

PUTONG GAODENG JIAOYU "SHIYIWU"
GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI



普通高等教育“十一五”
国家级规划教材

数控机床编程与加工技术

高等职业院校数控技术 / 模具设计与制造专业

GNH

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

Shukong Jishu / Muju Sheji Yu Zhizao Zhuanye

Gaodengzhiye Jishuyuanxiao



中国劳动社会保障出版社

0300426

PUTONG GAODENG JIAOYU "SHIYIWU"

GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI



普通高等教育“十一五”
国家级规划教材

高等职业院校数控技术 / 模具设计与制造专业

数控 机床编程与加工技术

GAODENG ZHIYE

Gaodengzhiye Jishuyuanxiao

Shukong Jishu / Muju Sheji Yu Zhizao Zhuanye

谢晓红 主编

010-61224622 : 客服电话
010-61224622 : 发行部电话
http://www.cslp.com.cn : 社网
010-61224622 : 社址



中国劳动社会保障出版社

0510080

“十一五” 国家级规划教材
普通高等教育



图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与加工技术/谢晓红主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2008
高等职业技术学院数控技术/模具设计与制造专业教材
ISBN 978-7-5045-6333-0

I. 数… II. 谢… III. ①数控机床-程序设计-高等学校:技术学校-教材②数控机床-加工-高等学校:技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 030280 号

中国劳动社会保障出版社出版发行
(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 18印张 413千字

2008年3月第1版 2008年3月第1次印刷

定价:33.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64927085

出版社网址:<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64954652

前 言

为贯彻落实《中共中央办公厅国务院办公厅关于进一步加强高技能人才工作的意见》(中办发[2006]15号),满足高等职业技术学院教学改革的需求,劳动和社会保障部教材办公室组织一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师与行业、企业一线专家,对高等职业技术学院的机械设计制造类专业(包括数控技术、模具设计与制造)的课程设置和教学大纲进行了充分的研究和探讨,提出了改革方案,并承担了部分课程“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”的编写工作。

在教材的编写过程中,我们贯彻了以下编写原则:

一是充分汲取高等职业技术学院在探索培养高等技术应用型人才方面取得的成功经验和教学成果,从职业(岗位)分析入手,以就业为导向确定相关课程的教学目标;二是以国家职业标准为依据,使内容分别涵盖数控车工、数控铣工、加工中心操作工等国家职业标准的相关要求,推动双证书制度的贯彻;三是倡导先进的教学理念,以技能训练为主线、相关知识为支撑,较好地处理了理论教学与技能训练的关系,切实体现了“管用、够用、适用”的教学指导思想;四是突出教材的先进性,较多地编入新技术、新设备、新材料、新工艺的内容,以期缩短学校教育与企业需要的距离,更好地满足企业用人的需要;五是改进教材呈现形式,以图代文、以表代文,使学生易于理解,以提高他们的学习兴趣。

在上述教材的编写过程中,得到有关省市教育部门、劳动和社会保障部门以及一些高等职业技术学院的大力支持,教材的诸位主编、参编、主审等做了大量的工作,在此我们表示衷心的感谢!同时,恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议,以便修订时加以完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2007年7月

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，由劳动和社会保障部教材办公室组织编写。

本书根据高等职业技术学院职业教育教学改革需要，结合中级数控车工、中级数控铣工、中级加工中心操作工的职业岗位要求编写。主要包括：数控技术应用基础、数控车床编程与加工、数控铣床编程与加工、加工中心编程与加工。

本书为高等职业技术学院数控技术/模具设计与制造专业教材，也可作为成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的数控技术/模具设计与制造专业教材，或作为自学用书。

本书由谢晓红担任主编，姚德强、王志华担任副主编，张伟南、彭志惠、黄存足、丁彩平参加编写，徐进扬担任主审。

本书由谢晓红担任主编，姚德强、王志华担任副主编，张伟南、彭志惠、黄存足、丁彩平参加编写，徐进扬担任主审。

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

2007年7月

881	.....	工件编程已学过的零件加工五面平	五卷五
791	.....	工件编程已学过的零件加工半具刀用排	六卷五
808	.....	工件编程已学过的零件加工对刀	七卷五
818	.....	工件编程已学过的零件加工	八卷五
822	.....	工件编程已学过的零件加工	九卷五

