

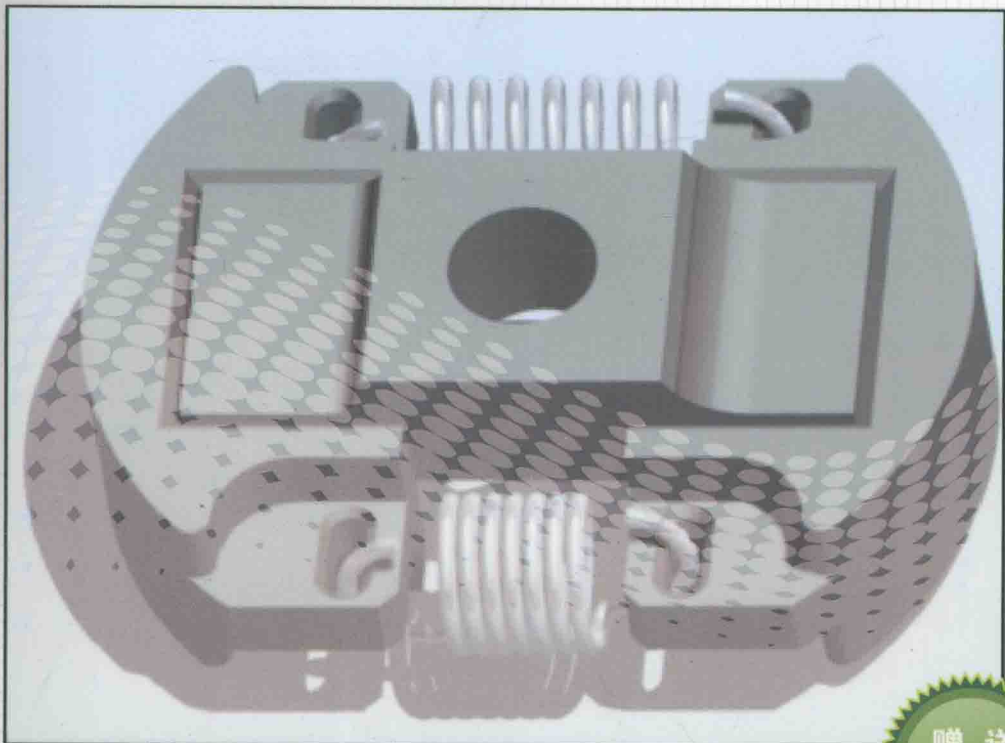


高职高专模具设计与制造专业规划教材

模具CAD/CAM

MUJU CAD/CAM

赵梅 廖希亮 刘天禄 编著



赠送
电子课件

本书特色

- ❁ 与行业企业共同开发且融入作者多年的模具设计工作经验及教学心得体会。
- ❁ 符合基于工作过程系统化、项目导向的课程理论，包括多个源于企业生产实际的整体范例，体现工学结合原则。
- ❁ 特殊的流程式文字图例创作风格，避免来回翻对图文，易学易懂，效果明显。
- ❁ 提供网上教学课件及操作视频，融“教、学、做”为一体，注重学生实际动手能力和职业能力的培养。



清华大学出版社

高职高专机电

»» 高职高专机电一体化专业规划教材

»» 高职高专数控技术应用专业规划教材

»» 高职高专机电类专业基础课规划教材

»» 高职高专机械设计与制造专业规划教材

»» 高职高专模具设计与制造专业规划教材

- ▶ 模具CAD/CAM
- ▶ 冲压工艺与模具设计
- ▶ 塑料模具设计
- ▶ 模具制造工艺
- ▶ 模具设计实训指导书
- ▶ 典型零件工艺分析与加工
- ▶ UG NX注塑模具设计
- ▶ Pro/ENGINEER Wildfire 4.0模具设计
- ▶ AutoCAD 2008中文版模具制图

»» 高职高专计算机辅助设计与制造专业规划教材

模具CAD/CAM

MUJU CAD/CAM

丛书特色

- ⚙ 依据职业岗位的需要, 选择并组织教材内容。
- ⚙ 以就业为导向, 以能力为本位, 突出实践性, 以提高学生的职业能力。
- ⚙ 项目案例丰富, 且源于实际。

ISBN 978-7-302-26369-2



9 787302 263692 >

定价: 43.00元

高职高专模具设计与制造专业规划教材

模具 CAD/CAM

赵 梅 廖希亮 刘天禄 编 著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

模具 CAD/CAM 是一门属于多学科交叉、不断注入新内容的应用科学技术学科。本书融汇了编写组成员从事本学科教学、科研、生产一线模具设计等工作 20 多年的经验,包括创新点、行之有效的技巧、实用资料等,并以企业实际生产为导向,重点围绕模具设计、制造的实际工作流程展开,从各种 CAD/CAM 软件基础应用着手,通过学习 AutoCAD、UG、Pro/E 等多种模具设计软件,使学生轻松掌握从入门到进阶的知识与技能。

