



中等职业教育示范专业规划教材
模具设计与制造专业教学用书

数控机床的编程与操作

SHU KONG JI CHUANG DE BIAN CHENG YU CAO ZUO

苏伟◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中等职业教育示范专业规划教材
模具设计与制造专业教学用书

数控机床的编程与操作

主 编 苏 伟

副主编 朱红梅

参 编 郑金辉 韩 吉 单晓坤 户凤荣

王守鹏 姜明月 钟 珊 王茂辉

唐天广 王 军 郑素波

主 审 姜庆华



机械工业出版社

本书是根据教育部制定的机械类专业教改方案,并参考了劳动和社会保障部制定的《国家职业标准》中相关工种中级工等级考核标准,结合模具专业数控加工的特点,参照《数控操作工国家职业技能标准》编写的。

本书以模具数控加工设备为主线,主要介绍了数控车床、数控铣床、加工中心、数控磨床、数控电火花成形机床和数控电火花线切割机床等设备的编程和操作,还介绍了典型数控机床的机械结构和数控加工工艺。在本书编写过程中,编者从加工实际要求出发,注重编程基本功训练,注重理论联系实践。

本书可作为中等职业学校模具和机电专业教材,也可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

数控机床的编程与操作/苏伟主编. —北京:机械工业出版社,2008.11
中等职业教育示范专业规划教材. 模具设计与制造专业教学用书
ISBN 978-7-111-25491-1

I. 数… II. 苏… III. ①数控机床-程序设计-专业学校-教材②数控机床-操作-专业学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 173529 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:汪光灿 责任编辑:张云鹏

版式设计:张世琴 责任校对:张晓蓉

封面设计:陈 沛 责任印制:李 妍

北京蓝海印刷有限公司印刷

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 17.75 印张 · 438 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-25491-1

定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379193

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部制定的机械类专业教改方案,并参考了劳动和社会保障部制定的《国家职业标准》中相关工种中级工等级考核标准,结合模具专业数控加工的特点,参照《数控操作工国家职业技能标准》编写的。编写过程中,编者在借鉴国外先进的职业教育理念、模式和方法的基础上,结合我国的实际情况,进行了适当的探索。本书注重理论联系实际,充分体现了新时期职业教育的特色。

模具是现代工业的重要工艺装备,模具数控加工是模具制造的基础。随着模具加工数控化的发展趋势,数控技术已成为模具行业的主要加工手段之一。

本书秉承“职业性、实用性、超前性”的原则,以典型数控机床为例,详细介绍了典型数控设备的编程与操作,并详细介绍了常见数控系统(FANUC-0i-TC、华中HNC—21M和SIEMENS—802D)的编程特点,结合模具制造专业的行业特点,融入典型实例着重阐述上述常见数控系统的机床编程与操作。本书编写内容结合生产实际,重点突出,结构合理,力求通俗易懂。

本书内容包括数控机床的概述、数控机床的典型机械结构、数控机床的加工工艺、数控车床的编程与操作、数控铣床的编程与操作、数控磨床的编程与操作、数控电火花成形机床的编程与操作和数控线切割机床的编程与操作等。

在编写中,编者不仅力求集先进性、适用性、趣味性为一体,而且注意结合我国机械加工行业的特点,使读者由浅入深地学习机械加工相关知识,并最终达到举一反三、触类旁通的目的,充分体现模具加工数控化的发展趋势。

本课程教学共需90学时,学时分配参考下表:

章 次	学 时 数		
	合计	讲授	现场教学
第一章 数控机床的概述	8	6	2
第二章 数控机床的典型机械结构	12	12	
第三章 数控机床的加工工艺	12	10	2
第四章 数控车床的编程与操作	10	10	
第五章 数控铣床的编程与操作	24	22	2
第六章 数控磨床的编程与操作	6	6	
第七章 数控电火花成形机床的编程与操作	10	10	
第八章 数控线切割机床的编程与操作	6	6	
机动	2		
合计	90	82	6

本书由吉林航空工程学校苏伟担任主编，朱红梅担任副主编。吉林航空工程学校郑金辉、韩吉、单晓坤、卢凤荣、王守鹏、姜明月，吉林机械工业学校郑素波，广西玉林市机电工程学校钟珊，吉林工业职业技术学院王茂辉，马鞍山职教中心唐天广和吉林航空维修有限责任公司试飞车间高级工程师王军参加编写。

本书由唐山工业职业技术学院姜庆华老师担任主审。主审以严谨的态度和高度负责的精神认真审阅书稿，提出了很多宝贵意见，在此表示感谢。

本书可作为中等职业学校模具和机电专业学生教材，也适合近机械类专业学生选用，同时对广大机械加工工人来说也是一本可读之书。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点、错误，恳请广大读者批评指正。

编者

学 时 分 配			章 节
学 时 分 配	学 时	学 时	
2	8	8	第一章 绪论
	12	12	第二章 模具设计
2	10	12	第三章 模具制造
	10	10	第四章 模具材料
2	22	24	第五章 模具装配
	8	8	第六章 模具维护
	10	10	第七章 模具故障排除
	8	8	第八章 模具安全
		2	附录
8	22	30	合计

