



高职高专机电专业“十一五”规划教材

# 数控加工编程技术

SHUKONG JIAGONG BIANCHENG JISHU

王丽洁 主编

尹燕军 主审



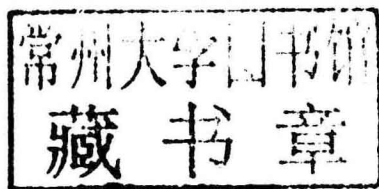
中国科学技术出版社

CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

高职高专机电专业“十一五”规划教材

# 数控加工编程技术

主 编 王丽洁  
主 审 尹燕军



中国科学技术出版社  
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS  
· 北 京 ·  
BEIJING

## 图书在版编目(CIP)数据

数控加工编程技术/王丽洁主编. —北京:中国科学技术出版社,2010.2

ISBN 978 - 7 - 5046 - 5573 - 8

I. ①数… II. ①王… III. ①数控机床—程序设计—高等学校:技术学校—教材  
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 017339 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版。

## 内 容 提 要

本书着重介绍现代数控机床的编程技术。全书主要内容包括:数控机床的概述、常用编程指令和编程方法、数控加工工艺分析、数控车床、加工中心、数控电火花线切割机床的编程与操作、数控加工实训项目。全书内容丰富、图文并茂、案例生动、实践性强。

本书可作为高等职业教育机电类专业数控技术应用、CAD/CAM 技术应用和模具设计与制造专业教材,还可供从事数控加工的工程技术人员参考。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

---

策划编辑	林 培 孙卫华	责任校对	林 华
责任编辑	林 培 李惠兴	责任印制	安利平

---

发行部:010-62173865 编辑部:010-84120695

<http://www.kjbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京蓝空印刷厂印刷

\*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:15.5 字数:372 千字

2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷 定价:28.00 元

ISBN 978 - 7 - 5046 - 5573 - 8/TG · 16

---

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、  
脱页者,本社发行部负责调换)

# 前 言

科学技术的高速发展,使制造业发生了根本性的变化。由于数控技术的广泛应用,普通机床逐渐被高效率、高精度的数控机床所代替,形成了巨大的生产力。数控技术是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业,其水平高低和拥有量是衡量一个国家工业现代化的重要标志。我国已把发展数控技术作为振兴机械工业的重中之重。

本书着重介绍了现代数控机床的编程技术,融理论教学、实践操作、项目训练为一体。在内容选择上,突出了普遍性、实用性、综合性和先进性的特点,大量引用生产实例及数控技能大赛题目进行工艺分析与编程,将企业加工技术渗透于专业教学,强调知识的渐进性,兼顾知识的系统性,结构逻辑性;在形式上采用项目教学法,适合职业教育的发展思路。编程理论阐述力求简单明了,以大量实例构建教学项目,并进行工艺分析与编程,突出实践教学特色;项目教学实例均经实际加工检验,各章习题题型与题量充足,体现精讲多练的原则;教学的内容是完成项目的过程,学生在项目实践过程中能更好地理解 and 把握课程需要的知识和技能。

本书共分五章,第一章简述了数控加工技术知识;第二章介绍了数控机床编程基础知识;第三章和第四章分别阐述了数控车床编程和加工中心编程技术,并使用项目教学法详细例述了一些典型实例;第五章也用项目教学法讲述了数控电火花线切割机床编程技术。

本书的第一章由屈小军编写第二章由苏宏志、马亚娟编写;第三章、第四章由王丽洁、吴东、申世起、梁博编写;第五章由崔静编写。全书由王丽洁任主编,由苏宏志、吴东、申世起、崔静任副主编,陕西航空技术学院尹燕军任主审,最后请林敏捷先生对全书进行了审核。

本书可作为高等职业教育机电类专业中从事数控技术应用、CAD/CAM 技术应用和模具设计与制造人员的教材或培训用书,还可供从事数控加工的工程技术人员参考。

由于数控技术的飞速发展,加上我们认识的局限性,教材内容难免有不足之处,恳请读者和各位同仁批评指正。

编者

2009年6月

# 本书编委会

(按姓氏笔画排序)

- 主 编 王丽洁 (西安理工大学高等技术学院)
- 主 审 尹燕军 (陕西航空技术学院)
- 副主编 苏宏志 (陕西工业职业技术学院)
- 吴 东 (西安航空发动机公司培训中心)
- 申世起 (西安技师学院)
- 崔 静 (陕西工业职业技术学院)
- 编 委 马亚娟 (陕西航空职业技术学院)
- 梁 博 (陕西航空技术学院)
- 屈小军 (西安职业技术学院)

