

# 机床数控基础

(试用教材)

五机部七·二一工人大学教材选编小组编

一九七七年五月

# 毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

## 选 编 说 明

为了更好地贯彻执行毛主席的无产阶级教育路线，加速培养又红又专的职工队伍，适应社会主义革命和社会主义建设的需要，我部企、事业单位相继办起了工人大学。遵照华主席关于“继续搞好教育革命”、“要提倡为革命学习文化、学习技术、精通业务、又红又专”的指示，必须努力办好工人大学。

根据毛主席关于“教材要彻底改革，有的首先删繁就简”的教导，为了尽快解决教材供应不足的问题，经与各省（市、区）有关部门协商，组成了有湖南、陕西、山西、四川、辽宁、黑龙江、内蒙古、江苏、北京等省（市、区）有关厂、校的专、兼职教师，工大毕业学员参加的工人大学机械类教材选编小组，在各地积极提供的一百五十余种教材基础上结合我部工人大学情况，进行了选编工作。最后确定了十一种教材，包括《初等数学》、《高等数学》、《机械制图》、《工程力学》、《电工学》、《金属材料学》、《机械设计基础》、《机床液压传动》、《机械加工工艺及工装设计》、《机床设计》、《机床数控基础》。

各书在审查出版中，分别受到湖南湘潭大学、西北工业大学、西安交通大学、陕西机械学院、北京工业学院、国防工业出版社及山西、陕西、湖南、吉林、天津等印刷单位大力协助，谨在此对各有关单位表示衷心的感谢。

本书系以北京工业学院一九七五年编写的教材《机床数控概论》为主要参考书，并参考有关单位的《晶体管电路》《数控技术》书刊资料等方面的一部分内容，进行选编而成的。

由于我们对马列和毛主席关于教育革命的论述学习不够，加上时间仓促，对“四人帮”在教育战线干扰破坏的揭发批判正在深入，教材中难免有缺点和错误，希望广大工人学员、教师提出宝贵意见。

五机部七·二一工人大学教材选编小组

一九七七年四月

# 目 录

<b>第一章 概述</b> .....	( 1 )
第一节 数控机床的特点和应用.....	( 1 )
第二节 数控机床的基本工作原理.....	( 3 )
第三节 数控系统的分类.....	( 7 )
第四节 数控机床的进展.....	( 8 )
小 结.....	(11)
<b>第二章 晶体管电路基础</b> .....	(13)
第一节 半导体及其基本性质.....	(13)
第二节 P—N结及其整流特性.....	(21)
第三节 整流电路.....	(29)
第四节 滤波与稳压.....	(42)
第五节 晶体三极管的结构及其基本特性.....	(55)
第六节 晶体管的输入特性和输出特性.....	(65)
第七节 交流放大器.....	(76)
第八节 偏置电路和工作点的稳定.....	(89)
第九节 多级放大器和射极输出器.....	(97)
第十节 交流功率放大器.....	(103)
第十一节 直流放大器.....	(112)
第十二节 串联式直流稳压电路.....	(131)
附录一 交直流共存电路的分析方法.....	(139)
附录二 等效电源与交流电源的两种表示方法.....	(142)

附录三	分贝及其意义 .....	(145)
附录四	晶体管的简易检验与命名方法 .....	(149)
附录五	常用晶体管参数表 .....	(155)
<b>第三章</b>	<b>逻辑电路与逻辑部件</b> .....	<b>(175)</b>
第一节	逻辑代数基本知识 .....	(175)
第二节	单元逻辑电路 .....	(181)
第三节	逻辑部件 .....	(204)
小 结	.....	(220)
附录一	集成电路的参数及测试 .....	(222)
附录二	D触发器的线路和工作原理 .....	(226)
附录三	J—K触发器的线路和工作原理 .....	(228)
附录四	部分组件技术数据 .....	(231)
<b>第四章</b>	<b>数控装置</b> .....	<b>(235)</b>
第一节	数控装置的一般结构 .....	(235)
第二节	点位控制系统 .....	(238)
第三节	轮廓控制系统的几种插补运算装置 .....	(243)
小 结	.....	(267)
<b>第五章</b>	<b>数控机床的程序编制</b> .....	<b>(268)</b>
第一节	有关数控机床的通用标准 .....	(269)
第二节	手工编制程序 .....	(280)
小 结	.....	(291)
<b>第六章</b>	<b>驱动机构</b> .....	<b>(292)</b>
第一节	驱动机构概述 .....	(292)
第二节	电脉冲马达 .....	(300)
第三节	开环驱动线路 .....	(310)
第四节	电液脉冲马达 .....	(320)
小 结	.....	(322)

