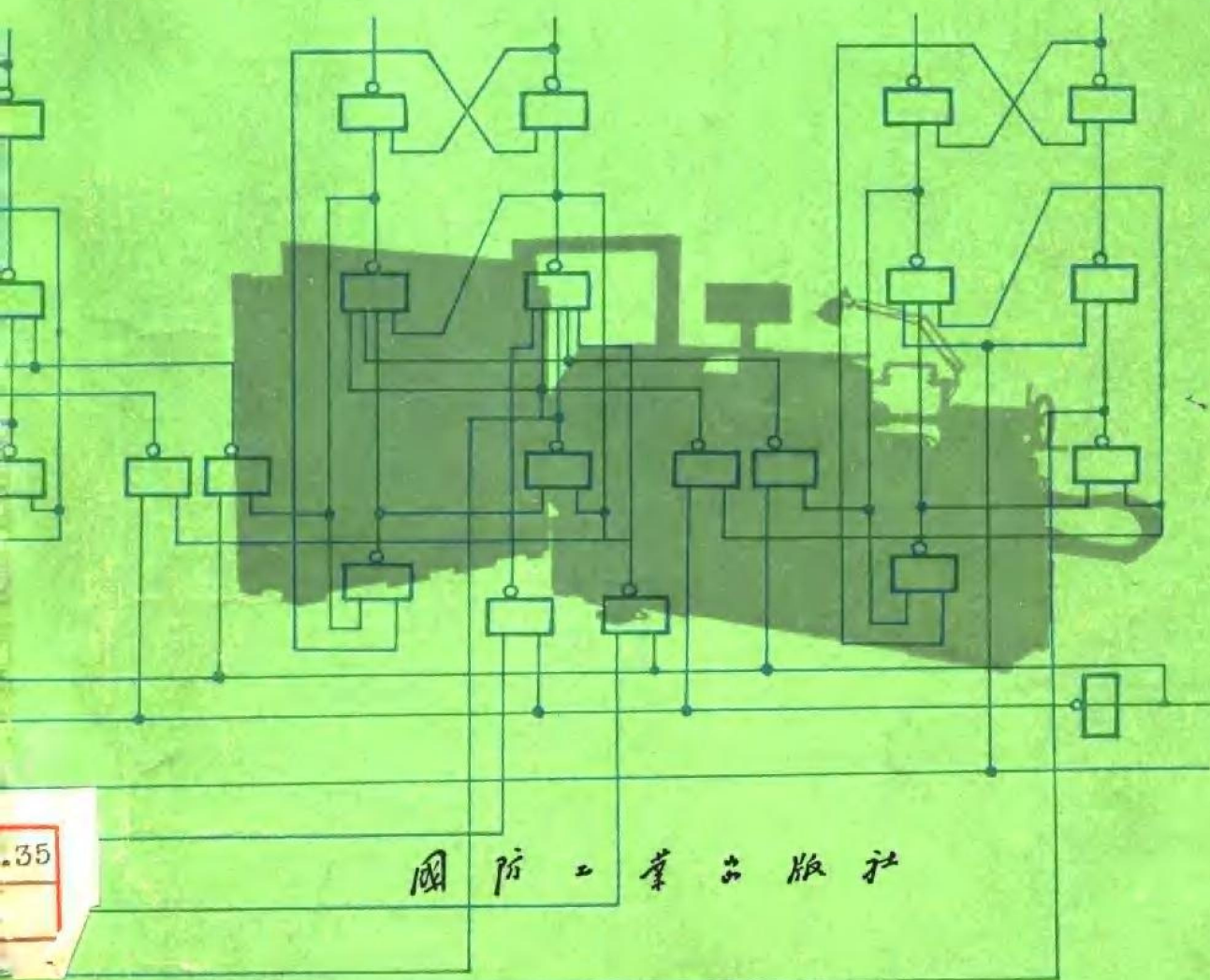




数字控制(上册)

《机床数字控制》编写组 编



国防工业出版社

内 容 提 要

本书分上下两册。上册第一章为概论；二、三章为逻辑代数、计数法和逻辑元件；四、五章为逻辑部件和运算部件；六、七、八章为专用控制机的位置及轨迹控制运算原理、运算控制器和输入。下册九、十、十一章介绍了各种典型拖动系统：开环系统、相位系统和数字比较系统；第十二章综合介绍了四台典型机床：车床、铣床、钻镗机和加工中心机床的数字控制系统。

本书可供从事机床数字控制方面工作的有关人员和高等工业院校有关专业的师生参考。

机 床 数 字 控 制

(上 册)

《机床数字控制》编写组 编

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092¹/₁₆ 印张17¹/₂ 406千字

1979年12月第一版 1979年12月第一次印刷 印数：00,001—10,000册

统一书号：15034·1890 定价：1.85元

前 言

生产过程的自动化是工业现代化的重要标志之一。它对改善劳动条件、降低产品成本、提高产品质量和劳动生产率都有着非常显著的成效。

在大批量生产中,采用自动线、组合机床和各种自动化单机就可以较合理地解决自动化问题。但在改型频繁、精度高、零件形状又复杂的中小批量生产部门,却长时间没有找到一种满意的解决方法。“机床数字控制”技术的出现,为解决这个问题,找到了一条新的途径。

《机床数字控制》是综合地应用了计算技术、自动控制、精密测量、电子技术和机床结构设计等各个领域里的最新成就而发展起来的。从五十年代初期出现以来,到今天不到三十年的时间已有了很大的发展。目前已用于控制车床、铣床、钻镗床、坐标镗床、冲床以及各种专用设备如绘图机、测量机、钻铆设备等等。与此同时,有关“机床数字控制”的理论,也有了较快的发展。本书的目的是向读者系统地介绍目前已经成功地用于生产的有关“机床数字控制”方面的技术成就。

