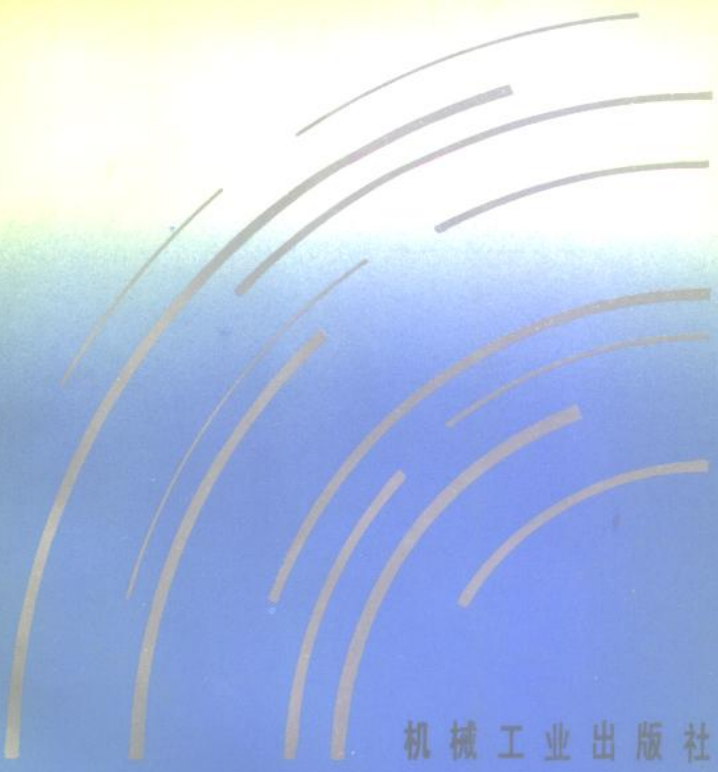


数控机床及其应用

范俊广 主编

The background of the cover features a series of concentric, curved lines in a light blue or grey color, set against a gradient background that transitions from a light yellow-green at the top to a deep blue at the bottom. On the left side, there is a small, red-outlined rectangular shape with a yellow interior.

机械工业出版社

数控机床及其应用

范俊广 主编

范俊广 刘颖 程国全
董毅 牛秀岩 编著



机械工业出版社

(京)新登字 054 号

内容简介

本书着重叙述现代数控机床的工作原理、设计理论和数控编程等。书中主要内容包括计算机数控系统 (CNC) 原理及实例, CNC 系统控制程序设计, 典型的 XK5040-1 (3MA) 型数控立式升降台铣床、CK3263 型数控转塔车床、XHK716 型立式加工中心的传动系统、主要结构和手工编程与自动编程的原理及实例, 伺服系统与交流伺服机矢量控制, 可编程控制器及在数控机床上的应用, 数控技术的新发展及性能介绍等。书中并附有较多实用的参考图表可供读者应用。

本书适合于从事数控机床控制系统设计与程序编制的工程技术人员使用, 亦是大专院校研究生、本科生较好的选修教材。

数控机床及其应用

责任编辑: 冯宗青, 版式设计: 冉晓华
封面设计: 方 芬, 责任校对: 张 媛

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码: 100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $11^{3/4}$ · 字数 256 千字

1993 年 10 月北京第 1 版 · 1993 年 10 月北京第 1 次印刷

印数 0 001—6 400 · 定价: 10.00 元

*

ISBN 7-111-03640-9 / TG · 829

前 言

随着计算机技术的发展,现代数控系统已普遍采用微处理器等电子元件,硬件数控系统的控制功能也已由控制程序所取代,开始了一个计算机数控(CNC)的新阶段。数控机床的功能和指标更加先进和优越。

为了帮助读者更好地了解和学习数控机床的原理、应用及发展,我们结合多年教学和科研工作实践,编写了这本书。本书的指导思想是:既满足数控新技术下的教学要求,又要能适应使用和开发实践的需要。因此,我们将CNC数控原理分析、控制程序设计、交流伺服电动机及其矢量控制、可编程控制器及其在机床上的应用、位移检测装置的原理及应用、典型数控机床的传动系统与主要结构和编程、数控技术的新发展及其性能介绍等编入本书,以满足广大读者对数控机床新技术学习的需要。