附录一	提高相位比较闭环系统速度的措施 .....	(323)
附录二	部分驱动机构用直流电机、步进电机 与电液脉冲马达参数 .....	(325)
<b>第七章</b>	<b>位置检测装置 .....</b>	<b>(330)</b>
第一节	位置检测装置概述 .....	(330)
第二节	光栅位置检测装置 .....	(332)
第三节	感应同步器位置检测装置 .....	(339)
第四节	磁尺位置检测装置 .....	(345)
小 结	.....	(350)
附录一	简易光电盘位置检测装置 .....	(351)
附录二	“激光”位置检测装置 .....	(352)
<b>第八章</b>	<b>简易数控机床典型实例 .....</b>	<b>(354)</b>
第一节	JSKC—6140 数控车床 .....	(354)
第二节	SK336 简易数控六角车床 .....	(377)

# 第一章 概 述

机械制造业的发展过程，实际是围绕产品的数量、质量和成本之间矛盾的不断发生、发展和解决的过程。在这一过程中，人们经常注意力集中在劳动生产率和产品质量这二个主要问题上。因此，提高劳动生产率和自动化程度，始终是机床工业发展的重要方向之一。在大批大量生产中，这个问题由于自动线、组合机床和各种专用设备的广泛应用，而获得了较好的解决。但是，在占机械加工总量80%左右的单件、小批生产中的自动化问题，长期以来没有得到满意的解决。所以，实质上机械加工中绝大部分的生产还都停留在手工操作为主的状况下。这种状况不适应日益迫切提高劳动生产率和自动化程度的要求，也直接影响到机械制造部门的多品种生产和采用各种新型的、形状较为复杂的零件结构的要求。

随着电子技术和计算机技术的发展，50年代以后出现的数控机床，为解决这个问题提供了广阔的前景。它是近20年来综合应用电子技术、计算技术、自动控制、精密测量和机床结构设计等各个技术领域内的最新技术成就而发展起来的，既具有广泛通用性，又具有很高自动化程度的一种新型的机床。

我国人民遵照毛主席“外国有的，我们要有，外国没有的，我们也要有”的教导，坚持“独立自主，自力更生”的方针，在大跃进的1958年，研制出第一批数控机床。

经历史无前例的无产阶级文化大革命以后，我国的数控机床的发展也极为迅速。过去几年来，试制成的品种有：数控铣床、钻床、座标镗床、车床、自动换刀镗铣床、立车、曲线磨床、非圆插齿机、线切割机等。其中有一部分已成批生产，稳定使用。

现在全国形势一片大好，生产蒸蒸日上，相信在以华主席为首的党中央领导下，在为实现四个现代化的进程中，数控技术的应用必将进入一个新的阶段，数控机床的质与量均将有一个飞跃的发展。

## 第一节 数控机床的特点和应用

数控机床是一种具有广泛通用性的高效率自动化机床。它同一般自动化机床有什么区别呢？一般常用的自动机床、半自动机床、组合机床、专用机床等设备自动化程度也是很高的；但它们主要依靠采用模板、凸轮、专用夹具、专用刀具、定程挡块等办法来实现顺序的加工动作和控制刀具相对于工件的移动距离。是否采用这种自动化手段，一般情况需要以加工对象的产量为根据。因为专用的模板、夹具、刀具、凸轮等辅件的生产要求较高的制造技能、更精密的加工设备、一定的生产准备时间，成本高，机床的调整时间也长。因此，它只适合于大批大量生产。一般自动化机床专用性比较强。对于数控机床来说，虽然同样是高效率的自动化机床，但具有广泛的通用性。数控机床在改变

加工对象时，除重新选择相应刀具外，仅需更换一下控制介质（如穿孔带、穿孔卡、磁带等）或改变一下控制介质的内容（如拨码盘、开关等），即可适应新的零件的加工，对机床不需作更多的重新调整。

在自动加工循环中，它不仅对各种动作的先后顺序，以及各种辅助机能（如主轴转速、进给速度、换刀、冷却液开关等）进行自动控制，还能控制机床运动部件的位移量。而且控制机床的这些指令是以数码和文字码的形式存放在控制介质中，再通过控制装置来实现的。因此，我们把它称作“数字控制机床”，简称数控机床。

