



高等职业教育“十二五”规划教材

数控机床与系统

罗永新◎主编



化学工业出版社



中华人民共和国教育部
推荐教材

数控机床与系统

第2版

机械工业出版社

高等职业教育“十二五”规划教材

数控机床与系统

罗永新 主编

王新德 杨志勤 赵北辰 杨 斌 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书分别介绍了数控机床的整体结构、机床技术指标、数控系统的结构及原理、主运动系统结构、进给运动系统结构、典型数控系统、典型数控机床。为方便教学，配有学习目标，重点学习任务有核心提示，指出了学习要求，并安排了一定量的思考训练习题。另外，配套电子课件。

本书可作为高职高专院校、成人高校、中等职业学校机械类、机电类等相关专业的教材，也可以作为行业培训用书，并可供相关从业人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床与系统/罗永新主编. —北京: 化学工业出版社, 2012.8

高等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-14780-6

I. ①数… II. ①罗… III. ①数控机床 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 148005 号

责任编辑: 韩庆利

文字编辑: 张燕文

责任校对: 陈 静

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 三河市永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 297 千字 2012 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是面向高职高专学生的教材，试图按高职高专学生的认知规律揭示数控机床的机械结构和数控系统，体现“在学中做、在做中学”的教学方式，按项目分任务编写教学内容。全书共分7个项目，分别介绍了数控机床的整体结构、机床技术指标及机械精度、数控系统的结构及原理、主运动系统结构、进给运动系统结构、典型数控系统、典型数控机床。每个项目有学习目标，重点学习任务有核心提示，指出了学习要求，并安排了一定的思考训练习题。

按本教材组织教学，建议课时为90学时左右，分配可以参看下表。

项 目	学 时	项 目	学 时
项目一	20 学时	项目五	8 学时
项目二	8 学时	项目六	6 学时
项目三	26 学时	项目七	6 学时
项目四	12 学时	考核+机动	2+2 学时

课程改革是教学改革的核心，也是教学改革的难点。教材是课程的重要载体，是教学内容和教学方法具体实施的重要媒介，体现了课程改革的程度，本教材试图表达这一观念。

本教材由罗永新老师主编，湖南工业职业技术学院的王新德、杨志勤，怀化职业技术学院的赵北辰、杨斌副主编，参编的还有湖南工业职业技术学院的陈波、张云，郑州职业技术学院邢勇，无锡工艺职业技术学院卞新平。

本书有配套电子课件，可赠送给用本书作为授课教材的院校和老师，如有需要可发邮件至 hqlbook@126.com 索取。

由于编者水平有限，书中难免存在不足和疏漏，还请读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 数控机床的主机结构 1

1.1 数控机床的整机结构与布局	1
1.1.1 核心任务	1
1.1.2 数控机床的组成	1
1.1.3 数控机床的工作原理	5
1.1.4 数控机床的分类	7
1.1.5 数控机床的布局	9
1.2 数控机床机械传动机构	12
1.2.1 核心任务	12
1.2.2 数控机床的机械传动方式	13
1.2.3 滚珠丝杠螺母副	14
1.2.4 滚珠丝杠螺母副的安装与调整操作	22
1.3 数控机床的床身与导轨	23
1.3.1 核心任务	23
1.3.2 机床导轨	23
1.3.3 滚动导轨副的安装	28
1.3.4 机床床身	31
1.4 数控机床的刀具夹持机构	33
1.4.1 核心任务	33
1.4.2 数控车床的刀架	33
1.4.3 数控铣床、加工中心机床的刀具夹持机构	36
思考与练习题	42

项目二 数控机床的技术指标及机床精度检验 43

2.1 核心任务	43
2.2 金属切削机床通用技术条件与数控机床验收	43
2.2.1 金属切削机床通用技术条件	43
2.2.2 数控机床的验收	44
2.3 数控机床几何精度	52
2.3.1 数控车床几何精度指标	52
2.3.2 数控铣床几何精度指标	52
2.4 数控机床工作精度检验	52
2.4.1 数控车床工作精度检验	52

2.4.2 数控铣床工作精度检验	53
思考与练习题	55

项目三 数控机床的进给伺服系统 56

3.1 十字滑台的装配与调试	56
3.1.1 核心任务	56
3.1.2 装配步骤	57
3.2 数控伺服电机	61
3.2.1 核心任务	61
3.2.2 步进电机	61
3.2.3 直流伺服电机	65
3.2.4 交流伺服电机及其调速	66
3.3 步进电机开环伺服系统	68
3.3.1 核心任务	68
3.3.2 结构和工作原理	68
3.3.3 增量式插补原理	72
3.4 数控机床进给交流伺服系统	78
3.4.1 核心任务	79
3.4.2 数控机床交流伺服系统	79
3.4.3 数据采集插补原理	82
3.5 数控机床的位置检测装置	88
3.5.1 核心任务	88
3.5.2 旋转变压器	88
3.5.3 感应同步器	90
3.5.4 光栅	92
3.5.5 脉冲编码器	96
思考与练习题	99

