

中等专业学校试用教材

# 数控机床的结构与应用

咸阳机器制造学校 张振国 主编

ZHONGDENG

ZHUANYE

XUEXIAO

JIAOCAI



机械工业出版社

# 前 言

本书是根据原国家机械工业委员会1987年中等专业学校机械制造专业教学大纲编写的，供机械制造专业学生选修之用。

本书从培养实用型人才的目的出发，介绍了数控机床的组成原理、机械部分的结构和调整方法。着重讲述了零件加工程序的编制方法和注意事项，尤其是车床和铣床加工程序编制中一些具体问题的处理。实用性很强，举例丰富，并附有思考题，供教学参考。

本书由咸阳机器制造学校张振国主编，第一、二章由重庆机器制造学校王成英编写，第三、四章由张振国编写。成都市机械工业学校教授级高级工程师高道谦任本书主审，并为此书提供了宝贵意见和资料。

本书经一年试用后进行了审稿工作。在审稿会上，杨国屏、王德明、阎宽武、蒋维同、张兴益、刘迎春、张世高老师提出了许多宝贵的意见。蒋维同、阎宽武并对本书的图稿进行了审核和绘制工作，在此一并感谢。

齐齐哈尔第二机床厂提供了部分资料，在此表示谢意。

因水平所限，加之资料不足，不当之处在所难免，希读者指正。

编者 1990.3.

# 目 录

第一章 数控机床概述.....	1	一、数控技术中常用术语.....	43
§ 1-1 数控机床简介.....	1	二、程序编制的主要内容.....	55
一、数字控制机床的特点.....	1	三、程序编制的分类.....	56
二、用数控机床加工的过程.....	2	四、自动编程系统简介.....	57
三、数控机床的组成.....	2	§ 3-2 程序编制中的工艺分析.....	58
§ 1-2 数控机床的分类.....	5	一、机床的选取以及工序的划分与 安排.....	58
一、按自动化程度分类.....	5	二、零件的安装和对刀点的确定.....	59
二、按运动轨迹分类.....	5	三、确定加工路线.....	60
三、按控制方式分类.....	5	四、刀具的选择和切削用量的确定.....	62
四、按功能分类.....	7	§ 3-3 程序编制中的工艺指令.....	65
§ 1-3 数控机床的现状及其发展.....	8	一、准备功能指令.....	65
一、数控机床的现状.....	8	二、辅助功能指令.....	66
二、计算机数控系统.....	8	§ 3-4 程序编制中的误差.....	67
三、数控机床的发展概况.....	11	§ 3-5 程序编制中的数值计算.....	69
思考题.....	14	一、零件几何元素的基点坐标的计算.....	69
第二章 数控机床的典型机构.....	15	二、曲线节点坐标的计算.....	70
§ 2-1 数控机床的主传动系统.....	15	思考题.....	71
一、数控机床主传动的特点.....	15	第四章 典型数控机床.....	72
二、数控机床主轴的变速方式.....	15	§ 4-1 CK7815型数控车床.....	72
三、主轴部件的结构.....	16	一、CK7815型数控车床的布局及部 件.....	72
§ 2-2 数控机床的伺服系统.....	20	二、主要技术规格.....	73
一、概述.....	20	三、机床的传动系统.....	74
二、伺服电机.....	21	四、机床的结构及调整.....	74
三、步进电机.....	24	五、电气原理图简介.....	87
§ 2-3 数控机床进给系统机械部分的 元件.....	28	六、机床操作面板.....	94
一、对进给系统机械部分的性能要求.....	28	§ 4-2 数控车床程序的编制.....	95
二、滚珠丝杠螺母副.....	28	一、数控车床编程的特点.....	95
三、传动齿轮间隙消除机构.....	31	二、车床程序的编制.....	95
四、回转工作台.....	33	三、编程举例.....	103
§ 2-4 数控机床的位置检测装置.....	37	§ 4-3 XK5040A型数控铣床.....	114
一、检测装置的功用及分类.....	37	一、机床的组成及主要性能参数.....	114
二、直线型检测装置.....	39	二、机床传动系统图及部分结构介绍.....	116
三、旋转型检测装置.....	40	三、机床数控系统的功能.....	119
思考题.....	42	四、机床的代码.....	119
第三章 数控机床程序的编制.....	43	§ 4-4 铣床程序的编制.....	121
§ 3-1 程序编制的内容.....	43		

一、各种功能的使用.....	121	附录.....	170
二、机床的操纵.....	137	附录1 TSG-JT(ST) 工具系统 (锥柄).....	170
三、编程举例.....	140	附录2 TSG-JT(ST) 工具系 统 (直柄).....	174
§ 4-5 加工中心.....	145	附录3 刀柄尺寸(锥柄).....	178
一、概述.....	145	附录4 刀柄尺寸(直柄).....	178
二、换刀装置.....	145	附录5 FANUC-3MA系统基本 规格.....	179
三、TH6632 型立式加工中心.....	154	参考文献.....	181
四、加工中心程序编制的特点.....	166		
思考题.....	167		

# 第一章 数控机床概述

## §1-1 数控机床简介

### 一、数字控制机床的特点

随着科学技术的发展,机械产品日趋精密复杂,且改型频繁。尤其是一些宇航、造船、军工等生产部门的零件,精度要求高,形状复杂,批量又小。用普通机床加工这些零件效率低,劳动强度大,有时甚至不能加工。为了满足上述要求,一种新型的数字程序控制机床应运而生。它是综合运用了现代电子技术、自动控制、精密测量和机床结构方面的新技术发展起来的。

数字程序控制机床不同于普通机床,也不同于仿形和一般程序控制的自动和半自动机床。在数字控制机床上,工件加工的整个过程全是由数字指令进行的,在加工前要用指定的数字代码按照工件图纸编制出程序,制成穿孔带,然后输入到数控系统中去。数控机床即按照穿孔带上的指令自动地进行工作。零件加工程序由许多程序段组成,每个程序段中,都有加工工件某一部分所需要的各种数据信息:加工段的长度、切削速度、进给方向、进给量以及机床操作(如主轴的开停、冷却液的通断、刀具的更换等)的各种指令。穿孔带输入一个程序段,相应的各种数据就进入数控系统,数控系统也就按照指令要求指挥机床完成工件的一部分加工工作。这样一步步地、自动地进行加工,直到工件加工完毕为止。

由此可见,数控机床有下述特点:

#### 1. 提高了生产效率,特别适用于生产形状复杂的小批量零件。

由于数控机床的加工过程是自动进行的,只需要简单的夹具。改变加工零件时,只要更换穿孔带也就是只需改变加工程序,这就大大节省了机床的调整准备时间。由于改换加工零件时,只要改变加工程序,不象仿形机床或自动机床那样需要制造仿形板、仿形件或制造自动机用的凸轮,也省去了调整刀具位置和行程挡块等的时间,故适于单件和小批量生产。

