

内部资料

数字控制入门

原著：稻葉靖右衛門

翻译：郭月娥

审阅：包文琮

河北工学院科技情报研究室

1984.9

序 言

自从1952年美国麻省理工学院伺服机构研究室的数控铣床鉴定通过以后,从而使数控技术(Numerical Control 简称N/C)在工程方面具有重要意义,甚至在工业上也占据着极重要的地位。

这台数控铣床制成的背景是因为:美国有着高度发达的电子技术,军事方面也有强烈要求,且美国人对新技术的开发有着旺盛的进取精神。这都是很重要的因素。

数控技术果真很快地在美国被应用了,1974年在美国用数控技术操作的机床达30000台之多。预计1975年占据了机床总生产额的20%。

此外在欧洲和日本用数控技术操作的机床各有约10000台。最初数控机床的价格是很贵的,尽管价格贵,但其需要量却在不断增长,这其中最主要的原因是:数控技术即使加工形状复杂的零件,也不需要熟练工人;就是不熟练的工人也能容易地进行零件加工。且若在生产方面设法对数控机床进一步加以改进,它就能仅根据一次的程序由一台机床同时完成镗、铣、钻等作业方式,这就是所谓“机械加工中心”。在这类机床里一般不只装有三轴的工具自动更换机构A. T. C. (Automatic Toolchanger),而且还

正在研究装有四轴、五轴的工具自动更换机构。

下面就数控技术的未来加以讨论。

其一、装有电子计算机的新式数控。

属于这个范畴的新式数控叫计算机数控 (Computer N/C)，它不仅应用于机械加工中心，车床等机床上，而且用在冲床、气割机、自动绘图机等机器上。

其二、用电子计算机控制数控机床群的综合管理系统。这种数控叫 D 数控系统。

最近装有自动装置的 D 数控系统已被应用，无人化工厂的幻想正在变为现实，早已期望的自动编制刀具控制程序系统在日本也实现了。数控软件技术的发展也有很大进步。

本书将用电液脉冲马达为中心的数控技术及其应用加以说明。因而，它与最新数控相比，其规格及数字资料虽然显得陈旧，但由于数控的基本思路一样，因此仍以其为例来加以讨论。

最后，在对数控，电液脉冲马达以及自动程序设计的研究工作中经常给予指导的东京大学教授池部洋博士，东京工大教授池道润博士，东京大学教授山村昌博士及机械技术研究所所长寤田雅男博士（株）松下技术开发部长研野和人博士各位先生，致以崇高敬礼！

一九七五年一月 稻叶清右卫门

目 录

1、概要	1
1.1 数字控制	1
1.2 定位数字控制	2
1.3 连续通路数字控制	3
1.4 数控使用的伺服机构	5
1.5 程序设计	6
1.5.1 手编的情况	6
1.5.2 用机器编程的情况	6
2、定位数字控制	7
2.1 各种方法简介	9
2.2 用电液脉冲马达的方法	10
2.2.1 原理及其线路	11
2.2.2 程序设计	15
2.2.3 系统的精度	20
3、连续通路数字控制	26
3.1 各种方法简介	27
3.2 用代数运算插补装置和电液脉冲马达的方法	33

3.2.1 原理及其线路	33
3.2.2 程序设计	54
3.2.3 系统的精度	68
4、数控使用的伺服机构	78
4.1 各种方法简介	78
4.2 电液脉冲马达	82
4.2.1 构造及原理	83
4.2.2 静特性及微分方程式	89
4.2.3 动特性的数字计算和实测值	94
4.2.4 驱动线路	102
4.2.5 往机床上安装	108
5、程序设计	110
5.1 各种方法简介	112
5.2 会话形—FAPT	113
5.2.1 关于FAPT形会话方式	113
5.2.2 会话形FAPT的构成	117
5.2.3 会话形FAPT实例	128
6、群管理体系	137
6.1 各种方法简介	137
6.2 用电子计算机和多重数控及脉冲马达的方法	140