本书旨在培养学生冷冲压模具设计、注塑模具设计、模具 CAD/CAM 应用这 3 个核心能力并填充所需的基本观念和背景知识,使学生能举一反三,提高自学能力。

本书既可作为高职高专的模具设计与制造、数控技术、计算机辅助设计与制造等专业课程的教材,也可作为相关工程技术人员的自学参考用书,还可作为相关专业成人教育或培训班的教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

模具 CAD/CAM/赵梅,廖希亮,刘天禄编著.——北京:清华大学出版社,2011.9

(高职高专模具设计与制造专业规划教材)

ISBN 978-7-302-26369-2

I. ①模… II. ①赵… ②廖… ③刘… III. ①模具—计算机辅助设计—高等职业教育—教材 ②模具—计算机辅助制造—高等职业教育—教材 IV. TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 156624 号

责任编辑:孙兴芳 桑任松

装帧设计:杨玉兰

责任校对:李玉萍

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:26.25 字 数:629 千字

版 次:2011 年 9 月第 1 版 印 次:2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:43.00 元

产品编号:037979-01

前 言

模具是现代制造业不可缺少的工艺装备,发达国家的模具总产值早已超过了工作母机(机床)的总产值。用模具 CAD 技术和模具 CAM 技术的紧密结合来替代传统的模具设计与制造技术,既可大大缩短模具的生产周期、提高模具的设计制造质量,又可降低模具生产成本、减轻劳动者的工作强度,进而提高模具制造企业的竞争力。

模具 CAD/CAM 技术应用是模具设计与制造、数控技术等专业一门重要的综合课程,是在学生完成多种 CAD/CAM 软件的基础学习后,接受的 CAD/CAM 全过程训练,进而建立起一套基本技能—专业技能—工程实践的能力体系。本课程应用模具企业实际项目,设计针对高职高专学生在模具设计与制造方面的专业技能的严密训练。由于现代学生获得感性认识的机会不多,缺乏生产实践体验,基础知识掌握不够牢固,越来越多其他专业的学生选修本课程等原因,本书在编写中注意把握以下几点。

(1) 基础性。在论述冲压模具、注塑模具的设计时,注重讲清基本原理、变形过程、基本工艺知识和工艺特点,理论知识以够用为度,一般不做系统推导,直接引用结论性论述。选材比较考究,文字力求浅显易懂,内容详略有别、循序渐进,介绍典型模具结构和工艺示意图等尽量配立体图。书后列出的参考文献为深入探寻者提供了指引。

(2) 实践性。为尽量贴近实际,培养学生的基本技能,书中的工艺计算、结构设计等配有来自生产一线的实例,提供了符合实际生产规范的工艺规程格式。每章都配有若干思考题和实训题,附录中还选列了学习阶段所需的部分设计资料,提供了查找模具标准件的线索。

(3) 体系性。模具 CAD/CAM 技术是一门属于多学科交叉的应用科学技术学科,考虑课程门类不宜过多,又要尽量组成比较完整的知识体系,本书涉及 CAD/CAM 基础知识、冲压模具设计、注塑模具设计、AutoCAD、UG、Pro/E 等多种 CAD/CAM 软件的综合运用。受教学课时限制时,部分内容可以由学生自学。

(4) 先进性。模具 CAD/CAM 技术正在不断注入新内容,本书努力吸收成熟的先进技术,特别是初学者应了解的模具 CAD 应用软件开发技术、模具 CAD/CAM 新技术等。本书对 Pro/E 二次开发、逆向工程、快速成形等内容做了专门介绍。

希望通过对本书的系统学习,从各种 CAD/CAM 软件基础应用着手,使学生具备冷冲压模具设计、注塑模具设计、模具 CAD/CAM 应用这 3 个核心能力。

本书第 1、2、4、6 章(不含 6.2.15、6.3.6 节)及第 7 章由烟台工程职业技术学院赵梅编写,第 3 章由潍坊教育学院张丽萍编写,第 5 章由烟台工程职业技术学院孔建、夏鲁朋共同编写,6.2.15 节、6.3.6 节、第 8 章及附录由烟台工程职业技术学院刘天禄、苏丹娅共同编写。山东大学赵晓峰、烟台工程职业技术学院张洪伟、孙岩志、马述堃也参加了本书的编写工作。全书由赵梅统稿、定稿,由山东大学廖希亮教授主审。

