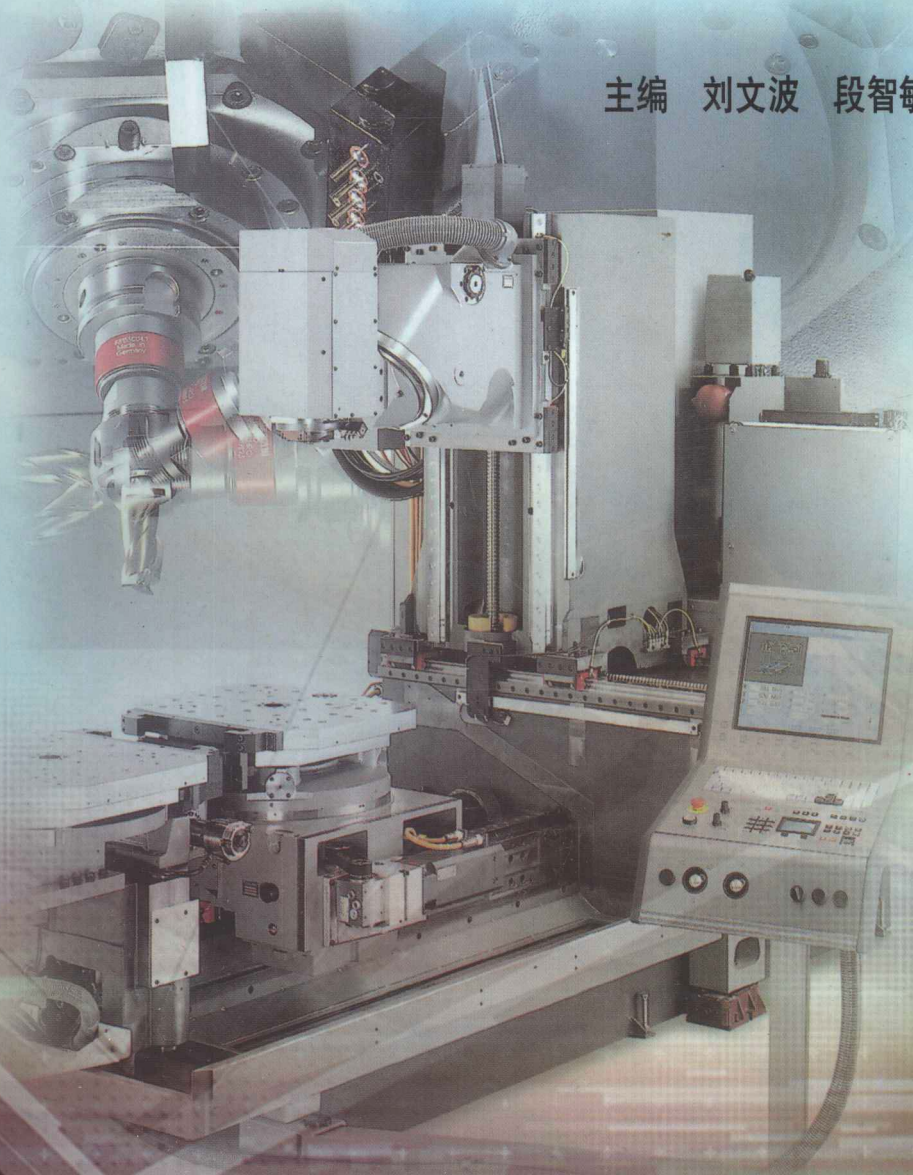


# 数控机床结构、原理与编程技术

主编 刘文波 段智敏 陈白宁



NEUPRESS  
东北大学出版社

# 数控机床结构、原理与编程技术



# 数控机床结构、原理与编程技术

主编 刘文波 段智敏 陈白宁

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 刘文波 段智敏 陈白宁 2005

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床结构、原理与编程技术 / 刘文波, 段智敏, 陈白宁主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2005.8

ISBN 7-81102-183-8

I. 数… II. ①刘… ②段… ③陈… III. 数控机床—结构; 数控机床—理论; 数控机床—程序设计 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 089591 号

---

出版者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印刷者: 沈阳市第六印刷厂

发行者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 20.625

字 数: 514 千字

出版时间: 2005 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2005 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000 册