#### 2. 提高了加工精度

由于数控机床的加工是自动进行的,这就消除了操作者人为产生的误差。在设计制造机床时,为了保证加工精度又采取了许多措施,这就使机床可以达到较高的加工精度。尤其是在加工形状复杂的零件时,这一点就特别明显。例如一般数控磨床的加工误差小于 $0.01\text{mm}$ ,数控铣床的加工误差在 $0.01\sim 0.025\text{mm}$ 之间。

#### 3. 减轻了工人的劳动强度,改善了劳动条件

用数控机床加工是自动进行的,零件加工过程中并不需要工人干预。加工完毕即可自动停车,这使工人的劳动条件大为改善。

#### 4. 有利于向计算机控制与管理生产方面发展

数控机床使用数字信号与标准代码作为输入信号,适于与计算机连接,所以它为计算机控制与管理生产创造了条件。它的出现为实现生产过程自动化创造了有利的条件。数控机床属于高度自动化机床,控制系统复杂,价格较高。但由于它具有无可比拟的优越性,目前不

不仅在宇航、军工生产等方面得到应用，而且已扩展到机械制造的各个生产部门。不仅用于复杂零件的生产，而且在一般零件生产方面也得到了广泛的应用。以数控机床为主导的机电一体化进程正在日益加快，发展数控机床的生产已成为目前机床行业的目标。数控机床必将成为我国机械工业生产中的主要设备，为我国的四个现代化作出巨大的贡献。

## 二、用数控机床加工的过程

数控机床加工零件的过程，如图1-1所示，其主要步骤是：

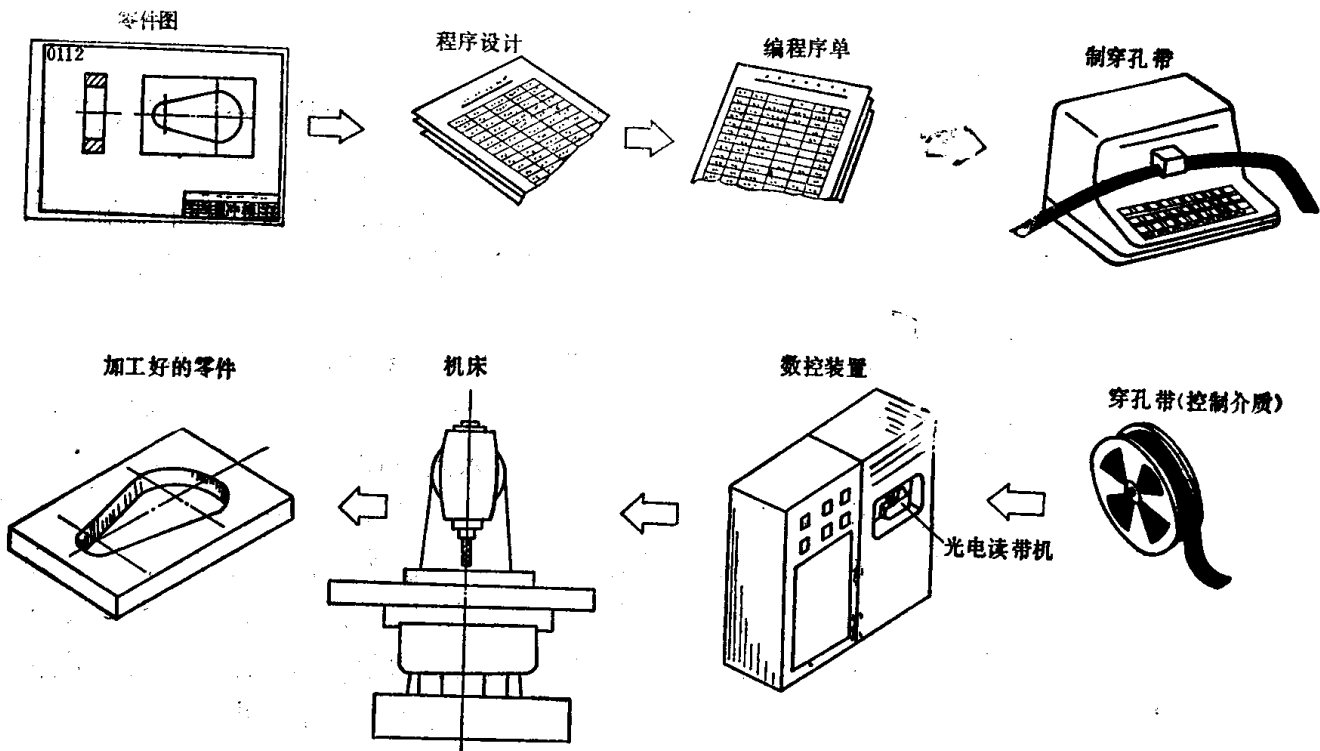


图1-1 用数控机床加工的过程

- 1) 根据被加工零件工作图中所规定的零件的形状、尺寸、材料及技术要求等，进行程序设计（包括加工顺序、切削用量、刀具与工件相对运动的轨迹和距离等）。
- 2) 使用数控装置所能识别的文字和数字代码，编程序单。
- 3) 按照程序单上的代码制作穿孔带。
- 4) 穿孔带通过光电读带机，将加工程序输入数控装置。
- 5) 数控装置根据输入信号，进行一系列运算和控制处理，将结果以脉冲信号形式送往机床的伺服机构（如步进电机、直流伺服电机、电液脉冲马达等）。
- 6) 伺服机构驱动机床的运动部件，按规定的顺序、速度和位移量进行加工，制造出符合图纸要求的零件。

## 三、数控机床的组成

综上所述，数控机床由四个基本部分组成：即控制介质（穿孔带）、数控装置、伺服机构和机床。其基本框图见图1-2。

### 1. 控制介质

数控机床工作时，不需要操作者直接操纵机床，但机床又必须执行操作者的意图，这就需要在操作者与机床之间建立某种联系，这种联系物称为控制介质。控制介质可以是穿孔带、穿孔卡、软磁盘、磁带等。最常用的是八单位（即八排孔）的标准穿孔带。加工零件的