参加本书编写的有:谭益智、康学成、尉忠信、李楠、张民惠、徐南先、郑楚华、李志俊、杨文源、竺钦尧、龚浦泉、李相梁、沈远根、程志珊等同志。

由于我们的水平所限,书中一定存在不少缺点和错误,望读者批评指正。

《机床数字控制》编写组

目 录

第一章 概 论

第一节 什么是机床数字控制..... 1

一、什么叫做机床数字控制..... 1

二、机床动作的分析及通用数字控制代码..... 2

第二节 典型数控系统简介.....11

一、开环数字控制系统.....11

二、半闭环控制系统.....13

三、闭环控制系统.....15

第三节 插补运算的简单介绍.....16

一、分频器插补(数字脉冲乘法器插补).....16

二、积分器插补.....17

三、逐点比较法插补.....19

第四节 机床数字控制系统的组成.....19

一、内插补系统.....19

二、外插补系统.....21

三、多机床控制系统(DNC).....21

四、小型计算机数控系统(CNC).....21

第五节 机床数字控制系统中的坐标系.....22

第二章 运算基础

第一节 逻辑代数.....24

一、什么是逻辑代数.....24

二、逻辑代数的基本运算法则.....24

三、逻辑运算的基本定律.....26

四、逻辑函数的简化.....28

五、卡诺图简介.....30

第二节 计数法.....33

一、计数法介绍.....33

二、二进制计数法.....34

三、二进制数的运算.....35

四、二进制与十进制的转换.....39

五、二十进制.....40

第三章 单元逻辑电路

第一节 门电路.....44

一、分立元件逻辑门.....44

二、集成电路逻辑门.....53

第二节 触发器电路.....61

一、晶体管双稳态触发器.....61

二、集成电路触发器.....64

第三节 MOS 集成 电路.....71

第四章 逻辑部件

第一节 寄存器.....77

一、并行寄存器.....77

二、串行寄存器.....79

第二节 译码器与显示器.....81

一、译码器.....81

二、显示器.....85

第三节 计数器.....88

一、二进制计数器.....88

二、二十进制计数器.....91

第四节 分频器.....98

第五节 同步脉冲发生器.....102

第六节 比较器线路.....104

第七节 循环移位计数器.....109

第八节 循环码计数器.....114

第五章 运算方法和运算器

第一节 加法运算.....118

一、一位加法器.....118

二、串行加法运算.....122

三、并行加法运算.....125

第二节 减法运算.....126

一、变补运算与变补器.....126

二、串行减法运算.....126

第三节 乘法运算.....128

一、乘法运算方法.....128

二、串行乘法器.....129

三、“十翻二”运算.....133

第四节 除法运算.....135

一、除法运算方法.....135

二、串行除法器.....137

第六章 位置及轨迹控制运算原理

第一节 脉冲计数法	139
第二节 数字脉冲乘法器	140
一、运算原理	140
二、插补误差及均匀器	143
三、进给速度控制	144
第三节 逐点比较法插补运算	145
一、插补运算原理	145
二、插补器逻辑框图	152
三、自动过象限问题	155
四、其它函数的插补运算	159
第四节 最小偏差法插补运算	159
一、偏差判别式	160
二、插补运算	161
第五节 数字积分器插补运算	166
一、积分法插补运算原理	166
二、并行积分器插补	169
三、进给速度控制	174
四、串行积分器插补	176
五、其它函数的插补运算	180
六、空间直线插补运算	182
第六节 轨迹自动偏移计算	184
一、偏移计算的内容	185
二、偏移计算的方法	185

第七章 运算控制器

第一节 串行运算逐点比较法采用的运算控制器	193
一、运算控制器的组成	193
二、基本运算控制器	195
三、典型数控系统的运算控制器	200
四、运算控制门的讨论	208
第二节 串行运算积分器插补的运算控制器	210
一、数据处理各个工作段的意义	211
二、时序脉冲发生器和工作段脉冲发生器	212
三、积分单元板上的运算控制器	214

第三节 关于时序脉冲发生器的讨论

一、时钟脉冲发生器	220
二、时序脉冲发生器	222
第四节 运算控制器的启停	225
一、控制机工作程序的划分	225
二、阅读机启动前的准备	226
三、阅读机启动后数据处理控制	228
四、运算控制器的启动	229

第八章 输入

第一节 概述	232
一、输入部分的作用	232
二、输入部分的主要环节	232
第二节 编码与程序格式	233
一、穿孔带的规格	233
二、编码	234
三、程序格式	236
第三节 输入装置	241
一、光电纸带输入	241
二、接触式纸带输入	244
三、电容式纸带输入	245
四、钢球鼓轮式输入	246
五、其他输入方式	247
第四节 输入信号的寄存与传递	248
一、输入寄存器	248
二、中间寄存器(缓冲寄存器)	250
三、输入信号的传递	252
第五节 输入检查	256
一、奇偶校验	256
二、导孔丢失校验	261
第六节 输入译码	262
一、译码方法	262
二、信号输入的节拍控制与同步考虑	265
第七节 阅读机启停控制	268
一、阅读机运行和停止条件的分析	268
二、具体启停控制线路介绍	269
三、阅读机控制电路	273

第一章 概 论

第一节 什么是机床数字控制

一、什么叫做机床数字控制

机床数字控制目前都是指用数字控制机代替人操纵机床加工机器零件的这种方法。采用数字控制的机床称为数字程序控制机床，简称数控机床。图 1-1 就是一台典型的数控车床。从外形上看它与普通车床差别不大，只是多了一台控制机，并且多数的数控机床没有操纵手柄，但使用起来数控机床与普通机床则完全不同。普通机床加工工件时，需要人直接操作，而数控机床则不需要人直接操作，因此它是一种自动化机床。

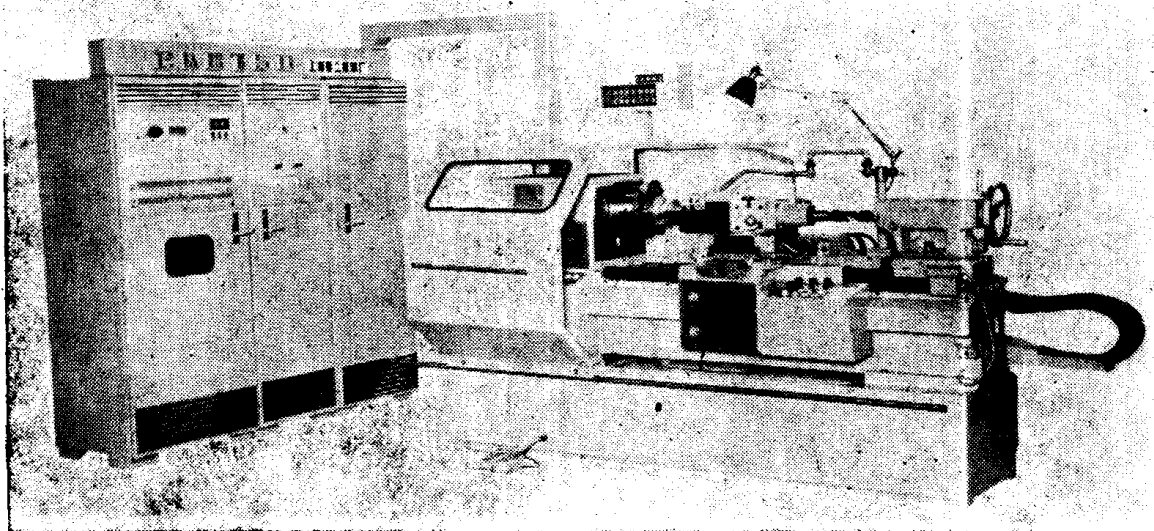


图1-1 数控车床

数控机床与一般概念的自动化机床（如单轴自动车床、四轴自动车床、自动靠模铣床等等）也不一样。通常所说的自动化机床，虽然在加工时，也不需要人直接操作，但是这些机床能自动实现的各种动作，如刀具的移动、换位，以及各种动作之间的先后次序等等是靠凸轮、靠模、挡块等机构来控制实现的。加工不同的工件，需要制作不同的凸轮、靠模或重新调整机床。一般说来，这种调整工作都是比较复杂的。数控机床则不同，在数控机床上，加工不同类型的零件，除了采用不同的装卡夹具以外，只要更换一下“程序介质”就可以加工一种新的工件。所谓“程序介质”通常是指携带程序信息的拨码开关、插销板和插销、穿孔卡、穿孔带等等。

