

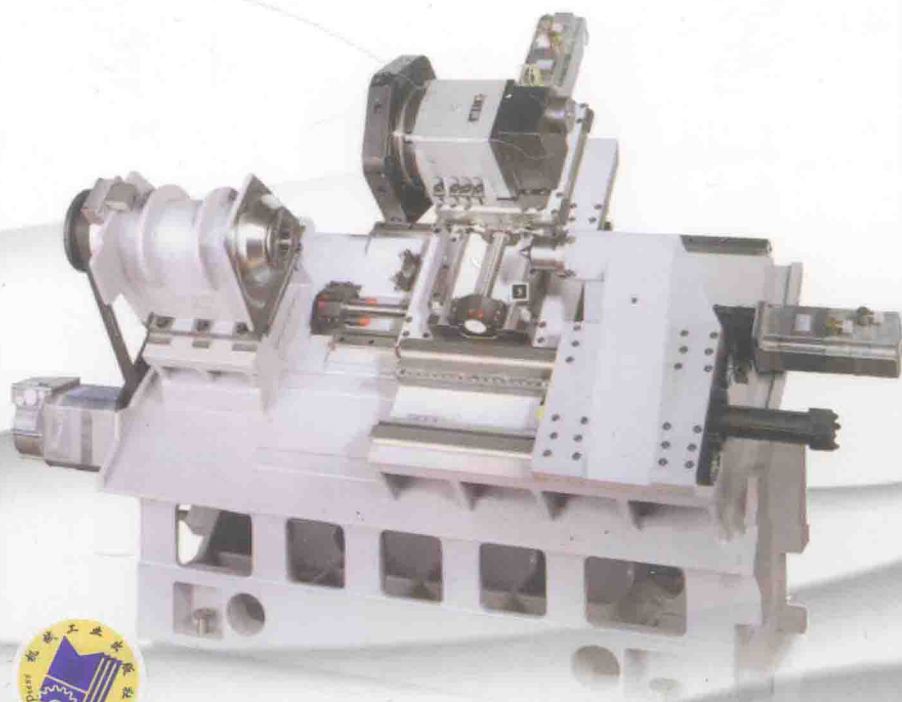


普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材
普通高等教育“十二五”规划教材

The Machine Tool CNC Technology

机床数控技术

杜国臣 主编



免费电子课件

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”
卓越工程能力培养规划教材

机床数控技术

主 编 杜国臣
副主编 刘秉亮 毕世英 苗满香



机械工业出版社

本书为普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材,展现了教育部“专业综合改革试点”项目的教学成果,所属课程也获评了山东省精品课程。

本书编写紧扣教育部“卓越工程师教育培养计划”:一是行业企业深度参与培养过程;二是学校按通用标准和行业标准培养工程人才;三是强化培养学生的工程能力和创新能力。并将在国内开展了多年的 CDIO 工程教育思想,有机地融入到教材的编写之中。对教材的内容进一步创新,面向工业界、面向未来,主动适应工业界的需求。对教材的出版形式也进行了创新,改变传统教材简单的外在形式,使教材的视觉和阅读效果上一个台阶。本书内容全面、系统,重点突出,力求体现先进性、实用性。全书共 6 章,内容包括:绪论、数控加工工艺基础、数控加工程序的编制、计算机数控装置、数控机床伺服系统、数控机床机械结构等,每章均有知识拓展和一定数量的思考题与习题,书后还附有常用刀具的切削参数等。

本书可作为应用型本科院校的机械设计制造及其自动化、机械工程及其自动化、机电一体化等专业机床数控技术教材,也可作为成人高等教育的同类专业教材,还可作为广大自学者及工程技术人员的机床数控技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术/杜国臣主编. —北京:机械工业出版社, 2015. 1
普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材
ISBN 978-7-111-48848-4

I. ①机… II. ①杜… 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(2014)第 293286 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:余 晔 责任编辑:余 晔 章承林

版式设计:赵颖喆 责任校对:张 薇

封面设计:张 静 责任印制:乔 宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2015 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·16.25 印张·395 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-48848-4

定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010) 88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前言

PREFACE

本书是根据教育部“卓越工程师教育培养计划”的要求,按通用标准和行业标准培养工程人才要求,行业企业深度参与,结合编者在数控机床方面的教学与实践经验,并充分反映近年来数控机床的发展与应用而编写的。

数控机床的高精度、高效率决定了发展数控机床是当前机械制造技术改造的必由之路,它是制造业自动化的基础。随着现代数控机床的大量使用,对机械类专业应用型本科学生在数控机床方面的教学也提出了新的要求,要求学生具备一定机床数控技术的理论知识及应用方面的基本知识和技能。同时,通过对机床数控技术的系统学习,可提高学生对知识的综合运用能力。为满足教学要求,联合多所高校与企业共同制订了教材编写大纲和编写内容,并经过多次研讨与完善。在内容上,突出了数控加工工艺分析与程序编制等应用知识,且内容先进、系统、普及面广,实例介绍与企业需要更加接近,更加精练实用,以主动适应工业界的需求,强化培养学生的工程能力和创新能力。同时对教材的出版形式也进行了创新,充分体现了人性化的考虑:①插入丰富的实物图片,做到图文并茂、叙述生动、通俗易懂;②在每章后面增加了拓展知识,拓展了学生的知识面,增强了学生的学习效果,吸引了学生的学习兴趣;③每个知识点增加典型实例、每章重点与难点插入典型例题,例题解题步骤详细、插图分步骤给出,使学生可以较顺利地对教学内容进行预习理解,有利于学生自学习惯的养成和自学能力的培养。整本教材体系结构及内容有别于同类教材,富有鲜明特色与创新性。

