

模具

MU JU CAD/CAE/CAM

CAD/CAE/CAM

王匀 许桢英 袁铁军 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

模具 CAD/CAE/CAM

王匀 许桢英 袁铁军 宋树权 王荣茂 等编著

机械工业出版社

本书主要介绍模具的数字化设计制造及相关知识,包括模具 CAD/CAE /CAM 基础知识、模具 CAD、模具 CAE、模具 CAM 及模具 CAD/CAE /CAM 一体化。对于模具 CAD/CAE /CAM,选择典型的工艺和模具,通过丰富的实例和详尽的步骤说明对其进行深入浅出的讲解,具有很强的实用性和可操作性。

本书为模具 CAD/CAE/CAM 的工程人员提供了一个学习途径,也可以作为大专院校“模具 CAD/CAE/CAM”专业的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

模具 CAD/CAE/CAM/王匀等编著. —北京:机械工业出版社,2011.6
ISBN 978-7-111-33904-5

I. ①模… II. ①王… III. ①模具—计算机辅助设计②模具—计算机辅助制造 IV. ①TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 052340 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:曲彩云 责任印制:杨 曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2011 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 18.5 印张·454 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-33904-5

定价:39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

读者购书热线:(010)88379203

前 言

模具作为现代加工制造业不可缺少的工艺装备,在汽车、仪器仪表、医疗、日用五金、轻工、电子、航空航天等行业应用广泛。模具的设计制造水平能够反映一个国家的制造水平。但是传统的模具设计制造方法完全取决于人的经验,要经过反复试模才能取得成功,因此设计、加工周期长,质量低,已不能适应工业产品快速更新换代和提高质量的要求。

随着工业技术和科学技术的发展,产品对模具的要求越来越高。而 CAD/CAE/CAM 技术的发展极大地改变了人们的设计手段和方法,更为重要的是 CAD/CAE/CAM 技术的广泛应用显著提高了设计的效率和质量。因此,发达国家从 20 世纪 50 年代末就开始了模具 CAD/CAE/CAM 技术的研究,并取得了显著的应用效果。我国从 20 世纪 80 年代也开始相关研究。目前,更多企业和模具人员希望在模具的设计制造过程中熟练运用各种 CAD/CAE/CAM 技术。

本书是一本介绍模具 CAD/CAE/CAM 技术的教材,主要分为四大模块:CAD、CAE、CAM、一体化。本书在阐述模具数字化设计制造及相关知识的基础上,选择典型的工艺和模具,通过丰富的实例和详尽的步骤说明对其进行深入浅出的讲解,具有很强的实用性和可操作性。本书为模具 CAD/CAE/CAM 的工程人员提供了一个学习途径,也可以作为大专院校“模具 CAD/CAE/CAM”专业的培训教材。

本书由江苏大学和盐城工学院的老师、博士编写。编著者有王匀、许桢英、袁铁军、宋树权、王荣茂、姜银方、戴亚春、王晶晶、丁盛等。

感谢合肥工业大学刘全坤教授和上海 DYNAFORM 公司刘克素专员提供的实例。

由于作者水平有限,时间仓促,加上模具先进制造技术的不断发展,书中难免有错误之处,敬请广大读者批评指正。

编著者

目 录

前言

第1章 绪论.....	1
1.1 CAD/CAE /CAM 的基本概念	1
1.2 CAD/CAE/CAM 的发展历程	1
1.2.1 CAD/CAM 的发展	1
1.2.2 CAE 的发展	2
1.3 CAD/CAE/CAM 在模具工业中的应用	4
1.3.1 CAD/CAE/CAM 在现代模具技术中的作用.....	4
1.3.2 模具 CAD/CAE/CAM 的优越性	6
1.3.3 模具 CAD/CAE/CAM 技术的发展历程	7
1.4 模具 CAD/CAE/CAM 的发展趋势	8
1.5 习题与思考题	10
第2章 计算机图形处理技术	11
2.1 图形学的基本知识	11
2.2 图形的几何变换	13
2.2.1 二维几何变换	13
2.2.2 三维几何变换	17
2.2.3 投影变换	22
2.3 图形裁剪技术	28
2.3.1 窗口与视区之间的变换	29
2.3.2 线段裁剪	31
2.3.3 多边形裁剪	33
2.3.4 字符裁剪	34
2.4 图形的消隐技术	34
2.4.1 单个凸多面体的可见性	35
2.4.2 两个凸多面体的可见性	36
2.4.3 最小最大检查	37
2.4.4 相交检查	37
2.4.5 包围检查	38
2.5 图形的光照处理技术	40
2.5.1 图形光照处理的基本原理	40
2.5.2 简单光反射模型	40
2.6 习题与思考题	41
第3章 数据处理技术	42
3.1 数据程序化处理技术	42
3.1.1 数表程序化	42
3.1.2 数表公式化处理	44

