

现代数控技术系列

# 现代数控机床

王爱玲 白恩远 赵学良 赵建强 编著

主编 王爱玲 副主编 白恩远



国防工业出版社

National Defence Industry Press

<http://www.ndip.com.cn>

现代数控技术系列

# 现代数控机床

王爱玲 白恩远 编 著  
赵学良 赵建强  
主 编 王爱玲 副主编 白恩远

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书系统阐述了数控机床的结构与设计。全书共分8章。简要介绍现代数控机床的基本知识、分类及其发展趋势;重点介绍典型数控加工中心和数控车床的主参数、功能、传动系统、结构特点,数控机床主传动系统设计、进给伺服系统设计、床身与导轨及数控机床的总体设计,数控机床的结构设计要求、数控机床的总体布局,数控机床的计算机辅助设计。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化相关专业本科生教材;还可作为从事计算机应用研究,特别是从事数控技术开发和数控设备设计、使用、维修及相关工程技术人员的参考书,也可作为各种层次的继续工程教育用数控培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代数控机床/王爱玲主编. —北京:国防工业出版社,2003.4

(现代数控技术系列)

ISBN 7-118-03099-6

I. 现... II. 王... III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 008241 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 24 556 千字

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

## 《现代数控技术系列》编辑委员会

主 编 王爱玲

副主编 李志勤 白恩远

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 彪	王俊元	王爱玲	白恩远
任建平	孙爱国	吴 雁	吴淑琴
沈兴全	张吉堂	赵学良	赵建强
赵美虹	彭彬彬	蓝海根	

## 序 言

现代数控技术集机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通讯技术、液压气动技术、光机电技术于一体,是现代制造技术的基础,它的发展和运用,开创了制造业的新时代,使世界制造业的格局发生了巨大变化。

数控技术是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段,它的广泛使用给机械制造业生产方式、产业结构、管理方式带来深刻的变化,它的关联效益和辐射能力更是难以估计;数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等,都是建立在数控技术之上。数控技术是国际商业贸易的重要构成,发达国家把数控机床视为具有高技术附加值、高利润的重要出口产品,世界贸易额逐年增加。

因此,数控技术是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业,其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志,实现加工机床及生产过程数控化,是当今制造业的发展方向。专家们曾预言:机械制造的竞争,其实质是数控的竞争。

有鉴于此,发达国家把提高数控技术水平作为提高制造业水平的重要基础,竞相发展本国的数控产业。日本由于数控技术高度发展使其制造业迅速崛起,美国要挽回其失去的地位,欧洲要适应市场竞争的需求,从而以数控技术为主要标志的现代制造技术成了美国、日本和欧洲等工业国家竞争的焦点之一。日本、美国、意大利、西班牙、印度等国,都采用了一些扶植本国数控产业发展的政策措施。中国政府正积极采取各种有效措施大力发展中国的数控产业,把发展数控技术作为振兴机械工业的重中之重。数控技术在制造业的扩展与延伸所产生的辐射作用和波及效果对机械制造业的产业结构、产品结构、专业化分工方式、机械加工方式及管理模式、社会的生产分工、企业的运行机制等正带来深刻的变化,对国民经济的发展起着重要的促进作用。

现代机械加工业逐步向柔性化、集成化、智能化方向发展,需要将不断飞速发展的通用计算机技术及其体系结构、现代自动控制理论及现代微电子电子技术应用于新一代数控机床并突出其“开放式”及“智能化”的特征。

我国从发展数控技术的战略高度结合国民经济发展的特点对数控技术进行创新性研究,重点开发“开放式”、“智能化”的数控车床、数控加工中心及数控电加工机床系列产品。

本系列书籍作者选准了这个题材,1995年就在本单位机械设计制造及其自动化专业开设了“机床数控技术”和“制造自动化技术”两个专业方向;在继续工程教育方面,作者所在单位作为“兵器工业现代数控技术培训中心”和“全国数控培训网太原分中心”的承办单位,自1995年以来,开办了40多期现代数控技术普及班、高级班和各种专项班,为70多个企事业单位培训了大量现代数控技术方面的工程技术人才。

在新产品研究开发方面,作者应用现代数控技术为企业开发出复杂曲面 CAD/CAM 一体化多种产品。

本系列书籍是在作者多年从事现代数控技术方面的教学、科研、基础理论研究和工作的基础上总结深化撰写成的。本系列书籍系统地分专题详细论述了现代数控技术的有关理论,内容充实,重点突出,同时尽可能地反映数控技术领域内的新成就和新的应用经验;在注重理论系统性的同时,强调如何应用理论分析实际问题,如数控编程实例及故障诊断实例等。在编写结构上,内容深入浅出,图文并茂,条理清楚,便于自学。