全书从数控机床的基本概念入手,重点突出数控加工工艺分析与程序编制、计算机数控装置、数控机床伺服系统、数控机床机械结构等内容,使读者通过系统地学习,熟悉数控机床的基本理论和知识,熟悉数控机床的机械结构和控制知识,熟悉数控机床的加工工艺和编程方法,并能把学到的知识应用到生产实际中。本书共分6章,内容包括:绪论、数控加工工艺基础、数控加工程序的编制、计算机数控装置、数控机床伺服系统、数控机床机械结构等。

本书第1章绪论、第3章数控加工程序的编制中的3.1节~3.3节、知识拓展和附录由杜国臣编写;第2章数控加工工艺基础由潍坊学院毕世英编写;第3章数控加工程序的编制中的3.4节和第6章数控机床机械结构由潍坊学院刘秉亮编写;第4章计算机数控装置由山东理工大学王士军编写;第5章数控机床伺服系统由郑州航空工业管理学院苗满香编写;全书由杜国臣教授主编。在教材大纲制订和内容编写过程中,潍柴动力、北汽福田等多家企业的工程师积极配合,并付出了艰辛劳动,在此表示衷心感谢。

限于编者的水平和经验,书中难免有欠妥或疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者

目录 CONTENTS

前言	
第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 数控机床的定义	1
1.1.2 数控机床的组成及加工零件的工作过程	2
1.1.3 数控机床的特点	4
1.1.4 数控机床的主要技术参数	5
1.2 数控机床的分类	6
1.2.1 按机械运动轨迹分类	6
1.2.2 按伺服系统类型分类	8
1.2.3 按系统功能水平分类	9
1.2.4 按加工工艺方法分类	9
1.3 数控机床的发展历程与趋势	11
1.3.1 数控机床的产生与发展历程	11
1.3.2 数控机床的发展趋势	13
第2章 数控加工工艺基础	19
2.1 数控加工工艺分析	19
2.1.1 数控加工工艺的特点与主要内容	19
2.1.2 数控加工工艺性分析	20
2.1.3 加工方法与加工方案的确定	21
2.1.4 工序与工步的划分	22
2.1.5 零件的定位与安装	23
2.1.6 数控加工刀具与工具系统	24
2.1.7 切削用量的确定	30
2.1.8 数控加工路线的确定	31
2.1.9 工艺文件的制订	35
2.2 图形的数学处理	36
2.2.1 基点计算	36
2.2.2 节点计算	36
2.2.3 辅助计算	38
2.3 典型零件的数控加工工艺分析	39
第3章 数控加工程序的编制	48
3.1 数控机床编程基础	48
3.1.1 数控机床编程的内容与步骤	48
3.1.2 数控机床程序编制方法	50
3.1.3 字符与代码	50
3.1.4 数控机床的坐标系	51
3.1.5 程序段与程序格式	54
3.2 数控车削加工程序编制	55
3.2.1 数控车床的编程特点	55
3.2.2 数控车床工件坐标系的设定	56
3.2.3 基本编程指令	58
3.2.4 车削加工循环指令	63
3.2.5 刀具补偿指令	68
3.2.6 辅助功能指令	73
3.3 数控铣削加工程序编制	77
3.3.1 数控铣床的功能指令	78
3.3.2 程序名和坐标系指令	79
3.3.3 基本编程指令	83
3.3.4 刀具补偿指令	87
3.3.5 子程序与调用	88
3.3.6 计算参数和程序跳转	89
3.3.7 加工循环指令	92
3.4 加工中心加工程序的编制	100
3.4.1 加工中心的G功能指令	101
3.4.2 加工中心的坐标系指令	102
3.4.3 基本编程指令	104
3.4.4 刀具补偿指令	107



3.4.5 固定循环功能指令·····	109	5.2.1 步进电动机·····	177
3.4.6 辅助功能指令·····	113	5.2.2 伺服电动机·····	180
3.4.7 用户宏程序·····	115	5.2.3 直线电动机·····	184
第4章 计算机数控装置·····	134	5.3 数控机床常用检测装置·····	185
4.1 概述·····	134	5.3.1 概述·····	185
4.1.1 数控系统的组成·····	134	5.3.2 旋转编码器·····	186
4.1.2 数控装置的工作过程·····	135	5.3.3 旋转变压器·····	189
4.2 数控装置的硬件结构·····	137	5.3.4 感应同步器·····	191
4.2.1 单CPU硬件结构·····	137	5.3.5 光栅尺·····	193
4.2.2 多CPU硬件结构·····	138	5.3.6 磁栅·····	195
4.2.3 开放式数控装置·····	140	5.4 位置控制和速度控制·····	198
4.3 数控装置的软件结构·····	140	5.4.1 位置控制·····	198
4.3.1 数控装置的软件结构 特点·····	141	5.4.2 速度控制·····	199
4.3.2 数控装置的软件结构 模式·····	144	第6章 数控机床机械结构·····	213
4.4 数控装置的可编程序逻辑控 制器·····	144	6.1 概述·····	213
4.4.1 数控机床中PLC实现的 功能·····	144	6.2 数控机床的主传动系统·····	216
4.4.2 PLC在数控机床上的 应用·····	145	6.2.1 主传动方式·····	217
4.5 典型数控系统简介·····	151	6.2.2 数控机床的主轴部件·····	218
4.5.1 FANUC公司的主要数控 系统·····	152	6.3 数控机床的进给传动系统·····	223
4.5.2 SIEMENS公司的主要数控 系统·····	152	6.3.1 数控机床进给传动系统 要求·····	223
4.6 CNC装置的插补原理·····	153	6.3.2 丝杠螺母副·····	224
4.6.1 基准脉冲插补·····	153	6.3.3 驱动电动机与滚珠丝杠的 传动方式·····	227
4.6.2 数据采样插补·····	164	6.3.4 数控机床的导轨·····	231
4.6.3 刀具补偿功能·····	168	6.4 自动换刀装置·····	234
第5章 数控机床伺服系统·····	175	6.4.1 数控车床自动回转刀架·····	235
5.1 概述·····	175	6.4.2 加工中心自动换刀装置·····	236
5.2 驱动电动机·····	176	6.5 数控机床的主要辅助装置·····	239
		6.5.1 数控回转工作台·····	239
		6.5.2 数控分度工作台·····	241
		附录 常用刀具的切削参数·····	248
		参考文献·····	253