目 录

《普通高等教育“十一五”国家级规划教材》 CONTENTS

828	.....	工件编程已学过的零件加工	二卷五
821	.....	工件编程已学过的零件加工四、凸	三卷五
808	.....	工件编程已学过的零件加工圆端带	四卷五
808	.....	工件编程已学过的零件加工类补	五卷五
172	.....	工件编程已学过的零件加工类前圆	六卷五
828	.....	工件编程已学过的零件加工类前圆	七卷五

模块一 数控技术应用基础 1

课题一	数控机床的种类及用途.....	1
课题二	数控机床加工工艺处理.....	7
课题三	数控编程基础.....	16

模块二 数控车床编程与加工 26

任务一	了解数控车床的机械结构.....	26
任务二	数控车床的手动控制.....	35
任务三	数控车床的对刀练习.....	41
任务四	给定程序加工零件.....	49
任务五	轴类零件和特形面零件的精加工.....	55
任务六	锥套配合件的编程与加工.....	70
任务七	螺纹轴套类零件的编程与加工.....	82
任务八	模具芯轴的编程与加工.....	95
任务九	较复杂弧面零件的编程与加工.....	103
任务十	酒杯的编程与加工.....	113
任务十一	利用刀具半径补偿功能编程与加工.....	121
任务十二	组合件的编程与加工.....	130
任务十三	数控车床实操综合训练.....	142

模块三 数控铣床编程与加工 149

任务一	了解数控铣床的机械结构.....	149
任务二	数控铣床的手动控制.....	157
任务三	数控铣床对刀和建立工件坐标系.....	166
任务四	给定程序加工零件.....	179

目 录

任务五	平面正八边形零件的编程与铣削加工	183
任务六	利用刀具半径补偿功能编程与铣削加工	197
任务七	上模座板孔的编程与铣削加工	203
任务八	十字形槽板的编程与铣削加工	214
任务九	组合件的编程与铣削加工	224

模块四 加工中心编程与加工 232

任务一	了解加工中心的机械结构	232
任务二	凸模固定板的编程与加工	242
任务三	凸、凹模零件的编程与加工	251
任务四	带椭圆的零件的编程与加工	262
任务五	球体类零件的编程与加工	268
任务六	倒圆角类零件的编程与加工	271
任务七	数控铣床/加工中心实操综合训练	275

1	.....	.....
1	.....	.....
7	.....	.....
16	.....	.....
23	.....	.....
26	.....	.....
29	.....	.....
41	.....	.....
43	.....	.....
52	.....	.....
70	.....	.....
83	.....	.....
92	.....	.....
101	.....	.....
113	.....	.....
131	.....	.....
130	.....	.....
145	.....	.....
141	.....	.....
141	.....	.....
171	.....	.....
181	.....	.....
171	.....	.....



课题一 数控机床的种类及用途

知识点

- ☆ 数控机床的定义；
- ☆ 数控机床的组成及各部分功能；
- ☆ 数控机床的分类和特点。

能力点

- ☆ 熟悉数控机床的工作原理和加工过程。

一、数控机床概述

1. 数控机床的定义

数控技术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方法。

采用数控技术的控制系统称为数控系统；装备了数控系统的受控设备称为数控设备；装备了数控系统的机床叫数控机床。数控设备包括数控火焰切割机、电火花加工机、数控冲压机、数控测量机等。

2. 数控机床的工作原理

数控机床是用数字化信息来实现自动控制的，即将与加工零件有关的信息——工件与刀具相对运动轨迹参数（进给执行部件的进给尺寸）、切削加工工艺参数（主运动和进给运动的速度、切削深度等），以及各种辅助操作（主运动变速、刀具更换、切削润滑油关停、工件夹紧松开）等用规定的文字、数字和符号组成的代码，按一定的格式编写成加工程序，将加工程序通过控制介质输入到数控装置中，由数控装置经过分析处理后，发出各种与加工程序相对应的信号和指令，控制机床进行自动加工。

