

娄 锐 主编

数控应用关键技术

——自动控制技术应用丛书



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

自动控制技术应用丛书

数控应用关键技术

娄 锐 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

全书共分 6 章。重点介绍了现代数控技术的发展趋势、典型计算机数控系统（日本 FANUC 数控系统和德国 SIEMENS 数控系统）的硬件结构、计算机数控（CNC）系统的软件及数据输入/输出功能、数控机床的驱动与位置控制、数控加工的工艺处理、数控机床的刀具与工具系统等数控加工技术基础知识、数控加工程序的编制方法及自动编程技术。本书对近几年发展的开放式数控系统、用于数控机床进给伺服系统的直线电动机及电主轴等数控技术均做了介绍。

本书可供从事加工制造业的工程技术人员使用，也可以作为大专院校学生的参考书，还可以作为继续教育的数控技术培训教材。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

数控应用关键技术 / 姜锐主编. —北京：电子工业出版社，2005.7

（自动控制技术应用丛书）

ISBN 7-121-01236-7

I. 数… II. 姜… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 048701 号

责任编辑：张 榕

特约编辑：刘汉斌

印 刷：北京市天竺颖华印刷厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销：各地新华书店

开 本：787×980 1/16 印张：23.5 字数：526.4 千字

印 次：2005 年 7 月第 1 次印刷

印 数：5 000 册 定价：35.00 元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。联系电话：（010）68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

《自动控制技术应用丛书》

序 言

随着工业生产的快速发展，人们对生产过程提出了更高的要求，然而由于控制过程及其对象更加复杂，因此要实现生产加工过程的理想控制就更加困难。近年来随着控制领域的新理论与新技术、计算机与网络技术的飞速发展，以及机械、电子与控制技术的相互渗透与融合，为实现生产加工过程的高品质控制提供了可能，同时也对工作在实际工程应用领域技术人员提出了新的挑战。这就要求他们根据自身的工作需要，熟悉和掌握在新的形势下所出现的先进控制手段与方法及新的机电控制与应用技术。

有鉴于此，为了满足广大工程技术人员的要求，电子工业出版社应用电子技术事业部组织编写了这套自动控制技术应用丛书。本套丛书涵盖了当前广大工程技术人员迫切需要的控制和机电应用等领域的新知识、新技术。丛书的主要作者都是在该领域具有一定经验和水平的专家或工程技术人员。

在当今控制技术飞速发展，应用范围不断扩大的形势下，编写这套技术丛书，非常及时。丛书主要从工程应用的角度出发，以比较成熟的新理论与技术为基础，应用举例详实具体，就解决控制工程中的实际问题给广大工程技术人员提供尽可能多的帮助。相信读者在阅读丛书时，会从不同角度得到许多有益的启示。

编写出版《自动控制技术应用丛书》，对于我们也是一种挑战，难免会存在各种不足或缺点，恳请广大读者给予理解和支持，并希望得到大家的批评指正。在本丛书的编写出版过程中还得到了电子工业出版社的有关领导及出版界专家的指导与帮助，特别是电子工业出版社应用电子技术部赵丽松主任及张榕编审对推动本套丛书的出版起到了至关重要的作用，对此我们表示衷心的感谢。

《自动控制技术应用丛书》编委会

前 言

现代数控技术覆盖了自动控制技术、计算机技术、传感检测技术、液压气动技术、精密机械技术和网络通信技术等。进入 21 世纪,现代数控技术正在飞速发展,数控系统的高性能、智能化、开放性和网络化已成为发展的主流。