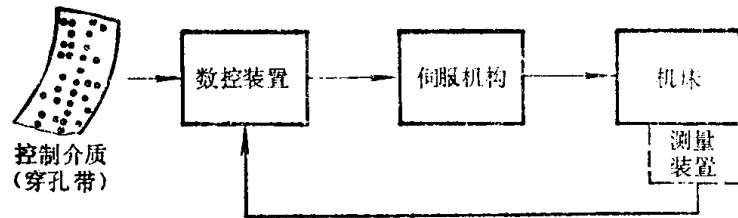


图1-2 数控机床组成图

过程中所需各种数据、指令均用代码记录在穿孔带上，图1-3就是一段穿孔纸带的形状。

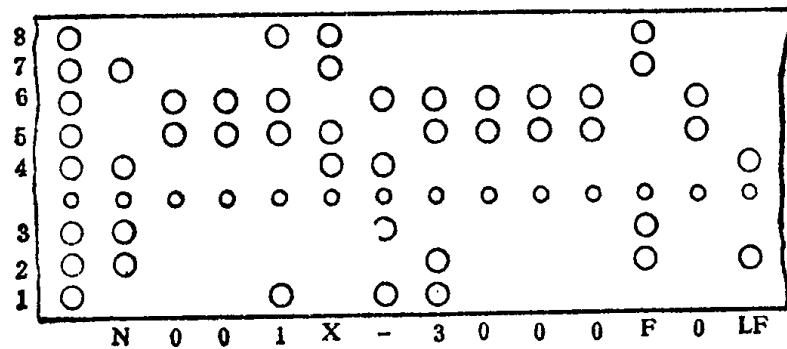


图1-3 穿孔带

控制介质上的信息——纸带上的代码，用光电读带机输入数控装置。

光电读带机的工作过程见图1-4，小电动机1带动主动轮2转动。当数控装置发出信号后，启动电磁铁13吸合摇臂（衔铁）12，带动压带轮14把穿孔带压向主动轮2。使穿孔带以200行/s的速度向左移动。当穿孔带经过透镜时，光源4的光通过透镜5聚成平行光线，照在穿孔带下排列着的9个光敏元件8上。其中8个对应于信号孔，一个对应于中导孔，穿孔带是一排孔、一排孔地从光敏元件上经过，由于光敏元件不受光时阻抗很大，若有一定光通量时阻抗很小。穿孔带上有孔或无孔的变化，会使光敏元件有受光或不受光的变化，经放大器放大就变成高低不同的电信号，从而将信息输入数控装置。

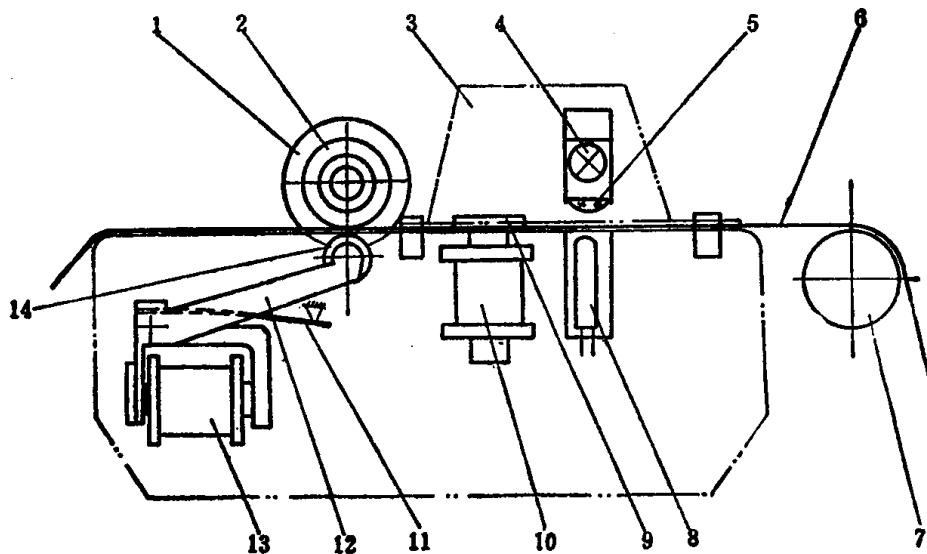


图1-4 光电读带机示意图

读一段程序后，启动电磁铁13断电，压轮在弹簧片11作用下松开，这时制动电磁铁10通电并吸合衔铁9，使穿孔带停止移动。这时数控装置进行本程序段的运算和控制。数控装置再次发出信号时，读带机又重复上述过程。

光电读带机上读数头部分3可以象铰链一样扳起，经过引导轴7将穿孔带6装好后，再将3放下，即可工作。这种读带机不能反绕。当纸带较长需反绕时，用可反绕的读带机，与这种读带机的区别是在读数头右面有一与1、2相对称的反向转动的电机及压带装置。读带机又分为有带盘和无带盘两种，用于不同的条件下。

## 2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心，人们喻为“神经系统”。它根据光电读带机送来的指令码和数据码（又称文字码和数字码），进行运算和控制，并将其结果送到伺服机构中，用以驱动机床运动。数控装置最简单的逻辑方框图，如图1-5所示。图中虚线内是数控装置部分。

数控装置包括：主控制器、译码器、运算器、存贮器、输入装置、输出装置、显示器。

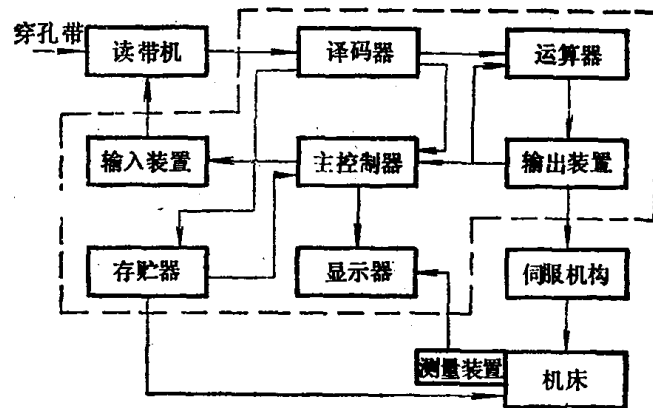


图1-5 数控装置的逻辑方框图

**输入装置：**当按下数控装置启动按钮后，控制电路发出信号，使光电读带机开始工作。读带机将穿孔带上的数据码和指令码送到译码器。译码器将数据码送到运算器，将指令码送到寄存器和主控制器，作为控制和运算的依据。

**主控制器：**它是数控装置的指挥部，它根据输入的代码控制运算器的运算过程，并按运算器的运算结果，控制脉冲的输出、光电读带机的启动和停止。机床主轴转速的更换、泵的启动和停止、刀具的更换等也由主控制器控制。

**显示器：**它显示通过测量机构得出的机床各坐标的运动数值等。

**输出装置：**它与伺服机构相联，把来自主控制器和运算器的信号输送出去，驱动伺服机构。

## 3. 伺服机构

伺服机构（或伺服系统）是数控机床的一个重要组成部分。它和一般机床进给系统的根本区别是：一般进给系统只能稳定地传递所需的力和速度，但不能接受随机输入信息，不能控制执行件的位移和轨迹。而伺服系统则不同，它将数控装置的指令信息加以放大。经功率放大后，通过机床进给传动元件（如齿轮减速箱和滚珠丝杠螺母等），去驱动机床移动部件（工作台或刀架），作精确定位或按照规定的轨迹和速度运动，使机床加工出符合图纸要求的零件。

