



图解机电工人技术入门丛书

# 图解 数控加工入门

●●●● 沈文渊 编著



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)





图解机电工人技术入门丛书

# 图解

## 数控加工入门

江苏工业学院图书馆

藏书章

沈文渊 编著



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书是图解机电工人技术入门丛书中的一本,根据目前数控加工的特点和对数控机床技术人员的要求编写而成。主要从数控机床的性能、数控加工的特点以及数控机床的基本操作等方面进行了较详细的介绍。全书共四章,主要内容包括数控机床基础;常用工具与量具;数控车削加工;数控铣削加工。通过对本书的学习,读者能够正确地操作数控机床及进行相关参数的调整和设置。

本书内容简单易懂,图文并茂,适合从事数控加工的初中级技术人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

图解数控加工入门/沈文渊编著. —北京:中国电力出版社, 2009

(图解机电工人技术入门丛书)

ISBN 978-7-5083-8420-7

I. 图… II. 沈… III. 数控机床-加工-图解 IV. TG659-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 013803 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2009 年 5 月第一版 2009 年 5 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 5.625 印张 195 千字

印数 0001—3000 册 定价 12.00 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

# 前言

21 世纪是以知识经济和信息社会为特征的时代，瞬息万变的市場使我国的工业技术面临严峻的挑战。20 世纪七八十年代，工业发达国家的军、民机械制造业开始大量采用数控加工技术。数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化，使制造业成为工业化的象征，而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大，它对关系国计民生的一些重要行业（IT、汽车、轻工、医疗等）的发展起着越来越重要的作用，这些行业所需生产装备的数字化已是现代发展的大趋势。在当今制造业又日趋国际化的经济环境下，全球的制造企业更是加大了传统制造技术向现代制造加工技术转变的步伐。一个制造企业应用了多少现代工业技术直接影响到企业在国际和国内市场上的竞争力。而我国在信息技术改造传统产业方面比发达国家落后约 20 年。改革开放以来，我国制造企业的数控技术改造得到了快速的发展，但是比起发达国家，我国制造企业的加工能力仍然束缚企业在国际和国内市场上的生存和发展。大力发展现代加工技术，已经是我国制造企业的共识。作为现代加工技术中重要的数控技术不仅被广大从业人员所关注，更是很多学生选学校、选专业、找工作的首选内容。

要掌握数控技术，就要熟悉机械加工，并要具备计算机技术、自动控制技术、电气技术等方面的知识。要成为一名能够独立操作数控机床的技术人员，不仅要懂得传统机床的加工工艺，会用基本的工、夹、量具，还要了解数控机床的性能、特点，数控加工的规律。在加工前必须看懂图纸以及技术要求，清楚走刀的路线、刀具的切削用量等。加工时能正确操作数控机床，正确



设置和调整参数。批量生产时，首件调整最重要。生产过程中参数校正最关键。

本书作为学习数控加工技术的入门教材。根据数控加工特点，先介绍了数控机床的性能、数控加工的特点，然后逐步讲解了数控机床的最基本的操作步骤和方法。最后，结合加工实例讲解首件的切削加工操作。由于目前数控系统种类繁多，本书无法逐一介绍。但是数控加工操作规律是大致相同的，熟练掌握一种数控加工设备的操作，学习另外一种就容易多了。另外，各种数控机床出厂时的配置不尽相同，所以显示的菜单界面会有差异。读者在操作数控机床前应详细阅读随机床附带的操作说明书。