项目四 数控机床的主运动系统 100

4.1 数控机床的主运动系统功能	100
4.1.1 核心任务	100
4.1.2 数控机床对主运动系统的要求	100
4.1.3 数控机床主运动系统的功能	101
4.2 数控机床主轴部件	105
4.2.1 核心任务	105
4.2.2 主轴部件	105
4.2.3 刀杆自动拉紧放松机构	110
4.3 主运动的调速系统	111
4.3.1 核心任务	111

4.3.2 主传动系统图及数控机床主传动系统形式	112
4.3.3 数控机床主轴的变频调速	115
思考与练习题	123

项目五 数控系统 124

5.1 数控系统的结构与工作原理	124
5.1.1 核心任务	124
5.1.2 CNC装置的组成和功能	124
5.1.3 数控系统的计算机硬件结构	126
5.1.4 CNC系统的软件	127
5.1.5 数控系统的人机交互	132
5.2 接口电路	134
5.2.1 核心任务	134
5.2.2 接口电路的作用及类型	134
5.2.3 常见接口	136
思考与练习题	143

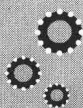
项目六 典型数控系统 145

6.1 FANUC系统	145
6.2 SIEMENS系统	148
6.3 华中数控系统	151
思考与练习题	157

项目七 典型数控机床 158

7.1 典型数控车床	158
7.1.1 典型数控车床的结构	158
7.1.2 典型数控车床系统	165
7.2 典型数控铣床	165
7.3 典型加工中心	169
7.3.1 加工中心的类型	169
7.3.2 JCS-018A立式加工中心	171
7.4 数控机床的操作规程	178
思考与练习题	180

参考文献 181



项目一 数控机床的主机结构

【知识目标】

- 了解数控机床的组成、分类方法，熟悉掌握数控机床各部件名称。
- 了解数控机床的布局形式和特点。
- 学会分析数控机床与普通机床结构上的差异。
- 掌握数控机床主机主要机械结构。

【技能目标】

- 能够从加工方式上、驱动轴上区分各种数控机床，并命名。
- 学会数控机床滚珠丝杠副的安装与调整；学会机床导轨的安装与调整。
- 掌握方刀架的拆装。

1.1 数控机床的整机结构与布局

1.1.1 核心任务

① 数控机床由哪几部分组成？数控机床的机械结构主要有哪些零部件？请在数控车床、数控铣床和加工中心上指认出来。

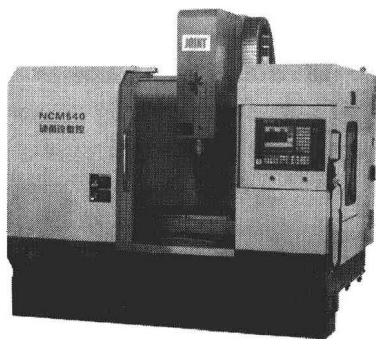
② 数控机床的机械结构和普通机床的相应机械结构有什么不同？请以车床主传动系统为例说明。

③ 了解数控机床的分类方法，并分析各类机床的布局形式和特点。

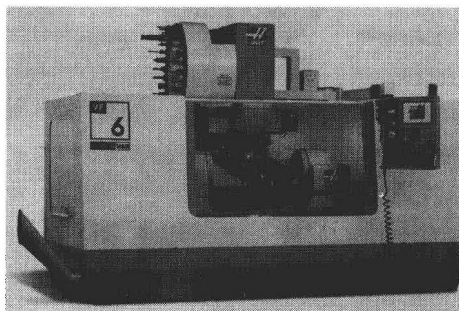
④ 了解数控机床的基本工作过程。

1.1.2 数控机床的组成

数控机床是应用计算机控制，实现零件自动化加工过程的机床。由于控制过程是由数字控制程序实现的，所以称为数控机床，英文名称为 Computer Numerical Control Tools，缩



(a) 数控铣床



(b) 加工中心

图 1-1

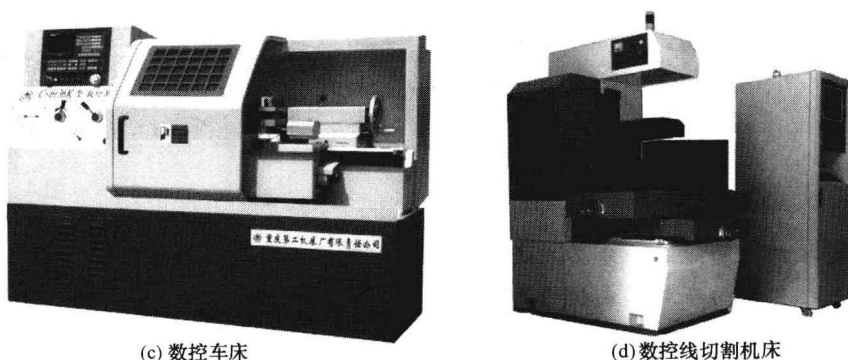


图 1-1 数控机床实例

写简称 CNC 机床。图 1-1 列举了四类常见的数控机床，图 1-2 是两类数控机床主机外观组成，图 1-3 为数控机床内部系统的组成结构示意图。从数控机床的工作原理上看，一般把数控机床分成以下几个部分。

