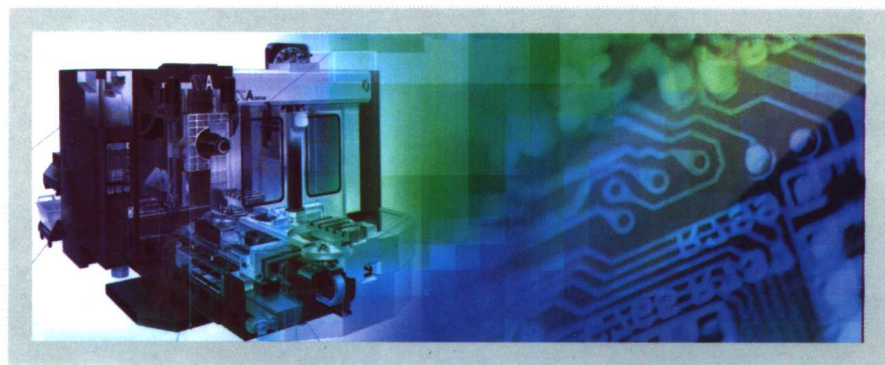


中国高等职业技术教育研究会推荐

21世纪高等职业教育规划教材

数控机床与加工仿真技术

赵萍 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

中国高等职业技术教育研究会推荐

21 世纪高等职业教育规划教材

数控机床与加工仿真技术

赵萍 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书从高职高专教育的实际出发,根据国家示范性高等职业院校教学改革的要求,以数控车床、数控铣床和加工中心的应用为重点,选用目前企业中广泛使用的FANUC、华中世纪星数控系统为对象,介绍数控车床、数控铣床和加工中心的结构特点、数控编程要点和数控操作要领。

全书包括两部分内容:第一部分主要介绍数控机床的类型、典型结构和部件,目的是让学生认识数控机床,熟悉数控机床的机械结构;第二部分通过上海宇龙数控加工仿真软件介绍数控编程的要点及FANUC、华中世纪星数控系统的操作要领。书中引用大量典型实用的例题,使学习者能够结合实例进行学习,掌握数控机床的编程和操作方法。

本书可作为高等职业院校、高等学校专科、职工大学、业余大学、函授大学等数控技术应用专业、机械制造专业、机电一体化专业的教材,也可作为从事数控机床编程与操作工作的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床与加工仿真技术/赵萍主编. —北京:国防工业出版社,2008.1

21 世纪高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-118-05396-8

I. 数... II. 赵... III. 数控机床—加工—仿真—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 159502 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 字数 314 千字

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 24.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

21 世纪高等职业教育机电类规划教材 编审专家委员会名单

主任委员 方 新(北京联合大学教授)
刘跃南(深圳职业技术学院教授)

委 员 (按姓氏笔画排列)
付文博(烟台南山学院副教授)
刘 炯(国防工业出版社副编审)
刘克旺(青岛职业技术学院副教授)
刘建超(成都航空职业技术学院教授)
闫大建(北京科技职业学院副教授)
米国际(西安航空技术高等专科学校副教授)
李景仲(辽宁省交通高等专科学校副教授)
徐时彬(四川工商职业技术学院副教授)
郭紫贵(张家界航空工业职业技术学院副教授)
蒋敦斌(天津职业大学教授)
韩玉勇(枣庄科技职业学院副教授)
颜培钦(广东交通职业技术学院副教授)

总 策 划 江洪湖 刘 炯

总 序

在我国高等教育从精英教育走向大众化教育的过程中,作为高等教育重要组成部分的高等职业教育快速发展,已进入提高质量的时期。在高等职业教育的发展过程中,各高校在专业设置、实训基地建设、双师型师资的培养、专业培养方案的制定等方面不断进行教学改革。高等职业教育的人才培养还有一个重点就是课程建设,包括课程体系的科学合理设置、理论课程与实践课程的开发、课件的编制、教材的编写等。这些工作需要每一位高职教师付出大量的心血,高职教材就是这些心血的结晶。

高等职业教育机电类专业赶上了我国现代制造业崛起的时代,中国的制造业要从制造大国走向制造强国,需要一大批高素质的、工作在生产一线的技术应用型人才,这就要求我们高等职业教育机电类专业的教师们担负起这个重任。

