


国家“十一五”应用型人才培养规划教材

现代数控机床 及应用

XIANDAI SHUKONG JICHUANG JI YINGYONG

邓奕主编

 国防工业出版社
National Defense Industry Press

国家“十一五”应用型人才培养规划教材

现代数控机床及应用

主 编 邓 奕
副主编 谢 骐 关耀奇
参 编 彭浩舸 刘忠伟 罗金良
主 审 刘迎春

国防工业出版社

发行部：(010) 68438433
发行部：(010) 68438433
发行部：(010) 68438433

内 容 简 介

本书系统介绍了数控机床的基本知识和结构,数控装置和伺服系统,数控加工工艺基础,数控车床和铣床的编程,高速切削技术,Mastercam X 软件的三轴铣削加工等。本书内容丰富,通俗易懂,实用性强;理论论述条理清晰,便于掌握;精选的编程实例分析典型全面,完全接近生产实际,对学生全面了解和掌握数控机床切削加工的工艺理论和数控编程技能有较大的帮助。

本书可作为应用型本科、高职、高专进行数控编程学习的教材,也可以作为从事数控加工的技术人员和操作人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代数控机床及应用/邓奕主编. —北京:国防工业出版社,2008.9

国家“十一五”应用型人才培养规划教材

ISBN 978-7-118-05923-6

I. 现... II. 邓... III. 数控机床—高等学校—教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 130187 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 23 $\frac{3}{4}$ 字数 548 千字

2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 39.00 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

前 言

数控技术的广泛应用,给传统制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来深刻的变化,也给传统的机电类专业人才的培养带来新的挑战。专家预言:21世纪机械制造业竞争的实质是数控技术的竞争。目前,随着国内数控机床的应用范围日益扩大,急需培养一大批熟悉数控加工工艺、熟练掌握现代数控机床编程的应用型高级技术人才。为了适应我国高等教育发展及应用型人才培养的需要,我们总结了大量的实践经验,编写了本教程。

本书前半部分系统介绍了数控机床的基本知识和结构,数控装置和伺服系统,数控加工工艺基础,数控车床和铣床的编程及高速切削技术。后半部分则针对目前最流行的 CAD/CAM 软件的实用数控编程技术,按照数控编程的一般步骤和数控编程人员必备的知识结构,重点讲述了 Mastercam X 的三轴铣削加工,主要包括 Mastercam 概述、线框零件造型方法、曲面零件造型方法、实体零件造型方法、CAD 图形转换、Mastercam 系统 CAM 功能及其相关性、两轴半轴加工、曲面加工及编程实例。本书精选的编程实例对学生全面了解和掌握数控机床切削加工的工艺理论和数控编程技能有较大的帮助。

本书内容丰富,通俗易懂,实用性强;理论论述条理清晰,便于掌握;实例分析典型全面,完全接近生产实际,具有示范性,有利于学生的应用能力培养。

本书可作为应用型本科、高职、高专、成人高校进行数控编程学习的教材,也可以作为从事数控加工的技术人员和操作人员的培训教材。

本书由湖南工程学院邓奕教授主编,谢骥教授、关耀奇副教授担任副主编,彭浩舸副教授参加编写。其中第 7、9、10 章由彭浩舸编写,第 11、12、13、16 章由关耀奇编写,第 1、2、8、14 章由谢骥编写,第 5、6、15、17 章由邓奕编写,第 3 章由湖南工业大学刘忠伟教授编写、第 4 章由南华大学罗金良副教授编写。全书由邓奕负责统稿和定稿。由刘迎春教授担任主审,他对本书提出了很多宝贵意见,编者在此表示衷心的感谢。

教材编写过程中,得到了湖南工程学院领导的关心和大力支持,在此一并致谢。

由于编者的水平和经验所限,书中难免有欠妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者电子邮件地址:dengshiyi@yahoo.com.cn

