

FANUC数控编程简明工具书
全实例教学法，110余个典型实例详细讲解

FANUC

数控编程手册

杜军 编著



化学工业出版社

FANUC

数控编程手册

杜军 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是一本 FANUC 系统数控编程实用简明工具书,详细介绍了数控编程基础、车削加工编程、铣削加工编程、仿真加工、自动编程、宏程序,采用“实例教学法”,精选 110 余道典型例题,“手把手”引导读者学习。全书内容由浅入深,循序渐进,图文并茂,实例丰富。

本书可作为职业院校数控技术应用、机电一体化、模具设计与制造等专业的教学用书,也可作为机械制造有关专业的师生和从事数控加工相关工作技术人员的参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

FANUC 数控编程手册/杜军编著. —北京:化学工业出版社, 2017. 4

ISBN 978-7-122-29046-5

I. ①F… II. ①杜… III. ①数控机床-程序设计-技术手册 IV. ①TG659-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 026992 号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:陈 喆

责任校对:宋 玮

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装有限公司

850mm×1168mm 1/32 印张 10 $\frac{1}{2}$ 字数 306 千字

2017 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.80 元

版权所有 违者必究

FOREWORD

前言

机械制造业是国民经济的支柱产业，数控化制造技术的发展正在引领着传统机械制造业的又一次变革，数控加工、CAD/CAM（计算机辅助设计及制造）等技术的应用所带来的巨大效益，已引起世界各国科技与工业界的普遍重视。目前，随着国内数控机床用量的剧增，需要大批面向生产第一线的熟悉数控加工工艺，能够熟练掌握现代数控机床编程、操作和维护的应用型高级技术人才。

本书立足于数控加工编程实用技术，强调数控编程应用能力的培养，选用目前国内外应用最广泛的 FANUC 数控系统，以简单明了的理论知识做引导，以实际应用为目的，融基础知识、工艺技术、编程原理与方法、基本操作技能于一体，依次介绍了数控编程基础知识、车削加工编程、铣削加工编程、仿真加工、Mastercam 软件自动编程技术、宏程序，内容由浅入深，循序渐进，图文并茂，实例丰富。

全书采用符合认知规律、实践证明行之有效的“实例教学法”，以大量实例讲解贯穿全书，共设计了 110 余道典型例题。采用“三段式教学”，每一章节都有基础知识，理论知识介绍简明化；以例导学，每一节都精选典型例题详细讲解，引导读者掌握数控编程应用技术；以练促学，给出部分针对性的练习题，供读者举一反三，对所学知识融会贯通。

全书采用模块化编写，各章节相对独立，又具有一定的通用性，读者可逐章学习或者随心查阅。

由于编写时间仓促及水平有限，书中难免有不足之处，希望广大读者提出宝贵意见和建议。

编著者

第 1 章 数控编程基础

1.1	数控编程概述	001
1.2	数控机床	003
1.3	数控机床夹具	011
1.4	数控加工常用刀具	015
1.5	数控加工工件	020
1.6	数控加工工艺	025
1.7	切削用量	037
1.8	数控机床坐标系	041
1.9	基点坐标值	045
1.10	数控程序基础	052

第 2 章 车削加工编程

2.1	数控车削加工编程概述	058
2.2	数控车削精加工	060
2.2.1	精车右端面	060
2.2.2	精车外圆柱面	065
2.2.3	精车外圆锥面	069
2.2.4	精车外圆弧面	072
2.2.5	矩形外沟槽加工	076
2.2.6	切断	079
2.2.7	精车外圆柱螺纹	082
2.2.8	精车外圆锥螺纹	085
2.2.9	精车内孔	087
2.2.10	精车综合编程	089
2.3	数控车削粗、精加工	092