# 目 录

<b>第一章 数控加工技术基础</b> .....	1
<b>第一节 数控机床的产生与发展</b> .....	1
一、数控机床的产生及发展概况 .....	1
二、数控机床的发展趋势 .....	2
<b>第二节 数控机床基本组成及工作原理</b> .....	4
<b>第三节 数控机床的加工特点及分类</b> .....	5
一、数控机床的分类 .....	5
二、数控加工的特点 .....	7
习 题 .....	8
<b>第二章 数控机床编程基础</b> .....	9
<b>第一节 数控编程的概念</b> .....	9
一、数控编程的内容和步骤 .....	9
二、数控编程的方法 .....	10
<b>第二节 程序编制的有关标准及规定</b> .....	12
一、数控机床坐标系 .....	12
二、程序结构与格式 .....	15
<b>第三节 常用编程指令</b> .....	17
一、与坐标系相关的指令 .....	18
二、运动控制指令 .....	20
三、刀具补偿指令 .....	27
四、辅助功能 M 指令 .....	35
<b>第四节 数控加工工艺基础</b> .....	36
一、数控加工工艺设计准备 .....	36
二、数控加工工艺设计过程 .....	37
三、数控加工技术文件编写 .....	39
四、数控编程中的数值计算 .....	40
习 题 .....	40
<b>第三章 数控车床编程</b> .....	42
<b>第一节 数控车削加工工艺基础</b> .....	42
一、数控车削的主要加工对象 .....	42
二、数控车削加工工艺的制订 .....	43
<b>第二节 数控车床编程基础</b> .....	53
一、数控车床的编程特点 .....	53
二、数控车床的基本编程方法 .....	53

三、车削固定循环指令 .....	56
四、螺纹切削指令 .....	65
第三节 数控车削加工技术 .....	67
项目一 数控车床的基本操作 .....	67
项目二 内、外轮廓车削加工 .....	75
项目三 螺纹的加工 .....	88
项目四 槽形零件的加工 .....	97
项目五 非圆曲线轮廓的加工 .....	108
项目六 综合加工实例 .....	113
习    题 .....	124
<b>第四章 加工中心编程 .....</b>	<b>128</b>
第一节 加工中心工艺基础 .....	128
一、加工中心概述 .....	128
二、加工中心工艺方案的制订 .....	131
第二节 加工中心编程基础 .....	143
一、加工中心编程的特点 .....	143
二、加工中心基本编程指令要点 .....	143
三、宏程序 .....	152
第三节 加工中心加工技术 .....	162
项目一 加工中心的基本操作 .....	162
项目二 平面轮廓加工 .....	167
项目三 沟槽加工 .....	173
项目四 孔加工 .....	181
项目五 子程序、宏程序 .....	185
项目六 综合加工实例 .....	191
习    题 .....	214
<b>第五章 数控电火花线切割机床编程 .....</b>	<b>219</b>
第一节 数控电火花线切割概述 .....	219
一、数控电火花线切割简介 .....	219
二、数控电火花线切割加工工艺 .....	222
三、数控电火花线切割基本编程方法 .....	225
第二节 数控电火花线切割加工技术 .....	231
项目一 数控电火花线切割基本操作 .....	231
项目二 凹、凸模零件手工编程 .....	233
习    题 .....	239
<b>参考文献 .....</b>	<b>240</b>

# 第一章 数控加工技术基础

## 学习目标：

了解数控机床的产生和发展；掌握数控机床的组成和工作原理；掌握数控机床的分类和数控机床的加工特点。

## 关键词：

数控机床 插补 CNC

## 第一节 数控机床的产生与发展

### 一、数控机床的产生及发展概况

#### （一）数控机床的产生

随着科学技术和生产力的发展，机械产品日趋精密、复杂，长期以来，这类产品都在通用机床上加工，劳动强度大，而且难以提高生产效率和保证产品质量。对于一些由复杂曲线、曲面所构成的零件，通用机床根本无法完成加工。数控机床就是为了解决单件、小批量、精度高、复杂型面零件加工的自动化要求而产生的。它不仅在宇航、造船、军工等领域被广泛使用，而且也进入了汽车、机械制造、模具加工等行业。目前，在这些行业中，产品种类不断增加，形状结构日趋复杂，精度和质量也在逐渐提高。

