



# 数控铣床编程与加工技术

SHUKONG XICHUANG BIANCHENG YU JIAGONG JISHU

达洪勇 唐 伟 主编



西南师范大学出版社

国家一级出版社 全国百佳图书出版单位



# 数控铣床编程与加工技术

SHUKONG XICHUANG BIANCHENG YU JIAGONG JISHU

达洪勇 唐 伟 主编



西南师范大学出版社

国家一级出版社 全国百佳图书出版单位



## 图书在版编目(CIP)数据

数控铣床编程与加工技术 / 达洪勇, 唐伟主编. —  
重庆: 西南师范大学出版社, 2014.5

ISBN 978-7-5621-6753-2

I. ①数… II. ①达…②唐… III. ①数控机床—铣床—程序设计—中等专业学校—教材②数控机床—铣床—加工工艺—中等专业学校—教材 IV. ①TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 076370 号

## 数控铣床编程与加工技术

---

达洪勇 唐 伟 主编

---

策 划: 刘春卉 杨景罡

责任编辑: 曾 文

封面设计: 戴永曦

责任排版: 重庆大雅数码印刷有限公司

出版发行: 西南师范大学出版社

(重庆·北碚 邮编: 400715

网址: [www.xscbs.com](http://www.xscbs.com))

印 刷: 重庆大雅数码印刷有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 9.25

字 数: 237 千字

版 次: 2014 年 5 月第 1 版

印 次: 2014 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5621-6753-2

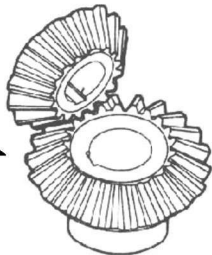
---

定 价: 21.00 元

尊敬的读者, 感谢您使用西师版教材! 如对本书有任何建议或要求, 请发送邮件至 [xszijs@126.com](mailto:xszijs@126.com)。

# 前言

QIANYAN



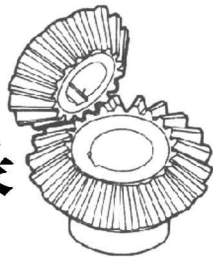
本书参考最新国家数控加工职业标准,立足于企业人才需求,本着“实用为主,够用为度”的教育原则,以强化应用、培养技能为主要目的,在分析加工工艺的基础上应用多种实例是本书的特点,以“华中世纪星”“FANUC-0i”为参考系统详细地介绍了数控铣床的编程。通过学习本书的内容,学生可具备数控铣床程序编制和加工调试的能力,从而更好地适应现代化制造业的发展需求。

本书是供学生在数控加工实训中使用的教材,书中介绍了数控设备编程的基本知识、指令体系,各指令功能的特点、注意事项等,并配以典型编程实例和图例加以说明。本实训教材实用性和可操作性较强,希望能够对学生的数控铣床实训有所帮助。

本书是针对中职学校数控类专业编写的理论与实践一体化教材,符合工作过程(任务教学)系统化课程的要求,是新职业教育理念下的特色教材。落实了“教学做合一”的数控技能人才培养理念,保证了培训技能与企业一线需求的一致性。

本书由重庆市合川职业教育中心达洪勇、唐伟任主编,重庆市合川职业教育中心林小华、曾松、周劲、罗斌任副主编。参编的人员有重庆市合川职业教育中心谢绪明、邓玉伦、漆祥云、邓世亮、经晓凤、杨智强、周杨、刘发益。本书由达洪勇统稿。

受编者的水平和经验所限,书中难免有不妥或错误之处,敬请读者提出批评和改进意见,以便修订。



项目一 数控铣床概述 .....	1
一、数控铣床的分类 .....	1
二、数控铣削的主要加工对象 .....	3
项目二 数控铣削编程基础 .....	5
一、数控铣床及加工中心的基本工作过程 .....	5
二、加工零件工艺设计 .....	5
三、编写加工程序 .....	10
四、程序的输入、传输与程序校验 .....	10
五、对刀 .....	10
六、加工工件 .....	10
七、开、关机步骤 .....	10
八、工件装夹 .....	11
项目三 数控铣床坐标系及程序构成 .....	12
一、坐标系 .....	12
二、数控程序构成 .....	14
三、G 指令与简单程序编写 .....	18
四、主程序和子程序 .....	32
五、孔加工固定循环(G73、G74、G76、G80~G89) .....	34
六、宏程序的编制 .....	43
项目四 综合零件加工 .....	50
任务一 .....	50
任务二 .....	63
任务三 .....	79
任务四 .....	95
任务五 .....	124
任务六 训练题 .....	139
参考文献 .....	144

