实用数控技术丛书

数控编程技术

——自动编程

第二版

李　凯　阎红娟　等编著

化学工业出版社

·北京·

需要全本请访问 www.ertongbook.com

本书较第一版内容进行了较大的改进，删除了大量有关 CAD/CAM 基础理论的内容，将重点放在数控自动编程基本知识和应用技巧上。本书以 CAD 建模和 CAM 加工为主线，详细讲解了数控自动编程软件中关于零件建模和自动编程的思路与方法。在介绍如何使用 MasterCAM X 软件编程的同时，对加工零件的刀具选择、刀具轨迹编译等重要编程参数的设置进行了详细的分析，使读者在较短的时间内即可掌握数控自动编程技术。对于软件应用部分，大部分都给出了应用实例，光盘中提供了相关文件，方便读者练习调用。

本书可以作为职业院校数控专业、CAM 专业的教材以及社会上各种 CAM 培训班的教材，也可供数控加工工程技术人员、高级技工学习和参考，也可作为在职数控机床操作、编程人员的参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

数控编程技术——自动编程/李凯，阎红娟等编著. —2 版. —北京：化学工业出版社，2008.5
（实用数控技术丛书）
ISBN 978-7-122-02664-4

Ⅰ. 数… Ⅱ. ①李…②阎… Ⅲ. 数控机床-程序设计 Ⅳ. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 056922 号

责任编辑：张兴辉　　装帧设计：尹琳琳
责任校对：洪雅姝

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号　邮政编码 100011）
印　　装：三河市延风印装厂
720mm×1000mm　1/16　印张 12　字数 214 千字　　2008 年 9 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）　售后服务：010-64518899
网　　址：http://www.cip.com.cn
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定　　价：26.00 元

版权所有　违者必究

《实用数控技术丛书》
编写委员会

主　任：罗学科

副主任：张超英　徐宏海

委　员：（按姓氏笔画排序）

马天颖　王凤霞　王孝忠　牛小铁　朱运利

刘　瑛　李　凯　李跃中　余圣梅　张超英

陈晓光　罗学科　周国烛　郑　青　郑张龙

赵玉侠　徐宏海　高德文　阎红娟　谢富春

魏晓东

序

随着我国由制造大国向制造强国的迈进，机械制造行业技术人员对掌握数控技术的要求越来越迫切。国家提出振兴我国装备制造业的战略方针，也对培养新世纪的数控人才提出了更高的要求。

20 世纪 50 年代初第一台数控机床的出现，使制造技术的发展出现了日新月异的局面。特别是近 20 年来，随着计算机技术、信息技术和微电子技术等高新技术的发展，制造业也发生了革命性的变化。数控技术在现代企业的大量应用，使制造技术正朝着数字化的方向迈进，出现了以信息技术驱动的现代制造技术，其核心就是数控加工设备替代了传统的加工设备。与此同时，数控技术正在朝着高精度、高速度、高柔性、高可靠性以及复合化（工序复合化、功能复合化）的方向发展。这一领域的研究是在当前高新技术不断发展的背景下进行的，涉及许多相关领域、交叉学科。当前，在人才需求方面，除需要具有数控技术基本知识和能力的高素质人才，以促进研究与开发工作的新突破外，还急需大批数控技术应用型人才，即数控编程、数控设备操作及其维修人员。而大部分制造企业在这方面的人才严重不足，特别是北京、上海和南方较发达地区，对数控应用型人才更是求贤若渴。为了培养国内急需的数控应用人才，各高等院校、职业技术学院纷纷设置高职层次的数控类专业，急需数控技术的教材和参考书，《实用数控技术丛书》就是为此目的编写的。

这套书在 2003 年底出版后，受到广大读者的厚爱，先后多次印刷，累计发行量 3 万多套，为普及数控知识和培养数控技能人才做出了一定的贡献，也荣获中国石油化工协会优秀科技图书奖一等奖，这给我们全体编写人员极大的鼓励和鞭策。在近四年的时间里，我们也收到了一些读者的来信和电子邮件，就书中的问题和我们交换意见，指出了书中的一些问题。近年来数控技术在国内的普及日趋深入，《丛书》中的部分内容已经比较陈旧，不太适合国家职业教育的要求，为此我们决定修订再版，全体编写人员根据《丛书》第二版的修订要求认真讨论编写大纲，经过近一年时间的努力，这套丛书的第二版就要与读者见面了，我们期望它不辜负读者的厚爱。