目 录

前言

第一章 数控机床概述	1
第一节 数控机床的组成、工作原理和特点	1
第二节 数控机床的分类	5
第三节 数控机床的发展趋势	9
思考与练习	12
阅读材料	12
第二章 数控机床的典型机械结构	15
第一节 数控机床的结构组成及特点	15
第二节 数控机床的主传动系统	18
第三节 数控机床进给系统机械传动部分	23
第四节 自动换刀装置	36
第五节 工作台	41
思考与练习	45
阅读材料	45
第三章 数控机床的加工工艺	48
第一节 数控机床的夹具	48
第二节 数控铣削的加工特点和加工对象	57
第三节 数控铣削的加工工艺	58
第四节 数控车削的加工工艺	86
思考与练习	93
阅读材料	94
第四章 数控车床的编程与操作	96
第一节 数控编程概述	96
第二节 数控机床的坐标系	101
第三节 数控车削编程基础知识	104
第四节 数控车削常用编程指令	106
第五节 数控车床的操作	132
思考与练习	145
阅读材料	146
第五章 数控铣床的编程与操作	148
第一节 数控铣削常用编程指令	148
第二节 数控铣削的编程与操作	151
第三节 加工中心的编程与操作	186

思考与练习	204
阅读材料	204
第六章 数控磨床的编程与操作	206
第一节 数控磨床概述	206
第二节 数控磨削常用编程指令	209
第三节 数控磨削编程实例	214
思考与练习	220
阅读材料	220
第七章 数控电火花成形机床的编程与操作	222
第一节 数控电火花成形机床概述	222
第二节 数控电火花加工工艺	224
第三节 数控电火花成形机床的编程与操作	233
思考与练习	253
阅读材料	253
第八章 数控线切割机床的编程与操作	255
第一节 数控线切割机床概述	255
第二节 数控线切割机床的编程	257
第三节 数控线切割机床的操作	268
思考与练习	274
阅读材料	275
参考文献	277
1. 工具钳工实训教程 第一版	
2. 数控铣床实训教程 第二版	
3. 数控铣床的编程与操作 第三版	
4. 数控铣床的编程与操作 第四版	
5. 数控铣床的编程与操作 第五版	
6. 数控铣床的编程与操作 第六版	
7. 数控铣床的编程与操作 第七版	
8. 数控铣床的编程与操作 第八版	
9. 数控铣床的编程与操作 第九版	
10. 数控铣床的编程与操作 第十版	
11. 数控铣床的编程与操作 第十一版	
12. 数控铣床的编程与操作 第十二版	
13. 数控铣床的编程与操作 第十三版	
14. 数控铣床的编程与操作 第十四版	
15. 数控铣床的编程与操作 第十五版	
16. 数控铣床的编程与操作 第十六版	
17. 数控铣床的编程与操作 第十七版	
18. 数控铣床的编程与操作 第十八版	
19. 数控铣床的编程与操作 第十九版	
20. 数控铣床的编程与操作 第二十版	
21. 数控铣床的编程与操作 第二十一版	
22. 数控铣床的编程与操作 第二十二版	
23. 数控铣床的编程与操作 第二十三版	
24. 数控铣床的编程与操作 第二十四版	
25. 数控铣床的编程与操作 第二十五版	
26. 数控铣床的编程与操作 第二十六版	
27. 数控铣床的编程与操作 第二十七版	
28. 数控铣床的编程与操作 第二十八版	
29. 数控铣床的编程与操作 第二十九版	
30. 数控铣床的编程与操作 第三十版	
31. 数控铣床的编程与操作 第三十一版	
32. 数控铣床的编程与操作 第三十二版	
33. 数控铣床的编程与操作 第三十三版	
34. 数控铣床的编程与操作 第三十四版	
35. 数控铣床的编程与操作 第三十五版	
36. 数控铣床的编程与操作 第三十六版	
37. 数控铣床的编程与操作 第三十七版	
38. 数控铣床的编程与操作 第三十八版	
39. 数控铣床的编程与操作 第三十九版	
40. 数控铣床的编程与操作 第四十版	
41. 数控铣床的编程与操作 第四十一版	
42. 数控铣床的编程与操作 第四十二版	
43. 数控铣床的编程与操作 第四十三版	
44. 数控铣床的编程与操作 第四十四版	
45. 数控铣床的编程与操作 第四十五版	
46. 数控铣床的编程与操作 第四十六版	
47. 数控铣床的编程与操作 第四十七版	
48. 数控铣床的编程与操作 第四十八版	
49. 数控铣床的编程与操作 第四十九版	
50. 数控铣床的编程与操作 第五十版	
51. 数控铣床的编程与操作 第五十一版	
52. 数控铣床的编程与操作 第五十二版	
53. 数控铣床的编程与操作 第五十三版	
54. 数控铣床的编程与操作 第五十四版	
55. 数控铣床的编程与操作 第五十五版	
56. 数控铣床的编程与操作 第五十六版	
57. 数控铣床的编程与操作 第五十七版	
58. 数控铣床的编程与操作 第五十八版	
59. 数控铣床的编程与操作 第五十九版	
60. 数控铣床的编程与操作 第六十版	
61. 数控铣床的编程与操作 第六十一版	
62. 数控铣床的编程与操作 第六十二版	
63. 数控铣床的编程与操作 第六十三版	
64. 数控铣床的编程与操作 第六十四版	
65. 数控铣床的编程与操作 第六十五版	
66. 数控铣床的编程与操作 第六十六版	
67. 数控铣床的编程与操作 第六十七版	
68. 数控铣床的编程与操作 第六十八版	
69. 数控铣床的编程与操作 第六十九版	
70. 数控铣床的编程与操作 第七十版	
71. 数控铣床的编程与操作 第七十一版	
72. 数控铣床的编程与操作 第七十二版	
73. 数控铣床的编程与操作 第七十三版	
74. 数控铣床的编程与操作 第七十四版	
75. 数控铣床的编程与操作 第七十五版	
76. 数控铣床的编程与操作 第七十六版	
77. 数控铣床的编程与操作 第七十七版	
78. 数控铣床的编程与操作 第七十八版	
79. 数控铣床的编程与操作 第七十九版	
80. 数控铣床的编程与操作 第八十版	
81. 数控铣床的编程与操作 第八十一版	
82. 数控铣床的编程与操作 第八十二版	
83. 数控铣床的编程与操作 第八十三版	
84. 数控铣床的编程与操作 第八十四版	
85. 数控铣床的编程与操作 第八十五版	
86. 数控铣床的编程与操作 第八十六版	
87. 数控铣床的编程与操作 第八十七版	
88. 数控铣床的编程与操作 第八十八版	
89. 数控铣床的编程与操作 第八十九版	
90. 数控铣床的编程与操作 第九十版	
91. 数控铣床的编程与操作 第九十一版	
92. 数控铣床的编程与操作 第九十二版	
93. 数控铣床的编程与操作 第九十三版	
94. 数控铣床的编程与操作 第九十四版	
95. 数控铣床的编程与操作 第九十五版	
96. 数控铣床的编程与操作 第九十六版	
97. 数控铣床的编程与操作 第九十七版	
98. 数控铣床的编程与操作 第九十八版	
99. 数控铣床的编程与操作 第九十九版	
100. 数控铣床的编程与操作 第一百版	