# 项目一 数控铣床概述

## 一、数控铣床的分类

数控铣床是机床设备中应用非常广泛的加工机床,根据主轴位置、系统功能等,有以下几种分类方法。

### (一)按主轴位置分



图 1.1.1 立式数控铣床



图 1.1.2 卧式数控铣床

### (二)按系统功能分



图 1.1.3 经济型数控铣床



图 1.1.4 全功能数控铣床

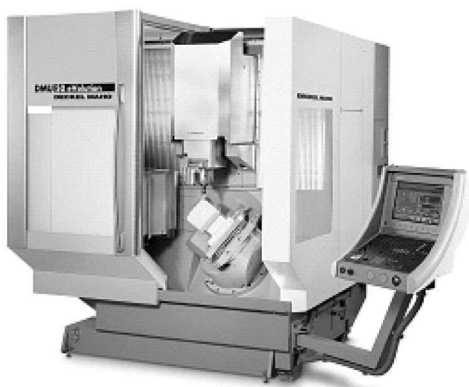


图 1.1.5 高速数控铣床



图 1.1.6 龙门数控铣床

### (三)按主要加工对象分

数控铣床可以进行平面铣削、平面型腔铣削、外形轮廓铣削、三维及三维以上复杂型面铣削,还可进行钻削、镗削、螺纹切削等孔加工。加工中心、柔性制造单元等都是在数控铣床的基础上产生和发展起来的。

### (四)按所用进给伺服系统的类型分

数控铣床(加工中心)同其他数控机床一样,也可按所用进给伺服系统的类型、机床数控系统控制的坐标轴数量、控制运动轨迹等进行分类。

#### 1.开环数控机床

采用开环进给伺服系统。典型的开环进给伺服系统是由功率步进电机和驱动电源组成的(图 1.1.7)。

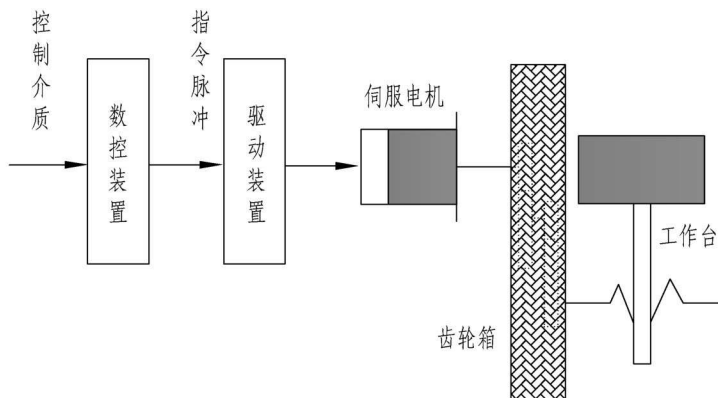


图 1.1.7 开环数控系统控制图

#### 2.闭环数控机床

位置反馈回路、速度反馈回路与主控回路构成两个封闭环,所以称为闭环控制。由位置控制和速度控制构成的双闭环控制,可以获得比开环进给伺服系统精度更高、速度更快、驱



动功率更大的特性指标(图 1.1.8)。

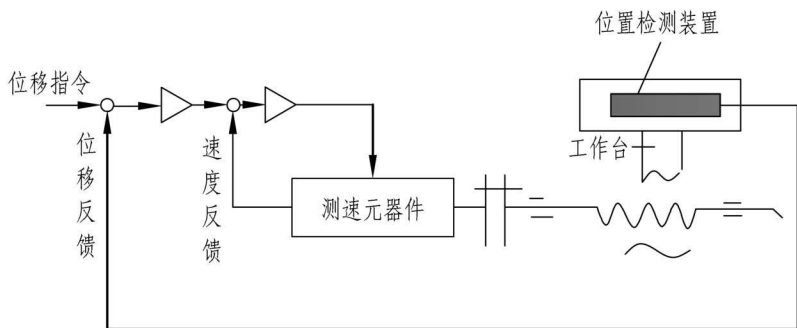


图 1.1.8 闭环数控系统控制图

### 3. 半闭环数控机床

控制环路不包含实际需要被控制的执行部件,所以是半闭环。由于不是直接检测实际位置来进行控制,所以精度低于闭环控制,但仍比开环的精度高。而且,控制系统的稳定性比闭环系统容易获得。目前,大多数数控机床都采用半闭环进给伺服系统(图 1.1.9)。

