

21世纪职业高中数控专业系列教材

# 数控加工 自动编程技术

SHUKONG JIAGONG ZIDONG BIANCHENG JISHU

徐莹波 主编

59

30

浙江大學出版社

21 世纪职业高中数控专业系列教材

# 数控加工自动编程技术

主 编 徐莹波

浙江大學出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工自动编程技术 / 徐莹波主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2003. 11

(21 世纪职业高中数控专业系列教材)

ISBN 7-308-03533-6

I. 数... II. 徐... III. 数控机床—程序设计—职业高中—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 103923 号

责任编辑 樊晓燕

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

(E-mail: [zupress@mail.hz.zj.cn](mailto:zupress@mail.hz.zj.cn))

排版 浙江大学出版社电脑排版中心

印刷 浙江大学印刷厂

开本 787mm×960mm 1/16

印张 11.5

字数 225 千

版印次 2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月第 1 次印刷

印数 0001—4000

书号 ISBN 7-308-03533-6/TG·022

定价 15.00 元

## 21 世纪职业高中数控专业系列教材

# 编 委 会

主 任 程叔重

副主任 王筱薇 华康清 崔 陵 潘美祥

### 编委(以姓氏笔划为序)

王 平	安吉工业职业高中	陆志松	富阳职业高中
王筱薇	宁波职教中心学校	陆海潮	宁波北仑职业高中
方强华	温州机械职业技术学校	陆建平	临海职业技术学校
毛建军	江山职业中专	张裕良	舟山职业技术学校
占云荣	开化职教中心	郭丽萍	诸暨轻工技校
朱丽芬	余姚第三职业技术学校	徐松柏	临安昌化职业高中
华康清	永康职业技术学校	崔 陵	浙江省教育厅职成教 教研室
李云贵	台州椒江职业中专	程叔重	杭州临平职业高中
任宜峥	杭州市职教研究中心	蒋安明	萧山第四中等职业学校
房春泉	德清职业中专	傅云峰	义乌城镇职业技术学校
杨宝林	仙居职业中专	潘美祥	新昌职业技术学校
杨泰正	湖州职教教研室	戴毅群	金华第一中等职业学校
杨复兴	萧山第一中等职业学校		

# 序

随着科学技术的飞速发展,机械制造技术正在发生着深刻的变革,传统的普通加工设备已难以适应市场对产品高品质、高效率、多样化的要求,而以数控技术为核心的现代化制造技术正在逐步取代传统的机械制造技术。

据《人民日报》报道:“制造设备的大规模数控化使企业急需一大批数控编程、数控设备操作及维修人员。然而数控人才奇缺现象十分普遍,在浙江、深圳、上海、山东等沿海发达地区尤为明显。”浙江省近年来把发展先进制造业提高到发展经济的战略高度,使机械行业发生了革命性的变化。但目前浙江省职业高中使用的教材已不能适应这种变革。2002年,在浙江省职业高中机械教研大组年会上,与会的领导、专家、教师形成了共识,由省内数十所职业高中、中专、技校共同开发一套适合于中职教学的数控加工技术专业的系列教材。本套教材共四本,分别为《数控加工工艺》、《数控机床及其程序编制》、《数控加工自动编程技术》和《数控机床操作入门》,适用于作为数控加工技术专业的核心专业课程教材,也可作为机械类专业的选修课教材。

编写这套教材的宗旨是:

1. 适合职业高中学生的学习及心理特点,力求做到以人为本,尽量做到深入浅出,生动活泼,增强亲和力。

2. 适当降低理论难度,突出技术技能和实际的可操作性。

3. 尽量贴近生产实际和生活实际,提高学生的学习兴趣。

4. 适度注意内容的延续性及综合性。

5. 希望通过这套教材的教学、实验及实训后,学生能够适应现代企业生产实际的需要,在有经验的技术工人的指导下进行实际生产操作,通过较短时间的生产实习后即能独立操作,满足企业对数控一线人才的需要。

