



21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

# 数控加工工艺与编程

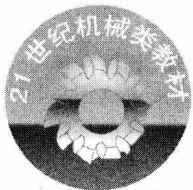
彭芳瑜 主编

林奕鸿 主审



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

# 数控加工工艺与编程

主编 彭芳瑜

主审 林奕鸿

华中科技大学出版社

中国·武汉

## 内 容 提 要

本书以数控加工工艺与数控编程技术为主线,重点介绍数控车削加工工艺与编程、数控平面铣削加工工艺与编程、三轴铣削加工工艺与编程、多轴铣削加工工艺与编程;为了加强本书的理论性和实用性,还介绍了与数控加工编程密切相关的几何造型基础知识、几种常用CAM软件的一般操作及数控编程技术在其他行业的应用情况等内容。

本书力图将数控加工工艺基本知识、数控编程基本算法、数控加工软件基本操作及应用有机融合,构建数控加工“工艺-算法-软件”的知识体系。本书既面向实际应用,又强调实际应用与算法理论之间的内在关联;此外,还注重与相关课程教学内容的衔接,力图通过启发创新思维,培养读者的工程应用能力。

本书内容丰富、详实、全面,系统性强,各章既有联系,又有一定的独立性,特别适合作为高等工科院校机电类专业高职生、本科生、研究生的课程教材,也可供从事机床数控加工工艺编程技术的研究单位、工厂的工程技术人员参考。

本书由华中科技大学多位教师结合近些年的教学和科研经验共同编写而成,并配有相应的电子教案及大量视频、动画和图片等制作电子讲稿所需的素材,如有需要,可向华中科技大学出版社机械分社(电话:027-87548431,邮箱:171447782@qq.com)索取。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程/彭芳瑜 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2012.9

ISBN 978-7-5609-8233-5

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第168111号

数控加工工艺与编程

彭芳瑜 主编

责任编辑:吴 晗

封面设计:潘 群

责任校对:朱 霞

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:19.75

字 数:390千字

版 次:2012年9月第1版第1次印刷

定 价:34.80元



华中科大

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

21 世纪高等学校  
机械设计制造及其自动化专业系列教材  
编审委员会

**顾问：** 姚福生                      黄文虎                      张启先  
(工程院院士)                      (工程院院士)                      (工程院院士)

          谢友柏                      宋玉泉                      艾 兴  
(工程院院士)                      (科学院院士)                      (工程院院士)

          熊有伦  
(科学院院士)

**主任：** 杨叔子                      周 济                      李培根  
(科学院院士)                      (工程院院士)                      (工程院院士)

**委员：** (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一	王安麟	王连弟	王明智	毛志远
左武炘	卢文祥	朱承高	师汉民	刘太林
李 斌	杜彦良	杨家军	吴昌林	吴 波
吴宗泽	何玉林	何岭松	陈康宁	陈心昭
陈 明	陈定方	张春林	张福润	张 策
张健民	冷增祥	范华汉	周祖德	洪迈生
姜 楷	殷国富	宾鸿赞	黄纯颖	童秉枢
傅水根	傅祥志	廖效果	黎秋萍	戴 同

**秘书：** 徐正达    万亚军



# 21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

## 总 序

“中心藏之，何日忘之”，在新中国成立 60 周年之际，时隔“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”出版 9 年之后，再次为此系列教材写序时，《诗经》中的这两句诗又一次涌上心头，衷心感谢作者们的辛勤写作，感谢多年来读者对这套系列教材的支持与信任，感谢为这套系列教材出版与完善作过努力的所有朋友们。

追思世纪交替之际，华中科技大学出版社在众多院士和专家的支持与指导下，根据 1998 年教育部颁布的新的普通高等学校专业目录，紧密结合“机械类专业人才培养方案体系改革的研究与实践”和“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革研究与实践”两个重大教学改革成果，约请全国 20 多所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师，经多年辛勤劳动编写了“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。这套系列教材共出版了 20 多本，涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程，是一套改革力度比较大的教材，集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校在改革机械工程类人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材出版发行 9 年来，已被全国数百所院校采用，受到了教师和学生的广泛欢迎。目前，已有 13 本列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材，多本获国家级、省部级奖励。其中的一些教材（如《机械工程控制基础》《机电传动控制》《机械制造技术基础》等）已成为同类教材的佼佼者。更难得的是，“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”也已成为一个著名的丛书品牌。9 年前为这套教材作序的时候，我希望这套教材能加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作，对机械