3. 数控机床的组成

如图 1—1 所示，数控机床由数控程序及控制介质、输入/输出装置、数控装置（CNC）、伺服系统、机床本体和辅助装置组成。

(1) 数控程序及控制介质 数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。编好的数控

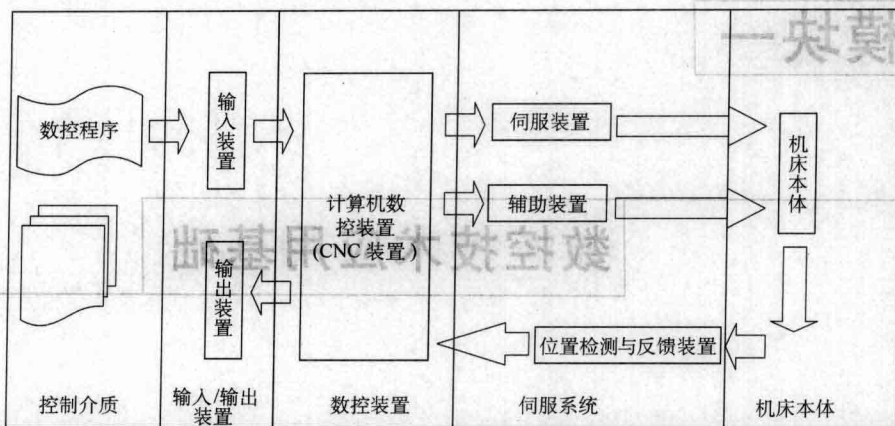


图 1-1 数控机床的组成框图

程序，存放在便于输入到数控装置的一种控制介质（又称信息载体，是人与数控机床之间联系的中间媒介，反映了数控加工中的全部信息）。控制介质可以是穿孔纸带、磁卡、磁盘等，采用哪一种存储载体，取决于数控装置的设计类型。

(2) 输入/输出装置 输入/输出装置是机床数控系统和操作人员进行信息交流的交互设备。输入装置的作用是将控制介质内的有关加工信息读入 CNC 单元。控制介质不同，则需要不同的输入装置。例如：对于穿孔纸带，配有光电阅读机；对于盒式磁带，配有录放机；对于软磁带，配有软磁盘驱动器和驱动卡。有时数控机床可以同时具备两种输入装置。

各种类型的数控机床中最直观的输出装置是显示器，有 CRT 显示器或彩色液晶显示器两种。输出装置的作用是数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息。显示的信息可以是正在编辑的程序、坐标值、报警信号等。

(3) 数控装置 数控装置是机床实现自动加工的核心，是整个数控机床的灵魂。主要由监视器、主控制系统、可编程控制器、各类输入/输出接口等组成。主控制系统主要由 CPU、存储器、控制器等组成。数控系统的主要控制对象是位置、角度、速度等机械量和温度、压力、流量等物理量。

(4) 伺服系统 伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节。主要由伺服电动机、驱动控制系统和位置检测与反馈装置等组成。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。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为位移指令，再经过驱动系统的功率放大后，驱动电动机运转，通过机械传动装置带动工作台或刀架运动。

(5) 机床本体 数控机床的本体指其机械结构实体。它与传统的普通机床一样由主传动系统、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等部分组成，但数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面都发生了很大的变化，归纳起来有以下几个方面的特点：

① 采用高性能主传动系统及主轴部件。具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。

②进给传动采用高效传动部件。具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点。一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。

