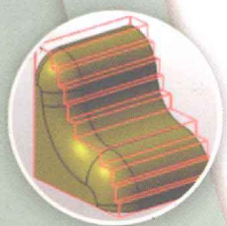




高等职业教育 **制造大类** 精品教材
国家示范性高职院校建设系列成果

机械零件 数控铣削加工

俞鸿斌 林 峰 主 编
戴素江 主 审



科学出版社
www.sciencep.com

中国科学院教材建设专家委员会教材建设立项项目

高等职业教育制造大类精品教材

国家示范性高职院校建设系列成果



机械零件数控铣削加工

俞鸿斌	林 峰	主 编
李银海	章跃洪	副主编
	戴素江	主 审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书采用项目式结构,项目下设不同的任务模块,每个模块以工作任务为起点,并围绕工作任务来整合理论和实践教学内容。本教材共包括五个项目、多个任务模块,内容涉及数控铣削加工工艺、程序设计、操作加工,涵盖了数控铣床知识、铣刀的安装与选用,工件的定位夹紧,工艺卡片规划,工序质量控制,数控编程技巧,数控铣床加工中心操作工中高级考证知识和技能要求,适合理论、实践一体化教学需要。

本书适合作为高职高专数控、模具制造、机电类专业的数控编程与操作教材,也可作为数控铣床中高级考证培训用书,还可以作为从事数控加工的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械零件数控铣削加工/俞鸿斌,林峰主编. —北京:科学出版社,2010
(中国科学院教材建设专家委员会教材建设立项项目·高等职业教育制造大类精品教材·国家示范性高职院校建设系列成果)

ISBN 978-7-03-026780-1

I. ①机… II. ①俞… ②林… III. ①机械元件-数控机床:铣床-金属切削-加工-高等学校-教材 IV. ①TH13 ②TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 022594 号

责任编辑:何舒民/责任校对:王万红

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年4月第1版 开本 787×1092 1/16

2010年4月第一次印刷 印张 25

印数:1—3 000 字数:590 000

定价:38.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154 (VT03)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

随着中国成为世界的现代制造业中心之一,数控技术也广泛应用于模具制造、汽配、五金产业及国防工业中,社会需要大量数控编程、数控操作和数控维修的高素质应用型人才。为提高数控技能的培养质量,使学生专业技能、方法能力、社会能力得到全面发展,特组织了从事多年数控技术的企业专家、高级工程师和多年从事教学工作以及数控技能竞赛指导的经验丰富的教师,共同编写了《机械零件数控铣削加工》教材。

本教材根据高等职业教育的特点,以职业能力培养为核心,按理论讲授与实践教学并举,校企合作与工学结合并轨的新型教育模式编写教材。教材融合了数控铣削加工工艺编制、程序编制、操作加工的专业知识和方法手段,以FANUC系统数控铣床、加工中心为主,通过完成从简单到复杂的综合性学习项目,重点解决实际问题的方法,体现“数控铣工国家职业技能鉴定标准”要求,以及学以致用、学以致用的教学理念,使学生能制订复杂零件的数控铣削加工工艺、编制数控铣削程序及操作数控铣床加工任务。

本教材采用项目式结构,项目下设不同的任务模块,并以工作任务为起点,围绕工作任务来整合理论和实践教学内容,特别适合于理论、实践一体化教学。本教材共包括5个项目、17个任务。项目1介绍了数控系统面板操作、工件安装找正、刀具安装、对刀操作及坐标系设置;项目2以综合性的隔板零件加工,项目零件设计典型,含平面、直线槽、圆弧槽、外轮廓、型腔及孔加工等多项目轮廓形状加工内容为一体,学生通过一个项目相关任务模块实施,完成铣削常用数控工艺、程序设计、操作加工,内容涵盖了数控铣床、铣刀的选用,工件的定位夹紧,工艺卡片、刀具卡片、工序质量控制,数控编程技巧;项目3重点侧重孔加工内容,通过项目2和项目3学习达到数控铣床、加工中心操作工中高级考工知识和技能要求;项目4涉及曲面自动编程及宏程序加工;项目5编排了典型配合类综合零件的加工,工艺复杂,内容深度达数控技能比赛及数控技师、高级技师考工知识和技能要求。全书项目案例均来源于企业的典型案例,参考程序多采用宏程序编写,体现了编程技巧和学生拓展学习的需要。

