

机械CAD/CAM技术

张新昌 李炎粉 王玉庆 ◎ 主 编

JIXIE CAD/CAM JISHU



 中央广播电视大学出版社

机械 CAD/CAM 技术

张新昌 李炎粉 王玉庆 主编



中央广播电视大学出版社

北 京

内容简介

全书共分 8 章, 分别介绍了机械 CAD/CAM 技术基础知识, Pro/ENGINEER 基本用户界面、文件操作及操作技巧, 二维草绘模块的功能及绘图技巧, 几种常用实体特征的创建原理及技巧, 几种高级特征的创建原理及技巧, 零件装配的基本方法, 并通过实例教程详细讲述零件装配的基本操作, 从三维实体模型生成二维工程图的一般方法, 数控加工操作界面, 结合实例详细讲述了数控加工操作方法。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械 CAD/CAM 技术 / 张新昌, 李炎粉, 王玉庆主编.

—北京: 中央广播电视大学出版社, 2014.1

ISBN 978-7-304-05432-8

I. ①机... II. ①张... ②李... ③王... III. ①机械设计: 计算机辅助设计 ②机械制造: 计算机辅助制造 IV. ①TH122 ②TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 275973 号

版权所有, 翻印必究。

机械 CAD/CAM 技术

张新昌 李炎粉 王玉庆 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心: 010-58840200 总编室: 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 苏 醒

责任编辑: 韩 峰

印刷: 北京博图彩色印刷有限公司

印数: 0001~3000

版本: 2014 年 1 月第 1 版

2014 年 1 月第 2 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 14 字数: 329 千字

书号: ISBN 978-7-304-05432-8

定价: 38.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

前 言

为了培养既有一定文化基础和专业理论知识,又有较强的实践能力的应用性技能人才,本书的开发同时兼顾理论知识和实践知识,既选编“必须、够用”的理论内容,又融入足够的实训内容。本书在编写的过程中充分考虑当前学科的发展现状和市场实际需求,采用了理论加实践的方法,以适应当前的市场需要。

作为 CAD/CAM 最成功的一体化设计软件之一,Pro/E 从产品的构思、完善到生产加工都做到了高度的专业化和规范化。Pro/E 软件全参数化的设计和容易上手的三维实体造型及其他强大的功能使越来越多的企业采用它进行产品的开发和设计。

本书结合典型例子重点介绍了三维模型创建的一般原理,内容包括二维草绘、三维建模、曲面造型设计、零件装配设计、工程图的创建、数控加工等基本功能模块使用。

全书共分 8 章,各章主要内容如下:

第 1 章介绍机械 CAD / CAM 技术基础知识。

第 2 章介绍 Pro/ENGINEER 基本用户界面、文件操作及操作技巧。

第 3 章介绍二维草绘模块的功能及绘图技巧。

第 4 章介绍拉伸、旋转、扫描、混合、放置、复制与阵列等几种常用实体特征的创建原理及技巧。

第 5 章介绍变截面扫描、扫描混合、螺旋扫描、曲面造型等几种高级特征的创建原理及技巧。

第 6 章介绍零件装配的基本方法,并通过实例教程详细讲述零件装配的基本操作。

第 7 章介绍从三维实体模型生成二维工程图的一般方法,包括各种视图的创建方法。

第 8 章介绍数控加工操作界面,结合实例详细讲述了数控加工操作方法。

本书内容编排合理,思路清晰,层次分明,重点突出,知识通俗易懂,同

时将学与做相结合，强化了理论和实践训练，符合读者的认识规律。

本书由张新昌、李炎粉、王玉庆担任主编，王超俊、熊文伟任副主编，李爱惠任主审。教材第1章、第2章由张新昌编写，第3章、第4章由李炎粉编写，第5章由王玉庆编写，第6章由王超俊编写，第7章由熊文伟编写，第8章由李爱惠编写。

在本书的编写过程中，虽然我们在特色建设方面做了很大努力，但由于编者水平有限，书中难免有不当之处，恳请专家及读者在使用过程中给予关注，并将意见及时反馈给我们，以便下次修订时改进。

