

数控机床操作与 编程培训教程

刘雄伟 主编



机械工业出版社
China Machine Press

数控机床操作与编程培训教程

主 编 刘雄伟
副主编 冯培锋
编写人员 郑延芳 郑海波



机械工业出版社

本书简明扼要地介绍了 CNC 机床的基本原理和结构,着重介绍 CNC 车床、CNC 镗铣床、CNC 线切割机床、CNC 冲床的操作和编程方法。内容包括:与数控加工和编程密切相关的 CNC 系统和机床基础知识、各种 CNC 机床的操作及其注意事项、各种加工方法的手工编程及其应用举例、应用 MasterCAM 系统进行数控加工编程的方法及其应用举例。以应用最为广泛的 Fanuc 和 Siemens 数控系统为例进行介绍,图文并茂、通俗易懂,给出了大量的实例,并附有思考与练习题,供读者参考、练习和实践。

本书是为机电专业高等职业技术教育和大中专学生以及参加职业技术培训的数控机床操作和编程技术人员编写的,亦可作为高等工科院校机械设计与制造专业本科数控机床及其编程课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床操作与编程培训教程/刘雄伟主编.—北京:机械工业出版社,2001.3

ISBN 7-111-08454-3

I. 数… II. 刘… III. ①数控机床—操作—教材②数控机床—程序设计—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 06672 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:徐 彤 季顺利 封面设计:姚 毅

责任印制:路 琳

北京大地印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ • 18.75 印张 • 463 千字

0 001—4 000 册

定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本书购书热线电话(010)68993821、68326677-2577

前 言

近年来,数控技术的发展十分迅速,数控机床的普及率越来越高,在机械制造业中得到了广泛的应用。制造业的工程技术人员和数控机床的操作与编程技术人员对数控机床及其操作与编程技术的需求越来越大。

本培训教程是针对高等职业教育“机电工程”和“机械设计与制造”专业的“数控机床的操作与编程”、“数控机床与编程”和“数控加工与编程”等课程的要求而编写的。全书共分为六章,第一章简述了数控技术的基本概念、数控系统的基本原理、数控机床的组成与工作原理、数控加工与数控编程的基本方法。第二章介绍数控车床和车削加工中心的结构、操作与数控车削加工及其编程方法。第三章介绍数控镗铣床和加工中心的结构、操作与数控镗铣加工及其编程方法。第四章介绍数控快走丝线切割机床的结构、操作与数控线切割加工及其编程方法。第五章介绍数控冲床的结构、操作与数控冲裁加工及其编程方法。第六章介绍应用 MasterCAM 系统进行数控加工编程的方法。各章均有适当的思考与练习题。

本教程是在作者近年来从事数控加工及其编程方面的教学、科研、生产工作经验的基础上编写的,力求做到理论联系实际,保证技术的先进性,着重于应用,强调实例的可参考性和可操作性。

本教程的第一、四章由刘雄伟编写,第二章由冯培锋编写,第三章由刘雄伟、冯培锋、王建强共同编写,第五章由郑延芳编写,第六章由郑海波编写,全书由刘雄伟、冯培锋统稿,由福建天宇集团王增梅总工程师主审。在编写过程中,得到了华侨大学先进制造技术研究所全体教职员工和实验工作人员、福建天宇集团福州第一开关厂数控技术部有关技术人员以及厦门林德-厦门叉车有限公司有关技术人员的大力支持,在此,一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,从事高等职业教育与技术培训工作的经验不足,书中难免出现漏洞和错误,恳请读者批评指正。

作者

2001年3月

目 录

第一章 数控机床概述	1
第一节 数控技术的基本概念	1
第二节 数控机床的组成	3
第三节 数控机床的工作原理与工作方式	6
第四节 数控机床的分类	9
第五节 数控系统的插补原理简介	13
第六节 数控机床的伺服系统概述	18
第七节 数控机床的特点与发展方向	20
第八节 数控机床的坐标系统与原点偏置	24
第九节 数控加工的刀具半径补偿	28
第十节 数控加工的刀具长度补偿	33
第十一节 数控加工的切削速度和进给速度	35
第十二节 数控系统的指令集	35
第十三节 数控加工编程概述	39
第二章 数控车削加工及其编程	46
第一节 数控车床的结构	46
第二节 数控车床与车削加工中心的操作及维护	50
第三节 数控车削加工及手工编程	65
第三章 数控镗铣加工及其编程	127
第一节 数控镗铣床和加工中心的结构	127
第二节 立式加工中心的操作	138
第三节 数控镗铣加工及手工编程	150
第四章 数控快走丝线切割加工及其编程	195
第一节 数控快走丝线切割机床的操作	195
第二节 数控快走丝线切割加工及其编程	206
第五章 数控冲压加工及其编程	229
第一节 数控冲床	229
第二节 数控冲床的操作	230
第三节 数控冲床的编程	232
第四节 应用 CAD/CAM 软件进行编程	246
第六章 应用 MasterCAM 系统进行数控加工编程	251
第一节 MasterCAM 系统的应用概述	251
第二节 MasterCAM 系统的工作环境	252
第三节 MasterCAM 系统的几何建模功能	256
第四节 MasterCAM 系统的数控加工编程功能	263

第五节 MasterCAM 系统的应用.....	270
附录 A FANUC 数控系统的准备功能 G 代码及其功能.....	291
附录 B FANUC 数控系统的辅助功能 M 代码及其功能.....	293
参考文献.....	294