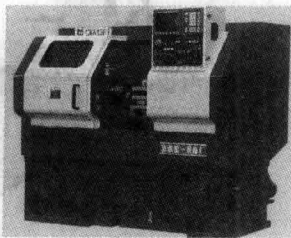
③机床本身具有很高的动、静刚度，机械结构具有较高阻尼精度及耐磨性，热变形小。

(6) 辅助装置 辅助装置主要包括换刀机构、工件自动变换机构、工件夹紧机构、润滑装置、冷却装置、照明装置、排屑装置、液压气动系统、过载保护与限位保护装置等。

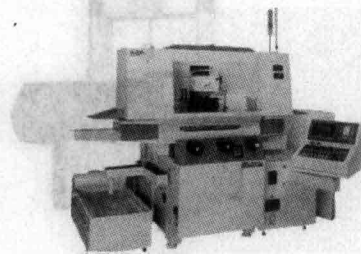
二、数控机床的种类及用途

常用的数控加工设备如图 1-2 所示。数控机床的种类很多，分类方式也有多种，本教材介绍 3 种分类方式。

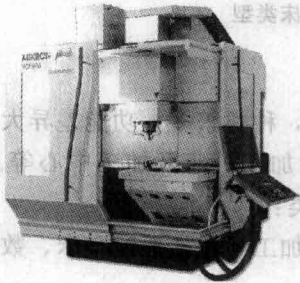
金属
切削
类



a) 经济型数控车床



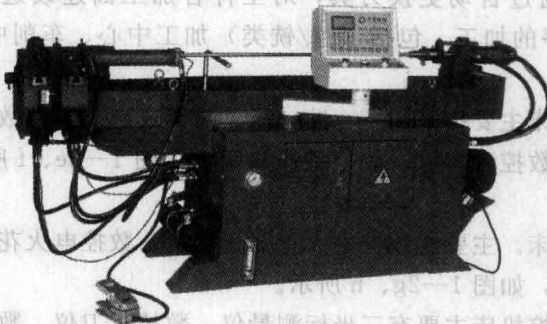
b) 数控平面磨床



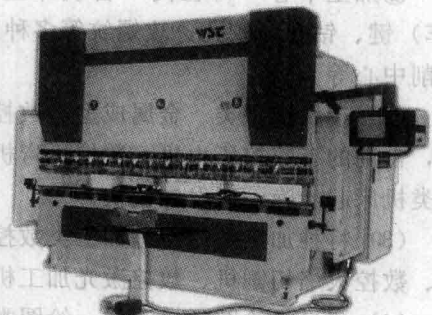
c) 立式加工中心



d) 五轴车铣中心



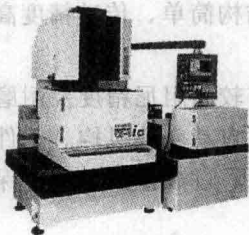
e) 数控弯管机



f) 数控折弯机

金属
成型
类

特种加工类

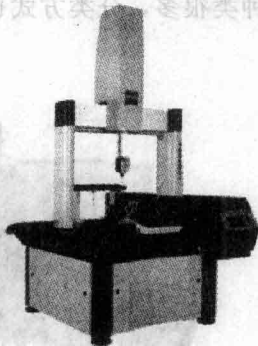


g) 电火花线切割机

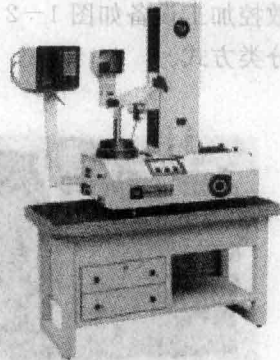


h) 激光切割机

测量、绘图类



i) 三坐标测量仪



j) 刀具预调测量仪(对刀仪)

图 1—2 常见的数控机床类型

1. 按机床用途分类

(1) 金属切削类 金属切削类数控机床发展最早，种类繁多，功能差异大。主要包括数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床及加工中心等。如图 1—2a、b、c、d 所示。金属切削类数控机床又可分为以下两类：

①普通型数控机床 可完成工件的车、铣、磨等加工，包括数控车床、数控铣床、数控磨床等。

②加工中心 可在同一台机床上，通过自动更换刀具，对工件各加工面连续进行铣（车）键、钻孔、铰孔、攻螺纹等多种工序的加工。包括（镗/铣类）加工中心、车削中心、钻削中心等。

(2) 金属成型类 金属成型类数控机床主要指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床，常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等，如图 1—2e、f 所示。这类机床起步晚，但发展较快。