责任编辑: 任彦斌

封面设计: 唐敏智

责任校对: 李 叶

责任出版: 秦 力

---

定 价: 30.00 元

## 前 言

机床数控结构、原理及编程技术是微电子技术、计算机技术、检测技术、自动控制技术与机械制造技术相结合的机电一体化高新技术，属现代制造技术领域。自 20 世纪 50 年代第一台数控机床问世以来，数控机床与数控加工技术经历了半个世纪的发展历程。实践表明，采用数控技术可以提高零件的加工质量（包括尺寸精度、形状精度、位置精度及表面质量等），缩短生产周期，改善劳动条件，将机械加工装备的功能、质量、可靠性提高到一个新水平，从而使机械制造行业的产品结构、生产组织、生产方式、生产管理过程产生深刻变化，为机械制造业带来一次技术革命。

本书根据“机械设计制造及自动化”专业的课程设置要求和“数控机床原理、结构及编程技术”教学大纲，并在原“机床数控技术”与“数控原理与程序设计”讲义的基础上编写而成。全书共 9 章，主要内容有：数控机床结构，数控加工原理，数控系统，数控加工程序设计，典型系统数控机床使用方法，数控机床在现代制造技术领域中的应用等。其中第 1 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章由刘文波编写；第 2 章、第 9 章由陈白宁编写；第 3 章、第 4 章由段智敏编写；第 8 章由许立福编写。全书由刘文波统稿，由哈尔滨工业大学王广林教授主审。

本书在编写过程中，李康举、李令奇、王维浩、杨华、齐晓轩同志也参加了部分工作，在此，对上述同志表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间比较仓促，书中难免有不妥乃至错误之处，恳请读者不吝指正。

编 者  
2005 年 5 月

# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 数控机床的基本知识 .....	1
1.1.1 数控机床的概念 .....	1
1.1.2 数控机床的组成 .....	1
1.1.3 数控机床的轨迹控制原理 .....	3
1.1.4 数控机床的工作过程 .....	4
1.1.5 数控机床的特点及应用范围 .....	4
1.2 数控机床的分类 .....	5
1.2.1 按工艺用途分类 .....	5
1.2.2 按刀具与工件相对运动轨迹控制方式分类 .....	6
1.2.3 按伺服系统的控制方式分类 .....	7
1.2.4 按数控装置分类 .....	8
1.2.5 按数控功能水平分类 .....	9
1.3 典型数控机床简介 .....	9
1.3.1 数控车床 .....	9
1.3.2 数控铣床 .....	11
1.3.3 数控加工中心机床 .....	12
1.3.4 柔性制造单元 (FMC) .....	12
1.3.5 数控钻床 .....	15
1.3.6 数控磨床 .....	15
1.3.7 数控线切割机床 .....	17
1.3.8 数控电火花机床 .....	17
1.4 数控机床的发展概况 .....	18
1.4.1 数控机床的产生及发展过程 .....	18
1.4.2 数控机床的发展趋势 .....	18
1.4.3 我国数控机床的发展概况 .....	20
<b>第2章 数控机床的机械结构</b> .....	<b>22</b>
2.1 数控机床的主传动系统及其主轴部件 .....	22
2.1.1 数控机床对主传动的要求 .....	22
2.1.2 数控机床主传动的特点 .....	22
2.1.3 数控机床主传动的配置方式及变速机构 .....	22
2.1.4 数控机床主轴轴承的配置形式 .....	24

