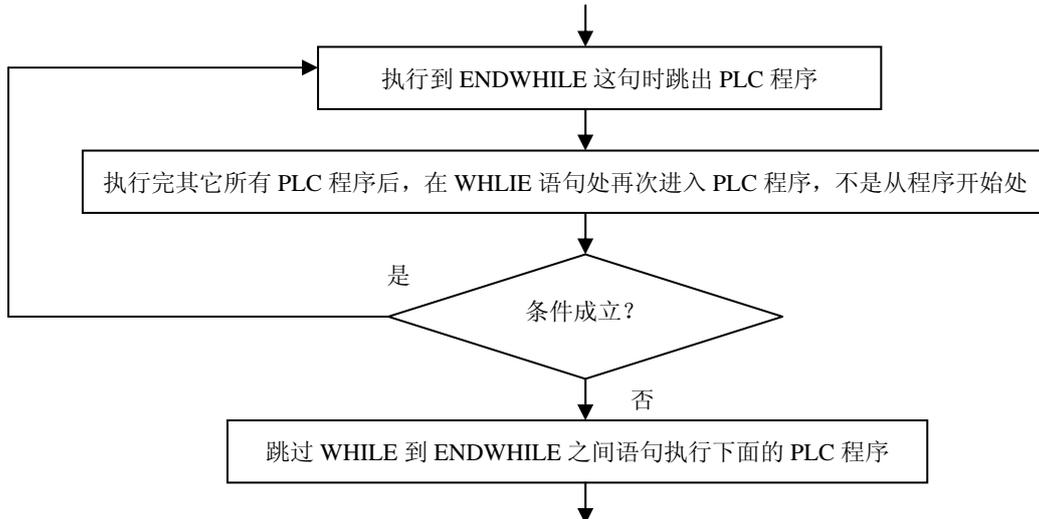


图 4-1

在 PLC 程序中精确定时：由于 PLC 程序是采用在后台循环扫描的方式执行命令的，所以每扫描一遍所花的时间并不一定相等，而且在 PMAC 卡中 PLC 程序的优先级最低，要在 PLC 中实现精确定时，就必须使用 PMAC 的内部计数器了。PMAC 提供 4 个可写入的 24 位计数器，它以伺服周期为单位，把你需要的时间写入这个变量（用户指定毫秒值 *8388608/I10）即可。这 4 个计数器在 PMAC 上的地址是 X: \$0700,Y: \$0700,X: \$0701,Y: \$0701，要使用它们需要定义一个 M 变量指向它如 M->X:\$0700,24,S，这之后你就可以写

入定时时间了 M70=50*8388608/I10（定时 50ms），PMAC 将进行递减记数。在以下的实验中你将看到示例。

四、注意事项

- 1、复习有关 PLC 的基本知识。
- 2、预习 PMAC 卡中 PLC 程序的编制方法。
- 3、注意不要使用 EM 教学设备系统自身占用的 PLC 号（1、2、3）编写程序。

五、实验内容及操作

- 1、将限位回零线、编码器线及电机动力线连接好，将机箱串口线连接到计算机上，接上电源线，打开电源开关。
- 2、调整笔架，使两电机回原点。
- 3、打开计算机，运行 PEWIN 执行软件。
- 4、在初始化设置完成后可以编辑程序，以下是一个 PLC 编程实验。

```
-----  
close  
m70->x:$0700,24,s           ; 定义定时器变量 M70  
-----  
open plc 4 clear  
if(m50=1andm51=0andm52=0andm53=0) ; 输入 1 有效时  
  if(p50=0)                   ; P50 是输入 M50 的影子变量，不匹配时触发下列程序运行  
    p50=1                     ; P50 跟随 M50 变化  
    p110=500                  ; 初始化定时计数器 500ms  
    m70=p110*8388608/i10  
    cmd"m40..43=1"           ; 打开输出 1、2、3、4  
    while(m70>0)             ; 若时间未到，PLC 在此做循环直到 M70 为 0，记数结束跳出  
    endwhile  
    cmd"m40..43=0"           ; 关掉输出 1、2、3、4（相当于延时 500ms 后关断）  
    cmd"m44..47=1"           ; 打开输出 5、6、7、8  
    m70=p110*8388608/i10    ; 重置定时时间  
    while(m70>0)  
    endwhile  
    cmd"m44..47=0"  
  endif  
else  
  if(p50=1)                   ; 输入 1 无效时  
    p50=0                     ; 影子变量跟随变化  
    cmd"m40..47=0"           ; 发出指令将输出 1 到 8 关断  
  endif  
endif
```

```

if(m51=1andm50=0andm52=0andm53=0)      ; 输入 2 有效
    if(p51=0)
        p51=1
        m40=1
        cmd"#1j+"          ; 一号电机正转
    endif
else
    if(p51=1)                ; 输入 2 无效
        p51=0
        m40=0
        cmd"#1j/"          ; 一号电机停止
    endif
endif
if(m52=1andm50=0andm51=0andm53=0)      ; 输入 3 有效
    if(p52=0)
        p52=1
        m41=1
        cmd"#1j-"          ; 一号电机反转
    endif
else
    if(p52=1)                ; 输入 3 无效
        p52=0
        m41=0
        cmd"#1j/"          ; 一号电机停止
    endif
endif
if(m53=1andm50=0andm51=0andm52=0)      ; 自动执行一段程序
    if(p53=0)
        p53=1
        cmd"&1b1r"
    endif
else
    if(p53=1)
        p53=0
        cmd"&1a"
    endif
endif
while(m53=1andm54=0andm55=0)          ; 以下为倍率修调
    p55=1p56=1p57=1

