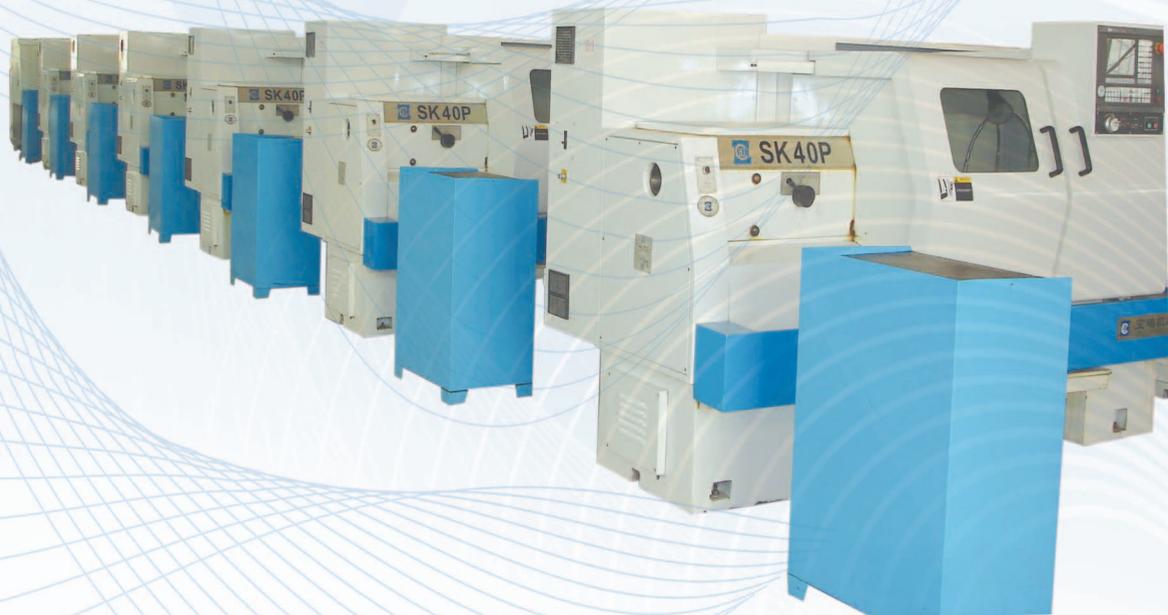




国家示范性高等职业院校建设计划资助项目

# 数控加工技术

主编 杨秀琴 李振威





国家示范性高等职业院校建设计划资助项目

# 数控加工技术

主编 杨秀琴 李振威

图书在版编目 (C I P) 数据

数控加工技术 / 杨秀琴, 李振威主编. -- 银川:  
阳光出版社, 2011.1(2016.2重印)  
ISBN 978-7-80620-770-3

I. ①数… II. ①杨… ②李… III. ①数控机床-加工 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第014781号

## 数控加工技术

杨秀琴 李振威 主编

责任编辑 姚发国  
封面设计 朱志英  
责任印制 岳建宁



黄河出版传媒集团 出版发行  
阳光出版社

出版人 王杨宝  
地 址 宁夏银川市北京东路139号出版大厦 (750001)  
网 址 <http://www.yrpubm.com>  
网上书店 <http://www.hh-book.com>  
电子信箱 [yangguang@yrpubm.com](mailto:yangguang@yrpubm.com)  
邮购电话 0951-5045842  
经 销 全国新华书店  
印刷装订 宁夏银报印务有限公司  
印刷委托书号 (宁)0001096

开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 19.75  
字 数 410千字  
版 次 2011年1月第1版  
印 次 2016年2月第2次印刷  
书 号 ISBN 978-7-80620-770-3/T·2  
定 价 30.00元

