

“十二五”普通高等教育本科规划教材

全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

数控技术及应用

主 编 刘 军



基本理论与实际应用有机地结合
突出内容的先进性、技术的综合性
注重培养学生分析及解决问题的能力



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十二五”普通高等教育本科规划教材
全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

数控技术及应用

主 编 刘 军
副主编 苗晓鹏 张秀丽 闫存富 孙新国
参 编 卢吉平



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书系统全面地叙述了数控技术的有关内容,突出了内容的先进性、技术的综合性,内容全面、深入,理论联系实际,重在应用。全书共分九章,各章既有联系,又有一定的独立性,内容包括:绪论、数控加工工艺、数控加工编程、数字控制原理、计算机数字控制装置、数控机床检测装置、数控机床伺服系统、数控机床的机械结构、数控机床故障诊断与维修。各章后均附有习题。

本书可作为机械工程相关专业的本科生和研究生教材或参考书,也可供广大从事数控技术研究和应用的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术及应用/刘军主编. —北京:北京大学出版社, 2013. 10

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-23262-0

I. ①数… II. ①刘… III. ①数控机床—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 228249 号

书 名: 数控技术及应用

著作责任者: 刘 军 主编

策 划 编 辑: 童君鑫

责 任 编 辑: 童君鑫 黄红珍

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-23262-0/TH·0371

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京富生印刷厂

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.25 印张 563 千字

2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 49.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

数控技术是先进制造技术的基础和重要组成部分,也是一个融合了计算机技术、自动控制技术、检测技术及机械加工技术的交叉和综合技术的领域。它是根据机械加工工艺的要求,使用计算机对整个加工过程中的信息进行处理和控制,实现加工过程自动化。随着微电子技术、计算机技术、传感器技术和机械加工技术的发展,^[1]从20世纪70年代以后,计算机数控技术获得了突飞猛进的发展,数控机床和其他数控装备的普及及应用使制造业发生了巨大的变化。同时,计算机数控技术的发展又极大地推动了计算机辅助设计和辅助制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)等先进制造技术的发展。

数控技术不仅具有较强的理论性,更具有较强的实用性,它是由各种技术相互交叉、渗透、有机结合而成的一门综合技术。本书着重介绍数控技术的基本概念、数控加工工艺、数控机床编程的基础和方法、计算机数字控制装置和数字控制原理、数控机床的检测装置、数控机床的伺服系统、数控机床的机械结构、数控机床的故障诊断与维修及数控技术的研究、产生和发展。

本书的编写考虑了学科的发展及国民经济的需要,并总结了编者多年的教学经验和研究成果。在内容安排上,着重介绍一些基本概念、实施方法和关键技术;在介绍实施方法时,突出思路和方法的多样化,以开阔学生思路,培养学生分析问题和解决问题的能力。本书以机械类和近机类专业本科生和研究生的教育为对象,在学生已掌握了相关基本知识的基础上,系统学习数控技术的理论知识,加强理论联系实际的学习,在叙述中多介绍了一些数控工艺、编程方法和实例,以满足技术上的实用性,培养数控机床的实际操作能力。

本书由郑州科技学院刘军任主编,安阳工学院苗晓鹏、河南农业大学张秀丽、黄河科技学院闫存富和南阳理工学院孙新国任副主编,郑州电力高等专科学校卢吉平参编。具体编写分工如下:刘军编写第1章和第7章7.1、7.2;张秀丽编写第2章和第3章3.1、3.2;卢吉平编写第3章3.3、3.4;孙新国编写第4章和第5章;苗晓鹏编写第6章和第8章;闫存富编写第7章7.3、7.4、7.5和第9章。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2013年5月