第1章

绪 论

教学提示

数控机床是采用数字控制技术对机床各移动部件相对运动进行控制的机床，它是典型的机电一体化产品，是现代制造业的关键设备。计算机、微电子、信息、自动控制、精密检测及机械制造技术的高速发展，加速了数控机床的发展。目前数控机床正朝着高速度、高精度、高复合化、高智能化和高可靠性等方向发展，同时其应用范围也越来越广泛。

教学要求

本章主要讲述数控机床的基本概念和特点、主要技术参数、分类以及发展趋势等。本章内容是数控机床的基本知识和内容，要求学生理解并掌握数控机床的基本概念、组成、特点以及分类，了解其发展及发展趋势。

1.1 概述

1.1.1 数控机床的定义

国家标准（GB/T 8129—1997）把数字控制定义为“用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。”，简称数控（Numerical Control，NC）。

数控机床，简单地说，就是采用了数控技术的机床。即将机床的各种动作、工件的形状、尺寸以及机床的其他功能用一些数字代码表示，把这些数字代码通过信息载体输入给数控系统，数控系统经过译码、运算以及处理，发出相应的动作指令，自动地控制机床的刀具



与工件的相对运动，从而加工出所需要的工件。所以，数控机床是一种灵活性很强、技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备。

1.1.2 数控机床的组成及加工零件的工作过程

1. 数控机床的组成

数控机床主要由程序介质、数控装置、伺服系统、机床主体四部分组成，如图 1.1 所示。

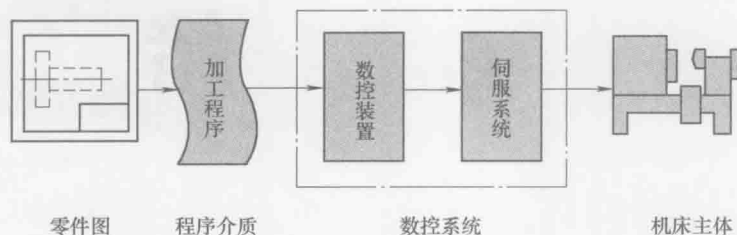


图 1.1 数控机床的组成

(1) 程序介质 程序介质用于记载机床加工零件的全部信息。如零件加工的工艺过程、工艺参数、位移数据、切削速度等。常用的程序介质有穿孔带（图 1.2）、磁带、磁盘和 U 盘等。在计算机辅助设计与计算机辅助制造（CAD/CAM）集成系统中，加工程序可不需要任何载体而直接由个人计算机通过机床传输线输入到数控系统。

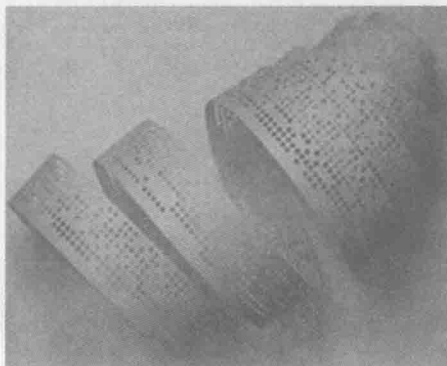
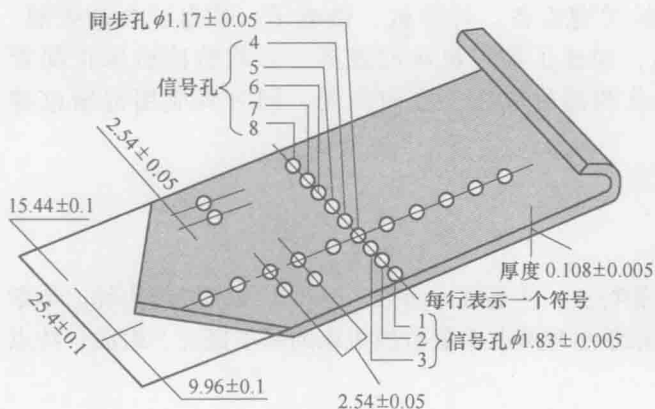


图 1.2 穿孔带

(2) 数控装置 数控装置是控制机床运动的中枢系统，它的基本任务是接收程序介质带来的信息，按照规定的控制算法进行插补运算，把它们转换为伺服系统能够接受的指令信号，然后将结果由输出装置送到各坐标控制的伺服系统。

