

机床数字控制

竺钦尧 尉忠信 王润孝 编著



航空工业出版社

机床数字控制



机 床 数 字 控 制

竺钦尧 尉忠信 王润孝 编著

航空工业出版社

1993

(京)新登字 161 号

内 容 提 要

本书较详细地介绍了数控机床控制技术的基本原理与典型系统。主要内容有:数控机床的工作特点及其发展前景,手工编程的过程和方法,插补控制的种类、方法和控制软件设计要点,伺服控制系统的种类及基本原理,可编程控制器的原理和应用及柔性制造系统的基本概念。

本书可做为大专院校机械制造、机电一体化、计算机应用等专业的教材,也可供从事机械加工、自动控制及生产工艺等方面工作的工程技术人员学习参考。

机 床 数 字 控 制

竺钦尧 尉忠信 王润孝 编著

2P40/33

航空工业出版社出版发行
(北京市安定门外小关东里 14 号)

— 邮政编码: 100029 —

全国各地新华书店经售
南京航空航天大学印刷厂印刷

1993 年 7 月第 1 版

1993 年 7 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 11.875

印数: 1—1 500

字数: 294 千字

ISBN 7-80046-598-5/G · 108

定价: 5.90 元

前 言

随着现代科学技术的进步,生产自动化水平在不断提高。生产过程的自动化不仅能保证产品质量,提高产量,降低成本,而且还能改善劳动条件,保证安全生产,这是当今工业生产的发展趋势。数控机床正是自动化生产的基础和必不可少的设备。

《机床数字控制》一书正是为使高等院校机械制造专业的教学适应现代自动化生产的需要而编写的,可作为机械制造专业的必修课或选修课教材。学员在学习本课程前,应具有金属切削机床构造、切削加工工艺、微型计算机原理及应用等课程知识。

本书在内容安排上,以数控机床控制机的基本原理和实施办法为主,力求既讲清概念又结合实际。程序编制着重介绍程序格式的标准化以及设计人员应遵循的设计原则,尤其强调了编制程序的简繁与控制机设计有极大关系的思想。书中还增编了可编程控制器的基本原理和设计方法及柔性制造系统的基本概念,以适应生产自动化发展的需要。

本书第一章和第二章由南京航空航天大学竺钦尧编著(兼主编),第三章至第五章由西北工业大学王润孝编著,第六章和第七章由南京航空航天大学尉忠信编著。

本书由东南大学计有为副教授十分详细地审阅了全部书稿并提出了许多宝贵的意见,南京航空航天大学尤祖成副教授对部分章节提出了修改意见,在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,实践经验不足,书中难免有欠妥之处,请读者批评指正。

编 者

一九九二年十二月

目 录

第一章 概论	(1)
1-1 数控机床的特点及应用范围	(1)
一、什么叫数控机床	(1)
二、数控机床的特点	(2)
三、数控机床的应用范围	(3)
1-2 数控机床的组成与分类	(3)
一、数控机床的组成	(3)
二、数控机床的分类	(4)
1-3 机床数控技术的发展	(7)
一、数控机床的发展简史	(7)
二、我国数控机床的发展概况	(7)
三、数控系统的发展	(8)
四、自动化生产系统	(9)
习题与思考题	(10)
第二章 数控加工的程序编制及程序输入	(11)
2-1 零件的程序编制	(11)
一、程序编制的内容和步骤	(11)
二、程序编制的工艺处理	(12)
2-2 程序编制中的工艺指令	(14)
一、零件的加工程序	(15)
二、穿孔纸带及其编码	(17)
三、数控机床坐标系和运动方向的规定	(21)
四、准备功能 G 和辅助功能 M 的代码	(23)
2-3 自动换刀数控镗铣床的程序编制	(28)
一、坐标系有关的指令	(28)
二、快速点定位指令 (G00)	(30)
三、暂停 (延时) 指令 (G04)	(31)
四、直线插补指令 (G01)	(31)
五、圆弧插补指令 (G02、G03)	(31)
六、刀具补偿指令	(32)
七、固定循环指令 (G70~G89)	(33)
2-4 输入	(33)
一、纸带输入	(34)