模具 CAD/CAM 方面的教科书版本非常多,本书尽量吸纳各版本的优点。通过借鉴参考文献中的成果和数据资料以及部分企业的标准和资料,丰富了本书的内容。在此一并表

示衷心感谢。

由于模具 CAD/CAM 技术涉及计算机、机械设计与制造, 以及材料成型工程等多个学科, 而这些相关学科仍然在快速发展之中, 加上编者水平有限, 书中错误、缺点和不当之处在所难免, 欢迎广大师生和读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 模具 CAD/CAM 基础.....1	2.2.5 数控编程典型流程..... 36
1.1 模具 CAD/CAM 的基本概念1	本章小结 38
1.2 模具 CAD/CAM 系统的组成2	思考与练习 39
1.2.1 概述.....2	第 3 章 冲压模具..... 41
1.2.2 模具 CAD/CAM 系统的硬件3	3.1 冲压模具基础知识 41
1.2.3 模具 CAD/CAM 系统的软件4	3.1.1 冲压与冲模概念 41
1.3 CAD/CAE/CAM 技术的发展和应用7	3.1.2 冲压工艺的特点及其应用 42
1.3.1 CAD/CAE/CAM 技术的发展 历程.....7	3.1.3 冲压工序的分类 42
1.3.2 CAD/CAE 技术在模具行业中 的应用9	3.1.4 冲模的分类 44
1.3.3 模具制造成型车间.....11	3.1.5 冲模的组成零件 45
1.4 CAD/CAE/CAM 技术在模具设计 制造中的发展趋势14	3.1.6 冲模设计与制造的内容 46
1.4.1 CAD/CAM 技术的发展趋势14	3.2 冲裁工艺与冲裁模设计 46
1.4.2 我国模具工业的发展趋势15	3.2.1 冲裁变形过程 46
1.4.3 今后需大力发展的模具产品15	3.2.2 冲裁间隙 49
1.4.4 今后需提高的关键技术16	3.2.3 冲裁模工作部分尺寸的计算 ... 52
1.4.5 CAD/CAE/CAM 技术在模具 设计中的发展方向16	3.2.4 冲裁力的计算 55
本章小结17	3.2.5 冲裁件的排样 56
思考与练习17	3.2.6 冲裁工艺设计 62
第 2 章 CAD/CAM 技术基础.....18	3.3 弯曲工艺与弯曲模设计 68
2.1 CAD/CAM 建模技术18	3.3.1 弯曲变形分析 68
2.1.1 三维几何建模技术.....18	3.3.2 弯曲力的计算 70
2.1.2 特征建模技术.....25	3.3.3 弯曲件坯料展开 71
2.1.3 参数化与模块化设计方法25	3.3.4 弯曲模工作部分设计 73
2.2 计算机辅助数控加工.....27	3.3.5 弯曲工艺设计 76
2.2.1 计算机辅助数控编程及其 发展.....28	3.4 拉深工艺与拉深模设计 79
2.2.2 NC 刀具轨迹生成方法29	3.4.1 筒形件拉深模工作部分设计 ... 80
2.2.3 数控仿真技术.....32	3.4.2 拉深件的坯料尺寸 82
2.2.4 数控加工常用刀具及加工 参数的选择35	3.4.3 拉深工艺设计 83
	3.5 冲模 CAD/CAM 85
	3.5.1 冲模 CAD/CAM 系统的功能 与内容 85
	3.5.2 建立冲模 CAD 系统的步骤 87
	3.5.3 冲模 CAM 88
	3.5.4 冲模 CAE 89



3.5.5 冲压产品数据管理.....	89	5.1.2 用户界面.....	156
3.6 冲压模具设计案例.....	90	5.1.3 帮助文档.....	160
3.6.1 读懂制件图, 分析冲压 工艺性.....	90	5.2 AutoCAD 的基本操作.....	160
3.6.2 确定工艺方案.....	91	5.2.1 文件的基本操作.....	160
3.6.3 主要工艺参数计算.....	92	5.2.2 鼠标的操作.....	162
3.6.4 编制冲压工艺过程卡.....	94	5.2.3 命令的调用方式.....	163
3.6.5 模具总体设计.....	97	5.2.4 数据的输入方法.....	163
3.6.6 模具零件的设计.....	99	5.2.5 控制视图显示方式.....	165
本章小结.....	101	5.3 落料冲裁复合模二维设计.....	168
思考与练习.....	102	5.3.1 绘制二维零件图.....	168
第4章 注塑模具设计.....	103	5.3.2 拼画装配图.....	184
4.1 注塑模具设计简介.....	103	5.4 AutoCAD 三维技术应用.....	185
4.1.1 注塑成型原理及特点.....	103	5.4.1 三维零件的绘制.....	188
4.1.2 注塑模具的结构组成和 结构类型.....	112	5.4.2 三维装配.....	205
4.2 注塑模具结构设计的内容.....	117	本章小结.....	206
4.2.1 注塑模的成型零件.....	118	思考与练习.....	206
4.2.2 注塑模的排位.....	125	第6章 UG 的应用.....	207
4.2.3 注塑模的分型面.....	127	6.1 UG NX 6 概述.....	207
4.2.4 注塑模的浇注系统.....	130	6.1.1 UG NX 常用模块简介.....	207
4.2.5 注塑模的顶出机构.....	137	6.1.2 基本界面与操作.....	209
4.2.6 注塑模的回位机构.....	143	6.1.3 UG NX 零件设计的基本 方法.....	216
4.2.7 注塑模的导向机构.....	145	6.1.4 UG NX 常见特征的设计.....	217
4.2.8 注塑模的冷却系统.....	146	6.1.5 注塑零件原型设计实例—— 茶匙造型.....	224
4.2.9 注塑模的排气系统.....	147	6.2 UG NX MoldWizard 注塑模设计 向导.....	238
4.2.10 注塑模的抽芯机构.....	148	6.2.1 注塑模设计向导简介.....	239
4.3 模具材料的选用.....	149	6.2.2 项目初始化.....	243
4.3.1 对模具材料的要求.....	149	6.2.3 模具坐标系.....	246
4.3.2 常用的模具钢材.....	149	6.2.4 收缩率(Shrinkage).....	247
4.3.3 模具材料的选择与热处理.....	150	6.2.5 工件(Work Piece).....	248
4.4 模具设计师的工作要求.....	151	6.2.6 型腔布局.....	251
本章小结.....	152	6.2.7 多腔模设计(Family Molds and Layout).....	254
思考与练习.....	152	6.2.8 注塑模工具功能介绍.....	259
第5章 AutoCAD 的应用.....	155	6.2.9 分型(Parting).....	263
5.1 AutoCAD 2009 用户界面.....	155	6.2.10 模架和标准件(Mold Base and Standard Part).....	271
5.1.1 AutoCAD 2009 的启动.....	155		