本书由北京科技大学范俊广主编。第一、六章由范俊广编写,第二章由范俊广、刘颖编写,第三、四章由程国全编写,第五、八、九章由董毅编写,第七章由牛秀岩编写。

本书在编写过程中,得到北京第一机床厂、北京数控技术开发中心、北京起重机器厂、清华大学和北京数显技术服务中心等有关同志的支持与帮助,在此致以衷心的感谢。

限于编者水平,书中谬误及不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

第一章 数控机床概述	1
第一节 概述	2
一、数控机床的组成与工作原理	2
二、数控机床的特点	7
第二节 数控机床的分类	8
一、按机械运动的轨迹分类	8
二、按伺服系统的类型分类	10
三、按控制坐标数分类	13
第三节 数控机床的坐标系	15
一、坐标轴的命名	15
二、机床坐标轴的确定方法、步骤	17
第二章 数控机床加工程序编制	21
第一节 数控机床程序简介	21
一、数控铣床铣削凸轮加工程序	21
二、指令简介	23
第二节 数控机床程序编制中的工艺处理	23
一、工艺过程和工艺路线的确定	24
二、确定零件的安装方法和选择夹具	25
三、对刀点和换刀点的确定	26
四、选择刀具和确定切削用量	28
五、程序编制的允许误差	30
第三节 数值计算	33

一、基点和节点	33
二、用直线插补器加工零件平面轮廓曲线的数值计算	34
三、用直线—圆弧插补器加工零件平面轮廓的数值计算	36
第四节 XK5040-1(3MA)型数字控制立式升降台铣床程序	
编制	38
一、机床的主要技术性能与传动系统	38
二、FANUC-3MA 数控系统简介	41
三、程编举例	61
第五节 CK3263 型数控转塔车床的程序编制	63
一、机床的用途与主要技术性能	63
二、机床的传动系统与主要结构	65
三、数控车床的编程指令与编程实例	77
第六节 XHK716 型立式加工中心程序编制	96
一、机床用途与主要技术性能	96
二、机床的组成和传动系统	97
三、机床的自动换刀装置	99
四、机床编程概述	103
五、编程实例	119
第三章 计算机数控(CNC)系统	130
第一节 CNC 系统原理	130
一、硬件 NC 系统的构成与工作原理	130
二、计算机数控系统基本工作原理	132
三、CNC 系统的特点	134
第二节 CNC 系统中的微型计算机	135
一、CNC 系统对计算机的要求	135
二、Intel8086 微处理器	136
三、8086 微型计算机系统	145

第三节 CNC 系统典型结构	145
一、8 位微处理器 CNC 系统	146
二、16 位高性能微处理器数控系统	149
第四节 最新 CNC 系统	154
一、多处理器数控系统	155
二、最新 32 位微处理器 CNC 系统	156
第四章 CNC 系统控制软件	161
第一节 CNC 系统控制软件的组成	161
一、数控机床典型工作过程	161
二、CNC 系统的一般功能	163
三、CNC 系统软件功能模块组成	166
第二节 CNC 系统控制软件结构与管理程序	166
一、CNC 系统控制软件总体结构	167
二、管理程序	172
第三节 位置控制	172
一、时间间隔	173
二、进给速度控制	173
三、插补	176
四、位置伺服	184
第四节 刀具半径补偿	186
一、直线的刀具半径偏移原理	186
二、圆弧的刀具半径偏移原理	188
三、各种零件廓形拐角的尖角过渡形式	189
四、拐角类型的判别	192
五、尖角过渡的实现	195
第五节 加工程序的输入、存贮与译码	196
一、加工程序的编码系统	196

二、加工程序的格式	200
三、加工程序的输入	200
四、加工程序的存贮	200
五、加工程序的编辑	202
六、译码	204
第五章 数控机床的伺服系统	207
第一节 概述	207
一、伺服系统常用的执行元件	207
二、数控机床对伺服系统的要求	208
第二节 伺服系统常用执行元件	209
一、步进电动机	209
二、直流伺服电动机	231
三、交流伺服电动机及其矢量控制	236
附录 反应式步进电机主要技术数据	257
第六章 数控机床的位移检测装置	261
第一节 概述	261
第二节 感应同步器	262
一、感应同步器的结构	262
二、感应同步器的工作原理	264
三、信息处理	267
第三节 光栅	271
一、光栅的结构与种类	272
二、光栅的工作原理	273
三、标尺光栅运动方向的判别和提高光栅分辨率的方法	275
第四节 旋转变压器	279
一、旋转变压器的结构	279
二、旋转变压器的工作原理	280