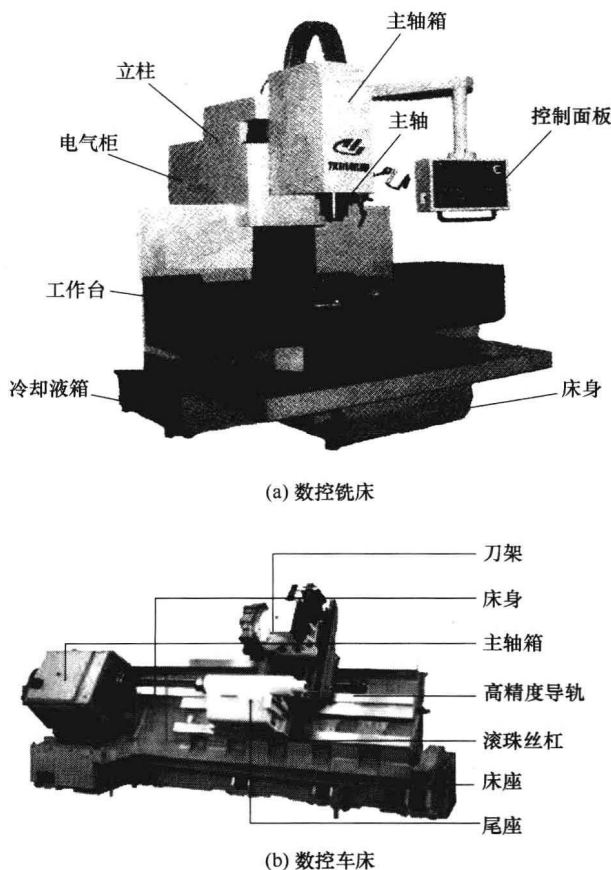


图 1-2 机床本体主要组成部分

(1) 输入输出装置

操作面板、手轮、磁盘机、网络通信设备、串行通信装置等是现代数控机床的典型输入操作设备。数控系统一般配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器，显示的信息较丰富，多数

