



教育部高等职业教育示范专业规划教材
国家示范建设院校课程改革成果

数控技术专业

机床数控技术应用

滕宏春 主编

JICHUANG SHUKONG JISHU YINGYONG



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教师免费下载
www.cmpedu.com

赠电子课件

教育部高等职业教育示范专业规划教材
数控技术专业
国家示范建设院校课程改革成果

机床数控技术应用

主 编 滕宏春
副主编 夏燕兰 杨红科
参 编 王道林 赵德菱 王文凯
洪莉莉 屠 岭

苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书是国家示范建设院校课程改革成果,是根据高等职业教育教学要求编写的。全书共分八章,包括数控机床概论、计算机数控(CNC)系统的基本原理、数控机床的伺服系统、数控加工工艺与程序编制基础、数控车床编程与加工、数控铣床编程与加工、加工中心编程与加工,以及 Pro/Wildfire 软件自动编程等。本书内容取材新颖,注重实用性、针对性。在结构安排上,根据每章的不同特点,前四章按照理论知识的系统体系组织,第五章到第八章按照项目教学的方式进行组织。每章后都附有适当的复习思考题,便于学生复习。

本书可以作为高职数控技术专业、机电一体化专业、模具设计与制造专业,以及机械制造与自动化专业教材,也可作为大专、职大、电大师生及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术应用/滕宏春主编. —北京:机械工业出版社,2009.1

教育部高等职业教育示范专业规划教材. 数控技术专业

ISBN 978-7-111-25580-2

I. 机… II. 滕… 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 177858 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:郑丹 责任编辑:郑丹 版式设计:霍永明

责任校对:李婷 封面设计:鞠杨 责任印制:邓博

北京双青印刷厂印刷

2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14.75 印张·365 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-25580-2

定价:24.00 元

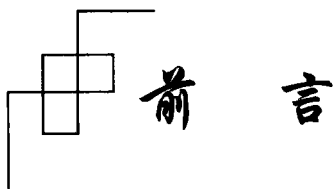
凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

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) 88379171

封面无防伪标均为盗版



近几年,随着技能型紧缺人才培养培训工程的实施,中职、两年制高职的培养,以及各种职业培训,掌握基本编程与操作的数控技术工人越来越多,数控技术在机械设计制造与自动化领域的应用基本普及。但是,能够综合掌握数控技术的人才仍然非常紧缺,企业对于了解数控机床结构、CNC 系统,掌握数控工艺、编程、操作,以及能够进行机床维护的人才非常渴求。

目前,有关数控技术的教材大多是根据机械设计与制造和机电一体化专业群人才培养目标不同、教学体系中要求掌握的数控技术核心内容不同,分别从不同的侧面进行编写的,如《数控编程与操作》、《数控机床及编程》、《数控工艺与编程》、《数控机床应用》、《数控加工工艺》、《数控机床故障诊断与维修》等。随着对数控核心技术的进一步凝练,以及教学体系中已经具备的数控核心技术基础课及实习、实训基础,编写集机床、工艺、系统、编程、操作实训为一体的教材是切实可行的。

根据机械设计与制造专业人才培养方案,“机床数控技术应用”是该专业技术平台核心课程,内容包括数控机床结构、CNC 计算机系统、数控加工工艺、编程、操作等,是对以往多门课程的综合。为了解决课程综合化改革存在的困难,首先,列出了本课程的知识点,并进行深入的研讨,对照企业的需求,把知识点、难点清晰化,通过项目引领、任务驱动的教学方式,使学生能够熟练掌握知识点,并配合实训环节,熟练运用知识,体现能力。

本书是国家示范建设院校课程改革成果,根据职业岗位所需的关键能力,结合课程综合化及教学模式改革,按照“项目引领”、“任务驱动”设计教学内容,采用“学做合一”的教学模式,形成工学结合特色的课程框架,并建立与教学内容改革相适应的实训环节。

本书具有以下主要特点:

1. 以编程、操作、数控系统应用能力的培养为核心,参照省、市、国家数控大赛对知识、能力的考核要点,优化出训练项目,以工学交替、取得职业资格证书训练、顶岗实习综合训练的任务驱动,提高教学质量。

2. 围绕核心能力培养,使学生综合掌握数控机床结构、原理、编程、操作、维护等知识。

3. 课程和实训紧密结合,交替进行。

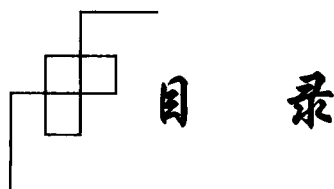
4. 采用示讲示演的方式组织教学过程。

本书由南京工业职业技术学院滕宏春任主编并负责统稿,夏燕兰、杨红科任副主编。具体的编写分工为:滕宏春编写第一章、第八章,夏燕兰编写第二章,杨红科编写第三章,滕宏春、王道林编写第四章,滕宏春、赵德菱、王文凯编写第五章,杨红科、洪莉莉编写第六章,杨红科、屠岭编写第七章。毕承恩教授担任本书主审,在此表示衷心的感谢。

本教材配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 注册后下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话:010-88379375。