本书重点介绍数控技术应用和加工程序编制的关键技术。在第 1 章“数控技术应用概述”中,重点介绍现代数控技术的发展趋势、虚拟机床和网络化制造等数控新技术应用;在第 2 章“计算机数控(CNC)系统”中,分别介绍了典型数控系统(日本 FANUC 数控系统和德国 SIEMENS 数控系统)的硬件结构、CNC 系统的软件及数据输入/输出功能,特别介绍了开放式数控系统;在第 3 章“数控机床的驱动与位置控制”中,重点介绍了进给驱动、主轴驱动和检测元件,特别介绍了直线电动机在数控机床进给伺服中的应用和新型主轴电动机结构;在第 4 章“数控加工技术基础知识”中,分别介绍了数控加工的工艺处理、数控机床的刀具与工具系统及手工编程中的数值计算;在第 5 章“数控手工编程技术”中,阐述程序编制方法时突出了应用性和实用性,所列举的编程实例均符合加工现场的实际;在第 6 章“数控自动编程技术”中,重点介绍了 Master CAM 应用基础、几何造型实例和刀具轨迹的生成,还简要介绍了 UG 应用基础、曲线及曲面造型方法与技巧,以及草图绘制实例等。

全书共分 6 章。其中,第 1 章、第 4 章和第 5 章由娄锐编写;第 2 章(第 2.1、2.3 节)由杨中力编写;第 2 章(第 2.2 节)和第 6 章(第 6.1、6.3 节)由王悦编写;第 3 章由刘文芳编写;第 6 章(第 6.2 节)由赵新杰编写。全书由娄锐统稿。

本书在编写过程中参阅了同行专家学者的教材、资料和文献,在此谨致谢意。对天津机电职业技术学院梁宇栋、张礼和郭永亮等同志所给予的支持和帮助一并致谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处和错误,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 数控技术应用概述	1
1.1 数控机床简介	1
1.1.1 数控技术的基本概念	1
1.1.2 数控机床的组成和工作过程	1
1.2 数控机床的分类及应用范围	3
1.2.1 按工艺用途分类	3
1.2.2 按控制方式或运动方式分类	10
1.3 数控编程的方法及关键技术	10
1.3.1 数控编程的方法	10
1.3.2 数控编程的关键技术	11
1.4 现代数控技术的发展趋势	15
1.4.1 数控技术的发展沿革	15
1.4.2 数控技术的发展趋势	16
1.5 数控新技术应用介绍	20
1.5.1 并联机床	20
1.5.2 网络化制造	22
第 2 章 计算机数控 (CNC) 系统	25
2.1 典型数控系统硬件结构	25
2.1.1 FANUC 数控系统概述	25
2.1.2 SIEMENS 数控系统介绍	27
2.1.3 FANUC—0C 数控系统的结构及各部分的功能	30
2.1.4 SIEMENS SIN840C 数控系统的硬件	40
2.2 CNC 系统的软件	48
2.2.1 数控系统的参数	48
2.2.2 PMC 程序	53
2.2.3 开放式数控系统	77
2.3 CNC 的数据输入/输出功能	78
2.3.1 CNC 数据输入/输出设备的作用	78

2.3.2 串行通信简介	78
第 3 章 数控机床的驱动与位置控制	82
3.1 概述	82
3.1.1 伺服系统的基本概念	82
3.1.2 对伺服系统的基本要求	82
3.1.3 伺服控制系统的分类	83
3.1.4 常用伺服执行元件	84
3.2 进给驱动	92
3.2.1 步进电动机驱动控制系统	92
3.2.2 直流电动机速度控制单元	95
3.2.3 交流电动机速度控制单元	101
3.2.4 直线电动机在数控机床进给驱动中的应用	103
3.2.5 虚拟轴机床的发展	104
3.3 主轴驱动	104
3.3.1 对主轴驱动的要求	104
3.3.2 直流主轴驱动系统	105
3.3.3 交流主轴驱动系统	106
3.3.4 主轴准停控制	112
3.4 检测元件	115
3.4.1 位置检测元件的要求及分类	115
3.4.2 脉冲编码器	116
3.4.3 光栅测量装置	119
3.4.4 旋转变压器	123
3.4.5 感应同步器	126
3.4.6 磁栅传感器	130
3.5 位置控制系统	133
3.5.1 相位控制伺服系统	134
3.5.2 幅值控制伺服系统	136
3.5.3 数字-脉冲比较控制伺服系统	137
3.5.4 全数字控制伺服系统	138
第 4 章 数控加工技术基础知识	142
4.1 数控加工的工艺处理	142
4.1.1 数控机床的合理选用	142