6·2·1 功能·····	140
6·2·2 经济性·····	143
6·2·3 组成·····	144
6·2·4 软件技术·····	146
6·2·5 输入·····	148
6·2·6 实例·····	150

1、概 要

本章对数字控制的基本思路作一简述

1.1 数字控制

用一句话来说，数字控制主要是以穿孔纸带指令的形式操作机器的控制方法之一。

例如，进行某种切削时，先从应切削工件的零件图中把有关尺寸的数字，进给速度等加工时所需要的一切数字信息，按某规定格式制成穿孔纸带，称之为指令纸带。

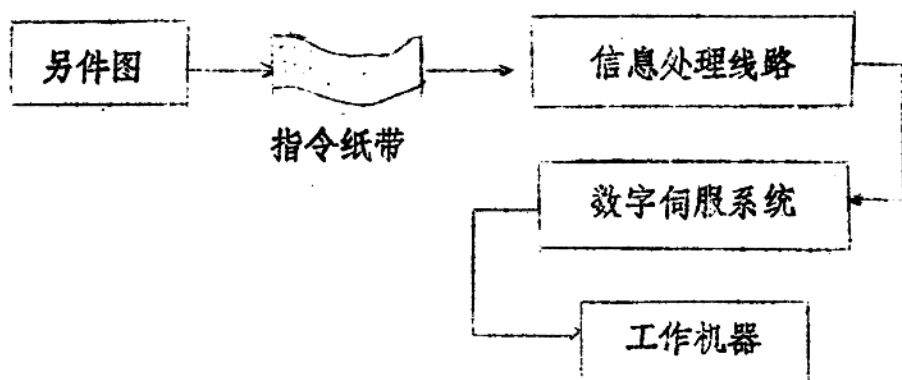


图 1.1 数字控制的一例

如图 1.1 所示，数控系统是由装到上述指令纸带的信息变换为指令脉冲系列的信息的处理线路系统及按指令脉冲动作的数字伺服系统所组成。这些数字伺服系统的输出端可通过工作台、床鞍或机器驱动工具的位置。

数字控制大致分为以下两类：

a) 定位数字控制

b) 连续通路数字控制

1.2 定位数字控制

定位控制是只控制工具的最终位置的一种数控。

例如，用钻床钻孔，镗床镗孔等作业都可用定位控制。为了使钻孔后的刀具移动到指定地点，且移动时的刀具不与工件接触，因此对工具移动的路径原则上没有要求，而如何能使刀具很快地从某一位置移动到指定位置并能正确地使刀具停止在某一位置却是个重要问题。

