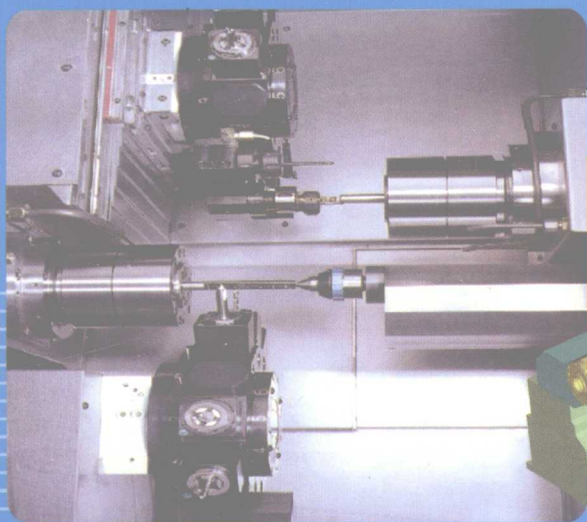




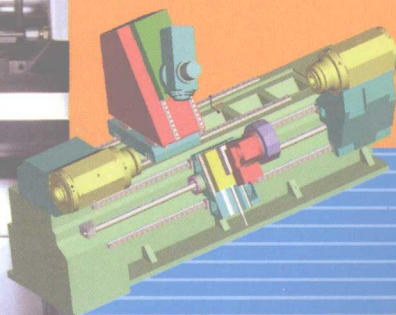
21世纪高职高专系列规划教材

数控机床

▶▶▶ SHUKONGJICHUANG



主编 苗晓鹏



西南师范大学出版社

主要内容

本书主要介绍数控机床的组成、工作原理、编程方法、操作方法和维护方法。全书共分六章。第一章介绍数控机床的组成和工作原理；第二章介绍数控机床的编程方法；第三章介绍数控机床的操作方法；第四章介绍数控机床的维护方法；第五章介绍数控机床的故障排除方法；第六章介绍数控机床的安全操作。本书可作为高等院校机械类、机电类、自动化类等专业教材，也可供从事数控机床工作的工程技术人员参考。

数控机床

主 编 苗晓鹏
副 主 编 段立霞
参编人员 翟 雁 梁 博 柯晓军

江苏工业学院图书馆
藏书章

西南师范大学出版社

内容提要

本书共分六章,围绕计算机数控机床的各个组成部分展开。第一章介绍了数控机床的产生、工作原理、分类及应用;第二章介绍了数控加工程序编写的基础知识;第三章分别举例介绍了数控车床、数控铣床及加工中心的编程方法;第四章介绍了CNC装置的硬件、软件及插补原理;第五章介绍了伺服系统和检测元件;第六章介绍了数控机床特殊的机械部件。全书力求结构紧凑,实用性强。

本书可作为高等学校教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床/苗晓鹏主编. —重庆:西南师范大学出版社,

2008.9

(21世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-5621-4123-5

I. 数… II. 苗… III. 数控机床—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第078431号

21世纪高职高专系列教材

数控机床

主 编:苗晓鹏

副 主 编:段立霞

策 划:周安平 卢 旭

责任编辑:李 俊

特约编辑:刘俊杰

封面设计:辉煌时代

出版发行:西南师范大学出版社

地址:重庆市北碚区天生路1号

邮编:400715 市场营销部电话:023-68868624

网址:<http://www.xscbs.com>

经 销:全国新华书店

印 刷:北京市彩虹印刷有限责任公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:12.25

字 数:242千

版 次:2008年9月 第1版

印 次:2008年9月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5621-4123-5

定 价:19.50元

编写说明

作为高等教育的重要组成部分,高等职业教育是以培养具有一定理论知识和较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的高等阶段。目前,高等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据国家教育部关于要求发展高等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,我们组织编写了这套《21世纪高职高专系列规划教材》。本系列教材坚持以就业为导向,以能力为本位,以服务学生职业生涯发展为指导思想,以与专业建设、课程建设、人才培养模式同步配套作为编写原则。

从专业建设角度,相对于普通高等教育的“学科性专业”,高等职业教育属于“技术性专业”。技术性专业的知识往往由与高新技术工作相关联的那些学科中的有关知识所构成,这种知识必须具有职业技术岗位的有效性、综合性和发展性。本套教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融会于教材之中。

从课程建设角度,现有的高等职业教育教材从教育内容上需要改变“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上则需要改变“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上则需改变“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向。针对这些情况,本套教材力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学,注重能力的培养,使职业能力的培养贯穿于教学的全过程。同时,使公共基础类教材突出职业化,强调通用能力、关键能力的培养,以推动学生综合素质的提高。