4.1.2 对零件图样的工艺性分析	143
4.1.3 数控加工工序的划分	145
4.1.4 加工路线的确定	147
4.1.5 切削用量的确定	149
4.1.6 零件的装夹与夹具的选择	151
4.1.7 数控加工的工艺文件	157
4.2 数控机床的刀具与工具系统	159
4.2.1 数控加工对刀具的要求	159
4.2.2 数控刀具材料	160
4.2.3 数控车削刀具	162
4.2.4 刀具失效的形式、原因及解决方法	165
4.2.5 数控镗铣加工刀具	167
4.2.6 工具系统	170
4.3 数控编程的基础知识	174
4.3.1 程序字、程序的组成、程序段及程序段的格式	174
4.3.2 准备功能和辅助功能	176
4.3.3 数控机床的坐标系	180
4.3.4 数控编程的工件坐标系	184
4.4 手工编程中的数值计算	184
4.4.1 数值计算的概念	184
4.4.2 由直线和圆弧组成零件轮廓时的基点计算	186
4.4.3 简单立体型面零件的数值计算	192
第5章 数控手工编程技术	194
5.1 数控车削编程技术	194
5.1.1 数控车床的编程特点	194
5.1.2 数控车床的坐标系	194
5.1.3 S、F、T 功能	196
5.1.4 基本编程指令	198
5.1.5 换刀点的设置与自动换刀	202
5.1.6 刀具补偿功能	204
5.1.7 固定循环功能	207
5.1.8 车削中心的程序编制	218
5.2 数控车削编程实例	220

5.2.1 轴类零件编程实例	220
5.2.2 套类零件编程实例	222
5.2.3 盘类零件编程实例	226
5.2.4 车削中心编程实例	230
5.3 数控镗铣加工编程技术	232
5.3.1 镗铣类数控机床的编程特点	232
5.3.2 数控镗铣类机床的坐标系统	233
5.3.3 基本编程指令	235
5.3.4 刀具补偿指令	236
5.3.5 子程序的应用	240
5.3.6 固定循环功能	240
5.3.7 数控镗铣床的特殊编程指令	245
5.4 数控镗铣加工编程实例	247
5.4.1 立式加工中心编程实例	247
5.4.2 卧式加工中心编程实例	251
第 6 章 数控自动编程技术	261
6.1 CAD/CAM 技术	261
6.1.1 基本概念	261
6.1.2 CAD/CAM 技术及其应用	262
6.1.3 国际主流 CAD/CAM 软件	264
6.1.4 系统间的接口	268
6.2 MASTER CAM 应用基础	269
6.2.1 系统环境介绍	269
6.2.2 几个重要的概念	274
6.2.3 几何造型实例	282
6.2.4 刀具路径的生成	283
6.3 UG 应用基础	301
6.3.1 用户界面	301
6.3.2 UG 的功能模块	302
6.3.3 UG 的文件操作	302
6.3.4 用户自定义界面	304
6.3.5 图素属性的控制	308
6.3.6 UG 的坐标系	309

6.3.7 常用工具的操作	313
6.3.8 曲线造型的方法与技巧	321
6.3.9 造型实例：五角星曲面造型	339
6.3.10 草图及约束	341
6.3.11 草图绘制实例	357
参考文献	362

第 1 章 数控技术应用概述

1.1 数控机床简介

1.1.1 数控技术的基本概念

数控技术是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一种方法。通常将数控技术简称为数控 (Numerical Control, NC)。由于现代数控技术都是采用计算机进行控制的, 因此, 数控技术又称做计算机数控 (Computerized Numerical Control, CNC)。

数控系统 (Numerical Control System) 是由用来实现数字化信息控制的硬件和软件组成的系统。软件在硬件的支持下运行, 而离开软件, 硬件无法工作, 两者缺一不可。数控系统的核心是数控装置 (Numerical Controller), 也称为 NC 装置; 采用微型计算机控制的数控装置称为 CNC 装置。

数控系统的发展与计算机技术和微电子技术的发展始终保持同步。数控机床诞生以来, 经历了从电子管、晶体管、集成电路、微处理器到基于工业 PC 的通用 CNC 系统的演变过程, 系统的功能不断增强, 应用领域日益扩大, 发展速度异常迅速。