相信这套系列书籍能够有益于我国数控技术领域人才的培养,有益于我国数控技术的发展,有益于我国立足世界数控技术之林。



2001年9月13日于太原

# 前 言

在经济全球化和全球信息化以及我国加入世界贸易组织(WTO)的新形势下,“以信息化带动工业化,发挥后发优势,实现社会生产力的跨越式发展”已列入我国今后的战略发展规划。面向国民经济建设主战场,围绕制造业和经济发展的需求,整合科技资源、加快信息技术向传统产业渗透,是落实这一战略的重要举措。

现代数控技术集机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光机电技术于一体,是实现信息化带动工业化的基础。发达国家把提高数控技术水平作为提高制造业水平的重要基础,竞相发展本国的数控产业。日本、美国、意大利、西班牙、印度等国,都采用了一些扶植本国数控产业发展的政策措施。

我国从发展数控技术的战略高度出发,结合国民经济发展的特点对数控技术进行创新性研究,重点开发“开放式”、“智能化”的数控车床、数控加工中心及数控电加工机床系列产品。

2002年初由国防工业出版社出版了《现代数控技术系列》的五个分册:《现代数控原理及控制系统》、《现代数控机床伺服及检测技术》、《现代数控编程技术及应用》、《现代数控机床故障诊断及维修》、《现代数控机床实用操作技术》。《现代数控机床》作为《现代数控技术系列》的第六分册,全书共分8章,重点介绍现代数控机床的基本知识、数控机床的分类及数控机床发展趋势;典型数控加工中心和数控车床的主参数、功能、传动系统、结构特点等;数控机床主传动系统设计、进给伺服系统设计、床身与导轨及数控机床的总体设计;数控机床的结构设计要求、数控机床的总体布局;数控机床的计算机辅助设计。类似的书籍国内外极少,本书特别对底层设备——数控机床的结构与设计提供了系统而实用的知识。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化相关专业本科生教材;还可作为从事计算机应用研究,特别是从事数控技术开发和数控设备设计、使用、维修及相关工程设计技术人员的参考书,也可作为各种层次的继续工程教育用数控培训教材。

本书由王爱玲教授担任主编,负责审查及统稿,并编写第1、2章。第3、4章由白恩远教授编写,第5、7、8章由赵学良副教授编写,第6章由赵建强副教授编写。本书编写过程中参阅了国内外同行的教材、资料与文献,在此谨致谢意。对刘永姜、胡满红、冷长林、谢娟、任霖萍等同志为本书出版所给予的支持一并致谢。

数控技术发展日新月异,由于编著者水平有限,书中的错误、缺点恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 数控机床的基本概念 .....	1
1.2 数控机床的组成及加工特点 .....	2
1.3 数控机床的分类 .....	7
1.4 数控机床的坐标规定 .....	10
1.5 数控机床的最新发展趋势 .....	12
<b>第 2 章 加工中心(MC)</b> .....	26
2.1 概述 .....	26
2.2 JCS-018 型立式加工中心 .....	31
2.3 加工中心的结构特点 .....	44
2.4 SWORD750 立式加工中心主轴系统简介 .....	105
<b>第 3 章 数控车床</b> .....	112
3.1 CK7815 型数控车床 .....	112
3.2 数控车床的结构特点 .....	127
3.3 车削中心 .....	140
<b>第 4 章 数控机床的主传动系统设计</b> .....	146
4.1 主传动变速系统的参数 .....	146
4.2 主传动系统的设计要求 .....	147
4.3 主传动变速系统的设计 .....	148
4.4 主轴组件设计 .....	158
4.5 齿形带传动设计 .....	187
<b>第 5 章 进给伺服系统设计</b> .....	191
5.1 进给伺服系统的设计要求 .....	191
5.2 进给伺服系统的组成及其数学模型 .....	192
5.3 进给伺服系统的动态响应特性及伺服性能分析 .....	197
5.4 系统增益的设计 .....	216
5.5 电气驱动部件的设计 .....	219
5.6 机械传动部件的设计 .....	227
5.7 机械传动部件设计举例 .....	254
<b>第 6 章 床身与导轨</b> .....	263
6.1 床身结构 .....	263
6.2 贴塑滑动导轨设计 .....	267