本教材主要特色如下。

(1) 项目导向,任务驱动

以典型机械零件的数控铣削加工为项目,以数控加工的工作过程为导向,以机械零件的识图、数控加工工艺的制订、数控程序的编制、数控加工、零件检测等工作任务开展教学,使学生在教学过程中目标明确,从而调动学生学习的积极性和主动性。

(2) 教、学、做一体

教师先以典型机械零件数控铣削加工为载体,对数控加工工艺方案的制订、数控程序的编制、数控设备操作与加工等实践技能进行示范,学生边学边做,从而掌握对该类零件数控加工工艺的制订、程序的编制、数控加工等职业技能。

(3) 典型案例来源于企业

选取内外轮廓类零件、曲面轮廓类、孔类典型机械零件作为项目化教学的载体,使学生学习具有一定的针对性。

(4) 自主型学习资源丰富

可通过与本教材配套的课程网站上的教学视频、在线测试、课件等多媒体资源进行在线学习 (<http://www.314p.com/jpkc/jdxy/dsj/>),也可通过下载网站上的试题库、数控机床操作说明书等资源进行离线学习,并可通过学习交流平台与教师和同学进行学习交流。

本教材主要针对数控类专业的教学,特别适用于高职高专数控类数控编程与操作课程教学的需要,项目来源于真实企业的典型工作案例,内容贴近实际,教材设计特色鲜明、体系完整,能够满足教学要求。

本书由金华职业技术学院俞鸿斌副教授主编,由浙江工业大学浙西分校林峰副教授任第二主编,金华职业技术学院李银海副教授、章跃洪高级技师任副主编,其中项目1、项目2由俞鸿斌编写整理,项目3、项目5由章跃洪编写,项目4中任务4.1由李银海编写,项目3内容部分及任务4.2由林峰编写。全书由金华职业技术学院戴素江教授主审,由俞鸿斌整理并统稿和定稿。本书编写过程中还得到了金华职业技术学院郭生霞、胡新华老师和企业专家陈丰土、吕军、李勇斌的帮助,在此一并感谢。

在编写本教材的过程中,编者参阅了相关的文献,参考文献对本教材的编写起到了重要的作用,在此编者对这些参考文献的编著者致以衷心感谢。

限于作者的水平,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年11月

目 录

项目 1 数控铣床（加工中心）基本操作

任务 1.1 数控铣床面板操作	2
工作任务	2
相关理论知识	2
1.1.1 数控机床基本概念	2
1.1.2 数控机床分类	4
1.1.3 数控机床的应用范围	13
1.1.4 数控机床的结构	14
1.1.5 XK5032 FAUNC 数控系统及操作面板	15
1.1.6 KND 立式铣床机械操作面板	20
1.1.7 BV 系列立式加工中心操作面板（FANUC 0i MC 系统）	22
1.1.8 FAUNC 16-MA 系统机床操作面板	24
1.1.9 SIEMENS 802D 数控铣床控制面板功能介绍（图 1-38）	25
1.1.10 数控机床坐标系	28
1.1.11 数控铣床的坐标系	30
相关实践知识	30
1.1.12 数控铣工安全文明生产条例	30
1.1.13 安全知识讲解及实习纪律教育	31
任务实施	33
1.1.14 开机操作	33
1.1.15 返回机床参考点操作	33
1.1.16 手动操作	34
1.1.17 加工程序的输入和编辑	35
1.1.18 自动操作	37
1.1.19 关机操作	39
1.1.20 数控铣床操作注意事项	39
任务 1.2 工件的安装与找正	41
工作任务	41
相关理论知识	41
1.2.1 工件定位的基本原理	41
1.2.2 工件的安装与校正	42