编者

2008年7月5日

目 录

第1章 数控机床的基本知识	1
1.1 数控机床概述	1
1.1.1 数控机床的基本概念	1
1.1.2 数控加工的过程和特点	1
1.2 数控机床的分类与应用	2
1.2.1 按机床运动的控制功能分类	3
1.2.2 按伺服控制的类型分类	5
1.2.3 按数控系统的功能水平分类	6
1.2.4 按加工工艺及机床用途的类型分类	6
1.3 数控机床的发展动向	7
思考与练习题	7
第2章 数控机床的结构	8
2.1 数控机床的结构特点	8
2.2 数控机床主传动系统及主轴部件	11
2.2.1 数控机床主传动系统的特点	11
2.2.2 数控机床的主传动系统	12
2.2.3 数控机床的主轴部件	13
2.3 数控机床进给伺服系统	16
2.3.1 数控机床进给传动的特点	16
2.3.2 滚珠丝杠螺母副	16
2.4 进给系统传动间隙的消除	20
2.4.1 传动齿轮间隙的消除	20
2.4.2 键连接间隙的消除	22
2.5 回转工作台与导轨	23
2.5.1 回转工作台	23
2.5.2 导轨	25
2.6 数控机床的自动换刀装置	27
2.7 数控加工用辅具	30
思考与练习题	32
第3章 计算机数控装置	33
3.1 计算机数控装置的硬件结构与工作原理	33
3.1.1 计算机数控装置的组成	33

98	3.1.2	单微处理机硬件结构	33
99	3.1.3	多微处理器硬件结构	35
20	3.1.4	开放式数控装置的体系结构	37
00	3.2	数控系统的软件组成与结构特点	39
00	3.2.1	CNC 系统软件的组成	39
80	3.2.2	CNC 装置的软件结构特点	39
80	3.3	运动轨迹的插补原理	42
00	3.3.1	概述	42
00	3.3.2	逐点比较插补法	42
001	3.3.3	数字增量插补	48
101	3.4	刀具半径补偿	53
101	3.4.1	刀具半径补偿的基本概念	53
501	3.4.2	B 功能刀具半径补偿计算	53
501	3.4.3	C 功能刀具半径补偿计算	55
001	3.5	辅助功能与可编程控制器	57
401	3.5.1	概述	57
201	3.5.2	可编程控制器的结构	58
201	3.5.3	梯形图	59
001	3.5.4	可编程控制器的工作过程	60
001		思考与练习题	62
	第 4 章	数控机床的伺服系统	63
801	4.1	概述	63
801	4.1.1	数控机床对伺服系统的要求	63
001	4.1.2	典型伺服系统的组成	63
111	4.1.3	数控机床伺服驱动系统的分类	64
411	4.2	步进电动机及其控制系统	64
531	4.2.1	步进电动机	64
251	4.2.2	步进电动机开环进给系统的传动计算	69
150	4.2.3	步进电动机的控制系统	70
801	4.3	直流伺服电动机及其速度控制	71
150	4.3.1	直流伺服电动机及工作特性	71
150	4.3.2	直流伺服电动机的速度控制方法	77
051	4.4	交流伺服电动机及其速度控制	78
101	4.4.1	交流伺服电动机概述	78
101	4.4.2	交流电动机调速原理	80
141	4.4.3	变频调速技术	81
125	4.5	数控机床的检测装置	83
131	4.5.1	旋转变压器	84
141	4.5.2	感应同步器	87