2.1.5 数控机床的主轴部件·····	25
2.2 数控机床进给系统的机械传动·····	29
2.2.1 对进给传动的要求·····	30
2.2.2 进给传动装置·····	30
2.2.3 进给传动常用的消隙结构·····	34
2.3 数控机床的回转工作台·····	37
2.3.1 回转工作台的种类·····	37
2.3.2 回转工作台的主要参数·····	38
2.3.3 回转工作台的结构形式·····	39
2.4 数控机床的自动换刀装置·····	42
2.4.1 自动换刀装置的类型·····	42
2.4.2 不带刀库的自动换刀装置·····	43
2.4.3 带刀库的自动换刀装置·····	47
2.4.4 自动换刀机械手·····	56
<b>第3章 数字控制原理</b> ·····	<b>62</b>
3.1 概 述·····	62
3.2 插补原理·····	62
3.2.1 脉冲增量插补·····	62
3.2.2 数字增量插补·····	76
3.3 刀具补偿原理·····	79
3.3.1 刀具补偿计算的意义·····	79
3.3.2 刀具长度补偿·····	79
3.3.3 刀具半径补偿·····	80
3.4 速度控制·····	86
3.4.1 数据采样插补法速度处理·····	86
3.4.2 脉冲增量插补法速度处理·····	88
<b>第4章 机床数控及伺服系统</b> ·····	<b>89</b>
4.1 数控机床计算机数字控制装置·····	89
4.1.1 概 述·····	89
4.1.2 计算机数字控制装置的硬件结构·····	93
4.1.3 计算机数字控制装置的软件结构·····	97
4.2 经济型数控系统·····	100
4.2.1 经济型数控系统概述·····	100
4.2.2 步进电机控制系统·····	103
4.2.3 普通机床的数控改造·····	112
4.3 中高档数控及伺服系统·····	115
4.3.1 位置检测·····	115
4.3.2 中高档数控系统概述·····	128

4.3.3	数控系统的输入/输出接口	134
4.3.4	进给运动及其控制	135
4.3.5	进给位置控制	143
4.3.6	主轴驱动及其控制	145
4.3.7	可编程控制器 (PLC) 在数控机床上的应用	151
<b>第 5 章</b>	<b>数控加工编程基础</b>	<b>163</b>
5.1	数控加工编程的一般知识	163
5.1.1	数控机床加工与普通机床加工过程的区别	163
5.1.2	数控加工编程的基本知识	163
5.1.3	手工编程与自动编程	170
5.2	数控加工工艺基础	170
5.2.1	机床夹具设计原理	171
5.2.2	零件加工工艺规程设计	179
5.2.3	数控加工工艺分析的一般步骤与方法	189
<b>第 6 章</b>	<b>手工编程</b>	<b>198</b>
6.1	手工编程的概念	198
6.1.1	手工编程概念	198
6.1.2	编程时使用的有关术语	198
6.2	手工编程的方法与步骤	201
6.2.1	工艺设计	201
6.2.2	加工起点的设定	202
6.2.3	数值计算	202
6.2.4	编写程序单	206
6.2.5	制作穿孔带	206
6.2.6	校验数控带	206
6.3	程序的组成及各种功能意义	206
6.3.1	程序的组成	206
6.3.2	准备功能的含义	208
6.4	子程序	217
6.4.1	子程序的概念	217
6.4.2	使用子程序的注意事项	218
6.5	手工编程举例	219
<b>第 7 章</b>	<b>自动编程</b>	<b>224</b>
7.1	自动编程的概念	224
7.2	MINIAPT 编程语言	225
7.2.1	MINIAPT 语言格式	225
7.2.2	几何图形定义语句	226



7.2.3	运动定义语句 .....	230
7.2.4	STOP 语句 .....	231
7.2.5	END 语句 .....	231
7.2.6	FINI 语句 .....	232
7.2.7	MINIAPT 编程实例 .....	232
7.3	FAPT 编程语言 .....	233
7.3.1	基本规则 .....	233
7.3.2	变量定义语句 .....	235
7.3.3	几何图形定义语句 .....	237
7.3.4	运动定义语句 .....	243
7.3.5	数控指令数据语句 .....	248
7.3.6	辅助语句 .....	249
7.3.7	其他指令语句 .....	249
7.3.8	编写程序的基本格式 .....	251
7.3.9	程序举例 .....	252
7.4	FAPT TURN 编程语言 .....	256
7.4.1	车刀定义语句 .....	257
7.4.2	车削运动语句 .....	258
7.4.3	切削加工定义 .....	258
7.4.4	车削加工程序举例 .....	259
<b>第 8 章</b>	<b>数控机床的使用 .....</b>	<b>262</b>
8.1	西门子 810D 数控系统操作使用方法 .....	262
8.1.1	数控系统操作面板及开机步骤 .....	262
8.1.2	用户图形界面的使用 .....	266
8.1.3	数控加工中心基本操作 .....	267
8.1.4	数控程序的编辑 .....	269
8.1.5	程序管理 .....	271
8.1.6	自动加工方式 .....	272
8.2	FANUC 0 M 数控铣床的操作 .....	275
8.2.1	系统操作面板 .....	275
8.2.2	机床的手动操作 .....	277
8.2.3	程序的自动运行 .....	278
8.2.4	程序的建立与编辑 .....	279
8.2.5	数据的设置 .....	280
<b>第 9 章</b>	<b>现代自动化制造技术 .....</b>	<b>282</b>
9.1	概 述 .....	282
9.2	柔性制造单元 (FMC) .....	282
9.2.1	FMC 的组成 .....	282