第一章 数控机床概述

第一节 数控技术的基本概念

数控技术是本世纪中期发展起来的机床控制技术。现代计算机数控技术是综合了计算机、自动控制、电机、电气传动、测量、监控、机械制造等技术学科领域最新成果而形成的一门边缘科学技术。数控技术是柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, 简称 FMS)、计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, 简称 CIMS)和工厂自动化(Factory Automation, 简称 FA)的基础技术之一, 是现代机械制造业中的高新技术之一。

数控技术包含许多基本概念, 了解这些基本概念, 对于学习和掌握数控技术和数控机床的操作与编程具有重要意义。

一、数控

数字控制(Numerical Control, 简称 NC)是一种自动控制技术, 是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。

二、数控机床

数控机床(NC Machine)就是采用了数控技术的机床, 或者说是装备了数控系统的机床。

国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing, 简称 IFIP)第五技术委员会对数控机床作了如下定义: 数控机床是一种装有程序控制系统的机床, 该系统能逻辑地处理具有特定代码和其它符号编码指令规定的程序。

三、数控系统

数控系统(NC System)就是上述定义中所指的那种程序控制系统, 它能逻辑地处理输入到系统中具有特定代码的程序, 并将其译码, 从而使机床运动并加工零件。

与普通机床相比, 数控机床取代了手工操作。采用普通机床进行加工时, 是操作人员操纵机床手轮使刀具沿着工件表面移动而进行零件的加工; 而采用数控机床进行加工时, 凡是以前需要操作人员操作机床手轮的工作, 现在都可以由数控系统在程序控制下自动完成。

自从 1952 年美国麻省理工学院伺服机构实验室研制出第一台三坐标数控铣床以来, 数控系统在制造业, 特别是在航空航天工业中被广泛地应用。数控系统的发展到现在已经有了二个阶段。第一阶段为 NC 阶段, 即逻辑数字控制阶段, 其特点是数控系统的所有功能均由硬件(数控装置)来实现, 故又称为硬件数控。这个阶段数控系统的发展经历了三个时代, 即电子管时代、晶体管时代和小规模集成电路时代。

自 1970 年小型计算机开始用于数控系统, 数控系统的发展进入第二阶段, 即 CNC(计算机数字控制)阶段, 这是第四代数控系统。从 1974 年微处理器开始用于数控系统, 数控系统

发展到第五代，经过几年的发展，数控系统从性能到可靠性均得到了很大的提高。自 70 年代未到 80 年代，数控技术在全世界得到了大规模的发展和应用。从 90 年代开始，PC 机的发展日新月异，基于 PC 平台的数控系统(称为 PC 数控系统)应运而生，数控系统发展进入第六代。现在市场上流行的和企业普遍使用的仍然是第五代数控系统，其典型代表是日本的 FANUC-0 系列和德国的 Sinumerik 810 系列数控系统。

四、计算机数控系统

计算机数控系统(Computerized Numerical Control System)由装有数控系统程序的专用计算机、输入输出设备、可编程序控制器(PLC)、存储器、主轴驱动及进给驱动装置等部分组成，习惯上称为 CNC 系统，如图 1-1 所示。目前通常所说的数控系统，一般均指计算机数控系统。

现代数控系统制造商均声称它们提供的 CNC 系统是开放式 CNC 系统(Open CNC System)。然而，关于开放式 CNC 系统并没有一个统一的定义，但可以从以下 IEEE 关于开放式系统(Open System)的定义获得关于开放式 CNC 系统的启示：一个开放式系统应保证使开发的应用软件能在不同厂商提供的不同的软硬件平台上运行，且能与其它应用软件系统协调工作。

根据这一定义，至少可以总结出开放式 CNC 系统的以下特征：

- 1) 对于使用者是开放的：应可以采用先进的图形交互方式支持下的简易编程方法，使得数控机床的操作更加容易。
- 2) 对于机床制造商是开放的：应允许机床制造商在开放式 CNC 系统软件的基础上开发专用的功能模块及用户操作界面。
- 3) 对于硬件的选择是开放的：即一个开放式 CNC 系统应能在不同的硬件平台上运行。
- 4) 对于主轴及进给驱动系统是开放的：即能控制不同厂商提供的主轴及进给驱动系统。
- 5) 对于数据传输及交换等是开放的。