目 录

第1章 绪论	1	2.3.3 数控铣削及加工中心加工 工艺装备选用	54
1.1 数控技术的基本概念	2	2.3.4 数控铣削及加工中心走刀 路线的确定	58
1.2 数控机床的组成	3	2.3.5 铣削用量的选择	63
1.3 数控机床的分类	5	2.3.6 典型零件的数控铣削及 加工中心加工工艺	65
1.3.1 按工艺用途分类 (机床类型)	5	习题	71
1.3.2 按控制功能分类	6	第3章 数控加工编程	74
1.3.3 按进给伺服系统类型 分类	7	3.1 数控机床编程基础	75
1.4 数控机床的特点	8	3.1.1 数控编程基本概念	75
1.5 数控技术的产生和发展	9	3.1.2 数控编程的内容与步骤	75
习题	14	3.1.3 数控编程方法	76
第2章 数控加工工艺	15	3.1.4 数控机床坐标系	77
2.1 数控加工工艺基础	16	3.1.5 程序的结构与格式	81
2.1.1 数控加工工艺概述	16	3.2 数控车床程序编制	82
2.1.2 数控加工工艺设计	17	3.2.1 数控车床坐标系与编程 特点	82
2.1.3 数控机床的刀具与工具 系统	28	3.2.2 数控车床常用编程指令	83
2.1.4 数控加工工艺文件的 编制	31	3.2.3 螺纹加工指令 G32、G92、 G76	93
2.2 数控车削加工工艺	32	3.2.4 车削固定循环功能	97
2.2.1 数控车削的主要加工 对象	32	3.2.5 子程序指令	102
2.2.2 数控车削加工刀具	33	3.2.6 数控车削加工编程 实例	103
2.2.3 数控车削加工走刀路线	37	3.3 数控铣削和加工中心程序编制	113
2.2.4 数控车削加工切削用量	43	3.3.1 数控铣床及加工中心 编程应注意的问题	113
2.2.5 典型零件的数控车削加工 工艺	44	3.3.2 数控铣床及加工中心 刀具补偿功能	120
2.3 数控铣削及加工中心加工工艺	50	3.3.3 数控铣床及加工中心 孔加工编程	129
2.3.1 数控铣削及加工中心加工 特点	50	3.3.4 数控铣床及加工中心 编程特殊功能指令	141
2.3.2 数控铣削及加工中心加工 对象	51		



3.3.5 用户宏程序	150	5.4 可编程控制器	223
3.3.6 数控铣床及加工中心 编程实例	161	5.4.1 数控机床用可编程 控制器的分类	223
3.4 自动编程	167	5.4.2 数控机床用可编程 控制器的功能	224
3.4.1 概述	167	5.4.3 典型数控机床用 PLC 的 指令系统	225
3.4.2 主要 CAD/CAM 系统	167	习题	228
3.4.3 自动编程实例	168		
习题	175		
第 4 章 数字控制原理	178	第 6 章 数控机床检测装置	229
4.1 概述	179	6.1 概述	230
4.2 插补原理的数学建模方法	182	6.1.1 数控机床对位置测量 装置的要求	231
4.2.1 基准脉冲插补	183	6.1.2 位置检测装置的分类	231
4.2.2 数据采样插补	197	6.2 旋转变压器	232
4.3 刀具半径补偿	200	6.2.1 旋转变压器的结构	232
4.3.1 刀具半径补偿的基本 原理	201	6.2.2 旋转变压器的 工作原理	233
4.3.2 B 刀具半径补偿的 计算	201	6.2.3 旋转变压器的应用	234
4.3.3 C 功能刀具半径补偿的 计算	202	6.3 感应同步器	235
4.3.4 刀具半径补偿指令	203	6.3.1 直线式感应同步器的 结构	235
习题	204	6.3.2 直线式感应同步器的 工作原理	237
第 5 章 计算机数字控制装置	205	6.4 光栅	237
5.1 概述	206	6.4.1 直线光栅的结构	238
5.1.1 CNC 装置的结构	206	6.4.2 光栅的测量原理	239
5.1.2 CNC 装置的特点	207	6.4.3 光栅测量装置的信号 处理	240
5.1.3 CNC 装置的功能	208	6.5 磁栅	241
5.2 硬件结构	210	6.5.1 磁栅尺的结构	241
5.2.1 单片机数控装置	210	6.5.2 磁栅尺的工作原理	244
5.2.2 单 CPU 数控装置	212	6.6 编码器	245
5.2.3 多 CPU 数控装置	213	6.6.1 增量式脉冲编码器	245
5.2.4 全功能型 CNC 系统 硬件特点	214	6.6.2 绝对式脉冲编码器	247
5.3 软件结构	215	习题	248
5.3.1 CNC 系统的软件结构 特点	215		
5.3.2 CNC 系统的软件结构 模式	218	第 7 章 数控机床伺服系统	249
5.3.3 典型 CNC 系统简介	221	7.1 概述	250
		7.1.1 伺服系统的概念	250
		7.1.2 数控机床对伺服系统的	