工程类专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用,现在看来,这一目标很好地达到了,让人倍感欣慰。

李白讲得十分正确:“人非尧舜,谁能尽善?”我始终认为,金无足赤,人无完人,文无完文,书无完书。尽管这套系列教材取得了可喜的成绩,但毫无疑问,这套书中,某本书中,这样或那样的错误、不妥、疏漏与不足,必然会存在。何况形势总在不断地发展,更需要进一步来完善,与时俱进,奋发前进。较之9年前,机械工程学科有了很大的变化和发展,为了满足当前机械工程类专业人才培养的需要,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,对这套系列教材进行了全面修订,并在原基础上进一步拓展,在全国范围内约请了一大批知名专家,力争组织最好的作者队伍,有计划地更新和丰富“21世纪机械设计制造及其自动化专业系列教材”。此次修订可谓非常必要,十分及时,修订工作也极为认真。

“得时后代超前代,识路前贤励后贤。”这套系列教材能取得今天的成绩,是几代机械工程教育工作者和出版工作者共同努力的结果。我深信,对于这次计划进行修订的教材,编写者一定能在继承已出版教材优点的基础上,结合高等教育的深入推进与本门课程的教学发展形势,广泛听取使用者的意见与建议,将教材凝练为精品;对于这次新拓展的教材,编写者也一定能吸收和发展原教材的优点,结合自身的特色,写成高质量的教材,以适应“提高教育质量”这一要求。是的,我一贯认为我们的事业是集体的,我们深信由前贤、后贤一起一定能将我们的事业推向新的高度!

尽管这套系列教材正开始全面的修订,但真理不会穷尽,认识不是终结,进步没有止境。“嚶其鸣矣,求其友声”,我们衷心希望同行专家和读者继续不吝赐教,及时批评指正。

是为之序。

中国科学院院士

# 前 言

随着计算机技术、微电子技术、现代控制技术、传感器与检测技术、信息处理技术、网络技术和制造技术等多学科领域的发展,数控加工工艺与编程技术已成为现代制造系统中不可或缺的基础技术。数控加工工艺与编程技术的应用在制造业中日益普及,极大地推动了计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)与自动化工厂(FA)的发展,并已成为先进制造技术的基础和重要组成部分。

为了适应我国制造业快速发展及国家振兴制造业的战略规划,遵循高等工科院校教学规律的要求,根据教育部机械学科教学指导委员会关于工科教材编写的有关精神,结合多年来在数控加工工艺与编程技术教学及科研方面的实践经验,我们编写了本书。本书前身是编者2002年编写的“曲面造型与数控编程技术”课程讲义,2002年开始作为研究生“现代数控编程技术”选修课程的主要讲义,2005年起又作为本科生“数控加工工艺与编程”选修课程的主要讲义。本书是编者结合近十年的教学实践及数控加工工艺与编程技术的发展现状,通过对讲义的不断修改和完善而完成的。在编写过程中,力图将数控加工工艺基本知识、数控编程基本算法、数控加工软件基本操作及应用有机融合,构建数控加工“工艺-算法-软件”的知识体系,并兼顾理论与实际的需求。在内容的取舍上,注重先进性与实用性的统一,同时注重知识面的宽广性;在文字的叙述上,注意简练、通俗、层次分明,并遵循由点到面、由浅入深的认识规律。

全书共分9章。第1章介绍数控加工工艺的基本概念、加工特点和应用范围,分析当前数控加工编程的主要方法,介绍目前CAD/CAM系统的基本功能、发展趋势和典型代表,展望数控加工与编程技术的发展方向。第2章介绍数控加工工艺与编程技术的一些共性基础知识,包括数控机床的分类及其工艺适应性、数控加工中所用的刀具和夹具、数控工艺基本原则和工序的设计及数控加工文件的编制等。第3章介绍曲线、曲面论的基础知识,几何造型技术的基础知识和曲面建模中的几个关键技