(3) 伺服系统 由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成，是数控系统的执行部件。它的基本作用是接收数控装置发来的指令脉冲信号，控制机床执行部件的进给速度、方向和位移量，以完成零件的自动加工。

一般来说，数控系统大都是数控装置和伺服系统两部分的统称，各公司的数控产品也是将两者作为一体的。图 1.3 所示为西门子 802D 数控系统。

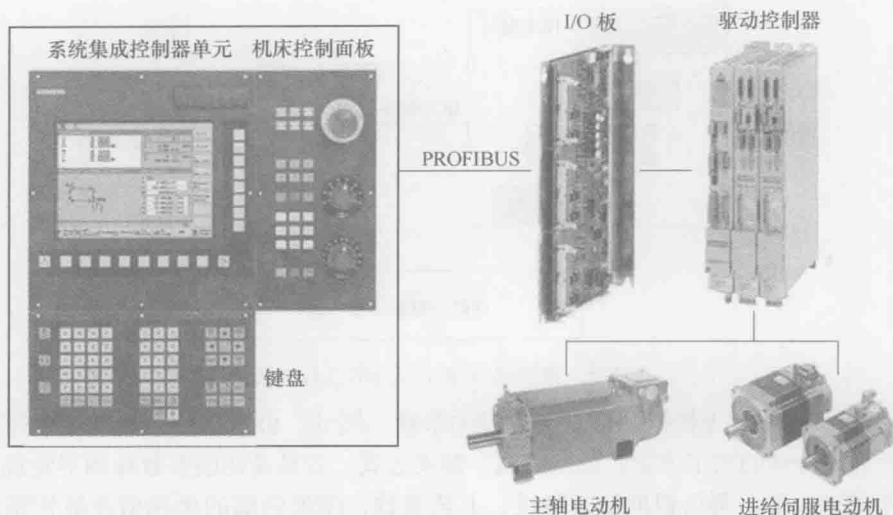


图 1.3 西门子 802D 数控系统

(4) 机床主体 机床主体也称主机，包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件，如底座、立柱、滑鞍、工作台（刀架）、导轨等。图 1.4 所示为数控车床的主体结构。数控机床与普通机床不同，它的主运动和进给运动都是由单独的伺服电动机驱动的，所以它的传动链短、结构比较简单。为了保证数控机床的快速响应特性，在数控机床上还普遍采用精密滚珠丝杠副和直线滚动导轨副，在加工中心上还配备刀库和自动换刀装置。同时还有一些良好的配套设施，如冷却装置、自动排屑装置、自动润滑装置、防护装置和对刀仪等。此外为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工，数控机床的其他机械结构也产生了很大的变化。



图 1.4 数控车床的主体结构

2. 数控机床加工零件的工作过程

在数控机床上加工零件时，要事先根据零件加工图样的要求确定零件加工路线、工艺参数和刀具数据，再按数控机床编程手册的有关规定编写零件数控加工程序，然后通过输入装置将数控加工程序输入到数控装置，数控装置经过处理与计算后，发出相应的控制指令，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动，从而进行零件的切削加工。数控机床加工零件的工作过程如图 1.5 所示。

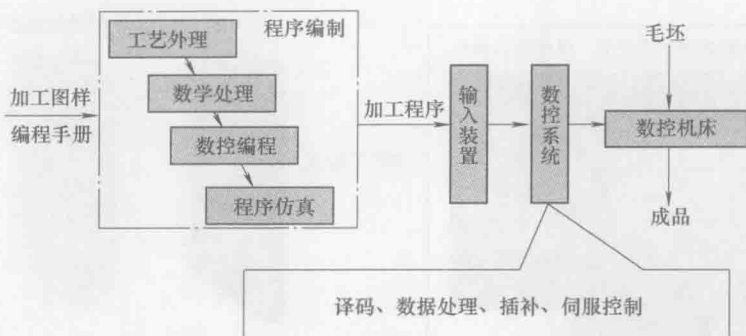


图 1.5 数控机床加工零件的工作过程

(1) 程序编制 首先根据图样,对工件的形状、尺寸、位置关系、技术要求等进行工艺分析,然后确定合理的加工方案、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数和图形轮廓的坐标值计算(数学处理)等。最后根据加工路线、工艺参数、图形轮廓的坐标值及数控系统规定的功能指令代码及程序段格式,编写数控加工程序。程序编完后,最好要进行程序仿真检验。

(2) 程序输入 数控加工程序通过输入装置输入到数控装置。目前采用的输入方法主要有软驱、USB 接口、RS232C 接口、分布式数字控制或称直接数字控制(Direct Numerical Control, DNC)接口、网络接口等。数控装置一般有两种不同的输入方式:一种是边输入边加工,DNC 即属于此类工作方式;另一种是一次将零件加工程序输入到数控装置内部的存储器,加工时再由存储器一段一段地往外读出,软驱、USB 接口即属于此类工作方式。

(3) 数据处理 数控装置首先对输入的程序进行译码,同时还完成对程序段的语法检查,然后进行数据处理。数据处理一般包括刀具补偿、速度计算以及辅助功能的处理。刀具补偿有刀具半径补偿和刀具长度补偿。刀具半径补偿的任务是根据刀具半径补偿值和零件轮廓轨迹计算出刀具中心轨迹。刀具长度补偿的任务是根据刀具长度补偿值和程序值计算出刀具轴向实际移动值。速度计算是根据程序中所给的合成进给速度计算出各坐标轴运动方向的分速度。辅助功能的处理主要完成指令的识别、存储、设标志,这些指令大都是开关量信号,现代数控机床可由 PLC 控制。