(3) 特种加工类 特种加工类数控机床。主要有数控电火花线切割机、数控电火花成型机、数控火焰切割机、数控激光加工机等，如图 1—2g、h 所示。

(4) 测量、绘图类 测量、绘图类数控机床主要有三坐标测量仪、数控对刀仪、数控绘图仪等，如图 1—2i、j 所示。

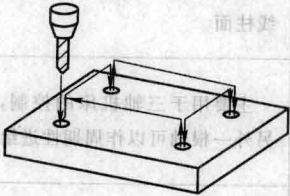
2. 按机床运动的控制轨迹分类

(1) 点位控制数控机床 其工作原理、工作示意图等见表 1—1。

表 1—1

点位控制的数控机床

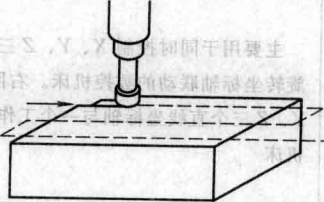
1—1 表

点位控制数控机床		工作示意图	类型
工作原理	控制机床移动部件从一点移动到另一点的准确定位, 不控制移动轨迹, 移动过程中不进行任何加工		钻床
工作方式	通常先快速移动接近终点坐标, 然后低速准确移动到定位点, 保证定位精度		铣床
典型机床	数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床、数控点焊机、数控折弯机等		加工中心

(2) 直线控制数控机床 其工作原理、工作示意图等见表 1—2。

表 1—2

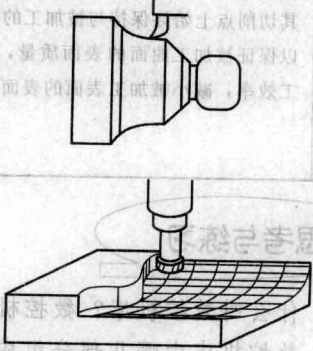
直线控制的数控机床

直线控制数控机床		工作示意图	类型
工作原理	控制点与点之间的准确定位及两相关点之间的移动速度和移动轨迹		铣床
工作方式	只与机床坐标轴平行移动, 也就是说同时控制的坐标轴只有一个(即数控系统内不必有插补运算功能), 在移动的过程中刀具能以指定的进给速度进行切削, 一般只能加工矩形、台阶形零件		刨床
典型机床	比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床		磨床

(3) 轮廓控制数控机床 其工件原理、工作示意图等见表 1—3。

表 1—3

轮廓控制的数控机床

轮廓控制数控机床		工作示意图	类型
工作原理	也称连续控制数控机床, 能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行控制, 要求数控装置具有插补运算功能		铣床
工作方式	通过数控系统内插补运算器的数学处理, 把直线或圆弧的形状描述出来, 也就是一边计算, 一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲, 从而控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合, 在运动过程中刀具对工件表面进行连续切削, 可以进行各种直线、圆弧、曲线的加工		加工中心
典型机床	数控车床、数控铣床、数控线切割机、加工中心等		加工中心



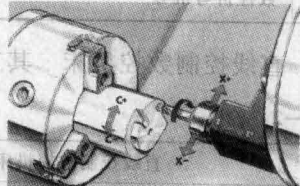

3. 按照机床控制的联动坐标轴数不同分类

按照机床控制的联动坐标轴数不同, 数控机床分类见表 1—4。

表 1—4

按机床控制联动坐标轴数分类的数控机床

1—1 表

分类	控制方式及适用范围	工作图示
二轴联动	主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面	
二轴半联动	主要用于三轴机床的控制, 其中两根轴可以联动, 另外一根轴可以作周期性进给	
三轴联动	一般分为两类。一类是 X、Y、Z 三个直线坐标轴联动, 比较多的用于数控铣床、加工中心等。另一类是 X、Y、Z 三个直角坐标轴中的二个轴再加上 A、B、C 三个旋转坐标轴中的一个轴进行三轴联动, 如车削加工中心, 它除了纵向 (Z 轴)、横向 (X 轴) 两个直线坐标轴联动外, 还需同时控制围绕 Z 轴旋转的主轴 (C 轴) 联动	
四轴联动	主要用于同时控制 X、Y、Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动的数控机床。右图所示为同时控制 X、Y、Z 三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床	<p data-bbox="806 852 840 989">A 轴坐标加工</p> 
五轴联动	主要用于除同时控制 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 坐标轴中的两个坐标轴的五轴联动的数控机床。这时刀具可以被定在空间的任意方向, 如右图所示。可控制刀具同时绕 X 轴和 Y 轴两个方向摆动, 使得刀具在其切削点上始终保持与被加工的轮廓曲面成法线方向, 以保证被加工曲面的表面质量, 提高其加工精度和加工效率, 减小被加工表面的表面粗糙度	 <p data-bbox="873 1411 1108 1440">并联 (虚拟轴) 加工中心</p>