从人才培养模式角度,高等职业教育人才的培养模式的主要形式是产学结合、工学交替。因此,本教材为了满足有学就有练、学完就能练、边学边练的实际要求,纳入新技术引用、生产案例介绍等来满足师生教学需要。同时,为了适应学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的情况,教材的编写注重采用新知识、新工艺、新方法、新标准,同时注重对学生创造能力和自我学习能力的培养,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了更好地落实指导思想和编写原则,本套教材的编写者既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强的实践技能。同时,我们还聘请生产一线的技术专家来审稿,保证教材的实用性、先进性、技术性。总之,该套教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的结果,希望本套教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

这就是我们编写这套教材的初衷。

前 言

数控机床产生半个多世纪以来,随着电子技术特别是计算机技术等相关技术的发展,数控机床也得到了快速的发展。同时,随着近年来我国社会经济的发展和综合国力的提高,数控机床等高科技产品、设备得到了更为广泛的应用,国内急需一大批数控应用型人才。为了满足这个社会需求趋势,适应我国高等职业技术教育及数控应用型人才培养的需要,编写了本书。

编写本书时,本着实用、够用的原则,语言上力求深入浅出、条理清晰,以期读者通过学习本书能够初步了解数控机床的基本组成和工作原理,了解数控机床的结构特点,掌握数控机床加工程序的编制方法。

本书由苗晓鹏任主编,段立霞任副主编,第1、6章由苗晓鹏编写,第2章由翟雁编写,第3章由段立霞编写,第4章由梁博编写,第5章由柯晓军编写,全书由苗晓鹏统稿并对部分章节进行了修改。

因本书涉及内容广泛,数控机床本身技术含量很高,编者水平有限,书中难免有错误疏漏和不完善的地方,敬请读者批评指正。

编 者

2008年7月

目 录

第一章 数控机床概论	1
第一节 数控机床简介	1
第二节 数控机床的组成	2
第三节 数控机床的分类	3
第四节 数控机床的特点和应用	9
[思考与练习]	10
第二章 数控加工编程基础	11
第一节 概述	11
第二节 数控机床的坐标系	20
第三节 常用 G 指令编程应用与举例	25
第四节 数控编程中的工艺分析	32
第五节 数控编程中的数值计算	45
[思考与练习]	50
第三章 数控加工程序的编制	52
第一节 数控车床编程	52
第二节 数控铣床和加工中心编程	67
[思考与练习]	96
第四章 计算机数控装置	98
第一节 概述	98
第二节 CNC 装置的硬件结构	100
第三节 CNC 装置的软件结构	106
第四节 CNC 装置的插补原理	109
第五节 CNC 系统中的 PLC	118
第六节 CNC 装置的接口电路	124
[思考与练习]	124
第五章 数控机床的伺服系统	126
第一节 概述	126
第二节 开环伺服系统	130
第三节 检测元件	135
第四节 闭环伺服系统	144
[思考与练习]	153
第六章 数控机床的机械结构	154
第一节 数控机床的主传动系统	154

第二节	数控机床进给系统的机械传动机构	159
第三节	数控机床的导轨	168
第四节	数控机床的回转工作台	174
第五节	数控机床的自动换刀装置	177
[思考与练习]	.....	186
参考文献	.....	187
1	.....	
2	.....	
3	.....	
4	.....	
5	.....	
6	.....	
7	.....	
8	.....	
9	.....	
10	.....	
11	.....	
12	.....	
13	.....	
14	.....	
15	.....	
16	.....	
17	.....	
18	.....	
19	.....	
20	.....	
21	.....	
22	.....	
23	.....	
24	.....	
25	.....	
26	.....	
27	.....	
28	.....	
29	.....	
30	.....	
31	.....	
32	.....	
33	.....	
34	.....	
35	.....	
36	.....	
37	.....	
38	.....	
39	.....	
40	.....	
41	.....	
42	.....	
43	.....	
44	.....	
45	.....	
46	.....	
47	.....	
48	.....	
49	.....	
50	.....	
51	.....	
52	.....	
53	.....	
54	.....	
55	.....	
56	.....	
57	.....	
58	.....	
59	.....	
60	.....	
61	.....	
62	.....	
63	.....	
64	.....	
65	.....	
66	.....	
67	.....	
68	.....	
69	.....	
70	.....	
71	.....	
72	.....	
73	.....	
74	.....	
75	.....	
76	.....	
77	.....	
78	.....	
79	.....	
80	.....	
81	.....	
82	.....	
83	.....	
84	.....	
85	.....	
86	.....	
87	.....	
88	.....	
89	.....	
90	.....	
91	.....	
92	.....	
93	.....	
94	.....	
95	.....	
96	.....	
97	.....	
98	.....	
99	.....	
100	.....	