限于作者水平和经验，加之时间仓促，书中不妥和疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

作者

2009年4月

# Contents

# 目 录

## 前言

## 第一章 数控机床基础

### 第一节 数控车床 ..... 1

#### 一、数控车床加工 ..... 1

#### 二、数控车床的型号和参数 ..... 7

#### 三、数控车床的组成部分和作用 ..... 9

### 第二节 数控铣床 ..... 14

#### 一、数控铣床加工 ..... 14

#### 二、数控铣床的型号和参数 ..... 21

#### 三、数控铣床的组成部分和作用 ..... 24

### 第三节 数控机床的保养及安全操作规范 ..... 29

#### 一、数控机床的保养 ..... 29

#### 二、数控机床操作的安全规范 ..... 37

## 第二章 常用工具与量具

### 第一节 常用工具 ..... 39

#### 一、装夹工具 ..... 39

#### 二、附件 ..... 46

### 第二节 量具 ..... 48

#### 一、游标卡尺 ..... 48

#### 二、千分尺 ..... 52

#### 三、百分表 ..... 56

## 第三章 数控车削加工

### 第一节 数控车削简介 ..... 61

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 一、数控车削的加工程序 .....          | 61  |
| 二、数控车削的加工方法 .....          | 75  |
| 第二节 数控车床的操作 .....          | 80  |
| 一、回零操作 .....               | 81  |
| 二、编辑操作 .....               | 84  |
| 三、模拟操作 .....               | 93  |
| 四、手动操作 .....               | 95  |
| 五、自动加工 .....               | 101 |
| 第三节 示例 .....               | 105 |
| 一、加工程序 .....               | 105 |
| 二、加工步骤 .....               | 109 |
| <br>第四章 数控铣削加工             |     |
| 第一节 数控铣削简介 .....           | 122 |
| 一、数控铣削的加工程序 .....          | 122 |
| 二、数控铣削的加工方法 .....          | 135 |
| 第二节 数控铣床的操作 .....          | 137 |
| 一、回零操作 .....               | 137 |
| 二、编辑操作 .....               | 141 |
| 三、模拟操作 .....               | 150 |
| 四、手动操作 .....               | 152 |
| 五、自动加工 .....               | 158 |
| 第三节 示例 .....               | 160 |
| 一、程序 .....                 | 160 |
| 二、走刀路线 .....               | 163 |
| 三、加工 .....                 | 164 |
| 附录 A FANUC 0 系统 G 指令 ..... | 170 |
| 参考文献 .....                 | 172 |

# 第一章 数控机床基础

## 第一节 数控车床

### 一、数控车床加工

在金属切削加工中,车削加工占有很大的比重。同样,在数控加工中数控车削加工也占有极大的比重。数控车削主要用于轴类和盘类回转体零件的加工。能够通过程序控制自动完成内外圆柱面、圆锥面、圆弧面、螺纹等工序的切削加工,也可进行切槽、钻孔、扩孔、铰孔和各种回转曲面的车削加工。数控车床加工效率高,精度稳定,操作劳动强度底,极其适合形状复杂的零件或中小批量零件的加工。

#### 1. 数控车削加工的对象

(1) 轮廓形状特别复杂或难以控制尺寸的回转体零件。数控车床的数控装置都具有直线和圆弧的插补功能,所以能够车削由任意平面曲线轮廓组成的回转体零件。对于具有封闭内成型面的壳体零件和“口大肚小”的特形内表面零件,也能很好地加工完成。

(2) 精度要求高的零件。零件的精度要求从加工角度讲,就是指尺寸精度、形状和位置精度、表面粗糙度等。由于数控车床的刚性好,制造和对刀精度高,以及能方便和精确地进行人工补偿及自动补偿,所以它能够加工尺寸精度要求高的零件。在有些场合可以以车代磨。此外,由于数控车削时刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动来实现的,再加上机床的刚性好和制造精度高,所以数控车削可以加工

尺寸精度高达  $0.001\text{mm}$  或更小的零件；圆柱度要求很高的圆柱体零件；素线直线度、圆度和倾斜度均要求很高的圆锥体零件；线轮廓度要求很高的零件；几何轮廓精度极高（达  $0.0001\text{mm}$ ）、表面粗糙度数值极小（ $Ra0.02\mu\text{m}$ ）的超精零件。通过恒线速度切削功能，加工表面粗糙度要求高的各种变径表面类零件。