思考与练习

1. 什么叫数控机床? 数控机床加工与普通机床加工的区别在哪里?
2. 数控机床由哪几部分组成? 各部分的基本功能是什么?
3. 试各举例说明三轴联动、四轴联动、五轴联动的数控机床的工作方式。

课题二 数控机床加工工艺处理

知识点

- ☆ 数控机床加工过程及特点；
- ☆ 数控机床加工工艺处理的内容和步骤；
- ☆ 数控加工工艺分析方法。

能力点

- ☆ 能完成零件的数控加工工艺分析与工艺卡片的编写。

一、数控机床加工过程

1. 数控机床加工的过程

利用数控机床完成零件数控加工的过程如图 1—3 所示。主要内容包括：

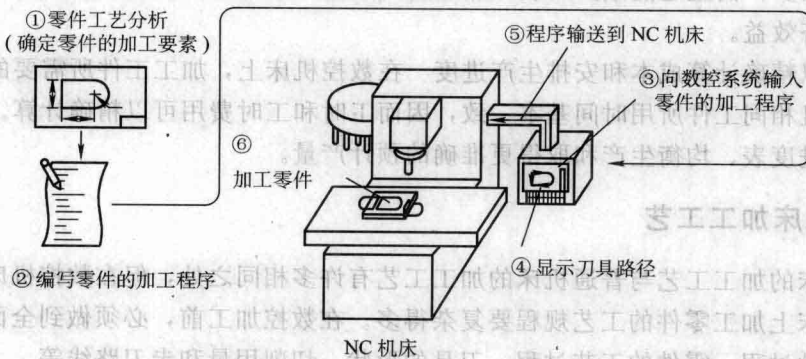


图 1—3 数控机床加工过程

- (1) 根据零件加工图样进行工艺分析，确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- (2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单，或用自动编程软件，直接生成零件的加工程序文件。
- (3) 输入或传输零件的加工程序。零件加工程序的编制可以是脱机编程，也可以是联机编程。前者利用计算机进行手工编程或自动编程，生成的数控程序记录在控制介质上，通过输入装置输入数控系统，或通过通信方式直接传送到数控系统。后者是利用数控系统本身的编辑器由操作员直接通过操作面板编写、输入或修改数控加工程序。
- (4) 对输入或传输到数控单元的加工程序进行试运行、刀具路径模拟等。
- (5) 正确操作机床，运行程序，完成零件的加工。

2. 数控机床的加工特点

- (1) 可以加工具有复杂型面的工件 数控机床的刀具运动轨迹是由加工程序决定的，因此只要能编制出程序，无论工件的型面多么复杂都能加工。例如采用五轴联动的数控机床，就能加工螺旋桨的复杂空间曲面。
- (2) 加工精度高，尺寸一致性好 数控机床本身的精度都比较高，一般数控机床的定位

精度为 $\pm 0.001\text{ mm}$ ，重复定位精度为 $\pm 0.005\text{ mm}$ 。在加工过程中，工件的加工精度全部由机床保证，消除了操作者的人为误差。因而加工出来的工件精度高，尺寸一致性好，质量稳定。

(3) 生产效率高 数控机床的主轴转速、进给速度和定位速度高。通过合理选择切削参数，充分发挥刀具的切削性能，减少切削时间，不仅能保证高精度，而且加工过程稳定，不需要在加工过程中进行中间测量，就能连续完成整个加工过程，减少了辅助动作时间和停机时间。因此，数控机床的生产效率高。

(4) 可以减轻工人劳动强度，实现一人多机操作 一般数控机床加工出第一个合格工件后，工人只需要装夹工件和启动机床，就可以加工出同样合格的工件，减轻了工人的劳动强度。数控机床可靠性高，保护功能齐全，数控系统都有自诊断和自停机功能，因此当一个工件的加工时间超出工件的装夹时间时，就能实现一人多机操作。

