

第 2 章 数控机床的数控系统

本章知识点

- 1. 典型数控系统：FANUC、SIEMENS 和 HNC-21 的简介
- 2. 数控系统的组成与基本原理
- 3. 数控系统软件的特点与结构模式
- 4. 译码、刀具补偿等数据处理
- 5. 数控系统的可编程控制器
- 6. 数控系统的插补原理与插补方法
- 7. 常用插补方法逐点比较法的介绍

本章相关知识导读

我国从 1958 年起，由一批科研院所、高等学校和少数机床厂起步进行数控系统的研制和开发。由于受到当时国产电子元器件水平低，部门经济等的制约，未能取得较大的发展。

在改革开放后，我国数控技术才逐步取得实质性的发展。经过“六五”（1981~1985 年）的引进国外技术，“七五”（1986~1990 年）的消化吸收和“八五”（1991~1995 年）国家组织的科技攻关，才使得我国的数控技术有了质的飞跃，当时通过国家攻关验收和鉴定的产品包括北京珠峰公司的中华 I 型，华中数控公司的华中 I 型和沈阳高档数控国家工程研究中心的蓝天 I 型，以及其他通过“国家机床质量监督测试中心”测试合格的国产数控系统如南京四开公司的产品。

我国数控机床制造业在 20 世纪 80 年代曾有过高速发展的阶段,许多机床厂从传统产品实现向数控化产品的转型。但总的来说,技术水平不高,质量不佳,所以在 20 世纪 90 年代初期面临国家经济由计划性经济向市场经济转移调整,经历了几年最困难的萧条时期,那时生产能力降到 50%,库存超过 4 个月。从 1995 年“九五”以后国家从扩大内需启动机床市场,加强限制进口数控设备的审批,投资重点支持关键数控系统、设备、技术攻关,对数控设备生产起到了很大的促进作用,尤其是在 1999 年以后,国家向国防工业及关键民用工业部门投入大量技改资金,使数控设备制造市场一派繁荣。

目前我国的国产数控系统主要为经济型(多采用单片机开发),销量较大的为武汉华中数控,广州数控,南京华兴数控,成都广泰数控,北京帝特马数控,南京新方达数控,江苏仁和数控;而我国的高档数控市场的 95% 仍被国外公司占据,如日本的法拉克,德国的西门子等。

2.1 典型数控系统介绍

2.1.1 FANUC 数控系统介绍

日本 FANUC 公司生产的 CNC 产品主要有 FS0、FS3、FS6、FS10/11/12、FS15、FS16、FS18、FS21/210 等系列。目前,我国用户使用的系列主要有 FS0、FS15、FS16、FS18、FS21/210 等,如图 2-1 所示。

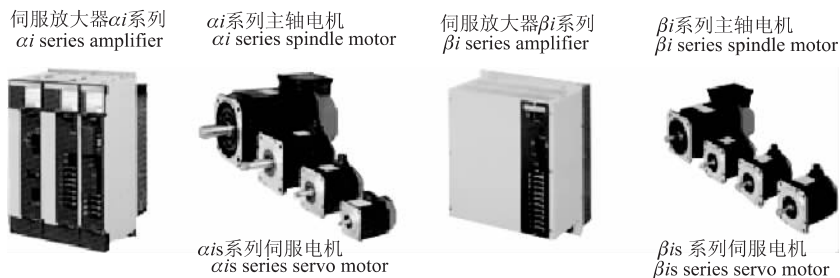


图 2-1 FANUC 数控系统产品

1. FS0 系列

1985 年 FANUC 公司推出了 FS0 系列面板装配式数控系统,它的主要特点是体积小、价格低,适用于机电一体化的数控机床。FS0 系列数控一般由主电路板、PLC 板、附加 I/O 板、图形控制板和电源组成。

FS0 系列数控系统有多种规格。常用的数控系统型号有：FS0 - MA/MB/MEA/MC/MF 用于加工中心、数控铣床和镗床；FS0 - TA/TB/TEA/TC/TF 用于数控车床；FS0 - TTA/TTB/ TTC 用于一个主轴双刀架或两个主轴双刀架的四轴数控车床；FS0 - GA/GB 用于数控磨床；FS0 - 用于回转头压力机。其中，T 型用于单刀架单主轴的数控车床；TT 型用于单主轴双刀架或双主轴双刀架的数控车床；M 型用于数控铣床或加工中心；G 型用于数控磨床；F 型是对话型数控系统。

2. FS15 系列

1987 年 FANUC 公司推出的 FS15 系列多微处理器控制数控系统，称之为 AI - CNC 系统（人工智能数控系统）。它适用于大型机床、复合机床的多轴控制和多系统控制。

3. FS16 系列

FS16 系列是功能上位于 FS15 系列和 FS0 系列之间的数控系统，在作为控制用的 32 位复合指令集计算机 CISC（Complex Instruction Set Computer）上又增加了 32 位精减指令集计算机 RISC（Reduced Instruction Set Computer）。FS16 系列采用高速 32 位 FANUC BUS 和 TFT 彩色液晶薄型显示器等新技术。

4. FS18 系列

FS18 系列是紧接着 FS16 系列推出的 32 位数控系统，在功能上也是位于 FS15 系列和 FS0 系列之间，但低于 FS16 系列。

5. FS21/210 系列

FS21/210 系列是 FANUC 公司推出的系统，该系统常用的数控系统型号有 FANUC 21i - MA/MB、FANUC 21i - TA/TB 等。本系列的数控系统适用于中、小型数控机床。

2.1.2 SIEMENS 数控系统介绍

SIEMENS 数控系统是由德国 SIEMENS 公司生产，产品主要有 SINUMERIK 3、SINUMERIK 8、SINUMERIK 810、SINUMERIK 820、SINUMERIK 850、SINUMERIK 880、SINUMERIK 840、SINUMERIK 802 等系列。

1. SINUMERIK 3 系列

SINUMERIK 3 系列数控系统适用于各种机床控制，有 M 型、T 型、TT 型、G 型和 N 型等。另外，3T 系统借助于转换（Transmit）功能，可使一般的数控车床变成一个柔性车削中心，在一台机床上一次完成车削、镗削、铣削和钻削加工。

SINUMERIK 3 系列数控系统主要由中央处理单元、存储器模块、操作面板接口、外部连接接口、PLC 中央处理单元、PLC 存储模块、编程器接口、逻辑模块及各种输入/输出模块等组成。

2. SINUMERIK 8 系列

20 世纪 80 年代初期，SIEMENS 公司推出了 SINUMERIK 8 系列数控系统，该系列产品

适用于各种机床。按其用途可分为 8M/8ME/8ME - C/Sprint 8M/Sprint 8ME/ Sprint8ME - C, 用于数控钻床、铣床和加工中心, 其中 Sprint 系列具有蓝图编程功能, 8MC/8ME - C 用于大型数控镗铣床; 8T/Sprint 8T 用于数控车床。

SINUMERIK 8 系列数控系统主要由主控制模块、电源模块、存储模板、各种位置控制模板、测量接口模板、操作面板、电源模板和译码电路模板、PLC 与 CNC 接口模板、PLC 和 CNC 信号传递模板及系统软件模板等组成。

3. SINUMERIK 810/820 系列

20 世纪 80 年代中期, SIEMENS 公司推出了 SINUMERIK 810/820 系列数控系统。该系列产品分为 M、T、G 型等。M 型用于数控镗床、铣床和加工中心; T 型用于数控车床; G 型用于数控磨床。SINUMERIK 810/820 系列数控系统一般适用于中、小型数控机床。

SINUMERIK 810/820 系列数控系统由 CPU 模块、位置控制模块、系统程序存储器模块、文字图形处理模块、接口模块、I/O 模块、CRT 显示器及操作面板组成, 如图 2-2 所示为 SINUMERIK 810 数控系统结构。

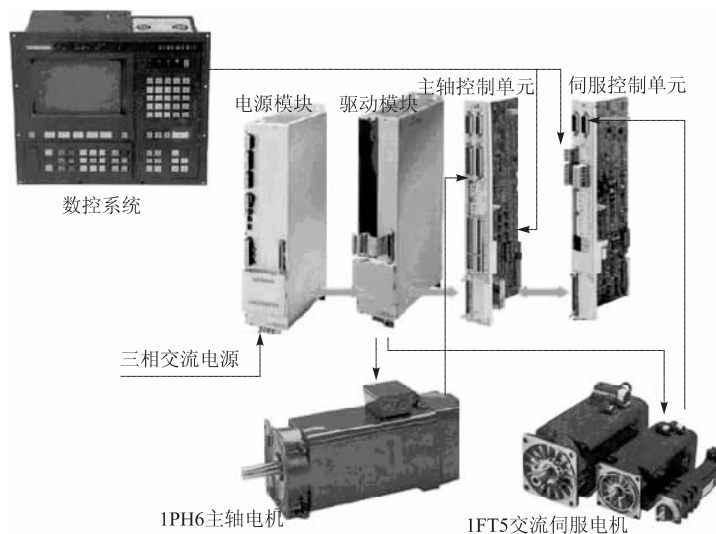


图 2-2 SINUMERIK 810 数控系统结构

4. SINUMERIK 850/880 系列

20 世纪 80 年代后期, SIEMENS 公司推出了 SINUMERIK 850/880 系列数控系统。该系列产品适用于高度自动化水平的机床及柔性制造系统, 有 850M、850T、880M 和 880T 等规格。SINUMERIK 850/880 最多可控制 30 个主、辅坐标轴和 6 个主轴, 可实现 16 个工位联动控制。

5. SINUMERIK 802 系列

20 世纪 90 年代后期, SIEMENS 公司推出了 SINUMERIK 802 系列数控系统。其中 802S 和 802C 是经济型数控系统, 可带 3 个进给轴。802S 采用带有脉冲及方向信号的步进驱动接口, 可配接 STEPDRIVE C/C + 步动驱动器和五相步进电动机或 FMSTEPDRIVE 步进驱动器和 1FL3 系列三相步进电动机, 如图 2-3 所示为 SINUMERIK 802S 数控系统结构; 802C 则包含有传统的 $-10\text{ V} \sim +10\text{ V}$ 接口, 可配接 SIMODRIVE 611 驱动装置。802S/C 除了 3 个进给轴外, 都有一个 $-10\text{ V} \sim +10\text{ V}$ 接口, 用于连接主轴驱动。SINUMERIK 802S/C 包括操作面板、机床控制面板、CNC 单元及 PLC 模块可安装在通用的安装导轨上。

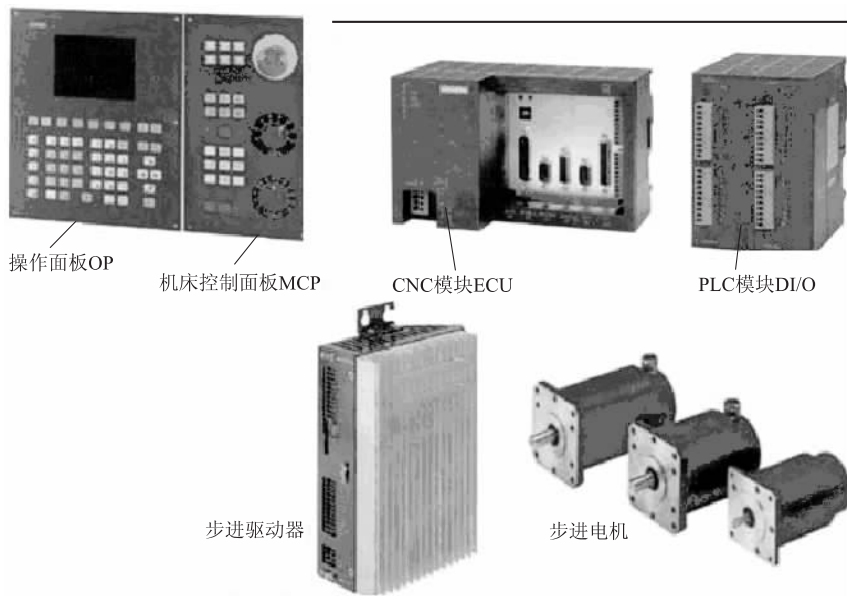


图 2-3 SINUMERIK 802S 数控系统结构

SINUMERIK 802D 是数字式的数控系统, 可控制最多 4 个数字进给轴和一个主轴, 如图 2-4 所示为 SINUMERIK 802D 数控系统结构。数控系统通过 PROFIBUS 总线与 I/O 模块和数字驱动模块相连接, 主轴通过模拟接口控制。SINUMERIK 802S/802C/802D 采用 SIMATIC S7-200 PLC 指令集对系统内部 PLC 进行编程。

2.1.3 HNC-21 华中数控系统介绍

国产华中“世纪星”数控系统采用基于工业计算机作为硬件平台的开放式体系结构的创新技术路线, 充分利用 PC 软、硬件的丰富资源, 通过软件技术的创新, 实现数控技术的突破。如图 2-5 所示为华中“世纪星”系列产品。

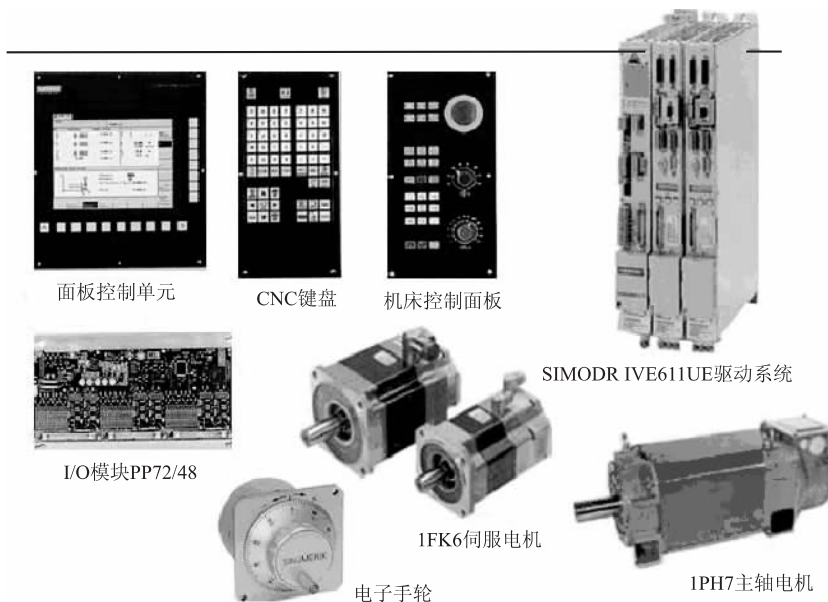


图 2-4 SINUMERIK 802D 数控系统结构



图 2-5 华中数控“世纪星”系列产品

思考与练习

1. 论述 FANUC 公司生产的 CNC 产品系列。
2. 论述 SIEMENS 公司生产的 CNC 产品系列。

2.2 数控系统的组成与基本原理

2.2.1 数控系统的组成

数控系统是由各种逻辑元件、记忆元件组成的逻辑电路，是固定接线的硬件结构，由元件实现全部数控功能。从外部特征来看，数控系统是由硬件（通用硬件和专用硬件）和软件（专用）两大部分组成，如图 2-6 所示。数控系统的控制精度很大程度上取决于硬件，而数控系统的功能很大程度上取决于软件。数控系统的逻辑控制、几何数据处理以及零件程序的执行由 CPU 统一控制，即数控系统为软件控制系统。

