

CAD/CAM 模具设计与制造指导丛书

Cimatron 数控编程实用教程

王卫兵 编著

清华大学出版社

北 京

前 言

数控加工是现代制造技术的典型代表，在制造业的各个领域，如航空航天、汽车摩托车、模具、精密机械、家用电器等有着日益广泛的应用，已成为这些行业中不可缺少的加工手段。伴随着全球制造业向我国逐步转移的发展趋势，对数控加工的需求必将呈现出高速、持续的增长。

Cimatron 是业界公认的最优秀的 NC 加工软件之一，它具有一般加工所需的各项功能；尚有智能化的特点；还有刀路计算快、NC 文件短等优点；同时其编程操作简单而易用。Cimatron 软件在我国珠江三角洲地区和长江三角洲的江浙沪一带使用十分广泛，特别在模具企业中，有很高的市场占有率。

数控编程是一项实践性很强的技术，对软件的使用只是数控编程中的一个部分。虽然市场上的数控编程培训教材种类较多，但真正适用于学习交互式图形编程技术的培训教材却不多见，针对这一现状，我们组织编写了这一数控编程培训教程。本书主要讨论 Cimatron 的三轴铣削加工，按照数控编程的一般步骤和数控编程人员必须具备的知识结构安排本书内容，主要包括以下 5 部分：

第 1 部分：CAM 数控编程的一般步骤。

第 2 部分：数控编程的基础知识和数控编程工艺。

第 3 部分：Cimatron 基本操作和基本绘图命令。

第 4 部分：Cimatron 数控刀具的编制，包括各种常用刀轨形式的生成步骤、加工对象选择、程序参数设置、技术要点和加工实例。

第 5 部分：Cimatron 的刀具路径管理及模拟切削和后处理。

本书重点突出对数控编程中各个参数的讲解，说明该参数的意义、设置方法，并以大量的图形来配合辅助讲解。同时，配合精选的编程实例，使读者对 Cimatron 编程有更深一层的认识，使读者高效率、高质量地完成数控编程实用技术的学习。本书所附的光盘包含了书中所提及的所有实例，可以在学习过程中参照练习。

在本书中使用了下列标记，表示不同的技术细节，提醒读者特别注意：

 提示：对本节相关内容的技术要点进行补充，说明某些细节内容。本书中统一以斜体字表示提示。

 技巧：说明数控编程的应用技巧，使用该技巧有利于提高程序质量或者有利于提高加工效率、编程效率，本书中统一以仿宋体表示技巧。

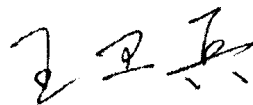
 警告：说明编程时应注意的问题，该内容必须得到足够重视，否则有可能产生严重的后果。如不能生成刀具路径，产生的程序有较高的危险性等，本书中统一以黑体表示警告。

 个人观点：表示该观点属个人意见，仅供参考，本书中统一以楷体表示个人观点。

旭日-卫兵工作室的工程师为本书提供了实例并完成部分图例绘制，浙江大学单岩教授对本书进行了审阅并提出大量修改意见，在此深表谢意。特别感谢吴丽萍小姐在本书编写过程中的支持和帮助。

旭日-卫兵工作室由杭州浙大旭日科技开发有限公司（www.cad-lab.com）与模具信息网（www.moldinfo.net）合作成立于 2002 年，依托浙江大学的技术优势与模具信息网的信息资源，并吸收众多在制造业企业中从事数控工作的工程师和技师参与，工作室主要成员包括有教授、研究生、工程师及技师、一线机床操作人员。专业编写 CAD/CAM/CAE、模具设计与制造、模制品设计与加工等方面的培训教程。秉承一贯的专业精神，旭日-卫兵工作室向广大工程技术人员和大专院校师生提供专业、实用、易学的培训书籍，为推动制造业的中国化做出自己的贡献。

由于水平有限，书中错漏之处在所难免，恳请读者对本书提出宝贵意见和建议，以便我们不断改进。旭日-卫兵工作室的网址为 <http://www.cad-lab.com/book/>，作者 Email: guarder@sohu.com。另外，在模具信息网的模具数控论坛（<http://www.moldinfo.net/bbs/>）上开设有 Cimatron 专题和数控加工专题，与各位读者进行交流。



