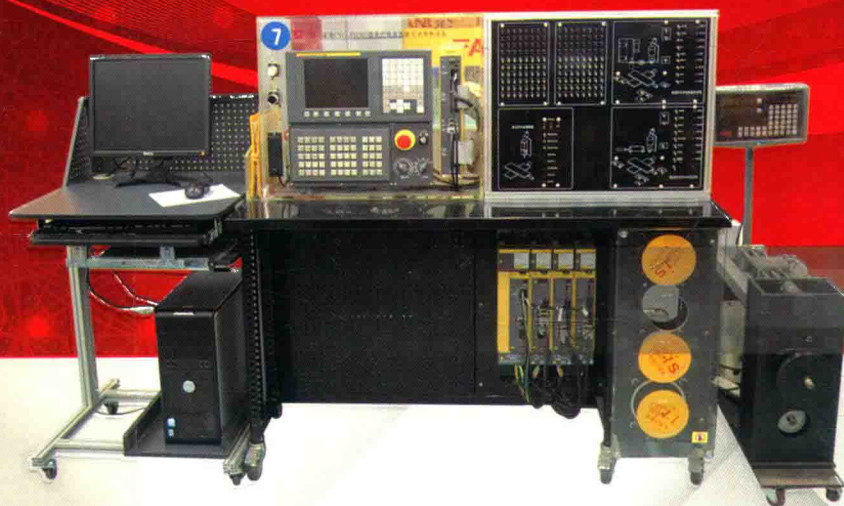


高等工科院校机械类专业规划教材

# 数控机床编程及 加工技术

蒙斌 主编



[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

配电子课件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

高等工科院校机械类专业规划教材

# 数控机床编程及加工技术

主 编 蒙 斌

副主编 李富荣 王 忠

参 编 胡彦萍 李鹏祥

机械工业出版社

本书共 8 章, 其中, 第 1~6 章为基本篇, 第 7 章和第 8 章为提高篇。第 1 章介绍数控机床基本知识, 第 2 章介绍数控机床编程基础, 第 3 章介绍数控机床加工工艺, 第 4 章介绍数控车床编程及加工, 第 5 章介绍数控铣床编程及加工, 第 6 章介绍加工中心编程及加工, 第 7 章介绍数控车床宏程序, 第 8 章介绍数控铣床的简化编程指令及宏程序。

本书内容安排力求层次分明、由浅入深、图文并茂、易学易懂。为了满足不同学习者的需要, 本书内容分为基本篇和提高篇; 为了让学习者理解和掌握编程指令, 对每个数控编程的知识点均安排有相应的例题; 在容易出问题和必须重点掌握的地方均设有提示; 对较为抽象和难理解的内容均用图表加以诠释, 便于初学者理解和掌握; 对数控车床、数控铣床和加工中心的编程内容进行介绍后均安排有相关加工案例, 便于学习者通过数控编程知识的综合运用来提高实践技能, 从而满足技术技能型人才培养的需要。

为了便于不同学习者学习, 本书主要以 FANUC 系统为例来介绍, 同时考虑到目前学校使用更多的是华中 (HNC) 系统, 所以也介绍了华中系统的编程。

本书可作为高等院校 (本科、高职高专、成人高校) 机械制造类、机电类、数控类、自动控制类专业学生的教材和参考书, 也可作为各种数控职业培训的培训教材和相关专业工程技术人员的参考书。

本书配有电子课件, 凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教育服务网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 注册后下载。咨询电话: 010-88379375。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床编程及加工技术/蒙斌主编. —北京: 机械工业出版社, 2018. 8  
高等工科院校机械类专业规划教材  
ISBN 978-7-111-60899-8

I. ①数… II. ①蒙… III. ①数控机床—程序设计—高等职业教育—教材②数控机床—加工—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 213557 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: 王英杰 责任编辑: 王英杰 武晋 刘良超  
责任校对: 陈越 封面设计: 路恩中  
责任印制: 李昂  
河北鹏盛贤印刷有限公司印刷  
2019 年 1 月第 1 版第 1 次印刷  
184mm×260mm·14.75 印张·360 千字  
0001—1900 册  
标准书号: ISBN 978-7-111-60899-8  
定价: 39.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
电话服务 网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面无防伪标均为盗版

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 前 言

数控技术是先进制造技术的重要组成部分。数控技术和数控装备是制造工业现代化的重要基础。这个基础是否牢固直接影响到一个国家的经济发展和综合国力，关系到一个国家的战略地位。因此，世界上各工业发达国家均大力发展自己的数控技术及数控产业。

在我国，数控技术与装备的发展也得到了高度重视，取得了相当大的进步。近年来，虽然国家不断加大数控高技能应用型人才的培养力度，但该类人才仍然存在着很大的缺口。为了适应国家发展战略的需要，培养紧缺的数控高技能应用型人才，国内很多工科院校开设了与数控技术相关或相近的专业，而数控编程与加工技术便是这些专业学生需要重点学习的内容。

本书正是为了适应数控专业建设的需要和人才培养的需求，结合编者多年从事数控技术教学科研的实践和感悟编写而成的。

本书内容安排力求层次分明、由浅入深、图文并茂、易学易懂。本书有如下特点：

- 1) 为了满足不同学习者的需要，本书内容分为基本篇和提高篇。
- 2) 为了让学习者理解和掌握编程指令，对每个数控编程的知识点均安排有相应的例题。
- 3) 在容易出问题和必须重点掌握的地方均设有提示，可以引起学习者的注意。
- 4) 对较为抽象和难理解的内容均用图表加以诠释，便于初学者理解和掌握。
- 5) 对数控车床、数控铣床和加工中心的编程内容进行介绍后均安排有相关加工案例，便于学习者通过数控编程知识的综合运用来提高实践技能，从而满足技术技能型人才培养的需要。