9.2.2 FMC 内托盘的运输和自动托盘交换 (APC) 系统 .....	284
9.2.3 FMC 的计算机控制系统 .....	285
9.2.4 工业机器人 .....	289
9.3 柔性制造系统 (FMS) .....	292
9.3.1 FMS 的主要特征与组成 .....	292
9.3.2 FMS 的集成 .....	298
9.3.3 FMS 的物流系统 .....	299
9.3.4 FMS 中的刀具管理系统 .....	307
9.3.5 FMS 的多级控制系统 .....	312
9.3.6 FMS 的信息流 .....	315
9.4 计算机集成制造系统 (CIMS) .....	318
<b>参考文献</b> .....	<b>320</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 数控机床的基本知识

### 1.1.1 数控机床的概念

数字控制(Numerical Control—NC)简称数控,它是用数字化信号对设备运行及其加工过程进行控制的一种自动控制技术。数字控制是相对于模拟控制而言的。模拟控制系统中的控制信息是模拟量,而数字控制系统中的控制信息是数字量。

数字控制系统的优点在于:

- ①可用不同的字长表示不同精度的信息,表达信息准确。
- ②可进行逻辑运算、数学运算,可进行复杂的信息处理。
- ③由于有逻辑处理功能,可根据不同的指令进行不同方式的信息处理,从而可用软件来改变信息处理的方式或过程,而不用改动电路或机械机构,使机械设备具有柔性。

数字控制系统可广泛用于各类机械设备的轨迹控制和开关量控制,如机床、绘图机、测量机、工业机器人等。可以说,机床数字控制技术就是以数字化的信息实现机床控制的一门技术,采用了数控技术或装备了数控系统的机床就是数控机床。

### 1.1.2 数控机床的组成

数控机床的组成如图 1-1 所示。开环控制的数控机床由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体组成。闭环控制的数控机床是在上述基础上增加一套测量装置构成的。

#### (1)控制介质

数控机床工作时,无需工人手动操作控制机床工作,而是自动执行操作者的加工意图,从而完成加工任务。因此,必须在人和数控机床之间建立某种联系,将操作者的加工意图传达给数控机床,这种联系的媒介物称之为控制介质,也称为程序介质、输入介质或信息载体。

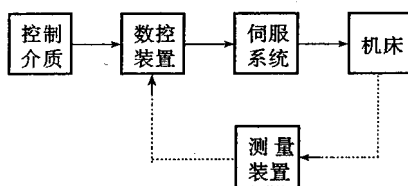


图 1-1 数控机床的组成

控制介质有多种形式,随数控装置的类型不同而异。常用的有穿孔带、穿孔卡、磁带、软磁盘等。目前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,应用最广的是黑色纸带。其宽度为 25.4mm,厚 0.108mm,每行除了必须有一个  $\Phi 1.17\text{mm}$  的同步孔外,最多可以有 8 个  $\Phi 1.33\text{mm}$  的信息孔。

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,它是数控系统用来指挥和控制机床进行加工的惟一指令信息。信息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(信息孔)按一定规律排列的二进制图案,每一个代码代表一个十进制数或一个字母或一个符号。目前国际上通常使用 EIA(美国电子工业协

会)代码和 ISO(国际标准化组织)代码。我国规定 ISO 代码为标准代码。

### (2)数控装置

数控装置是数控机床的中枢,在普通数控机床中一般由输入装置、控制器、运算器和输出装置组成,如图 1-2 所示。图中虚线内包含的部分为数控装置。

输入装置接受由穿孔带阅读机输出的代码,经过识别和译码后送到相应的寄存器,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(如控制工作台沿着某一坐标轴的运动,主轴变速或冷却液的开关等)以及控制整机的工作循环(如控制阅读机的启动、停止,控制运算器的运算,控制输出信号等)。