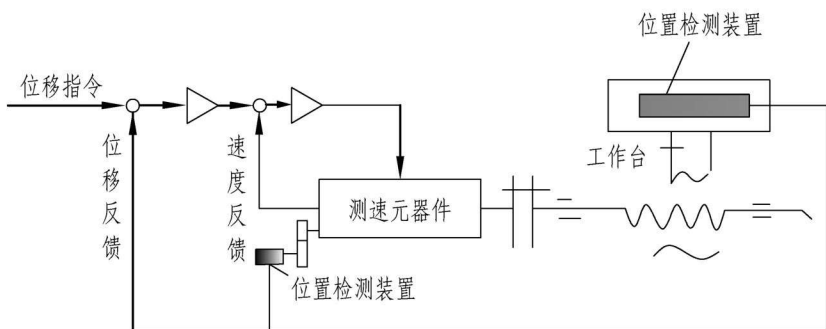


图 1.1.9 半闭环数控系统控制图

按机床数控系统控制的坐标轴数量分类,有两轴联动数控铣床(只能进行 X、Y、Z 三个坐标中的任意两个坐标轴联动加工)、三轴联动数控铣床、四轴联动数控铣床、五轴联动数控铣床等。

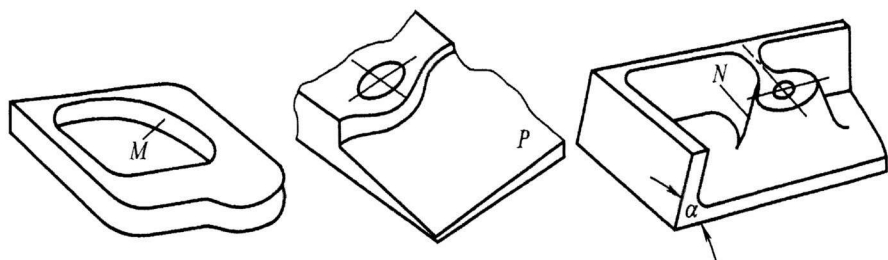
按控制运动轨迹分类又可分为点位控制数控铣床、点位直线控制数控铣床、轮廓控制数控铣床等。

## 二、数控铣削的主要加工对象

### (一) 平面类零件

加工面平行或垂直于水平面,或加工面与水平面的夹角为定角的零件称为平面类零件(图 1.2.1)。其特点是各个加工面是平面或可以展开成平面。





a 带平面轮廓的平面零件 b 带斜平面的平面零件 c 带正圆台和斜筋的平面零件

图 1.2.1 平面类零件

### (二)变斜角类零件

加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件称为变斜角类零件(图 1.2.2)。变斜角类零件的变斜角加工面不能展开为平面,但在加工中,加工面与铣刀圆周接触的瞬間为一条直线。此类零件最好采用四轴或五轴联动数控铣床摆角加工。

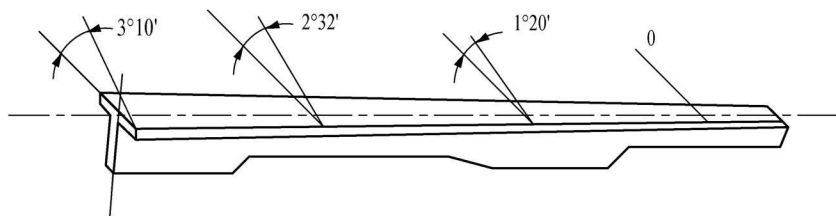


图 1.2.2 变斜角类零件

### (三)曲面类零件

加工面为空间曲面的零件称为曲面类零件(图 1.2.3)。曲面类零件的加工面不能展开为平面,加工时加工面与铣刀始终为点接触。一般采用三轴联动数控铣床加工;当曲面较复杂、通道较狭窄、会伤及毗邻表面且刀具需摆动时,要采用四轴,甚至五轴联动数控铣床加工。