2003 年 7 月

目 录

第 1 章 概述.....	1
1.1 基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编程基本实现过程	1
1.1.1 获得 CAD 模型.....	2
1.1.2 加工工艺分析和规划	2
1.1.3 CAD 模型完善.....	3
1.1.4 加工参数设置	4
1.1.5 生成刀具路径	4
1.1.6 刀具路径检验	4
1.1.7 后处理	4
1.2 数控程序的质量及程序员的培训	5
1.2.1 数控程序的质量	5
1.2.2 NC 程序员的要求.....	5
1.2.3 数控编程的学习	6
1.3 CAD/CAM 软件数控编程功能分析及软件简介	7
1.3.1 CAD/CAM 软件功能.....	8
1.3.2 常用 CAD/CAM 软件简介.....	8
1.3.3 Cimatron NC 模块的特点.....	9
1.4 关于本书.....	10
第 2 章 CAM 数控编程基础及加工工艺	12
2.1 数控加工基础知识.....	12
2.1.1 数控加工基本原理	12
2.1.2 数控机床	16
2.2 数控程序基础.....	20
2.2.1 数控编程发展简况	20
2.2.2 数控程序的结构	21
2.2.3 常用的数控指令	22
2.2.4 手工编程示例	23
2.3 CAM 数控加工工艺.....	26
2.3.1 数控加工的工艺特点	26
2.3.2 工艺分析和规划	27
2.3.3 CAM 自动编程的参数设置	28

2.4	数控编程的误差控制.....	49
2.4.1	刀轨计算误差	50
2.4.2	残余高度的控制	50
2.5	高速铣数控编程概述.....	54
2.5.1	高速加工的工艺设置	55
2.5.2	高速加工程序的编制要点	56
2.5.3	充分发挥 CAM 软件的高速加工特性	58
第 3 章	Cimatron 基本操作	60
3.1	Cimatron 的启动.....	60
3.2	Cimatron 的数据转换.....	63
3.3	Cimatron 工作界面介绍.....	64
3.4	Cimatron 的基本操作.....	67
3.4.1	鼠标的使用	67
3.4.2	键盘快捷键	68
3.4.3	取消命令	68
3.4.4	交谈区参数设置	69
3.4.5	如何定义作图平面	70
3.4.6	如何定义视角	73
3.4.7	如何选择物体	79
3.5	立即存取菜单功能.....	82
3.6	一般功能菜单.....	88
3.7	NC 模组的常用操作	95
第 4 章	基本绘图命令.....	98
4.1	点 (POINT)	98
4.2	直线 (LINE)	101
4.3	圆弧 (CIRCLE)	105
4.4	倒角 (CORNER)	106
4.5	修剪延伸 (TRIM)	107
4.6	补正 (OFFSET)	109
4.7	移动复制 (MOVE)	111
4.8	导向曲面 (DRIVE)	113
4.9	规则曲面 (RULED)	116
4.10	旋转曲面 (REVOL)	120
4.11	倒圆面 (FILLET)	121
4.12	修剪曲面 (TRMSRF)	127

第 5 章 2.5 轴加工	133
5.1 外形加工 (PROFILE)	133
5.1.1 外形加工的操作步骤	133
5.1.2 外形加工的轮廓定义	135
5.1.3 机械参数	141
5.1.4 程序参数设定	148
5.1.5 外形加工的技术要点	165
5.1.6 外形加工实例	165
5.2 口袋加工 (POCKET)	182
5.2.1 口袋加工的操作步骤	183
5.2.2 轮廓的定义	184
5.2.3 口袋加工的程序参数表	187
5.2.4 口袋加工的技术要点	202
5.2.5 口袋加工实例	203
5.3 钻孔加工 (DRILL)	214
5.3.1 钻孔加工的操作步骤	214
5.3.2 点的选择	215
5.3.3 钻孔加工程序参数设定	218
5.3.4 钻孔加工的技术要点	223
5.3.5 钻孔加工实例	223
第 6 章 环绕等高加工——WCUT	228
6.1 环绕等高加工的操作步骤	229
6.2 加工对象的定义	230
6.3 WCUT 的程序参数	233
6.3.1 环绕等高的走刀方式	233
6.3.2 环绕等高加工的程序参数表	234
6.3.3 环绕等高加工的程序参数设置	237
6.3.4 毛坯的建立和应用	243
6.3.5 层间铣削	248
6.4 环绕等高加工的技术要点	253
6.5 环绕等高加工的加工实例	254
第 7 章 曲面加工	265
7.1 环绕投影 (SRFPKT)	265
7.1.1 环绕投影加工的操作步骤	266
7.1.2 环绕投影加工的参数设置	266
7.1.3 环绕投影加工的技术要点	278

