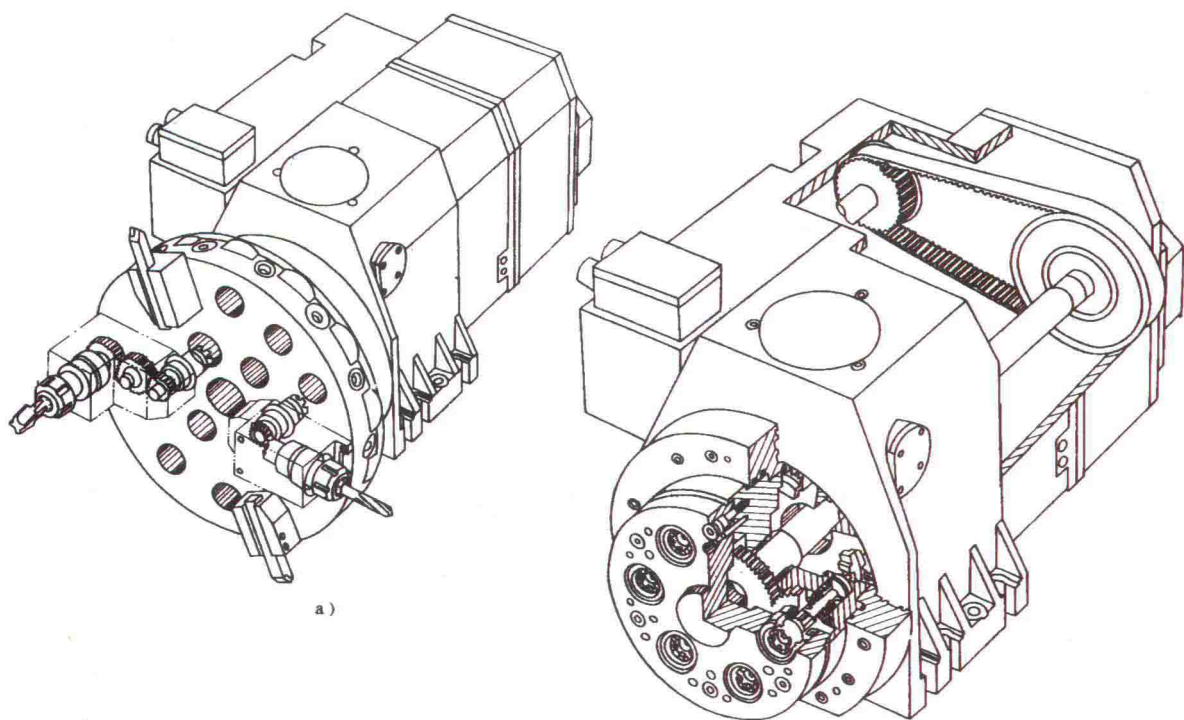


周 荃 张爱英 主编 尚德波 刘新玲 副主编

# 数控编程与 加工技术 (第2版)



清华大学出版社



# 数控编程与 加工技术 (第2版)

周 荃 张爱英 主编 尚德波 刘新玲 副主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书共分七大项目,包括数控机床的认知,数控加工工艺设计,数控机床的程序编制,数控切削加工技术,数控特种加工技术,数控机床的安装、调试及验收,实训项目强化等内容;每个项目根据内容的多少和加工对象的不同又由3~4个“任务”组成。

本教材适合作为高职高专机械制造与自动化、数控技术、机电一体化、模具设计与制造等机械类专业的教学用书,也可作为相近专业的师生和从事相关工作的工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工技术/周荃,张爱英主编. —2版. —北京:清华大学出版社,2017

ISBN 978-7-302-44307-0

I. ①数… II. ①周… ②张… 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(2016)第 164499 号

责任编辑:刘向威 薛 阳

封面设计:文 静

责任校对:时翠兰

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:11.75 字 数:282千字

版 次:2012年2月第1版 2017年1月第2版 印 次:2017年1月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:25.00元

产品编号:070100-01

# 前言

近年来,随着计算机技术的发展,数字控制技术已经广泛应用于工业控制的各个领域,尤其是机械制造业中,普通机械正逐渐被高效率、高精度、高自动化的数控机械所替代。数控加工作为目前机加工的一种手段,已成为衡量一个国家制造业水平的重要标志。专家们预言:21世纪机械制造业的竞争,其实质是数控技术的竞争。目前,随着国内数控机床用量的剧增,急需培养一大批能够熟练掌握现代数控机床编程、操作和维护的应用型高级技术人才。为了适应我国高等职业技术教育发展及应用型技术人才培养的需要,经过实践与总结,编写了这本数控技术教材。

本书采用项目化与任务驱动的教学方法,突破了传统数控技术教材在内容上的局限性,突出了系统性、实践性和综合性等特点。全书各章节联系紧密,并精选了大量经过实践验证的典型实例。

