

21 21 世纪全国高校应用人才培养机电类规划教材



模具CAD/CAM

何 涛 主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TG76-39
72

21 世纪全国高校应用人才培养机电类规划教材

模具 CAD/CAM

何 涛 主编

曹育红 范 云

温 薇 崔丽华 参编

陈玉海 王仁忠



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

随着 CAD/CAM 技术在模具工业应用范围的不断扩展, 模具加工制造已经开始由主要依赖经验指导的盲目性走向依靠科学分析的自主性。采用模具 CAD/CAM 技术极大地缩短了产品开发和模具设计与加工周期, 提高了模具设计的一次性成功率, 从而快速适应了市场, 提高了企业竞争优势。CAD/CAM 技术不仅是模具生产革命化的措施, 也是模具技术发展的一个显著特点。

本书是一本介绍模具 CAD/CAM 技术的教材。它除了系统地阐述了模具 CAD/CAM 技术的基本概念、方法及相关技术, 还介绍了 CAD/CAM 技术在一些典型模具设计、制造中的应用, 从而使读者能较快地掌握模具 CAD/CAM 的内涵和关键。本书适合作机电类模具设计与制造大中专教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具 CAD/CAM/何涛主编. —北京: 北京大学出版社, 2006.8
(21 世纪全国高校应用人才培养机电类规划教材)
ISBN 7-301-09307-1

I. 模… II. 何… III. ① 模具—计算机辅助设计—高等学校—教材 ② 模具—计算机辅助制造—高等学校—教材 IV. TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 069402 号

书 名: 模具 CAD/CAM

著作责任者: 何涛 主编

责任编辑: 黄庆生 刘标

标准书号: ISBN 7-301-09307-1/TH·0033

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765013 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 河北涿县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 15.5 印张 320 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 24.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024; 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

模具是现代加工制造中不可缺少的工艺设备，许多产品的开发和生产在很大程度上都依赖于模具生产，特别是汽车、轻工、电子、航空等行业尤为突出。

模具相对于一般产品来说属于工具范畴，精度高、结构复杂，并有较高的材质要求，这使得模具的设计与制造相当困难。用传统的手工方法设计模具和用常规的设备加工模具时，模具设计与加工的质量完全取决于人的经验，且要经过反复试切才能取得成功，因此设计、制造周期长，质量低。

为了更好地解决模具设计、制造中遇到的这些问题，人们除了从理论上进一步研究模具设计、制造的内在机理外，也渴望能在计算机上用一种更加有效的直观手段显示模具设计、制造过程，这便形成了模具 CAD/CAM 的萌芽。

随着 CAD/CAM 技术在模具工业应用范围的不断扩展，模具加工制造已经开始由主要依赖经验指导的盲目性走向依靠科学分析的自主性。采用模具 CAD/CAM 技术极大地缩短了产品开发和模具设计与加工周期，提高了模具设计的一次性成功率，从而快速适应了市场，提高了企业竞争优势。CAD/CAM 技术不仅是模具生产革命化的措施，也是模具技术发展的一个显著特点。

本书是一本介绍模具 CAD/CAM 技术的教材。它除了系统地阐述了模具 CAD/CAM 技术的基本概念、方法及相关技术，还介绍了 CAD/CAM 技术在一些典型模具设计、制造中的应用，从而使读者能较快地掌握模具 CAD/CAM 的内涵和关键。

本书由北京科技大学的 7 位有经验的老师、博士编写：何涛（统稿及第 1、4、7 章的编写）、曹育红（第 5 章的编写）、范云（第 6 章的编写）、温薇（第 2 章的编写）、崔丽华（第 3 章的编写）、陈玉海（第 8 章 8.1 的编写）、王仁忠（第 8 章 8.2 的编写）。

黄庆生先生细心审阅了全书，并提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中，国家高效零件轧制研究与推广中心王宝雨研究员、刘晋平副研究员给予了很大的鼓励，并提出了许多宝贵的意见，在此表示诚挚的谢意。感谢所有参阅资料的作者，他们的精辟理论、创新思想、优秀技术、成功应用为本书增色不少。同时要感谢北京大学出版社在本书出版过程中给予的帮助和支持。