2.3.1	粗、精车外圆柱(锥)面	092
2.3.2	粗、精车外圆弧面	096
2.3.3	粗、精车外圆柱(锥)螺纹	099
2.4	数控车削循环指令	103
2.4.1	外圆柱面切削循环 G90	103
2.4.2	外圆锥面切削循环 G90	106
2.4.3	外圆柱(锥)螺纹切削循环 G92	109
2.4.4	外圆车削复合循环 G71	112
2.4.5	仿形车削复合循环 G73	115
2.4.6	螺纹切削复合循环 G76	117
2.5	子程序	120
2.6	车削加工综合编程	124

第 3 章 铣削加工编程

3.1	数控铣削加工编程概述	133
3.2	刀具半径补偿	137
3.3	数控铣削精加工	141
3.3.1	直线插补精铣平面外轮廓	141
3.3.2	圆弧插补精铣平面外轮廓	145
3.3.3	切削加工导入、导出路线	149
3.3.4	精铣立体零件外轮廓	150
3.3.5	精铣台阶形零件	153
3.3.6	精铣立体零件内轮廓	155
3.3.7	字(符)槽加工	159
3.3.8	精铣曲面凹槽	161
3.4	数控铣削粗、精加工	164
3.4.1	深度分层铣削	164
3.4.2	XY 平面分层铣削	167
3.5	刀具长度补偿	169
3.6	孔加工固定循环	171
3.7	铣削子程序	181

第 4 章 仿真加工

4.1 数控车仿真加工	187
4.1.1 了解仿真加工	187
4.1.2 MDI 模式下启动主轴	197
4.1.3 手动加工与尺寸测量	200
4.1.4 试切对刀建立 G54 工件坐标系	203
4.1.5 数控程序输入	208
4.1.6 调用程序自动加工	212
4.1.7 T 指令建立工件坐标系与多刀对刀	214
4.1.8 零件掉头加工	221
4.1.9 尺寸精度保证	227
4.2 数铣仿真加工	230

第 5 章 自动编程

5.1 了解自动编程	239
5.2 车削 CAM	244
5.3 铣削 CAM	256
5.3.1 外形铣削	256
5.3.2 挖槽加工	266
5.3.3 平面铣削	271
5.3.4 钻孔加工	275
5.3.5 曲面加工	279

第 6 章 宏程序

6.1 宏程序基础	287
6.2 车削宏程序	301
6.3 铣削宏程序	312
参考文献	330



数控编程基础

Chapter 01

1.1 数控编程概述

(1) 数控加工工艺系统

用金属切削刀具从工件上切除多余（或预留）的金属，从而获得在形状、尺寸精度及表面质量上都合乎预定要求的产品的加工过程称为金属切削加工。在切削加工过程中，刀具同工件之间必须有相对的切削运动，它由金属切削机床来完成。采用数控机床进行金属切削加工简称数控加工，数控机床、夹具、刀具和工件构成数控加工工艺系统，数控加工过程中的各种现象、规律及其本质，都要在这个工艺系统的运动状态中去考察研究。

(2) 数控加工工艺过程和数控加工工艺

数控加工工艺过程是利用切削工具在数控机床上直接改变加工对象的形状、尺寸、表面位置、表面状态等，使其成为成品或半成品的过程。

数控加工工艺是采用数控机床加工零件时所运用的各种方法和技术手段的总和，并将其应用于整个数控加工工艺过程。数控加工工艺是伴随着数控机床的产生、发展而逐步完善起来的一种应用技术，它是人们进行的大量数控加工实践的经验总结。

(3) 数控加工程序编制（简称数控编程）

数控机床与普通机床加工零件的区别在于数控机床是按照程序自动加工零件，而普通机床则要求由工人手工操作来加工零件。输入数控机床用以执行一个确定的加工任务的一系列指令，称为数控程序或零件程序。