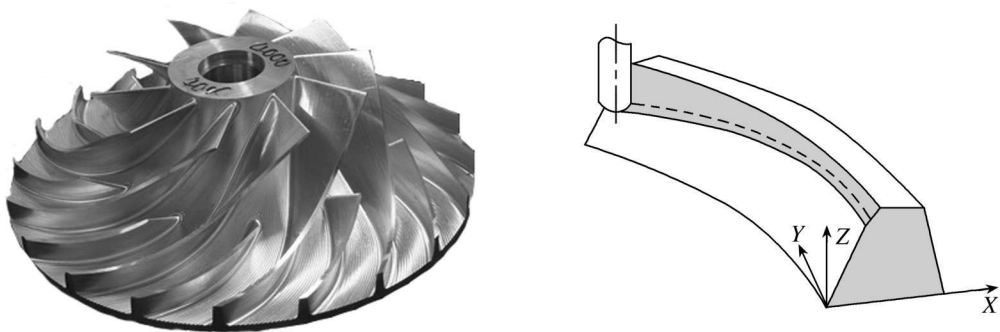


图 1.2.3 曲面类零件

## 项目二 数控铣削编程基础

### 一、数控铣床及加工中心的基本工作过程

利用数控机床完成零件的加工过程,如图 2.1.1 所示。

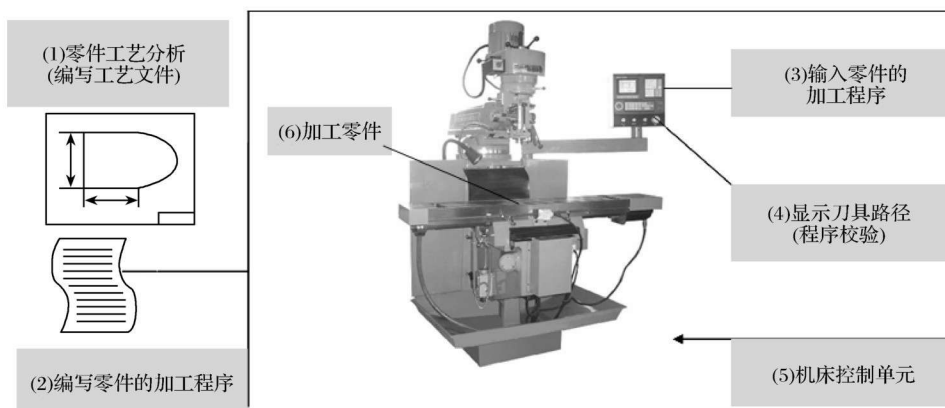


图 2.1.1 加工过程

### 二、加工零件工艺设计

#### (一)确定设备

对于一个零件来说,并非全部加工工艺过程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。

#### 1.适合数控加工的内容

- (1)通用机床无法加工的内容应作为优先选择的内容。
- (2)通用机床难加工、质量也难以保证的内容应作为重点选择的内容。
- (3)通用机床加工效率低、工人手工操作劳动强度大的内容可在数控机床尚存在富余加工能力时选择。

#### 2.不适合数控加工的内容

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,下列一些内容不宜采用数控加工。

(1)占机调整时间长。如以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准,需用专用工具装夹协调的内容。

(2)加工部位分散,需要多次安装和设置原点。这时,采用数控加工很麻烦,效果不明显,可安排通用机床补加工。

(3)按某些特定的制造依据(如样板等)加工的型面轮廓。主要原因是获取数据困难,容易与检验依据发生矛盾,且增加程序编制的难度。

## (二)毛坯状态分析

大多数零件设计图纸只定义了零件加工时的形状和大小,而没有指定原始毛坯的数据,包括毛坯的类型、规格、形状、热处理状态以及硬度等。编程时,对毛坯材料的深入了解是一个重要的开始,利用这些原始信息,有利于数控程序规划。

