

机床的数字程序控制

呂 維 雪 編著

中国工业出版社

机床的数字程序控制

呂 維 雪 編著

中国工业出版社

用数字程序来控制机床，这是机床自动化的一条新道路。本书作者参考了国外的资料，比较系统地叙述了机床数字程序控制的几个主要方面。包括：程序控制机床的一般概念、原理，控制程序的编制，计算元件和计算装置，点位控制数字程序控制系统，以及曲线控制数字程序控制系统。

本书对有关的研究人员和技术人员很有帮助，也可作为机床自动控制专业的参考书。

机床的数字程序控制

呂維雪編著

*

机械工业图书编辑部编辑（北京阜成门外百万庄）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $7 \frac{1}{4}$ · 字数 163,000

1962年10月北京第一版·1962年10月北京第一次印刷

印数 0,001—1,910 · 定价(10-6)0.98元

*

统一书号：15165·1871(一机-390)

目 次

第一章	概論.....	5
第二章	机床数字程序控制系统.....	9
第三章	控制程序的编制.....	14
第四章	计算元件及计算装置.....	27
第五章	点位控制数字程序控制系统.....	46
第六章	曲线控制数字程序控制系统.....	87

第一章 概 論

在最近的二三十年来，机床的构造、結構和控制方面都有了很大的改变。所有这些变化，总起来可以归納为提高劳动生产率、降低加工成本、提高加工质量和降低劳动强度。一般来讲，采用自动化的机床能全面地达到上述的要求。因为自动机床能自动地、不需工人参与地完成加工循环。如果机床的自动化不使机床价格变得太贵的話，則生产成本一般也是能降低的。但是，在估計加工的經濟效果时，不能只从加工过程本身来看，还必须考虑到，为使机床能自动地完成加工循环，需要做那些生产准备工作。現有的一般自动机在进行某一加工之前，都要进行各种各样的准备工作，如制造凸輪、調整擋块等等。由于这类時間的消耗，因此就使得在加工批量小的零件时使用自动机反而会变得不合算。但是另一方面，从目前情况来看，小批和单件生产在机械制造业中占有較大的比重。所以长期以来，小批和单件生产的自动化一直是机床設計师所面临的一个主要問題。

在相当长的一段时间中，仿形机床一直是小批生产自动化方面的主要工具。但是在很多場合中，控制机床工作所用的靠模的制造要化很多的劳动，特別当所加工的曲綫或表面很复杂的时候，所需的時間就更多了。在前一时期中，一个努力方向是設法使仿形触指对靠模的压力减小，这样使靠模能用更便于加工的材料来制造。当然这是不能根本解决問題的。

在苏联，从1935年起就有人开始研究不用实物模型，而用图形以光电的方法来控制机床。此外，也有人开始用电压、电流等方法来模拟机床的运动軌迹。但是这几种方法都由于一系列的原因，其中主要是控制程序，也叫控制提綱（即控制机床运动的原始物，它可以是靠模，也可以是其它的电影胶片、图紙、穿孔带、穿孔卡和磁帶等）的精度很难保証得很高，所以在应用上都受到了很大的限制。

苏联莫斯科机床工具学院的技术副博士盖萊捷尔創造了一种控制的系統，它的工作原理如下。

这个系統是装在一台車床上的。控制程序采用穿孔带的形式（图1）。穿孔带上的孔分別控制縱橫向移动的距离和方向，以及換刀等。穿孔带装在筒5（图2）上，由导鼓2移动。在导鼓2上面有一排固定的接触头，它們通过穿孔带上的孔，而能闭合各

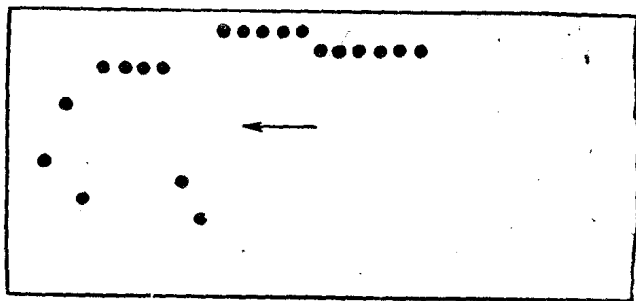


图 1

控制电路。在穿孔带上为控制每一移动方向的尺寸用了两排孔，一排孔控制移动大数，一排孔則控制移动小数。例如移动量为6.5毫米，在穿孔带上为6个大数孔和5个小数孔。此外，在机床縱、橫向的傳动上，都联接有一个鼓輪，它們是由一系列的导电和不导电部分组成，即图3上的CП和CД。图3是該机床的控制綫路。如果导鼓2的位置是使接触头与

