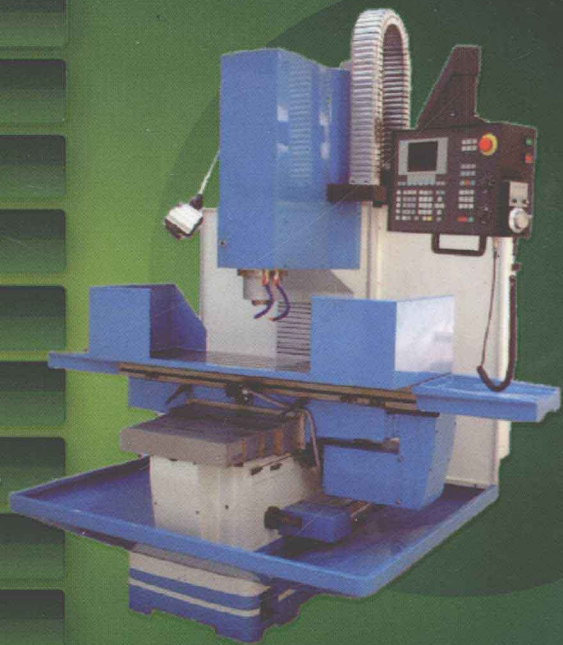


数控铣床/ 加工中心编程 与零件加工

张亚力 主编

情境课堂

- 情境1 加工中心操作入门
- 情境2 零件加工工艺分析
- 情境3 加工中心编程入门
- 情境4 圆弧的程序编制与加工
- 情境5 零件轮廓的程序编制与加工
- 情境6 平面铣削编程
- 情境7 模具型腔与槽零件的程序编制与加工
- 情境8 宏程序编制
- 情境9 孔系的程序编制与加工
- 情境10 计算机辅助编程



化学工业出版社

数控铣床/ 加工中心编程 与零件加工

张亚力 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控铣床/加工中心编程与零件加工/张亚力主编.
北京: 化学工业出版社, 2011.9
ISBN 978-7-122-11685-7

I. 数… II. 张… III. ①数控机床: 铣床-程序设计②数控机床加工中心-程序设计③数控机床-零部件-加工 IV. ①TG547②TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 129838 号

责任编辑: 王 烨
责任校对: 陈 静

文字编辑: 谢蓉蓉
装帧设计: 张 辉

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 刷: 北京云浩印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 307 千字 2011 年 10 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: 39.00 元

版权所有 违者必究

前 言

全书贯穿行动导向的学习思想,以加工中心零件加工为主体,以具体的任务实施为模块,系统地介绍了加工中心、数控铣削编程基础和基本理论,并在最后一个情境重点介绍了CAD/CAM编程的思路与方法,并引出多轴加工的理念。书中每个情境都通过2至3个具体的工作任务去实施,每个典型任务的实施过程就是一个完整的学习过程,可以帮助学员掌握加工中心和铣床操作与编程的基本知识、方法技巧及操作技能。通过这种情境式学习,可以培养学员的专业技术分析能力及解决问题能力,培养学员的生产意识及产品质量意识。

本书共分十个情境,内容包括:加工中心操作入门、零件加工工艺分析、加工中心编程入门、圆弧的程序编制与加工、零件轮廓的程序编制与加工、平面铣削编程、模具型腔与槽零件程序编制与加工、宏程序编制、孔系的程序编制与加工、计算机辅助编程。

本书可供从事数控加工的工程技术人员学习参考,也可作为职业技术学院数控技术应用专业和机械制造专业的教学用书。

本书由北方机电工业学校张亚力主编,北方机电工业学校崔俊明、王乐文、吉沛霞、任士明参编。其中,张亚力编写了情境1、情境2、情境3、情境5、情境7、情境8、情境9、情境10。任士明编写情境4;王乐文、吉沛霞编写情境6。全书由张亚力、崔培雪、崔俊明负责统稿。冯宪琴、李秀梅、吕宏立、张向东、孟凡英、徐桂清、杨翠虹、佟海侠完成了书中图稿的绘制工作,在此表示感谢。

