



■ 全国中等职业技术学校数控加工专业教材 ■

QUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO SHUKONG JIAGONG ZHUANYE JIAOCAI

数控加工工艺 编程与操作

(FANUC系统铣床与加工中心分册)



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校数控加工专业教材

数控加工工艺编程与操作

(FANUC 系统铣床与加工中心分册)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺编程与操作: FANUC 系统铣床与加工中心分册/徐国权主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2008

全国中等职业技术学校数控加工专业教材

ISBN 978-7-5045-7039-0

I. 数… II. 徐… III. ①数控机床-加工工艺 ②数控机床-程序设计 ③数控机床: 铣床-加工工艺 ④数控机床: 铣床-程序设计 IV. TG659 TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 056763-号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京谊兴印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.5 印张 302 千字

2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

定价: 23.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

前 言

随着数控加工技术迅速发展和普及，企业对数控加工技能人才的知识和能力结构以及相应的职业教育和培训提出了更高、更新的要求。为适应这一形势，更好地满足全国中等职业技术学校数控加工专业教学的需要，我们根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《数控加工专业教学计划与教学大纲》，在广泛调研的基础上，组织行业专家、职业教育研究人员、学校一线教师共同开发了中等职业技术学校数控加工专业教材。

本套教材主要包括：《《数控加工工艺编程与操作（FANUC 系统车床分册）》《数控加工工艺编程与操作（FANUC 系统铣床与加工中心分册）》《数控加工工艺编程与操作（SIEMENS 系统车床分册）》《数控加工工艺编程与操作（SIEMENS 系统铣床与加工中心分册）》《数控加工工艺编程与操作（国产数控系统车床分册）》《数控加工工艺编程与操作（国产数控系统铣床与加工中心分册）》CAD/CAM 基础与实训（CAXA）》《CAD/CAM 基础与实训（Mastercam）》《数控机床机械系统及其故障诊断与维修》《数控机床电气控制系统及其故障诊断与维修》《模具结构与制造》等。

在本套教材的编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则：

在教材体系构建方面，充分考虑各个学校教学条件和设备选型的差异，力求满足学校对数控系统和仿真软件的个性化需求。如针对数控加工工艺教学，按照车床、铣床（加工中心）两个系列，分别编写适合 FANUC、SIEMENS 和国产数控系统教学的 6 本教材；针对仿真教学，选取 CAXA 和 Mastercam 两种最常用的软件分别编写《CAD/CAM 基础与实训（CAXA）》《CAD/CAM 基础与实训（Mastercam）》。此外，考虑到各校在专业课程设置上会有些差异，我们还开发了《数控机床机械系统及其故障诊断与维修》和《数控机床电气控制系统及其故障诊断与维修》，为学校拓展数控加工专业课程设置创造了条件。

在教材编写模式方面，力求反映先进的教学理念，突出理论实训一体化教学的原则。根据任务驱动的先进教学理念，对教材内容进行重组，以典型零件的生产为载体，有机融入理论知识和操作技能。同时，在教材中尽可能多地采用图片、照片以及步骤清晰的操作流程，这样既再现了工作岗位的情境，又激发了学生的学习兴趣。

在教材内容安排方面，根据国家职业标准《数控车工》《数控铣工》《加工中心操作工》《数控机床装调维修工》，以及企业对数控加工人员的岗位要求，以够用实用为度，删除“繁难偏旧”的理论知识，加大技能训练环节教学内容的编写力度。

在教材配套和服务方面，力求满足教师和学生需求。6 本编程教材均配有练习指导，并按照应知和应会两部分内容编写，一方面梳理知识，提供更多的例题解析，另一方面设计了大量练习，帮助学生复习巩固所学知识。此外，教材中涉及的程序均制作成素材包，可以