数控机床与通用机床加工过程的区别是显而易见的，见图 1—1 所示。

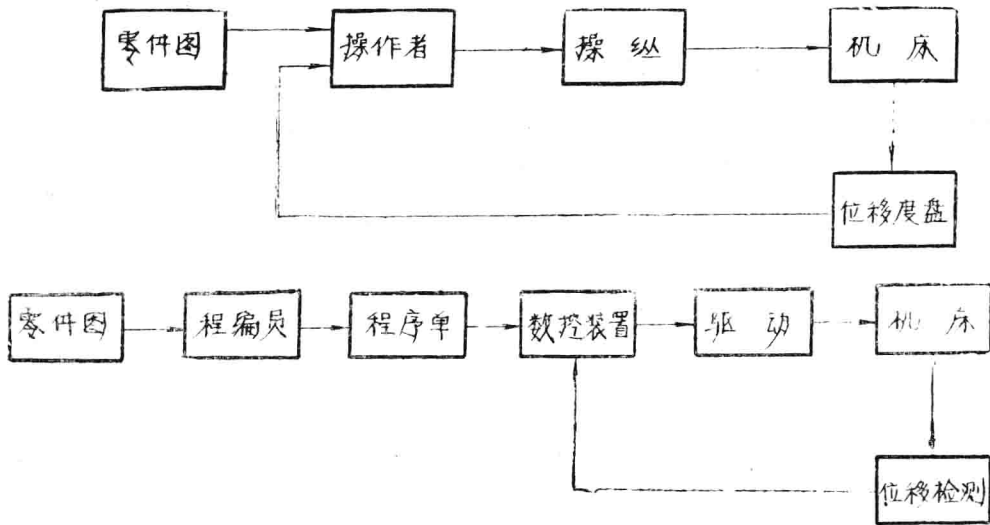


图 1—1 通用机床与数控机床加工过程示意图

在通用机床加工时，零件图上尺寸首先记忆在操作者的大脑中，然后操纵机床，不断用眼睛观察刻度，观察结果反映到操作者脑中，与原来尺寸数据进行比较，调整操纵，直至符合。在数控机床上，由图可见，这一观察、比较、调整、操纵的过程全部由数控机床自动完成。但是，从图到完成零件的过程中，人的因素还是起决定性的作用。即使在使用数控机床的加工过程中，由图中可看出，人还是一个主要的一环。因为数控机床加工时，从图纸开始，操作者就必须进行分析零件形状和技术要求，确定走刀路线和切削规范，编制程序单，穿孔，检验等工作。此外在加工过程前后，还需进行装卡工件，调整机床、刀具，结果测量等。然而二者的区别是：为完成一定的加工，在进行操纵、观察（检测）、比较、调整这一系列工作中，通用机床情况人是控制过程的一环，承担繁重而又紧张的一环；而数控机床情况，人是在控制过程的外面，在自动加工过程时只起监视的作用。

在早期发展阶段，由于数控机床比较复杂，成本又高，故加工对象主要为单件、小批生产的尺寸精度要求比较高、形状复杂而尺寸变化比较大的零件。这样可减少或省去大量的样板、模具等工艺装备，减轻工人的劳动强度，提高劳动生产率和缩短生产周



期，降低成本。但近年来，随着数控技术的发展及设备成本的不断下降，数控技术的应用范围在逐步扩大，除数字控制的各种通用切削机床外，还出现了数控组合机床、数控机床自动线、数控测量机、数控画图机以及数控弯管机、数控钻铰机、数控焊接机、数控缠绕机等等。可以看出，数控技术已成为广泛实现单件、小批生产机械自动化的重要途径之一。

## 第二节 数控机床的基本工作原理

### 一、数控机床加工的基本结构框图（图 1—2）

数控机床加工的主要过程大体上是：

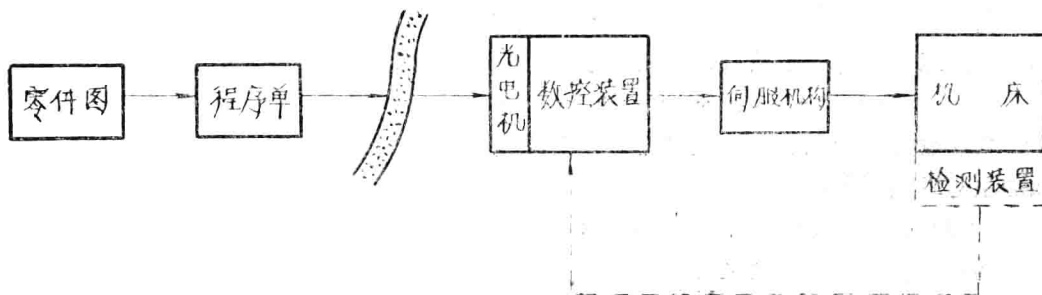


图 1—2 数控机床加工的基本框图

1. 根据零件图纸用规定的代码（数字和字母形式）编写加工程序单。
2. 根据程序单，制作控制介质内容（例如穿孔纸带）。
3. 控制介质的内容（数据信息）经输入装置进入数控装置。
4. 数控装置将指令数据经过处理而转换成驱动伺服机构的信号。
5. 由伺服机构控制机床的各种动作。

