



21 世纪自动化技术实验教程系列

机电一体化 原理与技术

固高科技（深圳）有限公司

先进教学设备与系统事业部 编著

2002 年 4 月

前言

机电一体化是利用计算机的信息处理功能对机械进行各种控制的技术。可以毫不过分的说，当今世界上各种灵巧便利的机械，都是基于机电一体化技术制造的。此外，机电一体化技术在家用电器、各种车辆、医疗器械、工厂、游乐园等各种领域、场所都得到了广泛的应用。

现在，中国正在经历着前所未有的巨大变革。中国在进行改革开放的 20 多年里，适逢以电子制造业为基础的信息产业迅速发展，媒体不厌其烦的宣传中国面向信息产业的人才培养滞后，因此出现了现在接受高等教育的优秀青年不约而同地选择信息和计算机科学，而使本来就基础薄弱的制造业更加呈现人才不足的危险状况。这样一来，硬件技术和软件技术的不平衡，必将导致对两者都不利的严重后果。

为了适当扭转这种局面，必须使接受高等教育的学生理解机电一体化，并对其有兴趣。在此基础上，在进一步研究和提高制造技术，这就是本教材的编写目的。

目 录

实验一 机电一体化系统的组成和实验系统的基本操作	1
实验目的: 了解机电一体化系统的特点、基本组成和应用实例, 掌握实验平台系统的基本操作。	1
基础知识: 介绍“机电一体化”的定义、系统基本特点和基本组成, 讨论机电一体化系统的规划和设计方法。	1
实验设备:	2
实验步骤:	3
实验总结:	4
实验二 电机与驱动(执行)装置使用、维护和调整实验	5
实验目的: 了解目前工业上常用的几种电机与驱动装置的构造和使用方法, 掌握其各自的特点、性能和选用方法。	5
知识回顾: 步进电机和驱动装置、直流伺服电机及其驱动装置、交流伺服电机及其驱动装置、直线电机及其驱动装置的基本原理和特点	5
实验设备:	6
实验步骤:	6
实验总结:	8
实验三 机电一体化系统的传感器选型与应用实验	10
实验目的: 了解位置型传感器的基本概念, 掌握几种常用位置型传感器(电位器和增量编码器)的使用方法和信号处理方法。	10
基础知识: 数字增量编码器的角度测量原理、模拟电位器的角度测量原理, 以及数字和模拟测量信号的处理方法。光栅尺和直线型位移电阻器的原理和应用。	10
实验设备:	11
实验步骤:	11
实验总结:	11
实验四 机电一体化系统核心—运动控制器的选型和应用	12
实验目的: 了解运动控制器的工作原理和组成模块, 掌握固高运动控制器的基本特点、使用方法和选用技巧。	12
理论回顾: 开环控制系统和闭环控制系统, 运动控制器与伺服系统的匹配等。 ..	12
实验设备:	13
实验步骤:	13
实验总结:	14
实验五 运动控制器的调整—数字滤波器的基本控制作用	15
实验目的: 了解数字滤波器的基本控制作用, 掌握调整数字滤波器的一般步骤和方法。	15
基础知识: 控制系统的基本控制作用(P、I、D)和响应, 积分和微分控制作用对控制系统性能的影响。	15
实验设备:	15
实验步骤:	16
实验总结:	16
实验六 插补原理和实现实验—运动控制器的编程	17
实验目的: 了解直线插补、圆弧插补原理和实现方法。通过利用运动控制器基本控制指令实现直线插补和圆弧插补, 掌握运动控制卡的编程方法。	17

理论回顾: 直线插补和圆弧插补(逐点比较法)的计算原理。	17
实验设备:	19
实验步骤:	19
实验总结:	20
实验七 基于 DSP 的插补技术—运动控制器的高级编程	21
实验目的: 了解运动控制器的底层插补算法, 掌握面向工业应用的运动控制技术和方法。	21
理论回顾: 采用基本点位运动控制指令进行直线和圆弧插补存在很大的局限性, 为了满足工业应用的需求, 需要开发高速插补算法。	21
实验设备:	21
实验步骤:	21
实验总结:	22
实验八 数控代码编程实验	23
实验目的: 了解从运动控制器的基本控制指令到数控代码库的实现过程, 掌握固高运动控制器的数控代码库的使用方法。	23
理论回顾: 数控编程的基本知识, 利用运动控制器实现数控编程的方法, 基本数控指令的说明。专用数控系统的编程方法。	23
实验设备:	26
实验步骤:	26
实验总结:	27

以上实验内容: 课内 30 学时, 课外也需 30 学时左右。

所需仪器设备硬件:

 GXY 标准伺服运动平台(含笔架)一套(配松下交流伺服电机)

 GXY 标准步进运动平台(含笔架)一套(配四通步进电机和驱动)

 GT-400-SV 运动控制器一块(带 AD 接口), 配模拟控制接口连接电缆两根

 GT-400-SG 运动控制器一块, 除步进电机控制连接电缆外, 另配数字交流伺服接口电缆两根。

 电位器、连轴器和安装法兰等一套

 增量码盘、连轴器和安装法兰等一套

所需软件:

 SV, SG 标准运动函数库和演示软件

 BC、VC 或 VB 开发环境

 基于 SG 的 G 代码函数库和编译环境

 专用实验软件

所需工具:

 内六角扳手一套, 数字示波器一个

实验一 机电一体化系统的组成和实验系统的基本操作

实验目的：了解机电一体化系统的特点、基本组成和应用实例，掌握实验平台系统的基本操作。

基础知识：介绍“机电一体化”的定义、系统基本特点和基本组成，讨论机电一体化系统的规划和设计方法。

机电一体化（mechatronics）一词是机械和电子两个词的合成词，20 世纪 70 年代中期由日本首先开始使用，很快便得到欧美各国的普遍认同，并得到广泛使用。但迄今为止，其精确定义尚不明确，但从广义上可简要概括为“机械工程与电子工程相结合的技术，以及应用这些技术的机械电子装置”。表 1-1 是根据该定义对机电一体化应用的分类和举例。

表 1-1 机电一体化实例

应用	举例
原来由机械机构实现动作的装置，通过与电子技术相结合来实现同样运动的新的装置。	发条式钟表 -> 石英钟表 手动照相机 -> 自动（微机控制）照相机 机械式缝纫机 -> 电动（电子式）缝纫机 机械式调速器 -> 电子式调速器
原来由人来判断决定动作的装置变为无人操作的装置	自动售货机，自动出纳机（ATM），自动售票机，邮局自动分检机，无人仓库，船舶和飞机的自动导航装置等。
按照人编制的程序来实现灵活动作的装置	数控机床，工业机器人，智能机器人，各种机器人等

如上所述，机械工程学科和电子工程学科是机电一体化的两个支柱。但除此之外，机电一体化还是控制工程和信息工程学科等的多学科综合技术。图 1-1 是构成和支撑机电一体化的学科和技术。

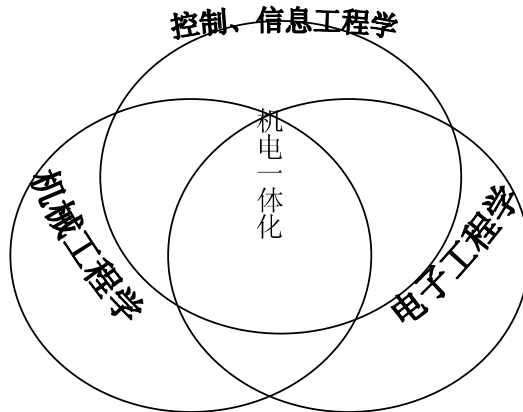


图 1-1 机电一体化学科的构成

采用机电一体化技术设计和制造的产品和系统具有以下几个方面的特点：

- 体积小、重量轻：由于半导体与集成电路技术的提高和液晶技术的发展，使得控制装置和测量装置可以做成原来重量和体积的几分之一甚至几十分之一，迅速向轻型化和小型化发展。
- 速度快、精度高：随着电路集成度的不断提高，处理速度和响应速度也迅速提高，使机电一体化装置总的处理速度能够充分满足实际应用的需要。
- 可靠性高：由于激光和电磁应用技术的发展，传感器和驱动控制器等装置已采用非接触式代替了接触式，避免了原来机械接触存在的注油、磨损、断裂等问题，使可靠性得到大幅度提高。
- 柔性好：机电一体化系统通常可以通过改变计算机软件就可以实现最佳运动，并增加新的运动，具有很强的可扩展性。

机电一体化系统的组成如图 1-2 所示，大致可分为四个组成部分：

1. 机械部分：像数控工作台和机器人那样实现目标轨迹和动作。
2. 执行装置：将信息转化为力和能量，以驱动机械部分运动。
3. 传感器：用于对输出端的机械运动结果进行测量、监控和反馈。
4. 控制装置：对机电一体化系统的控制信息和来自传感器的反馈信息进行处理，向执行装置发出动作指令。

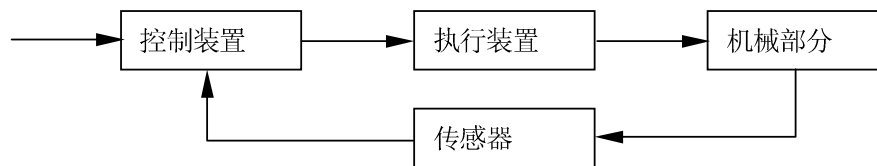


图 1-2 机电一体化系统的组成

机电一体化系统的规划和设计方法因操作目的不同而千差万别，但作为共性问题需要对以下几个方面进行讨论。

- 认真分析系统操作目的，确定系统操作功能。
- 根据系统操作功能，确定系统的动作机构，和运动组合顺序。
- 确定操作力的大小和方向，并据此确定动力源和驱动装置。
- 选择并确定控制监测所需要的各种传感器。
- 确定控制算法和控制系统：用框图或者流程图来表达所要控制的目标。
- 对上述 2、3、4、5 项，进行机械、电气、硬件和软件的设计。对材料强度、结构体积和重量进行校验，并进行软件编制。
- 必要时进行模拟仿真，对算法和系统进行检验。
- 进行产品制造和订货采购。
- 进行精加工、装配和调试。