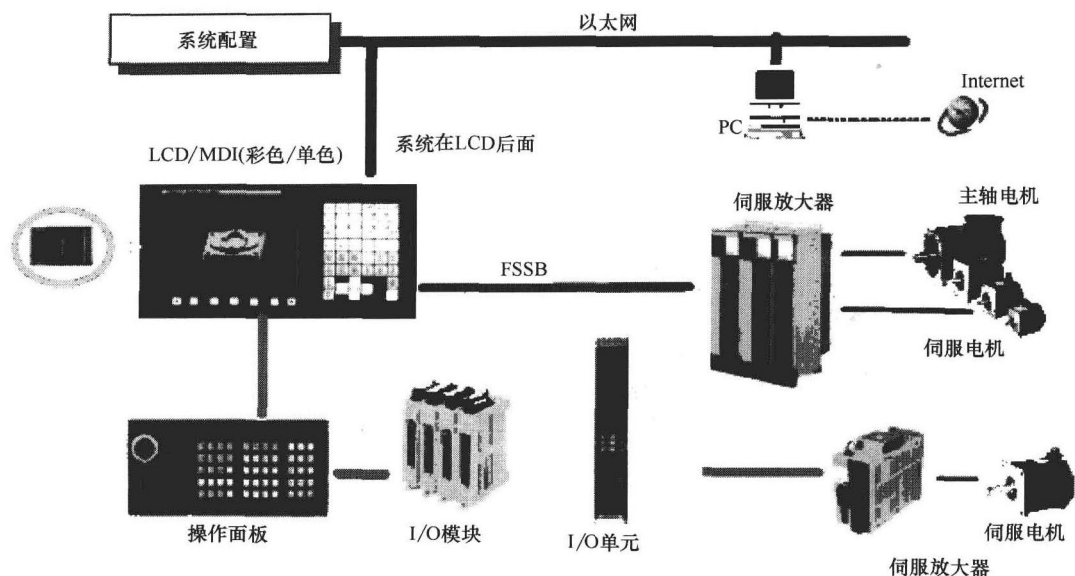


图 1-3 数控机床的系统组成

有图形显示功能，是计算机控制机床的主要信息输出设备。系统还通过设置一些专门的指示灯、报警器等来输出机床的操作信息与警报功能。输入输出装置如图 1-4 所示。

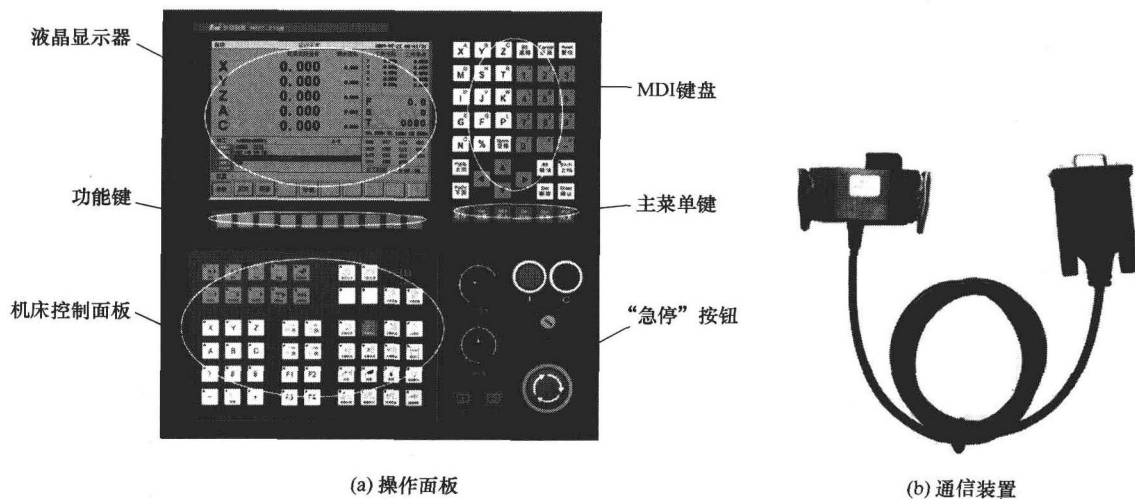
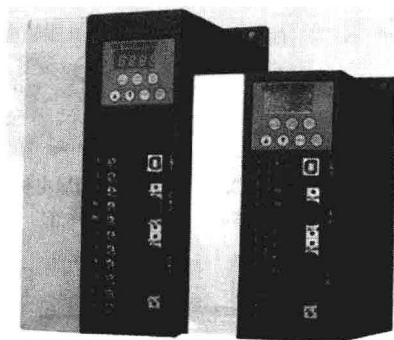


图 1-4 输入输出装置

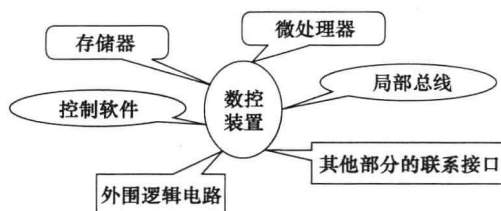
(2) 数控装置

数控装置是数控机床的控制中心。数控装置主要由计算机主机、可编程控制器、输入输出接口电路等硬件部分和软件组成，如图 1-5 所示。软件主要有操作系统、数控系统和应用程序等，其功能是对输入装置输入的操作和数控加工程序（NC 程序）进行识别、存储，运算、传送控制，依据 NC 程序的运动要求进行插补运算，输出相应的指令脉冲以控制进给伺服系统和主轴控制系统，进而控制机床动作，并可通过测量反馈装置来修正控制指令。现代数控机床普遍采用计算机控制，所以也称 CNC 控制装置。数控装置有以下主要功能：控制功能，指能够控制的进给轴数及同时控制（即联动）的进给轴数，控制轴数有 2 轴、3 轴、

4 轴、5 轴，可多达 24 轴，同时控制轴数可以是 2 轴、3 轴直至 6 轴；准备功能，也称 G 功能，包括机床基本移动、平面选择、坐标设定、刀具补偿、程序暂停、基准点返回、固定循环、米-英制转换等，其中机床移动功能是应用插补原理实现的；此外，还有字符、图形显示功能，诊断功能，通信功能等。



(a) 数控装置实体图



(b) 数控装置的组成框图

图 1-5 数控装置

(3) 进给伺服系统

进给伺服驱动系统由伺服控制电路、功率放大电路和伺服电机以及进给传动机械装置组成，其结构工作原理如图 1-6 所示。它接受来自数控系统发出的脉冲信号，转换为机床移动部件的运动，使工作台或刀架精确地按加工要求作进给运动，最后加工出符合图纸要求的零件。

CNC 机床常用的伺服电机有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机。为了协调传动关系，或为了控制驱动结果，直流伺服电机和交流伺服电机进给驱动系统均有测量反馈装置，测量元件主要有光电编码器、测速发电机、旋转变压器、光栅等位置测量和速度测量元件。数控机床的伺服系统按其反馈控制方式分为开环控制系统、半闭环控制系统和闭环控制系统三大类，步进电机驱动一般为开环系统，多在经济型简易 CNC 机床上采用。