7.1.4	环绕投影加工实例	279
7.2	沿面切削 (SURMILL)	285
7.2.1	沿面切削的操作步骤	285
7.2.2	沿面切削的参数设置	285
7.2.3	沿面切削的技术要点	289
7.2.4	沿面切削的加工实例	289
7.3	导向线曲面铣削 (SURCLR)	291
7.3.1	导向线曲面铣削的操作步骤	292
7.3.2	导向线曲面铣削的设置	292
7.3.3	导向线曲面铣削的技术要点	296
7.3.4	导向线曲面铣削的加工实例	296
7.4	沿线投影 (SRFPRF)	298
7.4.1	沿线投影加工的操作步骤	298
7.4.2	沿线投影加工的设置	299
7.4.3	沿线投影加工的技术要点	301
7.4.4	沿线投影加工的加工实例	301
7.5	三维等距曲面铣削 (3D_STEP)	304
第 8 章	Cimatron 的路径管理	307
8.1	应用功能区	307
8.1.1	路径管理模式 (TP_MODE)	307
8.1.2	程序管理模式 (PROG_MODE)	308
8.2	程序状态区	309
8.3	路径陈列复制	310
8.4	刀具路径检视与模拟切削	312
8.5	后处理	314
附录 A	FANUC 数控系统的准备功能 G 代码和准备功能 M 代码	316
附录 B	Cimatron 13 安装指南	319
附录 C	Cimatron 3 轴铣床加工程序参数索引表	322
附录 D	建立铣床加工程序的提示项	335
附录 E	变量名及其缩写	337
参考文献		339

第 1 章 概 述

目前市场上流行的 CAD/CAM 软件种类较多,但不管采用哪一个 CAD/CAM 软件,NC 编程的基本过程及内容都是相似的。编程的思路、工艺规划、对数控程序的评价更是与所用的软件没有关系。所以学习 CAD/CAM 软件编程的过程,学习方法也有其相似之处。

1.1 基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编程 基本实现过程

数控编程技术包含了数控加工与编程、金属加工工艺、CAD/CAM 软件操作等多方面知识与经验,其主要任务是计算加工走刀中的刀位点(简称 CL 点)。根据数控加工的类型,数控编程可分为数控铣加工编程、数控车加工编程、数控电加工编程等,而数控铣加工编程又可分为 2.5 轴铣加工编程、3 轴铣加工编程和多轴(如 4 轴、5 轴)铣加工编程等。3 轴铣加工是最常用的一种加工类型,而 3 轴铣加工编程是目前应用最广泛的数控编程技术。

 **提示:** 本书中所提及的数控加工或编程,如无特别注明,均指 2.5 轴铣数控加工或编程和 3 轴铣数控加工或编程。

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。交互式图形编程就是通常所说的 CAM 软件编程。由于 CAM 软件自动编程具有速度快、精度高、直观性好、使用简便、便于检查和修改等优点,已成为目前国内外数控加工普遍采用的数控编程方法。因此,在无特别说明的情况下,数控编程一般是指交互式图形编程。交互式图形编程的实现是以 CAD 技术为前提的。数控编程的核心是刀位点计算,对于复杂的产品,其数控加工刀位点的人工计算十分困难,而 CAD 技术的发展为解决这一问题提供了有力的工具。利用 CAD 技术生成的产品三维造型包含了数控编程所需要的完整的产品表面几何信息,而计算机软件可针对这些几何信息进行数控加工刀位的自动计算。因此,绝大多数的数控编程软件同时具备 CAD 的功能,因此称为 CAD/CAM 一体化软件。

由于现有的 CAD/CAM 软件功能已相当成熟,因此使得数控编程的工作大大简化,对编程人员的技术背景、创造力的要求也大大降低,为该项技术的普及创造了有利的条件。事实上,在许多企业从事数控编程的工程师往往仅有中专甚至高中的学历。

目前市场上流行的 CAD/CAM 软件，均具备了较好的交互式图形编程功能，操作过程大同小异，编程能力差别不大。不管采用哪一种 CAD/CAM 软件，NC 编程的基本过程及内容可由图 1-1 表示。