在满足零件功能的前提下,应选用廉价的毛坯材料,选择时应立足于国内,不要轻易选择贵重和紧缺的材料。

## (三)产品的装配图和零件图分析

在编制零件机械加工工艺规程前,应首先研究零件的工作图样和产品装配图样,熟悉该产品的用途、性能及工作条件,明确该零件在产品中的位置和作用,了解并研究各项技术条件制订的依据,找出其主要技术要求和技术关键,以便在拟订工艺规程时采用适当的措施加以保证。

## (四)零件的加工工艺分析

工艺分析的目的,一是审查零件的结构形状及尺寸精度、位置精度、表面粗糙度、材料及热处理等技术要求是否合理,是否便于加工和装配;二是通过工艺分析,对零件的工艺要求有进一步的了解,以便制订出合理的工艺规程。

根据加工零件的设计图纸及相关技术文件,对零件的材料、形状、尺寸、精度、表面质量以及热处理要求等进行综合分析。

在进行零件数控编程时,还应了解零件的毛坯状态,包括毛坯的类型、规格、形状、热处理状态以及硬度等。这两部分构成了加工零件数控加工工艺分析的主要内容,也决定了零件的技术关键、加工中的难点及数控编程的难易程度。

在利用以上所有原始信息的基础上,综合考虑其他的相关因素,以确定合理的数控加工方案和数控加工方法。初步拟定定位和夹紧基准,合理选择机床,确定加工刀具和切削用量等。

当零件的加工质量要求较高时,应把整个数控加工过程划分为几个阶段,通常划分为粗加工、半精加工和精加工三个阶段。如果零件的精度要求很高,还需要安排专门的光整加工阶段。必要时,如果毛坯表面比较粗糙,余量也较大,还需要先安排进行荒加工和初始基准加工。

### 1.粗加工阶段

粗加工阶段是为了去除毛坯上大部分的余量,使毛坯在形状和尺寸上基本接近零件的成品状态,这个阶段最主要的问题是如何获得较高的生产效率。



## 2.半精加工阶段

半精加工阶段是使零件的主要表面达到工艺规定的加工精度,并保留一定的精加工余量,为精加工做好准备。半精加工阶段一般安排在热处理之前进行,在这个阶段,可以将不影响零件使用性能 and 设计精度的零件次要表面加工完毕。

## 3.精加工阶段

精加工阶段的目的是保证加工零件达到设计图纸所规定的尺寸精度、位置精度和表面粗糙度等要求。零件精加工的余量都较小,主要考虑的问题是如何达到最高的加工精度和表面质量。

## 4.光整加工阶段

当零件的加工精度要求较高,如尺寸精度要求为 IT6 级以上,以及表面粗糙度要求较小 ( $Ra \leq 0.2\mu\text{m}$ ) 时,在精加工阶段之后就必须安排光整加工,以达到最终的设计要求。

### (五)零件的工艺文件设计

填写数控加工专用技术文件是数控加工工艺设计的内容之一。这些技术文件既是数控加工、产品验收的依据,也是操作者遵守和执行的规程。

数控加工技术文件是对零件数控加工的具体说明,目的是让操作者明确加工程序的内容、装夹方式、各个加工部位所选用的刀具及其他技术问题。

数控加工技术文件主要有:数控加工任务书、数控加工工件安装和原点设定卡片、数控加工工序卡片、数控加工走刀路线图、数控刀具卡片等。以下提供了几种常用文件格式,也可以根据企业实际情况自行设计。

#### 1.数控加工任务书

它阐明了工艺人员对数控加工工序的技术要求和工序说明,以及数控加工前应保证的加工余量。它是编程人员和工艺人员协调工作和编制数控程序的重要依据之一,详见表2.2.1。

表 2.2.1 数控加工任务书

单位	数控加工任务书		产品零件图号	任务书编号	
			零件名称	共 页	
			使用数控设备	第 页	
主要任务及技术要求:					
任务收到日期		年 月 日	接受任务部门		
编制		编程	经手人		任务完成时间
审核		审核	批准		备注