从中国劳动社会保障出版社网站 www.class.com.cn 下载。

本套教材的编写得到江苏、浙江、广东、山东、四川、河南、河北、福建等省劳动和社会保障厅及有关学校的大力支持，在此我们表示诚挚的谢意。

《数控加工工艺编程与操作 (FANUC 系统铣床与加工中心分册)》是为配合学校开展数控加工教学开发的专业教材，主要内容包括加工中心的基本操作、外轮廓零件加工、内轮廓零件加工、孔加工、综合课题加工、自动编程与仿真加工等。本书根据数控行业的岗位要求，按照任务驱动的模式编写，通过任务描述、任务分析、相关知识、任务实施、思考与练习等环节组织教材内容，使教材紧紧围绕技能培养这一核心，实现了理论与实践的有机结合。

本书由徐国权主编，陈为华、范为军、孙浩、孙永才、魏焱参加编写；韩鸿鸾主审，张玉东、简小川参加审稿。

劳动和社会保障部教材办公室

2008年3月

《数控加工工艺编程与操作 (FANUC 系统铣床与加工中心分册)》

学时分配表

章节内容	总学时	讲授	训练
单元一 加工中心的基本操作	60	24	36
课题一 认识 FANUC 0i 系统加工中心及操作面板		4	6
课题二 操作 FANUC 0i 系统加工中心		4	6
课题三 数控程序的输入、编辑与校对		4	6
课题四 加工中心对刀操作及参数设置		4	6
课题五 加工中心刀具系统		4	6
课题六 加工中心操作规程及维护		4	6
单元二 单元 外轮廓零件加工	32	8	24
课题一 平面加工		4	12
课题二 外形轮廓加工		4	12
单元三 内轮廓零件加工	32	8	24
课题一 槽加工		4	12
课题二 型腔加工		4	12
单元四 孔加工	42	12	30
课题一 钻孔、攻螺纹加工		6	12
课题二 镗孔加工		6	18
单元五 综合课题加工	72	18	54
课题一 镜像加工		4	12
课题二 极坐标加工		4	12
课题三 旋转加工		4	12
课题四 综合零件的加工		6	18
单元六 自动编程与仿真加工	34	10	24
课题一 自动编程		6	12

续表

章节内容	总学时	讲授	训练
课题二 操作仿真软件		4	12
单元七 职业技能中级参考题库	48		48
合计	320	80	240

目 录

单元一 加工中心的基本操作	(1)
课题一 认识 FANUC 0i 系统加工中心及系统面板	(1)
课题二 操作 FANUC 0i 系统加工中心	(15)
课题三 数控程序的输入、编辑与校对	(24)
课题四 加工中心对刀操作及参数设置	(34)
课题五 加工中心刀具系统	(44)
课题六 加工中心操作规程及维护	(64)
单元二 外轮廓零件加工	(70)
课题一 平面加工	(70)
课题二 外形轮廓加工	(85)
单元三 内轮廓零件加工	(97)
课题一 槽加工	(97)
课题二 型腔加工	(105)
单元四 孔加工	(113)
课题一 钻孔、攻螺纹加工	(113)
课题二 镗孔加工	(130)
单元五 综合课题加工	(141)
课题一 镜像加工	(141)
课题二 极坐标加工	(147)
课题三 旋转加工	(153)
课题四 综合零件的加工	(158)
单元六 自动编程与仿真加工	(171)
课题一 自动编程	(171)
课题二 操作仿真软件	(181)
单元七 职业技能中级参考题库	(195)

单元一 加工中心的基本操作

课题一 认识 FANUC 0i 系统加工中心及系统面板

知识点

- ◇ 了解数控机床的基本结构组成与分类。
- ◇ 了解加工中心的基本概念。
- ◇ 了解加工中心的基本结构组成及分类。
- ◇ 了解加工中心的工作原理。

技能点

- ◇ 能通过面板按键操作控制数控机床。
- ◇ 掌握数控系统的基本功能。

一、任务描述

了解数控机床的各组成结构,认识数控机床的系统面板,是学习数控机床操作的必要条件,本课题将围绕这些问题进行介绍。

二、任务分析

如图 1-1-1 和图 1-1-2 所示为 FANUC 0i 系统立式加工中心及其面板图。了解数控机床、数控系统、操作面板各功能按键等方面的知识,是数控机床操作的首要任务。