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和终点之间进行“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,在数控机床中应用较多的是以计算机为数控装置。由于计算机本身含有运算器、控制器等上述单元,因此,用一台计算机即可完成上述硬件数控装置的功能,其工作原理与上述硬件数控装置的工作原理基本相同。

### (3)伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的指令信息(脉冲信号)转换为机床移动部件的运动,使工作台(或溜板)精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动,最后加工出符合图纸要求的零件。相对于每个脉冲信号,机床移动部件的位移量叫做脉冲当量(用  $\delta$  来表示)。常用的脉冲当量为 0.01mm/脉冲、0.005mm/脉冲和 0.001mm/脉冲。脉冲当量越小,加工精度越高。由于数控装置可以以足够高的速度和精度进行计算并发出脉冲信号,关键在于伺服系统能从多高的速度和精度去响应执行,所以伺服系统的伺服精度和动态响应是影响数控机床加工精度、表面质量及生产率的重要因素之一。

伺服系统由伺服驱动电路和执行元件两大部分组成。伺服驱动电路将数控装置输出的微弱电信号(5V 左右,毫安级)放大成强电的驱动信号(几十、上百伏,安培级)去驱动执行元件。执行元件主要有功率步进电动机、电液脉冲马达、直流伺服电动机和交流伺服电动机等,其作用是将电控信号的变化转换成电动机输出轴的角速度和角位移的变化,从而带动移动部件作进给运动。

### (4)测量反馈装置

对于设计完善的数控机床,提高其加工精度和定位精度的重要途径是增加一套位置测量与反馈装置,形成闭环控制。目前在数控机床上常用的测量装置有光栅、旋转变压器、感应同步器、编码盘和编码尺等。

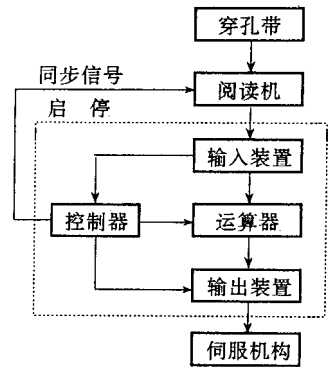


图 1-2 数控装置的组成

闭环系统中,在输入指令值的同时,测量反馈装置检测机床工作台的实际位移值,反馈量与输入量在数控装置中进行比较,若有差值,说明二者间有误差,则数控装置控制机床向着消除误差的方向运动。

#### (5)机床本体

数控机床是一种高度自动化的机床,而且工件在数控机床上一次装夹后,往往要同时进行粗加工和精加工,在粗加工时多采用大切量以获得高效率,而在精加工时则以获得高的加工精度为目的。所以要求数控机床具有大功率和高精度。近年来,由于刀具材料、高速主轴等技术的发展,高速切削在数控机床上得到推广应用,数控机床的主轴转速和进给速度远高于同规格普通机床。为满足数控机床高度自动化、高效率、高精度、高速度等方面的要求,与普通机床相比,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有很大不同。在结构设计中,数控机床要求具有更高的刚性和抗震性,而且要求机床的热变形及热变形对加工精度的影响更小。为保证数控机床的高速运行平稳性和高的定位精度,数控机床的导轨多采用塑料导轨、滚动导轨或静压导轨,进给传动系统则常采用滚珠丝杠螺母副、静压蜗杆—蜗母条和预加载双齿轮—齿条结构。由于高性能、宽调速范围的交、直流主轴电机和伺服电机的采用,数控机床主轴箱、进给变速箱及其传动系统大为简化,缩短了传动链,提高了传动精度。

#### 1.1.3 数控机床的轨迹控制原理

数控系统信息处理的主要任务之一是控制刀具相对工件的运动轨迹。一般情况下,用户程序给出了轨迹的起点和终点,以及轨迹的类型(如直线、圆弧或其他曲线),并规定其走向(如圆弧是顺时针还是逆时针),由数控装置在控制过程中计算出轨迹运动的各个中间点,这个计算过程称之为插补,即“插入”、“补上”轨迹运动的各个中间点。插补的概念与常用的“插值法”类似,只是插值法一般只求一个中间点,而插补求的是很多个中间点。实质上,插补是在轨迹起点和终点之间进行数据密化,插补计算出的中间点坐标值与理想轨迹的误差不超过机床的分辨率。插补结果输出运动轨迹的中间点坐标值,机床伺服系统根据此坐标值控制各坐标轴协调运动,走出预定轨迹。

