

数 控 机 床

(第二版)

吴祖育 秦鹏飞 主编

上海科学技术出版社

数 控 机 床

(第二版)

吴祖育 秦鹏飞 主编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

发行所 上海发行所发行 江苏省句容排印厂排版

上海群众印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 22.75 字数 516,000

1980年8月第2版 1989年8月第1次印刷

印数 1—4,500

ISBN 7-5323-1856-7/TG·60(课)

定价: 4.60 元

第二版说明

原书自1981年2月问世以来,机床数控技术已从硬接线数控(NC)发展到软接线数控(CNC)。近年来,微型机数控系统的掀起,把机床数字控制推向机电一体化方向发展。因此,原书无论在内容上和编排上已不能适应高等院校机制工艺及设备专业师生的教学和其他读者的需要。为此,对原版作修订显得十分迫切。鉴于原书的作者们分居南北,有诸多不便之处,经商议,修订任务由在沪作者完成,并推举吴祖育、秦鹏飞两同志担任主编。

修订版在内容上已从原版的NC为主改变为以CNC(或MNC)为主,第二章中加强了计算编程。在编排上,删去了原第三章的基本逻辑单元及部件,而把原第四、五、六、八章中与CNC有关的内容重新组织编排并加以充实,原第十、十一、十二章合并成为一章,实例内容也全部作了更新。

各章的作者:第一章、第六章谢卫华,第二章李德庆,第三章吴祖育,第四章包伟第,第五章杨学贤,第七章秦鹏飞、包伟第。

本书在修订过程中吸取了有关兄弟院校对原版的宝贵意见,对此深表感谢。

限于编者的水平,书中谬误与不妥之处在所难免,恳请读者不吝指教。

编 者

1989.1.31 于上海

目 录

第一章 概论	1
第一节 数控机床的产生	1
第二节 数控机床的基本工作原理	2
一、控制介质	2
二、纸带阅读装置	3
三、数控装置	3
四、伺服系统	5
五、机床	5
第三节 数控机床的分类	5
一、按工艺用途分类	5
二、按运动方式分类	6
三、按控制方式分类	7
第四节 数控机床的特点及应用范围	8
一、数控机床的特点	8
二、数控机床的应用范围	9
第五节 数控机床的发展	10
一、机床结构的发展	11
二、数控系统的发展	12
三、伺服系统执行机构的发展	13
四、自适应控制的应用	14
五、以数控机床为基础的自动化生产系统	15
第二章 数控加工的程序编制	19
第一节 程序编制的基本概念	19
一、程序编制的一般步骤与方法	19
二、程序编制有关指令代码	21
三、程序结构和格式	29
第二节 常用准备功能指令的编程方法	31
一、坐标系有关指令	31
二、快速点定位指令—G00	33
三、直线插补指令—G01	33
四、圆弧插补指令—G02, G03	33
五、暂停(延迟)指令—G04	35
六、刀具半径自动补偿指令—G41, G42, G40	35
七、刀具长度补偿(偏置)指令—G43, G44, G40	36
八、固定循环指令	36
第三节 数控车床的程序编制	37
一、数控车床的编程特点	37

二、车削固定循环程序.....	37
三、圆头车刀的编程与补偿.....	40
第四节 数控铣床的程序编制	43
一、平面及曲面加工的工艺处理.....	43
二、非圆曲线与列表曲线的数学处理.....	46
三、棱角过渡的处理.....	51
第五节 计算机零件程序编制	51
一、计算机零件编程概述.....	51
二、ISO数控语言与零件源程序.....	53
三、EXAPT工艺语言.....	68
第三章 机床计算机控制基础	71
第一节 机床数字控制的基础知识.....	71
一、数字控制的基本任务.....	71
二、计算机数控系统的计数制.....	71
三、机床数字控制系统的代码.....	75
第二节 机床数控系统的输入与输出.....	78
一、光电式读带机结构和线路原理.....	78
二、键盘.....	80
三、设备接口电路.....	81
第三节 控制运动轨迹的插补原理.....	84
一、逐点比较法.....	84
二、数字积分法.....	90
三、比较积分法.....	95
四、数字脉冲乘法器.....	99
五、各种插补方法中合成进给速度.....	101
第四节 刀具位置补偿和半径补偿.....	106
一、刀具位置补偿.....	106
二、刀具半径补偿.....	108
第五节 可编程序控制器.....	110
一、概述.....	110
二、PC的基本工作原理.....	110
三、程序编制.....	111
第四章 微型计算机数控系统	119
第一节 概述.....	119
一、计算机数控系统的构成.....	119
二、CNC系统主要特点.....	119
三、微机数控系统的结构.....	120
四、微机数控系统的软件结构.....	121
第二节 微型计算机简介.....	122
一、微型计算机原理及其结构.....	122
二、Z-80CPU介绍.....	126