3.1.3	线图程序化	50
3.2	数据文件化处理技术	53
3.2.1	数据文件化处理方法	54
3.2.2	模具 CAD/CAM 系统模块间的数据传递	57
3.3	数据库处理技术	58
3.3.1	数据库和数据库管理	59
3.3.2	数据库技术的发展	60
3.3.3	工程数据库	61
3.3.4	SQL Server 数据库及其应用	62
3.4	习题与思考题	67
第 4 章	造型基础及应用	68
4.1	几何造型基本概念	68
4.2	线框造型	69
4.2.1	概述	69
4.2.2	线框造型技术的应用	70
4.3	表面造型	70
4.3.1	概述	70
4.3.2	曲面构造方法	71
4.3.3	曲面的处理	71
4.4	实体造型	72
4.4.1	概述	72
4.4.2	形体的表示模式	74
4.5	特征造型	77
4.5.1	概述	77
4.5.2	特征的定义	78
4.5.3	特征的分类	79
4.5.4	特征造型系统实现模式	79
4.5.5	基于特征的参数化造型系统	80
4.6	实用产品造型方法	81
4.6.1	初始形状的生成	81
4.6.2	利用高级形状运算符生成模型	83
4.6.3	利用低级形状运算符生成模型	84
4.7	Pro/ENGINEER 软件造型实例	85
4.7.1	Pro/ENGINEER 实体造型操作步骤	85
4.7.2	肥皂盒上盖实体模型	86
4.7.3	肥皂盒下盖实体模型	90
4.8	习题与思考题	91
第 5 章	模具 CAD 系统	92
5.1	模具 CAD 系统概述	92

5.1.1	系统概述.....	92
5.1.2	系统的组成结构.....	92
5.1.3	系统的类型.....	94
5.1.4	系统的关键技术.....	96
5.1.5	模具 CAD 系统的开发过程.....	97
5.2	模具 CAD 系统常用软件功能简介.....	99
5.2.1	Unigraphics (UG).....	99
5.2.2	Cimatron.....	102
5.2.3	CATIA.....	104
5.2.4	Pro/ENGINEER.....	105
5.2.5	SolidWorks.....	107
5.2.6	EUCLID.....	108
5.3	模具 CAD 的几种形式.....	108
5.3.1	基于高级程序设计平台的模具 CAD 系统自主开发.....	108
5.3.2	基于通用 CAD 系统的模具 CAD 系统二次开发.....	109
5.3.3	基于二维产品模型的模具设计.....	110
5.3.4	基于三维产品模型的模具设计.....	111
5.3.5	基于产品特征造型的模具设计.....	112
5.4	模具 CAD 应用实例.....	113
5.5	习题与思考题.....	115
第 6 章	模具 CAE 技术.....	116
6.1	模具 CAE 技术概述.....	116
6.1.1	模具 CAE 的概念.....	116
6.1.2	模具 CAE 的主要内容.....	116
6.1.3	模具 CAE 的计算方法.....	116
6.2	有限元方法基础.....	117
6.2.1	概述.....	117
6.2.2	有限元法的基本思想.....	117
6.2.3	有限元法的求解过程.....	117
6.2.4	通用有限元软件介绍.....	118
6.3	金属成形模具 CAE.....	121
6.3.1	金属塑性成形技术概述.....	121
6.3.2	塑性成形过程的有限元模拟.....	123
6.3.3	铸造成形充型过程的数值模拟.....	135
6.4	注塑模具 CAE.....	140
6.4.1	注塑 CAE 简介.....	140
6.4.2	注塑模具 CAE 原理.....	140
6.4.3	其他塑料模具 CAE 技术的理论方法及应用.....	143
6.5	模具 CAE 应用实例.....	145

6.5.1	基于 Dynaform 的冲模 CAE 应用实例	145
6.5.2	ProCAST 应用实例	159
6.5.3	Moldflow 应用实例	167
6.6	习题与思考题	180
第 7 章	模具 CAM 系统	181
7.1	模具 CAM 系统的概述	181
7.1.1	模具制造的基本要求和特点	181
7.1.2	模具 CAM 的概念	182
7.2	计算机辅助数控加工编程	182
7.2.1	数控编程基础	182
7.2.2	数控机床的坐标系与数控编程的方法	187
7.3	高速切削技术及其在模具加工中的应用	193
7.3.1	高速切削技术概述	193
7.3.2	高速数控编程	196
7.3.3	精加工数控编程	199
7.4	Cimatron 在模具 CAM 中的应用	201
7.4.1	Cimatron 的 CAM 功能	202
7.4.2	NC 加工编程的一般工作流程	204
7.4.3	3D 加工中的体积铣	211
7.4.4	3D 加工中的曲面铣	219
7.4.5	3D 加工中的流线铣	222
7.4.6	3D 加工中的局部精细加工	223
7.4.7	Cimatron E 的高速加工策略	225
7.5	基于 Cimatron E 8.5 的模具加工策略及综合实例	228
7.5.1	模具关键零件的加工策略	228
7.5.2	综合应用实例	229
7.6	习题与思考题	238
第 8 章	PowerMILL 在模具 CAM 中的应用	239
8.1	PowerMILL 8.0 功能介绍	239
8.1.1	PowerMILL 高效粗加工	239
8.1.2	PowerMILL 高速精加工	241
8.1.3	PowerMILL 5 轴加工	243
8.2	电器底座型腔加工	244
8.2.1	工艺规划	244
8.2.2	实例	244
8.3	电器底座型芯加工	252
8.3.1	工艺规划	253
8.3.2	实例	253
8.4	习题与思考题	263