《实用数控技术丛书》（第二版）共 6 册，约 200 万字，部分书名和内容进行了较大调整，框架体系更加合理，更加适合职业院校数控技术教育和培训的需要，内容涉及数控技术从理论到实际加工操作的各个环节。其中，《数控原理与

数控机床》讲述数控技术的基本原理和数控机床的结构；《数控加工工艺》重点讲述在数控机床的应用中涉及的工艺问题，包括数控设备用刀具、夹具等工艺装备的选择和使用；《数控编程技术——手工编程》详细地讲述各类数控机床和加工中心的编程原理和手工编程方法；《数控编程技术——自动编程》以 Master-CAM 为主介绍数控自动编程的方法、参数设置和编程技巧，给出了大量的典型实例；《数控加工综合实训》是配合实践教学使用的教材，重点突出系统性、实用性和实践性的特点；《数控技术英语》是本专业的专业英语教材，在编写上考虑了数控专业的特点，并注意使用者的英语水平。

《实用数控技术丛书》既参考了国内外相关领域的书籍和资料，也融会了编写人员长期以来的教学实践和研究心得。《丛书》立足于应用，面向职业院校学生和工程技术人员。在内容组织和编排上理论结合实践、由浅入深、图文并茂、通俗易懂。丛书特别强调实践，书中的大量实例来自生产实际和教学实践。丛书不但为职业院校数控类专业提供了完备的系列教材，也为企业培训数控技术应用人才提供了参考，对相关工程技术人员也是一套很有益的参考书。

《实用数控技术丛书》编写委员会

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前　言

MasterCAM 软件是美国 CNC Software 公司研制开发的 CAD/CAM 软件，该软件容易掌握，使用方便，可用于数控铣床、数控加工中心、数控镗床、数控车床以及数控线切割机床等，可以完成一般模具和所有机械零件的制造。在我国，由于该软件特别适合目前企业的经济及技术实力，所以在 CAD/CAM 领域拥有广大的用户。

MasterCAM 是 CAD 和 CAM 集成在一起的一套非常完整的软件，设计人员在 CAD 部分绘制零件的二维或三维图形后，便可在 CAM 模块中选择适当的加工方法，设计刀具路径，再通过后处理生成 NC 文件（即 G 码），并可对 NC 文件进行编辑和修改，然后输入数控机床，便可进行各种不同类型的加工。无论多么复杂的机械零件，只要绘制出其三维图形，再选用不同加工方法，编制刀具路径，便可以完成加工，这是以前在机械加工中难以想象的一种新加工方法。数控自动编程软件的出现，取代了繁琐而复杂的手工编程工作，大大提高了数控机床的加工效率，降低了制造成本，缩短了开发新产品的周期。

本书对第一版内容进行了较大的改进，删除了大量有关 CAD/CAM 基础理论的内容，将重点放在数控自动编程基本知识和应用技巧上。

全书以 CAD 建模和 CAM 加工为主线，详细讲解了数控自动编程软件中关于零件建模和自动编程的思路与方法。在介绍如何使用 MasterCAM X 软件编程的同时，对加工零件的刀具选择、刀具轨迹编译等重要编程参数的设置进行了详细的分析，使读者在较短的时间内即可掌握数控自动编程技术。对于软件应用部分，大部分都给出了应用实例，光盘中提供了相关文件，方便读者练习调用。

本次修订注重实用性，内容丰富，结构合理，所有实例均来自课堂教学实践，并经过加工验证。

本书可以作为职业院校数控专业、CAM 专业的教材以及社会上各种 CAM 培训班的教材，也可供数控加工工程技术人员、高级技工学习和参考，并可作为在职数控机床操作、编程人员的参考资料。