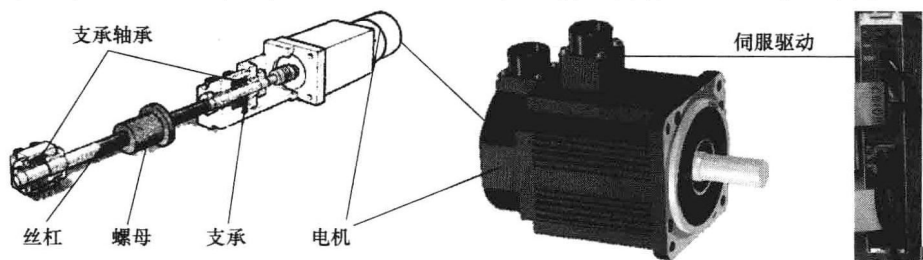


图 1-6 进给伺服驱动系统结构工作原理

(4) 主轴控制系统

主轴控制系统主要由主轴箱及主轴传动装置、主轴控制单元、主轴驱动电机等部分组成，如图 1-7 所示。主轴驱动系统是数控机床的大功率执行机构，其功能是接受数控系统 (CNC) 的 S 速度指令码及 M 码辅助功能指令，驱动主轴进行切削加工。CNC 数控机床的主轴驱动有很大的调速范围，一般采用低速恒转矩、高速恒功率的输出方式，满足对零件加工工艺的切削主运动要求。加工中心则还要求主轴有准停功能，以实现自动换刀和满足镗孔的要求。

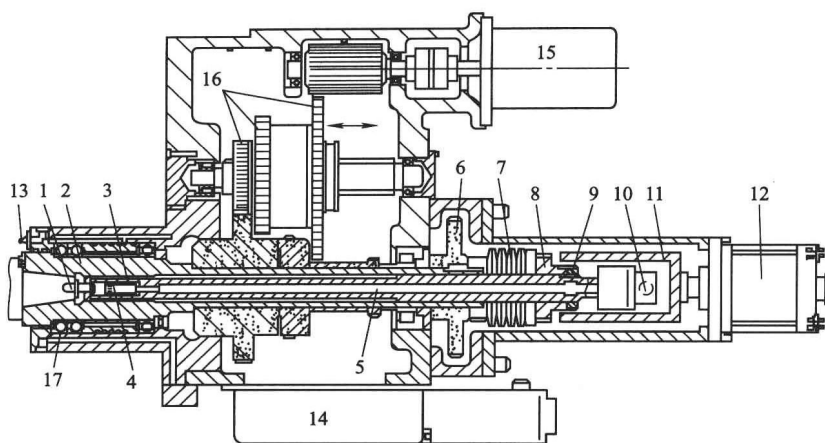


图 1-7 主轴控制单元的结构

1—拉钉；2—主轴；3—弹性卡爪；4—喷气嘴；5—拉杆；6—定位凸轮；7—碟形弹簧；8—轴套；
9—固定螺母；10—旋转接头；11—推杆；12—液压缸；13—冷却液喷嘴；14—油底壳；
15—交流伺服电机；16—换挡齿轮；17—主轴轴承（填充润滑脂）

(5) 机床本体

机床本体由主传动机构、进给传动机构、床身及工作台以及辅助运动机构、液压气动系统、润滑系统、冷却机构等组成。有些数控机床还配备了特殊的部件，如刀库、自动换刀装置等，如图 1-2 所示。数控机床本体的结构与传统的机床相比，其整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面都已发生了很大的变化，其中数控机床的主运动传动机械结构、进给运动机械结构要简单得多，但机床刚性好，机床零部件的精度要高得多，进给传动系统采用滚珠丝杠代替普通机床的丝杠和齿条传动，主轴变速系统普遍采用变频调速和伺服控制，传动效率更高。

