

高等职业技术学院教材

数控机床 编程与操作

SHUKONG JICHUANG BIANCHENG
YU CAOZUO

方 沂 主编



国防工业出版社

高等职业技术学院教材

数控机床编程与操作

方 沂 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作/方沂主编. —北京: 国防工业出版社, 1999.9

ISBN 7-118-02121-0

I. 数… II. 方… III. ①数控机床-程序设计 ②数控机床-操作 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 45622 号

JS190 / 14

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14½ 333 千字

1999 年 9 月第 1 版 1999 年 9 月北京第 1 次印刷

印数: 1—5000 册 定价: 20.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

本书编委会

主 任： 张铁城

副主任： 崔正昀

委 员： （以姓氏笔画为序）

王金城 方 沂 田美丽 张永丹

主 编： 方 沂

副主编： 张永丹

编著者： 王金城 田美丽 徐国胜 袁名伟

王孝志 贺琼义

主 审： 张铁城 崔正昀

前 言

数控机床是现代机械制造系统中的重要组成设备，是 CAD/CAM、FMS、CIMS 等高新技术的基础单元。随着机电一体化的进程不断深入，数控机床越来越成为机械工业技术改造的首选设备。它的通用、灵活、高效率、高精度、高质量等特点，决定了该设备的应用日益广泛。随着数控机床的发展与普及，势必需求大批数控机床的编程与操作人员，本书正是为适应这一需要而编写的。

本书是我进修中心对多年从事数控机床教学和培训经验的总结，并广泛借鉴了国内外的先进资料和经验。本书特点是注重实践环节，兼顾理论知识，旨在培养既能编制程序，又能操作数控机床，同时又掌握一定的理论知识的实用性人才。本书中关于数控机床的理论部分，只介绍一般原理，以了解、知道为度，不以设计或改造数控机床为目的；编制程序部分，结合实例，由浅入深，使读者在学完有关章节后能够较好地掌握数控机床的编程方法；操作技能部分，叙述详尽，便于读者尽快掌握典型数控机床的基本操作方法。

本书通俗易懂，内容注重实践，源于实践，操作性强，特别适合作为职业技术教育类院校的数控机床方面的教材，及数控机床编程与操作的培训教材。

本书由中国劳动和社会保障部职业培训指导教师进修中心机电专业部分教师合作编写，参加编写的有方沂（第一章、第二章），王金城（第三章），张永丹（第四章、第五章），田美丽（第六章），徐国胜和袁名伟（第七章），王孝志（第八章），贺琼义（第九章）。何平同志进行了绘图和录入工作。

由于编者的水平有限，书中难免存在一些缺点，恳请读者批评指正。

编 者

1999.5

目 录

第一章 概论	1
§ 1-1 数控机床的产生	1
§ 1-2 数控机床的组成及工作原理	2
§ 1-3 数控机床的种类	4
§ 1-4 数控机床的应用与发展	8
§ 1-5 先进制造系统简介	11
第二章 数控加工程序	14
§ 2-1 程序编制的基本概念	14
§ 2-2 程序的编制	20
第三章 数控机床控制原理	34
§ 3-1 数控机床的控制基础	34
§ 3-2 插补原理	41
§ 3-3 刀具半径补偿原理	53
第四章 数控机床的伺服系统	58
§ 4-1 概述	58
§ 4-2 常用驱动元件	60
§ 4-3 伺服系统中的检测元件	66
第五章 数控机床的结构	72
§ 5-1 数控机床对结构的要求	72
§ 5-2 数控机床的布局特点	75
§ 5-3 数控机床的主传动系统	78
§ 5-4 数控机床进给运动	82
§ 5-5 其他装置	88
第六章 数控车床的编程	90
§ 6-1 数控车床概述	90
§ 6-2 数控车床编程知识	94

第七章 数控车床的操作与加工	122
§ 7-1 数控车床的操作方法	122
§ 7-2 数控车床编程实例	138
§ 7-3 数控车床的维护	151
第八章 加工中心的编程	153
§ 8-1 加工中心简介	153
§ 8-2 加工中心的辅具及辅助设备	155
§ 8-3 加工中心程序的编制	165
§ 8-4 宏程序编制	181
第九章 加工中心的操作与加工	189
§ 9-1 加工中心的操作	189
§ 9-2 加工中心的编程实例	203
§ 9-3 加工中心的维护	221
参考文献	224