三、正余弦旋转变压器	282
第五节 光电盘和编码盘	283
一、光电盘	283
二、编码盘	284
第六节 磁尺	286
第七节 激光	289
第七章 可编程序逻辑控制器	292
第一节 可编程序逻辑控制器概述	292
一、PC 的作用	292
二、PC 的一般结构	294
三、PC 的工作过程	296
四、PC 的性能指标	298
第二节 PC 的指令与梯形图设计	301
一、PC 的指令与功能	301
二、PC 顺序程序的设计步骤	304
第八章 数控机床的自动编程	307
第一节 概述	307
一、自动编程的基本原理	307
二、数控语言综述	310
第二节 数控语言	313
一、零件源程序	313
二、APT 语言的基本要素	318
三、几何定义语句	321
四、刀具运动语句	329
五、其它语句	338
六、重复性功能语句	340
第三节 应用实例	343

一、分析零件图、选择坐标系、确定有关几何	
元素的标识符	343
二、确定对刀方法和对刀点	344
三、选择容差、刀具等工艺参数	344
四、几何定义语句的书写	345
五、刀具运动语句的书写	345
六、插入其它语句	346
七、核查书写的源程序	346
八、填写程序单	346
第九章 机床数控系统的发展	351
第一节 现代数控系统的发展趋向	351
一、高速化	351
二、多功能	353
三、智能化	354
四、高精度化	354
五、高可靠性	356
第二节 现代数控机床的性能指标	356
一、控制功能	356
二、编程功能	360
三、输出功能	362
参考文献	363

第一章 数控机床概述

数控机床是采用计算机利用数字进行控制的高效能自动化加工机床。在数控机床上加工零件时，一般是先编写零件加工程序单，即用数字代码来描述被加工零件的工艺过程、零件尺寸和工艺参数（如主轴转速、切削速度等），编写零件加工程序单，将零件的加工程序输入计算机，经计算机的处理与计算，发出各种控制指令，控制机床的运动，自动将零件加工出来。当变更加工对象时，只需重新编写零件的加工程序，而机床本身则不需要进行任何调整就能把零件加工出来。所以数控机床是一种灵活性极强的、高效能的全自动化加工机床，是今后机床控制的发展方向。

自 1952 年美国麻省理工学院研制成数控铣床以来，随着电子技术、计算技术、自动控制和精密测量技术的发展，数控机床也在迅速地发展和不断地更新换代。他以集成电路的集成度为推动力，先后经历了电子管、晶体管、小规模集成电路、小型计算机（CNC）和微型机（MNC）数控系统等五个发展阶段。目前微型机数控系统几乎完全取代了以往的普通数控系统，形成了第五代数控系统。

现在世界很多发达的工业化国家都已在生产上广泛应用数控机床，当今一个国家数控机床的生产量 and 应用程度，已成为衡量一个国家工业化程度和技术水平的重要标志之一。

我国早在 1958 年就开始研制数控机床，由于历史的原因，没有取得实质性的成果。70 年代初期，我国曾掀起研

制数控机床的热潮，但当时的控制系统主要是采用分立电子元器件，性能不稳定，可靠性差，不能在生产中稳定可靠地使用。1980年开始，北京机床研究所从日本 FANUC 公司引进 FANUC5、7、3、6 数控系统，上海机床研究所引进美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统，辽宁精密仪器厂引进美国 Bendix 公司的 DynapathLTD10 数控系统。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上，北京机床研究所又开发出 BS03 经济型数控系统和 BS04 全功能数控系统，航天部 706 所研制出 MNC864 数控系统。目前，我国已能批量生产、供应各类数控系统，基本上能满足全国各机床厂生产需要，已使我国数控机床生产开始迈入一个新的发展阶段，达到了 80 年代初的国际先进水平。

第一节 概 述

一、数控机床的组成与工作原理

(一) 数控机床的组成

数控机床主要是由信息载体、数控装置、伺服系统和机床本体等四部分组成（如图 1-1）。



图 1-1 数控机床的组成

1. 信息载体 信息载体又称控制介质，它是用于记载各种加工信息（如零件加工的工艺过程、工艺参数和位移数据等），以控制机床的运动，实现零件的机械加工。常用的信息载体有八单位标准穿孔纸带（如图 1-2）、磁带和磁盘等。