采用数字控制机床加工时，都是把机床的各种动作、控制尺寸以及机床的其他功能，用一些数字代码表示。把这些数字代码，按照一定的规定程序记录在“程序介质”上面，输入给数字控制机。经过控制机的运算、变换以后，控制机床运动。一般说来，金属切削

机床的所有动作，都有可能用控制机来控制操作，因此数字控制机床也就可以加工各种类型的机器零件。

数字控制机床与程序控制机床也不相同。通常说的程序控制，主要是控制机床的各种动作的先后次序，加工不同的工件，只要调整一下程序控制装置就可改变加工顺序，以适应新工件的要求。至于一些数量关系，如加工尺寸的大小，进给速度的变化等多是通过调整尺寸鼓、挡块或手柄的位置来确定。数控机床则不同，它不但可以很方便地改变加工次序，而且各种数量的要求也完全由控制机来确定。因此后者的通用性更强。

二、机床动作的分析及通用数字控制代码

前面已经讲过，机床数字控制的特点是把机床的各种动作加以分析归纳以后，用一些数字代码表示。因此为了合理地实现机床的数字控制，首先应当分析一下各类金属切削机床加工工件时，需要一些什么样的典型动作。再根据这些动作的特性、归纳成若干典型的机械运动。各种典型机械运动的控制方法解决了，整台机床的数字控制也就容易实现了。

经过对各类机床的动作加以综合分析以后，我们可以大体上将机床的机械运动分成以下几个方面：

1) 送进运动。

(1) 定位

- a. 单个坐标的定位；
- b. 两个坐标的定位；
- c. 多个坐标的定位。

(2) 切削送进 (G01、G02、G03 指令等等)

- a. 直线切削；
- b. 斜线切削 (如锥面加工，斜面加工)；
- c. 曲线切削。

(3) 自动循环 (G81~G89 指令等等)

2) 与主轴旋转有关的运动 (S 指令和一部分 M 指令)。

(1) 主轴启动；

(2) 主轴停止；

(3) 主轴正转；

(4) 主轴反转；

(5) 主轴变速。

3) 与刀具选择有关的运动 (T 指令)。

4) 送进速度的控制 (F 指令)。

5) 辅助动作 (大部分的 M 指令)。

下面分别加以解释：

1. 送进运动

(1) 定位

- a. 单个坐标的定位 刀具相对于工件在一个坐标方向上，从一点移动到另一点。例

如在钻床上钻一排孔，一个孔加工好以后，工件（或刀具）沿一个坐标方向移动一定的距离准备加工第二个孔，至第二个孔的位置确定好以后，才能进行第二个孔的加工。这个移动过程就是单个坐标的定位。这种运动要求的是准确的定位，至于移动的速度和移动的路线（即刀具相对于工件的移动轨迹）并不重要。甚至工件走过了头，再返回来，原则上说都是允许的。只要最后的定位精度能满足加工要求，都是合理的。

b. 两个坐标的定位 刀具相对于工件在两个坐标方向上，从一点移动到另一点。这种运动的典型例子是在坐标镗床上镗孔。同样，这种运动要求的还是准确的定位。至于移动的速度，两个坐标同时移动，还是一个坐标移动结束以后，再移动另一个坐标，都是无关紧要的。两个坐标的定位，可以用在直角坐标的场合，也可以用在极坐标的场合。

c. 多个坐标定位 刀具相对于工件在规定的几个坐标方向上，都必须得到准确的定位。例如钻镗成空间角度的斜孔时，就要用到这种定位方式。

上述三种定位动作的共同特点是只要求最终的定位精度。至于移动的速度，刀具相对于工件运动的轨迹等等都是次要的。因此在机床数字控制中，上述三种定位动作，都是当作同一种类型的运动来处理。在编写程序时用G00表示。只要在程序段中出现G00，就说明该段程序是进行定位运动。定位的终点坐标用坐标符号后面的数字表示。例如G00X01250。它表示该定位运动在X方向移动到12.50毫米处（程编的单位是0.01毫米）。又如用G00X1350Y1550Z1150也是表示定位，并且要求在X、Y、Z三个方向上都要移动，它的终点坐标是 $X=13.5$ 毫米， $Y=15.5$ 毫米， $Z=11.5$ 毫米。

（2）切削送进

a. 直线切削 刀具相对于工件的运动轨迹严格地平行于某一个坐标轴。又有两种情形，一种是对起点和终点的位置有严格的精度要求，例如车削台阶轴的外圆表面，铣削台阶平面，钻盲孔等等。另一种是对起点和终点的位置没有严格的精度要求，例如钻、铰、铰通孔等等。直线切削的轨迹一定是一条准确的直线。在一般情况下，直线度的要求，都是靠机床导轨来保证的。直线切削的送进速度，虽然允许有一定的变化，但为了保证必要的加工光洁度，这种变化也不应过大。

b. 斜线切削 刀具相对于工件的运动轨迹是一条与某一坐标轴成一定角度的直线。例如车削锥面、铣削斜面等等。进行斜面切削时，对轨迹的直线度，它与某一坐标轴所形成的夹角，以及移动的速度等几个方面都有严格的要求。

为了能得到与某一坐标轴成一定角度的轨迹，在通用机床上都是采用靠模板或是调整机床的刀架或尾座等方法来实现。在数控机床上则是采用另一种工作原理。

为了说明在数控机床上实现斜线切削的工作原理，让我们分析一下在立式铣床上加工斜面的工作情形。如图1-2，要想在铣床上铣削出轮廓ABC。刀具相对于工件的运动轨迹应当是A'B'C'。要达到上述要求，当刀具从A'走向B'时，工作台沿X轴线由右向左移动就可以完成。但从B'到C'时，工作台的纵向溜板和横向溜板必须同时移动，并且移动的速度也必须保持一定的比例，移动的方向必须是：纵向工作台由左向右，横向工作台由后向前。当刀具从C'到A'时，两溜板的移动速度必须严格保持另一种比例，移动的方向是：纵向工作台由左向右，横向工作台由前向后。

非常明显，用普通铣床，摇动手柄来完成上述的工作是不可能的。因为用手动的方法，

保持两个工作台移动的速比不变是非常困难的。采用数字控制以后,这个速度比就比较容易得到保持。例如我们可以采用下面的一种控制方法:假定两个工作台溜板上的丝杠螺距都是6毫米。当加工表面 BC 时,只要在同一时间间隔内,控制工作台在 X 方向均匀地移动30毫米,在 Y 方向均匀地移动72毫米。也就是说,在同一时间间隔内 X 方向的马达带动丝杠均匀地旋转五转, Y 方向的马达带动丝杠均匀地旋转十二转就可以保证刀具沿着加工表面 BC 加工。同样,在加工表面 CA 时,在同一时间间隔内, X 方向的马达带动丝杠均匀地旋转十转。而 Y 方向的马达带动丝杠向相反方向均匀地旋转十二转就可以保证刀具沿着表面 CA 加工。