第一章 数控机床概论

第一节 数控机床简介

一、什么是数控机床

数控技术是一种利用数字化信息进行控制的自动控制技术。采用数控技术进行加工的机床称为数控机床，它以数字指令方式控制机床各运动部件的相对运动和动作。

数控机床的数字控制是由数控系统完成的。数控系统一般由输入/输出设备、数控装置、伺服系统、可编程控制器等几个重要部分组成。机床加工过程中所需要的全部指令信息通过输入/输出设备传送到数控装置，数控装置根据这些指令信息进行处理和运算，实时地向各坐标轴发出速度和位置控制指令。伺服系统能快速响应数控装置发出的指令，驱动机床各坐标轴运动，控制机床自动地完成预定的工作循环，加工出所需要的零件。

数控机床与其他自动机床的显著区别是：当加工对象改变时，除了重新装夹工件和更换刀具外，只要更换一个新的加工程序单就行了，不需要对机床做任何调整。因此，数控机床更适用于单件小批、精密复杂零件的自动化加工。

第一台数控机床是为了适应航空工业制造复杂零件的需要产生的。1952 年美国 PARSONS 公司和麻省理工学院合作研制出世界上第一台三坐标立式数控铣床，之后，随着电子技术，特别是计算机技术的发展，数控机床也不断地更新换代。

二、数控加工的过程

利用数控机床完成零件数控加工的过程如图 1-1 所示，主要包括下列步骤：

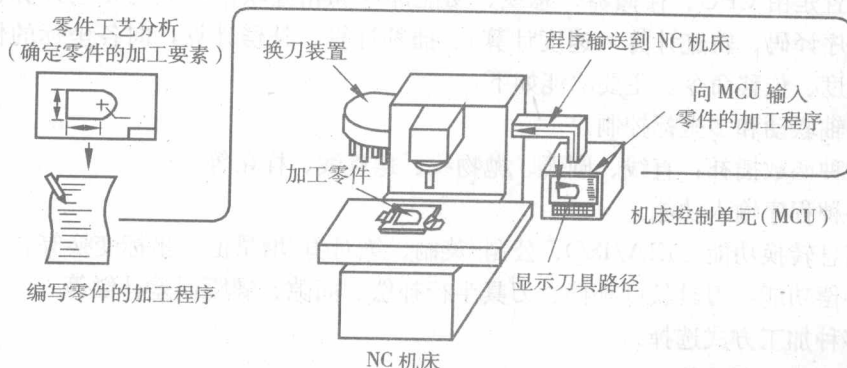


图 1-1 数控加工的过程

- (1) 根据零件加工图样进行工艺分析, 确定加工方案、工艺参数等。
- (2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单。
- (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; 由编程软件生成的程序, 可以通过计算机的串行通讯接口直接传输到数控机床的数控单元。
- (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。

第二节 数控机床的组成

数控机床一般由输入/输出设备、数控装置、伺服系统、测量反馈装置和机床本体组成, 如图 1-2 所示。

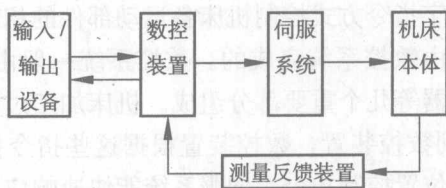


图 1-2 数控机床的组成框图

一、输入/输出设备

输入/输出设备主要用于实现程序和数据的输入以及显示、存储和打印, 包括键盘、显示器、自动编程机等。这一部分的硬件配置视需要而定。

二、数控装置

数控装置是机床实现自动加工的核心, 是整个数控机床的灵魂所在。它接受来自输入设备的程序和数, 并按输入信息的要求完成数值计算、逻辑判断和输入/输出控制等功能。数控装置是由 CPU、存储器、总线、功能部件和相应软件组成的专用计算机。作用是将加工程序译码、轨迹计算(速度计算)、插补计算、补偿计算, 向各坐标的伺服驱动系统分配速度、位移命令。主要功能如下:

- (1) 多轴联动和多坐标控制。
- (2) 多种函数插补: 直线、圆弧、抛物线、螺旋线、样条等。
- (3) 多种程序输入功能。
- (4) 信息转换功能: EIA/ISO、公制/英制、绝对值/增量值、坐标变换等。
- (5) 补偿功能: 刀具长度补偿、刀具半径补偿、间隙、螺距误差补偿等。
- (6) 多种加工方式选择。
- (7) 故障自诊断功能。
- (8) 显示功能: 字符、轨迹、平面图形、三维动态图形。