实验设备：

- 标准 GXY-1010 步进工作台一套
- 标准 GXY-1010 伺服工作台一套（数字控制方式连接）
- GT-400-SG 板卡一块
- PC 机一台

XY 工作台是许多数控加工设备和电子加工设备（目前最为典型的机电一体化系统）的基本部件，如：数控车床的纵横向进刀装置、数控铣床和数控钻床的 XY 工作台、激光加工设备工作台，表面贴装设备等。因此，采用 XY 工作台作为机电一体化教学装置，具有现实和普遍意义。

GXY 系列工作台集成有 4 轴运动控制器、电机及其驱动、电控箱、运动平台等部件。各部件全部设计成相对独立的模块，便于面向不同实验进行重组。机械部分是一个采用滚珠丝杠传动的模块化十字工作台，用于实现目标轨迹和动作。为了纪录运动轨迹和动作效果，专门配备了笔架和绘图装置。本平台采用的滚珠丝杠和导轨全部由南京工艺装备厂生产。执行装置根据驱动和控制精度的要求可以分别选用交流伺服电机，直流伺服电机和步进电机。直流伺服电机具有起动转矩大、体积小、重量轻、转矩和转速容易控制、效率高的优点。但维护困难，使用寿命短，速度受到限制。交流伺服电机具有高速，高加速度，无电刷维护，环境要求低等优点，但驱动电路复杂，价格高。一般伺服电机和驱动器组成一个速度闭环控制系统，用户则根据需要可通过运动控制器构造一个位置（半）闭环控制系统。步进电机不需要传感器，不需要反馈，用于实现开环控制；步进电机可以直接用数字信号进行控制，与计算机的接口比较容易；没有电刷，维护方便、寿命长；启动、停止、正转、反转容易控制。步进电机的缺点是能量转换效率低，易失步（输入脉冲而电机不转动）等。GXY-1010 步进工作台的执行装置为步进电机，GXY-1010 伺服工作台的执行装置为交流伺服电机。交流伺服电机通常采用日本松下下的产品，而步进电机则采用的是北京四通电机的产品。当采用交流伺服电机作为执行装置时，安装在电机轴上的增量码盘充当位置传感器，用于间接测量机械部分的移动距离，如果要直接测量机械部分移动位移，则必须额外安装光栅尺等直线位移测量装置。控制装置由 PC 机、GT-400-SG 运动控制卡和相应驱动器等组成。运动控制卡接受 PC 机发出的位置和轨迹指令，进行规划处理，转化成伺服驱动器可以接受的指令格式，发给伺服驱动器，由伺服驱动器进行处理和放大，输出给执行装置。控制装置和电机（执行装置）之间的连接示意如下图 1.3 所示：

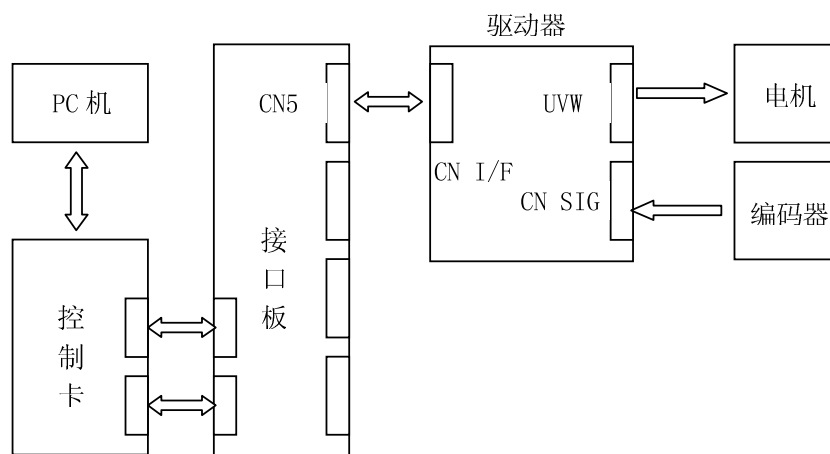


图 1.3 运动控制器（半）闭环控制连接示意图

实验步骤：

感性认识 GXY 系列实验工作台的各组成部分：

- 在未连线情况下：
 1. 指出电机（编码器）、联轴器、导轨、丝杠、限位开关等部件；
 2. 认识固高科技 GT400 运动控制卡；

3. 在教师指导下打开电控箱盖：认识电机驱动器和 GT400 端子板。
4. 认清各信号线的来源及去向；
5. 将电控箱盖重新装好。
6. 照《GXY 系列运动平台用户使用手册》的说明安装板卡。对于 ISA 接口的控制卡，要设置正确的基地址。
7. 照《GXY 系列运动平台用户使用手册》的说明将电控箱与控制卡、控制箱与平台本体的连线连接好。
8. 打开微机，安装运动控制卡驱动程序，拷贝相关软件。
9. 检查接线是否正确，确认无误后，给电控箱上电。
10. 照《GT400 运动运动控制器用户使用手册》的说明测试系统：
 - ◆ 如果系统所配板卡为 ISA 总线卡，执行 GTCmdISA.exe 程序，进入应用程序之后，根据运动控制器使用说明操作 XY 平台。
 - ◆ 如果系统所配板卡为 PCI 总线卡，执行 GTCmdPCI.exe 程序，进入应用程序之后，根据运动控制器使用说明操作 XY 平台。

注意事项：

1. 进行连接前，请先确认（断路器），主电源开关处于断开状态。
2. 系统上电，进入控制程序后，先手工测试限位开关是否有效：用小块挡片去遮挡光电开关，看控制程序所示的限位状态是否正确。
3. 实验时应先从低速开始，再将速度慢慢提高。

实验总结：

- 1、列举其它机电一体化系统的实例。
- 2、用框图将 GXY 实验工作台系统的结构表示出来。并列举主要部件。
- 3、叙述 GXY 实验系统连接及软件的操作步骤。

实验二 电机与驱动（执行）装置使用、维护和调整实验

实验目的：了解目前工业上常用的几种电机与驱动装置的构造和使用方法，掌握其各自的特点、性能和选用方法。

知识回顾：步进电机和驱动装置、直流伺服电机及其驱动装置、交流伺服电机及其驱动装置、直线电机及其驱动装置的基本原理和特点

执行装置就是“按照电信号指令，将来自电、液压和气压等各种能源的能量转换成旋转运动、直线运动等方式的机械能的装置”。按利用的能源分类，可将执行装置大体分为电动执行装置、液压执行装置和气动执行装置。在电动执行装置中，有直流电机、交流电机、步进电机和直接驱动电机等实现旋转运动的电动机，以及实现直线运动的直线电机。电动执行装置由于其能源容易获得，使用方便，所以得到了广泛的应用。本实验主要介绍电动执行装置的原理和特点。

直流电机等电动执行装置，都是由电磁力来产生直线驱动力和旋转驱动力矩的，其基本工作原理相同。根据电磁感应原理可知，电机所产生的转矩与电流的大小成正比。在机电一体化系统中，目前最为常用的电动执行装置有：直流伺服电机、交流伺服电机、步进电机与直接驱动电机等。

表 2-1 总结了各种电机的不同的特性、工作原理与控制方式等。

电机类型	主要特点	构造与工作原理	控制方式
直流伺服电机	只需接通直流电即可工作，控制特别简单； 启动转矩大、体积小、重量轻、转速和转矩容易控制、效率高 需要定时维护和更换电刷，使用寿命短、噪声大。	由永磁体定子、线圈转子、电刷和换向器构成。通过电刷和换向器使电流方向不断随着转子的转动角度而改变，实现连续旋转运动	转速控制采用电压控制方式，因为控制电压与电机转速成正比。 转矩控制采用电流控制方式，因为控制电流与电机转矩成正比。
交流伺服电机	没有电刷和换向器，不需维护，也没有产生火化的危险； 驱动电路复杂，价格高；	按结构分为同步电机和异步电机，转子是由永磁体构成的为同步电机，转子是由绕组形成的电磁铁构成的为异步电机。无刷直流电机，结构与同步电机相同，特性与直流电机相同。	分为电压控制和频率控制两种方式。异步电机通常采用电压控制方式。
步进电机	直接用数字信号进行控制，与计算机的接口比较容易；没有电刷，维护方便、寿命长；启动、停止、正转、反转容易控制。步进电机的缺点是能量转换效率低，易失步等	按产生转矩的方式可分为永磁体式（PM），可变磁阻式（VR），和混合式（HB）。PM 式产生的转矩较小，多用于计算机外围设备和办公设备；VR 式能够产生中等转矩，而 HB 式能够产生较大转矩，因此应用最广	单相励磁：精度高，但易失步； 双相励磁：输出转矩大，转子过冲小，常用方式，但效率低； 单-双相励磁：分辨率高，运转平稳。

实验设备:

- 标准 GXY-1010 步进工作台一套
- 标准 GXY-1010 伺服工作台一套（数字控制方式连接）
- GT-400-SG, SV 板卡各一块
- PC 机一台

GXY 系列步进平台选用的步进电机和驱动器为北京四通电机公司的产品。以 GXY1010 为例：驱动型号为 SH-20503，电机型号为 57BYG250E-0302，该电机为混合式 2 相步进电机，步距角 0.9/1.8 度，静转矩 1.5Nm，其矩频特性见图 2-1，接线方式见图 2-2。