(5) 经济效益显著 虽然一次投资及日常维护保养费用较普通机床高，但是如能充分发挥数控机床的优越性能，将会带来很高的经济效益。这些效益不仅表现为生产效率高、加工质量好、废品少，而且还能减少工装，缩短生产周期，缩短新产品试制周期，从而为企业带来明显的经济效益。

(6) 可以精确计算成本和安排生产进度 在数控机床上，加工工件所需要的时间是可以预计的，并且相同工件所用时间基本一致，因而工时和工时费用可以精确计算。这有利于精确编制生产进度表、均衡生产和取得更准确的预计产量。

二、数控机床加工工艺

数控机床的加工工艺与普通机床的加工工艺有许多相同之处，但在数控机床上加工零件比在普通机床上加工零件的工艺规程要复杂得多。在数控加工前，必须做到全面、周到地考虑机床的运动过程、零件的工艺过程、刀具的形状、切削用量和走刀路线等。

1. 数控加工工艺路线的设计

数控加工工艺路线设计与普通机床加工工艺路线设计的主要区别在于，数控加工工艺路线设计往往不是指从毛坯到成品的整个工艺过程，而是几道数控加工工艺过程的具体描述。因此在工艺路线设计中一定要注意，由于数控加工工序一般都穿插于零件加工的整个工艺过程中，因而要与其他加工工艺衔接好。常见工艺流程如图 1—4 所示。

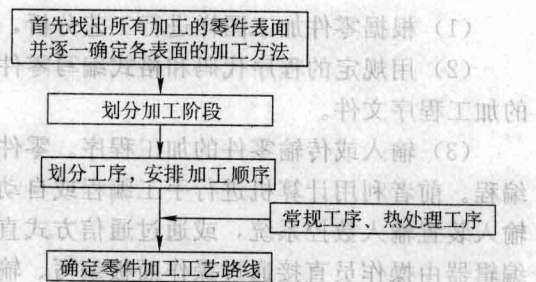


图 1—4 数控机床加工工艺流程

(1) 数控加工方法的选择

① 数控加工内容的选择

• 适合于数控机床加工的内容：
 ——普通机床上无法加工的内容应优先选择。
 ——普通机床难加工、质量也难以保证的内容应重点选择。
 ——普通机床加工效率低、手工操作劳动强度大的内容。

● 不适合于数控加工的内容:

——占机调整时间长的加工内容。例如，以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准，且需用专用工装协调的加工内容。

——加工部位分散，需要多次安装、设置原点的加工内容。不能在一次装夹中加工完成的其他零散部位，采用数控加工很麻烦，效果不明显，可安排在普通机床上补加工。

——按某些特定的制造依据（如样板、样件、模胎等）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，增加了程序编制的难度。

必须采用专用工装协调的孔及其他加工内容。主要原因是采集编程用的数据有困难，协调效果也不一定理想。

此外，在选择和决定加工内容时，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，达到多、快、好、省的目的，避免把数控机床作为普通机床使用。

② 数控加工方法的选择 总的原则是保证加工表面的加工精度和表面粗糙度的要求。

● 数控车床适宜加工形状比较复杂的轴类零件和由复杂曲线回转形成的模具内型腔。

● 立式数控铣床适宜加工平面凸轮、样板、形状复杂的平面或立体零件，以及模具的内、外型腔等。

● 卧式数控铣床则适宜加工箱体、泵体、壳体类零件。

● 多坐标轴联动的加工中心适宜加工各种复杂的曲线、曲面、叶轮、模具等。

(2) 工序的划分 根据数控加工的特点，数控加工工序的划分一般可按下列方法进行：

① 以一次安装、加工作为一道工序。这种方法适宜加工内容较少的零件，完成加工后就能达到待检状态。

② 以同一把刀具加工的内容划分工序。有些零件虽然能在一次安装中加工出很多待加工表面，但如果程序太长，会受到某些限制，如控制系统的限制（主要是内存容量），机床连续工作时间的限制（如一道工序在一个工作班内不能结束）等。此外，程序太长会增加出错的几率与检索的困难。因此程序不能太长，一道工序的内容不能太多。