1.1.3 数控机床的工作原理

(1) 加工程序的输入

将编写好的程序通过控制面板或磁盘或连接上级计算机的 DNC 接口、网络等输入，把数控加工程序存入数控装置，如图 1-8 所示。

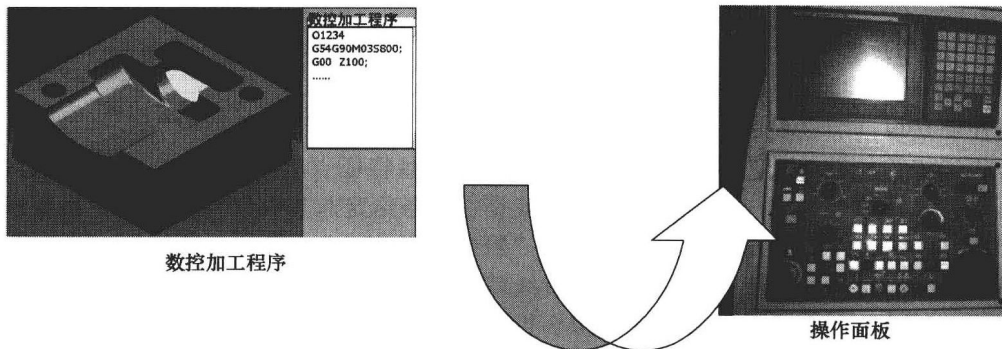


图 1-8 加工程序从面板输入

(2) 译码

数控系统将零件加工程序以一个程序段为单位进行处理，把其中的各种零件轮廓信息

(如起点、终点、直线或圆弧等)、加工速度信息(F代码)和其他辅助信息(M、S、T代码等)按照一定的语法规则解释成计算机能够识别的数据形式,并以一定的数据格式存放在指定的内存专用单元。在译码过程中,数控系统会对加工程序段进行语法检查,若发现语法错误便立即报警。图1-9是数控机床译码原理框图。

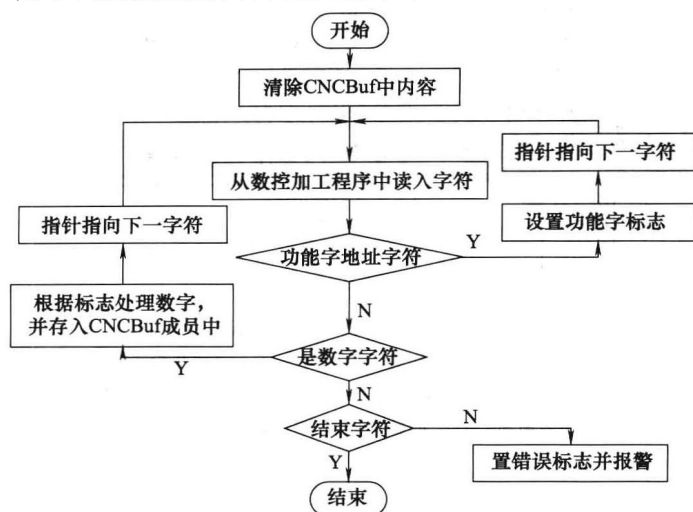


图 1-9 数控机床译码原理框图

(3) 刀具补偿

刀具补偿包括刀具长度补偿和刀具半径补偿。通常 CNC 的零件加工程序是以零件的轮廓轨迹来编程的,刀具补偿的作用就是把零件轮廓轨迹转换成刀具中心轨迹,如图 1-10 所示。刀具补偿的工作还包括程序段之间的自动转接和过切削判别,这就是 C 刀具补偿。

(4) 对进给速度进行处理

编程所设定的刀具移动速度,是在各坐标的合成方向上的速度。速度处理首先要做的工作就是按编程所设定的合成进给速度计算出各坐标轴方向运动的分速度。另外还要对机床允许的最低速度和最高速度的限制进行判别并处理。在有些 CNC 装置中,软件自动加减速也是在这里处理的。

(5) 插补

插补就是根据加工程序中给出的零件基本

几何形状和相关的设计工艺方面的信息,在已知的这些特征点之间插入一些中间点的过程。一条曲线是由无数个点组成的,插补的任务就是在一条给定起点和终点的曲线上按要求密化拟合合成折线构成这条曲线的数据点,即进行“数据点的密化”。第一,只要数控机床的最小移动量(脉冲当量)足够小,所用的拟合折线就完全可以等效代替理论曲线;第二,只要改变坐标轴的脉冲分配方式,即可以改变拟合折线的形状,从而达到改变加工轨迹的目的;第三,只要改变分配脉冲的频率,就可以改变坐标轴(刀具)的运动速度,这样就实现了数控机床控制刀具移动轨迹的目的。显然,当数控机床的联动轴数越多,机床加工轮廓的性能就越强。因此,联动轴的数量是衡量数控机床性能的重要技术指标之一。

(6) 位置处理

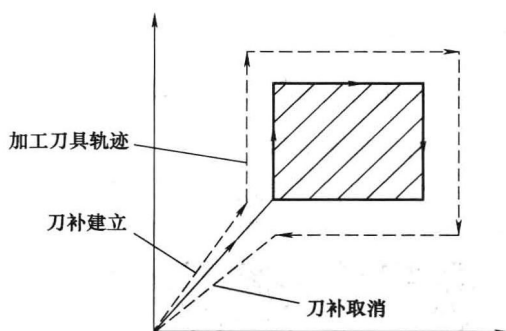


图 1-10 刀具补偿原理

根据数控装置给定的拟合折线的轨迹,给相应的坐标轴连续不断地分配进给脉冲,并通过伺服驱动使机床坐标轴按分配的脉冲运动。位置控制处在伺服回路的位置环上,这部分的工作可以由软件实现,也可以由硬件完成。它的主要任务就是在每个采样周期内,将插补计算的理论位置与实际反馈位置相比较,用其差值去控制伺服电机。在位置控制中,通常还要完成位置回路的增益调整、各坐标轴方向的螺距误差补偿和反向间隙补偿,以提高机床的定位精度。