第 9 章 模具 CAD/CAE/CAM 一体化	264
9.1 模具 CAD/CAE/CAM 集成系统	264
9.1.1 模具 CAD/CAE/CAM 集成的必要性	264
9.1.2 模具 CAD/CAE/CAM 集成的涵义	264
9.1.3 与 CAD/CAE/CAM 集成的几种模式	265
9.2 集成系统数据管理技术	266
9.2.1 模具 CAX 集成系统数据特点	266
9.2.2 EDB 和 PDM	267
9.3 集成系统中的信息传递	268
9.3.1 通过专用数据格式的文件交换产品信息	268
9.3.2 通过标准数据格式进行数据交换	269
9.3.3 通过统一的产品信息模型交换产品信息	271
9.4 模具 CAX 集成实例	272
9.4.1 冲压模具 CAD/CAM 系统	272
9.4.2 冲模 CAD/CAM 系统开发过程	272
9.4.3 塑料模具 CAD/CAM 系统	279
9.5 习题与思考题	283
参考文献	284

第1章 绪论

1.1 CAD/CAE /CAM 的基本概念

CAD (Computer Aided Design)、CAE (Computer Aided Engineering) 与 CAM (Computer Aided Manufacturing) 简称 3C, 是当今计算机应用的重要领域, 属于新兴的综合性计算机应用技术。3C 是以计算机作为主要手段, 处理各种数字与图形信息, 辅助完成产品设计、模拟、分析、评价和制造过程中的各种活动。

CAD (计算机辅助设计) 是指技术人员利用计算机的高速计算能力、模拟能力和图形显示能力, 用各自的专业知识对产品进行绘图、分析计算和技术文件编写等设计活动的总称。设计是分析与综合相结合的过程, 通过设计人员的创造性思维和经验, 将设计方法综合、分析并转换成可以处理和解析的数学模型和程序。在程序运行过程中, 设计人员可以评价设计结果, 控制设计过程; 计算机则可以发挥其分析计算和存储信息的能力, 完成参数查询、信息管理、绘图、分析模拟、优化设计和其他数值分析任务。CAD 是人机结合、各尽所长, 有利于获得最优设计结果, 缩短设计周期的新型设计方法。

CAE (计算机辅助工程) 的概念很广, 包括工程和制造业信息化的所有方面, 但传统的 CAE 主要是指用计算机对工程和产品进行性能与安全可靠性的分析, 对其未来的工作状态和运行行为进行模拟, 及早发现设计缺陷, 并证实未来工程、产品功能和性能的可用性与可靠性。这里所提及的工程分析往往采用有限元法、边界元法对产品进行载荷分析、应力分析和温度场分析。最常用的分析方法是利用有限元法分析产品或结构的应力、应变及其他结构特征等, 以提高设计质量, 降低生产成本, 缩短研发周期。

CAM (计算机辅助制造) 是利用计算机对制造过程进行设计、管理和控制。广义上, 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。CAM 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零件加工方法、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规程编制 CAPP (Computer Aided Process Planning) 已形成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。计算机负责编制 NC 程序, 不但效率高, 而且错误率低。在自动化生产线上, 采用机器人完成装配和传送等任务, 实际上利用计算机也可以实现机器人编程。

1.2 CAD/CAE/CAM 的发展历程

1.2.1 CAD/CAM 的发展

1952 年, 世界第一台数控机床在美国麻省理工学院 (MIT) 试制成功, 通过改变数控程序就可以实现对不同零件的加工。之后, MIT 研制开发了 APT 自动编程语言, 通过描述

走刀轨迹的方法来实现计算机辅助数控编程。在此基础上人们联想到,能否不描述走刀轨迹,而通过直接描述零件本身来实现数控编程?这就是CAD的最初概念。人们设想如何通过自动运行各个程序来实现计算机辅助设计过程,并能由此解决不同复杂程度的生产计算问题的各个过程。此间CAD处于准备孕育阶段,因整个20世纪50年代电子计算机仍处于电子管时代,计算机主要用于科学计算,且使用的是计算机语言编程,图形设计仅具有输出功能。