由于作者的水平有限，加之时间仓促，书中纰漏在所难免，恳请广大师生、读者不吝赐教！

编 者

2006 年 6 月

目 录

第 1 章 模具 CAD/CAM 概论.....	1
1.1 CAD/CAM 的基本概念.....	1
1.1.1 CAD/CAM 的概念.....	1
1.1.2 CAD/CAM 技术的发展概况.....	3
1.1.3 CAD/CAM 系统的主要任务.....	5
1.2 CAD/CAM 技术在模具工业中的应用.....	7
1.2.1 CAD/CAM 在现代模具技术中的作用.....	7
1.2.2 模具 CAD/CAM 的优越性.....	11
1.2.3 国内模具 CAD/CAM 技术开展情况.....	11
1.3 模具 CAD/CAM 发展趋势.....	12
1.4 思考题.....	15
第 2 章 模具 CAD/CAM 系统组成.....	16
2.1 模具 CAD/CAM 系统的硬件.....	16
2.1.1 硬件系统的配置.....	27
2.1.2 硬件系统的选用原则.....	29
2.2 模具 CAD/CAM 系统的软件.....	30
2.2.1 国内外流行的 CAD/CAM 软件特点及应用情况.....	33
2.2.2 软件系统的选用原则.....	35
2.3 思考题.....	35
第 3 章 CAD 技术.....	36
3.1 概述.....	36
3.1.1 CAD 的概念.....	36
3.1.2 CAD 的发展历程.....	36
3.1.3 特征建模技术.....	37
3.1.4 参数化设计和变量化设计.....	39
3.1.5 CAD 技术的发展趋势.....	41

3.2	几何造型技术	43
3.2.1	空间几何元素的定义	44
3.2.2	几何信息与拓扑信息	47
3.2.3	三维形体的表示	49
3.2.4	实体造型的数据结构	52
3.3	CAD/CAM 几何造型开发平台	55
3.3.1	ACIS 的类	56
3.3.2	ACIS 的功能	58
3.3.3	ACIS 的特色	58
3.3.4	基于 ACIS 的应用系统开发模式	59
3.3.5	AMFC 接口	60
3.3.6	扩展 ACIS	61
3.4	图形变换	62
3.4.1	图形变换的方法	62
3.4.2	基本变换	62
3.4.3	矩阵表达式和齐次坐标	66
3.4.4	复合变换	68
3.4.5	三维几何变换	71
3.4.6	一般三维旋转	75
3.5	思考题	76
第 4 章	CAPP 技术	77
4.1	概述	77
4.1.1	CAPP 的基本概念	77
4.1.2	CAPP 的基本结构	79
4.1.3	CAPP 的类型	80
4.2	工艺设计标准化	82
4.2.1	成组技术与成组工艺的概念	82
4.2.2	成组工艺设计方法	83
4.2.3	零件分类编码系统	84
4.3	CAPP 的使能技术	89
4.3.1	零件信息的描述与输入	89
4.3.2	CAPP 的输出	92
4.3.3	工艺决策	93
4.4	CAPP 在模具制造中的应用	100
4.4.1	系统的总体结构	101

4.4.2	模具 CAPP 系统功能介绍	102
4.4.3	系统数据库设计技术	104
4.4.4	混合式工艺设计技术	105
4.5	思考题	108
第 5 章	CAM 技术	109
5.1	制造与制造系统	109
5.1.1	制造的含义	109
5.1.2	制造系统的含义	110
5.1.3	制造系统的概念模型	110
5.1.4	制造系统的特征	113
5.2	CAM 概论	114
5.2.1	CAM 的概念	114
5.2.2	CAM 的发展概况	115
5.2.3	CAM 的内容及工作流程	115
5.3	NC 加工技术概述	118
5.3.1	NC 加工及其特点	119
5.3.2	NC 机床的组成	120
5.3.3	NC 系统的分类	122
5.3.4	模具 NC 加工的工艺要求	125
5.4	NC 加工编程	127
5.4.1	NC 加工编程的概念	128
5.4.2	NC 编程的内容和步骤	128
5.4.3	插补原理	129
5.4.4	NC 加工程序格式	131
5.4.5	常用 G 代码	133
5.4.6	机床坐标系	138
5.4.7	编程坐标系	142
5.5	NC 加工仿真	143
5.5.1	NC 加工仿真体系结构和功能设计	143
5.5.2	几何仿真	144
5.5.3	材料切除过程仿真技术	146
5.5.4	精度检验	153
5.5.5	干涉碰撞检验	156
5.6	思考题	158