二、键盘输入	(37)
2-5 显示	(40)
一、发光二极管 (LED) 显示器	(40)
二、阴极射线管 (CRT) 显示器	(42)
习题与思考题	(47)
第三章 插补原理及 CNC 系统控制方法	(48)
3-1 概述	(48)
3-2 逐点比较法	(48)
一、逐点比较法直线插补	(49)
二、逐点比较法圆弧插补	(51)
三、坐标转换和终点判别问题	(54)
3-3 数字积分法	(56)
一、数字积分法 (DDA) 的基本原理	(56)
二、DDA 直线插补	(56)
三、DDA 圆弧插补	(59)
四、改进 DDA 插补质量的措施	(62)
五、其它函数的 DDA 插补运算	(67)
3-4 时间分割法	(69)
一、7M 系统中采用的时间分割法	(69)
二、7360 系统中采用的时间分割法	(71)
3-5 其它插补方法	(74)
一、比较积分法	(74)
二、直接函数运算法 (DFB)	(78)
3-6 刀具半径补偿	(81)
习题与思考题	(82)
第四章 开环伺服驱动系统	(84)
4-1 步进电机的工作原理及分类	(84)
一、步进电机的工作原理	(84)
二、步进电机的分类	(85)
4-2 步进电机的结构及特性	(86)
一、步进电机的结构	(86)
二、步进电机的主要特性	(87)
4-3 步进电机的环形分配器及驱动电路	(90)
一、步进式伺服系统的工作原理	(90)
二、步进电机的驱动控制线路	(91)
三、提高步进系统精度的措施	(97)
4-4 误差补偿	(99)
一、齿隙补偿	(99)

二、螺距补偿	(101)
4-5 经济型数控机床	(101)
一、WSQ-80 车床微机数控系统	(102)
二、RC51-I 车床数控系统	(104)
习题与思考题	(105)
第五章 闭环伺服驱动系统	(107)
5-1 伺服系统的执行元件	(107)
一、直流伺服电机	(107)
二、交流伺服电机	(111)
5-2 位置检测装置	(112)
一、旋转变压器	(113)
二、感应同步器	(114)
三、光栅	(116)
四、编码盘	(120)
5-3 鉴相式伺服系统	(122)
一、鉴相式伺服系统的工作原理	(122)
二、鉴相式伺服系统的类别	(123)
三、鉴相式伺服系统的控制线路	(125)
5-4 鉴幅式伺服系统	(129)
一、鉴幅式伺服系统的工作原理	(129)
二、鉴幅式伺服系统的控制线路	(131)
5-5 数字式伺服系统	(137)
一、数字比较系统的构成	(137)
二、主要功能部件	(138)
习题与思考题	(139)
第六章 可编程控制器	(140)
6-1 可编程控制器的基本概念	(140)
一、可编程控制器的发展概况	(140)
二、可编程控制器的基本组成	(142)
三、可编程控制器的工作原理	(143)
6-2 可编程控制器的程序语言	(145)
一、可编程控制器的语言体系	(145)
二、梯形图语言	(146)
6-3 可编程控制器新的表示方法	(154)
一、概述	(154)
二、Petri 网理论简介	(155)
三、功能顺序图 SFC	(156)
6-4 可编程控制器的技术发展动向	(159)

一、提高运算速度	(159)
二、增强功能	(160)
三、提高可靠性	(160)
四、发展网络技术	(161)
五、开发程序语言	(161)
六、实现标准化	(161)
习题与思考题	(161)
第七章 柔性制造系统	(163)
7-1 概述	(163)
一、柔性制造系统的产生背景	(163)
二、FMS 的定义	(163)
三、FMS 的基本组成	(164)
7-2 柔性制造系统的硬件系统	(167)
一、自动加工系统	(167)
二、自动搬运系统	(169)
三、自动仓库系统	(173)
7-3 柔性制造系统的软件系统	(175)
一、生产控制软件	(175)
二、管理信息处理软件	(176)
三、技术信息处理软件	(176)
7-4 柔性制造系统举例	(178)
一、JCS-FMS-1 系统	(178)
二、PRISMA2 系统	(178)
习题与思考题	(181)
参考文献	(181)

第一章 概 论

1-1 数控机床的特点及应用范围

一、什么叫数控机床

社会生产和科学技术的不断发展,机械产品日趋精密而且复杂,促使机床设备不仅要精度高,而且要生产率高、自动化程度高、工人操作简单、劳动强度低。而自动化又是实现上述要求的最重要措施之一。

对大批量生产的企业(例如汽车、拖拉机、家用电器、钟表等制造厂),采用自动机、组合机床和专用生产线等这种高度自动化和高效率的设备,虽然初始投资很大,生产准备周期也较长,但最后的经济效益仍是非常显著的。由于产品在市场上的竞争,促使企业不仅要提高产品质量,而且要不断改型,增加产品的品种,在极短的时间内要开发出新产品,以满足市场上不断变化的需要,即使是大批量生产的产品,也不是长期不变。所以“刚性”的自动化设备,在大批量生产中也日益暴露其缺点。

在机械制造工业中,并不是所有产品的零件都具有很大的批量,而单件与小批量生产的零件约占机械加工总量的80%以上。尤其是宇航、造船、机床以及国防工业等,其生产特点是:加工批量小、改型频繁、零件精度高而形状复杂,采用专用的自动机床或专用的生产线来加工这类零件就显得不很合理。因为,这种自动化设备每更换一次加工对象,就需对机床设备调整或改装一次。对这种“刚性”的自动化设备进行调整或改装需要很长周期,有的甚至需很大投资。