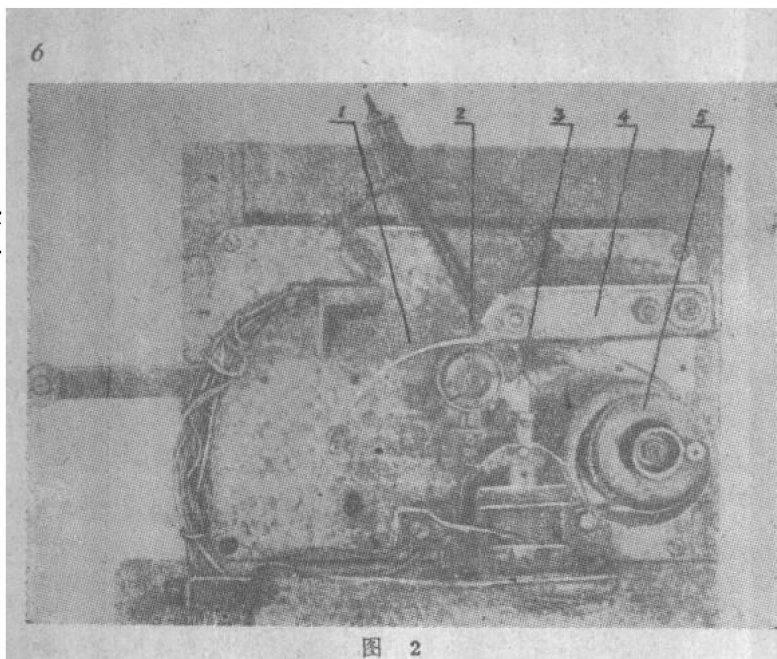


图 2

横向大数孔的第一个孔接通，这时刀架作横向移动。当刀架移动了一个毫米的距离时，鼓轮 CII 上的触头与导电部分相接触，形成通路，使导鼓 2 向前走一步。如果在穿孔带上连续有 6 个横向大数孔，则这一过程就重复 6 次。如果第七个孔是横向小数孔，则这时刀架继续移动，但这时控制讯号将通过另一个鼓轮 CII 上的触头来起作用。这个触头每经

过 0.1 毫米的横向移动量，就与导电部分接触一次，并使导鼓 2 向前移动一步。5 个小数孔将使这一过程重复 5 次。

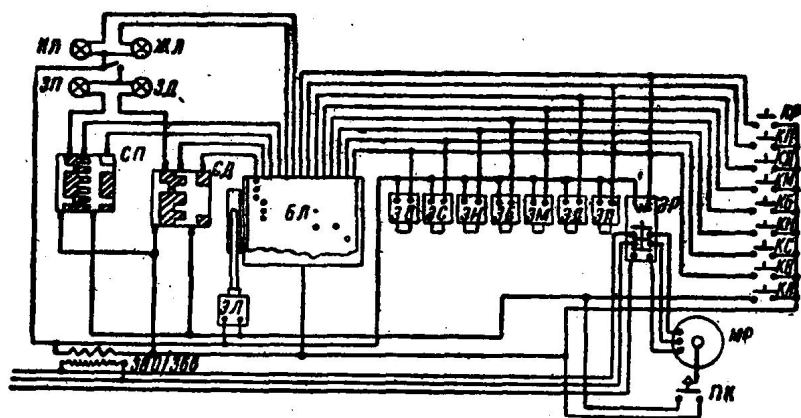


图 3

这个控制系统由于所采用的各种控制元件都还不够完善，因此不能达到高的加工精度和生产率。但是这个系统中却包含了几个重要的特点，使它归入数字程序控制机床的范畴。

首先的一个特点，是采用了控制程序的形式。在这个系统中，移动的距离是用孔的数目来表示的，因此所需要的移动量可以表示得完全正确。如要 7.863 毫米的移动距离，那就只需要打 7 个代表一毫米的孔，8 个代表 0.1 毫米、6 个代表 0.01 毫米和 3 个代表 0.001 毫米的孔就可以了。只要机床本身的分辨能力能达到这么高，那就可能实现这样高精度的控制。但是在其它的控制系统中就不是这样，不论是用图纸（光电式）还是用样板靠模或是第一个零件来作控制程序，它们本身都带有一定的误差，因此即使机床有足够高的精度，但也不能加工出比程序误差更小的零件来。

从以上所述，可以作出以下的分界线来。凡是控制程序是用数字来表示（可以用各种计数系统，如十进位、八进位、二进位和单元计数等），而程序本身的精度不受工艺限制，可以达到任何要求精度的机床，就属于数字程序控制的机床。至于控制程序是记录在什么

东西上面,是不重要的,可以是记录在穿孔带、穿孔卡、磁带、胶片上的,也可以是用插销、转钮、电话拨码盘等来规定控制程序中所需的数字。同样的东西可以记录数字的控制程序,也可以记录别的东西。例如,有这样一种机床,它在加工第一个零件时能把全部动作记录在磁带上,以后机床就用这一磁带来控制。这种控制系统叫做录返系统(play back)。这种机床,人们也把它看做是数字程序控制机床中的一种,但实质上,它还是属于仿形机床的范畴,因为它的控制程序是带有误差的。它只是比一般的仿形机床多了一些优点。

当然,由于数字程序控制机床目前还处于开始发展的阶段,还很难给它下一个很明确、很完整的定义,所以以上的划分只能说是初步的和很不成熟的,还有待于以后机床的进一步发展来加以修正。

还需要区别另外两种控制系统:数字程序控制和程序控制。

要保证机床的自动加工循环,一般地可以把全部加工循环分成两个组成部分:

- (1) 所有各种动作的程序;
- (2) 各种动作的移动量。

数字程序控制和程序控制的差别,就在于后者能用穿孔卡或插销等程序来控制的只是各种动作的先后程序,而对于移动量,则仍旧是用一般的调节挡块位置或其它类似的方法来达到。这种控制系统有很多优点和方便的地方(它们主要用于车床上,进行简单的阶梯零件的加工;或者与仿形系统结合在一起进行粗加工),但不论从能解决的问题上,还是从机床的使用、调整以及控制系统的复杂程度上来看,都和数字程序控制机床有很大的差别。所以这两种控制系统也决不能混为一谈。程序控制的机床可以用刘国梁和其他同志改进的一些车床和捷克 SP 31 的仿形车床为例(图 4)。由于本书主要是讨论有关数字程序控制机床的问题,所以程序控制的机床这里不作详细的讨论。