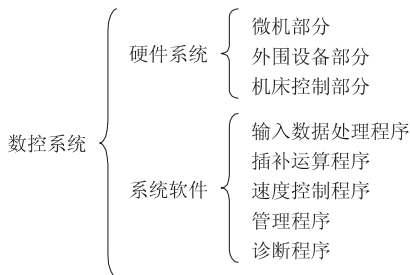


图 2-6 数控系统构成框图

如图 2-7 所示，数控系统由操作面板、输入/输出装置、计算机数控装置、伺服单元、驱动装置、可编程逻辑控制器（PLC）等组成。

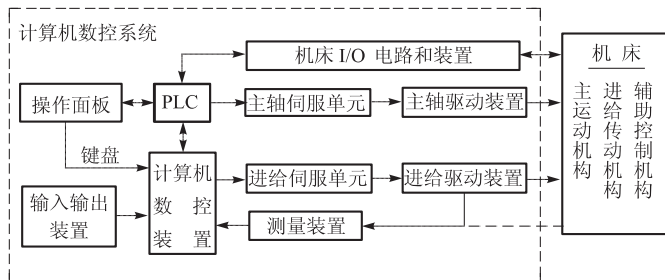


图 2-7 计算机数控系统组成框图

1. 操作面板

操作面板是操作人员与机床数控系统进行信息交流的工具，它由按钮站、状态灯、按键



图 2-8 数控系统面板图

阵列（功能与计算机键盘类似）和显示器组成。数控系统一般采用集成式操作面板，分为三大区域：显示区，NC 键盘区和机床控制面板区。如图 2-8 所示。

2. 输入/输出装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的数字信号，传送并存入数控装置内。输出装置的作用是显示加工过程中必要的信息，如坐标值、报警信号等。数控机床加工的过程是机床数控系统和操作人员信息交流的过程，输入/输出装置就是这种人机交互设备，典型的有键盘和显示器。通常采用的通讯方式有：

- （1）串行通讯（RS232 等串行通讯接口）。
- （2）自动控制专用接口通讯（DNC 和 MAP 等）。
- （3）利用网络技术通讯（Internet 和 LAN 等）。

3. 计算机数控装置

数控装置是计算机数控系统的核心，它包括微处理器 CPU、存储器、局部总线、外围逻辑电路及与数控系统其他组成部分联系的接口及相应控制软件，如图 2-9 所示。

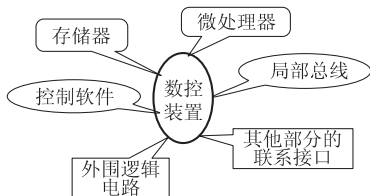


图 2-9 计算机数控装置组成

数控装置输出的信号有各坐标轴的进给速度、进给方向和位移指令，还有主轴的变速、换向和启停信号，选择和交换刀具的指令，控制冷却液、润滑油启停，工件和机床部件松开、夹紧，分度工作台转位辅助指令信号等。如图 2-10 所示为典型数控系统面板。

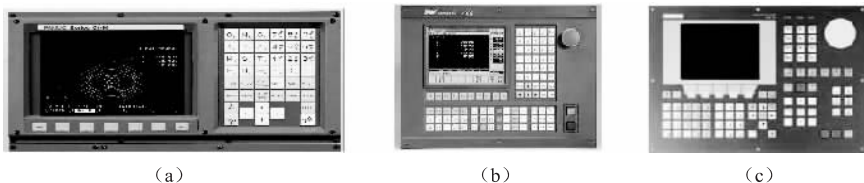


图 2-10 典型数控系统面板

（a）FANUC 系统；（b）HNC-21 系统；（c）SIEMENS 系统

4. 伺服单元

伺服单元分为主轴伺服和进给伺服，分别用来控制主轴电动机和进给电动机。伺服单元接收来自数控装置的进给指令，这些指令经变换和放大后通过驱动装置转变成执行部件进给的速度、方向、位移。因此伺服单元是数控装置与机床本体的联系环节，它把来自数控装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。

5. 驱动装置

驱动装置将伺服单元的输出变为机械运动，它与伺服单元一起是数控装置和机床传动部件间的联系环节，它们有的带动工作台，有的带动刀具，通过几个轴的综合联动，使刀具相对于工件产生各种复杂的机械运动，加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。与伺服单元相对应，驱动电动机主要有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

6. 可编程控制器（PLC）

可编程控制器（PLC）采用可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字式或模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械设备和生产过程。当 PLC 用于控制机床顺序动作时，称为 PMC（Programmable Machine Controller）模块，它在数控装置中接收来自操作面板，机床上的各行程开关，传感器、按钮、强电柜里的继电器以及主轴控制，刀库控制的有关信号，经处理后输出去控制相应器件的运行。

2.2.2 数控系统的特点

1. 灵活性

这是数控系统的突出优点。对于数控系统，只要改变相应的控制程序就可以补充和开发新的功能，并不必制造新的硬件。数控系统能够随着工厂的发展而发展，也能适应将来改变工艺的要求。在数控设备安装之后，新的技术还可以补充到系统中去，这就延长了系统的使用期限。因此，数控系统具有很大的“柔性”——灵活性。

2. 通用性

在数控系统中，硬件系统采用模块结构，依靠软件变化来满足被控设备的各种不同要求。采用标准化接口电路，给机床制造厂和数控用户带来了许多方便。于是，用一种数控系统就可能满足大部分数控机床（包括数控车床、数控铣床、加工中心、数控钻镗床等）的要求，还能满足某些别的设备应用。当用户要求某些特殊功能时，仅仅是改变某些软件而已。

3. 可靠性

在数控系统中，由于许多功能都由软件实现，硬件系统所需元器件数目大为减少，整个系统的可靠性大大改善，特别是随着大规模集成电路和超大规模集成电路的采用，系统可靠性更为提高。

4. 易于实现许多复杂的功能

数控系统可以利用计算机的高度计算能力，实现一些高级的复杂的数控功能。刀具偏移、公英制转换、固定循环等都能用适当的软件程序予以实现；复杂的插补功能，例如抛物线插补、螺旋线插补等也能用软件方法来解决；刀具补偿也可在加工过程中进行计算；大量的辅助功能都可以被编程；子程序概念的引入，大大简化了程序编制。

5. 使用维修方便

数控系统的一个吸引人的特点是有一套诊断程序，当数控系统出现故障时，能显示出故障信息，使操作和维修人员能了解故障部位，减少了维修的停机时间。另外，还可以备有数控软件检查程序，防止输入非法数控程序或语句，这将给编程带来许多方便。

2.2.3 数控系统的基本原理

数控系统的生产厂家编制好数控系统控制软件（也称为系统程序）后，都要把它固化在 ROM（EPROM）中，系统接上电源后即自动由 CPU 按照此固化的程序运行。数控系统的主要任务是控制零件程序的执行，其他任务是为了更好地完成这一任务而进行的辅助和配合。一个零件程序的执行首先要输入数控系统，经过译码、数据处理、插补和位置控制，由伺服系统执行数控系统输出的指令驱动机床完成加工。如图 2-11 所示为数控系统的工作过程。

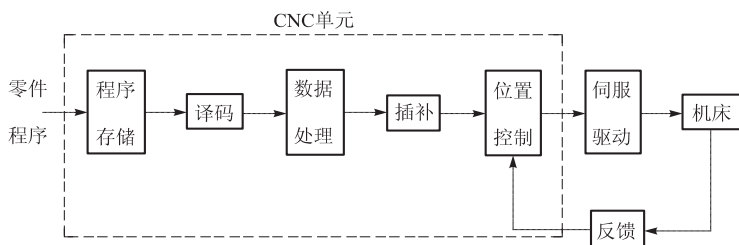


图 2-11 数控系统的工作过程

思考与练习

一、选择题

- 完整的计算机系统由（ ）两大部分组成。
 - 应用软件和系统软件
 - 随机存储器和只读存储器
 - 硬件系统和软件系统
 - 中央处理器和外部设备

2. 计算机中的 CPU 是 () 的简称。

- A. 控制器 B. 中央处理器 C. 运算器 D. 软盘驱动器

3. 主机、外存储器、输入/输出设备属于计算机系统的 ()。

- A. 部件 B. 软件 C. 硬件 D. 以上皆错

4. 数控机床 CNC 系统是 ()。

- A. 轮廓控制系统 B. 动作顺序控制系统 C. 位置控制系统 D. 速度控制系统

5. CNC 系统软件存放在 ()。

- A. 单片机 B. 程序存储器 C. 数据存储器 D. 穿孔纸带

二、判断题

() 1. EPROM 存储器断电以后会丢失信息。

() 2. 输入装置的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的数字信号, 传送并存入数控装置内。

() 3. 输出装置的作用是显示加工过程中必要的信息, 如坐标值、报警信号等。

() 4. 数控装置是数控机床的驱动系统。

() 5. 可编程控制器用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令, 并通过数字式或模拟式的输入和输出, 控制各种类型的机械设备和生产过程。

() 6. 一个零件程序的执行首先要输入数控系统, 经过译码、数据处理、插补和位置控制, 由伺服系统执行数控系统输出的指令驱动机床完成加工。

三、填空题

1. 为了防止强电系统干扰及其他信号通过用 I/O 接口进入微机, 影响其工作, 通常采用_____方法。

2. 存储器用于存放 CNC 装置的_____、_____和参数。包括只读存储器和_____存储器两类。

3. 为了防止强电系统干扰及其他信号通过通用_____接口进入微机, 影响其工作, 通常采用_____方法。

4. 数控装置是数控机床的_____, 绝大部分数控机床采用微型计算机控制, 由_____、_____、_____、_____等组成。

5. 计算机数控系统是一种包含_____在内的_____。

6. 数控系统主要由_____和_____两大部分组成。数控系统的控制精度很大程度上取决于_____, 而数控系统的功能很大程度上取决于_____。

7. 数控系统的操作面板一般采用_____, 分为三大区域: _____、_____和_____。

8. 数控机床常用的通讯方式有 ① _____; ② _____;
③ _____。

2.3 数控系统的硬件结构

2.3.1 数控系统的硬件类型

数控系统的硬件结构,若按其中含有 CPU 的多少来分,可分为单机系统和多机系统。

1. 单机系统

单机系统是指整个数控系统只有一个 CPU,它集中控制和管理整个系统资源,通过分时处理的方式来实现各种数控功能。其特点是投资小,结构简单,易于实现,但系统功能受到 CPU 字长、数据宽度、寻址能力和运算速度等因素的限制。现在这种结构已被多机系统的主从结构所取代。

2. 多机系统

多机系统是指整个数控系统中有两个或两个以上的 CPU,也就是系统中的某些功能模块自身也带有 CPU。根据这些 CPU 间的相互管理的不同又可将其分为:

(1) 主从结构系统。在该系统中只有一个 CPU (通常称为主 CPU) 对系统的资源 (系统存储器、系统总线) 有控制和使用权,而其他带有 CPU 的功能部件 (通常称之为智能部位),则无权控制和使用系统资源,它只能接收到主 CPU 的控制命令或数据,或向主 CPU 发出请求信息以获得所需的数据。只有一个 CPU 处于主导地位,其他 CPU 处于从属地位的结构,称为主从结构。

(2) 多主结构系统。在该系统中有两个或两个以上的带 CPU 的功能部件对系统资源有控制或使用权。该结构功能部件之间采用紧耦合 (即均挂在系统总线上,集中在一个机箱内),有集中的操作系统,通过总线仲裁器 (软件和硬件) 来解决争用总线问题,通过公共存储器来交换系统的信息。

(3) 分布式结构系统。该系统有两个或两个以上的带有 CPU 的功能模块,每个功能模块有自己独立的运行环境 (系统总线、存储器、操作系统等),功能模块间采用松耦合,即在空间上可以较为分散,各模块间采用通信方式交换信息。

2.3.2 单机或主从结构模块的硬件介绍

单机系统按组成数控装置的电路板的结构特点可分为大板式结构和模块化结构两类。

大板式结构的特点是:数控装置内一般都有一块大板,称为主板。主板上装有主 CPU 和各轴的位置控制电路等,其他相关子板,如 ROM 板、RAM 板和 PLC 板都插在主板上。

大板式结构的 CNC 装置结构紧凑、体积小、可靠性高、价格低、有很高的性能价格比。A - B 公司的 8601 就是大板式结构的 CNC。

模块化结构的特点是：将 CPU、存储器、输入/输出控制、位置检测、显示部件等分别做成插件板，相应的软件也是模块结构，固化在硬件模块中。硬件模块形成一个特定的功能单元，称为功能模块。功能模块间有明确定义的接口，接口是固定的，成为工厂标准或工业标准，彼此间可进行信息交换。模块化结构的典型应用有 FANUC 公司的 15 系统、A - B 公司的 8 600 CNC、FAGOR 的 8050 等。

如图 2 - 12 所示是单机或主从结构的数控系统硬件结构框图。这类数控系统的硬件由于有若干功能不同的模块组成，这些模块既是系统的组成部分，又有相对的独立性，即所谓的模块化结构。采用这种结构对数控系统的设计和生以及维修都有极大好处。实现这种结构的方法称为模块化设计方法。实现数控系统模块化设计的条件是总线（Bus）标准化。而采用模块化结构时，数控系统设计工作则可归结为功能模块的合理选用。

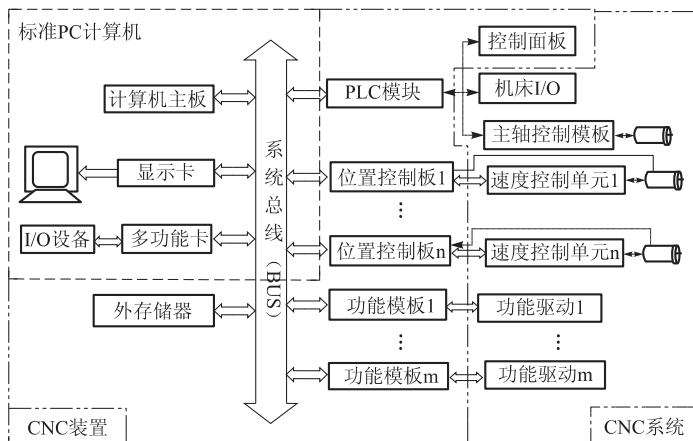


图 2 - 12 单机或主从结构的数控系统硬件结构

所谓模块化设计方法就是：将控制系统按功能划分成若干具有独立功能的单元模块，每个模块配上相应的驱动软件，按功能的要求选择不同的功能模块，并将其插入控制单元母板上，组成一个完整的控制系统，其中单元母板一般为总线结构的无源母板，它提供模块间互联的信号通路。

下面我们从功能方面来讨论图 2 - 12 所示数控系统中各硬件模块的作用。

（1）计算机主板和系统总线（母板）。

① 计算机主板。如图 2 - 13 所示，计算机主板是数控系统的核心，数控系统的计算机系统在功能上完全与标准的 PC 机一样，各硬件模块也均与 PC 机总线标准兼容。但是，数

控系统的计算机系统与普通的商用 PC 机在结构上略有不同，从系统的可靠性出发，它的主板与系统总线（母板）是分离的，即系统总线是一单独的无源母板。主板则做成插卡形式，且集成度更高，即所谓 All - In - One 主板。

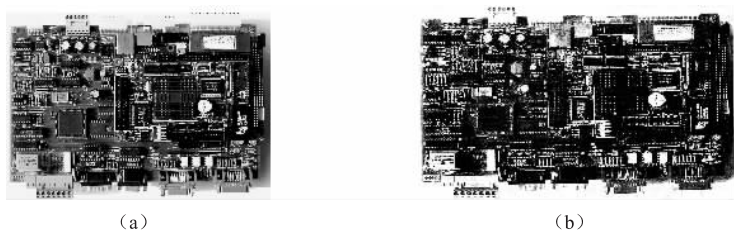


图 2-13 微处理器与计算机主板外观
(a) 微处理器；(b) 计算机主板

计算机主板的主要作用：对输入到 CNC 装置中的种种数据、信息（零件加工程序，各种 I/O 信息等）进行相应的算术和逻辑运算。并根据其处理结果，向各功能模块发出控制命令，传送数据，使加工指令得以执行。