在这套教材的编写过程中,得到了浙江省教育厅黄新茂副厅长、浙江省教育厅职成教处叶向群处长、王志泉副处长的关心,得到了浙江省教育厅职成教教研室和各有关职业高中、中专、技校领导的大力支持,在此一并表示感谢。这里要特别感谢浙江大学现代制造工程研究所傅建中博士、乔晓东硕士在学术上的支持和帮助。

我们希望在教材出版和使用 2~3 年后,能吸收更新的理论、方法及成果,对教材进行修订再版,衷心希望各位同仁提出宝贵意见。

**《21 世纪职业高中数控专业系列教材》**

**编委会**

2003 年 8 月

# 前 言

《数控加工自动编程技术》是新编职业高中机械类数控专业系列教材之一,专门介绍现在应用越来越广泛的一种数控自动编程技术——交互式数控自动编程技术。本课程宜安排在学生已学习了“数控加工工艺”和“数控机床及其程序编制”课程后学习。

数控加工自动编程是一门实践性很强的课程,因此,本书在编写过程中,刻意突出以下几个特点:

◆ 图文并茂,语言生动。本书使用了大量的图标,贴适于计算机上的操作界面,并尽量采用生动活泼、更贴适于课堂教学的语言来引导学习,使学生更易阅读,更易接受。

◆ 操作性强。本书提供了大量的操作实例,步骤清晰明了,便于学生上机实践。并在每一章后都配有练习题,供学生在学完本章后复习巩固和自我检测。

◆ 实用性强。本书的立足点是使学生能尽快掌握计算机辅助设计和计算机辅助制造,并使用 Mastercam 在该领域应用。

参加本书编写的有:杭州市临平职业高级中学徐宇明、沈琪,黄岩职技校金洪来,舟山普陀沈家门中学张富忠。

浙江大学现代制造工程研究所傅建忠博士、乔晓东硕士为本书的编写提供了大量学术上的支持和帮助,在此致以衷心的感谢。

本书分为四章,各章的主要内容及推荐教学时数安排如下:

章节名称	课 程 内 容	学 时 数		
		合计	讲授	实验
1	数控加工自动编程技术概述	6	6	
2	工件几何造型计算机化	22	14	8
3	刀具路径及加工程序的生成	22	14	8
4	数控自动编程实例	14	6	8
	机 动	8		
	总 计	72	40	24
	实验专用周		2 周	

由于时间仓促,作者水平有限,缺点和错误在所难免,恳请批评指正。

编 者

2003年8月

# 目 录

第一章 数控加工自动编程技术概述	( 1 )
第一节 数控加工编程简介	( 3 )
一、数控加工编程的概念	( 3 )
二、数控加工编程的步骤	( 3 )
三、数控编程技术的发展概况及程序编制的方法	( 3 )
第二节 CAD/CAM 基本知识	( 4 )
一、基本概念	( 4 )
二、历史与未来	( 5 )
三、CAD/CAM 系统的基本组成	( 6 )
第三节 CAD 软件功能简介	( 6 )
一、几何建模	( 6 )
二、特征建模	( 6 )
三、参数化设计	( 7 )
四、计算分析	( 7 )
五、工程绘图	( 7 )
第四节 数控加工自动编程	( 7 )
一、CAM 自动编程的过程	( 7 )
二、数控加工 CAM 软件功能要求	( 7 )
三、常用的数控加工 CAM 软件	( 8 )
本章小结	( 9 )
练一练	( 10 )
第二章 工件几何造型计算机化	( 11 )
第一节 CAD/CAM 软件操作基本知识	( 13 )
一、坐标系	( 13 )
二、图形显示	( 13 )