要求	251	8.1.2 数控机床机械结构的 特点	285
7.1.3 伺服系统的分类	252	8.2 数控机床的主传动系统	286
7.1.4 伺服系统的发展	255	8.2.1 主传动系统的特点	286
7.2 步进电动机及其驱动控制	257	8.2.2 主传动类型	287
7.2.1 步进电动机组成及其 工作原理	257	8.2.3 主轴部件	291
7.2.2 步进电动机的特性及 选择	260	8.3 数控机床的进给传动系统	296
7.2.3 步进电动机的驱动 控制线路	262	8.3.1 数控机床进给系统的 特点	297
7.3 直流伺服电动机及其速度控制	263	8.3.2 数控机床进给系统的 基本形式	297
7.3.1 直流伺服电动机及其 工作特性	263	8.3.3 电动机与滚珠丝杠之间的 连接结构	297
7.3.2 直流伺服电动机的速度 控制方法	268	8.3.4 滚珠丝杠螺母副	300
7.4 交流伺服电动机及其速度控制	272	8.3.5 数控机床的导轨	307
7.4.1 交流伺服电动机的 分类及特点	272	8.3.6 齿轮传动副的消除 措施	313
7.4.2 交流伺服电动机的 结构及工作原理	273	8.4 数控机床的自动换刀装置	315
7.4.3 交流伺服电动机的主要 特性参数	275	8.4.1 数控车床回转刀架	315
7.4.4 交流伺服电动机的调速 方法	275	8.4.2 车削中心自驱动力 刀架	316
7.5 直线电动机传动	276	8.4.3 转塔刀库换刀	318
7.5.1 概述	276	8.4.4 带刀库的自动换刀 装置	318
7.5.2 直线电动机工作原理	276	习题	324
7.5.3 直线电动机的结构 形式	277	第9章 数控机床故障诊断与 维修	326
7.5.4 直线电动机的特点	277	9.1 数控机床故障特点及类型	327
7.6 位置控制	278	9.1.1 数控机床故障特点	327
7.6.1 位置控制的基本原理	278	9.1.2 数控机床故障类型	330
7.6.2 数字脉冲比较位置控制 伺服系统	279	9.1.3 数控机床故障诊断的 一般步骤和原则	332
7.6.3 全数字控制伺服系统	280	9.1.4 数控机床故障诊断的 常用方法	333
习题	280	9.1.5 数控机床故障诊断 技术的发展	337
第8章 数控机床的机械结构	282	9.2 数控系统故障诊断与维修	338
8.1 概述	284	9.2.1 常见的数控系统简介	339
8.1.1 数控机床机械结构的 组成	284	9.2.2 数控系统常见故障 诊断及维修	341



9.2.3	数控系统的日常维护	345
9.2.4	维修实例	345
9.3	数控机床进给伺服系统故障诊断与维修	347
9.3.1	进给伺服系统的构成及种类	347
9.3.2	进给伺服系统各类故障的表现形式	348
9.3.3	进给伺服系统常见故障形式	348
9.3.4	进给伺服系统常见故障维修方法及故障诊断	350
9.3.5	进给伺服系统维修实例 ...	351
9.4	主轴驱动系统故障诊断与维修 ...	353
9.4.1	数控机床对主轴驱动系统的要求	353
9.4.2	主轴驱动系统的分类	354
9.4.3	直流主轴驱动系统故障诊断与维修	355
9.4.4	交流主轴驱动系统的特点和故障诊断	357
9.4.5	主轴驱动系统维修实例 ...	359
9.5	数控机床机械装置故障诊断与维修	361
9.5.1	数控机床机械结构概述	361
9.5.2	数控机床典型机械部件的故障诊断与处理方法	362
9.5.3	机械结构故障诊断与维修实例	372
	习题	373
	参考文献	375

第 1 章

绪 论



本章教学要点

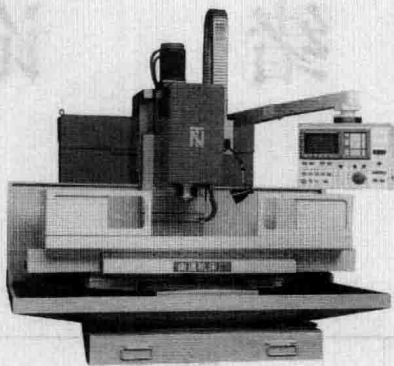
知识要点	掌握程度	相关知识
数控技术、数控系统和数控机床等基本概念	掌握	数控技术与数控机床的关系
数控机床的组成及工作原理	掌握	各种数控设备的组成
数控机床分类	了解	数控机床的各种分类方法
数控机床的特点及其应用范围	知道	数控机床的使用范围的发展
数控机床目前的发展趋势和技术水平	了解	数控技术、数控机床的研究现状