第一章 概 论

§ 1-1 数控机床的产生

一、数控机床的产生

随着科学技术和社会生产的迅速发展,机械产品日趋复杂,社会对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。在航空航天、造船、军工和计算机等工业中,零件精度高、形状复杂、批量小、经常改动、加工困难、生产效率低、劳动强度大,质量难以保证。机械加工工艺过程的自动化和智能化是适应上述发展特点的最重要手段。

为解决上述这些问题,一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产设备——数控机床在这种情况下应运而生。

数控机床就是将加工过程所需的各种操作(如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、自动关停冷却液等)和步骤以及工件的形状尺寸用数字化的代码表示,通过控制介质(如穿孔纸带或磁盘等)将数字信息送入数控装置,数控装置对输入的信息进行处理与运算,发出各种控制信号,控制机床的伺服系统或其他驱动元件,使机床自动加工出所需要的工件。数控机床的诞生与发展,有效地解决了一系列生产上的矛盾,为单件、小批量精密复杂零件的加工提供了自动化加工手段。1948年美国巴森兹(Parsons)公司在研制加工直升飞机叶片轮廓样板时提出了数控机床的初始设想,1949年与麻省理工学院(MIT)合作,开始了三坐标铣床的数控化工作,1952年3月公开发布了世界上第一台数控机床的试制成功,可作直线插补。经过三年的试用、改进与提高,数控机床于1955年进入实用化阶段。从此,其他一些国家,如德国、英国、日本和苏联等国都开始研制数控机床,其中日本发展最快。当今世界著名的数控系统厂家有日本的法那科(FANUC)公司、德国的西门子(SIEMENS)公司、美国的A-B公司、意大利的A-BOSZA公司等。1959年,美国Keaney&Treckre公司开发成功了具有刀库、刀具交换装置、回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个面进行多工序加工,如进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、平面铣削、轮廓铣削等加工。至此,数控机床的新一代类型——加工中心(Machining Center)诞生了,并成为当今数控机床发展的主流。

二、数控技术的基本概念

数字控制(Numerical Control),简称NC,它是采用数字化信息实现加工自动化的控制技术,用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的机床,称作数控机床。早期的数控机床的NC装置是由各种逻辑元件、记忆元件组成随机逻辑电路,是固定接线的硬件结构,由硬件来实现数控功能,称作硬件数控,用这种技术实现的数控机床一般称作NC机床。

计算机数控 (Computr Numerical Control), 简称CNC。现代数控系统是采用微处理器或专用微机的数控系统, 由事先存放在存储器里的系统程序 (软件) 来实现控制逻辑, 实现部分或全部数控功能, 并通过接口与外围设备进行联接, 称为CNC系统, 这样的机床一般称为CNC机床。

总之, 数控机床是数字控制技术与机床相结合的产物, 从狭义的方面看, 数控一词就是“数控机床”的代名词, 从广义的范围来看, 数控技术本身在其他行业中有更广泛的应用, 称为广义数字控制。数控机床就是将加工过程的各种机床动作, 由数字化的代码表示, 通过某种载体将信息输入数控系统, 控制计算机对输入的数据进行处理, 来控制机床的伺服系统或其他执行元件, 使机床加工出所需要的工件, 其过程见图1-1。