1.2.3 加工中心上定位装夹特点	42
1.2.4 数控铣床夹具选择	44
1.2.5 加工中心的日常维护保养	45
相关实践知识	47
1.2.6 台虎钳安装与校正	47
1.2.7 工件装夹	50
1.2.8 用组合压板安装工件	51
任务 1.3 加工中心刀具安装操作	55
工作任务	55
相关理论知识	56
1.3.1 常用切削刀具	56
1.3.2 数控机床刀柄的选择	57
1.3.3 工具系统	59
1.3.4 刀具组结构	61
1.3.5 加工中心的换刀指令	62
任务实施	64
1.3.6 刀具的装卸	64
1.3.7 自动换刀装置 (ATC) 的操作	65
任务 1.4 对刀操作及设置工件坐标系	67
工作任务	67
相关理论知识	67
1.4.1 坐标轴和运动符号	67
1.4.2 数控铣床的坐标系	68
1.4.3 机床坐标系与工件坐标系	69
1.4.4 工件坐标系的建立	70
相关实践知识	73
1.4.5 对刀操作	73
1.4.6 试切法对刀操作	73
1.4.7 用寻边器对刀	77
1.4.8 光电式寻边器对刀	81
1.4.9 利用圆孔中心对刀	83
1.4.10 Z 向对刀	84
1.4.11 进行对刀操作	86

项目 2 二维外型轮廓与型腔铣削加工

任务 2.1 平面加工	93
工作任务	93

相关理论知识	94
2.1.1 数控铣削加工内容	94
2.1.2 数控机床加工步骤	95
2.1.3 平面加工方法	96
2.1.4 平面铣削刀具	97
2.1.5 面铣刀刀具选用与装拆	99
2.1.6 数控铣削加工方案	101
2.1.7 程序的编制的基本知识	103
2.1.8 常用程序编制指令简介	106
2.1.9 平面铣削工艺及加工精度分析	109
相关实践知识	112
2.1.10 铣平面基本形式和操作方法	112
2.1.11 面铣削刀具选择	112
2.1.12 零件装夹方法及夹具的选择	113
2.1.13 工件原点的确定	115
2.1.14 起刀点和换刀点的确定	115
2.1.15 工序的划分及加工路线的确定	115
任务实施	116
2.1.16 任务实施步骤	116
2.1.17 任务实施计划表	117
2.1.18 任务实施方法	119
任务 2.2 十字槽加工	122
工作任务	122
相关理论知识	124
2.2.1 识图知识	124
2.2.2 数控加工工艺基本特点	125
2.2.3 零件图工艺分析要点	126
2.2.4 零件的定位基准和装夹方式确定	127
2.2.5 加工顺序及走刀路线确定	128
2.2.6 加工工序的划分	128
2.2.7 准备功能概述	128
2.2.8 主轴、换刀和辅助功能	136
2.2.9 刀具半径补偿原理及实例	139
2.2.10 子程序	143
2.2.11 宏指令编程简述	149
任务实施	151
2.2.12 工艺准备	151
2.2.13 实施步骤	152

任务 2.3 圆弧槽加工	157
工作任务	157
相关理论知识	159
2.3.1 程序编制方法	159
2.3.2 数值计算方法	160
2.3.3 机械加工质量的控制方法	162
2.3.4 圆弧加工程序的编制	164
相关实践知识	168
2.3.5 对刀点与换刀点的确定	168
2.3.6 加工方案确定的原则	169
2.3.7 刀具的选择	170
2.3.8 游标卡尺的结构与工作原理	172
2.3.9 外径千分尺	174
2.3.10 内测千分尺	176
2.3.11 深度千分尺简介	177
2.3.12 百分表	177
任务实施	178
2.3.13 工艺分析及刀具的选择	178
2.3.14 走刀路线规划	178
2.3.15 程序的编制	178
2.3.16 实施步骤	179
任务 2.4 外轮廓和 $\phi 80$ 外圆加工	182
工作任务	182
相关理论知识	184
2.4.1 外轮廓加工概述	184
2.4.2 外轮廓的加工方法	185
2.4.3 走刀轨迹设计	188
2.4.4 切削用量的选择及工艺卡片的填写	191
2.4.5 确定零件的定位基准	192
2.4.6 拟定工艺路线	192
2.4.7 切削用量的选择	193
2.4.8 加工工艺参数确定	195
2.4.9 拟定数控加工工艺卡	195
2.4.10 数控加工工艺文件	195
2.4.11 数控铣床及加工中心的插补原理	199
任务实施	201
2.4.12 实施步骤	201
2.4.13 参考程序	201