限于编者的水平和经验,书中欠妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

情境1 加工中心操作入门

【引言】	1
【目标】	1
【知识准备】	1
1. 加工中心	1
2. 加工中心常用数控系统	3
3. 数控机床坐标系统	4
任务1 加工中心操作基本步骤	8
【任务描述】	8
【任务分析】	8
【任务实施】	9
1. 操作准备	9
2. 操作步骤	9
【任务评价】	15
任务2 加工中心工件对刀	15
【任务描述】	15
【任务分析】	16
【任务实施】	18
1. 利用寻边器和Z轴设定器对刀	18
2. 机外对刀仪对刀	21
【任务评价】	22
【拓展与提高】	22
后台编辑	22
【思考与练习】	22

情境2 零件加工工艺分析

【引言】	24
------------	----

【目标】	24
【知识准备】	24
1. 刀具准备	24
2. 数控加工工艺分析	28
3. 数控加工工序设计	32
任务1 制定平面凸轮零件的数控铣削加工工序	36
【任务描述】	36
【任务分析】	37
【任务实施】	37
1. 零件图工艺分析	37
2. 确定装夹方案	37
3. 确定加工顺序及工步内容	37
4. 选择刀具及切削用量	38
5. 确定进给路线	38
6. 输出数控加工工序卡片	38
【任务评价】	38
任务2 端盖零件加工中心的加工工艺制定	39
【任务描述】	39
【任务分析】	39
【任务实施】	40
1. 选择加工方法	40
2. 确定装夹方案	40
3. 确定加工顺序及加工工步	40
4. 选择刀具及切削用量	40
5. 确定进给路线	41
【任务评价】	41
【拓展与提高】	41
组合夹具	41
【思考与练习】	42

情境3 加工中心编程入门

【引言】	43
【目标】	43
【知识准备】	43
1. 程序结构	43
2. 数控铣床的准备功能	45
3. 数控铣床的辅助功能	47
4. 工件坐标系建立指令	48
5. 加工中心刀具功能	49
任务1 加工中心典型程序结构编制	50

【任务描述】	50
【任务分析】	50
【任务实施】	51
【任务评价】	52
任务 2 加工直线槽	52
【任务描述】	52
【任务分析】	53
【任务实施】	53
1. 工艺分析	53
2. 数值计算	54
3. 编制程序清单	55
【任务评价】	55
【拓展与提高】	55
参考点返回方法	55
【思考与练习】	56

情境 4 圆弧的程序编制与加工

【引言】	58
【目标】	58
【知识准备】	58
1. 圆弧插补指令	58
2. 圆弧插补进给速度	61
任务 1 平面槽型凸轮粗加工程序编制	62
【任务描述】	62
【任务分析】	63
【任务实施】	63
1. 工艺分析	63
2. 数值计算	63
3. 程序编制	64
【任务评价】	64
任务 2 加工祥云曲线图	64
【任务描述】	64
【任务分析】	65
【任务实施】	65
1. 图样分析	65
2. 确定装夹方案	65
3. 选择刀具及切削用量	65
4. 制定进给路线	66
5. 基点计算	66
6. 编写参考程序	66

【任务评价】	67
【拓展与提高】	67
1. G18 平面上加工圆弧	67
2. 螺旋插补	67
3. 工件加工时的下刀方式	68
【思考与练习】	69

情境5 零件轮廓的程序编制与加工

【引言】	72
【目标】	72
【知识准备】	72
1. 刀具半径补偿概述	72
2. 刀具长度补偿功能	77
任务1 方形凸模零件加工	80
【任务描述】	80
【任务分析】	80
【任务实施】	81
1. 工艺分析	81
2. 数值计算及编写程序清单	81
【任务评价】	82
任务2 凸凹圆弧内、外轮廓零件的程序编制	82
【任务描述】	82
【任务分析】	83
【任务实施】	83
1. 工艺分析	83
2. 数值计算	84
3. 编写程序清单	84
【任务评价】	86
【拓展与提高】	86
1. 顺铣和逆铣	86
2. 顺铣和逆铣对加工的影响	87
3. 顺铣和逆铣的应用	87
【思考与练习】	88