1963年,美国MIT学者I.E.Sutherland有关人机对话图形通信系统的论文问世,研制成功了世界上第一套实时交互功能的二维SKETCHPAD系统。该系统允许设计者操作光笔和键盘,在荧光屏上显示图形,实现了人机交互作业。这项成果标志着CAD技术的诞生,为以后CAD技术的发展提供了基本条件和理论基础。此后陆续出现了许多商品化的CAD系统与设备:美国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功能;通用汽车公司为实现各个阶段的汽车设计,研制了CAD-I系统;洛克西德公司出台了CAD/CAM系统等。1966年又出现了采用通用计算机直接控制多台数控机床的DNC系统。

1978年前后,CAD/CAM技术的发展趋于成熟。伴随计算机硬件的发展,以小型机、微型机为主机的CAD系统逐渐引入市场。为了适应设计与加工的要求,三维几何处理技术应运而生,出现了面向中小企业的CAD/CAM商品化软件系统。英国莫林公司研制的由计算机集中控制的自动化制造系统,包含6台加工中心和一条自动运输线,可进行连续作业,并可用计算机编制NC程序、作业计划、统计报表等;美国辛辛那提公司成功研制了一条FMS柔性制造系统。

1980年以后,CAD/CAM技术进入迅速发展期。计算机外围设备已逐渐成为系列产品,超大规模集成电路的出现,使计算机硬件成本大幅度下降。相应的软件技术(如优化设计、有限元设计、数据库技术等)迅速提升,出现了很多商品化软件,推动了CAD/CAM技术的应用和推广,并使其从发达国家向发展中国家发展,从大型企业向中小型企业发展,从军用产品设计向工程产品设计发展,还使一些与制造过程密切相关的计算机辅助技术得以发展,如计算机辅助工艺规程(CAPP)、计算机辅助工装与夹具设计、计算机辅助质量控制(CAQ)等。

1990年以后,CAD/CAM技术一改过去的单一功能、单一领域、单一内容的运行模式,转向集成化、智能化、标准化的方向发展。系统的继承,是为了实现资源共享,实现产品生产与组织管理的高度自动化,提高产品的市场竞争能力,缩短产品研发周期,加速新产品对市场需求的响应。为此,国际标准化组织及一些工业发达国家都在从事标准接口的开发;同时,面向对象技术、并行工程思想、人工智能技术、计算机集成制造系统、快速成型技术、敏捷制造技术的研究,又极大地推进了CAD/CAM技术向更高水平的发展。

1.2.2 CAE的发展

CAE作为一门新兴的学科已经成为各大企业设计新产品过程中不可缺少的一环。传统的CAE技术是指工程设计中的分析计算与分析仿真,具体包括工程数值分析、结构与过程优化设计、强度与寿命评估、运动/动力学仿真、未来工程/产品的可用性与可靠性验证。

如今,随着企业信息化技术的不断发展,CAE软件与CAD/CAM/CAPP/PDM/ERP一起,已经成为支持工程行业和制造企业信息化的主导技术,在提高工程/产品的设计质量、降低

研究开发成本、缩短开发周期方面都发挥了重要作用。

CAE 技术的出现要归功于有限元分析 FEA (Finite Element Analysis) 的诞生, 在有限元法诞生的早期, 几乎所有的 CAE 软件都是使用有限元法计算求解。可以说, 有限元法的发展也间接反映了 CAE 软件在这半个世纪的发展历史。

每一项新技术的推出都是由于时代的迫切需要, 而新技术出现后也需要经历历史的考验。在 20 世纪 40 年代, 由于航空事业的快速发展, 对飞机内部结构设计提出了越来越高的要求, 即比强度高、刚度好, 人们不得不进行精确的设计和计算。正是在这一背景下, 有限元分析法逐渐发展起来。

早期的一些成功的实验求解方法与专题论文, 全部或部分的内容对有限元技术的产生做出了贡献。应用于数学界的第一篇有限元论文是 1943 年 Courant R 发表的《Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibration》一文, 文中描述了他使用三角形区域的多项式函数来求解扭转问题的近似解, 由于当时计算机尚未出现, 这篇论文并没有引起应有的注意。

1956 年, M. J. Turner (波音公司工程师)、R. W. Clough (土木工程教授)、H. C. Martin (航空工程教授) 及 L. J. Topp (波音公司工程师) 四人共同在航空科技期刊上发表一篇采用有限元技术计算飞机机翼强度的论文, 名为《Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures》, 文中把这种解法称为刚性法 (Stiffness), 一般认为这是工程界有限元法的开端。

1960 年, Ray W. Clough 教授在美国土木工程学会 (ASCE) 的计算机会议上, 发表另一篇名为《The Finite Element in Plane Stress Analysis》的论文, 将应用范围扩展到飞机以外的土木工程上, 同时有限元法 FEM (Finite Element Method) 的名称也第一次被正式提出。

由此之后, 有限元法的理论迅速的发展起来, 并广泛地应用于各种力学问题和非线性问题, 成为分析大型、复杂工程结构的强有力手段。并且随着计算机的迅速发展, 有限元法中需要进行的大量计算工作都可以通过计算机来实现并快速地完成。可以说, 计算机的发展很大程度上促进了有限元法的建立和发展。