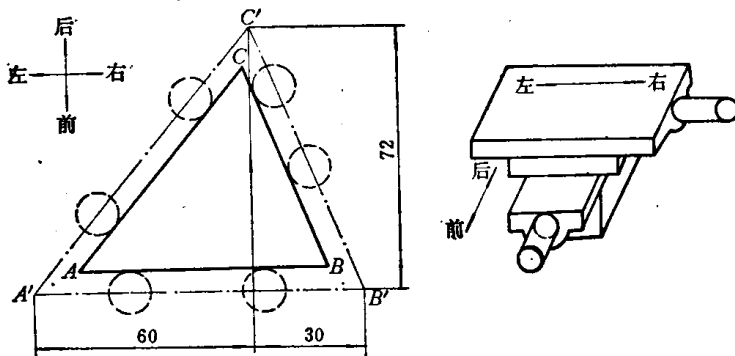


图1-2 在铣床上铣削斜面的示意图

由此可见,在数控机床上加工斜面时的关键就是如何合理地控制各个坐标方向运动的速度、距离和方向。

c. 曲线送进 刀具相对于工件的运动轨迹是一条曲线。例如在车床上车削圆球,在铣床上铣削凸轮等等。与斜线送进一样,在机床数字控制中,曲线轨迹也是用工作台两个方向运动的合成来取得的。一般地说,如果用 $x = f(t)$ 表示 X 方向的运动方程;用 $y = f(t)$ 表示 Y 方向的运动方程;两个方程联立,消去 t 以后得到的函数 $f(x, y)$ 就代表刀具相对于工作的合成运动轨迹。例如,当 X 方向的运动方程为 $x = t$, Y 方向的运动方程为 $y = 2t$,则合成运动的轨迹为 $2x = y$,这是一条通过原点的直线,它的斜率有 $\frac{y}{x} = 2$ 。又如当 X 方向的运动规律为 $x = t$, Y 方向的运动规律为 $y = \sqrt{a^2 - t^2}$ 。则合成运动的轨迹为 $y = \sqrt{a^2 - x^2}$ 。或表示为 $x^2 + y^2 = a^2$ 。非常明显,这是一个圆心在坐标原点, a 为半径的圆的方程,也就是说刀具相对于工件的运动轨迹是一个圆。同样,若 $x = a \sin \omega t$, $y = a \cos \omega t$ 。合成以后的轨迹是 $x^2 + y^2 = a^2(\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) = a^2$ 。这也是一个圆。由此我们可以得到以下的结论:只要使两工作台按某种既定的规律移动,就可以合成曲线运动的轨迹。而要得出某种曲线运动的轨迹,可以采用很多种方法来合成。在机床数字控制中,都是用数字控制机的运算来保证这种合成运动的实现。实现这种合成运动的运算方法叫做插补运算。习惯上,在进行编程时,都是用G01表示直线和斜线切削。用G02表示切削顺时针方向的圆弧。用G03表示切削逆时针方向的圆弧。更复杂的曲线切削目前还没有统一的规定。

(3) 切削循环

在机床数字控制中,为了减化编程工作,常常将一些典型的单个送进运动组合在一起,构成所谓自动切削循环功能。例如在车削外圆柱表面时(见图1-3),有时采用每个循环包括四个动作的循环方法:进刀——车削外圆——横向退刀——纵向退刀作为一个循环。再进刀——第二次车削外圆——横向退刀——纵向退刀作为第二个循环。又如在钻深孔时(见图1-4),往往需要钻一段深度以后,将刀具退出以便清除切削,再快速进刀至接近工件以后,再以钻削进给速度继续钻孔。这样,快速接近工件——钻孔——快速退刀——第二

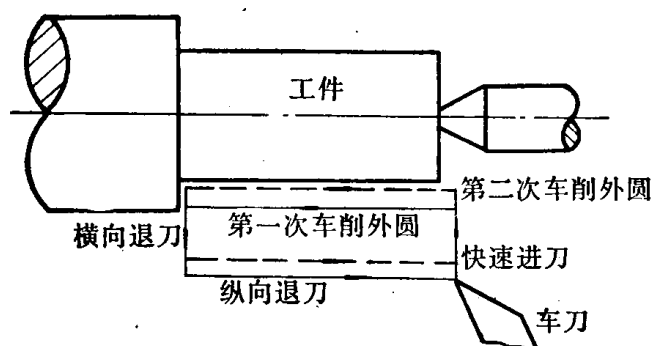


图1-3 自动循环车外圆的示意图

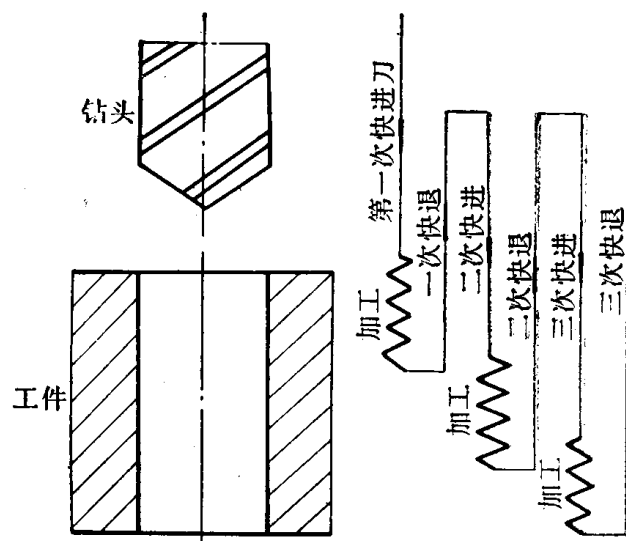


图1-4 自动循环钻孔的示意图

次快速接近工件（与第一次的尺寸不同）——钻孔——快速退刀。这些都是典型的加工循环。具有切削循环的数控机床在编制程序时，只要把有关的参数，如进刀的总尺寸，每次进刀尺寸以及其他参数给出，机床就可以自动循环工作。习惯上都用G81~G89或G91~G99表示各种不同的循环功能。

2. 与主轴旋转有关的运动

与主轴旋转有关的运动，主要有五种：

- (1) 主轴启动；
- (2) 主轴停止；
- (3) 主轴正转；
- (4) 主轴反转；
- (5) 主轴变速。

前四种动作的实现比较简单，在机床数字控制系统中和一般机床采用的控制电路差别不大。主轴变速功能又分为两大类：一类是有级变速，在具有有级变速的数控机床中，需要将各种机床主轴转速先进行编码，习惯上都是用字母S后面跟两位、四位甚至五位数字（S00~S99或S00000~S99999）。S后面跟两位数字的编码多半不能直接看出每个编码所代表的主轴转数的真实值，要通过换算才能得知。表1-1就是某机床S功能的换算表。S后面跟四位或五位数字的编码有时就是代表转数的真实值。例如采用四位数字时的S1200就表示主轴转数是每分钟1200转。S0030就表示主轴转数是每分钟30转。另一类是无级变速，但为了数字编程的方便，又将机床主轴的几个有代表性的转速进行编码，编码的方式与有级变速的方法相同。在有些比较完善的机床上面，在加工过程中，还可以进行机床主轴的自动无级变速。例如在车床上车削大端面时，为了保持在车削大平面的中心部位和外缘部位的车削速度基本一致以保证光洁度的要求，随着车削半径的变大，主轴转速也可以自动地无级地成比例地减慢。