本书是集体智慧的结晶，除了李凯、阎红娟之外，参编人员还有罗学科、徐宏海、谢富春、张超英、刘瑛、赵玉侠、郑青、高德文等老师，数控中心的赵长友和张利两位老师对本书中大量实例进行了验证。由于编者水平有限，不足之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编著者

目　录

第 1 章　CAD/CAM 技术概论 1

1.1　CAD/CAM 技术的现状和发展趋势 1

1.1.1　CAD/CAM 技术的现状 1

1.1.2　CAD/CAM 技术的发展趋势 4

1.2　数控编程基础知识 6

1.2.1　数控编程的主要内容与步骤 7

1.2.2　数控编程分类 8

1.3　数控自动编程的基本流程 8

1.4　自动编程软件 12

1.4.1　常用自动编程软件 12

1.4.2　MasterCAM 软件 14

习题 16

第 2 章　MasterCAM 中的 CAD 建模 17

2.1　MasterCAM X 中 CAD 模块概述 17

2.2　MasterCAM X 的界面 18

2.3　MasterCAM X 基本图形绘制命令 18

2.3.1　点的构建 19

2.3.2　直线绘制 22

2.3.3　绘制圆弧 24

2.3.4　其他类型图素的绘制 27

2.4　图形编辑与修改 31

2.4.1　删除命令 32

2.4.2　图形编辑命令 33

2.5　图形的几何变换 40

2.6　基本图形绘制与编辑实例 47

2.7　曲面建模与编辑 51

2.7.1　基本三维曲面建模 53

2.7.2　三维曲面建模 57

2.7.3　三维曲面的编辑 62

习题 70

第 3 章　MasterCAM 自动编程基础知识 74
3.1　MasterCAM 自动编程流程与考虑内容 …… 74
3.1.1　数控自动编程技术 …… 74
3.1.2　编程步骤与考虑的内容 …… 75
3.2　MasterCAM 加工管理与后处理 …… 76
3.2.1　刀具参数设置 …… 76
3.2.2　材料参数设置 …… 78
3.2.3　加工属性设置 …… 80
3.2.4　刀具路径模拟与仿真 …… 83
3.2.5　机床后处理 …… 88
习题 …… 91
第 4 章　数控车削加工自动编程 92
4.1　数控车削加工的特点 …… 92
4.1.1　数控车削加工的对象 …… 92
4.1.2　数控车床的配置与加工能力 …… 92
4.2　零件数控加工的工艺分析 …… 94
4.3　车削加工自动编程（实例 1） …… 95
4.3.1　刀具设置 …… 96
4.3.2　产生刀具路径 …… 97
4.3.3　执行后处理 …… 105
4.4　车削加工自动编程（实例 2） …… 106
4.4.1　刀具设置 …… 107
4.4.2　产生刀具路径 …… 107
4.4.3　执行后处理 …… 115
习题 …… 117
第 5 章　数控铣削加工自动编程 118
5.1　数控铣削加工的特点 …… 118
5.2　数控铣削加工工艺分析 …… 119
5.3　MasterCAM 中的二维铣削加工 …… 120
5.3.1　平面铣削参数设置 …… 120
5.3.2　二维铣削加工实例 1 …… 125
5.3.3　二维铣削加工实例 2 …… 128
5.3.4　二维铣削加工实例 3 …… 131
5.3.5　二维铣削加工实例 4 …… 136
5.4　MasterCAM 中的三维曲面加工 …… 139

5.4.1 三维曲面铣削参数设置 …… 140
5.4.2 三维曲面铣削加工实例 1 …… 142
5.4.3 三维曲面铣削加工实例 2 …… 146
5.4.4 三维曲面铣削加工实例 3 …… 148
5.4.5 三维曲面铣削加工实例 4 …… 154
5.5 多轴加工 …… 159
5.5.1 多轴加工的公共参数 …… 160
5.5.2 多轴加工实例 1 …… 163
5.5.3 多轴加工实例 2 …… 171
习题 …… 177
参考文献 180