(4) 插补运算 数控加工程序提供了刀具运动的起点、终点和运动轨迹,而刀具从起点沿直线或圆弧运动轨迹走向终点的过程则要通过数控系统的插补软件来控制。插补的任务就是通过插补计算程序,根据程序规定的进给速度要求,完成在轮廓起点和终点之间的中间点的坐标值计算,也即数据点的密化工作。

(5) 伺服控制与零件加工 伺服系统接收插补运算后的脉冲指令信号或插补周期内的位置增量信号,经放大后驱动伺服电动机,带动机床的执行部件运动,从而将毛坯加工成零件。

1.1.3 数控机床的特点

数控机床是一种高效的自动化机床,具有广泛的应用前景。它与普通机床相比具有以下特点:

1. 加工精度高、质量稳定

数控机床按照预定的程序自动加工,不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的失



误或误差；数控机床本身的刚度高、精度好，并且精度保持性较好，这更有利于零件加工质量的稳定；还可以利用软件进行误差补偿和校正，也使数控加工具有较高的精度。

2. 适应性强

数控机床由于采用数控加工程序控制，当加工零件改变时，只要改变数控加工程序，便可实现对新零件的自动化加工，因此能适应对产品不断更新换代的要求，解决了多品种、单件或小批量生产的自动化问题。数控机床还可以完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂曲面的零件加工。因此数控机床在宇航、造船、模具等加工业中得到广泛应用。

3. 生产率高

数控机床的进给运动和多数主运动都采用无级调速，且调速范围大，可选择合理的切削速度和进给速度；可以进行在线检测，避免加工中的停机时间；可采用自动换刀、自动交换工作台，并且一次装夹可实现多面和多工序加工，减少工件装夹、对刀等辅助时间。因此，数控加工生产率高，一般零件可以高出3~4倍，复杂零件可提高十几倍甚至几十倍。

4. 劳动条件好

数控机床的操作者一般只需装卸零件、更换刀具、利用操作面板控制机床的自动加工，不需要进行繁杂的重复性手工操作，因此劳动强度低。此外，数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置，操作者的劳动条件可得到很大改善。

5. 便于现代化生产与管理

采用数控机床加工可方便、精确计算加工时间和加工费用，有利于生产过程的科学管理和信息化管理。数控机床又是先进制造系统的基础，便于制造系统的集成，为实现生产过程自动化创造了条件。

6. 使用与维护要求高

数控机床是综合多学科、新技术的产物，机床价格高，设备一次性投资大，相应地，机床的操作和维护要求较高。因此，为保证数控加工的综合经济效益，要求机床的使用者和维修人员应具有较高的专业素质。

1.1.4 数控机床的主要技术参数

1. 主要规格尺寸

数控车床的主要规格尺寸有床身上最大工件回转直径、刀架上最大工件回转直径、加工最大工件长度、最大车削直径等。数控铣床、加工中心的主要规格尺寸有工作台面尺寸、工作台T形槽、工作行程等。

2. 主轴系统

数控机床主轴采用直流或交流电动机驱动，具有较宽的调速范围和较高的回转精度，主轴本身的刚度与抗振性比较好。现在数控机床的主轴转速普遍能达到5000~10000r/min，甚至更高，对提高加工质量和各种小孔加工极为有利。

3. 进给系统

进给系统有进给速度、脉冲当量、定位精度和重复定位精度、可控轴数与联动轴数等主



要技术参数。

(1) 进给速度 进给速度是影响加工质量、生产效率和刀具寿命的主要因素,直接受数控装置运算速度、机床动特性和工艺系统刚度的限制。其中,最大进给速度为切削加工时的最大进给速度,最大快进速度为不加工时移动的最快速度。目前,数控机床最大进给速度普遍达到 15m/min ,最大快进速度达到 40m/min 以上。进给速度可通过操作面板上的进给倍率开关调整。

(2) 脉冲当量 脉冲当量表示数控装置每发出一个脉冲信号时机床坐标轴移动的距离,是机床坐标轴可以控制的最小位移增量。其数值的大小决定数控机床的加工精度和表面质量。目前数控机床的脉冲当量一般为 0.001mm ,精密或超精密数控机床的脉冲当量为 $0.1\mu\text{m}$ 或更小。脉冲当量越小,数控机床的加工精度和加工表面质量越高。

(3) 定位精度和重复定位精度 定位精度是指数控机床刀架或工作台等移动部件在确定的终点所达到的实际位置的精度。因此移动部件实际位置与理想位置之间的误差称为定位误差。定位误差包括伺服系统误差、检测系统误差、进给系统误差和移动部件导轨的几何误差等。定位误差将直接影响零件加工的位置精度。

重复定位精度是指在同一台数控机床上,应用相同程序相同代码加工一批零件,所得到的连续结果的一致程度。重复定位精度受伺服系统特性、进给系统的间隙与刚性以及摩擦特性等因素的影响。一般情况下,重复定位精度是成正态分布的偶然性误差,它影响一批零件加工的一致性,是一项非常重要的性能指标。目前数控机床的定位精度普遍可达 $\pm 0.004\text{mm}$,重复定位精度为 $\pm 0.0015\text{mm}$ 。