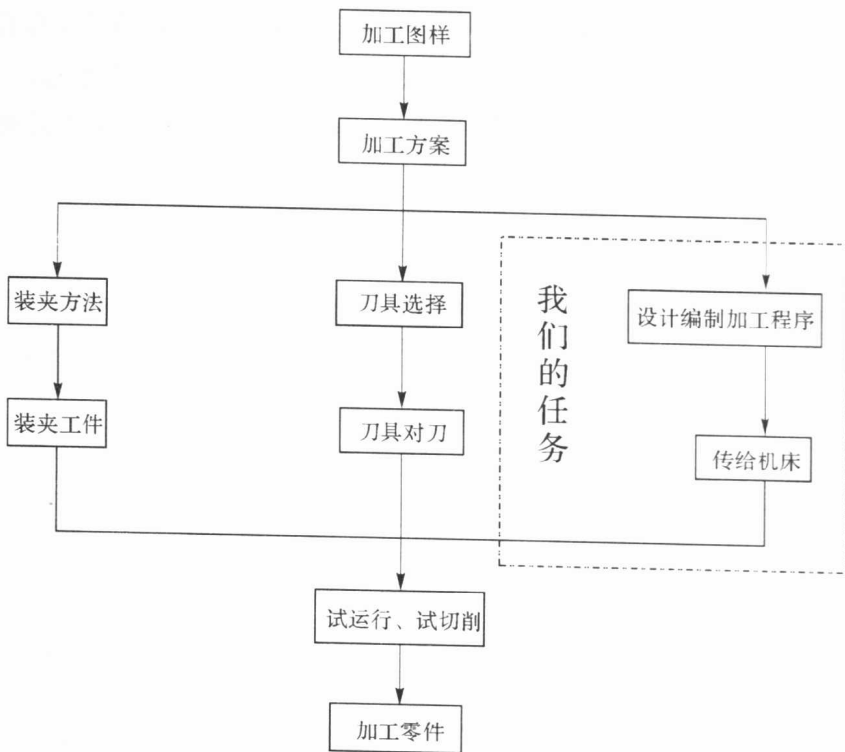
三、命令的输入与执行 .....	( 13 )
四、数据的输入 .....	( 13 )
五、目标选择 .....	( 14 )
六、图层 .....	( 14 )
第二节 Mastercam 7 简介 .....	( 15 )
一、Mastercam 7 的工作窗口 .....	( 15 )
二、获取帮助信息 .....	( 19 )
三、系统设置 .....	( 20 )
四、文件操作 .....	( 21 )
五、通用选择方法 .....	( 23 )
第三节 建造二维几何图形 .....	( 25 )
一、点的绘制 .....	( 25 )
二、线的绘制 .....	( 27 )
三、圆弧的绘制 .....	( 29 )
四、圆的绘制 .....	( 33 )
五、矩形的绘制 .....	( 35 )
六、倒圆角的绘制 .....	( 36 )
七、椭圆的绘制 .....	( 38 )
八、多边形的绘制 .....	( 39 )
九、添加文字 .....	( 40 )
第四节 二维几何图形编辑 .....	( 43 )
一、删除 .....	( 43 )
二、二维图形的修整 .....	( 44 )
三、二维图形的转换 .....	( 49 )
第五节 建造三维曲面 .....	( 53 )
一、曲面简介 .....	( 53 )
二、建立三维线形框架 .....	( 56 )
三、利用线形框架建造曲面 .....	( 60 )
第六节 编辑三维曲面 .....	( 63 )
一、生成曲面倒圆角 .....	( 63 )
二、修整曲面 .....	( 67 )
本章小结 .....	( 69 )
练一练 .....	( 70 )

<b>第三章 刀具路径及加工程序的生成</b> ·····	( 73 )
第一节 数控加工的基本概念·····	( 75 )
第二节 刀具参数的设定·····	( 80 )
一、新建刀具·····	( 81 )
二、从刀具资料库中获取·····	( 83 )
三、修改刀具·····	( 84 )
第三节 工作设定及操作管理·····	( 86 )
一、工件设定·····	( 86 )
二、操作管理·····	( 87 )
第四节 建立二维刀具路径·····	( 90 )
一、外形铣削模组·····	( 90 )
二、挖槽模组·····	( 94 )
三、钻孔模组·····	( 98 )
第五节 建立三维刀具路径·····	( 99 )
一、三维刀具路径简介·····	( 99 )
二、曲面粗加工·····	( 100 )
三、曲面精加工·····	( 106 )
第六节 数控加工程序的自动生成·····	( 109 )
本章小结·····	( 113 )
练一练·····	( 114 )
<b>第四章 数控自动编程实例</b> ·····	( 117 )
第一节 轮型零件·····	( 119 )
第二节 电吹风机·····	( 128 )
第三节 端盖零件·····	( 134 )
第四节 古代某种帽子·····	( 149 )
本章小结·····	( 167 )
练一练·····	( 167 )
<b>参考文献</b> ·····	( 170 )