② 系统总线（母板）。它是由一组传送数字信息的物理导线组成，是计算机系统内部（数控系统内部）进行数据或信息交换的通道，从功能上来讲，它可分三组：

★ 数据总线：它是各模块间数据交换的通道，线的根数与数据宽度相等，它是双向总线。

★ 地址总线：它是传送数据存放地址的总线，与数据总线结合，可以确定数据总线上的数据的来源地或目的地，它是单向总线。

★ 控制总线：它是一组传送管理或控制信号的总线（如数据的读、写、控制、中断、复位、I/O 读写及各种确认信号等），它是单向总线。

一般作为工业用 PC 机的总线母板是独立的无源四层板（走线面、元件面、电源层和地层），它的可靠性高于两层板，其规格有 6 槽、8 槽、12 槽、14 槽等。用户可以根据数控系统功能板的多少进行选择。如图 2-14 所示为无源母板的外观。

（2）显示模块（显示卡）。显示卡是一个通用性很强的模块。它不仅随时可以在市场上买到，而且它还有非常丰富的支持软件，因此无需用户自己开发。现在市场上出售的有 VGA 卡、SVGA 卡，早期的有 CGA、EGA 等。

在数控系统中，CRT 显示是一个非常重要的功能，它是人机交流的重要媒介，它给用户提供了一个直观的操作环境，可使用户能快速地熟悉适应其操作过程。

显示卡的主要作用：接收来自 CPU 的控制命令和显示用的数据，经与 CRT 的扫描信号调制后，产生 CRT 显示器所需要的视频信号，在 CRT 上产生所需要的画面。

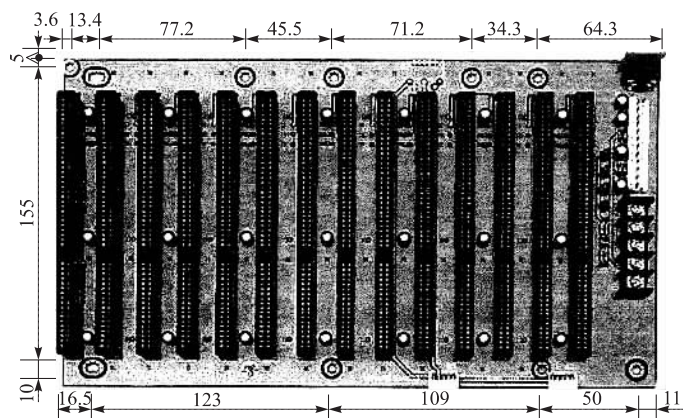


图 2-14 无源母板（总线）的外观

(3) 输入/输出模块（多功能卡）。该模块也是标准的 PC 机模块，一般不需要用户自己开发。它是数控系统与外界进行数据和信息交换的接口板，即数控系统通过该接口可以从输入设备获取数据，也可以将数控系统中的数据送给输出设备。输入设备有：软盘驱动器（如图 2-15 所示）；输出设备有：打印机；输入/输出设备有：磁盘驱动器、磁带机，通信接口是串行接口 RS-232C（如图 2-16 所示）。



图 2-15 软盘驱动器



图 2-16 RS-232C 串行接口

若将计算机主板和系统总线、显示模块以及输入/出模块三个部分，再配上键盘、电源（如图 2-17 所示为几种类型电源）、机箱，实际上是一部通用的微型计算机系统，它是数

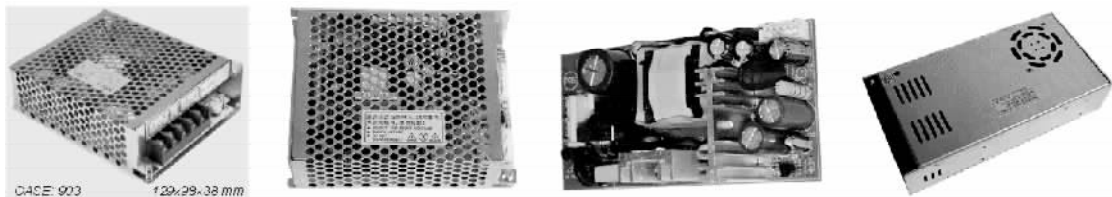


图 2-17 几种类型电源

控系统的核心,从某种意义上讲,数控系统的档次和性能是由它决定的。因此,数控系统中计算机系统的合理选用是至关重要的。

如图 2-17 所示电源部分的任务是给数控装置提供一定功率的逻辑电压、模拟电压及开关量控制电压,要能够抗较强的浪涌电压和尖峰电压的干扰。电源抗电磁干扰和工业生产过程中所产生的干扰的能力在很大程度上决定了数控装置的抗干扰能力。典型的电源电压有 $\pm 5\text{ V}$ 、 $\pm 12\text{ V}$ 、 $\pm 15\text{ V}$ 和 $\pm 24\text{ V}$ 。

(4) 电子盘。

① 电子盘存储内容。电子盘是数控系统特有的存储模块,在数控系统中它用来存放下列数据和参数:系统软件、系统固有数据;系统的配置参数(系统所能控制的进给轴数、轴的定义、系统增益等);用户的零件加工程序。

② 存储器的种类。目前,在计算机领域所用存储器有三类:磁存储器件,如:软/硬盘(读/写),它们都是可随机读写的;光存储器件,如:光盘(只读);电子(半导体)存储器件,如 RAM、ROM、FLASH 等。

前两类一般用作外存储器,其特点是容量大,价格低。电子存储器件一般用作内存储器,其价格高于前两类。

若按其读写性能来看,它又可分为只读存储元件、易失性随机读写存储元件和非易失性读写存储元件三类。

★ 只读存储元件 (ROM、PROM、EPROM): 其特点是只能读出其存放的数据,而不能随时修改它们。它用于固化调试通过了的系统软件和系统固有的参数。

★ 易失性随机读写存储元件 (RAM): 其特点是可以随时对其进行读写操作,一旦掉电其信息将会全部丢失。它又有动态和静态之分,动态:价格低,速度慢,主要用作计算机系统的内存;静态:价格高,速度快,主要用作计算机系统的缓存器 Cache。

★ 非易失性读写存储元件:其特点是可以随时对其进行读写操作,即使掉电信息也不会丢失。它用于存放系统的配置参数,零件加工程序。一般他们读的速度要快于写的速度。这类存储器件有 E^2PROM 、FLASH、带后备电池的 RAM。

在数控系统中,常采用电子存储器件作为外存储器,主要是考虑到数控系统的工作环境有可能受到电磁干扰,磁性器件的可靠性低,而电子存储器件的抗电磁干扰能力相对来讲要强一些。因 Flash 器件组成的存储单元是按磁盘的管理方式进行的,故称其为电子盘,由于通常由 USB 接入,外存储器又称为 U 盘。

电子盘的规格有 1.44 MB、2.88 MB、6 MB、12 MB、128 MB、256 MB 等,目前较经济的 U 盘存储容量可达几个 GB。如图 2-18 所示为电子盘的逻辑框图。

(5) 设备辅助控制接口模块 (PLC 模块)。数控系统对设备的控制分为两类:一类是对各类坐标轴的速度和位置的“轨迹控制”;另一类是对设备动作的“顺序控制”。对数控机床而言,“顺序控制”是指数控机床运行过程中,以数控系统内部和机床各行程开

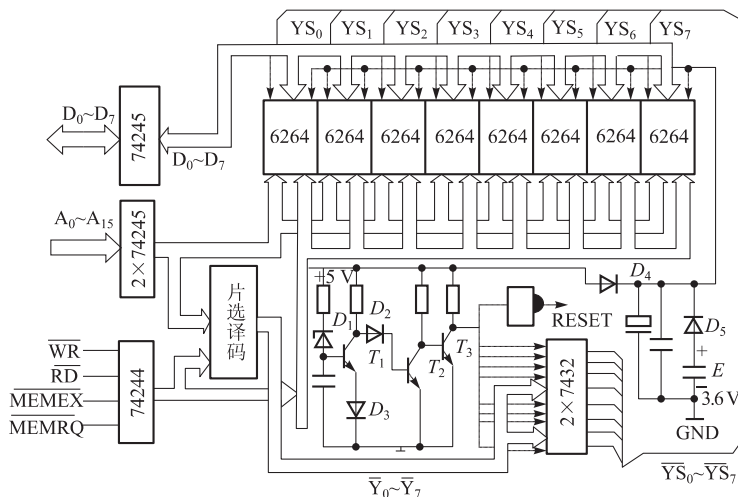


图 2-18 电子盘的逻辑框图

关、传感器、按钮、继电器等开关量信号状态为条件，并按预先规定的逻辑顺序对诸如主轴的起停、换向，刀具的更换，工件的夹紧、松开，液压、冷却、润滑系统的运行等进行控制。

在数控机床中实现顺序控制的模块是设备辅助控制接口模块。由图 2-19 可看出，设备辅助控制接口模块主要接收来自操作面板、刀库控制的有关信号传感器、按钮、强电柜里的继电器以及主轴控制、刀库控制的有关信号，经处理后输出去控制相应器件的运行。

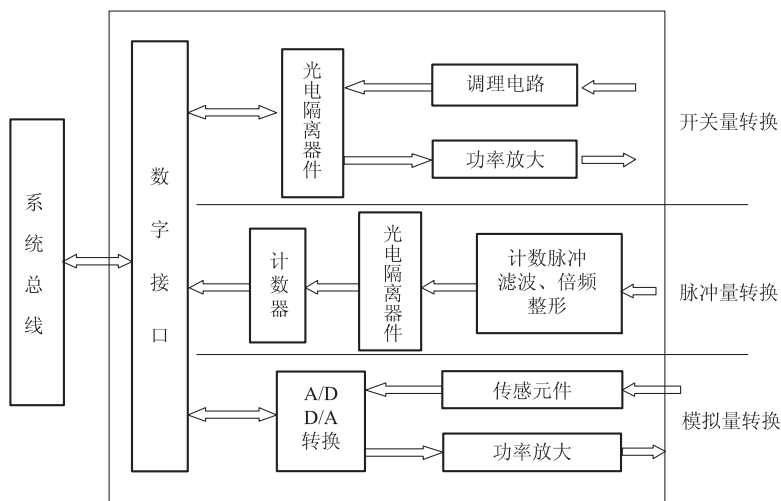


图 2-19 设备辅助控制模块硬件逻辑框图

通过对以上信号进行分析可知，数控系统与被控设备之间要交换的信息有三类：开关量信号、模拟量信号、脉冲量信号。然而上述信号一般不能直接与数控系统相连，需要一个接口（即设备辅助控制接口）对这些信号进行变换处理。其目的是：

① 对上述信号进行相应的转换，以满足数控系统输入输出的要求。

② 阻断外部的干扰信号进入计算机，在电气上将数控系统与外部信号进行隔离，以提高数控系统运行的可靠性。

由此，设备辅助控制接口的功能必须能完成上述两个任务：即电平转换和功率放大；电气隔离。

目前，设备辅助控制接口的实现方式有以下几种：

① 简单 I/O 接口板。如图 2-19 所示，在该接口电路中，光电隔离器件起电气隔离和电平转换作用；调理电路对输入信号进行整形、滤波等处理。而信号间的互锁、连锁、延时控制，则由后续的继电器逻辑来实现，其柔性较差，体积庞大。

② PLC 控制：这种控制是目前数控系统用得最广泛的方式。它的基本结构如图 2-20 所示。数控机床用的 PLC 一般分为两类：一类是数控系统的生产厂家为实现数控机床的顺序控制，而将数控系统和 PLC 综合起来设计，称为内装型（Built-in Type）PLC（或称集成式、内涵式），如图 2-21 所示；另一类是由专业化生产厂家生产的 PLC 产品来实现顺序控制，称为独立型（Stand-alone Type）PLC，或称为通用型 PLC，如图 2-22 所示。

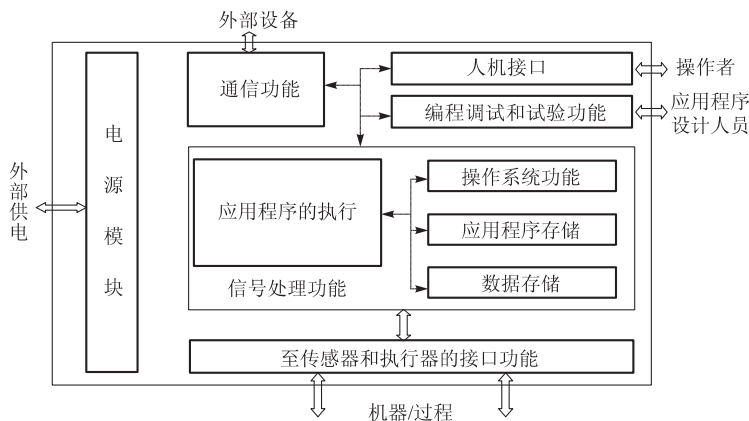


图 2-20 PLC 系统的基本结构

（6）位置控制模块。位置控制模块是进给伺服系统的重要组成部分，是数控系统与伺服驱动系统连接的接口模块，如图 2-23 所示。

目前，常用的位置控制模块有开环位置控制模块和闭环（含半闭环）位置控制模块两种类型。

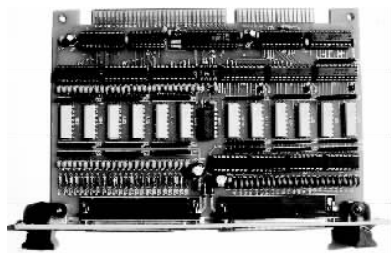


图 2-21 内装型 PLC

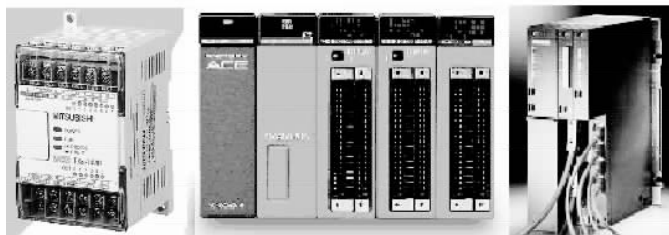


图 2-22 独立型 PLC

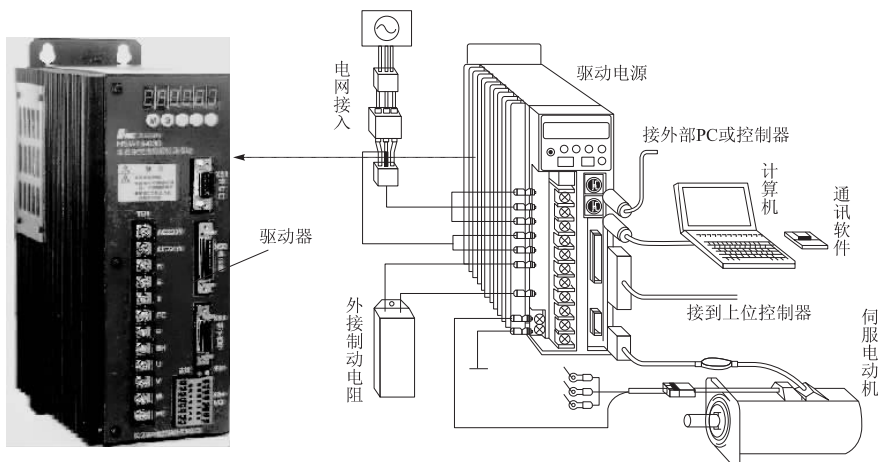


图 2-23 伺服系统连接图

（7）功能接口模块。该模块是实现用户特定功能要求的接口板。就目前的情况而言，用户特殊的功能要求，必须向数控系统的生产厂家定制，一般来讲用户无法自行开发的。如图 2-24 所示功能接口模块主要是控制 MDI 操作面板、CRT 显示等。



(a)

(b)