第一章 数控机床概述

学习目的:

1. 了解数控机床的组成。
2. 了解数控机床的工作原理。
3. 掌握数控机床的特点及加工范围。
4. 了解常见数控机床的分类方式。

5. 了解数控机床的发展趋势。

数控机床是以数控系统为代表的新技术对传统机械制造产业的渗透形成的机电一体化产品,其技术范围涵盖领域包括:①机械制造技术;②信息处理、加工、传输技术;③自动控制技术;④伺服驱动技术;⑤传感器技术;⑥软件技术等。计算机技术对传统机械制造产业的渗透,完全改变了传统制造业。制造业不但成为工业化的象征,而且由于信息技术的渗透,使制造业犹如朝阳产业具有广阔的发展空间。数控技术是机械加工自动化的基础,是数控机床的核心技术,其水平高低不仅直接关系到一个国家在国际上的战略地位而且体现出该国国家综合实力水平。

国际信息处理联盟(IFIP)第五技术委员会对数控机床定义为:数控机床是一个装有程序控制系统(数控系统)的机床,该系统能够逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。

第一节 数控机床的组成、工作原理和特点

一、数控机床的组成

数控机床主要由机床本体和计算机数控系统两大部分组成,如图 1-1 所示。

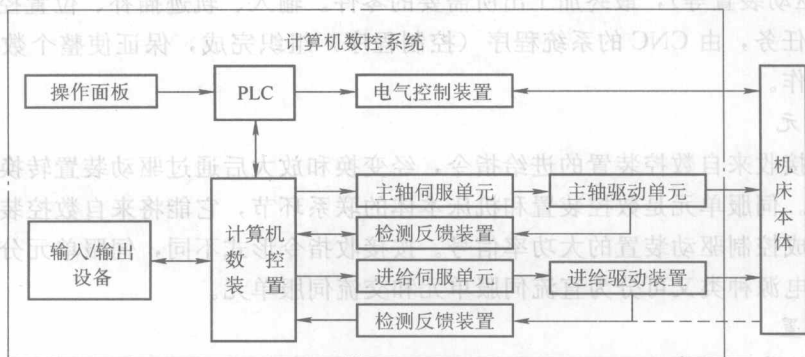


图 1-1 数控机床的组成

(一) 机床本体

机床本体是数控机床的主体,由基础件(如床身、底座)和运动件(如工作台、床鞍、主轴箱等)组成。它不仅要实现由数控装置控制的各种运动,而且还要承受包括切削力在内的各种载荷,因此机床本体只有保证有良好的几何精度、足够的刚度、小的热变形、低的摩擦阻力,才能有效地保证数控机床的加工精度。

(二) 数控系统

数控系统是数控机床的核心,其中包括硬件装置和数控软件两大部分,由输入/输出设备、数控装置、伺服单元、驱动装置(或执行机构)、可编程序控制器(PLC)及电气控制装置和检测反馈装置等组成。

1. 输入/输出设备

数控机床只有接收由操纵人员输入的零件加工程序,才能按加工程序加工出所需要的零件。在向数控系统输入命令后的加工过程中,数控装置为操作人员显示必要的信息,如切削方向、坐标值、报警信号等。此外,由于输入的加工程序并非完全正确,因此时常需要进行编辑、修改和调试。上述操作人员与机床数控系统的信息交流过程,是由数控系统中的输入/输出设备完成的。

键盘和显示器是数控系统中不可缺少的输入/输出设备。操作人员可通过键盘及显示器输入程序、编辑修改程序以及发送操作命令。手动数据输入 MDI (Manual Data Input) 是最重要的输入方式之一。键盘是 MDI 中最主要的输入设备。显示器为操作人员提供程序编辑或机床加工信息。较简单的显示器只有若干个数码管,所显示的字符信息量很有限,较高级的系统配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器,能显示字符、加工轨迹和图形等丰富的信息。

编制好的数控加工程序可存放到穿孔纸带、磁带、磁盘、U 盘、电脑硬盘或光盘等存储设备上,通过纸带阅读机、磁带机、磁盘驱动器或光盘驱动器等输入设备输入数控系统。随着 CAD/CAM 和 CIMS 技术的发展,机床数控系统的计算机通信功能显得越来越重要。