编 者

目 录

CONTENTS

第 1 章 机械 CAD/CAM 技术基础

1.1 CAD/CAM 基本概念.....	1
1.2 CAD/CAM 系统构成.....	4
1.3 CAD/CAM 技术的发展和应.....	10

第 2 章 Pro/E 概述及其基本操作

2.1 Pro/E 概述.....	16
2.1 Pro/E 操作界面介绍.....	17
2.2 Pro/E 文件的基本操作.....	19
1.3 视角控制.....	24

第 3 章 Pro/E 截面草图设计

3.1 截面草图模块功能介绍.....	27
3.2 截面草图绘制实例.....	44

第 4 章 Pro/E 基础零件实体设计

4.1 拉伸实体造型.....	52
4.2 旋转实体造型.....	59
4.3 扫描实体造型.....	64
4.4 混合实体造型.....	68
4.5 放置实体造型.....	74
4.6 复制与阵列.....	90
4.7 零件设计实例.....	99

第 5 章 Pro/E 高级零件实体设计

5.1 变截面扫描造型	114
5.2 扫描混合造型	118
5.3 螺旋扫描造型	125
5.4 曲面特征造型	130

第 6 章 Pro/E 装配设计

6.1 零件装配设计的一般过程	141
6.2 零件装配设计实例	148
6.3 装配体的分解	151

第 7 章 Pro/E 工程图制作

7.1 工程图	156
7.2 一般视图与投影视图创建	160
7.3 剖视图的创建	165
7.4 显示和拭除	170
7.5 工程图实例	172

第 8 章 Pro/E 数控加工

8.1 Pro/E NC 概述	177
8.2 Pro/E NC 加工操作界面介绍	178
8.3 Pro/E NC 加工操作步骤	180
8.4 Pro/E NC 加工操作综合实例	192

参考文献	215
------------	-----

第1章 机械 CAD/CAM 技术基础

1.1 CAD/CAM 基本概念

CAD/CAM 技术是制造工程技术与计算机技术紧密结合、相互渗透而发展起来的一项综合性应用技术,具有知识密集、学科交叉、综合性强、应用范围广等特点。CAD/CAM 技术是先进制造技术的重要组成部分,它的发展和应用使传统的产品设计、制造内容和工作方式等都发生了根本性的变化。CAD/CAM 技术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。

一、CAD 技术

由于在不同时期、不同行业中,计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)技术所实现的功能不同,工程技术人员对 CAD 技术的认识也有所不同,因此很难给 CAD 技术下一个统一的、公认的定义。早在 1972 年 10 月,国际信息处理联合会(International Federation for Information Processing, IFIP)在荷兰召开的“关于 CAD 原理的工作会议”上给出如下定义:CAD 是一种技术,其中人与计算机结合为一个问题求解组,紧密配合,发挥各自所长,从而使其工作优于每一方,并为应用多学科方法的综合性协作提供了可能。到 20 世纪 80 年代初,第二届国际 CAD 会议上认为 CAD 是一个系统的概念,包括计算、图形、信息自动交换、分析和文件处理等方面的内容。1984 年召开的国际设计及综合讨论会上,认为 CAD 不仅是设计手段,而且是一种新的设计方法和思维。显然, CAD 技术的内涵将会随着计算机技术的发展而不断扩展。

就目前情况而言, CAD 是指工程技术人员以计算机为工具,运用自身的知识和经验,对产品或工程进行方案构思、总体设计、工程分析、图形编辑和技术文档整理等设计活动的总称,是一门多学科综合应用的新技术。CAD 是一种新的设计方法,它采用计算机系统辅助设计人员完成设计的全过程,将计算机的海量数据存储和高速数据处理能力与人的创造性思维和综合分析能力有机结合起来,充分发挥各自所长,使设计人员摆脱繁重的计算和绘图工作,从而达到最佳设计效果。CAD 对加速工程和产品的发展、缩短设计制造周期、提高质量、降低成本、增强企业创新能力发挥着重要作用。

一般认为, CAD 系统应具有几何建模、工程分析、模拟仿真、工程绘图等主要功能。一个完整的 CAD 系统应由人机交互接口、科学计算、图形系统和工程数据库等组成。人机交互接口是设计、开发、应用和维护 CAD 系统的界面,经历了从字符用户接口、图形用户接口、多媒体用户接口到网络用户接口的发展过程。图形系统是 CAD 系统的基础,主要有几何(特征)建模、自动绘图(二维工程图、三维实体图等)、动态仿真等。科学计算是