插补工作可用硬件或软件来完成。早期的硬件数控系统(NC)中,都采用硬件的数字逻辑电路来完成插补工作。以硬件为基础的NC系统中,数控装置采用了电压脉冲作为插补点坐标增量输出,每发送一个脉冲,工作台相对刀具移动一个脉冲当量。发送给每一坐标轴的脉冲数目决定了相对运动距离,而脉冲的频率代表了坐标轴速度。

在计算机数控系统(CNC)中,插补工作一般由软件完成。软件插补方法可分为基准脉冲插补和数据采样插补两类。基准脉冲插补法是模拟硬件插补的原理,它把每次插补运算产生的指令脉冲输出到伺服系统,驱动工作台运动,每插补一次,发出一个脉冲,工作台移动一个脉冲当量。输出脉冲的最大速度取决于执行一次插补运算所需的时间。该方法虽然插补程序比较简单,但进给速率受到一定的限制,常用在进给速度不很高的数控系统或开环控制数控系统中。基准脉冲插补有多种方法,最常用的是逐点比较插补法和数字积分插补法等。数据采样插补法又称时间分割法,适合于闭环和半闭环以直流或交流电机为执行机构的数控系统。数据采样插补法把加工一段直线或圆弧的整段时间分为许多相等的时间间隔,该时间间隔称为单位时间间隔或插补周期。系统不同,插补周期也不尽相同,一般取10ms左右。采样周期太短计算机来不及处理,太长则会损失信息而影响伺服精度。每一个插补周期,执行一次插补计

算,与基准脉冲插补法不同,数据采样插补法插补计算结果不是进给脉冲,而是用二进制表示的各坐标的指令位置。计算机定时对坐标的实际位置进行采样,采样数据与指令位置进行比较,得出位置误差,再根据位置误差对伺服系统进行控制,达到消除误差,使实际位置跟随指令位置的目的。

此外,有些数控系统采用硬件和软件插补相结合的方法,把插补功能分配给软件和硬件插补器,软件完成粗插补,即把加工轨迹分为大的段,而硬件插补器完成精插补,进一步密化数据点,完成程序段的加工。这种方法对计算机的运算速度要求不高,并可余出更多的存储空间以存储零件程序,而且响应速度和分辨率都比较高。

#### 1.1.4 数控机床的工作过程

在数控机床上加工零件,首先需编制零件的加工程序,即将零件的工艺流程、所用工艺参数、刀具位移量与方向以及其他辅助动作(如换刀、冷却、夹紧等),按运动顺序和所用数控机床规定的指令代码及程序格式编成加工程序单,再将程序单中的全部内容记录在控制介质上(如采用穿孔机将程序单记录在纸带上),然后采用光电读带机或其他输入装置将加工程序输入给数控装置。数控装置根据输入的加工程序进行信息处理,并将各种信息指令输出给伺服系统和强电控制装置,使机床各部分按程序规定进行有序动作。这些指令主要包括:经插补运算决定的各坐标轴的进给速度、进给方向和位移量;主运动部件的变速、换向和起停信号;选择和交换刀具的指令信号;切削液的开停信号;工件的松夹、分度工作台的转位等辅助指令信号。

数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号经由强电控制装置进行必要的编译、逻辑判断和功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件,完成指令所规定的各种动作。

#### 1.1.5 数控机床的特点及应用范围

数控机床较好地解决了复杂、精密、小批和多变零件的自动化加工问题,是一种灵活、高性能的自动化机床,尤其对于约占机械加工总量80%的单件、小批量零件的加工,更显示出其特有的灵活性。概括起来,数控机床的特点主要有以下几方面。

##### (1) 具有较高的柔性

数控机床与传统的机床不同,改变加工零件时不需重新制造、更换许多工具、夹具和模具,更不需要重新调整机床,只需重新编制程序,重新制作一条新的穿孔纸带或手动输入程序就能实现新零件的自动化加工。不仅节省了大量工艺装备费用,而且大大缩短了生产准备周期,具有较高的柔性,实现了单件、小批量零件的自动化加工。

##### (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,目前数控装置的脉冲当量普遍达到了0.001mm,而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿。数控机床的传动系统和机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,可以提高制造精度,因此,数控机床能达到较高的加工精度。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。