6.2.11 浇口和流道系统(Gate and Runner System).....	284	7.3.2 铸造模具工艺装备系统设计的具体步骤.....	353
6.2.12 冷却组件设计(Cooling Component Design)	286	7.3.3 铸造模具工艺装备的运行步骤.....	361
6.2.13 电极(Electrode).....	288	7.3.4 铸造模具工艺装备的设计开发结果.....	362
6.2.14 其他辅助功能.....	294	本章小结.....	373
6.2.15 UG 注塑模具设计实例——茶匙模具设计.....	297	思考与练习.....	373
6.3 UG NX CAM.....	316	第 8 章 模具 CAD/CAM 新技术	375
6.3.1 UG NX 加工模块简介.....	316	8.1 模具制造的基本特点与方法.....	375
6.3.2 CAM 加工模块的基本操作....	317	8.1.1 模具制造的基本特点.....	375
6.3.3 加工编程前模型分析.....	319	8.1.2 模具制造的主要方法.....	375
6.3.4 UG 加工编程的步骤.....	321	8.1.3 数控加工在模具制造中的应用.....	376
6.3.5 图形转换.....	324	8.2 应用于模具 CAD/CAM 领域的新技术.....	377
6.3.6 模具零件加工实例——茶匙型腔型芯加工.....	325	8.2.1 高速加工技术.....	377
本章小结.....	330	8.2.2 逆向工程技术.....	380
思考与练习.....	330	8.2.3 快速成形技术.....	385
第 7 章 模具 CAD 应用软件开发	332	8.2.4 虚拟制造技术.....	390
7.1 应用软件开发概述.....	332	8.3 逆向工程与快速成形技术实例.....	394
7.1.1 应用软件开发的意义.....	332	8.3.1 逆向工程实例.....	394
7.1.2 应用软件开发应遵循的原则.....	333	8.3.2 Aurora 快速成形软件操作实例.....	398
7.1.3 应用软件开发步骤.....	333	本章小结.....	399
7.2 模具 CAD 应用软件二次开发技术.....	334	思考与练习.....	399
7.2.1 概述.....	334	附录 A 模具设计常用名词	401
7.2.2 Pro/Toolkit 初步.....	334	附录 B 注塑模向导模架调用参数	403
7.2.3 人机交互界面的设计.....	342	参考文献	407
7.3 铸造模具 CAD 应用软件开发实例.....	349		
7.3.1 铸造模具工艺装备的设计原理及流程.....	349		

第1章 模具 CAD/CAM 基础

学习要点

- 熟悉模具 CAD/CAE/CAM 的基本概念。
- 了解模具 CAD/CAE/CAM 系统的组成及国内外主流的 CAD/CAM 软件。
- 了解模具 CAD/CAE/CAM 技术的发展历程和在模具行业中的应用。
- 了解模具 CAD/CAE/CAM 技术在模具设计与制造中的发展趋势。

技能目标

- 能够阐述模具 CAD/CAE/CAM 的基本概念。
- 能够阐述模具 CAD/CAE/CAM 系统的组成及国内外主流的 CAD/CAM 软件。
- 能够阐述模具 CAD/CAE/CAM 技术的发展历程和在模具行业中的应用及发展趋势。

1.1 模具 CAD/CAM 的基本概念

模具是指利用其本身特定形状去成型具有一定形状和尺寸的制品的工具。模具生产技术水平的高低,已成为衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志,因为模具在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。模具行业是国家工业发展的重要基础行业,各种先进技术应首先应用于模具行业,CAD/CAM 技术作为一项重要的技术手段,正越来越广泛地在模具行业得以应用。

源于航空工业和汽车工业的计算机辅助设计与制造(Computer Aided Design and Manufacturing, CAD/CAM),是指利用计算机软、硬件系统来生成和运用各种数字信息和图像信息,辅助人们对产品或工程进行总体设计和自动加工的一项综合性技术。随着计算机技术的发展,CAD/CAM 的技术内涵也是动态的。历经二维绘图、线框模型、自由曲面模型、实体造型、特征造型等重要发展阶段,其间还伴随着参数化、变量化、尺寸驱动等技术的融入,正向着虚拟制造、与网络的更深入结合、智能化等方向发展。