2. 数控装置

数控装置主要包括微处理器 CPU、存储器、局部总线、外围逻辑电路和与其他部分联系的接口等。其作用就是根据输入的数据段,插补运算出理想的运动轨迹,输出到执行部件(伺服单元、驱动装置等),最终加工出所需要的零件。输入、轨迹插补、位置控制是数控装置的三项基本任务,由 CNC 的系统程序(控制程序)组织完成,保证使整个数控系统有条不紊地进行工作。

3. 伺服单元

伺服单元接收来自数控装置的进给指令,经变换和放大后通过驱动装置转换成机床工作台的位移运动。伺服单元是数控装置和机床本体的联系环节,它能将来自数控装置的微弱指令信号,放大成控制驱动装置的大功率信号。按接收指令形式不同,伺服单元分为脉冲式和模拟式,而按电源种类又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。

4. 驱动装置

驱动装置的作用是将放大后的指令信号转变成机械运动,利用机械传动件驱动工作台移动,使工作台按规定轨迹作严格的相对运动或精确定位,最终加工出符合图样要求的零件。对应于伺服单元的驱动装置,有步进电动机、直流伺服电动机和交流电动机等不同种类。

伺服单元和驱动装置合称为伺服驱动系统。数控装置的指令主要靠伺服驱动系统付诸实施，所以，伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上讲，数控机床功能的强弱主要取决于数控装置，而数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

5. 可编程序控制器 PC (Programmable Controller)

可编程序控制器是专门应用于工业环境，以微处理器为基础的通用型自动控制装置。这种装置的主要作用是解决工业设备的逻辑关系与开关量控制，故也称为可编程逻辑控制器 PLC (Programmable Logic Controller)，当 PLC 用于控制机床顺序动作时，称为可编程机床控制器 PMC (Programmable Machine Controller)。本书用 PLC 标识可编程序控制器，而用 PC 标识个人计算机 (Personal Computer)。

数控机床的自动控制由 CNC 和 PLC 共同完成。其中 CNC 负责完成与数字运算和管理有关的功能，如编辑加工程序、插补运算、译码、位置伺服控制等。PLC 负责完成与逻辑运算有关的各种动作，没有轨迹上的要求。PLC 接受 CNC 控制指令 M (辅助功能)、S (主轴转速)、T (选刀、换刀) 等顺序动作信息，并对所接受信息进行译码后转换成相应的控制信号，驱动辅助装置完成一系列开关动作，如装夹工件、更换刀具和开关切削液等。PLC 还接受来自机床操作面板的指令，直接控制机床动作，并将部分指令送往 CNC 用于加工过程的控制。

应用于数控机床的 PLC 分为两类，一类是 CNC 生产厂家为实现数控机床程序控制，而将 CNC 和 PLC 综合设计的内装型 (或集成型)，这种 PLC 是 CNC 装置的一部分；另一类是专门生产厂家开发的 PLC 系列产品，即独立型 (或外装型) 的 PLC。

6. 检测反馈装置

检测反馈装置也称为反馈元件，通常安装在机床工作台或丝杠上，相当于普通机床的刻度盘和人的眼睛，检测反馈装置将工作台位移量转换成电信号，并且反馈给数控装置。如果反馈信号与指令值存在误差，则控制工作台向消除误差的方向移动。数控系统按有无检测装置可分为开环、闭环与半闭环系统。开环系统精度取决于步进电动机和丝杠精度，闭环系统精度取决于检测装置精度。检测装置是高性能数控机床的重要组成部分。

二、数控机床的工作原理

(一) 数控机床的工作过程

数控机床的工作过程如图 1-2 所示。



图 1-2 数控机床的工作过程

1) 根据零件图给出的形状、尺寸、材料及技术要求等内容，进行各项准备工作 (包括程序设计、数值计算及工艺处理等)。

2) 将上述程序和数据按数控装置所规定的程序格式编制出加工程序。

3) 将加工程序的内容以指令形式完整记录在信息介质 (如穿孔带或磁带) 上。

4) 通过阅读机把信息介质上的指令转变为电信号，并输送给数控装置。如是人工输入，

则可通过微机键盘,将加工程序的内容直接输送给数控装置。

5) 数控装置将所接受的信号进行一系列处理后,再将处理结果以脉冲信号形式向伺服系统发出执行的命令。

6) 伺服系统接到执行的信息指令后,立即驱动机床进给机构严格按照指令的要求进行位移,使机床自动完成相应零件的加工。

器 (二) 数控机床的工作原理

数控装置内的计算机对以数字和字符编码方式所记录的信息进行一系列处理后,向机床进给等执行机构发出命令,执行机构则按其命令对加工所需各种动作(如刀具相对于工件的运动轨迹、位移量和速度等)进行自动控制,从而完成工件的加工。

三、数控机床的特点和应用范围

1. 数控机床与普通机床相比,具有以下特点。

(1) 柔性好 对零件的适应性强,为单件、小批量零件加工及新产品试制提供了极大的便利,也方便了改型设计后零件的加工。

(2) 加工精度高 数控机床加工精度一般可达 $0.005 \sim 0.1 \text{ mm}$ 。数控机床是按数字信号形式控制的,数控装置每输出一个脉冲信号,则机床移动部件移动一个脉冲当量(通常为 0.001 mm),而且机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距平均误差可由数控装置进行补偿,因此,数控机床定位精度比较高。

(3) 加工质量稳定、可靠 在相同加工条件下,在同一数控机床,加工同一批零件,使用相同刀具和加工程序,刀具的走刀轨迹完全相同,零件的一致性高,质量稳定。

(4) 生产率高 数控机床可有效地缩短工件的加工时间和辅助时间。数控机床的主轴转速和进给量的范围大,允许机床进行大切削量的强力切削。数控机床目前已进入高速加工时代,移动部件的快速移动和定位及高速切削加工都极大地提高了生产率,另外配合加工中心的刀库使用,实现了在一台机床上进行多道工序的连续加工,缩短了半成品的工序间周转时间,也提高了生产率。