伺服机构直接影响数控机床的速度、位置、加工精度、表面粗糙度等，所以是数控机床的关键部件。

数控装置每发出一个脉冲信号，反映到机床移动部件上的移动量称为脉冲当量，常用的脉冲当量为0.01或0.001mm，脉冲当量在设计数控机床时即已规定。脉冲当量数值决定着数控机床的加工精度和表面质量。



伺服机构中常用的驱动装置，随控制系统的不同而有所不同。开环系统的伺服机构常用步进电机和电液脉冲马达，闭环系统的有宽调速直流电机和电液伺服驱动装置等。

## §1-2 数控机床的分类

数控技术近年来得到极为迅速的发展。不仅用在机床上，其他象在火焰切割机、压力机、弯管机、制图机、电焊机、坐标测量机等上也广泛采用。目前数控机床的品种日益增多，通常可按下述几种原则进行分类。

### 一、按自动化程度分类

#### 1. 一般数控机床

一般数控机床的加工原理和特点前面已作介绍，它与普通机床比较，可以节省工艺装备，缩短生产准备周期，改善劳动条件，提高生产率和保证产品质量。但在自动化程度上，它还是不够完善的，因为它只能在每一道工序中实现自动化。工序不同，刀具的更换或零件的重新装夹仍需人工来完成。

#### 2. 自动换刀数控机床

自动换刀数控机床又称“加工中心”(MC)，其工作原理与一般数控机床大致相同。它将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能组合起来。机床上大都有一个自动分度旋转工作台，或配有双工作台，一个加工，一个装卸工件。并有自动换刀装置，这样就可以进行多道工序的连续加工。

加工中心的类型很多，一般分为立式加工中心、卧式加工中心和车削中心等。它们适用于产品更换频繁，零件形状复杂，精度要求高，生产批量不大而生产周期短的产品。但价格较贵。

### 二、按运动轨迹分类

按照控制刀具相对工件运动的轨迹来分，可分为三类：

#### 1. 点位控制系统

这类控制系统的特点是：控制刀具或机床工作台，从一点准确地移动到另一点，而点与点之间运动的轨迹不需严格控制。在移动过程中刀具不进行切削。图1-6为点位加工示意图。使用这类控制系统的有数控钻床、坐标镗床、冲床等。

#### 2. 直线控制系统

这类控制方式的特点是：除了控制起点与终点之间的准确位置外，还要保证刀具在这两点之间运动的轨迹是一条直线。刀具在移动过程中进行切削。采用这类控制系统的机床有数控车床、铣床、钻床等。图1-7为直线控制加工示意图。

#### 3. 轮廓控制

轮廓控制也称连续控制。它的特点是能对两个或两个以上的坐标方向的运动同时进行严格的连续控制，不仅要控制每个坐标的行程位置，还要控制每个坐标的运动速度，这样相互配合，形成所需的斜线、曲线、曲面。采用这类控制的机床有数控铣床、车床、磨床及齿轮加工机床和加工中心。图1-8为连续控制加工示意图。

### 三、按控制方式分类

#### 1. 开环控制系统

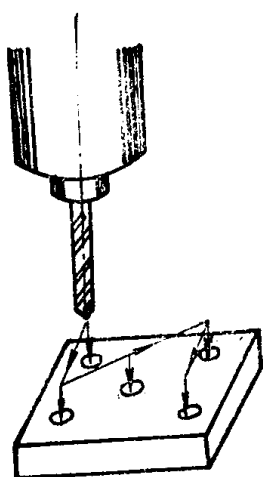


图1-6 点位加工示意图

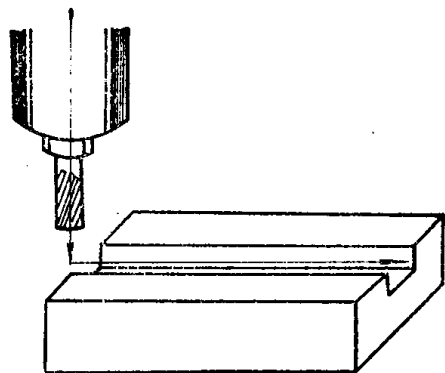


图1-7 直线控制加工示意图

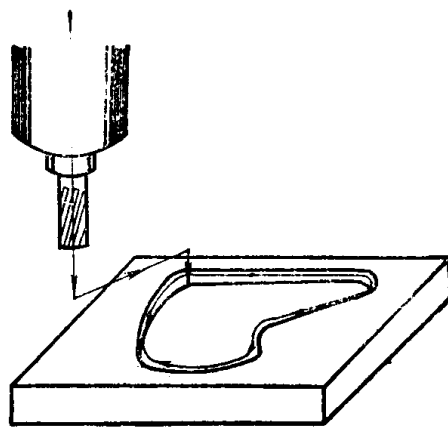


图1-8 连续控制加工示意图

数控装置根据穿孔带上的数据指令，经过控制运算，发出脉冲信号，送到伺服驱动装置（如步进电机或直流伺服电机）使伺服驱动机构转过相应的角度，再通过传动齿轮和丝杠螺母，带动工作台移动一定距离。图1-9为开环控制系统方框图。这种系统中没有位置测量装置和反馈装置，不可能对工作台的实际位移进行测量并反馈回来与原指令值进行比较，这种系统称为开环控制系统。

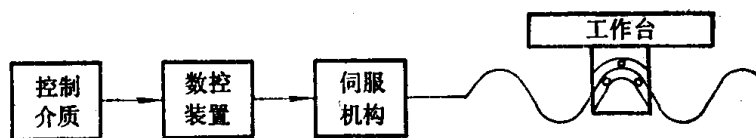


图1-9 开环控制系统方框图

开环控制系统的机床，定位精度不高，一般可达 $\pm 0.02\text{mm}$ ，它主要决定于伺服驱动元件和机床传动机构的精度、刚度和动态特性。它的特点是系统简单、工作稳定、易掌握使用、调试维修方便、成本低，但只能在精度要求不高的机床上采用。主要用于数控车床、数控铣床等机床上。

## 2. 闭环控制系统

这类机床的数控装置，不单根据穿孔带上的指令，向伺服机构发出控制信号，使机床运动，而且还通过测量装置（如光栅或感应同步器等），测出工作台的实际位移量，经反馈回路发出信号，送回数控装置并与原数据指令值进行比较。用比较后的差值控制工作台的补充位移，直到差值消除时，工作台才停止移动。这种系统称为闭环控制系统（或称直接反馈系统）。它的特点是定位精度高，一般可达 $\pm 0.01\text{mm}$ ，最高可达 $0.001\text{mm}$ ，但由于系统有检测、比较、反馈装置，故系统复杂，调试维修困难，成本高。因此只有当开环系统不能满足精度要求时才采用它。一般高精度的数控机床多数采用这种控制系统。图1-10为闭环控制系统方框图。图中1为工作台，2为测量元件，3是滚珠丝杠螺母。