仿型机床及程序控制机床使中、小批量复杂零件的加工自动化问题得到了部分地解决。仿型机床借助于靠模可加工较复杂的零件,更换被加工零件时,只要更换靠模及调整机床即可,具有一定的灵活性。但是靠模的制造及安装调试不但要耗费大量的手工劳动,而且生产准备周期也很长。所以,为单件或很小批量的零件制造靠模也不很经济。另外,由于靠模的制造误差,使仿型机床加工的零件很难达到高精度的要求。

程序控制机床用事先调整好尺寸的挡块或凸轮来控制刀具对零件的相对运动,调整挡块或凸轮位置,就能改变被加工零件的形状或尺寸,有一定通用性。但这种机床只能加工不太复杂的由线条组成的零件,而且精度较差。

单件、小批量生产的自动化一直是探索的目标,迫切需要一种通用、高精度、灵活、具有“柔性”的自动化机床,以适应企业中加工零件品种频繁变化的要求。

数字程序控制机床,简称数控机床,它极好的解决了复杂、精密的单件小批量生产的自动化问题。是一种灵活、通用、高效、具有柔性的自动化机床。

数控机床是将零件加工过程中所需的各种操作(如主轴变速、主轴起动和停止、松夹工件、进刀与退刀、选择刀具、冷却液开关、加工结束等)和步骤以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码来表示,由程序员编制成规定的加工程序,通过输入介质(通常是纸带或磁带),送入专用或通用的计算机,由计算机对输入的信息进行处理与运算,

发出相应指令来控制机床的伺服系统或其它执行机构，使机床自动加工出所需的工件。当加工对象改变时，除了重新调整工件的装夹和更换刀具外，只需更换另一条加工程序的穿孔纸带或磁带，或手动输入加工程序，就能实现加工另一种零件，不需对机床作任何的调整或制造专用夹具。所以用数控机床加工，能很快更换加工对象，缩短生产周期，为新品试制或单件、小批量生产的自动化提供极大的方便，也就是说，这种机床具有很好的“柔性”。

二、数控机床的特点

1. 加工精度高

数控机床是精密机械和自动化技术的综合，所以机床的传动系统与机床的结构设计都考虑到要有很高的刚度和热稳定性，在设计传动机构时采取了减小误差的措施，并由数控装置进行补偿，所以，数控机床有较高的加工精度。对于中、小型数控机床，其定位精度就可达 0.005mm ，重复定位精度为 0.002mm 。尤其重要的是在数控机床上加工，精度不受零件复杂程度的影响，这对于一些用普通机床难以保证精度，甚至无法加工的复杂曲面零件是非常可贵的。另外，数控机床是自动进行加工的，消除了操作者的人为误差，提高了同批零件加工尺寸的一致性，使加工质量稳定，产品合格率提高。对箱体类零件，使用自动换刀数控机床（简称“加工中心”），一次安装能进行多道工序的连续加工，减少了安装误差，使被加工零件获得较高的精度。

2. 加工生产率高

数控机床具有良好的结构刚性，可进行强力切削，有效地节省了机动时间，并允许快速移动部件，缩短空行程的时间。数控机床进给量的范围和主轴转速调速范围都较大，可以有有效的选用合理的切削用量。

在数控机床上加工，对工夹具要求低，只需通用的夹具，又免去划线等工作，所以加工准备时间大大缩短。更换被加工零件时，除了更换加工程序的纸带及调整零件的安装外，对机床不需进行复杂的调整，大大地缩短了生产准备周期。数控机床有较高的重复精度，可以省去在加工过程中对零件的多次测量和检验时间。所以，数控机床生产效率比一般普通机床高得多。对壳体零件采用加工中心进行加工，实现自动换刀，利用转台自动换位，使一台机床上实现多道工序，缩短半成品的周转时间，生产效率的提高尤为明显。

3. 减轻劳动强度，改善劳动条件

数控机床的加工，是输入事先编写好的零件加工程序后自动完成，除了装卸零件、安装穿孔带或操作键盘、观察机床运行之外，其它的机床动作直至加工完毕，都是自动连续完成。操作者不需进行繁重的重复手工操作，操作者的劳动强度和紧张程度大大改善，而劳动条件也相应得到改善。

4. 有利于生产管理

用数控机床加工，能准确地计算零件的加工工时，并有效地简化检验、工夹具和半成品的管理工作。数控机床是用数字信息的标准代码输入，有利于与计算机联接，构成由计算机来控制和管理的小批量生产系统，使之在技术上和管理上共同达到自动化与最佳化综合的有效手段，这就是柔性制造系统。