术,为深入掌握各种加工刀具轨迹生成算法奠定数学基础。第4章介绍数控车削加工的工艺基础和工艺制订、数控车床编程基础和典型指令及典型零件加工程序的编制。第5章介绍数控平面铣削加工工艺与编程中的点位数控加工、二维外形轮廓加工、二维平面型腔加工等及字符加工、模具粗加工两个加工实例。第6章介绍三轴数控铣削加工工艺基础及三轴数控加工主要的刀具轨迹生成方法,并针对不同加工对象分别运用相关轨迹规划方法生成刀具轨迹。第7章介绍多轴铣削加工工艺基础、四轴铣削加工轨迹规划、五轴铣削加工轨迹规划、多轴铣削加工后置处理和多轴铣削加工实例分析。第8章介绍UG NX、MasterCam、PowerMill和Cimatron E等常用CAM软件多轴铣削加工及叶轮精加工案例。第9章介绍数控磨削加工、数控车铣复合加工、数控特种加工以及其他数控加工工艺与编程方法。

本书可作为高等工科院校机械工程专业高职生、本科生的专业选修课程“数控加工工艺及编程”的教材,可重点讲解数控加工工艺基本知识,两轴、三轴数控加工工艺与编程的基本知识,加工刀具轨迹生成算法及其在CAM软件中的实现。本书也可作为研究生教材,在上述基础上,进一步讲解五轴数控加工刀具轨迹生成算法,介绍五轴数控加工工艺与编程方法及其在CAM软件中的实现。本书中包含了大量的加工实例,也介绍了常用CAM软件中多轴数控加工编程的一些方法,可供从事数控机床加工相关工作的工程技术人员参考使用。本书最后介绍的数控加工工艺与编程技术在其他行业中的应用,则可以为从事“数控一代机械产品创新应用示范工程”的工程人员提供参考思路。

本书由彭芳瑜任主编。在本书编写过程中,杨建中、周向东、闫蓉、朱国文等提供了大量的素材,并将教学实践中的经验无私地贡献出来,促进了本书的改进和完善;王伟、袁帅、刘宜志、段现银、邱锋、汪勇、张杏红、孙攀攀、黎丰等同学在本书的编写工作发挥了重要作用,公式的编写、示意图的制作,以及典型实例的完成,都包含了他们辛勤的汗水。在此对以上人员一并表示衷心感谢。华中科技大学林奕鸿教授审阅了全稿,并提出了宝贵意见。

在本书的编写过程中,参阅了有关院校、科研机构、企业的教材、资料;也得到了华中科技大学国家数控系统工程技术研究中心陈吉红、李斌、唐小琦、李振瀚等人的热情鼓励与无私支持;在出版过程中,华中科技大学出版社的领导和编辑也给予了大力支持与帮助,使本书得以顺利付

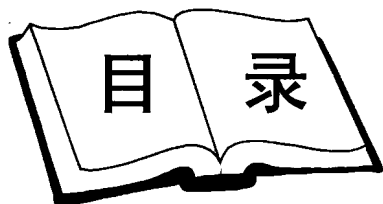


梓。编者在此谨向所参考文献的单位和作者及为本书提供帮助的人们表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,恳请各方面专家及广大读者批评指正。

编者

2012年6月



---

---

<b>第 1 章 概述</b> .....	(1)
1.1 数控加工工艺的基本概念 .....	(1)
1.2 数控编程的基本概念 .....	(3)
1.3 CAD/CAM 技术概述 .....	(6)
1.4 数控加工技术的产生和发展 .....	(16)
习题 .....	(19)
<b>第 2 章 数控加工工艺与编程基础</b> .....	(20)
2.1 数控机床分类与工艺适应性 .....	(20)
2.2 数控加工的刀具和夹具 .....	(25)
2.3 数控加工工艺基本原则和工序设计 .....	(30)
2.4 数控加工工艺文件的编制 .....	(37)
习题 .....	(41)
<b>第 3 章 数控加工编程的几何造型基础</b> .....	(43)
3.1 微分几何基础 .....	(43)
3.2 几何造型技术基础 .....	(61)
3.3 曲面建模中的几个关键技术 .....	(72)
习题 .....	(84)
<b>第 4 章 数控车削加工工艺与编程</b> .....	(85)
4.1 数控车削加工工艺基础 .....	(85)
4.2 数控车削工艺制订 .....	(88)
4.3 数控车床编程基础 .....	(101)
4.4 数控车床典型指令 .....	(104)
4.5 典型零件数控车削加工程序的编制 .....	(110)
习题 .....	(120)
<b>第 5 章 数控平面铣削加工工艺与编程</b> .....	(122)
5.1 数控平面铣削加工工艺基础 .....	(122)
5.2 点位数控加工工艺与编程 .....	(130)