(3) 特殊的螺旋零件。特殊螺旋零件是指特大螺距或导程、变（增或减）螺距、等螺距与变螺距或圆锥螺旋面之间作平滑过渡的螺旋零件，还包括高精度的模数螺旋零件（如圆柱、圆弧蜗杆）和端面（平面）螺旋零件。传统车床所能切削的螺纹相当有限，它只能加工等节距的直/锥面、公/英制螺纹，而且一台车床只限定加工若干种节距。数控车床不但能加工任何等节距直、锥面，公、英制和端面螺纹，而且还能加工增节距、减节距，以及要求等节距、变节距之间平滑过渡的螺纹。数控车床加工螺纹时主轴转向不必像传统车床那样交替变换，它可以一刀又一刀不停顿地循环，直至完成，所以它车削螺纹的效率很高。数控车床还配有精密螺纹切削功能，再加上一般采用硬质合金成型刀片，以及可以使用较高的转速，所以车削出来的螺纹精度高、表面粗糙度小。可以说，包括丝杠在内的螺纹零件很适合于在数控车床上加工。

(4) 超精密、超低表面粗糙度的零件。例如，磁盘、录像机磁头、激光打印机的多面反射体、复印机的回转鼓、照相机等光学设备的透镜及其模具，以及隐形眼镜等要求超高的轮廓精度和超低的表面粗糙度值，它们适合于在高精度、高功能的数控车床上加工。以往很难加工的塑料散光用的透镜，现在也可以用数控车床来加工。超精加工的轮廓精度可达到  $0.1\mu\text{m}$ ，表面粗糙度  $0.02\mu\text{m}$ 。超精车削零件的材质以前主要是金属，现已扩大到塑料和陶瓷。

## 2. 数控车削的刀具

(1) 数控车削刀具的类型。数控车削用的车刀一般分为：尖形车刀、圆弧形车刀和成型车刀。

1) 尖形车刀。以直线形切削刃为特征的车刀就可以称为尖形车刀。这种车刀的刀尖由直线形的主刀刃和副刀刃构成。比如， $90^\circ$ 内、外圆车刀，左、右端面车刀，切断（割槽）车刀以及刀尖倒棱（倒圆）很小的各种外圆和内孔车刀。

用这种车刀加工工件时，工件的轮廓形状主要由一个独立的刀尖或一条直线主切削刃移动后得到。

2) 圆弧形车刀。圆弧形车刀是比较特殊的数控加工用车刀。它的特征是构成主切削刃的刀刃形状为一段圆度误差或线轮廓度误差很小的圆弧。此段圆弧刀刃上的每一点都可以是圆弧形车刀的刀尖。圆弧形车刀的圆弧半径理论上与被加工工件的形状无关，可以按加工状况灵活确定或测量后确定。另外，当一些尖形车刀或成型车刀的刀尖具有一定的圆弧形状时，也可以作为圆弧形车刀使用。

圆弧形车刀可以车削内、外表面，特别适宜于车削加工各种光滑连接的成型面。

3) 成型车刀。成型车刀车削加工工件的轮廓形状完全由车刀刃（刀头）组成的形状和尺寸决定，圆弧形车刀如图1-1所示。

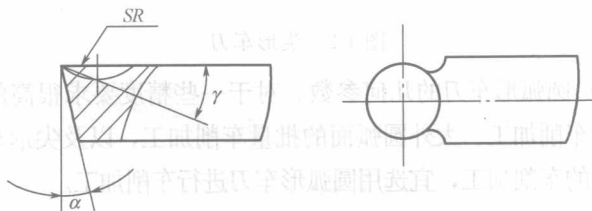


图 1-1 圆弧形车刀

数控车削加工中,常用的成型车刀有小半径圆弧车刀、非矩形割槽车刀、螺纹车刀等。当然在数控加工中一般尽量少用或不用成型车刀。

(2) 常用车刀的几何参数。刀具切削部分的几何参数对零件的表面质量和切削性能影响非常大。通常根据零件的形状、刀具的安装位置以及加工方法等,合理选择刀具的几何形状和相关参数。