三、数控机床的应用范围

数控机床是一种高度自动化的机床，有一般机床所不具备的许多优点，所以数控技术的应用范围在不断扩大，但数控机床技术复杂，目前成本较高，若从最有效的经济出发，数控机床常适用下列特点的零件。

1. 多品种小批量生产的零件

在工业生产中，多品种、中小批量生产是现代机械制造业的基本特征，占有相当大的比重，完成这些任务不外乎选择通用机床、专用机床和数控机床。从图 1-1 中不难看出，数控机床最能适应这一需要。

2. 结构比较复杂精度要求高的零件

结构比较复杂而精度要求又较高的零件，在一般通用机床上加工，需要有昂贵的工艺装备，有些型面甚至无法加工，而数控机床却能胜任这一类零件的加工。图 1-2 是各类机床适用的范围。

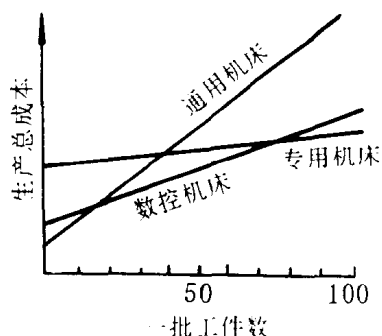


图 1-1 生产成本与批量的关系

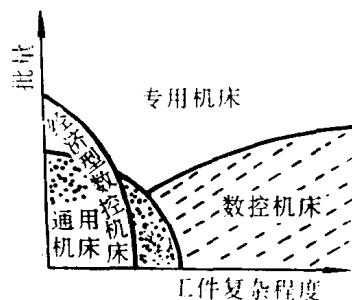


图 1-2 各类机床适用范围

1-2 数控机床的组成与分类

一、数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体所组成，如图 1-3 所示。图中实线部分为开环系统，虚线部分包含位置反馈构成了闭环系统。各部分简述如下：

1. 控制介质

数控机床操作时，不需人参与直接操作，但人的意图又必须参与，所以人和数控机床之间必须建立某种联系，这种联系的媒介物称为控制介质（又称输入介质或信息载体等）。

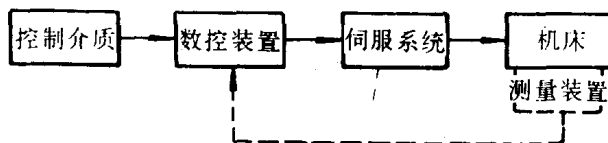


图 1-3 数控机床的组成

控制介质上存储着加工零件所需要的全部操作信息和刀具相对工件的移动信息。控制介质按数控装置的类型而异，可以是穿孔纸带、穿孔卡和磁带，目前常用的控制介质是八单位穿孔纸带。

零件的加工工艺过程以数字化代码的形式存储在控制介质上，通过安装在数控装置中的纸带阅读机或磁带阅读机，将零件加工的工艺信息输入数控装置中。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的控制核心，通常由一台通用或专用微型计算机构成，有输入接口、存储器、运算器、输出接口和控制电路等，如图 1-4 所示。

输入接口接受控制介质或操作面板上的信息，并将其信息代码加以识别，经译码后送入相应的存储器。在存储器中的代码或数据就是控制和运算的原始依据。

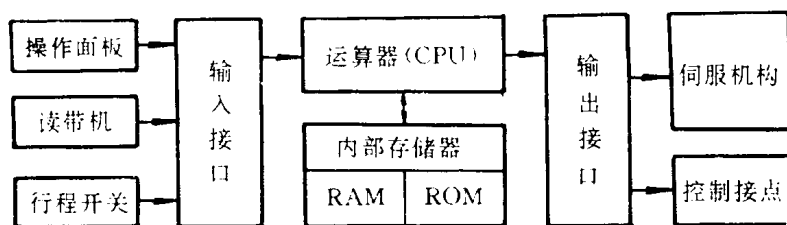


图 1-4 数控装置的组成

控制器根据输入的指令控制运算器和输出接口，以实现对机床各种操作的执行，例如，控制主轴变速和起动，控制刀架或工作台移动等，同时控制机床的整个工作循环。运算器主要是对输入的数据进行某种运算，按运算结果不断的由输出接口输出脉冲信号，驱动伺服机构按规定要求运动。

数控装置中的译码、处理、计算公式和控制的步骤都是预先安排好的，这种“安排”可以用专用计算机的硬件结构来实现（称为硬件数控或简称 NC: Numerical Control），也可以用小型通用计算机或微型计算机的系统控制程序来实现（称为软件数控），目前均采用专用的微型计算机来实现控制（习惯上简称 CNC: Computer Numerical Control）。用微型机构成数控装置，其 CPU 实现控制和运算，内部存储器中只读存储器（ROM）存放系统控制程序，读写存储器（RAM）存放零件的加工程序和系统运行时的工作参数。I/O 接口实现输入输出的功能。数控机床的功能强弱主要由数控装置的功能来决定，所以它是数控机床的核心部分。