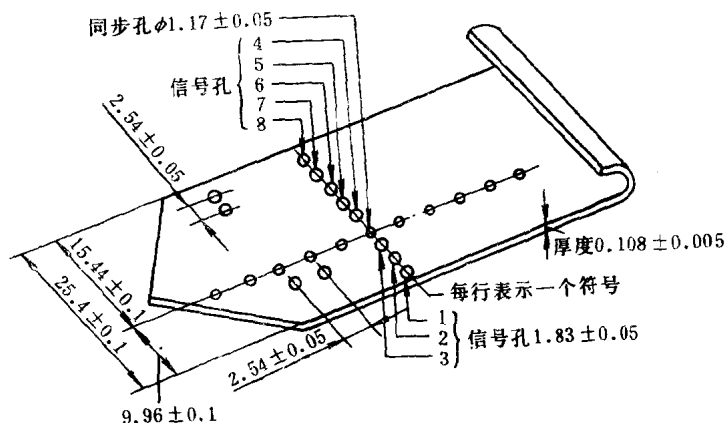


图 1-2 穿孔纸带

信息载体上记载的加工信息要经输入装置输送给数控装置。常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机和磁盘驱动器等。

对于用微型机控制的数控机床，也可用操作面板上的按钮和键盘将加工程序直接用键盘输入，并在 CRT 显示器上显示。图 1-3 所示为 FANUC3M 系统操作面板上的键盘和 CRT 终端显示器。

2. 数控装置 数控装置一般是指控制机床运动的计算机，它是属于控制机床运动的中枢系统。它的功能是接受输入装置输入的加工信息，经处理与计算，发出相应的脉冲送给伺服系统，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动。

数控装置一般有两种类型：专用数控装置和通用数控装置。

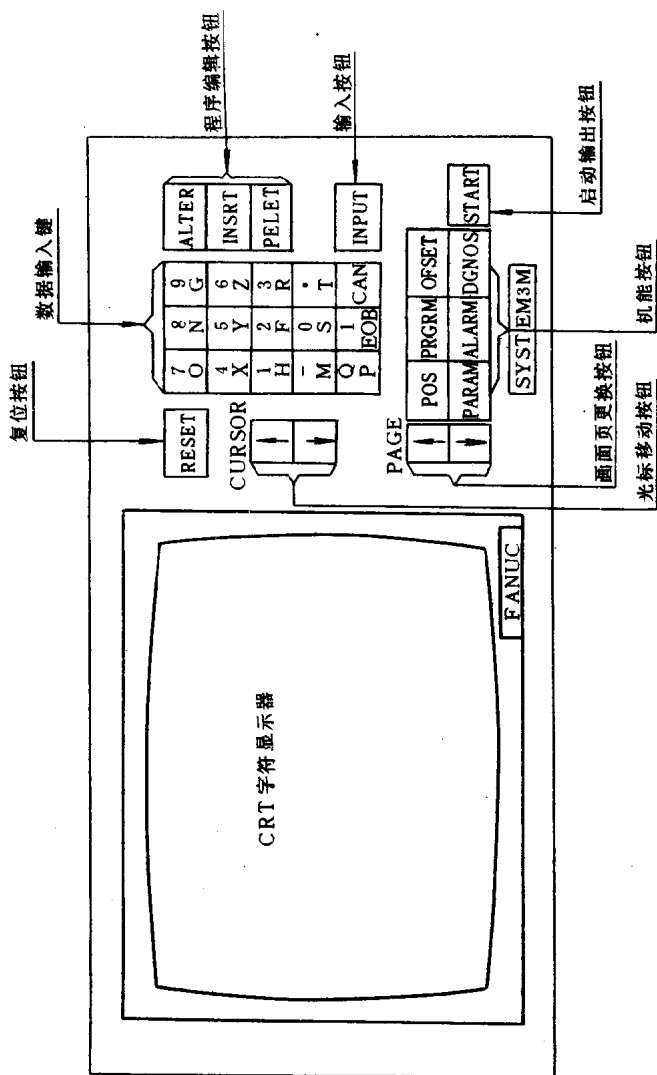


图 1-3 FANUC3M 系统的操作面板

(1) 专用数控装置 (简称 NC 数控装置) 专用数控装置是指根据零件加工功能要求, 采用专用硬接线逻辑电路的方法构成的控制装置。要想增加或更改某种功能, 就必须改动控制装置内部的逻辑电路。可见这种数控系统灵活性差, 使用很不方便, 现已逐渐被淘汰。

(2) 通用数控装置 (简称 CNC 数控装置) 通用数控装置是由一台小型计算机或微型计算机作为控制硬件, 再配以适当的接口电路构成的数控装置。将预先设计调试好的控制软件存入计算机内, 以实现数控机床的控制逻辑和各种控制功能。只要改变控制软件就可改变控制功能, 因而这种数控装置的灵活性和通用性很强, 现代的数控系统多数都采用这种通用数控装置。