# 第一章

## 数控加工自动编程技术概述

 数控加工流程：



Hi! 你好! 欢迎进入数控加工自动编程的领域。来,我们首先认识一下数控加工自动编程技术。

本章主要内容有:

- 数控加工编程;
- CAD/CAM;
- CAD 软件功能;
- 数控加工自动编程(CAM)。

看过数控加工流程了吗? 看过后,相信不难看出,实现数控加工的关键是编程,当然,还有编程前的准备工作及编程后的善后工作。因此,本章首先简单地介绍数控编程的步骤、方法,然后了解一些CAD/CAM的基本知识,再看一下CAD软件功能,最后是数控加工自动编程技术简介,同时我们要认识几种常用的CAD/CAM软件。

准备好了吗? 出发!

## 第一节 数控加工编程简介

### 一、数控加工编程的概念

数控加工编程就是把零件的图形尺寸、工艺过程、工艺参数、机床的运动以及刀具位移等内容,按照数控机床的编程格式并用数控机床能识别的语言记录在程序单上的过程。程序编制的好坏直接影响数控机床的正确使用和数控加工特点的发挥。

### 二、数控加工编程的步骤

数控加工编程的基本步骤如图 1-1 所示。

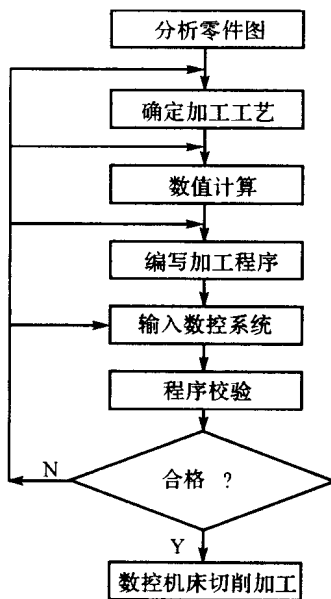


图 1-1 数控加工编程的基本步骤

### 三、数控编程技术的发展概况及程序编制的方法

数控编程一般可分为手工编程和自动编程。

手工编程是指编制数控加工程序的各个步骤均由人工来完成。几何形状不太复杂的零件,计算比较简单,加工程序不多,适合于手工编程。

但对于形状复杂、具有非圆曲线、列表曲线轮廓的零件,特别是具有列表曲面、组合

曲面的零件,或者那些虽然几何元素并不复杂但程序量很大的零件来说,由于其计算非常烦琐,程序量很大,易出错,难校对,故宜采用自动编程。

根据编程信息的输入方式以及计算机对信息的处理方式的不同,自动编程又分为以自动编程语言(APT语言)为基础的自动编程方法和以CAD为基础的自动编程方法,即语言式自动编程和交互式自动编程。

为了解决数控加工中的程序编制问题,20世纪50年代美国麻省理工学院(MIT)设计了一种专门用于机械零件数控加工程序编制的语言APT(Automatically Programmed Tool)。其后APT又有了APTⅠ、APTⅢ(立体加工)、APT-AC(Advanced Contouring)(增加了切削数据库管理系统)和APT-/SS(Sculptured Surface)(增加了雕塑曲面加工编程功能)等版本。用APT语言编程时,编程人员根据工件图样及加工工艺用APT语言编写APT程序,并把这种加工程序输入计算机,经计算机的APT语言编译系统进行编译运算,产生刀位文件,再经后置处理,生成数控系统能接受的零件加工程序。在这个过程中,编程人员只需用APT语言描述要切削的工件轮廓上的各几何元素及其相关关系和有关的工艺参数,由计算机自动计算走刀轨迹数据,并生成NC程序。因此,使用APT语言编制数控程序,提高了编程效率,同时还具有程序简练、走刀控制灵活等优点。但APT仍有许多不便之处:由于是用语言来定义零件几何形状,难以描述复杂的几何形状,缺乏几何直观性;缺少对零件形状、刀具运动轨迹的直观图形显示和刀具轨迹的验证手段;难以同CAD数据库和CAPP系统有效连接;不易做到高度的自动化和集成化;要求编程人员熟悉APT语言,仍需手工编写并输入源程序,难免存在人为的错误。