版权所有 翻印必究

**宁夏职业技术学院国家示范性  
高职院校建设项目教材编写委员会**

**主 任**

张怀斌 撒承贤

**副主任**

孔 斌

**委 员**

任全录 赵晓瑞 任 杰 李慧云 马锦才  
詹发荣 冷晓红 徐 军 张 敏 殷正行

**编委会办公室主任**

孔 斌

**编委会办公室副主任**

任全录 吴轶勤 李 强



# 前言

---

宁夏职业技术学院于 2007 年被国家教育部、财政部确定为国家一百所示范性高等职业院校立项建设单位。项目实施以来,学院以专业建设为龙头,围绕自治区经济发展战略定位。按照“专业对接市场、课程对接能力、质量对接需求”的理念,有针对性地设置和调整专业。积极实践工学结合、校企合作人才培养模式改革和课程体系改革。以“开放、合作、包容、共赢”为原则,与区域内近二百家企业实施校企合作、人才共育。在工作过程系统化的课程体系建构和工学结合专业课程建设中,以设备、工作对象、案例、典型产品等为载体,组织教学内容,实施教学,取得了一批标志性成果。为了推广在课程建设中取得的成效,决定编辑出版部分教材和实训指导书。

特别感谢合作企业给予学校的大力支持。由于编者水平所限和时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请业内专家和广大读者指正。

宁夏职业技术学院国家示范性  
高职院校建设项目教材编写委员会  
2010 年 3 月 18 日

# 目录

---

教学情境一 数控车床加工 .....	001
首堂课的设计 .....	001
项目一 轴套配合件的加工 .....	011
任务一 分析零件图样 .....	011
任务二 数控车床的选择 .....	016
任务三 加工工艺文件的填写 .....	029
任务四 程序编制 .....	057
任务五 配合件的综合加工 .....	120
项目二 椭圆的宏程序编程 .....	138
教学情境二 数控铣床、加工中心加工 .....	149
首堂课的设计 .....	149
项目一 模具支撑座的加工 .....	153
任务一 分析零件图样 .....	153
任务二 数控铣床的选择 .....	161
任务三 夹具选择 .....	169
任务四 刀具选择 .....	176
任务五 加工工艺文件的填写 .....	187
任务六 程序编制 .....	198
任务七 模具支撑座综合件加工 .....	239
项目二 半圆凸台的宏程序编程 .....	244

教学情境三 电火花线切割加工 .....	253
项目一 冲压毛坯件的线切割加工 .....	253
项目二 落料凹模的线切割加工 .....	260
项目三 上下异形件的线切割加工 .....	265
练习思考题 .....	267
参考文献 .....	310
后 记 .....	311

---

# 教学情境一 数控车床加工

---

## 首堂课的设计

### 任务内容

最新数控车床的结构演示、整个加工过程及加工产品展示的录像。

### 任务目标

#### 【能力目标】

- 1.引起学生对数控车床编程的兴趣。
- 2.使学生明白本学期学习的内容和任务。
- 3.本学期需要掌握的加工技能。
- 4.数控车床加工的最新趋势。

#### 【知识目标】

- 1.数控车床加工的最新趋势。
- 2.数控车床加工方法。
- 3.数控车床的操作过程。

### 任务实施

- 1.看教学录像,提问:数控车床与普通车床的区别是什么?然后总结两种机床的区别。
- 2.问同学对数控车床的了解?数控车床与加工中心的不同之处在哪?
- 3.发展概况:
  - (1)NC→CNC。
  - (2)1949、1952、1958年的成果。
  - (3)加工中心的概念。
  - (4)常用的五大数控系统介绍:FANUC、SIEMENS、MAZAK、FAGOR、华中 I 型。
  - (5)国内、外数控系统的领先技术。



## 相关知识

### 一、数控加工技术的主要应用对象

制造业是国民经济的基础产业,它为国民经济各部门的发展提供所需的机器、仪器、工具等机械装备。据统计,美国68%的社会财富来源于制造业,日本国民总产值的49%是由制造业提供的。可以说,没有制造业,就不可能有国家的真正繁荣和富强。随着科学技术的发展,尤其是计算机技术的发展,促使常规机械制造技术与精密检测技术、数控技术等相互结合。机械产品的结构越来越合理,其性能、精度和效率日趋提高,更新换代频繁,生产类型由大批大量生产向多品种小批量生产变化。这些变化对机械制造技术提出了更高的要求,使机械制造技术不断向着高柔性 with 高度自动化、高精度和高速高效率的趋势发展。