数控机床的研制最早始于 20 世纪 40 年代末，美国麻省理工学院和帕森斯公司在美空军后勤部的资助下，于 1952 年 3 月成功研制了世界上第一台有信息存储和处理功能的三坐标立式数控铣床。数控技术及数控机床的诞生，标志着生产和控制领域一个崭新时代的到来。

#### （二）数控机床的发展状况

从第一台数控机床问世至今将近 50 年中，随着微电子技术的不断发展，特别是计算机技术的发展，数控系统也在不断更新换代。1952 年出现了电子管、1959 年出现了晶体管、1965 年出现了小规模集成电路、1970 年出现了大规模集成电路及小型计算机、1974 年出现了微处理机或微型计算机等五代系统。其中前三代称作硬件 NC 系统，后二代称作计算机软件数控，也称 CNC 系统（computerized NC）。NC 系统的控制逻辑只能完成固定的控制功能，是由固定接线的硬件电路组成的专用计算机来实现的，制成后就不易改变，柔性差。CNC 系统是由硬件和软件组成，通过改变软件很容易更改或扩展其功能，目前，NC 系统已经被 CNC 系统所代替。

在系统不断更新换代的同时，数控机床的品种得到了不断的发展，几乎所有品种的机床都实现了数控化。1956 年日本富士通公司研制成功数控转塔式冲床，美国帕克工具公司研制成功数控转塔钻床，1958 年美国 K&7F 公司研制出带自动刀具交换装置的加工中心



MC (machining center)。CNC 技术、信息技术、网络技术及系统工程学的发展,为单机数控化向计算机控制的多机制造系统自动化发展创造了必要的条件。在 20 世纪 60 年代出现了由一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统,即直接数控系统 DNC (direct NC); 1967 年出现了由多台数控机床连接成可调加工系统,这就是最初的柔性制造系统 FMS (flexible manufacturing system)。1978 年以后加工中心迅速发展,各种加工中心相继问世。80 年代初又出现以 1~3 台加工中心或车削中心为主体,再配上工件自动装卸的可交换工作台及监控检验装置的柔性制造单元 FMC (flexible manufacturing cell)。

我国从 1958 年开始研究数控技术,于 1966 年研制成功晶体管数控系统,并生产出了数控线切割机、数控铣床等产品,由于数控系统的稳定性及可靠性较差,数控机床品种不全,数量较少,数控技术的发展处于初步阶段。20 世纪 80 年代初期,我国先后从德国、美国等国家引进了一些数控系统和伺服技术,在一定程度上促进了这项技术的发展。这个时期我国经济也有了较大发展,为这项技术的进步奠定了物质基础。此时我国研制的数控机床性能逐步提高,品种和数量不断增加。20 世纪 90 年代以后,国民经济进入高速发展阶段,研究开发数控系统、应用数控机床已经成了各企业的自发行为,数控技术及产品的发展速度逐年加快,我国数控技术进入了蓬勃发展时期。

## 二、数控机床的发展趋势

半个多世纪以来,数控机床在品种、数量、机床性能等方面有了很大的发展,大规模集成电路和微型计算机的发展以及完善,使数控系统的价格逐年下降,而加工精度和可靠性却大大提高。随着先进生产技术的发展,数控机床的发展进入了一个崭新的时代。数控机床正朝着高精度化、高速化、高复合化、高智能化、开放式结构方向发展。

### (一) 高精度化

效率、质量是先进制造技术的主体。高速、高精加工技术可极大地提高效率,提高产品的质量和档次,缩短生产周期和提高市场竞争能力。为此日本先端技术研究会将其列为五大现代制造技术之一,国际生产工程学会 (CIRP) 将其确定为 21 世纪的中心研究方向之一。

数控机床的精度包括机床的几何精度、加工精度、进给分辨率、定位精度和重复定位精度、动态刚度、闭环交流数字伺服系统性能等。20 世纪 90 年代初中期全程定位精度达到  $\pm 0.002 \sim \pm 0.005\text{mm}$  的加工中心已越来越多。定位精度、机床的结构特性以及热稳定性的提高,使得数控机床的加工精度得到了大幅度的提高,纳米技术的应用,使得数控机床的精度又发生了一次革命。近 10 年来,普通级数控机床的加工精度已由  $10\mu\text{m}$  提高到  $5\mu\text{m}$ ,精密级加工中心则从  $3 \sim 5\mu\text{m}$  提高到  $1 \sim 1.5\mu\text{m}$ ,并且超精密加工精度已开始进入纳米级 ( $0.01\mu\text{m}$ )。