表1-1 某机床的S功能和主轴实际转数对照表

指 令	转数/分	指 令	转数/分
S 01	30	S 09	152
S 02	42	S 10	478
S 03	58	S 11	660
S 04	80	S 12	895
S 05	106	S 13	1190
S 06	143	S 14	1615
S 07	198	S 15	2234
S 08	269	S 16	3028

3. 刀具的选择

在进行稍微复杂一点的加工工序时，往往用一把刀具是不能加工完一道工序的。特别是在车床上加工不同的表面和在钻镗床上钻、镗、铰不同直径的坐标孔的时候都需要进行自动换刀。换刀的方法大体上也可以分成两大类：一类是采用多工位的刀架，如四方刀架，六方刀架，八角刀架以及更多工位的转塔刀架；另一类是采用机械手自动换刀，先将各种刀具储存在一个刀库中，根据需要将某把刀具用机械手自动更换安装到机床的主轴上。无论采用那一类换刀方式，都需要将使用的刀具先进行编码。通常都是在字母T后面跟两位至五位数字表示（T00~T99或T00000~T99999）。图1-5所示是一种利用六角头转位换刀的机床。该机床用了两个六角头转位刀架，可以允许安装十二把刀具。

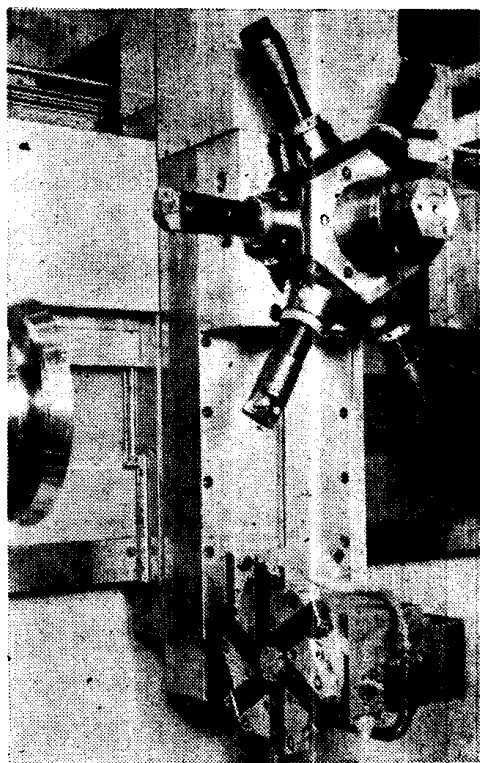
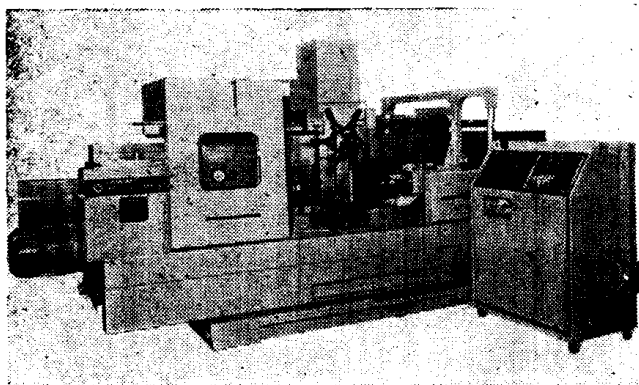


图1-5 装有六角头转位刀架的数控车床

图1-6所示的是一种利用类似转塔车床上的转塔刀架形式的换刀方式。这种换刀方式允许更换的刀具数目比较多一些。图中所举的例子为十二把。

图1-7所示是一种称为“自动换刀机床”又称“加工中心”的外观图。在这种机床上可以进行钻、镗、铣等多种加工，它可以安装六十把刀具。图1-8所示也是一台自动换刀机床，可以更换二十五把刀具。

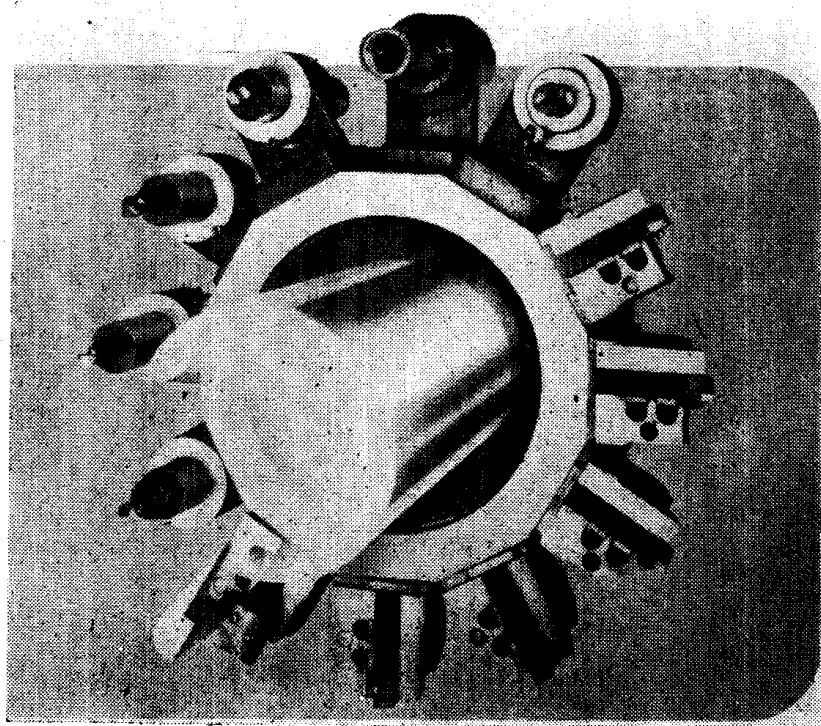
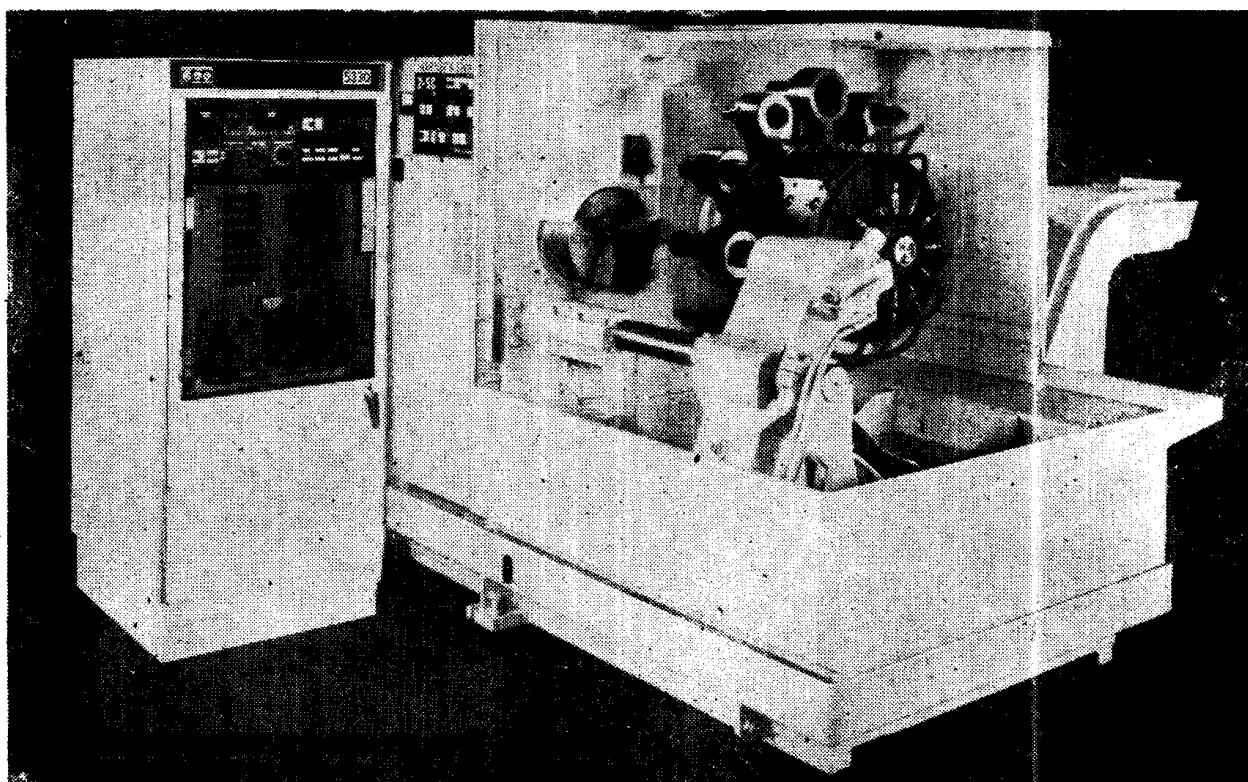