数控机床是采用数控技术进行控制的机床或者说是装备了数控系统的机床。它是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术、通信技术和精密机械技术等先进技术的典型的机电一体化产品。数控机床制造业是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的基础产业, 数控机床技术水平的高低和拥有量的多少是衡量一个国家工业现代化程度的重要标志。随着社会的多样化需求及相关技术的不断进步, 数控机床正向着更广的领域和更深的层次发展。

1.1.2 数控机床的组成和工作过程

1. 数控机床的组成

数控机床主要由程序载体、人机交互装置、数控装置、伺服系统和机床本体等部分组成, 如图 1-1 所示。

1) 程序载体

要对数控机床进行控制, 就必须在人与数控机床之间建立某种联系, 这种联系的中间媒介物被称为程序载体, 如穿孔带、磁带和磁盘等。

在数控机床上加工零件, 首先要对零件图样上的几何形状、尺寸和技术条件进行工艺分析, 并在此基础上确定加工顺序和走刀路线, 确定主运动和进给运动的工艺参数, 确定加

工过程中的各种辅助操作,之后用标准格式和代码编制出零件的加工程序。目前常用的方法是用手动输入方法将加工程序输入到数控装置中,也可以将加工程序存储在程序载体上。

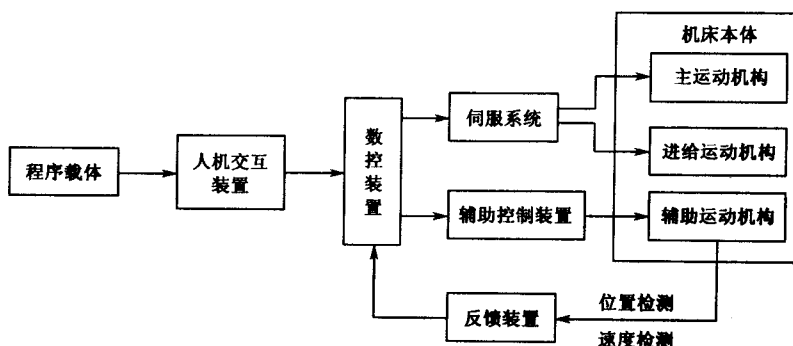


图 1-1 数控机床的组成框图

2) 人机交互装置

数控机床的操作人员要通过人机交互装置对数控系统进行操作和控制,人机交互装置的作用是,将程序载体上的数控代码信息转换成电脉冲信号传送到数控装置的内存存储器,对输入的加工程序进行编辑和调试,显示数控机床运行状态,显示机床参数及坐标轴位置等。键盘和显示器是数控系统不可缺少的人机交互装置,现代数控机床,可以利用机床上的显示器及键盘以手动方式输入加工程序,也可以通过计算机用通信方式将自动编程产生的加工程序传送到数控装置。

根据程序载体的不同形式,人机交互装置还可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。

3) 数控装置

数控装置是数控机床最重要的组成部分,主要由输入/输出接口电路、控制器、运算器和存储器等组成。数控装置的作用是将人机交互装置输入的信息,通过内部的逻辑电路或系统的控制软件进行译码、存储、运算和处理,将加工程序转换成控制机床运动的信号和指令,以控制机床的各部件完成加工程序中规定的动作。

4) 伺服系统

伺服系统是由伺服控制电路、功率放大电路和伺服电动机组成的数控机床执行机构,其作用是来自数控装置的位置控制信息转化为各坐标轴方向的进给运动和定位运动。伺服系统作为数控机床的最后控制环节,其控制精度和相应动态特性,对机床的工作性能、加工精度和加工效率有直接的影响。

5) 机床本体

机床本体是数控机床的主体,从布局到结构都充分考虑适应数控加工的特点,它是用于完成各种切削加工的执行部件。与传统机床相比,数控机床具有传动结构简单、运动部件的运动精度高、结构刚性好、可靠性高和传动效率高等特点。