数控编程是指从零件图纸到数控程序编制并制成控制介质的全

过程,即为根据零件的图形尺寸,把零件的工艺过程、工艺参数、机床的运动以及刀具位移等内容,按动作顺序和数控机床规定的指令、格式,编成加工程序,再记录于控制介质即程序载体(磁盘等),输入数控装置,从而指挥机床加工并根据加工结果加以修正的过程(图1-1)。具体来说是将加工的工艺分析、加工顺序、零件轮廓轨迹尺寸、工艺参数(F、S、T等指令)及辅助动作(变速、换刀、冷却液启停、工件夹紧松开等)等,用规定的文字、数字、符号组成的代码按一定的格式编写加工程序单,并将程序单的信息变成控制介质的整个过程。

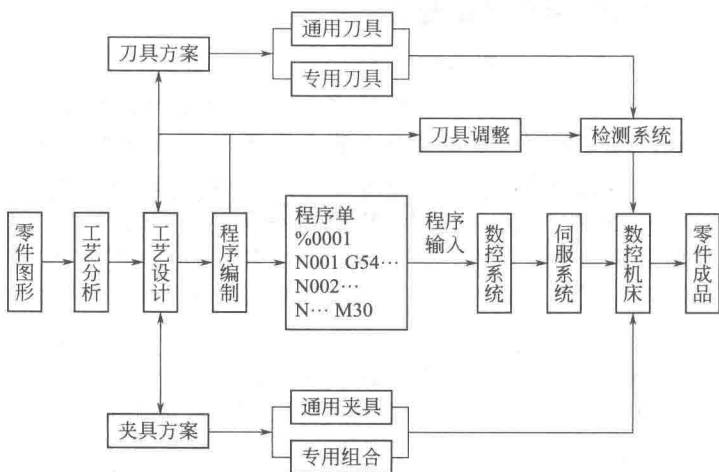


图 1-1 数控编程工作框图

数控编程技术包含了数控加工与编程、金属加工工艺、CAD/CAM 软件等多方面的知识,其主要任务是计算加工走刀中的刀位点(简称 CL 点)。根据数控加工的类型,数控编程可分为数控车削加工编程、数控铣削加工编程、数控电加工编程等。

不同的数控机床和不同的数控系统需要编制的数控程序不尽相同,但不论编制任何数控机床和数控系统的数控程序均需要熟练掌握坐标系和常用代码指令等重要基础知识。

典型的数控编程过程与步骤如下:

① 加工工艺分析。

- ② 计算加工轨迹和加工尺寸。
- ③ 编制加工程序清单。
- ④ 程序输入。
- ⑤ 程序校验和试切削。

(4) 数控编程方法

数控编程方法有手工编程和自动编程两种。

整个编程过程由人工完成的编程方法称为手动编程。手动编程对编程人员的要求高,要求熟悉数控代码功能、编程规则,具备机械加工工艺知识和数值计算能力等。手动编程适用于几何形状不太复杂的零件和三坐标联动以下加工程序的编制。

编程人员根据零件图纸的要求,按照某个自动编程系统的规定,将零件的加工信息用较简便的方式送入计算机,编程系统根据数控系统的类型输出数控加工程序的编程方法称为自动编程。自动编程适用于形状复杂的零件、虽不复杂但编程工作量很大的零件(如有数千个孔的零件)和虽不复杂但计算工作量大的零件(如非圆曲线轮廓的计算)的加工程序的编制。

据不完全统计,用手工编程时,一个零件的编程时间与机床实际加工时间之比平均约为 30 : 1。数控机床不能开动的故障案例中,有 20%~30%是由于加工程序不能及时编制出造成的。因此自动编程是当今的趋势,但手工编程是学习自动编程的基础。

1.2 数控机床

(1) 数控机床的定义

数控,即数字控制(Numerical Control, NC)。数控技术是指用数字信号形成的控制程序对一台或多台机械设备进行控制的一门技术。

数控机床(Numerically Controlled Machine Tool),简单地说,就是采用了数控技术的机床。即将机床的各种动作、工件的形状、尺寸以及机床的其他功能用一些数字代码表示,把这些数字代码通过信息载体输入给数控系统,数控系统经过译码、运算以及处理,发出相应的动作指令,自动地控制机床的刀具与工件的相对运动,从而加工出所需要的工件。