通常“数控机床”的组成包括穿孔带、数控装置、伺服驱动机构、机床这样四个环节。这样一种组成系统，称为开环控制系统。为了进一步提高控制精度，在上述四个环节之外，再加上检测环节和反馈联接就成为闭环控制系统。如图中虚线所示。

在穿孔带以前的环节，统称为程序编制。若编程环节由人工来完成，称为手工编程；若由计算机代之，即称为自动编程。

### 二、计数制

所谓计数制就是数据的表达方式。在进行数控加工第一个环节程序编制时，首先碰到的就是如何将零件上的数据用控制装置便于接受的方式表达的问题。我们日常生活中常用的是十进位计数制，它是逢十进位的。在十进位计数制中，共有 9、8、7…2、1、0 十个数字表示。而在数字控制系统中，许多电器元件都只有两个稳定的表达状态。例如晶体管的“导通”和“截止”、固体组件输出“高电位”和“低电位”、触点的

“开”和“关”等。为了逻辑运算的方便，为了清楚的表示电子元件的两种稳定状态，所以引出了一种二进位计数制，它是逢二进位的。在每一位中只有两个不同的数“0”和“1”。

十进位计数制各位相对应的单位是： $10^0$ 、 $10^1$ 、 $10^2$ 、 $10^3$ …… $10^n$  等。

二进位计数制各位相对应的单位是： $2^0$ 、 $2^1$ 、 $2^2$ …… $2^n$ 。

十进位计数制的某一个数值的表达式为：

$$N = \sum_{i=m}^n K_i(10^i)$$

二进位计数制的某一数值的表达式为：

$$N = \sum_{i=m}^n A_i(2^i)$$

上两式中n, m为整数,  $K_i$ 在十进位数制中不大于9,  $A_i$ 在二进位数制中不大于1。

例如二进制的个数1101.1化成十进制即：

$$1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} = 8 + 4 + 1 + 0.5 = 13.5$$

数控数置采用二进位计数制之后，可以很方便的实现加、减、乘、除等运算方法。

如加法运算法则是：

$0+0=0$ ； $0+1=1$ ； $1+0=1$ ； $1+1=0$ （进一位）；

例：

$$\begin{array}{r} 1101010 \\ + \quad 110 \\ \hline 1110000 \end{array}$$

二进位计数制虽然在数控装置中运算方便，但对于程序编制者使用时却很不方便，因此又引出了二——十进制。二——十进制就是用几个四位二进制数来表示一个十进制数。

表1—1为二——十进制代码与十进制数相对应的排列。

表 1—1

十 进 制	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
二——十进制	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001

例如：十进制的258表示为二——十进制时为：

0010    0101    1000

这一种二——十进制数码有时简称为BCD。以二进制数表示十进制数还有一些其他的方法。

### 三、控制介质与代码

为了将人根据图纸的要求而编制的全部操作程序及刀具相对于工件的位移量的指令传送给机床，必须有一个中间媒介物的联系，这种媒介物，我们称之为“存储介质”或“控制介质”。这种控制介质可以是穿孔卡，也可以是穿孔带、磁带或其他种种合适的

形式。目前，在数控机床上最为普遍采用的一种控制介质是八单位的标准穿孔带。

代码是按照一定规律排列的信息（数据和控制指令）表达的体系。它是数控系统的一种语言；并且根据二进制的特点按照一定规律而排列。目前世界上常用的有两种代码，一种叫 EIA 代码（美国电子协会60年制定），另一种叫 ISO 代码（国际标准化机构数控机床分会66—71年审定）。