为了便于不同学习者学习，本书主要以 FANUC 系统为例来介绍，同时考虑到目前学校使用更多的是华中（HNC）系统，因此也介绍了华中系统的编程。

本书基本篇可供初学者系统学习数控机床的编程指令与编程方法，掌握数控机床加工的一般编程方法；提高篇可供掌握了数控基本编程技术的学习者进行提高性学习，丰富自己的数控编程手段，提高数控编程技能，掌握数控机床加工的高效编程方法。

本书由蒙斌任主编并负责统稿和定稿，李富荣、王忠任副主编，参加编写工作的还有胡彦萍、李鹏祥。编写分工如下：第 1 章由宁夏理工学院李鹏祥编写，第 2 章由兰州石化职业技术学院胡彦萍编写，第 3 章和第 5 章由宁夏大学蒙斌编写，第 4 章由聊城市技师学院王忠编写，第 6~8 章由银川能源学院李富荣编写。

本书在编写过程中参考了大量资料，在此向相关作者表示衷心感谢。由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请读者不吝指教，以便进一步修改和完善。

# 目 录

## 前 言

## 基 本 篇

第 1 章 数控机床基本知识 .....	2	第 4 章 数控车床编程及加工 .....	57
1.1 数控机床的产生与发展 .....	2	4.1 数控车床的编程指令及编程方法 .....	57
1.2 数控机床的工作原理及组成 .....	6	4.2 华中世纪星 HNC-21/22T 编程指令 简介 .....	96
1.3 数控机床的分类 .....	9	4.3 数控车床综合加工实例 .....	106
1.4 数控机床的特点及应用范围 .....	14	思考与训练 .....	120
1.5 数控技术的发展趋势 .....	15	第 5 章 数控铣床编程及加工 .....	125
1.6 典型数控系统 .....	19	5.1 数控铣床的编程指令及编程方法 .....	125
思考与训练 .....	24	5.2 华中世纪星 HNC-21/22M 编程指令 简介 .....	155
第 2 章 数控机床编程基础 .....	25	5.3 数控铣床操作及加工编程实例 .....	160
2.1 数控编程的内容与方法 .....	25	5.4 自动编程简介 .....	166
2.2 数控机床的坐标轴和运动方向 .....	27	思考与训练 .....	171
2.3 数控编程的程序格式 .....	31	第 6 章 加工中心编程及加工 .....	176
思考与训练 .....	32	6.1 加工中心的编程 .....	176
第 3 章 数控机床加工工艺 .....	34	6.2 加工中心加工实例 .....	183
3.1 数控加工工艺基础 .....	34	思考与训练 .....	190
3.2 数控加工工艺制订 .....	38		
思考与训练 .....	56		

## 提 高 篇

第 7 章 数控车床宏程序 .....	196	8.1 FANUC Oi 系统的简化编程指令及 宏程序 .....	210
7.1 FANUC Oi 系统宏程序 .....	196	8.2 华中系统的简化编程指令及宏程序 .....	218
7.2 华中系统宏程序 .....	205	思考与训练 .....	226
思考与训练 .....	207	参考文献 .....	229
第 8 章 数控铣床的简化编程指令及 宏程序 .....	210		



# 基本篇

## 数控机床基本知识

**知识提要：**本章主要介绍数控机床的产生与发展、数控机床的工作原理与组成、数控机床的分类、数控机床的特点及应用范围、数控技术的发展趋势等内容。

**学习目标：**通过学习本章内容，学习者应对数控技术及数控机床的基本概念有全面掌握，对数控机床的基本结构有初步认识，对数控机床的工作原理有初步掌握，对数控技术及数控机床的发展有基本了解。

### 1.1 数控机床的产生与发展

#### 1.1.1 数控机床的产生

随着科学技术和社会生产的不断发展，机械产品日趋精密、复杂，改型也日益频繁，对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求，从而对机床的性能、精度及自动化程度提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化是实现上述要求的重要措施之一，不仅可以提高产品质量和生产率，降低生产成本，还可以改善工人的劳动条件。为此，许多行业（如汽车、拖拉机、家用电器等）都采用了自动机床、组合机床和自动生产线。但是，采用这种自动、高效的设备，需要很大的初始投资以及较长的生产准备周期，只有在大批量的生产条件下才会有显著的效益，而机械制造业中单件与小批（批量在10~100件）生产的零件约占机械加工总量的80%。科学技术的进步和机械产品市场竞争的日趋激烈，使机械产品不断改型和更新换代，批量相对减少，质量要求越来越高。而采用专用的自动加工设备投资大、时间长、转型难，显然很难满足竞争日趋激烈的市场需要。因此，为了解决上述问题，满足多品种、小批量，尤其是复杂型面零件的自动化生产，迫切需要一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的自动化机床。

数字控制机床就是在这样的背景下诞生与发展起来的，简称数控机床。它极其有效地解决了上述一系列矛盾，为单件、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。1952年，美国帕森斯（Parsons）公司和麻省理工学院（MIT）共同研制成功了世界上第一台以电子计算机为控制基础的数字控制机床，其名称为三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床，主要用来加工直升机叶片轮廓检查用样板。从此，机械制造业进入了一个崭新的发展阶段。