图 2-24 接口模块

(a) 各类接口；(b) 手持单元

如图 2-25 所示，主轴控制主要是对主轴转速的控制。提高主轴转速控制范围可以更好地实现高效、高精、高速加工。

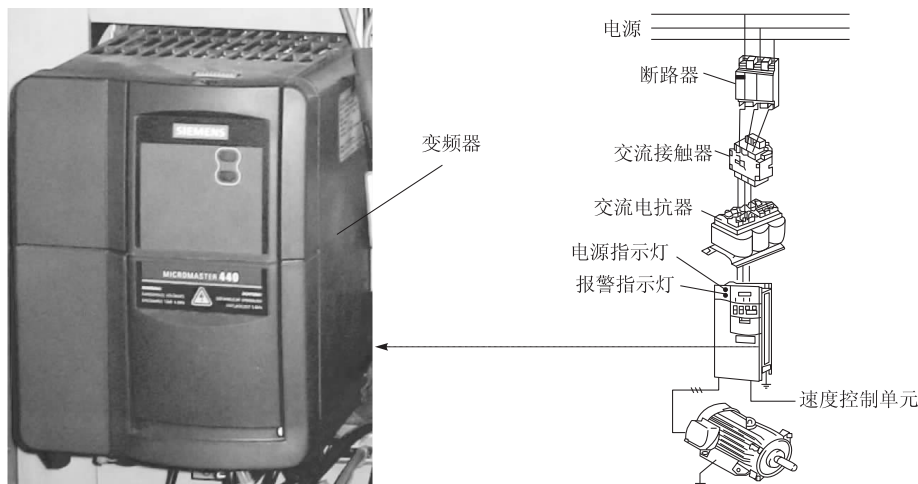


图 2-25 主轴系统连接图

2.3.3 多主结构数控系统的硬件介绍

多主 CPU 结构中，有两个或两个以上的 CPU 部件，部件之间采用紧耦合，有集中的操作系统，通过总线仲裁器（由硬件和软件组成）来解决总线争用问题，通过公共存储器来进行信息交换。多主结构的最大特点是：

- （1）能实现真正意义上的并行处理，处理速度快，可以实现较为复杂的系统功能。
- （2）容错能力强，在某模块出了故障后，通过系统重组仍可继续工作。

多主数控系统的信息交换方式决定了它的结构形式，主要有共享总线结构型和共享存储器结构型两种。

1. 共享总线结构

这种结构以系统总线为中心，把数控系统内各功能模块划分成带有 CPU 或 DMA（直接数据存取控制器）的各种主模板和从模板（RAM/ROM、I/O 模块），所有的主、从模板都插在严格定义的标准系统总线上，由于在系统中所有主模板都使用系统总线，而在任一时刻只能允许一个主模块占用总线，因此必须要有一个总线仲裁机构（电路）来裁定多个模块同时请求使用系统总线的竞争问题，这是多主 CPU 系统的一个重要特征。如图 2-26 所示。

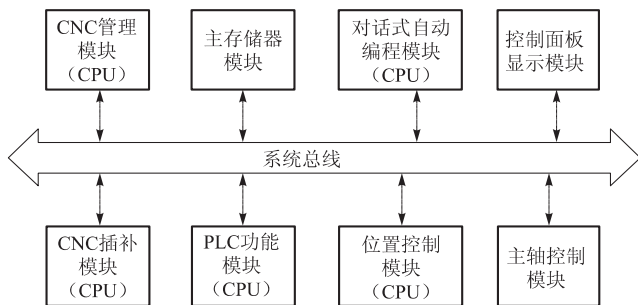


图 2-26 共享总线结构

2. 共享存储器结构

这种结构是面向公共存储器设计，即采用多端口来实现各主模块之间的互联和通信，与共享总线结构一样。该系统在同一时刻也只能允许有一个主模块对多端口存储器访问（读/写），所以也必须有一套多端口控制逻辑来解决访问冲突这一矛盾。但由于多端口存储器设计较复杂，而且对两个以上的主模块，会因争用存储器可能造成存储器传输信息的阻塞，所以这种结构一般采用双端口存储器（双端口 RAM），如图 2-27 所示。

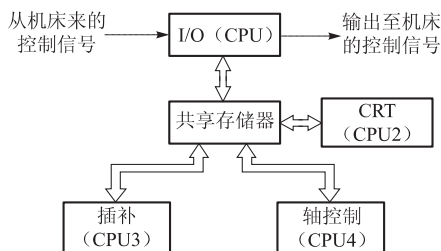


图 2-27 共享存储器结构

思考与练习

一、名词解释

1. 单机系统 2. 多机系统 3. 主从结构 4. 模块化设计方法

二、选择题

1. 强电和微机系统隔离常采用（ ）。
 - A. 光电耦合器 B. 晶体三极管 C. 74LS138 编程器 D. 8255 接口芯片
2. 为了提高 CNC 系统的可靠性，可以采用（ ）。
 - A. 单片机 B. 双 CPU C. 模块结构 D. 光电隔离电路
3. 电保护电路是为了（ ）。
 - A. 防止强电干扰 B. 防止系统软件丢失
 - C. 防止 RAM 中保存的信息丢失 D. 防止电源电压波动

三、填空题

1. 为了防止强电干扰信号通过 I/O; 控制回路进入计算机, 最常采用; 方法是在接口处增加_____。
2. 键盘和显示器是数控系统常用的_____的外围设备, 键盘可以完成程序数据_____, 显示器_____计算机运行时的_____。
3. 全功能数控系统一般有_____个 CPU 工作, 各 CPU 并行工作, 所以运算速度高。
4. 为了避免在_____的情况下, RAM 中保存的信息不被丢失, RAM 通常外接_____电路。
5. 机系统按组成数控装置的电路板的结构特点可分为_____和_____两类。
6. 计算机主板一般做成插卡形式, 且集成度更高, 即所谓_____, 其主要作用是_____。
7. 系统总线又称_____, 是由一组传送数字信息的物理导线组成, 是计算机系统内部 (数控系统内部) 进行数据或信息交换的通道, 从功能上来讲, 它可分三组: _____、_____和_____。
8. 一般作为工业用 PC 机的总线母板是独立的无源四层板 (即, _____、_____和 _____), 它的可靠性高于两层板, 其规格有 _____、_____、_____、_____等。
9. 显示卡的主要作用是_____。
10. 在计算机领域所用存储器有三类: _____, 如: 软/硬磁盘 (读/写), 它们都是可随机读写的; _____, 如: 光盘 (只读); _____, 如 RAM、ROM、FLASH 等。若按其读写性能来看, 它又可分为 _____、_____和 _____三类。
11. 数控系统对设备的控制分为两类: 一类是 _____; 另一类是_____。
12. 数控机床用的 PLC 一般分为两类: 一类是数控系统的生产厂家为实现数控机床的顺序控制, 而将数控系统和 PLC 综合起来设计, 称为_____; 另一类是由专业化生产厂家生产的 PLC 产品来实现顺序控制, 称为_____, 或称为_____。
13. 多主数控系统的信息交换方式决定了它的结构形式, 主要有_____和 _____两种。

四、简答题

1. 简述多机系统的类型。
2. 大板式结构和模块化结构的特点分别是什么?
3. 简述共享总线结构和共享存储器结构。

2.4 数控系统的软件结构

2.4.1 数控系统软硬件的功能界面

数控系统软件是一个典型而又复杂的实时系统，它的许多控制任务，如零件程序的输入与译码、刀具半径的补偿、插补运算、位置控制以及精度补偿等都是由软件实现的。从逻辑上讲，这些任务可看成是一个个功能模块，模块之间存在着耦合关系；从时间上讲，各功能模块之间存在一个时序及配合问题。

数控系统的软件结构取决于数控系统中的软件和硬件的分工，也取决于软件本身的工作性质，硬件为软件的运行提供支持环境。在信息处理方面，软件和硬件在逻辑上是等价的，即硬件能完成的功能从理论上讲也可以用软件来完成。但是，硬件和软件在实现这种功能时各有不同的特点：

- (1) 硬件处理速度快，但灵活性差，实现复杂控制的功能困难。
- (2) 软件设计灵活，适应性强，但处理速度相对较慢。

因此，哪些功能应由硬件实现，哪些功能应由软件实现，即如何合理确定软件和硬件的功能分担是数控系统结构设计的重要任务，这就是所谓的软件和硬件的功能界面划分的概念。通常功能界面划分的准则是系统的性能价格比。如图2-28所示是数控系统功能界面的几种划分方法。

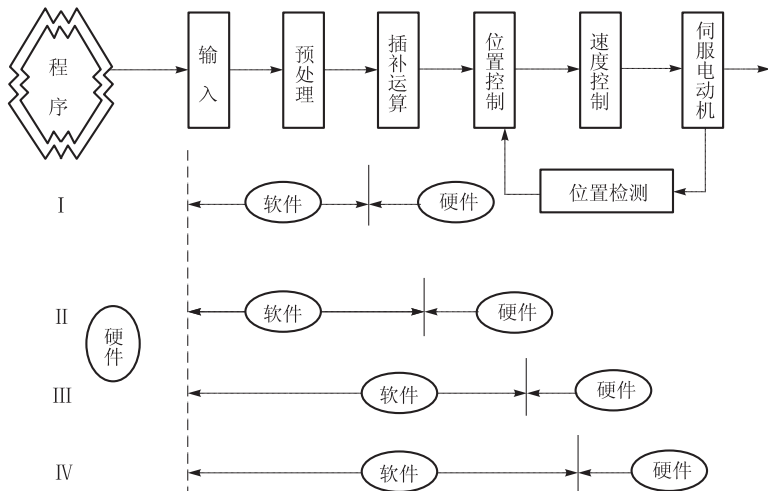


图2-28 软件和硬件的功能界面的几种划分方法

这四种功能界面是数控系统在不同时期不同产品的划分。其中后面两种是现在数控系统常用的两种方案。由图可知,划分方案从Ⅰ至Ⅳ,软件所承担的任务越来越多,硬件承担的任务越来越少。这主要是因为计算机技术在数控领域的广泛应用,并且随着计算机技术的发展,计算机的运算处理能力不断增强,使软件的运行效率大大提高,这就为用软件实现数控功能提供了技术上的支持;另一方面,随着数控技术的发展,人们对数控功能的要求也越来越高,若要硬件来实现这些功能不仅结构复杂,而且柔性差,有时甚至不可能,而软件实现则具有较大的灵活性。

2.4.2 数控系统的数据转换流程

数控系统软件的主要任务之一就是如何将由零件加工程序表达的加工信息,变换成各进给轴的位移指令、主轴转速指令和辅助动作指令,控制加工设备的轨迹运动和逻辑动作,加工出符合要求的零件。如图 2-29 所示为数控系统的数控转换流程。

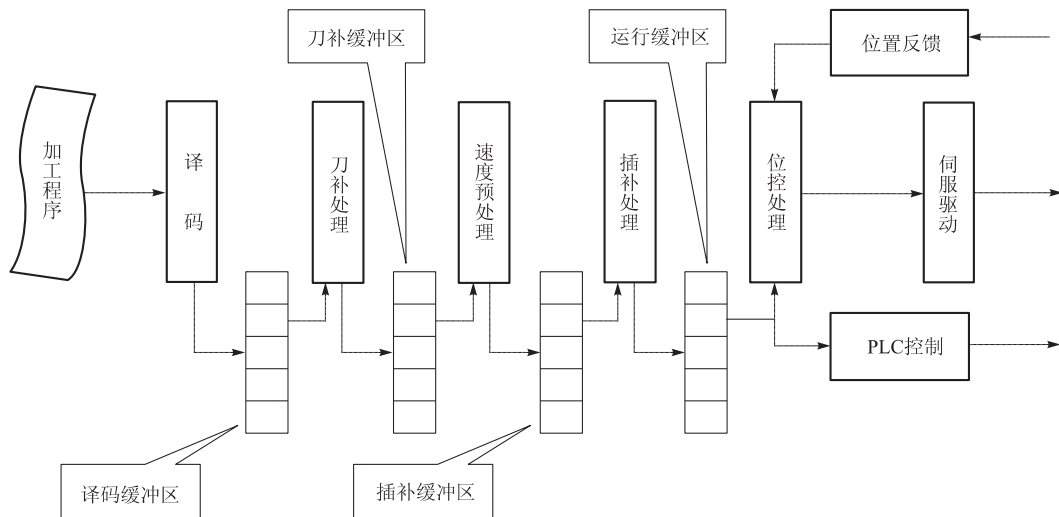


图 2-29 数控系统数据转换流程

1. 译码

译码程序的主要功能是将用文本格式（通常用 ASCII 码）表达的零件加工程序，以程序段为单位转换成后续程序所要求的数据结构（格式）。该数据结构用来描述一个程序段解释后的数据信息，主要包括 X 、 Y 、 Z 等坐标值、进给速度、主轴转速、G 代码、M 代码、刀具号、子程序处理和循环调用处理等数据或标志的存放顺序和格式。

2. 刀具补偿处理

零件加工程序通常是按零件轮廓编制的,而数控机床在加工过程中控制的是刀具中心轨

迹，因此在加工前必须将零件轮廓变换成刀具中心轨迹。刀补处理就是完成这种转换的程序，它主要进行以下几项工作：

(1) 根据绝对坐标/增量坐标 (G90/G91) 计算零件轮廓的终点坐标值。

(2) 根据刀具半径 R 和刀具半径补偿的方向 (G41/G42)，计算刀具中心轨迹的终点坐标值。

(3) 根据本段与前段连接关系，进行段间连接处理。

经刀补处理程序转换的数据存放在刀补缓冲区中，以供后续程序之用，刀补缓冲区与译码缓冲区的结构相似。

3. 速度预处理

速度预处理主要功能是根据加工程序给定的进给速度，计算在每个插补周期内的合成移动量，供插补程序使用。速度处理程序主要完成以下几步计算：

(1) 计算本段总位移量。对直线则计算其合成位移量；对圆弧就计算其总角位移量。这个数据供插补程序判断减速起点或终点判断之用。

(2) 计算每个插补周期内的合成进给量。

$$\Delta L = F \Delta t / 60 \quad (\mu\text{m})$$

式中， F ——进给速度值 (mm/min)； Δ —— t 数控系统的插补周期 (ms)。

经速度预处理程序转换的数据存放在插补缓冲区中，以供插补程序之用。以上两步有时统称插补预处理。

4. 插补处理

根据给定的曲线类型 (如直线、圆弧)、起点、终点以及速度，在起点和终点之间进行数据点的密化，数控系统的插补功能主要由软件来实现。本程序以系统规定的插补周期 Δt 定时运行，其主要功能是：

(1) 根据操作面板上“进给修调”开关的设定值，计算本次插补周期的实际合成位移量： $\Delta L_1 = \Delta L \times \text{修调值}$ 。

(2) 将 ΔL_1 按插补的线形 (直线、圆弧等) 和本插补点所在的位置分解到各个进给轴，作为各轴的位置控制指令 (ΔX_1 , ΔY_1)。

经插补计算后的数据存放在运行缓冲区中，以供位置控制程序之用。插补模块以系统规定的插补周期 Δt 定时运行。

5. 位置控制处理

位置控制数据转换流程如图 2-30 所示。位置控制处理主要进行各进给轴跟随误差 (ΔX_3 , ΔY_3) 的计算，并进行调节处理，其输出为位移速度控制指令 (V_X , V_Y)。

位置控制完成以下几步计算：

(1) 计算新的位置指令坐标值

$$X_{1\text{新}} = X_{1\text{旧}} + \Delta X_1 \quad Y_{1\text{新}} = Y_{1\text{旧}} + \Delta Y_1;$$