在传统的机械制造中,单件小批量生产一般都采用通用机床加工,当产品改变时,机床与工艺装备均需作相应的变换和调整,而且通用机床的自动化程度不高,基本上由人工操作,难以提高生产效率和保证产品质量。特别是一些曲线、曲面轮廓组成的复杂零件,只能借助靠模和仿形机床加工,加工精度和生产效率受到很大的限制。为了解决多品种、小批量及复杂零件机械加工自动化的需要,数控加工技术应运而生。采用数控加工手段,解决了机械制造中常规加工技术难以解决甚至无法解决的单件小批量,特别是复杂型面零件加工的自动化问题。应用数控加工技术是机械制造业的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段,提高了机械制造业的制造水平,为社会提供了高质量、多品种及高可靠性的机械产品。从满足加工经济性并保证零件的技术要求等方面考虑,数控机床通常加工以下几类零件:

- (一)小批量生产的复杂零件。
- (二)形状复杂、精度要求较高的零件。
- (三)需要多次改进设计后才能定型的零件。
- (四)价格较高,不允许报废的零件。
- (五)由钻、镗、铰、攻螺纹及车削加工联合进行的零件。

### 二、数控加工编程的主要内容

数控加工技术与常规加工技术的目的都是相同的,即加工出合格的工件,不同之处在于常规加工技术依靠技术工人按照工序卡片操作设备进行加工,如图1-1所示,数控加工技术依靠数控装置按照加工程序自动控制机床进行加工。加工程序是加工之前通过对零件图纸的工艺分析按照一定的格式编写的程序,数控编程是指从零件图纸到获得数控加工程序的全部工作过程。如图1-2所示,编程工作主要包括:分析零件图样,确定加工工艺过程,数值计算,编写零件加工程序,校对程序及试加工等。

## (一)分析零件图,确定工艺过程

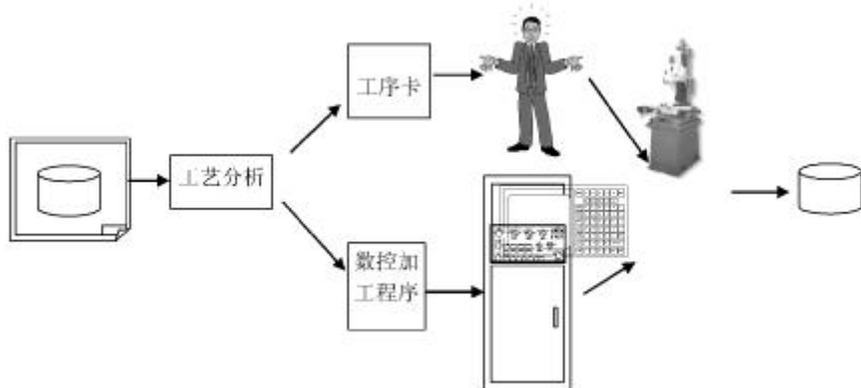


图 1-1 数控加工与普通加工的比较

分析零件图纸,即分析零件的材料、形状、尺寸、精度和毛坯形状及热处理要求等。通过分析确定该零件是否适宜在数控机床上加工,以及适宜在哪种数控机床上加工。有时还要确定在某台数控机床上加工该零件的哪些工序或哪个表面。然后,再确定零件的工艺方法(包括采用的工夹具和装夹定位方法)和加工路线(包括对刀点、切削路线等),选定加工刀具并确定切削用量等工艺参数。掌握的基本原则是充分发挥数控机床的效能,加工路线要尽可能短,要正确选择对刀点、换刀点,以减少换刀次数。

## (二)数值计算

根据零件图样的几何尺寸和所确定的加工路线及设定的坐标系,计算出数控机床所需输入的数据。数值计算的复杂程度,取决于零件的复杂和数控系统的功能,对于点位控制的数控机床,往往无需数值计算。如果零件图的坐标数据与数控系统要求输入的数据不同,只需经过简单的换算就能满足要求。对于轮廓控制的数控机床,如果零件形状比较简单(如直线和圆弧组成的平面零件),而数控系统的插补功能又与零件形状相符,并能实现刀具补偿时,数值计算也比较简单,仅需算出零件轮廓相邻几何要素的交点或切点坐标值。