(9) 通讯和联网功能。

三、伺服系统

伺服系统由伺服驱动电路和伺服电动机组成,它是数控装置和机床本体之间的电传动联系环节,与机床的执行部件和机械传动部件一起组成数控机床的进给系统。伺服系统接受数控装置的指令,驱动机床执行部件运动。

四、测量反馈装置

测量反馈装置由测量部件和相应的反馈电路组成,其作用是检测速度和位移,并将信息反馈给数控装置,构成闭环控制。没有测量反馈装置的系统称为开环控制系统。

五、机床本体

数控机床的本体指其机械结构实体。它与传统的普通机床相比较,同样由主传动系统、进给传动系统、工作台、床身以及立柱等部分组成,但数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面都发生了很大变化。

另外,为了保证数控机床功能的充分发挥,还配有一些辅助装置,主要包括润滑装置、切削液装置、排屑装置、过载和保护装置等。

第三节 数控机床的分类

数控机床的品种繁多、功能各异,可以从不同的角度对其进行分类。

一、按机床运动的控制轨迹分类

1. 点位控制的数控机床

点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的精确定位,对点与点之间的运动轨迹并没有严格要求。为了实现既快又精确的定位,一般采用先高速运行,当接近目标位置时,再分级降速慢速趋近目标位置,如图 1-3 所示。这类机床主要有数控钻床、数控坐标镗床和数控冲床等。

2. 直线控制的数控机床

直线控制不仅要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位,还要控制点与点之间的运动速度和轨迹。实现平行于坐标轴的直线进给运动或控制 2 个坐标轴实现斜线进给运动。如图 1-4 所示。这类机床主要有简易数控车床和简易数控铣床等。

3. 轮廓控制的数控机床

轮廓控制要求控制机床的移动部件能够实现 2 个或 2 个以上的坐标轴同时进行联动控制。它不仅要求控制机床移动部件的起点与终点坐标位置,而且还要求控制整个加工过程每一点的速度和位移量,即要求控制运动轨迹,如图 1-5 所示。这类机床主要有数控车床、数控铣床和加工中心等。

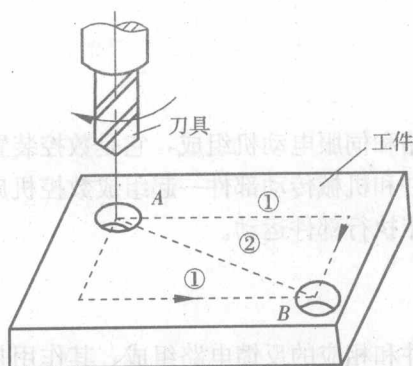


图 1-3 点位控制

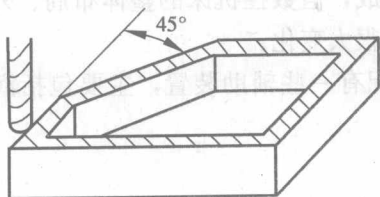


图 1-4 直线控制

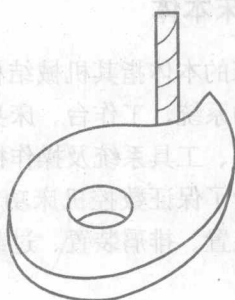


图 1-5 轮廓控制

二、按机床的可控（联动）轴数进行分类

1. 2 轴联动

可以同时控制 2 个坐标轴联动，使刀具相对工件在某一坐标平面做平面曲线运动，从而加工由平面曲线组成轮廓的零件。常用于车削回转曲面、铣削平面曲线轮廓零件（平面凸轮），如图 1-6 所示。

2. 2 轴半联动

主要用于 3 轴以上机床的控制，其中 2 轴可以联动，而另外 1 根轴可以作周期性进给。可以采用这种方式用行切法加工三维空间曲面，如图 1-7 所示。

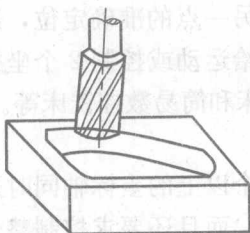


图 1-6 2 轴联动

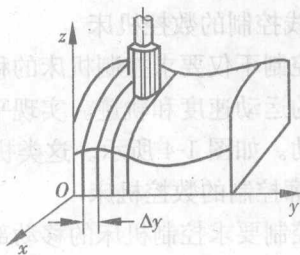


图 1-7 2 轴半联动

3.3 轴联动

它可以同时控制 x , y , z 3 个坐标轴联动, 这样刀具在空间的任意方向都可移动, 能够进行三维的立体加工。如图 1-8 所示, 用球头铣刀铣切三维空间曲面。也可以同时控制 x 、 y 、 z 3 个坐标中的 2 个, 还可同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心, 它除了纵向 (z 轴)、横向 (x 轴) 两个直线坐标轴联动外, 还需同时控制围绕 z 轴旋转的主轴 (c 轴) 联动。

