



21 世纪中等职业教育系列教材
中等职业教育系列教材编委会专家审定

数控设备与编程

主编 毛华杰



北京邮电大学出版社



教育部推荐教材 国内通用教材
中国轻工业出版社 北京 清华大学出版社

数控设备与编程

主编 王 明

中国轻工业出版社 北京 清华大学出版社

中等职业教育系列教材
中等职业教育系列教材编委会专家审定

数控设备与编程

主 编 毛华杰

北京邮电大学出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

数控设备与编程/毛华杰主编. —北京:北京邮电大学出版社, 2006

ISBN 7-5635-1313-2

I. 数... II. 毛... III. 数控机床—程序设计—专业学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 082658 号

书 名 数控设备与编程

主 编 毛华杰

责任编辑 周 莹 聂立芳

出版发行 北京邮电大学出版社

社 址 北京市海淀区西土城路 10 号 邮编 100876

经 销 各地新华书店

印 刷 北京市彩虹印刷有限责任公司

开 本 787 mm × 960 mm 1/16

印 张 14.75

字 数 305 千字

版 次 2006 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5635-1313-2/TP·248

定 价 19.50 元

如有印刷问题请与北京邮电大学出版社联系

E-mail: publish@bupt.edu.cn

电话: (010)82551166 (010)62283578

Http://www.buptpress.com

版权所有

侵权必究

出版说明

本书是根据教育部最新颁发的数控技术应用专业的“数控设备与编程教学基本要求”,参照有关行业职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写。

本书针对中等职业教育的特点,内容上本着必需、够用的原则,以数控技术及设备发展方向为准,并注重体现新技术、新工艺、新方法。

全书共八章,主要内容包括数控设备基本知识、数控加工编程的基础知识、数控车床及其程序编制、数控铣床及其程序编制、数控加工中心及其程序编制、数控特种加工设备及其程序编制、自动编程和数控机床的使用与维护。并在各章后面均附有小结和习题,以方便学生自学和复习总结。

本书的编写适应了教改的需要,突出了中等职业教育特色,符合数控技术应用专业对高等素质劳动者和中初级专门人才的要求;不仅是中等职业学校数控技术应用专业教材,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

限于篇幅及编者水平,书中难免存在疏漏与错误,敬请读者予以批评指正。

编 者

目 录

第一章 概 述	1
第一节 数控技术与设备	1
第二节 数控设备的组成及分类	4
本章小结	9
习 题	9
第二章 数控加工编程的基础知识	10
第一节 数控加工编程概述	10
第二节 数控加工编程的工艺基础	12
第三节 程序编制的基本知识	18
本章小结	30
习 题	30
第三章 数控车床及其程序编制	31
第一节 数控车床概述	31
第二节 数控车床的编程基础	35
第三节 基本编程方法	38
第四节 数控车床编程实例	51
第五节 数控车床操作要点	59
本章小结	61
习 题	61
第四章 数控铣床及其程序编制	63
第一节 数控铣床概述	63
第二节 数控铣床的编程基础	70
第三节 基本编程方法	73
第四节 数控铣床编程实例	83
第五节 数控铣床操作要点	88

本章小结	97
习 题	97
第五章 数控加工中心及其程序编制	99
第一节 数控加工中心概述	99
第二节 数控加工中心的编程基础	108
第三节 基本编程方法	112
第四节 数控加工中心编程实例	115
第五节 数控加工中心操作要点	122
本章小结	127
习 题	128
第六章 数控特种加工设备及其程序编制	129
第一节 数控电火花线切割机床及其程序编制	129
第二节 数控电火花成型加工机床及其程序编制	147
第三节 数控激光加工机及其程序编制	160
本章小结	163
习 题	163
第七章 自动编程	164
第一节 自动编程概述	164
第二节 自动编程软件简介	169
本章小结	207
习 题	207
第八章 数控机床的使用与维护	208
第一节 数控机床的选型、安装、调试与验收	208
第二节 数控机床的故障诊断	215
第三节 数控机床的维护与保养	225
本章小结	227
习 题	227