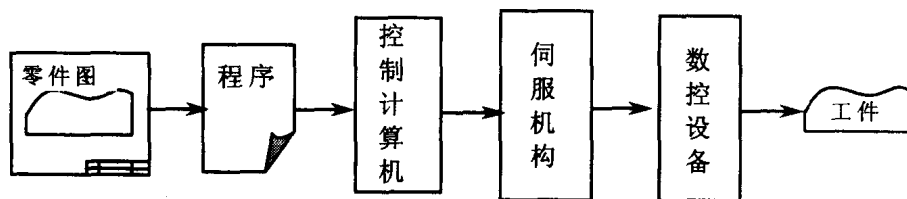


图1-1

§ 1-2 数控机床的组成及工作原理

一、数控机床的组成

现代计算机数控机床由程序、输入输出设备、计算机数控装置、可编程序控制器、主轴控制单元及速度控制单元等部分组成, 见图1-2。

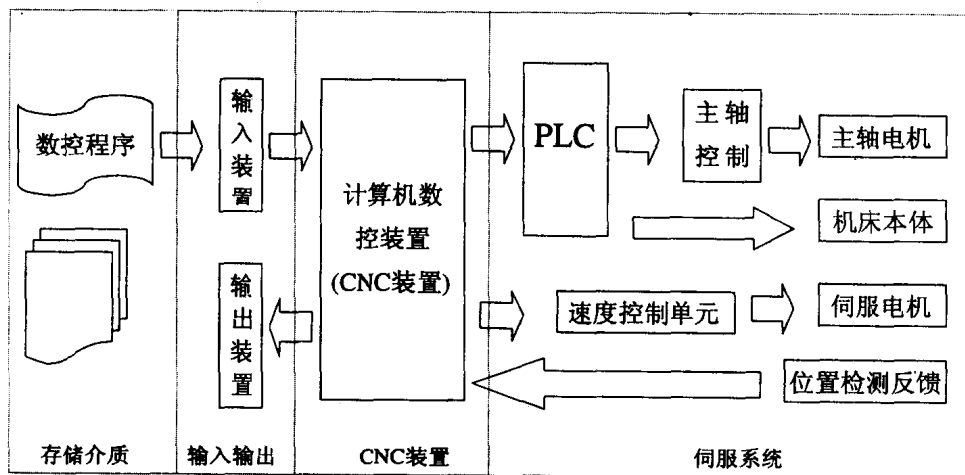


图1-2 CNC系统图

1. 程序的存储介质

在数控机床上加工零件时, 首先根据零件图纸上的零件形状、尺寸和技术条件, 确定加工工艺, 然后编制出加工程序。程序必须存储在某种存储介质上, 如纸带、磁带或

磁盘等。目前最常用的是八单位标准穿孔纸带和磁盘。

2. 输入、输出装置

存储介质上记载的加工信息需要输入装置输送给机床数控系统，机床内存中的零件加工程序可以通过输出装置传送到存储介质上。输入、输出装置是机床与外部设备的接口，目前输入装置主要有纸带阅读机、软盘驱动器、RS232C串行通信口、MDI方式等。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心，它接受输入装置送到的数字化信息，经过数控装置的控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后，将各种指令信息输出给伺服系统，使设备按规定的动作执行。

4. 伺服系统

伺服系统包括伺服驱动电机、各种伺服驱动元件和执行机构等，它是数控系统的执行部分。它的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动。每一个脉冲信号使机床移动部件的位移量叫作脉冲当量（也叫最小设定单位）。常用的脉冲当量为0.001mm/脉冲。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服驱动系统，整个机床的性能主要取决于伺服系统。常用伺服驱动元件有直流伺服电机、交流伺服电机、电液伺服电机等。

5. 检测反馈系统

检测反馈装置的作用是对机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态加以检测，把检测结果转化为电信号反馈给数控装置，通过比较，计算出实际位置与指令位置之间的偏差，并发出纠正误差指令。测量反馈系统可分为半闭环和闭环两种系统。半闭环系统中，位置检测主要使用感应同步器、磁栅、光栅、激光测距仪等。

6. 机床本体

机床本体是加工运动的实际机械部件，主要包括：主运动部件，进给运动部件（如工作台、刀架）和支承部件（如床身、立柱等），还有冷却、润滑、转位部件，如夹紧、换刀机械手等辅助装置。

二、数控系统的主要功能

数控系统是数控机床的核心，数控系统的主要功能一般包括：

- (1) 多坐标控制（多轴联动）。
- (2) 准备功能（G功能）。
- (3) 实现多种函数的插补（直线、圆弧、抛物线等）。
- (4) 代码转换（EIA/ISO代码转换、英制/公制转换、绝对值/增量值转换等）。
- (5) 固定循环加工。
- (6) 进给功能：指定进给速度。
- (7) 主轴功能：指定主轴转速。
- (8) 辅助功能：规定主轴的起、停、反向，冷却系统的开、关等。
- (9) 刀具选择功能。
- (10) 各种补偿功能：如刀具半径、刀具长度补偿等。
- (11) 字符图形在显示器（CRT）上的显示。