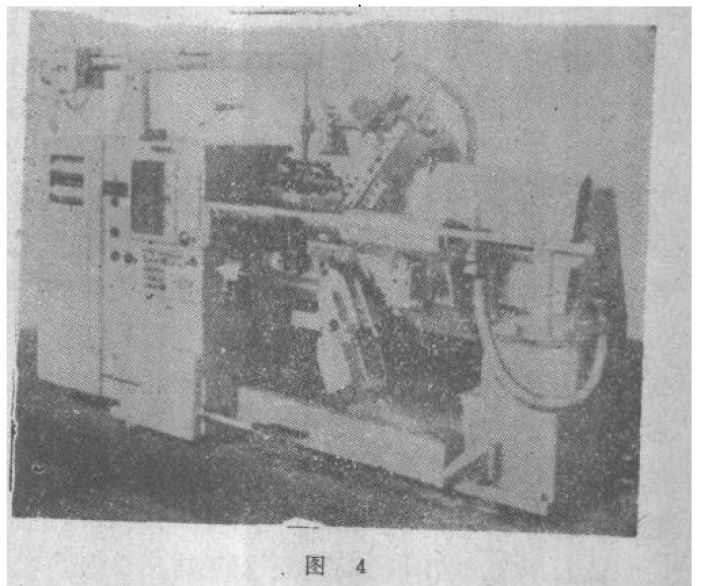


图 4

数字程序控制机床为小批生产自动化开辟了一条宽广的道路。由于在数字程序控制机床中,当需要从加工一种零件转换到加工另外一种零件时,所需要作的工作只是更换刀具以及作一些刀具原始位置的调整。此外,又不需要制造什么高精度的样板等,而只要在穿孔机上制成一条穿孔带就可以了。所以对于小批生产自动化的解决,这是一个极为重要的方法。

但是,数字程序控制机床除了有上面所讲的一些优点以外,还有其更重要的意义。它提出了从一些完全新的原则上来解决以前各种加工问题,从而可以大大地提高生产率和加工质量。现在我们还不能全面地来回答“数字程序控制机床究竟能作那些工作?”的问题。因为数字程序控制机床的历史还很短,它的功能还没有被全部发现。从现有的一些经验来

看，数字程序控制机床在下面的几方面有极其重要的作用。

在现有的各种坐标镗床中，一般对丝杠的要求都是很高的。在工作中，如丝杠发生磨损、变形等，都会直接影响到定位的准确度。在数字程序控制的机床中，利用一种位置反馈发讯器（Датчик обратной связи по положению）来测定工作台每一瞬间的位置。这种发讯器可以直接装在工作台上，这样就可以避免传动环节中的误差的影响。现在已经有好几种位置反馈发讯器，它们的测定位置的准确度比发讯器本身的制造精度更高。因此，这就使得能够比较容易地来提高机床的精度。这种反馈发讯器不仅仅是用在数字程序控制机床上，也能用于非数字程序控制的机床上。数字程序控制的坐标机床由于有了这种位置发讯器，能够以很高的速度（达每分几米的速度）来进行定位，并且能几个方向同时移动，从而提高了生产率。此外，由于机床是自动定位的，因此对操作工人的熟练程度的要求也降低了。

更重要的是对于加工那些零件形状复杂而又时常要改变零件形状的情形，例如喷气引擎中的压缩机和燃气轮机的叶片。这些零件每当所用的燃料、燃烧温度、压力以及材料发生改变时，它的形状就要跟着变化。当采用一般的办法加工时，对每一种新的形状都要重新做一套样板和靠模，这样生产准备时间就会变得很长。在数字程序控制机床中，机床执行机构的移动不是由靠模来控制，而是由一系列的数字来控制的，因此只要我们能把这些移动规律用数字表示出来，我们就可以控制机床的各执行机构，使它按照任意的规律移动。利用现代的数字电子计算机，可以在很短的时间内把所有控制所需的数字计算出来。从而能把新产品的生产准备时间由几个月缩短到几天。

和仿形机床比较，数字程序控制机床的加工用量也高得多。因为一般仿形机床（指立体加工的）的加工用量，都是从工件上最不利的地方出发的。原因是，如果要使仿形控制系统能根据加工各部位的条件（如曲率大小和曲率变化速度等）来改变加工用量的话，那么控制系统就会变得很复杂，甚至是不可能的。可是在利用电子计算机来编制控制程序时，不但可以把这些因素都考虑进去，而且还可以使各处的光洁度都很均匀，并能控制加速度的变化。这样，就能使生产率和工件质量大大提高。

在一般的自动控制系统中，时常会碰到这样的问题：要求在两个参数之间保持一定的函数关系的变化，如两根轴的转动关系。在这种情况下，利用函数齿轮（非圆形齿轮）来传动比用凸轮机构来传动有很多的优点，但以前由于制造这种齿轮极端困难，甚至不可能，因此函数齿轮得不到广泛的应用。现在已经有数字程序控制的插齿机，能加工出这样的齿轮了。这就是说，数字程序控制开辟了一种新的加工可能性。

此外，利用数字程序控制来检验成形零件，以及用计算装置来代替传动链等等，也都是数字程序控制机床的优点。

不过目前数字程序控制机床还正处在发展的初期，机床的成本还比较高。特别是当需要用电子计算机来编制控制程序时，价格就更高了。由于电子计算机的计算速度要比机床的工作速度高得多，所以一架电子计算机可以为很多机床编制控制程序。不过即使这样，这对数字程序控制机床的推广还是一个很大的障碍。此外，现在的电子计算机和计算装置还都是用电子管的，消耗功率大、占面积大、寿命短，这些也都是不利的地方。但是应该看到，这些情况是会改变的。随着电子计算机的使用的普遍化，随着半导体生产的日益掌