情境6 平面铣削编程

【引言】	89
【目标】	89
【知识准备】	89
1. 平面铣削特点	89
2. 平面铣削方式	90

3. 平面铣削刀具的选择	92
4. 平面铣削加工与进给路线	94
任务1 平面铣削加工	95
【任务描述】	95
【任务分析】	96
【任务实施】	96
1. 工艺分析	96
2. 数值计算	97
3. 程序编制	97
【任务评价】	98
任务2 平面轮廓、台阶面铣削	98
【任务描述】	98
【任务分析】	98
【任务实施】	99
1. 工艺分析	99
2. 数值计算	99
3. 程序编制	99
【任务评价】	101
【拓展与提高】	101
1. 主、子程序编制	101
2. 在卧式加工中心上加工大型平面	102
【思考与练习】	102

情境7 模具型腔与槽零件的程序编制与加工

【引言】	104
【目标】	104
【知识准备】	104
1. 型腔铣削知识	104
2. 窄槽编程知识	109
任务1 键槽与开放窄槽加工	110
【任务描述】	110
【任务分析】	111
【任务实施】	111
1. 工艺分析	111
2. 数值计算	112
3. 编写程序清单	112
【任务评价】	114
任务2 凹模加工	114
【任务描述】	114
【任务分析】	114

【任务实施】	114
1. 工艺分析	114
2. 数值计算	117
3. 编写程序清单	118
【任务评价】	120
【拓展与提高】	121
1. 坐标旋转	121
2. 镜像功能	123
【思考与练习】	124

情境 8 宏程序编制

【引言】	126
【目标】	126
【知识准备】	126
1. FANUC 变量编程与用户宏程序	126
2. FANUC 用户宏指令 (B 类宏程序)	130
任务 1 相邻面加工 R 角类零件程序编制	131
【任务描述】	131
【任务分析】	131
【任务实施】	131
1. R3 圆角的加工方法	131
2. 采用球头铣刀和立铣刀加工的编程轨迹区别	131
3. 加工圆角采用宏程序的编程思想	131
4. 编写用 R4 球头刀加工 R3 圆角的宏程序	132
5. 编写用 $\phi 8\text{mm}$ 立铣刀加工 R3 圆角的宏程序	133
【任务评价】	133
任务 2 椭圆凹坑的加工	134
【任务描述】	134
【任务分析】	134
【任务实施】	134
1. 工艺分析	134
2. 编写粗、精加工程序	135
【任务评价】	136
任务 3 空间波浪曲面的加工	137
【任务描述】	137
【任务分析】	137
【任务实施】	137
1. 数学模型分析	137
2. 编写加工程序	138
【任务评价】	138

【拓展与提高】	138
1. 变量编程在加工中心上的应用	138
2. 宏程序编程和 CAM 编程的对比	139
【思考与练习】	139

情境 9 孔系的程序编制与加工

【引言】	141
【目标】	141
【知识准备】	141
1. 孔加工基础知识	141
2. 固定循环功能	143
3. 孔加工固定循环	145
任务 1 钻孔	152
【任务描述】	152
【任务分析】	152
【任务实施】	153
1. 工艺分析	153
2. 程序编制	153
【任务评价】	154
任务 2 孔系零件的加工	154
【任务描述】	154
【任务分析】	154
【任务实施】	155
1. 工艺分析	155
2. 数值计算	155
3. 程序编制	156
【任务评价】	157
任务 3 镗孔	157
【任务描述】	157
【任务分析】	157
【任务实施】	157
1. 工艺分析	157
2. 数值计算	159
3. 程序编制	159
【任务评价】	160
【拓展与提高】	160
1. G16、G15——极坐标指令	160
2. 螺纹铣削加工	160
3. 孔的分布模式	162
【思考与练习】	163