任务 2.5 $\phi 50$ 型腔加工	204
工作任务	204
相关理论知识	206
2.5.1 型腔加工概述	206
2.5.2 型腔零件的结构工艺性	206
2.5.3 型腔加工方法	207
任务实施	210
2.5.4 实施步骤	210
任务 2.6 内孔、内螺纹加工	214
工作任务	214
相关理论知识	215
2.6.1 孔加工方法	215
2.6.2 孔加工刀具选用	216
2.6.3 螺纹加工方法	217
2.6.4 孔加工固定循环	219
2.6.5 钻孔循环、钻中心孔循环 (G81)	220
2.6.6 高速排屑钻孔循环 (G73)	220
2.6.7 小孔排屑钻孔循环 (深孔啄式钻孔循环) (G83)	221
2.6.8 钻孔循环 (G82)	221
2.6.9 攻丝循环 (G84)	221
任务实施	221
2.6.10 实施步骤	221
2.6.11 参考程序	222
任务 2.7 圆凸台、正六边形加工	226
工作任务	226
相关理论知识	228
2.7.1 局部坐标系	228
2.7.2 极坐标编程	229
2.7.3 数控机床性能指标对机床的影响	230
任务实施	232
2.7.4 实施步骤	232
2.7.5 参考程序	232
任务 2.8 内槽、斜腰槽加工	236
工作任务	236
相关理论知识	238
2.8.1 旋转变换指令 G68, G69	238
2.8.2 镜像指令	239
任务实施	240

2.8.3 实施步骤	240
2.8.4 参考程序	241

项目 3 孔类零件的加工

任务 3.1 简单孔类零件加工	245
工作任务	245
相关理论知识	246
3.1.1 孔的加工方法	246
3.1.2 各种孔加工方法的工艺特点	246
3.1.3 孔加工刀具的选择	248
3.1.4 孔类零件的检测	254
3.1.5 加工程序编制	256
3.1.6 孔加工循环	260
3.1.7 指定固定循环时的注意事项	265
任务实施	266
3.1.8 实施步骤	266
任务 3.2 大直径螺纹孔铣削加工	271
工作任务	271
相关理论知识	271
3.2.1 螺纹铣削加工方法	271
3.2.2 常见的螺纹铣刀类型	272
3.2.3 编程实例	272
任务实施	274
3.2.4 实施步骤	274

项目 4 三维曲面铣削加工

任务 4.1 曲面加工与自动编程	279
工作任务	279
相关理论知识	280
4.1.1 曲面类型	280
4.1.2 铣削曲面的走刀路径	282
4.1.3 曲面加工刀具	282
4.1.4 曲面自动编程	283
4.1.5 计算机辅助编程曲面加工方法	284
4.1.6 典型 CAD/CAM 软件编程功能介绍	289
相关实践知识	291
4.1.7 零件分析与夹具、刀具选择	291
任务实施	292

4.1.8 创建刀路,生成加工程序	292
任务 4.2 曲面类零件宏程序编程及加工	315
工作任务	315
相关理论知识	316
4.2.1 认识宏程序	316
4.2.2 宏程序的特点	317
4.2.3 宏程序在数控系统中的运行过程	318
4.2.4 变量	318
4.2.5 宏常量	320
4.2.6 运算符与表达式	320
4.2.7 宏程序曲面加工应用实例	323
相关实践知识	327
4.2.8 数学模型的建立	327
任务实施	327
4.2.9 工艺分析	327
4.2.10 宏程序参考程序	328
4.2.11 椭圆凸模的加工	328
项目 5 综合类零件的铣削加工	
任务 5.1 正反两面综合类零件的铣削加工	333
工作任务	333
任务实施	333
5.1.1 加工内容分析与工艺准备	333
5.1.2 实践操作	338
5.1.3 参考加工程序	341
任务 5.2 配合型组合零件的铣削加工	356
工作任务	356
任务实施	356
5.2.1 工艺分析、加工准备与编程	356
5.2.2 加工工艺表	368
5.2.3 参考加工程序	370
主要参考文献	386

— 项 目 1 —

数控铣床（加工中心）基本操作

—— 知识目标 ——

1. 掌握数控铣床面板的使用方法。
2. 掌握数控加工程序的输入、编辑方法。
3. 掌握对刀的方法。
4. 掌握坐标系的知识。
5. 掌握程序调试的方法。
6. 了解数控铣床操作规程。
7. 了解数控铣床报警信息。
8. 掌握数控铣床日常维护保养方法。