88	4.5.3	光栅	89
88	4.5.4	脉冲编码器	93
78		思考与练习题	95
	第5章	数控加工程序编制基础	96
98	5.1	数控编程概述	96
98	5.2	数控编程技术基础	98
98	5.2.1	程序段格式与程序结构	98
99	5.2.2	数控机床坐标系和运动方向	99
99	5.2.3	工件坐标系	99
100	5.2.4	数控编程的特征点	100
101	5.2.5	辅助功能指令	101
101	5.3	数控加工工艺的概念	101
102	5.4	数控加工工艺特点	102
102	5.4.1	数控铣削加工的工艺适应性	102
103	5.4.2	数控车削加工的工艺适应性	103
104	5.5	数控加工工艺性分析	104
105	5.6	数控机床的选用	105
105	5.6.1	数控铣床和加工中心的选用	105
106	5.6.2	数控车床的选用	106
106	5.7	加工方法选择及加工方案确定	106
108	5.8	工艺设计	108
108	5.8.1	工序和工步的划分	108
108	5.8.2	加工余量的选择	108
109	5.8.3	加工路线的确定	109
112	5.8.4	工件定位与安装的确定	112
114	5.8.5	刀具的选择	114
123	5.8.6	切削用量的确定	123
125	5.8.7	数控加工工艺文件的编制	125
126		思考与练习题	126
	第6章	数控铣床和加工中心的编程	128
128	6.1	数控铣床编程基本指令	128
129	6.1.1	绝对坐标与增量坐标编程(G90、G91)	129
129	6.1.2	快速运动(G00)	129
130	6.1.3	直线插补指令(G01)	130
130	6.1.4	插补平面选择指令(G17、G18、G19)	130
131	6.1.5	圆弧插补指令(G02、G03)	131
132	6.1.6	坐标系	132
133	6.1.7	暂停指令G04	133
133	6.1.8	刀具半径补偿(G40、G41、G42)	133

601	6.1.9	刀具长度补偿	137
801	6.1.10	返回参考点指令(G27~G29)	138
001	6.1.11	孔加工固定循环(G73,G74,G76,G80~G89)	139
505	6.1.12	主程序与子程序	145
205	6.2	加工中心编程实例	145
205		思考与练习题	152
	第7章	高速切削简介	154
705	7.1	概述	154
705	7.1.1	高速切削的基本特征	154
005	7.1.2	高速切削的特点	155
115	7.2	高速切削的应用	156
815	7.2.1	高速切削的适应性	156
815	7.2.2	高速切削工艺分析	159
015	7.2.3	高速铣削方法	160
715	7.3	高速铣削刀具的选用	161
815	7.3.1	刀柄的选用	161
015	7.3.2	刀具的选用	162
155	7.4	高速切削机床和切削中心简介	164
555	7.4.1	高速切削对机床的特殊要求及“零传动”理论	164
255	7.4.2	高速加工中心的技术特征	166
255		思考与练习题	168
	第8章	数控车床编程	169
855	8.1	数控车床编程的方法和特点	169
055	8.1.1	数控车床的编程特点	169
185	8.1.2	常用准备功能指令	169
185	8.1.3	切削循环指令	173
855	8.1.4	补偿功能	177
855	8.2	数控车床的对刀	180
855	8.2.1	数控车床的对刀	180
285	8.2.2	对刀的基本方法	181
785	8.2.3	数控车床的对刀	181
885	8.3	数控车床编程实例	182
085		思考与练习题	189
	第9章	Mastercam 概述	192
045	9.1	Mastercam 的启动及工作界面	192
845	9.2	Mastercam 的工作界面	192
545	9.3	Mastercam 的文件管理	195
245	9.4	Mastercam 的基本操作	196
045	9.4.1	取消命令	196

781	9.4.2	参数设置	196
881	9.4.3	屏幕操作	198
981	9.4.4	物体选择	199
241	9.4.5	显示设置	202
241	9.5	Mastercam 的分析功能	205
321	9.6	退出 Mastercam	205
421		思考与练习题	206
	第 10 章	Mastercam 线框零件造型方法	207
421	10.1	利用线框造型方法生成基本图素的命令	207
221	10.2	二维字母图的绘制	209
221		思考与练习题	211
	第 11 章	曲面零件造型方法	213
921	11.1	举升曲面(Loft)	213
001	11.2	网格曲面(Create Net Surfaces)	216
101	11.3	直纹曲面(Ruled)	217
101	11.4	旋转曲面(Revolved)	218
501	11.5	扫描曲面(Sweep)	219
401	11.6	牵引曲面(Draft)	221
401	11.7	曲面倒圆角(Fillet)	222
001	11.8	曲面补正(Offset)	225
801	11.9	曲面编辑(Trim)	225
901	11.10	曲面熔接(Blend)	227
901	11.11	由实体产生曲面	228
901		思考与练习题	229
	第 12 章	实体零件造型方法	231
671	12.1	挤出实体(Extrude)	231
771	12.2	旋转实体(Revolve)	233
081	12.3	扫掠实体(Sweep)	234
081	12.4	举升实体(Loft)	234
181	12.5	实体倒圆角(Fillet)	235
181	12.6	实体倒角(Chamfer)	237
581	12.7	薄壳实体(Shell)	238
981	12.8	布尔运算(Boolean)	239
591	12.9	实体管理员和历史记录(Solids Manager & History Recorder)	240
591	12.10	基本实体(Primitives)	242
591	12.11	牵引面(Draft faces)	243
291	12.12	修整实体(Trim)	244
991	12.13	绘三视图(Layout)	245
991	12.14	寻找特征(Find feature)	246