6.3	液体静压导轨设计 .....	277
6.4	滚动导轨设计 .....	286
6.5	导轨的润滑与防护 .....	291
6.6	导轨的超声频加热淬火 .....	293
<b>第 7 章</b>	<b>数控机床的总体设计 .....</b>	<b>296</b>
7.1	数控机床的结构设计要求 .....	296
7.2	数控机床的总体布局 .....	305
<b>第 8 章</b>	<b>数控机床的计算机辅助设计 .....</b>	<b>313</b>
8.1	概述 .....	313
8.2	数控机床总体方案设计 .....	325
8.3	主传动系统 CAD .....	336
8.4	伺服进给系统 CAD .....	345
8.5	刀库和机械手 CAD .....	351
8.6	机床大件及导轨 CAD .....	354
8.7	叉架类零件 CAD .....	361
8.8	回转体零件 CAD .....	366
8.9	数控机床主要零件优化设计分析计算及校核计算 .....	370
	<b>主要参考文献 .....</b>	<b>375</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 数控机床的基本概念

### 1.1.1 数控机床的定义

数字控制(Numerical Control)是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种控制方法。

数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术,是现代化工业生产中的一门新型的,发展十分迅速的高新技术。数控装备是以数控技术为代表的新技术对传统制造产业和新兴制造业的渗透形成的机电一体化产品,即所谓的数字化装备;其技术范围所覆盖的领域有:机械制造技术;微电子技术;信息处理、加工、传输技术;自动控制技术;伺服驱动技术;检测监控技术、传感器技术;软件技术等。数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业(如信息技术及其产业、生物技术及其产业、航空、航天等国防工业产业)的使能技术和最基本的装备。在提高生产率、降低成本、保证加工质量及改善工人劳动强度等方面,都有突出的优点;特别是在适应机械产品迅速更新换代、小批量、多品种生产方面,各类数控装备是实现先进制造技术的关键。

数控机床是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing, IFIP)第五技术委员会,对数控机床作了如下定义:数控机床是一种装了程序控制系统的机床。该系统能逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。

### 1.1.2 数控机床的加工原理

金属切削机床加工零件,是操作者依据工程图样的要求,不断改变刀具与工件之间相对运动的参数(位置、速度等),使刀具对工件进行切削加工,最终得到所需要的合格零件。

数控机床的加工,是把刀具与工件的运动坐标分割成一些最小的单位量,即最小位移量,由数控系统按照零件程序的要求,使坐标移动若干个最小位移量(即控制刀具运动轨迹),从而实现刀具与工件的相对运动,完成对零件加工。

刀具沿各坐标轴的相对运动,是以脉冲当量  $\delta$  为单位的(mm/脉冲)。

当走刀轨迹为直线或圆弧时,数控装置则在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”,求出一系列中间点的坐标值,然后按中间点的坐标值,向各坐标输出脉冲数,保证加工出需要的直线或圆弧轮廓。

数控装置进行的这种“数据点的密化”称做插补,一般数控装置都具有对基本函数(如直线函数和圆函数)进行插补的功能。

对任意曲面零件的加工,必须使刀具运动的轨迹与该曲面完全吻合,才能加工出所需的零件。

例如,欲加工轮廓为任意曲线  $L$  的零件,如图 1-1 所示,可将曲线  $L$  分成  $\Delta L_0, \Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_i$  等线段,设切削  $\Delta L_i$  的时间为  $\Delta t_i$ ,当  $\Delta L_i \rightarrow 0$ ,即把曲线划分的段数越小,则刀具运动的轨迹越逼近曲线  $L$ ,即

$$\lim_{\Delta L_i \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{\infty} \Delta L_i = L$$

在  $\Delta t_i$  时间内,刀具在各坐标的位移量为  $\Delta X_i$  和  $\Delta Y_i$  即

$$\Delta L_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}$$

进给速度:

$$v_i = \sqrt{\left(\frac{\Delta X_i}{\Delta t_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Y_i}{\Delta t_i}\right)^2} = \sqrt{\Delta v_{X_i}^2 + \Delta v_{Y_i}^2}$$

当加工直线时, $\Delta L_i$  的斜率不变,各坐标轴速度分量的比值  $\frac{\Delta v_{Y_i}}{\Delta v_{X_i}}$  不变,因此进给速度  $v_i$  可保持常量。