限于编者的水平,书中难免有错漏之处,恳请读者批评指正。

编者



前言

第一章 数控机床概论..... 1

第一节 数控机床的组成..... 1

一、数控机床的工作原理..... 1

二、数控机床的组成..... 1

第二节 数控机床的分类与功能..... 4

一、按加工工艺类型分类..... 4

二、按运动轨迹分类..... 5

三、按伺服系统分类..... 5

四、按功能水平分类..... 6

五、按可控制联动的坐标轴分类..... 7

六、按数控装置的类型分类..... 7

第三节 数控机床的机械传动系统..... 8

一、数控机床的进给运动系统..... 8

二、数控机床的主传动系统..... 11

三、回转工作台与导轨..... 14

复习思考题..... 21

第二章 计算机数控 (CNC) 系统的 基本原理..... 22

第一节 CNC 系统的工作过程 与功能..... 22

一、CNC 系统的工作过程..... 22

二、CNC 系统的功能..... 24

第二节 刀具补偿原理..... 25

一、刀具长度补偿..... 26

二、刀具半径补偿..... 27

第三节 进给速度控制原理..... 30

一、进给速度控制方法..... 30

二、加减速控制..... 31

第四节 进给运动的误差补偿原理..... 31

一、传动反向间隙补偿..... 32

二、螺距误差补偿..... 32

三、其他因素引起的误差及其补偿..... 33

第五节 数控插补原理..... 33

一、运动轨迹插补的概念..... 33

二、运动轨迹插补运算的方法..... 34

三、逐点比较插补法..... 34

复习思考题..... 41

第三章 数控机床的伺服系统..... 42

第一节 伺服系统的组成..... 42

一、驱动电路..... 42

二、执行元件..... 42

三、传动装置..... 43

四、位置检测元件及反馈电路..... 43

五、测速发电机及反馈电路..... 43

第二节 伺服系统的基本要求..... 43

一、进给伺服系统的基本要求..... 43

二、主轴伺服系统的基本要求..... 45

第三节 检测装置..... 46

一、概述..... 46

二、感应同步器位置检测装置..... 47

三、光栅位置检测装置..... 50

四、编码器的原理与应用..... 51

第四节 开环进给伺服系统..... 53

一、步进电动机的工作原理..... 53

二、步进电动机的主要特性..... 56

三、步进电动机的驱动..... 57

第五节 闭环进给伺服系统..... 58

一、交流伺服电动机的分类和特点..... 58

二、永磁交流伺服电动机..... 59

第六节 变频调速系统..... 60

一、交流调速的基本概念..... 60

二、变频调速的控制方式..... 60

三、交流变频的基本原理..... 61

四、正弦波脉宽调制 (SPWM)

变频器..... 62

复习思考题..... 64

第四章 数控加工工艺与程序编制

基础..... 65

第一节 数控加工工艺设计..... 65



一、数控加工的工艺性分析	65	第四节 操作练习与考核	140
二、数控加工的工艺路线设计	67	一、操作练习	140
三、数控加工的工序设计	73	二、考核标准	142
四、轴套类零件的数控加工工艺内容设计		复习思考题	144
举例	79	第六章 数控铣床编程与加工	145
第二节 数控车削加工工艺基础	80	第一节 数控铣床 (FANUC Oi 系统)	
一、数控车削加工的主要对象	80	操作面板功能	145
二、加工顺序的确定	81	一、数控铣床的基本构成	145
三、进给路线的确定	82	二、主要技术参数	145
四、车削刀具的选择	86	三、数控铣床 (FANUC Oi 系统) 的操作	
五、切削用量的选择	88	面板	146
六、典型零件的数控车削加工工艺分析		四、数控铣床上电、关机操作过程	152
举例	91	五、手动操作过程	153
第三节 数控铣削加工工艺基础	93	六、自动运行过程	154
一、数控铣削的主要加工对象	93	七、对刀操作、坐标系及参数设置	155
二、零件图的工艺性分析	95	第二节 数控铣床的编程指令	157
三、进给路线的确定	99	一、准备功能 G 指令	157
四、数控铣削刀具的选择	101	二、辅助功能 M 指令	159
五、数控铣削切削用量的选择	106	三、F、S、T、D、H 指令	160
六、典型零件的数控铣削加工工艺分析		四、数控铣床的基本编程方法	162
举例	106	五、固定循环	168
第四节 数控机床加工程序编制		第三节 数控铣床的编程实例	183
基础	108	复习思考题	188
一、数控机床的坐标系	108	第七章 加工中心编程与加工	190
二、数控机床编程基础	109	第一节 加工中心 (FANUC Oi 系统)	
复习思考题	111	操作面板功能	190
第五章 数控车床编程与加工	113	一、加工中心的基本构成和特点	190
第一节 数控车床操作面板功能		二、控制面板功能 (用户面板)	191
及操作	113	三、加工中心的操作步骤	194
一、数控车床的结构参数	113	第二节 加工中心的编程指令	197
二、数控车床的数控操作装置及其		第三节 加工中心的编程实例	199
功能	114	一、风冷型柴油发动机侧盖与壳体接	
三、控制软件操作界面和菜单结构	115	合面的加工	199
四、手动位置调整及 MDI 操作	116	二、风冷型柴油发动机壳体 45°斜面的	
五、数控车床坐标系统的设定	117	加工	201
六、刀具装夹与对刀调整	118	复习思考题	205
第二节 数控车床的编程指令	119	第八章 Pro/Wildfire 软件自动编程	206
一、辅助功能 M	119	第一节 Pro/Wildfire 软件 CAM 界面	
二、主轴功能 S、进给功能 F 和刀具		介绍	206
功能 T	120	一、Pro/Wildfire 软件介绍	206
三、G 功能	120	二、Pro/Wildfire 初始化加工环境	207
第三节 教学案例	132		