#### 1.1.2 数字控制的概念

数字控制（Numerical Control, NC）是近代发展起来的一种自动控制技术，GB/T

8129—2015《工业自动化系统机床数值控制 词汇》中定义为“用数值数据的控制装置，在运行过程中不断引入数值数据，从而对某一生产过程实现自动控制”，简称数控。

**数控技术**（Numerical Control Technology）是指用数字量及字符发出指令并实现自动控制的技术，它已成为实现制造业自动化、柔性化、集成化的基础技术。计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）、计算机集成制造系统（CIMS）、柔性制造系统（FMS）和智能制造（IM）等先进制造技术都是建立在数控技术之上的。数控技术广泛应用于金属切削机床和其他机械设备，如数控铣床、数控车床、机器人、坐标测量机和剪裁机等。

**数控机床**（Numerical Control Machine Tools）是指采用数字控制技术对机床的加工过程进行自动控制的一类机床。国际信息处理联盟（International Federation of Information Processing, IFIP）第五技术委员会对数控机床所做的定义是：“数控机床是一个装有程序控制系统的机床，该系统能够逻辑地处理具有控制代码或其他符号指令规定的程序。”它是集现代机械制造技术、自动控制技术及计算机信息技术于一体，采用数控装置或计算机来全部或部分地取代一般通用机床在加工零件时的各种动作（如起动、加工顺序、改变切削用量、主轴变速、选择刀具、切削液开停以及停机等）的人工控制，是高效率、高精度、高柔性和高自动化的光、机、电一体化的数控设备。

**数控加工技术**（Numerical Control Machining Technology）是高效、优质地实现产品零件特别是复杂形状零件的加工技术，是自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造加工的基础与关键技术。数控加工过程包括由给定的零件加工要求（零件图样、CAD 数据或实物模型）进行加工的全过程，其主要内容涉及数控机床加工工艺和数控编程技术两大方面。

### 1.1.3 数控技术的发展

#### 1. 数控技术在国际上的发展

从第一台数控机床问世至今的 60 多年中，随着微电子技术及相关技术的不断发展，数控系统也在不断地更新换代，先后经历了以电子管（1952 年）、晶体管（1959 年）、小规模集成电路（1965 年）、大规模集成电路及小型计算机（1970 年）和微型计算机（1974 年）为标志的五代数控系统。

前三代数控系统是采用专用控制计算机的硬接线数控系统，一般称为普通数控系统，简称 NC 系统，其控制功能主要由硬件逻辑电路实现。20 世纪 70 年代初，随着计算机技术的发展，小型计算机的价格急剧下降，采用小型计算机代替专用控制计算机的第四代数控系统应运而生，它不仅降低了经济成本，而且许多控制功能可编写为专用程序，将专用程序存储在小型计算机的存储器中，构成了系统控制软件，提高了系统的可靠性和灵活性，也增强了系统的控制功能。这种数控系统也称为软接线数控系统，即计算机数控系统，简称为 CNC 系统。1974 年又研制成以微型计算机为核心的第五代数控系统，简称 MNC 系统。

在近 40 多年内，生产中实际使用的数控系统大多为第五代数控系统，其性能和可靠性随着技术的发展得到了根本性的提高。从 20 世纪 90 年代开始，微电子技术和计算机技术的发展突飞猛进，个人计算机（PC）的发展尤为突出，无论是其软件、硬件还是外围器件，都得到了迅速的发展，计算机采用的芯片集成化程度越来越高，功能越来越强，而成本却越来越低，原来在大、中型机上才能实现的功能现在微型机上就可以实现。美国首先推出了基于个人计算机的数控系统，即 PCNC 系统，它被划入所谓的第六代数控系统。

目前,世界主要工业发达国家的数控机床已进入批量生产阶段,如美国、日本、德国、法国等。目前世界能生产 NC 机床的国家(地区)约 20 个,在欧洲有 12 个国家(德国、意大利、瑞士、西班牙、英国、法国、奥地利、芬兰、瑞典、捷克、比利时、俄罗斯);在亚洲有 6 个国家及地区(中国大陆、日本、韩国、印度、新加坡、泰国及中国台湾省);在美洲有 2 个国家(美国、加拿大)。经过持久研发和创新,德国、美国、日本等国已基本掌握了数控系统的领先技术,是目前世界上在数控机床科研、设计、制作和应用方面,技术最先进、经验最丰富的国家。

目前,在数控技术研究应用领域主要有两大阵营:一个是以发那科(FANUC)公司、西门子(SIEMENS)公司为代表的专业数控系统厂商;另一个是以山崎马扎克(MAZAK)公司、德玛吉(DMG)公司为代表,自主开发数控系统的大型机床制造商。

## 2. 数控技术在我国的发展

我国数控机床的研制始于 1958 年。20 世纪 50 年代末 60 年代初,我国研制成功了一些晶体管式的数控系统,并将其用于生产,主要有数控线切割机、数控铣床等。但是数控机床的品种及数量都很少,数控系统的稳定性及可靠性都不够,没能在生产中广泛应用。这一阶段是我国数控机床发展的初期阶段。

自 20 世纪 80 年代开始,我国先后引进了日本、德国、美国等国的著名数控系统和伺服系统制造商的技术,陆续发展了一批具有世界 70 年代末 80 年代初水平的数控系统。这些数控系统性能完善,稳定性和可靠性高,结束了我国数控机床发展停滞不前的局面,推动了我国数控机床的稳定发展,使我国数控机床在质量及性能水平上有了一个质的飞跃。