57BYG250E-xxxxL-0302

- 驱动方式：双极恒流
- 步距角：1.8°
- 接线方式：高速方式

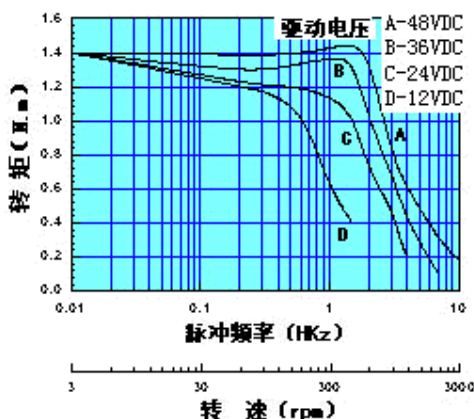


图 2-1 步进电机矩频特性曲线

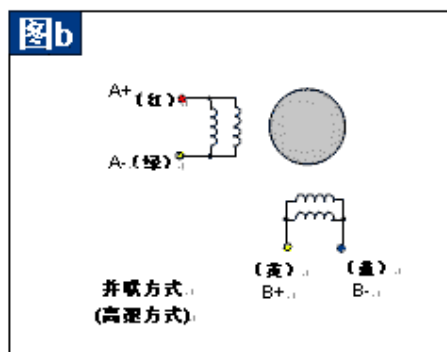


图 2-2 步进电机接线图

GXY 系列伺服平台选用的交流伺服电机为松下 MINAS A 系列交流伺服电机。该系列电机属于直流无刷电机，角度传感器为光电码盘，直接安装在电机转子上，与配套提供的驱动器构成闭环控制系统，提供位置控制、速度控制和转矩控制三种控制方式（通过驱动器参数设定，并修改相应连线）。以 GXY-1010 为例：配用电机型号为 MSMA022A1C，该电机为小型小惯量电机，配 11 线 2500P/r 增量式编码器，功率：200W，额定转速：3000r/min，额定转矩：0.64Nm，最大转矩 1.91Nm。电机匹配驱动器为 MSDA023A1A 型驱动器。驱动器内有各种参数，借助这些参数可以调整或设定驱动器的性能或功能。关于参数的说明和设定方法请参见《Panasonic 交流伺服电机驱动器 MINAS A 系列使用说明书》。

实验步骤:

注意：在下列实验过程中，切勿带电插拔任何电缆！

利用 GXY 系列平台，在实验时将电机与传动丝杆脱开（松开联轴器）。对步进驱动系统，进行电机与驱动的接线、步进电机调速、最高启动频率测定、正反转、脉冲当量测定等实验；对交流伺服驱动系统，进行伺服驱动器组合和接线、基本操作、速度环调整、位置环调整、自动调整、数字控制等实验。

步进电机控制实验

1. 松开联轴器，将电机与传动丝杠脱开。
2. 打开电控箱。
3. 根据步进电机接线图和步进驱动器接口说明检查步进电机和驱动器的连接方式。
4. 进入 SG 卡调试窗口，根据运动控制卡演示软件使用说明进行电机调速实验：在 T 曲线下，调整速度和加速度，观测步进电机对这两个参数的响应，理解步进电机主要参数特性（最大空载启动频率、空载运行频率（最大响应频率）等）在运行过程中的具体体现，并对电机的脉冲当量进行测定。

交流伺服系统位置控制实验

1. 松开联轴器，将伺服电机与传动丝杠脱开，同时打开电控箱盖。
2. 根据主回路接线原理图（图 2-3）检查安装在电控箱内的驱动器的各连接电缆，记录驱动器各个接口的名称和符号，以及与这些接口连接的电缆和部件。
3. 给电控箱上电，用 JOG 功能（只有电机和驱动器在运转）进行试运行。步骤参见《Panasonic 交流伺服电机驱动器 MINAS A 系列使用说明书》P51。试运行完毕后，给电控箱断电。
4. 将驱动器 CN I/F 口与 GT-400 控制器接口（端子板，安装在电箱后盖上）之间连接电缆拔下，对照接线图（图 2-4）检查该电缆的连接方式和插头之间的信号对应关系。重新安装好电缆，给电控箱上电。注意：切勿带电插拔！
5. 设置控制方式为位置控制方式：按“SET”切入参数设定，将“PA 02”参数设置成“0”；
6. 将“PA 42”参数设置成“3”；并把所设参数保存到 EEPROM 中。
7. 按照《Panasonic 交流伺服电机驱动器 MINAS A 系列使用说明书》P58 页的步骤对电机进行“常规自动增益调节”。
8. 从控制器（通过 PC）送一个位置脉冲信号到驱动器，使电机运行在低速，核查当指令停止时，电机是否停止在目标位置。
9. 采用 GT-400-SG 控制器界面对电机进行数字控制测试。其中脉冲控制按“D 模式”控制。
说明：将“PA 42”参数设置成“1”时；运动控制卡的脉冲控制按“P 模式”控制。

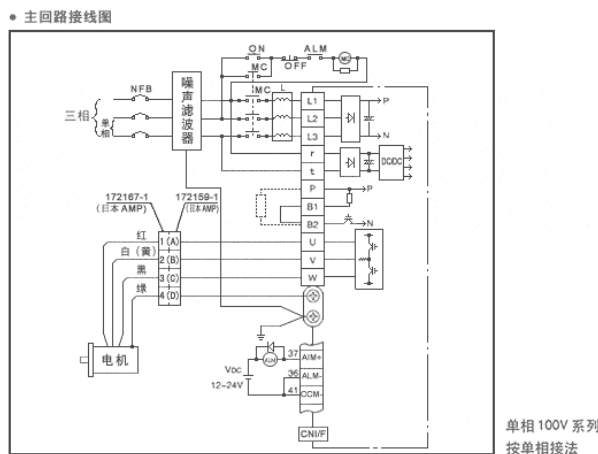


图 2-3：主回路接线原理图

交流伺服系统速度控制实验

1. 将计算机断电，将 GT-400-SV 控制卡插到计算机中，进行相应电缆连接。给计算机上电。
2. 将驱动器 CN I/F 口与 GT-400 控制器接口（端子板，安装在电箱后盖上）之间连接电缆拔下，对照接线图（图 2-5）检查该电缆的连接方式和插头之间的信号对应关系。重新安装好电缆，给电控箱上电。
3. 设置控制方式为速度控制方式：按“SET”切入参数设定，将“PA 02”参数设置成“1”；
4. 并把所设参数保存到 EEPROM 中。
5. 在开环情况下，从控制器（通过 PC）送一个电压信号到驱动器，从 0 开始逐渐增加电

- 压，观察电机转动和相应的速度变化。置指令电压为 0，看电机是否停止。
- 按照《Panasonic 交流伺服电机驱动器 MINAS A 系列使用说明书》P58 页的步骤对电机进行“常规自动增益调节”。
 - 采用 GT-400-SV 控制器界面对电机进行闭环控制测试。

说明：将一个 0 电压信号到驱动器时，若电机仍在转动，则说明有零漂，要设置驱动器的“PA52”参数，直至发一个 0 电压信号到驱动器时，电机不转。

说明：在闭环有零漂，可用 GT_SetMtrBias() 函数设置输出零点偏移值。

注意事项：

- 对电机控制的接线要认真检查（每实验小组内部互查），确保接线无误。
- 实验中电机必须与负载分离，进行空载实验。
- 实验完成后，要尽量把驱动器原参数改回。并把硬件复位。

实验总结：

- 根据实验结果等，进一步给出步进电机驱动和交流伺服驱动的特性和各自的应用场合。
- 指出步进电机的最大空载启动频率、空载运行频率等参数在电机运行中的体现，并计算出脉冲当量。
- 简述交流伺服驱动（位置、速度）两种控制方式的区别及其特点。并画出控制框图。
- 掌握简单交流伺服驱动器参数调整的方法，列出位置、速度两种控制方式的主要参数。