高等职业教育机电类专业的教材一要反映制造业的最新技术,因为高职学生毕业后马上要去现代制造业企业的生产一线顶岗,我国现代制造业企业使用的技术更新很快;二要反映某项技术的方方面面,使高职学生能对该项技术有全面的了解;三要深入某项需要高职学生具体掌握的技术,便于教师组织教学时切实使学生掌握该项技术或技能;四要适合高职学生的学习特点,便于教师组织教学时因材施教。要编写出高质量的高职教材,还需要我们高职教师的艰苦工作。

国防工业出版社组织了一批具有丰富教学经验的高职教师所编写的数控、模具、汽车、自动化、机电设备等方面的教材反映了这些专业的教学成果,相信这些专业的成功经验又必将随着本系列教材这个载体进一步推动其他院校的教学改革。

方新

《数控机床与加工仿真技术》

编委会名单

主 编 赵 萍

副主编 吴景淑 万晓航

编 委 高 杉 高洪波 徐 慧 牛卉原 吕 奕

主 审 李滨慧

前 言

随着计算机科学、信息技术的迅速发展,传统的制造业已发生了十分显著的变化,发达国家正进行由传统的制造技术向现代制造技术的转变,并提出了全新的制造模式。数控加工技术将逐步引领现代机械制造业的发展。数控技术的普及使企业急需大批数控人才,然而,目前数控人才紧缺,特别是具备综合基础知识、解决数控技术工程实践问题的技工更为紧缺,这严重制约了数控设备的使用,必须加大数控人才培养的力度,满足社会需求。

本书从高职高专教育的实际出发,根据国家示范性高等职业院校教学改革的要求,以数控车床、数控铣床和加工中心的应用为重点,选用目前企业中广泛使用的 FANUC、华中世纪星数控系统为对象,介绍数控车床、数控铣床和加工中心的结构特点、数控编程要点和数控操作要领。

本书主要分为两大部分:第一部分为第 1 章~第 5 章,主要介绍数控机床的类型、典型结构和部件,目的是让学生认识数控机床,熟悉数控机床的机械结构;第二部分为第 6 章~第 9 章,其中第 6 章以 FANUC 系统为对象,以短小精悍的实例介绍数控编程的要点,第 7 章~第 9 章主要通过数控加工仿真软件以典型实例来介绍 FANUC、华中世纪星数控系统的操作要领。在学习过程中,两部分互相融会贯通,在了解机床结构和运动的基础上学习编程,在有独立编程的基础上掌握机床的操作,理论结合实践,将极大地促进学生学习的热情。

本书的主要特点:

1. 侧重于介绍数控机床的典型部件及其使用,能使学生系统地掌握数控机床的组成、布局和机械结构,为机床结构设计奠定了基础。

2. 以数控加工仿真软件为工具来学习编程和操作,使原来需要在数控机床上才能完成的大部分教学功能可以在这个虚拟制造环境中实现,加快了学生培养的速度,减少了数控机床设备、工件材料和能源的消耗,降低了培训成本,同时为学生的数控实训奠定了坚实的基础。

3. 以典型实例介绍数控车床、数控铣床和加工中心的操作,具有示范性,教师易教,学生易学,且可以举一反三。每个典型零件的加工都结合数控机床的实际操作来介绍,也能够让学生了解数控加工仿真软件的局限性。其中第 8 章、第 9 章中实训项目结合工艺、编程和操作,可以作为数控加工仿真实训与数控加工实训的内容。

全书共9章,其中第1章由徐慧编写,第2章、第8章由赵萍编写,第3章、第4章由高杉编写,第5章由高洪波编写,第6章由万晓航编写,第7章、第9章由吴景淑编写,牛卉原、吕奕参与了第6章、第8章、第9章的编写。本书由赵萍任主编,完成全书的统稿工作,吴景淑、万晓航任副主编,李滨慧主审了全书。