(7) I/O 处理

I/O 处理主要是处理 CNC 装置面板开关信号,机床电气信号的输入、输出和控制(如换刀、换挡、冷却等)。

(8) 显示

CNC 装置的显示主要为操作者提供方便,通常用于零件程序的显示、参数显示、刀具位置显示、机床状态显示、报警显示等。有些 CNC 中还有刀具加工轨迹的静态和动态图形显示。

(9) 诊断

诊断的任务就是监测机床的各种状态,并对出现的非正常状况进行可能的诊断、故障定位和修复。现代 CNC 都具有联机 and 脱机诊断的能力。联机诊断是指 CNC 中的自诊断程序,随时检查不正确的事件。脱机诊断是指系统不运转条件下的诊断,一般的 CNC 都配备有各种脱机诊断程序,以检查存储器、外围设备、I/O 接口等。

1.1.4 数控机床的分类

(1) 按工艺用途分类

切削加工类:数控铣床、数控车床、加工中心等。

成形加工类:数控折弯机、数控弯管机等。

特种加工类:数控线切割、激光加工机等。

其他类型:数控装配机、数控测量机。

(2) 按控制系统的特点分类

点位控制系统:如图 1-11 所示,仅能控制刀具实现精确到达工件上指定的点位置,而在相对运动的过程中不能进行任何加工的功能控制系统。

点位直线控制系统:如图 1-12 所示,不仅具有点位控制功能,而且还能实现沿某一坐标轴或两轴等速的直线移动和加工的功能控制系统。

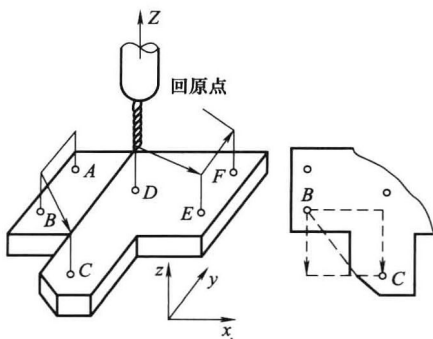


图 1-11 点位控制

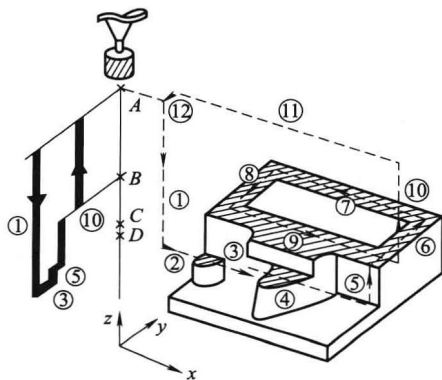


图 1-12 直线控制

轮廓控制系统：如图 1-13 所示，能实现两轴或两轴以上的联动加工，即具有实现对曲线或曲面轮廓零件加工能力的控制系统。联动就是机床上各坐标轴的运动之间有着确定的函数关系，这个函数就是零件的轮廓曲线（曲面）。

（3）按进给伺服系统的特点分类

开环控制系统：如图 1-14 所示，没有位置反馈装置的进给控制系统，信息流为单向，机床的位置精度相对闭环要差一些，但结构简单，系统稳定性易于整定，价格便宜，驱动元件主要是步进电机。

半闭环控制系统：如图 1-15 所示，与闭环系统相比，该系统位置反馈是从中间某个环节（如电机轴或丝杠轴）引入的，其结构、性能、精度均介于开环与闭环之间。

闭环控制系统：如图 1-16 所示，利用直接从执行部件上引入的位置反馈信息（实际位移量）与来自数控装置的指令信息进行比较，利用比较的结果（误差）对执行部件实施控制的系统，其控制精度较高，但调试比较复杂，多用于高精度的数控机床。