5.3	二维外形轮廓数控铣削加工工艺与编程 .....	(134)
5.4	二维平面型腔数控铣削加工工艺与编程 .....	(142)
5.5	典型零件数控平面铣削加工实例 .....	(147)
	习题 .....	(153)
<b>第 6 章</b>	<b>三轴数控铣削加工工艺与编程 .....</b>	<b>(155)</b>
6.1	三轴数控铣削加工工艺基础 .....	(155)
6.2	三轴数控加工轨迹生成方法 .....	(171)
6.3	复杂零件的三轴数控加工方法 .....	(184)
6.4	典型零件的三轴数控加工实例 .....	(193)
	习题 .....	(201)
<b>第 7 章</b>	<b>多轴铣削加工工艺与编程 .....</b>	<b>(202)</b>
7.1	多轴铣削加工工艺基础 .....	(202)
7.2	四轴铣削加工轨迹规划 .....	(207)
7.3	五轴铣削加工轨迹规划 .....	(211)
7.4	多轴铣削加工后置处理 .....	(225)
7.5	多轴铣削加工实例分析 .....	(243)
	习题 .....	(249)
<b>第 8 章</b>	<b>常用 CAM 软件的多轴铣削加工功能 .....</b>	<b>(250)</b>
8.1	UG NX 7.5 软件的多轴铣削加工功能 .....	(250)
8.2	MasterCAM X4 软件的多轴铣削加工功能 .....	(253)
8.3	PowerMill 9.0 软件的多轴铣削加工功能 .....	(266)
8.4	Cimatron E 8.5 软件的多轴铣削加工功能 .....	(273)
8.5	叶轮——常用 CAM 软件五轴精加工案例 .....	(283)
<b>第 9 章</b>	<b>数控加工工艺与编程技术在其他行业的应用 .....</b>	<b>(286)</b>
9.1	数控磨削加工工艺与编程 .....	(286)
9.2	数控车铣复合加工工艺与编程 .....	(290)
9.3	数控特种加工工艺与编程 .....	(292)
9.4	其他数控加工工艺与编程 .....	(297)
	习题 .....	(301)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(302)</b>



# 概 述

数控加工技术集传统的机械制造和现代的计算机、控制论、传感检测、信息处理、光机电技术于一体,是现代机械制造技术的基础,它的迅速发展和广泛应用,有效解决了复杂精密零件的加工问题,使机械制造业的生产方式、产品结构发生了根本性的变化。数控技术的发展水平和普及程度,已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。

近年来,国内制造业发展迅速,全球制造业向我国转移的趋势十分明显。与此同时,代表着先进制造技术的数控加工在制造业中的应用日益普及,特别是在一些技术密集型的制造行业(如汽车、飞机制造业等),数控加工已成为一种常规加工手段。数控加工也是柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)、自动化工厂(FA)的技术基础。努力发展数控加工技术,并向更高层次的自动化、柔性化、敏捷化、网络化和数字化制造方向推进,是当前机械制造业发展的方向。

## 1.1 数控加工工艺的基本概念

### 1.1.1 传统加工与数控加工的比较

传统加工与数控加工的比较如图 1-1 所示。首先,回顾一下在普通机床上加工零件的过程:机床操作者根据工序卡的要求,在加工过程中根据零件要求,不断改变刀具与工件的相对运动轨迹和加工参数(位置、速度等),使刀具对工件进行切削加工,从而得到所需要的合格零件。

在数控机床,传统加工过程中的人工操作均被数控系统的自动控制所取代,其工作过程如下:首先将被加工零件图样上的几何信息和工艺信息数字化,即将刀具与工件的相对运动轨迹、加工过程中主轴转速和进给速度的变化、冷却液的开关、工件和刀具的交换等控制和操作,按规定的代码和格式编成加工程序;然后将该程序送入数控系统;数控系统按照程序的要求,进行相应的运算、处理,发出控制命令,使各坐标轴、主轴及辅助动作相互协调,实现刀具与工件的相对运动,完成零件的自动加工。