## 3. 半闭环控制系统

这种控制系统不是直接测量机床工作台的位移量，而是通过光电式脉冲发生器或分解器等，间接测量伺服机构中执行元件（如进给传动小齿轮或滚珠丝杠）的转角。从而计算出工作台的位移量，再将算出值与原指令值进行比较，用比较后的差值进行控制，使机床作补充

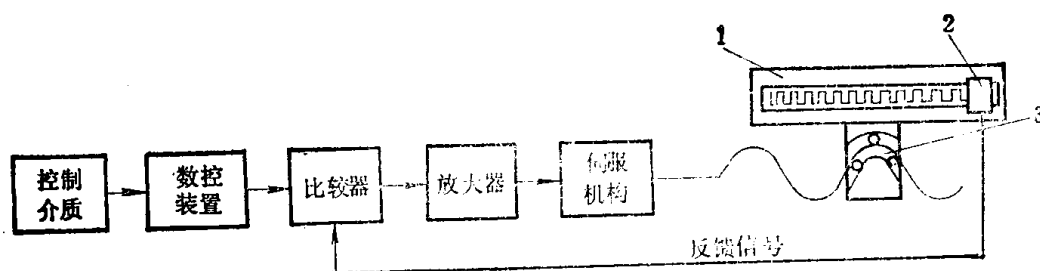


图1-10 闭环控制系统方框图

位移，直到差值消除为止。这种数控机床的传动丝杠在反馈环路之外，其传动误差等照样会影响工作台的位移精度。故称为半闭环控制系统（或称间接反馈系统），这类系统虽然有闭环控制系统的某些优点，但机床的定位精度仍与滚珠丝杠螺母的精度有关，因此精度没有闭环系统高。其优点是调试方便，稳定性好，目前应用十分普遍。图1-11为半闭环控制系统方框图。

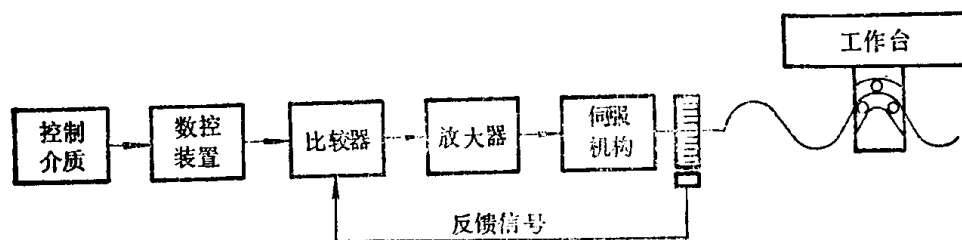


图1-11 半闭环控制系统方框图

#### 四、按功能分类

##### 1. 经济型数控机床

经济型数控机床的控制系统简单，通常用于下列两种情况。一种是在老机床的基础上改装少量原有机械部分的结构而成，因而成本低廉、制造容易、操作简便，生产率有一定提高，减轻了劳动强度，提高加工精度。因此这是改装普通机床和自制简易专用设备时应该倡导的方向。另一种是在一般数控机床上，去掉那些能用简单操作代替的数控功能，使数控系统简化而保留自动加工的基本功能而生产的机床。

对由普通机床改装而成的经济型数控机床来讲，由于普通机床固有性能的关系，无论在精度、刚度或传动副中相对运动表面间摩擦性等方面都受到限制，一般均不能满足数控系统对机械结构的要求，这就直接影响到数控系统性能的发挥。

经济型数控机床的编程简单方便，例如由操作人员直接通过控制台上的拨码开关或键盘，手动输入指令和数据进行操作。这样就能使未经专门数控技术训练的工人迅速掌握，并在加工中发挥他们的操作经验。

##### 2. 全功能数控机床

全功能数控机床的数控系统复杂，这种机床的所有动作，包括各种辅助动作都由数控装置加以控制，另外还具有各种便于编程、操作、监视的功能。因此具有很多优点，但数控系统的调整和编程工作比较复杂，需要配备专人编制程序。

在实际生产中，应正确选用机床类型，对于各个生产部门，都应该在条件允许的情况下逐步扩大数控机床的应用范围，改变我国机器制造工业生产的落后面貌，提高经济效益。

## §1-3 数控机床的现状及其发展

### 一、数控机床的现状

数控机床的研制最早是从美国开始的。1952年帕森斯公司 (Parsons Co) 和麻省理工学院伺服机构试验所 (Servo Mechanismes Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology) 研制成功了世界上第一台数控铣床。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补连续控制的三坐标铣床, 使用电子管。经过3年的改进与自动编程研究, 1955年投入实用阶段。它在复杂曲面的加工中发挥了很大作用。但一直到50年代末, 由于技术上和价格上的原因, 只局限在航空工业中使用。此时的数控系统为第一代数控系统。

随着电子技术的不断发展, 数控系统也不断地更新换代。60年代初, 由使用电子管过渡到晶体管和印刷电路板, 这是第二代数控系统。这使数控系统的可靠性得到了提高, 价格也开始下降, 民用工业也开始发展数控机床。1965年出现了小规模集成电路, 它体积小, 功耗低, 使数控系统的可靠性进一步提高, 这是第三代数控系统。

以上三代数控系统都是属于采用专用控制计算机的硬接线数控系统, 一般称为普通数控系统, 简称NC (Numerical Control)。

70年代初, 计算机技术的发展使小型计算机的价格急剧下降。使用小型计算机代替专用控制计算机从经济上来讲成为可能。数字控制的许多功能可以用编制的专用程序来实现。这些专用控制程序可以存贮在小型计算机的存贮器中。这种数控系统称为软接线数控, 是第四代数控系统, 即计算机数控系统, 简称CNC (Computer Numerical Control)。

70年代, 随着计算机技术的发展出现了微处理器。1974年制成了以微处理器为核心的数控系统。由于中、大规模集成电路的集成度高, 可靠性好, 且价格低廉, 故而以微处理器技术为特征的数控系统得到了广泛的应用, 目前大部分CNC系统都是使用微处理器的数控系统, 这是第五代数控系统。

由于计算机数控系统的控制功能大部分由软件技术来实现, 所以硬件部分进一步得到简化, 使得系统的可靠性高了, 功能也更加完善, 性能价格比大为提高。这使数控技术得到了一个飞跃的进步。

我国数控机床的研制开始于1958年, 由清华大学研制出了最早的样机。随后不少高等院校、研究单位和工厂都开始着手数控机床的研制工作, 并制造了三坐标数控铣床, 在生产实践中发挥了一定的作用。1966年我国诞生了第一台用于直线—圆弧插补的晶体管数控系统, 即第二代数控系统。1970年初集成电路数控系统制造成功, 我国开始生产第三代数控系统。