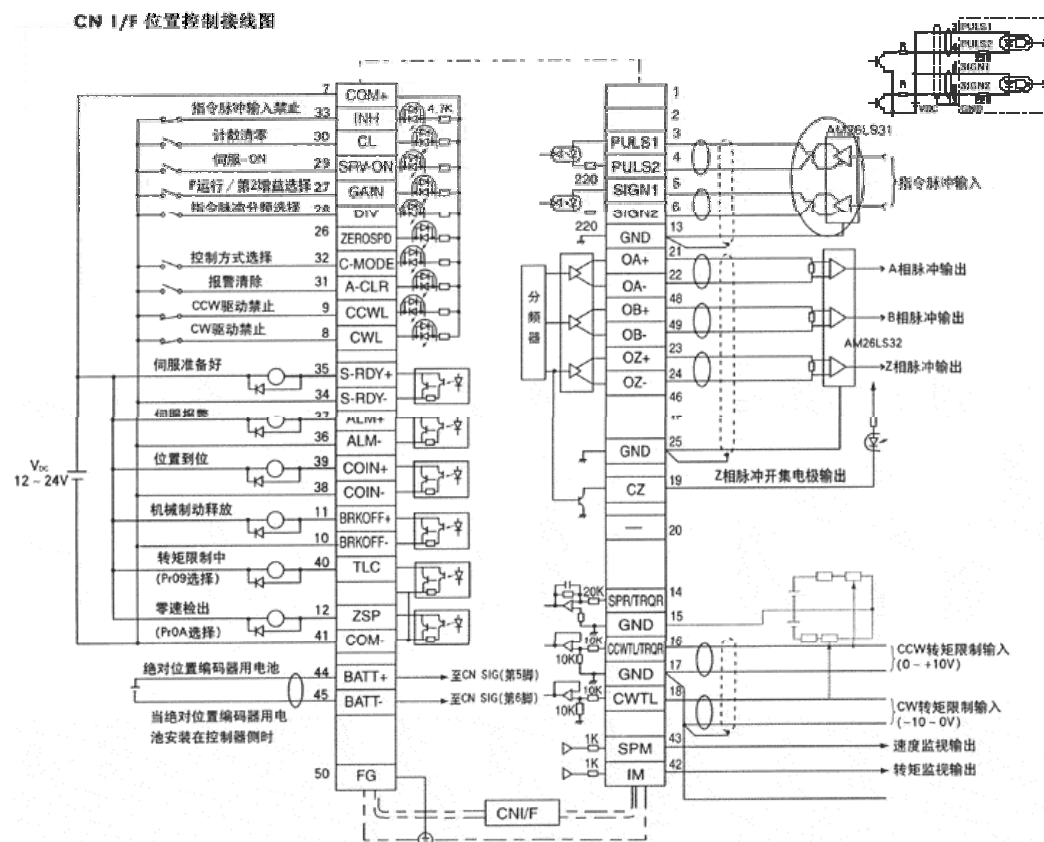


图 2-4: CN I/F 位置控制接线图

CN I/F 速度控制接线图

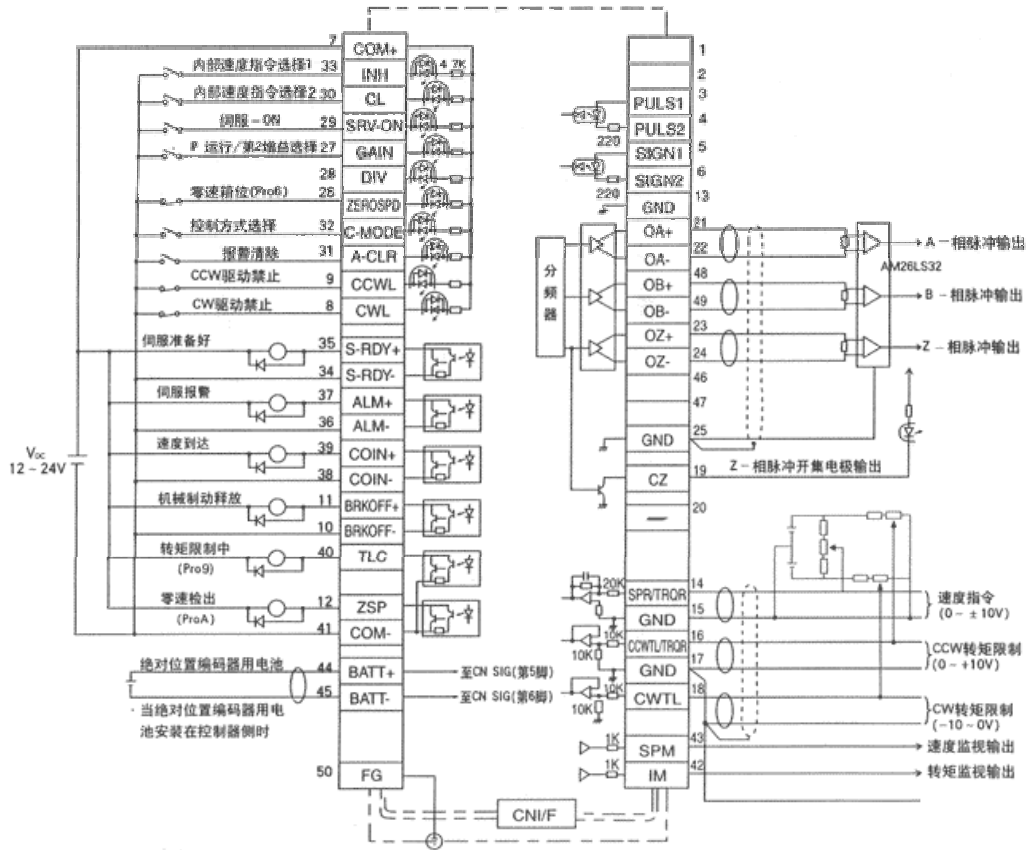


图 2-5: CN I/F 速度控制接线图

实验三 机电一体化系统的传感器选型与应用实验

实验目的：了解位置型传感器的基本概念，掌握几种常用位置型传感器（电位器和增量编码器）的使用方法和信号处理方法。

基础知识：数字增量编码器的角度测量原理、模拟电位器的角度测量原理，以及数字和模拟测量信号的处理方法。光栅尺和直线型位移电阻器的原理和应用。

旋转编码器是一种角位移传感器，它分为光电式、接触式和电磁感应式三种，其中光电式脉冲编码器是闭环控制系统中最常用的位置传感器。

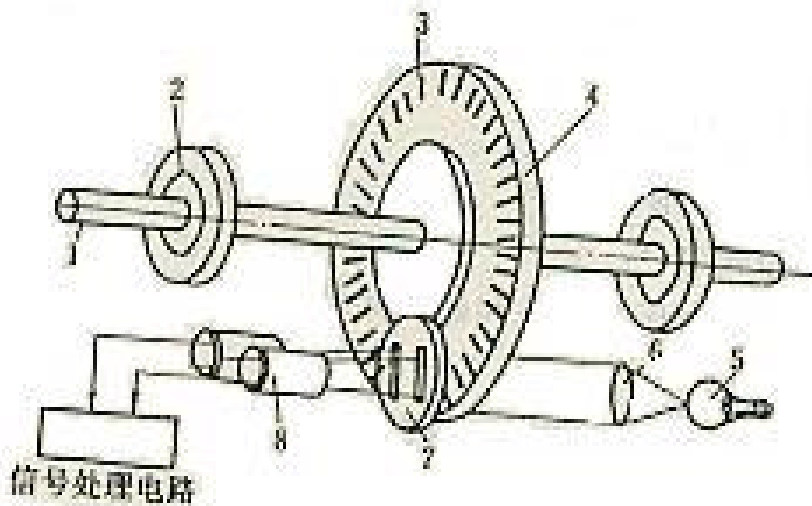


图 3-1 编码器示意图

旋转编码器有增量编码器和绝对编码器两种。图 3-1 为光电式增量编码器示意图，它由光源 5、聚光镜 6、光电码盘 4、光栅板 7、光敏元件 8 和信号处理电路组成。当码盘随工作轴一起转动时，光源通过聚光镜，透过光电码盘和光栅板形成忽明忽暗的光信号，光敏元件把光信号转换成电信号，然后通过信号处理电路的整形、放大、分频、记数、译码后输出。为了测量出转向，使光栅板的两个狭缝比码盘两个狭缝距离小 $1/4$ 节距，这样两个光敏元件的输出信号就相差 $\pi/2$ 相位，将输出信号送入鉴向电路，即可判断码盘的旋转方向。

光电式增量编码器的测量精度取决于它所能分辨的最小角度 α （分辨角、分辨率），而这与码盘圆周内所分狭缝的条数有关。

$$\alpha = \frac{360^\circ}{\text{狭缝数}}$$

由于光电式脉冲编码盘每转过一个分辨角就发出一个脉冲信号，因此：根据脉冲数目可得出工作轴的回转角度，由传动比换算出直线位移距离；根据脉冲频率可得工作轴的转速；根据光栅板上两条狭缝中信号的相位先后，可判断光电码盘的正、反转。

绝对编码器通过与位数相对应的发光二极管和光敏二极管对输出的二进制码来检测旋转角度。

与增量编码器原理相同，用于测量直线位移的传感器是光栅尺。

由于光电编码器输出的检测信号是数字信号，因此可以直接进入计算机进行处理，不需放大和转换等过程，使用非常方便，因此应用越来越广泛。

电位器分为直线型（测量位移）和旋转型。旋转型电位器的基本原理是在环状电阻两端加上电压 E ，通过电刷的滑动，可以得到与电刷所在角度（位置）相对应的电压 V 。电位器的输出电压与阻值无关，所以由于温度变化而导致的阻值变化对输出电压没有影响。

电位器输出的检测信号是模拟信号，为了从中提取有用的信息，一般要经过两个处理过程。首先是进行放大、运算和变换等前置处理，然后通过 A/D 转换将模拟信号转换为数字信号，输入控制器，完成数字控制。

实验设备：

- GXY-1010 步进平台一套（含电控箱）
 - GT-400-SG 卡一块（带 A/D 转换接口）
 - PC 机一台
 - 0VW2-06-2MD 型光电编码器一个（600 线）和相应说明书
 - FCP22E 型电位器一个（360 度无止档，可以任意转动而不会损坏）和相应说明书
- 书
- 双通道数字示波器一台

实验步骤：

1. 在平台传动丝杠的另一端分别安装一个电位器和增量码盘。
2. 将编码器的 A、B 相信号分别接入数字示波器的两个通道。
3. 通过 PC 和控制器使安装有编码器的坐标轴匀速运动。
4. 调整示波器，使两个通道同步，观察两个通道的信号波形。
5. 让电机反转，观察两个通道的信号波形
6. 将电位器输出信号接入示波器 B 通道
7. 控制平台的两个坐标同时运动，观察和比较电位器和编码器输出信号波形。
8. 关闭电源和计算机，将编码器输出信号通过控制卡的辅助编码器通道（端子板 CN9）接入控制器，将电位器输出信号通过控制的辅助 AD 转换通道（端子板 CN11）接入控制器。（接线方式由学生根据传感器输出信号说明和相应端子板辅助编码器通道定义来完成）
9. 打开电源和 PC，运行实验软件，控制平台运动，通过计算机采样和读取各个通道的输入信号，并进行比较。

实验总结：

给出数字式和模拟式角度测量传感器各自的优缺点及实际应用实例。

实验四 机电一体化系统核心—运动控制器的选型和应用

实验目的：了解运动控制器的工作原理和组成模块，掌握固高运动控制器的基本特点、使用方法和选用技巧。

理论回顾：开环控制系统和闭环控制系统，运动控制器与伺服系统的匹配等。

能对输出量与参考输入量进行比较，并且将它们的偏差作为控制手段，以保持两者之间预定关系的系统，称为反馈控制系统。反馈控制系统通常输入闭环控制系统。在实践中，反馈控制和闭环控制这两个术语常常交换使用。在闭环控制系统中，作为输入信号与反馈信号之差的作用误差信号被传送到控制器，以便减小误差，并且使系统的输出达到希望的值。采用交流伺服电机的位置控制系统就是闭环控制系统的一个例子，安装在电机轴上的编码器不断检测电机轴的实际位置（输出量），并反馈回伺服驱动器与参考输入位置进行比较，PID调节器根据位置误差信号，控制电机正转或反转，从而将电机位置保持在希望的参考位置上。

系统的输出量对控制作用没有影响的系统，称为开环控制系统。在开环控制系统中，既不需要对输出量进行测量，也不需要将输出量反馈到系统的输入端与输入量进行比较。采用步进电机的位置控制系统就是开环控制系统的例子。步进驱动与控制器只是按照指令位置运动，不必对输出信号（即实际位置）进行测量。