情境 10 计算机辅助编程

【引言】	164
【目标】	164
【知识准备】	164
1. CAXA 制作工程师造型、加工方法	164
2. CAXA 自动编程的重要控制参数和工艺选项	166
任务 1 典型曲面型腔的加工	169
【任务描述】	169
【任务分析】	169
【任务实施】	170
1. 实体建模	170
2. 生成刀具轨迹	172
3. 轨迹检验	178
4. 后置处理	179
5. 生成加工程序	181
【任务评价】	181
任务 2 加工螺旋桨带轮	182
【任务描述】	182
【任务分析】	182
【任务实施】	182
1. 工艺分析	182
2. 程序编制	183
3. 传输程序	184
【任务评价】	188
【拓展与提高】	188
1. 多轴加工技术	188
2. 多轴加工的特点	189
【思考与练习】	190

参考文献

情境1 加工中心操作入门

【引言】

加工中心是数控机床中典型的机电一体化高技术产品，同时又是先进制造技术不可缺少的工艺设备。多轴、复合、高速、高精是当代数控机床的发展方向。作为工程技术人员，掌握加工中心的基本操作及数控技术的有关知识，为今后胜任不同职业和不同岗位上的专业技术及具备突出的工程实践能力奠定坚实的基础。本情境通过两个具体的任务：任务一为加工中心操作的基本步骤，通过机床操作的基本过程，引出加工中心的基本知识；任务二是具体介绍加工中心上工件的对刀，通过该任务的完成，理解加工中心上工件坐标系的确定及对刀方法。

【目标】

学习加工中心的基本知识；掌握加工中心的组成与原理。熟悉加工中心配置的常用数控系统；掌握加工中心操作的基本步骤；掌握在加工中心上如何快速设定工件坐标系。

【知识准备】

1. 加工中心

(1) 加工中心概述

加工中心是一种工序集中、工艺复合、带有刀库和自动换刀装置的数控机床，如图 1-1 所示。它集铣床、钻床和镗床的加工功能于一体，在加工过程中，能够自动更换刀具，对一次装夹中的工件，可连续地对工件各加工表面进行铣、钻、扩、铰、镗、攻螺纹等多种工序的加工。

加工中心除了能控制 X 、 Y 、 Z 三轴外，一般还有数控分度头、回转工作台（图 1-2）或可自动转角度的主轴箱（图 1-3），实现绕 X 、 Y 、 Z 转动的主轴箱（图 1-3），实现绕 X 、 Y 、 Z 转动的 A 、 B 、 C 轴，从而使工件一次装夹后，自动完成多个平面或多个角度位置的多工序加工。

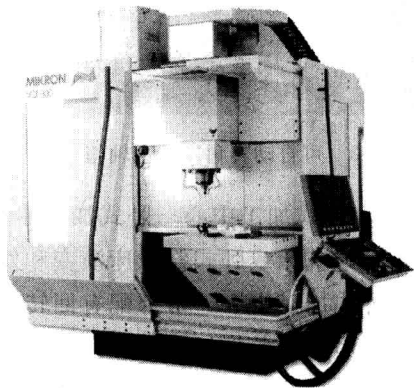
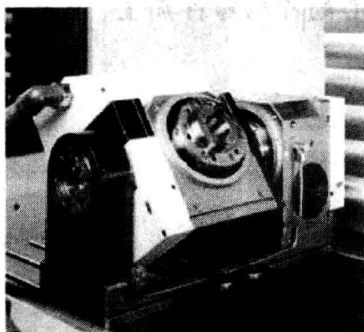
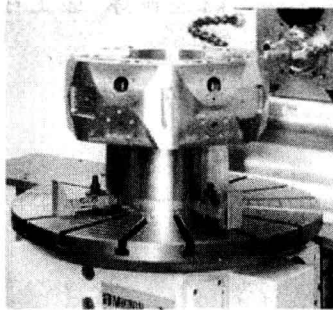