CAE 技术从开始简单的线性问题、静力分析, 发展到后来的非线性问题、动力分析、非线性接触、碰撞、断裂力学、热传导、流体力学、电磁场以及多个物理场之间的耦合问题, 这期间的发展经历了几个不同的阶段:

第一阶段 (20 世纪 50 至 60 年代): 航空工业中的有限元程序。力法分析到位移法方程的简单二、三维有限元分析 (单元矩阵生成公式)。

第二阶段 (20 世纪 60 至 70 年代中期): 多用途有限元软件形成。大规模问题代数方程、特征值、子结构等高效数值算法, 非线性及瞬态响应问题中的应用开始。

第三阶段 (20 世纪 70 中期至 80 年代后期): 优化商业软件代码。前处理、后处理软件及 CAD 系统的发展。断裂力学分析技术、有限元和其他技术的融合。

第四阶段 (20 世纪 80 年代后期至 90 年代中期): CAE 软件为适应新计算系统的改进 (向量、多重处理器、并行机)。相应的高效计算方法与数值算法的发展; 工作站、PC 机上 CAE 软件得到大大的推广和应用; 先进材料模型、空气动力学、控制学、声学、电磁学和光学的交叉结合。

第五阶段(20 世纪 90 年代中期至今):将 CAE 软件与其他模拟软件集成到 CAD/CAE/CAM 系统中并形成一个完整、方便的实用产品。全自动网格剖分、参数化建模、面向对象的工具、(计算环境)分布式与网络计算、并行分析、失效破坏分析与优化设计的智能化、数据库和用户接口等。

现在,国外在科学研究和工业化应用方面,计算机辅助工程技术已达到了较高的水平,许多大型的通用分析软件已相当成熟并已商品化,计算机模拟分析不仅在科学研究中普遍采用,而且在工程上也已达到了实用化阶段。

通过多年的不懈努力,我国在 CAE 仿真分析方面也取得了长足进步,建立了自己的计算机辅助工程科技队伍,在许多领域开展了 CAE 技术的研究和应用。但目前我们的 CAE 技术与发达国家相比仍存在一定的差距,特别是在具有自主知识产权的大型通用分析软件的开发和 CAE 技术的工业化应用方面,差距还相当明显。

1.3 CAD/CAE/CAM 在模具工业中的应用

1.3.1 CAD/CAE/CAM 在现代模具技术中的作用

随着工业技术和科学技术的发展,产品对模具的要求越来越高,传统的模具设计与制造方法已不能适应工业产品快速更新换代和提高质量的要求,因此,发达国家从 20 世纪 50 年代末就开始了模具 CAD/CAM 技术的研究。如美国通用汽车公司早在 20 世纪 50 年代就将 CAD/CAM 技术应用于汽车覆盖件的设计与制造;到 20 世纪 60 年代末,模具 CAD/CAM 技术已日趋成熟,并取得显著的应用效果;20 世纪 80 年代,模具 CAD/CAM 技术已广泛用于冷冲模具、挤压模具、注射模具、压铸模具的设计与制造。

广义上模具属于工艺装备,对于一般产品来说属于工具范畴,因其精度高,结构复杂,材质要求高,使得设计与制造相当困难。此外,以模具为工具的成形过程的复杂性和成形理论的不完善,使得模具的设计与制造带有经验性。目前,模具设计与制造具有如下特点:

1) 模具造价昂贵,制造过程复杂,学科交叉门类多,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,某个环节的出错可能导致整个模具的报废,降低企业的市场竞争力。

2) 模具设计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,降低了企业的市场响应能力。

为了更好地解决这些问题,除了从理论上进一步探讨其内在机理外,还可以在现有理论基础上通过一定的手段直观地显示产品的成形过程,即模拟材料的成形过程。模拟过程最初以试验为主,在传统的试验设备上模拟,建立各种经验模型,这可视为 CAD/CAM 的萌芽。随着计算机技术和网络通信技术的发展,开始利用数学、力学、计算机知识建立几何模型、数学模型,并对其进行数值模拟和仿真,从而对设计与制造的结果进行测试,大大缩短了模具的生产周期,提高了模具的设计效率和加工质量,使得模具生产实现高精度、高效率 and 自动化。

新产品的传统开发过程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,所以模具设计工作很重要。传统的模具设计方法繁琐费