1980年以来, 我国数控机床发展很快, 品种也多, 其中有数控车床、数控铣床、各种类型的加工中心、数控压力机、数控坐标磨床、柔性加工单元和柔性加工系统等。除供应国内市场外, 有的且已外销。为了适应数控机床的发展, 初步形成了功能部件的生产点。同时, 还制定了数控机床的有关技术标准。在编程方面也开发出了自动编程系统。在各个工业部门, 数控机床也得到了广泛的应用。

### 二、计算机数控系统

#### 1. CNC数控系统的工作原理

使用微处理器的CNC数控系统是目前数控机床使用得最多的一种系统。它与NC的区别在于附加了一个计算机作为控制器的一部分，如图1-12所示。

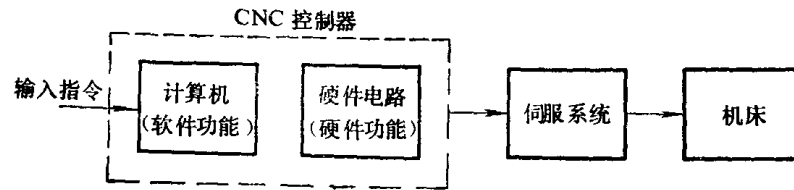


图1-12 计算机数控系统框图

在这种系统中，一部分控制功能由软件来实现，另一部分功能由硬件来实现。其所以如此，首先是因为利用软件功能可以降低成本和增加系统的灵活性，但却要求计算机要有较大存贮容量；其次是现有计算机软件的执行速度不如硬件电路快，对要求执行速度比较快的某些功能，例如连续控制系统的插补功能等，就不能只靠软件模块来实现。因此，现在还不能用软件来实现全部控制功能，而是二者按一定比例结合，实现对机床的控制。

目前由于半导体器件的发展，制成了超大规模集成电路，已经出现了软件硬化的趋势，即把一些常用的软件，例如一些子程序（如乘法、除法等），用硬件模块来实现。其运算速度可成百倍地提高，也使得CNC系统性能得到大幅度的提高。

计算机数控的主要优点是：

(1) 灵活性大 这是CNC数控系统的最大优点，因为NC系统功能一经确定，就不能改变。而对CNC系统来讲，只要改变其相应的控制程序，即可改变其控制性能。因此，CNC系统可以随着技术和工艺的发展而发展。在设备安装之后，新技术还能补充到系统中去。

(2) 容易实现多种复杂功能 CNC系统利用计算机的计算功能，能实现一些比较复杂的功能，如刀具、夹具的偏移，公英制的转换，坐标转换，固定循环等。这些都可以用软件来完成。刀具补偿也能在加工过程中进行计算，使得程序编制工作更为简单。

(3) 可靠性好 CNC系统中，加工程序是一次送入存贮器中的，从而避免了光电输入机运行中的停顿和故障。加上许多功能由软件来实现，使系统可靠性大为提高。据国外统计，平均无故障时间NC为136h，小型计算机的CNC系统为984h，而微处理器的CNC系统，据日本FANUC公司声称已达到23000h。

(4) 使用维修方便 CNC系统的最大特点是有一套诊断程序。当机床出现故障时，系统可以及时指出故障的地点及范围，使停机时间大为减少；其次，CNC系统具有零件程序编辑功能，使编程工作变得十分方便。有的还带有图形模拟显示装置，在数据输入后，可以画出毛坯和零件图形，并显示出刀具中心轨迹。这都提高了编程效率，且使编程工作更为直观和简便。

## 2. 微处理器CNC系统的组成

使用微处理器的CNC系统组成见图1-13。它主要由中央处理器（CPU）、存贮器（RAM、ROM）和输入输出接口电路组成。

与NC相同，中央处理器由运算器和控制器两部分组成。运算器对数据进行数值计算和逻辑运算。运算时，存贮器不断地向运算器提供数据，运算结果送到存贮器保存。控制器则从存贮器中依次取出组成程序的指令，经过译码，向数控系统各个部分按顺序发出执行操