CAD 系统的主体,主要有有限元分析、可靠性分析、动态分析、产品的常规设计和优化设计等。工程数据库是对设计过程中使用和产生的数据、图形、图像及文档等进行存储和管理。就 CAD 技术目前可实现的功能而言, CAD 作业过程是在由设计人员进行产品概念设计的基础上从建模分析,完成产品几何模型的建立,然后抽取模型中的有关数据进行工程分析、计算和修改,最后编辑全部设计文档,输出工程图。从 CAD 作业过程可以看出, CAD 技术也是一项产品建模技术,它是将产品的物理模型转化为产品的数据模型,并把建立的数据模型存储在计算机内,供后续的计算机辅助技术所共享,驱动产品生命周期的全过程。

二、CAE 技术

CAE (Computer Aided Engineering) 从字面上理解是计算机辅助工程分析,准确地讲,就是指工程设计中的分析计算、分析仿真和结构优化。CAE 是从 CAD 中分支出来的,起步稍晚,其理论和算法经历了从蓬勃发展到日趋成熟的过程。随着计算机技术的不断发展, CAE 系统的功能和计算精度都有很大提高,各种基于产品数字建模的 CAE 系统应运而生,并已成为工程和产品结构分析、校核及结构优化中必不可少的数值计算工具; CAE 技术和 CAD 技术的结合越来越紧密,在产品设计中,设计人员如能将 CAD 与 CAE 技术良好融合,就可以实现互动设计,从而保证企业从生产设计环节上达到最优效益。分析是设计的基础,设计与分析集成是必然趋势。

目前 CAE 技术已被广泛应用于国防、航空航天、机械制造、汽车制造等各个工业领域。CAE 技术作为设计人员提高工程创新和产品创新能力的得力助手和有效工具,能够对创新的设计方案快速实施性能与可靠性分析;进行虚拟运行模拟,及早发现设计缺陷,实现优化设计;在创新的同时,提高设计质量,降低研究开发成本,缩短研发周期。

三、CAPP 技术

计算机辅助工艺设计 (Computer Aided Process Planning, CAPP) 是根据产品设计结果进行产品的加工方法设计和制造过程设计。一般认为, CAPP 系统的功能包括毛坯设计、加工方法选择、工序设计、工艺路线制定和工时定额计算等。其中工序设计包括加工设备和工装的选用、加工余量的分配、切削用量选择以及机床、刀具的选择、必要的工序图生成等内容。工艺设计是产品制造过程中技术准备工作的一项重要内容,是产品设计与实际生产的纽带,是一个经验性很强且随制造环境的变化而多变的决策过程。随着现代制造技术的发展,传统的工艺设计方法已经远远不能满足自动化和集成化的要求。

随着计算机技术的发展, CAPP 受到了工艺设计领域的高度重视。其主要优点在于: CAPP 可以显著缩短工艺设计周期,保证工艺设计质量,提高产品的市场竞争能力。CAPP 使工艺设计人员摆脱大量、繁琐的重复劳动,将主要精力转向新产品、新工艺、新装备和新技术的研究与开发。CAPP 可以提高产品工艺的继承性,最大限度地利用现有资源,降低生产成本。CAPP 可以使没有丰富经验的工艺师设计出高质量的工艺规程,以缓解当前

机械制造业工艺设计任务繁重、缺少有经验工艺设计人员的矛盾。CAPP 有助于推动企业开展的工艺设计标准化和最优化工作。CAPP 在 CAD、CAM 中起到桥梁和纽带作用：CAPP 接受来自 CAD 的产品几何拓扑信息、材料信息及精度、粗糙度等工艺信息，并向 CAD 反馈产品的结构工艺性评价信息；CAPP 向 CAM 提供零件加工所需的设备、工装、切削参数、装夹参数以及刀具轨迹文件，同时接受 CAM 反馈的工艺修改意见。

四、CAM 技术

计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM) 到目前为止尚无统一的定义。一般而言, CAM 是指计算机在制造领域有关应用的统称, 有广义 CAM 和狭义 CAM 之分。所谓广义 CAM, 是指利用计算机辅助完成从生产准备工作到产品制造过程中的直接和间接的各种活动, 包括工艺准备、生产作业计划、物流过程的运行控制、生产控制、质量控制等主要方面。其中工艺准备包括计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助工装设计与制造、NC 编程、计算机辅助工时定额和材料定额的编制等内容; 物流过程的运行控制包括物料的加工、装配、检验、输送、储存等生产活动。而狭义 CAM 通常指数控程序的编制, 包括刀具路线的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真以及后置处理和 NC 代码生成等。本书采用 CAM 的狭义定义。