1) 尖形车刀的几何参数。尖形车刀的几何参数主要就是车刀的几何角度。选择的方法与普通车削加工时基本相同,只是要求结合数控加工的特点,例如走刀路线及加工干涉等进行全面考虑。

例如,在加工在一个工件上同时有正圆锥面和倒圆锥面时,用一把车刀就要考虑车刀的切削刃在车削圆锥面时不能发生加工干涉。在加工大圆弧内表面零件时,选择尖形内孔车刀的形状及主要几何角度如图 1-2 所示,这样的车刀就可以将内圆弧面和端面一刀车出,减少了刀具的使用量。选择尖形车刀的几何角度为了不发生干涉,可以用作图或计算的方法。例如对于副偏角,应比作图或计算所得不发生干涉的极限角度大  $6^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 。

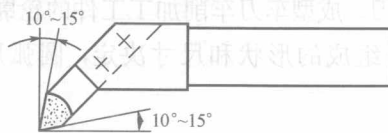


图 1-2 尖形车刀

2) 圆弧形车刀的几何参数。对于一些精度要求很高的凹形曲面的车削加工、大外圆弧面的批量车削加工,以及尖形车刀不能完成的车削加工,宜选用圆弧形车刀进行车削加工。

圆弧形车刀具有宽刀修光切削的性质。能使精车余量保持均匀从而改善切削性能,还能一刀车削加工跨多个象限的圆弧面。



圆弧形车刀的几何参数除了刀具角度外，主要的几何参数还包括车刀圆弧切削刃的形状和半径。

选择车刀圆弧半径的大小时，要考虑两点：①车刀切削刃的圆弧半径应小于或等于零件加工轮廓上的最小半径，以避免发生加工干涉；②圆弧半径不宜选择得太小，否则刀具既难以制作刃磨，又会因为刀头强度太差或刀头散热能力差，致使车刀寿命短和容易损坏。

当已经选定或确认圆弧形车刀的圆弧半径后，还要特别注意圆弧切削刃的形状误差对加工精度的影响。这是因为，在加工时圆弧形车刀的切削刃与被加工轮廓曲线是作相对的滚动，也就是圆弧形车刀的实际切削刀尖沿着车刀的圆弧形刀刃不断地移动变化。这就必须保证圆弧刀刃的圆弧形有很小的圆度误差，越接近理想圆弧，所得的加工误差越小。

另外，圆弧形车刀的前、后角选择原则上与普通车刀相同。只不过形成前角的前刀面一般都为球面，形成后角的后刀面一般是圆锥面。圆弧形车刀前、后刀面的特殊形状，就是为了满足在刀刃的每一个切削点上，都具有恒定的前角和后角。以确保切削过程的加工精度和稳定性。在精车时，为了制作车刀的方便，精车刀的前角通常选择为  $0^\circ$ 。

(3) 刀具的标准化。为了适应数控车削加工的需要，不断提高加工质量和生产效率，节省刀具费用，改善加工环境，要求推广使用模块化和标准化车刀。

模块化车刀主要以车刀的刀杆、刀体为主，可以通过组装结合而成，并能根据加工的需要接长和拆短刀杆。

数控车床用的标准化车刀，主要针对刀具的刀柄和刀头两部分制定标准。国家标准对可转位机夹外圆车刀、可转位机夹端面车刀、可转位机夹内孔车刀作了具体规定，如图 1-3 所示。