—— 能力目标 ——

1. 能按操作规程启动及停止数控铣床。
2. 会使用操作面板上的常用功能键（如回零、手动、MDI、进给率修调等）。
3. 能通过各种途径（如 DNC、网络）输入加工程序。
4. 能通过操作面板输入和编辑加工程序。
5. 能够对夹具和工件在铣床上进行正确定位。
6. 能进行对刀并确定相关坐标系。
7. 能够正确使用寻边器等对刀工具。
8. 能设置刀具参数。
9. 能进行程序检验、单段运行、空运行并完成零件试切。
10. 能根据说明书完成数控铣床的定期及不定期维护保养，包括机械、电、气、液压、数控系统检查和日常维护等。
11. 能读懂数控系统的报警信息；能排除数控铣床的一般故障。

任务 1.1 数控铣床面板操作

任务导读

通过数控铣床面板认识，数控铣床和加工中心的开、关机操作的练习，以及数控系统面板功能指令了解及简单程序的输入、保存及删除方法等工作任务的开展，熟悉面板各项功能，掌握程序的输入、保存及删除方法。

工作任务

1. 任务分析

数控铣床面板的认识与操作是数控编程加工的基础，学习本任务后，学生可熟悉数控铣床的操作面板，掌握数控铣床面板的使用方法，掌握机床操作面板上各个功能按键及旋钮的作用和使用方法。

本任务包括如下理论知识：

- 1) 数控铣床面板操作安全知识。
- 2) 数控铣床构造与功能。
- 3) 数控铣床基本面板的构成及基本操作。

2. 实践操作

认识数控铣床操作面板，熟悉操作面板各功能键的位置，熟悉数控系统菜单及各功能键的名称与作用，完成数控铣床面板基本操作练习任务。

- 1) 按操作规程启动及停止数控铣床。
- 2) 使用操作面板上的常用功能键。
- 3) 正确说出各按键的名称与作用。
- 4) 根据操作规程正确使用各功能键。
- 5) 完成回零、手动、MDI 运行、进给率修调等工作。

相关理论知识

1.1.1 数控机床基本概念

1. 数字控制

数字控制 (numerical control, 简称 NC) 就是用数字化的信息对机床的运动及其

加工过程进行控制的一种方法。简单地说,数控就是采用计算机或专用计算机装置进行数字计算、分析处理、发出相应指令,对机床的各个动作及加工过程进行自动控制的一门技术。

NC 以前是由晶体管、IC 等电子元件构成的。随着微型计算机的出现,由计算机组成了 NC 并进一步商品化,这种 NC 称为 CNC (computer numerical control)。

2. 计算机数字控制

计算机数字控制 (computer numerical control, 简称 CNC) 是用计算机存储系统软件实现数字控制功能,使数控系统由模拟控制系统发展为数字控制系统。对于计算机数字控制而言,不论是运算速度、精度,还是系统的稳定性、可靠性,都比以前的数控系统有很大的提高,为数控技术的发展注入了强大的生命力。

CNC 除了控制机床以外,还广泛地应用在控制机器人等方面。

在控制器的构成方面,NC 与 CNC 的不同点如下。

(1) NC (硬件 NC)

运算和控制的顺序回路是由晶体管、二极管、电阻、电容等电子元件构成的。扩展功能依赖于控制回路 (硬件),因此功能的扩展受限制。

(2) CNC (软件 NC)

其内部装有小型计算机、微型处理器和存储回路,运算及控制逻辑等大部分 NC 功能均由软件处理。扩展功能主要由软件进行,因此扩展性好,这是 CNC 的主要特点。

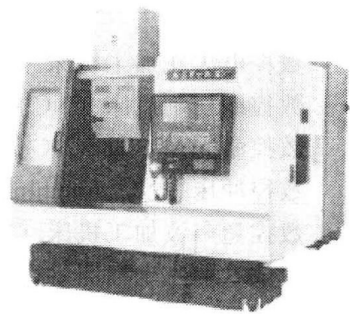


图 1-1 数控机床

3. 数控机床

数控机床是一种利用信息处理技术进行自动加工控制和金属切削的机床,是数控技术运用的典范。数控机床是现代化制造技术的核心设备,其先进程度和拥有数量代表了一个国家制造工业的现代化水平。典型数控机床如图 1-1 所示。