三、相关知识

1. 数控机床

随着社会生产和科学技术的发展,机械产品日趋精密复杂,且需频繁改型。特别是在宇航、造船、军事等领域所需的零件,精度要求高,形状复杂,批量小,普通机床已不能适应这些要求。为了满足上述要求,一种新型的机床——数字程序控制机床(简称数控机床)应运而生。

最早进行数控机床研制的是美国人。1948 年美国帕森斯(Parsons)公司在研制加工直升飞机叶片轮廓样板时提出了数控机床的初始设想,1949 年与美国麻省理工学院伺服机构实验室一起开始研制,于 1952 年成功研制出世界上第一台数控铣床(电子管式、直线插补

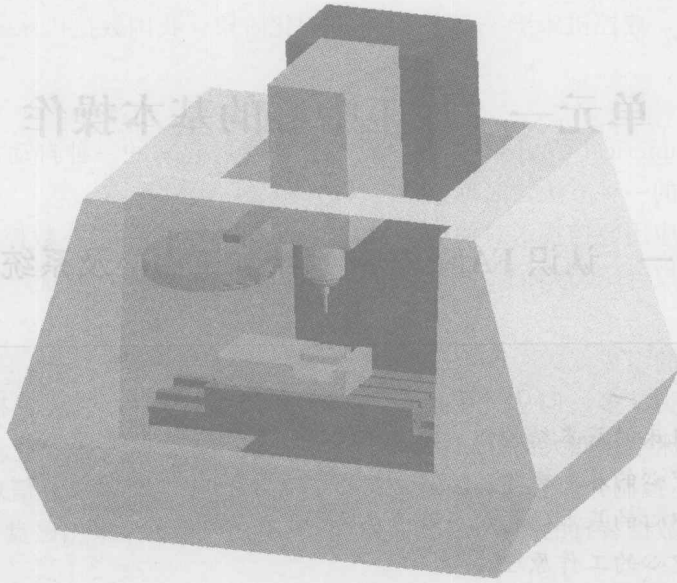


图 1—1—1 FANUC 0i 系统立式加工中心

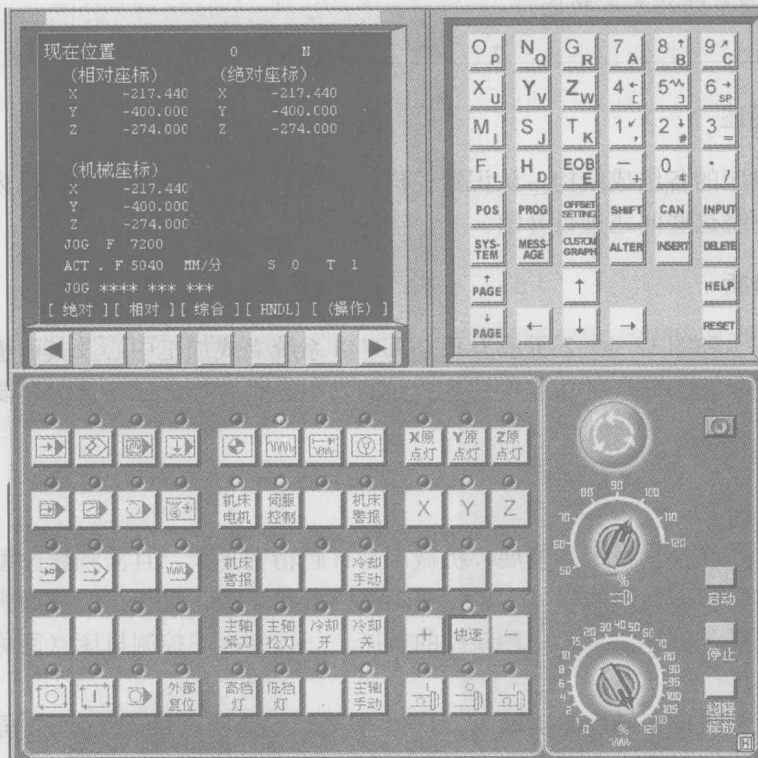


图 1—1—2 FANUC 0i 系统立式加工中心面板图

和连续控制的三坐标立式数控铣床)。但这台数控机床仅是一台试验性的机床,经过三年的试用、改进与提高,数控机床于1955年进入实用化阶段。我国数控机床的研制是从1958年起步的。

(1) 基本概念

数字控制(Numerical Control)是20世纪中期发展起来的一种自动控制技术,是用数字化信号进行控制的一种方法,简称数控(NC)。

数控机床是指应用数控技术对加工过程进行控制的机床。目前,数控机床的控制系统基本采用了计算机数控(Computer Numerical Control,简称CNC)系统,它由硬件和软件两部分组成。

(2) 数控机床的组成

数控机床的种类繁多,但从组成一台完整的数控机床来讲,主要由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体四大部分以及辅助装置组成。

1) 控制介质 控制介质是指将零件加工信息传送到数控装置去的信息载体。控制介质有多种形式,随着数控装置的类型不同而不同,现在大多数程序采用磁盘、移动存储器作为控制介质。

当数控加工程序较简单时,可利用数控系统上的键盘直接将程序及数据输入。另外,随着CAD/CAM技术的发展,一些数控设备利用CAD/CAM软件在计算机上进行编程,然后通过计算机与数控系统通信,将程序和数据直接传送给数控装置。