当零件形状比较复杂时就需要较复杂的数值计算过程,对于这种情况,需要借助计算机完成数值计算工作。

## (三)编写加工程序

根据计算出的加工路线数据和已确定的工艺参数、刀位数据,结合数控系统对输入信息的要求,编程人员可根据数控系统规定的功能指令代码及程序格式编写零件加工程序。编写程序时,还要了解数控机床加工零件的过程,以便填入必要的工艺指令,如机床启停、加工中暂停等。

#### (四)程序输入

程序输入有手动数据输入、介质输入、通信输入等方式。

现代CNC系统的存储量大,可存储多个零件加工程序,且可在不占用加工时间的情况下进行输入。因此不太复杂的零件常采用手动数据输入(MDI),这样比较方便、及时。介质输入方式是将加工程序记录在磁盘、磁带等介质上,通过输入装置一次性输入。

#### (五)校对检查程序

检查由于计算和编写程序造成的错误等,校对检查方式为:首先将程序进行初期检查,并用笔在坐标纸上划出加工路线,经检查机床运动轨迹是否正确;之后,在有CRT图形显示功能的数控机床上进行模拟加工,看机床(刀具)的运动及模拟加工出的工件形状是否正确。

#### (六)首件加工

程序校验结束后,必须在机床上试加工。因为校验方式只能检验出机床的运动是否正确,不能查出被加工零件的加工精度。如果加工出来的零件不合格,需修改程序再试,直到加工出满足零件图样要求的零件为止。

完成了以上工作,并确认试切的零件符合零件图纸的质量、技术要求后,数控编程工作才算结束。

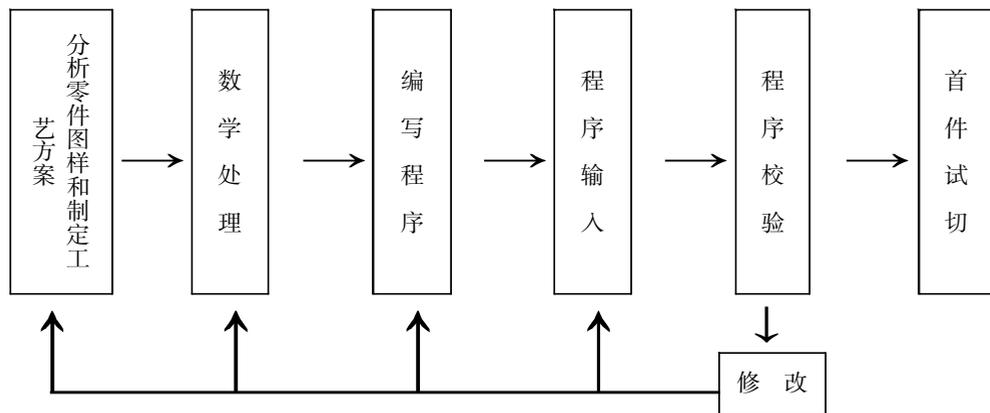


图 1-2 数控程序编制的内容及步骤

### 三、数控加工工艺的基本特点

数控加工工艺的内容包括:选择合适的机床、刀具、夹具、走刀路线与切削用量,选择合适的工艺参数及切削策略,能获得较为理想的加工效果。数控加工工艺问题的处理与普通加工工艺基本相同,在设计零件的数控加工工艺时,首先要遵循普通加工工

艺的基本原则和方法,同时还必须考虑数控加工本身的特点和零件编程要求。数控加工工艺基本特点如下:

### (一)内容明确而具体

数控加工工艺与普通加工工艺相比,在工艺文件的内容和格式上都有较大区别,如在加工部位、加工顺序、刀具配置与使用顺序、刀具轨迹、切削参数等方面,都要比普通机床加工工艺中的工序内容更详细。数控加工工艺内容详细到每一次走刀路线和每一个操作细节,这是普通加工工艺中通常要留给操作者完成的工艺与操作内容(如工步的安排、刀具几何形状及安装位置等),都必须由编程人员在编程时予以确定。也就是说,在普通机床加工时本来由操作工人在加工中灵活掌握并通过适时调整来处理的许多工艺问题,在数控加工时必须由编程人员事先具体设计和明确安排。

### (二)工艺要求准确而严密

数控机床虽然自动化程度高,但自适应性差,它不能像普通加工时那样可以根据加工过程中出现的问题进行人为的调整。例如,在数控机床上加工内螺纹时,它并不知道孔中是否挤满了切屑,何时需要退一次刀待清除切屑后再进行加工。所以,在数控加工的工艺设计中必须注意加工过程中的每一个细节,尤其是对图形进行数学处理、计算和编程时一定要力求准确无误。否则,可能会出现重大机械事故和质量事故。

### (三)采用多坐标联动加工复杂曲面

对于一般简单表面的加工方法,比如平面、圆柱面等,数控加工与普通加工无太大的差别。但是对于一些复杂表面、特殊表面或有特殊要求的表面,数控加工与普通加工在加工方法上有着很大的不同。例如,对于曲线和曲面的加工,普通加工采用画线、样板、靠模、钳工、成形加工等方法进行,不仅生产效率低,而且还难以保证加工质量。而数控加工则采用多坐标联动自动控制加工方法,其加工质量与生产效率是普通加工方法无法比拟的。

### (四)工艺装备先进

为了满足数控加工中高质量、高效率和高柔性的要求,数控加工中广泛采用先进的数控刀具、组合夹具等工艺装备。

### (五)加工工序集中

现代数控机床具有刚性大、精度高、刀库容量大、切削参数范围广及多坐标、多工位等特点。因此,工件在一次装夹中可以完成多个表面的多种切削加工,甚至可在工作台上装夹几个相同或相似的工件进行加工,从而缩短了加工工艺路线和生产周期、减少了加工设备、工装和工件的运输工作量。

实践证明,数控加工中失误的主要原因多为工艺方面考虑不周和计算、编程粗心大意造成的。因此,编程人员必须具备较扎实的工艺知识和较丰富的实际工作经验,

同时还必须具有耐心、细致的工作作风和高度的工作责任感。

### 四、数控加工工艺的主要内容

从加工角度看,数控加工技术主要围绕加工方法和工艺参数的合理确定及其实现的理论与技术,数控加工通过计算机控制刀具做精确的切削加工运动,是完全建立在复杂的数值运算之上的,能实现传统的机加工无法实现的合理、完整的工艺规划。根据实际应用需要,数控加工工艺主要包括以下内容:

(一)选择适合在数控机床上加工的零件,确定数控机床加工的内容。

(二)对零件图样进行数控加工工艺分析,明确加工内容及技术要求。

(三)详细设计数控加工工序,如工步的划分、工件的定位与夹具的选择、刀具的选择、切削用量的确定等。

(四)处理特殊的工艺问题,如对刀点、换刀点的选择,加工路线的确定,刀具的补偿等。

(五)编程误差及其控制。

(六)处理数控机床上部分工艺指令,编制工艺文件。

### 五、数控机床的合理选用

从加工工艺的角度分析,选用的数控机床功能必须适应被加工零件的形状,尺寸精度和生产节拍等要求。

#### (一)形状尺寸适应性

所选用的数控机床必须能适应被加工零件群组的形状尺寸要求,这一点应在加工分析的基础上进行,如加工空间曲面形状的叶片,往往要选择四轴或五轴联动数控车床或加工中心。这里要注意的是防止由于冗余功能而付出昂贵的代价。

#### (二)加工精度适应性

所选择的数控机床必须满足被加工零件群组的精度要求。为了保证加工误差不超差,必须分析生产厂家给出的数控机床精度指标,保证有三分之一的精度储备量。但要注意不要一味地追求不必要的高精度,只要能确保零件群组的加工精度就可以了。