3. 伺服系统 伺服系统是数控系统的执行部分, 它是由速度控制环、位置控制环、驱动伺服电机和相应的机械传动装置组成 (图 1-4)。当数控装置输出指令电脉冲信号给伺服系统时, 伺服系统就使机床上的移动部件作相应的移动, 并对定位的精度和速度加以控制。因此, 伺服系统的性能好坏, 将是直接影响数控机床加工精度和生产率的主要因素之一。

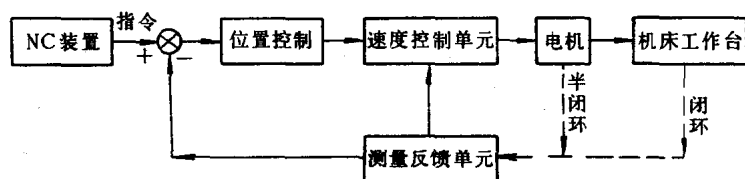


图 1-4 伺服系统的组成

4. 机床 数控机床加工时，零件的粗加工和精加工往往是在同一台机床上，一次装卡自动完成整个切削加工过程的，进给量的变换是靠伺服电机本身变速来实现的。因此数控机床的机床本体要具有刚性好、热变形小、精度高和机械传动系统比较简单等特点。

(二) 数控机床的工作原理

图 1-5 所示为数控机床的工作原理图。由图可知，在数控机床上加工作件时，要预先根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和位移数据，再按编程手册的有关规定编写零件加工程序单。然后利用穿孔机制作记载有加工信息的穿孔纸带，通过光电输入机将纸带上记载的加工信息送到数控装置。当加工程序输入到数控装置以后，

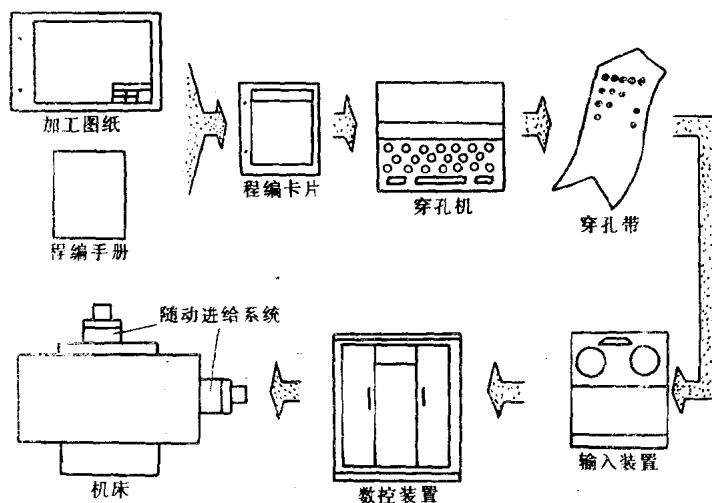


图 1-5 数控机床的工作原理

在事先存入数控装置内部的控制软件支持下，经处理与计算发出相应的电脉冲信号，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动，以进行零件的切削加工。

二、数控机床的特点

数控机床因具有加工精度高、生产效率高和灵活性强等特点，所以在机械加工中得到了日益广泛的应用。

1. 加工精度高、加工质量稳定可靠 数控机床的机械传动系统和结构本身都有较高的精度和刚度，数控机床的加工精度不受零件本身的复杂程度影响。加工的精度和质量是由机床来保证的，完全排除了操作者的人为误差影响，所以数控机床的加工精度高，加工误差一般能控制在 $0.005\sim 0.01\text{mm}$ 之内，而且同一批零件加工的精度一致性好，质量稳定可靠。

2. 生产效率高 采用数控机床加工可免去划线工作，降低对机床工卡具要求，缩短加工准备时间。数控机床刚度大、功率大、能自动进行切削加工，所以每个工序都能选择较大的、合理的切削用量，并自动连续完成整个切削加工过程，能大大缩短机加工时间。又因数控机床定位精度高，可省去加工过程的中间检测，减少了停机检测时间，所以数控机床的生产效率高。

3. 减轻工人劳动强度、改善劳动条件 数控机床当输入加工程序后，不需人工直接操作，就能按加工程序要求连续自动地进行切削加工，并在加工过程中能自动进行找刀、换刀、不停车变速、启停冷却液和进行快速空行程运动，所以采用数控机床能减轻工人劳动强度，改善劳动条件。

4. 对零件加工的适应性强、灵活性好 因数控机床能实现几个坐标联动，加工程序可按加工零件要求按需变换，