(12) 故障的诊断及显示。

(13) 与外部设备的联网及通信。

(14) 存储加工程序, 人机对话、程序的输入、编辑及修改。

三、工作步骤

在数控机床上加工零件经过以下步骤, 见图1-3。

1. 准备阶段

根据加工零件的图纸, 确定有关加工数据(刀具轨迹坐标点、加工的切削用量、刀具尺寸信息等), 根据工艺方案、夹具选用、刀具类型选择等确定有关其他辅助信息。

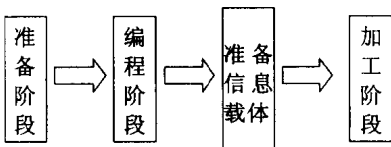


图1-3

2. 编程阶段

根据加工工艺信息, 用机床数控系统能识别的语言编写数控加工程序, 程序就是对加工工艺过程的描述, 并填写程序单。

3. 准备信息载体

根据已编好的程序单, 将程序存放在信息载体(穿孔带、磁带、磁盘等)上, 信息载体上存储着加工零件所需要的全部信息。目前, 随着计算机网络技术的发展, 可直接由计算机通过网络与机床数控系统通信。

4. 加工阶段

当执行程序时, 机床NC系统将程序译码、寄存和运算, 向机床伺服机构发出运动指令, 以驱动机床的各运动部件, 自动完成对工件的加工。

§ 1-3 数控机床的种类

数控机床的分类方法很多, 大致有以下几种。

一、按工艺用途分类

数控机床是在普通机床的基础上发展起来的, 各种类型的数控机床基本上起源于同类型的普通机床, 按工艺用途分类大致如下:

- (1) 数控车床 (NC Lathe)。
- (2) 数控铣床 (NC Milling Machine)。
- (3) 加工中心 (Machine Center)。
- (4) 数控钻床 (NC Drilling Machine)。
- (5) 数控镗床 (NC Boring Machine)。
- (6) 数控齿轮加工机床 (NC Gear Holling Machine)。
- (7) 数控平面磨床 (NC Surface Grinding Machine)。
- (8) 数控外圆磨床 (NC External Cylindrical Grinding Machine)。
- (9) 数控轮廓磨床 (NC Confour Grinding Machine)。
- (10) 数控工具磨床 (NC Tool Grinding Machine)。
- (11) 数控坐标磨床 (NC Jig Grinding Machine)。

- (12) 数控电火花加工机床(NC Diesinking Electric Discharge Machine)。
- (13) 数控线切割机床(NC Wire Electric Discharge Machine)。
- (14) 数控激光加工机床(NC Laser Beam Machine)。
- (15) 数控冲床(NC Punching Press)。
- (16) 数控超声波加工机床(NC Ultrasonic Machine)。
- (17) 其他(如三坐标测量机等)。

其中,加工中心、放电加工机床、数控激光加工机床等新型加工设备的出现,与传统的普通机床有明显差别,带来一些新特点。随着数控技术的发展,数控机床在多功能、高精度、良好的加工能力方面会有较大发展,同时带来了数控机床种类的更新与多样化。

二、按运动方式分类

(1) 点位控制系统 (Positioning Control) 只控制刀具从一点到另一点的位置,而不控制移动轨迹,因为在定位移动中不进行切削加工。如坐标镗床、钻床和冲床等,图1-4表示数控钻床的工作原理。

(2) 直线控制系统 (Straight-line Control) 直线控制系统是控制刀具或机床工作台以给定速度,沿平行于某一坐标轴方向,由一个位置到另一个位置的精确移动。也称点位直线控制系统,如图1-5所示。

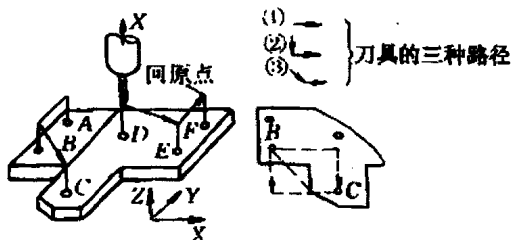


图 1-4

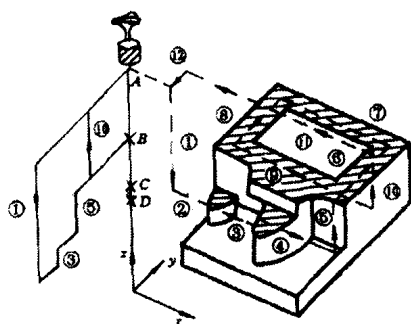


图 1-5 直线控制系统

(3) 轮廓控制系统 (Contour Control) 轮廓控制系统的特点是对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制,它不仅控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且要控制整个加工过程的每一点的速度、方向和位移量,即要控制加工的轨迹,加工出要求的轮廓。运动轨迹是任意斜率的直线、圆弧、螺旋线等,图1-6表示多坐标轮廓控制系统。