图 1—3 为 EIA 和 ISO 两种代码的穿孔图样。

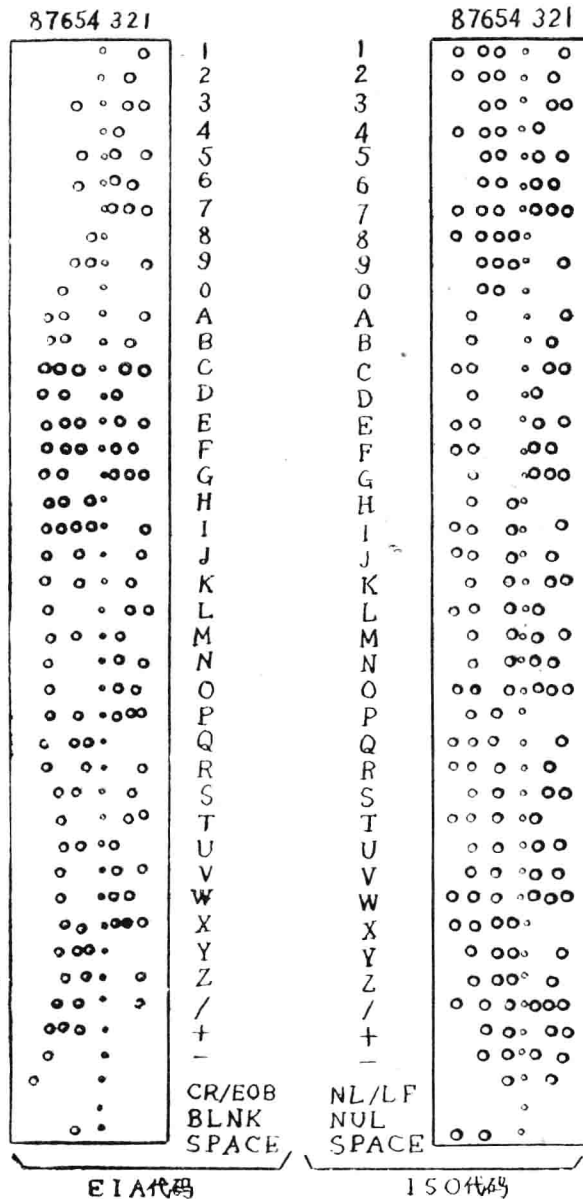


图 1—3 EIA和ISO两种代码的穿孔图样

#### 四、输入装置的一种——穿孔带阅读机

大部分数控机床所用的控制介质是穿孔带。数控装置要接受穿孔带上的信息，必须应用一种阅读机。穿孔带阅读机有光电和机械二种形式。光电式较机械式阅读速度快一些。光电式阅读速度一般在300行/秒左右，机械式20行/秒左右。

下面简单介绍一下光电阅读机的结构和原理，见图1—4所示。

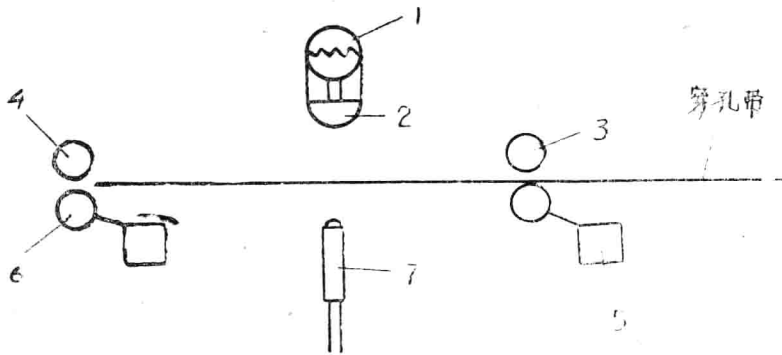


图 1—4 光电阅读机原理图

它由下列几部分组成：

1. 光源——是一个仪用灯泡。常用规格10V10W；12V30W。
2. 透镜——它将光源的光线聚成一条窄光束或平行光束。
3. 停车棒。
4. 主动轮——它由一个单相电动机带动。
5. 停止电磁铁——当停止电磁铁吸合时，它与停车棒紧密碰合，将纸带夹住，从而使纸带停止。

6. 启动电磁铁——当它吸合时，纸带就前进（此时停止电磁铁脱开）。

7. 受光体——它是一种光敏元件，通常有光敏二极管和光电池二种。

光敏元件有一个特性，当它不受光时阻抗大，当它接受一定光通量时，阻抗变小。我们将这种光敏元件接到放大电路的输入端。当穿孔纸带从光敏元件上通过时，纸带上有孔或无孔的变化就会使光敏元件有受光或不受光的变化，在放大电路中就能变成电讯号的高低电位的变化。这样的电讯号被数控装置接受后，就按照这些信号的要求产生一系列的运算和控制。

在八单位光电阅读机中，有9个光敏二极管，即8个信号孔和1个同步孔。因为在8单位穿孔带中，每一排孔只表示一个代码，因此这一排信号要求在同一瞬间内读入，同步孔即起这个保证作用。