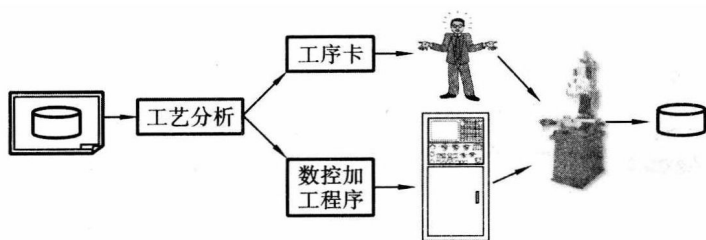


图 1-1 传统加工与数控加工的比较图

## 1.1.2 数控加工的特点

### 1. 能适应不同零件的自动加工

数控机床是按照被加工零件的数控程序来进行自动加工的,当改变加工零件时,只要改变数控程序,不必更换凸轮、靠模、样板或钻镗模等专用工艺装备。因此,生产准备周期短,有利于机械产品的更新换代。

### 2. 生产效率和加工精度高、加工质量稳定

数控机床可以采用较大的切削用量,能有效地节省工时,还有自动变速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,可使辅助时间大为缩短。所以,数控机床比普通机床的生产效率高 3~4 倍,甚至更高;对复杂型面零件的加工,其生产效率则可提高十几倍,甚至几十倍。同时由于数控机床本身的精度较高,还可以利用软件进行精度补偿,并且是根据数控程序自动进行加工,可以避免人为的误差,使加工质量稳定,零件尺寸一致性好,能够满足零件的互换性要求。

### 3. 功能复合程度高,一机多用

数控机床,特别是自动换刀的数控机床,在一次装夹的情况下,几乎可以完成零件的全部加工。一台数控机床可以代替数台普通机床,这样可以减少装夹误差,节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间,还可以节省机床的占地面积,带来较高的经济效益。

### 4. 劳动强度低

由于数控机床是按编制好的数控程序自动加工的,不需操作者进行繁重的重复作业,所以能大大减轻作业者的劳动强度,改善操作者的劳动条件。

### 5. 有利于生产管理

由于数控机床使用数字信息,易于与计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统连接,形成计算机辅助设计和制造与数控机床紧密结合的一体化系统。另外,数控机床通过因特网(Internet)、内联网(Intranet)、外联网(Extranet),可实现远程故障诊断和维修、远程控制和调度,以及异地分散网络化生产。

数控加工虽有上述各种优点,但也存在一些不足之处,如由于机床价格较高,维护维修难度大,加工中的调整又相对复杂,使其单位加工成本较高。

### 1.1.3 数控加工的应用范围

数控加工具有普通机床加工所不具备的许多优点,而且它的应用范围还在不断扩大。根据数控加工的优缺点及国内外大量应用实践,一般可按适应程度将零件分为下列两类。

#### 1. 最适应类

有些零件在普通机床上无法加工或虽然能加工但很难保证产品质量,此类零件为数控加工的最适应类零件,如:

(1) 形状复杂,且加工精度要求高,能用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件;

(2) 具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒状零件;

(3) 必须在一次装夹中合并完成铣、镗、铇、铰或攻螺纹等多工序的零件;

(4) 生产周期要求严格,需要多台普通或专用机床配合才能加工的零件。

#### 2. 较适应类

这类零件在分析其可加工性以后,还要在提高生产率及经济效益方面作全面衡量,一般可把它们作为数控加工的主要选择对象:

(1) 在普通机床上加工时极易受人为因素(如情绪波动、体力强弱、技术水平高低等)干扰,零件价值又高,一旦质量失控便造成重大经济损失的零件;

(2) 在普通机床上加工时必须制造复杂专用工艺装备的零件;

(3) 需要多次更改设计后才能定型的零件;

(4) 在普通机床上加工需要作长时间调整的零件;

(5) 用普通机床加工时,生产率很低或体力劳动强度很大的零件;

(6) 装夹困难或需要靠找正定位来保证加工精度的零件;