#### (三)生产节拍适应性

根据加工对象的批量和节拍要求来决定是用一台数控机床来完成加工,还是选择几台机床来完成加工。是选择柔性加工单元、柔性制造系统来完成加工,还是选择柔性生产线、专用机床及生产线来完成加工。

数控机床的最大特点是具有柔性化和灵活性,最适合轮番生产和产品更新换代快的要求。如果产品生命周期较长且批量大,选用专机、专线来保证生产率和生产节拍要求也许更为合理。选用数控机床还要注意前后工序间的节拍协调一致,要注意外

部设备的配置、编程、操作、维修等支撑环境。如果它们都不能协调运行,再好的数控机床也不能很好地发挥作用。数控加工的缺点是设备费用较高,尽管如此,随着数控技术的发展、数控机床的普及和对机床认识上的提高,其应用范围必将日益扩大。

## 六、数控机床的适用范围

数控机床加工具有:加工对象的适应性强;加工精度高,质量稳定;生产效率高;自动化程度高,劳动强度低;能实现复杂零件加工;有利于现代化生产管理等特点。但是数控设备的初始投资费用较高,技术复杂,对编程、维修人员的素质要求也比较高。在实际选用中一定要充分考虑其技术经济效益。一般来说,数控机床特别适用于加工零件较复杂、精度要求高、产品更新频繁、生产周期要求短的场合。

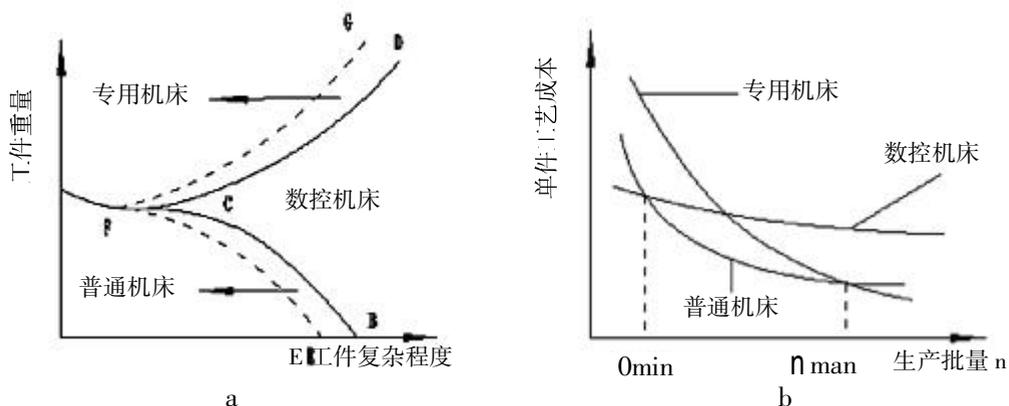


图 1-3 数控机床的适用范围

图1-3a为随零件复杂程度和生产批量的不同,三种机床应用范围的变化。当零件不太复杂,生产批量又较小时,适采用通用机床;当生产批量很大时,宜采用专用机床。而随着零件复杂程度的提高,数控机床愈显得适用。目前,随着数控机床的普及,应用范围正由BCD线向EFG线复杂性较低的范围扩大。

图1-3b所示为通用机床、专用机床和数控机床零件加工批量与生产成本的关系。从图中可以看出,在多品种、中小批量生产情况下,采用数控机床总费用更为合理。

编制数控加工程序是使用数控机床的一项重要技术工作,理想的数控程序不仅应该保证加工出符合零件图样要求的合格零件,还应该使数控机床的功能得到合理的应用与充分的发挥,使数控机床能安全、可靠、高效的工作。