3. 伺服系统

伺服系统包括驱动部分和执行机构两大部分。伺服系统把数控装置输出的脉冲信号通过放大和驱动元件使机床移动部件运动或使执行机构动作，以加工出符合要求的零件。每一脉冲使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量（用 δ 表示），常用的脉冲当量为 0.01mm/脉冲、0.005mm/脉冲、0.001mm/脉冲等。因此，伺服系统的精度、快速性及动态响应是影响加工精度、表面质量与生产率的主要因素。

目前在数控机床的伺服系统中，常用的位移执行机构有功率步进电机，直流伺服电机和交流伺服电机，后二种都带有感应同步器、光电编码器等位置测量元件，所以，伺服机构的性能决定了数控机床的精度与快速性。

4. 机床

由于数控机床需承受大切削用量及运动部件的快速性、灵敏性，所以与普通机床相比其机床的外型结构、整体布局及刀架结构等部件均有很大变化。其设计要求应充分发挥数控机床的特点，使机床结构刚性好、热变形小、传动灵敏，精度高。

二、数控机床的分类

目前，数控机床品种已基本齐全，规格繁多，据不完全统计已有 400 多种规格。可按下述方法分类：

1. 按工艺用途分类

(1) 一般数控机床 这类机床的品种和传统的通用机床一样，有数控车、铣、镗、钻、

磨床等,而每一种又有很多品种和规格。这类机床的工艺可能性与传统的普通机床相似,但又有数控机床的特点。

(2) 可自动换刀的数控机床(简称加工中心; Machine Center) 这类数控机床都带有一个刀库,可容纳 10~100 多把刀具,它和自动换刀装置构成可换刀的数控机床。这类数控机床的特点是:工件一次安装后可完成铣削、铰孔、镗孔、钻孔、攻丝等多道工序的加工。目前这类加工中心多数是镗铣床,用以加工箱体类零件,若使用双工作台的自动交换,能在加工过程中,装卸另一工件,使这类数控机床的自动化程序和生产率更进一步提高。

(3) 多坐标数控机床 有些复杂形状的零件,用三坐标的数控机床还是无法加工,如螺旋桨、飞机曲面等零件的加工,需要三个以上坐标的合成运动才能加工出所需形状。于是出现了多坐标的数控机床,其特点是数控装置控制的轴数较多,机床结构也较复杂,按加工零件的工艺要求,现常用的有 4、5、6 坐标的数控机床。

(4) 计算机群控 计算机群控也称直接数控(DNC: Direct Numerical Control),它是用一台通用计算机直接控制一群数控机床的系统。

根据机床和计算机结合的方式不同,计算机群控系统大致可分为间接型和直接型。

间接型群控系统中,把来自通用计算机存储器中的程序,通过接口分别送到机床群中每一台数控机床的数控装置中,其框图如图 1-5 所示。直接型群控系统中,机床群中的每一台机床只需要伺服系统和一般的机床控制装置。而数控功能集中在一个“分时多路数控装置”中,与计算机构成一个完整的群控系统。

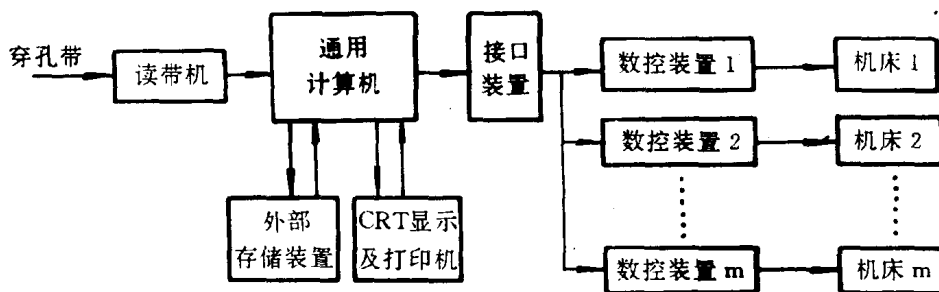


图 1-5 计算机群控系统

2. 按加工路线分类

(1) 点位控制系统 点位控制系统的特点是刀具相对于工件移动过程中,不进行切削加工,它对运动的轨迹没有严格的要求,只要实现从一点坐标到另一点坐标位置的准确移动,几个坐标轴之间的运动没有任何联系。为了提高生产率,通常各运动部件都以快速同时移动,分别接近终点,然后分级降速准确移至定位点,获得高的定位精度。