12.15	缝合曲面(Stitch surfaces)	246
12.16	薄片加厚(Thicken)	248
12.17	移除面(Remove faces)	248
12.18	实体造型综合举例	249
	思考与练习题	251
第13章 Mastercam 的 CAD 图形转换		254
13.1	图形数据交换标准说明	254
13.2	ASC II 文件	254
13.3	STEP 文件	255
13.4	Autodesk	256
13.5	IGES 文件	258
13.6	Parasld 文件	258
13.7	STL 文件	259
13.8	其他格式文件	260
	思考与练习题	260
第14章 Mastercam 系统相关性及其应用		261
14.1	Mastercam 系统 CAM 功能	261
14.1.1	利用 Mastercam 系统进行数控编程的基本步骤	261
14.1.2	Mastercam 系统 CAM 功能的特点	261
14.2	Mastercam 系统的相关性及其应用	264
14.2.1	刀具管理	264
14.2.2	定义刀具	266
14.2.3	刀具参数	269
14.2.4	操作管理	270
14.2.5	操作管理右键菜单	273
14.2.6	后置处理	274
14.2.6	串连管理	275
14.2.7	机器群组属性	275
14.3	刀具路径检验	278
14.4	数控程序的质量	278
	思考与练习题	279
第15章 Mastercam 的轮廓加工		280
15.1	轮廓铣削(Contour Toolpath)	280
15.1.1	轮廓铣削参数设置菜单及对话框	280
15.1.2	轮廓铣削的专用参数	280
15.1.3	轮廓铣削要点	291
15.1.4	轮廓铣削的加工实例	292
15.2	挖槽加工(Pocket)	294
15.2.1	槽及岛屿的轮廓定义	295

245	15.2.2	挖槽加工参数设置菜单及对话框	295
248	15.2.3	挖槽加工实例	304
248	15.3	钻孔加工(Drill)	306
245	15.3.1	钻孔加工参数设置菜单及对话框	306
251	15.3.2	孔位的选择方式	309
254	15.3.3	钻孔加工实例	310
255		思考与练习题	313
	第16章	曲面加工	315
255	16.1	曲面加工的共同参数设置	316
256	16.2	平行式粗加工	318
258	16.2.1	平行式粗加工的操作步骤	318
258	16.2.2	平行式粗加工的参数设置	319
259	16.3	平行式精加工	324
260	16.4	陡斜面精加工	325
260	16.4.1	陡斜面精加工刀具路径的生成步骤	325
261	16.4.2	陡斜面精加工参数设置	326
261	16.5	挖槽式粗加工	327
262	16.6	等高外形精加工	329
261	16.7	曲面放射状精加工	330
264	16.8	曲面投影精加工	332
264	16.9	浅平面精加工	333
266	16.10	曲面流线精加工	334
266	16.11	交线清角精加工	336
270	16.12	残料清角精加工	336
273	16.13	环绕等距精加工	337
274	16.14	融合精加工	338
275	16.15	曲面加工实例	339
275		思考与练习题	346
	第17章	自动编程加工实例	348
278		思考与练习题	369
	参考文献		370