图 1-1 加工中心



(a) 数控分度头



(b) 数控回转工作台

图 1-2 数控转轴

(2) 加工中心的分类

加工中心习惯分类方法大致有两种：一种是按工艺用途进行分类，大致可分镗铣加工中心、钻削加工中心、车削加工中心、激光加工中心、复合加工中心和钣金加工中心等；另一种是结合工艺用途，按机床结构和总体布局进行分类。这里仅从结构上对其做一介绍。

① 立式加工中心 立式加工中心是指机床主轴轴线垂直于水平面设置的加工中心。这类加工中心多从立式铣床或立式坐标镗床演变过来的，它的加工范围基本与立式铣床相同，它可以用来加工零件的顶部和四周侧面。对顶部加工时，可以完成各种复杂工序的复合加工；对工件四周只能完成轮廓铣削加工，如图 1-4 所示。

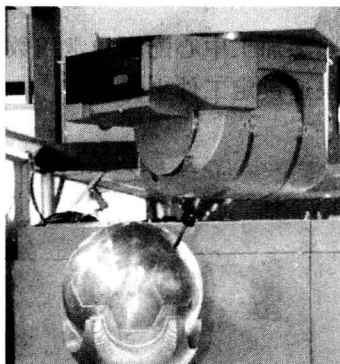


图 1-3 可自动转角度的主轴箱

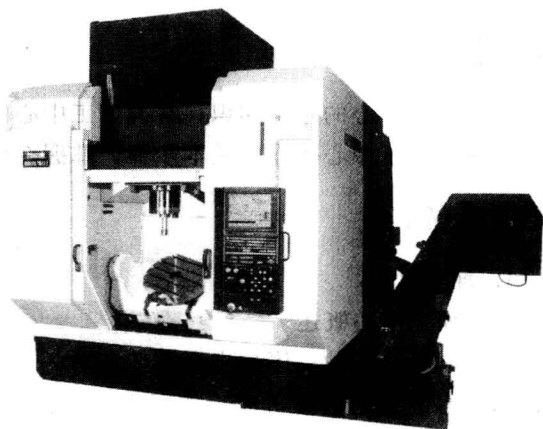


图 1-4 立式加工中心

② 卧式加工中心 卧式加工中心是指机床主轴成水平布置的加工中心。这类加工中心是从卧式铣床或卧式铣镗床演变和发展而来的，它的加工范围基本与立式卧铣（或卧镗）相同。卧式加工中心通常都配有回转工作台或分度转台，所以它可以用来完成箱体零件的四周或圆周面上的各种复杂的加工工序，对于箱体顶部只能用圆柱铣刀进行侧铣。回转工作台称为第 4 轴或 C 轴，通常配有第 4 轴的卧式加工中心都可以实现 4 轴联动，加工复杂曲面，如图 1-5 所示。

③ 大型加工中心 大型加工中心是指从卧式落地镗铣床或大型龙门铣床演变和发展而

来的加工中心。由卧式落地镗铣床为基型的大型卧式加工中心，其回转工作台或固定工作台都是独立的大型部件，安装在加工中心正面，机床完成 3 个方向的运动，回转工作台完成回转运动。这类加工中心的特点是工件大而笨重，机床运动行程长，配置固定工作台或分度工作台的居多，配置回转工作台的较少，如图 1-6 所示。