模具 CAD/CAM 现阶段应该指广义的计算机技术在模具设计与制造中的应用,一般包括计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助工程分析 (Computer Aided Engineering, CAE,是以现代计算力学为基础,以计算机仿真为手段的工程分析技术,对未来模具的工作状态和运行行为进行模拟,从而及早发现设计缺陷,是实现模具优化的主要支持模块)、计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)、计算机辅助工艺过程设计(Computer Aided Process Planning, CAPP,是指根据产品设计阶段给出的信息,人机交互地或自动地完成产品加工方法的选择和工艺过程的设计)、产品数据管理系统(Product Data Management, PDM,是以软件、计算机网络、数据库、分布式计算等技术为基础,以产品为核心,实现对产品相关的数据、过程、资源一体化集成管理的技术)等内容。

1.2 模具 CAD/CAM 系统的组成

1.2.1 概述

模具 CAD/CAM 系统的工作流程如图 1.1 所示。一个完善的 CAD/CAM 系统应具有如下功能：快速数字计算及图形处理功能、几何建模功能、处理数控加工信息的功能、大量数据和知识的存储及快速检索与操作功能、人机交互通信功能、输入和输出信息及图形功能、工程分析功能等。为实现这些功能，模具 CAD/CAM 系统的运行环境由硬件、软件和人三部分所构成，如图 1.2 所示。

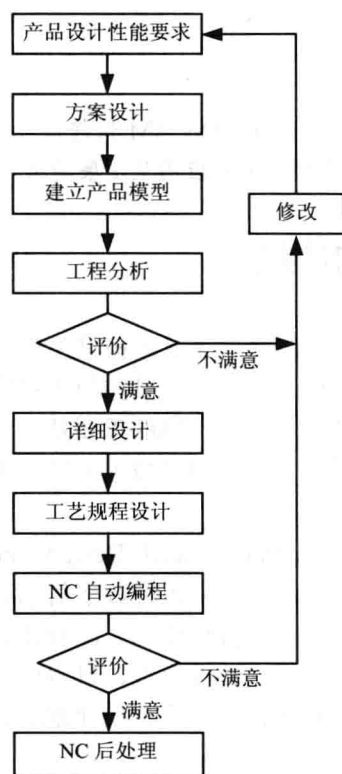


图 1.1 模具 CAD/CAM 系统工作流程

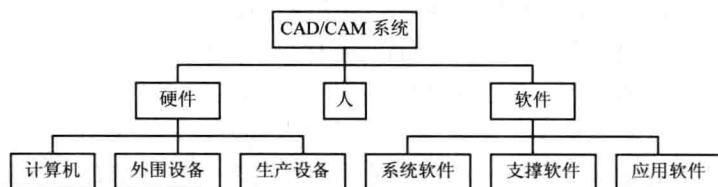


图 1.2 CAD/CAM 系统组成

硬件主要包括计算机及其外围设备等具有有形物质的设备，广义上讲硬件还包括用于数控加工的机械设备和机床等。硬件是 CAD/CAM 系统运行的基础，硬件的每一次技术突破都会带来 CAD/CAM 技术革命性的变化。软件是 CAD/CAM 系统的核心，包括系统软件、各种支撑软件和应用软件等。硬件提供了 CAD/CAM 系统潜在的能力，而系统功能的实现是由系统中的软件运行来完成的。随着 CAD/CAM 系统功能的不断完善和提高，软件成本在整个系统中所占的比重越来越大，目前一些高端软件的价格已经远远高于系统硬件的价格。

任何功能强大的计算机硬件和软件均只是辅助设计工具，而如何充分发挥系统的功能，则主要取决于用户的素质，CAD/CAM 系统的运行离不开人的创造性思维活动，人在

系统中起着关键的作用。目前 CAD/CAM 系统基本都采用人机交互的工作方式,这种方式要求人与计算机密切合作,发挥各自所长:计算机在信息的存储与检索、分析与计算、图形与文字处理等方面具有特有的功能;人则在创造性思维、综合分析、经验判断等方面占有主导地位。

1.2.2 模具 CAD/CAM 系统的硬件

模具 CAD/CAM 系统的硬件主要由计算机主机、外存储器、输入设备、输出设备、网络设备和自动化生产装备等组成,如图 1.3 所示。由专门的输入及输出设备来处理图形的交互输入与输出问题,是 CAD/CAM 系统与一般计算机系统的明显区别。

1. 计算机主机

计算机主机是模具 CAD/CAM 系统的中枢,执行运算和逻辑分析功能,并控制和指挥系统的所有活动。

根据 CAD/CAM 系统的运行环境,按所用计算机的类型、规模 and 性能等级,可归纳为主机系统(Mainframe Based System)、小型成套系统(Turnkey System)、分布式工程 workstation 系统(Distributed Workstation System)和微型机(PC)系统等 4 种配置形式。20 世纪 80 年代以来,以工程 workstation 加网络构成的分布式系统为主;目前,随着 CPU 性能的飞速提高,PC 有逐渐成为主流的趋势。