第 1 章 数控机床的基本知识

1.1 数控机床概述

1.1.1 数控机床的基本概念

数控机床起源于美国。1947 年,美国帕森斯(Parsons)公司为了精确地制作直升机机翼、桨叶和飞机框架,提出了用数字信息来控制机床自动加工外形复杂零件的设想,他们利用电子计算机对机翼加工路径进行数据处理,并考虑到刀具直径对加工路径的影响,使得加工精度达到 ± 0.0015 英寸(0.0381mm)。1949 年,美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件,与帕森斯公司和麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作,于 1952 年研制成功世界上第一台数控机床——三坐标立式铣床,可控制铣刀进行连续空间曲面的加工,揭开了数控加工技术的序幕。很快,数控技术的应用从美国逐步推广到欧洲地区和日本等国。我国于 1958 年也开始进行数控机床的研制工作,并取得了一定的成效。在某些领域,如大型车铣复合加工中心技术水平已达到了国际当代水平。

数控机床的数控系统已先后经历了两个阶段、六个时代的发展:电子管、晶体管、集成电路、小型计算机、微处理器及基于 PC 机的通用 CNC 系统。其中前三代为第一阶段,称为硬件连接数控(NC 系统),其特点是具有很多硬件电路和连接结点,电路复杂,可靠性不好;后三代为第二阶段,称为计算机软件系统(CNC 系统),主要由计算机硬件和软件组成,其最突出的特点是利用存储器里的软件控制系统工作,这种系统容易扩展功能,柔性好,可靠性高。现在,开放式数控系统(ONC 系统)正得到快速发展和应用。

数控机床的类型,已从最初单一的铣床类数控机床,发展到如今的金属切削类、金属成型类、特种加工类和特殊用途类数控机床,其品种多达千余种。

数控机床由程序介质、数控系统、伺服驱动和机床主体四大部分组成,它综合了计算机、自动控制、精密测量、机床制造及其配套技术的最新成果,成功地解决了现代产品多样化、零件形状复杂化、产品研制生产周期短、精度要求高的难题,是现代制造业的主流设备,也是关系国计民生、国防尖端建设的战略物资。

近年来,带有刀库并能够自动更换刀具的数控机床——加工中心的发展速度十分迅速。相继出现的双托盘和多托盘自动交换的加工中心和柔性制造单元(FMC),是由多台加工中心、物流系统、工业机器人及相应的信息流和中央控制系统组成的柔性制造系统(FMS),可实现 24h~120h 无人化运转。办公自动化(OA)与柔性制造系统(FMS)集成,实现工厂自动化(FA)生产。这些都改变了传统的制造模式,使制造业朝着自动化、柔性化、集成化方向发展。

1.1.2 数控加工的过程和特点

利用数控机床完成零件的数控加工过程如图 1-1 所示,其主要包括以下内容。

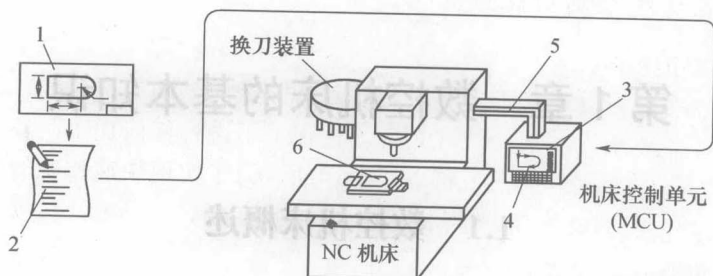


图 1-1 数控加工过程示意图

- 1—零件工艺分析(确定零件的加工要素); 2—编写零件的加工程序;
 3—向 MCU 输入零件的加工程序; 4—显示刀具路径;
 5—程序输送到 NC 机床; 6—加工零件。

(1) 根据零件的加工图样进行工艺分析, 确定加工方案、工艺参数和位置数据。

(2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单。或用自动编程软件进行计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)工作, 直接生成零件的加工程序文件。

(3) 程序的输入或传输。由手工编写的程序, 可以通过数控机床的操作面板输入程序。由自动编程软件生成的程序, 通过计算机的串行口直接传输到数控机床的数控单元(MCU)。