本书第1版自2012年3月出版以来,承蒙广大高职院校教师与学生们的厚爱,《数控编程与加工技术》这本书已经连续印刷3次,总印数近5000册。

本次修订始终本着“实用、管用、够用”的原则,在尽量保持《数控编程与加工技术》教材的“原版特色、组织结构和内容体系”不变的前提下,努力在行业案例、产业资讯、教学资料等内容的时效性方面有所更新和充实。修订的主要内容有:

- (1) 对第1版中有关排版、编辑、内容等方面存在的纰漏和差错进行订正。
- (2) 对有关章节的综合案例与思考问题进行更新。
- (3) 对有关章节的教材内容和条目顺序进行调整、充实、更改甚至重写。

本书由潍坊职业学院周荃、张爱英主编,周荃同时负责全书的框架体系设计、修订进程安排和统稿校对工作。参与教材编写的人员有周荃(编写项目一、项目二)、张爱英(编写项目五)、尚德波(编写项目三)、刘新玲(编写项目四)、徐砚良(编写项目六任务一)、吴宇(编写项目六任务二)、李海涛(编写项目六任务三)、于翠玉(编写项目七任务一)、郭大路(编写项目七任务二)。

在本书第2版的修订编写过程中,我们参阅了国内大量相关教材和网络案例资料,在此对他们表示崇高的敬意和衷心的感谢!但由于作者的水平有限,加上时间仓促,书中错漏和不妥之处在所难免,恳请专家、同行和读者批评指正。

编者

2016年5月

# 目 录

项目一 机床数控技术基础	1
任务一 认识数控机床	1
知识点 1 数控机床的发展与组成	1
知识点 2 数控机床的分类及数控加工的特点	5
知识点 3 数控机床机械结构特点	8
知识点 4 先进制造系统简介	14
任务二 计算机数控系统的认知	17
知识点 1 计算机数控系统的组成	17
知识点 2 计算机数控系统的功能	18
知识点 3 典型 CNC 系统简介	20
任务三 机床控制原理分析	23
知识点 1 运动轨迹的插补原理	23
知识点 2 刀具半径补偿原理	29
知识点 3 进给速度控制	33
思考与习题	34
项目二 数控加工工艺	36
任务一 数控机床的坐标判断	36
知识点 1 数控机床的坐标系	36
知识点 2 数控机床坐标判断方法	38
任务二 了解数控加工工艺	40
知识点 1 数控加工工艺内容的选择	40
知识点 2 数控加工工艺性分析	40
知识点 3 数控加工工艺路线的设计	40
任务三 数控加工工艺设计方法	42
知识点 1 确定走刀路线和安排加工顺序	42
知识点 2 确定定位和夹紧方案	44
知识点 3 确定刀具与工件的相对位置	45
知识点 4 确定切削用量	46
任务四 编写数控加工技术文件	47
知识点 1 数控编程任务书	47
知识点 2 数控加工工件安装和加工原点设定卡片	47

知识点 3 数控加工工序卡片 .....	48
知识点 4 数控加工走刀路线图 .....	49
知识点 5 数控刀具卡片 .....	49
思考与习题 .....	50
<b>项目三 数控车床编程与加工 .....</b>	<b>51</b>
任务一 了解数控车床加工特点及其工艺系统组成 .....	51
知识点 1 数控车床特点 .....	51
知识点 2 数控车削加工中的工艺系统 .....	53
任务二 数控加工编程基础知识 .....	55
知识点 1 程序编制的标准规定和代码 .....	55
知识点 2 程序编制的内容和步骤 .....	60
知识点 3 程序编制的方法 .....	62
任务三 数控车床程序的编制 .....	62
知识点 1 数控车床编程基础 .....	62
知识点 2 基本运动指令编程 .....	64
知识点 3 车削固定循环指令编程 .....	69
知识点 4 螺纹切削加工指令 .....	77
思考与习题 .....	84
<b>项目四 数控铣床、加工中心编程与加工 .....</b>	<b>86</b>
任务一 了解加工中心、数控铣床加工特点及其工艺系统组成 .....	86
知识点 1 数控铣床、加工中心加工特点 .....	86
知识点 2 数控铣削加工中的工艺系统 .....	87
知识点 3 加工中心介绍 .....	91
任务二 数控铣削、加工中心程序编制 .....	98
知识点 1 数控铣削程序编制、基本功能指令 .....	98
知识点 2 加工中心与固定循环编程 .....	104
知识点 3 简化指令编程 .....	110
思考与习题 .....	114
<b>项目五 宏程序编程应用及自动编程应用 .....</b>	<b>116</b>
任务一 了解宏变量与常量 .....	116
知识点 1 变量与变量的引用 .....	116
知识点 2 变量的类型 .....	117
知识点 3 常量 .....	117
任务二 变量的运算与控制 .....	117
知识点 1 运算指令 .....	117
知识点 2 变量的赋值 .....	118