##### (3) 生产效率高

零件加工所需时间包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床可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,可以更高的切削速度和进给量进行切削加工,而且机床结构刚性好,允许以大切削用量进行强力切削,单位时间金属切除率较高。数控机床移动部件的快速移动和定位均采用了加速和减速措施,可选用很高的空行程速度,消耗在快进、快退和定位的时间比一般机床少得多。

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,一般只作首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验。因而可减少停机检验的时间。

一般数控机床与普通机床相比,生产率可提高3~5倍,使用数控加工中心机床则可提高5~10倍。

#### (4)可加工形状复杂的零件

采用二轴以上联动的数控机床,可以加工母线为曲线的旋转体、凸轮和各种复杂空间曲面的零件,能完成普通机床难以完成的加工。

#### (5)减轻了劳动强度,改善了劳动条件

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。

#### (6)有利于生产管理现代化和机械加工综合自动化的发展

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,从而有利于生产管理现代化。

数控机床控制系统具有通讯接口,适用与计算机联接,是实现CAD/CAM及管理一体化的基础,也是构成柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)的基本设备。

数控机床具有许多一般机床所不具备的优点,但数控机床技术较复杂,成本较高,从技术经济效果看,数控机床并不能完全代替其他类型的机床,也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。目前,数控机床最适合以下几种情况零件的加工:单件、中小批量生产零件的加工;形状较复杂,精度要求较高或价值昂贵、不允许报废的零件的加工;产品改型频繁、生产周期短的零件的加工。图1-3是数控机床、通用机床及专用机床的适用范围示意图。一般认为,在批量较大的零件生产中,数控机床设备费用昂贵,生产效率不及专用机床,因此,在大批量生产中仍以采用专用机床为宜。在批量较小、零件较简单的情况下,由于通用机床设备费用低廉,应用较多。近年来,由于数控机床性能价格比迅速提高,特别是经济型数控系统应用范围扩大,许多通用和专用机床也逐渐数控化,而且发展迅速。

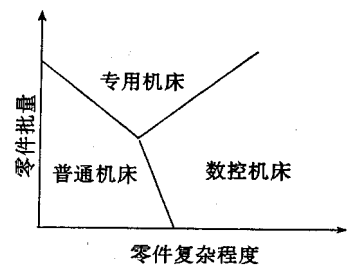


图 1-3 数控机床的适用范围

## 1.2 数控机床的分类

目前,数控机床品种较为齐全,规格繁多。为便于了解和研究,可以从不同角度对其进行分类。

### 1.2.1 按工艺用途分类

#### (1)一般数控机床

这类机床和传统的通用机床种类一样,有数控的车、铣、钻、镗、磨、线切割及电火花加工机床等,而且每一种又有很多品种,如数控铣床中就有立铣、卧铣、工具铣、龙门铣等。这类机床的工艺可能性和通用机床相似,所不同的是它能加工复杂形状的零件。

### (2) 数控加工中心机床

数控加工中心机床是在一般数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置而构成的。数控装置可控制机床自动换刀,在一台机床上实现多工序加工。目前,数控加工中心机床可分为镗铣类加工中心和车削加工中心两类。

镗铣类加工中心是在数控铣床基础上发展起来的,其刀库一般可容纳 20~120 把刀具,主要用于加工箱体类零件,工件在一次装夹后,可对其大部分加工面进行铣、镗、钻、扩、铰及攻丝等多工序加工。

车削加工中心是在车床基础上发展起来的,其刀库可安装 4~12 把刀具,除可进行车削、镗削加工外,还可进行端面及周面上任意部位的钻削、铣削和攻丝加工。回转体零件在一次装夹后,几乎可完成所有加工工序。

数控加工中心机床与一般的数控机床相比具有如下优点。

①减少机床台数,便于管理,对于多工序的零件只要一台机床就能完成全部加工,可有效减少半成品的库存量;

②工件一次装夹后,就能完成全部或大部分工序的加工,从而减少了由于多次安装造成的定位误差,提高了加工精度;

③工序集中,减少了辅助时间,提高了生产率;

④大大减少了专用工夹具的数量,进一步缩短了生产准备时间。

由于数控加工中心机床具有以上众多优点,近年来得到了迅速发展。

### (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、飞机曲面零件的加工等,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,机床结构也比较复杂,其坐标轴数通常取决于加工零件的工艺要求。现在常用的是 4, 5, 6 坐标的数控机床。图1-4是五轴联动的