CAM 中核心的技术是数控加工技术。数控加工主要分程序编制和加工过程两个步骤。程序编制是根据图纸或 CAD 信息, 按照数控机床控制系统的要求, 确定加工指令, 完成零件数控程序编制; 加工过程是将数控程序传输给数控机床, 控制机床各坐标的伺服系统, 驱动机床, 使刀具和工件严格按执行程序的规定相对运动, 加工出符合要求的零件。作为应用性、实践性极强的专业技术, CAM 直接面向数控生产实际。生产实际的需求是所有技术发展与创新的原动力, CAM 在实际应用中已经取得了明显的经济效益, 并且在提高企业市场竞争能力方面发挥着重要作用。

五、CAD/CAM 集成技术

自 20 世纪 70 年代中期以来, 出现了很多计算机辅助的分散系统, 如 CAD、CAE、CAPP、CAM 等, 分别在产品设计自动化、工艺过程设计自动化和数控编程自动化等方面起到了重要作用。但是这些各自独立的系统不能实现系统之间信息的自动交换和传递。例如, CAD 系统的设计结果不能直接为 CAPP 系统所接受, 若进行工艺过程设计, 仍需要设计者将 CAD 输出的图样文档转换成 CAPP 系统所需要的输入信息。所以, 随着计算机辅助技术日益广泛的应用, 人们很快认识到, 只有当 CAD 系统一次性输入的信息能为后续环节 (如 CAE、CAPP、CAM) 继续应用时才能获得最大的经济效益。为此, 提出了 CAD 到 CAM 集成的概念, 并首先致力于 CAD、CAE、CAPP 和 CAM 系统之间数据自动传递和转换的研究, 以便将已存在和使用的 CAD、CAE、CAPP、CAM 系统集成起来。有人认为: CAD 有狭义及广义之分, 狭义 CAD 就是单纯的计算机辅助设计, 而广义 CAD 则是 CAD/CAE/CAPP/CAM 的高度集成。不论何种计算机辅助软件, 其软件功能不同, 其市场

定位不同,但其发展方向却是一致的,这就是 CAD/CAE/CAPP/CAM 的高度集成。

CAD/CAM 集成技术的关键是 CAD、CAPP、CAM、CAE 各系统之间的信息自动交换与共享。集成化的 CAD/CAM 系统借助于工程数据库技术、网络通信技术以及标准格式的产品数据接口技术,把分散于机型各异的计算机中的 CAD、CAPP、CAM 子系统高效、快捷地集成起来,实现软、硬件资源共享,保证整个系统内信息的流动畅通无阻。

CAD/CAM 集成技术是各计算机辅助单元技术发展的必然结果。随着信息技术、网络技术的不断发展和市场全球化进程的加快,出现了以信息集成为基础的更大范围的集成技术,譬如将企业内经营管理信息、工程设计信息、加工制造信息、产品质量信息等融为一体的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。而 CAD/CAM 集成技术是计算机集成制造系统、并行工程、敏捷制造等先进制造系统中的一项核心技术。

1.2 CAD/CAM 系统构成

一、概述

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, 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。

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。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,则主要是取决于用户的素质, CAD/CAM 系统的运行离不开人的创造性思维活动,不言而喻,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。