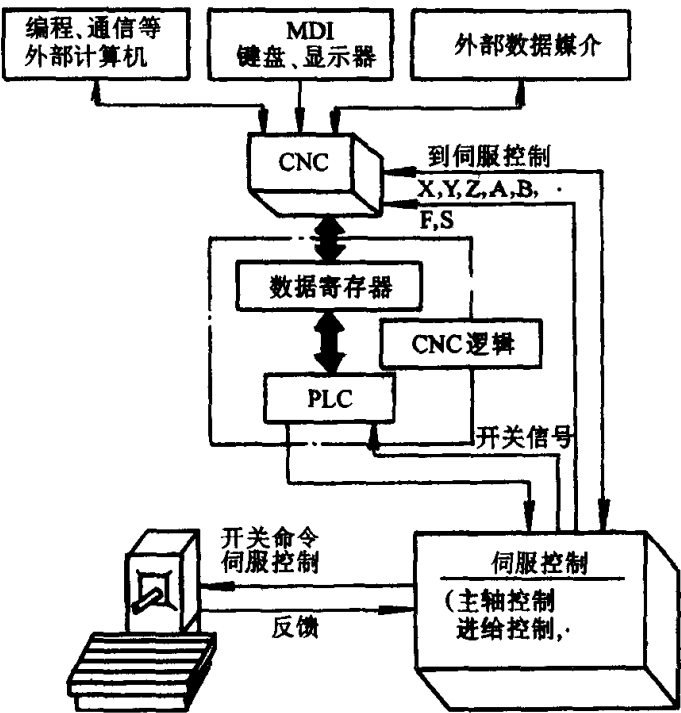


图 1-1 CNC 系统原理

图 1-2 所示为基于个人计算机(PC)的开放式 CNC 系统原理图。

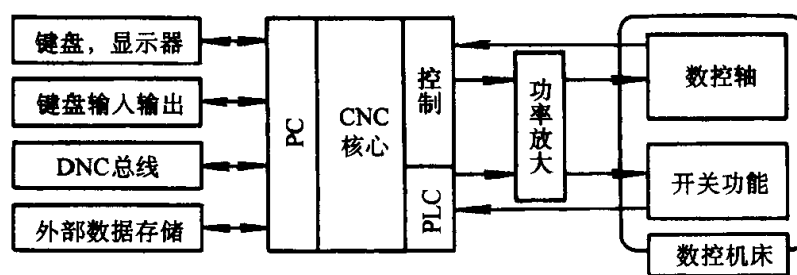


图 1-2 基于个人计算机(PC)的开放式 CNC 系统原理

开放式 CNC 系统具有以下特点：

- 1) 系统结构简单。
- 2) 用户操作命令接近自然语言。
- 3) 适用于人机对话编程。
- 4) 容易与计算机网络系统互联。
- 5) 容易与 CAD/CAM 系统集成。

正因为开放式 CNC 系统具有以上这些优点，很多 CNC 系统厂商都在这一领域积极开展研究与开发。

近年来人们致力于开发基于 Web 的 CNC 系统(远程 CNC 系统)、智能 CNC 系统、CAD/CAM 集成 CNC 系统。我们不妨将它称为第七代数控系统。可以预见在不久的将来第七代数控系统可望在生产中得到推广应用。

五、数控程序

输入数控系统中的、使数控机床执行一个确定的加工任务的、具有特定代码和其它符号编码的一系列指令，称为数控程序(NC Program)或零件程序(Part Program)。

六、数控编程

生成用数控机床进行零件加工的数控程序的过程，称为数控编程(NC Program)。

七、数控加工

根据零件图样及工艺要求等原始条件编制零件数控加工程序，输入数控系统，控制数控机床中刀具与工件的相对运动，从而完成零件的加工。

第二节 数控机床的组成

数控机床一般由 CNC 系统、伺服系统和机械系统三大部分组成。

一、CNC 系统

这是 CNC 机床的核心，其原理图如图 1-1 所示，主要功能：

- (1) 多坐标控制(多轴联动) 同时控制数控机床的各坐标轴的进给运动。
- (2) 准备功能(G 功能) 用来指定机床的运动方式。
- (3) 多种函数的插补(直线、圆弧、抛物线及螺旋线插补等) 用于刀具进给运动轨迹插补。
- (4) 可编程偏置量设定 用于设置程序原点、刀具长度和刀具半径补偿值。
- (5) 代码转换 包括 EIA/ISO 代码转换、英制/公制转换、二—十进制转换、绝对值/增量值转换等。
- (6) 固定循环加工 将一些典型的循环加工过程, 如钻孔、攻螺纹、镗孔、切螺纹等, 预先编制好程序并存放在存储器中, 用 G 代码进行指定, 从而简化零件的加工编程。
- (7) 进给功能 指定进给速度或进给率。
- (8) 主轴功能 指定主轴转速。
- (9) 辅助功能 规定主轴的启动、停止、转向及冷却液的打开和关闭等。
- (10) 刀具功能 选择刀具和换刀。
- (11) 各种补偿功能 包括刀具半径、刀具长度、传动间隙、螺距误差的补偿。
- (12) 辅助编程功能 包括图形缩放和平移、坐标旋转、极坐标、镜象等功能, 减少了手工编程的工作量和难度。
- (13) 子程序功能 调用子程序, 使编程灵活, 并简化编程。
- (14) 宏程序功能 通过编辑子程序中的变量来改变刀具路径与刀具位置。
- (15) 人机对话编程功能 包括数据及加工程序的输入、编辑及修改。
- (16) 字符图形显示功能 在 CRT 上显示数控程序、各种参数、各种补偿值、坐标位置、故障信息、人机对话编程菜单、零件图形、动态刀具运动轨迹等。
- (17) 故障的自诊断功能 设置各种诊断程序, 防止故障的发生和扩大。
- (18) 通信及联网功能 用于实现程序的传输、计算机直接数控(DNC: Directed NC)、分布式(Distributed)计算机数控和制造自动化协议(Manufacturing Automation Protocol, 简称 MAP)。

二、伺服系统

数控机床的伺服系统(或称驱动系统)是数控机床的重要组成部分, 用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。