三、Pro/Wildfire 加工环境简介	207	一、创建 NC 组件, 设定参照模型与 工件	214
四、Pro/Wildfire 制造过程	208	二、创建工作单元	214
第二节 Pro/Wildfire 加工的相关 基本概念	209	三、定义刀具	216
一、加工中使用到的模型	209	四、创建“端面”序列	218
二、设计模型、工件与制造模型	209	五、创建“体积块”铣削序列	224
三、NC 铣削序列	211	六、使用 VERICUT 刀路模拟器模拟实际 加工	227
第三节 Pro/Wildfire 自动编程 实例	213	参考文献	230

第一章 数控机床概论

教学目标

了解数控机床的工作原理、组成、分类、功能和应用范围。

了解数控机床的产生和发展趋势。

掌握数控机床的机械传动系统。

教学方法

课堂用图片、Flash 动画、视频多媒体课件讲解，中间穿插到数控实训基地现场讲解。

课时安排

理论课时 8 学时，现场教学 2 学时。

第一节 数控机床的组成

一、数控机床的工作原理

数控机床是数字控制机床（Numerical Control Machine Tool）的简称，它采用数字化信号对数控设备进行控制，使其产生各种规定的运动和动作。利用数控技术可以将生产过程用某种语言编写的程序来描述，将程序以数字形式送入计算机或专用数字计算装置进行处理、输出，并控制生产过程中相应的执行对象，从而使生产过程能在无人干涉的情况下自动进行，实现生产过程自动化。

数控机床源于美国，1952 年美国麻省理工学院和帕森斯公司合作，研制成功了世界上第一台具有信息存储和处理功能的数控机床。我国从 1958 年开始研制数控机床，1975 年成功研制出第一台加工中心。随着科学技术，特别是电子技术及计算机技术的不断发展，数控机床不断更新换代。数控技术不仅应用于车削、镗铣、磨削、线切割、电火花、锻压、激光及其他特殊用途的数控机床，而且带有自动换刀的加工中心，带有自动检测、工况自动监控和自动交换工件的柔性制造单元也已经出现。

数控机床工作原理是将数控加工程序输入数控装置，再由数控装置控制机床主运动的变速、起停，进给运动的方向、速度和位移大小，以及其他诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑的起停等动作，使刀具和工件及其他辅助装置严格地按照数控加工程序规定的顺序、路程和参数进行工作，从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

二、数控机床的组成

数控机床一般由机床本体、CNC 装置、输入/输出设备、伺服单元、驱动装置、可编程程序控制器 PLC、测量装置、电气控制装置、辅助装置等部分组成，如图 1-1 所示。

1. 机床本体

机床本体是数控机床的主体，是用于完成各种切削加工的机械部分，包括床身、立柱、

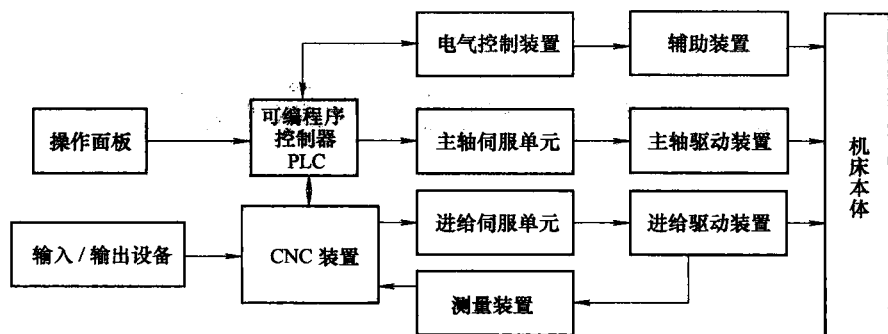


图 1-1 数控机床的基本组成

主轴、进给机构等机械部件。机床本体是被控对象，其运动的位移、速度及各种开关量是被控制的。图 1-2 所示为一台铣削加工中心。

由于切削用量大、连续加工发热量大等因素对加工精度有一定影响，加之加工过程自动控制，不能像普通机床那样由人工进行调整、补偿，所以 CNC 机床设计要求比普通机床更严格、制造要求更精密，在机床结构上采用了加强刚性、减小热变形、提高精度等措施。

2. CNC 装置

CNC 装置由硬件（通用硬件和专用硬件）和软件（专用）两大部分组成，软件在硬件支持下运行，离开软件，硬件将无法工作。

硬件一般由中央处理单元（CPU）、存储器、输入/输出（I/O）接口、MDI/CRT 接口、位置控制部分组成，如图 1-3 所示。

3. 输入/输出设备

数控机床必须接收由操作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工作过程中，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，输入的加工程序并非完全正确，经常需要进行编辑、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，由数控系统中的输入/输出设备完成。

键盘和显示器是数控系统不可缺少的人机交互设备，操作人员可通过键盘输入程序、编辑修改程序和发送操作命令。手动数据输入 MDI（Manual Data Input）是最重要的输入方式