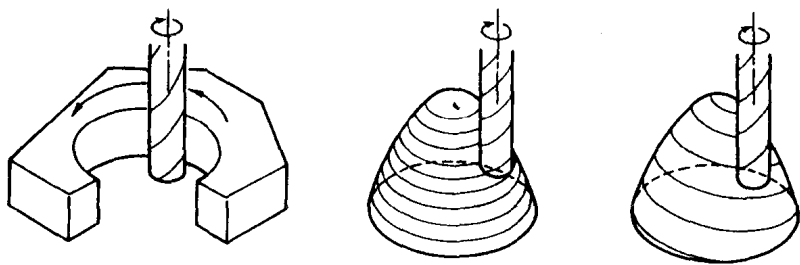


图 1-6 轮廓控制系统

三、按控制方式分类

(1) 开环控制系统 (Open Loop Control) 开环控制系统是指不带反馈的控制系统, 即系统没有位置反馈元件, 通常用功率步进电机或电液伺服电机作为执行机构。输入的数据经过数控系统的运算, 发出指令脉冲, 通过环形分配器和驱动电路, 使步进电机或电液伺服电机转过一个步距角。再经过减速齿轮带动丝杠旋转, 最后转换为工作台的直线移动。移动部件的移动速度和位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数所决定。

(2) 半闭环控制系统 (Semi-closed Loop Control) 半闭环控制系统是在开环系统的丝杠上装有角位移测量装置 (如感应同步器和光电编码器等), 通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的位移, 然后反馈到数控系统中, 由于惯性较大的机床移动部件不包括在检测范围之内, 因而称作半闭环控制系统。

(3) 闭环控制系统 (Closed Loop Control) 闭环控制系统是在机床移动部件上直接装有位置检测装置, 将测量的结果直接反馈到数控装置中, 与输入的指令位移进行比较, 用偏差进行控制, 使移动部件按照实际的要求运动, 最终实现精确定位。

四、主要数控机床介绍

1. 数控车床

如图1-7所示, 是一台数控车床的外观图。机床本体包括主轴、溜板、刀架等。数控系统包括电显示器 (CRT)、控制面板、强电控制系统。

数控车床一般具有两轴联动功能, Z轴是与主轴平行方向的运动轴, X轴是在水平面内与主轴垂直方向的运动轴。另外在最新的车铣加工中心中, 还增加了一个C轴, 可用于工件的分度功能, 在刀架中可安放铣刀, 对工件进行铣加工。

2. 数控铣床

数控铣床适于加工三维复杂曲面, 在汽车、航空航天、模具等行业被广泛采用。世界上第一台数控机床就是来自于数控铣床, 但随着时代的发展, 数控铣床趋于加工中心。目前由于有较低的价格、方便灵活的操作、较短的准备工作时间等原因, 数控铣床仍被广泛采用, 它可分为数控立式铣床、数控卧式铣床、数控仿形铣床等, 如图1-8所示。