导入案例

数控技术和数控机床

数控技术和数控装备是制造工业现代化的重要基础。这个基础是否牢固直接影响到一个国家的经济发展和综合国力,关系到一个国家的战略地位。因此,世界上各工业发达国家均采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业。



在我国,数控技术与装备的发展也得到了高度重视,近年来取得了相当大的进步。特别是在通用微机数控领域,以PC平台为基础的国产数控系统,已经走在了世界前列。但是,我国在数控技术研究和产业发展方面也存在不少问题,特别是在技术创新能力、商品化进程、市场占有率等方面情况尤为突出。如何有效解决这些问题,使我国数控领域沿着可持续发展的道路,从整体上全面迈入世界先进行列,使我们在国际竞争中有举足轻重的地位,将是数控研究开发部门和生产厂家所面临的重要任务。

数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化,使制造业成为工业化的象征,而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大,它对国计民生的一些重要行业(IT、汽车、轻工、医疗等)的发展起着越来越重要的作用,因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。

1.1 数控技术的基本概念

数字控制(Numerical Control, NC)技术,简称数控技术,是一种自动控制技术,它能够对机器的运动和动作进行控制。采用数控技术的控制系统称为数控系统。装备了数控系统的机床称为数控机床。

在加工机床中得到广泛应用的数控技术是一种采用计算机对机械加工过程中各种控制信息进行数字化运算、处理,并通过高性能的驱动单元对机械执行构件进行自动化控制的高新技术。当前已有大量机械加工装备采用了数控技术,其中最典型而且应用面最广的是数控机床。为了便于后面的讨论,下面给出数控技术、数控系统、计算机数控(CNC)系统和数控机床几个概念的定义:

- (1) 数控技术:用数字、字母和符号对某一工作过程进行可编程的自动控制技术。
- (2) 数控系统:实现数控技术相关功能的软硬件模块有机集成系统,它是数控技术的载体。
- (3) 计算机数控系统:以计算机为核心的数控系统。
- (4) 数控机床:应用数控技术对机床加工过程进行控制的机床。

由于数控机床的种类多、数量大，这就促进了数控技术的发展。随着生产的发展，数控技术已不仅用于金属切削机床，同时还用于其他多种机械设备，如机器人、坐标测量机、编织机、剪裁机和电火花、电解等特种加工设备。

1.2 数控机床的组成

数控机床主要由以下几个部分组成，如图 1.1 所示。图中虚线框部分为计算机数控系统，即 CNC 系统，其中各方框为其组成模块，箭头表示各模块间的信息流向。图右边的实线框部分为计算机数控系统的控制对象——机床部分。下面将分别介绍各模块的功能。

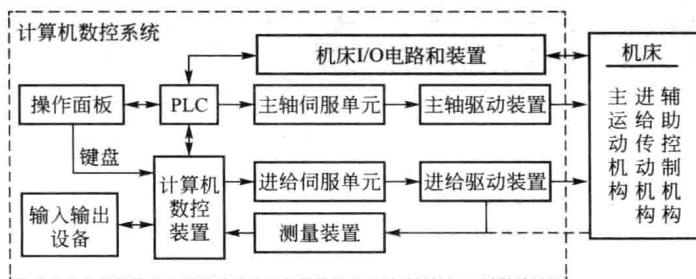


图 1.1 数控机床的组成

1. 操作面板

操作面板(控制面板)是操作人员与数控机床(系统)进行交互的工具，一方面，操作人员可以通过它对数控机床(系统)进行操作、编程、调试或对机床参数进行设定和修改，另一方面，操作人员也可以通过它了解或查询数控机床(系统)的运行状态。它是数控机床的输入输出部件，是数控机床的特有部件。它主要由按钮站、状态灯、按键阵列(功能与计算机键盘一样)和显示器等部分组成，如图 1.2 所示。

2. 控制介质与输入输出设备

控制介质是记录零件加工程序的媒介。输入输出设备是 CNC 系统与外部设备进行信息交互的装置。零件加工程序是交互的主要信息。输入输出设备的作用是将编制好的记录在控制介质上的零件加工程序输入 CNC 系统、或将 CNC 系统中已调试好的零件加工程序通过输出设备存放或记录在相应的控制介质上。数控机床常用的控制介质有穿孔纸带(对应的输入输出设备分别是纸带阅读机和纸带穿孔机)、磁带(对应的输入输出设备是录音机)、磁盘、优盘和光盘等。