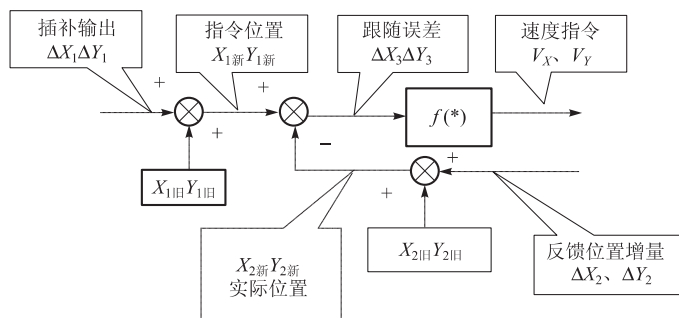


图 2-30 位置控制数据转换流程

(2) 计算新的位置实际坐标值

$$X_{2\text{新}} = X_{2\text{旧}} + \Delta X_2 \quad Y_{2\text{新}} = Y_{2\text{旧}} + \Delta Y_2$$

(3) 计算跟随误差（指令位置值——实际位置值）

$$\Delta X_3 = X_{1\text{新}} - X_{2\text{新}} \quad \Delta Y_3 = Y_{1\text{新}} - Y_{2\text{新}}$$

(4) 计算速度指令值

$$V_x = f(\Delta X_3) \quad V_y = f(\Delta Y_3)$$

$f(*)$ 是位置环的调节控制算法，具体的算法视具体系统而定。这一步在有些系统中是采用硬件来实现的。 V_x 、 V_y 送给伺服驱动单元，控制电机运行，实现数控装置的轨迹控制。

2.4.3 数控系统控制软件的特点

1. 多任务性与并行处理技术

(1) 数控系统的多任务性。所谓任务就是可并行执行的程序在一个数据集合上的运行过程。因此，数控系统的功能则可定义为数控系统的任务。数控系统的任务通常可分为两大类：管理任务和控制任务。管理任务主要承担系统资源管理和系统各子任务的调度，负责系统的程序管理、显示、诊断等子任务；控制任务主要完成数控系统的基本功能，如译码、刀具补偿、速度预处理、插补运算、位置控制等任务。如图 2-31 所示是数控系统的任务并行

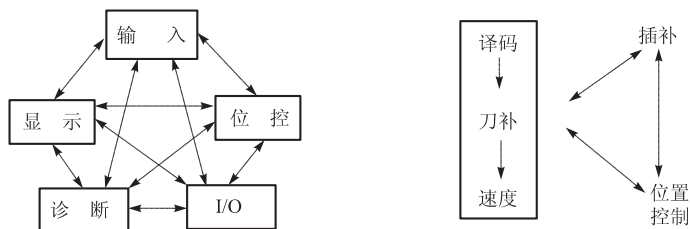


图 2-31 多任务并行处理关系

处理关系图，双箭头表示两个模块之间有并行处理关系。由图可知数控系统中在工作中这些任务并不是顺序执行的，而往往需要多任务并行处理。

① 当机床正在加工时（执行控制任务），CRT 要实时显示加工状态（管理任务）。这是控制任务与管理的并行。

② 在管理任务中也是如此，当用户将程序输入系统时，CRT 便实时显示输入的内容。

③ 在控制任务中更是如此，为了保证加工连续性，刀具补偿、速度处理、插补运算以及位置控制必须同时不间断执行。

（2）基于并行处理的多任务调度技术。并行处理是指软件系统在同一时刻或同一时间间隔内完成两个或两个以上任务处理的方法。采用并行处理技术的目的是为了提高数控系统资源的利用率和系统的处理速度。并行处理的实现方式是与数控系统的硬件结构密切相关的，在数控系统中常采用以下方法：

① 资源分时共享。对于单机系统，采用“分时”来实现多任务的并行处理。其方法是在规定的时间长度（通常称为时间片）内，根据各任务实时性的要求，规定它们占用 CPU 的时间，使它们分时共享系统的资源。因此，在采用“资源分时共享”并行处理技术的数控系统中，首先要解决各任务占用 CPU（资源）时间的分配原则。该原则解决如下两个问题：其一是各任务何时占用 CPU，即任务的优先级分配问题；其二是各任务占用 CPU 的时间长度，即时间片的分配问题。

一般地，在单机系统中，通常采用循环调度和优先级抢占调度相结合的方法来解决上述问题。如图 2-32 所示是一个典型数控系统多任务分时共享 CPU 的时间分配图。

为了简单起见，假定某数控系统软件将其功能仅分三个任务：位置控制、插补运算和背景程序。这三个任务的优先级从上到下逐步下降，即位置控制优先级最高，插补运算其次，背景程序（主要包括实时性要求相对不高的一些子任务）相对最低。系统规定：位置控制任务每 4 ms 执行一次，插补运算每 8 ms 执行一次，则两个任务都由定时中断激活。当位置控制和插补运算都不执行时便执行背景程序，正因为如此才称其为“背景”程序。系统的运行是：在完成初始化后，自动进入背景程序，在背景程序中采用循环调度的方式，轮流反复地执行各个子任务。优先级高的任务（如位置控制或插补运算任务）可以随时中断背景程序的运行。同时，位置控制也可中断插补运算的运行，因此在这里位置控制任务的优先级最高。

各任务在运行中占用 CPU 的时间如图 2-32（b）所示。在图中，粗实线表示任务对 CPU 的中断请求；两粗实线之间的长度表示该任务的执行周期；不同颜色深度的阴影部分表示各任务占用 CPU 的时间长度。由图可以看出：在任何一个时刻只有一个任务占用 CPU；从一个时间片（如 8 ms 或 16 ms）来看，CPU 并行地执行了两个或两个以上的任务。

因此，资源分时共享的并行处理只具有宏观上的意义，即从微观上来看，各个任务还是逐一执行的。

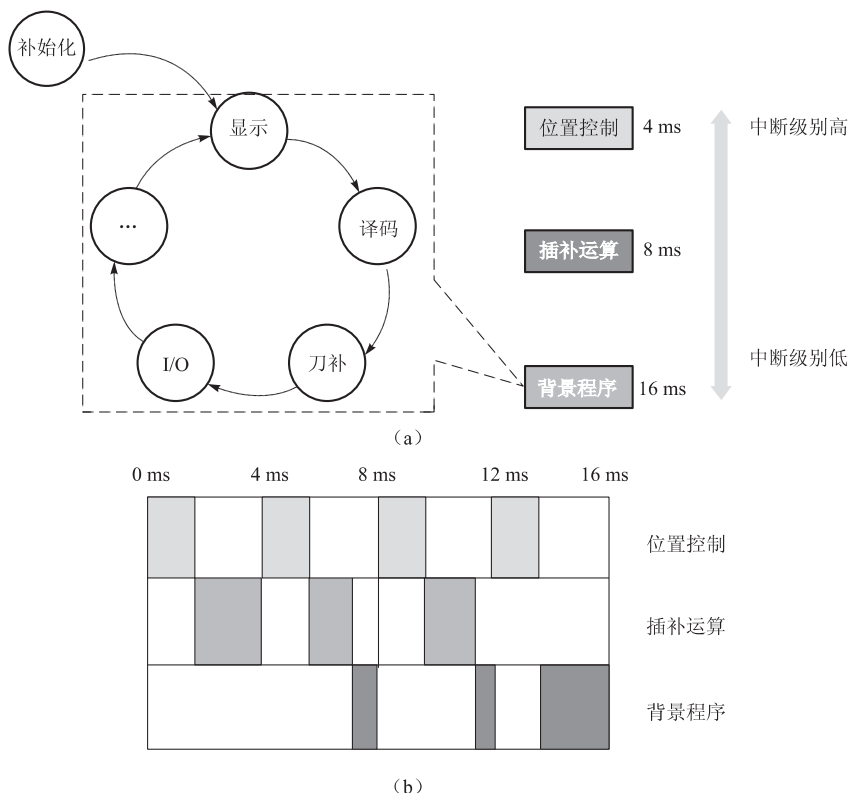


图 2-32 多任务分时共享 CPU 的时间分配图
(a) CPU 分时共享图; (b) 各任务占用 CPU 时间示意图

② 并发处理和流水处理。在多机系统中，根据各任务之间的关联程序，可采用以下两种策略来提高系统处理速度。其一，如果任务间的关联程度不高，则可将这些任务安排一个 CPU，让其同时执行，即所谓的“并发处理”；其二，如果各任务之间的关联程度较高，即一个任务的输出是另一个任务的输入，则可采取流水处理的方法来实现并行处理。

流水处理技术是利用重复的资源，将一个大的任务分成若干个子任务（任务的分法与资源重复的多少有关），这些小任务是彼此关系的，然后按一定的顺序安排每个资源执行一个任务，就像在一条生产线分不同工序加工的流水作业一样。例如，前面所述的数据转换流程的插补准备是由译码、刀补处理、速度预处理三个任务组成的。如果每任务的处理时间分别为 Δt_1 、 Δt_2 、 Δt_3 ，若以顺序方式处理每个程序段，那么一个程序段的数据转换时间将是 $t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4$ ，其空间关系如图 2-33（a）所示。从 2-33（a）可以看出，两个程序段的输出之间将有一个时间长度为 t 的时间间隔，这个时间间隔越长，数控系统的控制性能就越差，因此应尽量缩短这个时间间隔。采用流水处理方式是解决上述问题的有效方

法,流水处理方式的时间空间关系如图 2-33(b)所示。由图 2-33(b)可知,采用流水处理方式两个程序段的输出之间的时间间隔仅为 Δt_3 ,大大缩短了输出时的时间间隔。另外,由图还可看出,在任何一个时刻(除开始和结束外)均有两个或两个以上的任务在并发执行。综上所述,流水处理的关键是时间重叠,是以资源重复的代价换得时间上的重叠,或者说以空间复杂性的代价换得时间上的快速性。

2. 实时性和优先抢占调度机制

实时性是指某任务的执行有严格的时间要求,即必须在系统的规定时间内完成,否则将导致执行结果错误和系统故障。

① 实时性任务的分类。数控系统是一个专用的实时计算机系统,该系统的各任务或强或弱都具有实时性要求。从各任务实时性要求的角度来看,它们基本上可分为强实时性任务和弱实时性任务,强实时性任务又可分为实时突发性任务和实时周期性任务。

★ 实时突发性任务

这类任务的特点是任务的发生具有随机性和突发性,它们是一种异步中断事件,往往有很强的实时性要求。它们主要包括故障中断(急停、机械限位、硬件故障等)、机床 PLC 中断等。

★ 实时周期性任务

这类任务是精确地按一定时间间隔发生的,主要包括加工过程中的插补运算、位置控制等任务。为保证加工精度和加工过程的连续性,这类任务处理的实时性是关键。在任务的执行过程中,除系统故障外,不允许其他任务中断。

★ 弱实时性任务

这类任务实时性要求相对较弱,它们只需要保证某一段时间内得以运行即可。这类任务在系统设计时,或被安排在背景程序中,或根据它们的重要性将其设置成不同的优先级(级别较低),再由系统调度程序对它们进行合理的调度。这类任务主要包括 CRT 显示、零件程序的编辑、加工状态的动态显示、加工轨迹的静态模拟仿真及动态显示等。

② 优先抢占调度机制。为了满足数控系统实时任务的要求,系统调度机制必须具有能根据外界的实时信息以足够的速度(在系统规定的时间内)进行任务的调度等能力。优先抢占机制就是能满足上述要求的调度技术,它是一种基于实时中断技术的任务调度机制。中

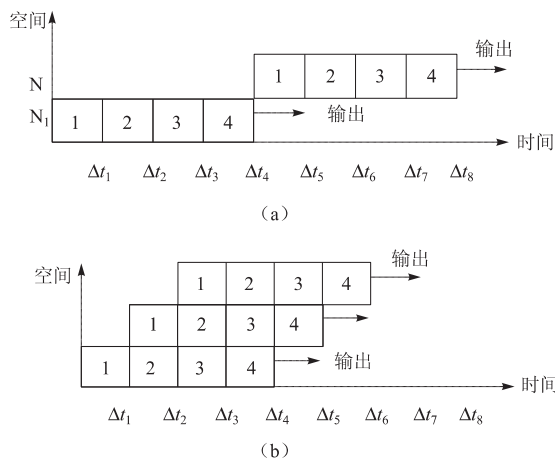


图 2-33 资源重叠的流水处理

(a) 顺序处理; (b) 并发处理

断技术是计算机系统响应外部事件的一种处理技术，其特点是它能按任务的重要程度、轻重缓急对其及时响应，而 CPU 也不必为其开销过多的时间。

优先抢占调度机制的功能有两个：其一是优先调度，在 CPU 空闲时，当同时有多个任务请求执行时，优先级高的任务将优先得到满足。例如，若位置控制、插补运算两任务同时请求执行，则位置控制的要求将首先得到满足。其二是抢占方式，在 CPU 正在执行某任务时，若另一优先级更高的任务请求执行，CPU 将立即终止正在执行的任务，转而响应优先级高任务的请求。例如，当 CPU 正在执行插补程序时，若此时位置控制任务请求执行，CPU 首先将正在执行任务的现场保护起来（断点保护），然后转入位置控制任务的执行，执行完毕后再恢复到中断前的断点处，继续执行插补任务。

优先抢占调度机制是由硬件和软件共同实现的，硬件主要提供支持中断功能的芯片和电路，如中断管理芯片、定时器计数器等。现在的计算机系统都能提供此功能。软件主要完成对硬件芯片的初始化、任务优先级的定义、任务切换（断点的保护与恢复、中断向量的保存与恢复等）等。

需要说明的是，在数控系统中任务的调度机制除优先抢占调度外，往往还同时采用时间片轮转调度和非抢占式优先调度。

2.4.4 数控系统的软件结构模式

所谓结构模式是指系统软件的组织管理方式，即系统任务的划分方式、任务调度机制、任务间的信息交换机制以及系统集成方法等。结构模式要解决的问题是如何组织和协调各个任务的执行，使之满足一定的时序配合要求和逻辑关系，以满足数控系统的各种控制要求。目前，数控系统软件的结构模式有前后台型结构、中断型结构和基于实时操作系统的结构模式。

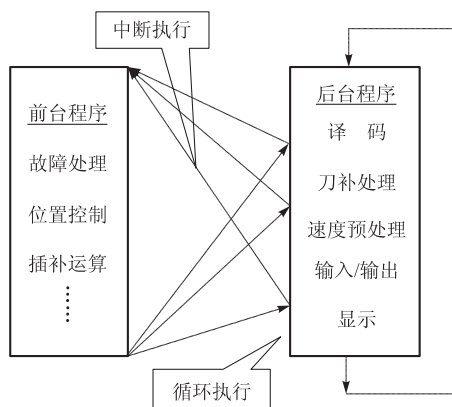


图 2-34 前后台程序运行关系图

1. 前后台型结构模式

这种模式将数控系统软件划分成两部分：前台程序和后台程序。前者主要完成插补运算、位置控制、故障诊断等实时性很强的任务，它是一个实时中断服务程序。后台程序（也称背景程序）则完成显示、零件加工程序的编辑管理、系统的输入/输出、插补预处理等弱实时性的任务，它是一个循环运行的程序，在运行过程中，不断地被前台程序定时打断，前后台相互配合来完成零件的加工任务。前后台程序的相互关系如图 2-34 所示。

这种结构采用的任务调度机制是优先抢占调

度和顺序调度。前台程序的调度是优先抢占式的；前台和后台程序内部各子任务采用的是顺序调度。前台和后台程序之间以及内部各子任务之间的信息交换是通过缓冲区实现的。

这种结构在前台和后台程序内无优先等级，也无抢占机制，因而实时性差。例如，当系统出现故障时，有时可能要延迟整整一个循环周期（最坏的情况）才能做出反应。所以该结构仅适用于控制功能较简单的系统。

2. 中断型结构模式

这种结构是将除了初始化程序之外，整个系统软件的各个任务模块分别安排在不同级别的中断服务程序中，然后由中断管理系统（由硬件和软件组成）对各级中断服务程序实施调度管理。整个软件就是一个大的中断管理系统。该模式的软件结构如图 2-35 所示。