第 6 章 CAD/CAM 集成系统	159
6.1 CAD/CAM 集成的概念.....	159
6.1.1 CAD/CAM 集成的涵义.....	160
6.1.2 CAD/CAM 系统集成原则.....	161
6.1.3 CAD/CAM 集成系统的基本组成.....	161
6.1.4 CAD/CAM 集成系统的体系结构.....	164
6.2 CAD/CAM 集成的方式.....	166
6.2.1 基于专用接口的 CAD/CAM 集成.....	166
6.2.2 基于专用标准数据格式的 CAD/CAM 集成.....	167
6.2.3 PDM 平台下基于 STEP 的 CAD/CAM 集成.....	167
6.2.4 基于工程数据库的 CAD/CAM 集成.....	168
6.3 产品数据模型交换标准 STEP.....	169
6.3.1 STEP 结构.....	170
6.3.2 STEP 工具及其应用.....	176
6.4 产品数据管理.....	177
6.4.1 PDM 的含义.....	178
6.4.2 PDM 的发展.....	179
6.4.3 PDM 的功能.....	180
6.4.4 PDM 的体系结构.....	183
6.4.5 PDM 的发展趋势.....	186
6.5 思考题.....	188
第 7 章 模具设计反向工程	189
7.1 反向工程的概述.....	189
7.2 反向工程的数据采集技术.....	191
7.2.1 接触式测量方法.....	192
7.2.2 非接触式测量方法.....	193
7.2.3 逐层扫描法.....	195
7.2.4 数据采集过程要解决的工程问题.....	196
7.3 反向工程的数据处理技术.....	197
7.3.1 点云模型预处理.....	197
7.3.2 模型重构的曲面构造方案.....	198
7.3.3 几何模型重构.....	199
7.4 反向工程在模具制造业中的应用.....	201
7.5 思考题.....	203

第 8 章 典型模具 CAD/CAM.....	204
8.1 注射模 CAD/CAM.....	204
8.1.1 注射模 CAD/CAM 的特点.....	205
8.1.2 注射模 CAD/CAM 的工作内容及设计流程.....	206
8.1.3 注射模结构 CAD.....	208
8.1.4 浇注系统的交互设计.....	213
8.1.5 冷却系统设计.....	214
8.1.6 模具零件强度和刚度校核.....	215
8.2 冲模的 CAD/CAM.....	216
8.2.1 冲模 CAD/CAM 的功能与流程.....	217
8.2.2 冲模 CAD/CAM 的基本功能.....	218
8.2.3 冲裁工艺分析计算.....	220
8.2.4 冲裁模具结构设计.....	224
8.2.5 冲裁模 CAM.....	228
8.3 思考题.....	228
附录 I 准备功能 G 指令.....	229
附录 II 辅助功能 M 指令.....	232
附录 III 缩略词.....	234
参考文献.....	236

第 1 章 模具 CAD/CAM 概论

在现代化工业生产中，60%~90%的工业产品需要使用模具加工，模具工业已经成为工业发展的基础，许多新产品的开发和生产在很大程度上都依赖于模具生产，特别是汽车、轻工、电子、航空等行业尤为突出。而作为制造业基础的机械行业，据国际生产技术协会预测，21 世纪机械制造工业的零件，其粗加工的 75%和精加工的 50%都将依靠模具完成。因此，模具工业已经成为国民经济的重要基础工业。

传统的模具制造技术主要是根据设计图样，用仿形加工、成形磨削以及电火花加工方法来制造模具。近年来，随着计算机网络的高速发展，引发了一场通信技术革命，并构建了一个全球范围的虚拟环境，极大缩短了人与人之间的距离。计算机技术、自动化技术、网络通信技术，这 3 者的有机结合极大地推动了模具制造的发展。