握，这些問題都是可以解决的。并且現在在有些国家里，这方面已經取得了初步的成就，当然我国在不久的将来亦将达到和超过这样的水平。

第二章 机床数字程序控制系统

到目前为止，数字程序控制机床的系统已經有好几十种。这些控制系统根据工作原理、控制要求、所采用的驱动方案以及位置测定方法等的不同而互相区别。但是，如果我們把从图紙上的数据到最后零件加工出来这一过程中的各个阶段概括起来，那我們还是可以得到一个或多或少能包括各种控制系统在內的方块图。

图 5 表示实现数字程序控制机床的各个阶段。

图 5 上的各个阶段包括了由图紙数据到加工零件的整个过程。必須指出，虽然这个过程不一定是和机床連在一起和属于机床控制系统的一部分，但是它們必須作为一个整体来加以研究。

图紙上的原始尺寸和与加工工艺有关的一些数字，組成編制控制程序的全部原始数据。这些数据首先填入專門的表格上，然后再根据表格制成穿孔带。

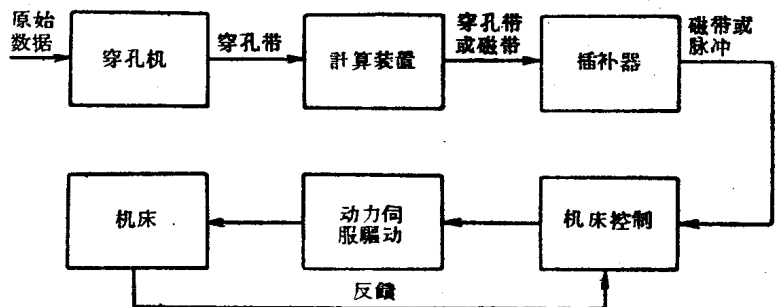


图 5

穿孔带送到计算机去，通过计算机把图紙上有限的数字换算出控制机床移动軌迹的数据，并进行数据的密化，即在各基本数据之間再插入若干个點。以上两部分可以用下面的例子來說明。

假定图 6 为所需加工零件的一部分，它的形状是用一些点的坐标来規定的。程序編制者确定了采用直径为 25.4 毫米的铣刀，并选择了进給量为 760 毫米/分。然后把所有的数据填入如表 1 所示的表格中。

根据这张表格制成穿孔带。

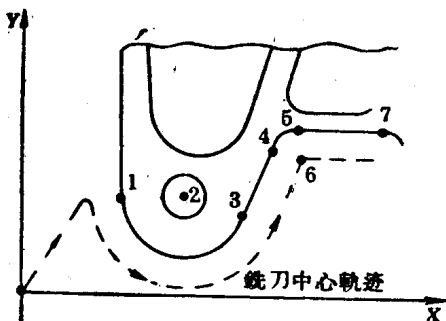


图 6

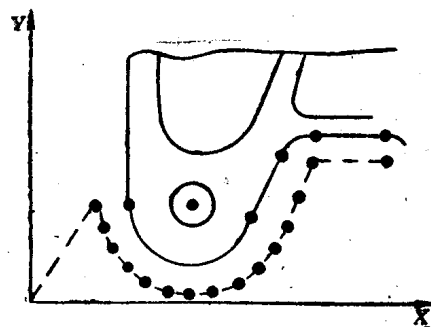


图 7

表 1

工步	起 点		終 点		圆弧中心		外 形	公差 (毫米)	銑刀 位置	銑刀直徑 (毫米)	进給量 (毫米/分)
	x	y	x	y	x	y					
1	0	0	50.8	76.2			直綫		右	25.4	2540
2			76.2	76.2			直綫				762
3			175	60.2	127	76.2	圆弧	0.05			
4			198	119.4			直綫				381
5			216	133.6	216	133.6	圆弧	0.05			
6			279.4	133.6			直綫				762

电子计算机根据穿孔带上的数据和要求进行计算。算出的结果也是一些点的坐标。不过点的数目要多得多了(图7),这也就是所谓数据的密化。密化程度的大小和许多因素有关,这将在以后有关编制控制程序的计算中再来详细讨论。

从计算机出来的数据,虽然已经比原始数据增加了很多,但毕竟还只是一些间断的点的坐标。为了进行连续的机床运动的控制,必须把这些间断的点的坐标再进行一次插补,这就是图5上插补器的作用。由插补器得到的就是控制机床运动的信号了。这些信号被送到机床的控制系统,经过动力伺服驱动来使得机床执行元件移动。执行元件的实际移动量不断地由位置反馈发讯器测量出来,并通过反馈连系,和命令信号进行比较,以得出必要的、修正机床执行元件的运动的控制信号。

并不是所有的机床数字程序控制系统都有上述的各个环节。机床数字程序控制系统最基本的可以分为两种:一种是点位控制。属于这类的机床有坐标镗床、钻床、镗床、冲床和点焊机等。这些机床工作的特点是只要求准确的最终位置,至于从一点到另一点所经过的轨迹究竟怎样,并没有很大的意义。同时从1点移到2点发生超程时,只要仍旧能回到2点,那就没有关系,因为加工只有在工件的移动停止以后才开始。那些控制直线加工,如车床、外圆磨床等的系统基本上也可以归于这一类,只是它们在两点之间的移动由机床结构保证得到直线运动,同时在到达终点时不能有超程,因为加工是不断地进行着。

对于这一类机床,一般不需要计算机和插补器这两个环节。输入机床控制系统的往往是直接根据图纸数据制成的穿孔带或穿孔卡,甚至是用插销或转钮来实现的。

第二种是曲线控制,其中包括各种平面和立体的成形零件加工机床。其特点是整个移动过程都是处在不间断的控制之下,其移动有可能按任意的规律,而各坐标之间又能相互配合地进行着。