### (二) 高速化

高速度指数控机床的高速切削和高速插补进给。在保证精度的前提下,提高加工速度,节省加工时间,除了对数控系统的处理速度提出了更高的要求外,同时还要求数控机床具有大功率和大转矩的高速主轴、高速进给电动机、高性能的刀具、稳定的动态刚度。

提高生产效率是机床技术发展的基本目标,数控机床出现和快速发展的原因之一就是

其生产效率比一般普通机床高。近 20 年来,数控机床的生产效率又有了很大提高,主要方法是减少切削时间和非切削时间。减少切削时间是通过提高切削速度及提高主轴转速来实现的。高速加工中心进给速度可达 80m/min,甚至更高,空运行速度可达 100m/min 左右。目前世界上许多汽车厂,包括我国的上海通用汽车公司,已经采用以高速加工中心组成的生产线部分替代组合机床。美国 Cincinnati 公司的 Hypermach 机床进给速度最大达 60m/min,快速为 100m/min,加速度达 2g,主轴转速已达 60 000r/min。加工一薄壁飞机零件,只用 30min,而同样的零件在一般数控铣床加工需 3h,在普通铣床加工需 8h。

### (三) 高复合化

高复合化加工指一台机床上集中了多台机床的功能,工件一次装夹可完成多工种、多工序的加工。减少了装卸刀具、装卸工件、调整机床的辅助时间,最大限度提高了机床的利用率。这种机床既保证了更高的加工精度,又提高了生产效率,节省了占地面积,节约了投资,避免了重复建设,其典型代表就是加工中心,即带有刀库和自动换刀装置的数控镗铣床。在加工中心上,工件装夹后,机械手可自动更换刀具,连续地对工件的各加工表面进行多工序加工。目前加工中心的刀库容量可多达 120 把左右,自动换刀装置的换刀时间为 1~2s。加工中心除了镗铣类加工中心和车削类车削中心外,还出现集成型车或铣加工中心、自动更换电极的电火花加工中心、带有自动更换砂轮装置的内圆磨削加工中心等。

复合加工技术不仅是加工中心、车削中心等同类技术领域的复合,而且正向不同类技术领域的复合发展。多轴联动是衡量数控系统的重要指标。高档次的数控系统,还增加自动上下料的轴控制功能,有的在 PLC 里增加位置控制功能,以补充轴控制数的不足,这将会进一步扩大数控机床的加工范围。

### (四) 高智能化

数控装置发展到以微处理器为主体组成的 CNC 系统以后,系统功能不断扩大,数控机床的自动化程度也在不断提高。先后出现了自动换刀和自动交换工件功能,故障自诊断功能,人机对话自动编程功能,刀具尺寸自动测量和补偿、工件尺寸自动测量和补偿、切削参数的自动调整等功能,自适应控制功能等,单机自动化达到了很高的程度。

### (五) 开放式结构

为解决传统的数控系统封闭性和数控应用软件的产业化生产存在的问题,目前许多国家对开放式数控系统进行研究,如美国的 NGC (The Next Generation Work - Station/Machine Control)、欧共体的 OSACA (Open System Architecture for Control within Automation Systems)、日本的 OSEC (Open System Environment for Controller),中国的 ONC (Open Numerical Control System) 等。所谓开放式数控系统就是数控系统的开发可以在统一的运行平台上,面向机床厂家和最终用户,通过改变、增加或剪裁结构对象(数控功能),形成系列化,并可方便地将用户的特殊应用和技术诀窍集成到控制系统中,快速实现不同品种、不同档次的开放式数控系统,形成具有鲜明个性的名牌产品。基于 PC 的开放式 CNC 大致可分为四类:PC 连接型 CNC、PC 内装型 CNC、CNC 内装型 PC 和纯软件 NC。

典型产品有 FANUC150/160/180/210、A2100、OA500、Advantage CNC System、华中 I 型等。这些系统以通用 PC 机的体系结构为基础,构成了总线式(多总线)模块,开放型、嵌入式的体系结构,其硬、软件和总线规范均是对外开放的,硬件即插即用,可向系统添