利用模具 CAD/CAM 技术可以有效地对整个模具设计制造过程进行预测评估，迅速获得样品，有利于争取订单、赢得客户、同时节省大量的模具试制时间和费用，进而减少模具返修率、缩短生产周期、降低模具成本。

1.1 CAD/CAM 的基本概念

1.1.1 CAD/CAM 的概念

计算机辅助设计（CAD，Computer Aided Design）是计算机系统在工程和产品设计的各个阶段中，为设计人员提供各种快速、有效的工具和手段，加快和优化设计过程和设计结果，以达到最佳设计效果的一种技术。

任何设计都表现为一种过程，从设计过程的总体结构来看，计算机辅助设计的过程与传统的设计方法和思路大致是相仿的，但是，从设计的手段和周期来看，采用 CAD 系统的设计要简捷、方便、灵活、有效得多。图 1-1 给出了计算机辅助设计的过程和相应的计算机辅助手段。可以看到，在设计各个阶段都有功能强大的计算机辅助工具加以支持，设计人员的工作仅仅是创造构思和指挥，计算机系统将替代人的大部分工作。目前，计算机系统主要参与和完成的设计工作可归纳如下：

(1) 提供丰富的设计需求信息。计算机系统，特别是网络系统可以为设计人员提供有

关客户的需求、成本核算、原材料、生产装备、生产状况等信息，这些数据为设计人员更好地设计零件和产品将产生积极的影响。

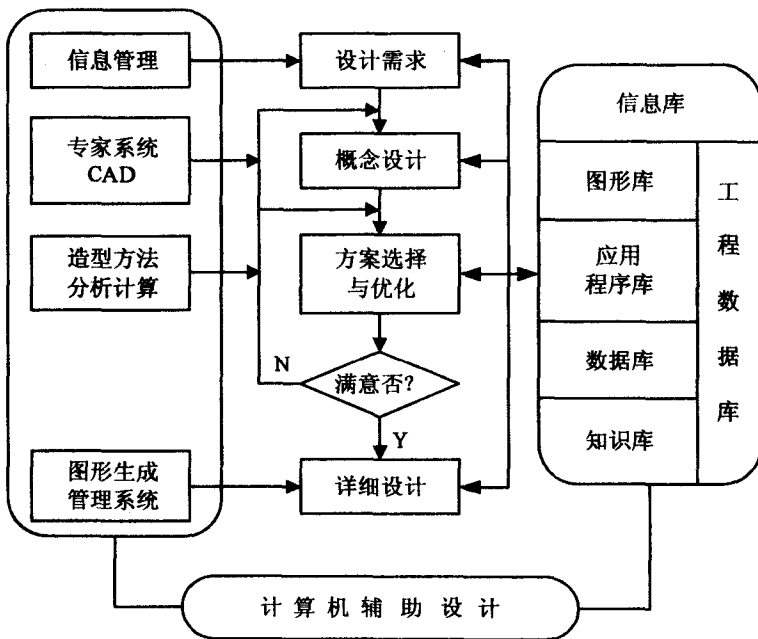


图 1-1 计算机辅助设计过程

(2) 辅助方案设计。

(3) 几何建模和工程分析。利用 CAD 系统丰富多样的造型工具，精确快速地建立产品的几何模型，同时对模型进行科学的分析计算以达到最佳的设计结果。

(4) 设计文档的辅助生成。

(5) 工程数据的管理。

计算机辅助制造（CAM, Computer Aided Manufacturing）是利用计算机对制造过程进行设计、管理和控制。一般说来，计算机辅助制造包括工艺过程设计、数控编程和机器人编程等内容；其系统一般具有数据转换和过程自动化两方面的功能，工艺过程主要是确定加工方法、加工顺序、时间安排、所使用的设备、工具的设计与生产以及材料处理等。现在，计算机辅助工艺设计（CAPP, Computer Aided Process Planning）已形成了一门独立的技术分支。当采用数控（NC, Numerical Control）机床加工零件时，需要编制 NC 机床的控制程序；计算机辅助编制 NC 程序，不但效率高，而且错误率很低。在自动化的生产线上，采用机器人完成装配和传达等任务。