三、Z-80 微处理器指令系统简介	128
四、汇编语言及其程序设计方法	132
第三节 微机数控系统常用接口及其应用	144
一、Z80—P10 平行接口	144
二、计数器/定时器电路(CTC)	148
三、串行接口电路	150
第四节 微机数控系统控制软件	152
一、插补软件	153
二、进给速度处理	161
三、数控程序输入处理	162
四、管理程序	163
五、诊断程序	163
第五节 中断在微机数控中的应用	163
一、概述	163
二、中断源	164
三、中断处理过程	164
四、中断优先权	165
五、Z-80 的中断方式	168
第六节 微机数控系统外部设备	172
一、概述	172
二、纸带阅读机和纸带代码信号输入	172
三、手摇脉冲发生器	172
四、纸带穿孔机	174
第七节 数控对微机的要求	174
一、控制系统的微机的要求	175
二、微机选择	175
第五章 数控机床的伺服系统	177
第一节 概述	177
一、常见的数控机床伺服系统	177
二、数控机床对伺服系统的要求	179
三、伺服系统的可靠性	180
第二节 常用驱动元件	180
一、步进电机	180
二、直流伺服电机	185
三、交流伺服电机驱动	192
第三节 位移测量装置	196
一、概述	196
二、光电盘与编码盘	197
三、光栅测量装置	198
四、感应同步器测量装置	201
五、磁尺测量装置	210
第四节 伺服系统机械传动部份的设计	211

一、影响伺服性能的主要因素	211
二、机械传动部份的传动比	212
三、负载计算	213
四、机电匹配	215
第六章 数控机床的结构特点	217
第一节 数控机床的结构要求	217
一、提高机床的静、动刚度	217
二、减少机床的热变形	219
三、减少运动件的摩擦和消除传动间隙	221
四、提高机床的寿命和精度保持性	223
五、减少辅助时间,改善操作性	223
第二节 数控机床主传动变速及主轴部件	224
一、主传动变速	224
二、主轴部件	227
第三节 数控机床进给运动及其传动部件	230
一、进给运动的要求	230
二、滚珠丝杠螺母副	231
三、进给系统传动齿轮间隙的消除	234
第四节 回转工作台	237
一、数控回转工作台	237
二、分度工作台	237
第五节 自动换刀装置	242
一、自动换刀装置的形式	242
二、刀库及刀具的选择方式	246
三、刀具交换装置	249
四、带刀库自动换刀系统的实例	250
第七章 CNC机床数控系统实例	262
第一节 JCS-018型立式加工中心	262
一、主要技术参数与机能	263
二、7CM系统硬件结构	266
三、7CM系统软件综述	273
四、7CM系统插补原理	283
五、刀具半径补偿(C)原理	287
六、随机换刀控制	294
七、程序编辑	297
第二节 车床微机数控系统	313
一、车床加工功能分析	313
二、微机数控车床的系统结构	317
三、微机数控车床的软件	320
四、微机数控车床硬件结构	328
主要参考资料	338

第一章 概 论

第一节 数控机床的产生

科学技术和社会生产的不断发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化是实现上述要求的最重要措施之一。它不仅能够提高产品的质量、提高生产效率,降低生产成本,还能够大大改善工人的劳动条件。

许多生产企业(例如汽车、拖拉机、家用电器等制造厂)已经采用了自动机床、组合机床和专用自动生产线。采用这种高度自动化和高效率的设备,尽管需要很大的初始投资以及较长的生产准备时间,但在大批大量的生产条件下,由于分摊在每一个工件上的费用很少,经济效益仍然是非常显著的。

但是,在机械制造业中并不是所有的产品零件都具有很大的批量,单件与小批生产的零件(批量在10~100件)约占机械加工总量的80%以上。尤其是在造船、航天、航空、机床、重型机械以及国防部门,其生产特点是加工批量小、改型频繁,零件的形状复杂而且精度要求高,采用专用化程度很高的自动化机床加工这类零件就显得很不合理,因为需要经常改装与调整设备,对于专用生产线来说,这种改装与调整甚至是不可能实现的。近年来,由于市场竞争日趋激烈,为在竞争中求得生存与发展,各生产企业不仅要提供高质量的产品,而且必须频繁地改型,缩短生产周期,以满足市场上不断变化的需要。因此,即使是大批量生产,也改变了产品长期一成不变的做法。频繁地开发新产品,使“刚性”的自动化设备在大批生产中也日益暴露其缺点。

已经使用的各类仿型加工机床部分地解决了小批量、复杂零件的加工。但在更换零件时,必须制造靠模和调整机床,不但要耗费大量的手工劳动,延长了生产准备周期,而且由于靠模误差的影响,加工零件的精度很难达到较高的要求。

为了解决上述这些问题,来满足多品种、小批量的自动化生产,迫切需要一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床。