第一章 概 述

第一节 数控技术与设备

一、数控机床的产生

随着科学技术和生产的不断发展,社会对各种产品的质量和生产效率提出了越来越高的要求。产品加工工艺过程的自动化是实现高质量、高效率的重要措施之一。目前许多生产企业(如家用电器、汽车、高精度机床等生产厂家)采用了自动机床、组合机床和自动生产线,这对保证产品质量、提高生产效率和减轻操作者的劳动强度起到了一定的作用。据统计,目前单件与小批量生产的零件占机械加工总量的80%以上。对这些多品种、加工批量小、形状复杂、精度要求高的零件的加工,采用专业化程度高的机床加工很不合适。即使批量较大的产品生产,也不可能是永远不变化的,市场经济要求各企业必须经常开发新产品,频繁地更新换代,以满足社会不断增长的需求。

随着现代微电子技术的飞速发展,微电子器件的集成度和信息处理功能不断提高,使微电子技术,尤其是微型计算机在机械制造领域得到广泛应用。计算机的信息处理功能与机械装置的加工功能相结合而构成的机电一体化系统,正在使机械制造产业发生一场新的革命。微机控制的数控机床、高精度高柔性化的加工中心,满足了当今市场竞争和工艺发展的需要,所以数字控制技术的应用是机械制造行业现代化的重要标志。

第一台数控机床出现在美国。1947年,美国密执安州特拉弗斯城帕森斯公司的帕森斯(John C. Parson),为了精确地制作直升飞机叶片的样板,设想了用电子技术控制坐标镗床的方案。1949年,美国空军后勤司令部为了在短时间内造出经常变更设计的火箭零件与帕森斯公司合作,并选择麻省理工学院伺服机构研究所为协作单位,于1952年研制成功了世界第一台数控机床——直线插补连续控制的三坐标立式铣床。1959年,美国的克耐·杜列克公司(Keaney & Treacker Corp, K&T公司)开发出世界第一台加工中心。

从1960年开始,德国、日本、前苏联等工业发达国家都陆续开发、生产及使用了数控机床。1967年,英国率先将几台数控机床连接成具有柔性的加工系统(FMS)。之后,美国、日本也相继进行了开发和应用。1974年,微处理器应用于数控机床,进一步促进了数控机床的普及应用和飞速发展。20世纪80年代初,国际上又出现了以2~3台数控机床或1台加工中心为主体,再配上工件自动装卸和监控检测装置的柔性制造单元(FMC)。这种单元投资少、见效快,既可以长时间单独运行,也可以集成到FMS或更高级的集成

制造系统中使用。

二、数控机床的发展趋势

数控机床是机器制造业乃至整个工业生产中不可缺少的复杂生产工具。随着微电子技术和计算机技术的发展,数控系统的性能日趋完善,应用领域也日益扩大。数控机床总的发展趋势是朝着高速化、高精度化、多功能化、智能化、小型化、系统化、多样性、成套性与高可靠性等方向发展,以满足社会生产发展中的各种需求。

1. 高速度、高精度化

速度和精度是机械制造技术的关键性能指标。由于采用了高速 CPU 芯片、多 CPU 控制系统以及带高分辨率检测元件的交流数字伺服系统,同时采取了改善机床动态、静态特性等的有效措施,机床的速度、精度已大大提高。

提高微处理器的位数和速度是提高数控系统速度的最有效的手段。现代数控系统已经逐步由 16 位 CPU 过渡到 32 位 CPU,日本已开发出 64 位 CPU 的数控系统。日本的 FANUC 公司的数控系统已广泛采用 32 位 CPU,如 FANUC-15 数控系统采用 32 位机,实现了最小位移单位为 $0.1\mu\text{m}$,最大进给速度达到 $100\text{m}/\text{min}$ 。

对于数控机床的高速化,提高主轴旋转速度也非常重要。由于主轴转速的高速化,切削时间比过去缩短了 80%。目前许多数控机床采用高速内装式主轴电动机,使主轴的驱动不必通过变速齿轮箱,而是直接把电动机与主轴连接成一体装入主轴部件中,可将主轴转速提高到 $40000\text{r}/\text{min} \sim 50000\text{r}/\text{min}$ 。第 13 届欧洲国际机床展览会上展示的数控机床,其主轴最高转速已达 $70000\text{r}/\text{min} \sim 100000\text{r}/\text{min}$ 。

提高数控机床的加工精度可通过减少数控系统的误差和采用补偿技术来实现,如提高数控系统的分辨率,使 CNC 控制单元精细化,提高位置检测精度(日本交流伺服电动机有的已安装每转可产生 100 万个脉冲的内藏位置检测器,位置检测精度能达到 $0.1\mu\text{m}/\text{脉冲}$)。目前,加工中心的定位精度就已由过去的 $\pm 5\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 1\mu\text{m}$ 。