时，设计所占工时约为模具总工时的 20%，模具设计工作量大、周期长、任务急。

引入模具 CAD 技术后，模具设计可借助计算机完成传统手工设计各个环节的工作，并自动绘制模具装配图和零件图。图 1-1 所示为模具设计、制作过程流程图。

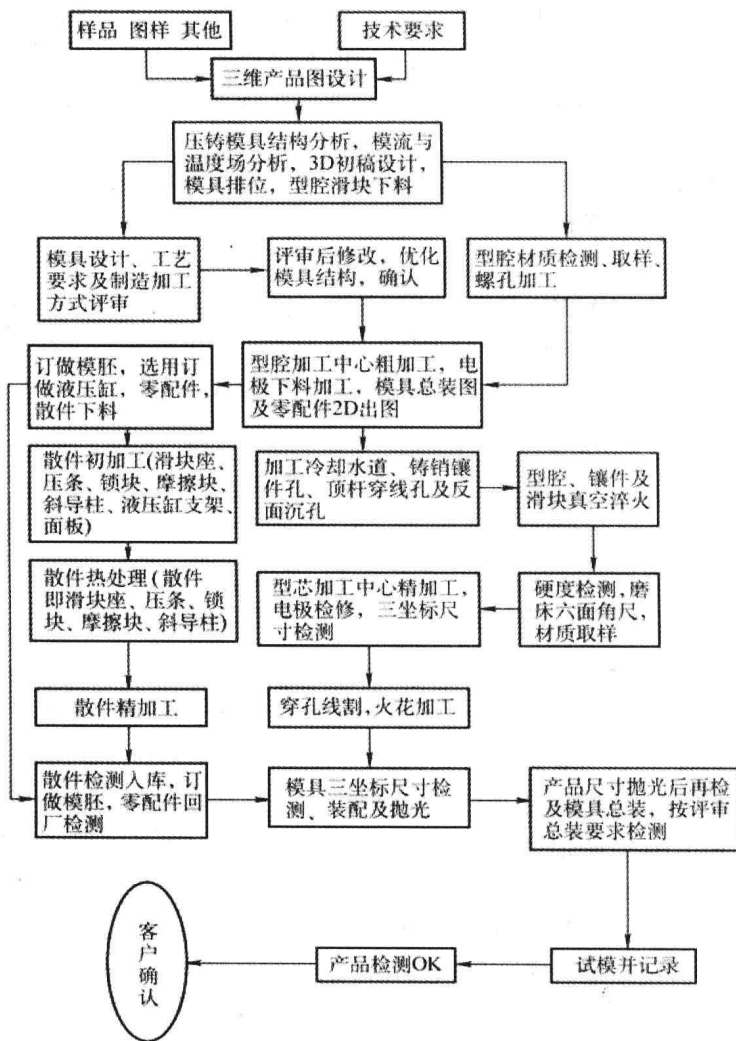


图 1-1 模具设计、制作过程流程图

模具 CAM 最初应用于复杂形状模具型腔的计算机辅助编程及加工，然后又逐步扩展了工艺准备和生产准备过程中的许多功能，例如计算机辅助制造工艺过程的设计、计算机辅助模具生产管理等各方面的应用，开发模具 CAM 最原始的依据是模具的几何信息——图形。

最初的模具 CAD 技术和模具 CAM 技术，尽管用计算机代替了大量的繁重手工劳动，取得了很大的成就，但从整个模具的生产过程看，却没有本质的变化。因为模具 CAD 仍然沿用原有的模具设计流程，即从接受模具设计任务开始，到绘制模具图完成整个过程；而模具 CAM 也是从接受图样开始，到完成模具制造告终。整个模具生产过程与传统模具生产类似，设计与制造环节间有着严格的分界，两个环节间传递信息的最重要手段是图样。

模具 CAD/CAM 技术是在模具 CAD 和模具 CAM 分别发展的基础上出现的，是计算机技术

综合应用的一个飞跃。

模具 CAD/CAM 技术的主要特点是设计与制造过程的紧密联系——设计制造一体化，其实质是设计制造的综合计算机化。在模具 CAD/CAM 系统中，产品的几何模型（有些综合系统还要求附加工艺和组织管理方面的信息）是关于产品的最基本的核心数据，并作为整个设计、计算和分析的最原始依据。通过模具 CAD/CAM 系统的计算、分析和设计而得到的大量信息，通过运用数据库和网络技术将其储存或直接传送到生产制造环节的各方面，从而实现设计制造的一体化。

采用 CAD/CAM 技术后，图样作用大大减弱，大部分设计和制造信息由系统直接传送，图样不再是设计与制造环节的分界线，也不再是制造、生产过程的唯一依据，图样将被简化，甚至最终消失。

图 1-2 所示为模具 CAD/CAM 系统组成的框图。模具 CAD/CAM 系统的规模及所包含的内容根据企业的实际情况而定，几乎无一雷同。但由图 1-2 可以看出，在模具的设计制造过程中，所进行的一切活动都是信息处理系统一体化的组成部分。