知识点 3 条件判别语句 .....	118
知识点 4 循环语句 .....	119
任务三 宏程序固定循环指令的实现 .....	120
知识点 1 用户宏程序的调用方法 .....	120
知识点 2 宏程序的应用 .....	120
任务四 了解自动编程 .....	122
知识点 1 自动编程概述 .....	122
知识点 2 常见的 CAD/CAM 软件简介 .....	124
知识点 3 UG 软件自动编程(UG NX6 软件应用) .....	127
思考与习题 .....	131
<b>项目六 数控机床加工操作 .....</b>	<b>132</b>
任务一 数控车削加工操作 .....	132
知识点 1 数控车床的基本操作 .....	132
知识点 2 数控车零件的编程加工 .....	141
任务二 数控铣削加工操作 .....	144
知识点 1 数控铣床的基本操作 .....	144
知识点 2 数控铣零件的编程加工 .....	156
任务三 数控加工中心加工操作 .....	158
知识点 1 加工中心的基本操作 .....	158
知识点 2 加工中心零件的编程加工 .....	161
思考与习题 .....	164
<b>项目七 数控特种加工技术 .....</b>	<b>165</b>
任务一 了解数控电火花成型加工技术及应用 .....	165
知识点 1 数控电火花成型加工概述 .....	165
知识点 2 电火花成型加工机床 .....	167
知识点 3 电火花成型加工操作 .....	168
任务二 了解数控电火花线切割加工技术及应用 .....	169
知识点 1 数控电火花线切割加工概述 .....	169
知识点 2 电火花线切割机床 .....	172
知识点 3 电火花线切割数控编程 .....	173
思考与习题 .....	176
<b>参考文献 .....</b>	<b>177</b>

# 机床数控技术基础

## 项目导读

随着科学技术的发展和竞争的日益激烈,一种适合于产品更新换代快、品种多、质量和生产效率高、成本低的自动化生产设备的应用已迫在眉睫。而数控机床则能适应这种要求,满足目前生产需求。数控机床与普通机床相比,不仅具有零件加工精度高、生产效率高、产品质量稳定、自动化程度极高的特点,而且还可以完成普通机床难以完成或根本不能完成的复杂曲面的零件加工。因此,数控机床被广泛地应用于制造业,极大地推动了社会生产力的发展,是制造业实现自动化、网络化、柔性化、集成化的基础。

本项目以数控加工的需要为出发点,主要介绍什么是数控机床,数控机床的组成及分类,常见数控机床的主体机械结构特点,计算机数控系统组成及机床控制原理分析等内容。

## 项目目标

- (1) 认识数控机床。
- (2) 熟悉计算机数控系统。
- (3) 了解机床控制原理。

## 任务一 认识数控机床

### 知识点 1 数控机床的发展与组成

#### 1. 数控技术的产生与发展过程

数控是数字控制(Numerical Control, NC)的简称,在机械制造领域其含义是指用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种自动化技术。采用数控技术的机床或者说装备了数控系统的机床称为数控机床。

随着科学技术和社会生产的不断发展,人们对机械产品的性能、质量、生产率和成本提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程自动化是实现上述要求的重要技术措施之一。单件、小批量生产占机械加工的80%左右,数控技术的产生及发展过程简介如下。

1949年美国帕森斯公司与麻省理工学院开始合作,1952年研制出能进行三轴控制的数控铣床样机,取名 Numerical Control。

1953年麻省理工学院开发出只需确定零件轮廓、指定切削路线,即可生成 NC 程序的自动编程语言。



1959年美国Keaney&Trecker公司成功开发了带刀库,能自动进行刀具交换,一次装夹即能进行铣、钻、镗、攻丝等多种加工功能的数控机床,这就是数控机床的新种类——加工中心。

1968年英国首次将多台数控机床、无人化搬运小车和自动仓库在计算机控制下连接成自动加工系统,这就是柔性制造系统(FMS)。

1974年微处理器开始用于机床的数控系统中,从此计算机数控系统CNC软接线数控技术随着计算机技术的发展得以快速发展。

1976年美国Lockhead公司开始使用图像编程。利用计算机辅助设计(CAD)绘出加工零件的模型,在显示器上“指点”被加工的部位,输入所需的工艺参数,即可由计算机自动计算刀具路径,模拟加工状态,获得NC程序。

直接数控(Direct Numerical Control,DNC)技术始于20世纪60年代末期。它使用一台通用计算机,直接控制和管理一群数控机床及数控加工中心,进行多品种、多工序的自动加工。DNC群控技术是FMS柔性制造技术的基础,随着DNC数控技术的发展,数控机床已成为无人控制工厂的基本组成单元。

20世纪90年代,出现了包括市场预测、生产决策、产品设计与制造和销售等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统(CIMS)。其中,数控机床是其基本控制单元。