2) 数控装置 数控装置是数控机床的控制中心。现在的数控装置通常为—台通用或专用微型计算机,由输入装置、控制运算器和输出装置等组成,如图1—1—3和图1—1—4所示为常用的数控装置。

3) 伺服系统 伺服系统是数控机床的执行机构,包括驱动和执行两大部分。伺服系统接受数控系统的指令信息,并按照指令信息的要求带动机床的移动部件运动或使执行部分动作,以加工出符合要求的零件。

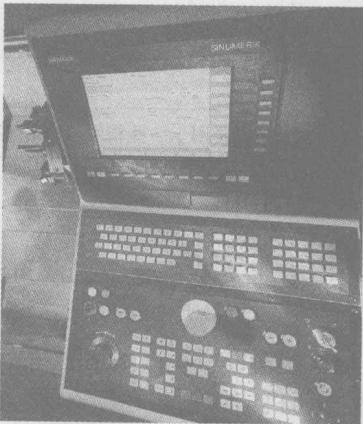


图1—1—3 SIEMENS 数控装置



图1—1—4 FANUC 数控装置

目前数控机床的伺服系统中,常用的位移执行机构有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。

4) 机床本体 机床本体是数控机床的主体,是用于完成各种切削加工的机械部分,它是在原普通机床的基础上改进而得到的。

除上述四个主要部分外,数控机床还有一些辅助装置和附属设备,如电气、液压、气动系统与冷却、排屑、润滑、照明、储运等装置以及对刀仪等。

(3) 数控机床的分类

数控机床的分类见表 1—1—1。

表 1—1—1

数控机床的分类

序号	分 类	应 用	
1	按控制系统的特点分	点位控制系统	数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床等
		直线控制系统	数控车床、数控磨床等
		轮廓控制系统	加工中心等
2	按执行机构的控制方式分	开环控制系统	适用于经济型数控机床和旧机床数控化改造
		半闭环控制系统	中档数控机床广泛采用半闭环控制系统
		闭环控制系统	主要用于一些精度要求较高的镗铣床、超精车床和加工中心等
3	按工艺用途分	金属切削类数控机床	数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床、数控镗床以及加工中心等
		金属成形类数控机床	数控折弯机、数控组合冲床、数控弯管机、数控回转头压力机等
		数控特种加工机床	数控线(电极)切割机床、数控电火花机床、火焰切割机、数控激光切割机床等
		其他类型的数控机床	数控三坐标测量机等
4	按数控机床的性能分	低档数控机床	主要用于车床、线切割机床以及旧机床的数控化改造等
		中档数控机床	常采用半闭环控制系统
		高档数控机床	常采用闭环控制系统,主要用于一些精度要求较高的数控机床