针对APT语言的缺点,从20世纪70年代开始,出现了许多CAD/CAM一体化、集成化的软件,产生了交互式CAM自动编程技术,并逐步形成了计算机集成制造系统(CIMS)及并行工程(CE)的概念。

本书所要介绍的自动编程技术就是这种交互式CAM自动编程技术。

好了,接下来,让我们一起去了解一下究竟什么是CAD/CAM。

## 第二节 CAD/CAM 基本知识

### 一、基本概念

CAD/CAM就是计算机辅助设计与计算机辅助制造(Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing),是一项利用计算机作为主要技术手段,通过生成和运用各种数字信息与图形信息,帮助人们完成产品设计与制造的技术。CAD主要指使

用计算机和信息技术来辅助完成产品的全部设计过程(指从接受产品的功能定义到设计完成产品的材料信息、结构形状和技术要求等,并最终将图形信息的形式表达出来的过程)。CAM 一般有广义和狭义两种理解,广义的 CAM 包括利用计算机进行生产的规划、管理和控制产品制造的全过程;狭义的 CAM 仅包括计算机辅助编制数控加工的程序。本书所指 CAM 一般是指狭义的 CAM。

CAD/CAM 将产品的设计与制造作为一个整体进行规划和开发,实现了信息处理的高度一体化,具有知识密集、综合性强和效益高等特点。

CAD/CAM 技术的发展和水平已成为衡量一个国家科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。CAD/CAM 技术应用的实际效果是:提高了产品设计的质量,缩短了产品设计制造周期,由此产生了显著的社会经济效益。目前,CAD/CAM 技术广泛应用于机械、汽车、航空航天、电子、建筑工程、轻工、纺织、家电等领域。

## 二、历史与未来

20 世纪 60 年代,美国的 IBM 公司开发出了主要用于二维绘图的 CADAM 系统,美国的通用机器公司则开发了 DAC-1 系统。这时的 CAD/CAM 共同的缺点是:规模庞大,价格昂贵。

进入 20 世纪 70 年代,CAD/CAM 技术逐步成熟,硬件的性价比不断提高,开始出现基于小型机的 CAD 成套系统,硬件和软件配套齐全。而 70 年代末微机的出现,更对 CAD/CAM 技术的发展起了极大的推动作用。

进入 20 世纪 80 年代,CAD/CAM 技术更是迅猛发展,大量成熟的商品化软件不断涌现,图形软件更趋成熟。二维和三维图形技术、真实感图形技术、模拟仿真技术等进一步得到了发展。CAD/CAM 技术从大中型企业扩展到了中小型企业,从仅用于产品设计扩展到工艺设计和工程设计。

在我国,CAD/CAM 技术的发展经历了由引进到开发的过程,很多大中型企业、工程设计部门、大专院校、科研部门等纷纷通过引进或自行开发,建立起适合自己行业特点和工作需要的 CAD/CAM 系统,取得了良好的社会效益。CAD/CAM 技术的应用也由一般到高级、由少数用户到全面普及。

CAD/CAM 技术的发展方向是集成化、智能化、柔性化、网络化等。而 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)则是基于计算机技术和信息技术,将设计、制造和生产管理、经营决策等方面有机地结合成一个整体,形成物流和信息流的综合,对产品设计、零件加工、整机装配和检测检验的全过程实施计算机辅助控制,从而达到进一步提高效率、提高柔性、提高质量和降低成本的目的。