(2) 数控机床的组成

数控机床主要由程序介质、数控装置、伺服系统、机床主体等四部分组成，如图 1-2 所示。

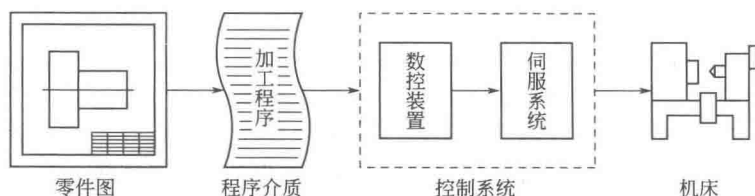


图 1-2 数控机床的组成

程序介质用于记载机床加工零件的全部信息，如零件加工的工艺过程、工艺参数、位移数据、切削速度等。常用的程序介质有磁盘等。数控机床大都采用操作面板上的按钮和键盘将加工程序直接输入或通过串行口将计算机上编写的加工程序输入到数控系统。在 CAD/CAM 集成系统中，其加工程序可不需任何载体直接输入到数控系统。

数控装置是控制机床运动的中枢系统，它的基本任务是接受程序介质带来的信息，按照规定的控制算法进行插补运算，把它们转换为伺服系统能够接受的指令信号，然后将结果由输出装置送到各组控制伺服系统。

伺服系统是由伺服驱动电机和伺服驱动装置组成的，是数控系统的执行部件。它的基本作用是接收数控装置发来的指令脉冲信号，控制机床执行机构的进给速度、方向和位移量，以完成零件的自动加工。

通常数控系统由数控装置和伺服系统两部分组成，各公司的数控产品也是将两者作为一体的。

机床主体也称主机，包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件，如底座、立柱、滑鞍、工作台（刀架）、导轨等。

(3) 数控机床的分类

数控机床的品种和规格繁多，分类方法不一。根据不完全统计，目前已有近 500 种数控机床。根据数控机床的功能和组成，一

般可分为以下几类，如表 1-1 所示。

表 1-1 数控机床分类

分类方法	机床类型		
按工艺用途分	数控车床	数控铣床	加工中心
按坐标轴数分类	2 轴	3 轴	n 轴数控机床
按系统控制特点分类	点位控制数控机床 (数控钻床, 数控镗床, 数控冲床, 三坐标测量机, 印刷电路板钻床)	直线控制数控机床 (数控车床、数控铣床、数控磨床、数控镗床)	轮廓控制数控机床 (数控车床、数控铣床、加工中心)
按系统控制方式分类	开环数控系统	半闭环数控系统	闭环数控系统
按功能水平分类	经济型	普及型	高级型

加工中心与数控铣床的区别主要是加工中心具有刀库并能自动换刀。

(4) 数控机床加工的适用范围

根据国内外数控机床技术应用实践，数控机床加工的适用范围可用图 1-3 和图 1-4 定性分析。

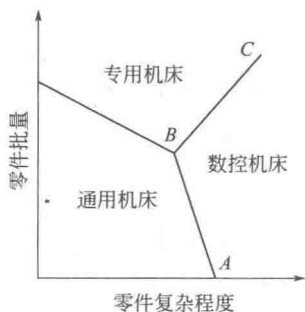


图 1-3 零件复杂程度与零件批量的关系

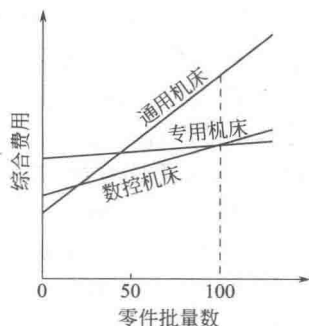


图 1-4 零件批量与总加工费用的关系

图 1-3 所示表明了随零件的复杂程度和生产批量的不同，三种机床适用范围的变化。当零件不太复杂、生产批量不太大时，宜采

用通用机床；当生产批量很大时，数控机床就显得更为适用了。

图 1-4 所示表明了随生产批量的不同，采用三种机床加工时综合费用的比较。由图可知，在多品种、小批量（100 件以下）的生产情况下，使用数控机床可获得较好的经济效益。零件批量的增大，对选用数控机床是不利的。