近年来,国产中高档数控机床技术取得了显著的进展。我国汽车、航空航天、船舶、电力设备、工程机械等行业的快速发展,对机床市场尤其是数控机床产生了巨大的需求,数控机床行业成长迅猛。据统计,2014~2016 年,我国数控机床销售收入均超过 2400 亿元。2013 年我国数控机床产量为 20 多万台,到 2017 年,增长至 28 万台,国产立式加工中心、数控车床、数控齿轮机床、数控磨床、数控大重型机床取得使用单位的广泛认可,认知度迅速提高。在国外数控技术向高速、精密、多轴、复合发展的总趋势下,我国高速加工技术、精密加工技术、五轴联动及复合加工技术取得了突破,打破了国外长期垄断和封锁。我国自主创新开发的一大批新产品,也已进入国民经济中的重要领域和国外市场。武汉华中数控股份有限公司、北京航天数控系统有限公司、北京机电院机床有限公司、北京精雕集团等单位在多轴联动控制、功能复合化、网络化、智能化和开放性等领域取得了一定成绩。

总体而言,国内产品与国外产品在结构上的差别并不大,采用的新技术也相差无几,但在先进技术应用和制造工艺水平上与世界先进国家还有一定差距。国内数控机床生产企业自主创新能力和新产品开发能力和制造周期还满足不了国内用户需要,零部件制造精度和整机精度保持性、可靠性尚需很大提高,尤其是与大型机床配套的数控系统、功能部件,如刀库、机械手和两坐标铣头等部件,还需要国外厂家配套满足。

### 1.1.4 基于数控技术的先进自动化生产系统

#### 1. 分布式数字控制系统

直接数字控制(Distributed Numerical Control, DNC)系统是用一台计算机直接控制和管理一群数控机床进行零件加工或装配的系统。它将一群数控机床与存储有零件加工程序和机床控制程序的公共存储器相连接,根据加工要求向机床分配数据和指令,具有编程与控制相

结合及零件程序存储容量大等特点。在 DNC 系统中，基本保留原来各数控机床 CNC 系统，中央计算机并不取代各数控装置的常规工作，CNC 系统与 DNC 系统的中央计算机组成计算机网络，实现分级管理。它具有计算机集中处理和分时控制、现场自动编程、对零件程序进行编辑和修改，以及生产管理、作业调度、工况显示监控、刀具寿命管理等功能。

## 2. 柔性制造单元及柔性制造系统

(1) 柔性制造单元 柔性制造单元 (Flexible Manufacturing Cell, FMC) 既可作为独立运行的生产设备进行自动加工，也可作为柔性制造系统的加工模块，具有占地面积小、便于扩充、成本低、功能完善和加工适应范围广等特点，非常适用于中小企业。它由加工中心与自动交换工件装置组成，同时数控系统还增加了自动检测与工况自动监控等功能。柔性制造单元的结构根据加工对象、CNC 机床的类型与数量以及工件更换与存储的方式不同，可以有多种形式。图 1-1 所示为 FMC 的结构。

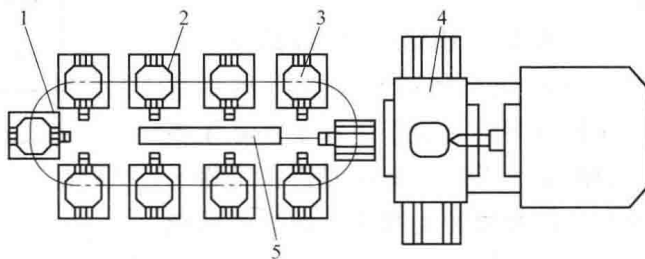


图 1-1 FMC 的结构

1—环形交换工作台 2—托盘座 3—托盘  
4—加工中心 5—托盘交换装置

(2) 柔性制造系统 柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, FMS) 是 20 世纪 70 年代末发展起来的先进的机械加工系统，它具有多台制造设备，大多在 10 台以下，一般以 4~6 台为最多，这些设备包括切削加工、电加工、激光加工、热处理、冲压剪切、装配、检验等设备。一个典型的 FMS 由计算机辅助设计、生产系统、数控机床、智能机器人、自动上下料装置、全自动化输送系统和自动

仓库等组成，其全部生产过程由一台中央计算机进行生产调度，由若干台控制计算机进行工位控制，是一个各种制造单元相对独立而又便于灵活调节、适应性很强的制造系统。FMS 由一个物料运输系统将所有设备连接起来，可以进行没有固定加工顺序和无节拍的随机自动制造。它具有高度的柔性，是一种计算机直接控制的自动化可变加工系统。它由计算机进行高度自动的多级控制与管理，对一定范围内的多品种、中小批量零部件进行加工制造。图 1-2 所示为 FMS 的结构。

## 3. 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 是一种先进的生产模式，它是将企业的全部生产、经营活动所需的各种分布的自动化子系统，通过新的生产管理模式、工艺理论和计算机网络有机地集成起来，以获得适应于多品种、中小批量生产的高效益、高柔性和高质量的智能制造系统。它是在柔性制造技术、计算机技术、信息技术、自动化技术和现代管理科学