当加工任意曲线时, $\Delta L_i$  的斜率不断变化, $\frac{\Delta v_{Y_i}}{\Delta v_{X_i}}$  的比值也不断变化。只要能连续地自动控制两坐标方向运动速度的比值,便可实现任意曲线零件的加工。

实际上,在数控机床上加工任意曲线  $L$  的零件,是由该数控装置所能处理的基本数学函数来逼近的,例如用直线、圆等。自然,逼近误差必须满足零件图样的要求。

图 1-2 示出用直线逼近一任意曲线  $L$  的情况。只要求出节点  $a, b, c, \dots$  的坐标值,按节点写出直线插补程序,数控装置则进行节点间“数据点的密化”,并向各坐标轴分配脉冲数,控制刀具完成该直线段的加工。逼近误差  $\delta$  应满足零件公差要求,即  $\delta_{\max} < \delta$ 。

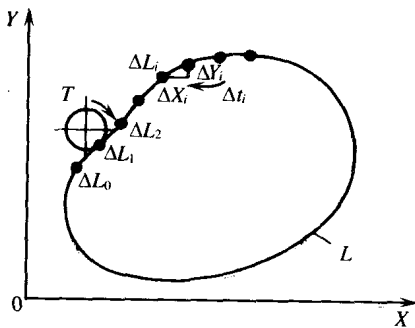


图 1-1 数控机床加工原理

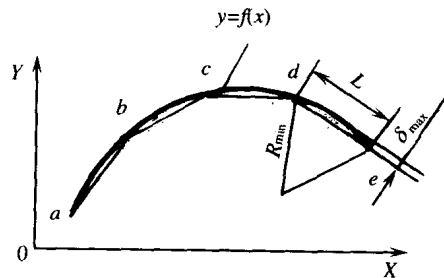


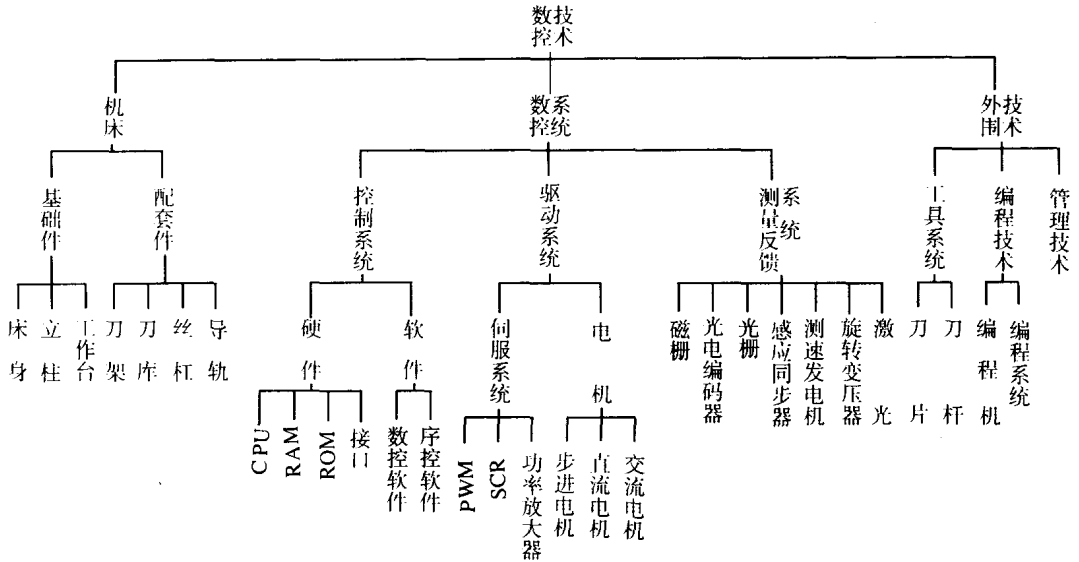
图 1-2 用直线逼近曲线

## 1.2 数控机床的组成及加工特点

### 1.2.1 机床数控技术及组成

机床的数控技术包括机床、数控系统和外围技术,其组成见表 1-1。

表 1-1 机床数控技术的组成



数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统、测量反馈装置和机床主机组成(见图 1-3)。现对各组成部分简介如下：

1. 控制介质

数控机床加工时,所需的各种控制信息要靠某种中间载体携带和传输,这种载体称作“控制介质”。控制介质是存储数控加工所需要全部动作和刀具相对于工件位置信息的媒介物,它记载着零件的加工程序。