2. 多功能化

数控加工中心(Machining Center, MC)可以将许多工序和工艺过程集中到一台机床上完成,实现自动换刀及自动更换工件,一次装夹完成全部加工工序,可以减少辅助时间,实现一机多用,最大限度地提高机床的开机率和利用率。

3. 高效化

数控机床加工提倡以减少工序及辅助时间为主要目的的复合加工,而且正向着多轴、多系列控制功能方向发展。工件在一台机床上一次装夹后,通过自动换刀、旋转主轴头或转台等各种措施,完成多工序、多表面的复合加工。数控技术的进步提供了多轴和多轴联动控制,如 FANUC-15 系统的可控轴数和联动轴数为 $2 \sim 15$ 轴,西门子 880 系统控制轴数可达 24 轴。装有滚珠丝杠的数控机床快速移动速度可达 $60\text{m}/\text{min}$,装有直线电机的数

控机床可达 $120\text{m/min} \sim 160\text{m/min}$ ；磨床的砂轮线速度可达 $120\text{m/min} \sim 160\text{m/min}$ ，甚至 200m/min 。自动换刀时间可在 1s 以下，托盘交换时间为 8s 左右。

4. 智能化

早期的系统通常针对相对简单的理想环境，其作用是如何调度任务，以确保加工在规定的期限内完成。而目前人工智能则试图用计算模型实现人类的各种智能行为。在数控技术领域，智能控制的研究和应用正沿着几个主要分支发展：自适应控制（AC-Adaptive Control）、模糊控制、神经网络控制、专家控制、学习控制、前馈控制等。自适应控制是在加工过程中不断检查能表示加工状态的相关参数，如切削力、切削温度，通过与机内设定参数的对比及相应的处理，对主轴转速、执行部件进给速度等进行校正，使数控机床能够始终在最佳的切削状态下工作，从而提高了加工精度。在数控系统中还可以配备编程专家系统、故障诊断专家系统、参数自动设定和刀具自动管理及补偿等自适应调节系统，在压力、温度、位置、速度控制等方面采用模糊控制，使数控系统的控制性能大大提高，从而达到最佳控制的目的。

5. 先进制造系统

柔性制造单元（Flexible Manufacturing Cell, FMC）是一种几乎不用人参与且能连续地对同一类型零件中不同零件进行自动化加工的最小加工单元，它既可以作为独立使用的加工设备，又可以作为柔性制造系统或柔性自动线的基本组成模块。

柔性制造系统（Flexible Manufacturing System, FMS）是由加工系统、物料自动储运系统和信息控制系统三者相结合并能自动运转的制造系统。这种系统可按任意顺序加工一组不同工序与不同加工节拍的零件，工艺过程随加工零件的不同做适当调整，能在设备的技术范围内自动地适应加工零件和生产规模的变化。

计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）是1974年美国的约瑟夫·哈林顿博士首先提出的。CIMS是一种企业经营管理的哲理，它强调企业的生产经营是一个整体，必须用系统的观点来研究和解决生产经营中出现的问题。集成是核心，它不仅是设备的集成，更主要是以信息为主导的技术集成和功能集成。计算机是集成的工具，计算机辅助的各单元技术是集成的基础，信息交换是桥梁，信息共享是目标。

三、数控机床的特点

1. 适应性强，可以完成不同工件的自动加工

数控机床是按照被加工工件的加工程序来进行自动加工的，当加工工件改变时，只需要改变加工程序就可以完成工件的加工。因此，生产准备周期短有利于机械产品的更新换代。

2. 加工精度高，尺寸一致性好

数控机床具有很高的刚度和热稳定性，其本身精度比较高（一般数控机床的定位精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$ ，重复定位精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$ ），还可以利用软件进行精度校正和补偿。

同时,在加工过程中工人不参与操作,工件的加工精度全部由数控机床保证,消除了操作者的人为误差。因此,数控机床不但加工精度高,而且尺寸一致性好,加工质量稳定。

3. 生产效率高

数控机床的主轴转速、进给速度和快速定位速度高,合理地选择高的切削参数,可以充分发挥刀具的性能,减少切削时间。同时,数控机床可以自动完成一些辅助动作,精度高且稳定,不需要在加工过程中进行中间测量,连续完成整个加工过程,减少辅助动作时间和停机时间。因此,数控机床的生产效率高。