(4) 可控轴数与联动轴数 数控机床的可控轴数是指数控装置能够控制的坐标数目。可控轴数和数控装置的运算处理能力、运算速度及内存量等有关。世界上最高端的数控装置的可控轴数已达到三十多轴。

数控机床的联动轴数是指机床数控装置控制的坐标轴同时达到空间某一点的坐标数目。目前有 2 轴、2.5 轴、3 轴、4 轴、5 轴和 6 轴联动等。

4. 刀具系统

数控车床刀具系统的主要技术参数有刀架工位数、换刀时间、重复定位精度等。加工中心刀具系统的主要技术参数有刀库容量、换刀时间与刀柄形式等,通常中小型加工中心的刀库容量为 16~60 把,大型加工中心可达 100 把及以上。换刀时间是指自动换刀系统将主轴上的刀具与刀库中刀具进行交换所需要的时间,一般可达到 2s 左右。

1.2 数控机床的分类

数控机床种类很多,规格不一,人们从不同的角度对其进行了分类。

1.2.1 按机械运动轨迹分类

1. 点位控制数控机床

这类数控机床的特点是要求保证点与点之间的准确定位。它只能控制行程的终点坐标



值,对于两点之间的运动轨迹不作严格要求。对于点位控制的孔加工机床只要求获得精确的孔系坐标,在刀具运动过程中,不进行切削加工。图1.6所示为点位控制钻孔加工示意图。

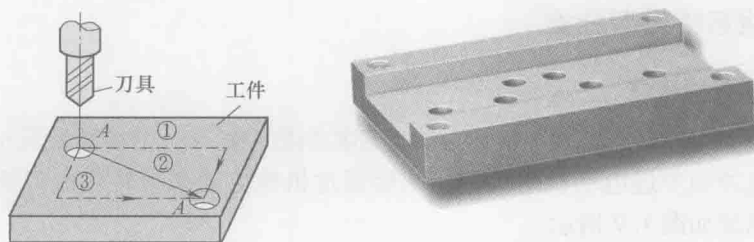


图1.6 点位控制钻孔加工示意图

此类数控机床有数控钻床、数控镗床、数控冲床、数控点焊机等。

2. 直线控制数控机床

这类数控机床的特点是不仅要控制行程的终点坐标值,还要保证在两点之间机床的刀具走的是沿平行于坐标轴方向或与坐标轴成 45° 角方向的一条直线,而且在走直线的过程中往往要进行切削。图1.7所示为直线控制切削加工示意图。

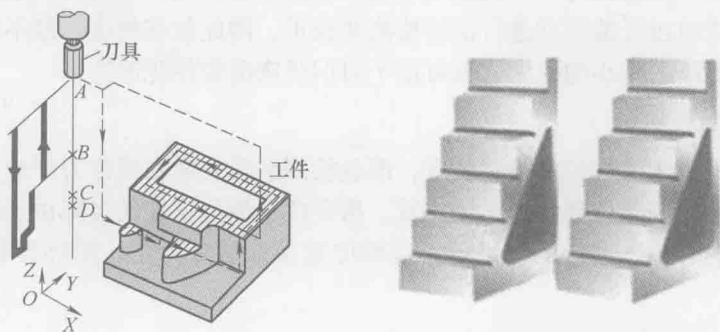


图1.7 直线控制切削加工示意图

目前具有这种运动控制的数控机床很少,一般有数控磨床、数控镗床等。

3. 轮廓控制数控机床

这类数控机床的特点是不仅要控制行程的终点坐标值,还要保证两点之间的轨迹要按一定的曲线进行。这种系统必须控制两个或两个以上坐标轴能够同时运动。图1.8所示为轮廓控制铣削加工示意图。

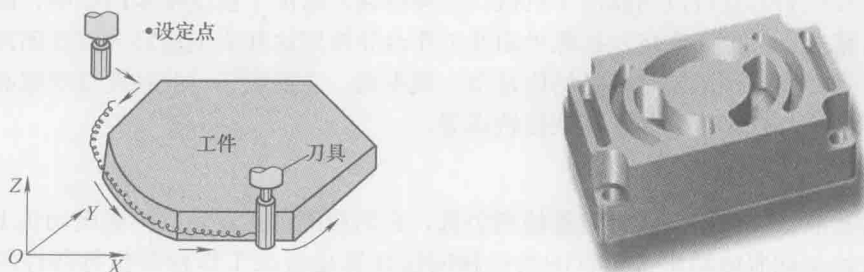


图1.8 轮廓控制铣削加工示意图



现代数控机床大都具有两坐标或两坐标以上联动的功能,除此之外还具有刀具半径补偿、刀具长度补偿、机床轴向运动误差补偿、丝杠螺距误差补偿等一系列功能。

1.2.2 按伺服系统类型分类

1. 开环控制数控机床

没有位移检测反馈装置的数控机床称为开环控制数控机床。数控装置发出的控制指令直接通过驱动装置控制步进电动机的运转,然后通过机械传动系统转化成刀架或工作台的位移。开环控制系统如图 1.9 所示。