图 1·2 是定位数控的一例。

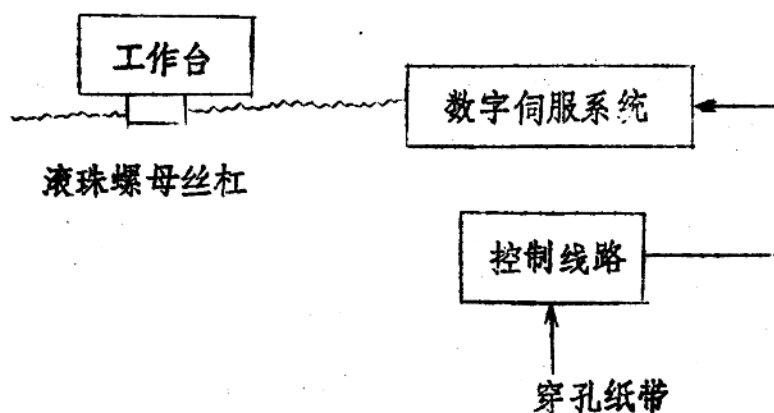


图 1·2 定位数字控制系统的一例

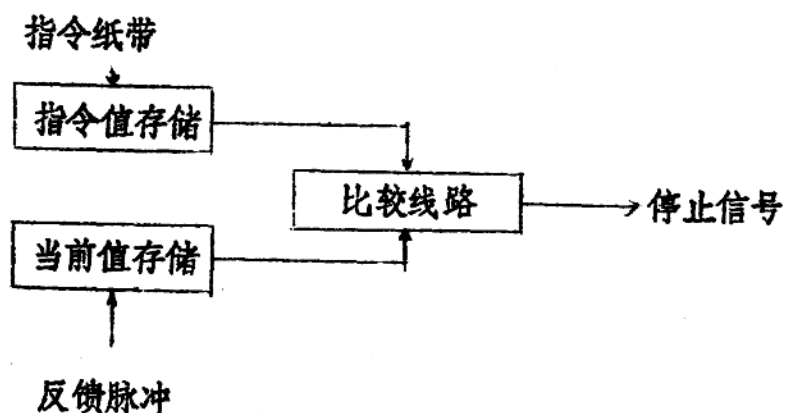


图 1.3 定位数控线路的一例

如图 1.3 所示，该控制装置简单，它主要是由以穿孔纸带指令的数字信息的存储线路和显示当前位置的数字信息的存储线路及把两者进行比较的线路所构成，即不断地把两个存储线路的数值进行比较，当其差值为零时，刀具的移动会自动停止。

1.3 连续通路数字控制

连续通路数字控制是连续控制刀具移动的路径用的。

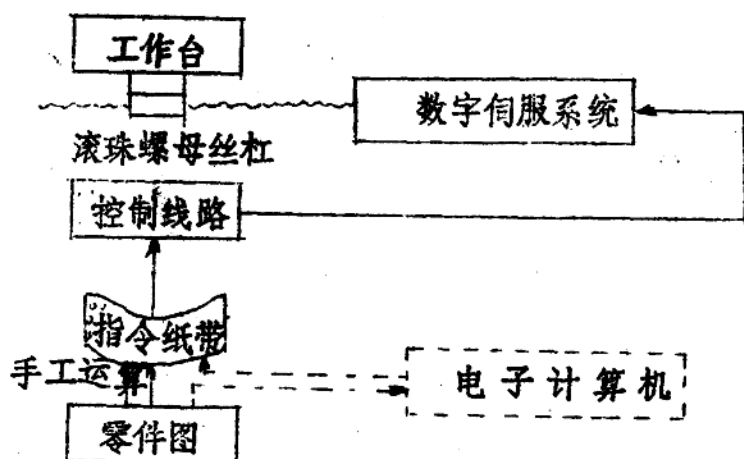


图 1.4 连续通路数控系统的一例

例如，用铣床进行凸轮切削，金属模切削等作业就使用了连续通路数字控制。因此，刀具运动的路径不仅有直线路径，还有复杂曲线路径的情况。图 1·4 是连续通路数字控制的一例。

这种数控与上述的定位控制有下列两个大的区别。即指定工具路径的穿孔纸带的制做，用手工运算满足不了复杂路径的需要，必须用电子计算机运算。另外，控制线路如按最大值考虑时，则使定位控制沿工具通路连续进行反复的操作，所以必然成为复杂的路线。