2. 数控机床的工作过程

数控机床工作过程示意图如图 1-2 所示。

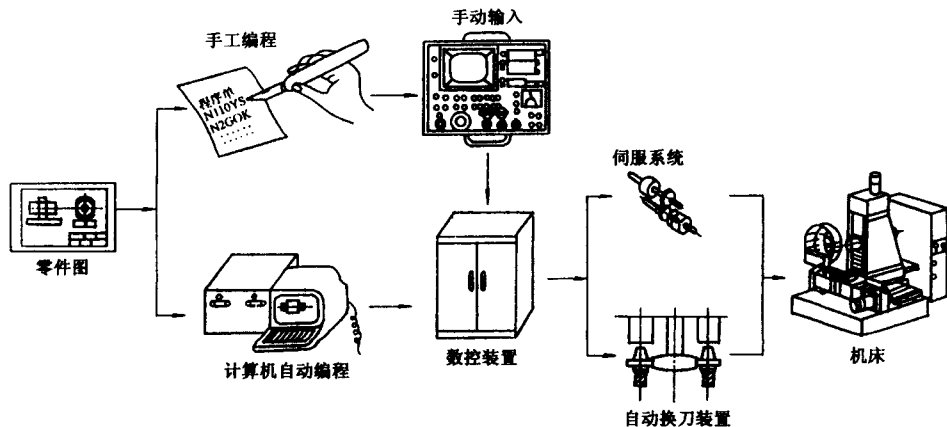


图 1-2 数控机床工作过程示意图

(1) 第 1 步：编制加工程序。根据被加工零件的图样进行工艺方案设计，用手工编程或自动编程方法，将加工零件所需的机床各种动作及工艺参数等编写成数控系统能够识别的信息代码，即加工程序。

(2) 第 2 步：加工程序的输入。可以通过手动输入方式、光电读带机输入、驱动器输入或用计算机和数控机床的接口直接进行通信等方法，将所编写的零件加工程序输入数控装置。

(3) 第 3 步：数控装置对加工程序进行译码和运算处理。进入数控装置的信息代码经一系列的处理和运算变成脉冲信号，有的脉冲信号送到机床的伺服系统，经传动机构驱动机床相关部件，完成对零件的切削加工；有的脉冲信号送到可编程序控制器中，按顺序控制机床的其他辅助部件，完成零件的夹紧、松开，切削液的开闭及刀具的自动更换等动作。

(4) 第 4 步：加工过程的在线检测。机床在执行加工程序的过程中，数控系统需要随时检测机床的坐标轴位置、限位开关的状态等，并与程序的要求相比较，以决定下一步动作，直到加工出合格的零件。

1.2 数控机床的分类及应用范围

1.2.1 按工艺用途分类

数控机床是在通用机床的基础上发展起来的，和传统的通用机床工艺用途相似。因此，按工艺用途对数控机床进行分类，是最基本的分类方法。

1. 金属切削类

1) 普通型数控机床

最常用的数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床和数控齿轮加工机床等金属切削类机床。

典型的数控车床如图 1-3 所示,从布局上看,刀架的结构与卧式车床相比变化较大,零件装夹在主轴前端,随主轴旋转;刀具装夹在回转刀架上,刀架做纵向和横向两个坐标轴方向的移动。在数控车床上除了能够完成卧式车床上的工艺内容外,还能完成各种非解析的内外回转表面的加工,如加工图 1-4 所示的手把零件。