由于制造业产品信息相当复杂，要实现企业生产自动化，在分离的 CAD、CAM 之间

还需要大量的人工工作，这给企业自动化生产带来了极大的障碍。CAD、CAM 的集成是解决这个障碍的必然趋势。狭义的 CAD/CAM 是指产品设计 (CAD)、工程分析 (CAE)、工艺过程设计 (CAPP)、数控加工编程 (NC)、分布式数据库及系统接口和数据交换标准的组合。而广义的 CAD/CAM 则有更加广泛的内容，它实现了从产品设计到制造的所有功能。

1.1.2 CAD/CAM 技术的发展概况

1963 年美国教授 I.E.Suterland 成功研制出了世界上第一套实时交互的计算机图形系统 SKETCHPAD，它标志着 CAD 技术的诞生。在 1952 年美国 MIT 试制成功了世界上第一台数控铣床，解决了复杂零件的加工自动化，促使了数控编程技术的发展。20 世纪 50 年代中期，MIT 研制开发了自动编程语言 (APT, Automatically Programmed Tools)，提出了被加工零件的描述、刀具轨迹的计算、后置处理及数控指令自动生成等 CAM 基本技术。从此以后，CAD 技术与 CAM 技术便相辅相成地发展起来，在过去的几十年中，CAD/CAM 技术经历了如下 5 个主要发展阶段。

1. 20 世纪 50 年代至 20 世纪 60 年代的兴起阶段

自 1946 年世界上第一台电子计算机在美国问世后，人们就不断地将计算机技术引入机械设计、制造领域。到 20 世纪 50 年代中期，计算机主要处理科学计算；尽管当时已在计算机中配置了显示器，但由于计算机图形显示技术的理论还没有形成，只用于字符的显示，不具备人机交互功能。1951 年，美国麻省理工学院研究成功第一台三坐标数控铣床，并开始着手研制数控自动编程系统 APT。当时在美国学习的奥地利人 H.Josph.Gerber 根据数控加工原理和方法为波音飞机制造公司研制出了世界上第一台平板绘图机。1959 年美国的 Calcomp 公司根据打印机的原理研制出世界上第一台滚筒式绘图机，从而开创了由计算机辅助绘图仪代替人工绘图的历史。

计算机、自动绘图机、光笔、图形显示器等设备的问世和发展，及图形数据处理方法的深入研究，促进了 CAD/CAM 技术的形成。在经历了理论探讨、设备研制和简单 CAD 系统的实现及某些方面的实际应用研究等几个阶段后，CAD 技术开始形成。

2. 20 世纪 60 年代前期的研制试验阶段

交互式图形生成的出现，促使 CAD 技术迅速发展。20 世纪 60 年代中期后，美国的一些大公司都十分重视这一高新技术。例如，美国的 IBM 公司开发了以大型机为基础的 CAD/CAM 系统，具有绘图、数控编程和强度分析等功能；美国通用汽车公司研制了 DAC-1 系统，用于汽车车身和外形设计。还有洛克希德公司的 CADAM 等。此外，英国剑桥大学等也开展了 CAD 方面的研究工作。在制造领域，1962 年在机床数控技术的基础上研制成

功了第一台工业机器人，实现了物料搬运的自动化；1966年出现了用大型通用计算机直接控制多台数控机床的 DNC 系统。这一时期的 CAD/CAM 系统的共同缺点是规模庞大且价格昂贵。

3. 20 世纪 60 年代中期到 20 世纪 70 年代中期是商品化阶段

随着计算机硬件的发展，以小型机为主机的 CAD 系统进入市场，针对某个特定问题的 CAD 成套系统蓬勃发展。这种成套系统由 16 位小型机、图形输入设备、显示装置以及绘图机等硬件与相应的应用软件配套而成，通常也称为交钥匙系统（Turnkey system）。与此同时，为了适应设计和加工的要求。1967 年，英国的莫林公司建造了一条由计算机集中控制的自动化制造系统，包括 6 台加工中心和 1 条由计算机控制的自动输送线，可进行 24 小时连续加工，并用计算机编制 NC 程序和作业计划、统计报表。20 世纪 70 年代初，美国的辛辛那提公司研制了一套 FMS 系统，即柔性制造系统。