### 三、CAD/CAM 系统的基本组成

CAD/CAM 系统基本组成如图 1-2 所示。

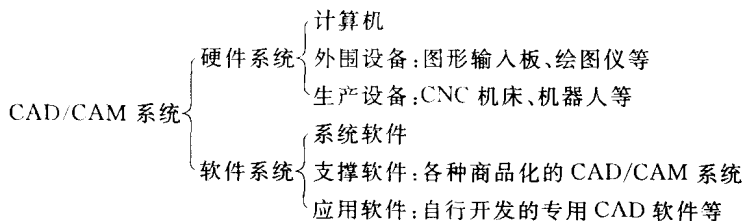


图 1-2 CAD/CAM 系统的基本组成

图 1-2 中的外围设备主要包括计算机的输入输出设备,与一般的计算机系统相比,它更偏重于图形。

CAD/CAM 系统是一个有机的统一体,但 CAD 和 CAM 又各有其侧重面。接下来我们先来简单地认识一下 CAD 系统软件的功能。

## 第三节 CAD 软件功能简介

### 一、几何建模

产品的设计与制造涉及许多有关产品几何形状的描述、结构分析、工艺设计、加工和仿真等方面的技术,其中几何形状的定义与描述是其核心部分,其他环节均需由它提供基本数据。而将三维的几何形状描述成计算机能识别理解的形式过程,称为建模。几何建模是指在计算机上建立产品及其零部件的几何模型的模型构造技术。几何建模技术是 CAD/CAM 系统的核心,它为产品的设计、制造提供基本数据,同时,也为其他模块提供原始的信息。产品的几何建模可分为线框模型、曲面模型和实体模型三类,早期的 CAD 系统往往分别处理这三种造型方法,而目前一般是将三者有机地结合起来。

### 二、特征建模

特征造型是基于产品定义的一种新的造型技术,是几何建模技术的最新发展。特征建模的基础是几何建模,它不仅完整地表示产品的形状信息而且还包含与产品制造有关的信息。这是因为工程技术人员在产品的设计、制造过程中,不仅关心产品的结构形状、尺寸,而且必须关心其形位公差、材料性能、表面粗糙度和技术要求等一系列对实现产品功能极为重要的非几何信息。



### 三、参数化设计

参数化设计是指将工程技术人员所绘制的任意图形参数化,一旦修改图中的任一尺寸,均可实现尺寸驱动,引起相应图形的改变。

### 四、计算分析

CAD 软件能够根据产品几何形状,计算出相应的体积、表面积、重量、重心位置以及转动惯量等;在结构分析中进行应力、温度、位移等计算;在图形处理中作矩阵变换的运算;进行体素之间的交、并、差计算;在工艺规程设计中进行工艺参数的计算等。

### 五、工程绘图

CAD 软件具备从几何造型的三维图形直接向二维图形转换的功能;还具有处理二维图形的能力,包括基本图元的生成、标注尺寸、图形编辑以及显示控制和附加技术条件等功能。

了解了 CAD,再让我们一起来看一下数控加工自动编程(CAM)。

## 第四节 数控加工自动编程

CAM 编程是当前最先进的数控加工编程方法,它是利用计算机以人机交互图形方式完成从零件几何图形计算机化、轨迹生成与加工仿真到数控程序生成的全过程,操作过程形象生动、效率高、出错几率低,而且还可以通过软件的数据接口共享已有的 CAD 设计结果,实现 CAD/CAM 集成一体化,实现无图纸设计制造。

### 一、CAM 自动编程的过程

CAM 自动编程的过程如图 1-3 所示。

### 二、数控加工 CAM 软件功能要求

通用数控加工 CAM 软件应具备下述主要功能:工件几何的输入与数据接口、交互式生成刀具路径、通用后置处理及数控程序的自动生成。工件几何参数的输入方式除了交互式绘图外,还要接收由其他 CAD 软件生成的图形数据,因此要求 CAM 软件的数据接口要通用,所接收的数据种类多。交互式生成刀具路径时能够把相关工艺参数引入,加工方式多,操作方便,并且能针对不同类型的机床数控系统生成加工程序。