4.4 轴联动

它可以同时控制 4 个坐标运动, 即 3 个移动坐标, 再加 1 个旋转坐标。同时控制 4 个坐标的数控机床如图 1-9 所示, 可以用来加工叶轮或圆柱凸轮。

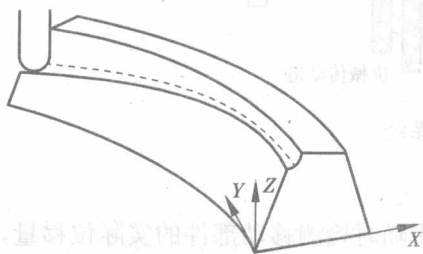


图 1-8 3 轴联动

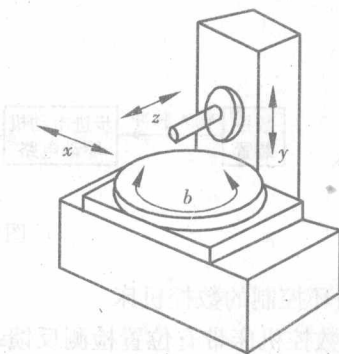


图 1-9 4 轴联动

5.5 轴联动

它可以同时控制 x 、 y 、 z 3 个坐标, 另外再加上围绕这些直线坐标旋转的旋转坐标 a , b , c 中的任意 2 个坐标, 形成同时控制的 5 个坐标, 这时刀具可以指向空间中的任意方向, 如图 1-10 所示。由于刀具可以按数学规律导向, 因此 5 轴联动加工特别适合于加工透平叶片、叶轮和机翼等。

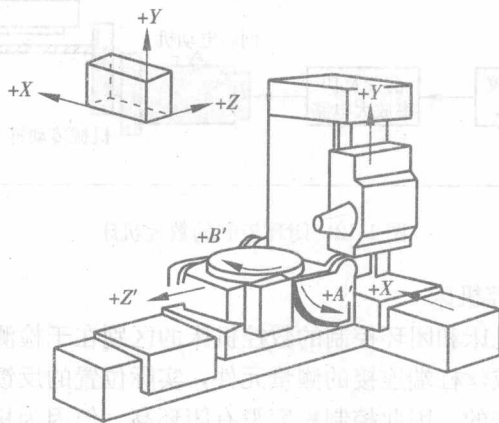


图 1-10 5 轴联动

三、按机床的控制方式进行分类

1. 开环控制的数控机床

这类数控机床不带有位置检测反馈装置，数控系统将零件的程序处理后，输出数据指令给伺服系统，驱动机床运动，指令信号的流向是单向的，如图 1-11 所示。

这类数控机床的伺服驱动部件通常选用步进电动机。受步进电动机的步距角精度和工作频率以及传动机构的传动精度影响，开环控制的数控机床的速度和精度都较低。但由于其结构简单、成本较低、调试维修方便等优点，因此仍被广泛应用于经济型、中小型数控机床。

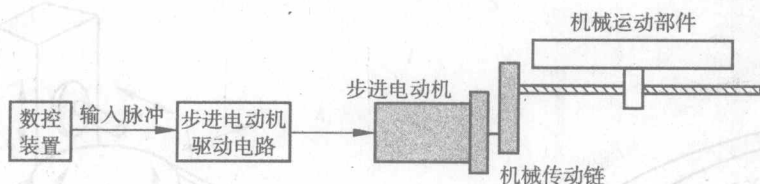


图 1-11 开环控制系统

2. 闭环控制的数控机床

这类数控机床带有位置检测反馈装置，在加工中随时检测移动部件的实际位移量，并及时反馈给数控系统中的比较器，它与插补运算所得到的指令信号进行比较，其差值又作为伺服驱动的控制信号，进而带动位移部件以消除位移误差，直到差值为零时，进给轴停止运动。闭环控制可以消除包括工作台传动链在内的误差，从而定位精度高、速度调节快，但由于工作台惯量大，因此给系统的设计和调整带来很大的困难，主要是系统的稳定性受到不利影响。闭环控制的数控机床主要是一些精度要求很高的数控铣床、超精车床和超精铣床等。闭环控制的数控机床如图 1-12 所示。