图1-6 装有转塔刀架的数控车床

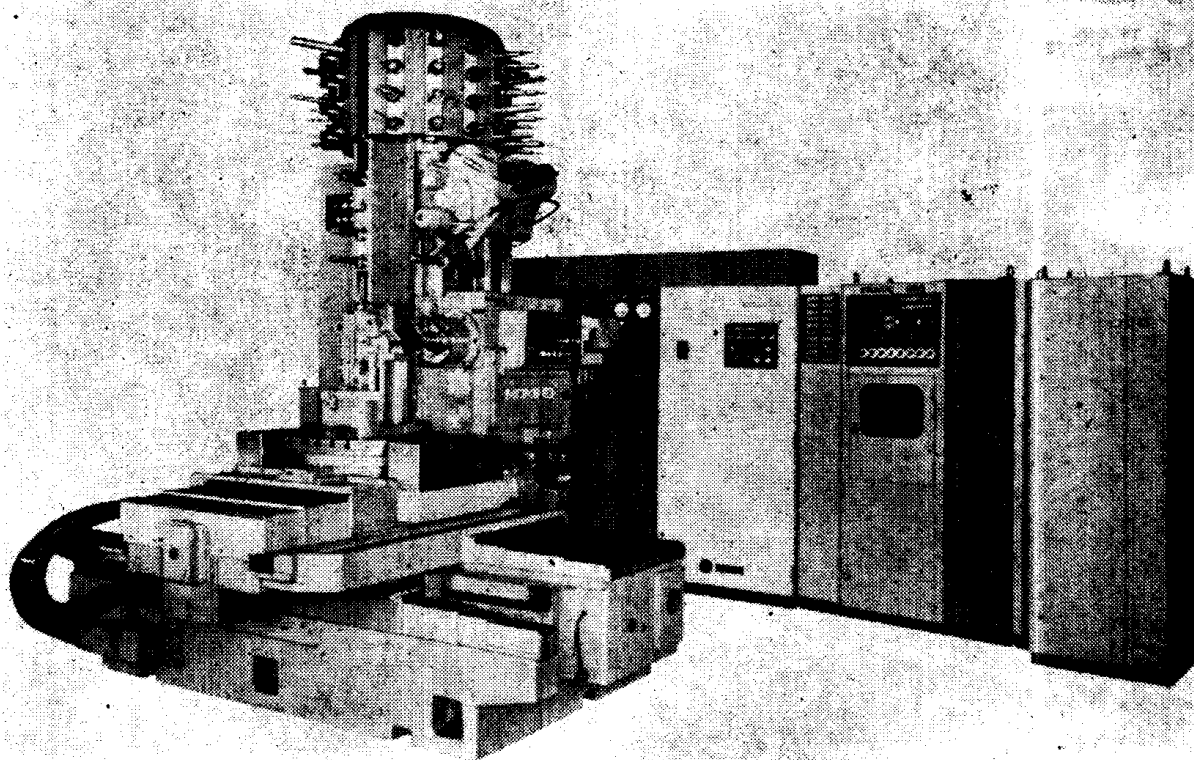


图1-7 自动换刀机床

4. 送进速度

送进速度虽然是送进运动特性的一个方面。但在数控系统中常常是单独用 F (或 E) 后面跟两位至五位数字的代码表示。与主轴转速的代码差不多, F 后面的代码可能仅仅是

表1-2 某机床送进速度的编码表

代 码	进 给 量 (毫米/分)	代 码	进 给 量 (毫米/分)
F59	6	F29	205
F58	10	F28	212
F57	17	F27	220
F56	24	F26	228
F55	30	F25	235
F54	37	F24	243
F53	43	F23	250
F52	50	F22	259
F51	56	F21	267
F50	63	F20	276
F49	69	F19	284
F48	76	F18	293
F47	82	F17	302
F46	89	F16	310
F45	95	F15	319
F44	102	F14	328
F43	108	F13	336
F42	115	F12	344
F41	122	F11	353
F40	128	F10	361
F39	134	F09	370
F38	141	F08	378
F37	148	F07	387
F36	154	F06	395
F35	161	F05	404
F34	168	F04	412
F33	175	F03	421
F32	183	F02	429
F31	190	F01	438
F30	198	F00	446