4. 减轻劳动强度,改善劳动条件

数控机床是自动进行加工的,工件的加工过程不需要人的干预,工人只需要进行装夹工件、启动机床等操作,加工结束自动停车。这样就大大减轻了工人的劳动强度,改善了劳动条件。

5. 良好的经济效益

虽然数控机床一次性投资及日常维修保养费用较普通机床高,但是如能充分发挥数控机床的能力,将会带来良好的经济效益。这些效益不仅表现在生产效率高、加工质量好、废品率低上,还表现在减少工装和量刀具、缩短生产周期、减少在制品数量、缩短新产品试制周期等方面。因此,使用数控机床能带来良好的经济效益。

6. 有利于实现优化控制和生产系统的集成

计算机数字控制、标准代码编程等数控机床的基本控制形式,非常有利于多机之间或与计算机管理系统进行连接,实现生产系统的信息集成。

第二节 数控设备的组成及分类

一、数控设备的组成

数控设备主要由控制介质(信息载体)、数控装置、伺服系统和机床主体等四部分组成,闭环和半闭环控制的数控机床还有测量装置。数控机床的组成如图1-1所示。

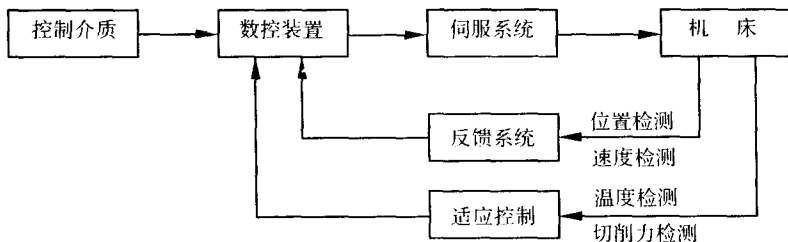


图 1-1 数控机床的组成

1. 控制介质

控制介质是存储数控加工信息的载体,它可以是穿孔带、磁带和磁盘等。数控加工信息包括零件的加工程序,加工零件时刀具相对工件的位置和机床的全部动作控制指令等,它们按照规定的格式和代码记录在信息载体(即控制介质)上。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,现代数控机床都采用计算机数控(CNC)装置。数控装置一般由输入、信息处理和输出三大部分构成。控制介质通过输入单元(如穿孔带阅读机、磁带机、磁盘机等)输入,转换成可以识别的信息,由信息处理单元按照程序的规定将接收的信息加以处理(如插补计算、刀具补偿等)后,通过输出单元发出位置、速度等指令给伺服系统,从而实现各种控制功能。

3. 伺服系统

伺服系统是把来自数控装置的各种指令转换成机床执行机构运动的驱动部件。它包括主轴驱动单元、进给驱动单元、主轴电机和进给电机等。伺服系统直接决定刀具和工件的相对位置,其性能是决定数控机床加工精度和生产率的主要因素。一般要求数控机床的伺服系统应具有较好的快速响应性能,以及灵敏而准确的跟踪指令功能。

4. 测量反馈系统

测量反馈系统由检测元件和相应的电路组成,其作用是检测机床的实际位置、速度等信息,并将其反馈给数控装置与指令信息进行比较和校正,构成系统的闭环控制。

5. 适应控制

适应控制是指针对机床当前的工作环境,如温度、振动、摩擦和切削力等因素的变化加以检测,将相关信息输入数控装置,使系统能对环境因素变化引起的误差作出补偿,以期提高加工精度和生产率。适应控制仅用于高效率 and 加工精度高的数控机床,一般数控机床很少采用。

6. 机床主机

机床主机包括床身、主轴、进给机构等机械部件。由于数控机床是高精度和高生产率的自动化机床,它与普通机床相比,其主机应具有更好的刚性和抗振性,相对运动面摩擦系数要更小。