1. 进给伺服系统 是数控机床的进给运动执行部分, 包括位置控制单元、速度控制单元、执行电动机、测量反馈单元等部分, 它接受计算机发来的各种动作命令, 驱动执行电动机运动。执行电动机可以是步进电动机、电液马达、直流伺服电动机或交流伺服电动机。进给伺服系统的组成如图 1-3 所示, 其性能的好坏将直接影响数控机床加工精度和生产效率。

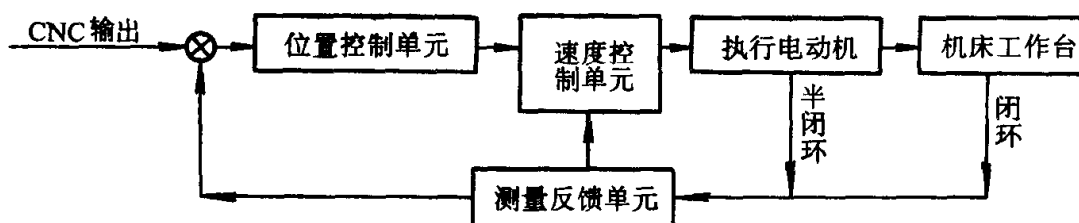


图 1-3 进给伺服系统的组成

2. 主轴伺服系统 是数控机床主轴运动的控制部分, 包括主轴控制单元、主轴电动机、测量反馈单元等部分。

三、机械系统

根据加工工艺进行分类, 可将数控机床分为数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床、数控冲压机床、数控电加工机床、数控测量机床等, 这种分类方法主要是针对数控机床的机械结构进行的。

近 20 年来, 由于进给驱动、主轴驱动和数控技术的发展, 数控机床的机械结构已从初期对普通机床局部结构的改进, 逐步发展到形成数控机床的独特机械结构。尽管如此, 普通机床的构成模式仍适用于现代数控机床, 其零部件的设计方法仍基于普通机床设计的理论和计算方法, 但数控机床零部件的性能指标要求较高。

数控机床的机械系统, 除机床基础件以外, 由下列各部分组成:

- 1) 主轴部件: 包括主轴电动机和主轴传动系统。
- 2) 进给系统: 包括进给执行电动机和进给传动系统。
- 3) 实现工件回转、定位的装置和附件。
- 4) 实现某些部件动作和辅助功能的系统和装置。如液压、气动、润滑、冷却等系统和排屑、防护等装置。
- 5) 刀库和自动换刀装置(Automatic Tools Changer, 简称 ATC)。
- 6) 自动托盘交换装置(Automatic Pallet Changer, 简称 APC)。

机床基础件或称机床大件, 通常是指床身(或底座)、立柱、横梁、滑座和工作台等, 它是整台机床的基础和框架。机床的其它零、部件, 或者固定在基础件上, 或者工作时在它的导轨上运动。其它机械结构组成则按机床的功能需要选用。如一般的数控机床除基础件以外, 还有主轴部件、进给系统以及液压、润滑、冷却等辅助装置, 这是数控机床机械系统的基本构成。

加工中心则至少还应有 ATC, 有的还有双工位 APC 等。柔性制造单元除 ATC 外还带有工位较多的 APC, 有的甚至还配有用于上下料的工业机器人。数控机床还可根据自动化程度、可靠性要求和特殊功能需要, 选用各种类型的刀具破损监控、机床与工件精度检测、补偿装置和附件等。有些特种加工数控机床, 如电加工数控机床和激光切割机, 其主轴部件不同于一般数控金属切削机床, 但采用伺服电动机驱动机床运动部件实现进给运动, 则是所有数控机床的共同特性。

与普通机床不同的是, 数控机床的机械结构具有如下特点:

- 1) 由于大多数数控机床采用了高性能的主轴部件及进给伺服驱动系统, 因此, 数控机床的机械传动结构大大简化, 传动链较短。
- 2) 为了适应数控机床连续地自动化加工, 数控机床的机械结构具有较高的动态刚度、阻尼精度及耐磨性, 热变形较小。
- 3) 更多地采用高效、高精度传动部件, 如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

第三节 数控机床的工作原理与工作方式

一、工作原理

数控机床的工作原理如图 1-4 所示。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的工艺过程、工艺参数和刀具数据，再按编程手册的有关规定编写零件数控加工程序，然后通过 MDI 方式或 DNC 方式将数控加工程序送到数控系统，在数控系统控制软件的支持下，经过处理与计算后，发出相应的指令，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。

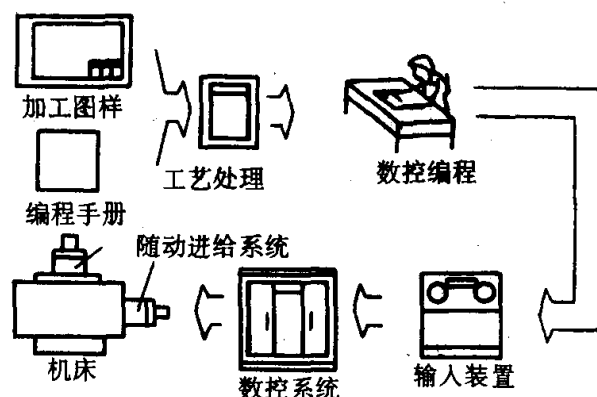


图 1-4 数控机床的工作原理

数控系统除了计算机以外，其外围设备主要包括键盘、CRT、操作面板、机床接口等。键盘主要用于输入操作命令及编辑、修改程序，亦可以输入零件加工程序。CRT 供显示及监控用。操作面板可供操作员改变操作方式、输入数据、起停加工等。机床接口是计算机和机床之间联系的桥梁，包括伺服驱动接口及 DNC 输入/输出接口。