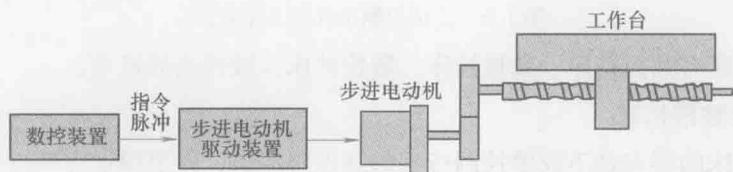


图 1.9 开环控制系统

这类机床的优点是结构简单、制造成本低、维护维修方便,但是,由于这种控制系统没有检测反馈,无法通过反馈自动进行误差检测和校正,因此位移精度一般不高。开环控制系统适于精度要求不高的中小型机床,也可用于对旧机床的数控化改造。

2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床带有位置检测装置,而且检测装置安装在机床刀架或工作台等执行件上,用以随时检测这些执行部件的实际位置。指令位置值与反馈的实际位置值相比较,根据差值控制电动机的转速,进行误差修正,直到位置误差消除为止。闭环控制系统如图 1.10 所示。

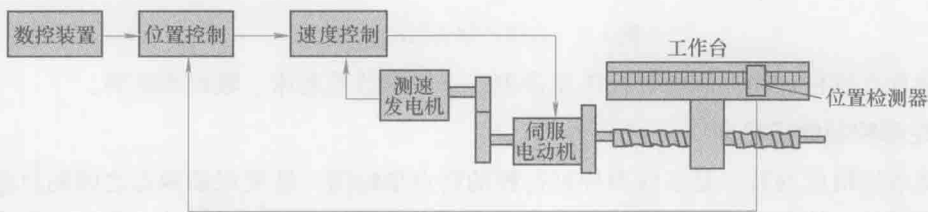


图 1.10 闭环控制系统

这种闭环控制方式可以消除由于机械传动部件误差给加工精度带来的影响,因此可得到很高的加工精度,但由于它将丝杠螺母副及工作台导轨副这些大惯量环节放在闭环之内,系统稳定性受到影响,调试困难,且结构复杂、成本高,主要用于一些精度要求很高的镗铣加工中心、超精密数控车床、超精密数控铣床等。

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床也带有位置检测装置,它的检测装置安装在伺服电动机上或丝杠的端部,通过检测伺服电动机或丝杠的角位移间接计算出机床工作台等执行部件的实际位置值,然后与指令位置值进行比较,进行差值控制。半闭环控制系统如图 1.11 所示。

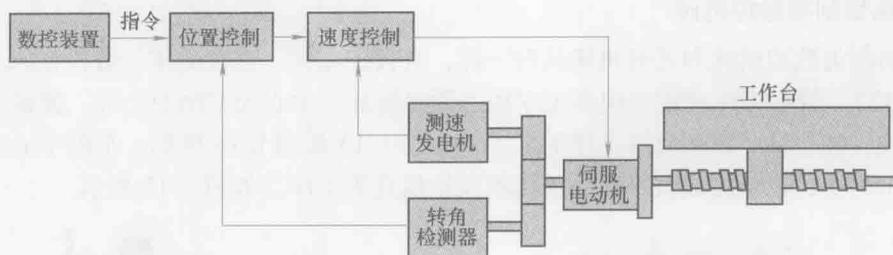


图 1.11 半闭环控制系统

这种机床的控制环内不包括丝杠螺母副及机床工作台导轨副等大惯量环节，因此可以获得稳定的控制特性。由于采用了高分辨率的测量元件，也可以获得比较满意的精度及速度，而且调试比较方便，价格也较全闭环系统便宜。目前，大多数数控机床采用半闭环控制系统，如数控车床、数控铣床、加工中心等。

1.2.3 按系统功能水平分类

按照数控系统的功能水平分，数控机床可以分为经济型数控机床、中档型数控机床和高档型数控机床三种。这种分类方法目前并无明确的定义和确切的分类界限，不同国家分类的含义也不同，不同时期的含义也在不断发展变化。

1. 经济型数控机床

这类机床的伺服进给驱动一般由步进电动机实现开环驱动，功能比较简单、价格比较低廉、精度中等，能满足加工形状比较简单的直线、圆弧及螺纹加工。一般控制轴数在 3 轴以下，脉冲当量（分辨率）多为 $10\mu\text{m}$ ，快速进给速度在 $10\text{m}/\text{min}$ 以下。

2. 中档型数控机床

中档型数控机床也称标准型数控机床，采用交流或直流伺服电动机实现半闭环驱动，能实现 4 轴或 4 轴以下联动控制，脉冲当量为 $1\mu\text{m}$ ，进给速度为 $15 \sim 24\text{m}/\text{min}$ ，一般采用 16 位或 32 位处理器，具有 RS232C 通信接口、DNC 接口和内装 PLC，具有图形显示功能及面向用户的宏程序功能。

3. 高档型数控机床

高档型数控机床指加工复杂形状的多轴联动的数控机床，其功能强、工序集中、自动化程度高。一般采用 32 位以上微处理器，形成多为 CPU 结构。采用数字化交流伺服电动机或直线电动机形成闭环驱动，具有主轴伺服功能，能实现 5 轴以上联动，脉冲当量为 $0.1 \sim 1\mu\text{m}$ ，进给速度可达 $100\text{m}/\text{min}$ 及以上。具有宜人的图形用户界面和三维动画功能，能进行加工仿真。同时还具有智能监控、智能诊断和智能工艺数据库等，且具有制造自动化协议（Manufacturing Automation Protocol, MAP）等通信接口，能实现计算机联网和通信。