数字控制(Numerical Control,简称NC或数控)机床就是在这样的背景下诞生与发展起来的。它极其有效地解决了上述一系列矛盾,为单件、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

数控机床就是将加工过程所需的各种操作(如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、选择刀具、供给冷却液等)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,通过控制介质(如穿孔纸带或磁带)将数字信息送入专用的或通用的计算机,计算机对输入的信息进行处理与运算,发出各种指令来控制机床的伺服系统或其它执行元件,使机床自动加工出所需要的工件。数控机床与其它自动机床的一个显著区别在于当加工对象改变时,除了重新装夹工件和更换刀具之外,只需要更换一条新的穿孔纸带或磁带,不需要

对机床作任何调整。

1952年美国帕森斯公司(Parsons)和麻省理工学院(M.I.T.)合作研制成功世界上第一台三坐标数控铣床,用它来加工直升飞机叶片轮廓检查用样板。这是一台采用专用计算机进行运算与控制的直线插补轮廓控制数控铣床,专用计算机采用电子管元件,逻辑运算与控制采用硬件联接的电路。1955年,该类机床进入实用化阶段,在复杂曲面的加工中发挥了重要作用。

我国从1958年开始研制数控机床,在研制与推广使用数控机床方面取得了一定成绩。近年来,由于引进了国外的数控系统与伺服系统的制造技术,使我国数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。目前我国已有几十家机床厂能够生产不同类型的数控机床和加工中心机床。我国经济型数控机床的研究、生产和推广工作也取得了较大的进展,它必将对我国各行业的技术改造起到了积极的推动作用。

目前,在数控技术领域中,我国和先进的工业国家之间还存在着不小的差距,但这种差距正在缩小。

随着工厂、企业技术改造的深入开展,各行各业对数控机床的需要量将会有大幅度的增长,这将有力地促进数控机床的发展。毫无疑问,数控机床必然会在我国四化建设中发挥越来越大的作用。

第二节 数控机床的基本工作原理

在数控机床上加工零件通常经过以下几个步骤:

(1)根据加工零件的图纸与工艺方案,用规定的代码和程序格式编写程序单。

(2)根据程序单,制作穿孔带。

(3)通过阅读装置将穿孔带的代码逐段输入到数控装置。也可以不用穿孔带而用手动数据输入方式(MDI方式),用键盘直接将数控指令或设定参数送入数控装置。

(4)数控装置将代码进行译码,寄存和运算之后,向机床各个坐标的伺服机构发出讯号,以驱动机床的各运动部件,并控制其它必要的辅助操作,如变速、开关冷却液、松夹工件及刀具转位等,最后加工出合格的零件。

因此,数控机床通常由以下几部分组成:穿孔带或磁带等控制介质,数控装置,伺服系统和机床(如图1-1)。图中实线部份表示开环系统,如果加上虚线部份的测量装置,并反馈到数控装置,就构成了闭环系统。以下分别就各组成部分的基本工作原理作一简要说明。

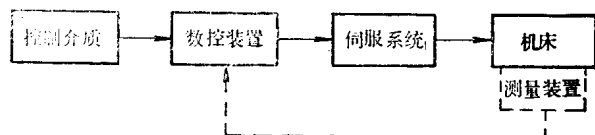


图 1-1 数控机床的组成

一、控制介质

要对数控机床进行控制,就必须在人与机床之间建立某种联系,这种联系的中间媒介物即称为控制介质,也可称为信息载体。在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位移信息。控制介质可以是多种形式的，它随着数控装置的类型不同而异。常用的有穿孔带、穿孔卡和磁带。目前数控机床上使用最为普遍的是八单位标准穿孔带。它可以制成各种颜色的纸带、塑料带和金属带，目前使用最广的是黑色纸带。它的尺寸如图1-2所示。每一行共有九个孔，其中 $\phi 1.17$ 的小孔为同步孔。

信息是以代码的形式按规定的格式存储在穿孔纸带上，所谓代码就是由一些小孔按一定规律排列的二进制图案，每一行代码分别表示一个十进制数字或一个字母或一个符号。目前国际上通常使用 EIA (Electronic Industries Association) 代码和 ISO (International Organization for Standardization) 代码。而我国规定 ISO 代码为标准代码。

二、纸带阅读装置

纸带阅读装置也称为读带机，它把纸带上的代码逐行地转换为数控装置可以识别和处理的电信号。纸带阅读装置通常有机械式和光电式两大类，它们都能判别纸带的相应位置是否有孔，并把孔的排列图案转换为电信号送入数控装置。机械式阅读装置的纸带输送速度较低，而且容易发生触点接触不良，直接影响阅读的可靠性，因此近年来已被光电阅读机所代替。