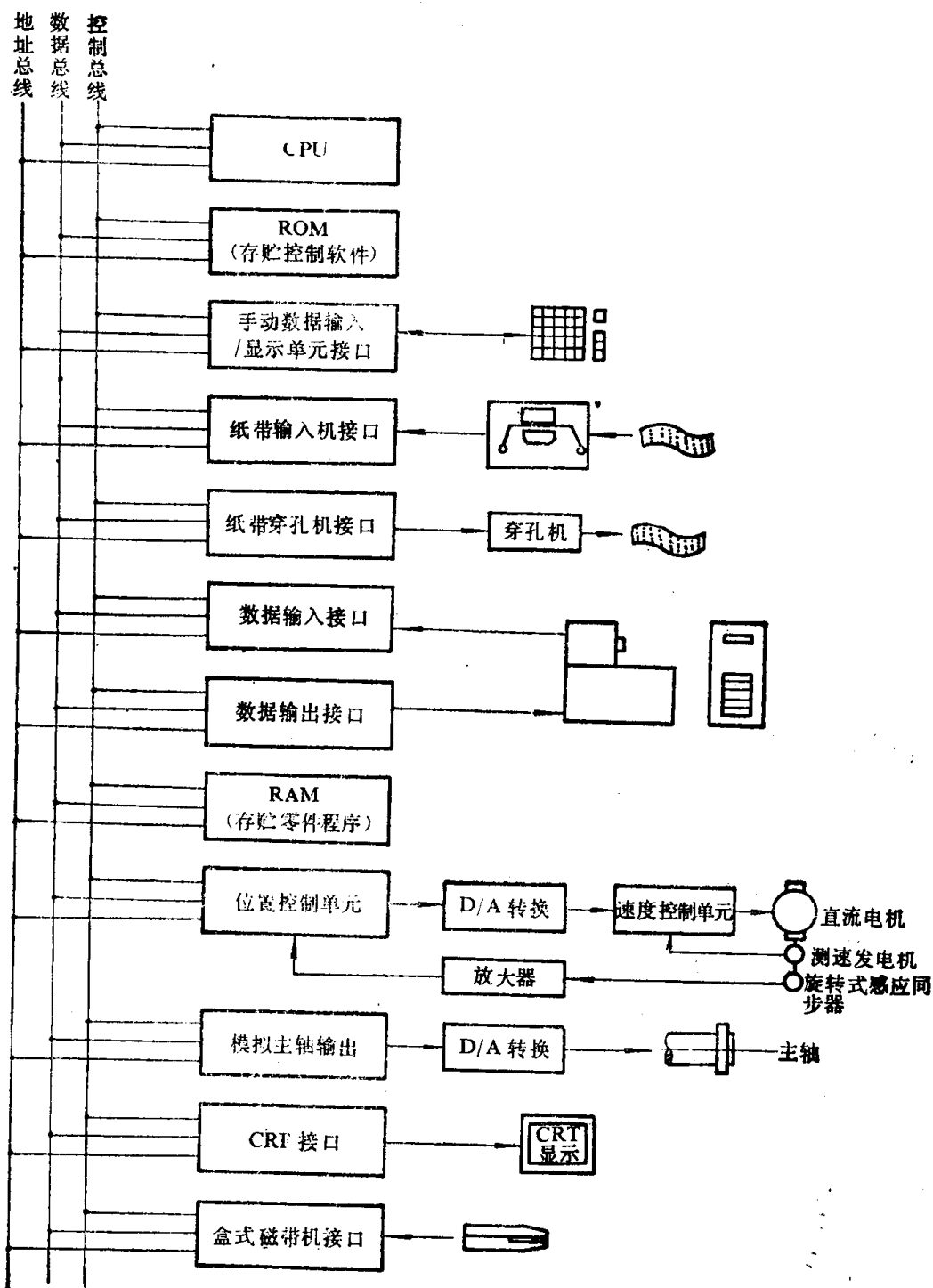


图1-13 微处理器CNC系统

作的控制信号，使指令得以执行。

输入输出部分是数控系统与外部设备联系的通道 (I/O接口)。从图上可以看出，有手动数据输入显示单元接口、纸带输入机接口、纸带穿孔机接口、与机床的控制柜连接的数据输入输出接口以及位置控制单元等。

存储器用于存储数控系统的软件、零件加工程序以及运算和处理后的结果等。只读存储器 (ROM) 用于存储系统控制程序、常数及其他有关数据和软件。随机存储器 (RAM) 则用于中间结果和零件程序等的存储。

零件加工程序用纸带可以一次输入到存储器中，也可用键盘将程序打入，并可随时进行

编辑和调用。一般在存储器中可存入几十个零件的加工程序，并可随时查询。需要保存时，可以通过接口，将内存程序穿孔输出，打在纸带上，也可以用磁带机将程序记录在磁带或磁盘上，是十分方便的。

### 三、数控机床的发展概况

数控机床的发展进程如表1-1所示。

表1-1 数控机床的发展进程

时 间	1952年	1958年	1961年	1965年	1973年
名 称	NC 硬接线数控	MC 加工中心	DNC 计算机直接数控	AC 适应控制	CNC 计算机数控
时 间	1974年		1979年		1980年
名 称	CAD/CAM 计算机辅助设计计算机辅助制造		FMS(FMC) 柔性制造系统(柔性制造单元)		FA(CIMS) 自动化工厂(计算机集成生产系统)

除了前面已经讲过的几种数控形式以外，其他几种形式将在下面作一简单介绍。

#### 1. 计算机直接数控系统(DNC)

计算机直接数控系统，可理解为用一台大型通用电子计算机直接管理和控制一群数控机床的系统，因此也称为群控。其特点是：使用计算机对生产过程加强管理，使程序的编制、生产的准备与计划安排等工作与机床工作协调一致，以提高NC的使用效率。

根据其控制装置、机床与计算机结合方式的不同，可以分为间接型“群控”系统（简称DNC的K系统）和直接型“群控”系统（简称DNC的T系统）。二者的主要区别在于：K系统中，来自计算机存储的程序，通过连接装置，分别送到机群中的每台数控机床的数控装置中去；而T系统中，机群中每台机床不需装设数控装置，只需装上由伺服控制电路和操作部分所组成的机床控制装置即可，而把数控功能集中到一个分时多路数控装置中，再与计算机连成一个完整的系统。

它们的特点是K系统可以先把一台数控机床安装使用，待数控机床台数增加到一定数量时，再在车间装上电子计算机，形成“群控”系统。而T系统中每台机床可不需数控装置，故成本较低。且分时多路控制装置不必安装在车间内，而可安装在控制室中，故而发生故障的机率大为减少，使可靠性提高。

#### 2. 适应控制机床(AC)

一般数控机床，是按照预先编好的程序进行加工的。但在编程时，有许多参数只能参照过去的经验数据来决定，不可能准确地考虑到它的一切变化：如毛坯余量的不均匀、刀具与工件材质的变化、刀具的变钝、工件的变形、热传导性的区别等。在实际生产中，这些变化约有30余种，它直接或间接影响加工效果，使加工不能在最佳状态下进行。若控制系统能对实际加工中的各种加工状态的参数及时地测量并反馈给机床进行修正，则可使切削过程随时处在最佳状态。所谓最佳状态是指最高生产率、最低加工成本、最好的加工质量等情况下的状态。由于CNC系统本身带有计算机，只要有相应的检测元件、控制线路和相应的软件就可以使机床具有自适应控制的功能。

图1-14所示为适应控制数控机床的框图。它装有传感器和检测装置。在加工过程中，当刀具磨损、表面质量、温度、工件变形等条件发生变化时，通过检测并将结果送入适应控制

系统，与预先存入的有关数据进行分析比较后，将校正信息送入机床控制单元，对机床进行控制，从而实现自动调整使各种工艺参数处于理想状态。

### 3. 柔性制造系统 (FMS) 和柔性制造单元 (FMC)

目前，工厂中采用由组合机床和各种带传送装置的单能机床组成的生产线，对于大批和大量的单品种加工来讲是效率很高十分有效的系统，但它很不灵活。当零件的形状和尺寸改变时，改变这种系统，需要大量资金和很长的调整时间。因此，不能适应目前品种尺寸变化频繁的要求。加工中心的出现，可以在一台机床上进行多工序加工。改变工件时，调整也很方便，只要改变穿孔纸带——工件加工程序即可。这大大增加了机床的柔性，满足了小批量生产中加工工件变化的需要。但是它却不能满足大、中批生产的要求。

随着计算机技术的发展，CAD/CAM的研制，使生产管理计算机化，出现了用NC设备及自动化措施组成的一种生产系统，它完全能满足大、中、小批量生产的要求，且十分灵活，能迅速调整以适应零件尺寸的变化，称为柔性制造系统。

由此可见，柔性制造系统是一种适用于多品种、大、中、小批量生产的自动化生产方式。它主要由计算机辅助设计和生产系统、数控机床、智能机器人、全自动输送系统和自动化仓库组成。全部生产过程由一台中央计算机进行生产程序的调度，若干台辅助计算机进行工位控制。其中各个制造单元相对独立，便于灵活调节。