20世纪90年代,基于PC-NC的智能数控系统开始得到发展,它打破了原数控厂家各自为政的封闭式专用系统结构模式,提供开放式基础,使升级换代变得非常容易。充分利用现有PC的软硬件资源,使远程控制、远程检测诊断能够得以实现。

## 2. 数控机床的发展趋势

随着微电子技术和计算机技术的发展,数控系统性能日趋完善,数控系统应用领域日益扩大。为了满足社会经济发展和科技发展的需要,数控系统正朝着高精度、高速度、高可靠性、智能化及开放性方向发展。

### 1) 高速、高精度

速度和精度是数控系统的两个重要技术指标,它直接关系到加工效率和产品质量。要提高生产率,其中最重要的方法是提高切削速度。高速度主要取决于数控系统数据处理的速度,采用高速微处理器是提高数控系统速度的最有效手段。有的系统还制造了插补器的专用芯片,以提高插补速度;有的采用多处理系统,进一步提高了控制速度。

现代数控机床在提高加工速度的同时,也在提高加工精度。提高数控机床加工精度,一般是通过减少数控系统的误差和采取误差补偿技术来实现的。在减少数控系统误差方面,通常采用提高数控系统的分辨率、提高位置检测精度及改善伺服系统的响应特性等方法。

### 2) 高可靠性

衡量可靠性的重要指标是平均无故障工作时间(MTBF),现代数控系统的平均无故障工作时间可达到10 000~36 000h。此外,现代数控系统还具有人工智能的故障诊断系统,能对潜在的和发生的故障发出报警,提示解决方法。

### 3) 智能化

智能化的内容包括在数控系统中的各个方面,分别如下。

- (1) 为追求加工效率和加工质量方面的智能化,如自适应控制、工艺参数自动生成。
- (2) 为提高驱动性能及使用连接方面的智能化。
- (3) 在简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程、智能化的人机界面等。
- (4) 智能诊断、智能监控方面的内容,方便系统的诊断及维修等。

### 4) 通信功能更强

为了适应自动化技术的进一步发展,一般数控系统都具有 RS-232 和 RS-422 高速远距离串行接口,可按照用户的要求,与上一级计算机进行数据交换。高档的数控系统应具有直接数字控制接口,可以实现几台数控机床之间的数据通信,也可以直接对几台数控机床进行控制。

### 5) 开放性

由于数控系统生产厂家技术的保密,传统的数控系统是一种专用封闭式系统,各个厂家的产品之间以及与通用计算机之间不兼容,维修、升级困难,难以满足市场对数控技术的要求。针对这些情况,人们提出了开放式数控系统的概念,国内外数控系统生产厂家正在大力研发开放式数控系统。开放式数控系统具有标准化的人机界面和编程语言,软硬件兼容,维修方便。

## 3. 数控机床的组成

数控机床通常是由程序载体、CNC 装置、伺服系统、检测与反馈装置、辅助装置、机床本体组成,如图 1-1 所示。

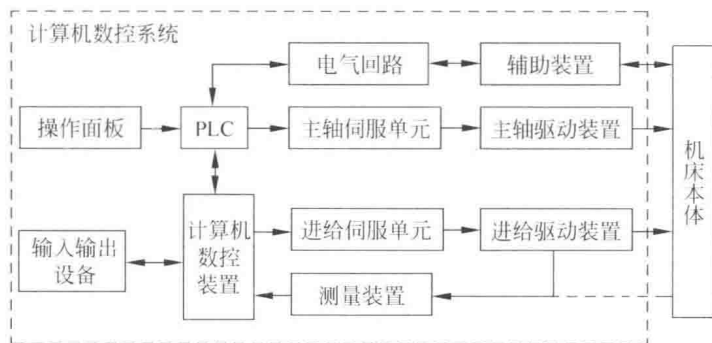


图 1-1 数控机床的组成框图

### 1) 程序载体

数控机床的零件加工程序以一定的格式和代码存储在一种载体上,这种载体称为程序载体。程序载体可以是磁盘、磁带、硬盘和闪存卡等。由于复杂模具和大型零件的加工程序占用内存空间大于网络技术的发展,目前加工程序的执行方式按数控机床控制系统的内存空间大小分为两种方式:一种是采用 CNC 方式,即先将加工程序输入机床,然后调出来执行;另一种是采用 DNC 方式,即将机床与计算机连接,机床的内存作为存储的缓冲区,加工程序由计算机一边传送,机床一边执行。

## 2) CNC 装置

计算机数控装置是计算机数控系统的核心,其主要作用是根据输入的工件加工程序或操作命令进行译码、运算、控制等响应的处理,然后输出控制命令到相应的执行部件(伺服单元、驱动单元和 PLC 等),完成工件加工程序或操作者要求的工作。它主要由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通信接口板、扩展功能模板以及相应的控制软件的模块组成。