第1章
CAD/CAM 技术概论

计算机的出现是当代科学技术发展的最重大成就之一，它的应用已经遍及各行各业以及人们的日常生活当中。在机械设计及制造领域，由于市场竞争的加剧，用户对产品的质量（Quality）、价格（Cost）、供货时间（Time）和服务（Service）的要求越来越高，因此采用先进的设计及制造技术已经成为加工制造企业能在当今市场中处于领先的必然选择。在这种背景下，20 世纪中后期由于计算机技术与机械设计和制造技术相互渗透和结合，产生了计算机辅助设计与辅助制造（CAD/CAM，Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing）这样一门多学科的、综合性的应用技术，简称 CAD/CAM。由于 CAD/CAM 技术具有涉及知识门类广、综合性强、处理速度快、经济效益高等特点，所以成为当今发展最快的应用技术之一。可以说，CAD/CAM 技术的发展，是机械设计及制造领域的一次重大的革命。

1.1 CAD/CAM 技术的现状和发展趋势

1.1.1 CAD/CAM 技术的现状

CAD/CAM 技术是伴随着计算机技术的产生和发展而产生并不断发展的，这门技术从产生到现在，已经历了半个多世纪，从形成、发展、提高和目前的高度集成，已经形成了比较完整的科学技术体系，并在当今的高新技术领域中占有很重要的位置。

自从 1946 年出现第一台计算机开始，人们就不断地尝试将计算机技术引入到传统的机械设计和制造领域。特别是 1951 年美国 PARSONS 公司和麻省理工学院（MIT）研制成功了数控三坐标铣床，实现了利用不同数控程序对不同零件的加工，首次出现了现代柔性自动化制造的原型。随后，为了适应数控铣床加工各种复杂形状零件的需要，麻省理工学院又开始研制数控自动编程系统，并于

20 世纪 50 年代末研制成功了批处理语言系统的数控自动编程系统 APT（Automatically Programming Tool），该系统用专用语言描述加工零件的几何形状及进刀和走刀方法，还有大量的辅助语句用于描述加工过程中的各种工艺参数，如进给率、加工余量等，这种用语言描述零件几何形状及加工过程的程序称为“零件源程序”，源程序经过批处理运行后可以输出刀位点数据，再经过后置处理，生成可以执行的控制代码。这种系统就是最初的计算机辅助编程系统，它避免了手工处理大量复杂计算的工作，显示了计算机在机械制造领域广阔的应用前景。在此基础上，有人提出能不能不通过 APT 系统对走刀轨迹的描述而直接描述零件本身的问题，由此就产生了 CAD 的概念。

20 世纪 60 年代初，麻省理工学院的研究生 I. E. Sutherland 发表了《人机对话图形通信系统》的论文，推出了二维 SKETCHPAD 系统，该系统允许设计者在图形显示器前操作光笔和键盘，同时可以在显示器的屏幕上显示图形。在这篇论文中作者首次提出了计算机图形学、交互技术以及图形符号的存储采用分层的思想，为 CAD 技术提供了理论基础。随后相继出现了商品化的 CAD 设备和软件系统，例如美国的 IBM 公司开发了以大型机为基础的 CAD/CAM 系统，该系统具有绘图、数控编程和强度分析的功能；美国通用汽车公司研制的 DAC-1 系统，用以实现各个阶段的汽车设计；还有洛克希德飞机公司的 CADAM 系统等。这一时期，在制造领域也出现了许多技术上的进步，如 1962 年在数控机床的基础上研制成功了第一台工业机器人，实现了物料搬运的自动化；1966 年，又出现了利用大型通用计算机直接控制多台数控机床的 DNC（Direct Numerical Control）系统。然而，由于计算机硬件的价格昂贵，计算机辅助设计工作并没有得到普及。

20 世纪 60 年代中期到 20 世纪 70 年代中期是 CAD/CAM 技术走向成熟的阶段，随着计算机硬件的发展，以小型机、超小型机为主的 CAD/CAM 软件进入市场。与此同时，为了适应设计和制造的需要，三维几何处理软件也相应发展起来，出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统，并在 20 世纪 60 年代末和 20 世纪 70 年代初出现了柔性制造系统 FMS。