二、数控设备的分类

数控机床的种类很多,分类方法不一。根据数控机床的功能和组成,可以从如下几个不同的角度进行分类。

1. 按刀具与工件的相对运动轨迹分类

(1) 点位控制(Positioning Control)数控机床

如图1-2(a)所示,点位控制数控机床只要求获得准确的点的坐标定位精度,而不

管从一点到另一点是按照什么轨迹运动。移动过程中不进行加工，对两点间的移动速度及运动轨迹没有严格要求，可以先沿一个坐标移动完毕，再沿另一个坐标移动，也可以沿多个坐标同时移动。例如数控钻床、数控坐标镗床及数控冲床。

(2) 直线控制 (Strait cut Control) 数控机床

如图 1-2 (b) 所示，直线控制数控机床不仅要求具有准确定位功能，而且要求从一点到另一点要按直线（一般是平行坐标轴的直线）运动，并能控制位移速度，这一类数控机床在两点之间移动时要进行切削加工，故对于不同的刀具和工件的加工，应选用不同的切削用量及进给速度。例如数控镗铣床、简易数控车床、加工中心等。

(3) 轮廓控制 (Contouring Control) 数控机床

如图 1-2 (c) 所示，轮廓控制数控机床的控制系统能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制，可用于加工曲线或曲面的零件。例如数控铣床、可加工曲面的数控车床、加工中心等。

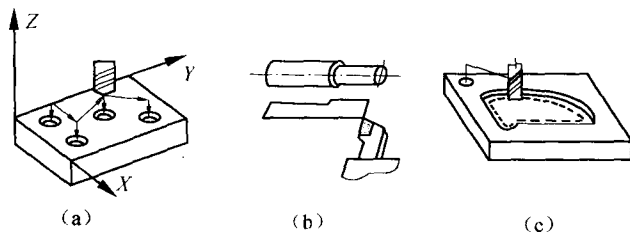


图 1-2 按相对运动轨迹分类

(a) 点位控制数控机床；(b) 直线控制数控机床；(c) 轮廓控制数控机床

2. 按伺服系统类型分类

(1) 开环控制 (Opened Loop Control) 方式

开环控制方式如图 1-3 所示，它是一种不带位置测量反馈装置的控制系统，控制装置输出信号是单向的。开环控制方式通常采用步进电动机做驱动元件，其转角和转速分别由输入脉冲的数量和频率决定。每当数控装置发出一个脉冲信号，就使步进电动机转子旋转一个固定角度（该角称为步距角），而机床工作台将移动一定的距离，即脉冲当量。

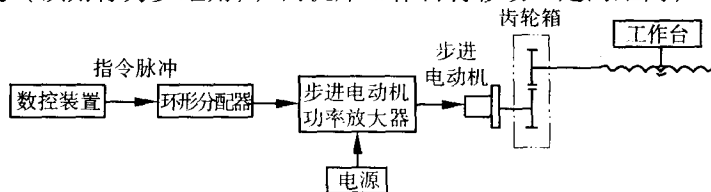


图 1-3 开环控制框图

由于开环控制系统没有位置反馈和校正系统,工作台的位移精度完全取决于步进电动机的旋转精度和机械传动系统的传动精度,因而精度较低。但其成本低、线路简单、调整方便,适用于一般精度要求不高的中小型数控机床。

(2) 闭环控制 (Closed Loop Control) 方式

闭环控制方式如图 1-4 所示,它是一种在机床移动部件上直接安装有位置测量反馈元件的控制方式。它将移动部件运动的实际位移和加工程序中规定的位置信息相比较,以其差值来控制伺服电动机工作,只有差值为零时伺服电动机才停止旋转。这样就可补偿伺服系统和机械系统的误差,因而精度很高,常用于高精度机床上。

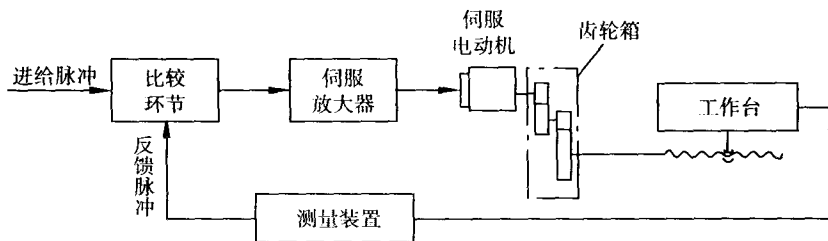


图 1-4 闭环控制框图

(3) 半闭环控制 (Half Closed Loop Control) 方式

半闭环控制方式如图 1-5 所示,这是一种将位置测量反馈元件(如旋转变压器)安装在丝杠上的控制方式。这样取得的反馈信息不是直接取自于机床运动部件,而是取自于丝杠或伺服电动机的转动。这种方式只补偿伺服系统的误差,不校正机械传动系统的误差,其精度介于开环控制和闭环控制之间。但其成本相对较低,调试方便,且系统容易稳定,因此应用较广泛。