光电式阅读装置(图1-3)采用红外光敏元件，具有较高的反应速度和抗干扰性能，在穿孔纸带输送过程中没有触点的直接摩擦，因此可以达到较高的阅读速度(200行/s)，并能延长纸带的使用寿命。

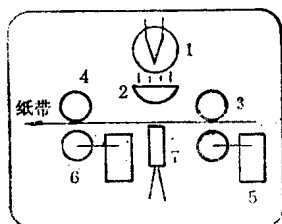


图 1-3 光电式阅读装置

进行译码与寄存。当纸带上的代码出现程序段的结束代码(通常用CR或EOB表示)时，制动电磁铁5吸合而启动电磁铁6复位，将纸带压向制动柱3，实现纸带的快速制动。

这种光电阅读装置采用电磁铁压紧纸带，进行输送或制动，排除了电机及主动轮4惯性的影响，使纸带既能快速启动又能准确停止。

由于穿孔纸带每一行孔表示一个代码，要求在同一瞬间内将同一行代码同时读入。为此用一个比代码孔孔径略小的同步孔发出“读入”讯号，以满足上述要求。即使穿孔纸带以很高的速度通过光敏元件，也不致产生误读。

三、数控装置

数控装置是数控机床的中心环节，通常由输入装置、控制器、运算器和输出装置四大部分组成。如图1-4所示。图中虚线内包含的部分为数控装置。

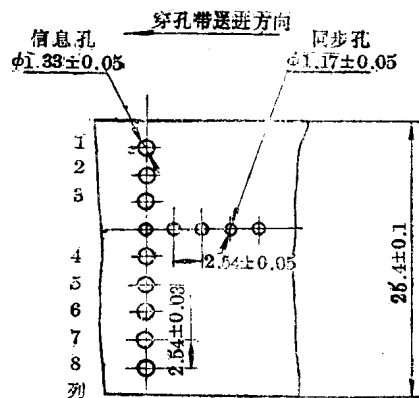


图 1-2 八单位标准穿孔带

数控机床加工以前将穿孔纸带放入光电阅读装置，启动数控装置之后，数控装置的控制单元发生指令使阅读装置启动。首先电磁铁6吸合，并将压轮压向旋转的主动轮4，穿孔纸带迅速从光源1，透镜2和9只光敏元件7中间通过，把纸带上的代码转换为电脉冲，经过放大与整形，再送入数控装置的输入装置

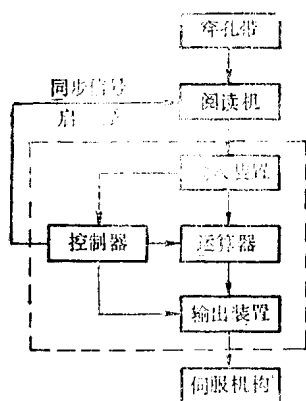


图 1-4 数控装置

输入装置接受由穿孔带阅读器输出的代码, 经过识别与译码之后分别输送到各相应的寄存器, 这些指令与数据将作为控制与运算的原始依据。

控制器接受输入装置的指令, 根据指令控制运算器与输出装置, 以实现机床的各种操作(例如控制工作台沿着某一座标轴的运动, 主轴变速或冷却液的开关等)以及控制整机的工作循环(例如控制阅读机的启动、停止, 控制运算器的运算, 控制输出讯号等)。

运算器接受控制器的指令, 将输入装置送来的数据进行某种运算, 并不断向输出装置送出运算结果, 使伺服系统执行所要求的运动。对于加工复杂零件的轮廓控制系统, 运算器的重要功能是进行插补运算, 所谓插补就是将每程序段输入的工件轮廓上的某起始点和终点的坐标数据送入运算器, 经过运算之后在起点与终点之间进行“数据密化”, 并按控制器的指令向输出装置送出计算结果。

输出装置根据控制器的指令将运算器送来的计算结果输送到伺服系统, 经过功率放大, 驱动相应的坐标轴, 使机床完成刀具相对工件的运动。

目前均采用微型计算机作为数控装置。微型计算机的中央处理单元(CPU)又称为微处理器, 是一种大规模集成电路, 它将运算器、控制器等集成在一块集成电路芯片中。在微型计算机中, 输入与输出电路也采用大规模集成电路, 即所谓I/O接口。微型计算机拥有较大容量的寄存器, 并采用高密度的存贮介质, 如半导体存贮器和磁泡存贮器等。存贮器可分为只读存贮器(ROM)和随机存取存贮器(RAM)两种类型, 前者用于存放系统的控制程序, 后者存放系统运行时的工作参数或用户的零件加工程序。

微型计算机数控装置的工作原理与上述硬件数控装置的工作原理基本相同, 只是前者采用通用的硬件, 不同的功能通过改变软件来实现, 因此更为灵活与经济。现将微机数控装置的工作过程简单介绍如下:

1. 数控装置开机初始化 在接通电源的一瞬间, 先对整个数控装置进行一系列的处理, 为开机后正常工作做好准备。

2. 数控程序的输入 在光电阅读器控制程序的控制下, 由光电阅读器把纸带上的内容读入存贮器。也可用手动数据输入方式(MDI)输入程序, 即在键盘监控程序的控制下, 由工人操作面板上的键盘, 把数控指令逐条输入存贮器中。

3. 启动机床 数控程序输入完毕后, 即可按下操作面板上的启动按钮, 计算机转入“启动”状态。

4. 数控指令的译码处理 机床启动后, 在控制程序的控制下, 从存贮器中逐段地读取被加工零件的程序, 并将它们送入缓冲工作区。缓冲区的大小为存放一个程序段的容量。在这里对指令逐条进行译码处理和语法检查。若语法无错, 则根据指令的功能, 将它们分组存放在缓冲区的专用单元中。

5. 刀具轨迹计算 一个程序段的指令全部处理完以后, 就要根据工件所在的坐标系和各轴的坐标值、刀具号和刀具半径等计算刀具轨迹, 即刀具中心沿各坐标轴移动的增量值。

6. 插补运算 控制系统根据已知的沿各坐标轴移动的增量值进行插补运算,在计算过程中不断地将计算所得的数字化进给量经过数/模转换(D/A转换)后输送给各坐标轴的伺服系统,使它们协调地移动机床的工作台或拖板,加工出需要的零件形状。

插补计算的方法有逐点比较法、直接函数计算、矢量法、比较积分法、数字微分分析器(DDA)以及脉冲—速率乘法器等。随着大规模集成电路的发展,很多新型的数控装置又从软件插补转变为采用硬件插补,使中央处理单元(CPU)有更多的时间来处理其它的工作,增强了数控装置的功能。

7. 位置控制 在闭环控制系统中,数控装置还必须把各坐标轴的位移指令值与反馈回来的实际位置进行比较,通过软件进行位置调整,以便向伺服系统输出实际需要的进给量。在进行位置控制时,为了提高精度,还可以利用软件进行螺距误差补偿和齿隙补偿等。

四、伺服系统

伺服系统接受来自数控装置的指令信息,严格按照指令信息的要求带动机床的移动部件,以加工出符合图纸要求的零件。由于它是数控机床的最后环节,它的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度,表面质量与生产率的重要因素之一。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。目前大都采用直流伺服电机或交流伺服电机作为执行机构,这些电机均带有光电编码器等位置测量元件和测速发电机等速度测量元件。各种执行机构由相应的驱动装置来驱动。

数控机床的伺服系统按其控制方式分为开环伺服系统,半闭环伺服系统和闭环控制系统三大类。各类数控机床按照它们对加工精度、生产率和成本的要求可以选用相应的伺服系统。

五、机床

与传统的手动机床相比,数控机床的外部造型、整体布局,传动系统与刀具系统的部件结构以及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点。因此,必须建立数控机床设计的新概念。

第三节 数控机床的分类

数控机床通常可以由以下三种不同的角度进行分类。

一、按工艺用途分类

最普通的数控机床是钻床、车床、铣床、镗床、磨床与齿轮加工机床等。尽管这些机床在加工工艺方面存在着很大差别,具体的控制方式也各不相同,但它们都适用于单件小批量零件的加工,并有很好的精度一致性,较高的生产率和自动化程度。除了切削加工的数控机床以外,数控技术也大量用于压力机,冲床、弯管机、折弯机、电火花切割机和火焰切割机等金属成型机床与特种加工机床上。近年来在非加工设备中也大量采用了数控技术,其中较常见的有装配机,多坐标测量机,自动绘图机和工业机器人等。

加工中心机床是带有刀库和自动换刀装置的数控镗铣床,它的出现打破了一台机床只进行一种工艺加工的传统概念。以铣削加工中心为例,它在数控铣床上增加了一个容量较大的刀库(一般为20—120把)和自动换刀装置,工件在一次装夹后,可以对其大部分加工面进行铣、镗、钻、扩、铰及攻丝等多工序加工。加工中心机床大多以镗铣为主,主要用于加工箱

体零件或棱形零件。近来也出现了为数不少的车削加工中心,几乎可以完成回转体零件的所有加工工序。

加工中心机床可以有效地避免由于多次安装造成的定位误差,减少了机床的台数和占地面积,大大提高了生产率和加工自动化程度。

二、按运动方式分类

1. 点位控制系统

点位数控机床的特点是机床移动部件只能够实现由一个位置到另一个位置的精确移动,在移动和定位过程中不进行任何加工,机床移动部件的运动路线并不影响加工的孔距精度。数控系统只需控制行程终点的坐标值,而不控制点与点之间的运动轨迹,因此几个坐标轴之间的运动不需要有任何联系。为了尽可能地减少移动部件的运动与定位时间,通常先以快速移动到接近终点坐标,然后以低速准确移动到定位点,以保证良好的定位精度。这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机以及数控弯管机等。使用数控钻镗床加工零件可以节省大量的钻模板,而且能够达到较高的精度。图1-5为数控钻床的工作原理图。