数控机床通常适合加工具有以下特点的零件：

- ① 多品种、小批量生产的零件或新产品试制中的零件。
- ② 轮廓形状复杂、对加工精度要求较高的零件。
- ③ 用普通机床加工时需要要有昂贵的工艺装备（工具、夹具和模具）的零件。
- ④ 需要多次改型的零件。
- ⑤ 价值昂贵、加工中不允许报废的关键零件。
- ⑥ 需要最短生产周期的急需零件。

（5）数控机床的特点

数控机床具有如下特点：

- ① 采用数控机床可以提高零件的加工精度，稳定产品的质量。
- ② 数控机床可以完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂曲面的零件加工。
- ③ 采用数控机床比普通机床可以提高生产效率 2~3 倍，尤其对某些复杂零件的加工，生产效率可以提高十几倍甚至几十倍。
- ④ 可以实现一机多用。
- ⑤ 采用数控机床有利于向计算机控制与管理生产方面发展，为实现形成过程自动化创造了条件。

（6）数控机床发展方向

数控机床是柔性制造单元（FMC）、柔性制造系统（FMS）以及计算机集成制造系统（CIMS）和敏捷制造（Agile Manufacturing）的基础，是国民经济的重要基础装备。随着微电子技术和计算机技术的发展，现代数控机床的应用领域日益扩大。当前，数控设备正在不断地采用最新技术成就，向着高速化、高效化、精密化、系列化及复合化等方向发展。

① 高速、高效 高速切削加工如图 1-5 所示，可通过高速运算、快速插补运算、超高速通信和高速主轴等技术来实现。高主轴

转速可减少切削力，有利于克服机床振动，使传入零件中的热量大大降低，排屑加快；热变形减小，加工精度和表面质量可得到显著改善。

加工中心的主轴转速现已达到 8000~12000r/min，最高的可达 100000r/min 以上；磨床的砂轮线速度提高到 100~200m/s。正在开发的采用 64 位 CPU 的新型数控系统（目前数控系统多采用 32 位以上的高速微处理器），可实现快速进给、高速加工、多轴控制功能，控制轴数最多可达 24 个，同时联动轴数可达 3~6

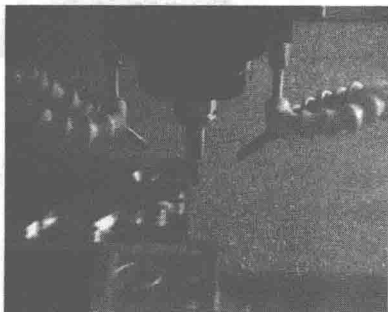


图 1-5 高速铣削

轴，进给速度为 20~24m/min，最快可达 60m/min。自动换刀和自动交换工作台时间也大大缩短，现在数控车床刀架的转位时间可达 0.4~0.6s，加工中心自动交换刀具时间可缩短至 3s，最快能达到 1s 以内，自动交换工作台时间也可缩短为 6~10s，个别可缩短到 2.5s。

② 高精度 用户对产品精度要求的日益提高，促使数控机床的精度不断提高。数控机床的精度主要体现在定位精度和重复定位精度方面。数控机床配置了新型、高速、多功能的数控系统，其分辨率可达到 $0.1\mu\text{m}$ ，有的可达到 $0.01\mu\text{m}$ ，实现了高精度加工。伺服系统采用前馈控制技术、高分辨率的位置检测元件、计算机数控的补偿功能等，保证了数控机床的高加工精度。目前数控机床的定位精度可达 0.001mm ，重复定位精度可达 0.0005mm 。