主机是 CAD/CAM 系统的硬件核心,主要由中央处理器(CPU)及内存储器(也称内存)组成,如图 1.4 所示。CPU 包括控制器和运算器,控制器按照从内存中取出的指令指挥和协调整个计算机的工作,运算器负责执行程序指令所要求的数值计算和逻辑运算。CPU 的性能决定着计算机的数据处理能力、运算精度和速度。内存储器是 CPU 可以直接访问的存储单元,用来存放常驻的控制程序、用户指令、数据及运算结果。衡量主机性能的指标主要有两项:CPU 性能和内存容量。

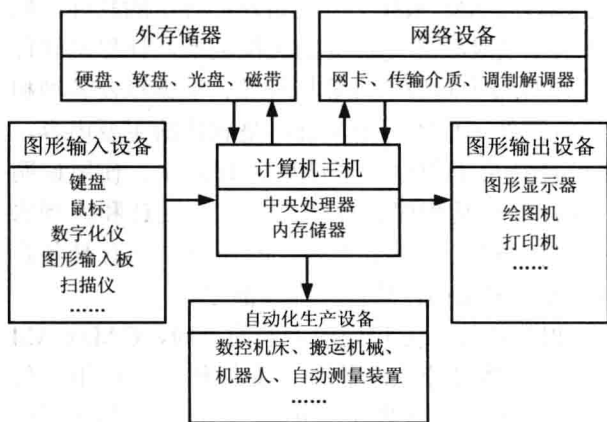


图 1.3 CAD/CAM 系统的硬件组成

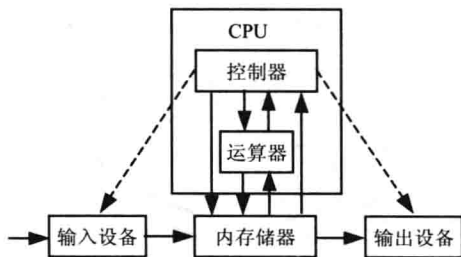


图 1.4 主机结构

2. 外存储器

外存储器简称外存,用来存放暂时不用或等待调用的程序、数据等信息。当使用这些

信息时，由操作系统根据命令调入内存。外存储器的特点是容量大，经常达到数百 MB、数十 GB 或更多，但存取速度慢。常见的有磁带、磁盘(软盘、硬盘)和光盘等。随着存储技术的发展，移动硬盘、U 盘等移动存储设备成为外存储器的重要组成部分。

3. 输入设备

输入设备是指通过人机交互作用将各种外部数据转换成计算机能识别的电子脉冲信号的装置，主要分为键盘输入类(如键盘)、指点输入类(如鼠标)、图形输入类(如数字化仪)、图像输入类(如扫描仪、数码相机)、语音输入类等。

4. 输出设备

将计算机处理后的数据转换成用户所需的形式，实现这一功能的装置称为输出设备。输出设备能将计算机运行的中间或最终结果、过程，通过文字、图形、影像、语音等形式表现出来，实现与外界的直接交流与沟通。常用的输出设备包括显示输出(如图形显示器)、打印输出(如打印机)、绘图输出(如自动绘图仪)及影像输出、语音输出等。

5. 网络互联设备

网络互联设备包括网络适配器(也称网卡)、中继器、集线器、网桥、路由器、网关及调制解调器等装置，通过传输介质连接到网络上以实现资源共享。网络的连接方式即拓扑结构可分为星形、总线形、环形、树形以及星形和环形的组合等形式。先进的 CAD/CAM 系统都是以网络的形式出现的。

6. 测量设备

测量设备包括万能量具、样板、三坐标测量仪、激光扫描仪等。

1.2.3 模具 CAD/CAM 系统的软件

为了充分发挥计算机硬件的作用，模具 CAD/CAM 系统必须配备功能齐全的软件，软件配置的档次和水平是决定系统功能、工作效率及使用方便程度的关键因素。计算机软件是指控制 CAD/CAM 系统运行，并使计算机发挥最大功效的计算机程序、数据以及各种相关文档。程序是对数据进行处理并指挥计算机硬件工作的指令集合，是软件的主要内容。

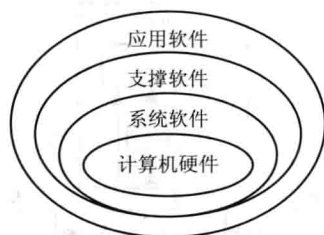


图 1.5 CAD/CAM 系统的软件层次关系

文档是指关于程序处理结果、数据库、使用说明书等，文档是程序设计的依据，其设计和编制水平在很大程度上决定了软件的质量，只有具备合格、齐全文档，软件才能商品化。

根据执行任务和处理对象的不同，CAD/CAM 系统的软件可分系统软件、支撑软件和应用软件三个不同层次，如图 1.5 所示。系统软件与计算机硬件直接关联，起着扩充计算机的功能和合理调度与运用计算机硬件资源的作用。支撑软件运行在系统软件之上，是各种应用软件的工具和基础，包括实现 CAD/CAM 各种功能的通用性应用基础软件。应用软件是在系统软件及支撑软件的支持下，实现某个应用领域内的特定任务的专用软件。