数控加工用刀具刀头部分包括多种结构，如可调镗刀头、

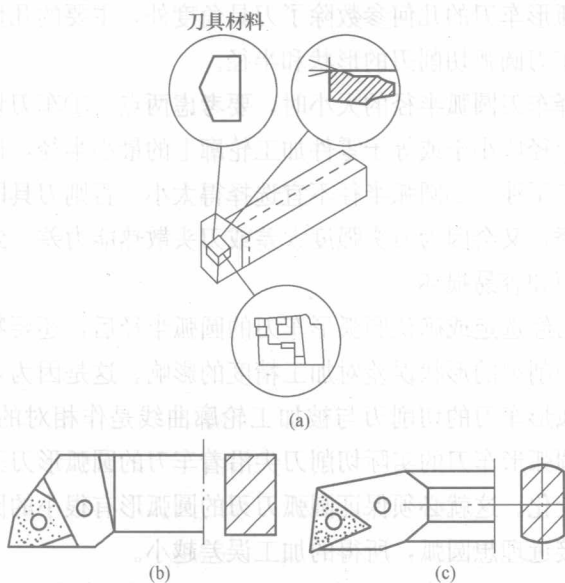


图 1-3 可转位机夹车刀

(a) 可转位机夹车刀结构；(b) 可转位机夹外圆车刀；

(c) 可转位机夹内孔车刀

不重磨刀片已经有多种标准形状和系列化的规格型号，如图 1-4 所示。

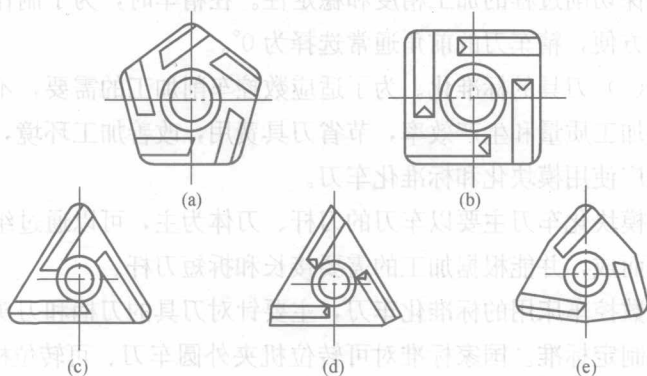


图 1-4 可转位机夹车刀刀片

(a) 五边形刀片；(b) 方形刀片；(c)、(d)、(e) 三角形刀片



## 二、数控车床的型号和参数

### 1. 数控车床的型号

数控车床的型号符合 GB/T 15375—1994《金属切削机床型号编制方法》。例如，数控车床如下：



### 2. 数控车床的主要参数

数控机床的主要规格：床身上最大工件回转直径；最大车削长度；床鞍上最大工件回转直径；主轴孔径；主轴头部规格；装刀基面至主轴中心的距离；主轴孔锥度；尾座顶尖套锥孔规格；主轴转速（是否无级变速）；进给量与螺距范围；最大进给行程；快速移动速度；刀架可装刀具数；刀架工位数；主电动机功率；各进给伺服电动机功率；刀架电动机功率；冷却泵电动机功率；润滑泵电动机等。

数控装置主要参数：数控轴数目；同时控制轴的数目；脉冲分配方式；数字测量方式；分辨率；自动回原点机能，程序外的进给量调节范围等。

### 3. 数控车床的分类

数控车床可分为卧式和立式两大类。卧式车床又有水平导轨和倾斜导轨两种。档次较高的数控卧车一般都采用倾斜导轨。按刀架数量分类，又可分为单刀架数控车床和双刀架数控车床，前者是两坐标控制，后者是四坐标控制。双刀架卧车多数

采用倾斜导轨。

数控车床与普通车床一样，也是用来加工零件旋转表面的。一般能够自动完成外圆柱面、圆锥面、球面以及螺纹的加工，还能加工一些复杂的回转面，如双曲面等。车床和普通车床的工件安装方式基本相同，为了提高加工效率，数控车床多采用液压、气动和电动卡盘。

数控车床的外形与普通车床相似，即由床身、主轴箱、刀架、进给系统压系统、冷却和润滑系统等部分组成。数控车床的进给系统与普通车床有本质的区别，传统的普通车床有进给箱和交换齿轮架，而数控车床是直接利用伺服电机通过滚珠丝杠驱动刀架实现进给运动，因而进给系统的结构大为简化。

数控车床品种繁多，规格不一，可按如下方法进行分类。

按车床主轴位置分类如下。

(1) 立式数控车床。立式数控车床简称为数控立车，其车床主轴垂直于水平面，一个直径很大的圆形工作台用来装夹工件。这类机床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸相对较小的大型复杂零件。