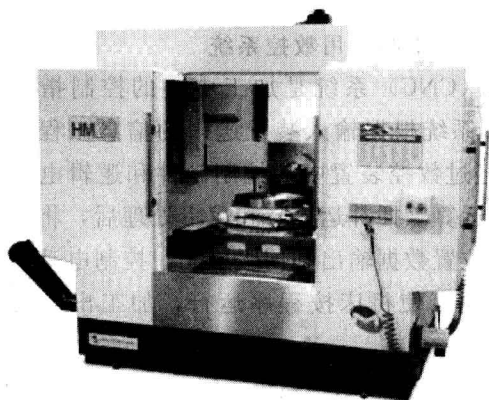


图 1-5 卧式加工中心

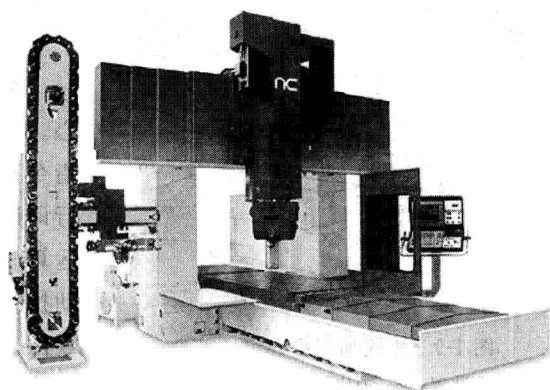


图 1-6 大型加工中心

④ 车削加工中心 车削加工中心是以轴类零件和回转体零件为加工对象，在数控车床的基础上发展起来的。机床配有刀库，一般还配有 C 轴，除能完成轴类零件和回转体零件的车、镗、钻、车螺纹和攻螺纹之外，还能完成铣削加工和对零件的周边孔进行钻孔和攻螺纹等多工序的复合加工。这类车削加工中心多数采用转塔式动力刀库作为刀库，如图 1-7 所示。还有的是采用链式刀库，通过机械手进行刀具交换。

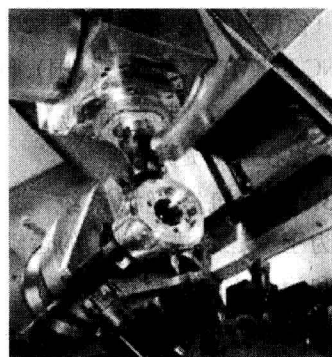


图 1-7 车削加工中心转塔式动力刀库

⑤ 柔性加工单元 柔性加工单元 (FMC) 是加工中心配上工件托盘库及托盘自动交换装置的加工设备，是可以进行多品种混合加工的加工中心。它是从加工中心或车削中心发展而来的，是具有更高性能的加工中心。它可以在一周之内连续 120h 不停地