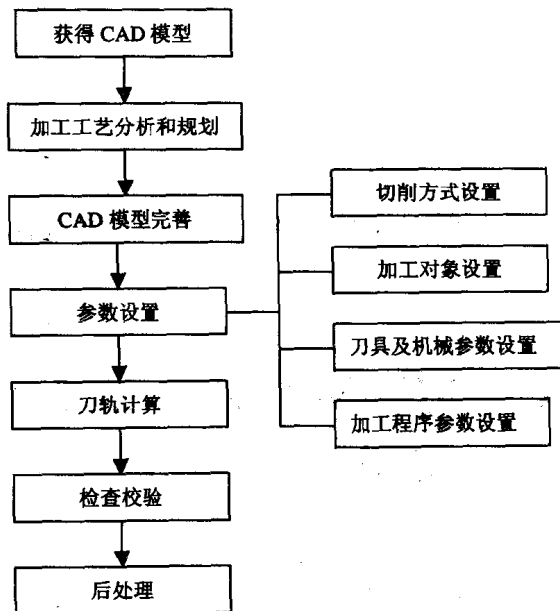


图 1-1 CAM 编程的一般步骤

1.1.1 获得 CAD 模型

CAD 模型是 NC 编程的前提和基础，任何 CAM 的程序编制必须有 CAD 模型为加工对象进行编程。获得 CAD 模型的方法通常有以下 3 种：

(1) 打开 CAD 文件。如果某一文件是已经使用 Cimatron 进行造型完成的，或者已经做过编程的文件，重新打开该文件，即可获得所需的 CAD 模型。

(2) 直接造型。Cimatron 软件本身就是一个 CAD/CAM 软件，具有很强的造型，可以进行曲面和实体的造型。对于一些不是很复杂的工件，可以在编程前直接造型。

(3) 数据转换。当模型文件是使用其他的 CAD 软件进行造型时，首先要将其转换成 Cimatron 专用的文件格式（.PFM 文件）。通过 Cimatron 的外部程序 DI，Cimatron 可以读取其他 CAD 软件所做的造型。Cimatron 提供了常用软件的数据接口，并且有标准转换接口，可以转换的文件格式如 IGS、STEP 等。

1.1.2 加工工艺分析和规划

加工工艺分析和规划的主要内容包括：

(1) 加工对象的确定: 通过对模型的分析, 确定这一工件的哪一些部位需要在数控铣床或者数控加工中心加工。数控铣的工艺适应性也是有一定限制的, 对于尖角部位, 细小的筋条等部位是不适合加工的, 应使用线切割或者电加工来加工; 而另外一些加工内容, 可能使用普通机床有更好的经济性, 如孔的加工、回转体加工, 可以使用钻床或车床进行加工。

(2) 加工区域规划: 即对加工对象进行分析, 按其形状特征、功能特征及精度、粗糙度要求将加工对象分成数个加工区域。对加工区域进行合理规划可以达到提高加工效率和加工质量的目的。



个人观点: 在进行加工对象确定和加工区域规划或分配时, 参考实物可以更直观地进行分析和规划。

(3) 加工工艺路线规划: 即从粗加工到精加工再到清根加工的流程及加工余量分配。

(4) 加工工艺和加工方式确定: 如刀具选择、加工工艺参数和切削方式(刀轨形式)选择等。

在完成工艺分析后, 应填写一张 CAM 数控加工工序表, 表中的项目应包括: 加工区域、加工性质、走刀方式、使用刀具、主轴转速、切削进给等选项。完成了工艺分析及规划可以说是完成了 CAM 编程 80% 的工作量。同时, 工艺分析的水平原则上决定了 NC 程序的质量。

1.1.3 CAD 模型完善

对 CAD 模型作适合于 CAM 程序编制的处理。由于 CAD 造型人员更多考虑零件设计的方便性和完整性, 并不顾及对 CAM 加工的影响, 所以要根据加工对象的确定及加工区域规划对模型作一些完善。通常有以下内容:

(1) 坐标系的确定。坐标系是加工的基准, 将坐标系定位于适合机床操作人员确定的位置, 同时保持坐标系的统一。

(2) 隐藏部分对加工不产生影响的曲面, 按曲面的性质进行分色或分层。这样一方面看上去更为直观清楚, 另一方面在选择加工对象时, 通过过滤方式可以快速地选择。

(3) 修补部分曲面。对于有不加工部位存在造成的曲面空缺部位, 应该补充完整。如钻孔的曲面, 存在狭小的凹槽的部位, 应该将这些曲面重新做完整, 这样获得的刀具路径规范而且安全。

(4) 增加安全曲面, 如边缘曲面进行适当的延长。

(5) 对轮廓曲线进行修整。对于数据转换获取的数据模型, 可能存在看似光滑的曲线其实存在着断点, 看似一体的曲面在连接处不能相交。通过修整或者创建轮廓线构造出最佳的加工边界曲线。