1. 系统软件

系统软件是指计算机在运行状态下保证用户正确而方便工作的那一部分软件，它处于系统的最底层，是用户与计算机硬件连接的纽带，是使用、控制、管理计算机的运行程序的集合。系统软件通常由计算机制造商或软件公司开发。系统软件有两个显著的特点：一是通用性，不同应用领域的用户都需要使用系统软件；二是基础性，即支撑软件和应用软件都需要在系统软件的支持下运行。系统软件首先是为用户使用计算机提供一个清晰、简洁、易于使用的友好界面；其次是尽可能使计算机系统中的各种资源得到充分而合理的应用。系统软件主要包括三大部分：操作系统、编程语言系统和网络通信及其管理软件。

操作系统是系统软件的核心，是 CAD/CAM 系统的灵魂，它控制和指挥计算机软件资源和硬件资源。其主要功能是硬件资源管理、任务队列管理、硬件驱动程序、定时分时系统、基本数学计算、日常事务管理、错误诊断与纠正、用户界面管理和作业管理等。操作系统依赖于计算机系统的硬件，用户通过操作系统使用计算机，任何程序都需经过操作系统分配必要的资源后才能执行。目前流行的操作系统有 Windows、UNIX、Linux 等。

编程语言系统主要完成源程序编辑、库函数管理、语法检查、代码编译、程序连接与执行。按照程序设计方法的不同，可分为结构化编程语言和面向对象的编程语言；按照编程时对计算机硬件依赖程度的不同，可分为低级语言和高级语言。目前广泛使用面向对象的编程语言，如 Visual C++、Visual Basic、Java 等。

网络通信及其管理软件主要包括网络协议、网络资源管理、网络任务管理、网络安全管理、通信浏览工具等内容。国际标准的网络协议方案为“开放系统互连参考模型”(OSI)，它分为 7 层：应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、数据链路层和物理层。目前 CAD/CAM 系统中流行的主要网络协议包括 TCP/IP、MAP、TOP 等。

2. 支撑软件

支撑软件是 CAD/CAM 软件系统的重要组成部分，一般由商业化的软件公司开发。支撑软件是满足共性需要的 CAD/CAM 通用性软件，属知识密集型产品，这类软件不针对具体的应用对象，而是为某一应用领域的用户提供工具或开发环境。支撑软件一般具有较好的数据交换性能、软件集成性能和二次开发性能。根据支撑软件的功能可分为功能单一型和功能集成型软件。功能单一型支撑软件只提供 CAD/CAM 系统中某些典型过程的功能，如交互式绘图软件、三维几何建模软件、工程计算与分析软件、数控编程软件、数据库管理系统等。功能集成型支撑软件提供了设计、分析、造型、数控编程以及加工控制等综合功能模块。

1) 功能单一型支撑软件

功能单一型支撑软件主要包括以下几种。

(1) 交互式绘图软件。这类软件主要以交互方式完成二维工程图样的生成和绘制，具有图形的编辑、变换、存储、显示控制、尺寸标注等功能；具有尺寸驱动参数化绘图功能；有较完备的机械标准件参数化图库等。这类软件的绘图功能很强、操作方便、价格便宜。在微机上采用的典型产品是 AutoCAD 以及国内自主开发的 CAXA 电子图板、PICAD、高华 CAD 等。

(2) 三维几何建模软件。这类软件主要解决零部件的结构设计问题，为用户提供完整

准确的描述和显示三维几何形状的方法和工具,具有消隐、着色、浓淡处理、实体参数计算、质量特性计算、参数化特征造型及装配和干涉检验等功能,具有简单曲面造型功能,价格适中,易于学习掌握。这类软件目前在国内的应用主要以 MDT、SolidWorks 和 SolidEdge 为主。

(3) 工程计算与分析软件。这类软件的功能主要包括基本物理量计算、基本力学参数计算、产品装配、公差分析、有限元分析、优化算法、机构运动学分析、动力学分析及仿真与模拟等。有限元分析是核心工具,包括前置处理、计算分析和后置处理 3 部分。前置处理的功能是:几何建模,模型分割,自动生成有限元网格,网格的连接、修改、变换、加密,有关机械特性、载荷、约束等的处理以及输入功能。计算分析程序的功能是:形成刚度矩阵和载荷矩阵,求解方程组,计算应力、应变。后置处理的功能是:将计算分析结果转变为变形图、应力等高线图、应力应变彩色浓淡图以及应力应变曲线等。

目前比较著名的数值计算与模拟分析软件有 ANSYS、Dynaform、Deform、Moldflow、SAP、ADINA、AutoForm、Indeed、Pam-stamp、Optris、Isopunch、MARC、NASTRAN、ADAMS 等。

(4) 数控编程软件。这类软件一般具有刀具定义、工艺参数的设定、刀具轨迹的自动生成、后置处理及切削加工模拟等功能。应用较多的有 Cimatron、MasterCAM、SmartCAM、SurfCAM 及 CAXA 制造工程师等。

(5) 数据库管理系统。工程数据库是 CAD/CAM 集成系统的重要组成部分,工程数据库管理系统能够有效地存储、管理和使用工程数据,支持各子系统间的数据传递与共享。工程数据库管理系统的开发可在通用数据库管理系统基础上,根据工程特点进行修改或补充。目前比较流行的数据库管理系统有 Oracle、Sybase、FoxPro、FoxBase 等。