1.2.4 按加工工艺方法分类

按加工工艺方法不同分，数控机床可分为金属切削类数控机床、金属成形类数控机床和特种加工类数控机床。



1. 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床和普通机床品种一样,有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床(图 1.12)、带有刀库和能实现多工序加工的镗铣加工中心和车削中心等。镗铣加工中心主要完成铣、镗、钻、攻螺纹等工序的加工,如图 1.13 和图 1.14 所示;车削中心以完成各种车削加工为主,也能完成铣平面、铣键槽及钻横孔等工序,如图 1.15 所示。

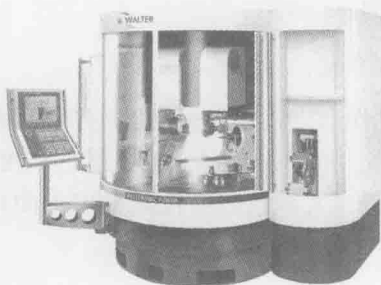


图 1.12 数控磨床



图 1.13 立式镗铣加工中心

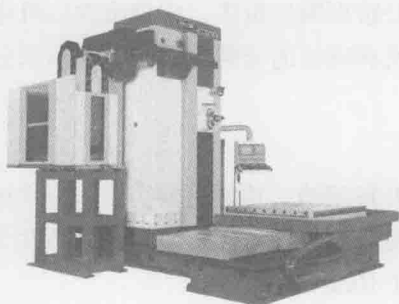


图 1.14 卧式镗铣加工中心

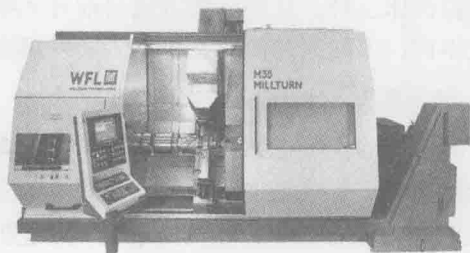


图 1.15 车削中心

2. 金属成形类数控机床

金属成形类数控机床是指使用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床,如数控压力机、数控折弯机(图 1.16)、数控旋压机(图 1.17)、数控弯管机等。

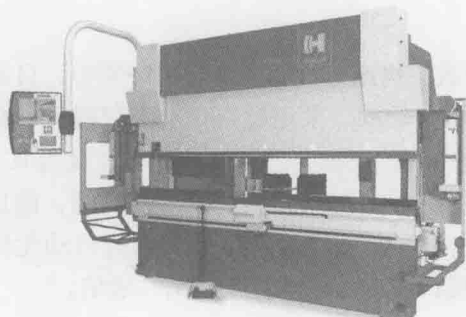


图 1.16 数控折弯机



图 1.17 数控旋压机

3. 特种加工类数控机床

特种加工类数控机床主要指数控线切割机床(图 1.18)、数控电火花成形机(图 1.19)、



数控激光切割机（图 1.20）、数控水刀切割机（图 1.21）等。



图 1.18 数控线切割机床



图 1.19 数控电火花成形机

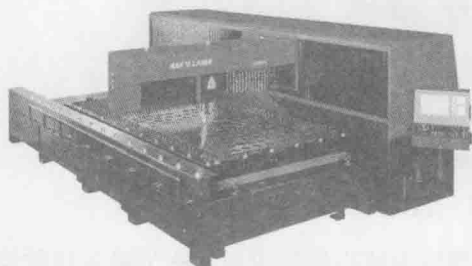


图 1.20 数控激光切割机

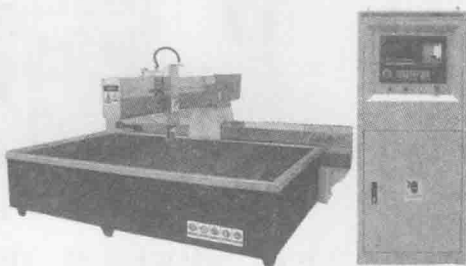


图 1.21 数控水刀切割机

1.3 数控机床的发展历程与趋势

1.3.1 数控机床的产生与发展历程

1948 年美国帕森斯公司（Parsons Co.）在研制加工直升机叶片轮廓检查用样板的机床时，提出了数控机床的设想，后来得到美国空军的支持，并与美国麻省理工学院（MIT）合作，于 1952 年研制出第一台三坐标数控铣床，如图 1.22 所示。1954 年底，美国本迪克斯公司（Bendix Co.）在帕森斯专利的基础上生产出了第一台工业用的数控机床。这时数控机床的控制系统采用的是电子管，其体积庞大、功耗高，仅在一些军事部门中承担普通机床难以加工的形状复杂的零件。这是第一代数控系统。

1959 年晶体管出现，电子计算机应用晶体管元件和印制电路板，从而使机床数控系统跨入了第二代。而且 1959 年克耐·杜列克公司（Kearney & Trecker Co.，简称 K&T 公司）在数控机床上设置刀库，根据穿孔带的指令自动选择刀具，并通过机械手将刀具装在主轴上。人们把这种带自动交换刀具的数控机床称为加工中心（Machining Center，MC）。

20 世纪 60 年代，出现了集成电路，数控系统发展到第三代。

以上三代，都属于硬件逻辑数控系统（称为 NC）。1967 年英国 Mollin Co. 将 7 台机床用计算机集中控制，组成柔性制造系统（Flexible Manufacturing System，FMS）。

随着计算机技术的发展，小型计算机应用于数控机床中，由此组成的数控系统称为计算机数控（CNC），数控系统进入第四代。