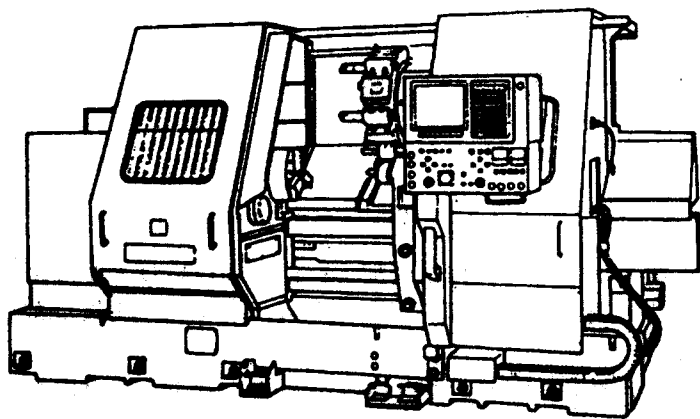


图 1-3 数控车床

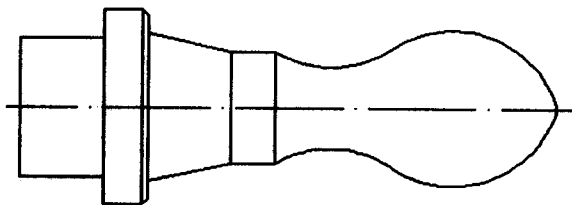


图 1-4 手把零件

典型的数控铣床如图 1-5 所示,其布局和结构与普通立式铣床相同,主轴带动刀具旋转,升降工作台可以做纵向、横向和垂直方向三个坐标轴方向的移动。普通铣床所能完成的工艺内容,数控铣床都能完成。除此之外,由于数控系统通过伺服进给机构可以同时控制两个或三个坐标轴方向的运动,因此数控铣床还可以加工如图 1-6 所示的具有平面轮廓的凸轮零件和如图 1-7 所示的复杂三维曲面凹模。数控铣床主轴前端的结构与普通铣床不同,可以分别装夹铣刀、钻头和镗刀,因此还具有数控钻床和数控镗床的加工功能。图 1-8 所示为利用数控铣床加工的连接板零件的孔系。

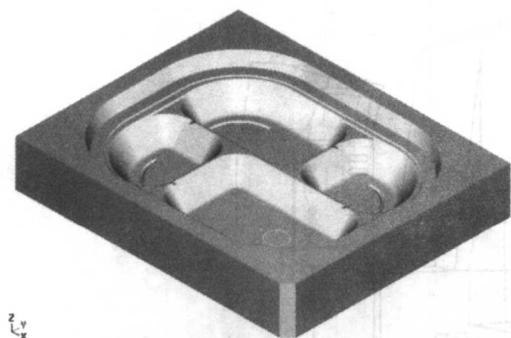


图 1-7 复杂三维曲面凹模

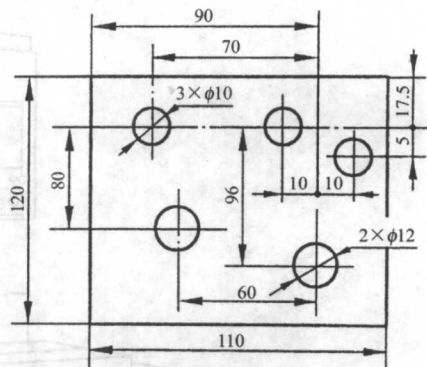


图 1-8 利用数控铣床加工的连接板零件的孔系

图 1-9 所示为带有转塔主轴头的数控钻床，转塔上安装有多个主轴头，主轴头上预先装夹有各工序所需要的旋转刀具。加工过程中各主轴头依次转到各加工位置，并带动刀具旋转，此时处于非加工位置的主轴头均与主运动脱开。数控钻床主要完成钻孔、扩孔、铰孔、镗孔和攻螺纹等工艺内容，还可以完成简单的铣削功能。

图 1-10 所示为数控平面磨床的外观图，数控平面磨床主要用于高硬度、高精度零件的平面加工。随着自动砂轮补偿技术、自动砂轮修正技术和磨削固定循环技术的发展，数控磨床的加工功能越来越强。