## 七、数控车削主要加工对象

数控车削是数控加工中用得最多的加工方法之一。由于数控车床具有加工精度

高、能作直线和圆弧插补以及在加工过程中能自动变速的特点,因此,其工艺范围较普通车床宽得多。凡是能在普通车床上加工的回转体零件都能在数控车床上完成。但是,数控机床不是万能的机床,不是什么工件都适合在数控机床上进行加工,或者说不是什么工件都有必要在数控机床上完成。当选择并决定对某个零件进行数控加工后,一般情况下,也并非其全部加工内容都适合在数控机床上完成,而往往只是其中的一部分工艺内容适合数控加工。这就需要对零件图样进行仔细的工艺分析,选择那些最适合、最需要进行数控加工的内容和工序,尽量减少贵重的数控机床的占用时间,提高生产效率并从尽量降低加工成本出发,充分发挥数控加工的优势。

### (一)适于数控车床加工的内容

#### 1.精度要求高的回转体零件

由于数控车床刚性好,制造和对刀精度高,能方便和精确地进行人工补偿和自动补偿,所以能加工尺寸精度要求较高的零件,在有些场合可以以车代磨。此外,数控车削的刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动系统来实现的,再加上机床的刚性好和制造精度高,所以能加工对母线直线度、圆度、圆柱度等形状精度要求高的零件。对于圆弧以及其他曲线轮廓,加工出的形状与图样上所要求的几何形状的接近程度比用仿形车床要高得多。数控车削工件时一次装夹可完成多道工序的加工,因而对提高加工工件的位置精度特别有效。不少位置精度要求高的零件用普通车床车削时,因机床制造精度低、工件装夹次数多,而达不到设计要求,只能在车削后用磨削或其他方法弥补。

#### 2.表面粗糙度要求高的回转体零件

数控车床具有恒线速切削功能,能加工出表面粗糙度值小而均匀的零件。在材质、精车余量和刀具已定的情况下,表面粗糙度取决于进给量和切削速度。在普通车床上车削锥面和端面时,由于转速恒定不变,致使车削后的表面粗糙度不一致,只有某一直径处的粗糙度值最小。使用数控车床的恒线速切削功能,就可选用最佳线速度来切削锥面和端面,使切削后的表面粗糙度值能够保持一致。数控车削还适合于车削各部分表面粗糙度要求不同的零件,表面粗糙度值要求大的部位选用大的进给量,要求小的部位选用小的进给量。

#### 3.表面形状复杂的回转体零件

由于数控车床具有直线和圆弧插补功能,可以车削由任意直线和曲线组成的形状复杂的回转体零件、壳体零件封闭内腔的成型面,这些在普通车床上是无法加工的,而在数控车床上则很容易加工出来。组成零件轮廓的曲线可以是数学方程式描述的曲线,也可以是列表曲线。对于由直线或圆弧组成的轮廓,直接利用机床的直线或圆弧插补功能;对于由非圆曲线组成的轮廓,可以用非圆曲线插补功能,若所选机床

没有非圆曲线插补功能则应先用直线或圆弧去逼近,然后再用直线或圆弧插补功能进行插补切削。

#### 4.带特殊螺纹的回转体零件

普通车床所能车削的螺纹相当有限,它只能车等导程的直、锥面的公、英制螺纹,而且一台车床只能限定加工若干种导程。数控车床具有加工各类螺纹的功能,不但能车削任何等导程的直、锥和端面螺纹,而且能车削增导程、减导程,以及要求等导程与变导程之间平滑过渡的螺纹,还可以车削高精度的模数螺旋零件(如圆柱、圆弧蜗杆)和端面(盘形)螺旋零件等。由于数控车床可以配备精密螺纹切削功能,再加上一一般采用硬质合金成型刀具以及可以使用较高的转速,所以车削出来的螺纹精度高,表面粗糙度值小。

### (二)不适于数控加工的内容

一般来说,上述这些加工内容采用数控加工后,在产品质量、生产效率与综合效益等方面都会得到明显提高。相比之下,下列一些内容不宜选择采用数控加工。

1.工件轮廓简单、精度要求很低或生产批量特别大的工件,在数控机床上加工没有明显的优势。

2.装夹困难或必须依靠人工找正才能保证加工精度的单件小批量工件(占机调整时间过长,不利于有效利用数控设备的加工内容)。

3.加工部位分散,不能在一次装夹中完成加工的其他零星加工表面,需要多次装夹、设置工件原点的工件。这时,采用数控加工很麻烦,效果不明显,可安排通用机床加工。

4.加工余量大或材质及余量都不均匀的毛坯工件。

5.特别难加工的工件材料(在加工中暂时没有解决刀具耐用度问题时,由于刀具磨损过快,无法很好地控制加工质量)及铸铁工件(切屑不易清理,使机床导轨严重磨损)等都不适合在数控机床上进行加工。