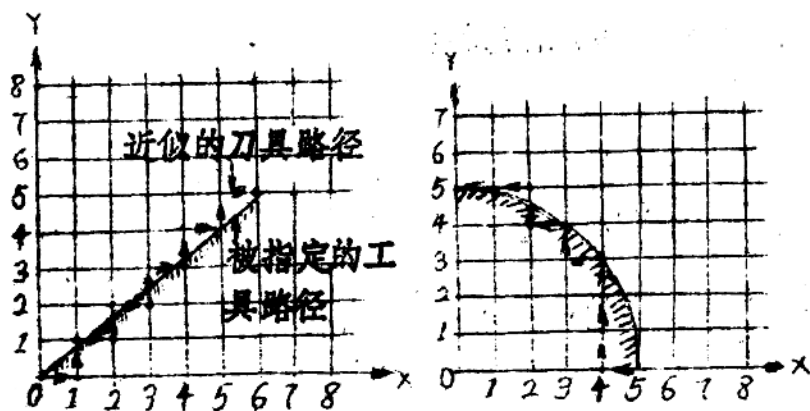


图 1·5 利用代数运算方法算出的工具路径

图 1·5 是用称为“代数运算法”的脉冲分配器得出的结果的实例。

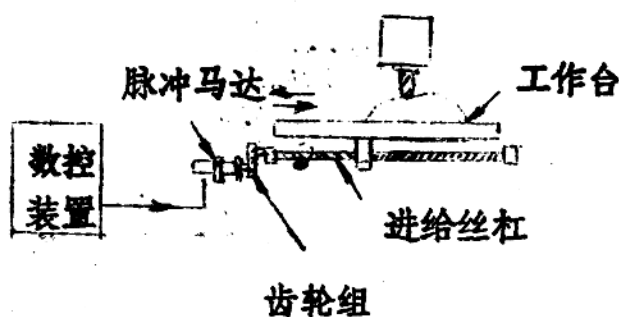
这里以简单的 x 、 y 二维平面上的直线及圆弧等的切削为例说明如下。

切削圆弧时，穿孔纸带给予控制系统的指令仅是圆弧起点的座标。另外数字伺服系统的输出端——刀具的中

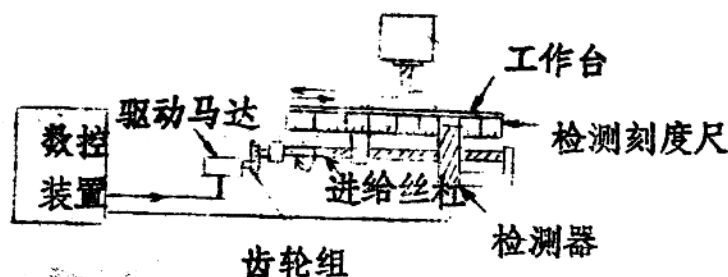
心必须沿着需要切削圆弧的附近，从始点向终点给进。为此必须给 x 向数字伺服系统， y 向数字伺服系统适当的脉冲以保证输出端通过需要切削圆弧的近傍。给这样两个数字伺服系统分配适当的脉冲是这个控制线路的主要作用。

1.4 数控使用的伺服机构

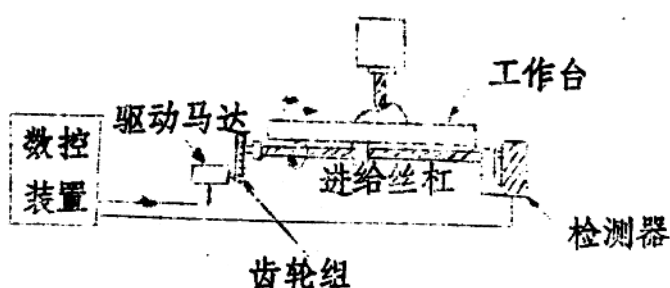
目前用于数控的伺服机构基本上分为三类。如图 1.6 所示。方法 (a) 其脉冲马达本身为伺服机构。(b) 与 (c) 的伺服机构由驱动马达、检测器及伺服回路构成。



(a) 开环方式



(b) 闭环方式



(c) 半闭路环形方式

图 1.6 使用于数控的伺服机构

1.5 程序设计

给出加工零件图，为了在机床上切削出象图那样的零件，就需要各种信息。我们把由人工总结编写这些信息的工作叫做编写程序。

编写程序有如下两种方法：

1.5.1 手编情况

如连续通路数控的情况。若为简单二维形状的物体，先把图形分为直线部分和圆弧部分。然后就其各部分把各种信息分别汇总在表中，编制成所谓工序框图。也就是说程序表。就是这种情况下的程序框图的编制。

1.5.2 用电子计算机编程的情况

对于三维的复杂形状物体的情况，则用手编满足不了我们的需要，

此时须用电子计算机编程。使用“FAPT”“EXAPT”“APT”等语言，这都是数控的专用语言。它使人们容易理解并转化成机器语言，一种很容易的手编语言。按这种手编语言对数字控制可以自动地编制程序表，故称为自动程序设计系统。