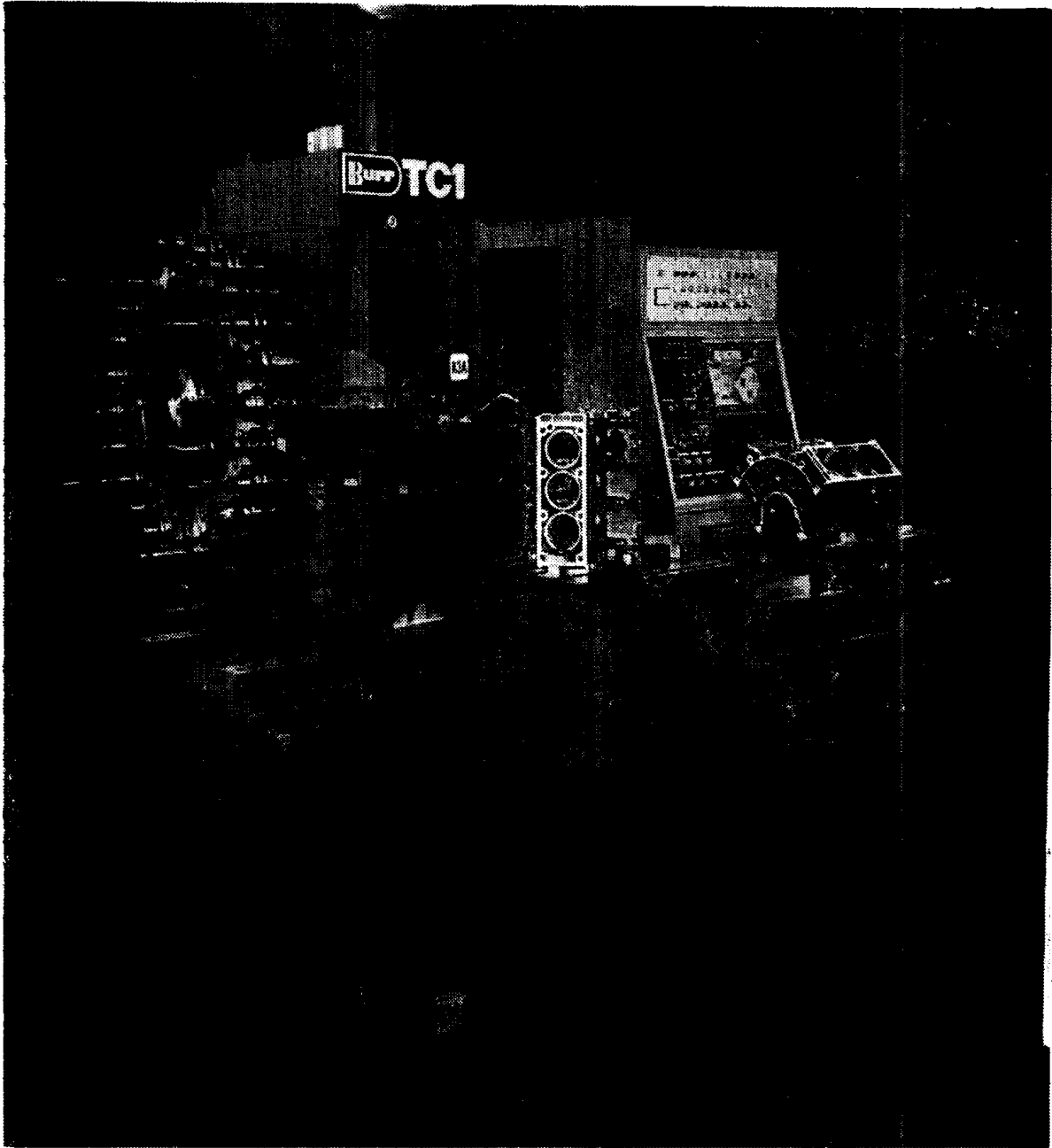


图1-8 自动换刀机床

一个编码，也可以代表送进速度的真实值。例如表 1-2 就是某数控系统采用的送进速度编码和真实值的对照表。而有些系统中，F 后面的数字就是表示送进速度的数值，例如 F 0350 就是代表送进速度为 350毫米/分。F 1250 就是代表送进速度为 1250毫米/分。

5. 辅助功能

不属于上述四方面的动作都归入辅助功能，辅助功能多是用M后面跟两位数字来表示。例如M00 表示程序停止，M02 表示程序终了等等。习惯上把机床主轴的起停、正转、反转等动作也都归入辅助功能之列。表 1-3 是某机床采用的各种辅助功能代表的意义。

正如前面所讨论过的，在机床数字控制中，各种机床动作，都是用一些数字代码表示。进行加工之前，先根据图纸要求，进行编程。再将编制好的程序记载到“程序介质”中。“程序介质”的作用，是将程序单上规定的各种操作技能，变成数字控制机能够辨认和接受

表1-3 某机床采用的M指令代表的意义

M00 程序停止	M06换刀
M01 选择停止	M07冲射冷却开
M02 程序结束	M08喷雾冷却开
M03 主轴顺时针起动	M09冷却停
M04 主轴逆时针起动	M30程序自动倒带
M05 主轴停止	

表1-4 某机床用的纸带代码表

穿 孔 带 代 码 8 7 6 5 4 0 3 2 1	数字或代码	符 号
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	0	数 字 0
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	1	数 字 1
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	2	数 字 2
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	3	数 字 3
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	4	数 字 4
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	5	数 字 5
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	6	数 字 6
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	7	数 字 7
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	8	数 字 8
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	9	数 字 9
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	A	绕着X轴的转角
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	B	绕着Y轴的转角
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	C	绕着Z轴的转角
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	D	第三进给速度机能
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	E	第二进给速度机能
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	F	进给速度机能
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	G	准 备 机 能
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	H	输入(或引入)
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I	不 用
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	J	没有 被 指 定
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	K	没有 被 指 定
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	L	不 用
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	M	辅 助 机 能
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	N	序 号
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	O	不 用
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	P	平行于X轴的第三坐标
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Q	平行于Y轴的第三坐标
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	R	平行于Z轴的第三坐标
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	S	主 轴 速 度
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	T	刀 具 机 能
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	U	平行于X轴的第二坐标
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	V	平行于Y轴的第二坐标
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	W	平行于Z轴的第二坐标
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	X	X轴方向的主运动
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Y	Y轴方向的主运动
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Z	Z轴方向的主运动
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	.	小 数 点
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	+	加
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	-	减
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	*	乘
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	/	省略/除
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	,	逗 点
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	(	括 号 开
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	)	括 号 闭
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	\$	单 元 符 号
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Stop	纸带倒带停止
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Tab	制表(或分隔符号)
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	CR	程序段结束
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Delete	注 销
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Space	空 格

的一种中间媒质。常用的“程序介质”有数字插销，拨码开关，穿孔卡，穿孔纸带等等。目前以穿孔纸带用得最多。下面就以穿孔纸带作为“程序介质”时，表示各种控制代码的方法，作一个简要的介绍。

采用穿孔带作为“程序介质”时，各种代码都是以纸带上的每一行中孔的有无来表示。利用每一行中有无孔的不同排列，可以表示出数字代码，0、1、2、3、4、5、6、7、8、9；或文字代码（又叫地址码）A、B、C、……X、Y、Z；以及某些符号码，+、-、'、/、CR、ER等等。文字后面跟上一定数量的数字，才能表示确定的意义。每一个文字和一定数量的数字及符号组成所谓“字”。几个必要的“字”组成所谓程序段。若干个程序段才能完成一道完整的工序。一般情况下，一道工序所需完成的若干程序段都做在一条纸带上。表1-4是某机床用的代码表。