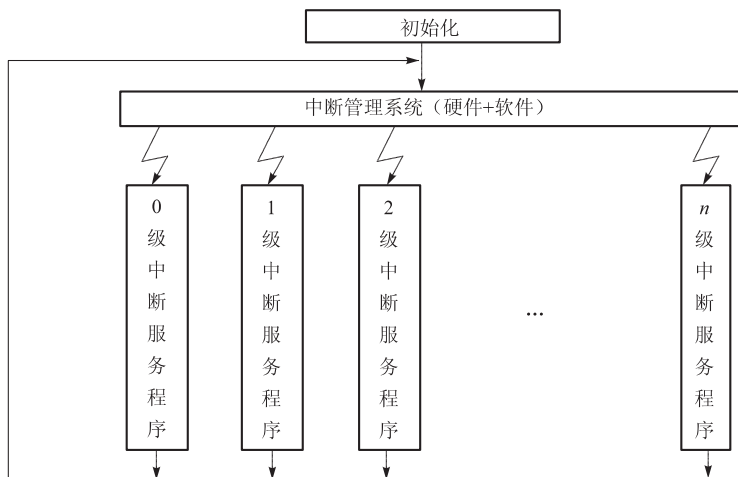


图 2-35 中断型软件系统结构图

该结构中任务的调度采用的是优先抢占调度。各级中断服务程序之间的信息交换是通过缓冲区来进行的。由于系统的中断级别较多（最多可达 8 级），可将强实时性任务安排在优先级较高的中断服务程序中，因此这类系统的实时性好。但模块的关系复杂，耦合度大，不利于对系统的维护和扩充。

3. 基于实时操作系统的结构模式

实时操作系统（RTOS, Real Time Operating System）是操作系统的一个重要分支，它除了具有通用操作系统的功能外，还具有任务管理、多种实时任务调度机制（如优先级抢占调度、时间片轮转调度等）、任务间的通信机制（如邮箱、消息队列、信号灯等）等功能，如图 2-36 所示。由此可知，

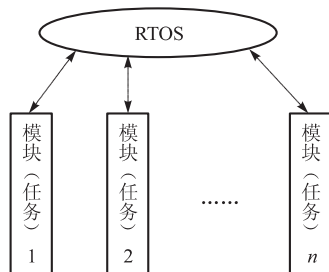


图 2-36 基于实时操作系统软件结构图

数控系统软件完全可以在实时操作系统的基础上进行开发。

这种结构模式的优点如下:

(1) 弱化功能模块间的耦合关系。数控系统各功能模块之间在逻辑上存在着耦合关系,在时间上存在着时序配合关系。为了协调和组织它们,前述结构模式中,需用许多全局变量标志和判断、分支结构,致使各模块间的关系复杂。在本模式中,设计者只需考虑模块自身功能的实现,然后按规则挂到实时操作系统上,而模块间的调用关系、信息交换方式等功能都由实时操作系统来实现,从而弱化了模块间的耦合关系。

(2) 系统的开放性和可维护性好。从本质上讲,前述结构模式采用的是单一流程加中断控制的机制,一旦开发完毕,系统将是完全封闭(对系统的开发者也是如此),若想对系统进行功能扩充和修改将是困难的。在本模式中,系统功能的扩充或修改,只需将编写好的任务模块(模块程序加上任务控制块(TCB)),挂到实时操作系统上(按要求进行编译)即可。因而,采用该模式开发的数控系统具有良好的开放性和可维护性。

(3) 减少系统开发的工作量。在数控系统软件开发中,系统内核(任务管理、调度、通信机制)的设计开发往往是很复杂的,而且工作量也相当大。当以现有的实时操作系统为内核时,即可大大减少系统的开发工作量和开发周期。

思考与练习

一、名词解释

1. 译码
2. 并行处理
3. 流水处理技术

二、选择题

1. 在中断型软件结构中,各种功能程序被安排成优先级不同的中断服务程序,下列程序中被安排在最高级别的程序是()。

- A. 译码、刀具中心轨迹计算 B. CRT 显示 C. 插补计算 D. 伺服系统位置控制

2. 数控系统软件中前台程序又称(),完成实时控制任务。

- A. 系统程序 B. 中断服务程序 C. 应用程序 D. 背景程序

3. 在前后台型软件结构中,前台程序是一个()。

- A. 定时中断处理程序 B. 前台子程序
C. 译码,数据处理程序 D. 系统管理程序

三、判断题

() 1. 总线是 CPU 与各组成部件、接口之间信息的公共传输线。

() 2. 数控系统的软件结构取决于数控系统中的软件和硬件的分工,也取决于软件本身的工作性质,硬件为软件的运行提供支持环境。

() 3. 位置控制、插补运算和背景程序三个任务的优先级从上到下依次是位置控制优先级最高,背景程序其次,插补运算最低。

() 4. 零件加工程序通常是按零件轮廓编制的,而数控机床在加工过程中控制的是刀具中心轨迹,因此在加工前必须将零件轮廓变换成刀具中心轨迹。

() 5. 后台程序完成显示、零件加工程序的编辑管理、系统的输入/输出、插补预处理等弱实时性的任务。

() 6. 速度预处理主要功能是根据加工程序给定的进给速度,计算在每个插补周期内的合成移动量,供插补程序使用。

四、填空题

1. 数控系统软件中_____程序又称中断服务程序,完成实时控制任务;_____程序又称背景程序,完成无实时要求的任务。

2. 用的较多的系统软件结构有三种:_____软件结构、_____软件结构和_____软件结构。

3. 数控系统的数据转换流程为_____,_____,_____,_____和_____。

4. 所谓任务就是可并行执行的程序在一个数据集合上的运行过程。数控系统的任务通常可分为两大类:_____和_____。

5. 并行处理的实现方式是与数控系统的硬件结构密切相关的,在数控系统中常采用_____和_____方法。

6. 从各任务实时性要求的角度来看,它们基本上可分为_____和_____,强实时性任务又可分为_____和_____。

7. 数控系统软件的结构模式有_____,_____和_____。

五、简答题

1. 简述数控系统软件的三个任务:位置控制、插补运算和背景程序三者只的优先级。

2. 简述优先抢占调度机制的功能是什么?

2.5 数据处理

用户输入的零件加工程序是不能直接应用的,必须先由数据处理程序模块对用户程序进行数据处理,得出插补程序所需要的数据信息和控制信息。所以数据处理程序又称为插补准备程序。数据处理主要包括零件程序的输入、译码、刀具补偿和处理用缓冲区等。

2.5.1 零件程序的输入

零件程序的输入一般通过 MDI 键盘或通讯方式进行。输入大都采用中断方式，系统程序中有中断服务程序。

零件程序是一个一个字符输入数控系统的，数控系统的接口接收到一个字符后就向 CPU 发中断信号，激活中断服务程序，读入一个字符。先进行奇偶校验，检查读入字符的正确性；再进行语句的检查，即检查该字符是不是程序字的信息。例如，G 代码后的最多跟两位数字，如果接收到 G 代码后又接收到了 3 位数字，说明输入的程序有错误；坐标代码输入后接收到的数字超过机床的控制范围，同样说明输入的程序有错误。上述检查都通过后才把输入的字符存入零件程序缓冲区。

输入一段完整的程序段后，还要进行语法检查，即检查各个字符是否符合程序段格式；字的顺序对不对；需要的信息是否完整等。通过了这些检查之后，才可以把该程序段输入到零件程序存储器。如图 2-37 所示为零件程序的输入过程，零件程序缓冲区是零件程序进入数控系统的必经之路。

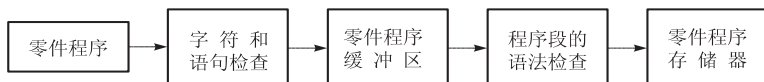


图 2-37 零件程序的输入过程

系统运行时从零件程序存储器中读取程序进行译码处理的过程如图 2-38（a）所示，纸带工作方式时的传送过程如图 2-38（b）所示。

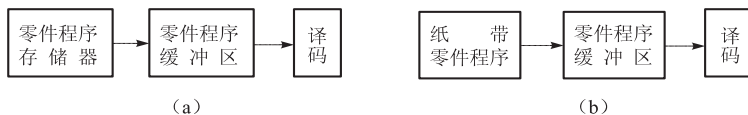


图 2-38 读取零件程序进行译码的过程

（a）从零件程序存储器读程序译码过程；（b）纸带工作方式时的传送过程

数控系统中最常用工作方式存储器工作方式，即用键盘命令调出零件程序存储器中指定的零件程序。但有时在工作中还允许用 MDI 键盘输入修正程序段。

2.5.2 译码

1. 译码的处理准则

与编程的要求相一致，对一个程序段进行译码与数据处理时也要规定一些处理准则，主要有以下几条：

(1) 刀具上一段的终点是下一段的起点。刀具在运动中只能是连续运动, 不会发生跳跃, 所以在编制零件程序时, 每一个程序段中只有运动终点的信息, 而没有起点的信息, 那么上一段的终点将是下一段的起点。根据这一准则, 译码时就可以完整地知道一条曲线的全部信息。

一个零件程序的第一段在译码时则把刀具当前的位置作为程序段的起点, 所以在正式加工时, 启动循环前要进行准确地对刀。

(2) 控制点的选择。数控系统是把刀具作为一个动点加以控制的, 但刀具是有几何形状的固体, 而且还存在一个安装位置问题, 所以要选择一个控制点, 而数控系统就是要控制这一点的运动。在数控铣床控制中, 主平面 ($X-Y$) 常以刀具的中心为控制点, Z 方向则常为刀具的最前端。而数控车床则有所不同, 经常选择的控制点为安装刀具的刀架中心, 这就造成数控车床控制始终要有刀具半径补偿和刀具长度补偿。如果数控铣床 Z 方向的控制点是刀具锥柄端, 则也需要刀具长度补偿。

(3) 按机床坐标系译码与计算。每台机床都有固有的坐标系, 这个坐标系称为机床坐标系, 机床的控制, 即译码、数据处理、位置控制都是以机床坐标系为基础的。

(4) 模态代码的处理。模态代码一旦指定, 后续程序段中如果没有出现同组 (G 代码) 或同类 (M 代码) 的代码, 或者没有改变指令值 (A 、 F 、 D 、 H 、 X 、 Y 、 Z 代码), 则该代码一直有效, 其对应的译码信息一直保持不变, 亦下一程序段是在继承上一程序段模态信息的前提下进行译码的。

2. 译码的概念

译码是以程序段为单位处理用户加工程序, 将其中的轮廓信息、加工速度和辅助功能信息, 翻译成便于计算机处理的信息格式, 存放在指定的内存专用区。

如果在正式加工前一次性将整个程序翻译完, 并在译码过程中对程序进行语法检查, 若有语法错误则报警, 这称为编译; 如果是在加工过程中进行译码, 即计算机进行加工控制时, 利用空闲时间来对后面的程序段进行译码, 这称为解释。用编译的方式可以节省时间, 可使加工控制时计算机不致太忙, 并可在编译的同时进行语法检查, 但需要占用较大内存; 用解释方式, 系统在运行用户程序之前通常也对用户程序进行扫描和语法检查, 有错则报警, 以免加工到中途再发现错误, 造成工件报废。一般数控代码比较简单, 用解释方式占用的时间也不多, 所以数控系统常用解释方式, 但目前随着编程方式的改进和数控代码的复杂化, 编译方式的应用也逐渐广泛起来。

在数控系统中, 用户程序一般都先读入内存存放。程序存放的位置可以是零件程序存储区、零件程序缓冲区或者键盘输入 (MDI) 缓冲区。译码程序对内存中的用户程序进行译码。译码程序必须找到要运行程序的第一个字符, 即第一个程序段的第一地址字符, 才能开始译码。译码程序读进地址字符, 根据不同的字母做不同的处理。遇到功能代码, 将其之后的数据转换为特征码, 并存放于对应的规定单元。若是尺寸代码, 将其后的数字串转换为二

进制数，并存放于对应的规定区域，数字串以空格或字母结束。处理完一个地址字后继续往后读，放弃地址之间的空格，读下一字符，处理其后的数据，直到读到 LF 字符为止，即翻译完一段程序。如图 2-39 所示为译码程序流程图。

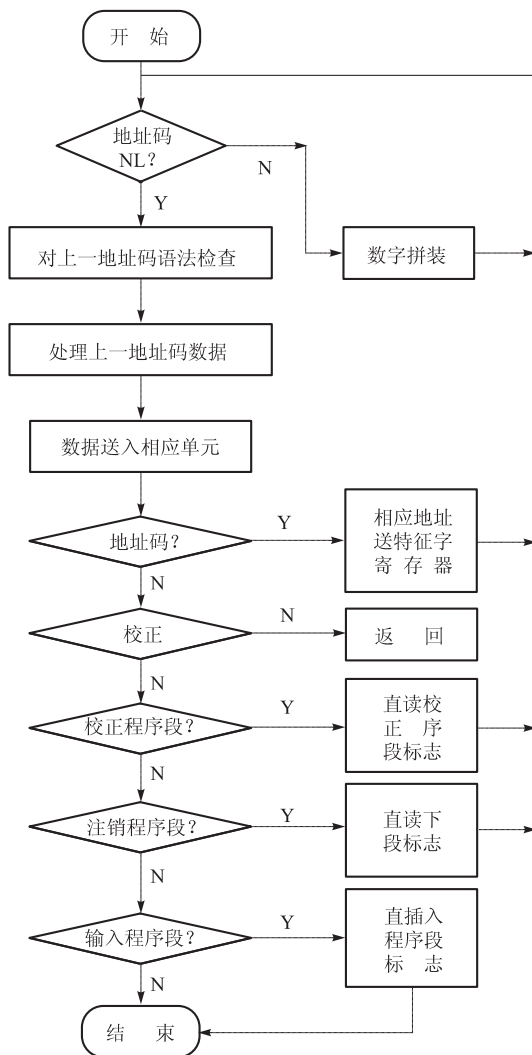


图 2-39 译码程序流程图

程序段中坐标值译码最为复杂，这是因为为了满足不同的零件加工需要，坐标值有多种编程方法，对应的就有多种编程方法的坐标值译码处理。常见的译码处理主要有：增量编程译码、工件坐标系下的编程译码、公英制编程译码和极坐标译码等。

2.5.3 刀具补偿

加工程序中的刀具运动轨迹通常按刀具中心和刀尖编写，所以在程序执行前必须输入相应的刀具半径和长度，这对加工中心尤其重要。刀具半径和长度可以用普通的量具手工测量，也可用专门的刀具测量仪测量。

在20世纪60~70年代的数控加工中没有补偿的概念，所以编程人员不得不围绕刀具的理论轨迹和实际轨迹的相对关系来进行编程，容易产生错误。补偿（又称偏置）的概念出现以后极大地提高了编程的工作效率。在数控加工中有三种补偿：刀具半径补偿、刀具长度补偿和夹具偏置补偿。

1. 刀具半径补偿

刀具半径补偿是使刀具在所选择的平面内向左或向右偏置一个半径值，编程时只需按零件轮廓编程，不需要计算刀具中心运动轨迹，从而方便、简化计算和程序编制。

刀具半径补偿指令主要是G41、G42、G40，其中G41为刀具半径左补偿、G42为刀具半径右补偿、G40为取消刀具半径补偿。通常，刀具半径左补偿、右补偿方向判别方法为：在补偿平面内，沿着刀具速度方向看，刀具在轮廓左边用左补偿，沿着刀具进给方向看，刀具在轮廓的右边用右补偿，如图2-40所示。