闭环控制系统的优点是采用了反馈，因而使系统的响应对外部干扰和内部系统的参数变化均相当不敏感。这样，对于给定的控制对象，有可能采用不太精密且成本较低的元件构成精确的控制系统。在开环情况下，就不可能做到这一点。

从稳定性的观点出发，开环控制系统容易建造，因为对开环系统来说，稳定性不是主要问题。但是另一方面，在闭环控制系统中，稳定性则始终是一个重要问题，因为闭环系统可能引起过调误差，从而导致系统震荡。

运动控制器作为机电一体化系统的核心控制系统，已经历了 20 多年的发展，正在逐步取代传统封闭型的控制系统，被广大机电一体化系统设计工程师所采用。与此同时，与执行装置（电机）所配套的伺服驱动装置也在不断的发展，许多系统已经具备了各种运动控制功能。对于给定的控制对象，必须根据控制目标选用适当的执行与驱动装置，然后根据执行与驱动装置的功能特征选用合适的运动控制器，以最大限度地利用控制与驱动装置的功能，降低系统成本。

目前被工业界广泛采用的交流伺服系统（电机+驱动）通常具有力矩控制、速度控制和位置控制等闭环控制功能。而常用的运动控制器除了具有轨迹规划功能外，也具有位置控制和速度控制等闭环控制功能。如果采用伺服系统的位置闭环控制，配套选用的控制器则只需具有轨迹规划功能，这样的运动控制器通常价格比较低廉，而且稳定性和可靠性也会比较好，如图 4-1 所示。如果选用步进电机和驱动系统，该类型控制器也同样适用。这种类型的运动控制器通常叫做位置脉冲型运动控制器。

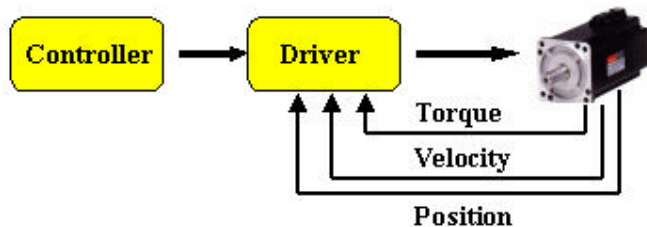


图 4-1 闭环控制系统方案 1

如果我们想利用伺服驱动的速度闭环来完成系统的位置闭环控制，则需要选用具有位

置闭环控制功能的运动控制器，如图 4-2 所示。这种控制方式通常比第一种控制方式具有更高的控制精度，但系统的调整比第一种控制方式复杂和困难。在这种控制方式下，运动控制器接受位置反馈信号，进行位置闭环控制，向伺服驱动器输出模拟电压控制信号。伺服驱动装置接受速度控制信号，完成速度闭环控制。目前，这种类型的运动控制器也已非常普遍。

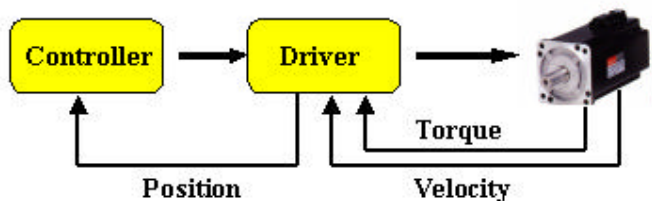


图 4-2 闭环控制系统方案 2

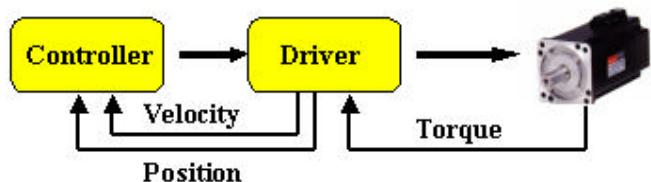


图 4-3 闭环控制系统方案 3

如果伺服驱动装置只具有力矩闭环控制功能（通常这种驱动装置结构简单，成本低廉），则需选用具有速度闭环和

位置闭环控制功能的运动控制器来完成系统的高精度位置和轨迹控制。这种类型的运动控制器结构比较复杂，成本也会比较高，但对于需要多轴运动控制的系统来说，如果采用具有多轴控制能力的运动控制器，总的系统成本可能会比其它两种方式还要低廉一些。因为多个驱动成本的降低幅度会超过一块运动控制器成本的增加幅度。不过，除了一些能够配套提供控制器和相应驱动器的生产厂家外，这种控制方式比较少被采用。

实验设备：

- GXY-1010 伺服平台一套（含电控箱）
- GT-400-SG 卡一块
- GT-400-SV 卡一块
- PC 机一台
- 0VW2-06-2MD 型光电编码器一个（600 线）和相应说明书

GT-400-SV (SG) 是高性能的运动控制器，它可以同步控制四个运动轴，实现复杂的多轴协调运动。其核心由 ADSP2181 数字信号处理器和 FPGA 组成，广泛适用于机器人、数控机床、木工机械、印刷机械、装配线、电子加工设备等应用领域。

GT-400-SV (SG) 运动控制器以 IBM-PC 及其兼容机为主机，提供标准的 ISA 总线和 PCI 总线两个系列的产品。在任何一款产品上同时提供 RS232 串行通讯和 PC104 通讯接口，方便用户配置系统硬件。该运动控制器提供 C 语言函数库实现复杂的控制功能，用户能够将这些控制函数灵活地与自己控制系统所需的数据处理、界面显示、用户接口等部分集成在一起，建造符合特定应用要求的控制系统，以适应各种应用对象的要求。使用该运动控制器开发控制系统，要求使用者必须具有 VC、VB 或 DELPHI 等语言编程（在 Windows 环境下使用动态链接库）的经验。

GT-400-SV (SG) 将四轴电机控制集成在同一运动控制器上，具有功能强、性能高、价格低、使用方便的特点，适用于模拟量控制及脉冲控制的交流或直流伺服电机、步进电机等多种控制场合。

GT-400-SG 属于位置脉冲型控制器，适用于第一种控制方案。而 GT-400-SV 属于采用模拟量控制的闭环控制器，适应于第二种控制方案。

实验步骤：

1. 按 GXY 系列平台的标准配置（采用数字控制伺服）搭建实验平台，断开电机与丝杠的连

- 接，进行空载控制实验：按板卡使用说明书设置基本参数，在“基于轴控制”界面中，采用点位控制命令，观测电机的运动；
2. 将电机与丝杠联上，在“基于轴控制”界面中采用点位控制命令，比较 T 型曲线，S-型曲线规划的运动效果。
 3. 将 0VW2-06-2MD 编码器接到端子板的 CN9 辅助编码器接口，按照运动控制卡使用说明书，采用电子齿轮模式，将 5 轴设置成主动轴，1 轴为从动轴，齿轮比为 1；用手轻轻转动编码器，观察 1 轴的运动。逐步改变齿轮比，直到转动编码器一圈，电机也转动一圈。
 4. 改变配置成模拟控制伺服，将运动控制卡换为 SV 卡并更换联线，按板卡使用说明书设置基本参数，采用点位控制命令，比较 T 型曲线，S-型曲线规划的运动效果。

注意事项：改变配置成模拟控制伺服时，应先使电机空载的情况测试，以防驱动器参数不匹配发生飞车。

实验总结：

- 1、给出使用固高运动控制器的一般步骤及常用的运动控制方式；
- 2、比较伺服平台在数字控制和模拟控制方式下的性能。
- 3、计算出模拟手柄操作中转动编码器一圈，电机也转动一圈的齿轮比。

实验学时：4

实验五 运动控制器的调整—数字滤波器的基本控制作用

实验目的：了解数字滤波器的基本控制作用，掌握调整数字滤波器的一般步骤和方法。

基础知识：控制系统的基本控制作用（P、I、D）和响应，积分和微分控制作用对控制系统性能的影响。

控制器把控制对象输出的实际值与参考输入（希望值）进行比较，以确定偏差，并产生一个控制信号，把偏差减小到零或减小到微小的数值。目前大多数工业控制器内起核心控制作用的通常是一个滤波器，该滤波器包含了几个基本的控制作用：比例控制作用、微分控制作用和积分控制作用。控制器将这几个基本控制作用进行组合，就构成了各种类型的控制器。

运动控制器通常是一个数字控制器，因此其核心通常是一个数字滤波器。除了上面提到比例、积分和微分控制作用外，许多运动控制器还包含有速度前馈和加速度前馈等控制作用。

对于具有比例控制作用的控制器，控制器的输出 $u(t)$ 与作用误差信号 $e(t)$ 之间的关系为比例关系，表示成拉普拉斯变换量的形式为： $U(s)/E(s)=K_p$ ，式中 K_p 称为比例增益。比例控制器实质上就是一种增益可调的放大器。

在具有积分控制作用的控制器中，控制器的输出量 $u(t)$ 的值，是一个与作用误差信号 $e(t)$ 成正比的速率变化的。积分控制器表示成拉普拉斯变换量的形式为： $U(s)/E(s)=K_i/s$ 。如果 $e(t)$ 的值加倍，则 $u(t)$ 的变化速度也加倍，当作用误差信号为零时， $u(t)$ 的值将保持不变。积分控制作用有时也称为复位控制。

微分控制作用是控制器输出中与作用误差信号变化率成正比的那一部分，有时又称为速率控制。微分控制作用具有预测的优点，但同时它又放大了噪声信号，并且还可能在执行器中造成饱和和效应。微分控制作用决不能单独使用，因为这种控制作用仅仅在瞬态过程中才是有效的。

通过将上述三种基本控制作用进行组合，可以得到不同类型的控制器，目前在工业界经常采用的有比例加积分（PI）控制器，比例加微分（PD）控制器和比例加积分加微分（PID）控制器等。这种组合作用具有各种单独控制作用的优点。

如果一个控制对象的传递函数不存在积分器 $1/s$ ，则对其进行比例控制时，阶跃输入信号的响应将存在稳态误差，或称为偏差。如果在此控制器中包含积分控制作用，则可以消除这种偏差。积分控制作用在消除偏差的同时（即稳态误差）的同时，也导致了使振幅缓缓衰减甚至使振幅不断增加的震荡响应，这两种情况通常都不是我们所希望的。