(4) 将输入传输到数控单元的加工程序, 进行试运行、刀具路径模拟等。

(5) 通过对机床的正确操作, 运行程序, 完成零件的加工。

由于数控加工是采用数字信息对零件加工过程进行定义, 并控制机床进行自动运行的一种自动化加工方法, 它具有以下几个方面的特点。

(1) 具有复杂形状加工能力。复杂形状零件在飞机、汽车、造船、模具、动力设备和国防军工等制造部门具有重要地位, 其加工质量直接影响整机产品的性能。

(2) 高质量。数控加工是用数字程序控制实现自动加工, 排除了人为误差因素, 且加工误差还可以由数控系统通过软件技术进行补偿校正。

(3) 高效率。与采用普通机床加工相比, 采用数控加工一般可提高生产率 2 倍~3 倍。在加工复杂零件时生产率可提高十几倍甚至几十倍。特别是五面体加工中心和柔性单元等设备, 零件一次装夹后能完成几乎所有部位的加工, 不仅可消除多次装夹引起的定位误差, 而且可大大减少加工辅助操作, 使加工效率进一步提高。

(4) 高柔性。只需改变零件程序即可适应不同品种的零件加工, 且几乎不需要制造专用工装夹具, 因此加工柔性好。

1.2 数控机床的分类与应用

数控机床的品种规格较多, 从不同角度对其进行考查, 就有不同的分类方法, 一般可根据其功能和结构, 按以下原则进行分类。

1.2.1 按机床运动的控制功能分类

1. 点位控制数控机床

这类机床仅能实现刀具相对于工件从一点到另一点的精确定位运动，对点与点之间的运动轨迹不作控制要求，在移动过程和运动过程中不进行任何加工，各坐标轴之间的运动是不相关的，可以同时移动，也可以依次运动。为了实现快速精确的定位，两点间位置的移动一般是先快速移动，然后慢速趋近定位点，以确保定位精度。如图 1-2 所示为点位控制的运动轨迹。

具有点位控制功能的机床主要有数控钻床、坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。随着数控技术的发展和数控系统价格的降低，单纯用于点位控制的数控系统已不多见。

2. 直线控制数控机床

这类机床除了要求控制点与点之间的准确位置外，还需控制两相关点之间的移动速度和移动轨迹，一般是沿着与坐标轴平行的方向做切削运动，也就是说同时控制的坐标轴只有一个，如图 1-3 所示。具有直线控制功能的机床主要有某些比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等，用于加工外形简单的矩形、台阶形零件。同样，单纯用于直线控制的数控机床也不多见。

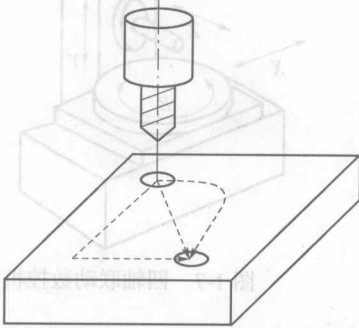


图 1-2 点位控制加工示意

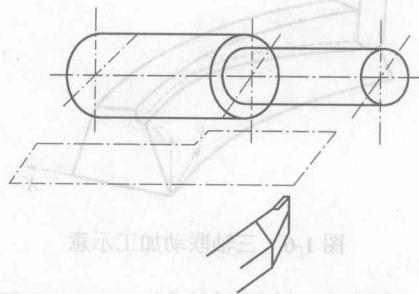


图 1-3 直线控制加工示意

3. 连续控制数控机床

连续控制数控机床也称为轮廓控制数控机床，能同时控制两个或两个以上坐标轴联动，使工件相对于刀具按程序规定的轨迹和速度运动，在运动过程中进行连续切削加工。这就要求数控装置必须具有插补运算功能，控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合。