1.1.4 加工参数设置

参数设置可视为对工艺分析和规划的具体实施，它构成了利用 CAD/CAM 软件进行 NC 编程的主要操作内容，直接影响 NC 程序的生成质量。参数设置的内容较多，其中：

- (1) 切削方式设置：用于指定刀轨的类型及相关参数。
- (2) 加工对象设置：是指用户通过交互手段选择被加工的几何体或其中的加工分区、毛坯、避让区域等。
- (3) 刀具及机械参数设置：是针对每一个加工工序选择适合的加工刀具并在 CAD/CAM 软件中设置相应的机械参数，包括主轴转速、切削进给、切削液控制等。
- (4) 加工程序参数设置：包括对进退刀位置及方式、切削用量、行间距（用于控制残余高度）、加工余量、安全高度等。这是 CAM 软件参数设置中最主要的一部分内容。

1.1.5 生成刀具路径

在完成参数设置后，即可将设置结果提交 CAD/CAM 系统进行刀轨的计算。这一过程是由 CAD/CAM 软件自动完成的。

1.1.6 刀具路径检验

为确保程序的安全性，必须对生成的刀轨进行检查校验，校验的方式有：

- (1) 直接查看。通过对视角的转换：或旋转、放大、平移直接查看生成的刀具路径，适于观察其切削范围有无越界。
 - (2) 手工检查。对刀具轨迹进行逐步观察。
 - (3) 实体模拟切削，进行仿真加工。直接在计算机屏幕上观察加工效果，这个加工过程与实际机床加工十分类似。
- 对检查中发现问题的程序，应调整参数设置重新进行计算，再做检验。

1.1.7 后处理

后处理实际上是一个文本编辑处理过程，其作用是将计算出的刀轨（刀位运动轨迹）以规定的标准格式转化为 NC 代码并输出保存。

在后处理生成数控程序之后，还需要检查这个程序文件，特别对程序头及程序尾部分的语句进行检查，如有必要可以修改。这个文件可以通过传输软件传输到数控机床的控制器上，由控制器按程序语句驱动机床加工。

在上述过程中,编程人员的工作主要集中在加工工艺分析和规划、参数设置这两个阶段,其中工艺分析和规划决定了刀轨的质量,参数设置则构成了软件操作的主体。

1.2 数控程序的质量及程序员的培训

1.2.1 数控程序的质量

NC程序的质量是衡量NC程序员水平的关键指标,其判定标准可归纳为:

- (1) 完备性:即不存在加工残留区域。
- (2) 误差控制:包括插补误差控制、残余高度(表面粗糙度)控制等。
- (3) 加工效率:即在保证加工精度的前提下加工程序的执行时间。
- (4) 安全性:指程序对可能出现的让刀、漏刀、撞刀及过切等不良现象的防范措施和效果。
- (5) 工艺性:包括进退刀设置、刀具选择、加工工艺规划(如加工流程及余量分配等)、切削方式(刀轨形式选择)、接刀痕迹控制以及其他各种工艺参数(如进给速度、主轴转速、切削方向、切削深度等)的设置等。
- (6) 其他:如对机床及刀具的损耗程度、程序的规范化程度等。

在评价NC程序质量的各项指标中,有一部分存在着一定程度的矛盾。例如,残余高度决定了加工表面的光洁度,从加工质量来看,残余高度越小,加工表面质量越高,但加工效率就会降低。所以,在进行NC编程时,不应片面追求加工效率,而应综合权衡各项指标,在满足产品的质量要求及一定的加工可靠性的基础上提高加工效率。

1.2.2 NC程序员的要求

高水平的NC程序员应当具备以下的条件:

- (1) 掌握一定的基础知识,包括数控机床基本结构、NC加工基本原理、机械加工工艺及必要的CAD基础等。
- (2) 全面地理解和掌握NC编程的基本过程和关键技术。
- (3) 熟练运用一种CAD/CAM软件。
- (4) 有丰富的实际加工经验。有时,还需要掌握一些相关学科的知识和经验(如模具等)。

判别一个NC程序员水平的依据主要有以下几条:

- (1) NC程序的质量。

(2) NC 编程的工作效率。

(3) NC 编程的可靠性和规范化程度（包括工艺规划、数据文件管理、保存和交接的规范化程度等）。

为保证程序的质量和可靠性，在编程工作中应注意以下几点：

(1) 要保持严谨细致的工作作风，对每个设置的参数都应反复确认，刀轨计算完成后要进行仿真校验。

(2) NC 编程操作应规范化、模式化，即根据企业的特定条件制定出 NC 编程的技术规程，将各操作环节中具有共性的部分（如加工工艺、刀具等）模式化、规范化，可有效提高工作效率和可靠性。