4. 20 世纪 80 年代迅速发展的阶段

超大规模集成电路的出现，使计算机硬件成本大幅度下降，计算机外围设备（例如彩色高分辨率图形显示器、大型数字化仪、自动绘图机等品种齐全的输入输出装置）已成系列产品，为推进 CAD/CAM 技术向高水平发展提供了必要的条件。同时，相应的软件技术如数据库技术、有限元分析技术、优化设计技术等也迅速提高，这些商品化软件的出现促进了 CAD/CAM 技术的推广及应用，使其从大中型企业向小型企业发展，从发达国家向发展中国家发展；从用于产品设计发展到用于工程设计。在此期间，还相应发展了一些与制造过程相关的计算机辅助技术，如计算机辅助工艺过程设计（CAPP），计算机辅助工装设计、计算机辅助质量控制（CAQ）等。然而作为单项技术，只能带来局部效益。20 世纪 80 年代以后，人们在上述计算机辅助技术的基础上，致力于计算机集成制造系统的研究，这是一种总体高效益、高柔性的智能化制造系统。表 1-1 所示为美国在 20 世纪 80 年代 CAD/CAM 系统的增长情况。

表 1-1 美国在 20 世纪 80 年代 CAD/CAM 系统的增长情况

时间(年)	估计系统的增长率 (%)	一年内安装的系统总数	一年内安装的工作站总数	累计安装的系统总数	累计安装的工作站总数
1979				3200	12 000
1980	40	1200	4500	4400	16 500
1981	40	1600	6300	6000	22 800
1982	40	2200	8800	8200	31 600
1983	40	3000	12 300	11 200	43 900
1984	40	4200	17 200	15 400	61 100

(续表)

时间(年)	估计系统的增长率(%)	一年内安装的系统总数	一年内安装的工作站总数	累计安装的系统总数	累计安装的工作站总数
1985	35	5600	19 600	21 000	80 700
1986	30	5700	26 200	28 500	106 900
1987	30	10 000	35 000	38 500	141 900
1988	30	13 000	42 200	51 500	184 100
1989	30	16 900	54 900	68 400	239 000

资料来源: Machover Associates 公司

5. 20 世纪 90 年代后的成熟壮大阶段

20 世纪 90 年代, CAD/CAM 技术已不再停留于过去单一模式、单一功能、单一领域的水平, 而向着标准化、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, 提高产品的竞争能力, 就需在企业内、集团内的 CAD/CAM 系统之间或各个子系统之间进行统一的数据交换, 为此, 一些工业先进国家和国际标准化组织都在从事标准接口的开发工作。与此同时, 面向对象技术、并行工程思想、分布式环境技术及人工智能技术的研究, 都有利于 CAD/CAM 技术向高水平发展。

我国 CAD/CAM 技术的引进是从 20 世纪 60 年代开始的, 最早起步于航空工业, 最近十几年发展很快, 现已在机械、电子、建筑、服装等行业逐步进入实用阶段。一方面, 直接引进一些国际水平的商品化软件投入实际应用, 如 I-DEAS、Pro/ENGINEERING、UG 等, 另一方面, 很多研究单位自行开发 CAD/CAM 系统, 有些已达到国际先进水平, 进一步促进了 CAD/CAM 技术在我国的应用和发展。

1.1.3 CAD/CAM 系统的主要任务

CAD/CAM 系统需要对产品设计、制造全过程的信息进行处理, 包括设计、制造中的数值计算、设计分析、绘图、工程数据库的管理、工艺设计、加工仿真等各个方面。

1. 几何造型

在产品构思阶段, 系统能够描述基本几何实体及实体间的关系; 能够提供基本体素, 以便为用户提供所设计产品的几何形状、大小, 进行零件的结构设计以及零部件的装配; 系统还应能动态地显示三维图形, 解决三维几何建模中复杂的空间布局问题; 同时, 还能进行消隐、彩色浓淡处理等。利用几何建模的功能, 用户不仅能构造各种产品的几何模型, 还能够随时地观察、修改模型, 或检验零部件装配的结果。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,