当把微分控制作用加进比例控制器时，就提供了一种获得高灵敏度控制器的方法。采用微分控制作用的优点，是它能够反映误差信号的变化速度，并且在作用误差的值变得很大之前，产生一个有效的修正。因此微分控制可以预测作用误差，使修正作用提前发生，从而有助于增进系统的稳定性。虽然微分控制不直接影响稳态误差，但它增加了系统的阻尼，因而容许采用比较大的增益 K_p 值，这将有助于系统稳态精度的改善。

实验设备：

- GXY-1010 伺服平台一套（含电控箱）
- GT-400-SV 卡一块
- PC 机一台

实验步骤:

空载实验:

1. 首先松开联轴器, 将伺服电机与传动丝杠脱开, 进入运动控制卡测试软件, 按说明书调节 P 参数, 刷新参数后, 给电机上伺服, 逐步加大 P 参数, 直到电机发生激烈震荡, 即断伺服, 将 P 参数稍微调小, 再上伺服, 直到电机不发生颤震; 保持 P 参数, 用同样的方法调整 I 参数; 保持 P、I 参数, 用同样的方法调整 D 参数。
2. 单独采用 P 控制器进行点位控制, 观测平台的响应过程; 然后分别采用 PI 控制器, PD 控制器和 PID 控制器对平台进行点位控制, 观测平台的响应过程。

带负载实验:

1. 首先上紧联轴器, 将伺服电机与传动丝杠连接好, 进入运动控制卡测试软件, 按说明书调节 P 参数, 刷新参数后, 给电机上伺服, 逐步加大 P 参数, 直到电机发生激烈震荡, 即断伺服, 将 P 参数稍微调小, 再上伺服, 直到电机不发生颤震; 保持 P 参数, 用同样的方法调整 I 参数; 保持 P、I 参数, 用同样的方法调整 D 参数。
2. 单独采用 P 控制器进行点位控制, 观测平台的响应过程; 然后分别采用 PI 控制器, PD 控制器和 PID 控制器对平台进行点位控制, 观测平台的响应过程。

注意事项: 调整 PID 参数时应从小到大逐步调整。出现超调 (颤震) 时应尽快断掉伺服。

实验总结:

- 1、分析 P、I、D 各个环节对系统的控制作用;
- 2、给出 GT400-SV 运动控制卡调节数字滤波器的一般步骤。

实验学时: 4

实验六 插补原理和实现实验—运动控制器的编程

实验目的：了解直线插补、圆弧插补原理和实现方法。通过利用运动控制器基本控制指令实现直线插补和圆弧插补，掌握运动控制卡的编程方法。

理论回顾：直线插补和圆弧插补（逐点比较法）的计算原理。

数控系统加工的零件轮廓或运动轨迹一般由直线、圆弧组成，对于一些非圆曲线轮廓则用直线或圆弧去逼近。插补计算就是数控系统根据输入的基本数据，通过计算，将工件的轮廓或运动轨迹描述出来，边计算边根据计算结果向各坐标发出进给指令。

数控系统常用的插补计算方法有：逐点比较法，数字积分法，时间分割法，样条插补法等。逐点比较法，即每一步都要和给定轨迹上的坐标值进行比较，视该点在给定轨迹的上方或下方，或在给定轨迹的里面或外面，从而决定下一步的进给方向，使之趋近给定轨迹。如此，走一步，比较一次，决定下一步走向，以便逼近给定的轨迹。下面就以逐点比较法为例，阐述插补的原理。

直线插补计算原理：

偏差计算公式：以第一象限为例，取直线起点为坐标原点，如图 6-1 所示，m 为动点，有下面关系：

$$\frac{X_m}{Y_m} = \frac{X_e}{Y_e}$$

取

$$F_m = Y_m X_e - X_m Y_e \quad \text{作}$$

为偏差判别式

若 $F_m=0$ ，表明 m 点在 OA 直线上；

若 $F_m>0$ ，表明 m 点在 OA 直线上方的 m' 处；

若 $F_m<0$ ，表明 m 点在 OA 直线下方的 m'' 处。

从坐标原点出发，当 $F_m \geq 0$ 时，沿 +X 方向走一步，

当 $F_m < 0$ ，沿 +Y 方向走一步，当两方向所走的步数与终点坐标 (X_e, Y_e) 相等时，停止插补。

当 $F_m \geq 0$ 时，沿 +X 方向走一步，则 $X_{m+1}=X_m+1$ ， $Y_{m+1}=Y_m$

新的偏差为： $F_{m+1}=Y_{m+1}X_e - X_{m+1}Y_e = Y_m X_e - (X_m+1)Y_e$

$$F_{m+1}=F_m - Y_e$$

当 $F_m < 0$ 时，沿 +Y 方向走一步，则 $X_{m+1}=X_m$ ， $Y_{m+1}=Y_m+1$

新的偏差为： $F_{m+1} = Y_{m+1}X_e - X_{m+1}Y_e = (Y_m+1)X_e - X_m Y_e$

$$F_{m+1}=F_m + X_e$$

其它三个象限的计算方法，可以用相同的原理获得，表 6-1 为四个象限插补时，其偏差计算公式和进给脉冲方向，计算时， X_e, Y_e 均为绝对值。

插补计算过程是：偏差判别，坐标进给，偏差计算，终点判别。终点判别的方法较多，

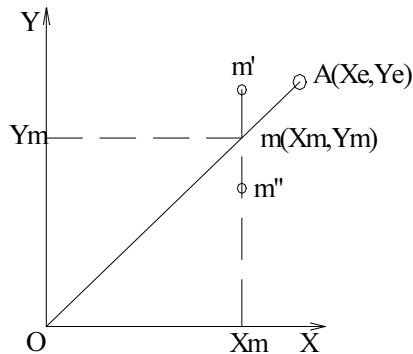


图 6-1

如：1、设置两个计数器分别存入 X_e, Y_e 坐标值，在 X 坐标（ Y 坐标）进给一步，就在相应的 X （ Y ）计数器减 1，直到两个计数器都减到零时，就到达终点。2、用一个终点计数器，寄存 $X、Y$ 两坐标从起点到终点的总步数 Σ ， $X、Y$ 坐标每走一步， Σ 减 1，直到 Σ 为零时，就到了终点。

	线型	$F_m \geq 0$ 时， 进给方向	$F_m < 0$ 时， 进给方向	偏差计算公式
L1	$+\Delta X$	$+\Delta Y$	$F_m \geq 0$ 时： $F_{m+1} = F_m - Y_e$	
L2	$-\Delta X$	$+\Delta Y$	$F_m < 0$ 时： $F_{m+1} = F_m + X_e$	
L3	$-\Delta X$	$-\Delta Y$		
L4	$+\Delta X$	$-\Delta Y$		

表 6-1

圆弧插补计算原理：

偏差计算公式：以第一象限逆圆为例，如图 6-2 所示。圆弧圆心在坐标原点， A 为起点， B 为终点，

半径为 R ，假设运动瞬时点为 m ，它与圆心

的距离为 R_m ，以 R_m 和 R 平方差

作为偏差值，则偏差判别式为：

$$F_m = R_m^2 - R^2 = X_m^2 + Y_m^2 - R^2$$

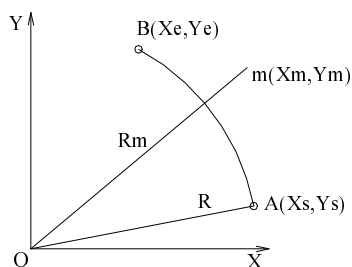


图 6-2

若 $F_m=0$ ，表明 m 点在圆弧上；

若 $F_m>0$ ，表明 m 点在圆弧外；

若 $F_m<0$ ，表明 m 点在圆弧内。

当 $F_m \geq 0$ 时，为了逼近圆弧，应沿 $-X$ 方向进给一步，到 $m+1$ 点，其坐标值为 $X_{m+1}=X_m-1$ ， $Y_{m+1}=Y_m$ ，新偏差值为：

$$F_{m+1} = X_{m+1}^2 - Y_{m+1}^2 - R^2 = F_m - 2X_m + 1$$

当 $F_m < 0$ 时，为了逼近圆弧，应沿 $+Y$ 方向进给一步，到 $m+1$ 点，其坐标值为 $X_{m+1}=X_m$ ， $Y_{m+1}=Y_m+1$ ，新偏差值为：

$$F_{m+1} = X_{m+1}^2 - Y_{m+1}^2 - R^2 = F_m + 2Y_m + 1$$

由上两式可得，只要知道前一点的偏差，就可求出新一点的偏差，而起点处的 $F_m=0$ 是可知的。以上是第一象限逆圆的情况，其它情况可同理推导出来，表 6-2 为四个象限顺逆方向归纳的进给方向和偏差计算公式。

圆弧插补的终点判别和插补计算过程和直线插补基本相同，但在偏差计算的同时，还要进行动点瞬时坐标值的计算，以便为下一点的偏差计算作好准备。

	线型	$F_m \geq 0$ 时, 进给方向	$F_m < 0$ 时, 进给方向	偏差计算公式
	SR1	$-\Delta Y$	$+\Delta X$	$F_{m+1} = F_m - 2Y_m + 1$ $Y_{m+1} = Y_m - 1$ $F_m < 0$ 时 $F_{m+1} = F_m + 2X_m + 1$ $X_{m+1} = X_m + 1$
	SR3	$+\Delta Y$	$-\Delta X$	
	NR2	$-\Delta Y$	$-\Delta X$	
	NR4	$-\Delta Y$	$+\Delta X$	
	SR2	$+\Delta X$	$+\Delta Y$	$F_{m+1} = F_m - 2X_m + 1$ $X_{m+1} = X_m - 1$ $F_m < 0$ 时 $F_{m+1} = F_m + 2Y_m + 1$ $Y_{m+1} = Y_m + 1$
SR4	$-\Delta X$	$-\Delta Y$		
NR1	$-\Delta X$	$+\Delta Y$		
NR3	$+\Delta X$	$-\Delta Y$		