(7) 普通机床加工时必须用特定的工艺装备协调加工的零件。

在零件的数控加工适应性分析的基础上,就可以根据所拥有的数控机床来选择加工对象,或根据零件类型来考虑哪些应该先安排数控加工,或从技术改造角度考虑是否要投资,添置数控机床。

## 1.2 数控编程的基本概念

### 1.2.1 数控编程的定义

数控加工(NC machining)是指根据零件图样及工艺要求等初始条件编制零件数控加工程序(简称为数控程序),输入数控系统,控制数控机床中刀具与工件的相对运动,从而完成零件的加工。

数控程序(NC program)是指输入数控机床,执行一个确定的加工任务的一系列



指令的集合,也称为零件程序。

数控编程(NC programming)是指生成用数控机床进行零件加工的数控程序的过程,有时也称为零件编程(part programming)。

数控编程可以手工完成,即手工编程(manual programming),也可以由计算机辅助完成,即计算机辅助数控编程(computer aided NC programming)。采用计算机辅助数控编程需要专用的数控编程软件,数控编程软件主要分为以批处理命令方式为主的 APT 语言自动编程系统和以 CAD 软件为基础的交互式 CAD/CAM 编程集成系统。

## 1.2.2 数控编程的步骤

数控编程步骤主要包括:分析零件图样、工艺处理、数学处理、编写程序单、输入数控系统和程序检验,如图 1-2 所示。

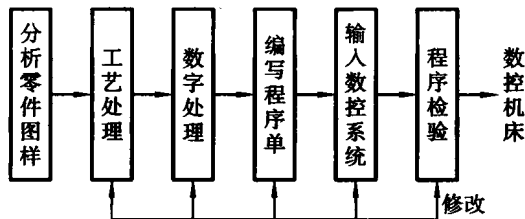


图 1-2 数控编程步骤

## 1.2.3 数控编程的方法

数控加工程序的编制方法主要有两种:手工编程和自动编程。

### 1. 手工编程

手工编程是指从分析零件图样、确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序单、制备控制介质到程序校验都由人工完成。对于加工形状简单、计算量小、程序不多的零件,可以采用手工编程。因此,在点位加工或由直线与圆弧组成的轮廓加工中,手工编程应用广泛。

### 2. 自动编程

自动编程也称为计算机辅助编程,即程序编制工作的大部分或全部由计算机完成,如完成坐标值计算、编写零件加工程序单等,有时甚至能帮助进行工艺处理。对自动编制出的程序还可进行刀具运动轨迹的图形检查,编程人员可以及时检查程序是否正确,并及时修改。自动编程大大减轻了编程人员的劳动强度,提高效率几十倍乃至上百倍,同时解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。工作表面形状愈复杂,工艺过程愈烦琐,自动编程的优势愈明显。

自动编程的主要类型有:数控语言(如 APT 语言)编程、图形交互式编程(如 CAD/CAM 软件编程)、语音式自动编程、实物模型式自动编程和内嵌于数控系统的

编程等。

### 1) 数控语言编程

数控语言编程要有数控语言和编译程序。编程人员需要根据零件图样要求,用一种直观易懂的编程语言(数控语言)编写零件的源程序(源程序描述零件形状、尺寸、几何元素之间相互关系及进给路线、工艺参数等),相应的编译程序对源程序自动进行编译、计算、处理,最后得出加工程序。数控语言编程中使用最多的是 APT 数控编程语言系统。

会话型自动编程系统在数控语言自动编程的基础上,增加了“会话”的功能。编程员通过与计算机对话的方式,输入必要的数据和指令,完成对零件源程序的编辑、修改。这种方式可随时停止或开始处理过程,随时打印零件加工程序单或某一中间结果,随时给出数控机床的脉冲当量等后置处理参数,可用菜单方式输入零件源程序及操作过程等。日本的 FAPT、荷兰的 MITURN、美国的 NCPTS、我国的 SAPT 等均是会话型自动编程系统。

### 2) 图形交互式编程

图形交互式编程是以计算机绘图为基础的自动编程方法,需要 CAD/CAM 集成软件支持。这种编程方法的特点是以工件图形为输入信息,并采用人机对话方式,不需要使用数控语言编制源程序。从加工工件的图形再现、加工轨迹的生成、加工过程的动态模拟,直到生成数控程序,都是通过屏幕菜单驱动,具有形象直观、高效及容易掌握等优点。