本书在编写过程中得到了中国高等职业技术教育研究会、辽宁省交通高等专科学校、河北工业职业技术学院、上海宇龙软件工程有限公司的极大支持,在此谨致谢意。

限于编者的水平和经验,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 数控机床概述	1
1.1 数控机床简介	1
1.2 数控机床的特点	1
1.3 数控机床的分类	2
1.3.1 按加工方式和工艺用途分类	2
1.3.2 按运动轨迹分类	3
1.3.3 按可联动的坐标轴分类	3
1.3.4 按伺服控制系统分类	4
1.4 数控机床的工作原理及组成	6
1.4.1 数控机床的工作原理	6
1.4.2 数控机床的组成	6
1.5 数控机床的功能	8
1.6 数控机床的主要性能指标	9
1.7 数控机床的发展趋势	10
第 2 章 数控机床的典型结构与部件	12
2.1 数控机床的结构特点及要求	12
2.1.1 数控机床的结构特点	12
2.1.2 数控机床的结构要求及措施	12
2.2 数控机床的主传动系统及主轴部件	16
2.2.1 主传动的调速形式	16
2.2.2 主轴部件	17
2.3 数控机床的进给传动系统及其部件	21
2.3.1 联轴器	21
2.3.2 齿轮减速装置	21
2.3.3 丝杠螺母副	24
2.4 机床导轨	27
2.4.1 导轨的性能要求	27
2.4.2 数控机床常用导轨	28
2.4.3 导轨的润滑与防护	31
2.5 排屑装置	31

2.5.1 平板链式排屑装置·····	32
2.5.2 刮板式排屑装置·····	32
2.5.3 螺旋式排屑装置·····	33
第3章 数控车床 ·····	34
3.1 数控车床的组成与结构特点·····	34
3.1.1 数控车床的组成·····	34
3.1.2 数控车床的结构特点·····	35
3.2 数控车床的分类·····	36
3.3 数控车床的布局·····	36
3.4 数控车床的传动系统·····	37
3.4.1 主传动系统·····	38
3.4.2 进给传动系统及装置·····	38
3.5 数控车床的自动换刀装置·····	40
3.5.1 排刀式刀架·····	40
3.5.2 转塔回转刀架·····	40
3.6 卡盘·····	41
3.7 尾座·····	42
第4章 数控铣床 ·····	43
4.1 概述·····	43
4.2 数控铣床的组成与结构特点·····	43
4.2.1 数控铣床的组成·····	43
4.2.2 数控铣床的结构特点·····	44
4.3 数控铣床的分类·····	45
4.3.1 按构造分类·····	45
4.3.2 按通用铣床的方法分类·····	45
4.4 数控铣床的布局·····	46
4.5 数控铣床的传动系统·····	48
4.6 万能铣头·····	48
4.7 回转工作台·····	50
4.7.1 分度工作台·····	50
4.7.2 数控回转工作台·····	51
第5章 加工中心 ·····	52
5.1 加工中心的结构与特点·····	52
5.1.1 加工中心的结构·····	52
5.1.2 加工中心的特点·····	53
5.2 加工中心的分类·····	54

5.2.1	按功用分类	54
5.2.2	按布局方式分类	54
5.2.3	按换刀形式分类	56
5.3	加工中心的传动系统	56
5.3.1	主轴传动系统与装置	56
5.3.2	进给传动系统	58
5.4	加工中心的自动换刀装置	59
5.4.1	刀库	59
5.4.2	自动换刀方式	60
5.4.3	刀具的编码与选择方式	62
第 6 章	数控编程基础	66
6.1	数控编程基础知识	66
6.1.1	数控程序编制的方法及步骤	66
6.1.2	数控程序的基本结构	67
6.1.3	数控机床的坐标系	68
6.2	辅助功能 M 指令	71
6.3	进给功能 F、主轴转速功能 S 和刀具功能 T	73
6.4	数控车削编程基础	74
6.4.1	工件坐标系设置功能	74
6.4.2	返回参考点功能	76
6.4.3	基本移动指令	77
6.4.4	暂停指令	80
6.4.5	刀具补偿指令	81
6.4.6	数控车削编程固定循环	83
6.5	数控铣削与加工中心的编程基础	93
6.5.1	加工坐标系的确定与坐标平面的选择	93
6.5.2	基本指令	95
6.5.3	刀具补偿指令	97
6.5.4	比例缩放及镜像功能	102
6.5.5	旋转变换功能	104
6.5.6	孔加工固定循环功能	105
6.5.7	加工中心的编程要点	110
第 7 章	数控加工仿真系统的基本功能	112
7.1	文件管理的功能	112
7.1.1	新建项目文件	113
7.1.2	打开项目文件	113