## 2. 数控加工工件安装和原点设定卡片

它应表示出数控加工工件定位方法和夹紧方法,并注明加工原点的设置位置和坐标方向,还有使用的夹具名称和编号等,详见表 2.2.2。

表 2.2.2 数控加工工件安装和原点设定卡片

零件图号	数控加工工件安装和原点设定卡片			工序号		
零件名称				装夹次数		
				编号	原点	装夹位置与尺寸
编制		批准		夹具名称	第 页	
审核		操作者		夹具图号	共 页	

## 3. 数控加工工序卡片

数控加工工序卡与普通加工工序卡有许多相似之处,不同的是:工序简图中应注明编程原点与对刀点,要进行简要编程说明(例如:所用机床型号、程序编号、刀具半径补偿、镜像对称加工方式等)及切削参数(即程序编入的主轴转速、进给速度、最大背吃刀量或宽度等)的选择,详见表 2.2.3。

表 2.2.3 数控加工工序卡片

单位	数控加工工序卡片	产品名称或代号			零件图号		
		零件名称					
工序简图	车间						
	使用设备						
	工艺序号						
	夹具名称						
	夹具及原点设定图编号						
工步号	工步作业内容	刀具号	刀补量	主轴转速	进给速度	背吃刀量	备注
编制		批准		加工者			共 页
审核		批准时间		完成时间			第 页

## 4. 数控加工走刀路线图

在数控加工中,常常要注意并防止刀具在运动过程中与夹具或工件发生意外碰撞,为



此,必须设法告诉操作者关于编程中的刀具运动路线(例如:从哪里下刀、在哪里抬刀、哪里是斜下刀等)。为简化走刀路线图,一般可采用统一约定的符号来表示,详见表 2.2.4。

表 2.2.4 数控加工走刀路线图

数控加工走刀路线图		零件图号		工序号		工步号		程序号	
机床型号		加工内容						共 页	第 页
								编程	
								校对	
								审批	
符号									
含义	抬刀	编程原点	起刀点	走刀方向	走刀线相交	爬斜坡	行切		

### 5. 数控刀具卡片

在进行数控加工时,对刀具的要求十分严格,一般要在机外对刀仪上预先调整刀具直径和刀具长度。刀具卡反映刀具编号、刀具结构、尾柄规格、组合件名称代号、刀片型号和材料等。它是组装刀具和调整刀具的依据,详见表 2.2.5。

表 2.2.5 数控刀具卡片

所需加工零件图号		数控刀具卡片				使用设备
刀具名称						
刀具编号		换刀方式		程序编号		
刀 具 组 成	序号	编号	刀具名称	规格	数量	备注
借用人						
编制		审校		批准		共 页 第 页

### 6. 确定技术文件的注意事项

(1)数控加工工艺路线制定所需的生产资料、现有的生产条件和资料、工艺装备及专用设备的制造能力、加工设备和工艺装备的规格及性能、工人的技术水平等。

(2)零件设计图纸、技术资料以及产品的装配图纸。

(3)零件的生产批量。

(4)零件数控加工所需的相关技术标准,例如行业标准、企业标准等。

(5)产品验收的质量标准。

### 三、编写加工程序

根据加工工艺过程的先后顺序,按照数控系统的功能指令代码及程序段格式,逐步编写加工程序。程序员应对数控机床的性能、程序代码非常熟悉,才能编出正确的加工程序。

常见的编程方法分为手工编程和自动编程。

#### (一)手工编程

手工编程是程序员从人工完成零件图工艺分析、工艺和数据处理、计算和编写数控程序、输入数控程序到程序验证整个过程的方法。手工编程非常适合于几何形状不太复杂、程序计算量较少的零件的数控编程。相对而言,手工编程的数控程序较短,编制程序的工作量较少。因此,手工编程广泛用于形状简单的点位加工和直线、圆弧组成的平面轮廓加工中。

#### (二)自动编程

自动编程是一种利用计算机辅助编程的方法,它通过专用的计算机数控编程软件处理零件的几何信息,实现数控加工刀位点的自动计算。对于复杂的零件,特别是具有非圆曲线、曲面的加工表面,或者零件的几何形状并不复杂,但程序编制的工作量很大,或者是需要进行复杂的工艺及工序处理的零件。由于这些零件在编制程序和加工过程中,数值计算非常繁琐,程序量很大,如果采用手工编程往往耗时多、效率低、出错率高,甚至无法完成,这种情况下就必须采用自动编程。