(4) 数控机床的特点

1) 加工精度高 数控机床是高度综合的机电一体化产品。它由精密机械和自动控制系统组成。所以,机床的传动系统与机床的结构都有很高的刚度和热稳定性。在设计传动结构时采取了减少误差的措施,并由数控装置进行补偿,所以数控机床有较高的加工精度。数控机床加工零件,不受零件复杂程度的限制,这一点是普通机床无法与之相比的。由于数控机床是按所编程序自动进行加工的,消除了操作者的人为误差,提高了同批零件加工尺寸的一致性,使加工质量稳定,产品合格率高。对于需多道工序完成的零件,特别是箱体类

零件，使用加工中心，一次安装能进行多道工序连续加工，减少了安装误差，使零件加工精度提高。

2) 加工生产率高 数控机床具有良好的刚度，可以进行强力切削，而且空行程可采用快速进给，节省了机床空行程的时间。数控机床进给量和主轴转速范围都较大，可以选择最合理的切削用量。在数控机床上加工零件，对工夹具要求低，机床不需进行复杂的调整，数控机床有较高的重复定位精度，大大地缩短了生产准备周期，节省了测量和检测时间。所以，数控机床比一般普通机床的生产率高得多。如果采用加工中心，实现自动换刀，利用回转工作台自动换位，在一台机床上实现多道工序加工，缩短半成品周转时间，生产效率的提高会更加明显。

3) 减轻劳动强度、改善劳动条件 利用数控机床进行加工，首先按图样要求编制加工程序，然后输入程序，调试程序，安装零件进行加工，观察监视加工过程并装卸零件。在整个过程中，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大大降低，劳动条件也得到了相应的改善。

4) 良好的经济效益 在数控机床上改变加工对象时，只需重新编写加工程序，不需要制造或更换许多工具、夹具，更不需要更新机床，节省了大量工艺装备费用。又因为加工精度高，质量稳定，减少了废品率，使生产成本下降，生产率又较高，所以能够获得良好的经济效益。

5) 有利于生产管理的现代化 利用数控机床加工，能准确地计算零件的加工工时，并有效地简化检验以及工夹具和半成品的管理工作，易于构成柔性制造系统（FMS）和计算机集成制造系统（CIMS）。

虽然数控机床有上述优点，但初期投资大，维修费用高，对管理及操作人员素质的要求也较高，因此，应合理地选择及使用数控机床，提高企业经济效益和竞争力。

(5) 数控机床的应用范围

数控机床是一种高度自动化的机床，有一般机床所不具备的许多优点，所以数控机床的应用范围在不断扩大，如图 1—1—5 所示为数控机床加工的零件。

2. 加工中心

(1) 加工中心的定义

加工中心（Machining Center，简称 MC），是综合了机械技术、电子技术、计算机软件技术、气动技术、拖动技术、现代控制技术、测量及传感技术、通信诊断技术以及编程技术的高技术产品。它是将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能集合在一起，且增设有自动换刀装置和刀库的数控机床。可在一次安装工件后，数控系统控制机床按不同工序自动选择和更换刀具，自动改变机床主轴转速、进给量和刀具相对工件的运动轨迹及其他辅助功能，可依次完成多面和多工序加工，如端面、孔系、内外倒角、环形槽及螺纹等的加工。由于加工中心能集中完成多种工序，因而可减少工件装夹、测量和调整时间，减少工件周转、搬运、存放时间，使切削利用率高于通用机床 3~4 倍，达 80% 以上。所以说，加工中心不仅提高了工件的加工精度，而且是数控机床中生产率和自动化程度最高的综合性机床。