### 第三节 数控系统的分类

数控系统虽然品种很多，但可以按照下述三个原则来分类：

#### 1. 按运动轨迹方式分类

①点位控制系统——这类控制系统的特点是要求保证点与点之间的准确定位，它只控制行程的终点坐标值，至于点与点之间所经过的轨迹则不加控制。采用这类系统的机床有钻床、坐标镗床、冲床等。

②直线控制系统——这类控制系统的特点是要控制行程的终点坐标值，还要保证被控制的两坐标间的轨迹是一条直线。用这类控制系统的机床有自动换刀数控机床、车床、铣床、磨床等。

③轮廓控制系统（连续控制系统）——这类控制系统的特点是能够对两个或两个以上坐标方向的同时运动进行严格的连续控制，不仅要控制加工的轮廓，而且要将每个坐标的行程控制与速度控制联系起来。自动换刀数控机床、车床、铣床等均可采用此类控制系统。

#### 2. 按插补方式分类

①内插补控制系统——数控系统本身具有插补功能，并带有插补器，可直接与机床结合成一体。由于每一台机床都带插补器，便于零件的更换和程序的修改，灵活性较大，缺点是成本高。

②外插补控制系统——数控装置本身不带插补器，自身没有插补运算的能力，而是靠计算中心或通用计算机进行插补运算，然后记录在磁带上以控制机床。这种数控装置结构简单、成本低、可靠性提高。缺点是零件更换和程序修改依赖于计算中心或通用计算机，灵活性差。

#### 3. 按控制方式分类

①开环控制系统——如图 1-5 (a) 所示，数控装置根据穿孔纸带上的数据和指令值，经过运算发出输出脉冲量，送到电液脉冲马达，使其转过一定的角度，带动丝杠螺母使工作台移动一定的距离。这种没有信号反馈和位置检测，也不将被控制量的实际值和指令值进行比较的系统叫开环系统。

②闭环控制系统——如图 1-5 (c) 所示，数控装置不仅根据穿孔纸带的指令要求，发出指令值使机床运动。而且通过测量装置检测出工作台的实际值，将实际值与指令值进行比较，用差值进行控制，直到差值等于零为止，这种控制系统称为闭环控制系统。

③半闭环控制系统——这种控制系统也是有差控制系统的一种。它的特点是对齿轮或丝杠旋转的转角进行测量，然后算出线性位移量，再将此实际值与指令值进行比较，用差值进行控制。由于机床不完全包括在环内，所以叫半闭环控制系统。（图 1-5 (b)）

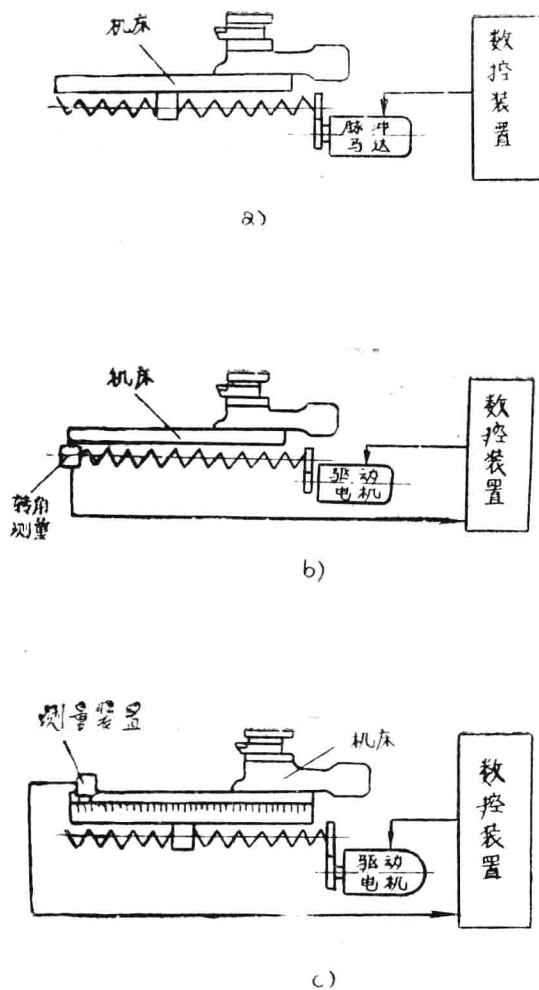


图 1—5 控制系统的三种方式

#### 第四节 数控机床的进展

近年来，为了进一步提高生产效率，降低数控机床的成本和改进数控的适应能力，研制和出现了一些新的数控机床和系统。如简易数控、适应性数控机床、计算机数字控制、直接数字控制系统等。