例如，集合建模所定义的几何模型的信息可提供有限元分析、绘图、仿真、加工等模块调用。在几何建模模块内，不仅能构造规则形状的产品模型，对于复杂表面的造型，系统可采用曲面造型或雕塑曲面造型的方法，根据给定的离散数据或有关具体工程问题的边界条件来定义、生成、控制和处理过渡曲面，或用扫描的方法得到扫视体、建立曲面的模型。

2. 计算分析

CAD/CAM 系统构造了产品的形状模型之后，能够根据产品几何形状，计算出相应的体积、表面积、质量、重心位置、转动惯量等几何特性的物理特性，为系统进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数。另一方面，CAD/CAM 中的结构分析需进行应力、温度、位移等计算；图形处理中变换矩阵的运算；体素之间的交、并、差计算等；在工艺规程设计中工艺参数的计算。因此，要求 CAD/CAM 系统对各类计算分析的算法正确、全面，而且数据计算量大，还要有较高的计算精度。

3. 工程绘图

产品设计的结果往往是机械图的形式，CAD/CAM 中的某些中间结果也是通过图形表达的。CAD/CAM 系统一方面应具备从几何造型的三维图形直接向二维图形转换的功能，另一方面，还需有处理二维图形的能力，包括基本图元的生成，标注尺寸，图形的编辑（比例变换、平移、图形复制、图形删除等）以及显示控制、附加技术条件等功能，保证生成合乎生产实际要求，也符合国家标准的机械图。

4. 结构分析

CAD/CAM 系统中结构分析常用的方法是有限元法，这是一种数值近似解方法，用来解决结构形状比较复杂的零件的静态、动态特性；强度、振动、热变形、磁场、温度强度、应力分布状态等计算分析。在进行静、动态特性分析计算之前，系统根据产品结构特点，划分网格、标出单元号、节点号、并将划分的结果显示在屏幕上；进行分析计算后，将计算结果以图形、文件的形式输出，例如应力分布图、温度场分布图、位移变形曲线等，使用户方便、直观地看到分析的结果。

5. 优化设计

CAD/CAM 系统应具有优化求解的功能，也就是在某些条件的限制下，使产品或工程设计中的预定指标达到最优。优化包括总体方案的优化、产品零件结构的优化、工艺参数的优化等。

6. (CAPP)

设计的目的是为了加工制造，而工艺设计是为产品的加工制造提供指导性的文件。因

此, CAPP 是 CAD 与 CAM 的中间环节。CAPP 系统应当根据建模后生成的产品信息及制造要求, 自动决策出加工该产品所采用的加工方法、加工步骤、加工设备以及加工参数。CAPP 的设计结果一方面能被生产实际使用, 生成工艺卡片文件, 另一方面能直接输出一些信息, 为 CAM 中的 NC 自动编程系统接收、识别, 直接转换为刀位文件。

7. NC 自动编程

在分析零件图和制定出零件的 NC 加工方案之后, 采用专门的 NC 加工语言(如 APT)编制数控加工程序。其基本步骤通常包括以下几种。

- (1) 编程: 手工或计算机辅助编程, 生成源程序。
- (2) 前处理: 将源程序翻译成可执行的计算机指令, 经计算, 求出刀位文件。
- (3) 后处理: 将刀位文件转换成零件的数控加工程序。

8. 模拟仿真

在 CAD/CAM 系统内部, 建立一个工程设计的实际系统模型, 例如, 机构、机械手、机器人等。通过运行仿真软件, 代替、模拟真实系统的运行, 用以预测产品的性能、产品的制造过程和产品的可制造性。如数控加工仿真系统, 从软件上实现零件试切的加工模拟, 避免了现场调试带来的人力、物力的投入以及加工设备损坏的风险, 减少了制造费用, 缩短了产品设计周期。通常有加工轨迹仿真, 机构运动学模拟, 机器人仿真, 工件、刀具、机床的碰撞、干涉检验等。

9. 工程数据库

由于 CAD/CAM 系统中数据量大、种类繁多, 既有几何图形数据, 又有属性语义数据; 既有产品定义数据, 又有生产控制数据; 既有静态标准数据, 又有动态过程数据, 结构还相当复杂, 因此, CAD/CAM 系统应能提供有效的管理手段, 支持工程设计与制造全过程的信息流动与交换。通常, CAD/CAM 系统采用工程数据库系统作为统一的数据环境, 实现各种工程数据库的管理。