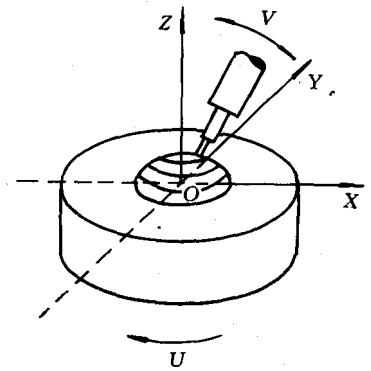


图 1-4 五轴联动的数控加工

数控加工示意图。这时, X, Y, Z 三个坐标与转台的回转、刀具的摆动可以同时联动,以加工机翼等类零件。

## 1.2.2 按刀具与工件相对运动轨迹控制方式分类

### (1) 点位控制数控机床

点位控制数控机床的数控装置只能控制机床移动部件从起点精确地移动到终点,即只控制行程终点的坐标值,而不控制起点和终点之间的运动轨迹,在移动过程中各坐标轴之间的运动不需要有任何联系,也不进行任何切削加工。为减少移动部件的运动和定位时间,通常先快速移动以接近终点坐标,然后减速,使之慢速趋近定位点,保证定位精度。这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床等,相应的数控装置称为点位控制装置。



## (2) 点位直线控制数控机床

点位直线控制数控机床不仅要控制两个相关点之间的位置,还要控制刀具在两个相关点之间的移动速度和路线(即轨迹)。其路线一般都由与各轴线平行的直线段组成。它和点位控制数控机床的区别在于:当机床的移动部件移动时,可以沿一个坐标轴的方向进行切削加工(一般地也可以沿 $45^\circ$ 斜线进行切削,但不能沿任意斜率的直线切削),而且其辅助功能比点位控制的数控机床多。例如,增加了主轴转速控制、循环进给加工、刀具选择等功能。

这类机床主要有简易数控车床、数控镗铣床等,相应的数控装置称之为点位直线控制装置。

## (3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点,还要控制整个加工过程中每一点的速度与位置,也就是说要控制移动轨迹,在移动过程中进行连续切削加工,将工件加工成符合图纸要求的轮廓形状。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控线切割机床等。其相应的数控装置称之为轮廓控制装置(或连续控制装置)。

### 1.2.3 按伺服系统的控制方式分类

#### (1) 开环控制数控机床

开环控制数控机床没有位置检测反馈装置,一般使用功率步进电机作为执行机构。数控装置输出的指令脉冲经驱动电路的功率放大,驱动步进电机转动,再经传动机构带动移动部件移动,如图 1-5 所示。移动部件的移动速度和位移量由输入脉冲的频率和脉冲数所决定。

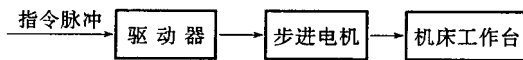


图 1-5 数控机床开环控制框图

由于没有反馈装置,开环系统的步距误差和机械部件的传动误差不能进行校正补偿,所以机床加工精度不高。但这种机床工作较稳定、反应迅速、结构简单、调试维修方便、成本低,适用于精度要求不高的中、小型数控机床。

#### (2) 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床是在机床移动部件上直接安装直线位置检测装置,以检测移动部件的实际移动位置,并将检测到的实际位移量反馈到数控装置,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,最终实现精确定位,如图 1-6 所示。

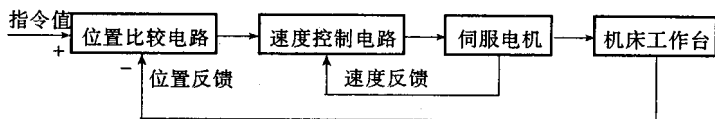


图 1-6 数控机床闭环控制框图

理论上,闭环控制数控机床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。但传动系统的刚度不足及间隙、导轨的爬行等各种非线性因素都将增加机床调试的困难,甚至使伺服系统产生振荡,因此,对机床的结构和传动链仍然具有较高的要求。

闭环控制的优点是精度高,速度快,但调试和维修较复杂,价格昂贵,主要用于精度要求很高的镗铣加工中心机床、超精车床、超精磨床等。

#### (3) 半闭环控制数控机床