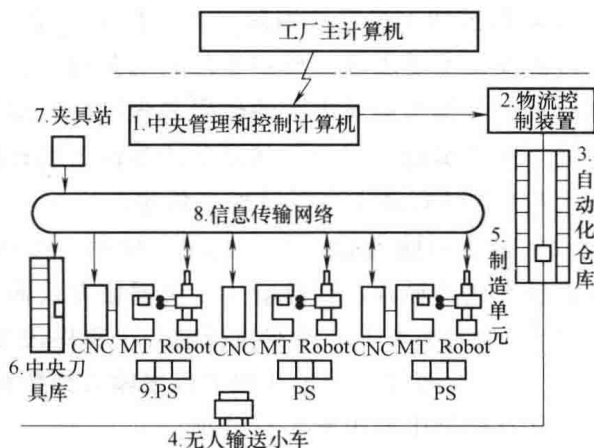


图 1-2 FMS 的结构

的基础上发展产生的，其最基本的内涵是用集成的观点组织生产经营，即用全局的、系统的观点处理企业的经营和生产。“集成”包括信息的集成、功能的集成、技术的集成以及人、技术、管理的集成。集成的发展大体可划分为信息集成、过程集成和企业集成3个阶段。目前，CIMS的集成已经从原先的企业内部的信息集成和功能集成，发展到当前的以并行工程为代表的过程集成，并正在向以敏捷制造为代表的企业集成发展。

一个典型的CIMS由管理信息、工程设计自动化、制造自动化、质量保证、计算机网络和数据库6个子系统组成，如图1-3所示。企业能否获得最大的效益，很大程度上取决于这些子系统各种功能的协调程度。

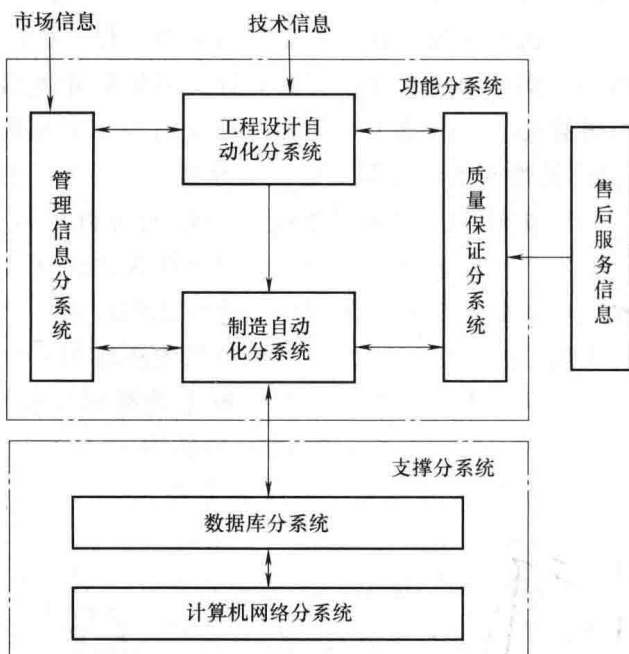


图 1-3 CIMS 的组成

## 1.2 数控机床的工作原理及组成

### 1.2.1 数控机床的工作原理

用数控机床加工零件时，首先应将加工零件的几何信息和工艺信息编制成加工程序，由输入部分输入数控装置，经过数控装置的处理、运算，将各坐标轴的分量送到各轴的驱动电路，经过转换、放大后驱动伺服电动机，带动各轴运动，并进行反馈控制，使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数有条不紊地工作，从而加工出零件的全部轮廓。其工作流程如下：

(1) 数控加工程序的编制 在零件加工前，首先根据零件图样所规定的零件形状、尺寸、材料及技术要求等，确定零件的工艺过程、工艺参数、几何参数以及切削用量等，然后根据数控机床编程手册规定的代码和程序格式编写零件加工程序单。对于比较简单的零件，通常采用手工编程；对于形状复杂的零件，则在编程机上进行自动编程，或者在计算机上用CAD/CAM软件自动生成零件加工程序。

(2) 输入 输入的任务是把零件程序、控制参数和补偿数据输入到数控装置中去。输入的方法有键盘输入、磁盘输入以及通信方式输入等。输入工作方式通常有两种：

1) 边输入边加工，即在执行前一个程序段加工时，输入后一个程序段的内容。

2) 一次性地将整个零件加工程序输入到数控装置的内部存储器中，加工时再把一个程序段从存储器中调出来进行处理。

(3) 译码 数控装置接收的程序是由程序段组成的，程序段中包含零件轮廓信息、加

工进给速度等加工工艺信息和其他辅助信息，计算机不能直接识别。译码程序就像一个翻译，按照一定的语法规则将上述信息解释成计算机能够识别的数据形式，并按一定的数据格式存放在指定的内存专用区域。在译码过程中对程序段还要进行语法检查，有错则立即报警。

(4) 刀具补偿 零件加工程序通常是按零件轮廓轨迹编制的。刀具补偿的作用是把零件轮廓轨迹转换成刀具中心轨迹运动，而加工出所需要的零件轮廓。刀具补偿包括刀具半径补偿和刀具长度补偿。

(5) 插补 插补的目的是控制加工运动，使刀具相对于工件做符合零件轮廓轨迹的相对运动。具体地说，插补就是数控装置根据输入的零件轮廓数据，通过计算把零件轮廓描述出来，边计算边根据计算结果向各坐标轴发出运动指令，使机床在相应的坐标方向上移动，将工件加工成所需的轮廓形状。插补只有在辅助功能（换刀、换档、切削液等）完成之后才能进行。

(6) 位置控制和机床加工 插补的结果是产生一个周期内的位置增量。位置控制的任务是在每个采样周期内，将插补计算出的指令位置与实际反馈位置相比较，用其差值去控制伺服电动机，使机床的运动部件带动刀具按规定的轨迹和速度进行加工。在位置控制中通常还应完成位置回路的增量调整、各坐标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。