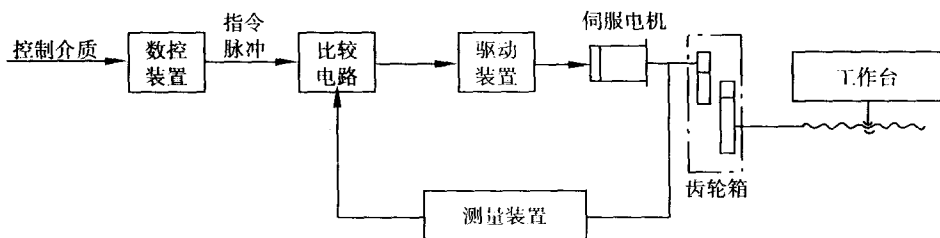


图 1-5 半闭环控制框图

3. 按加工方式分类

(1) 金属切削类数控机床

此类数控机床有数控车床(图 1-6)、数控钻床(图 1-7)、数控铣床(图 1-8)、

• 数控镗床、数控磨床（图 1-9）和加工中心等。

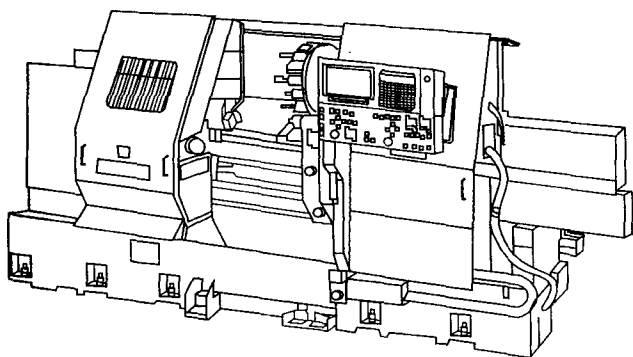


图 1-6 数控车床

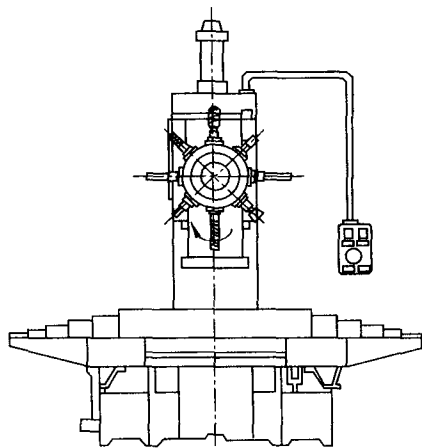


图 1-7 数控钻床

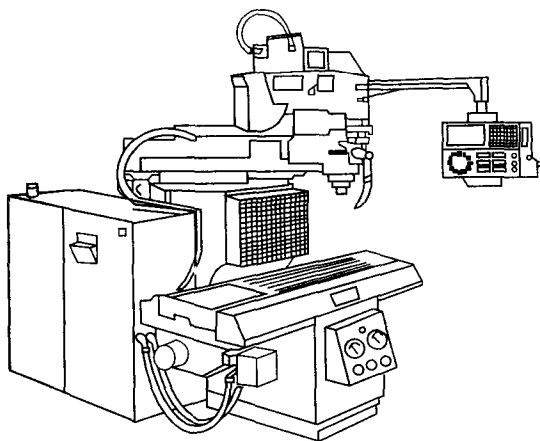


图 1-8 数控铣床

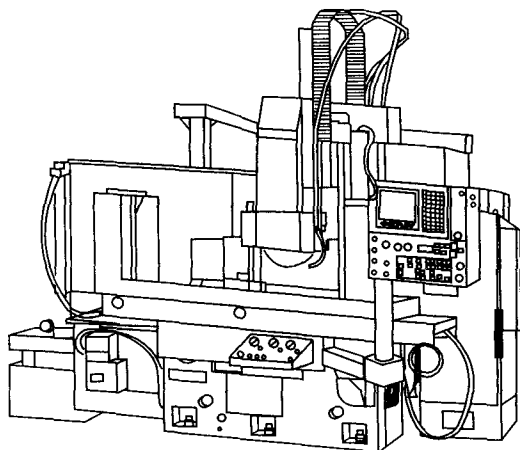


图 1-9 数控磨床

(2) 金属成型类数控机床

此类数控机床有数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机等。

(3) 特种加工类数控机床

此类数控机床包括数控线切割机（图 1-10）、数控电火花加工机床、数控激光切割机等。

(4) 其他类数控机床

其他类数控机床包括数控火焰切割机、数控三坐标测量仪等。

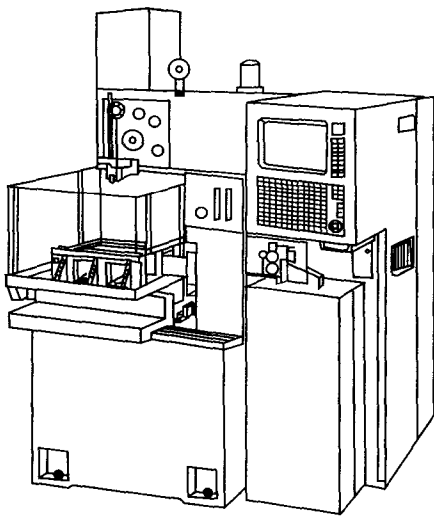


图 1-10 数控线切割机床

本章小结

本章对数控技术和设备作了简要的介绍，讲述了数控机床的产生，分析了数控机床的发展趋势，描述了数控机床的特点以及组成和分类。

第一节主要介绍数控机床的产生、发展及其特点，建立对数控机的感性认识。

第二节主要介绍数控机床的组成和分类，大致地了解了数控机床的构造及其工作原理，为进一步学习各种不同种类不同型号的机床打好基础。

习 题

1. 数控机床有怎样的发展趋势？
2. 简要说明数控机床的特点和与传统机床的区别。
3. 数控设备由哪几部分组成，简要叙述各组成部分的功能。