## 3) 伺服系统

伺服系统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,一般由功率放大器和伺服控制电机组成。按照特性可分为步进式、交流、直流伺服系统三种。其性能好坏直接决定加工精度、表面质量和生产率。CNC 每输出一个进给脉冲,伺服系统就使工作台移动一个脉冲当量  $\delta$ ,脉冲当量  $\delta$  为对于每个脉冲信号,机床工作台移动的位移,也称为机床的分辨率。常见的有 0.01mm、0.001mm 等。

## 4) 检测与反馈装置

位置检测装置运用各种灵敏的位移、速度传感器检测机床工作台的运动方向、速率、距离等参数,并将位移、速度等物理量转变成对应的电信号显示出来,并且送到机床数控装置中进行处理和计算,实现数控系统工作的反馈控制,使数控装置能够校核机床的理论位置与实际位置是否一致,数控系统利用理论位置与实际位置的差值进行工作,并由机床数控装置发出指令,修正产生的理论位置与实际位置的误差。

## 5) 辅助装置

辅助装置是把计算机送来的辅助控制指令(M, S, T 等)经机床接口转换成强电信号,用来控制主轴电动机启停和变速、冷却液的开关及分度工作台的转位和自动换刀等动作。它主要包括储备刀具的刀库、自动换刀装置(ATC)、自动托盘交换装置(APC)、工件的夹紧机构、回转工作台以及液压、气动、冷却、润滑、排屑装置等。

## 6) 机床本体

机床本体是被控制的对象,是数控机床的主体,机床本体主要由床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件组成。一般需要对它进行位移、角度、速度和各种开关量的控制。数控机床采用了高性能的主轴及进给伺服驱动装置,其机械传动结构得到了简化。

# 4. 数控机床的工作原理

数控机床的工作原理如图 1-2 所示。

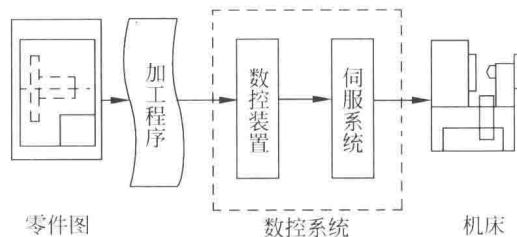


图 1-2 数控机床工作原理图

(1) 根据零件加工图样进行工艺分析,拟定加工工艺方案,确定加工工艺过程、工艺参数和刀具位移数据。

(2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序,或用 CAD/CAM 软件直接生成零件的加工程序。

(3) 把零件加工程序输入或传输到数控系统。

(4) 数控系统对加工程序进行译码与运算,发出相应的命令,通过伺服系统驱动机床的各个运动部件,并控制刀具与工件的相对运动,最后加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

## 知识点 2 数控机床的分类及数控加工的特点

数控机床的品种规格繁多,分类方法不一。根据数控机床的功能和结构,一般可以按下面几种原则进行分类。

### 1. 按照控制运动的方式分类

#### 1) 点位控制数控机床

数控系统只控制刀具从一点到另一点的准确定位,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的要求。点位控制数控机床的刀具轨迹如图 1-3 所示,这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

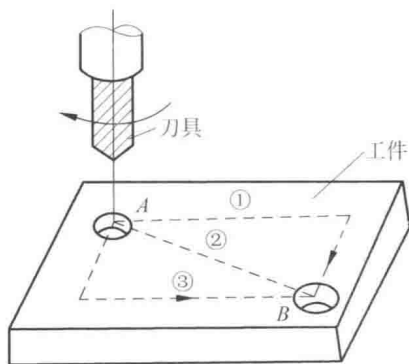


图 1-3 点位控制刀具轨迹

#### 2) 直线控制数控机床

数控系统除了控制点与点之间的准确位置以外,还要保证两点之间的移动轨迹是一条平行于坐标轴的直线,而且对移动速度也要进行控制,以便适应随工艺因素变化的不同要求。直线控制数控机床的刀具轨迹如图 1-4 所示,这类数控机床主要有简易的数控车床、数控铣床、加工中心和数控磨床等。这种机床的数控系统也称为直线控制数控系统。

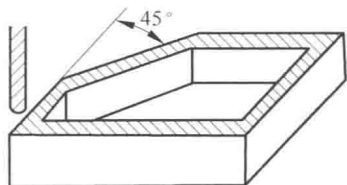


图 1-4 直线控制刀具轨迹

#### 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进行连续相关的控制,不仅能控制轮廓的起点和终点,而且还能控制轨迹上每一点的速度和位移,以加工出任意斜线、圆弧、抛物线及其他函数关系的曲线或曲面。轮廓控制数控机床的刀具轨迹如图 1-5 所示,这类数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控电火花线切割机床和加工中心等。