## 1.2.2 数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、程序输入装置、数控装置、伺服系统、辅助控制装置、检测装置（仅闭环和半闭环系统有）和机床本体所组成，如图 1-4 所示。

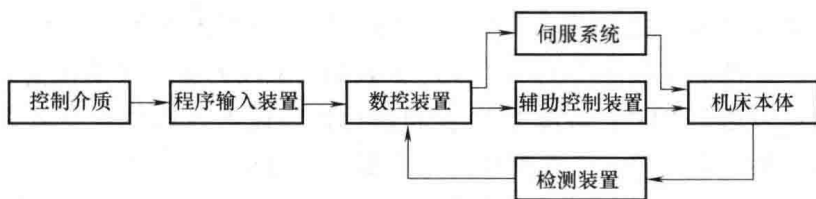


图 1-4 数控机床的组成

### 1. 控制介质与输入装置

数控机床工作时，不需要人参与直接操作，但人的意图又必须被体现出来，所以人和数控机床之间必须建立某种联系，这种联系的媒介称为控制介质或输入介质。

控制介质上存储着加工零件所需要的全部操作信息和刀具相对于工件的位移信息。以前常用的控制介质有标准穿孔带、磁带和磁盘等（主要指软盘）。对应的输入装置分别为光电纸带输入机、磁带录音机和磁盘（软盘）驱动器。控制介质上记载的加工信息由按一定规则排列的文字、数字和代码所组成。目前国际上通常使用 EIA（Electronic Industries Association）代码以及 ISO（International Organization for Standardization）代码，这些代码由输入装置传入数控装置。

### 2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心，也是其区别于普通机床最重要的特征之一。数控装置的功能

能是：接收并处理控制介质的信息，进行代码识别、存储、运算，输出相应的指令脉冲，经过功率放大驱动伺服系统，使机床按规定要求动作。它能完成加工程序的输入、编辑及修改，实现信息存储、数据交换、代码转换、插补运算以及各种控制功能。通常，数控装置由一台通用或专用微机构成，包括输入接口、存储器、中央处理器、输出接口等部分，如图 1-5 所示。

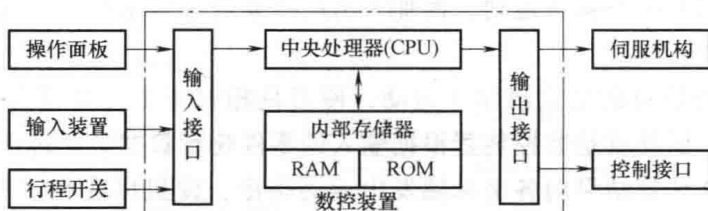


图 1-5 数控装置的结构

### 3. 伺服系统

伺服系统包括驱动系统和执行机构两大部分。常用的位移执行机构有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。伺服系统将数控装置输出的脉冲信号放大，驱动机床移动部件运动或使执行机构动作，以加工出符合要求的零件。

伺服驱动系统性能的好坏直接影响数控机床的加工精度和生产率，因此要求其具有良好的快速响应性能，能准确而迅速地跟踪数控装置的数字指令信号。

### 4. 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制装置。现在的数控机床大多是由可编程序控制器（Programmable Logic Controller, PLC）实现辅助控制功能的，PLC和数控装置相互配合，共同完成数控机床的控制。数控装置主要完成与数字运算和程序管理等有关的功能，如零件程序的编辑、译码、插补运算、位置控制等；PLC主要完成与逻辑运算有关的动作。零件加工程序中的 M 代码、S 代码、T 代码等顺序动作信息，经译码后转换成对应的控制信号送至 PLC，再由 PLC 控制执行机构完成机床的相应开关动作，如主轴运动部件的变速、换向和启停，工件的松开与夹紧，刀具的选择与交换，切削液的开关等辅助功能。PLC 接收来自机床操作面板和数控装置的指令，一方面通过接口电路直接控制机床的动作，另一方面通过主轴驱动装置控制主轴电动机的转动。

### 5. 位置检测装置

在半闭环和闭环伺服控制装置中，使用位置检测装置间接或直接测量执行部件的实际进给位移，并与指令位移进行比较，将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动。常用的位移检测元件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅及磁栅等。

### 6. 机床本体

机床本体是用于完成各种切削加工的机械部分。机床是被控制的对象，其运动的位移和速度以及各种开关量是被控制的。机床本体包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件，如底座、立柱、工作台（刀架）、滑鞍、导轨等。为了保证数控机床的快速响应特性，数控机床上普遍采用精密滚珠丝杠和直线运动导轨副。为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工，数控机床的机械结构具有较高的动态特性、动刚度、阻尼精度、耐磨性和抗热变形等性能。在加工中心上，还配备有刀库和自动交换刀具的机械手。

为了保证数控机床功能的充分发挥, 还有一些配套部件, 如冷却装置、润滑装置、防护装置、排屑装置、照明装置、储运装置等。另外还有一些特殊应用装置, 如检测装置、监控装置、编程机、对刀仪等。

### 1.2.3 数控机床的工作过程

如图 1-6 所示, 数控机床的编程人员在拿到图样后, 首先阅读零件图, 进行工艺分析和设计, 然后编制零件加工程序 (手工编程或自动编程)。程序编好后, 就可以由操作人员输入 (包括 MDI 输入、由输入装置输入和以通信方式输入) 至数控装置, 并存储在数控装置的零件程序存储区内。实际加工时, 操作者需要确定刀具和夹具方案, 进行工件的装夹和刀具的安装, 并完成对刀操作, 然后将零件加工程序调入加工缓冲区, 进行程序校验和首件试切, 在反复检查并确保程序正确、试切合格后, 按下控制面板的“循环启动”按钮。数控装置在采样到“循环启动”指令后, 即对加工缓冲区内的零件加工程序进行自动处理 (如运动轨迹处理、机床输入/输出处理等), 然后输出控制命令到相应的执行部件 (伺服单元、驱动装置和 PLC 等), 从而加工出符合图样要求的零件。