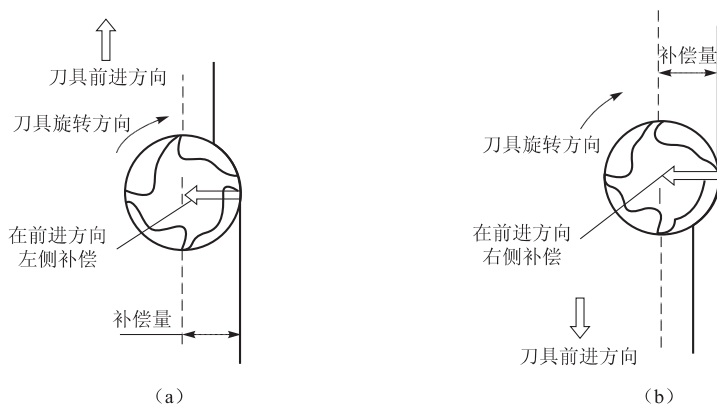


图2-40 刀具半径补偿与方向判别

(a) 左补偿；(b) 右补偿

刀具半径补偿过程中，其运动轨迹可分为刀具半径补偿的建立、刀具半径补偿的执行和刀具半径补偿的取消三个过程，如图2-41所示。

刀具半径补偿的建立。在刀具半径补偿的建立过程中，要避免刀具运动过程中发生碰撞或过切。

刀具半径补偿的执行。建立刀具半径补偿后，刀具在运行中始终按偏离一个指定值进行

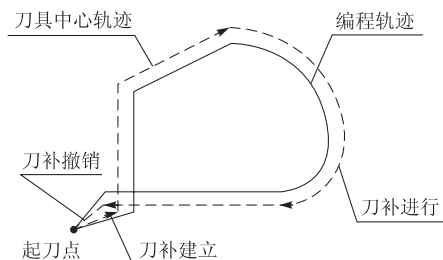


图 2-41 刀具半径补偿过程

运动。系统在进入补偿状态时，不得变换补偿平面，否则会发生报警。

刀具半径补偿的取消。用 G40 取消刀具半径补偿，此状态也是编程开始所处的状态。只有在直线移动命令中才能取消补偿运行，否则只能取消补偿状态。

一般情况下，刀具切削中都是沿切线方向切入和退出，如图 2-42 所示。

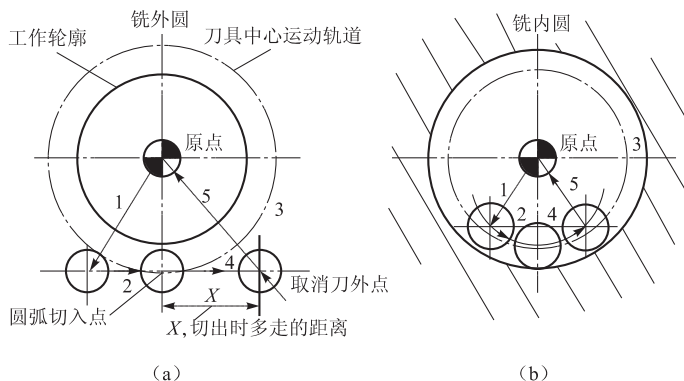


图 2-42 切线方向切入和退出

(a) 铣削外圆进给路线；(b) 铣削内孔进给路线

(1) B 功能刀具半径补偿。这种方法的特点是刀具中心轨迹的段间连接都是以圆弧进行的。其算法简单、容易实现，如图 2-43 所示，但由于段间过渡采用圆弧，这就产生了一些无法避免的缺点：首先，当加工外轮廓尖角时，由于刀具中心通过连接圆弧轮廓尖角处始终处于切削状态，要求的尖角往往会被加工成小圆角。其次，在内轮廓加工时，要由程序员人为地编进一个辅助加工的过渡圆弧，如图 2-43 中的圆弧 AB 。并且还要求这个过渡圆弧的半径必须大于刀具的半径，这就给编程工作带来了麻烦，一旦疏忽，使过渡圆弧的半径小于刀具半径时，就会因刀具干涉而产生过切现象，使加工零件报废。

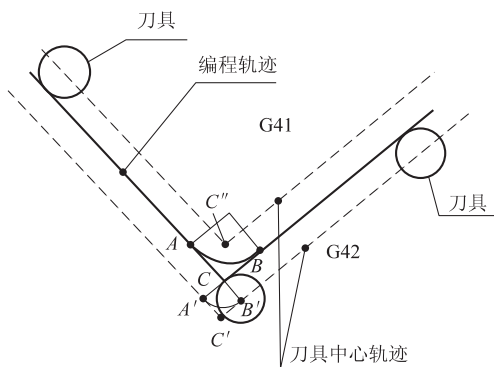


图 2-43 B 功能刀补

(2) C 功能刀具半径补偿。这种方法的特点是相临两段轮廓的刀具中心轨迹之间用直线进行连接,由数控系统根据工件的编程轨迹和刀具偏置量直接算出刀具中心轨迹的连接点 C' 点和 C'' 点,如图 2-59 所示。然后再对刀具中心轨迹作伸长或缩短的修正,这就是所谓的 C 功能刀具半径补偿(简称 C 补)。由于 C 刀补采用直线作为轮廓之间的过渡,因此,该刀补法的尖角工艺性较 B 刀补的要好,其次在内轮廓加工时,它可实现过切(干涉)自动预报,从而避免过切的发生。

① C 功能刀具半径补偿的转接形式。由于 C 功能刀具半径补偿采用直线过渡,因而在实际加工过程中,随着前后两段编程轨迹线形的不同,相应的刀具中心轨迹也会有不同的转接形式,在数控系统中,有直线插补和圆弧插补两种功能,对由这两种线形组成编程轨迹有以下 4 种转接形式:直线与直线连接、直线与圆弧连接、圆弧与直线连接、圆弧与圆弧连接。

② C 功能刀具半径补偿的过渡方式。矢量夹角 α 是指两编程轨迹在交点处非加工侧的夹角 α ,如图 2-44 所示。根据两段程序轨迹的矢量夹角 α 和刀补方向的不同,有 3 种刀补转接类型: $\pi \leq \alpha < 2\pi$ 为缩短型,刀具中心轨迹短于编程轨迹的过渡方式; $\pi/2 \leq \alpha < \pi$ 为伸长型,刀具中心轨迹长于编程轨迹的过渡方式; $0 \leq \alpha < \pi/2$ 为插入型,在两段刀具中心轨迹之间插入一段直线的过渡方式。

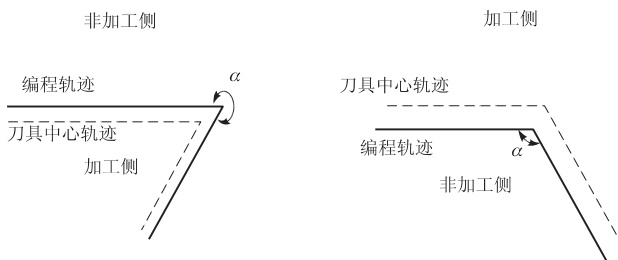


图 2-44 矢量夹角 α

③ 刀具中心轨迹的转接形式和过渡方式。刀具半径补偿功能在实施过程中,各种转接形式和过渡方式的情况,如表 2-1 和表 2-2 所示。表中实线表示编程轨迹;虚线表示刀具中心轨迹; α 为矢量夹角; r 为刀具半径;箭头为走刀方向。表中是以右刀补(G42)为例进行说明的,左刀补(G41)的情况与右刀补相似,就不再重复。

表 2-1 刀具半径补偿的建立和撤销

转接形式 矢量夹角	刀补建立 (G42)		刀补撤销 (G40)		过渡方式
	直线——直线	直线——圆弧	直线——直线	圆弧——直线	
$\alpha \geq 180^\circ$					缩短型

续表

转接形式 矢量夹角	刀补建立（G42）		刀补撤销（G40）		过渡方式
	直线——直线	直线——圆弧	直线——直线	圆弧——直线	
$90^\circ \leq \alpha < 180^\circ$					伸长型
$\alpha < 90^\circ$					插入型

表 2-2 刀具半径补偿的进行过程

	刀 补 执 行（G42）				过渡方式
	直线——直线	直线——圆弧	直线——直线	圆弧——直线	
$\alpha \geq 180^\circ$					缩短型
$90^\circ \leq \alpha < 180^\circ$					伸长型
$\alpha < 90^\circ$					插入型

2. 刀具长度补偿

刀具长度补偿功能（Tool Length Compensation）用于在 Z 轴方向的刀具长度补偿，它可

使刀具在 Z 轴方向的实际位移量大于或小于编程给定位移量（即程序中 Z 坐标值），即刀具长度补偿使刀具垂直于走刀平面方向，偏移一个刀具长度修正值，如图 2-45 所示。

有了刀具长度补偿功能，当加工中刀具因磨损、重磨、换新刀而长度发生变化时，可不必修改程序中的坐标值，只要修改存放在寄存器中刀具长度补偿值即可。其次，若加工一个零件需用几把刀，各刀的长度不同，编程时不必考虑刀具长短对坐标值的影响，只要把其中一把刀设为标准刀，其余各刀相对标准刀设置长度补偿值即可，如图 2-46 所示。

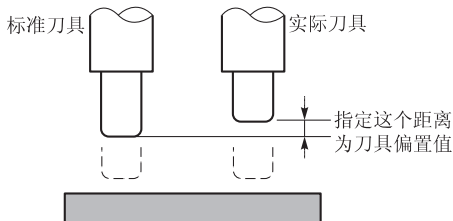


图 2-45 刀具长度补偿示意图

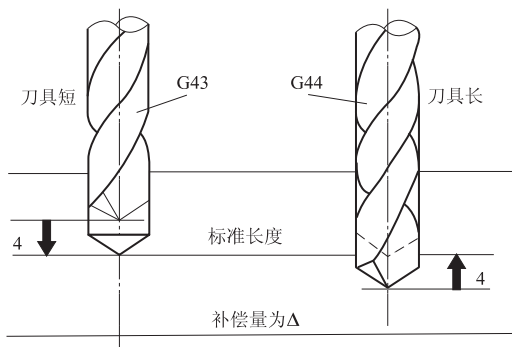


图 2-46 刀具长度补偿应用图例

刀具长度补偿指令主要是 G43、G44、G49，其中 G43 为刀具长度正补偿、G44 为刀具长度负补偿、G49 为取消刀具长度补偿。一般而言，刀具长度补偿对于两坐标和三坐标联动数控加工是有效的，但对于刀具摆动的四、五坐标联动的数控加工，刀具长度补偿则无效。

3. 夹具偏置补偿

像刀具长度补偿和半径补偿一样让编程者可以不用考虑刀具的长短和大小，夹具偏置可以让编程者不考虑工件和夹具的位置而使用夹具偏置。当一台加工中心在加工小的工件时，工装上一次可以装夹几个工件，编程者不用考虑每一个工件在编程时的坐标零点，而只需按照各自的编程零点进行编程，然后使用夹具偏置来移动机床在每一个工件上的编程零点。夹具偏置是使用夹具偏置指令 G54 ~ G59 来执行的。还有一种方法就是使用 G92 指令设定坐标系。当一个工件加工完成之后，加工下一个工件时使用 G92 来重新设定新的工件坐标系。

2.5.4 处理用缓冲区

通过将程序输入数控系统的工作，已经将数据段送入零件程序缓冲区，下一步的任务就是进行插补运行前的各种处理。插补预处理的内容主要包括译码、运动轨迹计算及 F 值计算这三部分。译码程序的功能是将输入的零件程序数据翻译成 CNC 控制所需的信息，这是插补预处理的第一步。运动轨迹计算是将工件轮廓轨迹转化为刀具中心轨迹，从而大大减轻编程人员的工作量。 F 值计算主要解决加工运动的速度问题。译码和数据处理是 CNC 系统

软件中的一个关键部分,对 CPU 而言,它的工作量比真正的插补运算要大,特别是运动轨迹计算和 F 值计算部分牵涉到运算精度及实时性,是难度最大的程序。

执行一个程序段,在完成译码、数据处理后接下来就是插补与位置控制。前一步处理产生的结果要传递给下一步的处理程序,而且在加工某段的过程中还要把下一段程序准备好,所以在执行过程中有很多信息在 CNC 中并存。CNC 中各种信息的存储与传递主要通过各种缓冲存储区来实现,如图 2-47 所示。

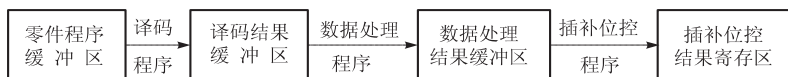


图 2-47 信息交换用缓冲区

位于零件程序缓冲区中的零件程序经译码程序后进入译码结果缓冲区,经数据处理程序处理后进入数据处理结果缓冲区,经插补位控程序处理后进入插补位控结果寄存器。各种系统由于采用的控制原理略有不同,所设置的缓冲寄存区的个数、大小等也略有不同。

缓冲区以字节为单位进行组织,每个变量单元中存放的可以是二进制码,也可以是 BCD 码,其格式由系统程序员规定,数控系统的操作者无法知道,但掌握这些变量的格式和意义有助于了解系统的工作原理。存放坐标值的单元有一个最低有效位的问题,它与 CNC 的控制精度直接相关,如精度为 0.001 时,存储坐标的单元的最低有效位就是 0.001,同时,其字节数要满足最大控制范围的要求。

实际上,译码缓冲区 BS 是在存储器中开辟的一个系统专用区域。零件程序段中的专用地址码(如 G、N、X、Y、Z、M、S、T、F 等)在该区域中都有一个偏移量,该区域首地址加上地址码对应的偏移量,就可得到该地址码所存放的区域。

刀步缓冲区 CS 和工作寄存器 AS 的格式与 BS 是相同的,为此可在 CNC 的存储器中开辟若干块与 BS 相同格式的区域,既可以作 CS,也可以作 AS 使用,可以统称为译码结果缓冲区。

思考与练习

一、名词解释

1. 编译
2. 解释
3. 矢量夹角

二、选择题

1. 在数控加工中,刀具补偿功能除对刀具半径进行补偿外,在用同一把刀进行粗、精加工时,还可进行加工余量的补偿,设刀具半径为 r ,精加工时半径方向余量为 Δ ,则最后一次粗加工走刀的半径补偿量为()。

- A. r B. $r + \Delta$ C. Δ D. $2r + \Delta$
2. 当加工程序需使用几把刀时, 因为每把刀长度总会不同, 因而需用 ()。
- A. 刀具长度补偿 B. 刀具半径补偿 C. 刀具左补偿 D. 刀具右补偿
3. 铣削一外轮廓, 为避免切入/切出点产生刀痕, 最好采用 ()。
- A. 法向切入/切出 B. 切向切入/切出 C. 斜向切入/切出 D. 垂直切入/切出
4. 刀具长度偏置指令中, G43 表示 ()。
- A. 左向偏置 B. 右向偏置 C. 正向偏置 D. 负向偏置
5. 刀具长度补偿值的地址用 ()。
- A. D_ B. H_ C. R_ D. J_
6. 刀具长度补偿指令 () 是将运动指令终点坐标值中减去偏置值。
- A. G48 B. G49 C. G43 D. G44
7. 刀具补偿包括长度补偿和 () 补偿。
- A. 径向 B. 直径 C. 轴向 D. 以上均错
8. 采用半径编程方法填写圆弧插补程序段时, 当其圆弧所对应的圆心角 () 180 度时, 该半径 R 取负值。
- A. 大于 B. 小于 C. 大于或等于 D. 小于或等于
9. 影响刀具半径补偿值的主要因素是 ()。
- A. 进给量 B. 切削速度 C. 切削深度 D. 刀具半径大小
10. 偏置量可设定值的范围为 ()。
- A. $0 \sim + / - 99.999 \text{ mm}$ B. $0 \sim + / - 999.999 \text{ mm}$
C. $0 \sim 999.999 \text{ mm}$ D. $0 \sim - 999.999 \text{ mm}$
11. 偏置 XY 平面由 () 指令执行。
- A. G17 B. G18 C. G19 D. G20
12. 取消刀具半径补偿的指令为 ()。
- A. G49 B. G44 C. G40 D. G43
13. 平面的切换必须在 () 方式中进行。
- A. 偏置 B. 偏置或取消偏置 C. 取消偏置 D. 两者均不是
14. 用控制器补正程序铣削二维外形轮廓时, 粗加工刀具补正距离一般为 ()。
- A. 大于刀具半径值 $0.3 \sim 2 \text{ mm}$ B. 小于刀具半径值 $0.3 \sim 2 \text{ mm}$
C. 大于刀具直径值 $0.3 \sim 2 \text{ mm}$ D. 不需要补正
15. 取消刀具长度补偿命令为 ()。
- A. G40 B. G49 C. G04 D. G43
16. G41 指令是沿刀具运动方向看 (假设工件不动) 刀具位于工件 () 刀具半径补偿。