(5) 适于加工复杂零件 数控机床可以加工普通机床难以加工的复杂型面零件。

(6) 劳动条件好 数控机床安装调试完毕后,输入程序并启动,机床就能自动连续地进行加工,直至加工结束。操作人员主要是进行程序的输入,编辑,装卸零件,准备刀具,观测加工状态,检验零件等工作,因此大大降低了操作人员的劳动强度。另外,数控机床一般都是封闭式床身,加工时,既清洁,又安全。

(7) 有利于现代化的生产管理 操作人员可预先精确估计加工时间,并可对所使用的刀具、夹具进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信号与标准指令为控制信息,易于实现加工信息的标准化,目前数控机床已与计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)软件有机地结合起来,形成现代集成制造技术的基础。

2. 数控机床的应用范围

数控加工是一种可编程的柔性加工方法,但其设备加工费用相对较高,常适于以下零件的加工。

1) 形状复杂(如用数学方法定义的复杂曲线、曲面轮廓)、加工精度要求高的零件。

2) 公差带小、互换性高、要求精确、复杂的零件。

3) 用普通机床加工时,要求设计制造复杂的专用工装夹具或需要很长调整时间的零件。

- 4) 价值高的零件。
 - 5) 批量生产的零件。
 - 6) 需一次装夹加工多部位（如钻、镗、铰、攻螺纹及铣削加工联合进行）的零件。
- 可见，目前的数控加工主要应用于以下两个方面：

1) 应用于常规零件加工，如二维车削、箱体类镗、铣等，其目的在于提高加工效率，避免人为误差，保证产品质量，以柔性加工方式取代高成本的工装设备，缩短产品制造周期，适应市场需求。这类零件一般形状较简单，实现上述目的的关键在于提高机床的柔性自动化程度、高速高精加工能力、加工过程的可靠性与设备的操作性能。同时合理的生产组织、计划调度和工艺过程安排也非常重要。

2) 应用于复杂形状零件加工，如模具型腔、涡轮叶片等。这类零件型面复杂，用常规加工方法难以实现。复杂型面零件加工不仅促使了数控加工技术的产生，而且也一直是数控加工技术主要研究及应用的对象。由于零件型面复杂，在加工技术方面，除要求数控机床具有较强的运动控制能力外（如多轴联动），更重要的是如何有效地获得高效优质的数控加工程序，并从加工过程整体上提高生产效率。

第二节 数控机床的分类

一、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都起源于同类型的普通机床，按工艺用途可分为：

(1) 普通数控机床 普通数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控齿轮加工机床、数控磨床等，这类数控机床的工艺性能和通用机床相似。

(2) 加工中心 加工中心是带有刀库和自动换刀系统的数控机床，常见的有数控车削中心、数控车铣中心、数控镗铣中心等。

(3) 数控特种加工机床 此类数控机床有数控电火花线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。

(4) 其他类型的数控机床 如数控三坐标测量仪等。

二、按控制运动的方式分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床只对点的位置进行控制，即机床的数控装置只控制移动部件从一个位置（点）精确地移动到另一个位置（点），移动过程中不进行加工，如图 1-3a 所示。采用点位控制的机床有数控坐标镗床、数控钻床和数控冲床等。

2. 直线控制数控机床

这种机床不仅要控制点的准确位置，而且要控制刀具（或工作台）以一定的速度沿与坐标轴平行的方向进行切削加工，如图 1-3b 所示。此类机床应具有主轴转速的选择与控制，切削速度与刀具选择以及循环进给加工等辅助功能。这种控制常应用于简易数控车床，镗铣床和某些加工中心等，现已较少使用。

3. 轮廓控制数控机床

这种机床能同时对两个或两个以上的坐标轴实现连续控制。它不仅能够控制移动部件的

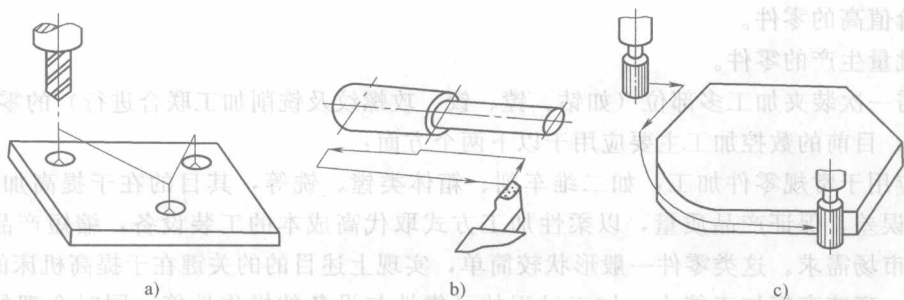


图 1-3 数控机床按控制运动分类运动示意图

a) 点位控制数控机床 b) 直线控制数控机床 c) 轮廓控制数控机床

起点和终点,而且能够控制整个加工过程中每点的位置与速度。也就是说,能连续控制加工轨迹,使之满足零件轮廓形状的要求,如图 1-3c 所示。这种机床具有刀具补偿、主轴转速控制以及自动换刀等较齐全的辅助功能。

轮廓控制主要用于加工曲面、凸轮及叶片等复杂形状的数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等。现在的数控机床多为轮廓控制数控机床。