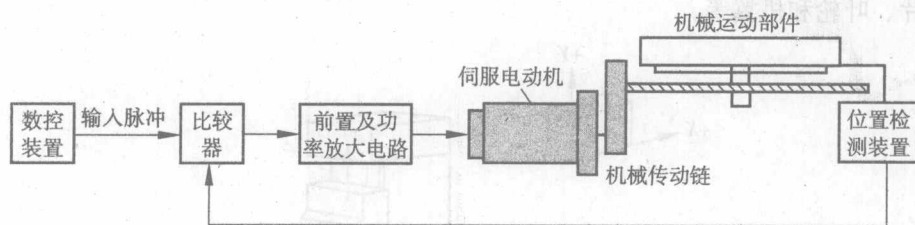


图 1-12 闭环控制的数控机床

3. 半闭环控制的数控机床

半闭环控制的数控机床和闭环控制的数控机床的区别在于检测反馈信号不是来自工作台，而是来自电动机端或丝杠端连接的测量元件，实际位置的反馈值是通过间接测得的伺服电动机的角位移算出来的，因此控制精度没有闭环高。但因为机床工作的稳定性却由于大惯量工作台被排除在控制环外而提高，调试方便，所以广泛用于数控机床中。半闭环控制的数控机床如图 1-13 所示。

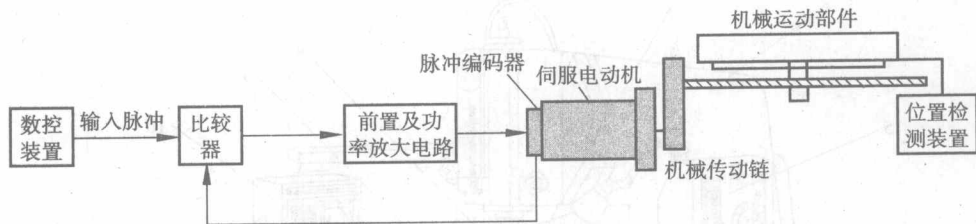


图 1-13 半闭环控制的数控机床

四、按工艺用途分类

1. 普通型数控机床

如数控车床、数控铣床、数控磨床等。图 1-14 是 CK7815 数控车床，图 1-15 是 XK5040 数控铣床。它们的工艺用途和传统的通用机床相似，但它们的生产率和自动化程度比通用机床高，可以进行单件小批量精密复杂零件的自动化加工。

2. 加工中心

加工中心的主要特点是具有刀库和自动换刀装置。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面连续进行车、铣、镗、铰、钻、攻螺纹等多种工序的加工，如镗铣加工中心、车削加工中心、钻削加工中心等。图 1-16 是 XH754 型卧式加工中心，图 1-17 是 TH5632 型立式加工中心。