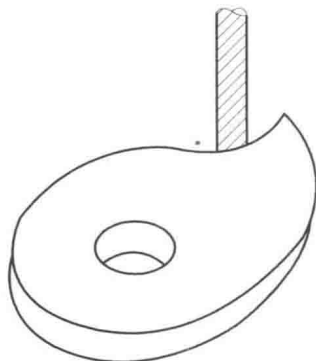


图 1-5 轮廓控制刀具轨迹

## 2. 按照所控制的坐标轴数量分类

(1) 两轴联动：又称两坐标联动，同时控制两个坐标的平面轮廓控制，主要用于数控车床加工曲线柱面，如图 1-6 所示。

(2) 两轴半联动：其中两轴联动，第三轴作周期进给，可采用行切法加工三维空间曲面，如图 1-7 所示。

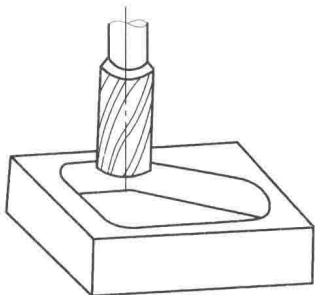


图 1-6 两轴联动

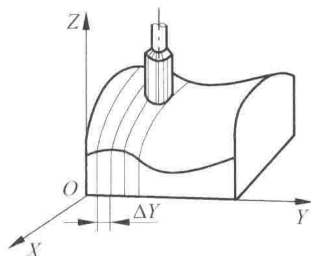


图 1-7 两轴半联动

(3) 三轴联动：同时控制  $X, Y, Z$  三个坐标轴联动，用于三维立体型面加工，如图 1-8 所示。

(4) 四轴联动：同时控制  $X, Y, Z$  直线坐标轴联动外还同时控制围绕某一直线轴旋转运动，如图 1-9 所示。

(5) 五轴联动：五轴联动除同时控制  $X, Y, Z$  三个直线坐标轴联动外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的  $A, B, C$  坐标轴坐标中的两个坐标轴，从而同时控制 5 个轴联动如图 1-10 所示。

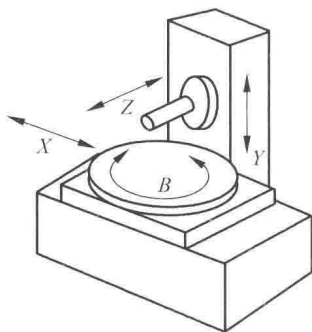


图 1-8 三轴联动

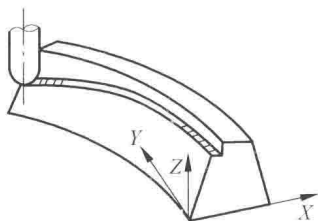


图 1-9 四轴联动

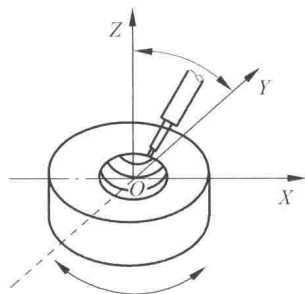


图 1-10 五轴联动

## 3. 按照伺服系统的控制方式分类

### 1) 开环数控机床

开环数控机床采用开环进给伺服系统。开环进给伺服系统如图 1-11 所示。开环进给伺服系统没有位置反馈装置，信号流是单向的，故稳定性好。但由于无位置反馈，精度不高，其精度主要取决于伺服驱动系统和机械传动机构的性能和精度。该系统一般以步进电机为伺服驱动单元，具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉等优点，在精度和速

度要求不高,驱动力矩不大的场合得到广泛应用。



图 1-11 开环进给伺服系统简图

## 2) 闭环数控机床

闭环数控机床的系统简图如图 1-12 所示,闭环控制系统在机床运动部件或工作台上直接安装直线位移检测装置,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。这样可以消除整个传动环节的误差和间隙,因而具有很高的位置控制精度。但是由于位置环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,很容易造成系统不稳定。因此闭环系统的设计、安装和调试都有相当的难度,对其环节的精度、刚性和传动特性等都有较高的要求,故价格昂贵。这类系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精磨床以及较大型的数控机床等。

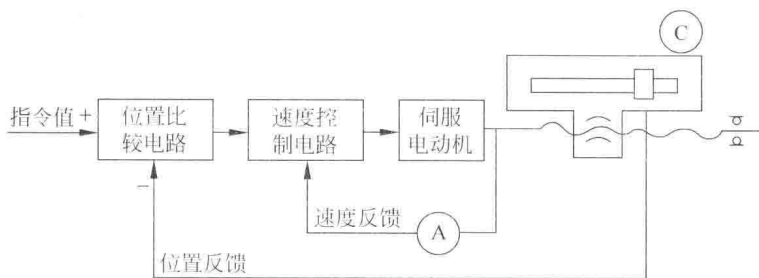


图 1-12 闭环进给伺服系统简图

## 3) 半闭环数控机床

如果将角位移检测装置安装在驱动电机的端部,或安装在传动丝杠端部,间接测量执行部件的实际位置或位移,就是半闭环控制系统,如图 1-13 所示。它介于开环和闭环控制之间,获得的位移精度比开环的高,但比闭环的要低。与闭环控制系统相比,易于实现系统的稳定性。现在大多数数控机床都采用半闭环控制系统。