图1-15是一种柔性制造系统的框图，其组成如下：

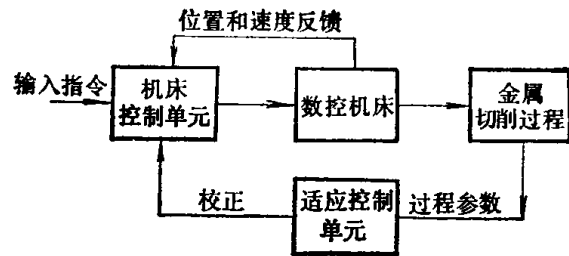


图1-14 适应控制数控机床框图

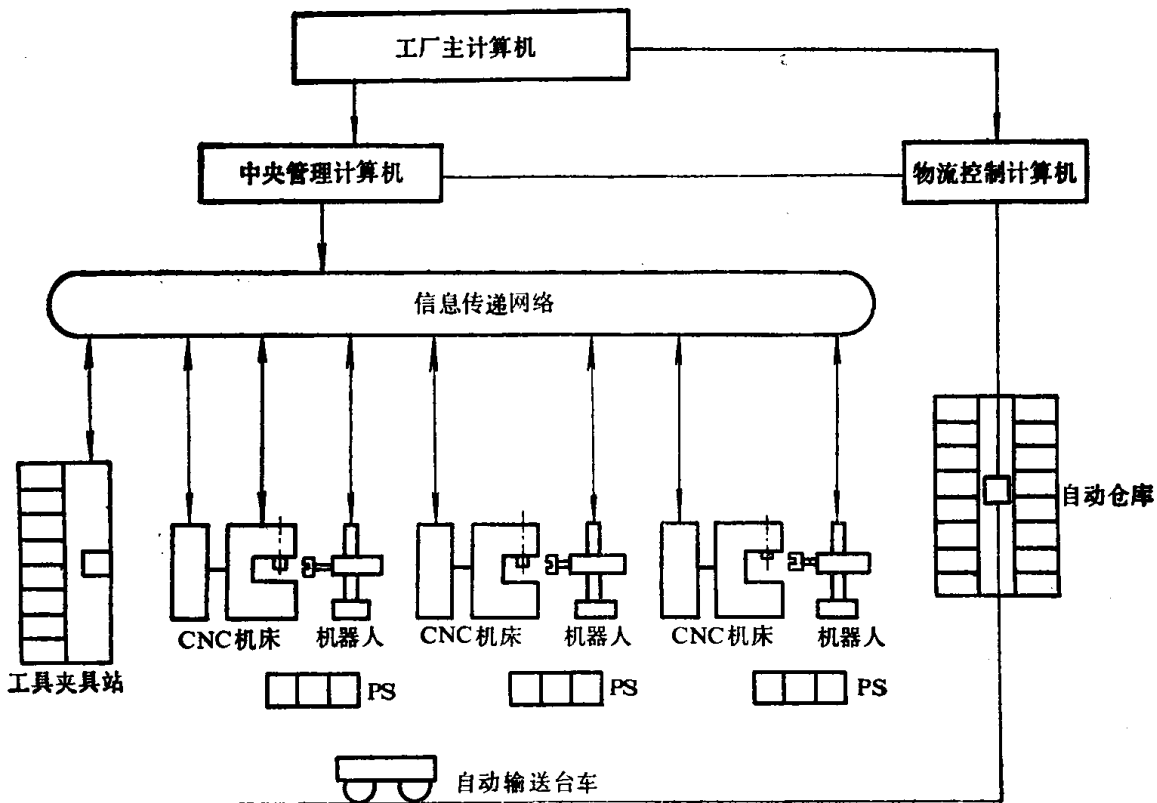


图1-15 柔性制造系统框图



(1) 工厂主计算机 它主要用来管理生产计划、材料和外购件在库的管理、计算机辅助设计和合同的管理,并以此对下一级的中央管理计算机和物流控制计算机进行控制。

(2) 中央管理计算机 它主要对整个系统实行监控,对每台制造单元(由CNC系统机床和工业机器人组成)的加工数据实行控制,对工具和夹具实现集中管理和控制。

(3) 信息传递网络 它是联络各制造单元与中央管理计算机的电缆或光缆网络。

(4) 物流控制计算机 它是对自动化仓库(用于自动存贮和调用毛坯零件、半成品或成品)、自动输送台车、加工条件以及过程控制等实现集中管理的计算机。

(5) PS为随行工作台站。

柔性制造单元(FMC)是为了使数控机床适应工件多品种混流加工及长时间无人看管加工而产生的一种小系统,是将加工中心的控制系统功能提高、并采用多个可交换工作台和增加刀库容量而得到的。例如,JCS-FMC-1卧式柔性加工单元,即由一台加工中心TH6350和10工位的自动交换工作台装置(APC)组成,不同的加工工件分别安装在10个工作台上。为了实现工件的混流加工,用软件控制工作台的任选交换和自动识别工件,并按照工件自动调出相应的加工程序,来满足加工的要求。

#### 4. 计算机集成生产系统(CIMS)

为了实现整个生产过程自动化,人们正在着手研制包括计划设计、工艺、加工、装配、检验、销售等全过程全由计算机控制的集成生产系统。这种系统具有计算机控制的自动化信息流和物质流,对产品的构思和设计直到最终装配、试验这一全过程进行控制,以实现工厂自动化这一伟大的目标。

近来数控机床的发展速度十分迅猛。如日本1971年数控机床产量为3312台,1984年达到38036台,增长了近10倍。日本机床产值中的数控化率1981年为50%,1986年已达80%。前几年几个工业国家的数控机床产量见表1-2。

表1-2 各国数控机床产量

年度	生产国	台数			
		日本	美国	联邦德国	苏联
1978年		6000	5000	2000	6000
1979年		15000	6800	3000	8000
1980年		22052	8889	4000	9000
1981年		25926	7737	5000	10000
1982年		24138	5116	5000	11000
1983年		26408	4224	5000	12000
1984年		38036	5124	9966	12000

由于专业化生产的扩大,数控机床整机被分解为主传动系统、伺服系统、数控系统、检测系统及辅助系统,并由此而发展成为相应的功能部件,实行专业化生产,大量供应市场。国外许多机床厂自制件的产值已低于20%,其余均采用市场上供应的功能部件,实现了产业结构的高级化,数控机床生产的高效化。

近年来我国数控机床生产发展很快,除了引进和合资生产的各种数控机床和系统以外,还开发和生产了各种数控系统和机床,如3T/3M和7CM/7CT CNC全功能数控系统,BS03 A经济型数控系统,BSX-1型、CCM-1型、MNCZ-80型等微机控制系统等。

但是,我国数控机床生产还远远满足不了国内工业部门生产的需要,也不能满足出口的要求。1987年我国共生产数控机床2604台,全功能数控机床只有400台左右,其余均为线切割机和经济型数控机床。因此,使得我国机床行业产值由1982年的4.7亿美元,居世界第11位降到1987年3.42亿美元,居世界第17位。1980年我国机床进口不到1000台,1985年进口