三、按同时控制且相互独立的轴数分类

1. 二轴联动数控机床

二轴联动数控机床,例如数控车床,两轴联动可加工曲面回转体;数控镗床,二轴联动可镗曲线柱面,如图 1-4 所示。

2. 二轴半联动数控机床

二轴半联动数控机床实为二坐标联动,第三轴做周期性等距运动(点位或直线控制),如图 1-5 所示。

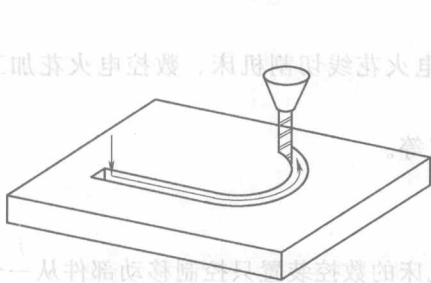


图 1-4 二轴联动示意图

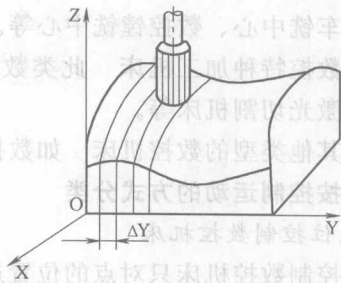


图 1-5 二轴半联动示意图

3. 三轴联动数控机床

三轴联动数控机床如一般的数控铣床、加工中心,三轴联动可加工曲面零件,是三维连续控制,如图 1-6 所示。

4. 多轴联动数控机床

四轴及四轴以上联动称为多轴联动。如五轴联动铣床,工作台除 X、Y、Z 三个方向可直线进给外,还可绕 Z 轴旋转进给(C 轴),刀具主轴可绕 Y 轴做摆动进给(B 轴),如图 1-7 所示。

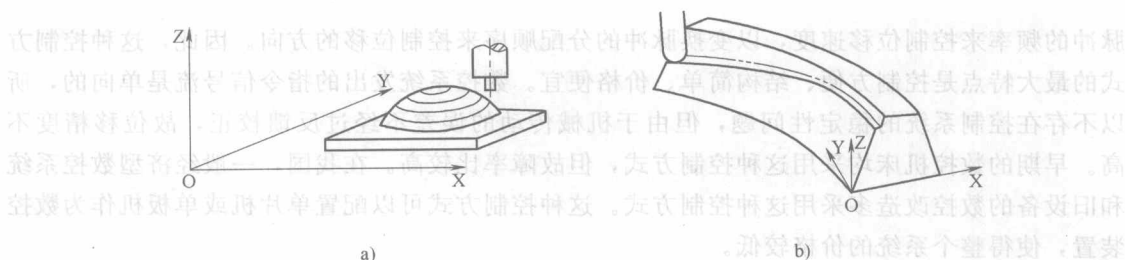


图 1-6 三轴联动示意图

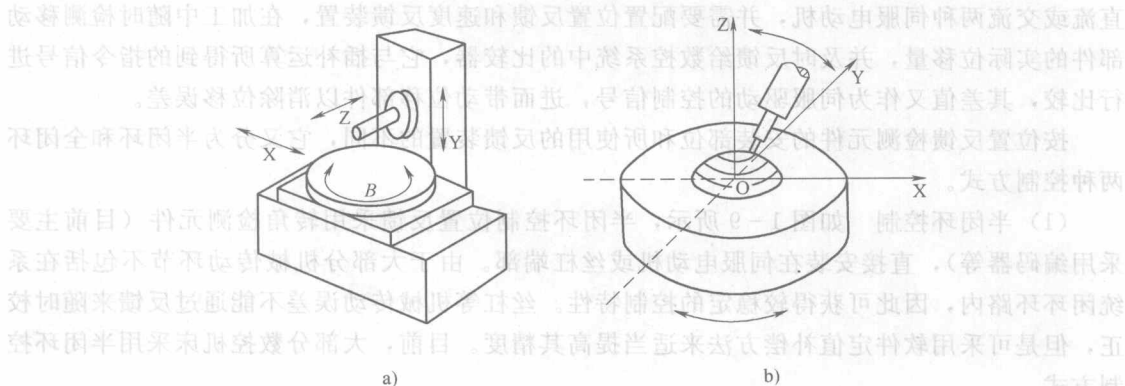


图 1-7 多轴联动示意图

a) 四轴联动 b) 五轴联动

四、按伺服系统分类

根据有无检测反馈元件及其检测装置，机床的伺服系统可分为开环、闭环和混合控制伺服系统数控机床。

1. 开环控制数控机床

这类机床的进给伺服驱动系统是开环的，即没有检测反馈装置。一般它的驱动电动机为步进电动机，步进电动机的主要特征是控制电路每变换一次指令脉冲信号，电动机就转动一个步距角，并且电动机本身就有自锁力，其控制系统如图 1-8 所示。数控系统输出的进给指令信号通过脉冲分配器来控制驱动电路，它以变换脉冲的个数来控制坐标位移量，以变换