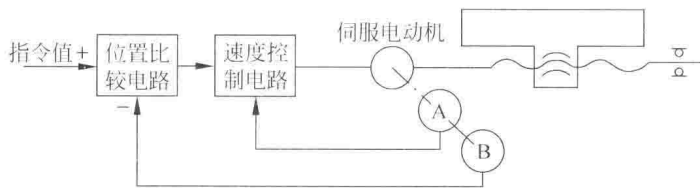


图 1-13 半闭环进给伺服系统简图

## 4. 按照工艺用途分类

- (1) 金属切削类: 数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床和加工中心等。
- (2) 金属成型类: 数控压力机、数控冲床、数控折弯机和数控弯管机等。
- (3) 特种加工类: 数控线切割、数控电火花和数控激光切割机等。

(4) 其他类：数控三坐标测量机、数控装配机和机器人等。

### 5. 按数控系统装置的功能水平分类

按照数控装置的功能水平可大致把数控机床分为经济型数控机床、中档数控机床和高档数控机床，三档的界限是相对的，不同时期的划分标准会有所不同。

#### 1) 经济型数控机床

经济型数控机床大多指采用开环控制系统的数控机床，其功能简单，精度一般，价格低。采用 8 位微处理器或单片机控制，分辨率为  $10\mu\text{m}$ ，快速进给速度在  $6\sim 8\text{m}/\text{min}$ ，采用步进电机驱动，一般无通信功能。有的具有 RS-232 接口，联动轴数为  $2\sim 3$  轴，具有数码显示或 CRT 字符显示功能，如经济型数控线切割机床、数控车床、数控铣床等。

#### 2) 中档数控机床

中档数控机床大多采用交流或直流伺服电机实现半闭环控制，其功能较多，以实用为主，还具有一定的图形显示功能及面向用户的宏程序功能等。采用 16 位或 32 位微处理器，分辨率为  $1\mu\text{m}$ ，快速进给速度在  $15\sim 24\text{m}/\text{min}$  之间，具有 RS-232 接口，联动轴数为  $2\sim 5$  轴。这类数控机床的功能较全，价格适中，应用较广。

#### 3) 高档数控机床

高档数控机床是指加工复杂形状的多轴联动加工中心，一般采用 32 位以上微处理器，采用多微处理器结构。分辨率为  $0.1\mu\text{m}$ ，快速进给速度可达  $100\text{m}/\text{min}$  或更高，具有高性能通信接口及联网功能，联动轴数在 5 轴以上，有三维动态图形显示功能。这类数控机床的功能齐全，价格昂贵，如具有 5 轴以上的数控铣床，加工复杂零件的大、重型数控机床，五面体加工中心，车削加工中心等。

### 6. 数控加工的特点及应用范围

数控加工的特点有：

- (1) 加工精度高；
- (2) 适应性强；
- (3) 自动化程度高，劳动强度低；
- (4) 生产效率高；
- (5) 有良好的经济效益；
- (6) 有利于生产管理的自动化。

数控机床的应用范围有：

- (1) 多品种小批量生产零件；
- (2) 形状复杂零件；
- (3) 需要频繁改型零件；
- (4) 价格贵，不能报废的零件；
- (5) 需要最小周期的急需零件。

### 知识点 3 数控机床机械结构特点

数控机床的机械结构主要由主转动系统、进给转动系统、基础支承件和辅助装置组成，

其主体结构有如下特点。

- (1) 采用无级变速主轴和伺服驱动系统,传动结构简化,传动链缩短。
- (2) 具有较高静动刚度和阻尼,高耐磨性,小的热变形。
- (3) 高效传动部件,如滚珠丝杠螺母副。
- (4) 工件、刀具自动夹紧,自动换刀,自动排屑等。

### 1. 数控机床结构性能与布局特点

1) 数控机床应具有更高的静、动刚度

(1) 提高静刚度的措施:

- ① 基础大件采用封闭整体箱形结构;
- ② 合理布置加强筋;
- ③ 提高部件之间的接触刚度。

(2) 提高动刚度的措施:

- ① 改善机床阻尼特性(如填充阻尼材料);
- ② 床身表面喷涂阻尼涂层;
- ③ 充分利用结合面摩擦阻尼;
- ④ 采用新材料,提高抗震性。

2) 数控机床应有更小的热变形

控制热变形的措施:对机床热源进行强制冷却,采用热对称结构。

3) 数控机床应有更好的宜人性(人机关系及环保)