这种情况下的程序表是按FAPT、EXAPT、APT等数控语言的语法把切削时需要的信息编写出来，这就是所谓零件程序表的编制。

2、定位数控

由于定位控制的控制方法及程序表都比较简单，故应用很多。

最初人们设计出各种方法，后来又从实际应用中的可靠性、价格、要求精度等方面的情况进行研究，这都为目前应用提供了合格条件。

随着机床的大小及要求精度的不同，驱动机构、检测机构也不相同，但控制装置大部分是一样的。现在试考虑有代表性的定位控制的构成。

如图2·1所示，数控是由控制装置、驱动机构、检测机构三部分构成的。由所要求的规格可以做出各种取舍，但基本是由这三部分构成。

当检测机构要测精度高时，则如图2·2所示，要直接检测工作台的移动，若要测一般精度时，则从进给丝杠的一端间接地检测

工作台的移动。有关检测器美国是使用电磁感应形式的，而欧洲一般使用电光学形式的。

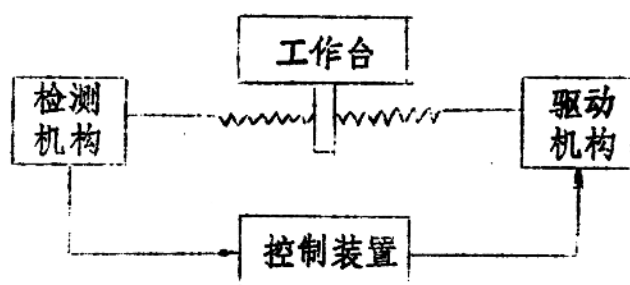
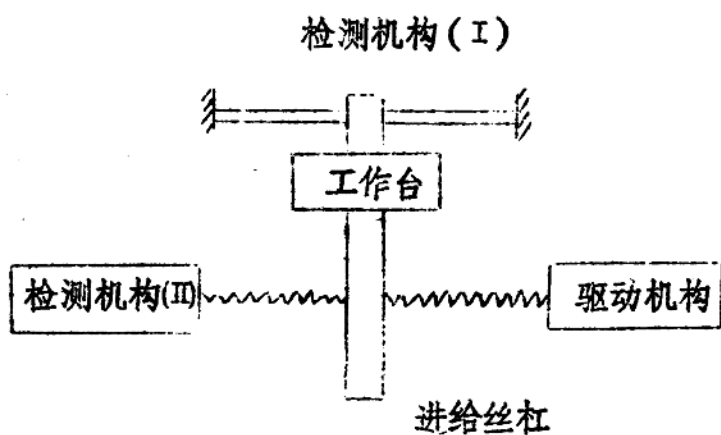


图 2·1 定位数控的基本构成



检测机构(I) 高精度(直接移动值)

检测机构(II) 一般精度(间接移动值)