③ 加工功能复合化 在一台机床上实现多工序、多方法加工是数控机床发展的又一趋势。目前已经出现了集钻、镗、铣功能于一身的数控机床，可完成钻、镗、铣、扩孔、铰孔、攻螺纹等工序的数控加工中心，以及车削加工中心（图 1-6），钻削、磨削加工中心，电火花加工中心等。近年来又出现了高复合化数控机床，如增加了车削和磨削功能的镗铣类加工中心等，不但有更高的加工精度，而且可以提高工作效率，节约占地面积和投资。

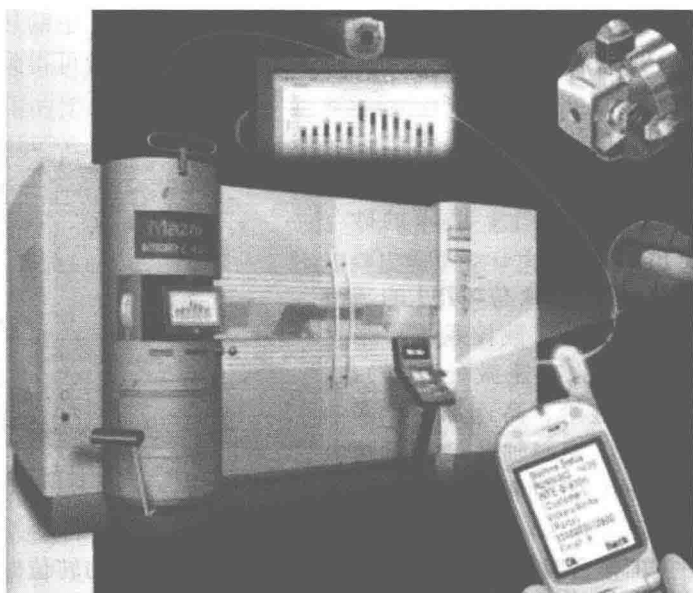


图 1-6 信息化的车铣加工中心

④ 智能化 早期的实时系统通常针对相对简单的理想环境，其作用是调度任务，以确保任务在规定期限内完成。而人工智能则试图用计算模型实现人类的各种智能行为。科学技术发展到今天，实时系统与人工智能已实现相互结合，人工智能正向着具有实时响应的更加复杂的应用领域发展，由此产生了实时智能控制这一新的领域。在数控技术领域，实时智能控制的研究和应用正沿着几个主要分支发展，如自适应控制、模糊控制、神经网络控制、专家控制、学习控制、前馈控制等。例如，在数控系统中配置编程专家系统、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；在高速加工时的综合运动控制中引入提前预测和预算功能、动态前馈功能；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 高可靠性 数控系统的高可靠性是提高数控机床可靠性的关键。现代数控机床的硬件采用更高集成度的电路芯片和由多种功

能模块制成的硬件系统，使数控机床制造向模块化、标准化、智能化方向发展。模块化、标准化、智能化有利于提高数控机床制造和运行的可靠性，便于维修和保养。而具有人工智能功能的故障诊断系统软件的开发及使用，可以增强机床自诊断、自恢复的保护功能，从而大幅降低了系统的故障率。

⑥ 柔性化 数控机床正向柔性制造单元（FMC）、柔性制造系统（FMS）以及计算机集成制造系统（CIMS）等柔性化方向发展。柔性化的特点是适应性更强，生产率更高，加工范围可以随时调整。典型的柔性制造系统（FMS）包括各制造单元（数控机床、加工中心和测量机等）、工夹具、无人送料车、自动化仓库以及一套计算机控制系统、物流控制和信息网络等。