3. 加工中心

加工中心是数控机床发展到一定阶段的产物, 至今人们对加工中心还没有一个确切

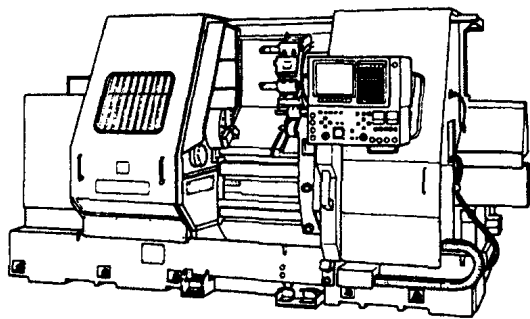


图 1-7 数控车床

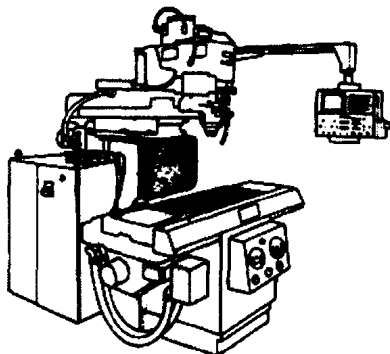


图 1-8 数控铣床

的定义，一般认为带有自动刀具交换装置（ATC）的数控镗铣床，称为加工中心。实际上，可以这样概括为：“具有自动刀具交换装置，并能进行多种工序加工的数控机床”。加工中心可进行铣、镗、钻、扩、铰、攻丝等多种工序的加工。加工中心又可分为立式加工中心和卧式加工中心，立式加工中心的主轴是垂直方向的，卧式加工中心的主轴是水平方向的，如图1-9所示。

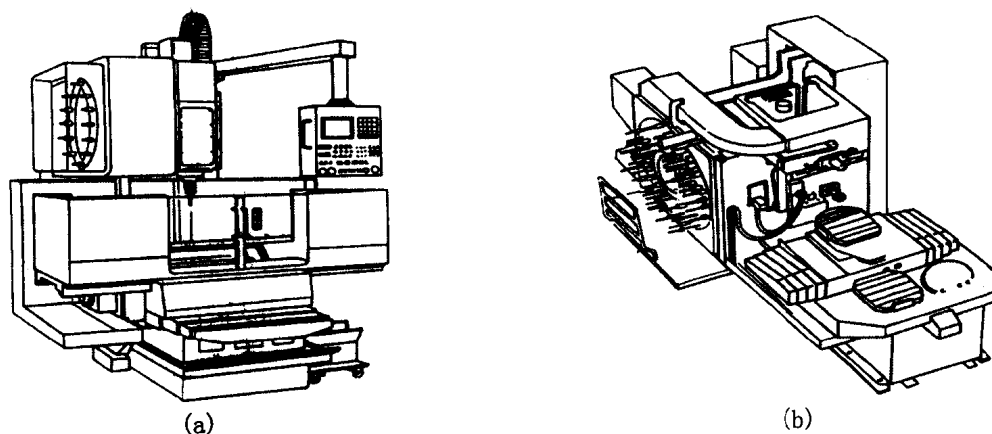


图 1-9 加工中心

(a) 立式加工中心；(b) 卧式加工中心。

一个工件可以通过夹具安放在回转工作台或交换托盘上，通过工作台的旋转可加工多面体，托盘的交换可更换加工的工件，提高了加工效率。

4. 数控钻床

如图1-10所示，是数控钻床的例子。数控钻床可分为数控立式钻床和数控卧式钻床。数控钻床主要是完成钻孔、攻丝功能，同时也可以完成简单的铣削功能，刀库可以存放多种刀具。

5. 数控磨床

数控磨床主要用在高硬度、高精度加工表面。可以分为数控平面磨床(见图1-11)、数控内圆磨床、数控轮廓磨床等。随着自动砂轮补偿技术、自动砂轮修整技术和磨削固定循环技术的发展，数控磨床的功能越来越强。

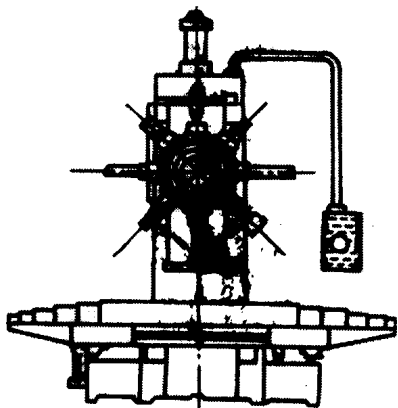


图 1-10 数控钻床

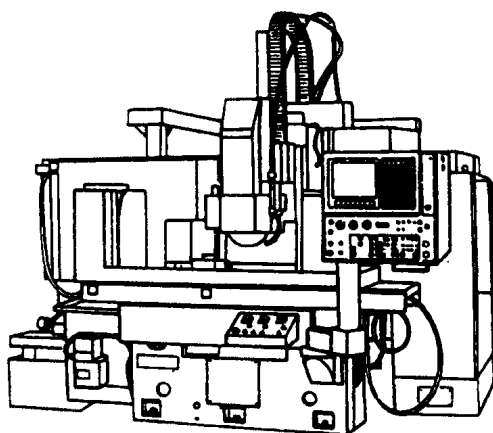


图 1-11 数控平面磨床

6. 数控电火花成形机床

数控电火花成形机床是一种特种加工方法，它是利用两个不同极性的电极在绝缘液体中产生放电现象，去除材料进而完成加工，对于形状复杂的模具、难加工材料有特殊的优势，如图1-12所示。