系统程序储存于计算机内存中。所有的数控功能基本上都依靠该程序完成，例如输入、译码、数据处理、插补、伺服输出等。整个数控系统的活动均由系统程序来指挥。下面简单介绍一下数控系统的工作过程。

(1) 输入 大量的零件加工程序一般通过 DNC 从上一级计算机输入而来。数控系统一般有两种不同的输入工作方式：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计算机内部的存储器，加工时再由存储器一段一段地往外读出。

(2) 译码 输入的程序段含有零件的轮廓信息(起点、终点、直线、圆弧等)、要求的加工速度以及其他的辅助信息(换刀、进给速度、冷却液等)。计算机依靠译码程序来识别这些指令符号，译码程序将零件加工程序翻译成计算机内部能识别的语言。

(3) 数据处理 数据处理程序一般包括刀具半径补偿、速度计算以及辅助功能的处理。刀具半径补偿是根据刀具半径值把零件轮廓轨迹转化为刀具中心轨迹。速度计算是解决该加工程序段以什么样的速度运动的问题。加工速度的确定是一个工艺问题。数控系统仅仅是保证这个编程速度的可靠实现。另外，辅助功能如换刀、冷却液等亦在这个程序中处理。

(4) 插补 在机床的实际加工中，被加工工件的轮廓形状千差万别。严格说来，为了满足几何尺寸精度的要求，刀具中心轨迹应该准确地依照工件的轮廓形状生成。对于简单的曲

线，数控系统易于实现，但对于较复杂的形状，若直接生成刀具中心轨迹，势必会使计算方法变得很复杂，计算工作量也相应地大大增加。因此，在实际应用中，常常采用一小段直线或圆弧去逼近(或称为拟合)曲线，有些场合也可以采用抛物线、椭圆、双曲线和其它高次曲线去逼近曲线。所谓插补，是在已知一条曲线的种类、起点、终点以及进给速度后，在起点和终点之间进行数据点的密化。计算机数控系统将加工时间划分为一个一个的插补周期，在每个插补周期通过插补运算形成一个微小的数据段。若干次插补周期后完成一个曲线段的加工，即从曲线段的起点走到终点。CNC 系统是一边进行插补计算，一边进行加工的。本次插补周期内插补程序的作用是计算下一个插补周期的位置增量。一个数据段正式插补加工前，必须先完成诸如换刀、进给速度、冷却液等功能，即只有辅助功能完成后才能进行插补。

(5) 伺服控制 插补的结果是产生一个或多个插补周期内的位置增量。该位置增量在上一个插补周期内已计算出来。伺服控制程序的功能是完成本次插补周期的位置伺服计算，并将结果发送到伺服驱动接口中去。

(6) 管理程序 当一个曲线段开始插补时，管理程序即着手准备下一个数据段的读入、译码、数据处理。即由它调用各个功能子程序，且保证一个数据段加工过程中将下一个程序段准备完毕。一旦本曲线段加工完毕，即开始下一个曲线段的插补加工。整个零件加工就是在这种周而复始的过程中完成的。

二、工作方式

了解数控机床的工作方式对于学习数控机床的操作与编程是十分重要的，各种数控机床的工作方式虽然有所不同，但基本上是类似的或相近的。下面综合 Fanuc 和 Siemens 数控系统介绍现代 CNC 系统的工作方式。

1. 返回参考点方式 数控机床开机后，在正式工作之前，必须先确定机床参考点 R，亦即确定刀具与机床原点 M 的相对位置(关于机床参考点、机床原点及坐标系统参见第八节)。机床参考点确定以后，由于参考点的位置相对于机床原点的位置是固定的(在机床出厂前由机床生产厂商精确测量确定)，刀具运动就有了基准，消除机床运动过程中的随机信号。

返回参考点就是数控系统接通电源后，操作人员使机床的所有运动坐标运动到机床参考点，以后刀具的运动就以机床参考坐标系为基准。

操作过程是：接通电源后，将操作面板上的操作方式选择开关设置为返回参考点方式，然后操作各坐标轴的控制按钮，即可实现返回参考点动作。返回参考点的运动速度由机床生产厂家在机床数据中设定。数控系统在机床运动之前检查所选择的运动方向，如果按相反方向的按钮，则数控系统不动作。当到达参考点 R 后，刀具相对于机床参考点 R 的坐标值为零，并在 CRT 上显示出来，作为刀具的实际位置。因此，返回参考点也称为回零操作。

在零件加工程序中，采用返回参考点功能也能将所编程的坐标轴返回参考点。该指令可在自动加工方式和手动输入/自动加工方式中被激活，但仅在本程序段中有效，且只能包含一个坐标轴。

参考点 R 的位置一般由机械挡块位置进行粗定位，然后由光电编码器进行精确定位。

数控系统在没有完成返回参考点之前，不能进行自动加工操作。

2. 自动加工方式 自动加工方式，就是数控系统根据程序员编制的零件加工程序，自动控制机床对零件进行加工的工作方式。在实际加工过程开始之前，数控系统必须作好必要的

准备工作，包括：

- 1) 将刀具移动到合适的位置。
- 2) 将加工程序输入到数控系统的内存中。
- 3) 检查和输入程序原点偏置、刀具半径和刀具长度。

在这种工作方式中，为了处理一个加工程序，数控系统按顺序逐段调用加工程序进行计算，计算过程中参考了所有相关的偏置。现代 CNC 系统一般均为多任务数控系统，当一个加工程序正在执行时，另一个加工程序可同时输入到 CNC 系统。