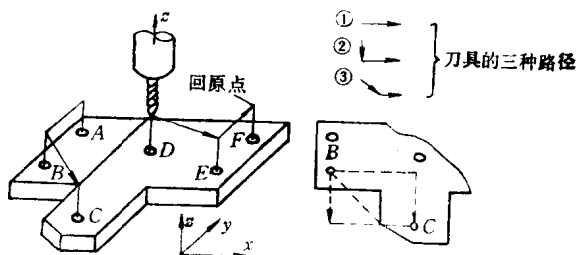


图 1-5 数控钻床的工作原理图

2. 点位直线控制系统

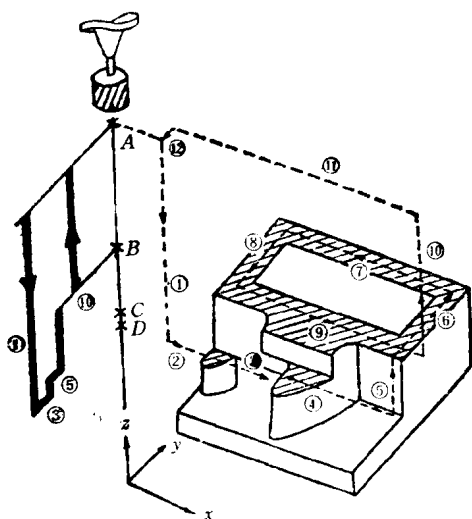


图 1-6 点位直线控制系统的加工原理图

点位直线控制数控机床的特点是机床移动部件不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确移动,而且能够实现平行于坐标轴的直线切削加工运动。在数控镗床上使用点位直线控制系统,扩大了镗床的工艺范围,能够在一次安装中对箱体的平面与台阶进行铣削,然后再进行钻孔、镗孔加工,这样可以有效地提高加工精度和生产率。图1-6是点位直线控制系统的加工原理图。由于它只能作单坐标切削进给运动,因此不能加工比较复杂的平面与轮廓。

3. 轮廓控制系统

轮廓控制数控机床的特点是能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制,它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标,而

且要控制整个加工过程每一点的速度与位移量,也就是说,要控制移动轨迹,将工件加工成一定的轮廓形状。图1-7是两坐标轮廓控制系统的工作原理图,这种系统要比点位系统更为复杂,在加工过程中需要不断进行插补运算,然后进行相应的速度与位移控制。

数控铣床、数控车床和数控磨床是典型的轮廓控制数控机床。它们代替了所有类型的仿型加工,提高了精度和生产率,并缩短了生产准备时间。数控火焰切割机、数控线切割机及数控绘图机等也都采用轮廓控制系统。

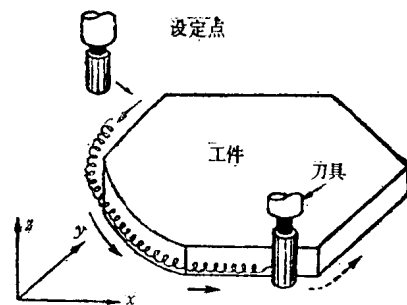


图 1-7 两坐标轮廓控制系统的工作原理图

三、按控制方式分类

1. 开环控制系统

开环控制系统就是指不带反馈装置的控制系统。通常使用功率步进电机或电液脉冲马达作为执行机构。数控装置输出的脉冲通过环形分配器和驱动电路,不断改变供电状态,使步进电机转过相应的步距角,再经过减速齿轮带动丝杆旋转,最后转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数所决定的。

开环控制系统具有结构简单,成本较低等优点。但是系统对移动部件的实际位移量是不进行检测的,也不能进行误差校正,因此,步进电机的步距误差,齿轮与丝杆等的传动链误差都将反映到被加工零件的精度中去。目前开环控制系统已不能满足数控机床日益提高的精度要求。尽管如此,开环控制系统在数控机床的发展过程中起到过相当重要的作用。

2. 半闭环控制系统

半闭环控制系统是在开环系统的丝杆上装有角位移检测装置(如感应同步器和光电编码器等),通过检测丝杆的转角间接地检测移动部件的位移,然后反馈至数控装置中。由于角位移检测装置比直线位移检测装置的结构简单,安装方便,因此配有精密滚珠丝杆和齿轮的半闭环系统正在被广泛地采用。由于惯性较大的机床移动部件不包括在闭环之内,系统的调试比较方便,并有很好的稳定性。目前已经逐步将角位移检测装置和伺服电机设计成一个部件,使系统变得更加简单。