运转，按既定的加工程序加工不同零件、不同工序。柔性加工单元有箱体类、回转体类、多轴组合式柔性加工单元之分，如图 1-8 所示。

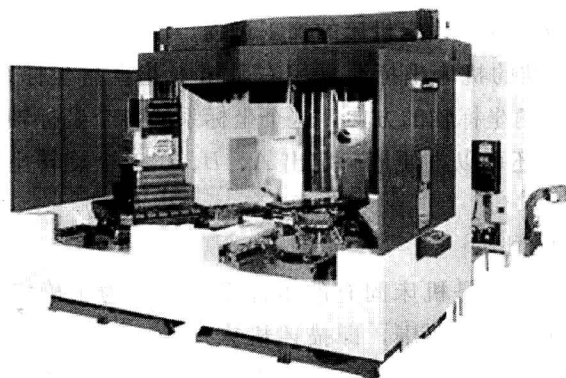


图 1-8 柔性加工单元

2. 加工中心常用数控系统

(1) 加工中心的组成

一台加工中心是由机床 (机械部分) 和控制系统 (电气部分) 两部分所组成。机床是加工中心的主体，控制系统是加工中心的核

心。

加工中心的机械部分通常由三大基

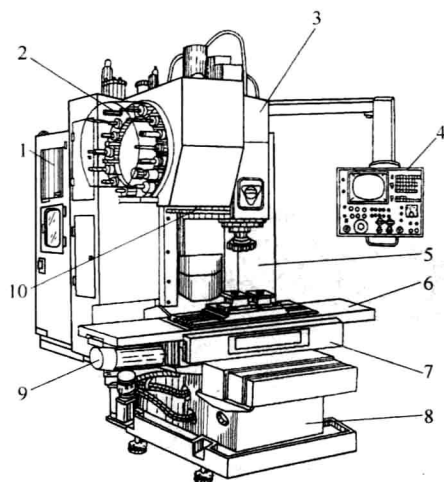


图 1-9 立式加工中心组成部件

1—数控装置；2—刀库；3—主轴箱；4—控制面板；5—立柱；6—工作台；7—滑枕；8—床身；9—X向伺服电机；10—换刀机器人手

基础部件（床身、立柱和工作台）和主轴部件、刀具存储自动交换系统（ATC）及其他辅助功能部件组成。有的加工中心还具有托盘（工作台）、自动交换系统（APC）。图 1-9 为立式加工中心组成部件示意图。

(2) 加工中心常用数控系统

数控（CNC）系统是加工中心的控制指挥中心。CNC 系统根据输入装置送来的信息（程序或指令），经过数控装置中的控制软件和逻辑电路进行译码、运算（插补运算）和逻辑处理后，将插补运算出的位置数据输出到伺服单元，控制电动机带动执行机构，使机床按程序运行，加工出需要的零件。

加工中心配置的数控系统不同，其功能和性能差异很大。目前，国外数控产品中，常见的有：法那科（日本）FANUC 0iD、FANUC 18i、FANUC 31i；西

门子（德国）系统 SIEMENS 820DSL、SIEMENS 840D；三菱（日本）MITSUBISHI，如 EZMotion-NC E68M；海德汉（德国）HEIDENHAIN Itnc 530 等数控系统和相关产品在数控机床行业占有率较高。国产数控产品中，华中数控系统如 HNC-210BM、广州数控系统如 GSK983M 的市场占有率也在逐年提高。

3. 数控机床坐标系

为了编程时描述机床的运动，简化程序的编制以及保证记录数据的互换性，数控机床的坐标和运动方向均已标准化。

(1) 数控机床的标准坐标系的规定

在数控机床上，机床的动作是由数控装置来控制的，为了确定机床上的成形运动和辅助运动，必须先确定机床上运动的方向和运动的距离，这就需要一个坐标系才能实现，这个坐标系就称为机床坐标系。

① 刀具相对于静止工件而运动的原则 这一原则使编程人员能在不知道是刀具移近工件还是工件移近刀具的情况下，就可依据零件图样，确定机床的加工过程。

② 标准坐标（机床坐标）系的规定 标准的机床坐标系采用右手笛卡儿直角坐标系，如图 1-10 所示。图中规定了 X、Y、Z 三个直角坐标轴的方向，这个坐标系的各个坐标轴与机床的主要导轨相平行。根据右手螺旋法则，还可以方便地确定出 A、B、C 三个旋转坐标轴及方向。

(2) 机床坐标系与坐标轴运动方向的确定

① 数控机床坐标系的作用 数控机床坐标系是机床固有的坐标系，它是为了确定工件在机床中的位置，机床运动部件特殊位置及运动范围，即描述机床运动，产生数据信息而建立的几何坐标系。通过机床坐标系的建立，可确定机床位置关系，获得所需的相关数据。