这一类机床的控制系统基本上符合图5的方块图。不过在具体实现时又可以有几种不同的方案。图8所示只是其中几种可能的方案。

其中第一种方案把主要的计算工作全部由人来进行。这样做所需的计算劳动量是很大的,所以只有在最简单的情况下或是在没有电子计算机的情况下才用。

第二种方案是把插补器和计算机合成一个单位。例如,在脉冲控制系统中,电子计算机把各坐标的全部移动量变换成相应数量,代表单位移动量的脉冲,并且按照一定的规律依次地发出,记录在磁带上。以后就用磁带来控制机床的工作。

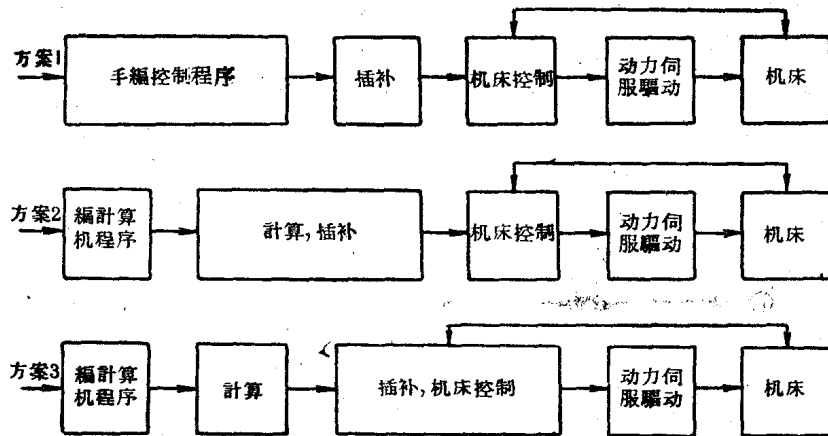


图 8

这种方案的优点是，在机床上沒有較复杂的插补計算的装置，同时也不需要由电子计算机来制作穿孔带。它的缺点是，电子计算机要輸出每一个最小移动量的訊号，因而要作相应的計算，使计算机的計算工作量大大增加。

第三种方案是把插补器和机床控制系统放在一起。这样，计算机的工作量可以减小，但机床上要帶有插补器。当能够得到比較簡單可靠的插补器时，这种方案是有价值的。

以上每一种机床从控制的原则上来分，都可以分成数字控制、模拟控制和混合控制几种。其中基本的形式为数字控制和模拟控制。图 9 所表示的是这两种控制的差别。在数字控制中（图 9），两点之間的变化是用一系列的、相隔一定間隔的数值来表示，而这些数值之間的变化是不連續的。但是可以用改变 Δx 的值来得到那么多的点，以致可以用这些数值来表示所代表的曲綫变化規律到任何的准确度。在模拟控制中，两点之間的变化是用另外一个物理量，如电压的变化来表示，而这一物理量的变化是連續的。

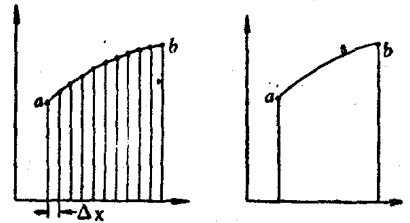


图 9

数字控制和模拟控制的优缺点可以归納如下。

数字計算装置的計算准确度可以达到任意要求的程度，它只受計算装置中計算元件的数目的限制。由于数字計算装置中的元件都是只在两个极端条件下工作的，例如三极管的通电和不通电，因此系統的工作稳定性大，对元件特性的要求不高。特别是当外界条件（如电源电压）变化时，它仍能稳定的工作。数字控制的装置在調整时也比较便利，因为数字控制中所用的元件大都是标准的，可以很快地把一个系統作某些改变，特别是当采用半导体和磁性元件来作計算元件时，由于所需功率小，所以要在系統中增减一些元件是非常容易的。

此外，数字系統的輸出对于以后控制时作进一步的处理也是很方便的。一般的数字計算装置的輸出为脉冲。每一个脉冲代表一定的移动量，脉冲的数目控制总移动量，而脉冲的頻率則代表移动的速度。控制脉冲可以記錄在磁带上，以后再用磁带来控制机床的工作，这样就有可能把計算装置或插补器和机床分开。把有大量的电子綫路的装置撤离环境条件比較复杂的車間，对于提高机床工作可靠性是有重要意义的。

控制脉冲还可以直接送往控制步进电机。

脉冲式的反馈发讯器可以做成直线移动式的，例如光栅，这样就能够直接测出执行机构的位置。

但在脉冲系统中，由于每个脉冲都只是代表相对前一位置再增加一个单位移动量，所以它不能确定位置的绝对坐标。因此，当控制系统失掉一个脉冲或得到一个额外的讯号时，就会产生累积误差。

模拟控制系统的主要优点：

1) 进行数学运算方便。模拟控制系统中用得最多的是利用电压来模拟被控制量。电压的加、减、乘、除等都可以用很简单的装置来完成。

2) 模拟控制系统所控制的坐标是绝对坐标值，因此不会因为某些偶然的因素而发生累积误差。

3) 模拟控制的机床能在发生停电等情况以后，重新接通电流时，不失去原有的数据而能继续进行加工。但在数字控制系统中，当发生这类事故以后，就必须从头开始加工，因为一断电，计算装置中的数据就消失了。