控制介质有多种,如穿孔带、穿孔卡、磁带及磁盘等,也可通过通信接口直接输入所需各种信息,采用何种控制介质则取决于数控装置的类型。

常用的控制介质是八单位标准穿孔带。如图 1-4 所示,每一行可有 9 个孔,其中 8 个  $\phi 1.33\text{mm}$  的孔为信息孔,一个  $\phi 1.17\text{mm}$  的孔为同步孔。穿孔带上的孔与二进制的数字“1”和“0”相对应。每一行都由孔和非孔按有关标准表示一个代码。所谓信息,就是被称作代码的阿拉伯数字、文字和符号等。

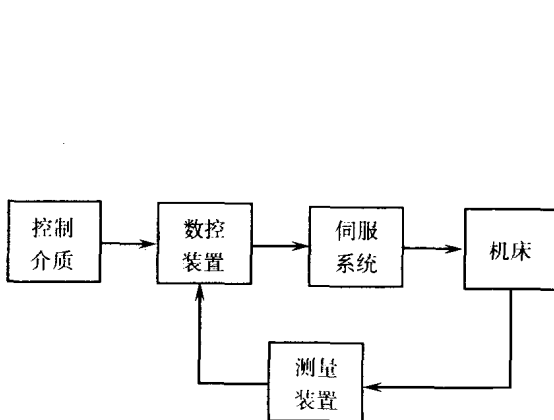


图 1-3 数控机床的组成

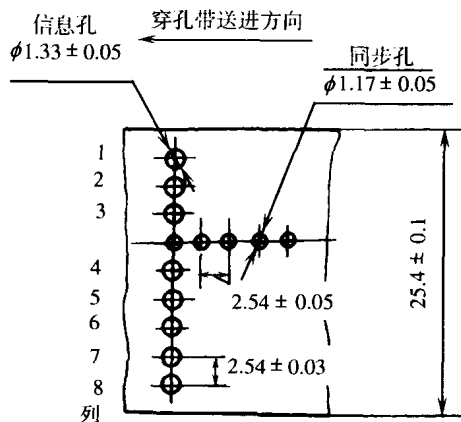


图 1-4 八单位标准穿孔带

国际上采用的八单位穿孔带有两种标准代码,一种是 EIA(美国电子工业协会)代码,另一种是 ISO(国际标准化组织)代码(见表 1-2)。ISO 为补偶代码,其第八列为补偶列,即每行孔的个数必然是偶数个,若为奇数个,则在第八列补一个孔凑成偶数个。其余七列为编码列,所以可表示  $2^7 = 128$  个不同的二进制信息。而 EIA 为补奇代码,第五列为补奇列。

表 1-2 数控机床 ISO 编码表

代 码 孔								代 码 符 号	定 义
8	7	6	5	4	3	2	1		
		0	0	0				数字 0	0
0		0	0	0			0	1	数字 1
0		0	0	0		0		2	数字 2
0		0	0	0		0	0	3	数字 3
0		0	0	0		0	0	4	数字 4
		0	0	0		0	0	5	数字 5
		0	0	0		0	0	6	数字 6
0		0	0	0		0	0	7	数字 7
0		0	0	0	0		0	8	数字 8
		0	0	0	0		0	9	数字 9
	0							A	绕着 X 坐标的角度
	0					0		B	绕着 Y 坐标的角度
0		0				0	0	C	绕着 Z 坐标的角度
	0				0			D	特殊坐标的角度尺寸;或第三进给速度功能
0		0			0		0	E	特殊坐标的角度尺寸;或第二进给速度功能
0		0			0	0		F	进给速度功能
	0				0	0	0	G	准备功能
	0		0					H	永不指定(可作特殊用途)
0		0					0	I	沿 X 坐标圆弧起点对圆心值
0		0				0		J	沿 Y 坐标圆弧起点对圆心值
0		0				0	0	K	沿 Z 坐标圆弧起点对圆心值
0		0			0			L	永不指定
	0				0		0	M	辅助功能
	0				0	0	0	N	序号
0		0			0	0	0	O	不用
	0		0					P	平行于 X 坐标的第三坐标
0		0					0	Q	平行于 Y 坐标的第三坐标
0		0				0		R	平行于 Z 坐标的第三坐标
	0					0	0	S	主轴速度功能
0		0				0		T	刀具功能
	0					0	0	U	平行于 X 坐标的第二坐标
	0					0	0	V	平行于 Y 坐标的第二坐标
0		0				0	0	W	平行于 Z 坐标的第二坐标
0		0		0				X	X 坐标方向的主运动
	0			0			0	Y	Y 坐标方向的主运动
	0			0			0	Z	Z 坐标方向的主运动
		0				0	0	.	小数点 <sup>①</sup>
		0				0	0	+	加/正
		0				0	0	-	减/负
0		0				0		*	星号/乘号 <sup>①</sup>
0		0				0	0	/	跳过任选程序段(省略)/除
0		0		0			0	,	逗号 <sup>①</sup>
		0		0			0	=	等号 <sup>①</sup>
		0		0			0	(	左圆括号/控制暂停
0		0		0			0	)	右圆括号/控制恢复
		0		0			0	:	单无符号 <sup>①</sup>
		0		0			0	NL or LF	对准功能/选择(或计划)倒带停止
0		0				0		%	程序段结束,新行或换行
		0				0		FT	程序开始
		0				0		CR	制表(或分隔符号)
0	0	0	0	0		0	0	DEL	滑座返回(仅对打印机适用)
0		0						SP	注销
0		0						BS	空格
0		0					0	NUL	反绕(退格)
		0						EM	空白纸带
		0							载体终了