(3) 对重要的加工程序应进行试切检验。

数控编程人员必须掌握数控编程的相关基础知识，这样一方面有利于学习数控编程软件中相关专业名词的理解，更为重要的是，对于数控程序的基础知识的理解可以决定所编程序的加工质量及加工效率。

1.2.3 数控编程的学习

由于 CAD/CAM 技术在国内的应用起步较晚，因此在国内制造业对数控加工高速增长的需求形势下，数控编程技术人才出现了严重短缺，数控编程技术已成为就业市场上的需求热点。

学好数控编程技术需要具备以下几个基本条件：

(1) 具有基本的学习资质，即学员具备一定的学习能力和预备知识。

(2) 接受良好的培训，包括选择好的培训机构和培训教材。

(3) 在实践中积累经验。

学习数控编程技术，要求学员首先掌握一定的预备知识和技能，包括：

(1) 基本的几何知识（高中以上即可）和机械制图基础。

(2) 基础英语（高中以上即可）。

(3) 机械加工常识。

(4) 基本的三维造型技能。

选择培训教材应考虑的因素包括：

(1) 教材的内容应适合于实际编程应用的需要，以目前广泛采用的基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编程技术为主要内容。在叙述软件操作、编程方法等实用技术的同时也应包含一定的基础知识，使读者知其然，更知其所以然。

(2) 教材的结构。数控编程技术的学习是一个分阶段不断提高的过程，因此教材的内容应按不同的学习阶段进行合理的分配。同时，从应用角度对内容进行系统的归纳和分类，便于读者从整体上理解和记忆。

数控编程的学习内容和学习过程基本可以归纳为 3 个阶段：

第1阶段：基础知识的学习。包括数控加工原理、数控程序、数控加工工艺等方面的基础知识。

第2阶段：数控编程技术的学习。在初步了解手工编程的基础上，重点学习基于CAD/CAM软件的交互式图形编程技术。

第3阶段：数控编程与加工练习，包括一定数量的实际产品的数控编程练习和实际加工练习。

同其他知识和技能的学习一样，掌握正确的学习方法对提高数控编程技术的学习效率和质量有十分重要的作用。下面是几点建议：

(1) 集中精力打歼灭战，在一个较短的时间内集中完成一个学习目标，并及时加以应用，避免进行马拉松式的学习。

(2) 对软件功能进行合理的分类，这样不仅可提高记忆效率，而且有助于从整体上把握软件功能的应用。

(3) 从一开始就注重培养规范的操作习惯，培养严谨、细致的工作作风，这一点往往比单纯学习技术更为重要。

(4) 将平时所遇到的问题、失误和学习要点记录下来，这种积累的过程就是水平不断提高的过程。

需要特别指出的是，实践经验是学好数控编程技术的重要途径，只能通过实际加工获得，这是任何一本数控加工培训教材都不可能替代的。虽然本书充分强调与实践结合，但应该说在不同的加工环境下所产生的工艺因素变化是很难用书面来表述完整的。

最后，如同学习其他技术一样，要做到“在战略上藐视敌人，在战术上重视敌人”，既要完成学习目标树立坚定的信心，同时又脚踏实地地对待每一个学习环节。

交互式图形编程技术的学习也就是我们常说的CAM编程的要点可分三个方面：

一是学习CAD/CAM软件应重点把握核心功能的学习，因为CAD/CAM软件的应用也符合所谓的“20/80原则”，即80%的应用仅需要使用20%的功能。

二是培养标准化、规范化的工作习惯。对于常用的加工工艺过程应进行标准化的参数设置，并形成标准的参数模板，在各种产品的数控编程中尽可能直接使用这些标准的参数模板，以减少操作复杂度，提高可靠性。

三是重视加工工艺的经验积累，熟悉所使用的数控机床、刀具、加工材料的特性，以便使工艺参数设置更为合理。

1.3 CAD/CAM 软件数控编程功能 分析及软件简介

CAD/CAM 软件发展到现在，已经相当成熟。各种 CAD/CAM 软件的功能十分繁杂多样，以至于其用户手册的内容往往庞大到无法作为用户的学习用书，而只能作为功能使用