但另一方面，模拟系统也有许多缺点。最主要的缺点为模拟控制系统的准确度是受到限制的。因为在模拟系统中是用一个物理量来表示工作台位置的，所以每一个工作台的位置都应该有其相应的物理量（如电压）。举例来说，如机床工作台的移动量为 500 毫米，要求的分辨度为 0.01 毫米，则工作台就共有 50,000 个不同的位置（要求能测定的）。从现有的一些仪器设备来看，要把一个电压划分成 50,000 分，并且要能测量出来，这是很困难的，而且这一电压的绝对值不能太大，因为这会产生一系列其它的问题。

此外，模拟系统对外界条件的变化比较敏感；对元件的参数、特性要求较高。而且像电压这类控制讯号是不能记录在磁带上的，因为在录返时电压的太小会发生畸变。因此，模拟计算装置或插补器必须直接装在机床上。

模拟装置在完成逻辑作用方面也比较困难，有时甚至是不可能的。

从反馈发讯器来看，模拟反馈发讯器都要把直线运动先转换成旋转运动，然后再来测定。

因此就增加了反馈测量的误差。

除了数字控制和模拟控制两种系统以外，还有混合控制的系统。混合控制系统是在大移动量时用数字控制法，而在小量的移动时用模拟的方法，而且常是用相位来作为模拟量的。

混合控制系统兼有数字和模拟两种系统的某些优缺点。它是控制系统发展方向之一。

下面比较详细地介绍一下苏联机

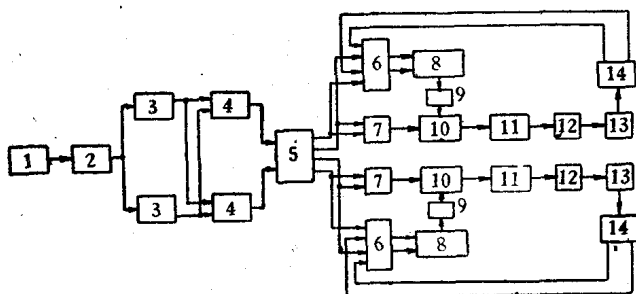


图 10

1—控制程序；2—计数器；3—分配装置；4—记忆装置；5—插补器；6—同步器；7—频率测定器；8—正反向计数器；9—数字-模拟变换器；10—电压相加线路；11—伺服驱动；12—工作台；13—位置反馈发讯器；14—方向鉴别器。

床科学实验研究所（ЭНИМС）设计的 6M42П 型数字程序控制的成形铣床。

6M42П 型机床是以成批生产的 6M42 型铣床改装而成的。工作台采用液压驱动。机床

的控制原理方块图如图 10 所示。

控制机床工作的程序是记录在穿孔纸带上的。纸带上共有 5 行孔 (图 11)。在纸带上记录着每一插补段中 x 轴的移动量、 y 轴的移动量、 x 轴移动的方向、 y 轴移动的方向、加工这一线段的时间以及停止机床工作等讯息。 x 轴和 y 轴的移动量是以二进制计数系统来记录的。所谓二进制计数系统, 就是当数目字增加到 2 时, 就要进到高一位数去, 和在十进位

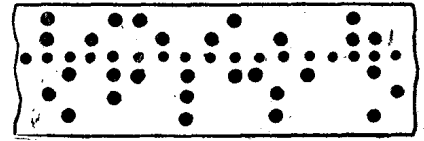


图 11

计数系统中每数到第十个就要进到高一位数去一样。下面是二进制数和十进制数的对比 (由 1 到 11)。

1	0001	7	0111
2	0010	8	1000
3	0011	9	1001
4	0100	10	1010
5	0101	11	1011
6	0110		

在有 [1] 的地方纸带上就用一个孔来代表。采用这种计数系统的原因, 是计算装置可以简单, 有关这方面的問題将在后面说明。

控制程序 1 通过阅读装置 2 中的光敏半导体的敏感元件, 再经过分配装置 3 把数据送到继电器的记忆装置 4 中去。每一个座标的控制系统中有两套记忆装置, 当一套记忆装置在接收新的数据时, 另一套记忆装置和插补器 5 一起发出必要的控制讯号。

这台机床所用的控制讯号是脉冲。每一个脉冲相当于 0.04 毫米的移动量。如果要移动 4 毫米的距离, 就应该有 100 个脉冲, 这些脉冲的频率决定移动速度。

我们知道, 任何形状的曲线都可以用一段段其它的曲线来代替, 并且代替的准确度可以达到任意所要求的程度。当我们用一段段直线来代替其它的曲线时 (图 12), 这种方法

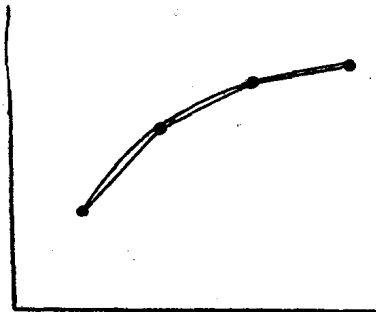


图 12

叫做直线插补法。在 6M42Π 型机床上所用的插补法就是直线插补法, 所用的插补器是直线插补器。在用直线插补时, 每一段直线是控制程序上的一个插补段, 其中所记录的是这一段直线的增量 Δx 和 Δy 及其方向和加工这一段直线所需的时间。直线插补器能按控制程序上的数据, 发出相应的两串控制 x 轴和 y 轴移动的脉冲。

关于插补器的工作原理将在以后的文章中谈到。

由插补器得到的脉冲, 根据所需移动方向的不同, 分别经过两个放大器以后, 送到频率测定器 7 和脉冲同步器 6 去。

频率测定器的作用, 是把收到的脉冲频率变成一个相应的控制电压, 这也就是速度控制。脉冲同步器的作用是把由插补器来的和由位置反馈发讯器来的脉冲在时间上错开。因为这两个来源的脉冲是在一正反向计数器 8 中进行比较的。正反向计数器有两个输入口, 当脉冲由一个输入口进入计数器时, 则计数器中的数字是增加的; 如果脉冲由另一个输入口进入时, 则计数器中的数字就减少。这样, 当控制脉冲送入一个输入口, 反馈脉冲送入