数控系统内存中可同时存放多个加工程序，通过键盘输入要求的加工程序号，即可从数控系统内存中选择该加工程序。选定好加工程序之后，操作启动按钮，数控系统按加工程序控制机床进行自动加工。

自动加工方式时，数控系统 CRT 的显示内容包括：加工程序号；编程设定的主轴转速和进给速度，实际的主轴转速和进给速度；主轴转速和进给速度的倍率修调；T、D、H、M 辅助功能；各坐标轴的实际位置，本程序段各坐标轴要运动的距离(Distance to go)，即本程序段各坐标轴的编程目标值减去当前的实际坐标值。

除了上述显示内容外，数控系统的 CRT 还显示一些其他信息，具体操作请参考有关机床操作手册。

数控系统在进行自动程序加工过程中，通过操作进给停止按钮可以中断程序，当操作进给启动按钮时，可继续执行程序。

3. 连续点动方式 连续点动方式就是操作人员用手动而不是由程序控制机床运动，只要用手按着方向键，所选坐标轴就运动，手抬起后，所选坐标轴的运动停止。连续点动是任意的，只有在碰到机床的限位开关时才会停止，但同时最多只能移动两个坐标轴。CRT 上显示出设定的进给速度值 F，以此速度使坐标轴运动。连续点动的速度是作为机床参数由机床生产厂家预置的，但可以用进给速度倍率开关进行调整。

当加工程序被中断后，在 CRT 上能够显示出机床各坐标轴离开中断点的距离。当然刚中断时，距离为零，只有手动控制各坐标轴运动后，距离才有变化。操作员可以通过 CRT 显示，连续点动机床各坐标轴，使其返回到中断点，直到中断点的距离显示为零。

连续点动工作方式可用于对刀、换刀、安装工件、测量工件，以及对加工刀具进行几何数据测量。

4. 增量点动方式 增量点动方式也是用手动而不是由程序控制机床运动，只要用手按一下方向键(不管按的时间长短)，对应的轴即按照方向键标示的方向移动一个增量。根据方式旋钮的设定，增量有 5 种，即 1、10、100、1000、10000 μm ，CRT 显示该增量值。增量点动速度同样是作为机床参数由机床生产厂家预置的，同样可以用进给倍率开关进行调整。

进给倍率开关只有当适当的接口信号由 PLC 传送到 NC 时才有效。

5. 手动输入/自动加工方式 手动输入/自动加工方式中，操作人员能够在 CNC 的控制下，一段程序一段程序地进行操作。用键盘和输入键输入一段程序，结束时用回车符“LF”。按下程序启动键，则 CNC 执行输入的程序段，并随后将其删除。在按下操作程序启动按钮之前，能够输入几个程序段，但最大总长度限制为 256 个字符，这些程序段存入数控系统的缓冲存储器中，按下程序启动按钮后，数控系统处理存入缓冲存储器中的程序，处理结束后将缓冲存储器清除，以准备接收新的数据。这种工作方式中，模态输入数据(如进给速度)将

保存。模态输入数据可通过改变操作方式或复位操作予以删除。

6. 重定位方式 在加工程序中断后,例如刀具破损后,把方式旋钮从自动方式切换到连续点动或增量点动方式时,操作人员能够将刀具从工件轮廓上移开。当刀具移开时,数控系统记录下移动的距离作为重定位偏差值(REPOS offset)。在重定位方式中,能够用方向键将刀具移动到中断点。相反方向键是不起作用的,到达中断点后,运动自动停止,不可能超过中断点,运动过程中重定位偏差值不断变化,到达中断点后,其值变为零。在同一时刻,最多只能有两个轴运动。进给倍率开关有效,快速移动开关无效。

在更换刀具以后,假若所换上的刀具与前一把刀具的几何尺寸和安装方式完全相同,可用此工作方式将刀具回到中断点,并可继续加工。若换上的刀具与前一把刀具不同,则应该采用程序段搜索的方式回到中断点。

第四节 数控机床的分类

一、按机床运动轨迹进行分类

1. 点位控制数控机床 点位控制(Positioning Control)又称为点到点控制(Point to Point Control)。刀具从某一位置向另一位置移动时,不管中间的移动轨迹如何,只要刀具最后能正确到达目标位置的控制方式,称为点位控制。这类控制在移动过程中不进行加工,对两点间的移动速度及运动轨迹没有严格要求,可以先沿一个坐标移动完毕,再沿另一个坐标移动,也可以沿多个坐标同时移动。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床和数控冲床等,相应的数控系统称为点位数控系统。

点位控制加工的例子见图 1-5 所示的钻孔工作。点位运动如图 1-6 所示,从始点向终点移动刀具时,可采用①或②、③、④、⑤中的任意一条轨迹。这样,即使移动时的速度和轨迹不同,只要正确地移动到终点位置即可。