除此之外，还可采用通信方式进行信息交换，现代数控系统一般都具有利用通信方式进行信息交换的能力。这种方式是实现 CAD/CAM 集成、FMS 和 CIMS 的基本技术。目前在数控机床上常采用的方式有：

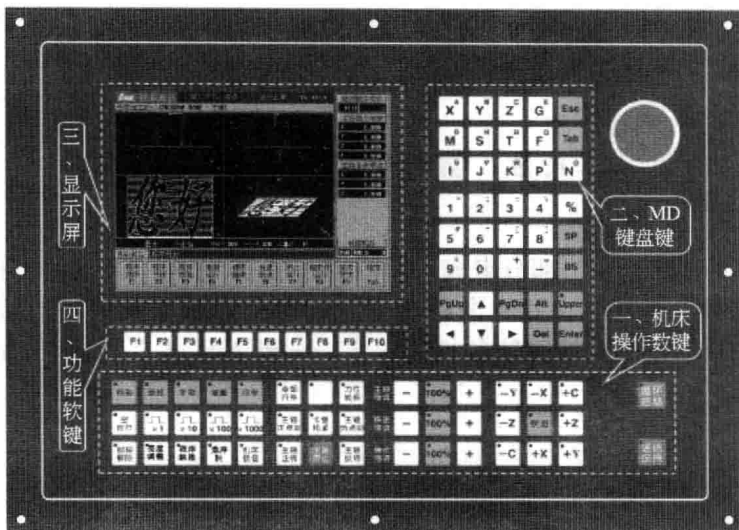


图 1.2 操作面板

- (1) 串行通信(RS232 等串口);
- (2) 自动控制专用接口和规范(DNC 方式, MAP 协议等);
- (3) 网络技术(Internet, LAN 等)。

3. 计算机数控装置

计算机数控装置(或 CNC 单元)是计算机数控系统的核心。它的主要作用是根据输入的零件加工程序或操作者命令进行相应的处理(如运动轨迹处理、机床输入输出处理等),然后输出控制命令到相应的执行部件(伺服单元、驱动装置和 PLC 等),完成零件加工程序或操作者命令所要求的工作。所有这些都是由 CNC 装置协调配合,合理组织进行的,从而使整个系统有条不紊地工作。CNC 装置主要由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通信接口板、扩展功能模块以及相应的控制软件等模块组成。图 1.3 所示为日本 FANUC 公司的 CNC 单元,图 1.4 所示为德国西门子公司 CNC 单元,图 1.5 所示为中国武汉华中数控股份有限公司的“世纪星”数控单元。

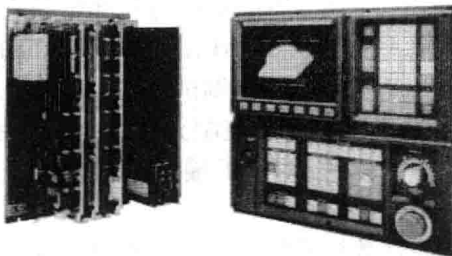


图 1.3 日本 FANUC 公司的 CNC 单元

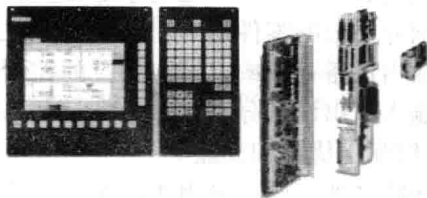


图 1.4 德国西门子公司 CNC 单元

4. 伺服单元、驱动装置和测量装置

伺服单元和驱动装置是指主轴伺服装置和主轴电动机、进给伺服驱动装置和进给电动机。测量装置是指速度和位置测量装置,是实现速度闭环控制(主轴、进给)和位置闭环控制(进给)的必要装置。主轴伺服系统的主要作用是实现零件加工的切削运动,其控制量为速度。进给伺服系统的主要作用是实现零件加工的成形运动,其控制量为速度和位置。能灵敏、准确地跟踪 CNC 装置的位置和速度指令是它们共同的特征。

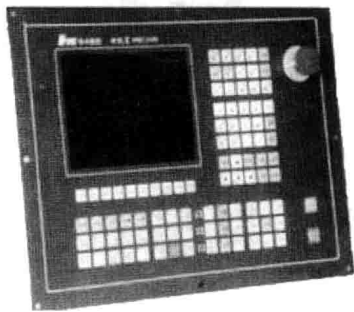


图 1.5 中国武汉华中数控股份有限公司的“世纪星”数控单元

5. PLC、机床 I/O 电路和装置

PLC(Programmable Logic Controller): 用于完成与逻辑运算、顺序动作有关的 I/O 控制,由硬件和软件组成。

机床 I/O 电路和装置: 实现 I/O 控制的执行部件(由继电器、电磁阀、行程开关、接触器等组成)的逻辑电路。它们共同完成以下任务:

接收 CNC 的 M、S、T 指令,对其进行译码并转换成对应的控制信号,控制辅助装置完成机床相应的开关动作;

接收操作面板和机床给出的 I/O 信号,送给 CNC 装置,经其处理后,输出指令控制 CNC 系统的工作状态和机床的动作。

6. 机床

机床是数控机床的主体,是数控系统的被控对象,是实现制造加工的执行部件。它主要由主运动部件、进给运动部件(工作台、拖板以及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身等)以及特殊装置(刀具自动交换系统、工件自动交换系统)和辅助装置(如冷却、润滑、排屑、转位和夹紧装置等)组成。数控机床机械部件的组成与普通机床相似,但传动结构和变速系统较为简单,在精度、刚度、抗振性等方面要求高。

1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多,从不同角度对其进行研究,就有不同的分类方法。

1.3.1 按工艺用途分类(机床类型)

(1) 切削加工类: 通过从工件上除去一部分材料才能得到所需零件的数控机床。如: 数控铣床、数控车床、数控磨床、数控齿轮加工机床、加工中心和柔性制造单元等,如图 1.6 所示。

(2) 成型加工类: 通过物理的方法改变工件形状才能得到所需零件的数控机床。如: 数控折弯机、数控弯管机、数控冲床等,如图 1.7 所示。

(3) 特种加工类: 利用特种加工技术(电火花、激光技术等)得到所需零件的数控机床。如: 数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光加工机床等,如图 1.8 所示。

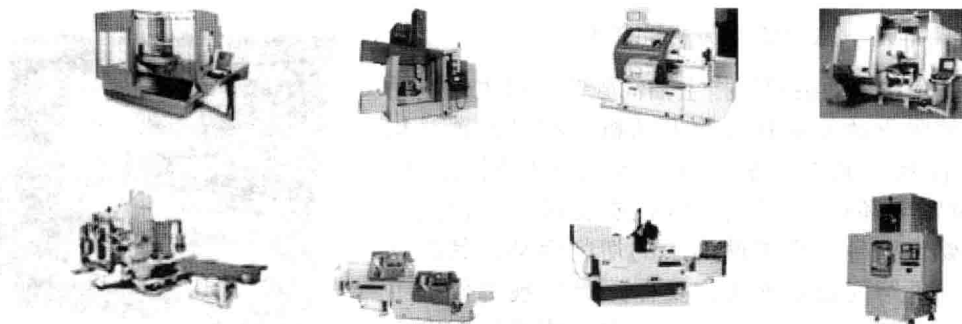


图 1.6 切削加工类数控机床



图 1.7 成型加工类数控机床

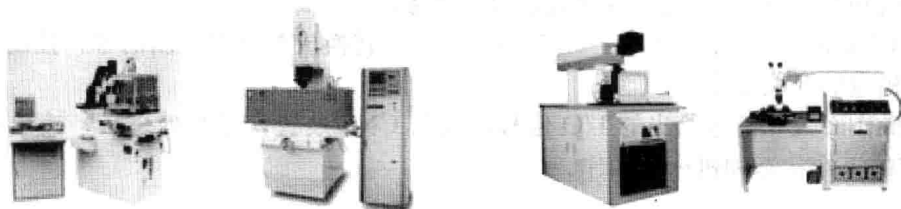


图 1.8 特种加工类数控机床

(4) 其他类型：一些广义上的数控装备。如：工业机器人、数控测量机等，如图 1.9 所示。



图 1.9 工业机器人和数控测量机

1.3.2 按控制功能分类

(1) 点位控制数控机床：仅能控制在加工平面内的两个坐标轴带动刀具与工件相对运动，从一个坐标位置快速移动到下一个坐标位置，然后控制第三个坐标轴进行钻镗切削加工。此类数控机床的特点：在整个移动过程中不进行切削加工，因此对运动轨迹要求不高，但要求坐标位置有较高的定位精度。可用于加工平面内的孔系。这类机床主要有数控钻床、印制电路板钻孔机床、数控镗床、数控冲床、三坐标测量机等。