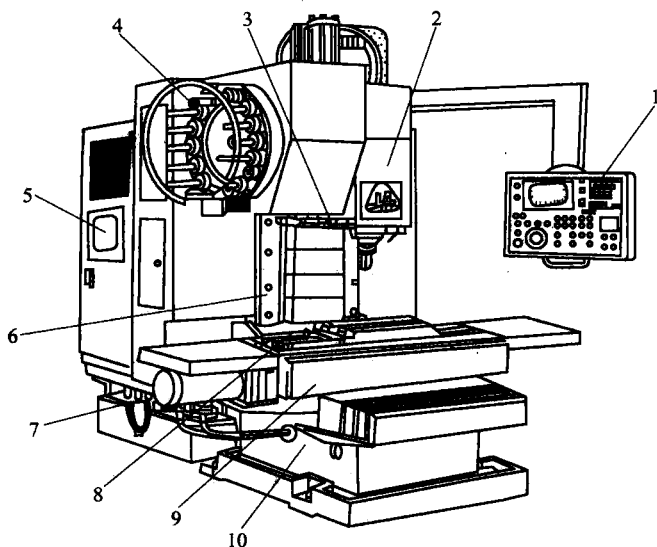


图 1-2 铣削加工中心

- 1—操纵面板 2—主轴箱 3—机械手 4—刀库 5—数控柜
6—立柱 7—润滑油箱 8—工作台 9—滑板 10—床身

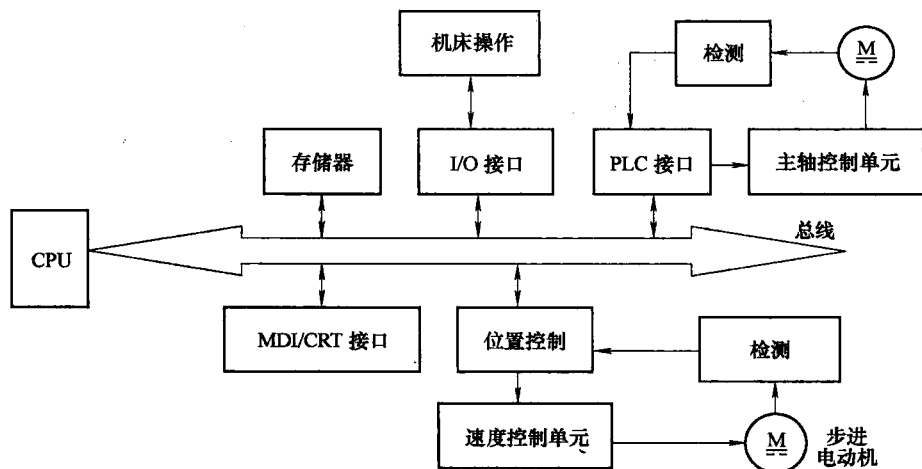


图 1-3 CNC 结构框图

之一，键盘是 MDI 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，显示的字符信息量很有限；较高级的系统配有 CRT 显示器或液晶显示器 LCD，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一般存放到穿孔纸带、磁带、磁盘或光盘上，由纸带阅读机、磁带机、磁盘驱动器或光盘驱动器输入数控系统。纸带阅读机、磁带机和磁盘驱动器是数控机床的典型输入设备。

数控机床的程序，除通过上述的键盘、穿孔纸带、磁带和磁盘输入外，还可以通过串行通信方式输入。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。

4. 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。按接收指令不同形式可将伺服单元分为脉冲式和模拟式，按电源种类又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。

5. 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，保证能够加工出符合图样要求的零件。对应于伺服单元，有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等不同种类的驱动装置。

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是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。

6. 可编程序控制器

可编程序控制器 PC (Programmable Controller) 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,故也称为可编程序逻辑控制器 PLC (Programmable Logic Controller),当 PLC 用于控制机床顺序动作时,称为可编程序机床控制器 PMC (Programmable Machine Controller)。通常用 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 负责完成与逻辑控制有关的各种动作,没有轨迹上的要求。PLC 接受 CNC 控制代码 M (辅助功能)、S (主轴转速)、T (选刀、换刀) 等顺序动作信息,对其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 分两类,一类是 CNC 生产厂家为实现数控机床顺序控制,而将 CNC 和 PLC 综合设计的内装型(或集成型) PLC,这种 PLC 是 CNC 装置的一部分;另一类是由专门生产厂家开发的 PLC 系列产品,即独立型(或外装型) PLC。

7. 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,与指令值比较如果存在误差,则控制工作台向消除误差的方向移动。根据数控系统有无检测装置可将其分为开环、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。

8. 电气控制装置

数控机床的电气控制装置是数控装置和机床机械、液压部件之间的控制系统。其主要作用是接收数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号,经必要的编译,逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件,以完成指令所规定的动作。此外,开关信号也经它送数控装置进行处理。目前的数控系统中,电气控制装置的部分功能已经由 PLC 来完成。

9. 辅助装置

辅助装置的作用是保证数控机床功能的充分发挥,安全、方便地使用数控机床。它主要包括换刀、冷却、排屑、防护、照明等一系列装置。

第二节 数控机床的分类与功能

数控机床的种类很多,分类方法不一。根据数控机床的功能和组成,可以从以下几个不同的角度进行分类。

一、按加工工艺类型分类

1. 金属切削类数控机床

与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工机床相对应的数控机床有数控车床、铣床、钻床、磨床、齿轮加工机床等。尽管这些数控机床在加工工艺方法上存在很大差别,具体的控制方式也各不相同,但它们都具有很好的精度一致性、较高的生产率和自动化程度。

在普通数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置就成为数控加工中心。加工中心进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。例如铣、镗、钻加工中心,是在数控铣床上

增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置形成的,工件一次装夹后,可以对其大部分加工面进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工,特别适合箱体类零件的加工。加工中心可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差,减少了机床数量和占地面积,缩短了辅助时间,大大提高了生产效率和加工质量。

2. 特种加工类数控机床

除了切削加工数控机床以外,数控技术也大量用于数控电火花线切割机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等。

3. 金属成形类数控机床

金属成形类数控机床常见的有数控压力机、数控剪板机和数控折弯机等。

二、按运动轨迹分类

数控机床按其刀具与工件相对运动的方式,可以分为点位控制、直线控制和轮廓控制。

1. 点位控制系统 (见图 1-4a)