7. 数控线切割机床

数控线切割机床如图1-13所示，它的工作原理与电火花成形机床一样，其电极是电极丝，加工液一般采用去离子水。

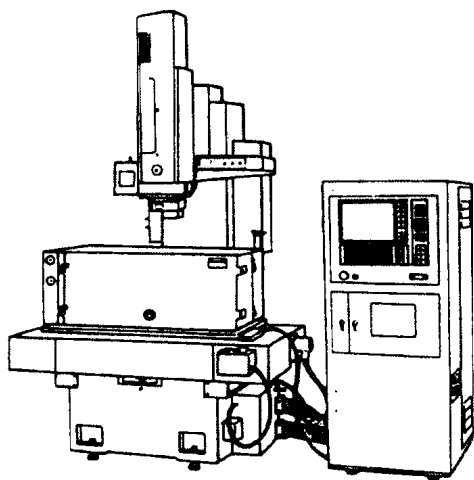


图 1-12 电火花成形机床

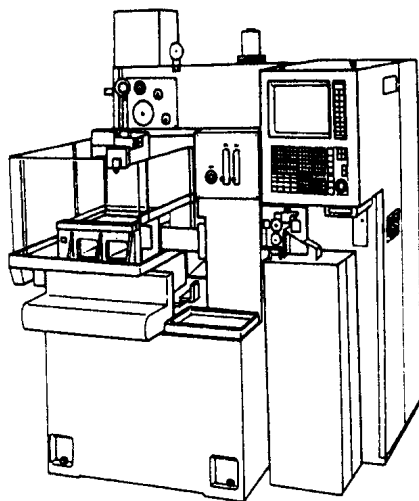


图 1-13 线切割机床

§ 1-4 数控机床的应用与发展

一、数控机床的应用

(一) 数控机床的特点

数控机床与传统机床相比，具有以下一些特点。

1. 具有高度柔性

在数控机床上加工零件，主要取决于加工程序，它与普通机床不同，不必制造、更换许多工具、夹具，不需要经常重新调整机床。因此，数控机床适用于零件频繁更换的场合。也就是适合单件、小批生产及新产品的开发，缩短了生产准备周期，节省了大量工艺装备的费用。

2. 加工精度高

数控机床加工精度，一般可达 $0.005\sim 0.1\text{mm}$ 之间，数控机床是按数字信号形式控制的，数控装置每输出一个脉冲信号，则机床移动部件移动一个脉冲当量（一般为 0.001mm ），而且机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距平均误差可由数控装置进行补偿，因此，数控机床定位精度比较高。

3. 加工质量稳定、可靠

加工同一批零件，在同一机床，在相同加工条件下，使用相同刀具和加工程序，刀具的走刀轨迹完全相同，零件的一致性好，质量稳定。

4. 生产率高

数控机床可有效地减少零件的加工时间和辅助时间，数控机床的主轴转速和进给量的范围大，允许机床进行大切削量的强力切削，数控机床目前正进入高速加工时代，数控机床移动部件的快速移动和定位及高速切削加工，极大地提高了生产率，另外配合加工中心的刀库使用，实现了在一台机床上进行多道工序的连续加工，减少了半成品的工序间周转时间，提高了生产率。

5. 改善劳动条件

数控机床加工前经调整好后，输入程序并启动，机床就能自动连续地进行加工，直至加工结束。操作者主要是程序的输入、编辑、装卸零件、刀具准备、加工状态的观测，零件的检验等工作，劳动强度极大降低，机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外，机床一般是封闭式加工，既清洁，又安全。

6. 利于生产管理现代化

数控机床的加工，可预先精确估计加工时间，所使用的刀具、夹具可进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信号与标准代码为控制信息，易于实现加工信息的标准化，目前已与计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）有机地结合起来，是现代集成制造技术的基础。