(2) 直线控制数控机床：可控制刀具或工作台以适当的进给速度，沿着平行于坐标轴

的方向进行直线移动和切削加工,进给速度根据切削条件可在一定范围内调节。早期,简易两坐标轴数控车床,可用于加工台阶轴。简易的三坐标轴数控铣床,可用于平面的铣削加工。现代组合机床采用数控进给伺服系统,驱动动力头带着多轴箱轴向进给进行钻镗加工,它也可以算作一种直线控制的数控机床。随着数控技术的发展,现在仅具有直线控制功能的数控机床已不多见。

(3) 轮廓控制数控机床:具有控制几个坐标轴同时协调运动,即多坐标轴联动的能力,使刀具相对于工件按程序规定的轨迹和速度运动,在运动过程中有进行连续切削加工的功能。可实现联动轴加工是这类数控机床的本质特征。这类数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心等用于加工曲线和曲面形状零件的数控机床。现代的数控机床基本上都是这种类型。若根据其联动轴数还可细分为:2轴联动数控机床、2.5轴联动数控机床、3轴联动数控机床、4轴联动数控机床和5轴联动数控机床等。

1.3.3 按进给伺服系统类型分类

按数控系统的进给伺服子系统有无位置测量装置可分为开环数控机床和闭环数控机床,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) 开环数控机床:图 1.10 所示为开环数控机床的进给伺服系统。由图可知开环进给伺服系统没有位置测量装置,信号流是单向的(数控装置→进给系统),故系统稳定性好。但由于无位置反馈,精度相对闭环系统来讲不高,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。这类系统一般以功率步进电动机作为伺服驱动元件,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和旧机床的数控化改造。

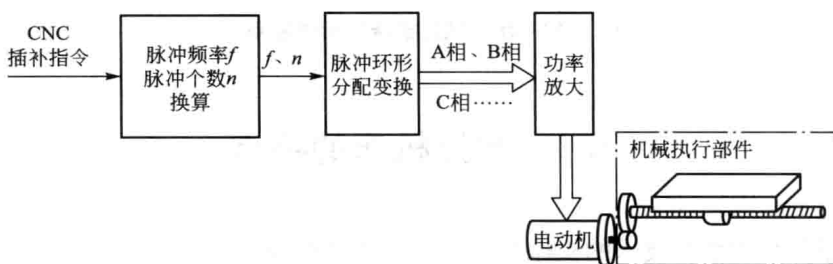


图 1.10 开环数控机床进给伺服系统

(2) 半闭环数控机床:半闭环数控机床的进给伺服系统如图 1.11 所示。由图可知,半闭环数控系统的位置检测点是从驱动电动机(常用交流伺服电动机或直流伺服电动机)或丝杠端部引出,通过检测电动机和丝杠的旋转角度来间接检测工作台的位移量,而不是直接检测工作台的实际位置。由于在半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节,因此可获得较好的控制性能,其系统的稳定性虽不如开环系统,但比闭环要好。另外,由于在位置环内各组成环节的误差可得到某种程度的纠正,而位置环外的各环节如丝杠的螺距误差、齿轮间隙引起的运动误差均难以消除。因此,其精度比开环要好,比闭环要差。但可对这类误差进行补偿,因而仍可获得满意的精度。半闭环数控系统结构简单、调试方便、精度也较高,因而在现代 CNC 机床中得到了广泛应用。

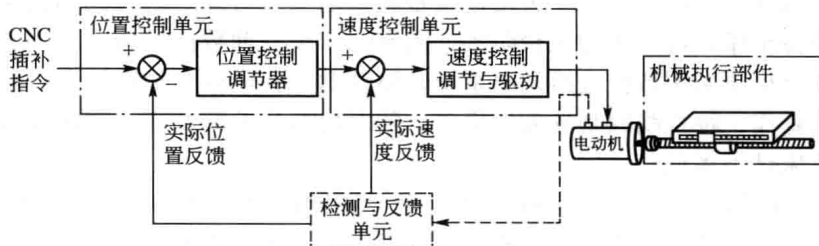


图 1.11 半闭环数控机床进给伺服系统

(3) 闭环数控机床：闭环进给伺服系统的位置检测点如图 1.12 中粗实线所示。它直接对工作台的实际位置进行检测。从理论上讲，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，故很容易造成系统的不稳定，使闭环系统的设计、安装和调试都比较困难。因而，该系统对其组成环节的精度、刚性和动态特性等都有较高的要求，故价格昂贵。这类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。