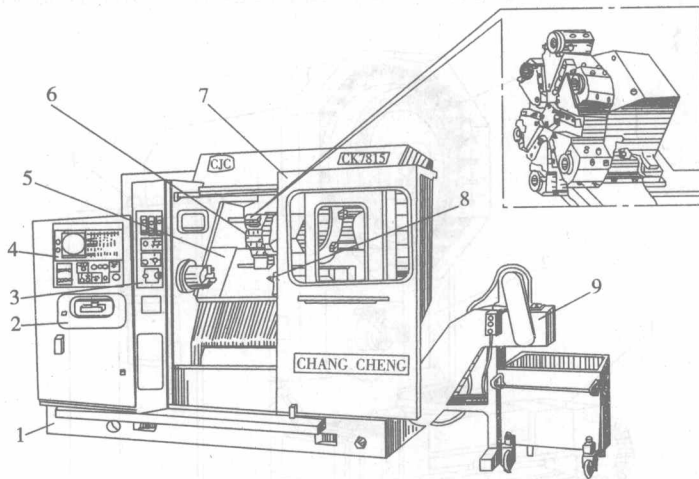


图 1-14 CK7815 数控车床

1-床体；2-光电读带机；3-机床操纵台；4-数控系统操作面板；
5-导轨；6-刀盘；7-防护门；8-尾座；9-排屑装置

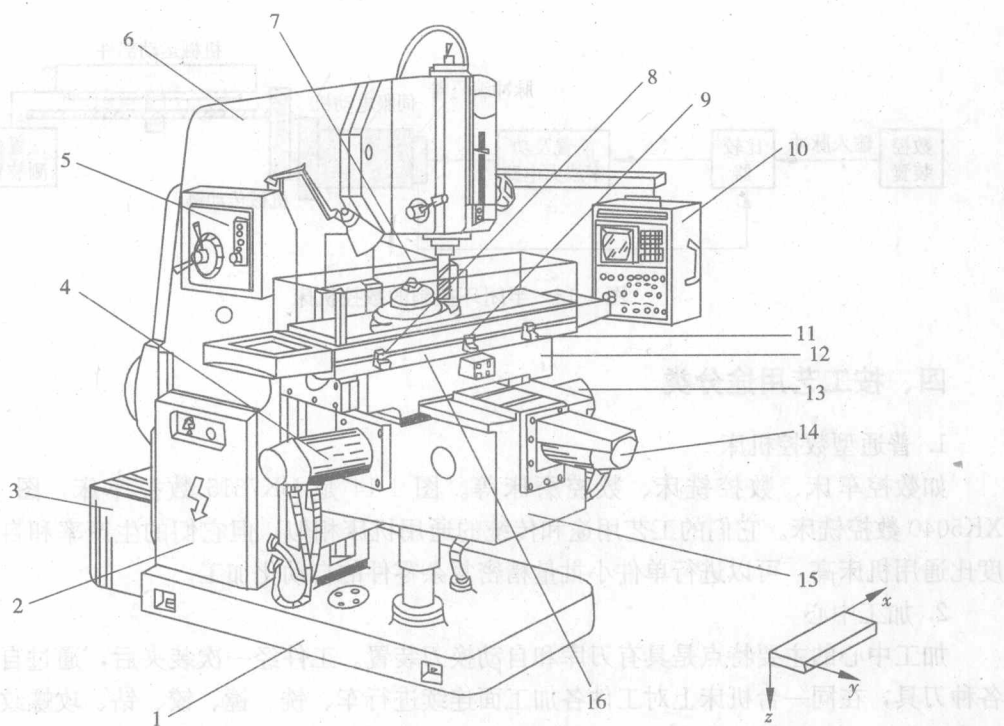


图 1-15 XK5040 数控铣床

1-底座；2-强电柜；3-变压器箱；4-升降进给伺服电动机；5-主轴变速手柄和按钮板；
6-床身立柱；7-数控柜；8, 11-纵向行程限位保护开关；9-纵向参与点设定挡铁；10-操纵台；
12-横向溜板；13-纵向进给伺服电动机；14-横向进给伺服电动机；15-升降台；16-纵向工作台