点位控制方式就是刀具与工件相对运动时,只控制从一点运动到另一点的准确性,而不考虑两点之间的运动路径和方向。这种控制方式多应用于数控钻床、数控冲床、数控坐标镗床和数控点焊机等。

2. 直线控制系统 (见图 1-4b)

直线控制方式就是刀具与工件相对运动时,除控制从起点到终点的准确定位外,还要保证平行坐标轴的直线切削运动。由于只作平行坐标轴的直线进给运动,因此不能加工复杂的工件轮廓。这种控制方式多用于简易数控车床、数控铣床、数控磨床等。

3. 轮廓控制系统 (见图 1-4c)

轮廓控制就是刀具与工件相对运动时,能对两个或两个以上坐标轴的运动同时进行控制,因此可以加工平面曲线轮廓或空间曲面轮廓。采用这类控制方式的数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心等。

三、按伺服系统分类

1. 开环控制系统

这类数控机床不带有位置检测装置,如图 1-5 所示。数控装置根据信息载体的输入指令,经控制运算,把一定数量的电脉冲信号分配给步进电动机或伺服电动机,驱动工作台或刀具移动一定的距离。机床的加工精度由电动机和传动机构的精度来保证,定位精度一般能达到 $\pm 0.02\text{mm}$ 。由于开环控制系统具有结构简单、成本较低、调试维修方便等优点,因此被广泛应用于经济型、中小型数控

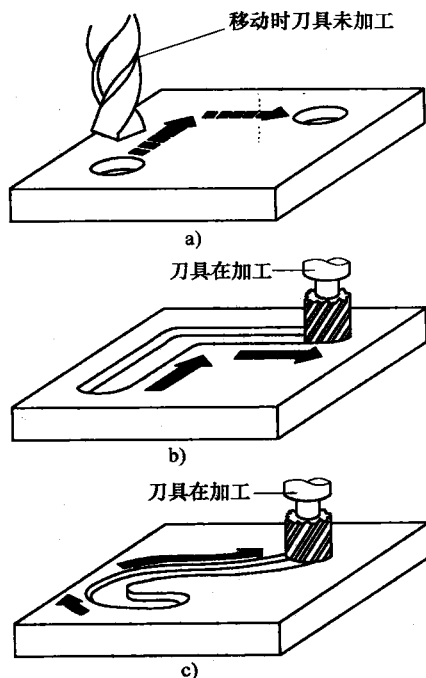


图 1-4 数控机床分类

a) 点位控制 b) 直线控制 c) 轮廓控制

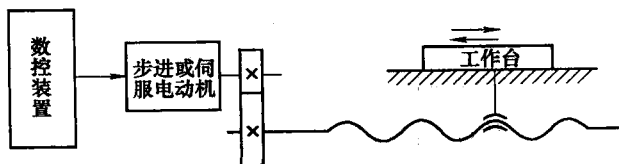


图 1-5 开环控制系统框图

机床。

2. 半闭环控制系统

半闭环控制数控机床是在开环控制数控机床的丝杠或进给电动机的轴上装有角位移检测装置，如圆光栅、光电编码器以及旋转变压器等，如图 1-6 所示。检测装置不是直接测量工作台位移量，而是通过检测丝杠或进给电动机转角间接地测量工作台位移量，然后反馈给比较器。由于丝杠螺母的传动误差无法测量，所以系统不能补偿传动机构的误差，因此，精度较闭环控制数控机床差。但由于角位移检测简单，而惯性大的移动件不包括在闭环中，所以系统有很好的稳定性，调试方便，被广泛用于中等以上精度的数控机床中。

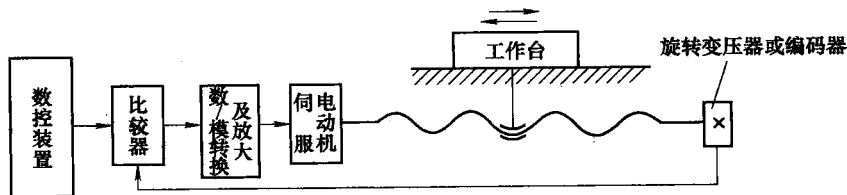


图 1-6 半闭环控制系统框图

3. 闭环控制系统

这类机床的工作台带有位置检测装置，如图 1-7 所示。检测装置能将工作台实际位移量转变成脉冲信号，输入比较器，与数控装置发来的指令位移信号进行比较，用两者的差值控制工作台向使误差减小的方向移动，直到差值为零时，进给轴停止运动。常用的位置检测装置有光栅、感应同步器、磁尺等。这种闭环控制数控机床加工精度高，但设备造价高，调试和维修较麻烦。

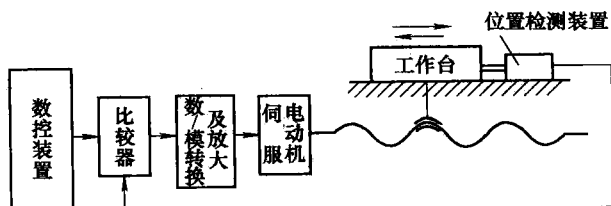


图 1-7 闭环控制系统框图

四、按功能水平分类

数控系统一般分为高级型、普及型和经济型三个档次。数控系统通常没有确切的档次界限，其参考评价指标包括：CPU 性能、分辨率、进给速度、联动轴数、通信功能和人机对话界面等。