①表示补充的不常用。

目前,国际上趋向采用 ISO 编码,1982 年 4 月 28 日,我国第一机械工业部发布了《数字控制机床用七单位编码字符》部颁标准 JB3050-82,它与 ISO 标准相同,见表 1-3。

表 1-3 七单位字符编码表

				b <sub>7</sub>	0	0	0	0	1	1	1	1
				b <sub>6</sub>	0	0	1	1	0	0	1	1
				b <sub>5</sub>	0	1	0	1	0	1	0	1
b <sub>4</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	列 行	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL		SP	0		P		
0	0	0	1	1				1	A	Q		
0	0	1	0	2				2	B	R		
0	0	1	1	3				3	C	S		
0	1	0	0	4				4	D	T		
0	1	0	1	5			%	5	E	U		
0	1	1	0	6				6	F	V		
0	1	1	1	7				7	G	W		
1	0	0	0	8	BS		(	8	H	X		
1	0	0	1	9	HT	EM	)	9	I	Y		
1	0	1	0	10	LF(NL)		*	:	J	Z		
1	0	1	1	11			+	;	K			
1	1	0	0	12			,		L			
1	1	0	1	13	CR		-	=	M			
1	1	1	0	14			.		N			
1	1	1	1	15			/		O			

尽管穿孔纸带趋于淘汰,但是规定的标准信息代码仍是数控程序编制和制备控制介质唯一遵守的标准。

## 2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,是高技术密集型产品。它集成了微电子技术、信息技术、自动控制技术、驱动技术、监控检测技术、软件工程技术和机械加工工艺知识。数控机床正是在它的控制下,按照给定的程序自动地对机械零件进行加工。自 20 世纪 50 年代数控机床问世以来,数控装置已由 NC 发展到 CNC(Computer Numerical Control, 计算机数控)。特别是微处理机和微型计算机在数控装置上成功地应用后,使计算机数控装置的性能和可靠性不断提高,成本不断下降,其高性能价格比促进了数控机床的迅速发展。

CNC 装置由硬件和软件组成。CNC 的硬件为一专用计算机,由软件来实现部分或全部数控功能,通过改变软件很容易更改或扩展其功能。其硬件结构如图 1-5 所示,软件结构如图 1-6 所示。

CNC 装置的基本工作有:输入、译码、刀具补偿、进给速度处理、插补、位置控制、I/O 处理、显示和诊断等,它具备的主要功能如下:

- (1)多坐标控制(多轴联动);
- (2)实现多种函数的插补(直线、圆弧、抛物线等);
- (3)多种程序输入(人机对话、手动数据输入,由上级计算机及其他计算机输入设备的接口输入),以及编辑和修改;
- (4)信息转换(EIA/ISO 代码转换,英制/米制转换,坐标转换,绝对值/增量值转换,计