数控钻床、数控镗床、数控冲床及数控测量机等,都可属于点位控制系统。这类机床的数控装置中对位移功能控制比较简单。

(2) 直线控制系统

直线控制系统的特点是:刀具相对于工件的运动不仅要控制两点之间的准确位置(距离),还要控制两点之间移动的速度和轨迹。因为,在刀具相对于工件移动时进行切削加工。其轨迹是平行机床各坐标轴的直线,或两轴同时移动构成 45° 的斜线。

数控车床、数控磨床、数控镗铣床等都可属于直线控制系统,这类机床的数控装置其

控制功能比点位系统复杂，不仅控制直线运动轨迹，还要控制进给速度及自动循环加工等功能。

(3) 轮廓控制系统

轮廓控制又称连续控制，其特点是能对两个或两个以上的坐标轴进行严格的连续控制，它不仅控制起点和终点位置，而且要控制两点之间每一点的位置和速度，加工出任意形状的曲线或曲面组成的复杂零件。

这类控制系统的机床有：数控车床、数控铣床、数控磨床等。其相应的数控装置的功能比较复杂而齐全，一般都具有直线和圆弧插补功能，进行起点和终点之间“数据密化”，使切削点能完成任意角度斜线和任意半径圆弧的加工轨迹。

3. 按控制方法分类

(1) 开环控制系统 开环控制系统是指机床运动部件的位移没有检测反馈装置（见图 1-6），数控装置发出的信号是单向的，通常采用功率步进电机作位移的伺服机构。数控装置发出的指令脉冲信号，通过环形分配器和驱动电路控制步进电机转过相应的角度，再经过减速器带动丝杠转动，从而使工作台移动。位移的精度主要决定于该系统各有关零部件的制造精度。

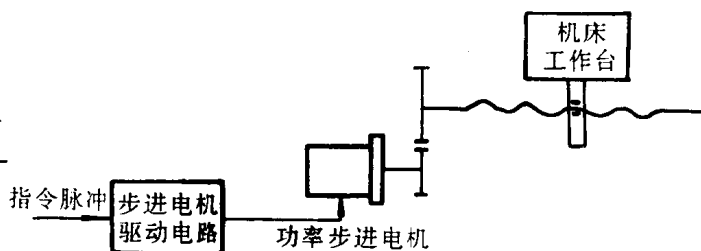


图 1-6 开环步进控制系统

开环控制系统的特点是：结构简单、调试维修方便、成本较低，伺服机构的误差设有补偿和校正，所以精度较低，一般适用于中、小型经济型数控机床。

(2) 闭环控制系统 闭环控制系统是指在机床的运动部件上，安装有直线位移测量装置（见图 1-7），将测量出的实际位移值反馈到数控装置中与输入的指令位移值相比较，用差值进行控制，直至差值为零。所以，能实现运动部件的精确定位。从理论上讲，闭环控制系统的运动精度主要决定于检测装置精度，而与传动链中误差无关。但闭环控制系统对机床结构的刚性、传动部件的间隙及导轨移动的灵敏性等都提出了严格的要求。否则会增加调试困难，甚至使伺服系统产生振荡。

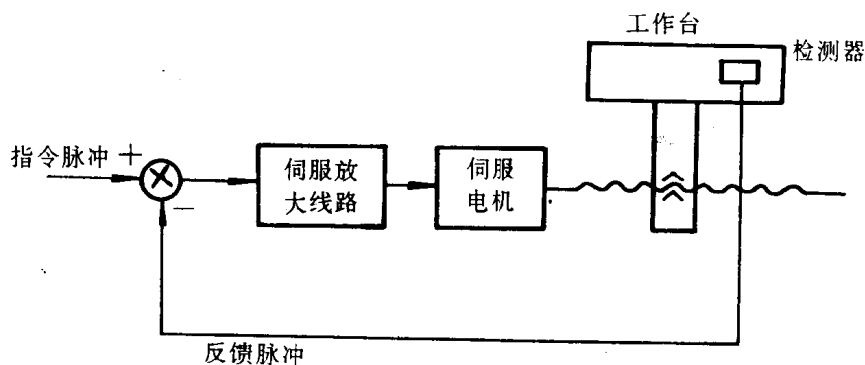


图 1-7 闭环控制系统

目前闭环控制系统需用的伺服机构是直流伺服电机或交流伺服电机。闭环系统的特点是位移精度高，但调试、维修都较复杂，成本较高，一般适用于精度较高的数控机床。

(3) 半闭环控制系统 半闭环控制系统是装有角位移检测装置，如圆光栅、光电编码器及旋转式感应同步器等。该系统不是直接测量工作台位移量，而是通过检测丝杠转角间接地测量工作台位移量，然后再反馈给数控装置。由于工作台位移没有完全包括在控制回路中，故称半闭环控制系统。伺服电机采用宽调速直流力矩电机，其传动方式可直接与丝杠相连。所以，目前已将角位移检测器与伺服电机设计成一个部件，使系统的结构简单，安装、调试都比较方便。这种控制系统的精度没有闭环系统高，但采用精密的滚珠丝杠或采用丝杠螺距误差的补偿措施，中小型数控机床广泛采用半闭环控制系统。