1. 高级型数控系统

高级型数控系统采用 32 位或更高性能的 CPU，联动轴数在 5 轴以上，分辨率 $\leq 1\mu\text{m}$ ，进给速度 $\geq 24\text{m/min}$ （分辨率为 $1\mu\text{m}$ 时）或 $\geq 10\text{m/min}$ （分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ 时），采用数字化交流伺服驱动，具有 MAP（Manufacturing Automation Protocol）高性能通信接口或专用的高速以太网接口，具备联网功能，有三维动态图形显示功能。

2. 普及型数控系统

普及型数控系统采用 16 位或更高性能的 CPU，联动轴数在 5 轴以下，分辨率在 $1\mu\text{m}$ 以内，进给速度 $\leq 24\text{m/min}$ ，可采用交、直流伺服电动机驱动，具有 RS232 或 DNC 通信接口，有 CRT/LCD 字符显示和平面线性图形显示功能。

3. 经济型数控系统

经济型数控系统采用 8 位 CPU 或单片机控制, 联动轴数在 3 轴以下, 分辨率为 0.01mm, 进给速度在 6~8m/min, 采用步进电动机驱动, 具有简单的 RS232 通信接口, 用数码管或简单的 CRT/LCD 字符显示。

五、按可控制联动的坐标轴分类

所谓数控机床可控制联动的坐标轴, 是指数控装置控制几个伺服电动机, 同时驱动机床移动部件运动的坐标轴数目。

1. 两坐标联动

数控机床能同时控制两个坐标轴联动 (见图 1-8), 即数控装置同时控制 X 和 Z 方向运动, 可用于加工各种曲线轮廓的回转体类零件, 或机床本身有 X 、 Y 、 Z 三个方向的运动, 数控装置只能同时控制两个坐标 (见图 1-9), 实现两个坐标轴联动, 但在加工中可实现坐标平面的变换, 可加工图 1-10a 所示的零件沟槽。

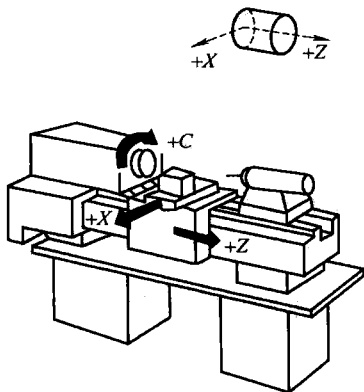


图 1-8 卧式车床

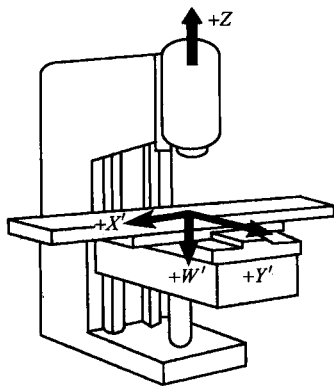


图 1-9 立式升降台铣床

2. 三坐标联动

数控机床能同时控制三个坐标轴联动 (见图 1-9), 此时, 铣床称为三坐标数控铣床, 可用于加工曲面零件, 如图 1-10b 所示。

3. 两轴半坐标联动

数控机床本身有三个坐标能作三个方向的运动, 但控制装置只能同时控制两个坐标, 而第三个坐标只能作等距周期移动, 可加工图 1-10c 所示的空间曲面零件。数控装置在 ZOX 坐标平面内控制 X 、 Z 两坐标联动, 加工垂直面内的轮廓表面, 控制 Y 坐标作定期等距移动, 即可加工出零件的空间曲面。

4. 多坐标联动

数控机床能同时控制四个以上坐标轴联动。多坐标数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂, 主要用于加工形状复杂的零件。五轴联动铣床加工曲面形状零件如图 1-10d 所示。

六、按数控装置的类型分类

1. 硬件数控

早期的数控装置基本上都属于硬件数控 (NC) 类型, 主要由固化的数字逻辑电路处理

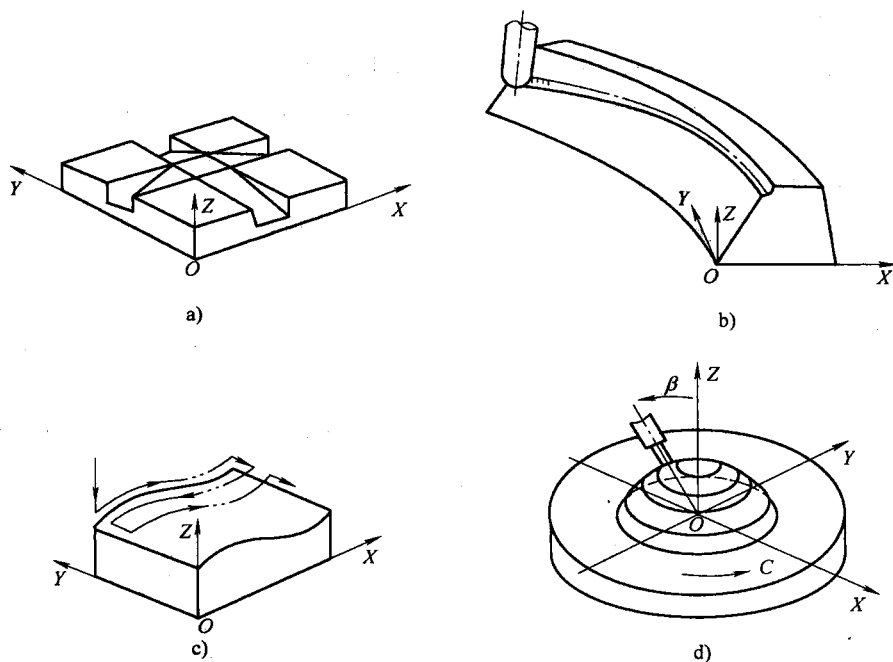


图 1-10 空间平面和曲面的数控加工

a) 两轴沟槽面加工 b) 三轴联动曲面加工 c) 两轴半联动曲面加工 d) 五轴联动铣床加工曲面

数字信息，于 20 世纪 60 年代投入使用。由于功能少，线路复杂和可靠性低等缺点已经被淘汰，因而这种分类没有实际意义。

2. 计算机数控

用计算机处理数字信息的计算机数控 (CNC) 系统于 20 世纪 70 年代初期投入使用。随着微电子技术的迅速发展，微处理器功能越来越强、价格越来越低，现在数控系统的主流是微机数控系统 (MNC)。根据数控系统微处理器 (CPU) 的多少，可分为单微处理器数控系统和多微处理器数控系统。