20 世纪 80 年代是 CAD/CAM 技术迅速发展的时期，超大规模集成电路的出现，使计算机硬件成本大幅度降低，计算机的外设也迅猛发展并成为系列产品，这些都为推动 CAD/CAM 技术向高水平发展提供了硬件的保证。同时，软件技术、数据库技术、有限元分析技术、优化技术、计算机图形学技术等相关技术的飞速发展，也促进了 CAD/CAM 技术的推广和应用。这一时期，还出现了与计算机辅助制造技术相关的其他技术，比如计算机辅助零件分类和编码技术、计算机辅助工艺规程设计（CAPP）、计算机辅助工装设计、计算机辅助质量控

需要全本请访问 www.ertongbook.com

制与检测（CAQ）等。从 20 世纪 80 年代起，人们在发展上述单项技术的同时，又开始致力于计算机集成制造系统（CIMS）这一高效益、高柔性的智能化制造系统的研究。

从 20 世纪 90 年代起，CAD/CAM 技术已不再停留在过去那种单一模式、单一功能和单一领域的水平，而向标准化、集成化、智能化的方向发展。为了实现系统的集成，实现资源的共享和产品生产与组织管理的高度自动化，提高产品的竞争力，就需要在企业和企业集团内的 CAD/CAM 系统之间和各个子系统之间进行统一的数据交换。在这种情况下，一些发达国家和国际标准化组织都进行了数据交换接口方面的开发工作，并制定了相应的标准。在这个时期，出现了面向对象技术、并行工程的思想、人工智能技术以及产品数据管理（PDM）等新的思想理念和技术，这些都对 CAD/CAM 技术的发展和功能的延伸起到了推动作用。

从 CAD/CAM 技术的应用和发展来看，这一技术在 20 世纪的工业发展中占有相当重要的地位。1989 年美国评选出近 25 年间当代十项最杰出的工程技术成就，其中第四项就是 CAD/CAM 技术。1991 年 3 月 20 日，海湾战争结束后的第三个星期美国政府发表了跨世纪的国家关键技术发展战略，列举了六大技术领域中的 22 项关键项目，认为这些项目对于美国的长期国家安全和经济繁荣至关重要。而 CAD/CAM 技术与其中的两大领域 11 个项目紧密相关，这就是制造与信息通信。制造技术为工业界生产一系列创新的、成本上有竞争能力和高质量的产品投入市场奠定基础。而信息和通信技术则以惊人的速度不断发展，改变着社会的通信、教育以及制造方法。制造技术的关键项目有柔性计算机集成制造、智能加工设备、微米级和纳米级制造、系统管理技术；信息和通信技术包括软件、微电子学和光电子学、高性能计算机和联网、高清晰度成像显示、传感器和信号处理、数据存储器和外围设备、计算机仿真和建模。

CAD/CAM 技术为什么这么重要呢？因为它推动了几乎一切领域的设计革命，CAD 技术的发展和应用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 技术从根本上改变了过去的手工绘图、发图、凭图纸组织整个生产过程的技术管理方式，将它变为在图形工作站上交互设计、用数据文件发送产品定义、在统一的数字化产品模型下进行产品的设计打样、分析计算、工艺规划、工艺装备设计、数控加工、质量控制、编印产品维护手册、组织备件订货供应等。所谓建立一个产品的 CAD 系统，首先应该理解为建立一种新的设计和生产技术管理体制。有了这样的新型体制，就可以方便地做到以下几点。

① 按并行工程的方式组织作业。产品的各个部件设计组、系统组、专业分

析组、生产准备组都可以及时地从屏幕上看到产品的总体布局，及早进行各种专业协调。

② 在产品设计阶段用三维几何模型模拟零件、部件、设备的装配和安装，及早发现结构布局和系统安装的空间干涉。

③ 组织迅速有效的发图更改。例如，德国 MBB 飞机公司与英国、意大利合作生产“狂风（Tornado）”战斗机，1983 年在型号管理数据库中存储了 7500 项用户提出的各种设计更改要求，18000 个工厂内部的更改单，8000 个三国协作的各种更改通知，95000 个图纸更改单，16000 个生产更改单。利用 CAD/CAM 系统就可以迅速而准确地进行各项更改的修改和发送，提高了设计生产中各个环节的效率。再如，日本从波音飞机公司转包生产波音 777 客机，在名古屋建立数据中心，与波音公司的西雅图总部联网，将波音 777 的图纸和生产要求非常快捷而准确地转送到富士、川崎、三菱三家公司。在我国，西安飞机制造公司、成都飞机制造公司、沈阳飞机制造公司与波音和麦道飞机制造公司之间的合作也采用了类似的方法。