1-3 机床数控技术的发展

一、数控机床的发展简史

20 世纪 40 年代以来，由于航空航天技术的飞速发展，对各种飞行器的加工提出了更高的要求，这类零件的形状复杂，而材料多为难加工合金。为了提高强度、减轻重量，常用整体材料铣成蜂窝式结构，用传统的机床和工艺方法加工不能保证精度，也很难提高生产率。1948 年，美国巴森兹公司 (PARSONS Co) 在研制加工直升机叶片轮廓检查用样板的机床时，提出了数控机床的初始设想。后来受美国空军委托与麻省理工学院 (MIT) 合作，在 1952 年研制成功了世界上第一代三坐标数控机床，当时的数控装置全采用电子管元件。后又经过三年改进与自动编程的研究，于 1955 年进入了实用阶段。以后美国空军又投资生产了一百余台类似产品，使数控机床产品商品化。数字电子计算机的发明和发展，使数字控制机床成为现实，为机床自动控制开辟了崭新的技术领域，产生了深远的影响。50 年代末，由于价格和技术上的原因，数控机床仅局限于航空工业或军事工业中应用。到了 70 年代中期，由于半导体技术的发展，微型计算机的出现，数控系统的可靠性提高，价格下降。从此，数控机床得到迅速的发展，数控机床的应用范围从航空、军事部门，逐步扩大到汽车、建筑、机床、造船以及广大的机械制造业。1975 年日本数控机床的年产量只有 2,188 台，到 1982 年达到年产 24,048 台，七年中增加了 11 倍。美国数控机床的拥有量，在 1973 年~1978 年的五年间也增加了一倍。1981 年，日本数控机床在机床总拥有量中所占的比例达 3.5%。在西欧、日本、美国的一些机床厂中，数控化率达到 20%~60% 已不属罕见。美国有关部门曾预测，到 2000 年美国将拥有数控机床 50 万台（现在拥有量为 10 万台），一半的中、小批量产品将采用它加工。还有人预言，在一个国家中，数控化率达到 25%~60% 的日子已不遥远。

二、我国数控机床的发展概况

我国数控机床的研制，起步不晚，其发展经历了漫长的道路。1958 年就研制成功三坐标数控铣床，数控机床的研制一直没有停止，但当时由于工业基础薄弱，研制的数控机床可靠性差、价格高，难于大规模推广应用。70 年代随着微型机的出现并应用于数控领域，我国的数控机床研制工作迅速发展起来。从 80 年代开始进入了新的阶段，1980 年~1988 年全国数控机床产量增加了 2.87 倍，累计发展了 150 多个品种，到 1988 年数控机床产量为

2681 台, 机床产量的数控化率已占 1.4%。“七五”期间, 国家投资分别从日本、美国、西德引进数控系统、直流宽调速伺服装置及电机制造技术, 并专门安排“七五”攻关项目, 组织科技队伍对引进技术消化吸收, 同时进行国产化工作。对引进系统扩充功能, 开发通讯模块, 以适应柔性制造系统的需要, 完成数条柔性控制系统和柔性制造单元。在此基础上, “八五”期间继续攻关, 开发中、高档数控系统, 搞出中国自己的数控系统, 并在数控系统生产能力上, 以数控系统为核心, 以配套技术和产品为基础, 形成数控系统和机床开发生产的综合能力, 初步实现产业化。“八五”期末预见能具有年产 200 多个品种, 约 10, 000 台数控机床的生产能力。

除了国家投资并组织攻关以外, 许多机床厂与国外公司合作生产中、高档数控机床, 有的已远销国外。显然, 这对促进我国数控机床的发展, 尽快赶上国际水平是有深远意义的。

我国目前拥有的 300 多万台机床设备中, 绝大多数是效率低的普通机床, 尤其是普通车床占机床总数的 40% 以上。而单台的平均产值只有国外先进工业国家平均水平的 1/10。所以将一部分现有设备采用新技术进行改造, 提高加工性能和效率是必由之路。随着微电子技术的发展, 数控装置的成本降低, 可靠性提高。根据生产需要, 制造功能比较单一、数控系统比较简单的数控装置 (称经济型数控), 来改造普通机床或装备到新机床上, 生产经济型数控机床, 是完全合理而有效的。虽然数控系统的功能、效率不及新设计的全功能中、高档数控机床, 但对大多数有一定批量的零件来说, 因其投资少, 可以收到明显的经济效益。经济型数控系统已不仅仅用于改造单台机床, 而且开始向改装整条生产线、生产工段, 甚至向生产车间方向发展。据报道, 英国和日本等国也都出现类似的经济型数控机床。