2) 功能集成型支撑软件

功能集成型支撑软件功能比较完备,是进行 CAD/CAM 工作的主要软件。目前比较著名的功能集成型支撑软件主要有以下几种。

(1) Pro/ENGINEER。Pro/ENGINEER(简称 Pro/E)是美国 PTC(Parametric Technology Corporation)公司的著名产品。PTC 公司提出的单一数据库、参数化、基于特征、全相关的概念,改变了机械设计自动化的传统观念,这种全新的观念已成为当今机械设计自动化领域的新标准。基于该观念开发的 Pro/E 软件能将设计至生产全过程集成到一起,让所有的用户能够同时进行同一产品的设计制造工作,实现并行工程。Pro/E 包括 70 多个专用功能模块,如实体模型、特征建模、装配建模、曲面建模、工程图制作、模具设计、NC 数控加工、逆向工程、有限元分析、产品数据管理等,具有较完整的数据交换转换器,支持 Product Lifecycle Management(PLM),被称为新一代 CAD / CAM / CAE 系统。

(2) Unigraphics。Unigraphics (简称 UG)是美国 UGS(Unigraphics Solutions)公司的旗舰产品。UGS 公司首次突破传统 CAD/CAM 模式,为用户提供一个全面的产品建模系统。UG 采用将参数化和变量化技术与实体、线框和表面功能融为一体的复合建模技术,其主要优势是三维曲面、实体建模和数控编程功能,具有较强的数据库管理和有限元分析前后处理功能以及界面良好的用户开发工具。UG 汇集了美国航空航天业及汽车业的专业经验,现已成为世界一流的集成化机械 CAD/CAM/CAE 软件,并被多家著名公司选作企业计算机辅助设计、制造和分析的标准。

(3) I-DEAS。I-DEAS 是美国 SDRC(Structure Dynamics Research Corporation)公司(现已归属 UGS 公司)的主打产品。SDRC 公司创建了变量化技术,并将其应用于三维实体建模中,进而创建了业界最具革命性的 VGX 超变量化技术。I-DEAS 是高度集成化的 CAD/CAE/CAM 软件,其动态引导器帮助用户以极高的效率,在单一数字模型中完成从产品设计、仿真分析、测试直至数控加工的产品研发全过程。I-DEAS 在 CAD/CAE 一体化技术方面一直雄居世界榜首,软件内含很强的工程分析和工程测试功能。

(4) CATIA。CATIA 由法国 Dassault System 公司与 IBM 合作研发,是较早面市的著名的三维 CAD/CAM/CAE 软件产品,目前主要应用于机械制造、工程设计和电子行业。CATIA 率先采用自由曲面建模方法,在三维复杂曲面建模及其加工编程方面极具优势。

3. 应用软件

应用软件是在系统软件和支撑软件的基础上,针对专门应用领域的需要而研制的软件。如机械零件设计软件、机床夹具 CAD 软件、冷冲压模具 CAD/CAM 软件等。这类软件通常由用户结合当前设计工作需要自行开发或委托软件开发商进行开发。能否充分发挥 CAD/CAM 系统的效益,应用软件的技术开发是关键,也是 CAD/CAM 工作者的主要任务。应用软件开发可以基于支撑软件平台进行二次开发,也可以采用常用的程序设计工具进行开发。目前常见的支撑软件均提供了二次开发工具,如 AutoCAD 的 Autolisp、Pro/E 的 Protoolkit、UG 的 GRIP 等。为保证应用技术的先进性和开发的高效性,应充分利用已有 CAD/CAM 支撑软件的技术和二次开发工具。需要说明的是,应用软件和支撑软件之间没有本质的区别,当某一行业的应用软件逐步商品化形成通用软件产品时,也可以称之为支撑软件。

1.3 CAD/CAE/CAM 技术的发展和應用

1.3.1 CAD/CAE/CAM 技术的发展历程

CAD/CAE/CAM 技术的发展与计算机图形学的发展密切相关,并伴随着计算机及其外围设备的发展而发展。计算机图形学中有关图形处理的理论和方法构成了 CAD/CAE/CAM 技术的重要基础。

1. CAD 技术的发展过程

CAD 技术的发展过程如下。

(1) 20 世纪 50 年代后期至 70 年代初期,此阶段为初级阶段——线框造型技术。这时计算机主要用于科学计算,使用机器语言编程,图形设备仅具有输出功能。美国麻省理工学院(MIT)在其研制的旋风 I 号计算机上采用了阴极射线管(CRT)作为图形终端,并能被动显示图形。60 年代是交互式计算机图形学发展的最重要时期。1963 年 MIT 学者 I. E. Sutherland 推出的二维 SketchPad 系统,允许设计者操作光笔和键盘,在图形显示器上进行图形的选择、定位等交互作业,对符号和图形的存储采用分层的数据结构。这项研究为交互式计算机图形学及 CAD 技术奠定了基础,也标志着 CAD 技术的诞生。此后,出现了交互式图形显示器、鼠标器和磁盘等硬件设备及文件系统和高级语言等软件。并陆续出现了