7.1.3	保存项目文件	113
7.1.4	零件模型的导入/导出	114
7.2	视图操作的功能	114
7.2.1	视图的复位	115
7.2.2	视图的局部放大	115
7.2.3	视图的动态缩放	115
7.2.4	视图的平移	116
7.2.5	视图的切换	116
7.2.6	视图的旋转	117
7.2.7	数控系统的显示/隐藏操作	117
7.2.8	视图选项操作	117
7.3	机床类型选择的功能	118
7.4	刀具管理的功能	118
7.4.1	车刀的管理	118
7.4.2	铣刀的管理	120
7.4.3	加工中心选刀	122
7.5	零件操作的功能	122
7.5.1	定义毛坯	122
7.5.2	安装夹具	123
7.5.3	安装零件	123
7.5.4	移动零件	124
7.5.5	压板的使用	125
7.6	零件测量的功能	126
7.6.1	车床零件的测量	126
7.6.2	铣床/加工中心零件的测量	128
第 8 章	FANUC Oi 数控系统的加工仿真	130
8.1	FANUC Oi 数控系统的面板与按键	130
8.1.1	FANUC Oi 数控系统的面板布局	130
8.1.2	FANUC Oi 数控系统的 MDI 按键	130
8.1.3	FANUC Oi 数控系统的操作面板按键	131
8.1.4	FANUC Oi 数控系统的手轮面板	133
8.2	FANUC Oi 数控车床的加工仿真	133
8.2.1	FANUC Oi 数控车床的基本操作	133
8.2.2	FANUC Oi 数控车床的加工仿真过程	141
8.2.3	FANUC Oi 数控车床加工仿真实训	148
8.3	FANUC Oi 数控铣床的加工仿真	153

8.3.1	FANUC 0i 数控铣床加工仿真过程	153
8.3.2	FANUC 0i 数控铣床加工仿真实训	160
8.4	FANUC 0i 加工中心的加工仿真	166
8.4.1	FANUC 0i 加工中心仿真过程	166
8.4.2	FANUC 0i 加工中心仿真实训	172
第 9 章	华中世纪星数控系统加工仿真技术	177
9.1	华中世纪星数控系统的面板与按键	177
9.1.1	华中世纪星数控系统的面板布局	177
9.1.2	华中世纪星数控系统的 MDI 按键说明	177
9.1.3	华中世纪星数控系统的菜单与软键	178
9.1.4	华中世纪星数控系统的操作按键	179
9.1.5	华中世纪星数控系统的手轮面板	180
9.2	华中世纪星数控系统的基本操作	181
9.2.1	华中世纪星数控车床的基本操作	181
9.2.2	华中世纪星数控铣床的基本操作	192
9.3	华中世纪星数控系统的加工仿真	195
9.3.1	数控车床的加工仿真实训	195
9.3.2	数控铣床的加工仿真实训	199
附录	华中系统数控指令代码	203
参考文献		212

第 1 章 数控机床概述

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等，都是建立在数控技术之上的。同时，数控技术关系到国家战略地位，是体现国家综合国力水平的重要基础性产业，其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志，实现加工机床及生产过程数控化，已经成为当今制造业的发展方向。专家们曾预言：机械制造的竞争，其实质是数控的竞争。

1.1 数控机床简介

数字控制（Numerical Control, NC）是一种借助数字化信号对机床的运动及其加工过程进行可编程控制的自动化方法。

数控系统（NC System）是指采用数控技术的控制系统。

数控机床（NC Machine）是指采用数字控制技术的机床，或者说是装备了数控系统的机床。国际信息处理联盟对数控机床作了如下的定义：数控机床是装有程序控制系统的机床，该系统能够逻辑地处理具有特定编码和其他符号编码指令规定的程序。

采用数字控制技术进行机械加工的思想，最早是于 20 世纪 40 年代初提出来的。

1952 年，美国麻省理工学院成功地研制出一台数控铣床，这是公认的第一台数控机床，当时用的电子元件是电子管。

1958 年，开始采用晶体管元件和印制线路板。美国出现带自动换刀装置的数控机床，称为加工中心（Machining Center, MC）。从 1960 年开始，其他一些工业国家，如德国、日本也陆续开发生产出了数控机床。

1965 年，数控装置开始采用小规模集成电路，使数控装置的体积减小、功耗降低及可靠性提高，但仍然是硬件逻辑数控系统。

1967 年，英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统，这就是最初的柔性制造系统（Flexible Manufacturing System, FMS）。

1970 年，美国芝加哥国际机床展览会首次展出用小型计算机控制的数控机床，这是世界上第一台计算机数字控制（Computer Numerical Control, CNC）的数控机床。