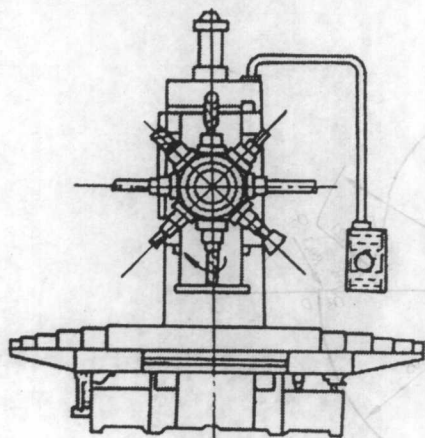


图 1-9 数控钻床

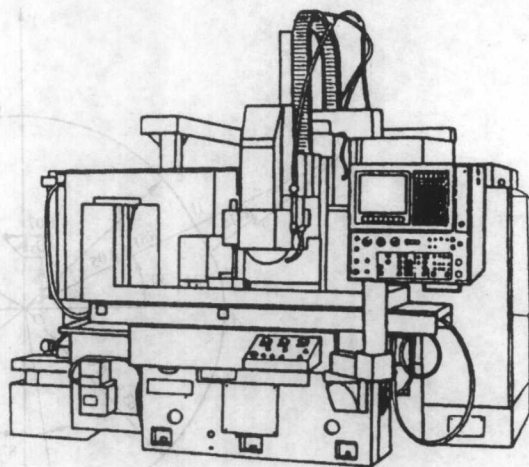


图 1-10 数控平面磨床

2) 加工中心

普通数控机床一般只能完成一两种工艺的加工，适用于单件、小批量和多品种的零件加工。在普通数控机床上加装刀库和自动换刀装置，构成一种带自动换刀系统的数控

机床,称为加工中心。以镗铣加工中心为例,它将数控铣床、数控钻床和数控镗床的功能组合在一起,零件在一次装夹后,可以对零件的大部分加工表面进行铣削、镗削、钻孔、扩孔、铰孔和攻螺纹等多种工艺加工。图 1-11 为立式加工中心,安装在机床侧面的刀库为圆盘式刀库。图 1-12 为卧式加工中心,链式刀库安装在机床侧面,主轴可以垂直移动,工作台可以做纵向和横向移动。卧式加工中心上一般都配置有回转工作台和分度工作台,分度工作台用于完成零件分度,回转工作台用于完成圆周进给运动。图 1-13 的发动机机体,需要一次装夹后加工多个面,每个面上又有许多加工要求,很适合在卧式加工中心上加工。

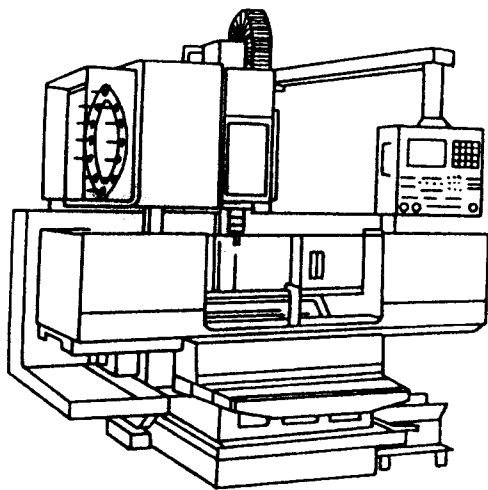


图 1-11 立式加工中心

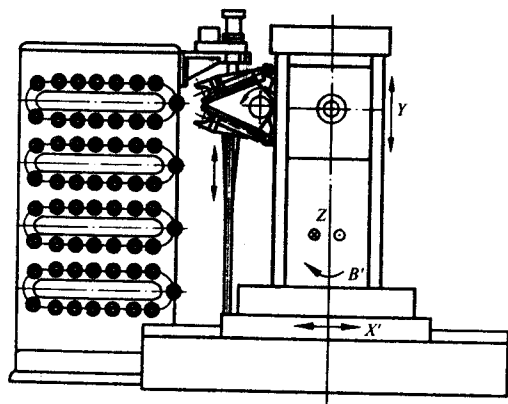


图 1-12 卧式加工中心

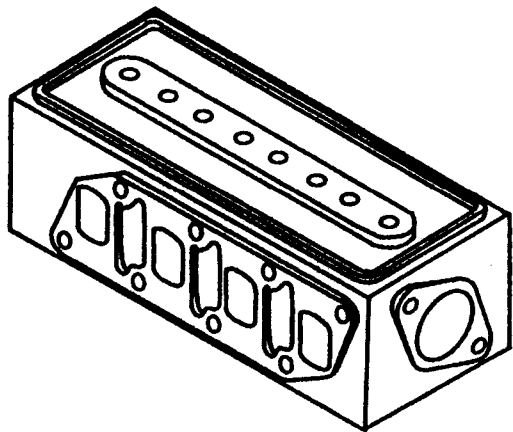


图 1-13 发动机机体