加在 MS-DOS、Windows 3.1 或 Windows 95 环境下使用的标准软件或用户软件，为数控设备制造厂和用户进行集成给予了有力的支持，便于主机厂进行二次开发，以发挥其技术特色。经过加固的工业级 PC 机已在工业控制领域得到了广泛应用，并逐渐成为主流，其技术上的成熟程度使其可靠性大大超过了以往的专用 CNC 硬件。

数控系统开放化已经成为数控系统的未来之路。目前开放式数控系统的体系结构规范、通信规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库以及数控系统功能软件开发工具等是当前研究的核心。

## 第二节 数控机床基本组成及工作原理

数控机床由程序载体、输入装置、数控装置（CNC）、伺服系统、检测与反馈装置、辅助控制装置和机床本体等几部分组成，如图 1-1 所示。

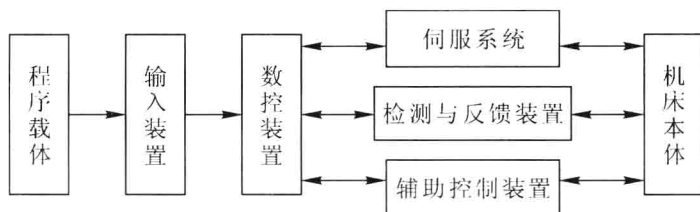


图 1-1 数控机床的基本结构图

### （一）程序载体

程序载体是用于存取零件加工程序的装置。零件加工程序包括刀具的运动轨迹、加工工艺参数（进给速度、切深量、退刀量、主轴的转速）和辅助动作（换刀、冷却液的打开与关闭）等。将零件的加工程序用机床能够识别的语言编制成一定的格式存储在载体上，常用的载体有穿孔纸带、磁盘、磁带和硬盘等。

### （二）输入装置

输入装置的主要作用是将载体上的程序传递并存入数控系统内。根据控制存储介质的不同，输入装置可以是光电读带机、磁带机、磁盘输入机和软盘驱动器。加工程序可以通过手工方式直接输入数控系统（MDI 方式），也可以通过计算机用 RS232 接口或网络通信方式传送到 CNC 装置。目前加工程序的输入有两种方式：一种是 CNC 方式，即将加工程序提前输入机床，然后直接调出来执行该程序，这种方式适用于内存大的数控机床；另一种是 DNC 方式，即将计算机与机床进行连接，机床的内存作为存储缓冲区，计算机一边传输机床一边执行该程序进行加工，这种方式适用于内存小的数控机床。

### （三）数控装置（CNC）

数控装置是数控机床的核心。主要包括微处理器、存储器、局部总线和输入/输出控制等，目前主要采用的是计算机数控装置，也称为 CNC 装置，它本质上是一台由特定的硬件和软件组成的专用计算机。数控装置是根据输入的程序和数据，经过数控装置的逻辑电路和系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出控制信息和指令，控制机床各移动部件按照程序规定的动作运行。

#### （四）伺服系统

伺服系统的作用是将数控装置插补产生的脉冲信号，经系统功率放大器放大后，驱动伺服电动机运转，通过机械传动装置驱动机床移动部件的运动，使工作台和主轴按规定的轨迹运动，加工出符合要求的工件。伺服系统的性能和动态响应性是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节。伺服系统包括驱动装置和执行装置两大部分，伺服系统主要由伺服控制电路、功率放大电路和伺服电动机组成。伺服电动机是系统的执行元件，驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。常用的伺服电动机有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。

#### （五）检测与反馈装置

检测装置与伺服装置配套组成半闭环和闭环伺服驱动系统。它的作用是通过直接或间接测量将执行部件的实际位移量、实际进给速度检测出来，通过模数转换变成数字信号，并反馈到数控装置中并与指令位移、指令速度进行比较，将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动，检测与反馈装置有利于提高数控机床的加工精度。

#### （六）辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接受数控装置输出的开关量指令信号，经过编译、逻辑判断和功率放大后驱动相应的电器，带动机床的机械、液压等装置完成指令规定的开关量动作。辅助装置主要包括自动换刀装置、自动交换工作台机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液装置、排屑装置、过载和保护装置等。

#### （七）机床本体

数控机床是高精度、高速度、高智能和高生产率的自动化机械加工机床，其机床本体与通用机床本体相似，同样由主传动系统、进给传动装置、工作台、床身以及辅助运动装置、润滑系统、冷却装置等组成，但数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统和操作机构等方面已发生了很大的变化。其目的是为了充分发挥数控机床的特点。