4. 数控系统

数控系统是指利用数控技术实现自动控制的系统。它是数控机床的核心,可对 NC 代码进行识别、存储和插补运算,并输出相应的脉冲指令,经驱动伺服系统变换和放大,驱动机床完成相应的动作。数控系统主要用于控制对象的位置、角度、定位精度、定位速度、切削速度、温度、压力等。

5. 数控加工

数控加工是把根据工件图样和工艺要求等原始条件编好的加工程序输入数控装置,数控装置再将输入的信息进行运算处理后转换成驱动伺服机构的指令信号,最后由伺服机构控制机床刀具与工件的相对运动,实现工件自动加工。

1.1.2 数控机床分类

1. 按工艺用途分类

数控机床是在普通机床的基础上发展起来的，各种类型的数控机床基本上起源于同类型的普通机床，按工艺用途其分类大致如下：

数控车床 (NC lathe)

数控铣床 (NC milling machine)

加工中心 (machine center)

数控钻床 (NC drilling machine)

数控镗床 (NC boring machine)

数控齿轮加工机床 (NC gear holling machine)

数控平面磨床 (NC surface grinding machine)

数控外圆磨床 (NC external cylindrical grinding machine)

数控轮廓磨床 (NC confour grinding machine)

数控工具磨床 (NC tool grinding machine)

数控坐标磨床 (NC jig grinding machine)

数控电火花加工机床 (NC diesinking electric discharge machine)

数控线切割机床 (NC wire electric discharge machine)

数控激光加工机 (NC laser beam machine)

数控冲床 (NC punching press)

数控超声波加工机床 (NC ultrasonic machine)

其他 (如三坐标测量机等)

其中，加工中心、放电加工机床、数控激光加工机等新型加工设备，与传统的普通机床有明显差别，有一些新特点。随着数控技术的发展，数控机床在多功能、高精度、良好的加工能力方面有较大发展，同时带来了数控机床种类的更新与多样化。

(1) 各种机床外形图 (图 1-2)

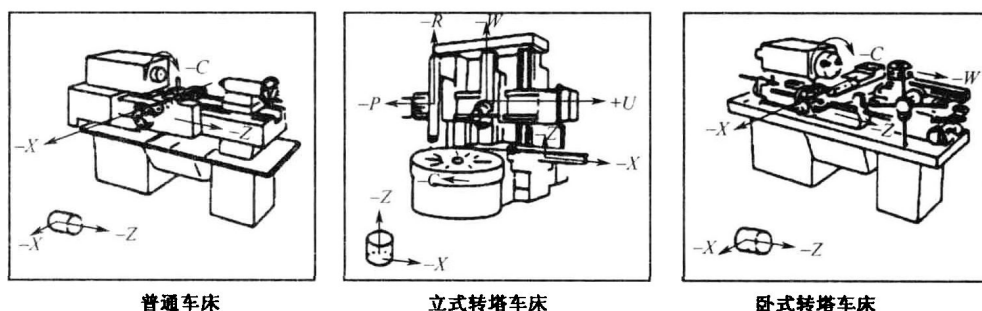
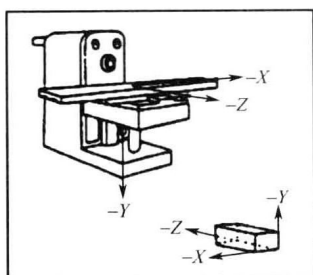
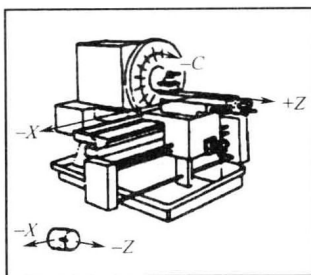