的参考资料。

然而, CAD/CAM 软件的 NC 编程功能往往是面向许多种类的加工需求的, 如数控车、铣(又分 2 轴、3 轴及多轴加工)、线切割等。对于一个具体的使用者而言, 一般只需要掌握其中一种类型的数控编程即可满足实际工作的需要。例如对于模具制造企业的数控铣加工 NC 编程人员, 只要掌握 2 轴及 3 轴加工的交互式图形编程方法就可以了。而且, 大多数软件所提供的核心功能基本相同的, 只要掌握了这些基本功能, 加上良好的操作习惯和一定的工艺经验, 就完全能够编制出优良的数控程序。

1.3.1 CAD/CAM 软件功能

对于 2 轴及 3 轴数控铣加工, 我们将现有 CAD/CAM 软件所提供的基本功能组成进行如下概括的分类:

(1) 三维造型功能: 如前所述, 加工表面的几何信息是 CAD/CAM 软件进行加工刀轨计算的依据, 因此 CAD/CAM 软件至少能够提供基本的曲面造型功能。

(2) 参数管理: 参数(如加工对象、刀具参数、加工工艺参数等)的设置是交互式图形编程的主要操作内容, 因此也是 CAD/CAM 软件数控编程的主要功能组成部分。它包括参数输入、修改、管理、优化等。

(3) 刀位点计算: 根据用户设定的加工参数和加工对象计算出刀位点, 由于刀位点计算是数控编程中最重要和最复杂的工作环节, 因此它也是利用 CAD/CAM 软件进行交互式图形编程的最明显的优势。

(4) 仿真: 以图形化的方式直观、逼真地模拟加工过程, 以检验所编制的 NC 程序是否存在问题。

(5) 刀轨的编辑和修改: 提供多种编辑手段(如增加、删除、修改刀轨段等)使用户对编制的数控刀轨进行修改。

(6) 后处理: CAD/CAM 软件计算出的刀轨包含了大量刀位点的坐标值, 后处理的作用就是将这些刀位点坐标值按标准的格式“填写”到数控程序中, 得到程序主体的内容。它实际上是一个文字处理过程。当然, 还需要在程序的开头和结尾加上一些辅助指令, 如在程序开始加上冷却液开、在程序结束部分加上冷却液关等。

(7) 工艺文档生成: 将机床操作人员所需要的工艺信息(如程序名称、加工次序、刀具参数等)编写成标准、规范的文档。这一功能虽然简单, 但它对保证编程人员与机床操作人员的配合, 避免失误有重要的作用。

1.3.2 常用 CAD/CAM 软件简介

目前 CAD/CAM 软件种类繁多, 基本上都能够很好地承担交互式图形编程的任务。这里仅对最常见的 3 种软件进行简单的介绍。

(1) Unigraphics (UG): 属于 EDS 公司, 是世界上处于领先地位的、最著名的几种大型 CAD/CAM 软件之一, 具有强大的数控编程能力, 功能繁多。

(2) Cimatron: 属于 1982 年成立的以色列 Cimatron 公司, 该软件具有功能齐全、操作简便、学习简单、经济实用的特点, 受到小型加工企业特别是模具企业的欢迎, 在我国有广泛的应用。

(3) MasterCAM: 是美国 CNC Software 公司研制开发的 CAD/CAM 系统, 它与 Cimatron 相似, 也是一种简单易学、经济实用的小型 CAD/CAM 软件。

其他常用的 CAD/CAM 软件还包括 DASAL 公司的 CATIA、DELCAM 公司的 POWERMILL、PTC 公司的 PRO/E、HZS 公司的 SPACE-E 等, 本书就不再一一介绍了。

1.3.3 Cimatron NC 模块的特点

Cimatron CAD/CAM 工作环境是特别针对模具行业设计开发的。Cimatron 的数控加工技术一直处于世界领先的地位, 被世界普遍认为是最杰出的数控编程设计系统之一。它除了提供加工领域中全面的加工应用, 如数控铣削 (2.5~5 轴)、数控钻孔、数控车、数控冲裁、数控线切割和电极设计等, 还为用户提供了代表当今最领先的加工技术——基于知识的加工、自动化 NC 和基于毛坯残留知识三大技术为基础的智能 NC。智能 NC 标志着 Cimatron 在加工领域的重大技术突破。智能 NC 方式为用户实现了单击一键即可完成 NC 加工。当用户每次完成了一个特定工作中的加工过程定义时, 只要简单地把该加工过程储存为技术模板即可。下一次用户若有加工工艺相似的零件要处理时, 刀具轨迹会自动生成。毛坯残留知识允许用户在任何时间检查实际的毛坯余量, 用户还可以针对自己采用的加工策略和加工目的对加工轨迹进行裁剪。毛坯残留知识可以对照用户新的几何模型, 调整刀具轨迹的生成, 进行刀具轨迹的优化。优化包括去除空走刀, 自动调整进给率, 去除尖角来产生平缓的刀具运动, 或在夹头干涉的情况下, 自动分割刀具轨迹以避免干涉, 自动建议新的加工刀具来加工未加工到的区域等。Cimatron 提供了可靠而直观的轨迹校验和仿真模拟, 支持每一加工工序或零件/毛坯的比较分析, 它以彩色图的形式显示当前加工结果及其余量, 具有可视化的加工的仿真模拟, 功能强大, 使用户可以检查加工过程的合理性与正确性, 可以任意剖切旋转来观察加工的结果, 还可以进行仿真校验, 定量分析, 加工工时估算等, 用户也可以手工单步检查生成的刀具轨迹。