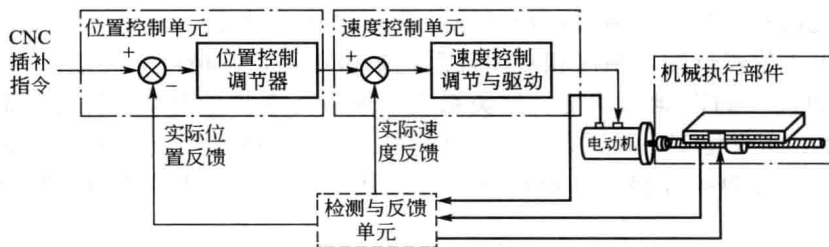


图 1.12 闭环数控机床进给伺服系统

1.4 数控机床的特点

数控机床是采用数控技术的机械装备中最具代表性的一种。数控机床在机械制造业中得到日益广泛的应用，是因为它具有以下优点：

(1) 加工精度高、加工质量稳定。由于数控机床本身的精度较高，而且可以利用软件进行精度校正和补偿，又因为它根据数控程序自动进行加工，可以避免人为的误差，因此，提高了加工精度和同一批工件的重复精度，保证了加工质量的稳定性。

(2) 具有较高的生产效率。数控机床上可以采用较大的切削用量，有效地节省了机动工时。同时它还有自动变速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能，使辅助时间大为缩短，而且无需工序间的检验与测量，所以，一般比普通机床的生产率高 3~4 倍，甚至更高。数控机床能高效优质完成普通机床不能完成或难以完成的复杂型面零件的加工，对复杂型面零件其生产效率比通用机床高十几倍甚至几十倍。

(3) 增加了设备的柔性。可以适应不同品种、规格和尺寸以及不同批量的零件的自动加工。数控机床是按照被加工零件的数控程序来进行自动加工的，当改变加工零件时，只

需改变数控程序,不必更换凸轮、靠模、样板或钻镗模等专用工艺装备。因此,生产准备周期短,有利于机械产品的更新换代。

(4) 功能复合程度高,一机多用。数控机床,特别是自动换刀的数控机床,在一次装夹的情况下,可以实现大部分工艺能力的加工工序,一台数控机床可以代替数台普通机床。这样可以减少装夹误差,节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间,还可以节省机床的占地面积,带来较高的经济效益。

(5) 减轻了操作工人的劳动强度。

(6) 有利于生产管理。

(7) 有利于向高级计算机控制与管理方面发展。

任何事物都有两面性。数控机床虽然有上述各种优点,但它在某些方面也存在不足之处:

(1) 单位工时的加工成本较高。

(2) 生产效率比刚性自动生产线低,因而只适宜于多品种小批量或中批量生产(占机械加工总量 70%~80%),而不适合于大批量生产。

(3) 加工中的调整相对复杂。

(4) 维修难度大,要求具有较高技术水平的人员来操作和维修。

(5) 机床价格较高,初始投资大。

1.5 数控技术的产生和发展

1. 数控机床的发展历史

1) 产生背景

随着科学技术和社会生产力的不断发展,人们对机械产品的质量和生产效率提出了越来越高的要求,而机械加工过程的自动化是实现上述要求的有效途径。从工业化革命以来人们实现机械加工自动化的手段有:自动机床、组合机床和专用自动生产线。这些设备的使用大大地提高了机械加工自动化的程度,提高了劳动生产率,促进了制造业的发展,但它也存在固有的缺点:初始投资大、准备周期长及柔性差。

因此,上述方法仅适用批量较大的零件生产。然而,随着市场竞争的日趋激烈,产品更新换代周期缩短,批量大的产品越来越少,而小批量产品的生产所占的比例越来越大,占总加工量的 80% 以上。在航空、航天、重型机床以及国防部门尤其如此。因此,迫切需要一种精度高、柔性好的加工设备来满足上述需求,这是机床数控技术产生和发展的内在动力。另一方面,电子技术和计算机技术的飞速发展则为数控机床的进步提供了坚实的技术基础,也使机床数控技术产生和发展成为可能。数控机床正是在这种背景下诞生和发展起来的。它极其有效地满足了上述要求,为小批量、精密复杂的零件生产提供了自动化加工手段。它的产生给自动化技术带来了新的概念,推动了加工自动化技术的发展。

2) 发展简史

1952 年,美国帕森斯(Parsons)公司和麻省理工学院(MIT)合作研制了世界上第一台三坐标数控机床,其控制系统由电子管组成。1955 年,在 Parsons 专利的基础上,第一台