表 6-2

实验设备:

- GXY-1010 伺服平台一套 (含电控箱)
- GT-400-SG 卡一块
- PC 机一台
- VC、VB, 或 Borland C 软件开发平台。

实验步骤:

根据插补计算原理, 利用运动控制器基本位置控制指令, 在 VC, VB 或 BC 环境下编写插补程序, 并在 XY 平台上进行验证。

直线插补

1、根据逐点比较法直线插补原理进行编程 (见附录 1 和附录 2), 并编译运行, 并按下图给定坐标进行实验, 观察画笔运动轨迹是否如图 6-3 所示。

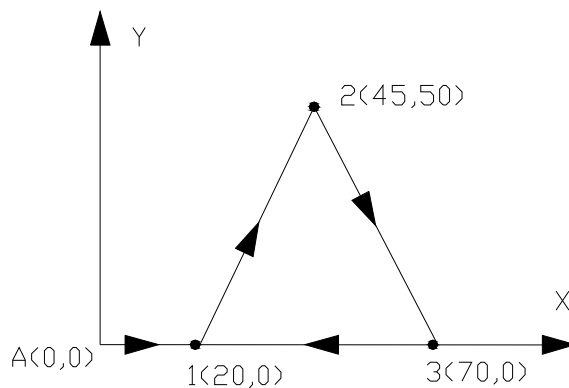


图 6-3

上图所示，设有一工件，其廓形为三角形。建立工件 XY 坐标系如图所示。以点 A 为坐标原点，则点 1 坐标为 (20, 0)，点 2 的坐标为 (45, 50)，点 3 的坐标为 (70, 0)。

设在 XY 运动平台归零时，画笔在 A 点。此时，XY 运动平台的坐标系与工件坐标系是一致的。画笔运动轨迹如图所示。

圆弧插补

根据逐点比较法圆弧插补原理进行编程，并编译运行，并按下图给定坐标进行实验，观察画笔运动轨迹是否如图 6-4 所示。

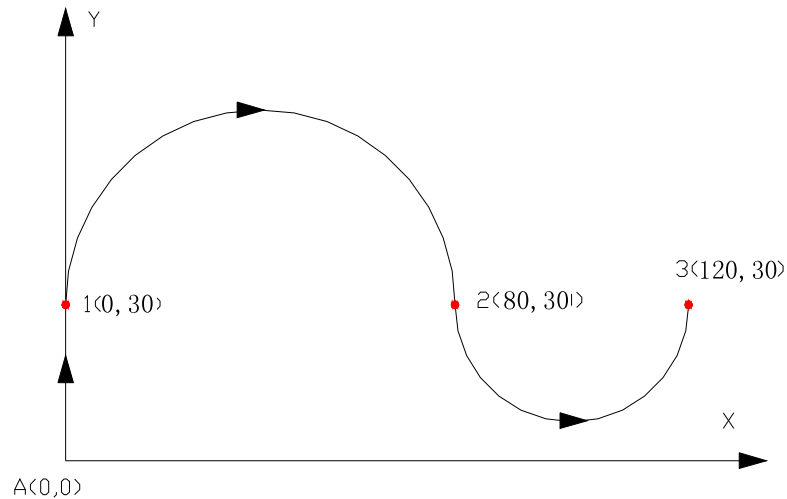


图 6-4

如图 6-4 所示，设有一工件，其廓形曲线由两段圆弧组成，两段圆弧半径分别为 40 和 20。

设在 XY 运动平台归零时，画笔在 A 点，在 XY 运动平台坐标系中，坐标原点在 A 点。工件上的 1、2、3 点坐标分别为：点 1 (0, 30)、点 2 (80, 30)、点 3 (120, 30)。画笔运动轨迹如图所示。

实验总结：

- 1、简述常见的插补算法；
- 2、根据实验分析逐点插补算法的精度和局限性。

实验七 基于 DSP 的插补技术—运动控制器的高级编程

实验目的：了解运动控制器的底层插补算法，掌握面向工业应用的运动控制技术和方法。

理论回顾：采用基本点位运动控制指令进行直线和圆弧插补存在很大的局限性，为了满足工业应用的需求，需要开发高速插补算法。

实验设备：

- GXY-1010 伺服平台一套（含电控箱）
- GT-400-SG 卡一块
- PC 机一台

实验步骤：

根据运动控制器提供的直线和圆弧插补命令，进行直线和圆弧插补运动实验，将结果与实验六比较。

1、采用 DOS 版演示软件的直线插补实验程序：

画笔运动轨迹如图所示。

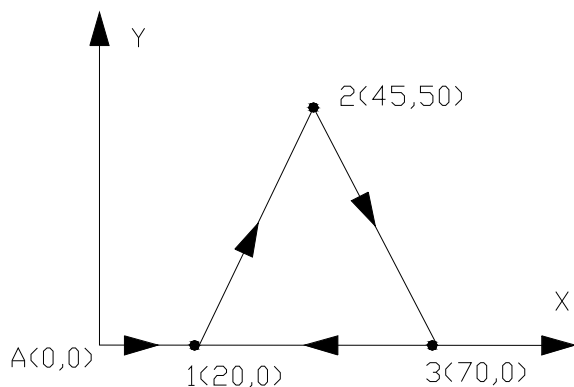


图 7-1

```
RUN GT400
```

```
RUN MAP
```

```
GT_LNXY 20, 0, 200 ;画笔从 A 点移动到点 1
```

```
GT_LNXY 45, 50, 200 ;直线插补，画笔从点 1 走到点 2
```

```
GT_LNXY 70, 0, 200 ;直线插补，画笔从点 2 走到点 3
```

```
Gt_LNXY 20, 0, 200 ;直线插补，画笔从点 3 走到点 1
```

2、采用 DOS 版演示软件的圆弧插补实验程序：

画笔运动轨迹如图所示。

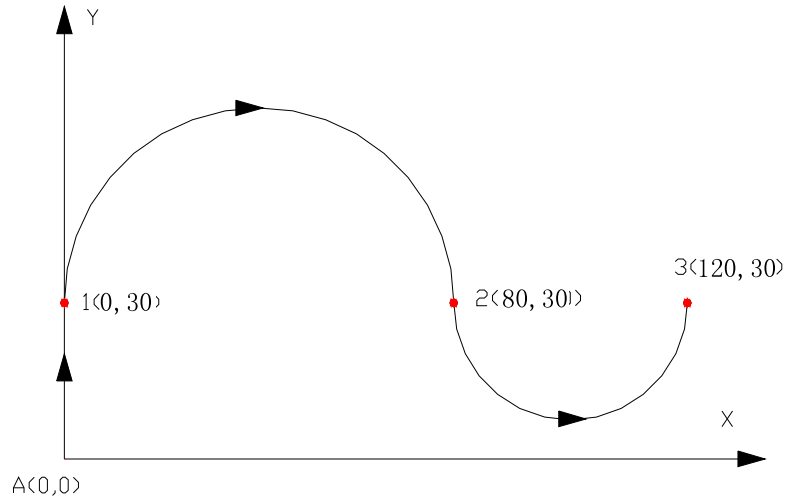


图 7-2

```
RUN GT400
RUN MAP
GT_LNXY 0 30 200           ;画笔从 A 点移动到点 1
GT_ARCXYP 80 30 40 -1     ;圆弧插补，画笔从点 1 走到点 2
GT_ARCXYP 120,30 20 1    ;圆弧插补，画笔从点 2 走到点 3
```

注意事项：要注意坐标值的换算

附：MAP.CMD

```
GT_MapAxis 1 2500 0 0 0 0
GT_MapAxis 2 0 2500 0 0 0
GT_SetSynAcc 0.03
GT_SetSynVel 0.03
```

//////

gt_mapaxis 函数中 2500 表示坐标映射倍率，即单位换算后，插补函数的单位为 mm；
每毫米对应的脉冲数=2500（电机编码器分辨率）X4（板卡倍频）/4（丝杠导程）

3、采用 Windows 版演示软件的直线、圆弧插补实验：根据运动控制卡演示软件说明书，按上述直线、圆弧轨迹进行实验。

实验总结：

给出基于 DSP 插补技术的优势；

列出 GT400 运动控制卡坐标映射、插补运动的函数和编程步骤。

实验八 数控代码编程实验

实验目的：了解从运动控制器的基本控制指令到数控代码库的实现过程，掌握固高运动控制器的数控代码库的使用方法。

理论回顾：数控编程的基本知识，利用运动控制器实现数控编程的方法，基本数控指令的说明。专用数控系统的编程方法。

在数控系统上加工零件时，要把加工零件的全部工艺过程、工艺参数和位移数据，以信息的形式记录在控制介质上，用控制介质上的信息来控制机床，实现零件的全部加工过程。这就是数控编程。

在数控系统发展的初期，都是用手工编程。现在，虽然自动编程发展得很快，但手工编程仍占有一定的比例。因为，对一些简单的零件，手工编程还是很方便的，同时，自动编程必须具备一定的设备条件。

数控系统输入信息的格式标准化，可以使零件加工图所要求的程序种类最少，从而促进程序编制技术的统一，并且在型号、加工工艺、功能、尺寸和精度等同类型的数控机床间使其输入程序有互换性。符合 ISO 标准的 NC 指令代码编程就是一种较通用的数控编程方法。要介绍数控编程，必须首先介绍坐标系的概念。

笛卡尔直角坐标系

坐标轴和其运动方向的符号随机床的不同而不同，为避免编程上的混乱，国际标准化组织在 ISO-841 中规定了确认方法。即：以右手法则确定的笛卡尔直角坐标系（the Right-handed Rectangular Cartesian Coordinate System）作为编程的标准坐标系，它对应于安装在机床上，并按机床的主要直线导轨找准的工件。编程时假设刀具相对于静止的工件坐标系运动，机床某一部件运动的正方向是使工件的正尺寸增加的方向。

工件坐标系设定指令 G92

编程时，工件坐标系应首先设定。一般情况，坐标原点可以选在任意位置，选择原点的原则是方便编程。本系统用 G92 指令设定工件坐标系。指令格式：

```
G92 X_ Y_
```