1.2 CAD/CAM 技术在模具工业中的应用

1.2.1 CAD/CAM 在现代模具技术中的作用

模具对于一般产品来说属于工具范畴, 精度高, 结构复杂, 并有较高的材质要求, 使得模具的设计与制造相当困难。此外, 以模具为工具的成形过程的封闭性和某些类型的成

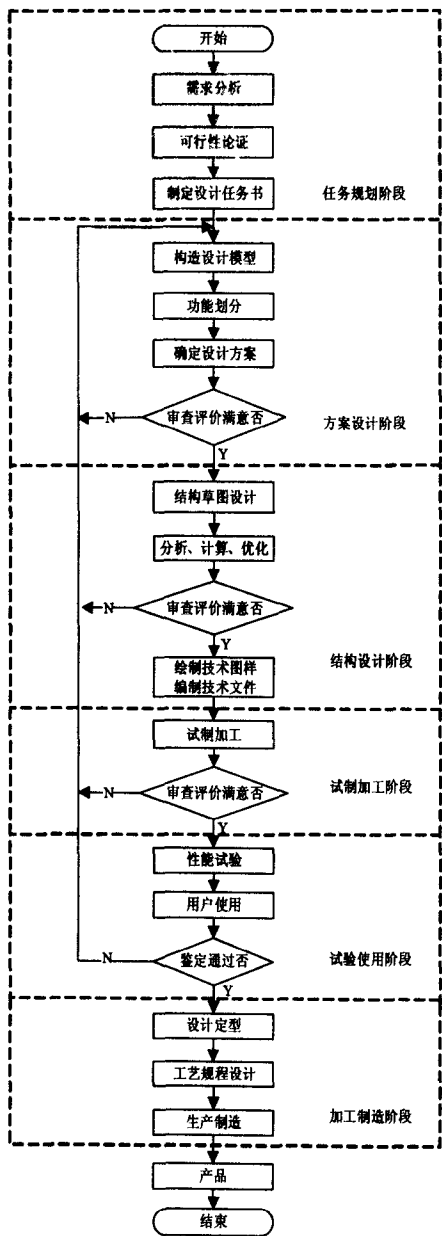


图 1-2 模具设计、制造过程

形理论的不完善，更使得模具设计与制造带有很强的经验性和盲目性。因此，目前模具设计与制造有如下特点。

(1) 模具造价昂贵，制造过程复杂，它涉及产品设计、模具设计、电加工、机械加工、表面工程、快速原型制造等方面，稍有不慎，就可能导致严重后果，势必降低企业的市场竞争能力。

(2) 模具设计与制造过程中需要反复试模、修模才能满足要求，延长了生产周期，增加了生产成本，势必降低企业的市场响应能力。

为了更好地解决这些问题，人们除了从理论上进一步探讨其内在机理外，必然渴望在现有理论的基础上能够通过一定手段直观地显示产品的成形过程，这就是所谓的模拟过程。模拟过程最初以实验为主，在传统的实验设备上进行物理模拟，建立起各种经验模型，这可视作模具 CAD/CAM 的萌芽。随着计算机技术和网络通信技术的发展，人们开始利用力学、数学、计算机知识建立几何模型、数学模型并对其进行数值模拟与仿真，从而对设计与制造的结果进行预测。这大大缩短模具生产周期，提高模具设计效率和加工质量，使得模具生产实现高精度、高效率 and 高度自动化。

根据传统做法，一个新产品的开发过程总是分为设计与制造两大部分，模具生产也不例外。模具属单件生产，设计和制造往往是一一对应，所以模具设计员的工作特别繁重，图 1-2 所示为模具设计、制造过程流程图。传统的模具设计方法因循手工设计方法，工作繁琐，模具设计所占工时约为模具总工时的 20% 左右，模具设计工作量大、周期长、任务急。

引入模具 CAD 技术后，模具设计员可借助计算机完成传统手工设计中各个环节的设计工作，并自动绘制模具装配图和零件图。图 1-3