4. 简述数控机床的分类以及各种分类形式的标准。

第二章 数控加工编程的基础知识

第一节 数控加工编程概述

一、数控编程的目的与步骤

在数控机床上加工零件是把事先编写好的加工程序输入到数控机床的数控系统，而后由数控机床自动完成零件的加工过程。加工程序编制的过程是首先把零件加工所需的全部数据和信息（如零件的加工路线、切削用量、刀具参数、零件的尺寸数据等），按数控系统规定的格式和代码编写成加工程序，然后将程序记录在控制介质上，如穿孔纸带、磁带、磁盘等，最后将控制介质的数据和信息输入数控系统，由数控系统控制数控机床进行加工。在现代数控机床上，还可以通过控制面板或计算机直接通信的方式将零件加工程序输入数控系统，这不仅免去了制作控制介质的繁琐工作，而且提高了程序信息传递的速度和可靠性。理想的加工程序不仅应保证加工出符合图样要求的合格工件，同时应能使数控机床的功能得到合理的应用和充分的发挥，以使数控机床能安全、可靠、高效地工作。在编制程序之前，程序编制人员应充分了解数控加工工艺的特点，熟悉数控机床的规格、性能及数控系统所具备的功能和编程指令代码等。

1. 分析零件图样

通过对零件的材料、尺寸、形状、精度及毛坯形状和热处理的分析，确定零件在数控机床上进行加工的可行性。根据数控机床加工精度高、适应性强、效率高的特点，对于批量小、形状复杂、精度要求高的零件，选择在数控机床上加工，既可以满足零件加工精度的要求，又能充分发挥数控机床的功能。而有些零件在普通机床上加工困难甚至无法加工，如自由曲面、列表曲面等形状的零件，只能选择在数控机床上加工。同时还要考虑具体零件选择在什么数控机床上加工，如数控车、铣、镗床加工等。

2. 加工零件的工艺处理

工艺处理的内容包括：确定工件的进给路线，选择工件的定位基准，选用和设计夹具，选择刀具与确定对刀方式和对刀点，确定加工余量和选择合理的切削用量等。工艺处理涉及的问题很多。值得提醒的是，编程人员进行工艺处理和分析时应注意以下几个问题。

（1）选择机床

应考虑数控机床使用的合理性和经济性，并充分发挥数控机床的功能。