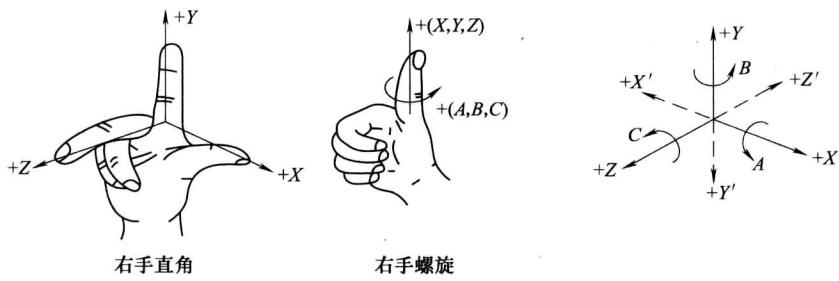


图 1-10 右手笛卡儿直角坐标系

② 坐标轴运动方向的确定 机床的某一运动部件的运动正方向规定为增大工件与刀具之间距离的方向。

a. Z 轴确定 Z 坐标轴的运动由传递切削力的主轴决定，与主轴平行的标准坐标轴为 Z 坐标轴，其正方向为增加刀具和工件之间距离的方向。对于车床是主轴带动工件旋转，如图 1-11 所示，主轴轴线方向为 Z 轴方向；对于数控铣床，铣刀的旋转轴线为 Z 轴，刀具远离工件的方向为 Z 轴的正方向。立式铣床向上的方向为 Z 轴正方向，如图 1-12 所示；卧式铣床，背对着主轴轴线的方向（指向机床的方向）为 Z 轴正方向，如图 1-13 所示。对于没有主轴的机床（刨床），则以装卡工件的工作台面相垂直的直线作为 Z 轴方向。若机床有几个主轴，可选择 一个垂直于工件装夹面的主要轴为主轴，并以它确定 Z 坐标轴。

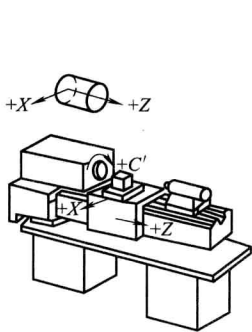


图 1-11 卧式车床

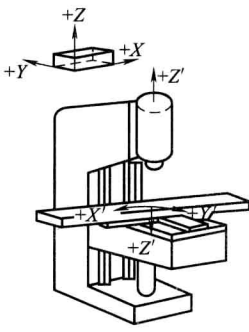


图 1-12 立式铣床

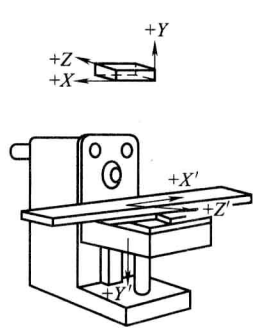


图 1-13 卧式铣床

b. X 坐标轴 X 坐标轴的运动是水平的，它平行于工件装夹面，是刀具或工件定位平面内的运动的主要坐标。主轴（Z 轴）带刀具旋转的数控机床中，对于立式数控铣床，单立柱时，当由主轴（刀具）向立柱看时，X 坐标轴的正方向指向右方，如图 1-12 所示；对于卧式数控铣床，当由主轴（刀具）向工件看时，X 坐标轴的正方向指向右方，如图 1-13 所示；对于双立柱的龙门铣床，当由主轴（刀具）向左侧立柱看时，X 坐标轴的正方向指向右方，如图 1-14 所示。

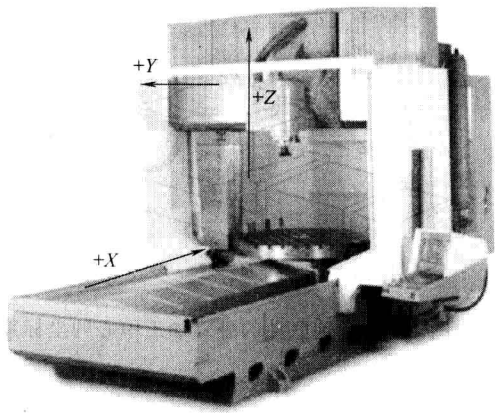


图 1-14 龙门数控铣床