##### 一、简易数控

数控机床的出现，对单件、小批产品的机械加工较好地实现了自动化。生产效率提高，加工成本降低，加工质量改善，劳动量减轻，表现出很多优点；因而数控机床迅速

得到了发展。但数控机床的造价还比较贵，以一般数控机床来说，其造价约为普通机床的3~5倍，较为复杂的自动换刀数控机床为同类型普通机床的10~20倍，这直接影响数控机床的进一步推广。目前国内外发展一种“简易数控”，在一定程度上为解决这一问题开辟了一个途径。国内在生产研制“全机能”数控机床的同时，对发展“简易数控”亦给予较大的重视。因为“简易数控”具有：结构简单、运用方便、功能适当、造价低廉、上马迅速、效果明显，特别适用于老设备的改造更新。这对挖掘设备潜力，改变企业面貌，实现增产不增人，增产又减人是一个有力措施。

## 二、适应性数控机床

对于一般数控机床来说，控制机只是根据穿孔带上指令来给出控制机床各参数（包括位移量、转速、进给速度等）的讯号。当加工时，由于刀具磨损、工件余量或材料性能的变化、切削温度变化等而引起的加工条件改变，控制机并不能对有关参数作相应的调整。因此，一般数控机床的切削加工状态并不是最合理的情况。为解决这一问题，近年来出现一种适应性数控机床。

适应性数控原理见图1—6所示。数控机床对表示加工状态各参数可通过检测装置测出，经数据换算装置变为被修正参数（如进给速度、主轴转速、主轴扭矩等）的控制讯号，再经控制系统处理，输出修正后的各控制讯号。

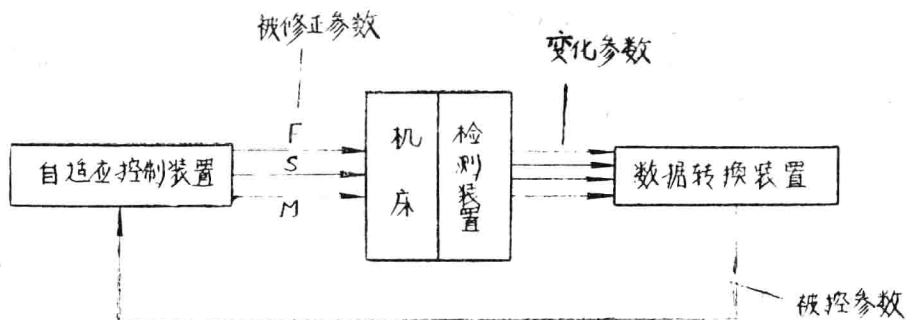


图 1—6 自适应控制原理图

适应性控制系统除了用于控制铣床、磨床、自动换刀数控机床外，现已扩大用于车床、钻床、齿轮加工机床、电加工机床，以及焊接等其他加工设备上。

由于适应性控制系统能根据加工条件的变化而控制机床自动调整到最佳加工状态，因而可提高生产效率和刀具寿命，节省加工费用。

## 三、计算机数字控制（CNC）

这种系统是用一台小型通用计算机来代替一台或一组数控机床的控制装置。

数控装置实质是一台专用的计算机，不同种类的数控装置的运控部分的功能，均可

由小型通用计算机来完成。采用小型机后，只需在输入与输出部分加装一些转接装置即可。计算机数控系统结构见图 1—7 所示。

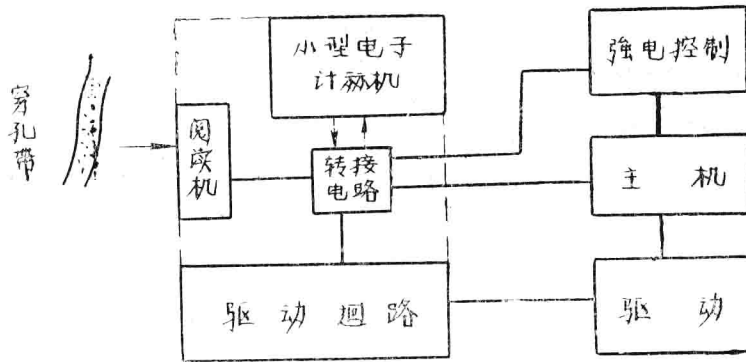


图 1—7 计算机数控装置原理图

计算机数字控制使数控装置获得更大程度的标准化和通用化。

因为小型机本身对数控装置来说，已成为一个标准化部件。

为了使小型机适应各类机床，在使用前必须先结合所设定的机床为小型机编制程序，记入小型机存储器中，这程序称为“控制程序”。计算机数字控制所具有的控制机能是受“控制程序”决定的。变更控制机床对象或控制机能，可以改变“控制程序”来得到。所以它具有更大的通用性。“控制程序”输入以后，数控装置的控制机能即被确定，以后正常操作即与一般数控装置相同。