G92 指令是一条不运动的指令，它设定刀具起始点在工件坐标系中的坐标，即起始点相对于坐标原点的绝对坐标，由此确定坐标原点，建立起工件坐标系。因此，在执行加工程序前，应根据 G92 设定的坐标值调整好刀具起始点的位置。G92 设定坐标值的刀具起始点称为参考点。若不用 G92 设定工件坐标系，则在自动加工开始时，刀具的起始点既是坐标原点，又是参考点，坐标值为 (0, 0)。

例：

```
N10 G92 X220 Y500 ; 设定坐标系
```

用 G92 设定刀具起始位置坐标为 (220, 500)，由此确定坐标原点在 O 点，建立坐标系 XOY。刀具起始点为参考点。

若不用 G92 设定坐标系，则自动加工开始时，系统默认刀具起始点为坐标原点，也是参考点，坐标为 (0, 0)，相当于系统自动执行了 G92 X0 Y0。

坐标绝对编程和增量编程

编程坐标用来指定刀具的移动位置。本系统可用绝对坐标或增量坐标编程，也可以两者混合编程。绝对坐标指当前指令段运动轨迹终点在坐标系中的绝对坐标，用 X、Y 表示；增量坐标指当前指令段运动轨迹终点相对于起点的坐标变化量，用 U、V 表示。X、Y 地址字

和 U、V 地址字可以混合使用。但 U、V 始终表示为增量值，而不管是 G90 还是 G91 方式。

准备功能 G 指令

准备功能用字母 G 后面跟两位数字来编程。以下是基本 G 功能表：

G 代码	组别	功 能
G00	01	定位(快速进给)
G01		直线插补(切削进给)
G02		圆弧插补 CW(顺时针)
G03		圆弧插补 CCW(逆时针)
G28	00	返回参考点
G29		从参考点返回
G90*	03	绝对坐标编程
G91		增量坐标编程
G92	00	设定工件坐标系

注意：

- 除 00 组外的指令为模态指令，即当该 G 功能被编程后，就一直有效，直至被同一组其它不相容的 G 功能代替。
- 在 G 功能后面标有“*”号的指令，是指开机时，CNC 所具有的工作状态。
- 00 组的指令为一次性指令，它只在其指令的程序段中有效。
- 如果不相容的 G 功能被编在同一程序段中，则 CNC 认为后写入的那个 G 功能有效。

1) G00 快速定位

- 指令格式：G00 X(U)_ Y(V)_

G00 指令用于快速点定位，两个轴同时进给，合成速度为最大快移速度。指令中的 X(U) 和 Y(V) 值确定终点坐标，起点为当前点。

2) G01 直线插补

- 指令格式：G01 X(U)_ Y(V)_ F_

G01 为直线插补运动，即两个轴以当前点为起点，以 F 指令指定的速度同时进给，终点位置由 X(U) 和 Y(V) 确定。速度字 F 具有模态性，即由 F 指令的进给速度直到变为新的值之前均有效，因此不必每个程序段均指定一次。单位：mm/min。

3) G02/G03 圆弧插补

使两轴以当前点为起点，按照给定的参数走出一段圆弧。其指令格式可以有两种形式：

G02/G03 X(U)_ Y(V)_ I_ J_ F_

X(U)、Y(V)：确定终点坐标；

I, J：分别对应 X, Y 方向上圆弧起点到圆心的距离(有符号)

F：插补速度

G02/G03 X(U)_ Y(V)_ R_ F_

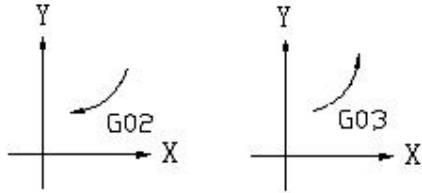
X(U)、Y(V)：确定终点坐标；

R：圆弧半径

F：插补速度

G02:顺时针圆弧 G03:逆时针圆弧

圆弧方向的规定如下所示。



4) G28 自动返回参考点

指令格式: G28 X(U)_ Y(V)_

该指令可以使被指令的轴自动地返回参考点。该程序段的执行过程首先是使被指令的轴以快速速度移到中间点(由 X 和 Y 指定), 然后从该中间点快速定位到参考点。X 和 Y 坐标可以省略。若省略, 则没有中间点, 而直接从当前点快速定位到参考点。参考点由 G92 指令确定。

5) G29 从参考点自动返回

指令格式: G29 X(U)_ Y(V)_

该指令可以使被指令的轴自动从参考点返回。该程序段的执行过程首先是使被指令的轴以快速速度移到中间点, 然后从该中间点快速定位到指令点位置, 中间点就是 G28 指令段指令的中间点。若 G28 未指定参考点, 则直接快速定位到目标点位置, 即坐标 X (U) 和 Y (V) 指定的位置。G29 指令一般和 G28 指令配套使用。主要用于换刀时。

6) G90/G91 绝对/增量编程

指令格式:

G90

G91

在 G90 方式下, X、Y 为绝对值输入; 在 G91 方式下, X、Y 为增量值输入。无论在 G90 方式下, 还是在 G91 方式下, U、V 始终为增量值输入编程。

G90/G91 指令具有模态性。

7) G92 工件坐标系设定

指令格式: G92 X_ Y_

辅助功能 M 指令

1) M02、M30 程序结束

加工程序程序结束。

本系统中, 要求每一个 NC 程序都必须以 M02 或 M30 作为结束。

2) M98/M99 子程序调用

指令格式:

M98 O_ L_ 主程序调用子程序

O: 子程序起始程序段号

L: 子程序被调用次数

M99 子程序结束, 返回主程序

注: 被调用的子程序必须和主程序在同一程序号下, 子程序放在主程序之后。主程序必须以 M30 结尾, 子程序必须以 M99 结尾。

程序结构示例

N10 G92 X60 Y60 ; 主程序开始。设定当前点为参考点, 两轴与原点的距离为 (60, 60)。

N20 G00 X28 ; 快速定位到目标点 (28, 0)。无 Y 坐标则 Y 坐标保持不便。

N30 G01 X100 Y100 F300 ; 直线插补。X、Y 同时进给到目标点 (100, 100)。速度 100。
 N40 G02 X150 Y150 R50 ; 顺时针圆弧插补。从当前点 (100, 100) 沿顺时针方向运动，
 ; 动，走出一个半径为 50 的圆弧，到达目标点 (150, 150)，
 ; 即走了一个四分之一圆弧。
 N30 M98 0800 L3 ; 调用子程序，3 次。子程序从段号 800 开始。
 N80 M30 ; 主程序结束
 N800 G01 U-4 F150 ; 子程序开始。
 ; 直线插补。X 轴往负向运动 4mm，Y 轴不动，速度 150mm/min。
 N810 V-25 ; 省略 G 指令，则继承上一句指令 G01。Y 负向运动 25mm。
 N820 U4 V25 ; 直线插补。X 正向运动 4，同时 Y 正向运动 25。
 N830 U-4 ; 直线插补。X 负向运动 4mm。
 N840 M99 ; 子程序结束，返回主程序

被调用的子程序必须和主程序在同一程序号下，子程序放在主程序之后。主程序必须以 M30 结尾，子程序必须以 M99 结尾。

实验设备:

- GXY-1010 伺服平台一套 (含电控箱)
- GT-400-SG 卡一块
- PC 机一台

固高运动控制器数控编程环境介绍

实验步骤:

利用固高运动控制器数控编程环境，完成几个编程实例。

1、运用 NC 指令代码进行数控编程，并在 Windows 版演示软件中加以实现，观察画笔运动轨迹是否如图 5-1 所示。

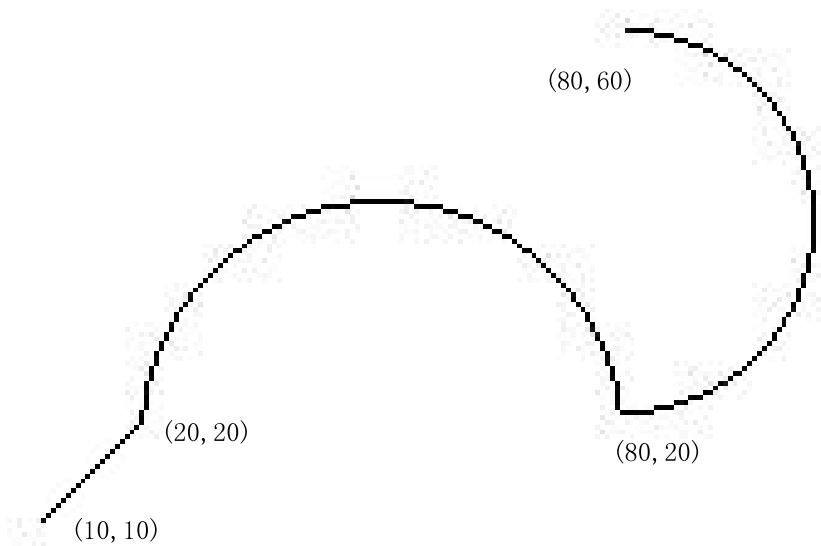


图 8-1

打开 Windows 版演示软件，点击工具栏上的新建图标，在编辑器内输入 NC 代码，并保存为.NC 的 G 代码文件；

点击工具栏上的 XY-Table 图标，进入 XY(Z)平台控制窗口，在“自动操作”中，打开 G 代码文件，然后点击“RUN”键开始执行（也可以直接点击“RUN”键，再打开文件）。

观察画笔运动

编程参考：

```
N110 G00 X10 Y10
```

```
N120 G01 X20 Y20 F500
```

```
N130 G02 X80 Y20 R30 F500
```

```
N140 G03 X80 Y60 R20 F500
```

```
N550 M30
```

2、依上述方法将实验七的直线、圆弧插补轨迹用 NC 代码编程，并在 Windows 版演示软件中加以实现，观察画笔运动轨迹是否如图 7-1、7-2 所示。

实验总结：

比较基于 PC 的数控编程与专用数控系统的数控编程的优势和缺点。