```

```

    if(p54=1)
        p54=0
        cmd"%100"
    endif
endwhile
while(m53=1andm54=1andm55=1)
    p54=1p56=1p57=1
    if(p55=1)
        p55=0
        cmd"%150"
    endif
endwhile
while(m53=1andm54=1andm55=0)
    p54=1p55=1p57=1
    if(p56=1)
        p56=0
        cmd"%50"
    endif
endwhile
while(m53=1andm54=0andm55=1)
    p54=1p55=1p56=1
    if(p57=1)
        p57=0
        cmd"%25"
    endif
endwhile
-----
close
-----

```

- 5、 下载该 PLC 程序。
- 6、 将变量 I5 设为 2，在终端窗口键入“ENABLE PLC4”运行该程序。
- 7、 自己拌动开关观察运行结果。

六、实验结果分析

- 1、 记录实验程序运行结果。
- 2、 查看指示灯闪烁时间是否精确。
- 3、 填写实验报告。

七、思考题

- 1、 怎样在线执行一个 PLC 程序和自动运行一个 PLC 程序？
- 2、 PMAC 中 PLC 程序的条件触发有哪几种，分别如何编程？
- 3、 照 EM 教学设备控制面板的功能编制一个和它实现同样功能的 PLC 程序（但用的是输入输出是用户子定义的 I/O 口即 M40-47， M50-57）

实验二 数控铣床的调整与三维加工的应用

一、 实验目的

- 1、通过实验了解 SKX9630 数控铣床结构、调整过程；
- 2、了解数控铣床的手工编程及加工方法。

二、 实验设备、仪器及工件材料

- 1、SKY9630 数控铣床一台；
- 2、SKY2000—1 型数控系统控制柜；
- 3、打印机、计算机；
- 4、工件材料 45#钢板或电路胶木板若干；
- 5、棒铣刀、打印纸。

三、 实验内容及方法

对现场的 SKY2000—1 型数控铣床进行结构讲解和分析，根据机床说明书和 SKY2000—1 型数控系统使用手册，对数控铣床进行调整，手工编制一段数控代码的程序，然后进行加工一个工件，了解机床的运动及操作方法，控制系统的使用方法。

四、 实验步骤

- 1、讲解机床的结构及性能、用途和特征；
- 2、SKY 数控系统的概述及构成；
- 3、手工编程的方法及加工操作过程

1、SKY9630 数控铣床系轻型、台式、多功能钻铣床，具有钻铣的功能。适用于金属及其它材料的钻铣削等加工。可用来钻孔、铣平面、铣键槽等。与其它同类型铣床比较，具有纵、横向行程大的特点，广泛用于学校、科研单位，也可用于机械加工，制造摸具实验装置等。

机床的结构及性能如下：

机床由底座、拖板、工作台、立柱升降拖板、铣削头、电机等主要部分组成。

主要性能与参数如下：

铣削时：

| | |
|--------------|-----------------------|
| 工作台面宽度 | 300mm； |
| 工作台面长度 | 1000mm； |
| 工作台横向行程 | 280mm； |
| 工作台纵向行程 | 540mm； |
| 铣头在垂直平面内回转角度 | 45° |
| 主轴套行程 | 80mm； |
| 主轴锥孔 | MT3#； |
| 电机 | X、Y 向 500W、Z 向 1000W； |

机床操作主要有如下内容：

- (1) 工作台纵向进给与锁紧
- (2) 工作台横向进给与锁紧
- (3) 铣头升降与锁紧
- (4)

主轴套进给与锁紧 (5) 主轴变速 (6) 铣头偏转一定角度及铣削时拉紧工具链柄。

2、SKY 数控系统概述及构成如下：

南京四开公司于一九九四年推出了 SKY 数控系统，是国内最先在 CPU 平台上开发出的拥有自主版权的数控系统，一直以来被推为国家重点高新技术产品之一。构成有显示装置、键盘及鼠标。其操作说明如下：