### 第三节 数控机床的加工特点及分类

#### 一、数控机床的分类

数控机床的规格较多，根据其加工范围、控制原理、功能和组成可以从以下几个不同的角度进行分类。

##### （一）按工艺用途分类

##### 1. 金属切削类数控机床

这类数控机床有数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床、加工中心等。

##### 2. 金属成型类数控机床

主要有数控折弯机、数控弯管机、数控转头压力机等。

##### 3. 特种加工机床

主要有数控线切割机床、数控电火花机床、激光切割机床、超声（波）加工机床、电

子束加工机床等。

#### 4. 其他数控机床

如数控火焰切割机床、数控缠绕机、三坐标测量机等。

### (二) 按运动轨迹分类

#### 1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床只控制刀具从一个点精确地移动到另一个点的准确位置，而对于两点之间的移动轨迹不进行控制，且移动过程中不进行切削加工，为了提高加工效率，这种机床常采用“快速趋近，减速定位”的方法实现控制。如数控钻床、数控铣床、数控冲床、数控镗床等。

#### 2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床不但要控制点与点之间的准确位置，而且还要控制刀具的移动轨迹是一条直线，且在移动的过程中刀具能以给定的速度进行切削，进给速度根据切削条件可在一定范围内变化。这类机床的刀具一般沿与坐标轴平行的方向或沿与坐标轴成 $45^\circ$ 的斜线方向做切削运动，如某些简单的数控车床、数控镗铣床等。

#### 3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能同时对两个或两个以上的坐标轴的位置和速度进行实时连续控制，它不仅能控制机床移动部件起点与终点坐标，而且能控制整个轮廓每一个点的速度和位移，使其能够加工出任意的曲线、曲面。数控车床、铣床、线切割机床、加工中心等都属于此类机床。

### (三) 按进给伺服系统的类型分类

#### 1. 开环控制数控机床

如图1-2是开环控制数控机床的工作原理图，这类数控机床的控制系统不带位置检测元件，无反馈回路，数控装置发出的指令是单向的，所以不存在系统稳定性。其驱动元件一般为反应式步进电动机或混合式步进电动机。数控装置每发出一个进给脉冲，经驱动电路功率放大后驱动步进电机转动一个角度，再经过齿轮减速机构带动丝杠旋转，通过丝杠螺母机构转化为移动部件的位移。步进电机的转角位移量和转速分别取决于数控装置发出脉冲的数目和频率，系统的精度则取决于步进电机的步距精度和机械传动精度，因此其精度低。但其线路简单，调整方便，成本较低，故一般用于小型或经济型数控机床。



图 1-2 开环控制数控机床的工作原理图

#### 2. 闭环控制数控机床

如图1-3是闭环控制数控机床的工作原理图，这类数控机床是在机床的移动部件上直接安装位移检测装置，直接检测工作台的实际位置，并实时反馈给数控装置，与输入的指令位置进行比较，利用差值控制伺服电机运行。这类机床可校正全部传动链的误差，其加工精度很高，机床的精度主要取决于检测装置的精度。一般采用直流伺服电机或交流伺服

电机，位置检测元件常用光栅尺、磁栅尺等。闭环控制的数控机床加工精度高、速度快，但调试和维护困难，成本高。

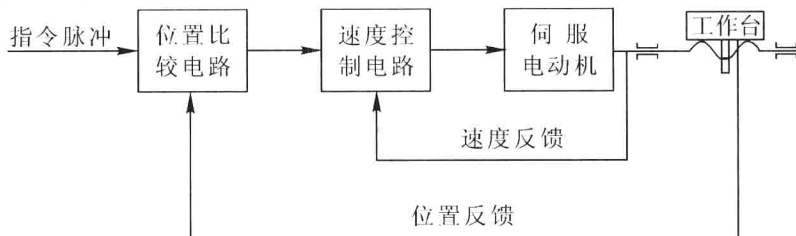


图 1-3 闭环控制数控机床的工作原理图

### 3. 半闭环控制数控机床

如图 1-4 是半闭环控制数控机床的工作原理图，这类数控机床是将位置检测元件安装在电动机或丝杠的轴端，通过测量电动机或丝杠的转角间接地检测机床移动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中与数控装置的输入指令进行比较，用差值进行控制。这类机床可校正传动链部分环节造成的误差，精度比开环高。一般采用直流伺服电机或交流伺服电机。半闭环控制数控机床结构简单、造价较低、不受机械传动装置的影响，容易获得稳定的控制特性，且调试方便，应用广泛。