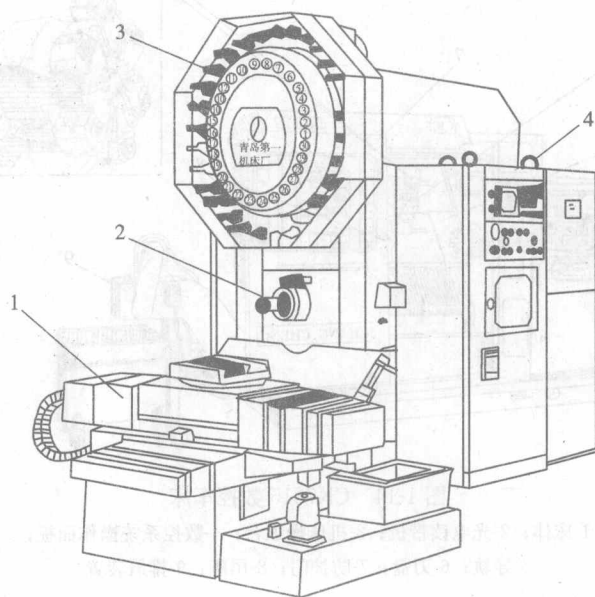


图 1-16 XH754 型卧式加工中心

1-工作台；2-主轴；3-刀库；4-数控柜

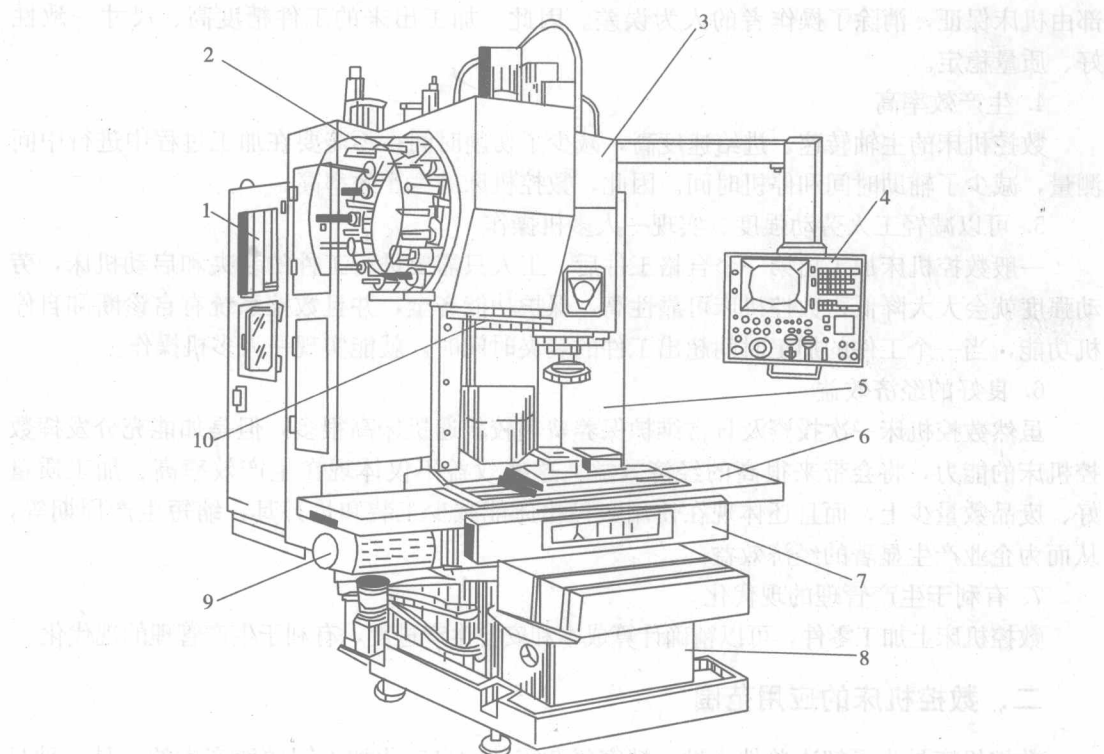


图 1-17 TH5632 型立式加工中心

1-数控柜；2-刀库；3-主轴箱；4-操纵台；5-驱动电源柜；
6-纵向工作台；7-滑座；8-床身；9- x 轴进给伺服电动机；10-换刀机械手

第四节 数控机床的特点和应用

一、数控机床的特点

与其他加工设备相比，数控机床具有以下特点：

1. 对加工对象改型的适应性强

当加工对象改变时，只要重新编写一个新的加工程序单，输入数控系统中就行了，除了重新装夹工件和更换刀具外，不需要对机床做任何调整。因此，数控机床可以很快地从加工一种零件转变为加工另一种零件。

2. 可以加工具有复杂型面的工件

数控机床的刀具运动轨迹是由加工程序决定的，只要能编制出程序，无论工件的型面多么复杂都能加工。例如，采用 5 轴联动的数控机床，就能加工螺旋桨的复杂空间曲面。

3. 加工精度高、尺寸一致性好

数控机床本身的精度比较高，在加工过程中操作人员不参与操作，工件的加工精度全

部由机床保证,消除了操作者的人为误差。因此,加工出来的工件精度高、尺寸一致性好、质量稳定。

4. 生产效率高

数控机床的主轴转速、进给速度高,减少了切削时间;不需要在加工过程中进行中间测量,减少了辅助时间和停机时间。因此,数控机床的生产效率高。

5. 可以减轻工人劳动强度、实现一人多机操作

一般数控机床加工出第一个合格工件后,工人只需要进行工件的装夹和启动机床,劳动强度就会大大降低;数控机床可靠性高,保护功能齐全,并且数控系统有自诊断和自停机功能,当一个工件的加工时间超出工件的装夹时间时,就能实现一人多机操作。

6. 良好的经济效益

虽然数控机床一次投资及日常维护保养费用较普通机床高很多,但是如能充分发挥数控机床的能力,将会带来很高的经济效益。这些效益不仅体现在生产效率高、加工质量好、废品数量少上,而且还体现在使用数控机床能减少工装和量刀具,缩短生产周期等,从而为企业产生显著的经济效益。

7. 有利于生产管理的现代化

数控机床上加工零件,可以精确计算成本和安排生产进度,有利于生产管理的现代化。

二、数控机床的应用范围

数控机床是为了解决单件小批、精密复杂零件的自动化加工问题而产生的,是一种具有高精度、高效率、高柔性化的自动化加工设备。近年来,数控机床的应用范围不断扩大,但是它并不能完全代替其他类型的机床,也不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。通常最适合数控机床加工的零件有以下几类:

- (1) 多品种小批量生产的零件或新产品试制中的零件;
- (2) 几何形状复杂的零件;
- (3) 加工过程中必须进行多工序加工的零件;
- (4) 用普通机床加工时,需要昂贵工装设备(工具、夹具和模具)的零件;
- (5) 必须严格控制公差,对精度要求高的零件;
- (6) 工艺设计需要多次改型的零件;
- (7) 价格昂贵,加工中不允许报废的关键零件;
- (8) 需要最短生产周期的零件。

【思考与练习】

1-1 简述数控机床与数控技术的基本概念。

1-2 简述数控机床的组成及各组成部分的基本功能。

1-3 什么是点位控制、直线控制、轮廓控制的数控机床?

1-4 数控机床按机床的控制方式可分为哪几类?

1-5 数控机床的特点有哪些?

1-6 通常最适合数控机床加工的零件有哪几类?