1974 年微处理器用于数控装置，促进了数控机床的普及应用和数控技术的发展。

在 20 世纪 80 年代后期，出现了以加工中心为主体，再配上工件自动检测与装卸装置的柔性制造单元（Flexible Manufacturing Cell, FMC）。FMC 和 FMS 技术是实现计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）的重要基础。

1.2 数控机床的特点

现代数控机床集高效率、高精度、高柔性于一身，具有许多普通机床无法实现的特

殊功能。它具有如下特点。

1. 加工精度高

数控机床加工同批零件尺寸的一致性好，加工精度高，加工质量稳定，产品合格率高。中、小型数控机床的定位精度可达 0.005mm ，重复定位精度可达 0.002mm 。数控机床按预定的零件加工程序自动加工，加工过程不需要人工干预。加之数控机床本身的刚度好，精度高，而且还可利用软件进行精度校正和补偿。因此可以获得比机床本身精度还要高的加工精度和重复精度。

2. 生产效率高

数控机床具有良好的结构刚性，可进行大切削用量的强力切削，有效地节省机动时间，还具有自动变速、自动换刀、自动交换工件和其他辅助操作自动化等功能，使辅助时间缩短，而且无需工序间的检测和测量，所以数控机床生产效率比一般普通机床高得多。如对箱体类零件采用加工中心进行加工，利用转台自动换位、自动换刀可以实现在一次装夹的情况下几乎完成零件的全部加工，减少了装夹误差，节约了工序之间的运输、测量、装夹等辅助时间。

3. 自动化程度高

数控机床的加工，是输入事先编写好的零件加工程序后自动完成，除了装卸零件、安装刀具、操作键盘、观察机床运行之外，其他的机床动作直至加工完毕，都是自动连续完成，大大减轻了操作者的劳动强度，改善了劳动条件，减少了操作人员的人数，有利于现代化的生产管理，可向更高级的制造系统发展。

4. 对加工对象的适应性强

数控机床是一种高度自动化和高效率的机床，可适应不同品种和尺寸规格工件的自动加工。当加工对象改变时，只要改变数控加工程序，就可改变加工工件的品种，为复杂结构的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的便利，特别是对那些普通机床很难甚至无法加工的精密复杂表面（如螺旋表面），数控机床也能实现自动加工。

5. 经济效益好

数控机床虽然设备昂贵，加工时分摊到每个工件上的设备折旧费较高，但在单件、小批量生产情况下，使用数控机床加工，可节省划线工时，减少调整、加工和检验时间，节省直接生产费用和工艺装备费用。数控机床的加工精度稳定，减少了废品率，使生产成本进一步下降。此外，数控机床可实现一机多用，节省厂房面积和建设投资。因此，使用数控机床仍可获得良好的经济效益。

1.3 数控机床的分类

1.3.1 按加工方式和工艺用途分类

1. 金属切削类数控机床

这种分类方法和普通机床的分类方法相似，按切削方式不同，可分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床和加工中心。

2. 金属成形类数控机床

这类数控机床包括数控折弯机、数控弯管机、数控回头压力机等。

3. 数控特种加工机床

这类数控机床包括数控线切割机床、数控电火花成形机床、数控冲床、数控激光切割机床等。

4. 其他类型数控机床

如数控3坐标测量机等。

1.3.2 按运动轨迹分类

数控机床按其刀具与工件相对运动的方式，可以分为点位控制、直线控制和轮廓控制等3种类型，如图1-1所示。

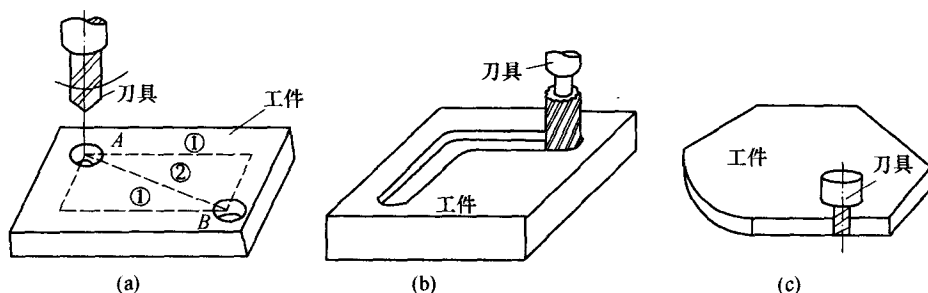


图 1-1 数控机床分类

(a) 点位控制; (b) 直线控制; (c) 轮廓控制。

1. 点位控制数控机床

如图1-1(a)所示，点位控制数控机床的特点是当刀具与工件相对运动时，只控制从一点运动到另一点的准确性，而不考虑两点之间的运动路径和方向。这种控制方式多应用于数控钻床、数控冲床、数控坐标镗床和数控点焊机等。