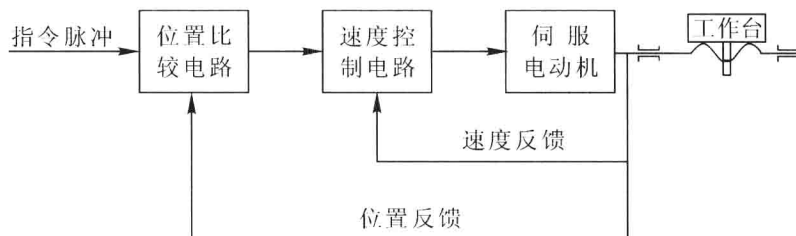


图 1-4 半闭环控制数控机床的工作原理图

## 二、数控加工的特点

### (一) 自动化程度高

在数控机床上加工零件，全部加工过程几乎都可以由机床自动完成，这样既节省了加工时间、提高了加工效率，又减轻了操作者的劳动强度，改善了劳动条件。某些数控机床配备有完备的辅助装置后，更可以实现“无人化生产”。

### (二) 适应性强

适应性既所谓的柔性，是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上改变加工零件时，只需要重新编制新零件的加工程序，输入新零件的程序后就能对该零件进行加工，而不需要改变机械部分和控制部分的硬件。在数控机床上加工零件不需要制作特别的夹具，更不需要重新调整机床，因此数控机床特别适合单件小批量工件的加工，这给新产品的研制开发、产品改进、改型提供了很大的方便。

### (三) 加工精度高，产品质量稳定

由于数控机床是按照事先编制好的程序自动完成工件的加工，加工过程中排除了人的

干预，因此，加工中消除了操作者的人为误差，提高了同一批零件的尺寸一致性，产品质量稳定，零件废品率大为降低。

### （四）生产效率高

工件加工所需时间包括机动时间和辅助时间，数控机床能有效减少这两部分时间。数控机床主轴转速和进给量的调速范围都比通用机床的范围大，机床刚性好，可采用较大的切削用量，快速定位采用了加速、减速措施，因而既能提高空行程运动速度，又能保证定位精度，有效地降低了加工时间。

数控机床加工的效率，一方面是由于数控机床具有高的自动化程度，另一方面是加工过程中省去了画线、多次装夹定位、检测等工序，有效地提高了生产效率。

### （五）劳动强度低

数控机床的工作是按照加工程序自动完成的，操作者除将加工程序和有关参数输入机床、关键工序的中间测量和观察机床运行状况外，不需要进行繁重的操作，这就使工人的劳动条件大为改善。

### （六）良好的经济效益

虽然数控机床的价格昂贵，分摊到每个工件上的设备费用较大，但是使用数控机床可以节省许多其他费用，特别是不需要设计制造专用夹具，而且加工精度稳定，废品率低等，因此降低了成本，可获得良好的经济效益。

### （七）有利于生产管理的现代化

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，特别是在数控机床上使用计算机控制，为计算机辅助设计、计算机辅助制造以及管理一体化奠定了良好的基础。

## 习 题

- 1-1 数控机床由哪几部分组成？各部分的基本功能是什么？
- 1-2 数控机床常见的输入装置有哪些？
- 1-3 数控机床按运动轨迹可以分为哪几类？
- 1-4 数控机床按进给伺服系统的类型可分为哪几类？
- 1-5 简述数控机床的加工特点。

## 第二章 数控机床编程基础

### 学习目标:

掌握数控程序组成及编程格式；掌握数控机床编程的坐标系统；掌握常用的编程指令；了解数控加工工艺编制的基础内容。

### 关键词:

数控编程 坐标系 指令

### 第一节 数控编程的概念

在普通机床上加工零件时，首先应由工艺人员对零件进行工艺分析，制订零件加工的工艺规程，包括机床、刀具、定位夹紧方法及切削用量等工艺参数。同样，在数控机床上加工零件时，也必须对零件进行工艺分析，制订工艺规程，同时要将工艺参数、几何图形、数据等，按规定的信息格式记录在控制介质上，将此控制介质上的信息输入到数控机床的数控装置，由数控装置控制机床完成零件的全部加工。我们将从零件图样到制作数控机床的控制介质并校核的全部过程称为数控加工的程序编制，简称数控编程。数控编程是数控加工的重要步骤。理想的加工程序不仅应保证加工出符合图样要求的合格零件，同时应能使数控机床的功能得到合理的利用与充分的发挥，以使数控机床能安全可靠及高效地工作。