(2) 卧式数控车床。卧式数控车床又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床。其倾斜导轨结构可以使车床具有更大的刚性，并易于排除切屑。

按加工零件的基本类型分类如下。

(1) 卡盘式数控车床。这类车床没有尾座，适合车削盘类（短轴类）零件。夹紧方式多为电动或液动控制，卡盘结构多具有可调卡爪或不淬火卡爪（软卡爪）。

(2) 顶尖式数控车床。这类车床配有普通尾座或数控尾座，适合车削较长的零件及直径不太大的盘类零件。



### 三、数控车床的组成部分和作用

#### 1. 数控车床的组成

(1) 计算机数控装置。目前计算机数控装置绝大部分采用微型计算机控制,由输入输出设备、运算器、控制器、存储器等组成。通过系统操作面板上的各按钮和键盘输入数控装置。

(2) 位置检测装置。将由传感器(位置检测装置)测出车床刀架实际移动的位移或丝杆转过的角度转换成电信号,反馈到计算机数控装置中,与输入指令比较,发出相应的修改指令,纠正误差。

(3) 伺服驱动系统。包括滚珠丝杠、伺服电机或步进电机与连接部件、控制电路、驱动放大电路等。用来代替普通车床的光杠、丝杠及进给箱和溜板箱,做进给加工。

(4) 车床床身。主轴为可无级变速的电动机。主轴的启、停,正、反转及转速的控制,冷却泵启停等由自动控制装置代替普通车床的手动操作。主轴装有主轴脉冲发生器,与主轴同步旋转,把主轴转速信息传给数控装置,对节距计算后,发给伺服系统,使刀架移动一个导程,然后进行螺纹车削。

#### 2. 数控车床的结构特点

与传统车床相比,数控车床的结构有以下特点:

(1) 由于数控车床刀架的两个方向运动分别由两台伺服电动机驱动,所以它的传动链短。不必使用挂轮、光杠等传动部件,用伺服电动机直接与丝杠联结带动刀架运动。伺服电动机丝杠间也可以用同步皮带副或齿轮副联结。

(2) 多功能数控车床是采用直流或交流主轴控制单元来驱动主轴,按控制指令作无级变速,主轴之间不必用多级齿轮副来进行变速。为扩大变速范围,现在一般还要通过一级齿轮

副,以实现分段无级调速,即使这样,床头箱内的结构已比传统车床简单得多。数控车床的另一个结构特点是刚度大,这是为了与控制系统的高精度控制相匹配,以便适应高精度的加工。

(3) 数控车床的第三个结构特点是轻拖动。刀架移动一般采用滚珠丝杠副。滚珠丝杠副是数控车床的关键机械部件之一,滚珠丝杠两端安装的滚动轴承是专用轴承,它的压力角比常用的向心推力球轴承要大得多。这种专用轴承配对安装,是选配的,最好在轴承出厂时就是成对的。

(4) 为了拖动轻便,数控车床的润滑都比较充分,大部分采用油雾自动润滑。

(5) 由于数控机床的价格较高、控制系统的寿命较长,所以数控车床的滑动导轨也要求耐磨性好。数控车床一般采用镶钢导轨,这样机床精度保持的时间就比较长,其使用寿命也可延长许多。

(6) 数控车床还具有加工冷却充分、防护较严密等特点,自动运转时一般都处于全封闭或半封闭状态。

(7) 数控车床一般还配有自动排屑装置。

### 3. 数控车床与普通车床的区别

数控车床与普通车床的加工对象结构及工艺有着很大的相似之处,但由于数控系统的存在,也有着很大的区别。与普通车床相比,数控车床具有以下特点:

(1) 采用了全封闭或半封闭防护装置。数控车床采用封闭防护装置可防止切屑或切削液飞出,给操作者带来意外伤害。

(2) 采用自动排屑装置。

数控车床大都采用斜床身结构布局,排屑方便,便于采用自动排屑机。

(3) 主轴转速高,工件装夹安全可靠。数控车床大都采用