近年来,国内外的 CAD/CAM 软件发展很快,并得到了广泛应用。如美国 CNC 软件公司的 MasterCAM、德国 Siemens 公司的 UG(Unigraphics)、我国北航海尔的制造工程师(CAXA-ME)等软件,都是性能较完善的三维 CAD 造型和数控编程一体化的软件,且具有智能型后置处理环境,可以面向众多的数控机床和大多数数控系统。

### 3) 语音式自动编程

语音式自动编程是指利用人的声音作为输入信息,并与计算机和显示器直接对话,令计算机编出数控加工程序的一种方法。语音编程系统编程时,编程人员只需对着话筒讲出所需指令即可。编程前应使系统“熟悉”编程人员的“声音”,即首次使用该系统时,编程人员必须对着话筒讲该系统约定的各种词汇和数字,让系统记录下来并转换成计算机可以接收的数字命令。苏斯肖尔特公司是世界上第一个在数控编程中采用语音识别技术的公司。在该公司的数控编程系统中,人类语音的模拟信号被转换成数字信号,经过计算机处理识别后转换为数控指令,操纵机床进行数控加工。

### 4) 实物模型式自动编程

实物模型式自动编程适用于有模型或实物而无尺寸的零件加工的程序编制。因此,采用这种编程方式时应具有一台坐标测量机,用于模型或实物的尺寸测量,再由计算机将所测数据进行处理,最后控制输出设备,输出零件加工程序单。这种方法也

称为数字化技术自动编程。

### 5) 内嵌于数控系统的编程

在加工过程中只需对零件图形进行简单的分析,找出坐标零点,然后输入零件的几何特征参数,CNC系统能自动地根据零件轮廓进行自动编程,给数控加工者带来了极大的方便。HEIDENHAIN公司的ITNC530数控系统实现了CAD/CAM与数控加工的无缝集成,其自带的轮廓加工编程可以有效地对零件的轮廓元素采用路径编程功能创建加工程序。Siemens公司的ShopMill和ShopTurn是针对铣削类加工和车削类加工专门设计的车间级数控编程软件,该软件集成于西门子数控系统内,采用图形化编程软件,并集成了刀具管理、测量循环等功能,操作者无须具备专业的编程知识,只需了解车床和铣床的相关加工工艺,并输入相关参数,即可生成所需要的加工程序。

## 1.3 CAD/CAM 技术概述

### 1.3.1 CAD/CAM 技术发展简介

计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)是指产品设计和制造技术人员在计算机系统的支持下,根据产品设计和制造流程进行设计和制造的一项技术。CAD/CAM技术本身是一项复杂的综合性系统工程技术,涉及许多学科领域,如计算机科学和工程、计算数学、几何造型、计算机图形显示、数据结构和数据库、仿真、数控、机器人和人工智能学科和技术及与产品设计和制造有关的专业知识等。

20世纪40年代,计算机的问世为CAD/CAM技术发展提供了技术准备。20世纪50年代末期,美国麻省理工学院林肯实验室研制的空中防御系统就能将雷达的信号转换为显示器上的图形,这种功能的出现预示着交互图形生成技术的诞生。1963年,美国麻省理工学院的I. E. Sutherland证明一幅完整的较复杂的图形可以通过分层调用各有关子图来合成,奠定了CAD/CAM技术的理论基础。

20世纪60年代中期后,美国的一些大公司开始研制CAD系统,从20世纪60年代末期至20世纪70年代中期,CAD/CAM技术得到快速发展,出现了商品化的硬件和软件。20世纪70年代末以后,基于32位工作站和微型计算机的CAD/CAM系统出现。进入20世纪80年代后,这种以工作站为基础的CAD/CAM系统发展很快,其功能达到甚至超过了小型机CAD/CAM系统。由于微型计算机的性价比高,应用软件丰富,便于学习、维护和网络共享,在中、小型企业中获得了广泛应用。

20世纪90年代以后,参数化技术的成功应用,成为CAD技术发展的又一里程碑,各软件厂商纷纷推出基于参数化技术的CAD/CAM系统。1997年,欧共体提出了OPTIMAL计划,将STEP(standard for the exchange of product model date,ISO 10303)标准延伸到自动化制造的底层设备,开发了一种STEP-NC的数据模型,作为