另一个输入口时，在计数器中所留下的数字也就是命令移动量和实际移动量之间的差数。因为正反向计数器在同时从两个输入口得到脉冲时会发生误差，所以必须用脉冲同步器来把两种脉冲的输入计数器的时间错开。这一装置能把时间上重合的两个脉冲错开 125 微秒，这样正反向计数器才来得及计算每一个脉冲。

正反向计数器能记录的最大数目为 15。也就是说，命令移动量和实际移动量之间的最大相差为 0.6 毫米。这一误差在加工中是不会达到的，一般只是在速度变化很大，如起动时才会发生。这时这种误差不会影响加工精度。在加工时，一般正反向计数器中的数字是在 ± 1 之间。如果因为某种伺服系统中的障碍使得误差不断增大，则当这一数字超过 15 时，正反向计数器就发出信号，通过继电器使机床停止工作。

正反向计数器中的数字用一数字-模拟变换装置 9 把数字变成相应的电压（图 13）。这一电压和频率测定器送出的电压一起，经过放大，用来控制伺服驱动 11（图 10）。

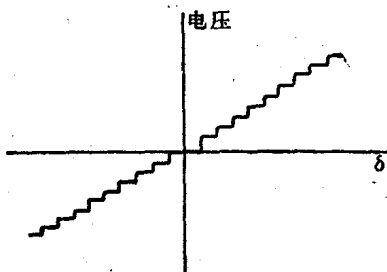


图 13

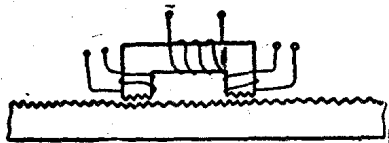


图 14

伺服驱动装置中主要的是一电磁阀。控制电压加到电磁阀的线圈上，线圈本身处在一永久磁场中。根据加在线圈上的电压大小的不同，线圈在磁场的作用下，产生一个相应的位移（这一部分的作用和收音机中扩音器的作用相同）。线圈的移动带动控制油阀，从而控制进入驱动工作台的油筒的油量和方向。除了上述的两个控制电压以外，还用 50 周的交流电来使线圈产生不断的振动，以改善系统的灵敏性。

在机床的工作台 12 上，装有电感式的位置反馈发讯器 13。发讯器共由两部分组成。长的一部分装在移动的工作台上，短的一部分固定不动。发讯器的示意图如图 14 所示。当发讯器的两部分发生相对移动时，由于气隙的变化，从次级线圈上就得到不同的输出电压。在移动一个节距量中，输出电压大致上是按正弦形变化的。实际上发讯器中有两个固定的 Π 形感应器，相互差 90° 相位。从两个感应器得到的反馈信号经过方向鉴别器 14 送到脉冲同步器。另一方面，利用两个感应器发出的信号还可以来划分节距，使得从每移动一个节距量所得到的不是一个脉冲，而是几个脉冲。

在 6M42II 型机床上，位置反馈发讯器的一个方案是节距为 0.16 毫米，每移动一个节距发出 4 个脉冲，这样，每个脉冲所代表的位移量为 0.04 毫米。

第三章 控制程序的编制

编制控制程序（也称控制提纲）是一个新的问题，它是随着数字程序控制机床的出现而产生的。在以前，从广义来看，编制控制程序的问题也可以说是有的。例如，当我们要为自动机床做一个凸轮来控制机床的工作循环时，我们就要决定凸轮各段表面的形状，决定进给量等。在这种情况下，凸轮就是我们的“程序”，决定它的形状就是编制控制程序。

當我們在採用數字程序控制時，我們需要用一些數字來表示所控制的加工過程。這也就是要編制數字控制程序。下面所要談的也就是編制數字控制程序中的若干問題，而不是一般的控制程序的編制。

程序編制是使用數字程序控制系統中的一個非常重要的環節，它不僅影響到整個控制系統的組成，並且往往還決定某一數字程序控制系統是否能順利地應用到生產上去。但是，雖然程序編制問題是那么重要，而它到目前為止還是研究得很不充分的，還有許多問題沒有得出明確的結論。

在具體分析各問題之前，先來看一下編制程序的幾個步驟。編制控制程序，總的講，可以分成四個步驟：

1. 從零件圖紙選出基本數據。這一步驟往往包括確定各基本點（如兩曲線的交點、圓的中心等）的座標、各點之間的曲線的特性或方程式、尺寸的變換等。
2. 確定加工工艺過程。包括加工程序、加工用量等。
3. 所控制移動軌跡的數學計算。一般這裡包括確定基点座標、基点之間移動軌跡的插補和確定銑刀中心軌跡等。
4. 控制程序的制作。在這一階段中，可能要包括計數系統的變換，紙卡或紙帶的穿孔，記錄磁帶等。

必須指出，編制控制程序的步驟是決定於所採用的控制系統的，而並不一定都符合上面所述的步驟；而且在不同的系統中，各步驟的複雜程度也可以有很大的差別。例如，在點位控制系統中就沒有第三個步驟；即使是在曲線控制系統中也有不同，有時需用大型的通用電子計算機來計算，而有時只需要用普通的電動計算機就可以了。