一、显示装置

SKY 数控系统的显示装置由 14CRT 彩色显示器和 SKY 专用按钮共同组成。如图 1 所示：

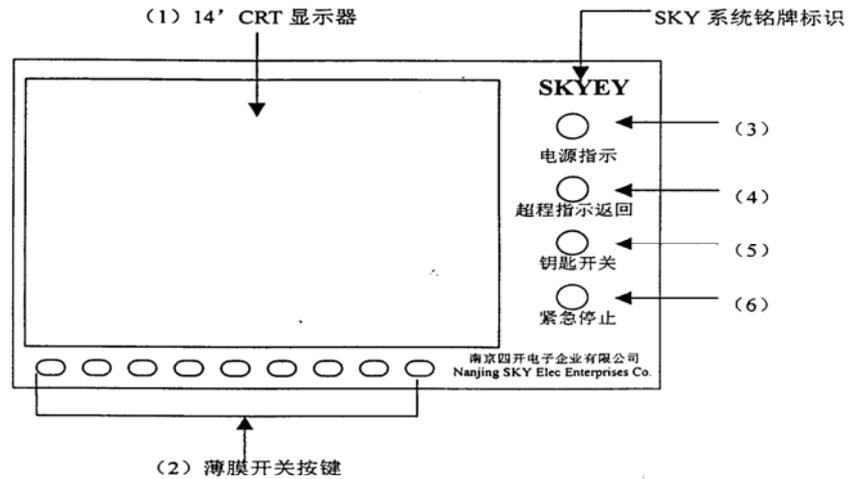


图 1 显示装置外观

(2) 键盘设定及鼠标运用

PC 通用键盘是 SKY 数控系统用作信息输入输出的设备之一，其中设有系统专用的功能操作键。在启动并进入 SKY 控制系统后（即计算机显示出数控界面时），键盘上的 F1、F2、F3、F4、F5、F6、F8、F9、F10、F11、F12 以及各个界面中的主键盘上的数字键、PageUp、PageDown、Insert、Delete、ESC 键等均设有特定的意义：

F1：自动方式，F2：手轮方式，F3 手动方式，F4：反参方式，F5：管理方式，F6：程序运行键，F8：程序单步运行键，F9：程序暂停键，F10：隐藏窗口，F11：视频监控，F12：退出系统。

(3) 操作方式及功能阐述

系统启动及关闭：

SKY 数控系统：

机床和系统上电结束后，计算机在自动进入 windows 操作画面后，会顺利进入 SKY 数控操作系统，出现数控系统操作主菜单，如图 1 所示，这一系统主菜单将一直显示在屏幕的上方。用鼠标点击即可操作使用。

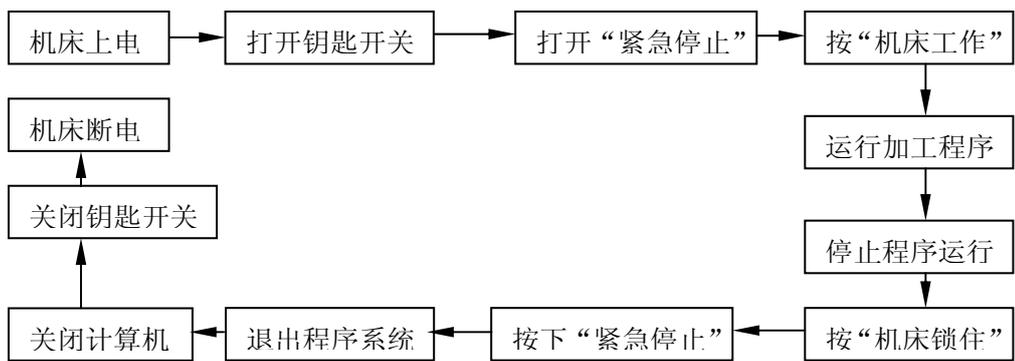


图 2 数控系统开关机操作顺序框图

(4) 手工编程及加工

程序分为主程序和子程序。通常情况下，NC 按主程序的指令执行，当主程序上有[转子程序]的指令时，则进入子程序并按其指令移动。

例：01 CNC（注：文件名第一位是字母“0”而不是数字零，切记）

```

01:
N1 G92 X0 Y0 Z0;
N2 G00 Y15 X0;
N3 G01 Z-10 F30;
N4 X15 Y0 F100;
N5 Y-15 X0;
N6 X-15 Y0;
N7 Y15 X0;
N8 Z-10 F500;
N9 M98 P1111 L2;
N10 X0 Y0 Z0;
N11 M02;
: 01111;
N1 G02 X-15 Y0 F100;
N2 M99;
  
```

说明：01 为主程序，01111 为子程序，主程序和子程序应同在一个文件中；

程序段：

程序由多个指令组成，程序中一个指令单位称为程序段。

程序字：

构成程序段的要素是程序字，其符号代表如下：

N—顺序号 G—功能代码 X、Y 坐标字 F—进给功能 S—主轴功能 T—刀具功能
M—辅助功能。

加工过程如下：1、安装工件，调好刀具，按使用手册的说明启动机床，输入编程文件，进行加工。