Cimatron 提供了灵活方便的轨迹编辑方法, 可以对已有的刀具轨迹进行复制 (阵列复制和旋转复制), 还可以用手工的方式对生成的刀具轨迹进行方便而灵活的修改: 删除选择的走刀步骤, 裁减选择的走刀步骤和增加用户指定的走刀, 对刀具轨迹进行投影等。为满足对加工质量和效率日益提高的要求, Cimatron 提供了高速铣削技术, 如 NURBS 插补 G 代码, 尖角部位的圆滑走刀, 从外到内的毛坯光滑环切, 刀具载荷的分析与自动优化等其他工具。

Cimatron 支持 2.5 轴、3 轴、4 轴、5 轴的数控机床程序编制, 以最为常用的 3 轴铣床

为例, Cimatron 提供了多种刀轨形式, 其刀轨形式如表 1-1 所示。

表 1-1 Cimatron 3 轴铣床刀轨形式

刀轨形式	特 点
DRILL (钻孔加工)	生成孔加工刀具路径, 包括钻孔、镗孔和攻牙等
PROFILE (外形加工)	生成沿轮廓线进行铣削的刀具路径
POCKET (口袋加工)	生成用于切除封闭轮廓所包围材料的刀具路径
SURMILL (沿面切削)	生成沿曲面流线方向加工刀具路径
SURCLR (导向线曲面加工)	生成两对应轮廓投影到曲面上形成的加工区域的加工刀具路径
SRFPRF (轮廓投影)	生成轮廓线投影到曲面上的加工刀具路径
SRFPKT (环绕投影)	生成封闭轮廓限定范围内投影到曲面的加工刀具路径
3D_STEP (三维等距)	生成在三维曲面上等步距的加工刀具路径
REMACHIN (清角)	生成用于清除因使用较大直径刀具加工所残留材料的精加工刀具路径
ZCUT (平行等高)	沿等高线生成一组相互平行切削加工刀具路径
WCUT (环绕等高)	沿等高线环绕曲面的生成加工刀具路径
PLUNG MILL (插式加工)	依曲面形态, 在 Z 方向下降生成加工刀具路径
CURVE_MX (沿线多轴)	生成沿空间曲线的加工刀具路径
RULED_MX (规则多轴)	生成两组对应轮廓线间均匀分布的刀具路径
DYNMC_MX (动态多轴)	生成两组存在刀路间连接动态过渡的刀具路径

各种加工方式都有其自身的特点, 因此也有各自不同的最佳适用范围。同时各种不同的加工方式, 其加工对象的选择, 参数的设置也各不一样。

Cimatron it 当前最新版本为 13.0, Cimatron 最近主推 Cimatron E, 最新版本为 Cimatron E4, 与 Cimatron it 相比, Cimatron E 是真正在 Windows 下开发的软件产品, 其操作界面更加友好, 更加便于操作。它集成的 PDM 可保证所有工具设计和加工过程中的数据, 被有效地跟踪和自动管理。目前应用比较普遍的 Cimatron 软件版本有 Cimatron it10.0、10.6、11.0、12.0、12.6, 在操作上与 13.0 基本相同。本书以 Cimatron it 13 为主进行讲述。

1.4 关于本书

尽管数控加工在国内已呈普及的趋势, 各种数控加工教材也不断推出。但真正与当前数控加工应用技术现状相适应的实用数控加工培训教材却不多见。

总体上看, 目前 CAD/CAM 类书籍可分成两大类:

(1) 应用基础类。这类书籍的内容偏重技术基础。教学内容与目前的技术水平和应用需求存在脱节的现象, 许多内容比较陈旧, 未体现出 CAD/CAM 的发展现状和应用实