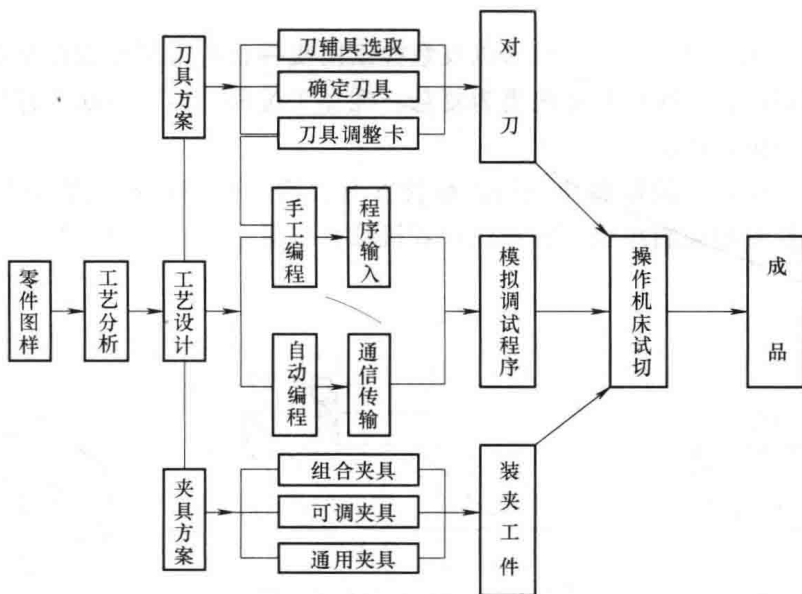


图 1-6 数控机床的工作过程

## 1.3 数控机床的分类

数控机床的品种繁多, 根据其控制方式、组成特点、应用范围、功能水平等不同可从如下角度进行分类。

### 1.3.1 按控制运动的方式分类

#### 1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床主要用于加工平面内的孔系, 只要求获得精确的孔系坐标定位精度。这类机床仅控制机床运动部件从一点准确地移动到另一点, 在移动过程中不进行加工, 对运

动部件的移动速度和运动轨迹没有严格要求，可先沿机床一个坐标轴移动完毕，再沿另一个坐标轴移动，如图 1-7 所示。为了提高加工效率，保证定位精度，系统常要求运动部件沿机床坐标轴快速移动接近目标点，再以低速趋近并准确定位。采用点位控制的机床有数控钻床、数控镗床、数控压力机、数控测量机等。

## 2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床除了控制机床运动部件从一点到另一点的准确定位外，还要控制两相关点之间的移动速度和运动轨迹，如图 1-8 所示。在移动的过程中，刀具只能以指定的进给速度切削，其运动轨迹平行于机床坐标轴，一般只能加工矩形、台阶形零件。采用直线控制的机床有简易数控车床、数控铣床等。

## 3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制也称为连续控制。轮廓控制数控机床能够对两个以上机床坐标轴的移动速度和运动轨迹同时进行连续相关的控制。它要求数控装置具有插补运算功能，并根据插补结果向坐标轴控制器分配脉冲，从而控制各坐标轴联动，进行各种斜线、圆弧、曲线的加工（见图 1-9），实现连续控制。采用轮廓控制的机床有数控车床、数控铣床、加工中心等。

数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也都采用轮廓控制系统。轮廓控制系统的结构要比点位、直线控制系统更为复杂，在加工过程中需要不断进行插补运算，然后进行相应的速度与位移控制。

现代计算机数控装置的控制功能均由软件实现，增加轮廓控制功能不会带来成本的增加。因此，除少数专用控制系统外，现代计算机数控装置都具有轮廓控制功能。

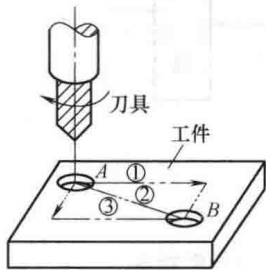


图 1-7 点位控制数控钻削

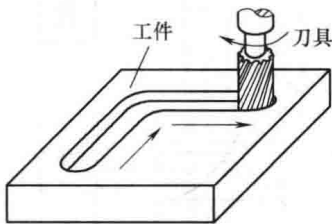


图 1-8 直线控制数控铣削

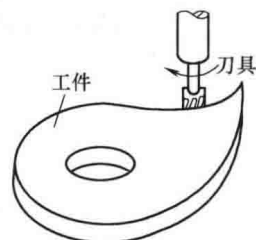


图 1-9 轮廓控制数控铣削

### 1.3.2 按驱动装置的特点分类

#### 1. 开环控制数控机床

开环控制机床没有任何检测反馈装置，数控装置发出的指令脉冲信号经驱动电路进行功率放大后，通过步进电动机带动机床工作台移动，信号的传输是单方向的，如图 1-10 所示。机床工作台的位移量、速度和运动方向取决于进给脉冲的个数、频率和通电方式。因此，这类机床结构简单，价格低廉，便于维护，控制方便，主要用于加工精度要求不是很高的场合。该类机床为经济型数控机床。