第三节 数控机床的机械传动系统

一、数控机床的进给运动系统

数控机床进给传动装置的传动精度、灵敏度和稳定性将直接影响工件的加工精度，因此，常采用各种不同于传统机床的结构，以提高传动刚度、减小摩擦阻力和运动惯量，避免伺服机构失步和产生反向死区。例如，采用滚动导轨、塑料导轨或静压导轨代替普通滑动导轨，用滚珠丝杠螺母机构代替普通的滑动丝杠螺母机构，以及采用可消除间隙的齿轮传动副和键联结等。

1. 滚珠丝杠螺母机构

在数控机床床上，将回转运动转换为直线运动一般都采用滚珠丝杠螺母机构，因其具有摩擦阻力小，传动效率高，运动灵敏，无爬行现象，可进行预紧以实现无间隙传动，传动刚度，反向时无空程死区等特点。

滚珠丝杠螺母机构的工作原理如图 1-11 所示。在丝杠 1 和螺母 4 上各加工有圆弧形螺旋槽，将它们套装起来便形成螺旋形滚道，在滚道内装满滚珠 2。当丝杠相对螺母旋转时，丝杠的螺旋面经滚珠推动螺母轴向移动，同时滚珠沿螺旋形滚道滚动，使丝杠和螺母之间的滑动摩擦转变为滚珠与丝杠、螺母之间的滚动摩擦。螺母螺旋槽的两端用回珠管 3 连接起来，使滚珠能够从一端重新回到另一端，构成一个闭合的循环回路。为了消除丝杠和螺母之间的轴向间隙，并进行适当预紧，机床上通常都采用双螺母机构，如图 1-12 所示。结构相同的两个单螺母 1 和 2 装在螺母座 3 的孔中，通过垫片、螺母等调整间隙，螺母座则固定在工作台等运动部件上。

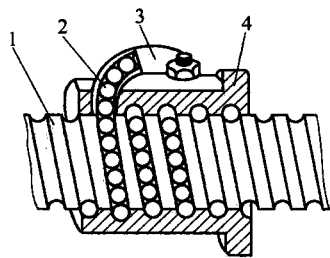


图 1-11 滚珠丝杠螺母机构的工作原理
1—丝杠 2—滚珠 3—回珠管 4—螺母

图 1-12a 所示为垫片调隙式双螺母结构。两个单螺母用螺钉固定在螺母座上，通过修磨垫片 4 的厚度，使螺母 2 相对于螺母 1 产生一定轴向位移，即可消除间隙，并获得所需预紧量。

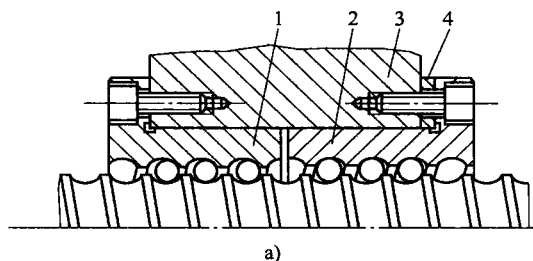


图 1-12b 所示为螺纹调隙式双螺母结构。平键 5 限制单螺母 1 和 2 在螺母座中的转动，螺母 1 用螺钉固定在螺母座上，调整螺母 6 可使螺母 2 产生一定轴向位移量，从而达到消除间隙和实现预紧的目的。

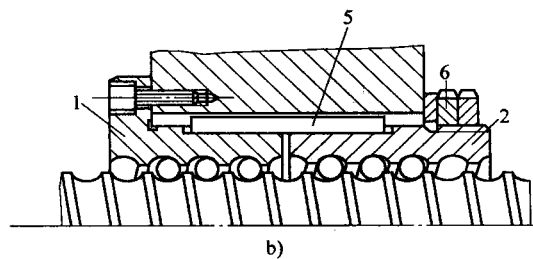


图 1-12c 所示为齿差调隙式双螺母结构。在单螺母 1 和 2 的凸缘上各制有外圆柱齿轮，其齿数分别为 z_1 、 z_2 ，且两者的差值 $\Delta z = z_1 - z_2 = 1$ 。在螺母座的左、右端面上，用螺钉和销钉固定着内齿扇 7 和 8，分别与两螺母上的外齿轮啮合。轴向间隙可通过两螺母相对转过一定角度而加以调整，调整方法如下：先在螺母与内齿扇端面上作记号以标明原来的相对位置，然后松开内齿扇的紧固螺钉，并将其向外拉出（由销钉导向以保持其周向位置不变），使其与螺母上齿轮脱开，此时可根据间隙与所需预紧力大小，将螺母转过一定齿数，使螺母上的螺母槽相对丝杠的螺旋槽轴向移动相应的距离，从而使间隙得以调整。调整妥当后，重新将内齿扇向里推入，并紧固。调整时，如果只将一个螺母转过一齿，则间隙调整量 $\Delta = L/z_1$ 或 $\Delta = L/z_2$ （ L 为丝杠导程，单位为 mm）。如需微量调整，可将两个螺母同向各转过一齿，此时间隙调整量 $\Delta = L/(z_1 z_2)$ 。设 z_1 、 z_2 分别为 99 和 100，