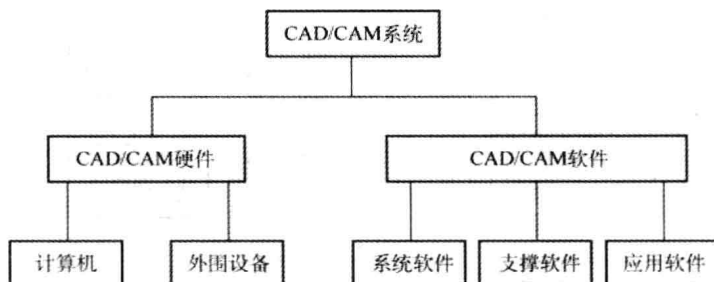


图 1-2 模具 CAD/CAM 系统组成的框图

CAD/CAM 技术是一个发展着的概念，不但可以实现计算机辅助生产的各个分过程和若干过程的集合，而且有可能把全部生产过程集中在一起。计算机集成制造系统（CIMS，Computer Integrated Manufacturing System）就是将整个车间或工厂作为一个系统，根据系统工程的观点，用计算机对产品从初始构思和设计直至最终装配和检验的全过程实行管理和控制。CIMS 的目标是实现全盘自动化，只要对系统输入产品的有关信息和原材料，就可以自动地输出检验合格的产品，CIMS 是当前国际科技领域的前沿课题，在模具生产中实现真正的 CIMS 目标，可能还需要很长的时间和巨额的投入，但 CIMS 的主要思想和集成化 CAD/CAM 系统，为企业带来了竞争力。

目前，模具 CAD/CAM 集成化技术仍在高速发展。增加投入为取得效益，不强调全盘自动化和无人化，而强调人机有效的结合，求得全局最优的布局。

1.3.2 模具 CAD/CAE/CAM 的优越性

模具的设计、制造水平和产量、成本及生产周期息息相关。随着制造业的发展，对模具的要求越来越高。传统的模具设计与制造方式已无法适应工业发展的需要，CAD/CAM 技术已成为解决模具设计与制造中薄弱环节的有效途径。随着 CAD/CAM 技术的广泛应用，可以大大促进制造业的发展。与传统的模具设计与制造方法相比，模具 CAD/CAM 的优越性有以下几点：

- 1) 采用模具 CAD/CAM 可以提高模具的质量。在模具 CAD/CAM 系统的数据库中存储有各

种类型的成形工艺和模具结构综合型数据,可为模具设计和工艺的制定提供科学的依据。计算机与模具设计人员的交互作用,有利于发挥人机各自的特长,使模具设计和制造工艺更加合理,系统所采用的优化设计方法也有助于成形工艺参数、模具结构的优化。

2) 采用模具 CAD/CAM 技术可以节省时间,提高模具生产效率。模具设计过程中的分析计算和图样绘制可以由程序自动完成,大大缩短设计时间,而 CAM 的采用能显著缩短从设计到制造的周期。据统计,采用塑料注射模 CAD/CAM 系统和冲压模 CAD/CAM 系统设计、制造模具,一般比传统方法提高效率 2~5 倍。由于模具质量提高,可靠性增强,模具装配与返修时间明显减少,模具的交货时间大幅度缩短。

3) 采用 CAD/CAM 可以降低生产成本。计算机高速运算和自动绘图能节省大量的劳动力,优化设计,节省原材料。例如,冲压件的毛坯优化排样可使板材的利用率提高 5%~7%,塑料注射模浇注系统的优化可节省 2%~7% 的塑料。采用 CAD/CAM 一体化技术还可以加工传统方法难以加工的复杂模具型面,使制造成本降低。

4) 采用模具 CAD/CAM 技术给工程技术人员提供了更多的创造性时间。由于大量的工程设计绘图和 NC 编程等都是由计算机完成的,因此可以把模具设计人员从日常枯燥、单调、繁琐、重复的劳动中解放出来,使得许多有经验的设计人员能投入到更有创造性的劳动中去,从而迅速提高其技术水平和设计能力。

1.3.3 模具 CAD/CAE/CAM 技术的发展历程

近年来,我国模具工业发生了巨大的变化,不仅国有模具企业取得了很大发展,三资企业、个体模具企业的发展也相当迅速,已经形成珠三角、长三角、安徽等具有一定规模的模具生产基地。模具工业的技术水平也有了很大的提高,冲压模具中具有代表性的是为汽车配套的汽车覆盖件模具,以及为农用车、工程机械和农机配套的覆盖件模具。覆盖件模具的技术要求高,大都是结构复杂的大中型模具,代表了冲压模具的水平,一汽模具公司、东风模具公司、天津模具厂等已能够生产出部分中档新型轿车的覆盖件模具。多工位级进模是一种高精度、高效率、长寿命的模具,是技术密集型模具的重要代表,美国 UGS 公司与我国华中科技大学合作,在 UG-NX 软件平台上开发出基于三维几何模型的级进模 CAD/CAM 软件 NX-PDW。而在塑料模具方面,大型塑料模具已能生产单套重量达 50t 以上的注塑模,精密塑料模的精度已达到 $3\mu\text{m}$,多腔塑料模已能生产一模 2560 腔的塑封模,高速模具方面也能生产挤出速度 4m/min 以上的高速塑料异型材挤出模及主型材双腔共挤模具。其他类型的模具,也都达到了较高的水平。