此外，由于小型通用机具有更高的计算功能，因此计算机数字控制亦比通常的数控装置具有更复杂的运控机能。

#### 四、直接数字控制 (DNC)

直接数字控制是用通用计算机直接控制一群数控机床，又称“群控”。

直接数字控制根据数控装置、机床、计算机的不同结合方式大致可分为二类：

##### 1. 计算机与数控机床直接结合方式

如图 1—8 所示。它是将计算机存储的程序指令，通过转接装置，分别直接送到每台机床的数控装置，无需再经阅读机。

##### 2. 计算机通过分时装置与数控机床结合方式

见图 1--9 所示。这种方式每台机床的控制装置只是由伺服系统和操作盘组成，结构大大简化。通常数控装置的运控功能完全由通用计算机承担，只是增加一个分时控制装置。



两种方式各有其特点。前一种实现比较快，只要在已有数控机床基础上，加上通用计算机即可；后一种不需单独的数控装置，成本低。

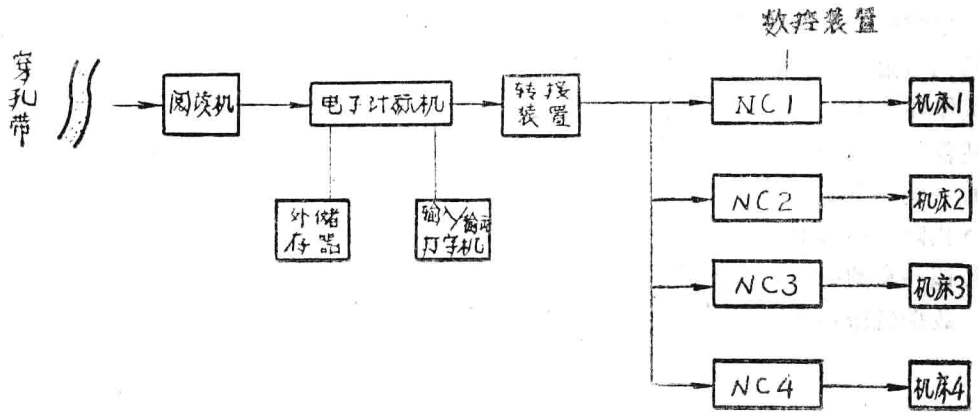


图 1—8 计算机数控机床群直控系统

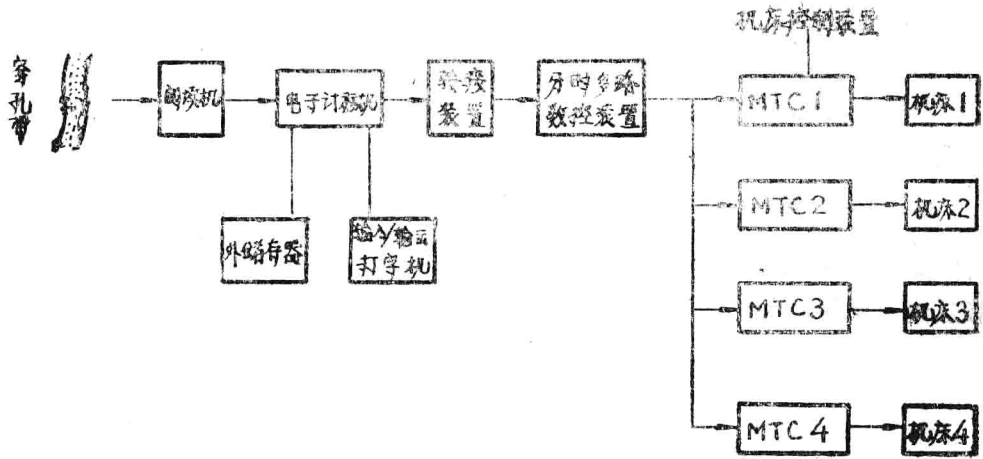


图 1—9 计算机分时装置机床群直控系统

## 小 结

本章主要介绍数控机床的特点、应用、基本工作原理、种类和发展。希望通过这一章对数控机床有一初步的全面的了解。一方面建立数控机床工作原理的粗浅概念；另一方面也使我们知道“机床数控基础”这一课程所述及的范围大小，需要哪些基础知识，将来还要学习哪些内容。