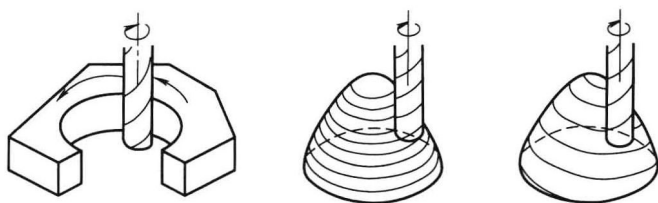


图 1-13 轮廓控制

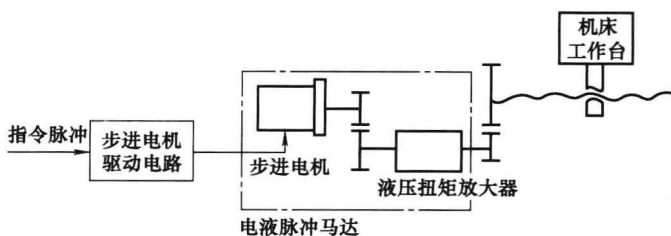


图 1-14 开环控制

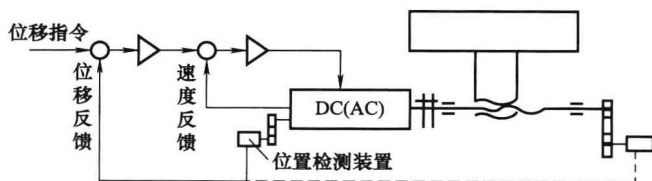


图 1-15 半闭环控制

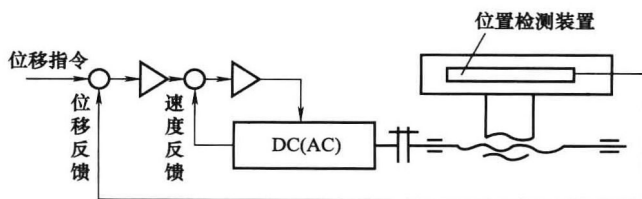


图 1-16 闭环控制

1.1.5 数控机床的布局

数控机床不同的布局形式给机床性能带来了不同的影响,从而形成不同的特点,其影响主要表现在以下方面:机床不同布局是为了适应不同的工件形状、尺寸及重量;机床不同布局会形成不同的运动分配及工艺范围;机床不同布局使机床具有不同的机床结构性能;机床不同布局有不同的操作方式,影响机床操作形式。

(1) 数控车床的结构布局

数控车床的主轴、尾座等部件相对床身的布局形式与普通车床基本一致,而床身结构、导轨和刀架的布局形式则发生了根本变化,这是因为其直接影响数控车床的使用性能及机床的结构和外观所致。

数控车床的床身和导轨结构有多种形式,主要有水平床身平导轨、水平床身斜滑板(斜导轨)、倾斜床身平滑板(平导轨)、倾斜床身斜滑板(斜导轨)以及立床身等,其布局形式如图 1-17 所示。

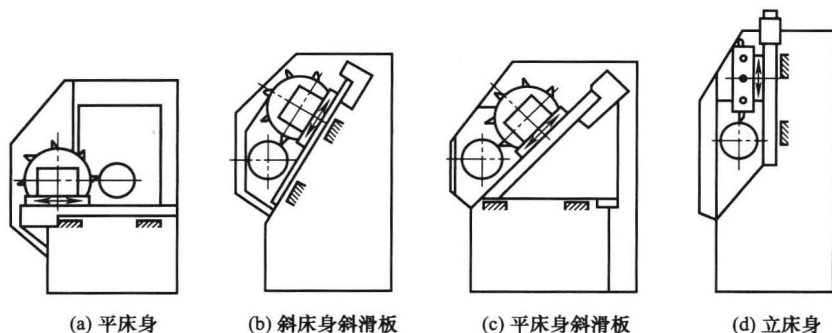


图 1-17 数控车床床身与导轨布局

水平床身的制造工艺性好,便于导轨面的加工。水平床身配上水平放置的刀架可提高刀架的运动精度,一般可用于大型数控车床或小型精密数控车床的布局。但是水平床身由于下部空间小,故排屑困难。从结构尺寸上看,刀架水平放置使得滑板横向尺寸较大,从而加大了机床宽度方向的结构尺寸。

水平床身配上倾斜放置的滑板,并配置倾斜式导轨防护罩,这种布局形式一方面有水平床身工艺性好的特点,另一方面机床宽度方向的尺寸较水平配置的滑板要小。水平床身配上倾斜放置的滑板和斜床身配置斜滑板布局形式被中、小型数控车床所普遍采用。这是由于此两种布局形式排屑容易,热铁屑不会堆积在导轨上,也便于安装自动排屑器;操作方便,易于安装机械手,以实现单机自动化,外形简洁、美观,容易实现封闭式防护。倾斜床身多采用 30° 、 45° 、 60° 、 75° 和 90° 角 (90° 称为立式床身)。倾斜角度小,排屑不便;倾斜角度大,导轨的导向性差,受力情况也差。导轨倾斜角度的大小还会直接影响机床外形尺寸高度与宽度的比例。综合考虑各种因素,中、小规格的数控车床,其床身的倾斜角度以 60° 为宜。

立床身数控车床的排屑性能最好,但立床身数控车床,车床工件重量所产生的变形方向正好沿着垂直运动方向,对精度影响最大,并且立床身结构的车床受结构限制,布置也比较困难,限制了车床的性能。

数控车床的刀架是机床的重要组成部分,车床刀架是用于夹持车削车刀的,因此,其结构直接影响机床的切削性能和切削效率,在一定程度上,刀架的结构和性能体现了数控车床的设计与制造水平。随着数控车床的不断发展,刀架结构形式也不断创新,总体来说大致可