1. 国外模具 CAD/CAE/CAM 技术的发展

国外模具 CAD/CAM 技术的研究始于 20 世纪 60 年代末,当时美国、日本、德国、加拿大等发达国家开始对冲模 CAD 进行研究。进入 70 年代,出现了面向中小企业的 CAD/CAM 的商品软件,如日本机械工程实验室成功研制的冲裁级进模 CAD 系统,美国 DIECOMP 公司成功研制出计算机辅助设计级进模的 PDDC 系统,但都仅限于一维图形的简单冲裁级进模,包括条料排样、模具布置、工艺计算和 NC 编程等主要功能。

80 年代,弯曲级进模 CAD/CAM 系统开始出现,美国、日本等工业发达国家的模具生产绝大多数采用了 CAD/CAM 技术。为了能够适应复杂模具的设计,富士通系统采用了自动设计和交互设计相结合的方法,在该系统中除了毛坯展开、弯曲回弹计算和工步排序实现自动处理外,其余均需要设计人员的参与。这些系统均具备实体造型和曲面造型的强大功

能, 能够设计制造汽车零部件的模具。

进入 90 年代后, 国外 CAD/CAM 技术向着更高的阶梯迈进。在 80 年代的基础上, 软件结构、产品数据管理、面向目标的开发技术、产品建模和智能设计、质量检测等方面都有所突破, 为实现并行工程提供了更完善的环境。印度学者 Y. K. D. V. Prassad, S. Som Sundoram 等开发了普通冲裁模 CAD/CAM 系统 (CADDs), 美国 Striker-Systems 公司开发了冷冲模设计软件系统 SS-Die Professional 等。另外, UG、PROE、CAXA 等软件的成功开发, 使模具 CAD/CAM 的功能更加完善, 应用也更加广泛。

模具 CAE 技术经过短暂的时间, 已应用到压铸模、注塑模、锻模、挤压模和冲压模等模具的优化设计, 并用于指导实际生产。压铸模 CAE 目前主要以压铸件充型的流场数值模拟、压铸模/压铸件温度场模拟、压铸模/压铸件应力场数值模拟为主。注塑模 CAE 主要包括模具结构分析、运动分析、装配及干涉检查、成型过程分析等。挤压模 CAE 主要是对生产过程中模具的变形过程、应力场和温度场分布及变化、摩擦与润滑等问题进行大量的分析和实验, 实现模具的优化设计。塑料注射成型 CAE 商品化软件中应用最广泛的当数美国 moldflow 公司的模拟软件 MF, 该软件主要包括流动模拟 (MF/FLOW)、冷却分析 (MF/COOL)、翘曲分析 (MF/WARP)、气辅分析 (MF/GAS) 和应力分析 (MF/STRESS) 等模块。该公司于 1998 年推出准三维的双面流软件 (Part Adviser), 于 2002 年又推出真三维的实体流软件模块, 目前该公司在世界上拥有较大的客户群。

2. 国内模具 CAD/CAE/CAM 技术的发展

我国的计算机技术起步较晚, 模具 CAD/CAM 的开发始于 20 世纪 70 年代末, 但发展也相当迅速。到目前为止, 通过国家有关部门鉴定的有精冲模、普通冲裁模、辊锻模、锤模和注塑模等 CAD/CAM 系统, 它们在生产中发挥着重要的示范作用, 并产生巨大的经济效益。80 年代中后期, 我国的冲模 CAD 研制工作进入了全面发展阶段, 不少企业、科研院所都开发了面向中国制造的 CAD 软件, 强调软件产品的专业化和本地化。如天津大学的 TD 系统和第一汽车集团公司、东风汽车集团公司用的模具 CAD/CAM 系统。从 20 世纪 90 年代开始, 华中科技大学、西安交通大学和北京机电研究院等相继开展了级进模 CAD/CAM 系统的研究和开发。如华中科技大学模具技术国家重点实验室在 AutoCAD 软件平台上开发出基于特征的级进模 CAD/CAM 系统 HMIC, 包括钣金零件特征造型、基于特征的冲压工艺设计、模具结构设计、标准件及典型结构件库工具和线切割自动编程 5 个模块; 西安交通大学开发出多工位弯曲级进模 CAD 系统等。近年来, 国内一些软件公司也竞相加入了模具 CAD/CAM 系统的开发行列, 如深圳雅明软件制作室开发的级进模系统 CMCAD、富士康公司开发的用于单冲模与复合模的 CAD 系统 Fox-CAD、北京航空航天大学研发的 CAXA 等。

1.4 模具 CAD/CAE/CAM 的发展趋势

现代模具技术的发展, 在很大程度上依赖于模具标准化的程度、模具材料的研究、先进的设计与制造技术、专用的机床设备及生产技术管理等。其中 CAD/CAM 技术在模具生产中的应用, 无疑占有很重要的地位, 它被认为是现代模具技术的核心和重要的发展方向。

21 世纪模具 CAD/CAM 的基本特征是高度集中化、智能化、柔性化和网络化, 其目标是提高产品质量及生产效率, 缩短设计周期及制造周期, 降低生产成本, 最大限度地提高模