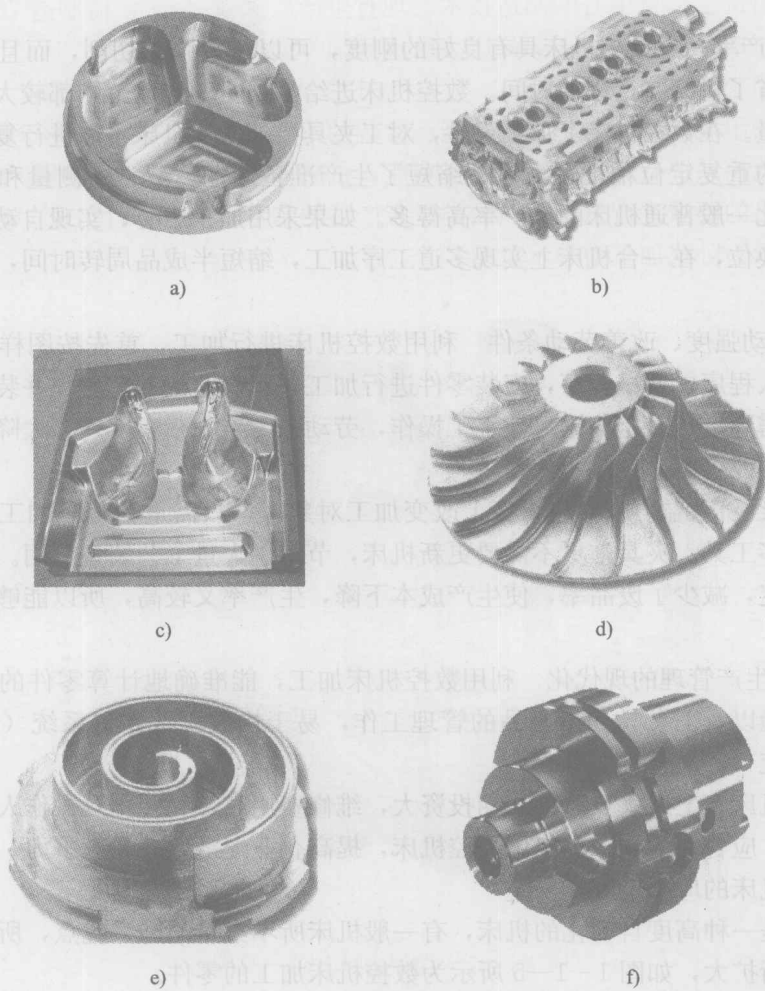


图 1—1—5 数控机床加工的零件

a) 平面类零件 b) 箱体类零件 c) 曲面类零件 d) 叶片类零件 e) 薄壁类零件 f) 轴类零件

(2) 加工中心的发展历程

当复杂零件工序高度集中时,必须频繁地更换刀具,以提高生产效率。为解决自动换刀问题,最早出现的是转塔头立式钻镗铣床,在转塔头上附有 6~12 根短主轴,每根主轴上装一把刀具。当处于工作位置的刀具加工完毕之后,机床控制转塔头松开、转位,让下一工序的刀具进入工作位置,夹紧转塔头后,再继续加工,直至完成全部工序。

1958 年,美国 H&T 公司首次把铣、钻、镗等多种工序集中于一台数控机床上,通过换刀方式实现连续加工,成为世界上第一台加工中心。该产品出现后,引起了日、美、德、英、法、意等先进工业国家的高度重视,竞相开发生产,不断扩大和完善机床的功能,成为数控机床中发展最快、需求量最大的产品之一。