此外,在选择和决定数控加工内容时,也要考虑生产批量、生产周期、工序间周转情况等。总之,要尽量做到合理、高效地利用数控资源,防止把数控机床降格为通用机床使用。

## 八、数控程序编制的方法

数控加工程序的编制方法主要有两种:手工编制程序和自动编制程序。

### (一)手工编程

手工编程指主要由人工来完成数控编程中各个阶段的工作。流程图如图1-4所示。

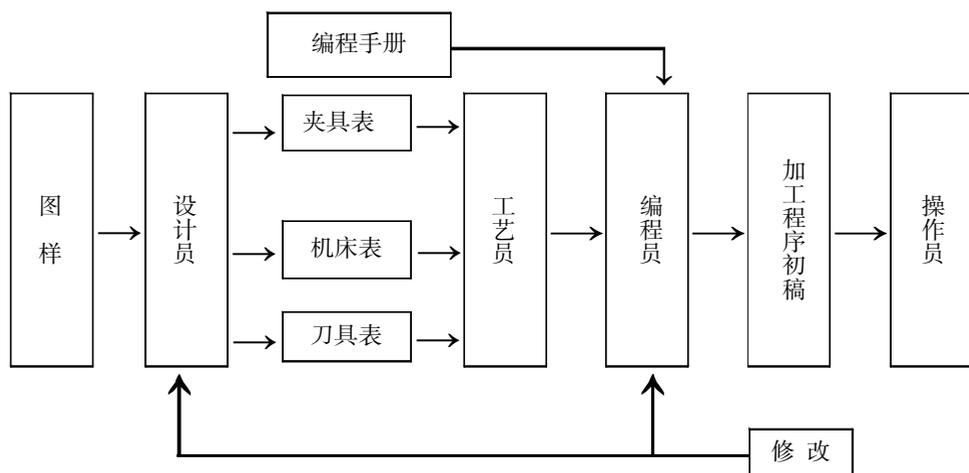


图 1-4 手工编程

一般对几何形状不太复杂的零件,所需的加工程序不长,计算比较简单,用手工编程比较合适。

手工编程的特点:耗费时间较长,容易出现错误,无法胜任复杂形状零件的编程。据国外资料统计,当采用手工编程时,一段程序的编写时间与其在机床上运行加工的实际时间之比,平均约为30 : 1,而数控机床不能开动的原因中有20% ~ 30%是由于加工程序编制困难,编程时间较长。

## (二)计算机自动编程

自动编程是指在编程过程中,除了分析零件图样和制定工艺方案由人工进行外,其余工作均由计算机辅助完成。

采用计算机自动编程时,数学处理、编写程序、检验程序等工作是由计算机自动完成的,由于计算机可自动绘制出刀具中心运动轨迹,使编程人员及时检查程序是否正确,需要时可及时修改,以获得正确的程序。又由于计算机自动编程代替程序编制人员完成了繁琐的数值计算,可提高编程效率几十倍乃至上百倍,因此解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。因而,自动编程的特点就在于编程工作效率高,可解决复杂形状零件的编程难题。

根据输入方式的不同,可将自动编程分为图形数控自动编程、语言数控自动编程和语音数控自动编程等。图形数控自动编程是指将零件的图形信息直接输入计算机,通过自动编程软件的处理,得到数控加工程序。目前,图形数控自动编程是使用最为广泛的自动编程方式。语言数控自动编程指将加工零件的几何尺寸、工艺要求、切削参数及辅助信息等用数控语言编写成源程序后,输入到计算机中,再由计算机进一步处理得到零件加工程序。语音数控自动编程是采用语音识别器,将编程人员发出的加工指令声音转变为加工程序。