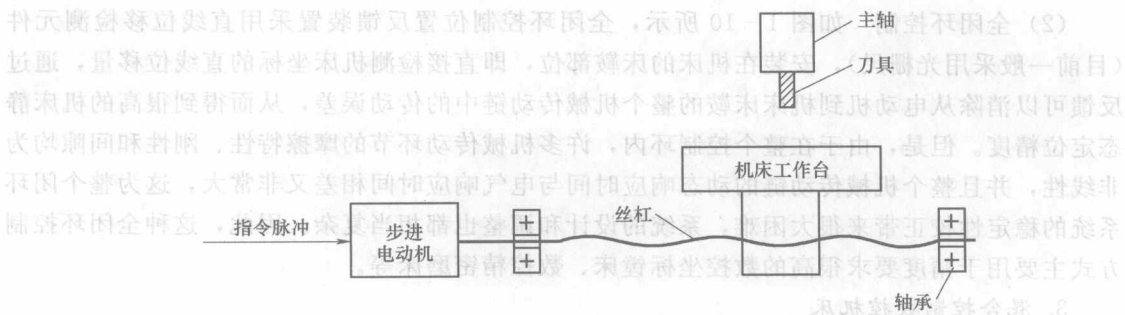


图 1-8 开环控制系统框图

脉冲的频率来控制位移速度，以变换脉冲的分配顺序来控制位移的方向。因此，这种控制方式的最大特点是控制方便、结构简单、价格便宜。数控系统发出的指令信号流是单向的，所以不存在控制系统的稳定性问题，但由于机械传动的误差不经过反馈校正，故位移精度不高。早期的数控机床均采用这种控制方式，但故障率比较高。在我国，一般经济型数控系统和旧设备的数控改造多采用这种控制方式。这种控制方式可以配置单片机或单板机作为数控装置，使得整个系统的价格较低。

2. 闭环控制数控机床

这类数控机床的进给伺服驱动系统是按闭环反馈控制方式工作的。其驱动电动机可采用直流或交流两种伺服电动机，并需要配置位置反馈和速度反馈装置，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。

按位置反馈检测元件的安装部位和所使用的反馈装置的不同，它又分为半闭环和全闭环两种控制方式。

(1) 半闭环控制 如图 1-9 所示，半闭环控制位置反馈采用转角检测元件（目前主要采用编码器等），直接安装在伺服电动机或丝杠端部。由于大部分机械传动环节不包括在系统闭环环路内，因此可获得较稳定的控制特性。丝杠等机械传动误差不能通过反馈来随时校正，但是可采用软件定值补偿方法来适当提高其精度。目前，大部分数控机床采用半闭环控制方式。

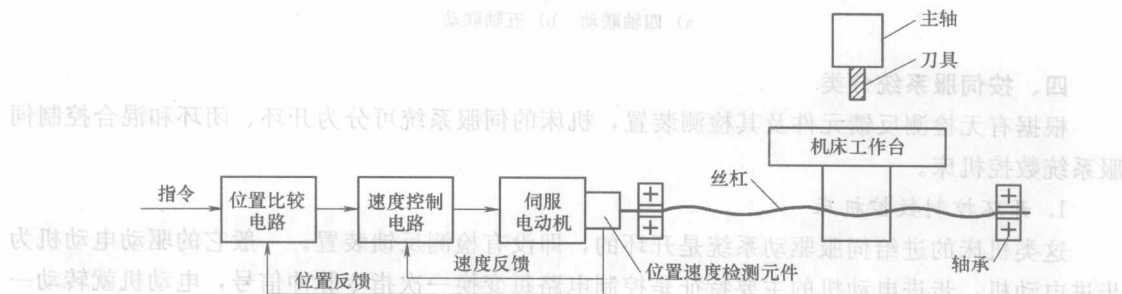


图 1-9 半闭环控制系统框图

(2) 全闭环控制 如图 1-10 所示，全闭环控制位置反馈装置采用直线位移检测元件（目前一般采用光栅尺），安装在机床的床鞍部位，即直接检测机床坐标的直线位移量，通过反馈可以消除从电动机到机床床鞍的整个机械传动链中的传动误差，从而得到很高的机床静态定位精度。但是，由于在整个控制环内，许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙均为非线性，并且整个机械传动链的动态响应时间与电气响应时间相差又非常大，这为整个闭环系统的稳定性校正带来很大困难，系统的设计和调整也都相当复杂。因此，这种全闭环控制方式主要用于精度要求很高的数控坐标镗床、数控精密磨床等。

3. 混合控制数控机床

将开环和闭环控制方式的特点有选择地集中，可以组成混合控制的方案。如前所述，由

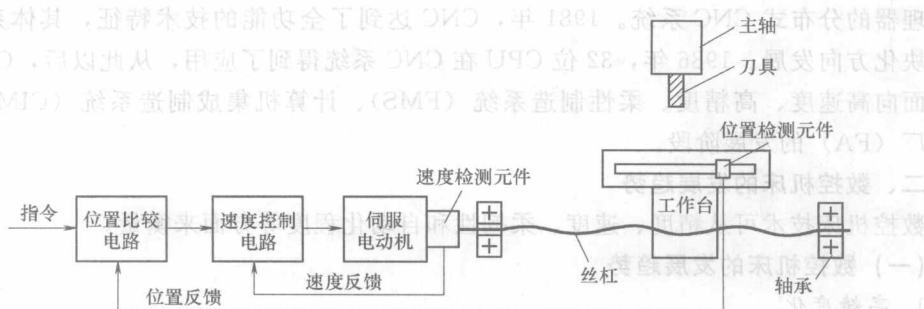


图 1-10 全闭环控制系统框图

于开环控制方式稳定性好、成本低、精度差，而全闭环稳定性差，所以为了互为弥补，以满足某些机床的控制要求，宜采用混合控制方式。采用较多的有开环补偿型和半闭环补偿型两种方式。

五、按数控装置类型分类

1. 硬件式数控机床 (NC 机床)

这是早期的数控机床，数控装置中的输入、运算、插补运算以及控制功能均由集成电路或晶体管等器件组成。一般来说，不同的硬件式数控机床都需要专门设计各自的逻辑电路。这类数控机床数控装置的通用性较差，因其全部由硬件组成，所以功能性和灵活性也较差。

2. 软件式数控机床 (CNC 机床)