图1-9表示用表1-4所规定的标准组成的一个程序段。其中N001是一个“字”，表示程序的序号。G01是准备指令，表示直线切削或斜线切削。X+32541、Y+78904是坐标指令，表示该程序完毕时，刀具相对于机床的理论原点的坐标数值。F1230是送进速度。T16表示使用的刀具号码。CR表示程序段结束。

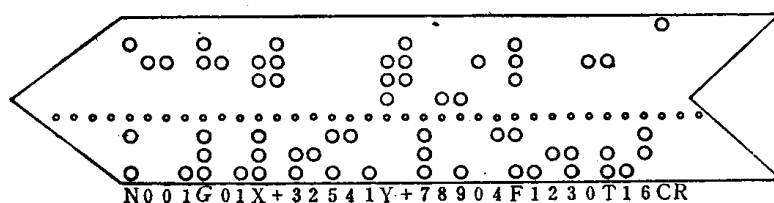


图1-9 一个典型的程序段

第二节 典型数控系统简介

在第一节中，我们从分析机床的各种动作中可以看出，机床工作台的运动是所有机床动作中最为复杂的一种动作。因此在解决机床的数字控制问题时，往往要花费很大的精力去正确地合理地解决工作台运动的控制问题。

工作台的运动主要有四个基本要素：一是运动的方向，二是运动的速度，三是运动的轨迹，四是起点到终点的距离。在第一节中还讨论过，如果单个坐标方向运动的规律确定了，那么几个坐标方向的合成运动也就完全确定了。因此我们先从讨论单个坐标方向的运动入手，在讨论单个坐标方向运动的基础上，再讨论一些复杂运动的合成。

用数字控制解决工作台运动的方案目前实际应用的已有很多种。从各种方案所采用的控制原理来分，大体上可分为：开环系统，半闭环系统，闭环系统。下面分别列举几种典型例子，从原理上加以简单说明，以期建立一个机床数字控制系统的一般概念。至于这些系统的细节，在以后的章节中，将要详细地讨论。

一、开环数字控制系统

最简单的开环数字控制系统是步进系统。它的工作原理可参考图1-10。在机床工作台的某一端装上一只步进马达（又称脉冲马达、步进电机），再将步进马达的转子与机床的丝杠连接起来，或通过传动齿轮连接起来。步进马达有这样一个特性，就是每输入一个

电脉冲，它的转子就转动一固定的角度。通常称为步距角 α 。步距角的大小与步进马达的结构有关，常见的有： 1.2° ， 1.5° ， 3° ， 6° 等。在没有脉冲信号输入时，步进马达的转子保持原来的位置不动。若向步进马达输入一个脉冲，转子就转一个角度（一个步距角）。如果连续不断地向步进马达输入脉冲，步进马达就不停地旋转。但总的转角与输入脉冲的数量成比例。例如步距角 $\alpha = 3^\circ$ 时，输入 30 个脉冲，步进马达转 90° ；输入 120 个脉冲，步进马达转 360° ；输入 240 个脉冲，步进马达恰好转两转。假定丝杠的螺距为六毫米，传动齿轮的传动比为 1:1，那么每当步进马达旋转一转，工作台就会移动六毫米。因此，只要控制输入脉冲的数目，就可以达到控制机床工作台位移的目的。

为了控制输入给步进马达的脉冲数目，可以采用图 1-11 所示的原理结构。脉冲发生器按机床进给速度的要求，不停地发出脉冲，这些脉冲通过控制门去控制步进马达转动。如果脉冲发生器发出的脉冲频率高时，工作台就移动得快些，如果发出

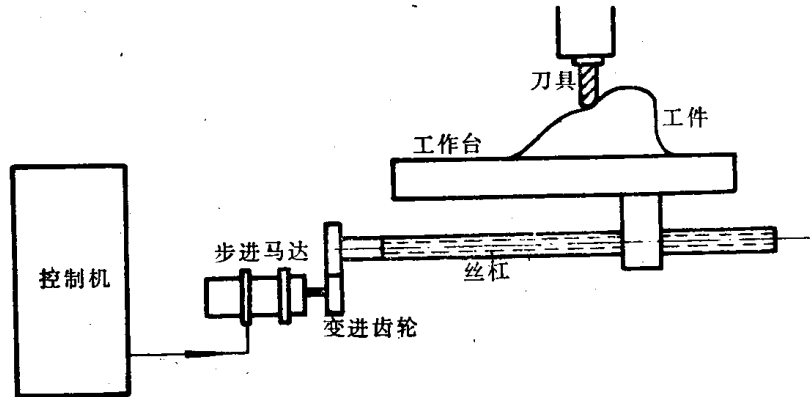


图1-10 步进系统

的脉冲频率低时，工作台就移动得慢些。脉冲发生器向步进马达输送脉冲的同时，也向计数器输送脉冲，使计数器做减法计数。在计数器中事先记入了工作台需要移动的数字。例

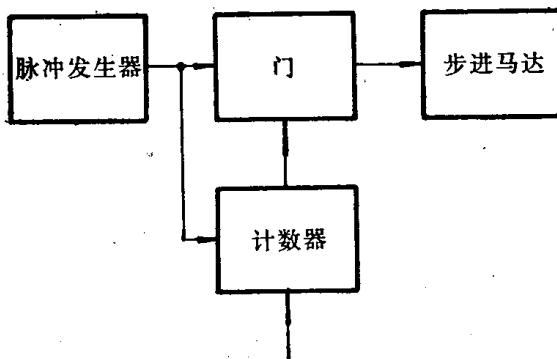


图1-11 控制脉冲数量的方框图

如需要工作台移动 6 毫米，步进马达的步距角 $\alpha = 3^\circ$ ，则需要向步进马达输送 120 个脉冲，这样就事先在计数器中记入数字 120。当脉冲发生器向步进马达恰好输送 120 个脉冲的时候，计数器的数字减至零。称为“全 0”状态。每当计数器出现“全 0”状态时，控制门便关闭，使发生器的脉冲不能通过，因此步进马达停止转动，保证了工作台移动 6 毫米以后就准确地停止。

怎样保证步进马达的转子每输入一个脉冲就旋转一个步距角呢？首先研究一个步进马达的模型。如图 1-12 所示，图中 a 是转子， b 是定子，在定子上有三个绕组：绕组 1、绕组 2、绕组 3。当绕组 1 有电流、而绕组 2、绕组 3 没有电流时，转子的齿将会与绕组 1 的齿对齐。当绕组 2 有电流，而绕组 1、绕组 3 没有电流时，转子的齿将会与绕组 2 的齿对齐。当绕组 3 有电流，而绕组 1、绕组 2 没有电流时，转子的齿将会与绕组 3 的齿对齐。因此如果依照 1-2-3-1-2-3 的次序，不断地通电断电，步进马达就会依顺时针方向不停地转动。反之，如果依 3-2-1-3-2-1 的次序，不断地通电断电，步进马达就会依逆时针方向旋转。

步进马达也可以把定子和转子沿轴线做成三段，如图 1-13 所示。转子与定子的齿数完全相等。定子的三段齿，相互错开三分之一齿距。开始先使第一段定子绕组通电，这