具有连续控制功能的机床有数控车床、数控铣床、数控线切割机、加工中心等用于加工曲线和曲面的机床，根据机床所控制的联动轴数不同，又可分为下面几种形式。

(1) 二轴联动：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 1-4 所示。

(2) 二轴半联动：主要用于三轴以上机床的控制，其中任意两根轴联动，第三根轴做周期性进给。图 1-5 所示为采用这种方式的行切法加工三维空间曲面。

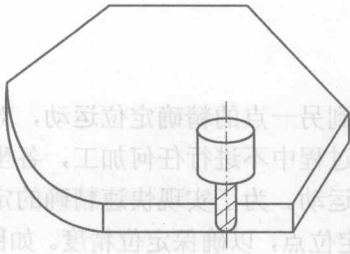


图 1-4 二轴联动加工示意

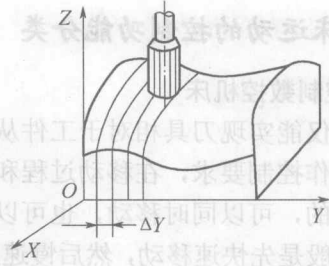


图 1-5 二轴半联动加工示意

(3) 三轴联动：一般分两类，一类是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动，多用于数控铣床和加工中心，如图 1-6 所示用球头铣刀铣切三维空间曲面；另一类是除了同时控制 X 、 Y 、 Z 中两个直线轴外，还同时控制绕某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。例如，车削加工中心，除了实现纵向(Z 轴)、横向(X 轴)两个直线坐标轴的联动外，还需同时控制绕 Z 轴旋转的主轴(C 轴)联动。

(4) 四轴联动：同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动，图 1-7 所示为同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

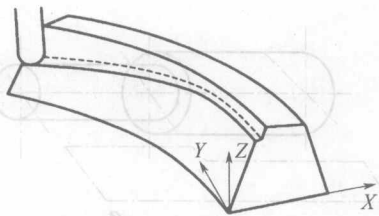


图 1-6 三轴联动加工示意

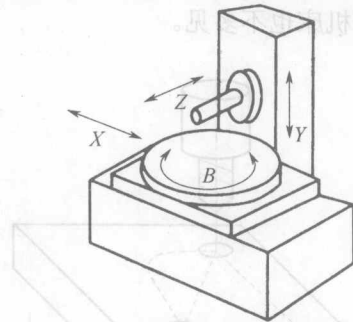


图 1-7 四轴联动数控机床

(5) 五轴联动：除同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外，还需同时控制绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 、 C 坐标轴中的两个坐标轴，如图 1-8 所示。

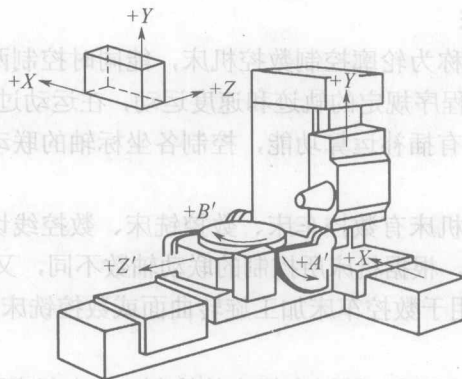


图 1-8 五轴联动数控机床

1.2.2 按伺服控制的类型分类

按数控系统的进给伺服系统有无位置测量装置可分为开环数控系统和闭环数控系统，在闭环数控系统中根据位置测量装置安装的位置又可分为全闭环和半闭环两种。

1. 开环控制数控机床

如图 1-9 所示，数控装置发出信号的流程是单向的，没有位置测量装置，其精度主要取决于伺服驱动系统和机械传动机构的性能和精度，一般以功率步进电动机作为伺服驱动元件。开环控制数控机床具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉等优点。在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合得到广泛应用，一般用于经济型数控机床。

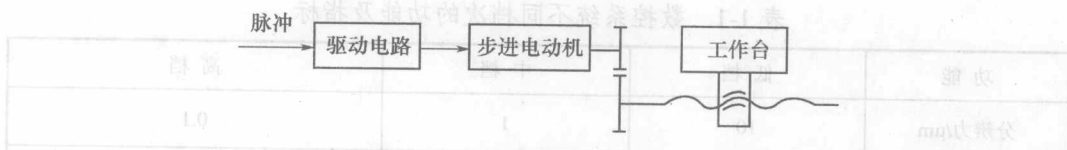


图 1-9 开环控制系统框图

2. 全闭环控制数控机床

如图 1-10 所示，全闭环数控系统是直接检测机床坐标的直线位移量，通过反馈可以消除整个驱动和传动环节的误差、间隙和失动量，具有很高的位置控制精度。但由于位置环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的，很容易造成系统的不稳定，使闭环系统的设计、安装和调试都相当困难。该控制系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床以及较大型的数控机床。