（二）数控机床与普通设备的比较（见表1-1）

表1-1 数控机床与普通机床的比较

数 控 机 床	普 通 设 备
操作者可在较短的时间内掌握操作和加工技能	要求操作者有长期的实践经验
加工精度高、质量稳定，较少依赖于操作者的技能水平	高质量、高精度的加工要求操作者具有高的技能水平
编制程序花费较多时间	适合加工形状简单、单一工序的产品
加工零件复杂程度高，适合多工序加工	加工过程要求具有直觉和技巧
易于加工工艺标准化和刀具管理规范	操作者以自己的方式完成加工，加工方式多样，很难实现标准化
适于长时间无人操作和加工自动化	是实现自动化加工的准备环节必不可少的，如材料的预去除及夹具的制作等
适于计算机辅助生产控制	很难提高加工的专门技术，不利于知识系统化和普及
生产率高	生产率低，质量不稳定

二、数控技术的发展

（一）高速化

采用高速的32位以上的微处理器，使得数控系统的输入、译码、计算、输出等环节都在高速下完成，并可提高数控系统的分辨率及实现连续小程序段的高速、高精加工。

目前正在开发的采用64位中央处理单元（CPU）的新型数控系统，增强了插补运算功能、快速进给功能，实现了高速加工，实现了多轴控制功能，一般控制轴数为3~15轴，最多24轴，同时控制轴数可达3~6轴。

(二) 多功能

具有多种监控、检测及补偿功能。如刀具磨损的检测、系统的精度及热变形的检测等,还具有刀具寿命管理、刀具长度偏置、刀具半径补偿、刀尖补偿、螺距补偿等功能。大多数现代数控机床都采用CRT显示,可以进行二维图形的轨迹显示,有的还可以实现三维彩色动态图形显示。借助CRT,利用键盘可以实现程序的输入、编辑、修改和删除等功能。现代数控系统还具有硬件、软件及故障自诊断功能。

(三) 智能化

在现代数控系统中,引进了自适应控制技术。自适应控制(Adaptive Control,简称AC)技术是能调节在加工过程中所测得的工作状态特性,且能使切削过程达到并维持最佳状态的技术。在系统工作中,大约有30余种变量直接或间接影响加工效果,如工件毛坯余量不匀、材料硬度不一致、刀具磨损、工件变形、机床热变形、化学亲合力的大小、切削液的粘度等因素。这些变量事先难以预知,编制加工程序时常依据经验数据。实际加工时,很难用最佳参数进行切削。而自适应控制技术则能根据切削条件的变化,自动调整并保持最佳工作状态,从而得到高的加工精度、较小的表面粗糙度,同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。

现代数控系统智能化的发展,目前主要体现在以下几方面:

- (1) 工件自动检测、自动定心。
- (2) 刀具破损检测及自动更换备用刀具。
- (3) 刀具寿命及刀具收存情况管理。
- (4) 负载监控。
- (5) 数据管理。
- (6) 维修管理。
- (7) 利用前馈控制实时补偿矢量的功能。
- (8) 根据加工时的热变形,对滚珠丝杠等的伸缩进行实时补偿功能。

(四) 高精度化

以加工中心为例,其主要精度指标——直线坐标的定位精度和重复定位精度都有了明显的提高:定位精度由 $\pm 5 \mu\text{m/m}$ 提高到 $\pm 0.15 \sim 3 \mu\text{m/m}$;重复定位精度由 $\pm 2 \mu\text{m}$ 提高到 $\pm 1 \mu\text{m}$ 。为了提高加工精度,除了在结构总体设计、主轴箱、进给系统中采用低热胀系数材料、通入恒温油等措施外,在控制系统方面采取的措施是:

- (1) 采用高精度的脉冲当量 从提高控制精度入手,来提高定位精度和重复定位精度。
- (2) 采用交流数字伺服系统 伺服系统的质量直接关系到数控系统的加工精度。采用交流数字伺服系统,可使伺服电动机的位置、速度及电流环路等参数都实现数字化,因此也就实现了几乎不受负载变化影响的高速响应的伺服系统。
- (3) 前馈控制 所谓前馈控制,就是在原来的控制系统上加上指令各阶导数的控制。采用它,能使伺服系统的追踪滞后减少1/2,改善了加工精度。
- (4) 机床静止摩擦的非线性控制 对于具有较大静止摩擦的数控设备,由于过去没有采取有效的控制,使圆弧切削的圆度不好。而新型数字伺服系统具有补偿机床驱动系统静摩擦的非线性控制功能,可改善圆弧切削的圆度。