20 世纪 70 年代中期，随着微电子技术的发展，芯片的集成度越来越高，这使得利用中、大规模及超大规模的集成电路，组成 CNC 装置成为可能。采用这一类装置的数控机床，其主要的功能几乎全由软件来实现，对于不同的数控机床，只需编制不同的软件就可以实现。而硬件几乎可以通用。这就为硬件的大批量生产提供了条件。批量生产有利于保证产品的质量，缩短生产周期，降低生产成本，所以现代数控机床都采用 CNC 装置。

这种软件式数控，由于具有很高的柔性，给机床生产厂以及机床的用户带来很大的方便。他们可以根据各自的需要开发出不同的用户程序，使得数控机床的应用更为广泛，并能深入到机械加工业的各个领域中。

第三节 数控机床的发展趋势

一、数控机床的发展历程

从 1952 年第一台数控机床问世至今 50 多年，随着微电子技术的不断发展，数控系统也在不断地更新换代。数控系统先后经历了电子管 (1952 年)、晶体管 (1959 年)、小规模集成电路 (1965 年)、大规模集成电路及小型计算机 (1970 年)、微处理器或微型计算机 (1974 年) 等五代。前三代数控系统属于采用专用控制计算机的硬逻辑接线数控系统，称硬件式数控系统 (NC)。从 20 世纪 70 年代开始，小型计算机逐渐普及并应用于数控系统中，数控系统中的许多功能也因此由软件实现，从而简化了系统设计，并增加了系统的灵活性和可靠性，软件式数控 (CNC) 技术从此问世，数控系统发展到第四代。1974 年，以微处理器为基础的 CNC 系统问世，标志着数控系统进入了第五代。1977 年，麦道飞机公司推出了

多处理器的分布式 CNC 系统。1981 年, CNC 达到了全功能的技术特征, 其体系结构朝柔性模块化方向发展。1986 年, 32 位 CPU 在 CNC 系统得到了应用, 从此以后, CNC 系统进入了面向高速度、高精度、柔性制造系统 (FMS)、计算机集成制造系统 (CIMS) 和自动化工厂 (FA) 的发展阶段。

二、数控机床的发展趋势

数控机床技术可从精度、速度、柔韧性和自动化程度等方面来衡量。

(一) 数控机床的发展趋势

1. 高精度化

精度包括机床制造的几何精度和机床使用的加工精度。在当今的数控机床中, 上述两个方面均已取得明显进展。例如, 普通级中等规格加工中心的定位精度已从 20 世纪 80 年代中期的 $0.012\text{mm}/300\text{mm}$ 提高到 $0.002\sim 0.005\text{mm}/\text{全程}$ 。精密级数控机床的加工精度已由原来的 0.005mm 提高到 0.0015mm 。

2. 高速化

提高生产率是机床技术追求的基本目标之一, 实现该目标的关键是提高切削速度、进给速度和减少辅助时间。中等规格加工中心的主轴转速已从过去的 $2000\sim 3000\text{r}/\text{min}$ 提高到 $10000\text{r}/\text{min}$ 以上。2007 年中国国际机床展参展的加工中心约 210 台 (上届 110 台), 其中海外高速加工中心 (主轴转速 $10000\text{r}/\text{min}$ 以上) 约占 50%, 国产高速加工中心约占 30%。不少机床主轴最高转速 $30000\sim 40000\text{r}/\text{min}$, 快移速度 $60\sim 70\text{m}/\text{min}$ 。

现在, 中等规格加工中心的主轴转速一般都在 $10000\text{r}/\text{min}$ 以上, 美国哈挺公司生产的加工中心主轴转速达到了 $40000\text{r}/\text{min}$; 日本新泻铁工所生产的 UHSIO 型超高速数控立式铣床主轴最高转速高达 $100000\text{r}/\text{min}$ 。中等规格加工中心的快速进给速度从 20 世纪 80 年代的 $8\sim 12\text{m}/\text{min}$ 提高到 $60\text{m}/\text{min}$, 最高的达到 $90\text{m}/\text{min}$ 。加工中心换刀时间从 $5\sim 10\text{s}$ 减少到小于 1s 。而工作台交换时间也由 $12\sim 20\text{s}$ 减少到 2.5s 以内。

3. 高柔性化

采用柔性自动化设备是提高加工精度和效率、缩短生产周期、快速适应市场变化需求和提高竞争力的有效手段。数控机床在提高单机柔性化的同时, 朝着单元柔性化和系统柔性化方向发展, 如出现了由可编程控制器 (PLC) 控制的可调组合机床、数控多轴加工中心、换刀换箱式加工中心、数控三坐标动力单元等具有高柔性、高效率的柔性加工单元 (FMC)。柔性制造系统 (FMS)、介于传统自动线与 FMS 之间的柔性制造线系统 (FTL)、计算机集成制造系统 (CIMS) 以及自动化工厂 (FA) 也有较大发展。有的厂家则走组合柔性化之路, 这类柔性加工系统由若干加工单元合成, 自动上下料机械手兼负工件传输的作用。

4. 高自动化

高自动化是指在全部加工过程中尽量减少“人”的介入而自动完成规定的任务, 它包括物料流和信息流的自动化。自 20 世纪 80 年代中期以来, 以数控机床为主体的加工自动化已从“点”的自动化 (单台数控机床) 发展到“线”的自动化 (FMS、FTL) 和“面”的自动化 (柔性制造车间), 再结合信息管理系统的自动化, 逐步形成整个工厂“体”的自动化。在国外已出现自动化工厂 (FA) 和计算机集成制造工厂 (CIMS) 的雏形实体。尽管由于这种高自动化的技术还不够完备, 投资过大, 回收期长, 但数控机床的高自动化以及向 FMS、CIMS 集成方向发展的趋势仍然是机械制造业发展的主流。数控机床的自动化除进一步提高