3. 闭环控制系统

闭环控制系统是在机床移动部件位置上直接装有直线位置检测装置,将测量到的实际位移值反馈到数控装置中,与输入的指令位移值进行比较,用差值进行控制,使移动部件按照实际需要的位移量运动,最终实现移动部件的精确定位。从理论上说,闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的精度。而与传动链的误差无关,显然其控制精度将超过半闭环系统,这就为进一步提高机床的加工精度创造了条件。

闭环控制系统对机床的结构以及传动链仍然提出比较严格的要求,传动系统的刚性不足及间隙,导轨的爬行等各种因素将增加调试的困难,甚至使伺服系统产生振荡。

第四节 数控机床的特点及应用范围

一、数控机床的特点

1. 对加工对象改型的适应性强

由于在数控机床上改变加工零件时,只需要重新编制程序,更换一条新的穿孔纸带或者手动输入程序就能实现对零件的加工。它不同于传统的机床,不需要制造、更换许多工具、夹具和模具,更不需要重新调整机床。因此数控机床可以很快速地从加工一种零件转变为加工另一种零件,这就为单件、小批以及试制新产品提供了极大的便利。它缩短了生产准备周期,而且节省了大量工艺装备费用。对于使用点位控制系统的多孔零件的加工,当需要修改设计,改变其中某些孔的位置和尺寸时,只需局部修改增删穿孔带的相应部分,花费很短的生产准备时间就可以把修改后的新产品制造出来,为产品结构的不断更新提供了有利条件。

2. 加工精度高

数控机床是按以数字形式给出的指令进行加工的,由于目前数控装置的脉冲当量(即每输出一个脉冲后数控机床移动部件相应的移动量)普遍达到了 0.001mm ,而且进给传动链的反向间隙与丝杆螺距误差等均可由数控装置进行补偿,因此,数控机床能达到比较高的加工精度。对于中、小型数控机床,定位精度普遍可达到 0.03mm ,重复定位精度为 0.01mm 。因为数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,而且提高了它的制造精度,特别是数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

在采用点位控制系统的钻孔加工中,由于不需要使用钻模板与钻套,钻模板的坐标误差造成的影响也不复存在。又由于加工中排除切削的条件得以改善,可以进行有效地冷却,被加工孔的精度及表面质量都有所提高。对于复杂零件的轮廓加工,在编制程序时已考虑到对进给速度的控制,可以做到在曲率变化时,刀具沿轮廓的切向进给速度基本不变,被加工表面就可获得较高的精度和表面质量。

3. 加工生产率高

零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。数控机床能够有效地减少这两部分时间,因而加工生产率比一般机床高得多。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大,每一道工序都能选用最有利的切削用量,良好的结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削,有效地节省了机动时间。数控机床移动部件的快速移动和定位均采用了加速与减速措施,因而选用了很高的空行程运动速度,消耗在快进、快退和定位的时间要比一般机床的少得多。

数控机床在更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,而零件又都安装在简单的定位夹紧装置中,用于停机进行零件安装调整的时间可以节省不少。

数控机床的加工精度比较稳定,在穿孔带经过校验以及刀具完好的情况下,一般只作首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验。因而可以减少停机检验的时间。因此数控机床的利用系数比一般机床的高得多。

在使用带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心机床时,在一台机床上实现了多道工

序的连续加工,减少了半成品的周转时间,生产效率的提高就更为明显。

4. 减轻操作者的劳动强度

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了安放穿孔带或操作键盘,装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均可大为减轻,劳动条件也得到相应的改善。例如电子工业中印刷电路板的钻孔,如果在台式钻床上进行手动加工,单调频繁的手工操作很容易造成工人的视觉的极度疲劳,从而产生不少差错,因此通常很难进行一小时以上的连续操作。当采用高速数控钻床加工时,就能根本地改善操作者的劳动条件。

5. 良好的经济效益

使用数控机床加工零件时,分摊在每个零件上的设备费用是较昂贵的。但在单件、小批生产情况下,可以节省许多其它方面的费用,因此能够获得良好的经济效益。

使用数控机床,在加工之前节省了划线工时,在零件安装到机床上之后可以减少调整、加工和检验时间,减少了直接生产费用。另一方面,由于数控机床加工零件不需要手工制作模型,凸轮、钻模板及其它工夹具,节省了工艺装备费用。还由于数控机床的加工精度稳定,减少了废品率,使生产成本进一步下降。

6. 有利于生产管理的现代化

用数控机床加工零件,能准确地计算零件的加工工时,并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作。这些特点都有利于使生产管理现代化。

数控机床使用数字信息与标准代码输入,最适宜于与数字计算机联系,目前已成为计算机辅助设计、制造及管理一体化的基础。

二、数控机床的应用范围

数控机床确实存在一般机床所不具备的许多优点,但是这些优点都是以一定条件为前提的。数控机床的应用范围正在不断扩大,但它并不能完全代替其它类型的机床,也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床通常最适合加工具有以下特点的零件:

1. 多品种小批量生产的零件

图1-8表示了三类机床的零件加工批量数与综合费用的关系。从图中看出零件加工批量的增大对于选用数控机床是不利的。原因在于数控机床设备费用高昂,与大批量生产采用的专用机床相比其效率还不够高的缘故。通常,采用数控机床加工的合理生产批量在10~100件之间。

2. 结构比较复杂的零件

图1-9表示了三类机床的被加工零件复杂程度与零件批量大小的关系。通常数控机床适宜于加工结构比较复杂,在非数控机床上加工时需要有昂贵的工艺装备(工具、夹具和模具)的零件。

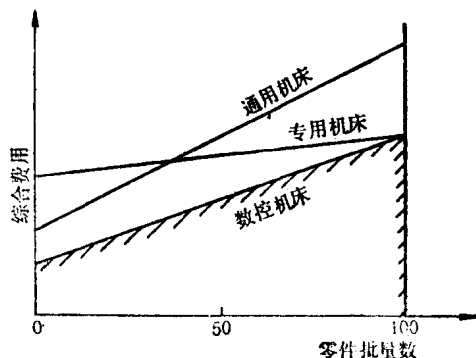


图 1-8 零件加工批量数与综合费用的关系

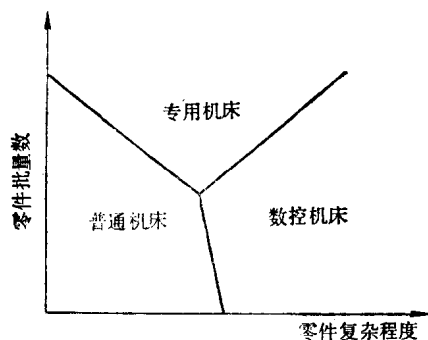


图 1-9 零件复杂程度与批量数的关系

3. 需要频繁改型的零件

在国防与尖端工业部门中,零件频繁改型的必要性是众所周知的。在民用工业部门中引入了竞争机制,市场上销售的产品也必须不断更新,这就为数控机床提供了用户。它节省了大量的工艺装备费用,使综合费用下降。

4. 价值昂贵,不允许报废的关键零件

5. 需要最少生产周期的急需零件

广泛推广数控机床的最大障碍是设备的初始投资大,由于系统本身的复杂性,又增加了维修费用。如果缺少完善的售后服务,往往不能及时排除设备故障。将会在一定程度上影响机床的利用率,这些因素都会增加综合生产费用。

数控机床存在的另一个问题是程序编制。当数控机床数量不多,加工零件的形状又不甚复杂的情况下,可以用手工或者计算机辅助编制程序,制作穿孔纸带。手工编程不仅速度慢,而且容易出现差错。普遍使用数控机床之后,加工的零件越来越多,尤其是三坐标或更多坐标的曲面,手工编制程序就会更加困难。因此必须使用自动编程系统。采用自动编程技术,一般需要配备专门的程序设计人员,并对穿孔纸带进行校验与试切削验证。这些措施将会增加生产费用。

考虑到以上所述的种种原因,在决定选用数控机床加工时,需要进行反复对比和仔细地经济分析,使数控机床发挥它的最好经济效益。

第五节 数控机床的发展

数控机床是综合应用了微电子、计算机、自动控制、自动检测以及精密机械等技术的最新成果而发展起来的完全新型的机床,它标志着机床工业进入了一个新的阶段。

三十年来,数控机床在品种、数量、加工范围与加工精度等方面有了惊人的发展。大规模集成电路以及微型计算机的出现使数控系统的价格逐年下降。并大幅度地提高了系统的精度与可靠性。

目前,在工业发达国家中,无论在国防工业或民用工业,数控机床的应用均已相当普遍。数控机床已不再局限于用来加工单件、小批以及形状复杂的零件。某些工厂为了提高加工精度、降低成本、缩短加工周期和减轻劳动强度等目的。在中等批量生产中也应用数控机床,即使是批量在5000件以下的简单零件,使用数控机床加工也能得到很好的经济效益。现以法国为例,从1974年到1984年的十年内,数控机床拥有量从3200台增加到31000台,共增长了近十倍,平均年增率高达25.5%。在国际上数控机床的产量也在不断提高。近年来,日本、美国和联邦德国已成为世界上最大的数控机床生产国。1982年日本的数控机床产值占总产值的比率为53.9%,美国则为37.4%,联邦德国为29.7%;到1985年日本数控机床产值占总产值的比率增长到66.9%,美国增长到38.5%,联邦德国增长到47.7%。

数控机床的发展不仅表现为数量的迅速增长,而且在质量与性能上也有显著提高。与