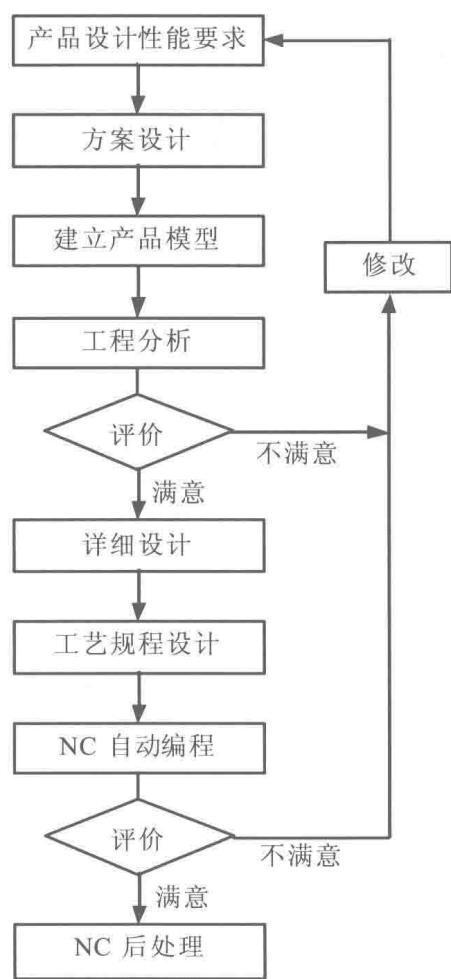


图 1.1 CAD/CAM 系统工作流程图

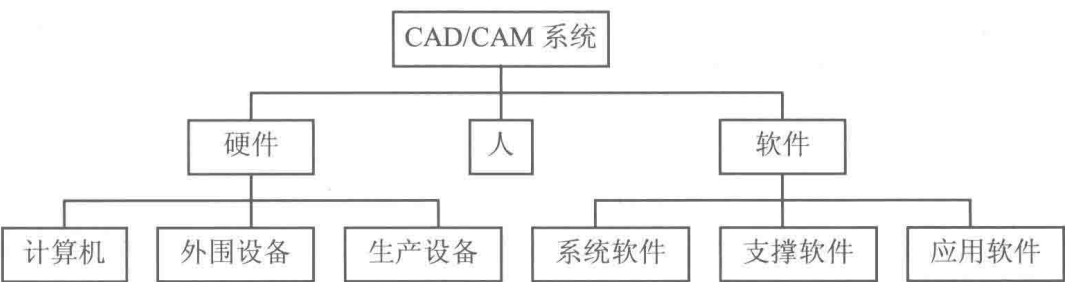


图 1.2 CAD/CAM 系统组成

二、CAD/CAM 系统的硬件

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。有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。

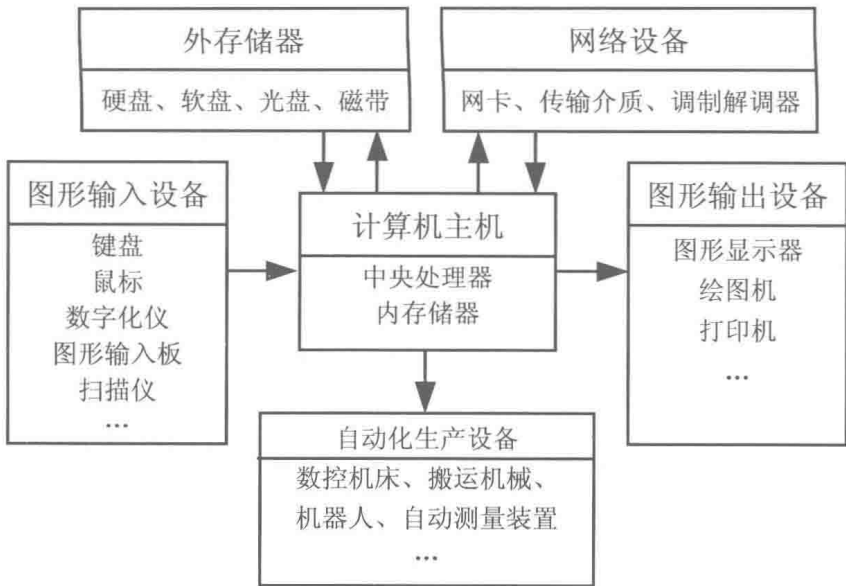


图 1.3 CAD/CAM 系统的硬件组成

（一）计算机主机

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。按照主机性能等级的不同，可将计算机分为大中型机、小型机、工作站和微型机等不同档次。目前国内应用的计算机主机主要是微机和工作站。