④ 进行产品的性能仿真。核武器的物理设计要对比上千种模型。一次核反应在微秒级的时间内完成，温度达到几千万摄氏度，压力超过几千万大气压，只有依靠计算机数值模拟，才能从上千种设计方案中优选出一种进行物理实验。导弹设计的发射仿真同样可以大大减少实地打靶的数量。

⑤ 提前进行产品的外观造型设计。这一点对轻工业产品尤其重要，在 CAD 系统中进行产品的模型设计和外观渲染，以便及早让订货单位从屏幕上评审产品的色彩、装潢和包装。

⑥ 有利于提前设计和定制生产过程中使用的各种工装和辅助工具，并进行制造工艺合理性的检查。

1.1.2 CAD/CAM 技术的发展趋势

随着 CAD/CAM 技术的发展和广泛的应用，也对 CAD/CAM 技术提出了更多更高的要求。另外，随着其他相关技术的不断发展，也为 CAD/CAM 技术提供了向更深一步研究开发的基础，目前 CAD/CAM 有这样几个发展的方向。

（1）向集成化的方向发展

随着科学技术的突飞猛进，企业一直在寻求一种技术与管理高度结合的新的生产方式，以缩短产品开发周期，制造高度精密复杂的产品，增强市场的应变能力和竞争能力。计算机集成制造系统（CIMS）就是在新的集成理念指导下形成的一种新型的生产模式。CIMS 是一种组织、管理与运行企业的理念，它将传统的制造技术与现代信息技术、管理技术、自动化技术、系统工程技术等进行了有

机的结合，借助计算机软、硬件技术，使企业生产产品的生命周期（市场需求分析→产品意义→研究开发→设计→制造→支持，包括质量、销售、采购、发送、服务以及产品最后报废、环保处理等）的各阶段活动中有关的人、组织、经费管理和技术等要素及信息流、物流和价值流有机集成并优化运行，实现企业制造活动中的计算机化、信息化、智能化、集成优化，以达到产品上市快、高质、低耗、服务好、环境清洁，提高企业的柔性、健壮性、敏捷性，使企业在市场竞争中立于不败之地。

CIMS 集成的特性体现在：

① 信息的集成　针对设计、管理和加工制造中大量存在的自动化孤岛，实现信息正确、高效的共享和交换，是改善企业技术和管理水平必须首先解决的问题。信息集成首先是要完成企业的建模、系统设计方法、软件工具和规范，没有企业的模型就很难科学地分析和综合企业各部分的功能关系、信息关系以至动态关系。企业建模及设计方法解决了一个制造企业的物流、信息流、价值流（如资金流）、决策流的关系，这是企业信息集成的基础。此外，信息集成还应该包括不同的操作系统、控制系统数据库以及应用软件。

② 过程集成　企业为了提高产品质量，缩短生产周期、降低生产成本，提供优质的售后服务，除了信息集成这一技术手段之外，还可以对过程进行重构（Process Reengineering）。产品开发设计中的各个串行过程尽可能多地转变为并行过程，在设计时考虑到下游工作中的可制造性、可装配性，设计时考虑质量（质量功能分配），则可以减少反复，缩短产品的开发时间。

③ 技术集成　产品开发的过程中，涉及的多学科知识以及各种技术、方法的集成，并形成集成的知识库和方法库，以利于 CIMS 的实施。

④ 企业集成　为充分利用全球制造资源，把企业调整成适应全球经济、全球制造的新模式，CIMS 必须解决资源共享、信息服务、虚拟制造、并行工程、资源优化、网络平台等关键技术，以更快、更好地响应市场。