- A. 左侧 B. 右侧 C. 工件轮廓正上方 D. 都有可能

17. G41 指令的含义是 ()。

- A. 直线插补 B. 圆弧插补 C. 刀具半径右补偿 D. 刀具半径左补偿

18. 数控铣床在利用刀具半径补偿功能编程时, 最好 ()。

- A. 按刀具中心轨迹编程 B. 按工件要求编程
C. 按铣床运行轨迹编程 D. 按工件轮廓尺寸编程

19. 刀尖半径左补偿方向的规定是 ()。

- A. 沿刀具运动方向看, 工件位于刀具左侧 B. 沿工件运动方向看, 工件位于刀具左侧
C. 沿工件运动方向看, 刀具位于工件左侧 D. 沿刀具运动方向看, 刀具位于工件左侧

20. 译码程序是把工件加工程序翻译成 ()。

- A. 二进制数 B. 计算机高级语言
C. 计算机汇编语言 D. 计算机内部能识别的语言

三、判断题

() 1. 对于任何曲线, 既可以按实际轮廓编程, 应用刀具补偿加工出所需要的廓形, 也可以按刀具中心轨道编程加工出所需要的廓形。

() 2. 在轮廓铣削加工中, 若采用刀具半径补偿指令编程, 刀补的建立与取消应在轮廓上进行, 这样的程序才能保证零件的加工精度。

() 3. 在顺铣与逆铣中, 对于右旋立铣刀铣削时, 用 G41 是逆铣、用 G42 是顺铣。

() 4. C 功能刀具补偿, 可以自动完成轮廓之间的转接。

() 5. 数控车床的刀具补偿功能有刀尖半径补偿与刀具位置补偿。

() 6. 刀具半径补偿中, B 型刀补采用了比较复杂的刀偏矢量计算的数学模型, 消除了 C 型刀补存在的不足。

四、填空题

1. 刀具补偿分_____、_____和_____三种。

2. 所谓的刀具半径补偿是_____, 系统会自动计算出_____, 进行刀具半径补偿, 从而加工出符合要求的工件形状。当刀具半径发生变化时, _____加工程序。

3. 刀具半径补偿指令主要是_____, _____、_____, 其中 G41 为_____, G42 为_____, G40 为_____。通常, 刀具半径左补偿、右补偿方向判别方法为: _____。

4. 刀具半径补偿过程中, 其运动轨迹可分为_____、_____和_____三个过程。

5. 在数控系统中, 有直线插补和圆弧插补两种功能, 对由这两种线形组成编程轨迹有以下 4 种转接形式: _____、_____, _____、_____。

6. 根据两段程序轨迹的矢量夹角 α 和刀补方向的不同, 有 3 种刀补转接类型: $\pi \leq \alpha < 2\pi$ 为_____, 刀具中心轨迹短于编程轨迹的过渡方式; $\pi/2 \leq \alpha < \pi$ 为_____, 刀具中心轨迹长于编程轨迹的过渡方式; $0 \leq \alpha < \pi/2$ 为_____, 在两段刀具中心轨迹之间插入一段直线的过渡方式。

7. 刀具长度补偿指令主要是_____、_____和_____, 其中 G43 为_____, G44 为_____, G49 为_____。

8. 插补预处理的内容主要包括_____、_____和_____这三部分。

五、简答题

1. 为什么要进行刀具几何补偿与磨损补偿?
2. 车刀刀尖半径补偿的原因是什么?
3. 为什么要用刀具半径补偿? 刀具半径补偿有哪几种? 指令是什么?
4. 在使用 G40、G41、G42 指令时要注意哪些问题?
5. 数控加工中为什么要进行刀具补偿? 分为哪几种? 应该注意哪些问题?
6. 刀具半径补偿有哪些应用?
7. 简述 C 功能刀补的基本概念。
8. 简述译码的处理准则是什么?

2.6 数控系统的插补原理

在实际加工中, 被加工工件的轮廓形状千差万别。严格说来, 为了满足几何尺寸精度的要求, 刀具中心轨迹应该准确地依照工件的轮廓形状来生成, 对于简单的曲线数控系统可以比较容易实现, 但对于较复杂的形状, 若直接生成会使算法变得很复杂, 计算机的工作量也相应地大大增加。因此, 实际应用中常采用一小段直线或圆弧去进行拟合就可满足精度要求, 这种拟合方法就是“插补”, 插补实质上就是数据密化的过程。

2.6.1 插补原理概述

1. 脉冲当量

脉冲当量是数控机床的一个基本参数。在数控系统工作时, 必须先将某一坐标方向上所需要的位移量转换为脉冲数并置于计数器内, 然后启动由主控制器控制的脉冲发生器并输出脉冲, 驱动电机运动; 另一方面, 置于计数器内的脉冲数同时在计数器内作减法, 当原置入的脉冲数减至零时, 脉冲输出立即停止, 该坐标方向上的位移也相应停止。这就是说, 当系统每发出一个进给脉冲, 机床机械运动机构就产生一个相应的位移量。一个脉冲所对应的位

移量称为脉冲当量,它是脉冲分配计算中的基本单位,其进给坐标轴的脉冲当量用 Q 表示

$$Q = \frac{\theta}{360} Li$$

式中, Q 为脉冲当量 (单位: mm); θ 为步距角 (步进电机在输入一个脉冲时所转过的角度); L 为传动螺旋副的导程 (单位: mm, 它等于螺距乘以线数); i 为步进电机至螺旋副间的传动比。

目前,在车床数控系统中一般规定 Z 轴脉冲当量为 0.001 mm, X 轴的脉冲当量为 0.000 5 mm。在实际应用中,为了简化计算及便于操作, X 轴向的脉冲当量可通过计算机自动进行乘 2 处理,也就是编程时的直径编程方式。

例: 已知数控车床 Z 轴步进电机的步距角为 0.36° , 电机通过齿轮副或同步齿形带与滚珠丝杠连接,其传动比为 5:6 (减速),若 Z 轴脉冲当量为 0.01 mm,问滚珠丝杠的导程应为多少?

解: 根据题意分析,已知如下条件:

$$\theta = 0.36^\circ \quad L = 5:6 \quad Q = 0.01$$

由公式 $Q = \frac{\theta}{360} Li$ 得出

$$L = \frac{360Q}{\theta i} = \frac{360 \times 0.01}{0.36 \times (5:6)} = \frac{360 \times 0.01 \times 6}{0.36 \times 5} = 12 \text{ (mm)}$$

答: 根据题意和计算得出滚珠丝杠的导程应为 12 mm。

2. 插补原理

插补计算是数控系统根据输入的基本数据,如直线终点坐标值、圆弧起点、圆心、圆弧终点坐标、进给速度等,通过计算将工件轮廓的形状描述出来,边计算边根据计算结果向各坐标发出进给指令。插补实际上是根据有限的信息完成数据密化的工作,无论是硬件数控还是计算机数控,插补模块是不可缺少的,能完成插补功能的模块或装置称为插补器。故此我们可以得出插补的概念:根据给定的信息,在理想轮廓 (或轨迹) 上的已知两点之间,确定一些中间点的方法。

在数控加工过程中,要保证位移的实际轨迹尽量与给定的轮廓 (即理想轨迹) 一致,中间点的位置就应越接近理想轨迹,这需要数控系统中的计算机进行相当复杂的工作,对各坐标方向上的动态位移量 (脉冲个数),不断地进行精确的计算,然后按主控制器发出的指令,向输出线路送出其插补计算后的结果。通过插补计算的结果,对各进给坐标所需进给脉冲的个数、频率和方向进行分配,以实现进给轨迹控制,这就是插补原理。其中脉冲频率决定了进给速度,脉冲个数和脉冲方向决定了加工位置,脉冲当量的大小决定了加工精度。

根据插补原理,我们应注意以下几个问题:

(1) 插补运动的实际轨迹始终不可能与其理想轨迹完全相同,插补点一般也不会落到

理想轨迹上。

(2) 当进给运动的轨迹不与坐标轴平行时, 则经数控系统插补后的实际轨迹均由很多折线段组成, 其折线交点即插补点一般不能与理想轨迹重合, 每一个交点的位置将由数控系统确定并控制。

(3) 插补运算一般是以一个脉冲当量为插补单位, 因此在加工完的工件轮廓上看不出实际插补轨迹的折线形状。

(4) 数控系统规定的脉冲当量越小, 插补运动的实际轨迹就越接近理想轨迹, 加工精度就越高。

2.6.2 插补方法

插补的任务是根据进给速度的要求, 在轮廓起点和终点之间计算出若干个中间点的坐标值, 每个中间点计算所需时间直接影响系统的控制速度, 而插补中间点坐标值的计算精度又影响到数控系统的控制精度。因此, 插补方法是整个数控系统控制的核心。插补方法经过几十年的发展, 不断成熟, 种类很多。

1. 根据插补曲线的形状分类

根据插补曲线的形状可分为直线插补、圆弧插补、抛物线插补和高次曲线插补等。目前, 大多数数控系统只有直线插补和圆弧插补。对于实际零件轮廓既不是直线也不是圆弧的, 必须对零件轮廓进行直线-圆弧拟合, 用多段直线和圆弧近似地替代零件轮廓, 然后才能进行加工。

2. 根据产生的数学模型分类

根据产生的数学模型可分为一次插补、二次插补和高次插补。如直线插补就是一次插补, 圆弧或抛物线插补是二次插补等。

3. 根据插补工作是硬件还是软件完成分类

根据插补工作是硬件还是软件完成可分为硬件插补、软件插补以及硬件和软件结合的插补。

(1) 硬件插补。一般硬件数控的插补模块由数字电路组成, 即采用硬件的数字逻辑电路来完成插补工作的插补器称为硬件插补。它具有运算速度快, 但灵活性差、不易更改、结构复杂和成本高的特点。

(2) 软件插补。CNC 数控的插补模块由软件来实现, 即由软件完成插补工作的插补器称为软件插补。它的速度虽然没有硬件插补快, 但容易升级, 成本也较低廉。软件插补又可分为基准脉冲插补和数据采样插补。

(3) 硬件和软件结合的插补。把插补功能分别分配给软件和硬件插补器。其中软件插补器完成粗插补, 即把加工轨迹分为大的段; 硬件插补器完成精插补, 进一步密化数据点, 完成程序段的加工。它具有对计算机的运算速度要求不高, 可余出更多的存储空间以存储零

件程序,而且响应速度和分辨力都比较高。

4. 根据输出驱动信号方式分类

根据输出驱动信号方式,软件插补可分为基准脉冲插补和数据采样插补。

(1) 基准脉冲插补(又称行程标量插补或脉冲增量插补)。基准脉冲插补是模拟硬件插补的原理,每进行一次插补运算产生一个控制脉冲,然后将指令脉冲输出到伺服系统控制工作台运动。输出脉冲的最大速度取决于执行一次运算所需的时间,一般适用于进给速度不高的数控系统或开环数控系统中。

它的特点是数控装置在每次插补结束后,向相应的运动坐标输出基准脉冲序列。该插补方法只涉及加法和移位计算,实现起来比较简单,容易用硬件实现。比较常用的脉冲增量插补有:数字脉冲乘法器(又称二进制比例乘法器 Binary Rate Multiplier,简称 BRM)、逐点比较法(又称区域判别法)、数字积分法(简称 DDA 法)、矢量判别法、比较积分法、最小偏差法、目标点跟踪法、单步追踪法、直接函数法、加密判别和双判别法等等。

(2) 数据采样插补(又称时间标量插补或数字增量插补)。数据采样插补是按照一固定的时间(即插补周期)进行一次插补运算,其输出的不是一个脉冲,而是一个二进制数。实际上数据采样插补系统是以计算机为核心的闭环系统。计算机通过反馈回路定时对各个坐标轴的位移进行采样,再和插补运算的数据结果相比较,以产生的误差信号作为各坐标轴的输出控制。

其特点是数控装置产生的不是单个脉冲而是二进制字,适用于闭环、半闭环交直流伺服电机驱动的系统。它可以划分两个阶段:粗插补,即用微小的直线段逼近给定的轮廓,该微小的直线段与指令给定的速度有关,常用软件实现;精插补,即在上述微小的直线段上进行“数据点的密化”,这一阶段其实就是对直线的基准脉冲插补,计算简单,可以用硬件或软件实现。常用的数据采样插补方法有:直线函数法、扩展 DDA 法、二阶递归扩展 DDA 法、双数字 DDA 法、角度逼近圆弧插补法和改进吐斯丁法等等。

思考与练习

一、名词解释

1. 插补
2. 基准脉冲插补
3. 数据采样插补
4. 硬件插补
5. 软件插补

二、选择题

1. CNC 系统常用软件插补方法中,有一种是数据采样法,计算机执行插补程序输出的是数据而不是脉冲,使用于()。
 - A. 开环控制系统
 - B. 闭环控制系统
 - C. 点位控制系统
 - D. 连续控制系统
2. 数控机床利用插补功能加工的零件的表面粗糙度要比普通机床加工同样零件表面粗

糙度()。

- A. 差 B. 相同 C. 好 D. 都有可能

3. 脉冲当量是()。

- A. 相对于每一脉冲信号, 传动丝杆所转过的角度
B. 相对于每一脉冲信号, 步进电机所回转的角度
C. 脉冲当量乘进给传动机构的传动比是机床部件的位移量
D. 对于每一脉冲信号, 机床运动部件的位移量

4. 从理论上讲, 数控机床刀具的运动轨迹是()。

- A. 直线 B. 圆弧 C. 折线 D. 曲线

5. 脉冲当量是数控机床数控轴的位移量最小设定单位, 脉冲当量的取值越小, 加工精度()。

- A. 越高 B. 越低 C. 与其无关 D. 不受影响

6. 插补运算的任务是确定刀具的()。

- A. 速度 B. 加速度 C. 运动轨迹 D. 运动距离

7. 数控系统常用的两种插补功能是()。

- A. 直线插补和圆弧插补 B. 直线插补和抛物线插补
C. 圆弧插补和抛物线插补 D. 螺旋线插补和抛物线插补

8. 插补运算程序可以实现数控机床的()。

- A. 点位控制 B. 点位直线控制 C. 轮廓控制 D. 转位换刀控制

三、判断题

() 1. 数控机床的插补过程实际上就是用微小的直线段来逼近曲线的过程。

() 2. 在圆弧逼近零件轮廓的计算中, 整个曲线是一系列彼此相切的圆弧逼近实现的。

() 3. 为了提高机床径向尺寸加工精度, 数控系统 Z 向的脉冲当量取 X 向脉冲当量的 1/2。

() 4. CNC 系统中插补计算的主要任务就是计算轮廓从起点到终点的中间点的坐标。

() 5. 插补运动的实际插补轨迹始终不可能与理想轨迹完全相同。

() 6. 数控系统规定的脉冲当量越小, 插补运动的实际轨迹就越接近理想轨迹, 加工精度就越高。

() 7. 插补运算一般是以一个脉冲当量为插补单位, 因此在加工完的工件轮廓上看不出实际插补轨迹的折线形状。

四、填空题

1. 根据输出驱动信号方式的不同, 软件插补方法可分为 _____ 和 _____