图 2·2 检测机构的两种基本考虑方法

驱动机构有电气式，油压式及电气—油压式三种。驱动机构要求做到一边以高速进给同时在必要时可瞬间地停止。

以上仅对数控作了叙述。但从数控的观点来看，有关数控机床的结构还有各种要求。

例如要尽力减小摩擦面的阻力，就要在摩擦面上使用滚动轴承，在进给丝杠处使用滚珠螺母，更希望热变形，弹性变形均小的结构。

2.1 各种方法简介

如图 2.3 所示，按开环方式或是闭环方式，其控制线路内容

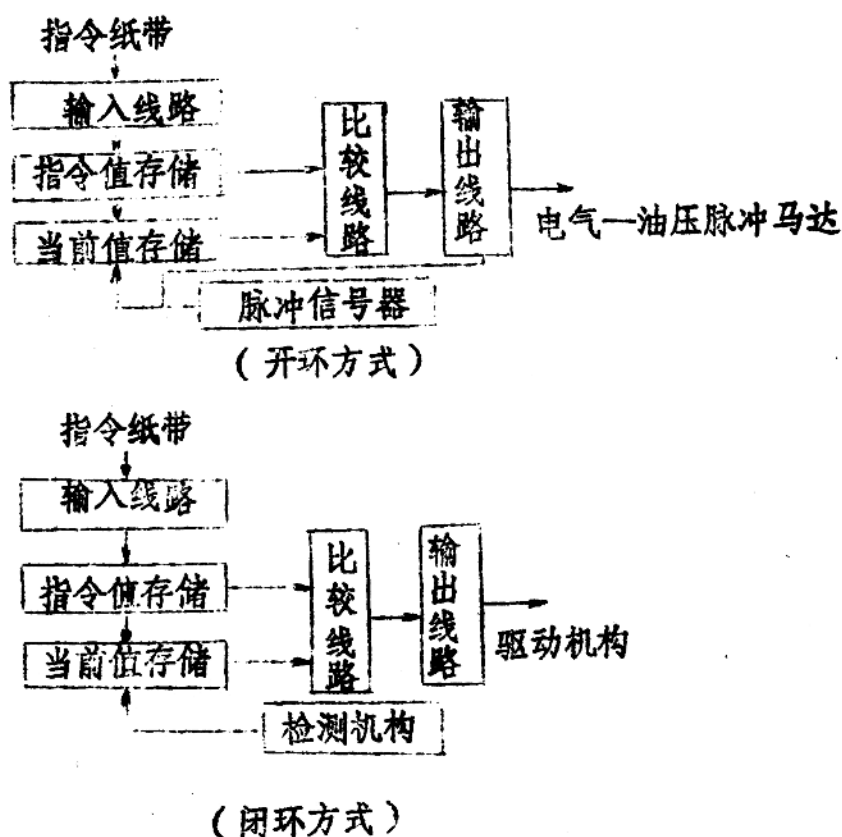


图 2.3 定位数控的两种方式

也多少有些差异。此外，还有各种变形方式，但基本上大致可分为开环与闭环方式，它们都各有自己的特点。归纳比较其特点如表2.1所示。

表2.1 开环方式和闭环方式的比较

项 目	开 环 方 式	闭 环 方 式
运转性	并列运转可能	不可能
精 度	进给丝杠的精度	检测器的精度
速 度	快速进给 $4.8 \sim 9.6 \text{ m/min}$ 微 速 5 mm/min	快速进给 $5 \sim 10 \text{ m/min}$ 微 速 5 mm/min

2.2 用电液脉冲马达的方法

该法是按指令纸带上穿孔的数值指令，利用电液脉冲马达使铣床、车床及钻床产生的直线切削定位动作等自动地、高精度地进给的一种方法。

机器的驱动由于用了电液脉冲马达进给速度不但可以无级变速且变速范围广泛，因此，正适合于铣床及车床等加工的连续通路控制及钻床等的定位控制。

另外，若采用连续通路控制时，具有不必使用微型转换器、挡块等，就可自动完成从前进行插接式程序控制等的作业，以及还有不受加工工序数目的限制等各种优点。一方面若使用钻床等的定位工作台的移动可以很快结束，缩短了时间，提高了生产率。另一方

面因为它可以控制 x 、 y 、 z 三个方向的三根轴（同时也可控制一根轴）的运动，故可自动地控制孔的深度。根据需要可送出许多（100多种）辅助信号，不仅本身具有润滑油及冷却液的自动输送、接通、断开的功能，此外还具有自动地交换工具的功能。

我们知道按 Dr Opitz 的分类，因为铣削加工的 85% 是直线切削，因此绝大部分利用这种方法（指使用了电液脉冲马达的方法）。

图 2.4 是 FANUC 260S 的全景

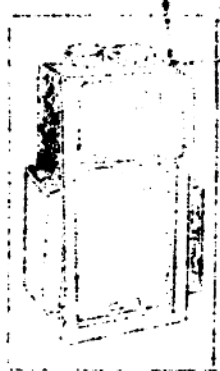


图 2.4 FANUC 260S 的全景

2.2.1 原理及线路

这种方法电液脉冲马达是主体，因为该脉冲马达由 $D \rightarrow \Delta$ 变换，随之驱动机械运动，故系统的构成非常简单。按机器的大小，换句话说即按我们要求机器所用的进给速度进给时，所产生必要的