#### 一、数控编程的内容和步骤

一般来讲，数控编程过程的主要内容包括：分析零件图样、工艺处理、数值计算、编写加工程序单、制作控制介质、程序校验和首件试加工。数控编程的具体步骤与要求如下。

##### (一) 分析零件图

首先要分析零件的材料、形状、尺寸、精度、批量、毛坯形状和热处理要求等，以便确定该零件是否适合在数控机床上加工，或适合在何种数控机床上加工，同时要明确加工的内容和要求。

##### (二) 工艺处理

在分析零件图的基础上，进行工艺分析，确定零件的加工方法（如采用的工夹具、装夹定位方法等）、加工路线（如对刀点、换刀点、进给路线）及切削用量（如主轴转速、进给速度和背吃刀量等）等工艺参数。数控加工工艺分析与处理是数控编程的前提和依据，而数控编程就是将数控加工工艺内容程序化。制订数控加工工艺时，要合理地选择加工方案，确定加工顺序、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数等；同时还要考虑所用数控机床的指令功能，充分发挥机床的效能；尽量缩短加工路线，正确地选择对刀点、换刀点，减少换刀次数，并使数值计算方便；合理选取起刀点、切入点和切入方式，保证切入



过程平稳；避免刀具与非加工面的干涉，保证加工过程安全可靠等。

### （三）数值计算

根据零件图的几何尺寸、确定的工艺路线及设定的坐标系，计算零件粗、精加工运动的轨迹，得到刀位数据。对于形状比较简单的零件（如由直线和圆弧组成的零件）的轮廓加工，要计算出几何元素的起点、终点、圆弧的圆心、两几何元素的交点或切点的坐标值，如果数控装置无刀具补偿功能，还要计算刀具中心的运动轨迹坐标值。对于形状比较复杂的零件（如由非圆曲线、曲面组成的零件），需要用直线段或圆弧段逼近，根据加工精度的要求计算出节点坐标值，这种数值计算一般要用计算机来完成。

### （四）编写加工程序单

根据加工路线、切削用量、刀具号码、刀具补偿量、机床辅助动作及刀具运动轨迹，按照数控系统使用的指令代码和程序段的格式编写零件加工的程序单，并校核上述两个步骤的内容，纠正其中的错误。

### （五）制作控制介质

把编制好的程序单上的内容记录在控制介质上，作为数控装置的输入信息。通过程序的手工输入或通信传输入入数控系统。

### （六）程序校验与首件试切

编写的程序单和制作好的控制介质，必须经过校验和试切才能正式使用。校验的方法是直接将控制介质上的内容输入到数控系统中，让机床空运转，以检查机床的运动轨迹是否正确。在有 CRT 图形显示的数控机床上，用模拟刀具与工件切削过程的方法进行检验更为方便，但这些方法只能检验运动是否正确，不能检验被加工零件的加工精度。因此，要进行零件的首件试切。当发现有加工误差时，分析误差产生的原因，找出问题所在，加以修正，直至达到零件图纸的要求。

## 二、数控编程的方法

程序编制方法可以分为手工编程和自动编程两大类。

### （一）手工编程

手工编程是指编制工件加工程序的各个步骤，即从工件图样分析、工艺处理、确定加工路线和工艺参数、计算程序中所需的数据、编写加工程序清单直到程序的检验，均由人工来完成。对几何形状较为简单的工件，所需程序不多，坐标计算也比较简单，程序又不长，使用手工编程既经济又及时。因此，手工编程在点位直线加工及直线圆弧组成的轮廓加工中仍被广泛应用。

但是，工件轮廓复杂，特别是加工非圆弧曲线、曲面等表面，或工件加工程序较长时，使用手工编程既繁琐又费时，而且容易出错，常会出现手工编程工作跟不上数控机床加工的情况，影响数控机床的开动率。此时，必须解决程序编制的自动化问题。

### （二）自动编程

数控自动编程是利用计算机和相应的编程软件编制数控加工程序的过程。

随着现代加工业的发展，实际生产过程中，比较复杂的二维零件、具有曲线轮廓和三