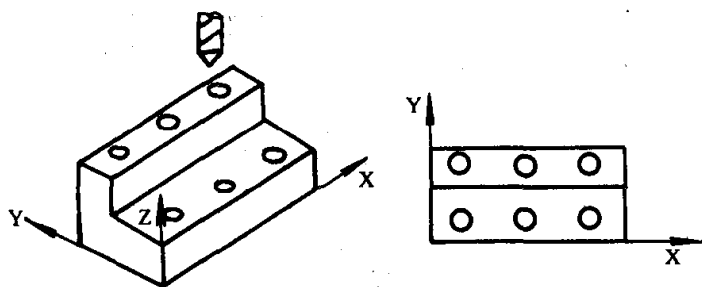


图 1-5 点位数控加工举例

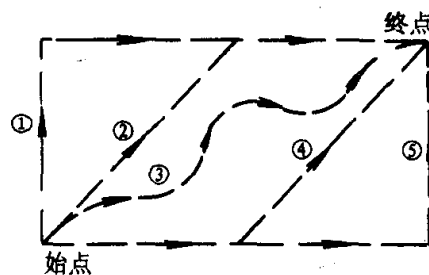


图 1-6 点位运动

2. 直线控制数控机床 直线切削控制(Straight Cut Control)又称为平行切削控制(Parallel Cut Control)。这类数控机床除了控制点到点的准确位置之外,还要保证两点之间移动的轨迹是一条直线,而且对移动的速度也要进行控制,因为这一类数控机床在两点之间移动时要进行切削加工。

这一类数控机床包括简易数控车床、数控镗铣床等。一般情况下,这些数控机床有 2~3 个可控坐标轴,但同时控制的坐标轴只有 1 个。

为了能在刀具磨损或更换刀具后,仍可得到合格的零件,这类机床的数控系统常常具有

刀具半径补偿、刀具长度补偿和主轴转速控制功能。

直线控制加工的例子如图 1-7 所示。

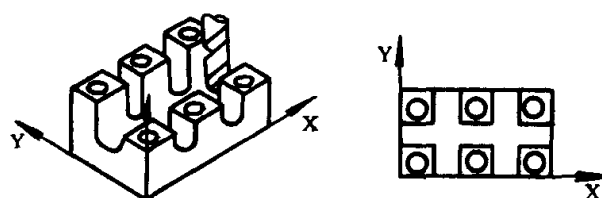


图 1-7 直线加工举例

3. 轮廓控制的数控机床 轮廓控制又称为连续轨迹控制。这类数控机床能够对两个或两个以上运动坐标的位移及速度

进行连续相关的控制，因而可以进行曲线或曲面的切削加工。这类机床有两坐标及两坐标以上的数控镗铣床、加工中心等。

现代数控机床绝大多数具有两坐标或两坐标以上联动的功能，而且具有刀具半径补偿、丝杠和齿轮的间隙补偿等功能。

按同时控制且相互独立的轴数，可以有 2、3、4、5 轴控制等。

2 轴控制指的是可以同时控制 2 轴，但机床也许多于 2 轴。X、Y、Z 三个坐标同时控制 X、Y 两个坐标时，可以进行如图 1-8a 所示的曲线轮廓加工；同时控制 Y、Z 坐标和 Z、X 坐标时，可以加工图 1-8b 所示形状的零件。