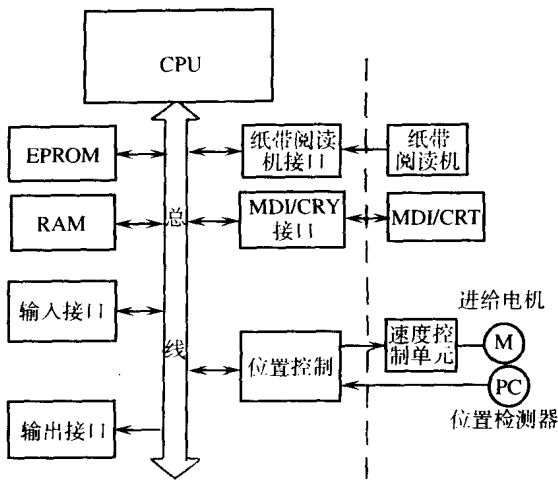


图 1-5 CNC 装置的硬件结构

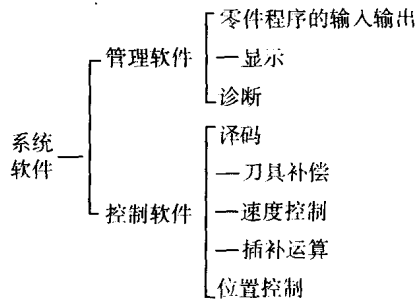


图 1-6 CNC 装置的软件结构

数制转换等)；

- (5) 补偿(刀具半径补偿, 刀具长度补偿, 传动间隙补偿, 螺距误差补偿等)；
- (6) 多种加工方式选择(可实现各种加工循环, 重复加工, 凹凸面加工和镜像加工等)；
- (7) 故障自诊断；
- (8) 显示, 用 CRT 可显示字符、轨迹、平面图形和动态三维图形；
- (9) 通信和联网。

### 3. 伺服系统

机床伺服系统是数控装置与机床的联接环节, 它是以机床移动部件(工作台)的位置和速度作为控制量的自动控制系统, 用来接受数控装置(或计算机)插补生成的进给脉冲或进给位移量, 驱动机床执行机构运动。它包括主轴驱动单元(主要是速度控制)、进给驱动单元(主要是速度控制和位置控制)、主轴电机和进给电机等。一般来说, 数控机床的伺服系统要求有良好的快速响应性能, 进给速度范围要大, 灵敏而准确地跟踪指令功能和转速, 在较大范围内有良好的工作稳定性。现在常用的是直流伺服系统和交流伺服系统, 且交流伺服系统正在取代直流伺服系统。

### 4. 测量反馈装置

该装置可以包括在伺服系统中。它由检测元件和相应的电路组成, 其作用主要是检测速度和位移, 并将信息反馈回控制系统, 构成闭环控制。无测量反馈装置的系统称为开环系统。常用的测量元件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅、磁尺及激光位移检测系统等。

### 5. 机床主机

主机是数控机床的主体, 包括床身、箱体、导轨、主轴、进给机构等机械部件。数控机床主机的结构有下面几个特点:

- (1) 由于采用了高性能的主轴及进给伺服驱动装置, 简化了数控机床的机械传动结构, 传动链较短；
- (2) 数控机床的机械结构具有较高的动态特性, 动态刚度、阻尼精度、耐磨性以及抗热

变形性能,适应连续自动化加工;

(3)较多地采用高效传动件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨、静压导轨等。

此外,为保证数控机床功能的充分发挥,还有一些配套部件(如冷却、排屑、防护、润滑、照明、储运等一系列装置)和附属设备(程编机和对刀仪等等)。

### 1.2.2 数控机床的加工特点

数控机床是新型的自动化机床,它具有广泛通用性和很高的自动化程度。数控机床是实现柔性自动化最重要的环节,是发展柔性生产的基础。数控机床在加工下面一些零件中更能显示出它的优越性。它们是:①批量小(200件以下)而又多次生产的零件;②几何形状复杂的零件;③在加工过程中必须进行多种加工的零件;④切削余量大的零件;⑤必须严格控制公差(即公差带范围小)的零件;⑥工艺设计经常变化的零件;⑦加工过程中的错误会造成严重浪费的贵重零件;⑧需全部检测的零件,等等。

数控机床的优点:

(1)提高生产率。数控机床能缩短生产准备时间,增加切削加工时间的比率。采用最佳切削参数和最佳走刀路线,缩短加工时间,从而提高生产率。

(2)数控机床可以提高零件的加工精度,稳定产品质量。由于它是按照程序自动加工不需要人工干预,其加工精度还可以利用软件进行校正及补偿,故可以获得比机床本身精度还要高的加工精度和重复精度。