（2）向智能化方向发展

产品设计与制造是具有高度智能人类的一种创造性的活动，设计制造过程的智能化是 CAD/CAM 技术发展的必然选择。虽然当前的 CAD/CAM 系统也体现了一些智能的特点，如尺寸与公差的自动标注功能、材料清单（BOM）自动生成功能、工艺路线的自动生成、刀具轨迹自动生成等，然而这些智能与人们的期望值相比还有很大的差距。

智能化 CAD/CAM 是通过引用专家系统、人工智能等技术，是 CAD/CAM 作业过程具有某种程度智能的系统。这样的系统能够模拟人类专家的思维方式，模拟领域专家如何运用他们的知识和经验来解决实际问题的方法与步骤，能在设

计过程中适时地给出智能化提示，告诉设计人员下一步该做什么、当前设计存在的问题、建议解决问题的途径及方案。智能 CAD 就是将人工智能技术与 CAD 技术融为一体而建立的系统，而人类的思维模型的建立和表达还有待继续予以研究和完善。

（3）CAD/CAM 技术与虚拟现实技术的集成

虚拟现实技术（Virtual Reality，VR）是利用计算机生成的一种模拟现实环境的技术，通过数据头盔（Head Mounted Display）、数据手套（Data Glove）、数据衣（Data Suit）等多种传感设备构造虚拟环境，向设计者提供诸如视觉、听觉、触觉等各种直观而又自然实时的感知。

CAD/CAM 技术与 VR 技术的有机结合，能够快速地显示设计内容、显示设计对象性能特征，以及设计对象与周围环境关系，设计者可与虚拟设计系统进行自然交互，灵活方便地修改设计，大大提高设计效果与质量。目前，VR 技术所需的软硬件设备价格还相当昂贵，技术开发的复杂性和难度还比较大，VR 技术与 CAD/CAM 技术的集成还有待进一步的发展和完善。

（4）向网络化方向发展

自 20 世纪 90 年代以来，计算机网络已成为人类社会生产和生活中越来越重要的一种工具。所谓计算机网络，就是通过通信线路和设备将分散在不同物理区域的多台计算机按照一定的网络拓扑结构连接起来，从而让计算机按照一定网络协议实现通信过程，达到资源共享的目的。现在工业生产中，产品的设计生产不再是由一个人，而是由更多的人、更多的设计团队、更多的企业之间在计算机中协同来完成产品的设计、工艺规划、加工生产等，所以分布式的计算机系统非常适用于 CAD/CAM 的工作方式。与此同时，随着 Internet 网络的发展，可针对某一特定的产品，将分散在不同区域的现有人力资源和生产设备资源迅速组合，建立动态联盟的制造体系，提高设计和生产的效率。

1.2 数控编程基础知识

数控机床是按照事先编制好的加工程序，自动对被加工零件进行加工，我们把其中的加工工艺路线、工艺要求、刀具的运动轨迹、位移量、切削参数（主轴转速、进给量、吃刀深度等）以及辅助功能（换刀、主轴正转或反转、切削液开或关等），按照数控机床规定的指令代码及程序格式编写成加工程序单，把这一程序单中的内容记录在存储介质（如磁盘等），输入到数控装置中，从而指挥机床加工零件。这种从零件图的分析到制成控制介质的全部过程就称为数控编程。

1.2.1　数控编程的主要内容与步骤

（1）数控编程的内容

数控编程的主要内容有：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；制作控制介质；校对程序及首件试切（或用模拟加工软件进行验证）。

（2）数控编程的步骤

数控编程的步骤一般如图 1-1 所示。

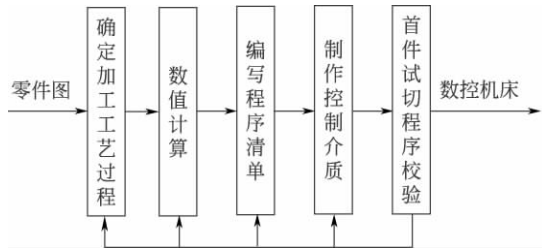


图 1-1　数控编程的步骤

① 分析图样、确定加工工艺过程　在确定加工工艺过程时，编程人员要根据图样对工件的形状、尺寸、技术要求进行分析，选择加工方案，确定加工顺序、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数等，同时还要考虑所用数控机床的指令功能，充分发挥机床的效能，加工路线要短，正确地选择对刀点、换刀点，减少换刀次数。