经济型数控在我国已开始形成一个行业, 其科研、生产已逐步走上轨道, 并已初步形成了科研—生产—维修“一条龙”体系。目前, 我国机床行业, 已有 20 多家开发并向用户提供数十种经济型数控品种。我国的经济型数控机床已出口泰国、加拿大、西德、台湾、新加坡等地。所以不断扩大经济型数控的品种和规格, 提高数控系统的稳定性和可靠性也是势在必行。

三、数控系统的发展

数控机床的发展是随着微电子、计算机、自动化元件、检测等技术的发展而迅速发展起来的。30 年左右数控技术发展的历史证明, 促进数控机床不断发展的原因是数控装置和伺服驱动系统的发展。

数控装置的发展至今已经历了五代。

1952 年, 数控机床的出现是第一代, 数控装置采用了电子管、继电器等元件构成模拟电路。

1959 年, 出现了晶体管, 数控装置中广泛采用晶体管和印刷线路板, 构成晶体管数字电路 (分立元件), 使体积缩小, 进入第二代。

1965 年, 出现了小规模集成电路, 用它构成集成数字电路作数控装置, 使体积更小, 功耗低, 系统可靠性提高, 发展到第三代。

以上的数控装置都是由元器件构成的专用控制机, 称为硬件数控。

1970 年, 随着微电子技术的发展, 出现中/大规模的集成电路, 使小型计算机价格急剧

下降,采用小型计算机来取代专用控制机,用编制在计算机内的专用程序来控制机床,实现了软件控制,使控制功能既增强又更灵活,并提高系统的可靠性,这就进入第四代,称计算机数控系统(Computer Numerical Control 简称 CNC)。

1974年以后,价廉的微处理器的出现,很快取代了小型计算机的数控,而成为微型机数控(Microcomputer Numerical Control 简称 MNC),进入了第五代。1979年超大规模集成电路、大容量磁泡存储器的应用,使微机数控的控制功能越来越强,存储容量越来越大。1981年以来数控系统已具有人机对话、动态图形显示、切削用量选择、故障诊断、软件精度补偿等功能,使数控系统更加智能化。

从上述可知:大约五年左右数控装置更新一次,采用了微机数控使数控装置的可靠性得到很好的解决,而价格低廉使数控技术的应用范围更为广泛。

伺服驱动系统是数控机床精度和快速性的保证,所以伺服驱动系统的性能和可靠性的提高也是数控机床发展的关键技术。

50年代,数控机床的伺服驱动系统普遍采用步进系统,但当时步进电机功率范围小,直接驱动只适用于小功率的数控设备,例如线切割机床。一般数控机床是采用步进电机和液压扭矩放大器(电液脉冲马达),增大了开环步进系统的功率,但油泵噪声大、效率低。70年代随着功率步进电机的问世,已取代了步进电机和液压扭矩放大器。步进系统进给速度不高,精度低,但其驱动系统简单,调试维修容易,价格便宜,目前常用于经济型数控机床。

70年代,采用直流伺服电机系统,使调速范围达到1:20000,效率高,精度好,速度高,过载能力大,噪声小。但电机尺寸大并需维修电刷,驱动系统比较复杂,价格贵。目前对高精度,快速性好的数控机床已广泛采用。

80年代,出现了交流伺服系统,电机没有电刷磨损和电刷火花,维护简单,可靠性好,高速性能好。虽伺服控制复杂,目前价格稍贵,但应用很有发展前途。

计算机数控系统还带有可编程控制器(PLC),它取代了传统的继电器逻辑控制,取消了庞大的强电控制箱。可编程控制器可以通过编制程序来改变其控制逻辑,具有高度柔性,与数控技术结合,可以有效地完成各类控制。

四、自动化生产系统

数控机床是现代机械制造工业自动化的基础。随着数控机床的广泛应用和不断提高以及生产过程自动化程度的需要,70年代,已采用一台计算机来为数台数控机床进行自动编程,编程的内容通过电缆输送到各台数控机床的数控装置,利用分时操作,中央计算机可以实现对一群数控机床的管理与控制,这就是计算机群控,也称直接数控系统(DNC: Direct Numerical Control)。随着DNC技术的发展,在DNC的基础上,中央计算机不仅用于编制零件的加工程序以控制几台数控机床的加工过程,而且进一步控制工件、刀具传送与入库的自动运输系统,形成了一条由计算机控制的数控机床自动生产线,称柔性制造系统(FMS: Flexible Manufacturing System),实现了中、小批量的自动化生产线。