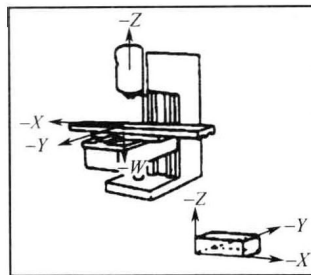
图 1-2 各种机床外形图



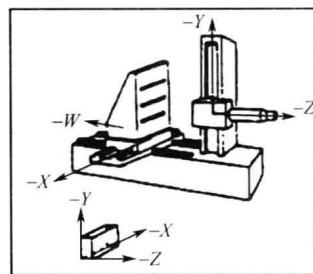
升降台式卧铣床



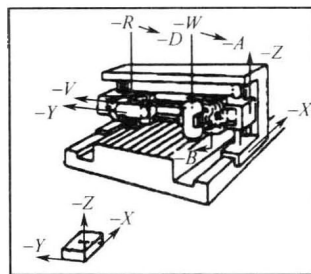
端面车床



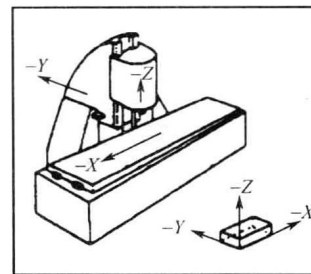
升降台式立铣床、钻床、坐标镗床



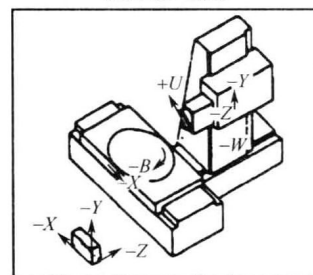
立式镗、铣床



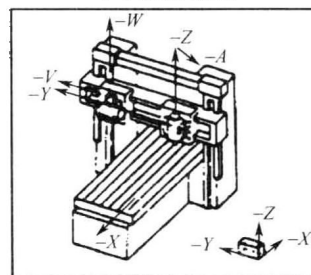
行车式龙门铣床



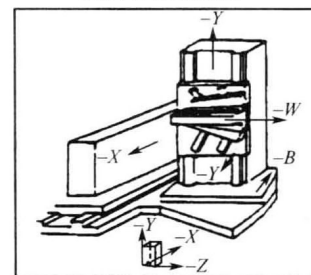
工作台升降式铣床



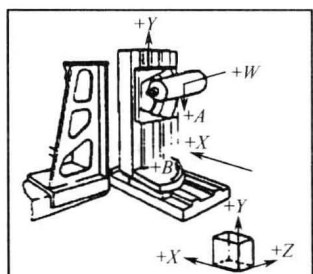
立式镗床



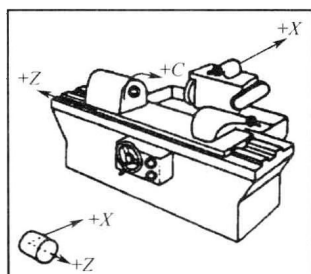
龙门铣床



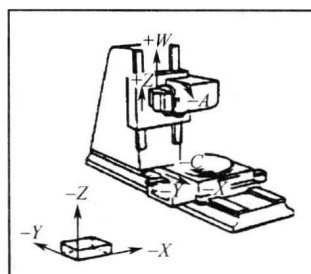
5轴工作台移动式铣床



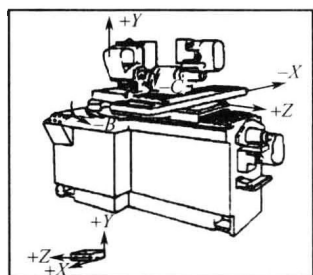
5轴立式铣床



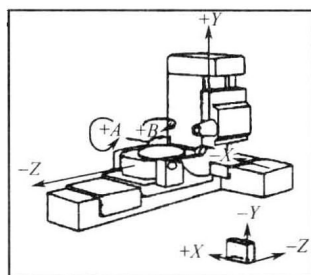
外圆磨床



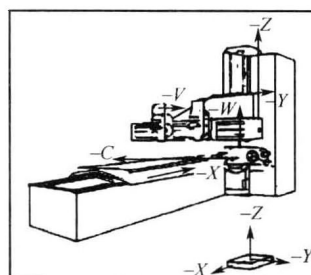
床身回转型铣床



工具磨床



5轴工作台回转型铣床



悬臂式刨床(单臂刨床)

图 1-2 各种机床外形图 (续)