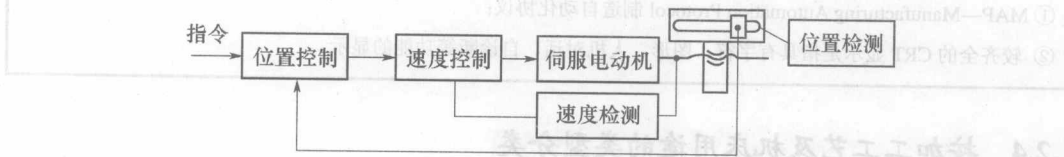


图 1-10 全闭环控制系统框图

3. 半闭环控制数控机床

如图 1-11 所示，半闭环控制系统并不检测移动部件的实际位置，而是检测伺服电动机或传动丝杠的转角，由此推算出工作台实际位置。半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节，因此可获得稳定的控制性能，其系统的稳定性虽不如开环系统，但比

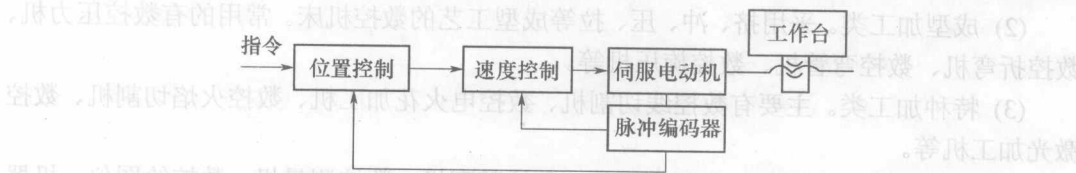


图 1-11 半闭环控制系统框图

闭环要好。由于丝杠的螺距误差和齿轮间隙引起的运动误差难以消除，其精度比闭环差，比开环好。若对这类误差进行补偿，可获得满意的精度。半闭环控制系统结构简单、调试方便、精度也较高，在现代数控机床中得到了广泛应用。

1.2.3 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平，通常把数控系统分为低、中、高三类。三档的界限是相对的，不同时期划分的标准也会有所不同。就目前的发展水平而言，可以根据表 1-1 的一些功能及指标进行划分。高档数控系统一般称为全功能型或标准型数控。在我国还有经济型数控的说法，经济型数控属于低档数控，是由单片机和步进电动机组成的数控系统，其功能简单、成本低廉，主要用于数控车床、数控线切割机床以及旧机床改造等。

表 1-1 数控系统不同档次的功能及指标

功能	低档	中档	高档
分辨力/ μm	10	1	0.1
进给速度/(m/min)	8~15	15~24	15~100
驱动进给类型	开环	半闭环或闭环的直流或交流伺服系统	
联动轴数/轴	2~3	2~4	3~5 以上
通信功能	一般无	RS-232 或 DNC 接口	可有 MAP 通信接口 ^① ，有联网能力
显示功能	LED 或简单的 CRT	较齐全的 CRT 显示 ^②	还有三维图形显示
内装 PLC	无	有	有强功能的 PLC
主 CPU	8 位、16 位	32 位以上或 32 位以上的多 CPU	

① MAP—Manufacturing Automation Protocol 制造自动化协议；

② 较齐全的 CRT 显示是指具有字符、图形、人机对话、自诊断等功能的显示

1.2.4 按加工工艺及机床用途的类型分类

(1) 切削加工类。采用车、铣、镗、磨、刨、齿轮加工等各种切削工艺的数控机床。它又可分为以下两类。

① 普通型数控机床：如数控镗铣床、数控车床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。

② 加工中心：加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。工件经一次装夹后，通过自动更换各种刀具，在同一台机床上对工件各加工表面连续进行铣(车)、镗、铰、钻、攻螺纹等多种工序的加工，如镗/铣类加工中心、车削中心、钻削中心等。

(2) 成型加工类。采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床。常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

(3) 特种加工类。主要有数控线切割机、数控电火花加工机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

(4) 其他类型。主要有三坐标测量仪、数控装配机、数控测量机、数控绘图仪、机器人等。