### 四、程序的输入、传输与程序校验

由手工编写的程序可以通过数控机床操作面板输入,自动编制的程序可以通过通信接口传输。

手工编写的程序传输到数控系统中一般还需校验,并对程序进行刀具路径模拟、试运行等,自动编制的程序一般在 CAD/CAM 或仿真软件中完成校验。

### 五、对刀

对刀就是找到工件坐标原点在机床坐标中的位置。

### 六、加工工件

通过对机床的正确操作,运行程序,完成零件的加工。

### 七、开、关机步骤

#### (一)开机

- (1)开压缩空气阀门。
- (2)开主机电源。



- (3)开 NC 电源。
- (4)松开急停按钮。
- (5)机床回零:自动或手动回零。

## (二)关机

- (1)将工作台移至安全位置。
- (2)按下急停按钮。
- (3)关 NC 电源。
- (4)关主机电源。
- (5)关压缩空气阀门。

## 八、工件装夹

在机械加工过程中,固定工件使之占有确定位置以接受加工或检测的装置称为机床夹具,简称夹具。例如,车床上使用的三爪自定心卡盘、铣床上使用的平口钳等。零件的装夹包含两个方面的内容。

### (一)定位

工件能准确地放在机床的合适位置上,使工件相对于刀具和机床占有正确的加工位置(保证加工的正常进行和加工的位置精度)。

### (二)夹紧

工件定位后,还需对工件压紧夹牢,使其在加工过程中不发生位置变化。

工件在加工过程中会受到切削力、重力、惯性力以及振动的影响,这些都会使工件脱离与定位元件的接触,使定位无效,所以需要夹紧。



## 项目三 数控铣床坐标系及程序构成

### 一、坐标系

在数控机床中,刀具的运动是在坐标系中进行的,坐标系可分为机床坐标系、工件坐标系。

#### (一)机床坐标系

机床坐标系是机床固有的坐标系,是用来确定工件坐标系,确定刀具或工件位置的参考系。数控机床标准坐标系采用右手笛卡尔直角坐标系,如图 3.1.1 所示。

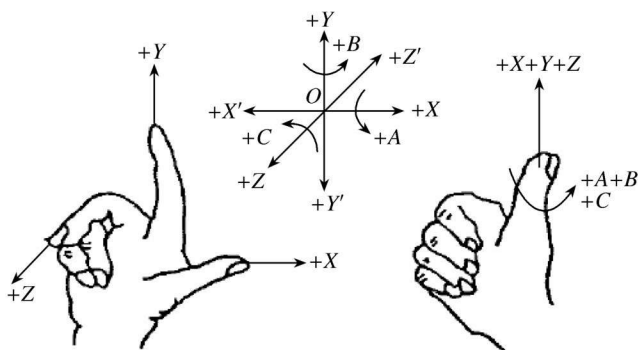


图 3.1.1 右手笛卡尔直角坐标系

#### 1. 机床坐标系的规定

在机床坐标系中,基本坐标轴  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的关系及其正方向用右手笛卡尔直角坐标系判定,拇指为  $X$  轴,食指为  $Y$  轴,中指为  $Z$  轴。围绕  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  各轴的回转运动及其正方向  $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$  分别用右手螺旋定则判定,拇指为  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的正向,四指弯屈的方向为对应的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的正向。

#### 2. 数控机床坐标轴及方向的判定

确定数控机床坐标系时总是假设工件固定,刀具相对工件运动,采用右手笛卡尔直角坐标系判断,坐标轴  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的判定顺序是:先  $Z$  轴,再  $X$  轴,最后判定  $Y$  轴。

$Z$  坐标轴的运动由传递切削力的主轴决定,与主轴平行或重合的坐标轴为  $Z$  坐标轴; $X$  坐标轴的运动是水平的,它平行于工件装夹面;根据  $X$ 、 $Z$  坐标轴,按照右手笛卡尔直角坐标系确定  $Y$  轴。

坐标轴运动正方向规定为增大工件与刀具之间距离的方向。即刀具靠近工件表面为负方向,标注为  $-X$ 、 $-Y$ 、 $-Z$ ;刀具远离工件表面为正方向,标注为  $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 。旋转坐标