数控机床大都采用机、电、液、气一体化布局,全封闭或半封闭防护,机械结构大大简化,易于操作及实现自动化。

### 2. 数控机床的主传动装置

数控机床的主传动系统包括主轴电动机、传动系统和主轴组件等。与普通机床的主要传动系统相比,数控机床在结构上比较简单,这是因为变速功能全部或大部分由主轴电动机的无级调速来承担,省去了复杂的齿轮变速机构,有些只有二级或者三级齿轮变速系统用扩大电机无级调速的范围。

数控机床主传动系统是机床成型运动之一,用来实现机床的主运动,它将主电动机的原动力变成可供主轴上刀具切削加工的切削力矩和切削速度。它的精度决定了零件的加工精度。为适应各种不同的加工及各种不同的加工方法,数控机床的主传动系统应具有较大的调速范围,较高的精度与刚度,并尽可能降低噪音与热变形,从而获得最佳的生产率、加工精度和表面质量。数控机床的主传动运动是指生产切削的传动运动,它是通过主传动电动机拖动的。例如,数控机床上主轴带动工件的旋转运动,立式加工中心上主轴带动铣刀,镗刀和绞刀等的旋转运动。

1) 数控机床对主传动系统的要求

- (1) 调速范围宽,并实现无级调速;
- (2) 高精度与刚度,低噪音;
- (3) 高抗震性,高热稳定性。



## 2) 数控机床主传动系统的特点

### (1) 较高的主轴转速和较宽的调速范围并实现无级调速。

由于数控机床工艺范围宽,工艺能力强,为满足各种工况的切削,获得最合理的切削用量,从而保证加工精度、加工表面质量及高的生产效率,必须具有较高的转速和较大的调速范围。特别是对于具有自动换刀装置的加工中心,为适应各种刀具,各种材料的加工,对主轴调速范围要求更高。它能使数控机床进行大功率切削和高速切削,实现高效率加工,比同类型普通机床主轴最高转速高出两倍左右。

### (2) 较高的精度和较大的刚度。

为了尽可能提高生产率和提供高效率的强力切削,在数控加工过程中,零件最好经过一次装夹就完成全部或绝大部分切削加工,包括粗加工和精加工。在加工过程中机床是在程序控制下自动运行的,更需要主轴部件刚度和精度有较大余量,从而保证数控机床使用过程中的可靠性。

### (3) 良好的抗震性和热稳定性。

数控机床加工时,由于断续切削,加工余量不均匀,运动部件不平衡及切削过程中的自振等原因引起冲击力和交变力,使主轴产生振动,影响加工精度和表面粗糙度,严重时甚至可能破坏刀具和主轴系统中的零件,使其无法工作。主轴系统的发热使其中的所有零部件产生热变形,降低传动效率,破坏零部件之间的相对位置精度和运动精度,从而造成加工误差。因此,主轴部件要有较高的固有频率、较好的动平衡,且要保持合适的配合间隙,并要精细循环润滑。

(4) 为实现刀具的快速或自动装卸,数控机床主轴具有特有的道具安装结构。例如主轴上设计有刀具自动装卸、主轴定向停止和主轴孔内切削清楚装置。

## 3) 数控机床主传动系统的传动方式

(1) 带传动。带传动是一种由无级变速主电动机经带传动直接带动主轴运转的主运动形式,这种变速方式可避免齿轮传动时引起的振动与噪音,提高主轴的运转精度。常用的传动元件为多联 V 带或同步齿形带。

多联 V 带又称多楔带,多楔带按齿距分为三种规格: J 型齿距为 2.4mm, L 型齿距为 4.8mm, M 型齿距为 9.5mm。

同步齿形带根据齿形不同可分为梯形齿同步带和圆弧齿同步带,图 1-14 是这两种齿形带的纵向断面示意图,其结构与材质和楔形带相似,但在齿面上覆盖了一层尼龙帆布,用以减小传动齿与带轮的啮合摩擦。

(2) 齿轮传动。齿轮传动是目前大、中型数控机床中使用较多的一种主传动配置方式。一般采用无级调速主电动机,可使主轴箱的结构大大简化,既可扩大主轴的调速范围,又可扩大主轴的输出转矩。滑移齿轮的运动多采用液压拨叉或直接用液压缸带动齿轮来实现。齿轮传动结构如图 1-15 所示。

(3) 主轴电动机直连传动。由调速电动机直接与主轴连接,驱动主轴转动,这种传动方式省去了很多机构,主轴箱体与主轴结构简单,且主轴刚度较高,但主轴输出转矩较小,只能用于小型机床,且主轴电动机产生的热量对主轴精度影响较大。内装式电动机主轴结构就是采用这种方式,如图 1-16 所示。