(3)有广泛的适应性和较大的灵活性。通过改变程序,就可以加工新产品的零件,能够完成很多普通机床难以完成或者根本不能加工的复杂型面零件的加工。

(4)可以实现一机多用。一些数控机床,例如加工中心,可以自动换刀。一次装卡后,几乎能完成零件的全部加工部位的加工,节省了设备和厂房面积。

(5)可以进行精确的成本计算和生产进度安排,减少在制品,加速资金周转,提高经济效益。

(6)不需要专用夹具。采用普通的通用夹具就能满足数控加工的要求,节省了专用夹具设计制造和存放的费用。

(7)大大减轻了工人的劳动强度。

数控机床是具有广泛的通用性又具有很高自动化程度的机床。它的控制系统不仅能控制机床各种动作的先后顺序,还能控制机床运动部件的运动速度,以及刀具相对工件的运动轨迹。数控机床是计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等柔性加工和柔性制造系统的基础。

但是,数控机床的初投资及技术维修等费用较高,要求管理及操作人员的素质也较高。合理地选择及使用数控机床,可以降低企业的生产成本,提高经济效益和竞争能力。

## 1.3 数控机床的分类

目前,数控机床品种齐全,规格繁多,可从不同角度和按照多种原则进行分类。

### 1. 按工艺用途分类

(1)金属切削类数控机床 这类机床和传统的通用机床品种一样,有数控车床、数控



铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床以及加工中心等。加工中心是带有自动换刀装置,在一次装卡后可以进行多种工序加工的数控机床。

(2)金属成型类数控机床 如数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机等。

(3)数控特种加工及其他类型数控机床 如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床、数控火焰切割机床等。

## 2. 按控制运动的方式分类

(1)点位控制数控机床 点位控制(Positioning Control)又称点到点控制(Point to Point Control)。这类数控机床的数控装置只要求精确地控制一个坐标点到另一坐标点的定位精度,见图 1-7,而不管从一点到另一点是按照什么轨迹运动。在移动过程中不进行任何加工。为了精确定位和提高生产率,首先系统高速运行,然后进行 1 级~3 级减速,使之慢速趋近定位点,减小定位误差。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲剪床和数控测量机等。使用数控钻镗加工零件可以省去钻模、镗模等工装,又能保证加工精度。

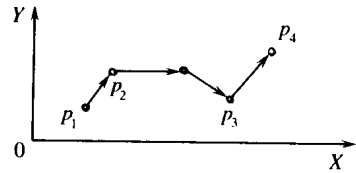


图 1-7 数控机床的点位加工精度

(2)直线控制数控机床 直线切削控制(Straight Cut Control)又称平行切削控制(Parallel cut Control)。这类数控机床不仅要求具有准确的定位功能,而且还要保证从一点到另一点之间移动的轨迹是一条直线。其路线和移动速度是可以控制的。对于不同的刀具和工件,可以选择不同的切削用量。这一类数控机床包括:数控车床、数控镗铣床、加工中心等,如图 1-8 所示。

(3)轮廓控制数控机床 轮廓控制(Contouring Control)又称为连续轨迹控制(Continuous Path Control)。这类数控机床的数控装置能同时控制两个或两个以上坐标轴,并具有插补功能。对位移和速度进行严格的不断的控制,即可以加工曲线或者曲面零件,如凸轮及叶片等。轮廓控制数控机床有两坐标及两坐标以上的数控铣床、可加工曲面的数控车床、加工中心等(见图 1-9)。

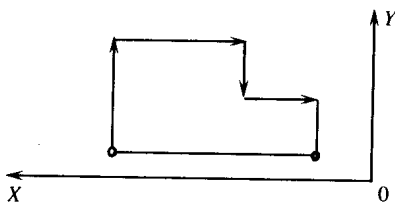


图 1-8 点位直线加工

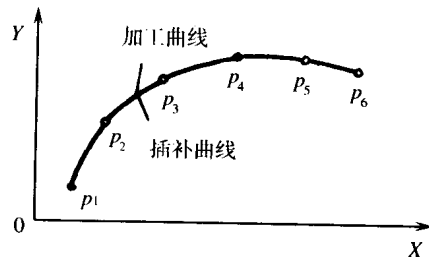


图 1-9 轮廓控制加工

按照联动(同时控制)轴数分,可以分为 2 轴联动、2.5 轴联动、3 轴联动、4 轴联动、5 轴联动等数控机床。2.5 轴联动是三个坐标轴( $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ )中任意两轴联动,另一个是点位或直线控制。

## 3. 按伺服系统的类型分类

根据有无检测反馈元件及其检测装置,机床的伺服系统可分为开环伺服、闭环伺服和半闭环伺服。