（7）常用数控机床外形

常用数控机床外形见图 1-7～图 1-14。

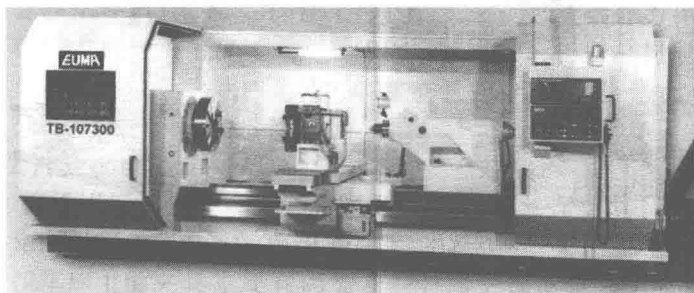


图 1-7 卧式数控车床（水平床身）

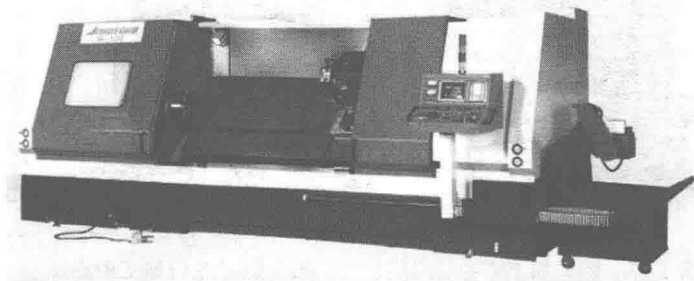


图 1-8 卧式数控车床（倾斜床身）

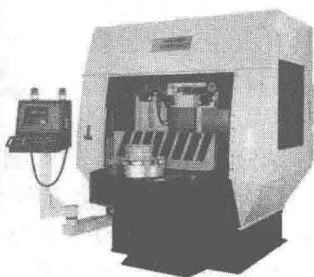


图 1-9 立式数控车床

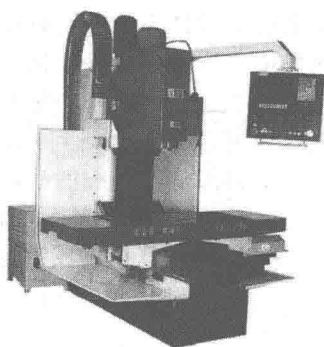


图 1-10 立式数控铣床

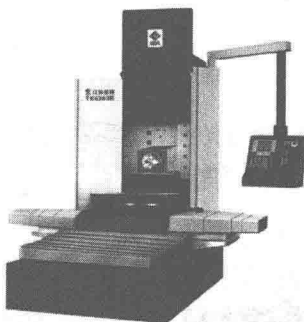


图 1-11 卧式数控铣床

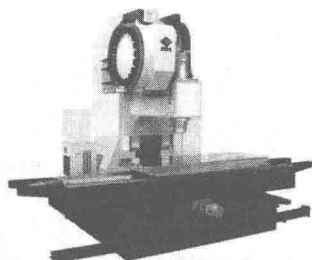


图 1-12 立式加工中心 (固定立柱)

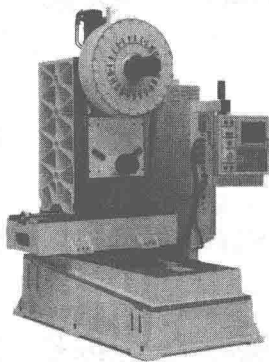


图 1-13 卧式加工中心
(移动立柱)

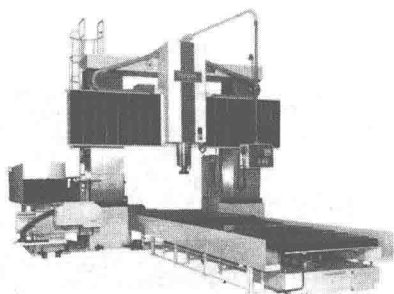


图 1-14 龙门加工中心
(工作台移动式)