在數字程序控制系統中，產生程序編制問題的基本原因有以下四點：

第一、當控制程序用數字的形式來表示以後，它就失去了明確的幾何形狀的形象，而變成一些抽象的數據。當人們在處理這些數據時，是很容易產生錯誤的，特別是當數據很多的時候，產生了錯誤也不容易發覺。這就和制作凸輪時不同，那時雖然處理的數據也很多，但所發生的錯誤在劃線時很容易從凸輪的圖形上看出，並得到糾正。因此，就要求在編制程序中盡量減少人的參與；在必須由人來操作時，要盡量避免作各種各樣的計算（即使是不很複雜的加法、減法之類）。盡量採用10進位的計數系統，採用各種各樣的檢查和互鎖裝置等。

第二、用數字來表示形狀的時候，所得到的總是一些不連續的點（基点），而加工時所需要的動作卻是連續的。因此就需要把不連續的點的數據變成連續的控制訊號，這就產生了插補問題。

第三、對於成形零件通常都是用銑刀來加工的。因此，實際上需要控制的是銑刀中心移動的軌跡，但我們所知道的卻只有工件形狀的數據。在一般的仿形機床上，雖然靠模、樣板等（程序）也是按工件尺寸來做的，但由於採用了與銑刀直徑相等的仿形觸指，因而自動保證了對銑刀中心移動軌跡的控制。在數字程序控制的機床中，沒有仿形觸指，因此就產生了求工件形狀等距線的問題。

第四、在採用數字程序控制以後，我們能夠比在一般的自動機上控制更多的因素，如速度控制、加速度控制、表面光潔度控制等。這些因素應該怎樣來控制？怎樣在控制程序

中考考虑进去？这都是程序编制中要解决的问题。

下面着重说明有关移动轨迹的计算方面的问题，因为它是最主要的，并且也是最复杂的。

在一个形状复杂的零件中，其形状变化的规律往往是用两种方法确定的：

1. 已知组成零件廓形的各部分曲线的方程式，或各曲线的特性及其相互之间的关系。这两者之间的差别是，对于前者，我们不仅知道各曲线的特性（如圆、抛物线和直线等），而且知道各曲线的具体方程式，包括所有的系数；而对后者，我们则知道，如两个圆的圆心坐标及其半径，并知道有一条直线与它们在一边相切。这两者之间固然能够互相推导出来，但是所需的计算量相差很多。最希望的情形是给定各段曲线的具体方程式以及各段曲线的起点和终点。在这种场合下，就有可能在不少情形中避免使用复杂的电子计算机。所以要求设计师在图纸上最好能按上述的要求来给定数据。

图 15 是一个凸轮，已知四个主要点的坐标（极坐标）为 (ρ_1, θ_1) ， (ρ_2, θ_2) ， (ρ_3, θ_3) 和 (ρ_4, θ_4) 。并且知道点 2 和 3 之间是以阿基米德螺旋线相连的；点 1 和 4 是圆弧中心（半径 r ）；点 5 和 8 相应地是经过点 2 和点 3 的直线与二圆弧相切的切点；点 6 和 7 是连接二圆弧的圆和二圆弧相切的切点。在这一种情形中，我们可以根据曲线方程式准确地计算出所有中间点的坐标。

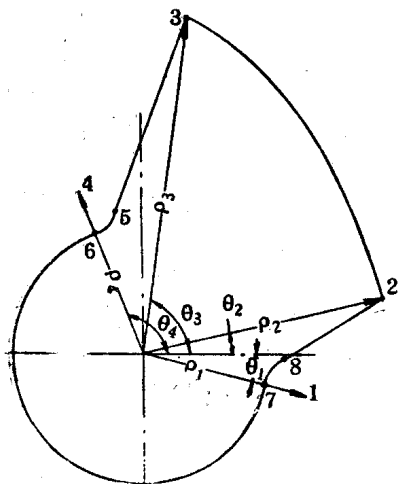


图 15

2. 曲线或曲面的形状是用较多的点的坐标来确定的。在各点之间没有严格一定的变化规律，但往往要求所得到的曲线或曲面是平滑地通过所有的坐标点的。这一类零件的形状往往是由试验方法得到的，其典型例子之一是透平叶片。透平叶片的形状通常是用若干个截面的形状来确定，而每一个截面又是用几十个点的坐标来确定（图 16）。

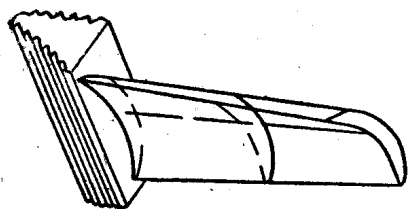


图 16

在这种情形中，当我们要决定各基点之间的轨迹变化规律时，就必须求助于某种插补公式。根据插补理论，我们知道经过任意数目的点可以找到很多不同的、平滑的曲线。在很多情况中，用一多项式来表示的曲线在进行数学加工时是最方便的。但是必须指出，用多项式的方法来插补并不一定是最好的方法。到目前为止，虽然还没有找到另一种插补式能在各方面都比多项式好，但是在这方面正在进行各种探索。所以我们不能受现有的一些插补方法的限制。因为寻找新的插补方法牵涉到加工工艺、零件形状和计算机的结构，所以需要熟悉工艺的、熟悉计算技术的人员以及设计师合力来解决这一问题。

在以多项式来插补时，最常用的是牛顿插补式、贝塞尔插补式和高斯插补式。如通过若干点的函数为 $y = f(x)$ ，根据插补理论，我们总可以找到一个多项式 $\phi(x)$ 来代替 $f(x)$ ，这二函数在 $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ 各点上 $\phi(x_i) = f(x_i)$ ，其中 $i = 0, 1, 2, \dots, n$ 。为了使计算简单起见，通常取各基点的 x 轴坐标值为等差级数，即 $x_n - x_{n-1} = \text{常数}$ 。在