我国在“六五”和“七五”规划期间，大力发展加工中心，帮助部分骨干企业与国外厂商进行合作，引进了加工中心的制造技术。现有生产厂家 30 多个，能制造 70 多个品种的加工中心产品，年产量约 500 台，部分产品已达到国外同类产品的水平。

(3) 加工中心的组成

加工中心的组成随机床的类别、功能、参数的不同而有所不同。机床本身分为基本部件和选择部件，数控系统有基本功能和选择功能，机床参数有主参数和其他参数。机床制造厂可根据用户提出的要求进行生产，但同类机床产品的基本功能和部件组成一般差别不大。如图 1—1—6 所示为卧式加工中心示意图。

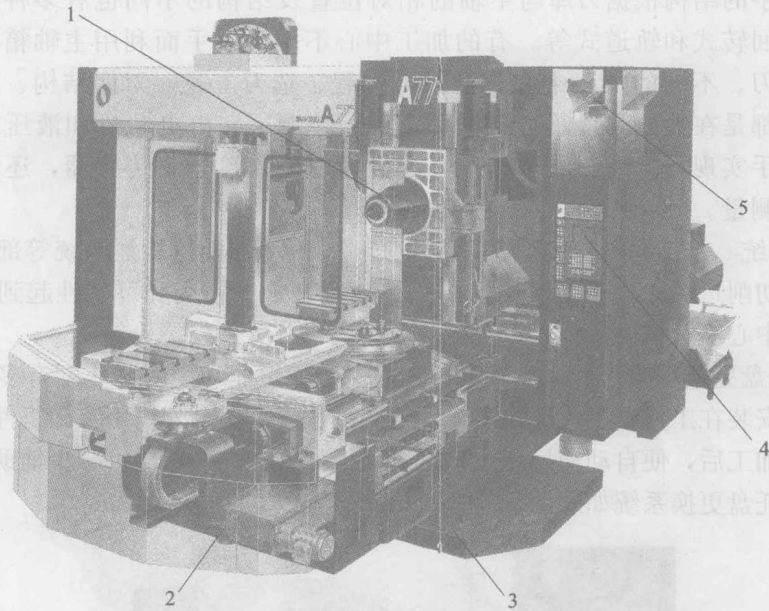


图 1—1—6 卧式加工中心示意图

1—主轴 2—床身 3—回转工作台 4—数控装置 5—立柱

各种类型的加工中心，外形结构各异，但从总体来看大都由以下几大部分组成：

1) 基础部件 由床身、立柱和工作台等大件组成，是加工中心的基础构件，它们可以是铸铁件，也可以是焊接钢结构，均要承受加工中心的静载荷以及在加工时的切削载荷，所以必须是刚度很高的部件，也是质量和体积最大的部件。

2) 主轴组件 由主轴箱、主轴电动机、主轴和主轴轴承等零件组成。其启动、停止和转动等动作均由数控系统控制，并通过装在主轴上的刀具参与切削运动，是切削加工的功率输出部件。主轴是加工中心的关键部件，其结构优劣对加工中心的性能有很大的影响。

3) 控制系统 单台加工中心的数控部分是由 CNC 装置、可编程序控制器、伺服驱动装置以及电动机等部分组成。它们是加工中心执行顺序控制动作和完成加工过程的控制中心。CNC 系统一般由中央处理器、存储器以及输入和输出接口组成。CNC 系统的主要特点

是输入、存储、数据的加工、插补运算以及机床各种控制功能都通过计算机软件来完成,能增加很多逻辑电路中难以实现的功能。计算机与其他装置之间可通过接口设备连接。当控制对象改变时,只需改变软件与接口。