③ 以加工部位划分工序。对于加工内容很多的工件，可按其结构特点将加工部位分成几个部分，如内腔、外形、曲面或平面，将每一部分的加工作为一道工序。

④ 以粗、精加工划分工序。对于加工后易发生变形的工件，粗加工后需要进行校形，一般来说，凡要进行粗、精加工的零件，都要将工序分开。

(3) 工步顺序的安排 工步顺序的安排应根据零件的结构和毛坯状况，以及定位、安装与夹紧的需要来考虑，一般应按以下原则进行：

① 上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧，中间穿插有普通机床加工工序的也应综合考虑。

② 先进行内腔加工，后进行外形加工。

③ 以相同定位、夹紧方式加工或用同一把刀具加工的工序，最好连续加工，以减少重复定位次数、换刀次数和挪动压板次数。

2. 数控加工工序设计

数控加工工序设计的主要任务是：

- 确定本工序的加工内容（走刀路线、工步顺序）。

● 选择夹具及定位夹紧方式。

● 选择数控刀具。

● 选择切削用量。

● 确定对刀点和换刀点。

数控加工工艺十分严密，工序设计中必须注意加工过程中的每一个细节。对图形进行数学处理、计算和编程时，应力求准确无误。

(1) 确定走刀路线 走刀路线是指在数控加工中，刀具的刀位点相对于工件运动的轨迹。走刀路线不仅反映加工内容，也反映加工顺序，是编程的依据之一。确定走刀路线的原则是：应保证被加工工件的精度和表面粗糙度；应使加工路线最短，以减少空行程时间，提高加工效率；在满足工件精度、表面粗糙度、生产率等要求的情况下，尽量简化数学处理时的数值计算工作量，以简化编程工作。

确定走刀路线的方法主要有以下几方面

① 最终轮廓加工应一次走刀完成。为保证工件轮廓表面加工后的表面粗糙度要求，最终轮廓加工应安排在最后一次走刀中连续加工完成。

② 为保证工件表面质量，应减少接刀、停刀刀痕。应尽量减少在轮廓切削中停刀；避免沿法向切入工件；尽量采用顺铣方式，提高零件表面质量和刀具耐用度。

③ 选择切入切出方向。考虑刀具的进刀、退刀（切入、切出）路线时，刀具的切出或切入点应在沿零件轮廓的切线止，以保证工件轮廓光滑；应避免在工件轮廓面上垂直上、下刀而划伤工件表面；尽量减少在轮廓加工切削过程中的暂停（切削力突然变化会造成弹性变形），以免留下刀痕。铣削内、外轮廓时，刀具的切入和切出点选择如图 1—5 所示。

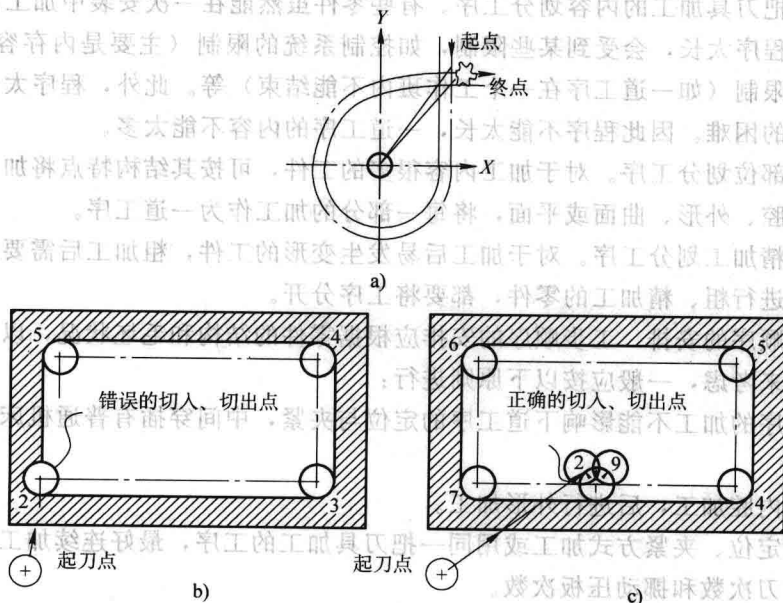


图 1—5 铣削内、外轮廓时刀具的切入和切出点

a) 刀具切入和切出时的外延 b) 错误的切入、切出点 c) 正确的切入、切出点