2. 直线控制数控机床

如图1-1(b)所示，直线控制数控机床的特点是当刀具与工件相对运动时，除控制从起点到终点的准确定位外，还要保证平行坐标轴的直线切削运动。由于只作平行坐标轴的直线进给运动，因此不能加工复杂的工件轮廓。这种控制方式用于简易数控车床、数控铣床、数控磨床等。

3. 轮廓控制数控机床

如图1-1(c)所示，轮廓控制数控机床的特点是当刀具与工件相对运动时，能对两个或两个以上坐标轴的运动同时进行控制，因此可以加工平面曲线轮廓或空间曲面轮廓。采用这类控制方式的数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心等。

1.3.3 按可联动的坐标轴分类

数控系统控制的几个坐标轴按需要的函数关系同时协调运动，称为坐标联动。按照联动轴数可以分为2轴联动、2轴半联动、3轴联动、4轴联动、5轴联动等数控机床。

1. 2 轴联动

数控装置控制 2 个坐标轴同时动作, 称为 2 轴联动, 主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面, 如图 1-2(a)所示。

2. 2 轴半联动

这种联动方式主要用于 3 轴以上机床的控制, 其中 2 根轴可以联动, 而另外一根轴作周期性进给。图 1-2(b)所示就是采用这种方式用行切法加工三维空间曲面。

3. 3 轴联动

数控机床能同时控制 3 个坐标轴联动, 可用于加工曲面零件, 如图 1-2(c)所示。

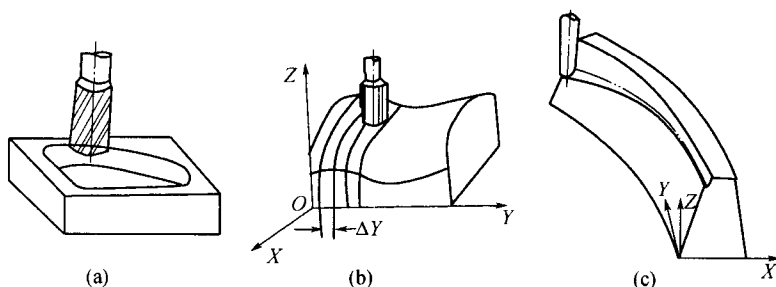


图 1-2 空间平面和曲面的数控加工

(a) 2 轴联动的曲面加工; (b) 2 轴半联动的曲面加工; (c) 3 轴联动的曲面加工。

4. 多轴联动

数控机床能同时控制 4 个以上坐标轴联动, 多坐标数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂, 主要应用于加工形状复杂的零件。采用 5 轴联动铣床加工曲面形状零件, 如图 1-3 所示。6 轴加工中心运动坐标系的示意图如图 1-4 所示。

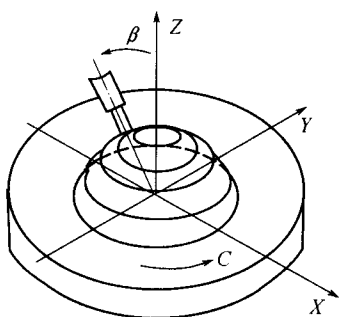


图 1-3 5 轴联动铣床加工曲面

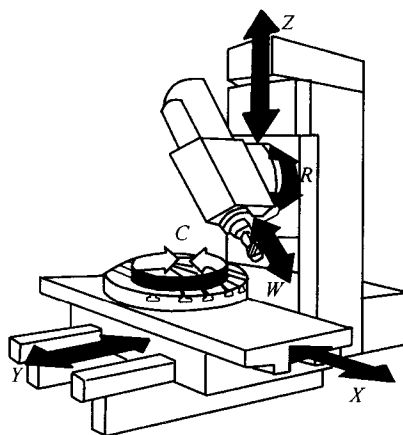


图 1-4 6 轴加工中心坐标系

1.3.4 按伺服控制系统分类

1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床的运动部件没有位移检测反馈装置 (图 1-5), 数控装置发出信号