4) 伺服系统 伺服系统的作用是把来自数控装置的信号转换为机床移动部件的运动,其性能是决定机床加工精度、表面质量和生产效率的主要因素之一。

5) 自动换刀装置 由刀库、机械手和驱动机构等部件组成。刀库是存放加工过程所使用的全部刀具的装置。刀库有盘式、鼓式和链式等多种形式,容量从几把到几百把。当需换刀时,根据数控系统指令,由机械手(或通过别的方式)将刀具从刀库取出装入主轴中。机械手的结构根据刀库与主轴的相对位置及结构的不同也有多种形式,如单臂式、双臂式、回转式和轨道式等。有的加工中心不用机械手而利用主轴箱或刀库的相对移动来实现换刀。不同的加工中心尽管换刀过程、选刀方式、刀库结构、机械手类型等各不相同,但都是在数控装置及可编程序控制器控制下,由电动机和液压或气动机构驱动刀库和机械手实现刀具的选取与交换。若机构中装入接触式传感器,还可实现对刀具和工件误差的测量。

6) 辅助系统 包括润滑、冷却、排屑、防护、液压和随机检测系统等部分。辅助系统虽不直接参与切削运动,但对加工中心的加工效率、加工精度和可靠性起到保障作用,因此,也是加工中心不可缺少的部分。

7) 自动托盘更换系统 有的加工中心为进一步缩短非切削时间,配有多个自动交换工件托盘,一个安装在工作台上进行加工,其他的则位于工作台外用于装卸工件。当完成一个托盘上的工件加工后,便自动交换托盘,进行新工件的加工,这样可减少辅助时间,提高加工效率。自动托盘更换系统如图 1—1—7 所示。

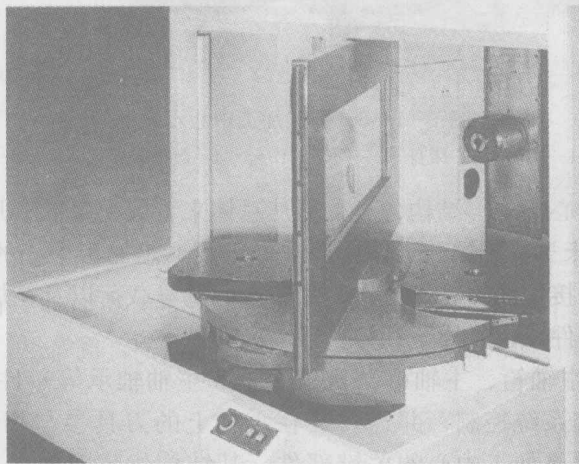


图 1—1—7 自动托盘更换系统

(4) 加工中心的分类
加工中心按主轴加工时的空间位置分为卧式加工中心、立式加工中心和五面加工中心,见表 1—1—2。

表 1—1—2 加工中心按主轴空间位置分类

名称	图 示	结构特点	使用特点
卧式加工中心		卧式加工中心是指主轴轴线水平设置的加工中心，分为固定立柱式和固定工作台式	卧式加工中心一般有 3~5 个运动坐标轴，它能在工件一次装夹后完成除安装面和顶面以外其余四个面的加工，最适合加工箱体类工件
立式加工中心		立式加工中心的主轴轴线垂直设置，其结构多为固定立柱式	立式加工中心适合加工盘类、模具类零件。其结构简单，占地面积小，价格低，配备各种附件后，可进行大部分工件的加工
五面加工中心		五面加工中心（立卧两用式加工中心）具有立式和卧式加工中心的功能	这种加工中心在工件一次装夹后，能完成除安装面外所有五个面的加工，可以使工件的形状误差降到最低；省去二次装夹工件，从而提高生产效率，降低加工成本

在加工大型零件时，常使用龙门式加工中心。大型龙门式加工中心主轴多为垂直设置，如图 1—1—8 所示，尤其适用于加工大型或形状复杂的工件，像航空、航天工业及大型汽轮机上的某些零件。

加工中心按功能特殊分类有：

- 1) 单工作台、双工作台和多工作台加工中心。
- 2) 单轴、双轴、三轴可换主轴箱的加工中心。
- 3) 立式转塔加工中心和卧式转塔加工中心。
- 4) 刀库加主轴换刀加工中心。
- 5) 刀库加机械手加主轴换刀加工中心。