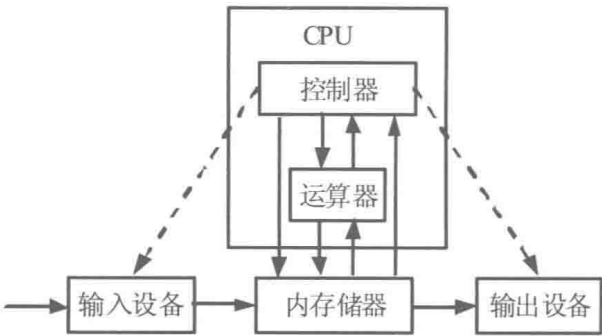


图 1.4 主机结构

（二）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。

（三）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。

（四）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。

（五）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。

三、CAD/CAM 系统的软件

为了充分发挥计算机硬件的作用，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。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、齐全的文档，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。

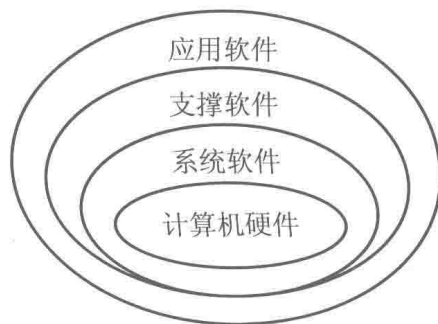


图 1.5 CAD/CAM 系统的软件层次关系

（一）系统软件

系统软件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、库函数及管理、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),它分为七层: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 协议、MAP 协议、TOP 协议等。

(二) 支撑软件

1. 功能单一型支撑软件

(1) 交互式绘图软件。这类软件主要以交互方法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。这类软件绘图功能很强、操作方便、价格便宜。在计算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。目前比较著名的商品化有限元分析软件有 SAP、ADINA、ANSYS、NASTRAN 等,仿真与模拟软件有 ADAMS。

(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 MasterCAM、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

这类软件功能比较完备,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,如特征建模、有限元分析、装配建模、曲面建模、产品数据管理等,具有较完整的数据交换转换器。

(2) UG。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、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并没有本质的区别,当某一

行业的应用软件逐步商品化形成通用软件产品时，也可以称之为一种支撑软件。

1.3 CAD/CAM 技术的发展和應用

一、CAD/CAM 技术的发展历程

CAD/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/CAM 技术的重要基础。综观 CAD/CAM 技术的发展历程，主要经历了以下主要发展阶段。

20 世纪 50 年代，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。其后出现了光笔，开始了交互式计算机图形学的研究，也为 CAD/CAM 技术的出现和发展铺平了道路。1952 年 MIT 首次试制成功了数控铣床，通过数控程序对零件进行加工，随后 MIT 研制开发了自动编程语言（APT），通过描述走刀轨迹的方法来实现计算机辅助编程，标志着 CAM 技术的开端。1956 年首次尝试将现代有限单元法用于分析飞机结构。50 年代末，出现了平板式绘图仪和滚筒式绘图仪，开始了计算机绘图的历史。此间 CAD 技术处于酝酿、准备阶段。

20 世纪 60 年代，这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 发表了题为“人机对话图形通讯系统”的博士论文，首次提出了计算机图形学等术语。由他推出的二维 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。并陆续出现了许多商品化的 CAD 系统和设备。例如，1964 年美国通用汽车公司研制了用于汽车设计 DAC-1 系统，1965 年美国洛克希德飞机公司开发了 CADAM 系统，贝尔电话公司也推出了 GRAPHIC-1 系统，等等。此间 CAD 技术的应用以二维绘图为主。在制造领域中，1962 年研制成功了世界上第一台机器人，实现物料搬运自动化，1965 年产生了计算机数控机床 CNC 系统，1966 年以后出现了采用通用计算机直接控制多台数控机床 DNC 系统以及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。20 世纪 60 年代末，挪威开始了 CAPP 技术的研究，并于 1969 年正式推出第一个 CAPP 系统 AutoPros。

20 世纪 70 年代，计算机图形学理论及计算机绘图技术日趋成熟，并得到了广泛应用。这期间，硬件的性能价格比不断提高；图形输入板、大容量的磁盘存储器等相应出现；数据库管理系统等软件得以应用；以小型、超小型计算机为主机的 CAD/CAM 系统进入市场并形成主流，这些系统的特点是硬件和软件配套齐全、价格便宜、使用方便，形成所谓的交钥匙系统（Turnkey System）。同时，三维几何建模软件也相继发展起来，出现了一些面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统，法国达索公司率先开发出以表面模型为特点的三维曲面建模系统 CATIA。20 世纪 70 年代中期开始创立 CAPP 系统的研究与开发。1976 年由