② 数值计算　根据零件图的几何尺寸确定工艺路线及设定坐标系，计算零件粗、精加工运动的轨迹，得到刀位数据。对于点位控制的数控机床（如数控冲床），一般不需要计算。只是当零件图样坐标系与编程坐标系不一致时，才需要对坐标进行变换。对于形状比较简单的零件（如直线和圆弧组成的零件）的轮廓加工，要计算出几何元素的起点、终点，圆弧的圆心，两几何元素的交点或切点的坐标值，有的还要计算刀具中心的运动轨迹坐标值。对于形状比较复杂的零件（如非圆曲线、曲面组成的零件），需要用直线段或圆弧段逼近，根据加工精度的要求计算出节点坐标值，这种数值计算一般要用计算机来完成。

③ 编写零件加工程序单　加工路线、工艺参数及刀位数据确定以后，编程人员根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式，逐段编写加工程序单。

④ 制作控制介质　把编制好的程序单上的内容记录在控制介质上，作为数控装置的输入信息。通过程序的传输（或阅读）装置送入数控系统等待加工。

⑤ 程序校对与首件试切　程序单和制作好的控制介质必须经过校验和试切才能正式使用。校验的方法是直接将控制介质上的内容输入到数控装置中，让机床空运转，以检验机床的运动轨迹是否正确。在有 CRT 图形显示的数控机床上，用模拟刀具与工件切削过程的方法进行校验更为方便，但这些方法只能检验运动是否正确，不能检验被加工零件的加工精度。因此，要进行零件的首件试切。当发现有加工误差时，分析误差产生的原因，找出问题所在，然后加以

修正。

1.2.2 数控编程分类

数控编程一般分为手工编程和自动编程两种。

手工编程就是从分析零件图样、确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序单、制作控制介质到程序校验都是由人工完成。对于加工形状简单、计算量小、程序不多的零件，采用手工编程较为容易，并且经济、及时。因此，在点位加工或由直线与圆弧组成的轮廓加工中，手工编程仍广泛应用。对于形状复杂的零件，特别是具有非圆曲线、列表曲线及曲面组成的零件，用手工编程就会有一定的困难，出错的概率增大，有时甚至无法编写出程序，必须用自动编程的方法编制程序。

自动编程是以计算机绘图为基础的交互式的自动编程方法，以待加工零件的CAD模型为基础的一种集加工工艺规划与数控编程于一体的自动编程方法。编程人员只需根据零件图样的要求，采用CAD/CAM集成系统的CAD功能在图形交互方式下进行定义、显示和修改，从而得到零件的几何模型，然后利用软件CAM功能自动地进行数值计算及后置处理，编写出零件加工程序单，加工程序通过直接通信的方式送入数控机床，指挥机床工作。

自动编程使得一些计算繁琐、手工编程困难或无法编写的程序都能够顺利完成。

1.3 数控自动编程的基本流程

数控编程经历了手工编程、APT语言编程和交互式图形编程3个阶段。目前最常用的就是交互式图形编程，交互式图形编程就是我们所说的利用数控自动编程软件进行数控程序的编制。由于数控自动编程软件的编程具有速度快、精度高、直观性强、使用方便、易于检查和修改等特点，已成为当今国内外数控加工中普遍采用的数控编程方法。交互式图形编程的实现是以CAD技术为前提的，而数控编程的核心是刀位点的计算，对于复杂的零件来说，其数控加工刀位点的人工计算非常困难，而CAD技术的发展为解决这个问题提供了有力的工具。利用CAD技术生成的零件的三维造型包含了数控编程所需要的完整的零件表面几何信息，而计算机软件可以针对这些几何信息进行数控加工刀位的自动计算。所以，绝大多数的数控编程软件同时具备CAD的功能，我们通常把这些软件称为CAD/CAM一体化软件。目前市场上流行的数控自动编程软件均具备了较好的交互式图形编程功能，操作过程基本类似，都具有较强的编程能力。不论采用哪

需要全本请访问 www.ertongbook.com