#### 2. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床采用角位移检测装置，该装置直接安装在伺服电动机轴或滚珠丝杠



图 1-10 开环控制数控机床的原理

端部，用来检测伺服电动机或滚珠丝杠的转角，推算出工作台的实际位移量，反馈到数控装置的比较器中，与程序指令值进行比较，用差值进行控制，直到差值为零，如图 1-11 所示。这类机床没有将工作台和滚珠丝杠副的误差包括在内，因此，由这些装置造成的误差无法消除，会影响移动部件的位移精度，但其控制精度比开环控制系统高，成本较低，稳定性好，测试与维修也较容易，主要用于加工精度要求较高的场合。该类机床为中、高档数控机床。

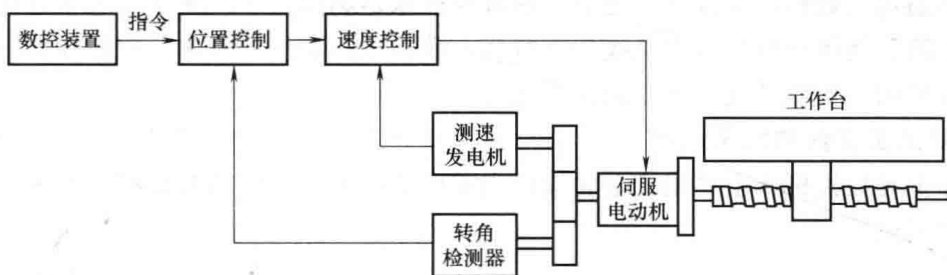


图 1-11 半闭环控制数控机床的原理

### 3. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床采用直线位移检测装置，该装置安装在机床运动部件或工作台上，将检测到的实际位移反馈到数控装置的比较器中，与程序指令值进行比较，用差值进行控制，直到差值为零，如图 1-12 所示。

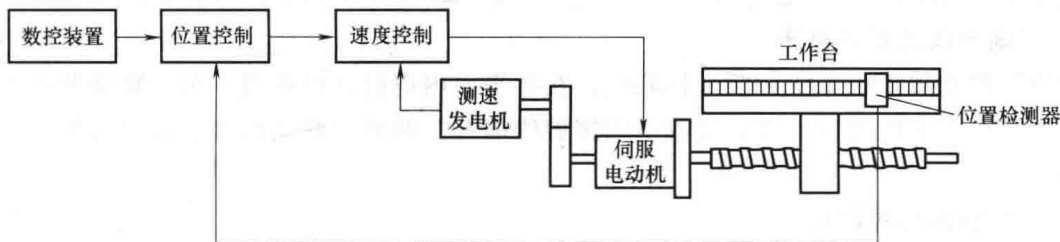


图 1-12 闭环控制数控机床的原理

闭环控制数控机床可以将工作台和机床的机械传动链造成的误差消除，因此，其控制精度比开环、半闭环控制系统高，但其成本较高，结构复杂，调试、维修较困难，主要用于加工精度要求高的场合。

### 1.3.3 按加工工艺方法分类

#### 1. 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床主要用于切削金属，具体类型有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。虽然这些机床在加工工艺及控制方式上存在很大差别，但它们都有明显的切削刀具（或工具），加工过程中刀具（或工具）要接触工件，主要靠工件与刀具之间的机械力来完成工件材料的去除，都具有很高的精度一致性、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加工中心（Machining Center, MC）。加工中心比普通数控机床的自动化程度和生产率高。例如铣镗钻加工中心，它是在数控铣床上装配一个容量较大的刀库和自动换刀装置形成的，工件只需一次装夹，就可以对大部分待加工面进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工，尤其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装夹造成的定位误差，减少数控机床的台数和占地面积，缩短零件加工辅助时间，从而大大提高生产率和加工质量。

#### 2. 特种加工类数控机床

除了切削加工数控机床以外，还有一些数控机床是利用热学、光学、电学等物理学或化学原理工作的，具体有数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机以及数控激光加工机床等。

#### 3. 板材加工类数控机床

板材加工类数控机床主要用于金属板材类零件的加工，常见的有数控压力机、数控折弯机和数控剪板机等。

### 1.3.4 按同时控制（联动）轴数分类

对于数控机床来说，所谓的几坐标机床是指有几个运动采用数字控制的机床。坐标联动加工是指数控机床的几个坐标轴能够同时进行运动，从而获得平面直线、平面圆弧、空间直线、空间螺旋线等复杂加工轨迹的能力。

#### 1. 两轴联动数控机床

两轴联动指同时控制两个坐标轴的运动。例如数控车床，两轴联动可加工曲面回转体；某些数控镗床，两轴联动可镗铣斜面。图 1-13 所示为立式数控铣床的 X、Y 轴两轴联动加工。

#### 2. 两轴半联动数控机床

两轴半联动数控机床实为两坐标联动，在某平面内进行联动控制，第三轴做单独周期性进给。该类机床不能进行空间直线或空间螺旋线插补。两轴半联动可以实现分层加工，如图 1-14 所示。

#### 3. 三轴联动数控机床

三轴联动数控机床同时控制 X、Y、Z 三个坐标，实现三坐标联动加工，刀具在空间的任意方向都可移动，如一般的数控铣床、加工中心。三轴联动可加工曲面零件，如图 1-15 所示。

#### 4. 多轴联动数控机床

四轴及四轴以上联动称为多轴联动。四轴联动指同时控制四个坐标，即在三个移动坐标之外，再加一个旋转坐标，如图 1-16 所示。