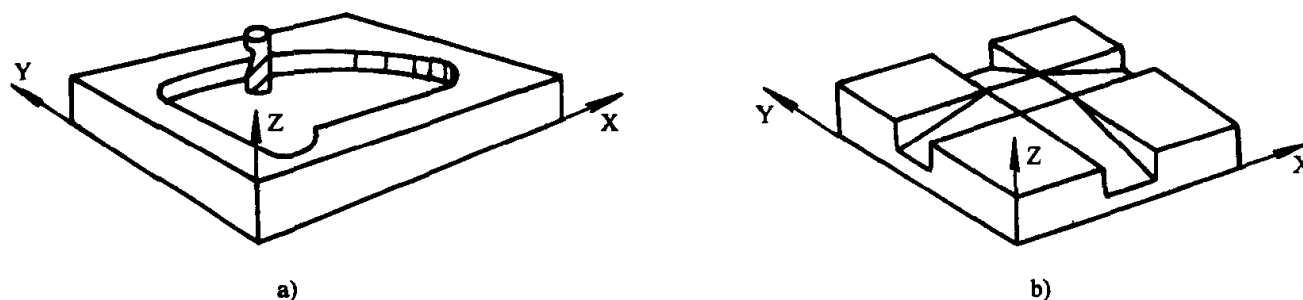


图 1-8 同时控制两个坐标的轮廓控制

a) 控制 X、Y 坐标 b) 控制 Y、Z 和 Z、X 坐标

3 轴控制是指同时控制 X、Y、Z 三个坐标，这样刀具在空间的任意方向都可移动，因而能够进行三维的立体加工，如图 1-9 所示。

4 轴控制是指同时控制四个坐标运动，即在三个移动坐标之外，再加一个旋转坐标。同时控制四个坐标的数控机床如图 1-10 所示，可用来加工叶轮或圆柱凸轮。

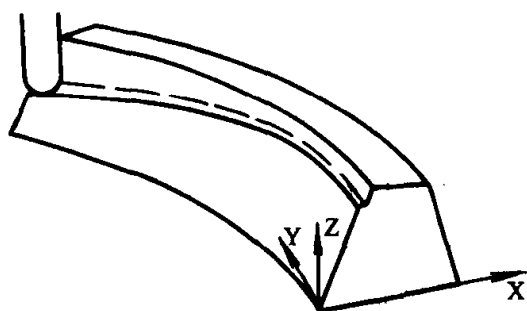


图 1-9 三坐标联动的数控加工

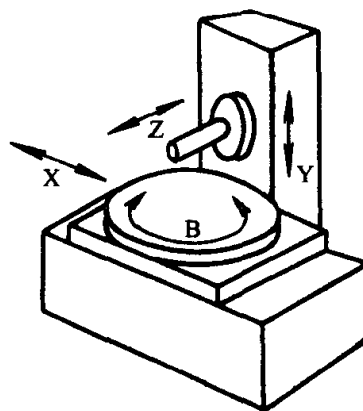


图 1-10 同时控制四个坐标的数控机床

5 轴控制中的 5 轴是指除直线坐标 X、Y、Z 以外，再加上围绕这些直线坐标旋转的旋转坐标 A、B、C 中的任意两个坐标，形成同时控制的五个坐标，这时刀具可以指向空间中的

任意方向。当进行图 1-11a 所示的曲面切削加工时，可以使刀具端面对曲面保持一定角度，也可以进行图 1-11b 所示零件侧面的切削加工。此外，在一次装夹的情况下，能实现任意方向的孔加工。由于刀具可以按数学规律导向，因此 5 轴联动加工特别适合于加工透平叶片、叶轮和机翼等。

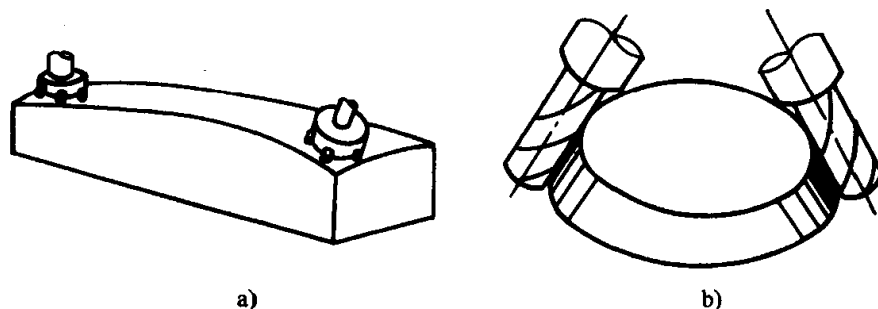


图 1-11 五坐标联动的数控加工

a) 五坐标端铣 b) 五坐标侧铣

二、按伺服系统类型进行分类

1. 开环伺服系统数控机床 这是一种比较原始的数控机床。这类机床的数控系统将零件的程序处理后，输出数据指令给伺服系统，驱动机床运动，没有来自位置传感器的反馈信号。最典型的系统就是采用步进电动机的伺服系统，如图 1-12 所示。它一般由步进电动机驱动器、步进电动机、配速齿轮和丝杠螺母传动副等组成。数控系统每发出一个指令脉冲，经驱动器功率放大后，驱动步进电动机旋转一个固定角度（即步距角），再经传动机构带动工作台移动。这类系统的信息流是单向的，即进给脉冲发出去以后，实际移动值不再反馈回来，所以称为开环控制。这类机床较为经济，但加工速度和加工精度较低。

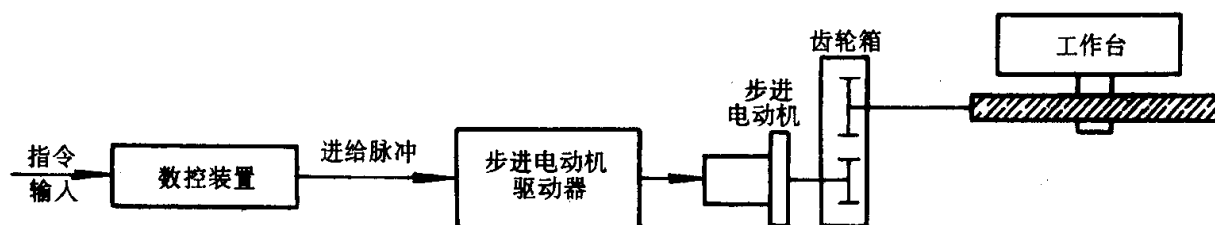


图 1-12 开环伺服系统

2. 闭环伺服系统数控机床 这类机床带有检测装置，直接对工作台的位移量进行检测，其原理如图 1-13 所示。当数控系统发出位移指令脉冲，经电动机和机械传动装置使机床工作台移动时，安装在工作台上的位置检测器把机械位移变换成电信号，反馈到输入端与输入信号进行比较，得到的差值经过放大和变换，最后驱动工作台向减少误差的方向移动，直到差值等于零为止。这类控制系统，因为把机床工作台纳入了位置控制环，故称为闭环控制系统。该系统可以消除包括工作台传动链在内的运动误差，因而定位精度高、调节速度快。但由于该系统受进给丝杠的拉压刚度、扭转刚度、摩擦阻尼特性和间隙等非线性因素的影响，给调试工作造成较大的困难。如果各种参数匹配不当，将会引起系统振荡，造成不稳定，影响定位精度。由于闭环伺服系统复杂和成本高，故适用于精度要求很高的数控机床，如精密数控镗铣床、超精密数控车床等。