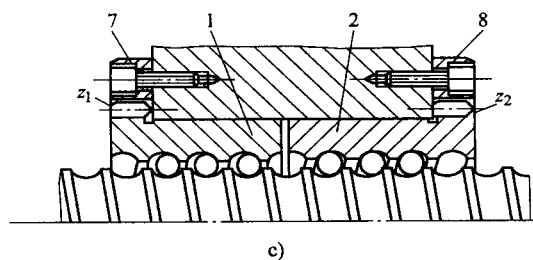


图 1-12 滚珠丝杠螺母机构的调整结构
1、2—单螺母 3—螺母座 4—调整垫片 5—平键
6—调整螺母 7、8—内齿扇

丝杠导程 $L=10\text{mm}$, 则可以获得最小间隙调整量 $\Delta = 10 / (99 \times 100) \text{ mm} \approx 0.001\text{mm}$ 。由于这种调整结构能非常可靠地获得精确的调整量, 因而在数控机床上广泛应用。

2. 齿隙补偿机构

数控机床的进给传动装置中, 齿轮和蜗轮的齿侧间隙使进给运动滞后于指令信号, 反向时产生反向死区, 直接影响加工精度, 因此, 必须采取措施加以消除。

图 1-13 所示为圆柱齿轮齿侧间隙的几种调整结构。图 1-13a 所示为偏心套式间隙调整结构。将偏心套 1 转过一定角度, 可调整两齿轮的中心距, 从而得以消除齿侧间隙。图 1-13b 所示为带有锥度的齿轮间隙调整结构。两相互啮合的齿轮都制成带有小锥度, 使齿厚沿轴线方向稍有变化。通过修磨垫片 3 的厚度, 调整两齿轮的轴向相对位置, 即可消除齿侧间隙。图 1-13c 所示为斜齿圆柱齿轮轴向垫片间隙调整结构。与宽齿轮 4 同时啮合的两个薄片齿轮 6 和 7, 用键与轴相联接, 彼此不能相对转动。齿轮 6 和 7 的轮齿是拼装在一起进行加工的, 加工时在它们之间垫入一定厚度的垫片。装配到机床上时, 将比加工时所用垫片的厚度稍大或稍小的垫片 5 垫在齿轮 6 和 7 之间, 并用螺母拧紧。于是两薄片齿轮的螺旋齿产生错位, 分别与宽齿轮的左、右齿侧贴紧, 从而消除了它们之间的齿侧间隙。显然, 采用这种调整结构, 无论齿轮正转或反转, 都只有一个薄片齿轮承受载荷。

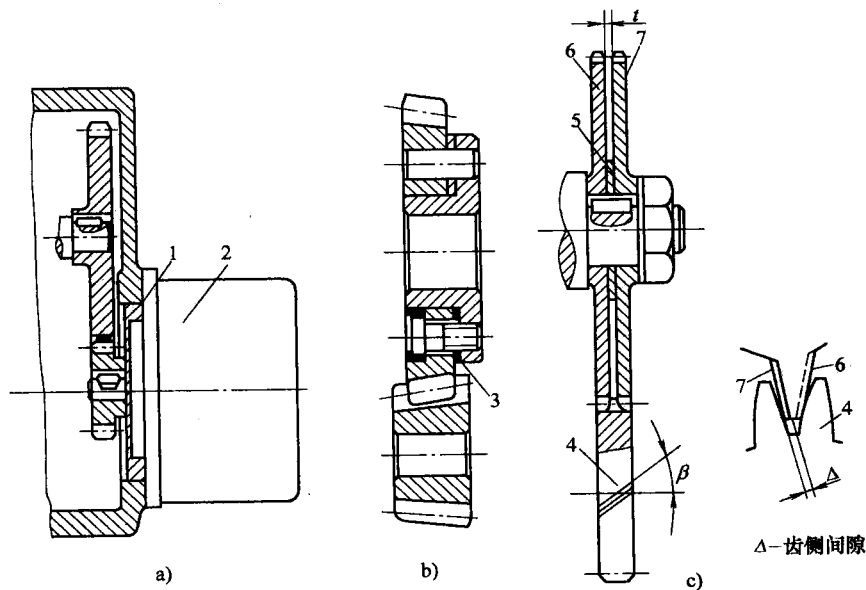


图 1-13 圆柱齿轮齿侧间隙的调整结构

1—偏心套 2—伺服电动机 3、5—垫片 4—宽齿轮 6、7—薄片齿轮

上述几种齿侧间隙调整方法, 结构比较简单, 传动刚度好, 但调整之后间隙不能自动补偿, 且必须严格控制齿轮的齿厚和齿距公差, 否则将影响传动的灵活性。

图 1-14 所示为齿侧间隙可自动补偿的调整结构。将相互啮合的一对齿轮中的一个做成两个薄片齿轮 7 和 8, 两薄片齿轮套装在一起, 彼此可作相对转动。两个齿轮的端面上, 分别装有螺纹凸耳 5 和 6, 拉簧 1 的一端钩在凸耳 6 上, 另一端钩在穿过凸耳 5 通孔的螺钉 4 上。在拉簧的拉力作用下, 两薄片齿轮的轮齿相互错位, 分别贴紧在与之啮合的齿轮 (图